５．生残率と死亡率　ー魚の生き死にー

5.1 概要

生残率Sは一定期間にある個体が生き残る確率で、死亡率は(1-S)となります。ある年tの資源尾数N_tと翌年t+1の資源尾数N_{t+1}から、生残率は$S= N_{t+1}/N_t$と定義されます。水産資源学における生残モデルは指数関数モデルを仮定しているので、生残率Sを指数関数モデルで表すと$S=e^{-Z}$となり、その係数Zが全減少係数です。生残率Sは0〜1の値ですが、全減少係数Zは1以上の場合もあります。生残率Sと全減少係数Zの関係は下記の表の通りです。

生残率S	1.0	0.82	0.67	0.55	0.45	0.37	0.14	0.02	0.00
全減少係数Z	0.0	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	2.00	4.00	6.00

全減少係数Zは漁獲係数Fと自然死亡係数Mからなります。漁獲係数は、漁獲を死亡原因とした資源量の減少率の大きさを表す係数で、人為的に管理可能です。一方、自然死亡係数は、被食や病気などの自然要因を死亡原因とした資源量の減少率の大きさを表す係数で人為的に管理困難です。

5.2 具体例

5.2.1 対象種の寿命からMを求める方法(5-survival.xls - Sheet 5.2.1)

寿命の長い魚は死に難く自然死亡係数が小さく、逆に寿命の短い魚は死に易く自然死亡係数が大きいと期待されます。自然死亡係数を求める方法の一つに、田内・田中の方法があります。「自然死亡係数は寿命の逆数に比例するはず」という田内のアイデアを、田中(1960)は5種類の魚のデータを用いて次の比例式を求めています。実際の回帰係数はSheet 5.2.1によると2.8ですが、基準の値として寿命10歳で、自然死亡係数M=0.25としています。十分なデータがない時に利用できる方法です。

M=2.5/寿命

寿命	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20
自然死亡係数M	2.50	1.25	0.83	0.63	0.50	0.42	0.36	0.31	0.28	0.25	0.13

なお、赤嶺(2001)はこの関係を統計学的に検討しています。95%が死亡し、5%が生残しているときの年齢tを寿命a、全減少係数Zを自然死亡係数Mのみとすると、$S=e^{-Zt}=e^{-Ma}=0.05$となります。$e^{-3}=0.0497$ですから、Ma≒3、つまりM≒3/aが得られ、2.5と似た値になっており、統計学的にも説得力があることを示しています。

5.3 補足

5.3.1 生残率と全減少係数

生残率 S と全減少係数 Z の関係を紹介します(能勢ほか 1988)。t 歳から(t+1)歳までの間に資源が N_t から N_{t+1} に減少する場合、N_t >= N_{t+1} となります。この時の N_t と N_{t+1} の比は次式になります。

$$S = N_{t+1} / N_t \qquad (1)$$

S は生残率で、 0 =< S =< 1 です。また、(1-S)は死亡率になります。

資源尾数の動態を微分形式で表現すると次式で定義されます。

$$dN/dt = -ZN \qquad (2)$$

係数 Z は常に正また 0 であり、全減少係数といいます。

t=0 のとき、N_t=N_0 という初期条件のもとで式(2)を解くと、

$$N_t = N_0 e^{-Zt} \qquad (3)$$

(t+1)歳の資源尾数 N_{t+1} は

$$N_{t+1} = N_0 e^{-Z(t+1)} \qquad (4)$$

$$S = N_{t+1} / N_t = N_0 e^{-Z(t+1)} / N_0 e^{-Zt} = e^{-Z} \qquad (5)$$

$$Z = -\ln(S) = -\ln(N_{t+1} / N_t) \qquad (6)$$

となり、Z と S の関係として式(5)または式(6)が与えられます。

5.3.2 ある時点での漁獲物の年齢組成から Z を求める方法(5-survival.xls - Sheet 5.2.2)

漁獲物の年齢組成は、ある年齢以上は右下がりになり、年齢が高くなるほど個体数が少なくなります。このような年齢組成の曲線を漁獲曲線と言います。年々の加入と生残に大

きな変化がないとき、この漁獲曲線から全減少係数を推定することができます。この右下がりの部分の漁獲尾数の自然対数値を年齢に対して直線回帰させると、この勾配からＺ全減少係数を推定できます。また、漁獲の影響が入っていない処女資源の場合、自然死亡係数になります。魚体測定や年齢査定が終了した段階で、検討してみると良い方法です。

生残率は $S=e^{-Z}$, 全減少係数は $Z= -\ln S$

ある年齢の資源尾数は $N_t = N_0 e^{-Zt} = N_0 S^t$

ある年齢の漁獲尾数は $C_t = EN_t = EN_0 e^{-Zt}$ なお、ここでＥは漁獲率

両辺の自然対数をとると、$\ln(C_t) = \ln(EN_0) - Zt$ (7)

この式(7)のように、ある年齢の漁獲尾数の自然対数値 $\ln(C_t)$ を年齢ｔに対して直線回帰させると、勾配Ｚが全減少係数になります。

なお、この方法では加入量が年々一定であることが必要です。また漁獲率も年齢や年によらず一定であることが必要です。

5.3.3 ある年級群の各年齢での漁獲尾数からＳを求める方法

ある年級群の年ごとの資源尾数を N_1、N_2、・・・N_t とします。年によって生残率が変化しなければ、次の式で生残率 S が推定できます。生残率 S が求まれば、$Z=-\ln S$ としてＺが推定できます。理想的な方法ですが、利用できるデータを収集することはかなり難しいと思われます。年を限れば計算してみると良いでしょう。

$N_1 = SN_0,\ N_2 = SN_1,\ \ldots\ N_{t+1} = SN_t,$

$S = N_{t+1}/N_t$

$C_t = EN_t$

$N_t = C_t / E$

$S = (C_{t+1}/E)/(C_t/E) = C_{t+1}/C_t$

$S = (C_1 + C_2 + \cdots + C_t)/(C_0 + C_1 + \cdots + C_{t-1})$

なお、この方法では加入量が変動してもかまいませんが、漁獲率は年齢や年によらず一定であることが必要です。

5.4 引用文献

5.4.1 田中昌一. 1960. 水産生物の population dynamics と漁業資源管理. 東海区水産研究所研究報告, 28, 1-200.

5.4.2 赤嶺達郎. 2001. Ｍの推定. 資源評価体制確立推進事業報告書－資源解析手法教科書－, 日本水産資源保護協会, 58-61.

5.4.3 能勢幸雄・石井丈夫・清水　誠. 1988. 水産資源学. 東京大学出版会. 217pp.

5.5 雛形になる文献

5.5.1 長谷川誠三・加藤史彦・伊藤　弘・岡地伊佐雄. 1982. 新潟県上越地方沿岸におけるマコガレイの資源生物学的研究－1.標識放流結果による漁獲死亡係数と自然死亡係数. 日水研報告, 33:81-87.

5.5.2 橋本加奈子・田中種雄・大畑　聡・飯田隆重. 2006. 千葉県鴨川市におけるクロアワビおよびメカイアワビ着底初期稚貝の成長および生残(短報). 千葉水総研報告, 1:103-105.

5.5.3 亘　真吾. 2006. 伊豆諸島北部海域におけるタカベの資源学的研究. 水研センター研報, 18:167-242.

5.5.4 山崎　淳・柳下直巳. 2007. 日本海西部海域における標識再捕データによるアカガレイの死亡係数の推定. Nippon Suisan Gakkaishi, 73(2):263-269.