

日本海におけるスルメイカの資源解析 (秋生まれ群の再生産モデルと M S Y)

安 達 二 朗

(島根県水産試験場)

はじめに

数理資源研究には 2 つの系列がある。1 つは GRAHAM (1939), SCHAFER (1954) に代表される系列で、これは資源の増加様式が Sigmoid 曲線に従うという仮定からモデルが作られている。他の 1 つは漁獲によって資源の大きさがどのように変化するかを問題とするもので、BARANOV (1918), RUSSELL (1942) に基づいて、BEVERTON and HOLT (1957) が作った漁獲対象になっている資源の変動を表わすモデルの系列である。

これらの 2 つの系列を比較した場合、Sigmoid 曲線理論よりも現象を支配する変動要因とそれに含まれる生物学的パラメータを導入して研究する BEVERTON and HOLT (1957) の方が優れていると筆者は考えている。

以上の 2 つの系列を概観すると、資源変動、資源管理の数学的モデルには次のような特徴があると思われる。1 つは、資源の変動が密度依存的であり、加入量は密度依存的に変化するという仮定が前提となっている。2 つは、資源の変動を起こす要因は漁獲の力だけであり、漁業が働かない時は、資源は限界値で平衡状態にある。3 つは、その限界値は環境条件によって決ってしまうというものである。

筆者はこれらの観点から日本海におけるスルメイカ秋生まれ群について、資源解析を試みた。スルメイカのように浮魚的性格の強いものに対して機械的に数学モデルに当てはめることが、はたして意味があるのかという疑問も持っているが、近年の日本海におけるスルメイカ漁獲量の減少、C P U E の低下(日本海イカ類研究チーム 1984)は必ずしも自然変動だけによるものとは思われないし、土井・川上(1979)による冬生まれ群資源の減少が乱獲によるとの報告もあることから、秋生まれ群について資源解析することは、それほど無意味であるとは考えられない。ここではスルメイカの系群の分離および秋生まれ群の再生産モデルと M S Y について検討したので報告する。

スルメイカの資源解析における基本的な考え方

スルメイカ資源は漁獲の影響によって変動するとし、その変動の基本模式を次のように考える。

資源の増加(減少)尾数 = 加入による増加尾数 - (自然死亡による減耗 + 漁獲死亡による減耗)

上式の右辺において、加入による増加尾数と死亡尾数が等しければ資源は平衡状態となる。また処女資源の時は加入による増加尾数と自然死亡による減耗が等しいので、資源は限界値で平衡状態にある。

また、加入尾数は次のように示される。

$$\text{加入尾数 (R)} = \text{親魚尾数 (A)} \times \text{再生産率 (K)}$$

この式において、親魚尾数 (A) は漁獲の力によって変化し、再生産率 (K) も親魚尾数 (A) が減少すると復元力が働いて、大きくなる。したがって加入尾数 (R) も変化し、(R) は一定ではなくなる。これらのモードに対する数学的な基本モデルは、生き残りの過程を示す $\frac{dN}{dt} = - (M+F) N$ (生残モデル) と再生産機構を表わす $R=A \cdot K$ (再生産モデル) が適用される (ただし、M: 自然死亡係数、F: 漁獲係数)。

さらに、スルメイカには秋生まれ、冬生まれ、夏生まれの3系群が想定されている (新谷1967) ので、上述の生残モデルを適用するためには系群を定量的に分離する必要がある。ここでは系群を次のように定義した。すなわち、生残とか再生産関係を通じて、系群内での数量変動の方が系群間のそれよりも密接で、系群間では一定の関係を保ちながら各系群が独自に数量変動を示すものである。したがって、遺伝的な差があるかという生物学的な問題は考慮していない。このような考え方から系群の分離の方法と分離された秋生まれ群の生残過程および再生産モデルとMSYについて示していく。

スルメイカ3系群の分離

用いた資料は1984年5～12月までの浜田港における銘柄別漁獲量 (表1) と銘柄別外套長測定記録 (表2) である。浜田港に水揚げするスルメイカ漁船は、長崎県、福岡県の19トン型で、その数は約120隻である。それらの漁船は漁期間中浜田港を基地として山口県、島根県の沿岸からウツリョウ島、竹島、隠岐島、大和堆あたりまでを漁獲行動の範囲としている。これらの漁船の動きはそのまま魚群の北上、南下の様子を反映していることが知られている (安達1980) ので、これに基づくことにより魚群の性状を把握することができる。

浜田港の銘柄は5つあり、季節によって各銘柄の外套長組成は変化する (表2)。そこで、表2に示した各銘柄の月別外套長組成の平均と標準偏差から計算した銘柄-外套長キー (個体数で表わした各銘柄の理論的外套長組成) に、表1の対応する銘柄ごとの漁獲箱数を乗じ、同一外套長階級のものを加算することにより、各月における漁獲物の外套長組成を推定した。得られた漁獲物外套長組成を正規確率紙に画くことにより、多峰性度数分布を構成する各正規分布のおおよその平均と標準偏差を読みとり、これを初期値として、観測度数と理論度数の残差が最小になるまで、くり返し計算することで、理論化された平均値と標準偏差を得た。分離された正規分布は各系群を示すもので、その平均値の季節的推移が示す成長様式を、ALLEN (1966) の方法によりBERTALANFFYの成長式としてまとめた。

図1に、1984年5～12月の浜田港における漁獲物の外套長組成を示した。5月上旬から下旬にかけての漁獲物外套長組成 (図1-a) は正規分布を示す2群が得られ、平均外套長が20.8cmの群と18.2cmの群が混合していることを示している。前者は発生時期の早い夏生まれ群、後者はそれよりも遅い秋生まれ群と判断される。それぞれの正規分布曲線の占める面積は両系群の漁獲尾数を推定するための基礎数値となる。5月下旬から6月上旬 (図1-b) では秋生まれ群の占める割合は大きくなり、夏生まれ群は5月中旬までの組成よりさらにその占有割合を小さくしている。

表1 1984年(5~12月)浜田港における月・旬別銘柄組成

単位:箱, ()内は%

月	銘柄旬	20 尾		25 尾		30 尾		40 尾		50 尾	
5月	上	178	(5.7)	750	(23.9)	1,144	(36.4)	872	(27.8)	197	(6.3)
	中	250	(10.3)	824	(35.5)	944	(41.3)	296	(12.4)	12	(0.5)
	下	2,793	(17.9)	6,722	(43.0)	4,885	(31.3)	1,407	(7.1)	62	(0.7)
6月	上	5,652	(17.2)	14,170	(46.7)	9,631	(30.0)	1,904	(5.8)	107	(0.3)
	中	1,726	(11.8)	8,458	(57.5)	4,270	(29.0)	225	(1.5)	28	(0.2)
	下	8,899	(21.5)	19,474	(46.8)	10,404	(25.0)	2,017	(4.8)	769	(1.9)
7月	上	20,575	(37.5)	21,507	(39.2)	8,894	(16.3)	2,652	(4.8)	1,221	(2.2)
	中	8,935	(56.4)	2,879	(18.2)	2,553	(16.1)	1,215	(7.8)	265	(1.7)
	下	9,862	(47.3)	6,538	(31.4)	2,758	(13.2)	914	(4.4)	770	(3.7)
8月	上	7,884	(58.6)	3,998	(29.7)	899	(6.9)	437	(3.2)	230	(1.7)
	中	3,728	(97.2)	38	(1.0)	56	(1.5)	4	(0.1)	9	(0.2)
	下	831	(63.2)	385	(29.3)	75	(5.7)	7	(0.5)	17	(1.3)
9月	上	2,617	(68.0)	1,101	(28.6)	94	(2.4)	35	(0.9)	0	(0)
	中	2,061	(80.2)	429	(16.7)	59	(2.3)	20	(0.7)	0	(0)
	下	3,425	(78.5)	787	(18.0)	134	(3.1)	13	(0.3)	5	(0.1)
10月	上	3,998	(68.7)	943	(16.2)	782	(13.4)	81	(1.3)	17	(0.3)
	中	1,482	(97.5)	38	(2.5)	0	(0)	0	(0)	0	(0)
	下	388	(87.8)	39	(8.8)	15	(3.4)	0	(0)	0	(0)
11月	上	4,954	(86.9)	678	(11.8)	66	(1.2)	4	(0.1)	0	(0)
	中	393	(84.0)	72	(15.4)	3	(0.6)	0	(0)	0	(0)
	下	3,159	(72.3)	841	(19.3)	318	(7.4)	41	(0.9)	8	(0.1)
12月	上	1,634	(38.8)	1,409	(33.4)	990	(23.4)	178	(4.2)	12	(0.2)
	中	129	(30.3)	88	(20.7)	152	(35.7)	57	(13.4)	0	(0)
	下	1,653	(53.4)	380	(12.3)	711	(23.0)	351	(11.3)	0	(0)

表2 浜田港における銘柄一外套背長 Key

銘柄	20 尾			25 尾			30 尾			40 尾			50 尾										
	5~6月	7~8月	9月10月11~12月	5~6月	7~8月	9月10月11~12月	5~6月	7~8月	9月10月11~12月	5~6月	7~8月	9月10月11~12月	5~6月	7~12月									
9.0-														0.50									
10.0-														2.00									
11.0-														0.15 5.50									
12.0-													0.40	0.97 10.50									
13.0-													0.30	0.77 4.40 0.40									
14.0-													0.27 0.60 0.30	2.42 6.80 2.80									
15.0-													0.90 1.80 1.50	1.70 5.36 8.40 12.00									
16.0-													2.26 3.80 4.80	3.80 8.40 7.60 16.00									
17.0-													0.04	4.23 6.00 8.70 1.56 6.50 9.32 5.30 7.60 16.00 8.80 6.88 0.50									
18.0-													0.20	2.70 1.00 2.00 0.25 0.10 4.23 6.00 8.70 3.60 7.10 7.32 2.80 1.20 1.60 0.40									
19.0-	0.04	0.20	0.20											0.03 0.80									
20.0-	1.18	1.00	0.60											0.17 2.00									
21.0-	6.74	2.40	1.40	0.20										0.40									
22.0-	9.00	4.40	2.40	0.40										1.65 3.83 13.00									
23.0-	2.82	5.20	3.40	1.20	0.24									4.10 9.23 10.50									
24.0-	0.21	4.00	3.80	2.80	4.00	0.02								8.10 13.65 5.50									
25.0-	0.01	2.00	3.40	4.40	2.80	2.80								19.60 10.00 12.37 2.00									
26.0-		0.60	2.40	4.80	1.40									8.80 0.50									
27.0-		0.20	1.40	3.60	0.70									0.02									
28.0-			0.60	1.80	0.20									1.65 0.49									
29.0-			0.20	0.60										0.40 0.06									
30.0-			0.20																				
標本 4	22.2	23.4	24.5	26.2	23.8	20.3	20.8	20.7	23.0	21.0	19.2	18.4	18.0	20.4	18.3	17.3	15.7	16.3	16.9	16.6	15.8	13.5	
本 S	0.83	1.54	2.10	1.64	1.82	1.20	1.12	1.42	1.84	1.27	1.87	1.73	1.27	1.54	1.66	1.70	1.95	0.97	0.70	1.57	1.43	1.51	
の C.V	3.73	6.38	8.57	6.25	7.65	5.91	5.38	6.85	8.00	6.05	9.73	9.40	7.06	7.54	9.07	9.82	12.42	5.95	4.14	9.46	9.05	11.18	
計	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	50.00	50.00

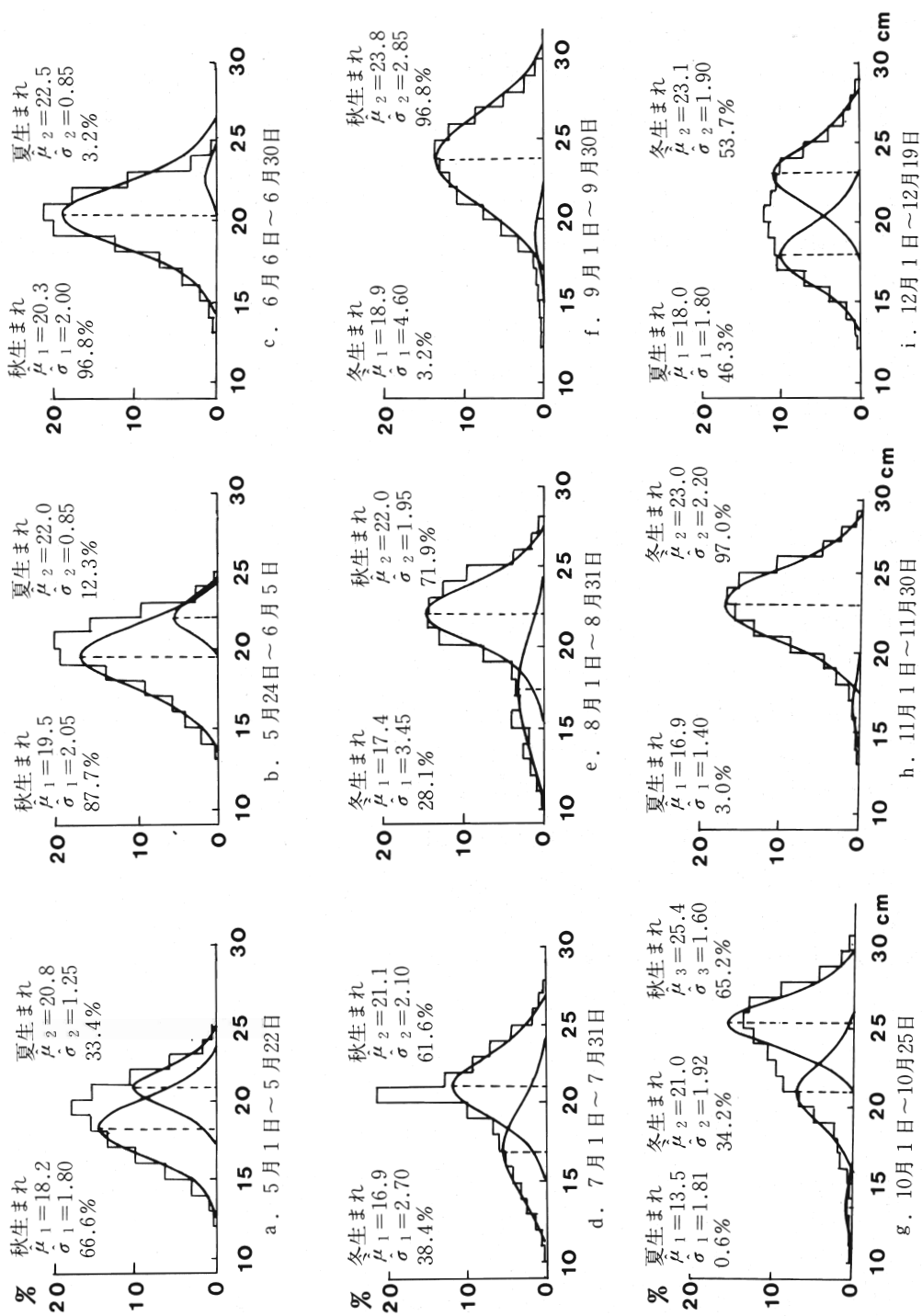


図1 1984年(5～12月)浜田港における漁獲物外套長組成。
横軸は外套長 (cm), 縦軸は頻度 (%)

この傾向は6月においてさらに顕著となり(図1-c), 夏生まれ群は全組成の3%ほどにすぎなくなる。この夏生まれ群の減少傾向は産卵後の死亡(浜部1963)による減耗で, 夏生まれ群が群としては消滅に近づいていることを示している。

7月の組成(図1-d)には, これまで主漁獲対象となっていた秋生まれ群のほかに, 夏生まれ群に代って, 新たに外套長17cmほどの平均を持つ冬生まれ群が加入している。しかし, この冬生まれ群は8月(図1-e)から9月(図1-f)にかけて全組成に占める割合を相対的に低くしている。このことは北方へ回遊する冬生まれ群が, 浜田港を基地とする漁船の漁獲行動の範囲外に移動し, また秋生まれ群の産卵期が近づいたために, 漁船の操業範囲が8月よりも沿岸近くに形成され, 冬生まれ群が漁獲対象外になったことに起因する(安達1987)。

10月(図1-g)では, 新たにその年生まれの夏生まれ群の加入がみられる。したがって1984年の10月は夏生まれ, 冬生まれ, 秋生まれの3系群が時間的にも, 空間的にも重複して分布していることになる。11月の漁獲物外套長組成(図1-h)は, 秋生まれ群が10月で消滅し, 冬生まれ群を主体に一部夏生まれ群が混在していることを示しており, 12月(図1-i)には, この夏生まれ群の占有率が増大していることを表わしている。この時期には, 冬生まれ群は産卵期に入り, 夏生まれ群も越冬のために南下回遊しているため(新谷1967)漁場は沿岸よりに形成されている。

以上の結果をまとめて示したものが表3であるが, この表は見島, ウツリヨウ島, 大和堆海域における3系群の時空的重複状態を各月の平均外套長, 系群の混合割合および漁場位置として示してある。夏生まれ群は翌年6月には平均外套長22.5cmで消滅し, 10月にはその年の夏生まれ群が新しく加入する。前年の秋生まれ群は夏生まれ群とともに, 5月頃から漁獲対象となり, 10月には平均外套長25.4cmになって消滅している。一方, 冬生まれ群は翌年の7月から漁獲対象となり, その年の夏生まれ群とともに12月まで漁獲されている。したがって, どの季節においても, 少なくとも異なる2系群が重複して分布していることになり, このことが日本海西部海域におけるスルメイカの分布構造を示していることになろう。また, 系群の混合割合は秋生まれ群が最大である。

表3に要約した3系群の平均外套長は時間の推移にともなって増大しており, 成長過程を示している。寿命を12ヶ月(新谷1967)として各系群の外套長による成長様式をBERTALANFFYの成長式に適合させたのが表4, 図2の結果である。この結果に示された系群別の成長型は, 秋生まれ>冬生まれ>夏生まれとなっている。このことは伊東(1972)と一致しているので, この項で示した分離の方法と結果はそれぞれ妥当であると考えられる。

これまでの結果から1984年の浜田港における秋生まれ群の月令別漁獲尾数 N を計算し, 表5に示した。5月の漁獲尾数が少ないのは秋生まれ群が完全加入していないためであるが, 6月には加入が完了したものと考えられ, それ以後は指数関数的に減少している様子が見られる。また先述したように季節を通して秋生まれ群の占める割合が最大であること, 漁場の季節的推移から示される秋生まれ群の回遊状況からみて, 6月以降の漁獲尾数の減少は秋生まれ群の生残状態を示している。したがって6月以降の生残曲線は $N=N_0e^{-Zt}$ で示すことができる(ただし, N は月令 t における資源尾数, N_0 は初期資源尾数, Z は全死亡係数である)。対数回帰法によって Z を推定すると $Z=0.786$ が得られる。

表3 1984年見島, ウツリヨウ島, 大和堆海域における3系群の時空的重なり状態

系群	月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
夏生まれ群	産卵回遊										
	索餌回遊										
			33.4	12.3	3.2	死亡		0.6	3.0	46.3	
		M. L 20.8cm	22.0cm	22.5cm				13.5cm	16.9cm	18.0cm	
		旧発生群						新発生群			
秋生まれ群	索餌回遊 (北上)										
	産卵回遊 (南下)										
		66.6	87.7	96.8	61.6	71.9	96.8	65.2	死亡		
		M. L 18.2cm	19.5cm	20.3cm	21.1cm	22.0cm	23.8cm	25.4cm			
冬生まれ群	索餌回遊 (北上)										
	産卵回遊 (南下)										
				38.4	28.1	3.2	34.2	97.0	53.7		
				M. L 16.9cm	17.4cm	18.9cm	21.0cm	23.0cm	23.1cm		
漁場		距岸15~20マイル以内		N36°~38° E131°-30'~137°			N35°-30'~37° E131°-30'~132°-30'		N38°~38°-30' E131°~133°		N36°~37° E131°~132°

○ 内は%

	N	E
見島	34°-46'	131°-08'
浜田	34°-53'	132°-03'
竹島	37°-14'	131°-52'
大和堆	38°-59'	134°-06'

表4 3系群の BERTALANFFY の成長式の母数

系群	l_{∞} s	k s	t_0 s
夏生まれ群	223.2 0.93	0.413 0.1798	1.706 1.0751
秋生まれ群	243.1 1.93	0.484 0.2796	3.541 1.6983
冬生まれ群	230.1 5.07	0.494 0.6418	3.458 3.4254

l_{∞} : 極限外套長 (mm), k : 成長係数,
 t_0 : $l=0$ の時の月齢, s : 標準偏差

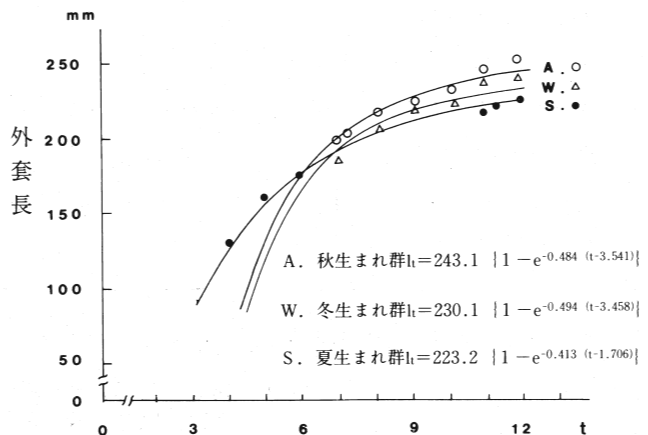


図2 3系群の BERTALANFFY の成長曲線

またスルメイカの自然死亡係数を0.431 (安達1988)とすると, $Z=M+F$ によって漁獲係数 F は0.355と推定される。これらの資源特性値を推定するにあたっては, 本来, 日本海全体の秋生まれ群の月別漁獲尾数が必要であるが, 浜田港の漁獲記録が日本海全体の漁獲量という母集団からの標本になっていると考えられる。

秋生まれ群の再生産モデルとMSY

前項で分離された秋生まれ群の産卵数から演繹的に再生産モデルを作成し, MSYを推定した。再生産モデルの作成にあたっては, RICKER (1958) の仮説を採用した。

図3に秋生まれ群の処女資源で平衡状態である時の月令構成の模式を示した。産卵親魚 A は月令12ヶ月と13ヶ月(皮イカ)を合計したもので, 産卵数 E を17万粒(安達1987)とし, 卵から幼イカまでの生残率を S_1 , 幼イカ以降の月間生残率を S_2 , 性比を1:1(伊東ら1965)とすると, $S_1 \cdot S_2^{12} = 1.1764 \times 10^{-5}$ が成り立つ(安達1987)。また, $S_2 = 0.65$ (安達1987)なので $S_2 = 0.002068$ を得る。すなわち処女資源で平衡状態の時の卵から月令1ヶ月の幼イカまでの自然死亡係数 M_1 は, 6.181, 幼イカ以降寿命までの自然死亡係数 M_2 は0.431となる。図3の中の破線は処女資源の時, 実線は漁業が働いた場合である。

次に持続生産量を計算するために再生産率を検討する。再生産率は卵から幼イカにいたる間の自然

表5 秋生まれ群の月令別漁獲尾数

月令 (t)	暦上の月	漁獲尾数 (N)
7	5	462,039
8	6	2,244,143
9	7	1,411,921
10	8	302,703
11	9	224,678
12	10	110,749

$$\ln N = 20.924 - 0.786t \quad (r = -0.986)$$

Zの95%信頼区間
0.457~1.115

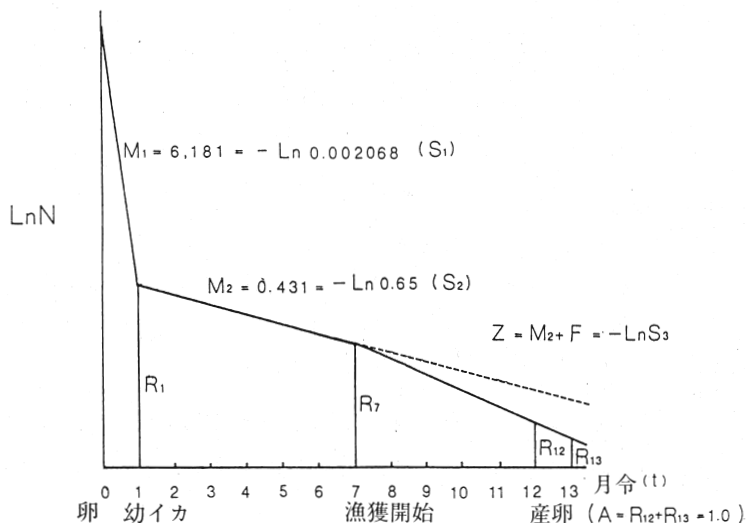


図3 秋生まれ群の月令構成の模式
破線…処女資源の時 (自然状態)
実線…漁業が働いた時

死亡係数，産卵数，成熟月令の関数で示されるが，ここでは秋生まれ群の漁獲開始月令である7ヶ月の段階のものを基準にとって再生産率を定義した。すなわち，再生産率 $K_7 = \frac{R}{A}$ である。ただし R_7 は月令7ヶ月の加入量， A は親魚数で，処女資源の時，1.0とする。図3から幼イカの加入量 R_1 は， $R_1 = \frac{A}{2} \cdot E \cdot e^{-M_1}$ ，月令7ヶ月の加入量 R_7 は， $R_7 = R_1 \cdot S_2^6$ と表わされ，

$$S_2 = \left(\frac{1.1764 \times 10^{-5}}{e^{-M_1}} \right)^{\frac{1}{12}} \text{なので，}$$

$$R_7 = \frac{A}{2} \cdot E \cdot e^{-M_1-6} \left(\frac{1.1764 \times 10^{-5}}{e^{-M_1}} \right)^{\frac{1}{12}} \text{と表わされる。}$$

上述の再生産率の定義により，再生産率 K_7 は，

$$K_7 = \frac{R_7}{A} = \frac{E}{2} \cdot e^{-M_1-6} \left(\frac{1.1764 \times 10^{-5}}{e^{-M_1}} \right)^{\frac{1}{12}} \text{となる。}$$

ここで RICKER (1958) の仮定に従えば，卵から幼イカまでの間に密度効果が働く場合，すなわち $0 < t < 1$ の時， $M_1 = M_2$ ， $M_1 = a + bA$ が成り立ち，パラメータ a は密度効果が働かない時の自然死亡係数で，しかも卵から寿命までの生残率が一定の場合にあたる。したがって $a = 0.431$ となる。また，パラメータ b は処女資源の親魚数 A が1.0の時， $M_1 = 6.181$ であるから， $b = 6.181 - 0.431 = 5.75$ となり， $M_1 = 0.431 + 5.75A$ が得られる。この式を再生産率 K_7 を求める式に代入し，親魚数 A を0.1~1.0まで0.1きざみで変化させながら計算すると，各親魚数の水準に対応した再生産率 K_7 を得る (表6)。一方，土井 (未発表) は $M_1 = a + bA$ において，パラメータ a の値を5.0とし， $M_1 = 5.0 + 1.181A$ として同様の計算を行ない，各親魚数の水準に対応した再生産率 K を計算した (表7)。土井 (未発表) はパラメータ a の値について， $a = 5.0$ では生残率が0.007位で常識的であるとしている。

以上のように $M_1 = a + bA$ という式については2つの例が示されたが，再生産率に対する考え方は，親魚の成熟，産卵，初期減耗，加入までの過程のうちで，初期減耗の問題を加入後の安定した死亡と切り離して，適正な加入量を得る場合にどれ位の産卵親魚数が必要であるかということ課題とし，親魚数と加入量の関係としてとらえていることである。

また，再生産率から持続生産量を求めるまでの計算過程は省略するが，持続生産量 C_s は各親魚数の水準に対応した漁獲対象資源量 N_3 と漁獲率 U を計算し，それぞれの持続生産量 C_s を， $C_s = N_3 \cdot U$ から求めている。(表6，7)。

図4と図5に著者と土井 (未発表) の求めた親魚数と加入量の関係を示した。図4の中に再生産曲線式を示したが，ここで E は産卵数で170,000， R_7 はそれに由来する月令7ヶ月での加入尾数，

$$(0.431 + 5.75A) - 6 \left\{ \frac{1.1764 \times 10^{-5}}{e^{-(0.431 + 5.75A)}} \right\}^{\frac{1}{12}} \text{は死亡係数で親魚数} A \text{に比例する。}$$

$$e^{-(0.431 + 5.75A) - 6 \left\{ \frac{1.1764 \times 10^{-5}}{e^{-(0.431 + 5.75A)}} \right\}^{\frac{1}{12}}} \text{は生残率である。}$$

表6 秋生まれ群の加入量, 再生産率, 資源量, 持続生産量の計算 (漁獲開始月令7ヶ月)

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
A	R ₁	R ₇	K ₇	S ₂	N ₂	S ₃	N ₃	Z	M ₂	F	U	C _s
0.1	3111.0	21.4	214.0	0.436	37.8	0.324	31.6	1.127	0.830	0.297	0.178	5.6
0.2	3502.0	32.3	161.5	0.458	59.3	0.342	49.1	1.073	0.781	0.292	0.179	8.8
0.3	2958.0	36.6	122.0	0.481	70.1	0.359	57.1	1.024	0.732	0.292	0.183	10.4
0.4	2108.0	35.4	88.5	0.506	71.1	0.381	57.1	0.965	0.681	0.284	0.182	10.5
0.5	1572.5	34.5	69.0	0.529	72.4	0.398	57.2	0.921	0.637	0.284	0.187	10.6
0.6	1071.0	30.9	51.5	0.554	68.2	0.424	53.5	0.858	0.591	0.267	0.179	9.6
0.7	714.0	27.5	39.3	0.581	64.2	0.447	49.6	0.805	0.543	0.262	0.179	8.9
0.8	442.0	23.0	28.7	0.611	57.2	0.535	48.8	0.625	0.493	0.132	0.098	4.8
0.9	281.5	19.5	21.7	0.641	51.9	0.610	48.4	0.494	0.445	0.049	0.038	1.9
1.0	227.8	17.2	17.2	0.650	46.7	0.650	46.7	0.431	0.431	0	0	0

- ① 親魚数: 処女資源で平衡状態の時 $A=1.0$
 ② 幼イカ数: $R_1 = \frac{A}{2} \cdot E \cdot e^{-0.431+5.751}$, $E=170,000$ (安達1987)
 ③ 月令7ヶ月の加入尾数: $R_7 = R_1 \cdot S_2^6$
 ④ 再生産率: R_7
 ⑤ 月令1ヶ月以後の生残率: $S_2 = \left| \frac{1.1764 \times 10^{-5}}{e^{-0.431+5.751}} \right|^{\frac{1}{12}}$
 ⑥ 月令7ヶ月以後の加入尾数の合計 (自然状態の時)

$$N_2 = R_7 \cdot \frac{1-S_2^7}{1-S_2} \quad (N_2 = R_7 + R_7 S_2 + R_7 S_2^2 + \dots + R_7 S_2^6)$$

 ⑦ 漁獲開始以後の生残率:
 次世代の親魚数 $R_{12} + R_{13} = R_7 (S_3^5 + S_3^6)$
 次世代の再生産率 $\frac{R_7}{R_{12} + R_{13}} = K = \frac{1}{S_3^5 + S_3^6}$ から S_3 を計算する。 $K=K_7$ の時, 資源は定常的に持続する。
 ⑧ 漁獲開始月令7ヶ月以後の資源量 (漁獲対象資源量):

$$N_3 = R_7 \cdot \frac{1-S_3^7}{1-S_3} \quad (N_3 = R_7 + R_7 S_3 + R_7 S_3^2 + \dots + R_7 S_3^6)$$

 ⑨ 全死亡係数: $Z = -\ln S_3$
 ⑩ 自然死亡係数: $M_2 = -\ln S_2$
 ⑪ 漁獲係数: $F = Z - M_2$
 ⑫ 漁獲率: $U = \frac{F}{Z} (1 - S_3)$
 ⑬ 持続生産量: $C_s = N_3 \cdot U$

表7 秋生まれ群の加入量, 再生産率, 資源量, 持続生産量の計算 (土井未発表)

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
A	S ₁	S ₃	F	R ₁	R ₇	A	N ₂	N ₃	K	U	C _s
1	2.068×10^{-3}	0.598929	0	175.810	8.115	1.000	19.674	19.674	8.115	0	0
0.9	2.328×10^{-3}	0.585905	0.022	178.065	8.219	0.900	19.927	19.378	9.132	0.0170	0.330
0.8	2.619×10^{-3}	0.573153	0.044	178.121	8.222	0.800	19.933	18.870	10.277	0.0337	0.637
0.7	2.948×10^{-3}	0.560666	0.066	175.393	8.096	0.700	19.628	18.107	11.566	0.050	0.908
0.6	3.317×10^{-3}	0.548441	0.088	169.183	7.809	0.600	18.933	17.036	13.015	0.066	1.128
0.5	3.733×10^{-3}	0.53647	0.110	158.659	7.323	0.500	17.755	15.597	14.647	0.082	1.279
0.4	4.201×10^{-3}	0.52475	0.132	142.839	6.593	0.400	15.985	13.721	16.483	0.0974	1.337
0.3	4.728×10^{-3}	0.513276	0.154	120.558	5.565	0.300	13.491	11.326	18.549	0.113	1.276
0.2	5.320×10^{-3}	0.502042	0.176	90.448	4.175	0.200	10.122	8.317	20.875	0.128	1.061
0.1	5.987×10^{-3}	0.491044	0.200	50.893	2.349	0.100	5.695	4.584	23.491	0.142	0.651
0.0	6.738×10^{-3}	0.480277	0.221	0	0	0	0	0	26.436	0.156	0

- ①, ⑦ 親魚数, ② 卵から幼イカまでの生残率, ③ 漁獲開始以後の生残率, ④ 漁獲係数,
 ⑤ 幼イカ数, ⑥ 月令7ヶ月の加入尾数, ⑧ 自然状態の時の資源量, ⑨ 漁獲対象資源量, ⑩ 再生産率,
 ⑪ 漁獲率, ⑫ 持続生産量,

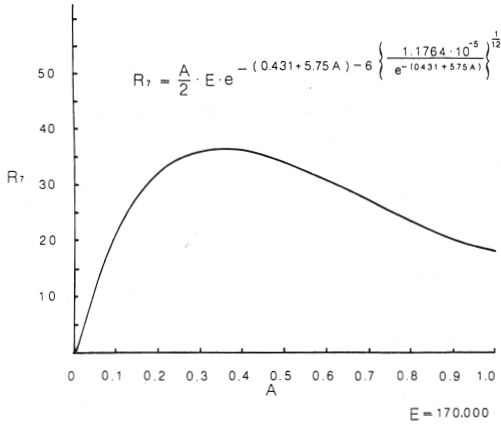


図4 親魚数と加入量の関係

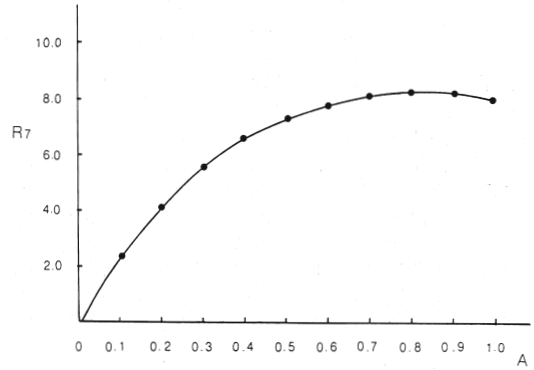


図5 親魚数と加入量の関係 (土井未発表)

また $\frac{E}{2}$ は加入尾数の親魚数に対するレベルを決める定数で、もし資源の減少につれて秋生まれ群の産卵数が大きくなる場合には E に何かの函数形を当てはめれば良い。

図5をみると親魚数 A が0.3位までは加入量は直線的に増加するが、0.4より多くなると、生残率の減少の影響が大きくなって加入量は減少しはじめる。この最大の加入量が個体数の到達する限界である。また図5をみると、加入量が最大となるのは親魚数が0.8位にあり、 $M_1 = a + bA$ という式の各パラメータの値による相違が大きく表われている。

次に表6と7から秋生まれ群の親魚数 A と漁獲対象資源量 N_3 および持続生産量 C_s の関係を描いたものが図6、7である。図6では漁獲対象資源量は親魚数が0.3~0.4位まではほぼ直線的に増加していくが、親魚数が0.5より多くなるとしだいに減少していく。すなわち漁獲対象資源量 N_3 が最大とな

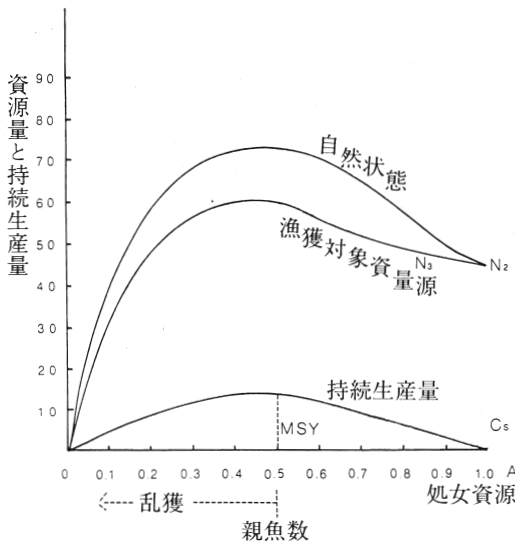


図6 秋生まれ群の資源量と持続生産量

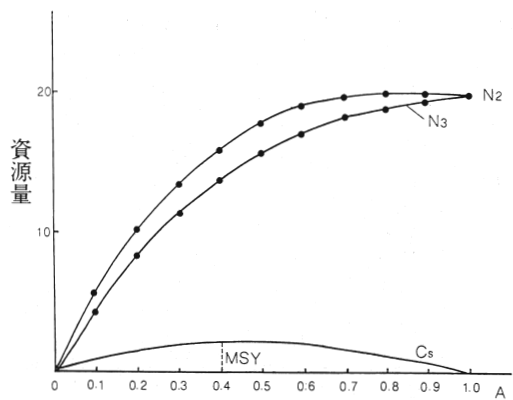


図7 秋生まれ群の資源量と持続生産量 (土井未発表)

るのは親魚数が0.4~0.5位の時である。一方持続生産量 C_s は親魚数が0.5の時最大 (MSY) である。日本海の沖合イカ釣漁業は昭和43年頃から開始されたが、当時の資源量は処女資源に近く、おそらく図6に示した50あたりにあったであろう。しかし、それ以後持続生産量を越える過剰漁獲を続けたため、現在では当時の資源量の約半分程度に減少しているのではなからうか。すなわち再生産モデルにおける乱獲とはMSYを与える漁獲率を越えて漁獲率を高め、親魚量をMSYの水準より低くしてしまった状態と定義されるので、現在は強い乱獲の状態であろうと推察される。一方図7では最大持続生産量は親魚数が0.4の時にあり、漁獲対象資源量は処女資源の時最大となる。この図における乱獲状態は親魚数を0.4以下にした場合になる。

このように乱獲を定義することができたが、はたして現在の資源状態が乱獲であるのかどうかは、秋生まれ群親魚数の絶対量が推定できないので、検討は不可能である。しかし、絶対量は推定できなくても、現在の親魚数がどの程度にあるのかは推定できる。すなわち、漁獲の影響によって処女資源時の親魚数がどのように減少していくのかを計算し、現在の漁獲の力(漁獲係数 F) がどれ位であるかがわかれば、逆に親魚数の水準を推定することが可能である。

この考え方に基づいた例を図8に示す。親魚数 A は、 $A = R_7 (S^5 + S^6)$ で求めることができる。この場合表6より処女資源時の月令7ヶ月での加入量 R_7 は、 $R_7 = 17.2$ 、生残率 S は $S = e^{-(M_2 + F)}$ (ただし、 $M_2 = 0.431$) であるから、生残率 S に漁獲係数 F を0.1きざみで与えて親魚数 A を計算する。図8をみると親魚数 A は漁獲係数 F が大きくなるにつれて指数関数的に減少していく。乱獲の定義は親魚数がMSYの水準より低くなった場合であるので、図8において親魚数が0.5よりも少なくなるような漁獲の影響がみられたならば乱獲の状態にあると判断されよう。前項で示したように、1984年における秋生まれ群の全死亡係数 Z は0.786であるから、漁獲係数 F は、 $F = 0.786 - 0.431 = 0.355$ となる。図8の中に漁獲係数 F の値を記して親魚数を推定すると0.14位になる。したがって先に述べた近年の秋生まれ群の資源水準の低下は乱獲によるものと判断されよう。

図9に示した土井(未発表)の例では漁獲係数 F が大きくなるにしたがって親魚数 A はほぼ直線的

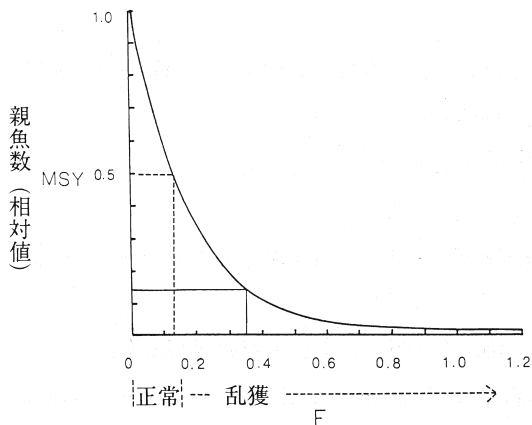


図8 漁獲の影響による親魚数の減少の様子

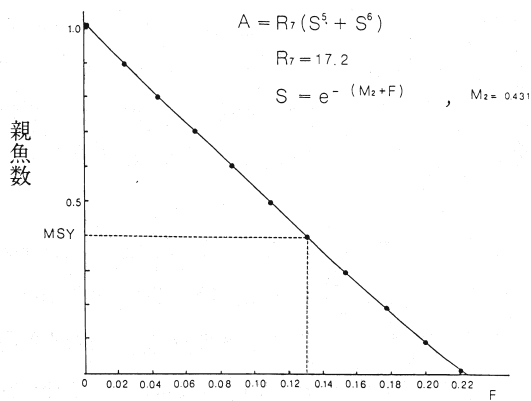


図9 漁獲の影響による親魚数の減少の様子 (土井未発表)

に減少している。この場合、先に推定した漁獲係数 F の値、0.355では親魚数 A が0となりきわめて不合理になってしまう。このような例はある仮定のもとでの計算結果の妥当性を保証するものが何もないことを示していると考えられ、資源力学の問題点の一つであろう。

おわりに

資源解析という、ただ単に計算をしているだけと思われがちであるが、その背景には“はじめに”の項に述べた資源変動の理論模型がある。

資源変動の法則を知るためには、変動を起す要因が確かめられなければならないと考えられる。一般にその要因として考えられているものは、漁業、環境、生物相互間の関係などである。漁業の影響は魚群が漁場に加入した後の死亡に関係するであろうし、環境は添加する魚群量の変動に関係する。生物相互間の関係は、漁業、環境などの影響によって変動した魚群相互間に作用し、その自然死亡に関係するであろう。そしてこれらの変動を起す要因は単独で資源に働くのではなく、相互に関係しあっているであろう。

このような変動要因を考える時、現在の資源解析（資源力学）は漁獲の力だけが密度制御機構としてとらえられているため、変動要因の解釈をめぐる混乱がおこりがちである。すなわち、環境からの独立性の高い魚種では漁獲の影響によって加入量が変動し、環境の変化の影響は無視できるが、独立性の低いものでは環境の変化の影響を受けて加入量が大きく変動するため、漁獲の影響がかくれてしまうというものである。したがって、資源解析をする場合、魚種によっては計算することに意味のないこともあり得るであろう。また、資源変動の中心的内容は、加入量の変動であるため、この変動を説明できる包括的な理論がないのが現状ではなかろうか。しかし、資源研究に完全ということはあるので、今持っている資源力学の知識と魚種の特性をもとに、目標にそったデザインを考え、データを集めて資源解析していくことは、水産試験場という現場に最も近いところにいる資源研究者にとって大切な努めであろうと考えている。

文 献

- 安達二郎（1980）日本海西部海域におけるスルメイカ分布の集中度について．昭和54年度イカ類資源漁海況検討会議研究報告，日本海区水産研究所，49-55.
- 安達二郎（1987）日本海西部海域におけるスルメイカの漁業生物学的研究．北海道大学審査学位論文，1-154.
- ALLEN, K. R. (1966) A method of fitting growth curves of VON BERTALANFFY type to observed data. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 23 (2), 163-169.
- 新谷久男（1967）スルメイカの資源．水産研究叢書，16，1-166，日本水産資源保護協会.
- BARANOV, F. I. (1918) On the question of the biological basis of fisheries, *Nauchn. Issled. Ikhtol. Inst. Izues.*, 1, 81-128 (笠原 昊・深滝 弘訳, 1951, 漁業における生物学的基礎の問題. 水産庁漁業科学叢書1, 1-48.)

- BEVERTON, R. J. and Holt, S. J. (1957) On the dynamics of exploited fish populations. *Fish. Invest.*, 19, 1-533.
- 土井長之・川上武彦 (1979) 日本近海産スルメイカの生物生産と漁業の管理. 東海水研報, 99, 65-83.
- GRAHAM, M. (1939) The sigmoid curve and the overfishing problem. *Rapp. Proc. Verb.*, 110, 15-20.
- 浜部基次 (1963) スルメイカの生殖腺衰弱から斃死にいたる経過. 日水研報告, 10, 1-45.
- 伊東祐方 (1972) スルメイカの漁業・生活史および資源の現状の概要. 農林水産技術会議研究成果, 57, 4-9.
- 伊東祐方・沖山宗雄・笠原昭吾 (1965) 日本海沖合におけるスルメイカについての2・3の考察. 日水研報告, 15, 55-70.
- 日本海イカ類研究チーム (1984) 1983年日本海スルメイカの資源. 日本海区水産研究所.
- RICKER, R.E. (1958) Handbook of computation for biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 119, 1-300.
- RUSSELL, E. S. (1942) *The overfishing Problem*. Camb. Univ. Press., 1-130.
- SCHAFFER, M. B. (1954) Some aspect of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull.*, 1, 27-56.

質 問

倉長（鳥取水試）：産卵期を10月としているが、10月に生まれて10月に産卵して死ぬのか、それとも11, 12月ごろまで生きるのか。

安達：産卵期に範囲はあると思うが、仮定として10月から10月までとした。