

島根県中部海域における ヒラメ着底稚魚数の理論的推定

安達 二郎

1. はじめに

島根県大田市周辺を基地とする小型底曳網漁業は、島根県中部海域において年間約120トン（島根県農林統計, 1988）のヒラメを漁獲している。ヒラメの漁獲量は1967年頃から現在までほとんど変動がなく（北沢, 未発表）、他の魚種と比較して安定している。近年では漁獲物の一部が活魚として出荷され、その結果、生産金額に占める割合が高まってきた。

このようなヒラメに対して、その資源を人為的に増加させる試みとして、島根県栽培漁業センターが1982年から人工種苗を放流している（島根県栽培漁業センター, 1983）。

しかし、その放流の効果は漁獲物の中に若干の放流魚が混獲されることはあっても、それほど目立つほどのこともなく、現在までのところ、その効果を明確に示した報告もみられない。

このことはある海域において、ある一定の漁獲努力量のもとで漁獲量が安定している場合、どの程度の放流尾数が必要であるのかが考慮されていないことに1つの原因があると考えられる。したがって、放流効果を期待するためにはあらかじめ放流海域の天然稚魚の数量を把握し、その数量に応じた放流量が決定されなければならないはずである。ここでは島根県中部海域において、現在の安定した漁獲量のもとで、どの程度の数量の稚魚が生息しているのかを理論的に検討したので報告する。

2. ヒラメのライフサイクルと資源特性値

表1にヒラメのライフサイクルを示す。産卵親魚は3才以上で1尾が平均的に100万粒を産卵する。産卵期は4月で孵化後2ヶ月で2~8cmの体長に成長し、着底生活に入る。9月には水深40mまで移動するが、小型底曳網漁業では漁獲対象としていない。この大きさのヒラメは1年後には体長23cmとなり漁獲対象となる。最高年齢は15才である。これらの成長段階間の生残率は卵から着底稚魚までと、着底稚魚から0才までは不明であるが、0才から1才までの生残率は標識放流結果から0.4、1才以降の生残率は0.296と推定されている（吉尾, 未発表）。

表2は島根県中部海域における資源特性値（吉尾, 未発表）を示す。この特性値は1985年の調査結果に基づいて推定されたものであるが、小型底曳網漁業のヒラメ漁獲量が安定していることから年々の特性値にそれほどの変化はないと考えられる。1985年の1才の漁獲尾数は16,178尾で利用度は0.132となっている。

表1. 島根県中部海域におけるヒラメのライフサイクル

季節	4月	6月	9月	1～12月	1～12月	1～12月	1～12月	1～12月
棲息場所 (水深)	産卵場 60～100m	20m以浅	40m以浅	50m以浅	小底 漁場全域	小底 漁場全域	小底 漁場全域	小底 漁場全域
平均 体長	卵径 0.9mm	2～8cm 着底稚魚	10cm	23cm	33cm	40cm	48cm	55cm

表2. 島根県中部海域におけるヒラメの資源特性値 (吉尾, 未発表)

全死亡係数 (Z)	1.217	生残率 (年) (S)	0.296
漁獲係数 (F)	0.524	漁獲率 (年) (E)	0.303
自然死亡係数 (M)	0.693	1才の利用度 (Q)	0.132

3. 総産卵数 (N_0) の推定

現在の漁獲量が保たれるためには、どれほどの数の卵が必要なのかを推定するモデルを以下に示していく。3つのモデルが考えられるが基本的な考え方はいずれも再生産率に基づくものである。ここでいう再生産率とは加入量と親魚量の比である。

モデル I

図1にヒラメの年令構成の模式図を示す。再生産率(K)は $K = \frac{Rc}{A}$ で表わされる。図1より

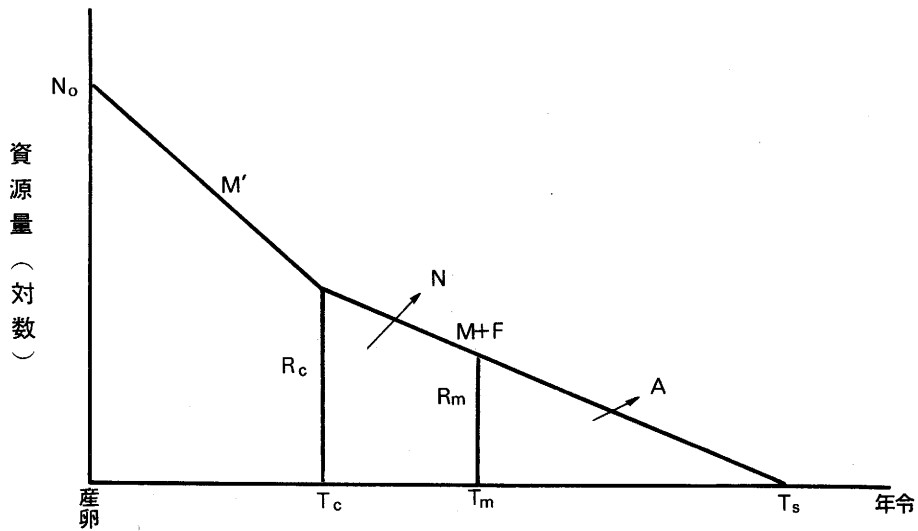


図1. ヒラメの年齢構成の模式図

- M' : 漁獲対象以前の自然死亡係数
- M : 漁獲対象後の自然死亡係数 (0.693)
- F : 漁獲係数 (0.524)
- T_c : 加入年齢 (1才)
- T_m : 成熟年齢 (3才)
- T_s : 寿命 (15才)
- S : 漁獲開始年齢以降の生存率 (0.296)
- S' : 卵から T_c までの生存率
- R_c : 加入量 (T_c 時の資源量)
- R_m : 成熟年齢の加入量
- N : 漁獲対象資源量
- N_0 : 総卵数
- h : 1尾あたりの平均産卵数
- A : 親魚数

$$R_m = R_c \cdot e^{-(t_m - t_c)(M+F)}$$

$$R_c = R_m \cdot \frac{1}{e^{-(t_m - t_c)(M+F)}}$$

$$A = \frac{R_m \{1 - e^{-(t_s - t_m)(M+F)}\}}{1 - e^{-(M+F)}}$$

$$N = \frac{R_c \{1 - e^{-(t_m - t_c)(M+F)}\}}{1 - e^{-(M+F)}}$$

したがって

$$\frac{R_c}{A} = \frac{1 - e^{-(M+F)}}{e^{-(t_m - t_c)(M+F)}} = \frac{1 - S}{S^{(t_m - t_c)}}$$

ここで $t_m = 3$, $t_c = 1$ であるから再生産率は

$$K = \frac{R_c}{A} = \frac{1 - S}{S^2} \quad \dots\dots\dots \textcircled{1} \quad \text{となる。}$$

モデルⅡ

漁獲開始年令を $t_c = 1$, それ以降の生残率を S , 寿命を15年, 1才の加入量を R_c とすると, 漁獲対象資源 N' は次のように示される。

$$N' = R_c + R_c S + R_c S^2 \quad \dots\dots\dots + R_c S^{14}$$

$$N' = \frac{R_c (1 - S^{15})}{1 - S}$$

また, 3才魚以上の成熟親魚数 A は次のように示すことができる。

$$A = R_c S^2 + R_c S^3 + R_c S^4 \quad \dots\dots\dots + R_c S^{14}$$

$$A = \frac{R_c S^2 (1 - S^{13})}{1 - S}$$

この式から

$$\frac{R_c}{A} = \frac{1 - S}{S^2 (1 - S^{13})}, \quad S^{13} \approx 0 \text{ であるから}$$

$$K = \frac{R_c}{A} = \frac{1 - S}{S^2} \quad \dots\dots\dots \textcircled{2} \quad \text{となる。}$$

以上の2つのモデルから導かれた①式と②式は同じものとなる。

次に産卵数からのモデルを示していく。

モデルⅢ

年令 t_c の資源量, すなわち加入量 R_c は, 産卵数 h から

$$R_c = \frac{A}{2} h \cdot e^{-M' t_c} \quad \text{で示される。したがって}$$

$$K = \frac{R_c}{A} = \frac{h}{2} \cdot e^{-M' t_c} \quad \dots\dots\dots\text{③} \quad \text{となる。}$$

このように3つのモデルから再生産率 K に関する2つの式が導かれた。

ここで, 加入年令 $t_c = 1$ 才, 産卵数 $h = 1,000,000$ なので, ③式から

$$K = \frac{1,000,000}{2} \cdot e^{-M'} \quad , \quad e^{-M'} = S' \quad \text{とすると}$$

$$S' = \frac{K}{500,000} \quad \dots\dots\dots\text{④} \quad \text{となる。}$$

ここで, ①式に $S = 0.296$, を代入すると

$$K = \frac{1 - 0.296}{0.296^2} = 8,035 \quad \text{となり, この値を④式に代入すると}$$

$$S' = \frac{8,035}{500,000} = 0.000016 \quad \text{となる。すなわち卵から加入年令(1才)までの生残率は0.000016で}$$

ある。

また, 加入尾数 R_c は C/QE から

$$R_c = \frac{16,178}{0.132 \times 0.303} = 404,490 \quad \text{(尾) となる。}$$

したがって, 求める総卵数 N_0 は,

$$N_0 = \frac{404,490}{0.000016} = 25,170,504,000 \quad \text{(粒) である。}$$

4. 着底稚魚数 (R_s) の推定

前項において, 必要な総卵数を推定したが, 次に卵から着底稚魚までの生残率を推定し, さらに島根県中部海域での着底稚魚数を推定する。

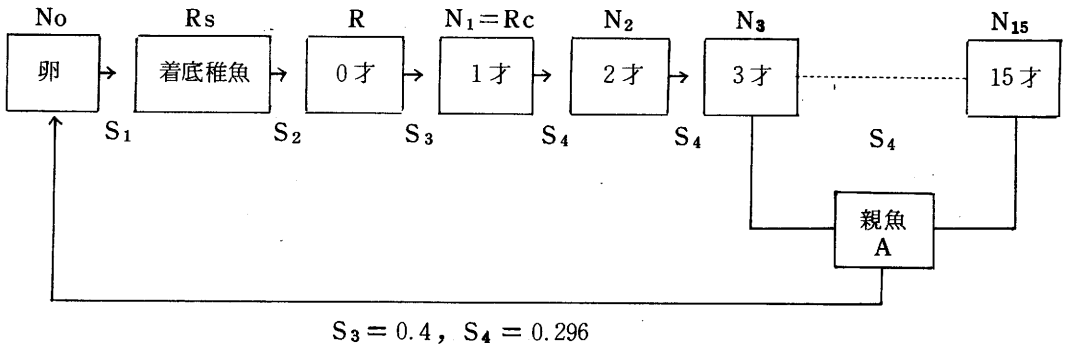


図2 島根県中部海域におけるヒラメのライフサイクルと成長段階間の生残率

図2にモデル作成のため再びヒラメのライフサイクルを示す。成長段階間の生残率は先に述べたように0才から1才までは0.4，1才以降15才までは，0.296である。

ここで，1才で完全加入すると仮定し， N_0 (総卵数)， R_s (着底稚魚数)， R (0才の資源尾数)， N_1 (1才の加入尾数)…… N_{15} (15才の加入尾数)， A (親魚数)を生残率を用いて示していく。各成長段階の生残率は図2に示したとおり， S_1, S_2, S_3, S_4 である。

すなわち

$$N_0 = \frac{A}{2} \cdot h \cdots \cdots \textcircled{5}$$

$$R_s = \frac{A}{2} \cdot h \cdot S$$

$$R = N_0 \cdot S_1 \cdot S_2$$

$$N_1 = N_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

$$N_2 = N_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot S_4$$

$$N_3 = N_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot S_4^2$$

⋮
⋮
⋮

$$N_{15} = N_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot S_4^{14} \quad \text{である。}$$

また，親魚数 A は次のように示すことができる。

$$A = N_3 + N_4 + \cdots + N_{15}$$

$$A = N_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot S_4^2 (1 + S_4 + S_4^2 + \cdots + S_4^{12})$$

$$\text{すなわち } A = N_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot S_4^2 (1 - S_4^{13}) / 1 - S_4 \quad \text{となる。}$$

⑤式をこの式に代入すると， $A = \frac{A}{2} \cdot h \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot S_4^2 (1 - S_4^{13}) / 1 - S_4$ となり，

さらに両辺を A で除すと

$$\frac{h}{2} \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot S_4^2 (1 - S_4^{13}) / 1 - S_4 = 1 \quad \text{となる。}$$

ここで、 $h=1,000,000$ 、 $S_4=0.296$ 、 $S_3=0.4$ なので、

$$\frac{-1,000,000}{2} \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot 0.4 \times (0.296)^2 / 1 - 0.296 = 1 \quad \text{となり}$$

$S_1 \cdot S_2 = 0.00004 \dots \dots \textcircled{6}$ という関係が成り立つ。情報として、

$0 < S_1 < S_2 < S_3 = 0.4 < S_0 (e^{-M}) = 0.5 < 1$ があるので、 S_1 と S_2 の範囲を推定することができる。

すなわち $\textcircled{6}$ 式から $S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 = 0.00004 \times 0.4$

さらに、 S_1 の最大極限值、および S_2 の最少極限值は $S_1 = S_2 = S_3$ の時である。

したがって

$$(S_1)^3 = 0.000016$$

$$S_1 = 0.025198 \text{ が得られる。}$$

これから S_1 と S_2 の範囲は、 $0 < S_1 < 0.025$ 、 $0.025 < S_2 < 0.4$ となる。

このように S_1 と S_2 の範囲が推定できたので、次に S_2 の値を0.05きざみで0.35まで変化させ、 $\textcircled{6}$ 式から S_2 をそれぞれ計算し、 $R_s = N_0 S_1$ から着底稚魚数を計算したのが表3である。表3をみると S_1 と S_2 の範囲内では7通りの S_1 と R_s が計算される。着底稚魚数は287万尾から

表3 $S_1 \cdot S_2 = 0.00004$ から計算した R_s (着底稚魚数)

$N_0 = 25,170,504,000$

S_2	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35
S_1	0.0008	0.0004	0.000266	0.0002	0.00016	0.000133	0.000114
R_s	20,136,403	10,068,202	6,695,354	5,034,100	4,027,280	3,347,677	2,869,437

2,014万尾の範囲内にあることになるが、この範囲内では推定値としての意味がない。そこで、表3から S_2 と R_s 、 S_1 と R_s の関係を検討すると

$$\left. \begin{aligned} \ln R_s &= 16,821 - 6,111 S_2 \quad (r=0.97) \\ \ln R_s &= 14,779 + 2,721,916 S_1 \quad (r=0.97) \end{aligned} \right\} \dots \dots \textcircled{7}$$

この2つの回帰式が計算される。

$\textcircled{6}$ 式から $\textcircled{7}$ 式は

$$\left. \begin{aligned} \ln R_s &= 16,821 - \frac{0.00024444}{S_1} \\ \ln R_s &= 14,779 + 2,721,916 S_1 \end{aligned} \right\} \dots \dots \textcircled{8}$$

⑧式より

$2,721,916 S_1^2 - 2,042 S_1 + 0.000024444 = 0 \cdots \cdots \textcircled{9}$ という 2 次式が得られる。⑨式の解は $S_1 = 0.0006$, および $S_1 = 0.000098$ となる。

⑥式から、前者に対応して $S_2 = 0.066$, 後者に対応して $S_2 = 0.408$ が得られるが, $0.025 < S_2 < 0.4$ の条件から前者が採用される。

すなわち、卵から着底稚魚までの生残率は 0.0006 となる。したがって、着底稚魚数は、 $R_s = N_0 \cdot S_1$ から $25,170,504,000 \times 0.0006 = 15,102,302$ (尾) と計算される。

5. 考 察

現在の安定したヒラメ漁獲量を保つためには、総卵数 252 億粒、着底稚魚数 1,500 万尾が必要であるとの推定をしたが、この必要卵数を得るためには加入後の生残率を 0.296、3 才以上を産卵親魚として、約 2 万 5 千尾の雌親魚が必要である。

年々の漁獲量が安定していることは親魚数が保たれていることになるが、実際には、島根県中部海域で再生産されていると考えるよりも、卵は西部から補給されるものの方が多いのではなからうか。吉尾(未発表)が大社湾で調査した桁曳網による着底稚魚の推定尾数は約 560 万尾としており、この場合、卵数は 37 億 5 千万粒となる。これは調査海域が大社湾に限られ、もし仮に小型底曳網漁場全域の産卵場に引き延したとしても先述の着底稚魚数と総卵数の 1,500 万尾、252 億粒という推定値よりもかなり小さい値になるであろう。

したがって、島根県よりも西の海域で産卵親魚が多量に漁獲され、産卵数が減少するならば島根県中部海域の小型底曳網漁業のヒラメ漁獲量は減少していく可能性がある。幸い現在、資源培養管理推進事業の天然資源調査として、山口県ではヒラメの親魚を管理するための方法が研究されている(島根県, 1989)。その結果に基づきヒラメ親魚が保護されるならば、小型底曳網漁業のヒラメ漁獲量はそのまま安定するものと考えられる。

一方、島根県(1988)はヒラメ 20 万尾放流を目標とした栽培漁業基本計画を発表した。この計画は放流効果の把握、放流適地の調査結果が不明のまま実施されるわけであり一種の実験と考えられよう。しかし、島根県栽培漁業センター(1983)が 1982 年から継続してヒラメを放流しているのにもかかわらず、その効果が現われないことは放流尾数のオーダーが自然界のそれに較べて極端に小さいことにあるのではなからうか。放流サイズが 50mm とすると天然の同サイズのヒラメは、島根県沿岸域の水深 20m 以浅に 1,500 万尾も分布しているのに対して、放流尾数が 20 万尾では自然界に放流尾数が加わったとしても、それは年々の変動および生残率の誤差内に含まれてしまうであろう。このことはヒラメの資源調査をさらに精密に実施することの必要性を示している。

文 献

- 北沢 博夫（未発表）：島根県における小型底曳網漁獲量の経年変化．
島根県栽培漁業センター（1983）：昭和58年度事業報告，1～101．
島根県（1989）：昭和63年度 資源培養管理推進事業報告書，1～48．
島根県（1988）：水産動物の種苗の生産及び放流並びに水産動物の育成に関する基本計画の策定，
島根県報，号外47号．
吉尾 二郎（未発表）：大社湾におけるヒラメ着底稚魚数について．