



Title	魚探機によるサケ・マス資源現存量の推定について：Ⅱ．資源現存量推定におけるシステム・モデル
Author(s)	佐野, 典達; Sano, Noritatsu; 安間, 元 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 27(2), 78-90
Issue Date	1976-08
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23586
Type	departmental bulletin paper
File Information	27(2)_P78-90.pdf



魚探機によるサケ・マス資源現存量の推定について

II. 資源現存量推定におけるシステム・モデル

佐野典達*・安間元**

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

II. On a model of system for the estimation of standing crop

Noritatsu SANO* and Gen ANMA**

Abstract

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

The number of salmon which enter any 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.

The block diagrams of the basic model of system are shown in Fig. 1 and Fig. 2.

In this paper, the authors compare the information about salmon obtained from the model of system for the estimation of standing crop. It has been applied to anadromous species of salmon and pink salmon populations as the assumption of various mortalities from 1965 to 1974.

The results obtained are summarized as follows;

- 1) Computer processing systems are probably necessary to get accurate results.
- 2) The appropriate system model for population studies and management of fisheries may vary depending on the mortality, survival rate, natality, growth rate and catch.

緒 言

垂直方向探知の魚探機を使用し、サケ・マス資源現存量を推定する予備実験については前報¹⁾で報告した。この方法は、魚探機を作動し取得した echo pattern 上の echo trace を識別・計数し、scanning volume からサケ・マスの現場密度 ρ_e を算出、サケ・マスの生息する等密度の漁場範囲を推定し相対的に資源現存量を概算する方法である。

しかし、魚探技術から得られる情報、あるいは漁場（水温）情報、漁獲情報などの漁業情報、さらにサケ・マスの生物情報を基礎にした資源量推定やその検証は、日本ではほとんど行なわれていない。

今回著者らは、資源現存量の推定を行なう上でサケ・マスの“種の生活”に基づく生態的なパターンに、サケ・マス漁業生産活動をシステム・モデル化し、サケ・マス資源量管理と漁業生産管理を質的・量的に統一しては握る目的で、漁業生産の対象であるサケ・マスとその生産手段をシステムの

* 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練習船おしよ丸
(Training Ship "Oshoro Maru", Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

に解析し、この結果の検証を含めて判断する方法を研究していこうとする。したがって、それにはまずサケ・マス資源現存量を量的には握しようとする観点から、魚探技術による直接的なサケ・マス個体群に関する情報取得を主要な側面とし、資源量の動態をシステム・モデル化する全面的な解析法が必要となる。

本研究にあたり、有益な御指導と御助言をいただいた本学部石田教授に深甚の謝意を表する。なお、本文中資料分析にあたり北海道大学水産学部海洋調査漁業試験要報第16号および第19号を引用した。

魚探情報から資源量を推定する観測システム

魚探機で取得した魚探情報 (echo pattern と echo trace) を基礎にしてサケ・マス資源現存量を推定する場合、観測システムの目標を明確にしなければならない。現在までは、サケ・マス漁業生産に必要な漁業情報取得の一分野として、サケ・マス探知を主目的とした魚探技術の開発・研究が行なわれてきた。

しかし、サケ・マス資源の合理的有効利用を目途とした漁業規制が国際的な世論となりつつある今日、サケ・マス資源現存量を精確には握するための情報の取得が先決問題である。

この情報取得のため魚探技術を使用して、サケ・マス個体数を直接計測し相対的に資源現存量の推定を可能にする観測システムを研究する。図1にサケ・マス資源現存量推定のための観測システムの模式図を示す。

この観測システムはサケ・マス資源・漁業管理という社会的な要請に答えるために、その第一段階として、とくに魚探技術情報を使用する。したがって、観測対象であるサケ・マス個体数から資源量に関する情報を抽出し、さらに漁業諸情報を加えて総合的論理的な判断を行ない、結果の検証を含めて自動的に管理することを目標としている。またこのシステムは、観測者の判断が観測目標にフィードバックされるので誤差の量が問題となり、この誤差がサケ・マス資源現存量の推定における相対的評価を行なう上で、極めて重要な課題である。

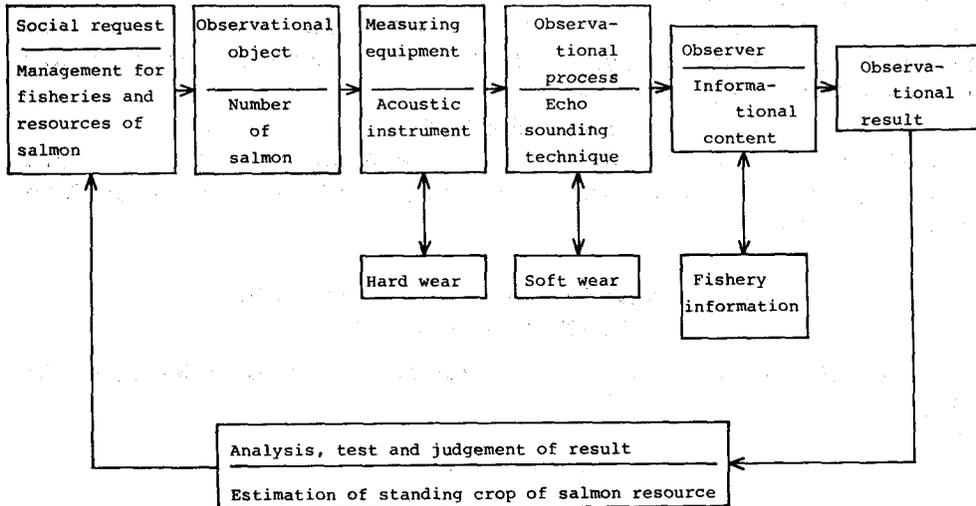


Fig. 1. Diagram showing an observation system for estimating the standing crop of the Pacific salmon resources.

サケ・マス資源量の動態モデル

サケ・マスの発育段階、あるいは淡水・海洋生活期の成長段階において“種の生活”は質的に異なる

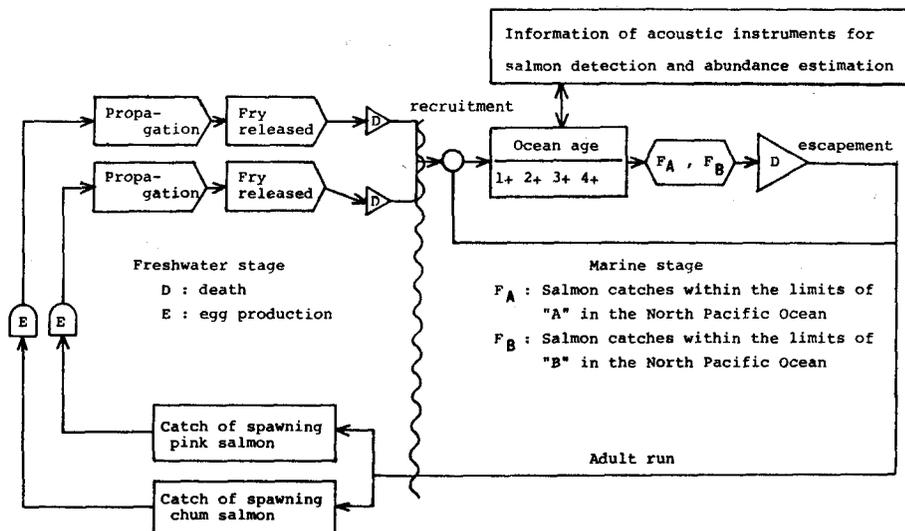


Fig. 2. Showing the model for simulation of the Pacific salmon population dynamics.

る生態の特徴を有している。また、サケ・マス漁業生産は日・ソ漁業条約、日・米・加漁業条約で規制された漁期間、A区域漁場で母船式流し網漁業、B区域漁場、日本海漁場で流し網、延縄、定置網などの漁具・漁法によって漁獲されている。このためサケ・マス資源現存量は、漁獲による資源量の減少、自然死亡、外敵による食害など、サケ・マス個体数は時間的に変動している。この動態を示すシステム・モデルを図2に示す。

サケ・マス個体数の変動は、サケ・マスのそ河性という種固有の習性に基づき、日本の河川内成熟魚採捕数、採卵数、ふ出尾数、放流尾数などの資料²⁾、またサケ・マス漁獲量は、魚種別、漁業種類別、漁場別の資料³⁾などが発表されている。

これらの資料によって、サケ・マス資源量の動態に関するシステム・モデルをつくり、そのモデルで伝達要素の black box に相当する部分は、サケ・マス海洋生活期であり、このシステム全体は closed system と考えられ、これに図1の観測システムを関連させ解析すれば、サケ・マス資源量の評価に有力な手法となる。

サケ・マス資源量の動態におけるシステム・モデルの解析 海洋生活期におけるシステム解析

サケ・マス漁場で、ある時点 t におけるサケ・マス個体数を $N(t)$ とすれば、個体数力学で連続の法則⁴⁾により

$$\frac{d}{dt} N(t) = Q_1(t) - Q_2(t) \quad (1)$$

ここで、 $Q_1(t)$ は漁場に回遊するサケ・マス個体群の来遊率で、 $Q_2(t)$ は同漁場から逃避する逃避率でそれらの単位は(個体数/時間)である。

サケ・マスの資源現存量の推定は、ある漁場で漁期間操業すると仮定し、サケ・マス個体数の計数を基礎として行なうが、サケ・マスの“種の生活”の周期から、時間を年令単位とした動態としては握る方が合目的である。

魚探機から得られる情報は、現時点で改良すべき技術上の諸問題点を含むが、資源量推定のためサケ・マス魚探情報から密度 ρ_e を求め、 $N(t)$ を推定する。

サケ・マスは、幼稚魚期に降海して海洋生活期に入るので、来遊率 $Q_1(t)$ は毎年の降海幼魚数 (B) に換算でき、逃避率 $Q_2(t)$ は漁獲死亡数 (F) と自然死亡数 (D) とそ上親魚数 (E) の総和に換算できる。

サケ・マスのある年級群を漁場や漁期に関係なく、北太平洋という海域に生息すると仮定すると、 $Q_1(t)$ と $Q_2(t)$ をそれぞれサケ・マスの生体重量に換算し単位時間当りの来遊量とした方が便利である。すなわち

$$\frac{d}{dt} N(t) = B - [F + D + E] \quad (2)$$

(2) 式がサケ・マスの個体数を変数にとった状態方程式であり、この部分のモデルは海洋生活期を伝達要素とした open system である。

また、沿岸漁場に来遊するサケ・マスは産卵親魚としてそ上間近いものが多い。したがって、沿岸の定置網で漁獲されるサケ・マス個体数は、精度よく計数可能となり、産卵のためそ上する逃避魚は産卵親魚として河川内で捕獲される。この定置漁場の魚探情報はほとんどない。

サケ・マスの生物再生産に関するシステム解析

サケ・マスはそ河性という習性を有する魚類なので、産卵親魚は河川にそ上する。とくに北海道の河川に入ったシロサケのほとんど 100% は人工ふ化用として採捕され、産卵後は死亡する。サケ・マスの再生産に関する技術は、近年向上し人工ふ化、放流尾数は共に増加している。また、システム・モデルとして人工放流稚魚数は、既知の入力要素として作用し、産卵親魚は全部死亡するので生物再生産のシステムでフィードバックする個体数はない。すなわちサケ・マスの採卵、ふ化、稚魚放流という生物再生産過程は、カスケード結合で情報が伝達され、したがって $Q_1(t)$ は精度よく計数可能である。

資源現存量推定におけるシステム・モデルの数値解析例

サケ・マス資源現存量 $M(t)$ をサケ・マス個体群の生活年周期を単位としてシステム・モデル化し、その動態を数量的に解析し試算した。数値解析例として 1974 年をとり、1964 年から 1973 年の 10 年間わが国の北太平洋 A, B 海域およびその他の海域における魚種別、サケ・マス漁獲量を図 3 に示す。また、サケ・マスの生物再生産に関する資料を表 1 に示す。人工ふ化、放流した稚魚は、発育成長し、図 4 に示すごとく⁵⁾

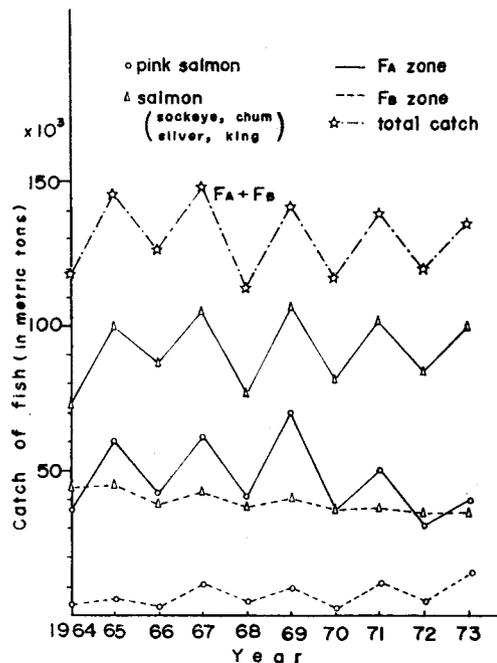


Fig. 3. Pacific salmon catches in Japan for the years 1964 through 1973 in number of fish (thousand).

Table 1. *Examples of total catches and fry productions*

Year	1964	1965	1966	1967
Total catch of river of Chum salmon in thousands (Japan)	739	914	584	734
Catch per biomass yield in metric tons 3.5 kg/fish	2,552	3,199	2,044	2,569
Catch of river of Pink salmon in thousands (Hokkaido)	46	39	49	47
Catch per biomass yield in metric tons 1.7 kg/fish	78	66	83	80
Total No. of fry released of Chum salmon in thousands	474,038	659,114	468,505	595,967
No. of fry released of Pink salmon in thousands (Hokkaido)	14,981	17,592	11,273	28,083

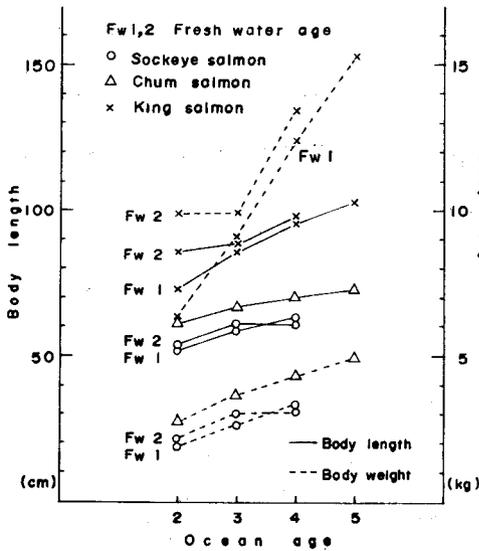


Fig. 4. Curve of average growth of salmon in the U.S.S.R.

平均体重は増加し、したがって資源量の生体重量も増加する。ここで表1の資料は個体数であり、図3の資料は、漁獲量を生体重量(トン)で示しているので図4を使用し個体数を平均生体重量(トン)に換算する必要がある。また、定置網漁業によるサケ類(ベニサケ、シロサケ、ギンサケ、マスノスケを含む)の漁獲量は、ほとんどシロサケとして取扱った。

1974年のサケ・マス資源現存量の推定

サケ・マス資源現存量の動態に関するシステム・モデルで、シロサケの人工放流稚魚数 $s(t)$ およびカラフトマスの人工放流稚魚数 $p(t)$ は表1から、また降海後の成長に伴う資源量増加の生体重量はトン単位に換算し求められる。

海洋生活期のサケ・マスは、魚種によって、また漁場・漁期によって population を

構成する年級群の比率は異なり、漁業生産による資源現存量の変動と共に年級群の構成比率も変化する。サケ・マスの population を構成する個体魚の年齢組成の例を表2に示す。サケ類は、2才魚のシロサケから6才魚のマスノスケまで、カラフトマスは主として2才魚が海洋で生息している。

いま、1974年のサケ・マス資源現存量 $M(t)$ を推定する場合、次の如く考える。

of the Pacific salmon in Japan.

1968	1969	1970	1971	1972	1973
351	702	775	1,090	843	835
1,229	2,457	2,713	3,917	2,951	2,923
66	103	43	274	50	202
112	175	73	466	85	343
323,630	501,107	586,771	788,450	700,748	716,733
21,469	64,556	15,873	139,687	20,390	89,091

Table 2. Percentage of average catches in each age group in 1974 by Oshoro Maru.

Species of salmon	Age										
	1+	2+	3+	4+	5 ₁ +	5 ₂ +	5 ₃ +	6 ₂ +	6 ₃ +	6 ₄ +	7 ₃ +
Chum (%)	0	2.6	86.8	10.5							
Sockeye (%)	3 ₁ +	4 ₁ +	4 ₂ +	4 ₃ +	5 ₁ +	5 ₂ +	5 ₃ +	6 ₂ +	6 ₃ +	6 ₄ +	7 ₃ +
	0.3	0	4.5	0	0.1	19.6	58.3	0.3	14.9	1.1	0.5
Silver (%)		2 ₁ +	3 ₂ +	4 ₃ +							
		0	0	0							
King (%)	3 ₁ +	4 ₁ +	4 ₂ +	5 ₁ +	5 ₂ +	6 ₁ +	6 ₂ +				
	0	0	0	0	0	0	0				
Pink (%)	1+										
	100										

1973年にサケ・マスの人工放流した稚魚が生残して降海した幼魚数を $B(t-1)$ とすれば

$$B(t-1) = \alpha \cdot s(t-1) + \beta \cdot p(t-1) \quad (3)$$

ここで、 $s(t-1)$ は1973年に放流したシロサケ稚魚数

$p(t-1)$ は1973年に放流したカラフトマス稚魚数

α はシロサケ稚魚の河川における生残率、ただし $0 < \alpha < 1$

β はカラフトマス稚魚の河川における生残率、ただし $0 < \beta < 1$

同様に1972年のサケ・マスの降海幼魚数を $B(t-2)$ とすれば

Table 3. Number of Chum salmon and Pink salmon as the assumption

Year		1964		1965		1966		1967		1968	
Species of salmon	(%)	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P
No. of fry released (in thousands)		474,038	14,981	659,114	17,592	468,505	11,273	595,987	28,083	323,630	21,469
	$\alpha = \beta = 50$	237,019	7,491	329,557	8,796	234,253	5,637	297,984	14,042	166,815	10,735
No. of survivals for two-year-olds (in thousands)	D= 10			213,317	6,742	296,601	7,916	210,828	5,073	268,186	12,658
	20			189,615	5,993	263,646	7,037	187,403	4,510	238,387	11,254
	30			165,913	5,244	230,690	6,153	163,977	3,946	208,589	9,829
	40			142,211	4,495	197,734	5,278	140,552	3,382	178,790	8,425
	50			118,510	3,746	164,779	4,398	117,127	2,819	148,992	7,021
	60			97,808	2,996	131,823	3,518	93,701	2,255	119,194	5,617
No. of survivals for three-year-olds (in thousands)	D= 10					191,985		266,941		189,745	
	20					151,692		210,917		149,922	
	30					116,139		161,483		114,784	
	40					85,327		118,640		84,331	
	50					59,255		82,390		58,564	
	60					39,123		52,729		37,480	
No. of survivals for four-year-olds (in thousands)	D= 10							172,787		240,247	
	20							121,354		168,733	
	30							81,297		113,038	
	40							51,196		71,184	
	50							29,628		41,195	
	60							15,649		21,092	
No. of survivals for five-year-olds (in thousands)	D= 10									155,508	
	20									97,083	
	30									56,908	
	40									30,718	
	50									14,814	
	60									6,260	
70									1,920		

S: Chum salmon P: Pink salmon D: Mortality rate (%)
 β : Survival rate of fry Pink salmon released in rivers (%)

$$B(t-2) = \alpha \cdot s(t-2) + \beta \cdot p(t-2)$$

1971年のサケ・マスの降海幼魚数を $B(t-3)$ とすれば

$$B(t-3) = \alpha \cdot s(t-3) + \beta \cdot p(t-3)$$

1970年のサケ・マスの降海幼魚数を $B(t-4)$ とすれば

$$B(t-4) = \alpha \cdot s(t-4) + \beta \cdot p(t-4)$$

となる。ここで α, β はサケ・マス稚魚の河川内での生残率で年変動はないと仮定し、カラフトマスは $p(t-2)$ 才以上、サケ類は $s(t-7)$ 才魚以上海洋で生息していないし、とくに日本ではシロサケが主なので $s(t-5)$ 才以上は再生産に寄与せず、 $M(t)$ の推定には考慮する必要はない。

次に1974年のサケ・マス海洋生活期における漁獲量、前年の産卵親魚の河川内採捕量、自然死亡量(食害を含む)など資源現存量 $M(t)$ からの減損量(屯)を $Q_2'(t)$ とすれば

$$Q_2'(t) = F(t) + D(t) + E(t) \tag{4}$$

ここで、 $F(t)$ は1974年のサケ・マス総漁獲量(屯)

$D(t)$ は1974年のサケ・マス自然死亡量(屯)

of various mortalities in Japan from 1964 to 1973.

1969		1970		1971		1972		1973		1974		1975		1976	
S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P
501,107	64,556	586,771	15,873	788,450	139,687	700,748	20,390	716,733	89,091						
250,554	32,278	293,386	7,937	394,225	69,844	350,374	10,195	358,367	44,546						
150,134	8,662	225,499	29,050	264,047	7,143	354,803	62,860	315,337	9,176	322,530	40,091				
133,452	8,588	200,443	25,822	234,709	6,350	315,380	55,875	280,299	8,156	286,694	35,637				
116,771	7,516	175,388	22,596	205,370	5,556	275,968	48,891	245,262	7,137	250,857	31,182				
100,089	6,441	150,332	19,387	176,032	4,762	236,535	41,906	210,224	6,117	215,020	26,728				
83,408	5,368	125,277	16,139	146,693	3,969	197,113	34,922	175,187	5,098	179,184	22,273				
66,726	4,394	100,222	12,911	117,354	3,175	157,690	27,938	140,150	4,078	143,347	17,818				
50,045	3,221	75,166	9,683	88,016	2,381	118,268	20,953	105,112	3,059	107,510	13,364				
241,368		135,121		202,949		237,642		319,323		283,803					
190,710		106,762		160,354		187,767		252,304		224,024					
146,012		81,740		122,773		143,759		193,171		171,683					
107,274		60,053		90,199		105,619		141,921		126,134					
74,496		41,704		62,639		73,347		98,557		87,594					
47,678		26,690		40,089		46,942		63,076		56,060					
26,819		15,014		22,550		26,405		35,480		31,534					
170,771		217,231		121,609		182,654		213,878		287,390		255,423			
119,938		152,568		85,409		128,284		150,214		201,843		179,219			
80,349		102,209		57,218		85,940		100,631		135,219		120,178			
50,599		64,364		36,032		54,120		63,372		85,153		75,681			
29,282		37,248		20,852		31,319		36,673		49,278		43,797			
14,992		19,071		10,676		16,036		18,777		25,230		22,424			
6,325		8,046		4,504		6,765		7,921		10,644		9,460			
216,222		153,694		195,508		109,448		164,389		192,490		268,651		229,880	
134,986		95,950		122,054		68,327		102,627		120,171		161,474		143,375	
79,127		56,244		71,546		40,053		60,158		70,442		94,653		84,125	
42,710		30,359		38,618		21,619		32,472		38,023		51,092		45,409	
20,598		14,641		18,624		10,426		15,660		18,337		24,639		21,899	
8,437		5,997		7,628		4,270		6,414		7,511		10,092		8,970	
2,697		1,898		2,414		1,350		2,030		2,376		3,193		2,838	

a: Survival rate of fry Chum salmon released in rivers (%)

$E(t)$ は 1974 年の河川採捕のサケ・マス産卵親魚量 (吨)

となり、資源現存量 $M(t)$ は

$$M(t) = Q_1'(t) - Q_2'(t) = [M(t-1) + B(t)] - [F(t) + D(t) + E(t)] \quad (5)$$

から推定可能である。

海洋生活期のサケ・マスの population は、魚種によって各年級群の構成比率が相異なるゆえ、動態のシステム・モデルでは減損量以外のサケ類の年級群は、フィードバックし年令が 1 才ふえて $Q_1'(t)$ に加わる。したがって

$$Q_1'(t) = \alpha \cdot s(t) + \beta \cdot p(t) + C_1 \cdot s(t-1) + C_2 \cdot s(t-2) + C_3 \cdot s(t-3) + C_4 \cdot s(t-4) + C_5 \cdot p(t-1) \quad (6)$$

ここで、サケ類は主としてシロサケをとり

C_1 は 1973 年に放流した稚魚が、降海し 1974 年まで生残したシロサケの生残率

C_2 は 1972 年に放流した稚魚が、降海し 1974 年まで生残したシロサケの生残率

C_3 は 1971 年に放流した稚魚が、降海し 1974 年まで生残したシロサケの生残率

C_4 は 1970 年に放流した稚魚が、降海し 1974 年まで生残したシロサケの生残率

C_5 は 1973 年に放流したカラフトマスの稚魚が、1974 年まで生残した生残率

Table 4. Biomass yields (in metric tons) of Chum salmon and Pink salmon

Year		1965		1966		1967		1968		1969	
Species of salmon	(%)	S	P*	S	P	S	P	S	P	S	P
Biomass yields for two-year-olds weight factor=2.7	D= 10	575,956	9,135	800,823	10,726	569,236	6,874	724,102	17,124	405,362	13,092
	20	511,961	8,121	711,844	9,535	505,988	6,111	643,645	15,222	360,320	11,637
	30	447,965	7,106	622,863	8,343	442,738	5,347	563,190	13,318	315,282	10,183
	40	383,970	6,091	533,882	7,152	379,490	4,583	483,003	11,416	270,240	8,728
	50	319,977	5,076	444,903	5,959	316,243	3,820	402,278	9,513	225,202	7,274
	60	264,082	4,060	355,922	4,767	252,993	3,056	321,824	7,611	180,160	5,818
	70	191,986	3,045	266,941	3,576	189,745	2,291	241,367	5,709	135,122	4,364
Biomass yields for three-year-olds weight factor=3.0	D= 10			575,955		800,823		569,235		724,104	
	20			465,508		632,751		449,766		572,130	
	30			348,417		484,450		344,352		438,036	
	40			255,981		355,920		252,993		321,822	
	50			177,765		247,170		175,693		223,488	
	60			117,369		158,187		112,440		143,034	
	70			63,996		89,880		63,249		150,135	
Biomass yields for four-year-olds weight factor=3.5	D= 10					604,755		840,865		597,699	
	20					424,739		590,566		419,783	
	30					284,540		395,633		281,222	
	40					179,186		249,144		177,097	
	50					103,698		144,183		102,487	
	60					54,772		73,822		52,472	
	70					22,400		31,465		22,138	
Biomass yields for five-year-olds weight factor=2.9	D= 10							450,973		627,044	
	20							281,541		391,459	
	30							165,033		229,468	
	40							89,082		123,859	
	50							42,961		59,734	
	60							18,154		24,467	
	70							5,568		7,821	

* weight factor of Pink salmon=1.4

Table 5. Estimation of the standing crop of the Chum salmon and Pink salmon

Year		1965		1966		1967		1968		1969	
Species of salmon	D (%)	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P
Estimation of the standing crop of Chum salmon resources (in metric tons)	10		9,135	1,376,778	10,726	1,974,814	6,874	2,585,175	17,124	2,354,209	13,092
	20		8,121	1,177,352	9,535	1,743,494	6,111	1,965,518	15,222	1,543,692	11,637
	30		7,106	971,280	8,343	1,211,728	5,347	1,468,208	13,318	1,264,008	10,183
	40		6,091	789,863	7,152	914,596	4,583	1,074,222	11,416	893,018	8,728
	50		5,076	622,668	5,959	667,111	3,820	765,114	9,513	610,911	7,274
	60		4,060	473,291	4,767	465,952	3,056	526,240	7,611	400,133	5,818
	70		3,045	330,937	3,576	302,025	2,291	341,649	5,709	315,216	4,364
Total catch of river salmon* in thousands (in metric tons)		914	36	584	49	734	47	465	66	681	103
		3,199	66	2,044	83	2,569	80	1,229	112	2,457	175
High sea fisheries and coastal catch (in metric tons)		79,263	66,399	80,564	46,065	77,574	70,845	67,256	46,534	66,957	74,352
Total catch of Japan (in metric tons)		82,462	66,465	82,608	46,148	80,143	70,925	68,485	46,646	69,414	74,527

* Data of the Hokkaido Salmon Hatchery

佐野・安間：魚探機によるサケ・マス資源現存量の推定 -II

as the assumption of various mortalities in Japan from 1965 to 1974.

1970		1971		1972		1973		1974		1975		1976	
S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P
608,847	39,363	712,927	9,679	957,968	85,175	851,410	12,433	870,831	54,323				
541,196	34,989	633,714	8,604	851,526	75,711	756,807	11,051	774,074	48,288				
473,548	30,616	554,499	7,528	745,087	66,247	662,207	9,671	677,314	42,252				
405,896	26,242	475,286	6,453	638,645	56,783	567,605	8,289	580,554	36,216				
338,248	21,868	396,071	5,378	532,205	47,319	473,005	6,908	483,797	30,180				
270,599	17,494	316,856	4,302	425,763	37,856	378,405	5,526	387,037	24,143				
202,948	13,120	237,643	3,226	319,324	28,391	283,802	4,145	284,877	18,108				
405,363		608,835		712,926		957,969		766,268					
320,286		481,062		563,301		756,912		604,865					
245,220		368,316		431,277		579,513		515,049					
180,159		270,597		316,857		425,763		378,402					
125,112		187,917		220,041		295,671		262,782					
80,070		120,267		140,826		189,228		168,180					
45,942		67,650		79,215		106,440		94,602					
760,309		425,632		639,289		748,573		1005,865		893,981			
533,988		298,932		448,994		525,749		706,451		627,267			
357,732		200,263		300,790		352,209		473,267		420,623			
225,274		126,112		189,420		221,802		298,036		264,884			
138,368		72,982		109,617		128,356		172,473		153,290			
66,749		37,366		56,126		65,720		88,305		78,484			
28,161		15,764		23,678		27,724		37,254		33,110			
445,713		566,973		317,399		476,728		558,221		750,088		666,652	
278,255		353,957		198,148		297,618		348,496		468,275		415,788	
163,108		207,483		116,154		174,458		204,282		274,494		243,963	
88,041		119,992		62,695		94,169		110,267		148,167		131,686	
42,459		54,010		30,235		45,414		53,119		71,453		63,507	
17,391		22,121		12,383		18,601		21,782		29,287		26,013	
5,504		7,001		3,918		5,887		6,890		9,260		8,230	

resources as the assumption of various mortalities in Japan from 1965 to 1974.

1970		1971		1972		1973		1974		1975		1976	
S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P
2,220,232	39,363	2,314,367	9,679	2,627,582	85,175	3,034,680	12,433	3,201,185	54,323	1,644,069		666,652	
1,673,725	34,989	1,787,665	8,604	2,061,969	75,711	2,337,086	11,051	2,433,886	48,288	1,095,542		415,788	
1,239,608	30,616	1,330,561	7,528	1,593,308	66,247	1,768,387	9,671	1,869,912	42,252	695,117		243,963	
899,370	26,242	983,987	6,453	1,207,617	56,783	1,309,339	8,289	1,367,259	36,216	413,051		131,686	
644,189	21,868	710,980	5,378	892,098	47,319	942,446	6,908	972,171	30,180	224,743		63,507	
434,809	17,494	496,610	4,302	635,098	37,856	651,954	5,526	665,304	24,143	107,751		26,013	
281,655	13,120	328,058	3,226	426,135	28,391	423,853	4,145	423,623	18,108	42,370		8,230	
670	43	1,119	274	664	50	792	202						
2,713	73	3,917	466	2,951	85	2,923	343						
79,434	38,462	78,910	60,389	84,152	35,449	81,706	54,303						
82,147	38,535	82,827	60,855	87,103	35,534	84,629	54,646						

カラフトマスは海洋生活期2年以上生息するものではなく、 α, β は当才魚のサケ・マス生残率で推定し、 C の値は漁獲量中の魚種別年令組成から推定する。当才魚は体長・体重共に小さいため生体重量は少なく、その上魚探情報はほとんどない。2才魚になって魚探情報として取得可能な個体群もあるが、echo traceの計数は困難である。

放流したサケ・マス稚魚が河川での生残率を50%と仮定し、1964年から1973年の10年間、海洋生活中のサケ・マスの同一年級群の自然死亡率(D)を毎年10, 20, 30, 40, 50, 60, 70%の同率と仮定して生残数(Q)を試算し、その結果を表3に示す。表3から1964年に放流された稚魚は、1965年に2才魚となり順次海洋生活をおくり、1968年に5才魚となりほとんどそ上するが、1965年から1968年までの各年の自然死亡数と漁獲死亡数を差引いた個体数が資源現存数となる。

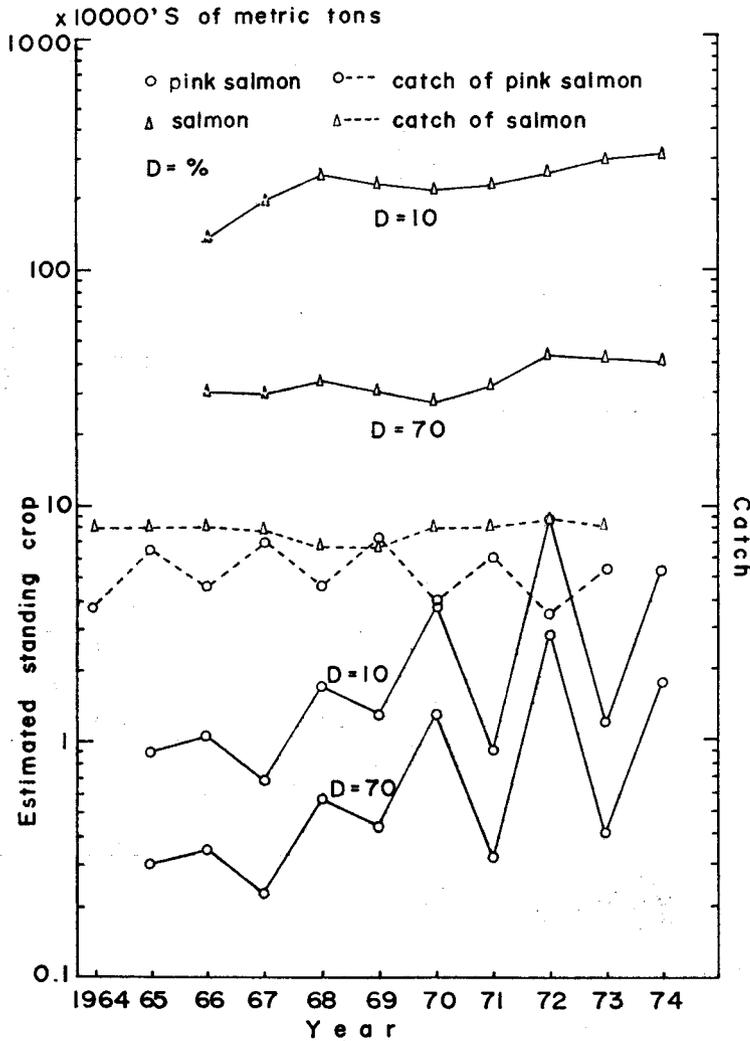


Fig. 5. Estimated annual numbers of standing crop and catches of the Pacific salmon in Japan from 1964 to 1974.

表3のサケ・マス個体数に各年令の平均体重 (weight factor) を乗ずれば、生体重量 (屯) として現存量は計算可能である。この場合 weight factor は、海洋調査漁業試験要報第16号⁶⁾の資料から求めた。シロサケ2才魚の平均値は2.7kg/尾^{*}、3才魚は3.0kg/尾、4才魚は3.5kg/尾、5才魚は2.9kg/尾、カラフトマスは2才魚で1.4kg/尾として計算し、当才魚の生体重量は資料がなく、また魚体は小型なので省略し、その結果を表4に示す。サケ・マスの同一年級群で、各年令における毎年の自然死亡率 (D) を仮定し試算した資源現存量の推定値を表5に示す。

日本のサケ・マス漁獲量には、ベニサケ、シロサケ、ギンサケ、マスノスケの各魚種とカラフトマスを含むが、今回の資源現存量のシステム・モデルでは、日本の放流はシロサケなのでサケ類の漁獲は主にシロサケと仮定し、表5に基づいた結果を図5に示す。したがって、他魚種が含まれると現存量推定上誤差となって表われる。

また、海洋生活中に漁獲による死亡がないと仮定し、自然死亡率 (D) を毎年30%と仮定すれば、回帰率 (R) は13%、 $D=40\%$ で $R=7\%$ 、 $D=50\%$ で $R=4\%$ 、 $D=60\%$ で $R=3\%$ 、 $D=70\%$ で $R=2\%$ となる。当然、海洋生活中に漁獲されるので、回帰率はさらに小さくなる。

ここで魚探情報によって、サケ・マスの echo trace を計測し密度を求め資源現存量の推定と同時に自然死亡率と漁獲死亡率を統一して検証・判断することになる。1974年のアンドレアノフ諸島沖における予備実験で、おしよ丸で取得した魚探情報と漁業情報によるサケ・マス資源現存量の推定では、実験点におけるサケ・マスが、どこの河川にそ上するかの予想がつけ難く、今回は魚探情報による現存量推定の資料として使用せず、比較・検討の対象にしなかった。

サケ・マスのそ河性という習性から、資源現存量推定のためのシステム・モデルに、日本、ソ連邦、カナダ、アメリカなどの情報を附加すれば、より高精度な推定が可能となろう。

考察と要約

魚探機で取得したサケ・マス魚探情報から、資源現存量を推定する場合、資源量の動態をシステム・モデル化し、closed system として入力と出力から $M(t)$ を試算する方法を検討した。このシステム・モデルの方法で、現存量の概算精度を向上させるため、研究目的に適合した有効な資料を積み上げ、迅速に資源現存量を試算し、サケ・マス資源管理とその漁業管理に役立つようにする必要があり、以下に今後研究すべき諸問題点について述べる。

1) 魚探機で取得した echo pattern からサケ・マスの echo trace と他の反射体との識別は、魚探技術の発展と共に可能になりつつあるが、しかしサケ類とカラフトマスは echo trace から現時点では識別困難であり、さらにサケ類の魚種別年令組成に関する情報の取得は魚探情報だけでは、ほとんど不可能である。ただ、操業点における魚探情報からサケ・マスの現場密度の計測は可能であり、この計測精度の向上のため魚探技術の改良が必要であり、将来コンピュータと結合した自動計数装置の開発が必要である。

2) サケ・マスの生物再生産に関する統計資料および魚種別、漁業種別漁獲統計資料の迅速な整備が必要である。

3) 資源現存量の概算精度をさらに向上させるため、生物調査 (種の生活の実体把握) と共に、魚種別漁獲量、自然死亡量、population の年令組成などの資料を可及的に整備し、システム・モデルにおける各係数 ($\alpha, \beta, C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$) および D の推定値の誤差を少なくする。

4) サケ・マス資源現存量の動態に関するシステム・モデルで入力 $Q_1'(t)$ は日本の統計資料を使用し、一部ソ連邦の資料を使用して試算したが、さらにソ連邦、アメリカ、カナダなど国際的な協力の下に資料の整備・集積を行ない、さらに合目的なシステム・モデルを検討し、資源現存量の概算

* ソ連極東サケ・マス生物統計資料 1974年12月 日本さけ・ます資源研究調査会

精度をあげ魚探情報から試算した現存量とシステム・モデルから推定した現存量を比較検討し、その精度を向上させる。

5) 魚探技術をさらに改良し、多数船の魚探情報、漁業情報から総合的に判断し、より精度の高い現場密度の算出と、その海域から現存量の概算、システム・モデルによる資源量動態のは握と数量的な検証、評価を行なう上で有効な情報の取得が必要であり、またモデルの係数、自然死亡率のチェックのためシステム・シミュレーションをする必要がある。

文 献

- 1) 安間 元・佐野典達 (1975). 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. 北大水産彙報 26, 137-153.
- 2) 水産庁・北海道さけ・ますふ化場 (1975). さけ・ます再生産実績数.
- 3) 農林省農林経済局統計情報部 (1975). 漁業養殖業生産統計年報.
- 4) 高橋安人 (1972). 個体数の力学と制御. 計測と制御 11, 36-43.
- 5) 日本さけ・ます資源研究調査会 (1974). ソ連極東サケ・マス生物統計資料.
- 6) 北大水産学部 (1973). 海洋調査漁業試験要報 16.