

## 9. 種苗放流と漁獲制限 —放流と獲り控え—

### 9.1 概要

1章の図1.1に示すように、資源の管理目標を達成するためには、漁業規制だけでなく、魚種によっては、種苗放流も有効な方法の1つです。通常の水産資源においては、将来の資源水準に影響を与える要因のうち、人間が制御できる要因は漁獲係数で示されるような漁獲圧だけですが、栽培対象種では漁獲係数に加え、種苗の放流尾数も制御できます。ここでは、漁獲係数と放流尾数を変化させた時、等資源量曲線図および等漁獲量曲線図がどのように変化するかにより、漁業規制と種苗放流が資源に与える影響を評価します。この方法については、亘(2014)により詳しく紹介されています。なお、計算するためのワークシートは瀬戸内海区水産研究所の亘 真吾研究員から提供していただいたものを利用しやすいように変更しました。

### 9.2 具体例

#### 9.2.1 漁獲係数と放流尾数を変化させた時の漁獲量と資源量の等量線図(9-iafse.xls - Sheet 9.2.1)

本報告では2011年に実施したヒラメ瀬戸内海系群の資源評価結果を使用し、2010年までの情報でコホート解析を行い、2012年から5年間、漁獲係数 $F_y$ と放流尾数 $H_y$ を変化させた解析例を紹介します。なお、ここでは漁獲係数 $F_y$ と放流尾数 $H_y$ は、5年間一定の値としています。

この例では、2010年までのデータで資源量推定を行い、2010年の資源尾数や漁獲係数を用い、2011年は2010年までと同様の漁獲係数と放流尾数で管理し、2012年から2016年までの5年間、漁獲係数と放流尾数を管理し、2016年にどのような結果になるかを検討する場合を想定しています。

エクセル表の①漁獲係数を0.1刻みで0.5~1.3の9ケース、②放流尾数を100万尾刻みで0尾~600万尾の7ケース、計63ケースを計算し、求められた⑭5年後の資源量と⑮5年後の漁獲量を、⑯放流尾数-漁獲係数-資源量と⑰放流尾数-漁獲係数-漁獲量に手動で入力します。これにより等資源量曲線図と等漁獲量曲線図を作成するデータ表が完成します。なお、その他のセルの内容は下記の通りでエクセル表にもコメントとして示されています。

①将来5年間の漁獲係数=\$B\$4

②将来5年間の放流尾数=\$B\$5

③0~6歳の資源尾数=B24~B30

④親魚量からの再生産尾数と放流魚からの添加尾数の合計

$$=1000*\text{SUM}(D55:D60)*\$B\$19+D\$18*\$B\$20$$

⑤資源尾数を体重(g)と単位を考慮して資源量(t)へ変換=H24\*\$B8/1000000

⑥自然死亡後の生残尾数から、さらに漁獲死亡を除いた生残尾数

$$=B24*EXP(-D8)-B34*EXP(-D8/2)$$

⑦自然死亡と漁獲死亡の後の最高齢魚の生残尾数

$$=B29*EXP(-D13)-B39*EXP(-D13/2)+B30*EXP(-D14)-B40*EXP(-D14/2)$$

⑧漁獲尾数=年の中間での生残尾数に漁獲死亡率をかける

$$=B24*(1-EXP(-B44))*EXP(-D8/2)$$

⑨漁獲尾数を漁獲量へ変換= $H34*B8/1000000$

⑩与えられた漁獲係数= $F8\sim F14$

⑪与えられた漁獲係数= $B44\sim B50$

⑫①の漁獲係数を選択率で補正= $B44*MAX(B44:B50)$

⑬資源尾数と体重と成熟率から親魚量= $B25*B9/1000000*C9$

⑭5年後の資源量= $SUM(I24:I30)$

⑮5年後の親魚量= $SUM(I34:I40)$

⑯放流尾数-漁獲係数-資源量

⑰放流尾数-漁獲係数-漁獲量

横軸を漁獲係数、縦軸を放流尾数とした場合、2016年の等資源量曲線図と等漁獲量曲線図に、2010年の漁獲係数と放流尾数を示すことにより、今後の漁獲係数と放流尾数をどのように変化させると、資源量や漁獲量がどのように変化するかを知ることができます。例えば、添加効率が0など、種苗の放流尾数の効果が全くない場合、等量線は縦軸と平行になり、漁獲係数だけが資源量や漁獲量に影響することになります。資源にあたる種苗の放流尾数の影響が増加するにつれ、縦軸に平行だった等量線が傾きだし、漁獲係数と放流尾数の双方が資源量や漁獲量に影響することになります。そして、等量線が横軸に平行になると、資源量や漁獲量は漁獲係数に関わりなく、放流尾数により影響されていることになります。これらの両極端を考えると、横軸の漁獲係数に対し傾きが急な場合は、放流尾数の影響が小さいため、漁獲係数を調整する資源管理が重要であり、傾きが緩く、横軸に平行に近い場合、漁獲係数より放流尾数による資源管理が重要になります(亘2014)。

### 9.3 補足

#### 9.3.1 各式の詳しい求め方

上記の計算の方法は亘(2014)に次のように詳しく述べられています。コホート解析による資源量推定結果のうち、最近年の年齢別資源尾数、年齢別漁獲係数を用い、Popeの近似式に基づき、将来の資源量および漁獲量を計算しています(Pope1972, 平松2001)。年齢構成を考慮した資源の将来予測には、加入尾数の推定が必要で、栽培対象種では、天然資源の再生産に由来する加入尾数と種苗放流により添加する加入尾数の合計より求められます。種苗放流により添加する加入尾数は、添加効率と呼ばれる放流尾数と種苗放流時点から漁獲加入時点までの生残率で決まります。添加効率は、自然死亡係数が加入以降の生残過程

に関するパラメータであるのに対し、加入以前の生残過程に関わるパラメータです。

$a$  歳 ( $a=1, \dots, A$ )  $y$  年 ( $y=1, \dots, Y$ ) の資源尾数  $N_{a,y}$  の推定方法を以下に示しています。0 歳  $y$  年の加入尾数  $N_{0,y}$  のうち、天然資源の再生産に由来する加入尾数は、 $a$  歳の資源尾数  $N_{a,y}$ 、成熟率  $S_a$ 、体重  $W_a$  より求まる親魚量と、再生産成功率  $RPS$  (加入量を親魚量で除した値) の積から推定しました。ヒラメ瀬戸内海系群の例では、再生産成功率の経年変化を考慮し、直近 5 年の平均値を使用しました (亘 2012)。また、種苗放流に由来する加入尾数は、 $y$  年の放流尾数  $H_y$  と添加効率  $T$  の積より求めました。 $N_{0,y}$  は両者の和として、以下の式で求めました。

$$N_{0,y} = \sum_{a=1}^A N_{a,y} S_a W_a \times RPS + H_y \times T \quad (1)$$

再生産成功率と添加効率は、年により変動すると考えられますが、この予測では一定と仮定しています。1~ $A-1$  歳  $y$  年の資源尾数  $N_{a,y}$  は、前年に同じ年級群となる  $a-1$  歳  $y-1$  年の資源尾数  $N_{a-1,y-1}$ 、漁獲尾数  $C_{a-1,y-1}$ 、自然死亡係数  $M_{a-1}$  を用い、以下の式で推定しました。

$$N_{a,y} = N_{a-1,y-1} \exp(-M_{a-1}) - C_{a-1,y-1} \exp(-M_{a-1}/2) \quad (a=1, \dots, A-1) \quad (2)$$

コホート解析における最高年齢  $A$  歳は、プラスグループ (コホート解析において、ある年齢以上をまとめた年齢群) としました。 $N_{A,y}$  は以下の式で推定しました。

$$N_{A,y} = N_{A-1,y-1} \exp(-M_{A-1}) - C_{A-1,y-1} \exp(-M_{A-1}/2) + N_{A,y-1} \exp(-M_A) - C_{A,y-1} \exp(-M_A/2) \quad (3)$$

また、漁獲尾数  $C_{a,y}$  は以下の式で推定しました。

$$C_{a,y} = N_{a,y} (1 - \exp(-F_{a,y})) \exp(-M_a/2) \quad (4)$$

2012 年以降の年齢別漁獲係数  $F_{a,y}$  は、選択率が 1.0 となる漁獲係数  $F_y$  に、将来予測を開始する年 (2011 年) の最大となる年齢の漁獲係数に対する  $a$  歳の漁獲係数の割合  $\alpha_a$  を乗じて求めました。ヒラメ瀬戸内海系群の例では、将来予測を開始する 2011 年の漁獲係数が、解析を実施した時点では漁期の途中で得られていないため、2010 年の漁獲係数と等しいと仮定しました。

$$F_{a,y} = \alpha_a F_y \quad (5)$$

なお、加入年齢を 1 歳と設定する場合 (1) 式と (2) 式は、それぞれ

$$N_{1,y} = \sum_{a=1}^A N_{a,y-1} S_a W_a \times RPS + H_{y-1} \times T \quad (6)$$

$$N_{a,y} = N_{a-1,y-1} \exp(-M_{a-1}) - C_{a-1,y-1} \exp(-M_{a-1}/2) \quad (a=2, \dots, A-1) \quad (7)$$

となります。

5年後の  $N_{a,y}$ ,  $C_{a,y}$  に  $W_a$  を乗じ、全年齢を合計した資源量、漁獲量を求め、漁獲係数と放流尾数の変化に対応した等量線図を作図しました(亘 2014)。

#### 9.4 引用文献

- 9.4.1 亘 真吾. 2014. 等量線図による種苗放流が資源に与える影響評価と表計算ソフトを用いた計算方法. 水産技術, 6(2), 129-137.
- 9.4.2 亘 真吾. 2012. 平成 23 年度ヒラメ瀬戸内海系群の資源評価. pp.1385-1410, 平成 23 年度我が国周辺水域の漁業資源評価(魚種別系群別資源評価・TAC 種) 第 2 分冊. 水産庁増殖推進部・独立行政法人水産総合研究センター
- 9.4.3 平松一彦. 2001. 平成 12 年度資源評価体制確立推進事業報告書-資源解析手法教科書 -. 水産資源保護協会, 104-127.
- 9.4.4 Pope, J.G. 1972. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *ICNAF Res. Bull.*, 9, 65-74.