

## 長寿命無脊椎動物の絶滅リスク評価

松田裕之（東大海洋研） matsuda@ori.u-tokyo.ac.jp

多くの淡水産貝類は絶滅の危機に瀕している。その主な原因は環境劣化、生息地破壊、乱獲、外来種の侵入である。琵琶湖のイケチヨウガイはこれらすべての要因により、急激に減少している。過去の漁獲統計からは、この種は絶滅危惧 Ib 類になるとみられ、絶滅までの平均待ち時間は 100 年以内である。成長率は 40 年前と比べてかなり遅くなっており、これは乱獲、浚渫による生息地破壊、外来種侵入では説明できない。

Keywords イケチヨウガイ、公害、乱獲、レッドリスト

はじめに

イケチヨウガイ *Hyriopsis schlegeli* (Martens, 1861) (Fig.1) は琵琶湖固有種であり、淡水真珠母貝として重要な水産資源であった。しかし、その漁獲量は 1970 年代から急激に減り始め、1992 年にわずか 2kg が水揚げされて以来、途絶えている。残念ながら日本の環境庁および水産庁の絶滅危惧種にはまだ挙げられていないが、きわめて絶滅の恐れの高い生物である。本稿では、その絶滅の恐れと、その要因について議論する。

残念ながら貝類については漁業で利用されているものも含め、個体数などの基礎情報が極めて乏しい。単に、乱獲だけでなく、湖底の浚渫による生息地破壊、環境劣化、外来種の侵入も減少に拍車をかけている。漁業が崩壊した後も、イケチヨウガイは回復の兆しが見えず、むしろ、ますます減っていると見られている。新規加入個体が極めて少ないことも気がかりである。イケチヨウガイはきわめて長寿であるから、加入がなくてもすぐには絶滅しないが、成熟個体がいても加入が少ないとなると、その原因を見極め、保全対策を早急にたてる必要がある。

### イケチヨウガイ漁業の崩壊

図2がイケチヨウガイの漁獲量の変遷である。便宜的に(I)漁業が盛んだった1954-1973年、(II)漁獲量が減り始めた1974-1982年、(III)漁業が崩壊に向かった1983-1990年、および(IV)漁業崩壊後の1991-1998に分けて色分けした。かつて琵琶湖にはイケチヨウガイの養殖場がたくさんあったが、乱獲と中国産のヒレイケチヨウガイとの価格競争のため、壊滅的な打撃を受けている。



Fig. 1. イケチヨウガイ（推定約40歳、西森克浩氏による）

しかし、漁業の崩壊は種の絶滅とは違う。イケチヨウガイは分布が散在し、ごく限られているものの、南湖に一万個体程度生息している（西森、私信）。1個体平均30gなので、1970年代始めには漁獲個体数だけで二百万個体いた。

t年の漁獲個体数  $C(t)$  の比の対数  $\ln[C(t)/C(t-1)]$  を増加率  $r(t)$  とする。漁獲個体数と生息個体数が比例するなら、これは生息個体数の増加率の指標となる。1972年以降、ほとんどの年で  $r(t)$  は負、つまり減少している。第二期と第三期におけるその平均と標準偏差はそれぞれ  $-0.126 \pm 0.848$  と  $-0.701 \pm 1.142$  である。第三期の減少は第二期よりずっと激しい。これは第三期の途中から漁獲努力も減ったためと思われる。第二期の漁獲努力が特に変化していなかったとすれば、これを個体数減少率の指標とする。

現在の個体数と今後の減少率を  $N_0$  と  $r(t)$  とすると、t年後までに絶滅する確率  $g(t)$  は、

$$g(t) = \int_0^t p(\tau) d\tau, \quad (1a)$$

ただし

$$p(t) = \frac{(x_0 - x_c)}{\sqrt{2\pi\sigma^2 t^3}} \exp\left[-\frac{(x_0 + r * t - x_c)^2}{2\sigma^2 t}\right], \quad \sigma^2 = \sigma_r^2 \left[1 + 2 \sum_{\tau=1}^{\infty} \rho(\tau)\right], \quad (1b, c)$$

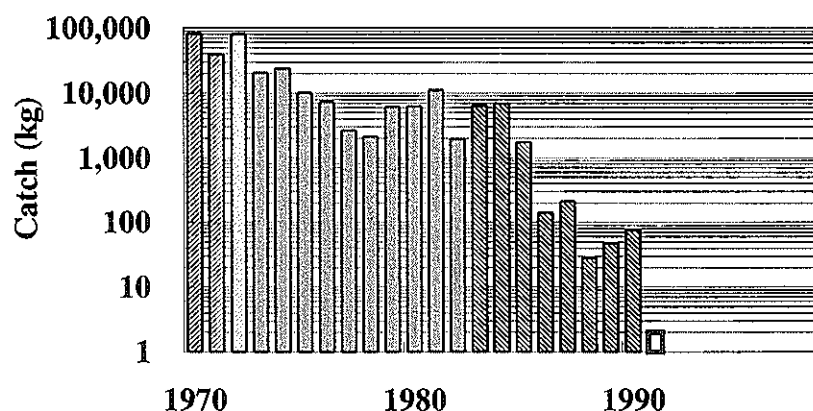


Fig. 2. 琵琶湖のイケチヨウガイ漁獲量（1971年から1997年、滋賀県水産試験場資料）

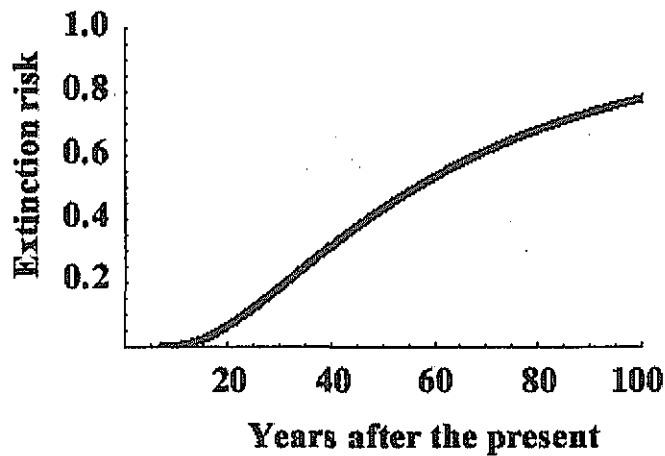


Fig. 3. イケチヨウガイの絶滅リスク

$x_0 = \log N_0$ ,  $x_c = 1$  と著される。ここで  $r^*$  と  $\sigma_r^2$  と  $\rho(\tau)$  はそれぞれは  $r(t)$  の平均と分散と時差  $\tau$  の自己相関である。自己相関は負なので無視する。

絶滅は決定論的な減少、環境変動、人口学的揺らぎによって生じる。上記の式は人口学的揺らぎを無視しているため、絶滅確率を過少評価するだろう。

絶滅までの平均待ち時間  $T$  は

$$T = \int_0^{\infty} [1 - g(t)] dt . \quad (2)$$

で与えられる。第二期の減少率は平均 12% であり、上記の暫定的な仮定と推定値に不確実性はあるものの、絶滅リスクが計算できる (Fig. 3)。

イケチヨウガイの世代時間はおよそ 12 年と考えられる (近藤高貴、私信)。国際自然保護連合のレッドリスト判定規準によると、5 世代 (60 年) 後の絶滅リスクは 44% であり、絶滅危惧 Ib 類に該当する。絶滅待ち時間はおよそ 73 年である。

1992 年に漁業が崩壊したから、その後の減少率は上記の推定より低いかもしれない。しかし、イケチヨウガイは乱獲だけでなく、浚渫による生息地破壊、外来魚ブルーギル *Lepomis macrochirus* が侵入して幼生が寄生していた琵琶湖在来種が急減するなど、減少要因は他にもある。ブルーギル自身も幼生の宿主になると期待されていたが、確認されてい

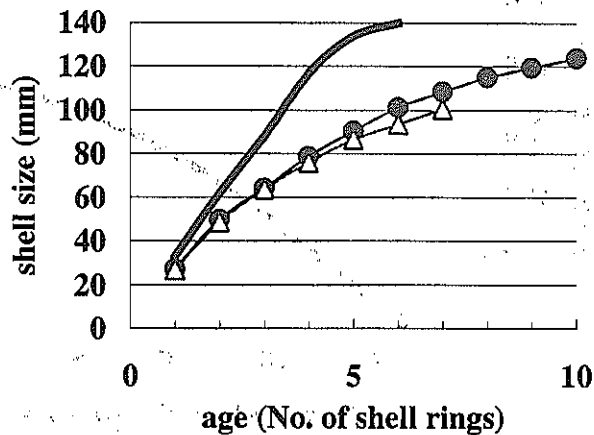


Fig. 4. イケチヨウガイの齢別休止帯長。1957年（太線）、昨年得た標本の10歳以上（●）、7歳以下（△）

ない。

### イケチヨウガイの成長率の減少

1957年の報告に見られたイケチヨウガイの成長率は、近年のイケチヨウガイよりずっと早い（西森 1998）。滋賀県水産試験場の西森克浩は貝殻の休止帯の数と半径を計り、年齢と1年あたりの成長率を調べた。その結果、昨年採取したイケチヨウガイのうち、7歳以下の個体の齢別殻長は、10歳以上の個体の齢別殻長に比べて小さい（Fig. 4）。すなわち、成長率は40年前より低く、近年も下がりつづけている。

成熟齢は殻長に左右される。成長遅延は成熟遅延をもたらし、世代時間の延長を招く。

### 成長遅延と絶滅リスク

乱獲と環境劣化による成長遅延のどちらが深刻なリスク因子だろうか。それを調べるために、以下のようなサイズ成長遷移行列  $\mathbf{G}$  を考える。

$$n_{t+\Delta t} = \mathbf{G}_{\Delta} n_t$$

$$n_t =$$

$$\mathbf{G}_\Delta = \begin{pmatrix} (1-g_1)p_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ g_1p_1 & (1-g_2)p_2 & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & g_2p_2 & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & 0 & \ddots & (1-g_{c-1})p_{c-1} & 0 \\ 0 & \dots & \ddots & g_{c-1}p_{c-1} & p_c \end{pmatrix}, \quad (3)$$

ここで  $\mathbf{n}_t = (n_{1,t}, n_{2,t}, \dots, n_{c,t})^T$  は時刻  $t$  の殻長クラスごとの個体数を表す列ベクトル、 $g_i$  と  $p_i$  は殻長クラス  $i$  の成長率と生存率である。時間刻み  $\Delta t$  を十分小さく取ったので、一挙に二クラス上に成長する確率は無視する。 $\mathbf{G}_\Delta$  の季節変化を無視すると、1年あたりの成長は、

$$\mathbf{G} = (\mathbf{G}_\Delta)^{(1/\Delta t)}. \quad (4)$$

という行列で表せる。繁殖は、

$$\mathbf{E} = \begin{pmatrix} 0 & \dots & m_i s & \dots & m_c s \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

という行列で表せる。 $m_i$  と  $s$  は殻長クラス  $i$  の体重と親の単位体重あたり、1歳まで生き残る子供の量（繁殖率と初期生存率の積）である。体重は  $m_i = i^3$  と仮定する。この行列は1行目以外はすべて0であり、 $\mathbf{e}$  を1行目だけを表す行ベクトル  $\mathbf{e} = (0, \dots, m_i s, m_{i+1} s, \dots, m_c s)$  とする。成長と生存と繁殖を表した個体数変化の式は、

$$\mathbf{n}_{t+\Delta t} = (\mathbf{G}_\Delta + \mathbf{E}_\Delta) \mathbf{n}_t, \quad (6)$$

と表せる。安定体長組成  $\mathbf{n}^*$  は  $\mathbf{G} + \mathbf{E}$  の最大固有値  $\lambda$  に関する右固有ベクトルであり、 $(\mathbf{G} + \mathbf{E}) \cdot \mathbf{n}^* = \lambda \cdot \mathbf{n}^*$  を満たす。繁殖価は  $\lambda$  に関する左固有ベクトル  $\mathbf{r}^*$  に比例し、 $\mathbf{r}^* \cdot (\mathbf{G} + \mathbf{E}) = \lambda \cdot \mathbf{r}^*$  を満たす。繁殖価は以下の式で定義できる。

$$\mathbf{r} = \sum_{x=1}^{\infty} \mathbf{e} \cdot \mathbf{G}^{x-1} / \lambda^x = \mathbf{e} \cdot (\mathbf{I} - \mathbf{G} / \lambda)^{-1} / \lambda, \quad (7)$$

世代時間  $T_g$  は以下の式で与えられる。

$$T_g = \sum_{x=1}^{\infty} x e \mathbf{G}^{x-1} / \lambda^x = e \left[ (\mathbf{I} - \mathbf{G} / \lambda)^{-1} \right]^2 / \lambda. \quad (8)$$

ここで架空の生物を考え、 $i_c=20, i_m=11$  とする。 $m_i=si^3, g_i=g_0(i_c-i)/i_c, p_i=p$  とする。 $\Delta t=1, (g_0, p, s) = (0.05, 0.83015, 0.001)$  とする。このとき、最大固有値と世代時間はそれぞれ 1 と 21.40 年になる。ここでサイズ分布が定常状態  $\mathbf{n}^*$  になっていると仮定し、上記の例からパラメーターの値を一つだけ変えた三つの場合を考える。(1)  $g_0=0.031$  つまり成長が遅くなる場合、(2)  $p=0.78665$  つまり 1 歳以上の生存率が下がる場合、(3)  $s=0.0000308$  つまり繁殖率が下がる場合。これらすべての場合、最大固有値は 0.95 になる。しかし、平均世代時間はそれぞれ(1) 30.49、(2) 21.27、(3) 24.87 年になる。つまり、成長が遅くなると、平均世代時間はかなり延びる。

資源量は  $B_t = \sum m_i n_{it}$  で、三つの場合について比べると、成長が遅くなる場合が減少が始まるのが最も遅く、生存率が下がる場合と加入率が下がる場合は早く減り始める (Fig. 5a)。20 年後のサイズ構成は Fig. 5(b) のように、成長が遅くなる場合が親の数が多いように見える。

成長遅延の場合、最終的な減少率は等しくても、最初の 20 年ほどは減少が目立たない。

親の生存率が下がる典型は乱獲であり、成長遅延の典型は環境劣化であろう。加入の悪

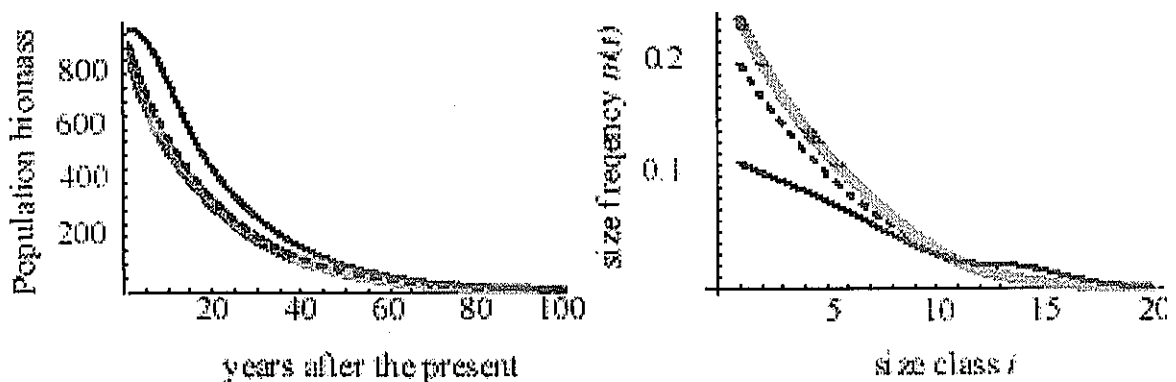


Fig. 5. 上記三つの場合の個体数減少の様子 (右図) と 20 年後のサイズ分布

化も招くかもしれない。

また、乱獲はおおむね可逆的であり、乱獲を止めれば資源は回復しえる。ところが、環境化学物質の汚染は発生源を断つてもすぐには環境中の濃度が下がらず、長く影響が残る。さらに、生物体内の濃度はその時の環境濃度だけでなく、育ってきた過去の濃度にも影響され、母親から子へと受け継がれることもある。さらに、乱獲と異なり、資源として直接利用する生物だけでなく、生態系内のあらゆる生物に影響が及ぶ。

IUCN のレッドリストは世代時間に対する絶滅リスクで定義される。しかし、世代時間は可変的である。乱獲の場合は世代時間が減ることがある。

## 謝辞

上記の結果には、河合裕朗氏、中井克樹氏、西森克浩氏の研究成果を用いて解析したものであり、三名の方に感謝する。

## 5. 文献

環境庁編：絶滅の恐れのある生物（無脊椎動物編）（1991）

IUCN: *IUCN Red List Categories*. IUCN, Gland (1994)

西森克浩・上野世司：休止帯から推定した琵琶湖南湖のイケチヨウガイの年齢組成と成長量。滋賀県水産試験場事業報告 40-41 (1998)

Nakai, K.: Recent faunal changes in Lake Biwa, with particular reference to the bass fishing boom in Japan. In Kawanabe, H., Coulter, G.W. and Roosevelt, A.C. eds. "*Ancient Lakes and People: History, Conflicts, and Knowledge from Biological and Cultural Diversity*", Kenobi Publications, Brussels. in press. (1999)