第6章 琵琶湖におけるニゴロブナ種苗の放流水域 としてのヨシ帯の重要性と放流事業の課題

ニゴロブナCarassius auratus grandoculisの種苗放 流事業を効果的に進めるうえで必要な種苗放流適地 について知見を得るため、本種の養成親魚から得た 仔稚魚をよく発達したヨシ帯に放流して初期生態を 調査した。その結果、本種は仔魚期にはヨシ帯の岸辺 付近(以下、ヨシ帯奥部)へ積極的に集まり、その水域 を発育の場として利用することが明らかになった。 1)また、ヨシ帯奥部は本種仔魚が好んで摂餌する微 小甲殻類(ミジンコ亜綱)1-4)が豊富で、貴重な摂餌の 場となっているが、溶存酸素濃度(DO)が著しく低く、 一般には魚類が生息しにくい環境にあることが判っ た。1) しかし本種仔魚は生理的にそのような貧酸素 環境に適応しており、ヨシ帯奥部は本種仔魚にとっ て捕食者からの退避地として機能していると考えら れた。1,5)それでは、本種仔魚や稚魚が琵琶湖で生き 残るうえでヨシ帯は不可欠であろうか。本章では、こ の疑問を解決するため、ALC(アリザリン・コンプレク ソン)で耳石に標識(以下, ALC標識)6,7)を付けて識別 したニゴロブナ種苗を琵琶湖のヨシ帯, 近隣の砂浜 およびそれらの沖合水域へ放流し, 琵琶湖で再捕調 査を行い,本種仔稚魚が琵琶湖で生き残るうえでヨ シ帯が非常に重要な役割を果たしていることを示し た。また、ヨシ帯へのALC標識種苗の放流調査により、 高い放流効果が期待できる種苗サイズ(発育段階)を 明らかにし、併せて、ヨシ帯が持つ本種仔稚魚のナー サリー機能は、治水を目的とした琵琶湖の人為的な 水位低下やヨシ帯の管理を目的とした冬季のヨシ刈 り取り、焼き払い、およびヨシ帯への過度の種苗放 流によって低下することを明らかにした。

材料および方法

供試魚 1992年から1995年にかけて,毎年原則としてニゴロブナの産卵盛期の5月上旬に,琵琶湖栽培漁業センター(以下,栽培漁業センター。滋賀県草津市)のニゴロブナ親魚養成池へ人工産卵藻(キンラン,川島商事)を設置して,ニゴロブナに自然産卵させた。産卵翌日には,卵が付着した人工産卵藻を活魚輸送車で滋賀県水産試験場(以下,滋賀水試。滋賀県彦根市)へ搬入し,琵琶湖水を流したパンライト製または

FRP製の水槽に収容・管理して、数日後にふ化仔魚を 得た。これらふ化仔魚は藤原⁸⁾の手法に従って飼育 した。種苗各群の生産概要はTable 6.1にまとめた。

標識 種苗の耳石(礫石)に藤原⁶ および藤原ら⁷ の方法でALC標識を付けた。なお、放流後に再捕される種苗の放流時の耳石の長径(以下,耳石長)を推定するため、原則として最終の標識操作は各群とも放流する前日から放流直前までの24時間かけて行い、放流時の種苗の耳石外縁をALCで染めた。Table 6.1 には種苗各群へ付けたALC標識についても併せて示した。

ヨシ帯の重要性の検討 ニゴロブナの種苗放流 適地としてのヨシ帯の重要性を検討するため、Fig. 6. 1に示した滋賀県長浜市湖北町海老江(以下,海老江) の琵琶湖沿岸のヨシ帯(Site E), 近隣の同町尾上(以 下, 尾上) の砂浜 (Site O) およびそれらの沖合 (竹生 島の南方)の水深約80mの水域(Site CS)へ本種種苗 94E群,94O群および94CS群を,ともに1994年6月26 日に放流した。沿岸部への放流種苗(94E群,94O群) は、滋賀水試から活魚輸送車で群毎に放流水域付近 まで運搬し、バケツリレーして放流した。沖合への放 流種苗(94CS群)は、尾上にある朝日漁港で活魚輸送 車から漁船の活魚水槽へ移し替えてSite CSまで運 搬して放流した。なお、放流時に各群から250尾を無 作為抽出して冷凍保存し,後日,解凍後,これら全個 体の標準体長(以下,体長)を測定して群毎に平均値 とSDを計算するとともに、体長2mm間隔の相対度数を 求め、同群の放流尾数にこれを乗じて, 体長2mm間隔 毎の放流尾数を推定した。同年11月5日から翌年4月 15日には, 琵琶湖の主湖盆(北湖)で小型機船底曳き 網を用いてニゴロブナ標本を13,525尾採集した。そ の標本を冷凍保存し、後日解凍して体長と体重を測 定した後、耳石を調べて標識魚を特定し、さらに各 群を確定して,群毎の再捕尾数を求めた。また,各群 の耳石の最外部のALCリング長を蛍光顕微鏡 (OPT IPHOT, XT-EFD, ニコン)の接眼マイクロメータを 用いて計測し,藤原らの方法"で群毎の耳石長-体 長関係式から個体毎に放流時の体長を推定し(以下, この体長を推定放流体長という。),推定放流体長2mm 間隔で再捕尾数を求めた。これらのデータから,群毎 および各群の推定放流体長2㎜間隔の再捕率(再捕尾 数/放流尾数×100,%)を計算した。

Table 6.1 Details of the ALC marked nigorobuna Carassius auratus grandoculis released in Lake Biwa

| Group | Spawning | Hatching | Release | Age at release | ALC mark type ¹² | Sta | anda | rd lengt | h | Number released | Release |
|-------|--------------|-------------|-------------|----------------|-----------------------------------------|------|------|----------|-----|-----------------|---------|
| name | date | date | date | | • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • | Mean | = | SD | A' | | Site*3 |
| | | | | DAH*4 | | | | mn | 1 | | |
| 92M11 | 11-May-1992 | 17-May-1992 | 19-May-1992 | 2 | Dot | 5.5 | F | 0_3 | 124 | 1,074.000 | М |
| 92M12 | 11-May-1992 | 17-May-1992 | 27-May-1992 | 10 | Dot and ring | 7.6 | ± | 1.0 | 100 | 295,000 | M |
| 92M13 | 11-May-1992 | 17-May-1992 | 6-Jun-1992 | 20 | Dot and 2 rings | 9.7 | ± | 1.4 | 135 | 49,000 | M |
| 92M14 | 11-May-1992 | 17-May-1992 | 16-Jun-1992 | 30 | Dot and 3 rings | 15.1 | ± | 2.5 | 113 | 26,000 | M |
| 92M15 | 11-May-1992 | 17-May-1992 | 26-Jun-1992 | 40 | Dot and 4 rings | 16.1 | ± | 2.8 | 140 | 29,300 | M |
| 92M21 | 11-Jun-1992 | 15-Jun-1992 | 17-Jun-1992 | 2 | Dot | 5.7 | ± | 0.4 | 112 | 313,000 | M |
| 92M22 | l 1-Jun-1992 | 15-Jun-1992 | 23-Jun-1992 | 8 | Dot and ring | 7.0 | ± | 0.5 | 129 | 193.000 | M |
| 92M23 | 11-Jun-1992 | 15-Jun-1992 | 1-Jul-1992 | 16 | Dot and 2 rings | 8.1 | ± | 0.9 | 142 | 199,000 | M |
| 92M24 | 11-Jun-1992 | 15-Jun-1992 | 9-Jul-1992 | 24 | Dot and 3 rings | 10.7 | 1 | 1.5 | 180 | 91,000 | M |
| 92M25 | 11-Jun-1992 | 15-Jun-1992 | 17-Jul-1992 | 32 | Dot and 4 rings | 14.8 | Ŧ | 2.7 | 124 | 25,800 | M |
| 94E | 9-May-1994 | 15-May-1994 | 26-Jun-1994 | 42 | 5 rings | 16.6 | ± | 3.7 | 250 | 132,000 | E |
| 940 | 9-May-1994 | 15-May-1994 | 26-Jun-1994 | 42 | 4 rings | 15.5 | ± | 3.5 | 250 | 121.000 | 0 |
| 94CS | 9-May-1994 | 15-May-1994 | 26-Jun-1994 | 42 | 3 rings | 17.6 | ± | 4.3 | 250 | 98,000 | CS |
| 94M | 9-May-1994 | 15-May-1994 | 28-Jun-1994 | 44 | 3 rings | 18.1 | ± | 4.5 | 240 | 95,000 | M |
| 95M | 29-Apr-1995 | 5-May-1995 | 6-Jul-1995 | 62 | 3 rings | 20.6 | ± | 3.6 | 244 | 30,000 | M |
| 95C1 | 25-May-1995 | 31-May-1995 | 6-Jul-1995 | 36 | Dot and 2 rings | 16.8 | 1 | 3.7 | 289 | 84,000 | C |
| 95C2 | 29-∧pr-1995 | 5-May-1995 | 6-Jul-1995 | 62 | 2 rings | 20.6 | ± | 3.5 | 257 | 32,000 | C |
| 93E | 12-May-1993 | 18-May-1993 | I-Jul-1993 | 44 | 4 rings | 16.2 | ± | 3.3 | 203 | 194,000 | F. |
| 95E | 15-May-1995 | 20-May-1995 | 4-Jul-1995 | 45 | 3 rings | 17.3 | ± | 3.3 | 323 | 37.000 | E |
| 95CN1 | 15-May-1995 | 20-May-1995 | 1-Aug-1995 | 73 | 3 rings | 23.3 | 4 | 6.1 | 218 | 17,000 | CN |
| 95CN2 | 4-May-1995 | 10-May-1995 | 1-Aug-1995 | 83 | 6 rings | 25.5 | 1 | 6.1 | 200 | 66,000 | CN |
| 95H | 15-May-1995 | 20-May-1995 | 11-Jul-1995 | 52 | 4 rings | 16.0 | ± | 3.4 | 314 | 120,000** | 11 |
| 95A | 15-May-1995 | 20-May-1995 | 11-Jul-1995 | 52 | 3 rings | 16.5 | ± | 3.7 | 323 | 109,000** | ٨ |

^{*}I: Refer the text for ALC marking.

^{*2:} Except for the mark of only a dot, ALC marks were mutually discriminable from the size, interval, etc. of rings.

^{*3:} Refer to Fig. 6.1.

^{*4:} Days after hatching.

^{*5:} Non-marked fish of \$1,000 (23.24SD3.7 mm in standard length) were released with marked group 95H.

^{*6:} Non-marked tish of 506,000 (20.1±SD3.2 mm in standard length) were released with marked group 95A.

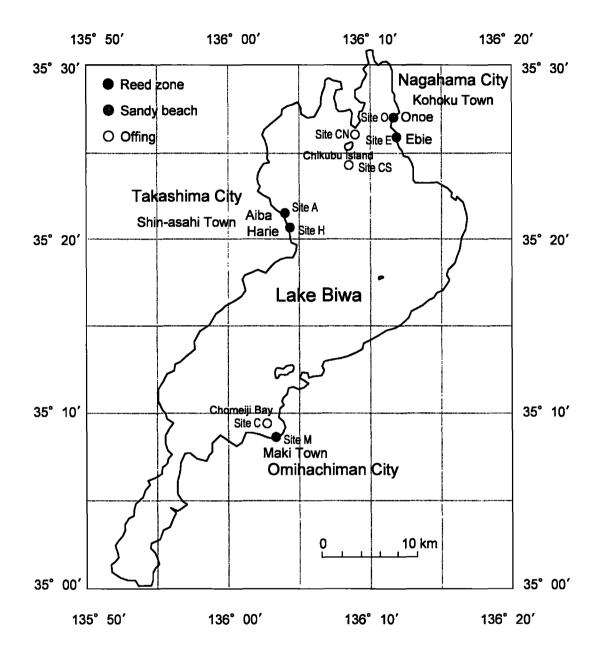


Fig. 6.1 Release sites of nigorobuna Carassius auratus grandoculis. Nigorobuna with different ALC mark shown in Table 6.1 were released in each site.

ョシ帯内での放流サイズ毎の生残率の推定 藤原ら¹¹はヨシ帯におけるニゴロブナの初期生態を知るため、滋賀県近江八幡市牧町(以下,牧,Fig. 6. 1)の琵琶湖沿岸に自生するヨシ帯に、1992年5月17日に ふ化したニゴロブナ仔魚を滋賀水試内で継続飼育し

ながら異なるパターンのALC標識を付けて,2日齢,10 日齢,20日齢,30日齢および40日齢の時点でTable 6.1に示したとおり順次放流した(本章では,それぞ れ92M11群,92M12群,92M13群,92M14群および 92M15群、以下,92M10シリーズ)。また,同年6月15 日にふ化した仔魚を、同様にALC標識を付けて2日齢,8日齢,16日齢,24日齢,32日齢の時点で放流した(それぞれ92M21群,92M22群,92M23群,92M24群および92M25群。以下,92M20シリーズ)。このうち,92M11群と92M21群の標識はともに卵段階で付けた耳石(礫石)の核部分が点状に発光する標識であるため両者を識別ができないが、他の群の標識はそれぞれ識別できる。そこで、今回の調査では1992年10月15日から翌年4月6日にかけて昼世間北間で小型機船底曳き網を用いて21,459尾のニゴロブナ標本を採集し、得られた標本を上記と同様に保存して、後日間定、標識確認を行い、92M12~92M15群と92M22~92M25群の群位の再補率を算出した。

また、これら放流種苗のうち、92M10シリーズの放 流魚は92M14群を放流した8日後の1992年6月24日以 降に、92M20シリーズの放流魚は92M24群を放流し た当日の7月9日以降に、ヨシ帯を仕切るネットの先 端に設置したマス網で補養されるようになり、92M 11~92M14群と92M21~92M22群は、それぞれ6月23 日以前および7月8日以前はそのヨシ帯内に限定して 生息していたと考えられている(藤原ら¹¹)。そこ で、92M15群を除く92M10シリーズおよび92M25群 を除く92M20シリーズの各群の牧のヨシ帯内での生 残率を、これらの採集尾数のデータを用いて川中®、 北田®にならい、Fig. 6.2に示したモデルにしたがって推定した。ここでRiは1番目に放流した92M10シリーズの種苗の放流尾数、Ettは (計1)番目に放流した92M10シリーズの種苗の放流尾数、Ettは (計1)番目に放流した92M10シリーズまたは92M20シリーズの種苗の放流時点(計1)における1番目の放流群の生残尾数である。ここで1番目に放流した種苗と(計1)番目に放流した種苗の(計1)時点以降の生残率は等しく、それら種間のマス網による捕獲割合も等しいと仮定して、1番目に放流した92M10シリーズまたは92M20シリーズの種間の次の群の放流時点(計1)の生残尾数を次式で求めた。なお、CiとCtiは、それぞれ92M10シリーズ(6月24日以降)または92M20シリーズ(7月9日以降)の1番目と(計1)番目の放流群のマス網で再捕された尾数である。

$$\hat{E}_{i+1} = \frac{R_{i+1}c_i}{c_{i+1}}$$

これらの生残尾数から、i番目に放流した92M10シリーズまたは92M20シリーズの種出の次の群の放流時点 (i+1) の生残率 $\hat{\phi}_{i,i+1}$ (以下、祥間生残率)を次式で計算した。

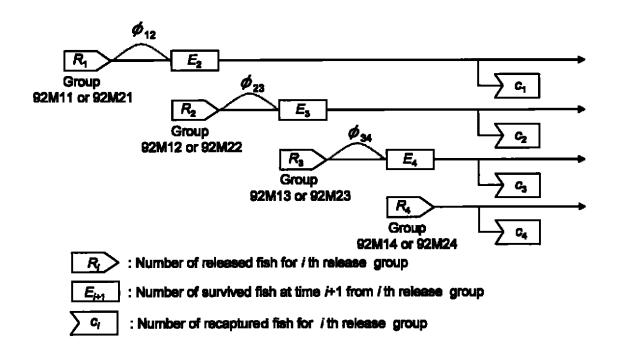


Fig. 6.2 Schematic diagram for survival estimation of larval and juvenile nigorobuna Carassius auratus grandoculis in the reed zone (Site M in Fig. 6.1).

$$\hat{\phi}_{i,i+1} = \frac{\hat{E}_{i+1}}{R_i} = \frac{R_{i+1}c_i}{R_ic_{i+1}}$$

なお, 群間生残率の漸近分散はデルタ法(例えば北田¹¹⁾を参照)によって一次の項まで展開して次式で推 定した。

$$\hat{V}(\hat{\phi}_{l,i+1}) \approx \frac{R_{l+1}^2}{R_l^2} \left[\frac{\hat{V}(c_l)}{c_{l+1}^2} + \frac{c_l^2 \hat{V}(c_{l+1})}{c_{l+1}^4} - 2 \frac{c_l}{c_{l+1}^3} \hat{Cov}(c_l, c_{l+1}) \right]$$
ここで、 $\hat{V}(c_l) = R_l \hat{p}_l (1 - \hat{p}_l)$, $\hat{p}_l = c_l / R_l$, $\hat{V}(c_{l+1}) = R_{l+1} \hat{p}_{l+1} (1 - \hat{p}_{l+1})$, $\hat{p}_{l+1} = c_{l+1} / R_{l+1}$, $\hat{Cov}(c_l, c_{l+1}) = r \sqrt{\hat{V}(c_l)\hat{V}(c_{l+1})}$ である。ただし, r は c_l と c_{l+1} の相関係数である。同一水域において同じ漁具で再捕されたことから $r>0$, すなわち $\hat{Cov}(c_l, c_{l+1}) > 0$ であることが期待される。 r は未知であるため,ここでは上記の分散式の 3 項目を無視するが, 3 項目は正の値をとるため,この分散の評価は安全なものになっている。この分散から群間生残率の標準誤差 SE を求めた。

また、92M10シリーズまたは92M20シリーズにおいて、1番目に放流した種苗(92M11群または92M21群)の(n+1)番目の種苗放流時点(ただし、n=2、3)までの生残率 \hat{S}_T (以下、通算生残率)を次式で推定した。

$$\hat{S}_{T,n+1} = \prod_{i=1}^{n} \hat{\phi}_{i,i+1}, (n=2,3)$$

この分散は、同様にデルタ法によって

$$\hat{V}(\hat{S}_{T,3}) \approx \hat{\phi}_{23}^2 \hat{V}(\hat{\phi}_{12}) + \hat{\phi}_{12}^2 \hat{V}(\hat{\phi}_{23})
+ 2\hat{\phi}_{12}\hat{\phi}_{23} \hat{Cov}(\hat{\phi}_{12}, \hat{\phi}_{23})$$

および

$$\begin{split} \hat{V}(\hat{S}_{T,4}) \approx \hat{\phi}_{23}^2 \hat{\phi}_{34}^2 \hat{V}(\hat{\phi}_{12}) + \hat{\phi}_{12}^2 \hat{\phi}_{34}^2 \hat{V}(\hat{\phi}_{23}) \\ + \hat{\phi}_{12}^2 \hat{\phi}_{23}^2 \hat{V}(\hat{\phi}_{34}) \\ + 2\hat{\phi}_{12} \hat{\phi}_{23}^2 \hat{\phi}_{34}^2 \hat{Cov}(\hat{\phi}_{12}, \hat{\phi}_{23}) \\ + 2\hat{\phi}_{12} \hat{\phi}_{23}^2 \hat{\phi}_{34}^2 \hat{Cov}(\hat{\phi}_{12}, \hat{\phi}_{34}) \\ + 2\hat{\phi}_{12}^2 \hat{\phi}_{23}^2 \hat{\phi}_{34} \hat{Cov}(\hat{\phi}_{23}, \hat{\phi}_{34}) \end{split}$$

独立と仮定し,共分散の項を無視して分散を計算した。

1992年5月11日には、同ヨシ帯の中央において、岸辺から沖合方向への距離と水深を実測し、その後の水位の変動に伴う水に浸かったヨシ帯(以下、水ヨシ帯)の奥行きの変化を計算した。

効果的放流サイズの検討 琵琶湖での高い放流 効果が期待できる種苗サイズを検討するため、Fig. 6.1に示した琵琶湖沿岸のヨシ帯(Site M, E)とそれ らの沖合(SiteC, CN)へTable 6.1に示したとおり 94M~95CN2群の8群を1993~1995年に放流した。そ の後、琵琶湖北湖で小型機船底曳き網を用いて1993 年は10月15日から翌年4月22日に24、337尾、1994年は 上記のとおり、1995年は10月30日から翌年3月3日に 9、526尾のニゴロブナ標本を採集し、得られた標本を 上記と同様に保存して、後日、測定、標識確認を行い、 標本を各年10、000尾サンプリングした場合の各群の 推定放流体長2mm間隔の再捕率を計算した。

ヨシ帯の密度効果の評価 ヨシ帯単位面積当た りに放流する尾数(以下,放流密度)の影響,すなわ ち密度効果を評価するため, 1995年にはFig. 6.1に示 した滋賀県高島市新旭町針江(以下,針江)と同町響 庭(以下,饗庭)の琵琶湖沿岸のヨシ帯(それぞれSite H とSiteA)へTsble6.1に示したとおり95H群と95A 群を放流した。放流時に巻き尺を用いて実測した水 ヨシ帯の面積は、SiteHでは11、671 m2、SiteAでは 9,702 m2であった。なお、これらの放流に併せて、栽 培漁業センターで生産した無標識のニゴロブナ種苗 を,95H群とともに81,000尾,95A群とともに506,000 尾放流した(Table 6.1)。その後, 琵琶湖北湖で小型 機船底曳き網を用いて上記のとおりニゴロブナを採 集し,得られた標本を上記と同様に保存し,後日、測 定,標識確認を行い,群毎および両群の推定放流体長 2mm間隔の再捕率を計算した。

統計処理 2群の体長,体重および肥満度の平均値の差は,仮説H₀、:「2群の母分散は等しい」をF検定で検定し,P>0.05で等分散とみなされた場合はスチューデントの t 検定で,そうでない場合にはウェルチのt検定で検定した。琵琶湖への種苗放流実験における2群の再捕率の差は,二項分布の正規近似による比率の差検定で検定した。

と推定される。ここでは、異なる期間の生残は互いに

第 果

三ゴロブナ種苗の放棄水域としてのヨシ帯の重要性 琵琶湖において,海老江のヨシ帯(SiteE),尾上の砂浜(SiteO)およびそれら沖合(SiteCS)へ放流したニゴロブナ種苗(それぞれ94E群,94O群,94CS群)の体長組成と2mm間隔の推定放流体長毎の再捕率をFig. 6.3に示した。94E群では再捕率は推定放流体長14mmを超えると26mmまで変動はあるものの次第に上昇する傾向がみられ,それよりも大きな体長では低下した。しかし24mmを超えた種苗の2mm間隔の放流尾数は1,590~2,120尾と,それ以下の体長の種苗の放流尾数5,301~33,398尾に比べて少なかった。94O群と94CS群では、推定放流体長の増大に伴う再捕率の大きな上昇はみられなかった。また94E群は,94O群と94CS群に比べてほとんどの推定放流体長で再捕率が有意(P<0.05)に高かった。

94E~94CS群の群毎の放流尾数と放流時の体長, 再捕尾数,再捕率,再捕魚の成長および推定放流体長 をTable 6.2に示した。放流時の平均体長は、94E群に

0.40 -Group 94E decepture rate (%) -Group 940 0.30 -0- Group 94C8 0.20 0.10 0.00 40.000 **S** Group 94E ■ Group 840 30,000 ☐ Group MCS 20,000 8 10,000 0 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 Standard length (mm)

Fig.6.3 Standard length distributions of nigorobuna Carassius auratus grandoculis released to Site E(reed zone):group 94E, Site O(sandy beach): group 94O and Site CS(offing):group CS in Lake Bivva(lower graph), and comparison of recapture rates for estimated standard lengths at release(upper graph). Asterisks indicate significant differences between group 94E and 94O or group 94E and 94CS by a test of two proportions under normal approximation (P<0.05). Refer to Fig.6.1 for release sites.

比べて940群が1.1mm小さく,94CS群が0.7mm大きく, ともに有意差が認められた(それぞれP=0.000,0.029)。群毎の再摘率は,94E群が94O群や94CS群よりも 有意に高かった(ともにP=0.000)。再捕魚の体長と体 重は,94E群に比べて94CS群が有意に大きかった(と もにP=0.000)。しかし,推定放流体長には3群間で有 意差はみられなかった(P>0.05)。

ヨシ帯への放流効果が高い発育教育とヨシ帯内での生残率の推移 牧の発管湖沿岸のヨシ帯(Site M) に放流した92M12~92M15群および92M22~92M25群の放流時の平均体長と再補率との関係をFig. 6.4に示した。再補率は92M10,92M20シリーズともに、体長が低ね16mmに達すると著しく上昇する傾向がみられた。

また、同ヨシ帯へ順次放流(Table6.1)した92M11 ~92M14群および92M21~92M24群は、ヨシ帯を仕切るネットの先端に設置したマス網でTable 6.3に示した尾数が再捕された。このデータから求められた92M10シリーズと92M20シリーズのそれぞれの放流群の通算生残率および群間生残率をともに百分率

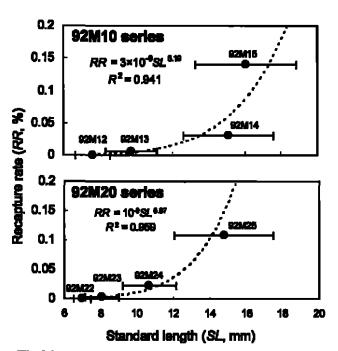


Fig.6.4 Relationships between standard length of nigorobuna Carasaius auratus grandoculis released to the reed zone of Site M(Refer to Fig.6.1) and recapture rates. Horizontal bars indicate standard deviations. Broken lines indicate the regression curves. Developmental stage; 92M12, 92M13, 92M22 and 92M23: pre-flexion larval stage, 92M14 and 92M24: flexion larval stage, 92M15 and 92M25: juvenile stage.

Table 6.2 Comparison of recapture rates and growth of nigorobuna Carassius auratus grandoculis released to reed zone, sandy beach and its offing

| | _ | | Release | | | | Recapture*2 | | | | | | | | | | | | | - |
|---------------|--------------------|-----------------|---------|-------|---------|-----|-------------|-----------|-------|-----------------|------|-------------|---|------|-------|--------|----------|-----------------------------------------|---|-----|
| Group name | Release site*1 | | Sta | ndare | d lengt | h | Number | Recapture | Stano | Standard length | | Body weight | | | Condi | tion 1 | factor*4 | Estimated standard length at release *5 | | |
| | | Number released | Mean*6 | ± | SD | N | recaptured | rate*3,7 | Mean | ± | SD | Mean*9 | ± | SD | Mean | ± | SD | Mean | ± | SD |
| | | | | | mm | | | % | | | mm | | | g | | | | | | mm |
| 94E | E (Reed zone) | 132,000 | 16.6 | ± | 3.5 | 249 | 176 | 0.133 | 90.6 | ± | 10.9 | 24.8 | ± | 9.6 | 3.21 | ± | 0.24 | 18.4 | ± | 3.7 |
| 940 | O (Sandy beach) | 121,000 | 15.5 | ± | 3.5 | 250 | 29 | 0.024 | 90.9 | ± | 9.9 | 24.2 | ± | 8.1 | 3.12 | ± | 0.18 | 17.6 | ± | 3.4 |
| 94CS | C'S (Offing) | 98,000 | 17.3 | ± | 3.7 | 244 | 26 | 0.027 | 105.1 | ± | 10.7 | 38.7 | ± | 13.9 | 3.23 | ± | 0.24 | 18.9 | ± | 4.3 |

^{*1:} Refer to Fig. 6.1.

^{*2:} Fish were released on June 26, 1994 and recaptured from 132 to 293 days after release by small trawl net in the northern basin of Lake Biwa.

^{*3:} Number recaptured / number released × 100.

^{*4:} Body weight / standard length³×10⁵.

^{*5:} Refer to the text for standard length estimation.

^{*6:} Significant differences 941: vs. 94O and 94CS by Student's t-test (P=0.000 and 0.029, respectively).

^{*7:} Significant differences 94E vs. 94O and 94CS by a test of two proportions under normal approximation (both P = 0.000).

^{*8:} Significant difference 94E vs. 94CS by Student's t-test (P=0.000).

^{*9:} Significant difference 94E vs. 94CS by Welch's t-test (P=0.000).

Table 6.3 Release and recapture of nigorobuna Carassius auratus grandoculis in the reed zone (Site 4*1) and estimated survival rates

| Group name | Age at release | Release date | Number released (R,) | Number recaptured $(c_i)^{*2}$ | Number survived at time of release of next group (E_{i+1}) | surviv former r | val rei | val rate: te of a ed group | Total su | rvival | rate (S_T) |
|---------------|----------------|-----------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------|-----------|----------------------------------|----------|----------|--------------|
| | | | | | | Mean | ± | SE | Mean | ± | \$E |
| | DAH*3 | | | | | | | % | | | % |
| 92M11 | 2 | 19-May-1992 | 1,074,000 | 31 | 268,971 | | | | 100.0 | | |
| 92M12 | 10 | 27-May-1992 | 295,000 | 34 | 119,000 | 25.0 | <u>+·</u> | 6.2 | 25.0 | <u>+</u> | 6.2 |
| 92M13 | 20 | 6-Jun-1992 | 49,000 | 14 | 2,411 | 40.3 | ± | 12.8 | 10.1 | ± | 4.1 |
| 92M14 | 30 | 16-Jun-1992 | 26,000 | 151 | | 4.9 | ± | 1.4 | 0.5 | ± | 0.2 |
| 92M21 | 2 | 17-Jun-1992 | 313,000 | 4 | 128,667 | | | | 100.0 | | |
| 92M22 | 8 | 23-Jun-1992 | 193,000 | 6 | 37,313 | 41.1 | ± | 26.5 | 41.1 | ± | 26.5 |
| 92M23 | 16 | 1-Jul-1992 | 199,000 | 32 | 33,47 1 | 19.3 | ± | 8.6 | 7.9 | ± | 6.2 |
| 92M24 | 24 | 9-Jul-1992 | 91,000 | 87 | | 16.8 | ± | 3.5 | 1.3 | ± | 1.1 |

^{*1:} Refer to Fig. 6.1.

^{*2:} Recaptured by traps set at the tip of three nets dividing the reed zone. 1)

^{*3:} Days after hatching.

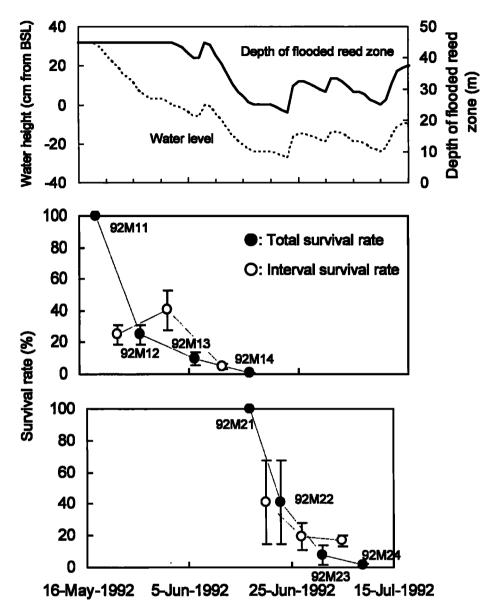


Fig.6.5 Relationship between water height from Lake Biwa surface level(BSL) and depth of flooded reed zone (upper graph) and transitions of survival rates of nigorobuna Carassius auratus grandoculis (lower two graphs). Vertical bars indicate standard errors. Refer to Table 6.1 for group names of 92M11 to 92M25, and developmental stage of each group for Fig.6.4.

で、琵琶湖の水位変動に伴う水ヨシ帯の奥行きの変化と併せてFig. 6. 5に示した。群間生残率を比較すると、92M11群から92M12群($\hat{\phi}_{12}$)に比べて92M12群から92M13群 $(\hat{\phi}_{23})$ が高かった。しかし92M13群から92M14群($\hat{\phi}_{34}$)は、それらよりも大きく低下した。このように生残率が比較的高かった92M12群を放流してから92M13群を放流するまでの間は、琵琶湖の水位は低下したが水ヨシ帯の奥行きに大きな変動はみられなかった。しかし、92M13群を放流してから

92M14群を放流するまでの間は,琵琶湖の水位低下に伴い水ヨシ帯の奥行きが大きく減少した。92M20シリーズでは,群間生残率は次第に低下した。92M22群や92M23群を放流した後,次の群を放流するまでの間にはいったん琵琶湖水位が上昇してヨシ帯の奥行きが一時は増大したが,その後の水位低下に伴いいずれも水ヨシ帯の奥行きが減少した。

92M11群から92M14群および92M21群から92M24 群までの通算生残率は、それぞれ0.50±0.24%(平均 ±SE)と1.34±1.08%であった。 放流効果が向上する種苗サイズ 牧と海老江のヨシ帯やその沖合へ放流したニゴロブナベボの推定放流体長と再加率との関係をFig. 6.6に示した。1994年6月28日に牧のヨシ帯(SiteM)へ放流した94M群は、再補率が推定放流体長18mmを超えると体長の増加とともに上昇した。しかし、放流尾数が少ない同24mmを超えると低下する傾向がみられた。しかし、同地点へ1995年7月6日に放流した95M群は、いずれの体長の補出もほとんど再補されなかった。また、その沖合の水深8.3mの水域(SiteC)へ1995年7月6日に放流した95C1群と95C2群は全く再補されなかった。1993年7月1日に海老江のヨシ帯(SiteE)に放流した

93F群は,推定放流体長が概ね16mmを超えると体長の増加とともに再捕率が大きく上昇する傾向を示した。

しかし、同地点へ1995年7月4日に放流した95E群は、推定放流体長が16mmを超えると再補率が若干上昇したものの、どの推定放流体長でも93E群に比べて著しく低く推移した。また、その沖合の水深約70mの水域(Site CN)へ1995年8月1日に放流した95CNI群と95CN2群はいずれの推定放流体長の種苗もほとんど再捕されなかった。

ヨシ帯へ具なる密度で放流した種苗の再補率 新旭町のヨシ帯(Site II, A)へ放流密度を変えて放

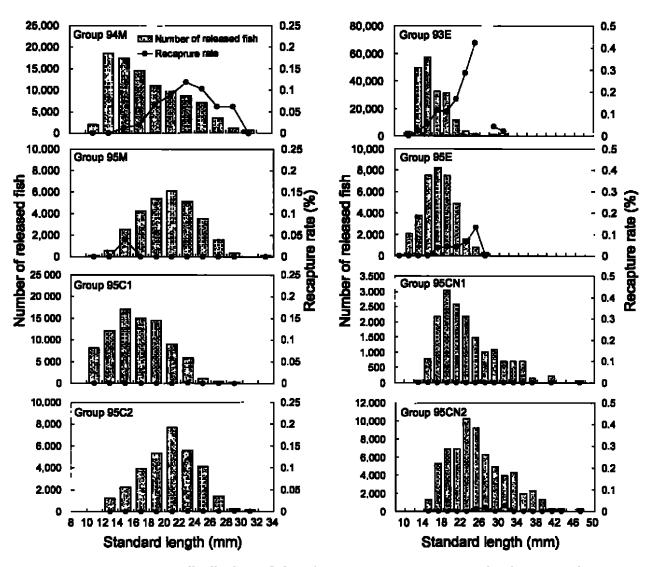


Fig. 6.6 Standard length distributions of nigorobuna *Carassius auratus grandoculis* released in Lake Biwa (Site M, C, E and CN, refer to Fig. 6.1), and relationships between estimated standard lengths at release and recapture rates. Refer to **Table 6.1** for group names, and to the text for the estimation of standard lengths at release. In order to compare recapture rates between groups, recapture rates assuming 10,000 specimens are shown.

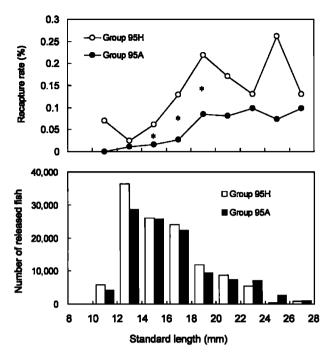


Fig.6.7 Standard length distributions of ALC marked nigorobuna Carassius auratus grandoculis (group 95H and 95A, refer to Table6.1) released to two neighboring reed zones (Site H and A, refer to Fig.6.1) in Lake Biwa (lower graph) and comparison of recapture rate for estimated standard lengths at release (upper graph). Asterisks indicate significant differences between two groups by a test of two proportions under normal approximation (P<0.05). Non-marked fish were also released in both reed zones together with marked fish. Densities of released fish were 17.2/m² at Site H and 63.4/m² at Site A.

流したニゴロブナ種苗のうち,標識魚(95H群と95A 群)の体長組成と2mm間隔の推定放流体長毎の再捕率 をFig. 6.7に示した。再捕率は,両群ともに推定放流 体長が大きくなるに伴い上昇する傾向がみられたが, 水ヨシ帯1m²当たりの放流密度が17.2尾であった 95H群が,放流密度が同63.4尾であった95A群よりも 高く推移した。また,推定放流体長14 mm 以下では, 再捕率に両群間で有意差はみられなかった(P>0.05) が,同14mmを超えて同20mmまでは95H群が95A群より も再捕率は有意に高かった(P<0.05)。放流尾数が少 なかった同20mm以上では有意差がみられなかった。

両群の総放流尾数,放流時の体長,群毎の総再捕尾数,総再捕率,再捕魚の成長および推定放流体長をTable6.4に示した。放流時の平均体長は,両群間で有意差がみられなかった(P>0.05)。総再捕率は,95H群が95A群よりも有意に高かった(P=0.000)。再捕魚の体長と体重には,両群間で有意差はみられなかった(P>0.05)が,肥満度と推定放流体長は,95H群に比べて

95A群が有意に大きかった(それぞれP=0.028,0.001)。

考察

ニゴロブナ仔魚は、その餌となる微小甲殻類(ミジ ンコ亜綱)1-4)が豊富な良く発達したヨシ帯の奥部に 積極的に集まる。1)しかし、ヨシ帯奥部の溶存酸素濃 度は低く,1)その水域は貧酸素に適応した本種仔魚 の外敵からの退避地として機能していると考えられ ており、1,5)本種仔魚が琵琶湖で生き残るうえでヨシ 帯の奥部は非常に重要な水域と思われる。今回の標 識種苗の放流・再捕調査の結果,海老江のヨシ帯へ放 流したニゴロブナ種苗の再捕率は,推定放流体長 14mmを超えると26mmまで次第に上昇し, 隣接する砂 浜やそれらの沖合へ放流した種苗に比べて、ほとん どの体長で有意に高かった。しかし、それ以上の体長 では再捕率は低下したが,これはこの体長の放流尾 数が少なく, 誤差が大きかったためだと考えられる。 また,放流時の平均体長には放流した群によって有 意差がみられたものの,砂浜や沖合へ放流した群と ヨシ帯へ放流した群の体長差は0.7~1.1mmと小さく, 群毎の再捕率の比較には大きな影響は及ぼさないと 思われる。そこで、群毎の再捕率を比較すると、砂浜 や沖合に放流した種苗に比べ、ヨシ帯へ放流した種 苗で総再捕率は有意に高かった。これらの結果から、 琵琶湖でニゴロブナ仔稚魚が生き残るうえでヨシ帯 は非常に重要な水域であり、ニゴロブナの種苗放流 事業を効果的に進めるうえで、ヨシ帯への種苗放流 は不可欠といえる。

また,これら3水域へ放流し,再捕された種苗の推定放流体長には差がみられなかった。しかし,沖合へ放流した種苗の放流後の成長(体長および体重)は,ヨシ帯へ放流したものよりも有意に良好であった。沖合へ放流して生き残った種苗が高成長を示したことは興味深い。ニゴロブナは概ね体長16mmで稚魚期を迎えるが,8)この沖合へ放流された種苗の推定放流体長は18.9±4.3mm(平均値±SD,以下同様)で,稚魚期に達して間もない発育段階であった。この段階では,本種はまだ沿岸水域に依存していると考えられており,1)沖合放流後にたどり着いた沿岸は本種稚魚が成長するうえで好適な環境であったものと思われる。

牧のヨシ帯へ継続飼育したニゴロブナ種苗にALC

Table 6.4 Comparison of recapture rates and growth of nigorobuna Carassius auratus grandoculis released to reed zone with different density

| | Released site ^{*1} | | Release | | | | | Recognized of marked fish ⁷² | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|----------|----------------------|-----------|-----------------------------------------|------|-------------|---|--------------------------------|------|---------------------------------------|-----|------|----------|------|------|-----|-------|
| Group pame | | Number released | Released density in flooded | Standard length of marked fish | | Number recaptered | Recapture | Standard leagth | | Body weight | | Condition factor ⁴⁴ | | Estimated sta longth at release | | h | | | | | |
| | | | rood zone | Mean | ± | 8D | N | | | Mean | ± | \$D | Мовя | ± | SD | Mesn | 7 ± | SD | Meen | • ± | SD |
| | | | /m² | | | البس | | | % | | | ann. | | | 8 | | | | | | TTERN |
| 95H | H (Reed zone) | 201,000 Marked fish: 120,000 Nos-marked fish: 81,000 | 17.2 | 16.0 | 1 | 3.4 | 314 | 111 | 0.09 | 81.6 | ± | 6.1 | 17.1 | # | 4.3 | 3.09 | Ŧ | 0.21 | 17.8 | F | 3.1 |
| 95A | A (Reed zone) | 615,000 Marked fish: 109,000 Non-marked fish: 506,000 | 63.4 | 16.5 | ± | 3.7 | 323 | 38 | 0.04 | 82.9 | ± | 6.9 | 18.5 | ± | 5.4 | 3.18 | ± | 0.23 | 19,5 | ± | 3.9 |

^{*1:} Refer to Fig. 6.1,

ß

^{*2:} These fish were released on July 11, 1995 and recaptured from 111 to 236 days after release by small trawl not in the northern basin of Lake Biwa.

^{*3:} Number recaptured / number released × 100.

^{*4:} Body weight / standard length 3×105.

^{*5:} Refer to the text for standard length estimation.

^{*6:} Significant difference by a test of two proportions under normal approximation (P = 0.000).

^{*7:} Significant differences by Student's t-test (P=0.028).

^{*8:} Significant differences by Student's t-test (P=0.001).

標識を付けて順次放流したところ、稚魚期に達した 放流群の再捕率が著しく上昇し, 生残率の急速な向 上がうかがえた。本種は稚魚期に達すると、蟾条や鱗、 骨格がほぼ完成するとともに、骨格筋および消化、呼 吸,循環,感覚,造血,排泄を司る各器官の急速な発達 が観察されている。8)またこの体長を境に, 魚類の遊 泳速度のうち、測定時間を60分間とした最大遊泳速 度12)である巡航速度が急速に増加するとともに,魚 類の遊泳能力の指標として用いられるSAI13)も、その 上昇率を増すことが確認されている。14)さらに、SAI を体長で除して求めた相対SAIは、体長の大小間で遊 泳能力を比較できる指標となるが、稚魚期になると この値の上昇が観察されている。10)このように稚魚 期に達すると天然環境下での生活を支える機能や生 き残る能力が格段に向上し、運動能力も飛躍的に向 上するため、生残率の急速な上昇に繋がったものと 思われる。

魚類の初期生活史において,一般に初期減耗は発 育初期の内部栄養から外部栄養へ転換する時期に起 こり、¹⁵⁾それには飢餓が強く関係する¹⁶⁾とされてい る。それ以降は格段に生残率が上昇すると考えられ る。今回、牧のヨシ帯内で、ニゴロブナの発育に伴う 生残率の変化を調査したが,発育が進んだ種苗の方 が,生残率が大きく低下する現象が確認された。この 時期には,琵琶湖の水位が低下し,水ヨシ帯の奥行き が減少するのが特徴的であった。ヨシ帯の中央部に 放流されたニゴロブナ仔魚は、積極的にヨシ帯奥部 へと蝟集する行動が確認されている。1)また,ニゴロ ブナの上屈前仔魚がヨシ帯の中央部から岸辺付近, それ以降の上屈後仔魚は岸辺付近に多く分布すると の報告もある。17)今回の調査時には,琵琶湖水位の低 下に伴い、それまで水中にあったヨシ帯が干出し、ヨ シ帯奥部で多くのニゴロブナ仔魚が干出部分に取り 残されて死亡する現象が観察された。発育が進んだ にもかかわらず生残率が低下したのは,この干出死 が大きな原因といえよう。琵琶湖の水位は1992年3月 に定められた瀬田川洗堰操作規則に基づいて調整さ れている。フナ類の繁殖期19,23)に当たる6月中旬以降、 梅雨期の増水に備えて治水上の理由から、毎年、琵琶 湖の水位は琵琶湖基準水位(BSL)よりも大きく下げ られる。²⁰⁾このような水位調整によって, ニゴロブナ 仔魚は生残に大きな影響を受けている。

琵琶湖沿岸のヨシ帯やその沖合に放流したニゴロ

ブナ種苗の推定放流体長と再捕率との関係を調査したところ,牧のヨシ帯へ1994年に、海老江のヨシ帯へ1993年と1994年にそれぞれ放流した種苗の再捕率は,推定放流体長14~18 mm を超えてほぼ稚魚期に達した以降は成長とともに次第に上昇した。さらに大きな体長24~26mm以上の種苗では再捕率が低下する場合もあったが,これは,これら大きな種苗では放流尾数が少なく, 誤差が大きくなったためだと考えられる。これらの結果からも,概ね体長16 mmを超えて稚魚期に達した以降の種苗を,ヨシ帯へ放流すると生残率が向上すると考えられる。

しかし、1995年に牧および海老江のヨシ帯へ放流した種苗は、どの体長でも前年に比べて再捕率が著しく低かった。滋賀県では1992年から「滋賀県琵琶湖のヨシ群落の保全に関する条例」が施行され、同条例に基づいてヨシ群落保全基本計画が策定されてヨシの出芽を促すことを目的に、琵琶湖やその内湖の沿岸で冬季に枯れヨシの刈り取りや焼き払いの事業が行われている(滋賀県ホームページ:http://www.pref.shiga.jp/d/shizenkankyo/yoshi/index.html)。この事業は、1992年は行われなかったが、1993年には1.5ha、1994年には43.5ha、1995年には52.6haの規模で行われた。²¹⁾この事業が行われた1~3月の琵琶湖の平均水位は、1994年はBSL+1.9cmであったが、1995年はBSL-52.4cm(国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所ホームページ:http://www.

biwakokasen.go.jp/graph2/csvlist.htmlの水位デ ータから計算)で,1995年は前年に比べて50cm以上も 水位が低かった。このため、1995年は前年には水中に あったヨシまで刈り取られる結果となった。4月以降 は、各年とも水位がBSL±0cmよりも高く回復(同ホー ムページ) したため、1995年は刈り取られた多くの枯 れヨシの切り口が水面下にあった。ヨシの枯れた茎 は地下茎に酸素を供給する役割を担い, 枯れヨシを 水面下で刈り取ると成長が抑制されると考えられて いる。22-24)また、著者は切り口の冠水にともなうヨシ の発芽の遅れと成長遅滞を天然水域および実験池で 実証している(藤原,未発表)。Fig. 6.8に示した牧の ヨシ帯をはじめ、海老江のヨシ帯でも、1994年に比べ て1995年はヨシの出芽が遅れ、ヨシの成長が著しく 悪い状況にあった。また、ヨシ帯の奥部にはニゴロブ ナの初期餌料となる小型の甲殻類が多数分布するこ とが知られているが2,3.25),1995年に調査した牧のヨ



Fig.6.8 Comparison of growth of reed *Phragmites australis* between (A) May 30, 1994 and (B) May 26, 1995 in Lake Biwa coast Maki Town (Site 4 M in Fig.6.1).

シ帯では、その発生が前年に比べて著しく少なかった。***1995年の牧や海老江のヨシ借へ放流したニゴロブナ種苗の生残率の著しい低下には、このヨシの成長逐漸が原因していると思われる。今回の調査はニゴロブナを対象としてきたが、春季のヨシの成長の遅れは、ヨシ帯に依存する他の様々な生物にも影響を与えていると考えられる。このため、ニゴロブナをはじめ、様々な生物を保全する観点から、ヨシ帯を管理するための枯れヨシの刈り取り事業は、春先に水而下になる場所を避けるなど、十分な検討と予測を行い、注意を払って実施すべきである。

一方、牧や海老江の沿岸から離れた神合へ放流したニゴコブナ積出は、ヨシ借へ放流したものよりも大きなサイズであってもほとんど再構されなかった。特に海老江ヨシ帯の神合に放流した種苗の体長は25.5±6.1mmで、大きいものは体長30mmを超えていたが再補されなかったことから、このようなサイズであっても、ニゴコブナのヨシ帯への依存性は高いといえよう。

これらの結果から、ニゴコブナの種苗放流事業の 効果を高めるためには、概ね体長16 mm を超えて稚 魚期に達した以降の種苗を、十分に発達したヨシ帯 へ放流することが不可欠といえよう。

琵琶湖周辺で1~3月にヨシの刈り取り事業が大規模に実施された1995年でも,針江や饗庭のヨシの刈

り取り規模は比較的少なく、春先のヨシの成長も大 きな滑りがなかった。そのため1995年は、針江と饗庭 のヨシ冊でのALC標識種苗放流により,放流密度が放 流後の種苗の生残等に与える影響を検討した。その 結果, ヨシ帯1㎡当たり17.2尾の密度で放流した群に 比べて63.4尾の密度で放流した群の再揃率は、推定 放流体長14~20mmまで有意に低く、群毎の再揃率に も有意差がみられた。近年、琵琶湖近傍の水田にニゴ ロブナ仔魚を放流し,水川で育った種苗を琵琶湖へ と流下させる形での種苗放流事業が行われており、 水田内におけるニゴロブナの日成長量は、飼育下や **琵琶湖沿岸のヨシ帯におけるそれらよりも大きい傾** 向が確認されている。20しかし、このような水田であ っても、生残率は個体数密度が低い場合に高い傾向 を示すことが指摘されている。20また水田で発生す る餌生物の量とニゴロブナの成長量から30日間で全 長44mmまで育成できるニゴロブナの最大尾数は水田 1 m²当たり4.6尾と見積もられている(和田ら、日本 陸水学会72回大会講演要旨,2007)。今回の放流実験 で, 琵琶湖沿岸のヨシ帯においても密度効果が確認 され、ヨシ帯に環境収容力が存在することが示唆さ れた。このため、ニゴロブナ種苗放流事業を効果的に 進めるうえで、ヨシ帯への放流尾数が過度にならな いように十分に注意を払う必要があるといえよう。 また,今回の放流実験では、水ヨシ帯1㎡当たりに

17.2尾放流した群に比べて63.4尾放流した群の再捕魚の肥満度と推定放流体長が有意に大きかった。このことは、密度効果が現れる状況のヨシ帯では、大きなサイズのものが有意に生き残りやすく、成長するうえで優位にあることを示している。

以上の結果から,体長が概ね16mmを超えて稚魚期 に達したニゴロブナ種苗を琵琶湖沿岸の発達したヨ シ帯に放流することにより、高い放流効果が得られ ると考えられる。しかし現状の琵琶湖では、ニゴロブ ナがその沿岸に依存する時期に人為的な琵琶湖水の 放流操作により琵琶湖の水位が低下し, それに伴い 発育初期のニゴロブナはヨシ帯内での干出や生息場 の喪失により致命的な影響を受ける。さらにヨシ帯 の管理のために水位の低下する冬季にヨシの刈り取 りと焼き払いが行われ、ニゴロブナがヨシ帯に依存 する時期にヨシの成長が不十分な状況もみられる。 最近では地元住民やボランティア団体等が中心とな り、参加型環境保全活動としてこの刈り取りと焼き 払いが行われている。28)ニゴロブナ資源を保全する 観点からは,このような人為的な行為の見直しにつ いて,関係部局へ働きかけていく必要がある。また, ヨシ帯へニゴロブナ種苗を放流するに当たって、高 い放流効果を維持し,併せて天然のニゴロブナの再 生産を保護,助長する観点からは、ヨシ帯の環境収容 力を考慮した放流尾数や天然よりも大きすぎないサ イズの種苗放流についても十分に注意を払う必要が

琵琶湖沿岸のヨシ帯は各種の開発行為等によって その面積の減少が続いたが,²²⁾近年ではニゴロブナ 資源を増大させるために,ニゴロブナの初期生態を 考慮したヨシ帯の造成事業²⁹⁾や稚魚期種苗の放流事 業が行われている。このような取り組みに加え,一層 効果的にニゴロブナ資源を回復させるためには,琵 琶湖沿岸に依存しない種苗の放流技術の検討と事業 の実施も重要といえよう。

文献

- 1) 藤原公一, 臼杵崇広, 根本守仁, 北田修一. 琵琶 湖沿岸のヨシ帯におけるニゴロブナ Carassius auratus grandoculisの初期生態とその環境への適応. 日水誌 2011;77:387-401.
- 2) 平井賢一. びわ湖内湾の水生植物帯における仔稚

- 魚の生態 II 水生植物帯にすむ仔稚魚の食性について.金沢大学教育学部紀要自然科学編 1971; 20:59-70.
- 3) 平井賢一. びわ湖内湾の水生植物帯における仔稚 魚の生態 Ⅲ ニゴロブナ仔稚魚の食性と生息域の 関係. 日本生態学会誌 1972; 22: 69-93.
- 4)山本敏哉. 微小甲殻類を摂餌したニゴロブナ仔魚 の成長. 矢作川研究 2005; 9: 85-88.
- 5) Yamanaka H, Kohmatsu Y, Yuma M. Difference in the hypoxia tolerance of the round crucian carp and largemouth bass: implications for physiological refugia in the macrophyte zone. *Ichthyol Res* 2007; 54: 308-312.
- 6) 藤原公一. アリザリン・コンプレクソンを用いたニゴロブナ, Carassius auratus grandoculisの耳石への標識装着条件. 水産増殖 1999; 47: 221-228.
- 7) 藤原公一, 臼杵崇広, 根本守仁, 北田修一. アリザリン・コンプレクソンを用いたニゴロプナ *Carassius auratus grandoculisの*耳石への多重標識 装着条件と放流サイズの推定方法. 日水誌 2010; 76: 637-645.
- 8) 藤原公一. ニゴロブナ Carassius auratus grandoculis の飼育仔稚魚の発育と成長. 日水誌 2010; 76: 894-904.
- 9)田中昌一 VI. 標識放流.「水産資源学総論」恒星社 厚生閣,東京. 1985; 284-341.
- 10) 北田修一 VI. 標識再捕による放流効果の評価. 「資源評価のための数値解析」(島津靖彦編) 恒星 社厚生閣, 東京. 1987; 102-117.
- 11) 北田修一「栽培漁業と統計モデル分析」共立出版, 東京. 2001; 166-168.
- 12) Brett JR. The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 1964; 21: 1183-1226.
- 13) Tsukamoto K, Kajihara T, Nishiwaki M. Swimming ability of fish. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 1975; 41: 167-174.
- 14) 藤原公一, 臼杵崇広, 北田修一. 成長および流水トレーニングに伴うニゴロブナ Carassius auratus grandoculis 仔稚魚の遊泳速度の変化. 日水誌 2010; 76: 1025-1034.
- 15) Heming TA, Buddington RK. Yolk absorption in embryonic and larval fishes. In: Hoar WS, Randall

- DJ (eds). Fish Physiology Vol. XL Academic Press, London. 1988: 407–446.
- 16) 塚木勝巳. II. 発育過程の生態学的側面. 8. 魚類 の初期減耗過程とそのメカニズムに関する標識放 流実験. 「魚類の初期発育」(田中克編) 恒星社厚 生閣、東京. 1991; 9-20.
- 17) 鈴木巻士, 永野元, 小林徹, 上野紘一. RAPD 分析 による琵琶湖産フナ属魚類の種・亜種判別および ヨシ帯に出現するフナ仔稚魚の季節変化. 日水誌 2005; 71: 10-15.
- 18) 中付守純、「日本のコイ科魚類」資源科学研究所, 東京、1969.
- 19) 松山尚一, 前畑政善, 秋山廣光. 「湖国びわ湖の魚 たち」(滋賀県立整智湖文化館編) 第一法規出版, 東京, 1986.
- 20) Yamamoto T, Kohmatsu Y, Yuma M. Effects of summer drawdown on cyprinid fish larvae in Lake Biwa, Japan. Limnology 2006; 7: 75-82.
- 21) 平成 5 年版~7 年版環境白書 (滋賀県生活環境部 環境室舗)、滋賀県、大津、1993-1995.
- 22) 栗林 実. **翌**琶湖沿岸の植物の現状と保全. **翌**雹 湖研究所所報 1999; 16: 78-85.
- 23) 西野麻知子, 浜端悦治. ヨシ刈りのよしあし. 「内 湖からのメッセージ」(西野麻知子, 浜端悦治編) サンライズ出版. 滋賀. 2005 : 115-116.
- 24) 吉良竜夫、ヨシの生態おぼえがき、琵琶湖研究所 所報1991; 9: 29-37.
- 25) 山本敏哉. 微小甲殻類を摂餌したニゴロブナ仔魚 の成長. 矢作川研究 2005; 9: 85-88.
- 26) 臼杵県広, 小林徹, 藤原公 · , 的場洋. 異常渇水後 のヨシ・キシュウスズメノヒエ群落の木質・餌料環 境。平成7年度滋賀水試事業報告1996; 10-11.
- 27) 金尾滋史, 大塚泰介, 前畑政善, 鈴木規慈, 沢川裕一. ニゴロプナ Carassius auratus grandoculisの初期 成長の場としての水川の有効性. 日水誌 2009; 75: 191-197.
- 28) 牧野厚史. ヨシ帯保全における自然と人間との適度な関係. 滋賀人環境総合研究センター研究年報2008; 5: 1-12.
- 29) 滋賀県農政水産部水産課. ヨシ帯と砂地の造成. 滋賀の水産、滋賀県、大津, 2009; 23-24.
- 30) 基藤原公 · 枯れ茎の刈り取りと切り口の冠水に 伴うヨシPhragmites australisの出芽遅延と成長阻

害. 日水誌 2012; 78: 1159-1169 ^{¥4}

第7章 琵琶湖におけるニゴロブナ放流種苗の成長 および分布域の拡大と沖合への種苗放流技術の検 討

第6章では、ふ化したニゴロブナCarassius auratus grandoculisが発育するうえで琵琶湖沿岸のヨシ帯が 非常に重要であり、1)体長約16mmを超えて稚魚期に 達した本種種苗をヨシ帯に放流することで高い放流 効果が得られることを示した。しかし、琵琶湖沿岸の **冠水域にあるヨシ帯(以下,水ヨシ帯)は,1974年には** 約99haであったが、2) 湖岸の開発、改変などにより 破壊され、2002年には約76 ha3)まで減少し、近年では ニゴロブナの天然繁殖や種苗放流の場が著しく不足 した状況にある。また、1992年から「瀬田川洗堰操作 規則」に基づいて琵琶湖の水位が6月16日以降は琵琶 湖基準水位(BSL)-20cm以下まで人為的に下げられ、1) 本種の繁殖期に当たる6月中旬5,60以降の琵琶湖水位 は、1985~1989年と比べて1992~1997年には大きく 低下していることが報告されている。⁷2002年時点で の水ヨシ帯の面積はBSL±0cmでは約76haと実測されて いるが、BSL-10cmでは約88%、-20cmでは約67%、-30cmで は約47%にまで減少すると見積もられており、3)今日で はニゴロブナの繁殖の場がこの水位操作により一層減 少した状態にある。

また、耳石をALC(アリザリン・コンプレクソン)で 染色した標識(以下, ALC標識^{8,9)})を付けた本種の種 苗放流調査により,水位低下に伴う本種仔魚の生残 率の大きな低下が明らかになっている。10)さらに、 1992年に施行された「滋賀県琵琶湖のヨシ群落の保 全に関する条例」に基づいてヨシ群落保全基本計画 が定められ、毎年、春先のヨシの芽吹きの促進を目的 に、水位の低い冬季に枯れヨシの大規模な刈り取り が行われてきた。最近では地元住民やボランティア 団体等が中心となり、参加型環境保全活動としてこ の刈り取りと焼き払いが定着している。11)しかし春 先以降は、刈り取りが行われる冬季に比べて琵琶湖 水位が上昇するため,刈り取られたヨシ茎の切り口 が冠水する場合がある。枯れヨシの茎は、地下茎に水 面上から酸素を供給する機能があり、このようなヨ シ帯では切り口が冠水することで酸素供給が止まり、 成長が遅滞すると考えられている。12-14)また,著者は 切り口の冠水にともなうヨシの発芽の遅れと成長遅 滞を天然水域および実験池で実証している(藤原,未

発表)。つまり、ヨシの成長を促すことを目的に実施されているヨシ刈り活動が、結果としてヨシの成長を遅らせ、ニゴロブナの繁殖を阻害する原因になっている。10)このように、近年の琵琶湖沿岸のヨシ帯では、ニゴロブナ仔稚魚の成育機能が著しく低下している。また、ヨシ帯にはニゴロブナを育成できる環境収容力が存在し、一定尾数を超えた種苗放流により密度効果が現れ、放流された種苗の生残率が低下することが確認されている。10)このため、現状の琵琶湖でニゴロブナ資源を安定的に増大させるためには、ヨシ帯に依存しない段階まで育てた本種種苗の放流技術の確立が必要である。

ニゴロブナは、仔魚期にはヨシ帯の岸辺付近に餌 を求めて集まり発育・成長する1.15)が、稚魚期に達す ると巡航遊泳速度が急速に増大し持続遊泳が可能と なるなど、遊泳能力も次第に向上して分布を拡大す る。16)5月中旬生まれの本種人工種苗を2日齢の時点 でヨシ帯に放流すると,6月下旬には稚魚期に達した 個体から順次ヨシ帯を離脱しはじめるという調査結 果も得られている。1)また牧1)は, 琵琶湖南湖では本 種の当歳魚が8月下旬からヨシ帯や沈水植物帯で確 認され、その後、すぐ沖合側の泥地へ移行し、10月に は採集されなくなることを報告している。さらに,太 田ら18)は小型機船底曳き網を用いた調査で,冬季に は琵琶湖沖合の水深70m付近の湖底で本種当歳魚が 多数採集されることを確認している。このように,夏 季から冬季にかけての本種当歳魚の生態についての 知見は得られているが、断片的なものでしかない。 また,冬季までの本種の成長については,知見が得ら れていない。ヨシ帯に依存しない段階まで育てた本 種種苗の放流技術を検討するうえで、これら情報の 収集が重要である。そこで、ALC標識を付けた本種稚 魚を6,7月に琵琶湖沿岸のヨシ帯へ放流した後,その 年の冬季にかけて琵琶湖内で追跡調査し,本種当歳 魚の移動と成長の特性を把握した。また,これらの知 見をもとに、ALC標識で識別した異なるサイズの本種 種苗を晩秋季に琵琶湖沖合に放流し, 追跡調査を経 て高い放流効果が期待できるサイズを明らかにした。 さらに気温の上昇に伴い,近年では琵琶湖の水温が 大きく上昇する傾向にあり、19-22)冬季の鉛直混合の 弱まり,すなわち水温躍層の解消の遅れが指摘され ている。21-23)このような琵琶湖の温暖化傾向を背景 に、沖合への当歳魚種苗放流を行う場合の効果的な

放流条件についても検討した。

材料および方法

琵琶湖におけるニゴロブナの冬季までの成長と 移動の把握

1. ニゴロブナ種苗の生産・放流と再補調査 1992 ~1996年にかけて毎年5月中旬に琵琶湖栽培漁業セ ンター(以下、栽培漁業センター。滋賀県草津市)で 自然産卵したニゴロブナ卵を、産卵翌日に滋賀県水 産試験場(以下,滋賀水試。滋賀県彦根市)へ搬入し、 琵琶湖水を流したFRP水槽に収容・管理して数日後に ふ化仔魚を得た。これらふ化仔魚は藤原²⁴⁾の方法に 従って飼育し、9群のニゴロブナ種苗を生産した。こ れらの種苗には、卵の管理中およびふ化後の飼育中 に、藤原8)および藤原ら9)の方法に従い耳石(礫石)へ 相互識別可能な3~5重のリング状のALC標識,または 礫石の中心部分への点状のALC標識に加え4重のリン グ状のALC標識を付けた。これら種苗は、Fig. 7.1に示 した滋賀県近江八幡市牧町(以下、牧)のSite M、長 浜市湖北町海老江(以下,海老江)のSite E および高 島市新旭町針江(以下、針江)のSite H の琵琶湖沿岸 に自生するヨシ帯に放流した。これら種苗のふ化日、 放流日,放流時の日齢,ALC標識のタイプ,放流場所, 放流尾数および放流サイズはTable 7.1に示した。そ の後、ニゴロブナ当歳魚の琵琶湖内での成長や移動 を知るため、著者らが自ら、または漁業者に依頼し て小型機船底曳き網(地方名「沖曳き網」。漁船からア ンカー、揚網ロープ、網および揚網ロープの順に投 入し、アンカー投入位置に戻って、アンカーロープ を回収して漁船に固定し、揚網。著者らが実施した 場合の揚網距離(=曳網距離)は100 m, 袖網長は3.5m, 袋網長は3mで袋網の目合いは3.5mm, 漁業者が実施し た場合の曳網距離は約600m,袖網長は約40m, 袋網長 は約10mで袋網の目合いは約5mm)を用いて、これら ALC標識魚の再捕調査を行った。沖曳き網漁業におい て, ニゴロブナ当歳魚は晩秋季から翌年の早春季に かけて, 琵琶湖主湖盆(以下,北湖)沖合の水深数10m の水域で混獲されることが知られている。このため 漁業者へは、北湖の随所で実施される同漁業におい て、1992~1996年の各年10月以降から翌年の4月にか けて混獲された本種当歳魚の採集を依頼した。著者

らは、1994年7月1日から同年11月末までの間に、種 苗放流地点周辺の水深10m以浅の任意の地点で本種 当歳魚の採集調査を実施した。これら調査によって、 ニゴロブナ当歳魚を1992年は10月15日から翌年4月6 日に21,392尾,1993年は10月15日から翌年4月22日に 24、337尾、1994年は7月1日から翌年4月15日に13、790 尾、1995年は10月30日から翌年3月3日に9.526尾、 1996年は11月3日から翌年1月18日に11,872尾採集し た。これらの採集時には、測深錘または魚群探知機を 用いて採集地点の水深を測定した。また、採集地点は 琵琶湖を一辺2kmの方形に区分したメッシュ図上に プロットした。採集した標本は氷蔵して滋賀水試ま たは最寄りの漁港へ持ち帰り、速やかに凍結して保 存した。後日、解凍後に標準体長(以下、体長)および 体重を測定した。また、全標本から耳石(礫石)を摘出 し、藤原ら90の方法でALC標識を確認して放流魚を特 定し、ALC標識のパターンから放流群を判別した。

2. 琵琶湖内での成長に及ぼす水温の影響の検討 1993~1996年の4年間, 同じ水域(Site E, Fig. 7.1)へ 放流した93E群, 94E群, 95E2群および96E群(Table7. 1)のふ化日、放流日および再捕日と体長および体重と の関係を検討した。その結果、後述するように琵琶湖 ではニゴロブナは夏季に成長し、水温が低下する11月 末から翌年1月には成長が滞ることが明らかになった ため、12月から翌年1月に再捕された各放流群の体長 および体重と、ニゴロブナが成長する8~10月の北湖 全域の平均表層水温との関係を検討した。さらに1994 年に異なる水域 (SiteM.E.H.Fig. 7.1) へ放流した 94M群,94E群および94H群(Table 7.1)については、12 月から翌年1月の再捕魚の体長および体重と放流地点 近傍の水域の8~10月の平均表層水温との関係を検討 した。水温は滋賀県環境科学研究センターが提供す る水質データベース(http://www.lberi.jp

/root/jp/22db/suisitu/bkjhsuisitu_top.htm#data)の水温データ(観測頻度;1~2回/月,観測水深;0.5m,観測定点;長命寺沖,早崎沖,外ヶ浜沖の各定点およびこれらを含む北湖28定点)を用いた。なお,観測定点の長命寺湾,早崎沖および外ヶ浜沖は,それぞれ種苗を放流したSite M, Site E およびSite H の直ぐ沖合(Fig.7.1の黒菱形印)に位置する。

3. 冬季までのニゴロブナ当歳魚の移動の追跡調査 1994年に放流した94M群, 94E群および94H群(Table

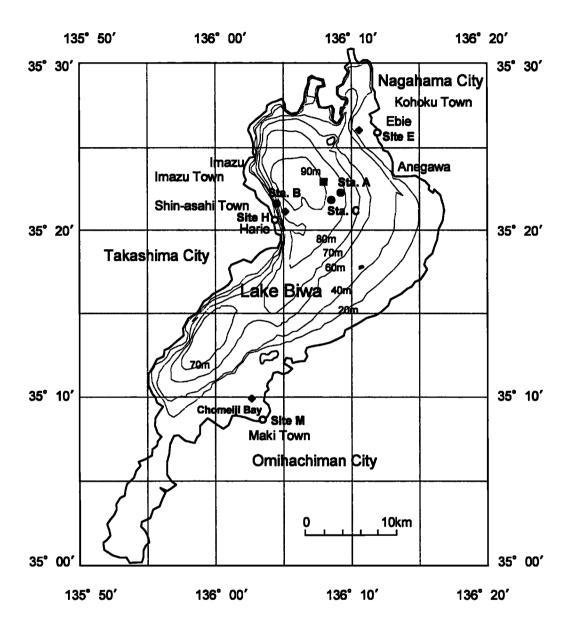


Fig. 7.1 Release sites and stations of nigorobuna *Carassius auratus grandoculis*. Juvenile nigorobuna with different ALC marks were released to reed zone at each site (open circles). Further reared nigorobuna were released at each station (closed circles) and the diving behaviors of the fish were observed by fishfinder immediately after release. A lozenge mark and square marks indicate observation points of water temperature.

Table 7.1 Details of the ALC marked nigorobuna Carassius auratus grandoculis released to reed zones in Lake Biwa

| Group | Hatching | Release | Age | ALC mark type*1 | Release | Number | Standard length | | | | | |
|-------|-------------|--------------|-------------------|-----------------|---------|----------|-----------------|---|-----|-----|--|--|
| name | date | date | at release | ALC mark type | site*2 | released | Mean | ± | SD | N | | |
| - | | | DAH ^{*3} | | | | | | mm | | | |
| 92M15 | 17-May-1992 | 26-Jun-1992 | 40 | 5 rings | M | 29,300 | 16.1 | Ŧ | 2.8 | 140 | | |
| 93M | 18-May-1993 | I-Jul-1993 | 44 | Dot and 4 rings | M | 213,000 | 15.3 | ± | 2.9 | 203 | | |
| 93E | 18-May-1993 | 1-Jul-1993 | 44 | 4 rings | E | 194,000 | 16.2 | ± | 3.3 | 203 | | |
| 94M | 15-May-1994 | 28-Jun-1994 | 44 | 3 rings | M | 95,000 | 18.1 | ± | 4.5 | 240 | | |
| 94E | 15-May-1994 | 26-Jun-1994 | 42 | 5 rings | E | 132,000 | 16.6 | ± | 3.7 | 250 | | |
| 9411 | 15-May-1994 | 28-Jun-1994 | 44 | 4 rings | н | 135,000 | 16.5 | # | 3.7 | 250 | | |
| 95E2 | 10-May-1995 | 4-Jul-1995 | 55 | 3 rings | E | 108,000 | 17.3 | ÷ | 3.0 | 323 | | |
| 95H | 20-May-1995 | l 1-Jul-1995 | 52 | 4 rings | H | 120,000 | 16.0 | ± | 3.4 | 314 | | |
| 96E | 9-May-1996 | 12-Jul-1996 | 64 | 4 rings | E | 151,000 | 23.4 | ± | 3.8 | 269 | | |

^{*1:} ALC marks were mutually discriminable from the size, the interval and the number of rings. Refer to the text for ALC marking.

^{*2:} Fish were released to the reed zone on each site in Lake Biwa. Refer to Fig. 7.1 for release sites.

^{*3:} Days after hatching.

7.1)については、再捕された水深の経日変化を検討した。また上記の水質データベースの北湖の今津ー姉川間中央(水深約90m, Fig. 7.1の黒四角印)における1994年6月20日から翌年2月20日の間の各水深別水温データを用いて、この年の水温曜層の形成状況を調べた。さらに、これらの放流群の時期別分布について、再捕地点を琵琶湖地図上にプロットすることで検討した。

放流効果が高い放流サイズの検討 後述するよ うにニゴロブナ当歳魚は,冬季に北湖沖合の湖底に 移動することが明らかになったため、沖合へ種苗放 流を行ううえでの効果的な放流サイズを次の方法で 検討した。まず、上記した琵琶湖における本種の冬季 までの成長と移動を把握するために生産した種苗と 同様にして,1994年に相互識別可能なALC標識を付け た94OL, 94OM, 94OSの3群のニゴロブナ稚魚を, ふ 化後約40日間飼育して生産した。その後,これらの稚 魚をそれぞれ異なった規模の養成池(400㎡, 100㎡ および1716㎡, 水深はともに約1.0m)へ異なった密 度(1m3当たり概ね300尾, 1,000尾,3,000尾)で放養 し,十分量の小鯉用クランブル飼料(科学飼料研究 所)を与えてさらに飼育を継続してサイズが異なる 種苗を生産した。これらの種苗のふ化日, 放流日, 放 流時の日齢, ALC標識のタイプ, 放流尾数および放流 サイズはTable 7.2に示した。なお,94OL群と94OM の生産は滋賀水試で、94OS群の生産は滋賀県漁連が 滋賀県高島市にある養成池で行った。放流は、Table 7.2に示したとおり1994年10月18~29日の間に北湖 の沖合へ行った。940L群と940M群は滋賀水試の調 査船「琵琶湖丸」の活魚水槽に収容して,940S群は滋 賀県漁連の養成池から琵琶湖周辺の各地の漁港へ活 魚輸送車で搬送し、漁船の活魚水槽へ移し替えて、い ずれも北湖沖合の任意の地点に放流した。その後、上 記のとおり小型機船底曳き網でニゴロブナ当歳魚を 採集し、標識を確認して次式で各放流魚の混獲率 R(%)を計算し、各群の混獲率の経日変化を検討した。

$R=m/(m+w)\times100$

ここで、mは放流後21日以降に10日毎に採集された 各標識魚の尾数、wは同時に採集された天然魚の尾 数を示す。

水温躍層の形成状況とニゴロブナ当歳魚の湖底 への潜行との関係の検討 後述するように、ニゴロ ブナは冬季には北湖沖合の水深の深い湖底に集まる ため, 放流効果を高めるうえで, 放流直後に種苗を湖 底へ潜行させることが重要と考えられる。特に近年 では琵琶湖の水温が大きく上昇する傾向にあり、 19-22) 水温躍層の解消の遅れが指摘されており、21-23) 効果的な放流技術を検討するうえで, 琵琶湖の水温 躍層の形成状況と放流した種苗の湖底への潜行を確 認する必要がある。そこでTable 7.3に示した滋賀県 漁連(種苗養成池は滋賀県高島市)が生産したニゴロ ブナ種苗09D群および栽培漁業センターが生産した 同09O群と10M群を,それぞれ2009年10月14日,同年 12月8日および2010年3月2日にSta. A. BおよびC (Fig. 7.1) へ放流し, 放流直後の種苗の湖底への潜行 状況を琵琶湖丸に搭載している魚群探知機(JFV-200, 周波数50/200 kHz, 日本無線株式会社)を用いて追 跡し,ハードコピー記録器(NJW-96, 日本無線株式会 社)に記録した。また、この記録画像から放流魚の毎

Table 7.2 Details of the ALC marked nigorobuna Carassius auratus grandoculis released to offing in Lake Biwa

| Group | Hatching | Relcase | Age | ALC mark | Number | S | ard len | gth | Body weight | | | | |
|-------|-------------|------------------------------------|------------|----------|----------|------|---------|------|-------------|------|---|-----|-----|
| name | date | date | at release | type*1 | released | Mean | ± | SD | N' | Mean | ± | SD | N |
| | | | DAH*2 | | | | | mm | | | | g | |
| 94OL | 15-May-1994 | 18-Oct-1994 | 156 | 3 rings | 28,800 | 83.9 | ± | 6.3 | 100.0 | 20.7 | ± | 4.8 | 100 |
| 94OM | 15-May-1994 | 20-Oct-1994 | 158 | 2 rings | 39,900 | 58.8 | ± | 11.2 | 150.0 | 7.5 | ± | 4.3 | 150 |
| 94OS | 15-May-1994 | From 19-Oct-1994 to 29-Oct-1994 | 157-167 | 1 ring | 924.000 | 39.2 | ± | 8.1 | 285.0 | 2.5 | ± | 1.8 | 285 |

^{*1:} ALC marks were mutually discriminable from the number of rings. Refer the text for ALC marking.

^{*2:} Day's after hatching.

Table 7.3 Details of nigorobuna *Carassius auratus grandoculis* released to the offing in Lake Biwa at different times for observing diving behavior just after release

| Group | Hatching | Release | Age | Release | Water depth | Number | Standard length | | | | | | |
|-------|-------------|-------------|------------|---------|-------------|----------|-----------------|---|------|-----|--|--|--|
| name | date | date | at release | Sta.*1 | of the sta. | released | Mean | ± | SD | N | | | |
| | | | DAH⁴ | | m | | | | mm | | | | |
| 090 | 6-Мву-2009 | 14-Oct-2009 | 161 | A | 82.0 | 16,500 | 90.8 | ± | 14.1 | 100 | | | |
| 09D | 23-Арт-2009 | 8-Dec-2009 | 229 | В | 59.3 | 40.300 | 81.1 | ± | 16.4 | 76 | | | |
| 10M | 24-Apr-2009 | 2-Mar-2010 | 312 | С | 88.7 | 33,300 | 86.0 | = | 15.7 | 108 | | | |

^{*1:} Refer to Fig. 7.1 for release stations.

砂当たりの潜水速度を読み取った。さらに、自記録式電気水温計(COMPACT-CTD, 型式ASTD650, アレック電子)を用いて、種苗放流時のその水域の水深等の水温を測定した。なお、これら種苗は、放流効果が高い放流サイズの検討で生産した種苗と同様にして生産した。また、放流はそれぞれの生産池から活魚輸送車で滋賀水試に運搬し、琵琶湖丸の活魚輸送水槽に積み替えて行った。

統計処理 発電湖の水温と再補されたニゴロブナ体長および体重の相関関係はピアソンの相関係数で記述し、その有意性については母相関係数ρ-0の仮説を検定した。沖合へ放流した940上群,940M群および940S群の各群の放流後21~30日の間の混獲率(放流直後の混獲率)とそれ以降10日間隔の混獲率の差は、仮説H。:「放流後21~30日間の混獲率とそれ以降10日間隔の混獲率は等しい」を、二項分布の正規近似による比率の差検定で検定した。

姜 星

速電湖におけるニゴロブナの冬季までの成長 Fig. 7.2に, Site Eへ1993~1996年に放流されたニゴロブナ極苗(93E群, 94E群, 95E2群および96E群, Table 7.1) のふ化時, 放流時および再捕時の体長と体重を示した。93E群と94E群はともに6月末には平均体長が概ね20mmであったが、11月末には平均体長は93E 群が概ね80mm、94E群が概ね90mmとなるなど, 放流年

によって成長に良否がみられた。しかし、いずれの年 も11月末以降は体長や体重の増加はみられず、成長 が滞る傾向にあった。

Fig. 7. 3には、1992~1996年における8~10月の北湖の平均表層水温(28定点の平均)とSite M, Eおよび日へ放流された各群(合計9群, Table 7. 1)の放流年12月から翌年1月の再捕魚の体長および体重との関係を示した。最も成長が良かった94M群は生後206~254日で体長104.8±11.1mm(平均値±SD), 体重38.2±12.1g, 最も成長が思かった93M群では生後197~255日で体長74.6±9.3mm,体重14.1±5.2gまで成長した。また、これら平均表層水温と体長および体重との間には、いずれも水温が高い年には体長や体重が大きくなるという正の相関が認められた(全てP-0.000)。

Fig. 7.4には、SiteM、SiteE およびSiteHの近傍の水質調査定点(長命寺神、早崎神、外ヶ浜神、Fig. 7.1の 思菱形印)における1994年の8~10月の平均表層水温と、SiteM、SiteF および SiteHへ同年6月26~28日に放流され、その年12月から翌年1月に再捕された94M群、94E群および94H(Table 7.1)の体長および体重との関係を示した。平均表層水温は、3水域のうち最北部のSiteB が最も低く、やや南部のSite H、最南部のSite M の順に高かった。これらの水温と各放流群の再捕魚の体長および体重との間には、正の相関が認められた(いずれもP=0.000)。

^{*2:} Days after hatching.

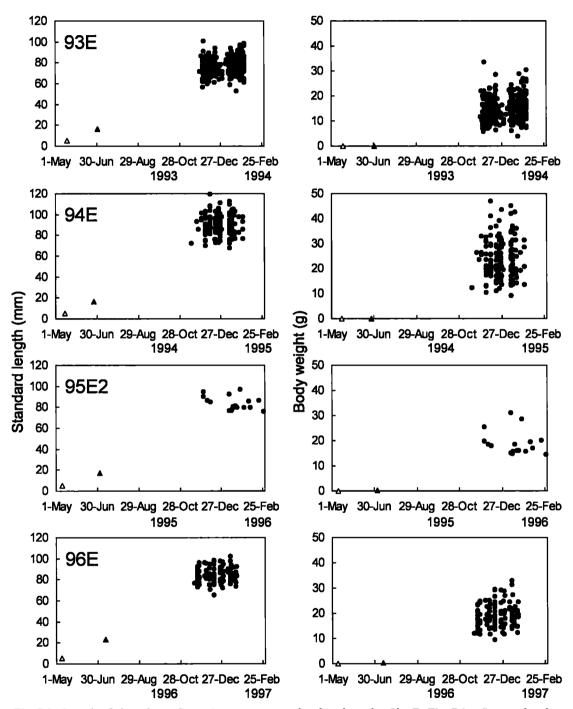


Fig. 7.2 Growth of nigorobuna *Carassius auratus grandoculis* released at Site E (Fig. 7.1). Open triangles, closed triangles and circles indicate newly hatched larvae, released fish and recaptured fish by small trawl net in the northern basin of the Lake Biwa, respectively. Characters indicate fish group names (**Table 7.1**).

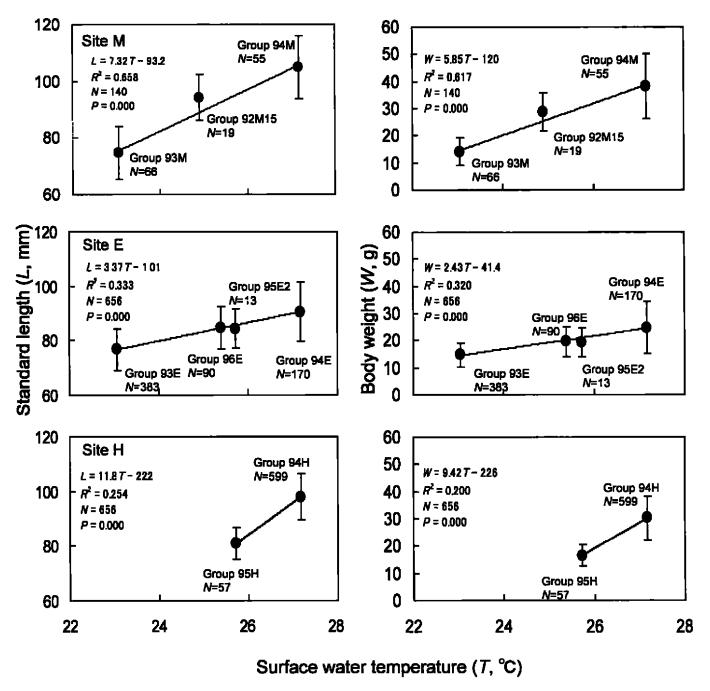


Fig. 7.3 Relationship between average surface water temperature in the northern basin of Lake Biwa from August to October of each year and growth of nigorobuna *Carassius auratus grandoculis* in the released year. Characters indicate released site (Fig. 7.1). fish group names (Table 7.1) and numbers recaptured (N). Vertical bars indicate SDs. Formulas show the regression lines of surface water temperature: T on length: L or weight: W. P-values show significance level for Peason's correlation coefficient test.

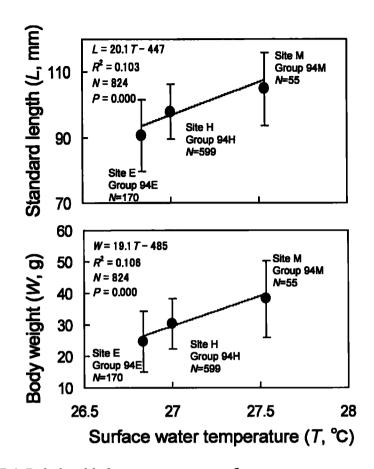


Fig. 7.4 Relationship between average surface water temperature at each observing point nearby to release site in Lake Biwa from August to October in 1994 and growth of nigorobuna Carassius auratus grandoculis. Characters indicate released site (Fig. 7.1), fish group names (Table 7.1) and numbers recaptured (N). Vertical bars indicate SDs. Formulas show the regression lines of surface water temperature: T on length: L or weight: W. P-values show significance level for Peason's correlation coefficient test.

琵琶湖におけるニゴロブナの冬季までの移動

Fig. 7.5に1994年にSite M, Site EおよびSite Hへ放流された各群の放流地点の水深と再捕された水深の経日変化を示した。なお、ニゴロブナの産卵は琵琶湖沿岸のヨシ帯などにみられる浮遊物に行われる「かため、産卵水深は0mとしてプロットした。6月28日にSite M(水深0.5m)へ放流された94M群は、9月22日(130日齢)まで放流地点付近の水深1.5m以浅の沿岸部で再捕された。11月21日(190日齢)には水深22mで再捕され、その後12月7日(206日齢)には60m, 12月20日(219日齢)には78mと次第に深場で再捕されるようになった。6月26日にSite Eへ放流された94E群は、11月15日(184日齢)に水深30mで初めて再捕され、それ以降12月21日(220日齢)に水深67.5m、翌年1月11

日(241日齢)に水深96mと次第に深場で再捕されるようになった。6月28日にSite Hへ放流された94H群は、11月17日(186日齢)に放流地点付近の水深1.7mの沿岸部で再捕され、以降11月22日(191日齢)に水深30m、12月7日(206日齢)に水深60m、翌年1月11日(241日齢)に水深96mと次第に深場で再捕されるようになった。これらの結果から、ニゴロブナ当歳魚は、概ね11月中旬まで沿岸の浅水域に生息し、それ以降に次第に琵琶湖の深部へと移動することが判った。

Fig. 7. 6には, 1994年の琵琶湖の水温の鉛直方向の変化を観測日毎に示した。夏季には水深の浅い位置に, その上層と下層で水温差の大きな水温躍層が存在し, 秋季を経て冬季を迎えるとともに水温躍層の

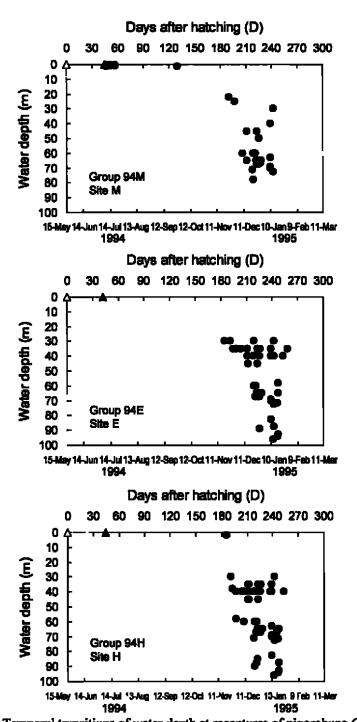


Fig. 7.5 Temporal transitions of water depth at recaptures of nigorobuna *Carassius auratus grandoculis* released in Lake Biwa. Larval and/or juvenile nigorobuna with different ALC marks (Table 7.1) were released to the reed zones at each site (Fig. 7.1) in 1994 and recaptured everywhere in the northern basin of the lake by small trawl net. Open triangles, closed triangles and circles indicate newly hatched larvae, released fish and recaptured fish, respectively. Characters indicate fish group names (Table 7.1) and their release sites (Fig. 7.1).

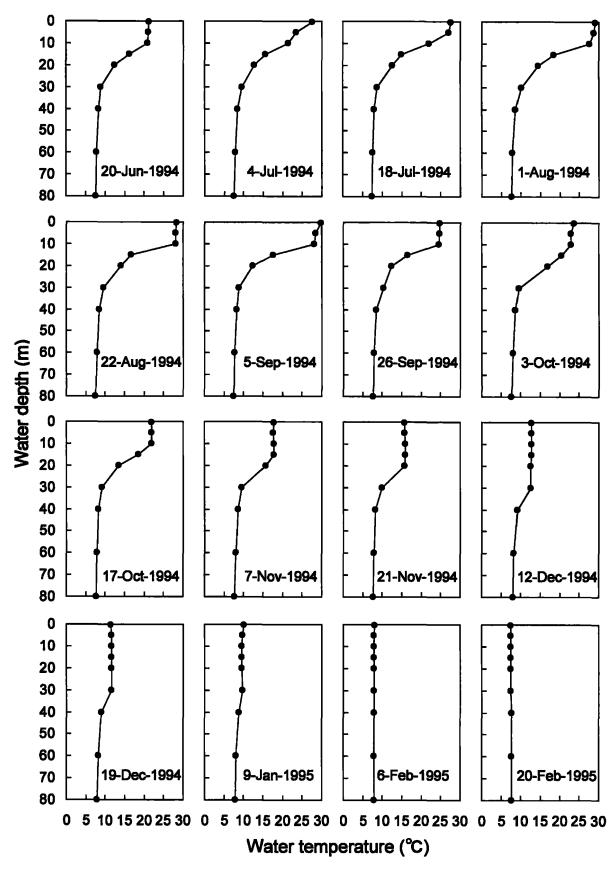


Fig. 7.6 Vertical changes in the water temperature at the center of Imazu-Anegawa in Lake Biwa from June 1994 to February 1995.

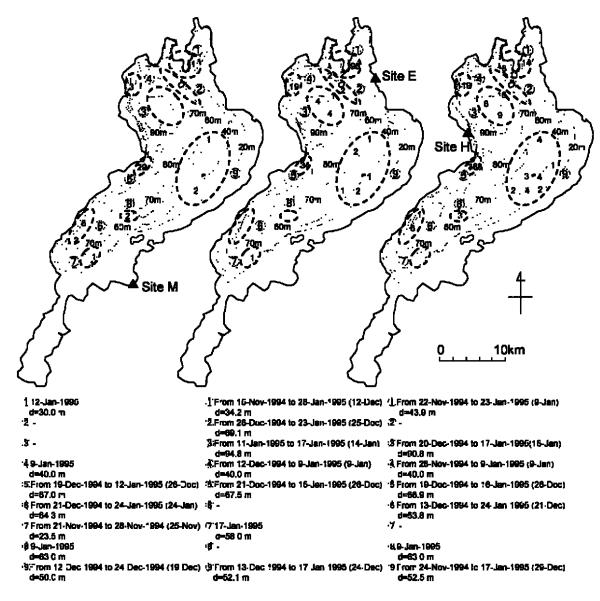


Fig. 7.7 Recapture areas (dashed ellipses with circled number) and numbers (figures in dashed ellipses) of nigorobuna *Carassius auratus grandoculis* released to each site (triangle marks: M, E and S) in June 1994. Circled numbers, date ranges, parenthetic dates and "d"s indicate area name, recapture date range, most recapture day and average depth of water shown under maps, respectively.

位置が次第に降下し、その水温差も小さくなり、冬季には解消した特に秋季から冬季にかけて詳細にみると、水池曜居は11月7日には水深15~30m付近にみられ水温差は9.1℃、11月21日には水深20~30mで水温差は7.5℃であったが、その後、12月12日と同月19日には30~40mまで降下し、水温差はそれぞれ3.4℃、2.6℃となり、翌年1月9日には水温避居は解消した、水温曜居の水温差が7.5℃以上あった11月中旬までは、Fig.7.5にみられるように、放流種苗各群は水温 運居が形成される水深より深い水域では再補されなかった。11月中旬以降に水温隔層の水温差が3.4℃よ

りも小さくなると、各群が再捕される水深は水温**曜** 層の形成される水深に関係なく次第に深い所へと移った。

Fig. 7. 7には、1994年6月26~28日にSite M、EおよびHへ放流された94M群、94E群および94H群の放流年の冬季から翌年にかけて再捕された水域(Area①~③)毎の再植状況を、各水域において再捕された期間を示すとともに、最も再捕退数が多かった年月日および全再捕魚の平均採集水深をそれぞれ代表値として示した。SiteMへ放流された94M群は、11月25日に放流水域に近いArea⑦(水深23.5m)で再捕され、

その後12月19日から同月26日にはArea (9, 6), (5) (水 深50.0~67.0m)といった放流地点からやや離れた、 さらに水深が深い水域で再捕された。1月9日には Area④(水深40.0m),1月12日にはArea①(水深30.0m) の放流水域から最も離れた水域で再捕された。 SiteEへ放流された94E群は、12月12日にはArea① (水深34.2m)、12月25日にはArea②(水深69.1m)とい った放流水域近傍の水域で再捕され、1月9日には Area ④ (水深40.0m) の放流地点からやや離れた水域 で再捕された。それ以降1月14日にはArea②やArea④ 近傍の水深の深いArea③(水深94.8m)で再捕される ようになった。また、12月24日にはArea ⑨ (水深 52.1m), 12月26日にはArea⑤ (水深67.5m)と放流地点 から離れた水域で再捕され、1月17日には放流地点か らさらに離れたArea⑦(水深58.0m)で再捕された。 SiteHへ放流された94H群は,12月21日には放流地点 から離れたArea⑥(水深53.8m)で再捕されたものの, 12月26日には放流地点に近いArea⑤(水深66.9m)で も再捕された。また、12月29日には放流地点の沖合の Area ⑨ (水深52.5m)で再捕された。その後、翌年1月9 日には放流地点から離れたArea ④ (水深40.0m), Area ① (水深43.9m) およびArea® (水深63.0m) で再捕され、 1月16日には水深の深いArea③(水深90.8m)で再捕さ れた。このように、ニゴロブナの当歳魚は11月下旬以 降になって、6月に放流された地点近辺の水深20~ 40m台の比較的浅い水域に分布するようになり,その 後次第に分布を拡大しながら深い水域へと移動する 傾向がみられた。また,6月にいずれの地点に放流さ れたニゴロブナ稚魚も,冬季にはArea①, ④, ⑤など, 湖底の急峻な水域へ集まる傾向がみられた。

放流効果が高い放流サイズの検討 再捕された 940L群,940M群および940S群(Table 7.2)の混獲率 R(%)の経日変化をFig. 7.8に示した。940L群の混獲 率は経日的に変動するものの,放流後21~30日の間の値とそれ以降の各10日間の値との間には,有意差はみられなかった(P>0.05)。しかし,940M群と940S 群の混獲率は放流後21~30日に比べて,それ以降は低下し,41~50日以降には横ばいになった。また,両群の混獲率は放流後21~30日の間の値と,それ以降の各10日間の値との間には,有意差がみられた(P<0.05)。

水温環層の形成状況とニゴロプナ当歳魚の湖底 への潜行との関係 Fig. 7.9に, 北湖のSta. A, B, C

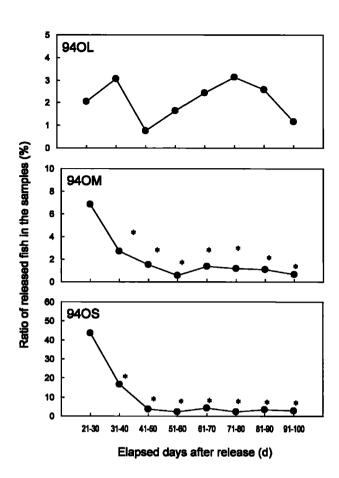


Fig.7.8 Transitions of ratio of released fish in the samples (R, %). R=m/(m+w) × 100 where m is the number of recaptured each ALC marked nigorobuna Carassius auratus grandoculis (Table 7.2), w is the number of wild young-of-the-year nigorobuna in the samples. Asterisks indicate significant difference between Rs of 21-30days after release and each subsequent 10 days by a test of two proportions under a normal approximation with P<0.05. Characters indicate fish group names (Table 7.2).

へ,ニゴロブナ種苗09O群,09D群および10M群を放流した時点の水深毎の水温変化と,放流した各群の湖底方向への潜行状況(魚群探知機画像のハードコピー)を示した。Sta. Aでは,2009年10月14日の調査日には水深約17~40mにかけて水温差が約11.5℃の水温躍層がみられ,放流された種苗は直ちに湖底へ向かって概ね0.13m/sの速度で潜行したが,そのほとんどは水温躍層の中間(水深30m)付近で潜行を中止した。Sta. Bでは,2009年12月8日の調査日には水深27~37mに水温差約3.5℃の水温躍層がみられたが,放流された種苗は概ね0.14m/sの速度で湖底へ向かって潜行し,ほとんどの種苗はこの水温躍層で停止せず,湖底まで到達することが確認された。Sta. Cでは,2010年3月2日の調査日には水温躍層はほぼ完

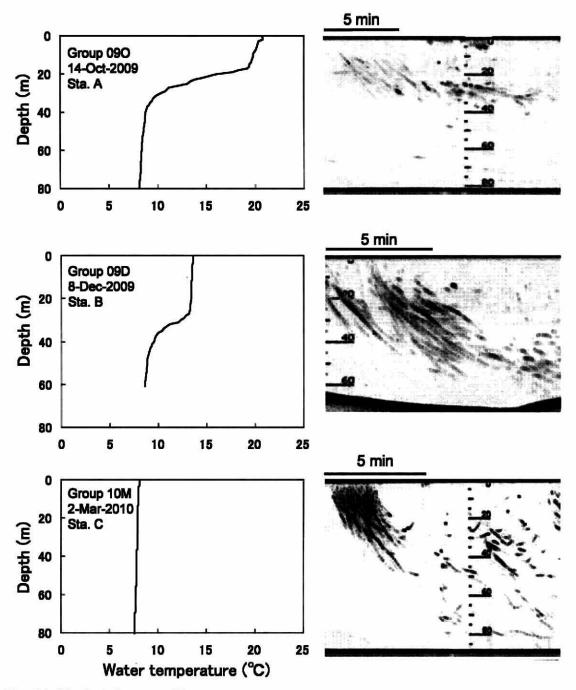


Fig. 7.9 Vertical changes of the water temperature and diving situations of released nigorobuna *Carassius auratus grandoculis* in Lake Biwa shown in fishfinder-charts. Characters indicate release dates, fish group names (**Table 7.3**) and their release stations (**Fig. 7.1**).

全に解消しており、琵琶湖の表層から湖底までほぼ 同温度であった。放流された種苗は概ね0.17m/sの速 度で湖底へ向かって潜行し、ほとんどの種苗は湖底 まで到遠した。

考察

琵琶湖におけるニゴロブナの成長に関する報告は

少なく、程電湖の副湖盆(以下、南湖)で1963年に漁獲されたニゴロブナの鱗から、各年齢の体長を推定した結果が報告されている²⁵⁾のみである。この報告では、1歳魚が73.9±2.15 mm(平均値±99%信頼限界)、2歳魚が128.8±3.39mm、3歳魚が170.8±3.69 mm、4歳魚が194.9±6.60mmと推定されている。今回の調査で再捕されたニゴロブナの体長(Lmm)と体重(Wg)との間にはW=0.00005 L^{2.8974}(N=316, R²=0.997)の関係

式が認められるため、この式から体重を計算すると、 それぞれ13.0g, 64.9g, 147.0g, 215.5gとなる。今回 のALC標識種苗の放流・再捕調査の結果、成長が最も 悪かった93M群でも生後197~255日で体長74.6±9. 3mm(平均値±SD), 体重14.1±5.2g, 最も成長が良か った94M群では生後206~254日で体長104.8±11.1 mm, 体重38.2±12.1gまで成長することが明らかにな り、これまでの考えられていたよりも本種当歳魚は 早く成長するという結果が得られた。しかし、今回の 調査で、本種はふ化した年の8~10月の琵琶湖の平均 表層水温が高いと冬季まで良好な成長を示すことが 明らかになっており、また飼育条件下では、ニゴロブ ナは稚魚(体重4.5g)と幼魚(同34.0g)はともに、水温 が約18~27℃の範囲内では水温が高いほど良好な成 長を示すことが認められている。²⁶⁾このため今回の 調査と1963年当時との水温差により成長に差がでた 可能性が考えられる。特に近年では地球温暖化に伴 う琵琶湖の水温上昇が指摘されており、19-22)過去と 成長を比較する場合,それぞれの年代の水温につい て考慮する必要がある。そこで、1963年に1歳魚とな るニゴロブナが育った1962年の8~10月の琵琶湖表 層平均水温を, 滋賀水試の琵琶湖横断定期観測の水 温データ(観測頻度;1回/月, 観測水深;0.5m,観測定 点;彦根一安曇川間の5定点)27から計算すると 24.6℃となる。Fig. 7.3に示した8~10月の琵琶湖表 層平均水温(T;℃)と最も南湖に近いSite Mに放流 したニゴロブナ種苗の12月から翌年1月の再捕魚の 体長(Lmm)および体重(Wg)との回帰式から,この水 温における体長および体重を推定すると,それぞれ 86.7mm, 23.8g となる。このため琵琶湖の水温を考慮 しても、1963年当時に比べ、1994年のニゴロブナ当 歳魚は髙成長したといえる。ニゴロブナをはじめと する琵琶湖の総漁獲量は、1963年には約7,200tであ ったが, 1994年には約2,600tにまで大きく減少して おり、28)琵琶湖の水産資源などのバイオマス自体が この間に大きく減少しているといえる。逆に捕食者 からみた食物となる生物量は、1994年は1963年に比 べて相対的に豊富であった可能性があり、それがニ ゴロブナの成長差の原因の一つと思われる。

ニゴロブナは琵琶湖沿岸のヨシ帯内で発育し,体 長約16mmを超えて稚魚期に達するとヨシ帯を離れ始 めることが確認されている。¹⁾今回の調査で,稚魚期 の本種種苗が6月に放流された水域近辺の8~10月の 水温が高いほど、冬季に大きなサイズで再捕された。このことから、本種は稚魚期に達してヨシ帯を離れた以降は、その周辺水域に生息して成長する可能性が考えられる。また、6月28日にSite Mへ放流された94M群は、同年9月22日(130日齢)まで放流地点付近の水深1.5m以浅の沿岸部で再捕され、6月28日にSite Hへ放流された94H群は、同年11月17日(186日齢)にやはり放流地点付近の水深1.7mの沿岸部で再捕されたことから、ニゴロブナ当歳魚は、晩秋季までふ化した水域の沿岸部に留まるものと考えられる。

しかし,11月中旬以降には,琵琶湖の表層の冷却に 伴い水温曜層が次第に降下するとともに水温曜層の 上下での水温差が小さくなるに従い、本種は分布を 拡大するとともに、次第に深部へと移動することが 確認された。琵琶湖では11月21日以降、アユ漁が解禁 され琵琶湖沿岸の随所でエリ(小型定置網)が操業さ れる。ニゴロブナ当歳魚が琵琶湖の湖底深く潜行す る11月中旬以前に,北湖へ種苗が放流された場合,放 流種苗は浅水域へ拡散して,エリで混獲される可能 性があり、その影響が懸念される。また、全国の内水 面において水産被害を引き起こしている著しく魚食 性の強いオオクチバスMicropterus salmoides²⁹⁾は、琵 **琶湖の沿岸部に生息する30)ことから、その食害も心** 配される。放流されたニゴロブナ種苗のこのような 混獲や被食による死亡を避けるため, 琵琶湖の湖底 深部へ潜行できるサイズの種苗を適期に琵琶湖沖合 へ放流することが重要である。

それでは、どのようなサイズの種苗を放流すれば高い放流効果が期待できるのであろうか。今回の調査で、体重20.7g、7.5gおよび2.5gのサイズが異なる種苗を1994年10月末に北湖沖合の随所に放流し、その後の混獲率の推移を調べたところ、体重20.7gの種苗のみ放流後の混獲率の低下がみられなかった。しかし、それより小さい種苗では混獲率の有意な低下が観察された。この混獲率の低下は、放流後、天然魚に比べて自然死亡が多かった結果と解釈される。したがって、晩秋季に北湖沖合へ種苗放流を行う場合に、概ね体重20g(体長85mm)のサイズの種苗を放流すれば、高い放流効果が期待できることが明らかになった。今回の調査では、体重が7.5gを越えて20gまでのサイズにある種苗の放流効果については明らかにできなかった。今後の研究が待たれる。

先にも述べたが,近年の琵琶湖は水温が上昇傾向

にある。20-23)また、2006~2007年冬季には琵琶湖表層 水温の低下が遅れ,冬季の水温曜層の解消の大きな 遅れが観察された。^{22,23)}これらは地球温暖化の現れ の一つであると指摘されている。19-22)ニゴロブナ種 苗の沖合放流を行ううえで、今回の調査でも明らか になったように、水温潤層がニゴロブナの速やかな 湖底への潜行の障害となり、種苗放流効果を低ドさ せる原因となることが懸念される。しかし、水温暖 層の上下の温度差が約3.5℃の場合,放流された種出 は水温陽層の上面で湖底へ向かった潜行を停止せず、 湖底へ到達することが確認された。また、6~7月にヨ シ帯へ放流された種苗は、水温顕層の上下水温澄が 3.4℃以下になると水温躍層下の湖底で再捕される ようになった。これらの結果から、ニゴロブナ種苗の 沖合放流は、1994年の場合は12月12日以降、2009年の 場合は12月8日以降など、晩秋季から冬季に向かい琵 **営湖の表層が冷却されて水温障層の上下の水温差が** 概ね3.5℃以下になってから行うのが望ましいとい えよう。なお、2000年代に入り、それまでに比べて発 **琶湖水の鉛直循環が遅くなる傾向。**)すなわち水温** 蹦層の解消の遅れが指摘されており、今後は琵琶湖 の水温の鉛直変動を確認したうえでの種苗放流時期 の決定が重要である。

ニゴロブナの種苗放流方法としては、体長16mmを 超えて稚魚期に達した種苗の琵琶湖沿岸のヨシ帯内 への放流が効果的である。¹⁰⁾また、本章で述べてきた ように、体重約20g(体長約85mm)の種苗を晩秋季に北 湖沖合で放流すると高い生残が期待できた。第8章で は、ニゴロブナ種苗放流事業を進めるうえで、放流さ れたこれらの種苗の漁獲サイズまでの歩留まりや種 苗放流事業の費用対効果を明らかにしていく。

文 蔵

- 藤原公一, 臼杵崇広, 根本守仁, 北山修一. 蹇戩湖 沿岸のヨシ帯におけるニゴロブナCarassius auratus grandoculisの初期生態とその環境への適応. 日水誌 2011; 77: 387-401.
- 2) 滋賀県水産試験場. びわ湖のヨシ帯分布と現存量. 琵琶湖の模地等に関する予察的検討結果報告書, 護地保全造成検討委員会,大津. 1977; 51-62.
- 3) 森田 尚, 津村祐司, 西森克浩, 山中 治. 琵琶湖 の水位変動に伴うヨシ群落冠水面積の変化. 平成

- 15年度滋賀水試事業報告 2004; 14-15.
- 4) 滋賀県是世湖環境部水政課、水位の変遷、「経暦 湖ハンドブック」(琵琶湖ハンドブック編集委員 会編)、滋賀県, 大津, 2007;192-193.
- 5) 中村守純.「日本のコイ科魚類」 資源科学研究所, 東京. 1969.
- 6) 松田尚一, 前畑政善, 秋山廣光. 「湖国びわ湖の魚 たち」(滋賀県立琵琶湖文化館編)第 法規出版, 東京, 1986.
- 7) Yamamoto T, Kohmatsu Y, Yuma M. Effocts of summer drawdown on cyprinid fish larvae in Lake Biwa, Japan. *Limnology* 2006; 7: 75-82.
- 8) 藤原公一. アリザリン・コンプレクソンを用いたニゴロブナ, Carassius auratus grandoculis の耳石への標識装着条件. 水産増殖1999; 47: 221-228.
- 9)藤原公一、臼杵崇広、根本守仁、北田修一、アリザリン・コンプレクソンを用いたニゴロブナー
 Carassius auratus grandoculisの耳石への多重標識 装着条件と放流サイズの推定方法。日水誌 2010: 76: 637-645.
- 10) 藤原公 · , 臼杵崇広, 根本守仁, 松尾雅也, 竹岡昇一郎, 田中 満, 北田修一. 発置湖におけるニゴロブナ Carassius auratus grandoculis 種苗の放流水域としてのヨシ帯の重要性と放流事業の課題. 日水 誌2011;77: 822-833.
- 11) 牧野厚史、ヨシ帯保全における自然と人間との適度な関係、 滋賀大環境総合研究センター研究年報 2008; 5: 1-12.
- 12) 栗林 実. 琵琶湖沿岸の植物の現状と保全. 琵琶湖研究所所報 1999; 16: 78-85.
- 13) 西野麻知子, 浜端悦治. ヨシ刈りのよしあし. 「内 湖からのメッセージ」 (西野麻知子, 浜端悦治編) サンライズ出版, 滋賀. 2005;115-116.
- 14) 吉良竜夫. ヨシの牛態おぼえがき. 経電湖研究所 所報 1991; 9: 29-37.
- 15) 藤原公一, 北田修一. ニゴロブナ Carassius auratus grandoculis 仔魚が整置湖の発達したヨシ帯岸辺付近へ頻集する要因. 日水誌 2011; 77: 822-833.
- 16) 藤原公一, 臼杵県広, 北田修一. 成長および流水 トレーニングに伴うニゴロブナCarassius auratus grandoculis 仔稚魚の遊泳速度の変化. 日水誌2010; 76: 1025-1034.
- 17) 牧 岩男. びわ湖の内湖における魚類と餌料生物

- の関係. 生理生態 1964; 12: 259-271.
- 18)太田滋規,岩崎治臣. 沖曳網採捕により把握したフナ稚魚の分布状態. 平成5年度滋賀水試事業報告 1994; 55-56.
- 19) 遠藤修一, 山下修平, 川上委子, 奥村康昭. びわ湖 における近年の水温上昇について. 陸水雑 1999; 60: 223-228.
- 20) 中室克彦, 奥野智史, 前澤 希, 坂崎文俊, 田口 寛, 福永 勲, 西海暢展, 加賀城直哉, 服部幸和. 琵琶湖 における水温上昇の実態把握とその要因解析. 水 環境学会誌 2008; 31: 713-718.
- 21) 速水祐一, 藤原建紀. 琵琶湖深層水の温暖化. 海の研究 1999; 8: 197-202.
- 22) 熊谷道夫. 地球温暖化が琵琶湖に与える影響. 環境技術 2008; 37: 407-413.
- 23) 北澤大輔, 熊谷道夫. 気候変動の琵琶湖物質循環 への影響に関する生態系シミュレーション. 生産 研究 2008; 60: 46-49.
- 24) 藤原公一. ニゴロブナ Carassius auratus grandoculis の飼育仔稚魚の発育と成長. 日水誌 2010; 76: 894-904.
- 25) 近畿地方建設局. 魚類. びわ湖生物資源調査団中間報告(一般調査の部) 1966;709-906.
- 26) 藤原公一. 水温調整によるニゴロブナ親魚の短期 養成と産卵期延長の可能性. 平成3年度単年度試験 研究調査結果 1992; 55-56.
- 27) 箕田冠一, 有馬武司. 琵琶湖定期観測. 滋賀水試研報 1964; 17: 59-91.
- 28) 滋賀県農政水産部水産課. 琵琶湖漁業の動向. 滋賀の水産, 滋賀県, 大津. 2009;7-9.
- 29) 淀 太我, 井口恵一朗. バス問題の経緯と背景. 水研センター研報 2004;12:10-24.
- 30)山中 治. 生息状況と分布域. 滋賀水試研報(昭和60年~62年度オオクチバス対策総合調査研究報告書) 1989; 40: 63-92.
- 31)大前信輔. 琵琶湖北湖中央における湖水温とDO 量の変化. 平成20年度滋賀水試事業報告2009; 157-158.

第8章 電管湖におけるニゴロブナの種苗放流効果

これまでに著者らは、琵琶湖の主湖盆(以下、北湖) において、耳石をアリザリン・コンプレクソン(ALC) で染色して標識^{1,2)}(以下, ALC標識) したニゴロプナ Carassius auratus grandoculisの種苗の放流と当説 (0') 魚の小型機船底曳き網を用いた再補調査により、 効果的な種苗放流技術を検討してきた。*40その結果。 標準体長(以下,体長)が概ね16mmを超えて稚魚期³⁾ に違した種苗をよく発達した琵琶湖沿岸のヨシ帯に 放流すると、ヨシのみられない沿岸水域や沖合に放 流するよりも再捕率が高まり、高い放流効果が期待 されることを確認した、3)また、春季にふ化した仔魚 を晩秋季まで養成して異なるサイズの種苗を生産し、 それらを琵琶湖の沖合に放流すると, 概ね体長が 40mmと60mmの種苗では日数の経過とともに混變率 (捕獲された本種の魚に占める同放流魚の尾数割合) は低下したが、同85mmの種苗では放流後の混獲率の 低下がみられなかった。このため、同85㎜の種苗は天 然魚と比べて生残率に差がなく、高い放流効果が期 待されることを報告した。⁴⁾

このような知見を受けて, 琵琶湖では琵琶湖栽培 漁業センター(以下, 栽培漁業センター)と滋賀県漁 業協同組合連合会(以下, 滋賀県漁連)によって, ニゴ ロブナの種苗放流事業が実施されている。しかし, その放流効果の経済的側面は十分に評価されていな い。このため, ニゴロブナの主要な漁法である刺網漁 の漁獲物を対象に, 先に琵琶湖のヨシ帯や神合など へ放流したニゴロブナのALC標識種苗の混獲状況を 調査し, 種苗放流の経済効果を評価して, 最も効果的 な放流技術について検討した。また, 今後, 効果的な 種苗放流事業を進めていくうえでの課題を整理した。

材料および方法

進機物中のALC保険放送程首の確認 北湖で、刺網(内網の目合い72 mm, 外網の目合い303 mm の3枚網を主に使用)により1996年1月18日~同年4月17日と1997年3月7日~同年4月2日に漁獲されたニゴロブナ(それぞれ1,613尾と1,566尾,Fig. 8.1に水域毎に同年の漁獲尾数の合計値を指弧書きで表示)を発置湖沿岸の漁業協同組合から購入した。漁業者には、一辺2kmの方形に区分した経電湖のメッシュ図に、操業

水域を記入してもらうことで漁獲場所を把握した。 漁獲されたニゴロブナは、滋賀県水産試験場(以下、 滋賀水試。滋賀県彦根市)または栽培漁業センター (滋賀県草準市)へ持ち帰り、すみやかに全個体の体 長と体重を測定した。また、原則として左側の耳石 (以下, 礫石をいう)を摘出した。これらの耳石は、4 mol/L の塩酸に数秒間浸漬して周囲を溶解させた後。 水洗・乾燥し、藤原ら²¹の方法でスライドグラスに封 入して, 蛍光顕微鏡(OPTIPHOT, XT-EFD, ニコン)を用 いてALC標識の有無を調べて標識魚を識別した。標識 魚については、ALC標識のパターンから1994年に放流 したALC標識種苗 (Table 8.1) の各群を特定した。そ の内、94M群,94E群,94H群,94O群および94CS群 (以下,94X群という)については、耳石の最外部の ALCリングの長径を同顕微鏡の接眼マイクロメータ を用いて計測し、藤原ら²の方法で群毎の耳石の長 径と体長との関係式から個体体に放流時の体長を推 定(以下、この体長を推定放流体長という)し、推定放 流体長2mm間隔で再捕尾数を求めた。なお,これら放 流種出のうち、94H群を除く各放流群の生産、ALC標 識および放流方法は、既に藤原ら³.0 が報告したとお りである。94H群も生産、ALC標識および放流方法は、 藤原ら30の手法にしたがって行った。これら種苗の 放流水域はFig. 8.1に示した。

1994年6月放流群の同年10月までの生残率の推定 藤原ら⁴¹は、940L群を1994年10月18日に北湖沖合の 一円に放流し、その21日後から100日後まで北湖で小 型機船底曳き網による再捕制査を継続して実施し て、940L群の混獲率は日数が経過しても低下しな いことを確認し、同放流群の生残率は天然魚と差が ないと考えた。また、ニゴロブナは冬季に向かい琵琶 湖の水温が低下すると、水深70m付近の琵琶湖の急峻 部に集まり、小型機船底曳き網により多獲されるこ とが知られており、『藤原ら』は、6,7月に放流した ALC標識程苗の追跡調査によって、同年秋季から冬季 にかけて琵琶湖の水温が低下するに伴い、それら種 苗は琵琶湖の楽部へ集まり、混合することを確認し た。今回の調査では、94X群を放流して569~611日以 降に、また940L群を放流して484日以降に、刺網で 漁獲されたニゴロブナ漁獲物のこれら各群の混獲率 を調べた。このようにいずれの放流魚も放流後,再揃 されるまでに概ね500日以上の長期間を経過してい

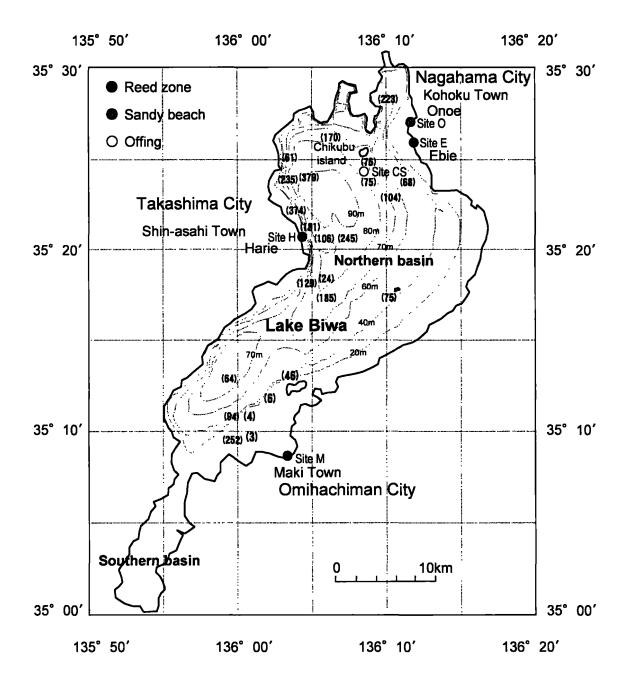


Fig. 8.1 Release sites (circular symbols) and numbers of capture (in parentheses) at each fishing point of nigorobuna *Carassius auratus grandoculis*. Nigorobuna with different ALC mark shown in **Table 8.1** were released in each site or every place of offing in 1994. Released and wild nigorobna were captured in winter of 1994 to 1995 by small trawl net, and in 1996 and 1997 by gill net in the northern basin of Lake Biwa.

ることと,少なくとも2回冬を経験していることから, 調査時には各群は北湖で十分よく混合していると考 えられた、また,ALC標識魚は琵琶湖へ放流された後 に,その標識装着の影響は全くないことは既に確認 されている。²⁾そこで,94X群が放流されてから,94OL 群が放流されるまでの間の生残率を田中,⁷⁾北田⁸⁾ にならい、Fig. 8.2に示したモデルにしたがって推定した。 R_X は94X群、 R_{OL} は94OL群の放流尾数 (Table 8.1) である。 E_X は94OL群の放流時点における94X群の生残尾数である。ここで94X群と94OL群は、94OL群放流時点以降はともに生残率が等しく、それら種苗は刺網により、同じ確率で漁獲されると仮定し

Table 8.1 Details of the ALC marked nigorobuna Carassius auratus grandoculis released in Lake Biwa

| Group | ALC mark | Release | Release | | Normalian | Number | Sta | nda | rd lengt | lh | В | ody | weight | Į. |
|-------|--------------------|------------------------------------|----------------------|-------------------|-----------|-----------|------|-----|----------|-----|------|-----|--------|-----|
| name | type ^{*1} | date | Site ^{*2} | Λge | Number | of femail | Mean | ± | SD | N' | Mean | ± | SD | N |
| | | | | DAH ^{*3} | | | | | mm | | | | g | |
| 94E | 5 rings | 26-Jun-1994 | F. (Reed zone) | 42 | 132,000 | 66,000 | 16.6 | ± | 3.7 | 250 | | | | |
| 940 | 4 rings | 26-Jun-1994 | O (Sandy beach) | 42 | 121,000 | 60,500 | 15.5 | ± | 3.5 | 250 | | | | |
| 94CS | 3 rings | 26-Jun-1994 | CS (Offing) | 42 | 98,000 | 49,000 | 17.6 | Ŧ | 4.3 | 250 | | | | |
| 94M | 3 rings | 28-Jun-1994 | M (Reed zone) | 44 | 95,000 | 47,500 | 18.1 | ± | 4.5 | 240 | | | | |
| 94H | 4 rings | 28-Jun-1994 | H (Reed zone) | 44 | 135,000 | 67,500 | 16.5 | ± | 3.7 | 250 | | | | |
| 94OL | 3 rings | 18-Oct-1994 | Everywhere of offing | 156 | 28,800 | 14,400 | 83.9 | 4 | 6.3 | 100 | 20.7 | ± | 4.8 | 100 |
| 94OM | 2rings | 20-Oct-1994 | Everywhere of offing | 158 | 39,900 | 19,950 | 58.8 | ± | 11.2 | 150 | 7.5 | ± | 4.3 | 150 |
| 94OS | Ring | From 19-Oct-1994 to 29-Oct-1994 | Everywhere of offing | 157~167 | 924,000 | 462,000 | 39.2 | ± | 8.1 | 285 | 2.5 | ± | 1.8 | 285 |

^{*1:} ALC marks were mutually discriminable from the size, the interval and the number of rings. Refer to the text for ALC marking.

^{*2:} Refer to Fig. 8.1 for release sites.

^{*3:} Days after hatching. 0 <365 DAH<1 <730 DAH<2 <1,095 DAH.

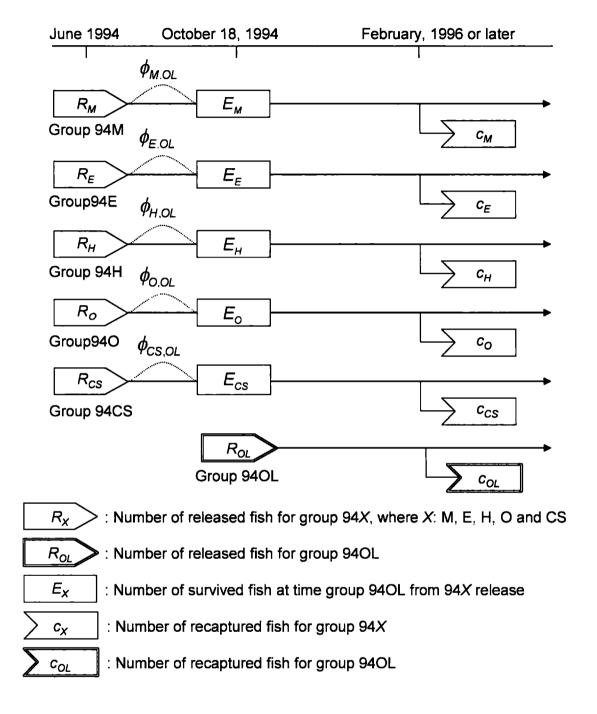


Fig. 8.2 Schematic diagram for survival estimation of larval and juvenile nigorobuna *Carassius auratus grandoculis* (group 94M, 94E, 94H, 94O and 94CS) released to each site until group 94OL release. $\phi_{V,OL}$ indicates survival rate at time group 94OL from 94X (where X: M, E, H, O and CS) release. Refer to **Table 8.1** for group names and release sites.

て,94X群の94OL群の放流時点までの生残尾数を次式で推定した。なお, c_x は94X群、 c_{0L} は94OL群の刺網による漁獲尾数である。

$$\hat{E}_{X} = \frac{R_{OL}c_{X}}{c_{OL}}$$

これらの生残尾数から、94X群の94OL群の放流時点までの生残率 $\hat{\phi}_{X,OL}$ を次式で計算した。

なお、各生残率の帯近分散はデルタ法(例えば北山 ⁶⁾を参照)によって一次の項まで展開して次式で推定 した。

$$\begin{split} \widehat{V}(\widehat{\phi}_{X,OL}) \approx \frac{R_{OL}^2}{R_X^2} \left[\frac{\widehat{V}(c_X)}{c_{OL}^2} + \frac{c_X^2 \widehat{V}(c_{OL})}{c_{OL}^4} - 2 \frac{c_X}{c_{OI}^3} \widehat{Cov}(c_X, c_{OL}) \right] \end{split}$$

 $\begin{array}{l} \mathcal{L} \subset \mathcal{C}, \quad \hat{V}(c_X) = R_X \hat{p}_X (1 - \hat{p}_X), \quad \hat{p}_X = c_X / R_X, \\ \hat{V}(c_{OL}) = R_{OL} \hat{p}_{OL} (1 - \hat{p}_{OL}), \quad \hat{p}_{OL} = c_{OL} / R_{OL}, \end{array}$

 $\widehat{Cov}(c_x,c_{OL})=r\sqrt{\widehat{V}(c_x)\widehat{V}(c_{OL})}$ である。ただし、r は 94X群と94OL群の刺桐による漁獲尾数の相関係数 である。同一水域において同じ漁具で再捕されたことからr>0、すなわち $\widehat{Cov}(c_x,c_{OL})>0$ であることが 期待される。r は未知であるため、ここでは上記の分 散式の8項目を無視するが、8項目は正の値をとるため、この分散の評価は安全なものになっている。この 分散から群間生残率の標準製差SEを求めた。

また94X群は,各群の放流時に240~250尾ずつ体長を測定し,2mm間隔で体長相対度数を求め,各群の放流尾数にこれを乗じて,体長2mm間隔毎に放流尾数を計算した。この放流尾数と漁獲物中のALC標識放流種苗の確認の項で述べた94X各群の推定放流体長2mm毎の再捕尾数から,上配と同様にして,94X群が放流された後,940L群が放流されるまでの間の体長2mm毎の生残率とそのSEを計算した。

1994年6月および10月に放棄された種苗の放棄効果の評価 1996年および1997年の刺網による漁獲物に占める各放流群(Table 8.1)の重量割合(以下,電量退獲率という)を求め,滋賀農林水産統計年報10に報告されている両年の経営湖におけるニゴロブナ

(同年報ではニゴロブナのメスが「ニゴロブナ」、 オス はギンプナC.a.langsdorfil やゲンゴロウプナC.cuvieri とともに、「その他フナ」に分類される。近畿農政局法 賀農政事務所私信)の漁獲重量にこれを乗じて, 両年 の各放流魚のニゴロプナ(メス)の漁獲重量を推定し た。また同年報では、ニゴロブナに関して漁獲量と漁 獲高は2002~2008年の統計しか報告されていないた め,2002~2008年の各年のニゴロブナ(メス)の漁獲 高を漁獲量で除して,平均川価2,860円/kgを求め,各 群の漁獲重量にこの単価を乗じて漁獲金額を計算し た。なお、同年報では、ニゴロブナのオスの漁獲量は 不明であるが、今回の間査において刺網で漁獲され たニゴロブナのメスに対するオスの重量比率は、 1996年には0.44,1997年には0.37であったことから、 同年報におけるそれぞれの年のニゴロブナ(メス)の 漁獲量にこの比率を乗じて、ニゴロブナ(オス)の漁 獲量を推定した。また、ニゴロブナ(メス)と同様にし て求めたフナ類の単価420円/kgを乗じてニゴロブナ (オス)の漁獲金額を計算した。

各種出尾当たりの生産および放流に要する経費 (人件費,光熱費,飼料費,放流経費等)は栽培漁業センターでは2002年度,滋賀県漁連では1994年度に詳細に計算されており、体長約16 mm の種苗が3.5円,同60mmの種苗が20.8円,同85mmの種苗が24.1円(以上,栽培漁業センター計算値)、同40mmの種苗が5.1円(滋賀県漁連計算値)であった、この単価と放流尾数の積から各群の種苗生産・放流経費を計算し、各群の漁獲金額をこの金額で除して費用便益比(B/C)を求めた。

統計処理 2群の体長および体重の平均値の差は、仮説H₆:「2群の丹分散は等しい」を下検定で検定し、P>0.05で等分散とみなされた場合はスチューデントのt検定で、そうでない場合にはウェルチのt検定で検定した。理世湖へ放流された種苗2群の再排率の差は、二項分布の正規近似による比率の差検定で検定した。2群の生残率の差は、式(1)においてR_xとR_{0L}は定数、c_xとc_{0L}は確率変数であり、φは確率変数の比になっているので、歪んだ分析になっていると考えられるため、以下の方法で検定した。

まず,仮説

$$H_0: \phi_1 = \phi_2$$

$$II_1: \phi_1 > \phi_2$$

の検定を考えた。帰無仮説H。が正しいもとで、

 $\hat{\phi}_1 - \hat{\phi}_2$ の分布をシミュレーションで生成し,観測値

 $\hat{\phi}_1 - \hat{\phi}_2$ の分布の上側5%の値を上回った場合に棄却することとした。具体的は次の手順で行った。

①平均 $\lambda = (c_1 + c_2)/(R_1 + R_2)$ のポアソン分布か

ら2つの乱数を出し、これらをそれぞれ ϕ_1 と ϕ_2 に係る c_1 と c_2 とする(1および2はX)。

②平均 $\lambda_{OL} = c_{OL} / R_{OL}$ のポアソン分布から1つの乱数 c_{OL} を出す。

- ③ $\hat{\phi}_1$ と $\hat{\phi}_2$ を(1)式で計算する。
- $(\hat{\mathbf{q}}, \hat{\mathbf{q}}, \hat{\mathbf{q}}, \hat{\mathbf{q}}, \hat{\mathbf{q}})$ を計算する。
- ⑤これを1,000回繰り返すと、1,000個の $\hat{m{\phi}}_1 \hat{m{\phi}}_2$ が得られる。
- ⑤このヒストグラムを描いて,分布の様子を把握し た。
- ⑦上側50番目の値以上を検定の乗却域とし,実際に得られた観測値 $\hat{\phi_1} \hat{\phi_2}$ が乗却域に落ちれば乗却 (P<0.05) した。

结 果

ヨシ帯、砂浜およびそれらの沖合へ1994年6月に 放流された種苗の放流効果の比較 滋賀県長浜市 湖北町海老江(以下、海老江)沿岸のヨシ帯(Site E) へ放流された94E群、海老江の近傍の長浜市湖北町 尾上(以下、尾上)の砂浜湖岸(Site O)へ放流された 94O群およびこれらの沖合の水深約80mの水域(Site CS)へ放流された94CS群(Table8.1およびFig.8.1) の刺網による再捕率、体長および体重をTable8.2に 示した。1⁺メスの体重は、94E群が94O群よりも有意 に大きかった(P=0.003)が、それ以外には有意差はみ られなかった。再捕率は、94E群の0.014%に比べて、 94O群と94CS群がともに0.004%で有意に小さかった (それぞれP=0.012, 0.021)。

異なる水域のヨシ帯へ1994年6月に放流された種苗の放流効果の比較 滋賀県近江八幡市牧町(以下,牧)沿岸のヨシ帯(Site M)へ放流された94M群,海老江のヨシ帯(Site E)へ放流された94E群,同高島市新旭町針江(以下,針江)のヨシ帯(SiteH)へ放流された94H群(Table 8.1およびFig. 8.1)の放流時および藤原ら³)が報告した1994年11月5日から翌年4月15日の北湖における小型機船底曳き網による再捕時、さらに今回の刺網による漁獲時の体長および体重をFig. 8.3に示した。94H群はふ化して約3年後にも比較的多数漁獲されたため、漁獲サイズの経年変化を検討できるが、それを見る限り、ふ化後2年までは年数の経過に伴い体長と体重が増大する傾向にあるものの、2年後と3年後とではそれらには大きな差がみられなかった。

また,今回の調査において漁獲された94M群,94E 群および94H群の再捕率,体長および体重をTable 8.3に示した。再捕率は94H群が0.061%で,94E群の 0.014%や94M群の0.006%に比べて有意に高かった (ともにP=0.000)。94E群と94M群の再捕率には有意 差はみられなかった(P>0.05)。体長と体重は,649 日齢(1*)のメスでは94M群が94E群よりも有意に大 きかった(それぞれP=0.040,0.029)が,それ以外には 有意差はみられなかった。

要害湖沖合へ1994年10月に放流されたサイズの 異なる種苗の放流効果の比較 1994年10月に琵琶 湖沖合一円へ放流されたサイズの異なる940L群,94 OM群および94OS群(Table 8.1)の刺網による漁獲 魚の再捕率,体長および体重をTable 8.4に示した。 再捕率は940L群が0.073%であったが,940M群は 0.035%,94OS群は0.006%とともに有意に小さかった (それぞれP=0.030,0.000)。体長は,1⁺のメスとオ スとも940L群が94OS群よりも有意に大きかった (P=0.020,0.034)。体重は,1⁺のオスでは940L群が 94OS群よりも有意に大きかった(P=0.008)。体長と 体重に関して,それ以外には有意差はみられなかった。

各水域へ1994年6月に放流された種苗の同年10月までの生残率 Table 8.5に1994年6月に放流された 各群(Table 8.1およびFig. 8.1)の同年10月18日まで

Table 8.2 Comparison of recapture rates and growth of nigorobuna Carassius auratus grandoculis released to reed zone, sandy beach and its offing, and caught by gill net on fishing in the northern basin of Lake Biwa

| | Release | | | | | Recapture by glil net on fishing | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|---------------------------------|---------|--------|-----|----------------------------------|----------------------------|---------------|------|-------|-------|---------------|--------|-------|-------------|------|----|--|
| Group name | D-4- | *I | 31 | G | N | Recapture | Date | | Λge | | Stane | tard ! | length | Boo | Body weight | | | |
| | Date | Site* ¹ | Site ' | Number | Sex | Number | rate ^{*2} | First to last | Мсал | ± | SD | Mean | ± | SD | Mean*3 | ± | SD | |
| | | | | | | % | | | | DAH*4 | | | mm | | | g | | |
| | 26-Jun-1994 | 26-Jun-1994 E 13 (Reed zone) | 130.000 | Female | 15 | 0.014 | 14-Feb-1996 to 14-Mar-1996 | 650 | ± | 10 | 179.3 | ± | 15.3 | 180.7 | ± | 60.3 | | |
| 94E | | | 132,000 | Malc | 3 | 0.014 | 14-Feb-1996 to 14-Mar-1996 | 654 | ± | 15 | 162.0 | ± | 13.5 | 124.7 | ± | 33.1 | | |
| | | O | | Female | 3 | | 15-Feb-1996 to 14-Mar-1996 | 650 | ± | 16 | 160.3 | + | 9.0 | 122.0 | ŧ | 8.7 | | |
| 940 | 26-Jun-1994 | (Sandy beach) | 121,000 | Male | 1 | 1 0.004 | 15-Feb-1996 | 641 | | | 167.0 | | | 132.0 | | | | |
| | | • | | Female | 1 | | 18-Mar-1997 | 1.038 | | | 200.5 | | | 224.0 | | | | |
| 94CS | 04 1 1004 | CS | 00.000 | Female | 2 | 0.004 | 27-Feb-1996 | 653 | | | 174.5 | | | 144.0 | | | | |
| | 26-Jun-1994 | (Offing) | 98,000 | Male | 2 | 0.004 | 20-Feb-1996 | 650 | | | 189.5 | | | 196.0 | | | | |

^{*1:} Refer to Fig. 8.1 for release sites.

121

^{*2:} Number recaptured / number released × 100. Significant differences 94E vs. 94O and 94CS by a test of two proportions under normal approximation (P=0.012 and 0.021, respectively).

^{*3:} Significant difference 94E vs. 94O in female of 1 fish by Welch's t-test (P=0.003).

^{*4:} Days after hatching. 0*<365 DAH<1 < 730 DAH<2 < 1,095 DAH.

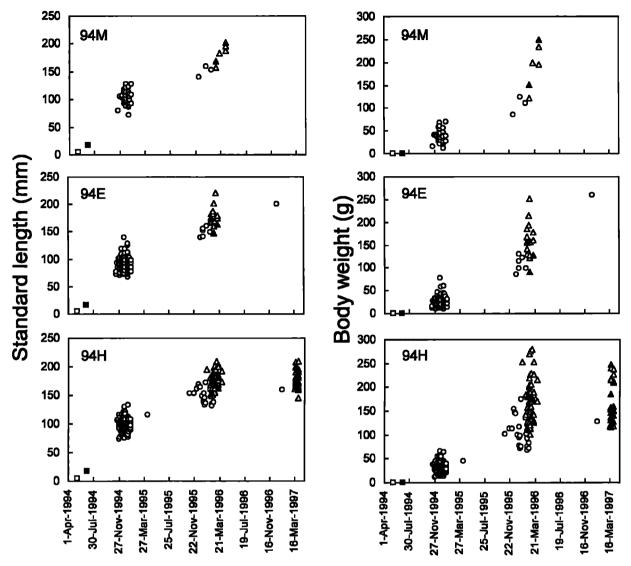


Fig. 8.3 Growth of nigorobuna Carassius auratus grandoculis released at each site (Fig. 8.1) in Lake Biwa. Open squares: newly hatched larvae. closed squares: released larvae or juvenile, open circles: recaptured male and female fish by small trawl net, open triangles: recaptured male fish by gill net, closed triangles: recaptured female fish by gill net in the northern basin of the Lake Biwa. Characters indicate fish group names (Table 8.1).

の生残率を示した。生残率は、砂浜に放流された940 群では5.67±2.53%(平均値±標準誤差)、沖合に放 流された94CS群では5.6±2.8%と低かったが、それ ら水域近傍のヨシ帯に放流された94E群では、18.70 ±4.41%と有意に高かった(ともにP<0.05)。94O群 と94CS群の間では生残率に有意差はみられなかっ た (P>0.05)。

また、ヨシ帯に放流された3群のうち、針江に放流 された94H群の生残率は83.30±9.20%と非常に高く、 続いて海老江に放流された94E群の18.70±4.41%、 牧に放流された94M群の8.66±4.01%であった。94H 群の生残率は、94E群や94M群の生残率との間で有意 差がみられた(ともにP<0.05)。94E群と94M群の間で は生残率に有意差はみられなかった(P>0.05)。

Fig. 8. 4には、94X群の体長2mm毎の放流尾数とそれらが放流された後、94OL群が放流されるまでの間の体長2mm毎の生残率を示した。ヨシ帯以外の水域に放流された種苗は、いずれも生残率は低く推移した。それに比べて、ヨシ帯内へ放流された種苗の生残率は総じて高かった。特に針江に放流された94H群は体長16mmを超えると生残率が著しく上昇した。なお、どの群も放流尾数が少ない大きい体長の種苗では、

Table 8.3 Comparison of recapture rates and growth of nigorobuna Carassius auratus grandoculis released to different reed zones and caught by gill net on fishing in the northern basin of Lake Biwa

| | | | | Recapture by gill net on fishing | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|-------------|-----------|----------------------------------|--------|-----------|----------------------------|-------|---|-------|--------|----------------------|-------|-------------|----------------------------|------|---|----|-------|---|------|-------|---|------|
| Group name | | Site*1 | Nivershau | Can. | | Recapture | Date | Age | | | Stand | lard i | ength | Body weight | | | | | | | | | | |
| Hanc | Date | Site | Number | Sex | Number | | First to last | Mean | ± | SD | Mean*3 | ± | SD | Mean*4 | ± | SD | | | | | | | | |
| | | | | | | % | _ | | | DAH*5 | | | mm | | | g | | | | | | | | |
| 94E 2 | 26 1 1004 | Е | 122.000 | Female | 15 | 0.014 | 14-Feb-1996 to 14-Mar-1996 | 649 | ± | 11 | 166.7 | ± | 8.7 | 140.9 | ± | 23.9 | | | | | | | | |
| | 26-Jun-1994 | (Reed zone) | 132,000 | Male | 3 | 0.014 | 14-Feb-1996 to 14-Mar-1996 | 644 | ± | 3 | 175.0 | ± | 13.8 | 149.3 | + | 27.3 | | | | | | | | |
| 0414 | 20.1 100.1 | м | 05 000 | Female | 4 | 0.004 | 27-Feb-1996 to 15-Apr-1996 | 649 | ± | 18 | 179.0 | ± | 14.2 | 178.5 | ± | 48.8 | | | | | | | | |
| 94M | 28-Jun-1994 | (Reed zone) | 95,000 | Male | 2 | 0.006 | 27-Feb-1996 to 15-Apr-1996 | 641 | | | 171.5 | | | 148.0 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | l [*] emale | 46 | - | 18-Jan-1996 to 14-Mar-1996 | 654 | ± | 11 | 177.1 | ± | 13.5 | 169.4 | ± | 44.7 |
| | | H | _ | Male | 5 | | 14-Feb-1996 to 14-Mar-1996 | 653 | ± | 10 | 174.6 | ± | 6.3 | 153.4 | ± | 23.2 | | | | | | | | |
| 9411 | 28-Jun-1994 | (Reed zone) | 135,000 | Female | 17 | 0.061 | 14-Mar-1997 to 2-Apr-1997 | 1,045 | ± | 8 | 172.8 | ± | 12.4 | 148.7 | ± | 27.7 | | | | | | | | |
| | | | | Male | 14 | | 18-Mar-1997 to 2-Apr-1997 | 1,040 | ± | 6 | 183.1 | ± | 12.7 | 167.7 | ± | 35.6 | | | | | | | | |

^{*1:} Refer to Fig. 8.1 for release sites.

^{*2:} Number recaptured / number released \times 100. Significant differences 94H vs. 94M and 94F. (both P = 0.000), and no significant difference 94M vs. 94F (P = 0.094) by a test of two proportions under normal approximation.

^{*3:} Significant differences 94M vs. 94E in female of 1 tish (P=0.040), and female of 2 fish vs. male of 2 tish in 94H (P=0.029) by Student's t-test.

^{*4:} Significant difference 94M vs. 94E in female of 1' fish (P=0.039) by Student's t-test.

^{*5:} Days after hatching. 0'<365 DAH<1'<730 DAH<2'<1,095 DAH.

Table 8.4 Comparison of recapture rates and growth of nigorobuna Carassius auratus grandoculis released to everywhere of offing in the northern basin of Lake Biwa and caught by gill net in the basin

| | Release | | | Recapture | | | | | | | | | | | | |
|------------|------------------|---------|--------|-----------|-----------|----------------------------|-------------------|------|----|----------|-------|-------|--------|-------|------|--|
| Group name | | N | | NI | Recapture | Date | Age | | | Stand | ard l | ength | Bod | ly we | ight | |
| | Date | Number | Sex | Number | rate*1 | First to last | Mean | ± SD | | Mean*3 ± | | SD | Mean*4 | ± | SD | |
| | | | | | % | | DAH ^{*2} | | | | mm | | | g | | |
| 94OL | 18.0 - 1004 | 20 000 | Female | 15 | 0.073 | 14-Feb-1996 to 15-Apr-1996 | 658 | ± | 16 | 182.7 | ± | 13.2 | 185.7 | ± | 96.7 | |
| | 18-Oct-1994 | 28,800 | Male | 6 | 0.073 | 15-Feb-1996 to 14-Mar-1996 | 655 | ± | 11 | 179.0 | ± | 12.1 | 179.0 | ± | 28.8 | |
| | - | | Female | 5 | | 21-Feb-1996 to 14-Mar-1996 | 657 | ± | 11 | 171.2 | ± | 7.6 | 157.8 | ± | 21.9 | |
| 04014 | 20.0 / 1004 | 20.000 | Male | 6 | 0.035 | 18-Jan-1996 to 14-Mar-1996 | 647 | ± | 19 | 177.2 | ± | 11.8 | 164.3 | ± | 25.7 | |
| 94OM | 20-Oct-1994 | 39,900 | Female | 2 | | 18-Mar-1997 to 25-Mar-1997 | 1,042 | | | 214.9 | | | 295.0 | | | |
| | | | Male | 1 | | 25-Mar-1997 | 1,045 | | | 170.0 | | | 155.0 | | | |
| | | | Female | 30 | | 14-Feb-1996 to 8-Apr-1996 | 663 | ± | 15 | 171.5 | ± | 15.1 | 157.3 | ± | 42.2 | |
| 0400 | From 19-Oct-1994 | 024 000 | Male | 24 | 0.006 | 14-Feb-1996 to 8-Apr-1996 | 653 | ± | 17 | 168.8 | ± | 9.6 | 144.1 | ± | 26.1 | |
| 94OS | to 29-Oct-1994 | 924,000 | Female | 2 | 0.006 | 18-Mar-1997 | 1,038 | | | 194.2 | | | 225.0 | | | |
| | | | Male | 1 | | 18-Mar-1997 | 1,038 | | | 218.3 | | | 282.0 | | | |

^{*1:} Number recaptured / number released × 100. Significant difference 94OL vs. 94OM and 94OS by a test of two proportions under normal approximation (P=0.030 and 0.000, respectively).

124

^{*2:} Days after hatching. 0'<365 DAH<1'<730 DAH<2'<1,095 DAH.

^{*3:} Significant differences 94OL vs. 94OS in female and male of 1 fish by Student's t-test (P=0.020 and 0.034, respectably).

^{*4:} Significant differences 94OL vs. 94OS in male of 1^+ fish by Student's t-test (P=0.008).

Table 8.5 Estimated survival rates' form release to October 18, 1994 of nigorobuna Carassius auratus grandoculis released in the reed zone of each site in Lake Biwa

| | _ | - | Rele | casc | | Survival rate at time group 9401. from $94X^{94}$ release $(\hat{\phi}_{X,DL})$ | | | | | |
|---------------|-------------|--------------------|----------|-----------------|---|---------------------------------------------------------------------------------|-----|---------|------|----|-----------------------------------------------------|
| Group name | Date | Site ^{*2} | Number _ | Standard length | | | | | | | Number survived at group 94OL release (\hat{E}_X) |
| | | Site | 14010CC | Mean ± SD | | N | _ | Mean*5 | ± | SE | |
| | | | | | | mm | | | | | % |
| 94E | 26-Jun-1994 | E (Reed zone) | 132,000 | 16.6 | ± | 3.7 | 250 | 24,686 | 18.7 | ± | 4.4 |
| 94M | 28-Jun-1994 | M (Reed zone) | 95,000 | 18.1 | ± | 4.5 | 240 | 8,229 | 8.7 | ± | 4.0 |
| 94H | 28-Jun-1994 | H (Reed zone) | 135,000 | 16.5 | ± | 3.7 | 250 | 112,457 | 83.3 | ± | 9.2 |
| 940 | 26-Jun-1994 | O (Sandy beach) | 121,000 | 15.5 | ± | 3.5 | 250 | 6,857 | 5.7 | ± | 2.5 |
| 94CS | 26-Jun-1994 | CS (Offing) | 98,000 | 17.6 | ± | 4.3 | 250 | 5.486 | 5.6 | ± | 2.8 |

^{*1:} Sec Fig. 8.3.

125

^{*2:} Fish were released to the reed zone on each site in Lake Biwa. Refer to Fig. 8.1 for release sites.

^{*3:} October 18, 1994.

^{*4:} X: M, E, H, O and CS.

^{*5:} Significant differences 94E vs. 94O, 94E vs. 94CS. 94H vs. 94E and 94H vs. 94M (both P<0.05). No significant differences 94O vs. 94 CS and 94E vs. 94M (both P>0.05). Refer to the text for a test of statistical significance.

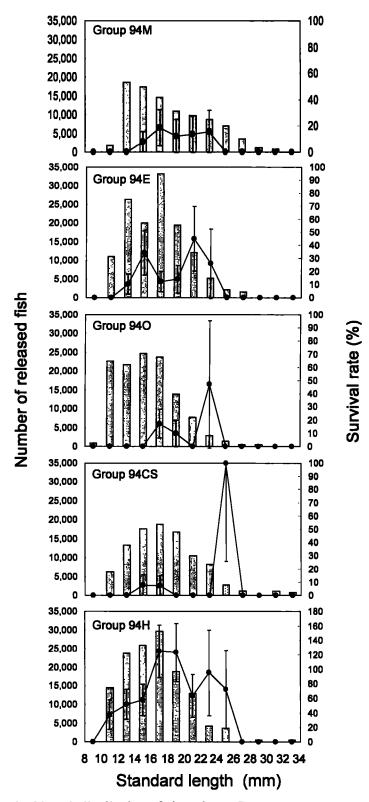


Fig. 8.4 Standard length distribution of nigorobuna Carassius auratus grandoculis released in Lake Biwa, and comparison of survival rates for estimated standard lengths at release of the fish. Rectangles show the number of released fish. Closed circles and vertical bars indicate survival rates and standard errors. Characters indicate fish group names (Table 8.1).

Table 5.6 Comparison of cost-benefit of nigorobuna Carassius auratus grandoculis release to reed zone and offing of Lake Biwa

| | | Release | | | | Recapture by gill net on fishing | | | | | | | | | |
|-------|---------------------------------|----------------------|---------|------|------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------|------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------|-------|--|
| | | Reicasc | Female | | | | | | Malc | _ Catch in | Cost for | | | | |
| Group | | | | K | *2 | Catch in | Catch in | R _m *3 | | Catch in | Catch in | amount in | rearing and release of | B/C | |
| name | Date | Site*1 | Number | 1996 | 1997 | weight in 1996 and 1997 ^{*,} | amount in 1996 and 1997 (13 ₁) | 1996 1997 | | weight in 1996 and 1997 ^{*4} | anxuunt in 1996 and 1997 (B _m) | 1996 and 1997 (B _f +B _m =B) | nigorobuna (C) | | |
| | <u> </u> | | | % | % | 1 | yen | % | % | t | yen | yen | yen | | |
| 94E | 26-Jun-1994 | E (Reed zone) | 132.000 | 1.27 | 0.00 | 0.53 | 1,528,833 | 0.40 | 0.00 | 0.07 | 30,986 | 1,559,819 | 465,960 | 3.35 | |
| 940 | 26-Jun-1994 | O (Sandy beach) | 121,000 | 0.17 | 0.12 | 0.09 | 266,514 | 0.14 | 0.00 | 0.03 | 10,936 | 277,450 | 427,130 | 0.65 | |
| 94CS | 26-Jun-1994 | CS (Offing) | 98.000 | 0.14 | 0.00 | 0.06 | 162,474 | 0.42 | 0.00 | 0.08 | 32.477 | 194,951 | 345,940 | 0.56 | |
| 94M | 28-Jun-1994 | M (Reed zone) | 95.000 | 0.35 | 0.00 | 0.15 | 424,237 | 0.43 | 0.00 | 80.0 | 33,140 | 457,377 | 335.350 | 1.36 | |
| 9411 | 28-Jun-1994 | H (Reed zone) | 135.000 | 3.86 | 1.80 | 1.94 | 5,561,862 | 0.79 | 2.90 | 0.34 | 141.346 | 5,703,208 | 476,550 | 11.97 | |
| 94OL | 18-Oct-1994 | Everywhere of offing | 28,8(0) | 1.22 | 0.00 | 0.51 | 1,467,341 | 0.87 | 0.00 | 0.16 | 66,778 | 1,534,119 | 694,080 | 2.21 | |
| 94OM | 20-Oct-1994 | Everywhere of offing | 39,900 | 0.37 | 0.31 | 0.21 | 603,243 | 1.06 | 0.22 | 0.21 | 87,790 | 691,033 | 829,920 | 0.83 | |
| 9408 | From 19-Oct-1994 29-Oct-1994 | Everywhere of offing | 924,000 | 1.03 | 0.23 | 0.48 | 1,361,729 | 1.03 | 0.40 | 0,22 | 90,384 | 1,452,113 | 4,712,400 | 0.31 | |

^{*1;} Fish were released to the reed zone on each site and everywhere of offing in Lake Biwa. Refer to Fig. 8.1 for release sites.

^{*2:} Weight-ratio of released fish in the catches.

^{*3: (}Annual catch: 42.0 t of female nigorobuna in Lake Biwa - R_f in 1996)+(i.q. 18.0 t - R_f in 1997).

^{*4: (}Estimated annual catch: 18.3 t of male nigorobuna in Lake Biwa <R_m in 1996)+(i.q. 6.6 t×R_m in 1997). Refer to the text for the annual catch estimation.

生残率の変動が著しかった。

各放流事業の費用便益分析 Table 8.6には、刺網 で漁獲された1994年に放流されたニゴロブナ各群 (Table 8.1)の費用便益比(B/C)を示した。6月に琵琶 湖に放流された種苗のうち94E群など、ヨシ帯に放 流された種苗ではB/Cは1.00を超えたが、砂浜や沖合 に放流された940群と94CS群ではB/Cは1,00未満で、 種苗放流の経済効果が確認できなかった。また、ヨシ 帯に放流された種苗であっても水域によってB/Cは 異なり,針江に放流された94H群では11.97と非常に 高く,海老江に放流された94E群では3.35、牧に放流 された94M群では1.36であった。一方,10月に北湖沖 合に放流された種苗では、放流サイズが大きいほど B/Cが高かった。放流時の平均体長が39.2mmの94OS 群と同58.8mmの940M群ではB/Cは1.00未満で、放流 の経済効果が確認できなかったが、同83.9mmの94OL 群では2.21で高い経済効果が確認できた。

考 宴

これまでの調査4)で、ニゴロブナは夏季の水温が

高い年には良好な成長を示すことが確認されており、 1992~1995年の4年間のうち夏季の平均水温が最も 高かった1994年は、5月15日生まれの仔魚が生後206 ~254日で体長104.8±11.1mm(平均値±SD,以下同 様), 体重38.2±12.1gまで成長した。しかし,水温が 低下する晩秋季以降は成長が滞った。琵琶湖を擁す る滋賀県では、滋賀県漁業調整規則(http://www. biwa. ne. jp/~y-ogura/kisoku/kisoku. html) によっ て全長150mm(体長に換算すると約115 mm)以下のフ ナ類の採捕が禁止されており、ニゴロブナのこの成 長から判断すると、生後1年未満は漁獲の対象にはな らないと考えられる。一方、1996年春のニゴロブナの 漁獲物調査では、ALC標識から判断して、1994年春生 まれのニゴロブナが多数漁獲されたが、1992年春生 まれのニゴロブナは確認されず、1993年春生まれの ニゴロブナはごく少数ではあるが確認された。例え ば、栽培漁業センターが1992年6月2日から8月20日の 間に琵琶湖沿岸のヨシ帯へ4,003,000尾放流したALC 標識種苗(1992年春から初夏生まれ。放流時の体長 11.4±4.3mm) は確認されず,1993年6月7日から7月26 日の間に琵琶湖沿岸のヨシ帯へ1,849,000尾放流し たALC標識種苗(1993年春生まれ。放流時の体長18.0

±4.3mm)は合計3尾確認され、その再捕率は0.000162%であった。以上から主な漁獲対象となるニゴロブナは、生後約2年魚で、生後約3年魚も若干ではあるが漁獲対象となり、それ以上の加齢魚はほとんど生残しないと考えられる。このため、1996年春と1997年春の漁獲物調査によって1994年春生まれの放流種苗の放流効果は十分に把握可能と判断できる。

一方,両年の漁獲物調査で94H群(Table 8.1)が多数確認されたため、この群について生後約2年魚と約3年魚との間で体長と体重を比較したところ、両者の間には差がみられなかった。これは刺網の目合いによって、漁獲される魚のサイズが決まった結果と考えられ、今回の調査結果からニゴロブナの年間の成長を論じることは困難である。しかし、晩秋季に沖合へ放流された940L群と940S群の漁獲魚を比較すると、放流時のサイズが大きい940L群の方が生後約2年の漁獲時のサイズが大きいという結果が得られた。このため晩秋季の沖合放流の種苗サイズは、漁獲物のサイズという点で放流効果に関係してくると考えられる。

以下では、ニゴロブナ種苗の放流効果について検 討していく。これまでの調査で、北湖北部の海老江 のヨシ帯, その近傍の尾上の砂浜およびそれらの沖 合(Fig. 8.1)へ、1994年6月26日に放流した仔稚魚期 のニゴロブナ種苗(それぞれ94E群, 94O群,94CS群) の放流132~293日後の北湖沖合における小型機船底曳 き網による再捕率はそれぞれ0.133%, 0.024%, 0.027%で あり、仔稚魚期の本種種苗の放流適地としてヨシ帯 が重要であることを示した。3)今回の刺網による漁 獲物調査でも,ヨシ帯への放流群が砂浜や沖合への 放流群よりも再捕率,放流日から1994年10月18日ま での生残率ともに有意に高く、ヨシ帯に放流された ニゴロブナ仔稚魚が高率で生き残っているという結 果が得られた。また、ニゴロブナ種苗放流事業の費用 便益比(B/C)は、ヨシ帯への放流群が3.35と高く,他 の放流群は1.00に満たなかったことから、ヨシ帯外 への種苗放流は経済的に事業が成り立たず,逆に,ヨ シ帯へ種苗を放流すると高い経済効果が得られると いう結果であった。このため、仔稚魚期のニゴロブナ 種苗の放流事業を進めるうえで、ヨシ帯への放流が 非常に重要といえる。

一方,琵琶湖沿岸の異なる水域に自生するヨシ帯 へ放流した仔稚魚期のニゴロブナ種苗の刺網による 所補率,上記と同様の生残率およびB/Cは,針江, 海老江,牧(Fig. 8.1)の順に高く、ヨシ帯が異なると放流効果に大きな差が生じることも明らかとなった。ニゴロブテは概ね体長16mmまでの仔魚期⁶¹の間はそれまで生息したヨシ帯内に留まり離れることはないが、さらに成長して稚魚期に達するとヨシ帯を出入りすると考えられている。「10今回, 再補率や生残率などに差がみられたヨシ帯は, 陸域から琵琶湖へ流入する農業排水路によって分断された部分もあるが, その分断幅は数m未満であり, 稚魚期の違した以降のニゴロブナは隣接するヨシ帯間を行き来できると考えられる。そこで、水路で分断されたヨシ帯を一体のヨシ帯とみなしたそれらの面積は,針江が55,508 ㎡, 海老江が41,988㎡, 牧が16,430 ㎡であり、「12 規模の大きなヨシ帯ほど種苗放流効果が高いと考えられる。

ヨシ帯の奥部には、ニゴロブナの初期餌料となる小型の甲殻類が多数分布することが知られている。 13 157 著者らも、発達した奥行きのあるヨシ帯の岸辺付近から離岸20mにかけて本種仔稚魚の餌となる小型の甲殻類の密度が非常に高いことを報告した。 117 また、若者らは、発育初期の本種はそのようなヨシ帯奥部に餌を求めて167 積極的に蝟集し、その水域を授餌の場として利用することや発達したヨシ帯の奥部は生産性が高く、浮遊生物や付着生物による酸素消費が活発で貧酸素環境になるが、ニゴロブナ仔魚はそのような環境に適応していることを報告した。 117 このため発達したヨシ帯の奥部は、捕食者からの本種仔魚の退避地としても機能すると考えられている。 11-117

の相互の連続性を確保したヨシ帯規模を拡大する取り組みが重要といえよう。

また、今回の刺繍による漁獲物調査で、体長16 mm を超えた種苗をヨシ帯に放流すると, それよりも小 さいサイズの種苗放流に比べて、再補率が格段に上 昇するという結果が得られた。これまでの研究で、本 種は概ね体長16mmを超えて稚魚期に達すると、鯖条 や鱗, 骨格がほぼ完成するとともに, 骨格筋および消 化, 呼吸, 循環, 感覚, 造血, 排泄を司る各器官の急速 な発達が観察されている。5またこの体長を境に,魚 類の遊泳速度のうち、測定時間を60分間とした最大 遊泳速度21)である巡航速度が急速に増加するととも に、魚類の遊泳能力の指標として川いられるSAI²²も、 その上昇率を増すことが確認されている。201 さらに、 SAIを体長で除して求めた相対SAIは、体長の大小間 で遊泳能力を比較できる指標となるが、稚魚期にな るとこの値の上昇が観察されている。²³⁾このように 稚魚期に建すると天然環境ドでの生活を支える機能 や生き残る能力が格段に向上し,運動能力も飛躍的 に向上するため、概ね体長16mmを超えて稚魚期に達 した種苗を、ヨシ帯へ放流すると生残率が向上する と考えられている。さらにALC標識を付けた本種の種 苗放流と当歳魚の北湖沖合における小型機船底曳き 網による再補調査によって,体長16mmを超えると再 捕率が上昇することが確認されている。³⁾このよう な知見に加え、今回の結果から、体長16mmを超えた本 種種苗のヨシ帯への放流の重要性が一層確かなもの となった。

ニゴロブナの当歳魚は、晩秋季になると琵琶湖の 沿岸水域への依存性が薄れ、⁶ 北湖の神合の急峻な 水域の湖底へ集まる。^{4,0} その後、冬季にかけて北湖 の表層と底層の水温差が小さくなるに伴い、次第に 深い湖底へと移動する。⁶ 琵琶湖沿岸の水ヨシ帯の 面積が減少している現状では、春季における仔稚魚 期の種苗のヨシ帯放流とは別に、晩秋季から冬季に かけての北湖神合への種苗放流もニゴロブナ資源を 回復するための選択肢の一つとして重要である。そ こで著者らは、⁶ 1994年10月にALC標識で識別した概 ね体長85mm(体重20g)、同60mm(同7.5g)および同 40mm(同2.5g)のサイズの異なる本種種苗を北湖神合 へ放流し、小型機船底曳き網による混獲率の経日変 化を追跡した。その結果、体長85mmの種苗は、日数が 経過しても混獲率は低下せず、放流後の生務率は天 然魚と差がないと判断され,このサイズの種苗の晩 秋季放流が効果的だと考えた。今回の刺網による漁 獲調査でも、このサイズの種苗の再捕率は他のサイ ズの種苗よりも有意に高く,またB/Cは他のサイズの 種苗では1.00に満たなかったが,このサイズの種苗 は2.21と高かった。これらの結果から,晩秋季に概ね 体長85mm(体重20g)の種苗を放流することで,高い経 済効果が期待できる種苗放流事業が可能と判断され る。

以上から、ニゴロブナの種苗放流事業を経済事業 として展開するためには、体長が概ね16mmを超えた 種苗を良く発達した、なるべく規模の大きなヨシ帯 に放流することが重要といえる。しかし、既述のとお り現状の琵琶湖では水ヨシ帯は減少し、ニゴロブナ の天然繁殖や種苗放流の適地が著しく減少している。 また、1992年から「瀬田川洗堰操作規則」に基づいて 琵琶湖の水位が6月16日以降は琵琶湖基準水位 (BSL)-20cm以下まで人為的に下げられ,24)本種の繁 殖期に当たる6月中旬25.26)以降の琵琶湖水位は,1985 ~1989年と比べて1992~1997年には大きく低下して いる。²⁷⁾2002年時点の水ヨシ帯の面積は、BSL±0cmで は約76 ha であるが、BSL-10cmでは約88%、-20cmでは 約67%,-30cmでは約47%にまで減少すると見積もられ ており、19)今日ではニゴロブナの繁殖の場がこの水 位操作により一層減少した状態にある。さらに1992 年に施行された「滋賀県琵琶湖のヨシ群落の保全に 関する条例」に基づいて、ヨシ群落保全基本計画が定 められ、春先のヨシの芽吹きの促進を目的に、水位の 低い冬季に枯れヨシの大規模な刈り取りが行われて きた。最近では地元住民やボランティア団体などが 中心となった参加型環境保全活動としてこの刈り取 りと焼き払いが定着している。28)しかし、刈り取りが 行われる冬季に比べて春先以降には琵琶湖水位が上 昇するため、刈り取られたヨシ茎の切り口が冠水す る場合がある。枯れヨシの茎は、地下茎に水面上から 酸素を供給する機能があり、このようなヨシ帯では 切り口が冠水することで酸素供給が止まり、成長が 遅滞すると考えられている。^{29,31)}また,著者は切り口 の冠水にともなうヨシの発芽の遅れと成長遅滞を天 然水域および実験池で実証している(藤原、未発表)。 このヨシ刈り活動によって、ニゴロブナの繁殖期に 実質的な水ヨシ帯が減少する原因になっている。3) このように, 近年の琵琶湖沿岸のヨシ帯では, ニゴロ

ブナ仔稚魚の成育機能が著しく低下している。また, ヨシ帯にはニゴロブナを育成できる環境収容力が存在し,一定尾数を超えた種苗放流により密度効果が 現れ,放流された種苗の生残率が低下することが確 認されている。³⁾このため,現状の琵琶湖でニゴロブ ナ資源を安定的に増大させるためには,ヨシ帯の修 復を進めつつ,ヨシ帯に依存しない体重約20g(体長 約85mm)の種苗の晩秋季の北湖沖での放流が重要と いえよう。

近年では、栽培漁業センターと滋賀県漁連が体重20g種苗を中心にニゴロブナ種苗の放流事業を進めており、栽培漁業センターが実施している漁獲物中のALC標識種苗の調査の結果 [例えば2009(平成21)年度生産放流事業報告書322]では、放流魚の混獲率は74.1%と著しく上昇し、それに伴い漁況は好転傾向にある。333)しかしニゴロブナ資源を回復させるうえで種苗放流は、緊急的に資源回復を図る一手段であり、以前の琵琶湖のように再生産によるニゴロブナ資源の回復と維持が強く望まれる。今後、天然魚の再生産を助長するため、ニゴロブナにとって高い成育機能を持つ奥行きがあり、規模の大きなヨシ帯の造成のほか、ヨシ帯が持つその機能を維持するための琵琶湖水位や春先のヨシ帯自体の植生の適正な管理が特に重要な課題である。

(本)

- 1) 藤原公一. アリザリン・コンプレクソンを用いたニゴロブナ. Carassius auratus grandoculisの耳石への標識装着条件. 水産増殖 1999; 47: 221-228.
- 2)藤原公一, 臼杵崇広, 根本守仁, 北田修一. アリザリン・コンプレクソンを用いたニゴロブナ Carassius auratus grandoculisの耳石への多重標識 装着条件と放流サイズの推定方法. 日水誌 2010; 76: 637-645.
- 3)藤原公一, 臼杵崇広, 根本守仁, 松尾雅也, 竹岡昇一郎, 田中 満, 北田修一. 琵琶湖におけるニゴロブナ Carassius auratus grandoculis種苗の放流水域としてのヨシ帯の重要性と放流事業の課題. 日水誌 2011;77:822-833.
- 4)藤原公一, 臼杵崇広, 根本守仁, 松尾雅也, 竹岡昇一郎, 田中満, 中新井隆, 北田修一. 琵琶湖におけるニゴロブナ Carassius auratus grandoculis 放流

- 種苗の成長および分布域の拡大と神合への種苗放 流技術の検討、日水誌 2011; 77:1051-1064.
- 5)藤原公 ニゴロブナCarassius auratus grandoculis の飼育仔稚魚の発育と成長、日木誌 2010; 76: 894-904
- 6)太田滋規, 岩崎治臣. 沖曳網採捕により把握したフナ稚魚の分布状態. 平成5年度滋賀水試事業報告 1994; 55-56.
- 7) 田中昌一 VI. 標識放流. 「水産資源学総論」恒显 社厚生間, 東京. 1985;284-341.
- 8)北田修一 VI. 標識再補による放流効果の評価.「資源評価のための数値解析」(島津靖彦編) 恒星社 厚生閣,東京. 1987; 102-117.
- 9) 北田修一「栽培漁業と統計モデル分析」共立出版, 東京、2001; 166-168.
- 10) 平成3年次~平成20年次滋賀農林水産統計年報(近畿農政局編), 大津. 1992~2010.
- 11)藤原公一, 臼杵崇広, 根本守仁, 北田修一. 程置湖 沿岸のヨシ帯におけるニゴロブナ Carassius auratus grandoculisの初期生態とその環境への適応. 日水誌 2011; 77: 387-401.
- 12) 西森克治, 栗野主一, 岩崎治臣, 山中 治, 津村祐司. 野琶湖の水ヨシ群落面積 I. 平成14年度滋賀水試 事業報告 2003; 14-15.
- 13) 平井賢一. びわ湖内湾の水生植物帯における仔稚 魚の生態II 水生植物帯にすむ仔稚魚の食性につ いて. 金沢大学教育学部紀要自然科学編1971;20: 59-70.
- 14) 平井賢一. びわ湖内湾の水生植物帯における仔稚 魚の生態 Ⅲ ニゴロブナ仔稚魚の食性と生息域の 関係。日本生態学会誌 1972; 22: 69-93.
- 15) 山本敏哉. 微小甲吸狐を摂餌したニゴロブナ仔魚 の成長. 矢作川研究 2005;9:86-88.
- 16) 藤原公一, 北田修一. ニゴロブナ Carassius auratus grandoculis (午魚が琵琶湖の発達したヨシ帯岸辺付近へ蝟集する要因、日水誌2011; 77: 853-861.
- 17) Yamanaka H, Kohmatsu Y, Yuma M. Difference in the hypoxia tolerance of the round crucian carp and largemouth bass: implications for physiological refugia in the macrophyte zone. *Ichthyol Res* 2007; 54: 308-312.
- 18) 滋賀県水産試験場. びわ湖のヨシ帯分布と現存量. 経電湖の蔵地等に関する予察的検討結果報告書.

- 19) 森田 尚, 津村祐司, 西森克浩, 山中 治. 経電 湖の水位変動に伴うヨシ群常冠水面積の変化. 平 成15年度滋賀水試事業報告 2004; 14-15.
- 20) 滋賀県農政水産部水産課. 沿岸漁場整備開発事業. 滋賀の水産, 滋賀県, 大津. 2009; 41-43.
- 21) Brett JR. The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeyo salmon. J. Fish. Res. Bd. Can. 1964; 21: 1183-1226.
- 22) Tsukamoto K, Kajihara T, Nishiwaki M. Swimming ability of fish. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 1975; 41:167-174.
- 23) 藤原公一, 臼杵県広, 北田修一. 成長および流水 トレーニングに伴うニゴロブナCarassius auratus grandoculis 仔稚魚の遊泳速度の変化. 日水誌 2010: 76:1025-1034.
- 24) 滋賀県琵琶湖県境部水政課. 水位の変遷. 「琵琶湖ハンドブック」 (琵琶湖ハンドック編集委員会編). 滋賀県, 大津. 2007; 192-193.
- 25) 中村守純.「日本のコイ科魚類」 資源科学研究所, 東京. 1969.
- 26) 松田尚一, 前畑政善, 秋山廣光. 「湖園びわ湖の魚 たち」(滋賀県立琵琶湖文化館編)第 ·法規出版, 東京. 1986.
- 27) Yamamoto T, Kohmatsu Y, Yuma M. Effects of summer drawdown on cyprinid fish larvae in Lake Biwa, Japan. *Limnology* 2006; 7: 75-82.
- 28) 牧野厚史. ヨシ帯保全における自然と人間との適 度な関係. 滋賀人環境総合研究センター研究年報 2008: 5: 1-12.
- 29) 果林 実. 琵琶湖沿岸の植物の現状と保全. 琵琶 湖研究所所報 1999; 16: 78-85.
- 30) 西野麻知子, 浜端悦治. ヨシ刈りのよしあし. 「内 湖からのメッセージ」(西野麻知子, 浜端悦治編) サンライズ出版, 滋賀. 2005;115-116.
- 31) **吉良竜夫. ヨシの生態**おぼえがき. **琵琶湖研究所 所報** 1991; 9: 29-37.
- 32) ニゴロブナ. 2009 (平成21) 年度生産放流事業報 位. 財団法人滋賀県水産振興協会, 草津. 2011; 2-14.
- 33) 滋賀県農政水産部水産課、重要漁獲対象種の種出 放流、滋賀の水産、滋賀県、大津、2011;28.

第9章 総括

ニゴロブナCarassius auratus grandoculisは、コイ科 フナ属に属する琵琶湖の固有亜種で, 滋賀県の食文 化を代表し、特産品として有名なフナズシの材料に 用いられる。このため本種は琵琶湖漁業にとって非 常に重要な漁獲対象となっている。しかし、本種の資 源は,産卵・繁殖場として重要なヨシ帯の減少や動物 食に偏った食性の外来魚オオクチバスMicropterus salmoidesの大増殖などが原因となって著しく減少 した。そこで、琵琶湖におけるニゴロブナ資源の回復 と増殖を図るため、滋賀県によってニゴロブナの産 卵・繁殖場となるヨシ帯の造成事業が行われている。 また, 滋賀県漁業協同組合連合会によって積極的な オオクチバスの駆除事業が, 琵琶湖栽培漁業センタ ーと同連合会によってニゴロブナの種苗放流事業が 行われている。このような背景のもと、この研究は、 琵琶湖におけるニゴロブナの効果的な種苗放流技術 の確立と産卵・繁殖場の要件を明らかにするために 実施した。

まず、ニゴロブナの種苗放流事業を実施するうえで、効果的な種苗サイズを検討する基礎資料を得るため、ニゴロブナ仔稚魚の発育と成長を調べた。その結果、本種は、標準体長(以下、体長)が概ね16 mm まで成長して稚魚期に達すると、鰭条や鱗が定数に達し、骨格がほぼ完成するとともに、骨格筋および消化、呼吸、循環、感覚、造血、排泄を司る各器官の急速な発達が観察され、天然環境下で生き残る機能の著しい向上がうかがえた。したがって、体長16 mm は、本種の効果的な放流サイズを検討するうえでの基準の一つになると考えられた。(第2章)

また、効果的な種苗放流技術を検討する基礎資料を得るため、本種仔稚魚の成長や流水中での飼育、いわゆる流水トレーニングに伴う遊泳速度の変化を調べた。その結果、体長約16 mmまでは突進速度が増加した。その体長を超えて稚魚になると巡航速度が急速に増加し、遊泳能力が著しく向上した。このことからも、体長16 mmは重要な放流基準の一つになると考えられた。また、流水トレーニングにより突進速度は有意に増加したが、オオクチバスを収容したコンクリート池や琵琶湖へ放流した後の生残率は止水飼育した種苗と差がなかった。このため、放流後の生残率を高めるための流水飼育による種苗性付与は、特

に必要ではないと考えられた。(第4章)

さらに、ニゴロブナの産卵・繁殖場の造成条件や種 苗放流適地を知るため、本種の初期生態を調査した。 琵琶湖沿岸の発達したヨシ帯に放流された本種仔魚 は、その岸辺付近に積極的に蝟集し、ヨシ帯内で体長 約16 mmまで成長して稚魚期に達するとヨシ帯を離 れ始めた。20m以上の奥行きのある発達したヨシ帯の 岸辺付近は、木陰になる水域を除くと水温が高く,餌 となる微小甲殻類(動物プランクトン)は多いが溶存 酸素が著しく少なかった。本種仔魚は貧酸素耐性が 非常に高いうえ体比重が小さく、酸素の溶け込みが 見込める水面に浮上することでその環境に適応して いると考えられた。このため、この水域は本種仔魚の 摂餌の場や捕食者からの退避地として機能している と思われた。本種の産卵・繁殖場を造成するうえで、 このような水域の造成が重要であると考えられた。 (第5章5-1)

また、ニゴロブナ仔魚が、このような琵琶湖沿岸の発達したヨシ帯の岸辺付近に蝟集する要因を2種類の忌避/選好試験装置を用いて検討した。その結果、本種仔魚は貧酸素を忌避せず、高水温を選好し、遮光環境を著しく忌避し、餌となる微小甲殼類に強く誘引されること、およびヨシ帯外縁の水より微小甲殼類を多く含むヨシ帯奥部の水を選好することが判った。本種の産卵・繁殖場の造成や種苗の放流場所の選択を行う場合、これらの生態および環境条件を加味することが不可欠である。(第5章5-2)

一方、標識種苗の放流・再捕調査によってニゴロブ ナの種苗放流技術を検討するため、本種仔稚魚の耳 石へのアリザリン・コンプレクソン(ALC)を用いた標 識(以下,ALC標識)装着条件を検討した。ALC液への卵 (発眼後の卵が最適)や仔稚魚を浸漬すると,耳石(礫 石)にG励起フィルターを装着した蛍光顕微鏡下で 赤色蛍光として明瞭に認められる標識が付いた。水 温20℃で標識を付ける場合,その最適なALC濃度と浸 漬時間は,発眼後の卵,仔魚および体長16 mm の稚魚 では16 mg/Lで24時間, 体長16 mmを超えた体長35 mm までの稚魚では32 mg/L で24時間であった。これら の蛍光は807日後にも明瞭に確認できた。卵の段階で 標識を付けたふ化仔魚と非標識のふ化仔魚を同一水 槽で飼育したところ、ふ化後807日間の両者の成長や 生残率には有意な差は認められず、ALC標識による弊 害がないことも確認できた。(第3章3-1)

また,発眼期の卵とふ化5日目以降の仔稚魚に4日以上の間隔を開けてALC標識すると,その回数に応じて明確に識別できる多重標識が付き,その組合せで多種類の標識が可能であった。5重標識を行った場合でも,琵琶湖への放流後の成長と生残に影響はみられなかった。さらに,放流時に最終の標識操作を行い,再捕魚のその標識サイズを測定すれば,放流群毎の体長SLmmと耳石長径OLmmの一次回帰式またはSL=33.9OL+521OL/D+21.2/D-2.69(D:放流時の日齢)を用いて,高い精度で放流時の体長が推定できた。(第3章3-2)

このようにして耳石にALC標識を付けたニゴロブナ種苗の放流・再捕調査を行い、琵琶湖での本種の効果的な放流技術を検討した。その結果、体長が概ね16 mmを超えた、稚魚期に達した種苗をヨシ帯に放流すると生残率が向上した。ヨシ植生のない水域への放流、人為的操作による琵琶湖水位の低下に伴う水ヨシ帯の奥行きの減少、冬季の過度な刈り取り管理による春先のヨシの成長遅滞、ヨシ帯への過多な種苗放流により、放流種苗の生残率の低下がみられた。これら問題点を克服した種苗放流やヨシ帯に依存しない種苗放流が課題と考えられた。(第6章)

現状の琵琶湖では、このようにニゴロブナの発育や初期成長に必要なヨシ帯が衰退している。そこでヨシ帯に依存しないサイズまで育てた本種の放流技術について検討するため、耳石にALC標識を付けた本種稚魚を6~7月にヨシ帯に放流し、その後の移動や成長を追跡調査した。その結果8~10月の琵琶湖の表層水温が高い年ほど本種稚魚の成長は良好であった。冬季になり水温が次第に低下すると、本種稚魚は水温曜層に沿って分布を広げ、水温曜層の上下の温度差が概ね3.5℃を下回ると琵琶湖沖合の深部の湖底へと分布を拡大した。この時期に、体重約20g(体長約85mm)の種苗(当歳魚)を沖合へ放流すると高い生残が期待された。(第7章)

今日では、このような結果を受けて、琵琶湖のニゴロブナの資源増殖のために、種苗放流事業が実施されている。その費用便益比 (B/C) を算出したところ、B/Cは平均体長が概ね16 mmの種苗を発達した大規模なヨシ帯へ春季に放流すると11.97、同85 mm の種苗を沖合へ晩秋季に放流すると2.21であった。ヨシ植生のない沿岸への同16 mm種苗の春季放流や沖合への同60mm未満の種苗の晩秋季放流では、B/Cが

1.00に満たなかった。近年の琵琶湖では、同85 mm種苗の沖合への晩秋季放流を中心とした種苗放流により、本種資源は回復傾向にある。 (第8章)

以上、まとめると次のとおりである。

- 1) ニゴロブナの産卵・繁殖場として,20m以上の奥行きのあるヨシ帯が不可欠である。ヨシ帯を人工的に造成する場合には,現状では琵琶湖の人的水位低下を考慮した十分な奥行きのあるヨシ帯の造成が重要である。
- 2) 奥行きのある良く発達したヨシ帯へ, 平均体長が 16mmを超えて稚魚期に達したニゴロブナ種苗の放流 が効果的であり, 経済的にも成り立つ。
- 3) しかし,現状では人為的操作による琵琶湖の水位 低下に伴う水ヨシ帯の奥行きの減少,冬季の過度な 刈り取り管理による春先のヨシの成長遅滞,ヨシ帯 への過多な種苗放流による密度効果により,ニゴロ ブナ仔稚魚の生残率の低下がみられる。
- 4) このため、当面は平均体長85 mmまで育てたニゴロブナ種苗の晩秋期の琵琶湖の沖合への放流が効果的であり、経済的にも成り立つ。

今後の課題と展望 本研究の成果を受けたニゴロブナの種苗放流事業により、本種の漁獲量は回復傾向にある。その反面、放流魚の混獲率は著しく上昇(例えば2009~2010年調査では74.1%¹¹⁾)しており、現状の琵琶湖では、天然魚の再生産が滞っているものと考えられる。そもそも種苗放流はニゴロブナ資源の増殖を図るための緊急的な一手段であると考えており、以前の琵琶湖のように、その広大な水面と高い生産力を背景とした再生産によるニゴロブナ資源の回復と維持が強く望まれる。

今後, 天然魚の再生産を助長するため, オオクチバスの積極的な駆除を継続するとともに, ニゴロブナにとって高いナーサリー機能を持つ奥行きのある規模が大きなヨシ帯造成を進めて行く必要がある。また, ヨシ帯が持つそのような機能を維持するうえで, 春先以降の琵琶湖の水位やヨシ帯自体の植生の適正な管理が非常に重要な課題といえる。琵琶湖の水位は, 国土交通省が所管する瀬田川洗堰操作規則に基づいて人為的に調整される。また, ヨシの植生も冬季の刈り取り・焼き払いという人の行為により左右される。ニゴロブナ資源の回復と維持に向け, 本研究等で明らかになった科学的根拠を十分に活用した

政策展開が強く望まれる。

さらに、ニゴロブナの種苗放流自体がもたらす弊 害についても十分な配慮が必要である。琵琶湖のヨ シ帯は、湖岸開発により減少した状態にあり、そのよ うなヨシ帯への環境収容力を超えた過度の尾数、そ して天然魚よりも大きなサイズの種苗放流は、天然 魚の再生産を阻害することがこの研究で明らかにな った。本種の種苗放流を実施するうえで、ヨシ帯への 放流尾数と放流魚のサイズについて十分に配慮した 事業展開が不可欠である。また, 琵琶湖栽培漁業セン ターでは、放流する種苗生産用の親魚とするため、 1996~2000年には琵琶湖で小型機船底曳き網によっ て捕獲された3,349尾のニゴロブナを導入する2)な ど,遺伝子多様性に配慮した種苗生産・放流事業を実 施してきた。その結果、2007年に実施したマイクロサ テライト領域を用いた放流魚の遺伝子多様性の調査 により、放流種苗は天然魚と同等の遺伝子多様性を 維持していると評価された。3放流種苗の遺伝子多 様性を現在のレベルで維持するためには、今後も定 期的な天然親魚の導入が重要である。

1300年もの歴史を有し、滋賀県の食文化を代表するフナズシの材料には、琵琶湖の固有亜種であるニゴロブナが主に用いられる。琵琶湖におけるこのようなニゴロブナ資源の回復・維持は、琵琶湖漁業など滋賀県の水産業の振興にとって重要であるだけではなく、滋賀県の食文化の継承、そして琵琶湖の生態系の保全にとっても非常に重要な意義を持つと考えている。本研究の成果を受けた事業展開により、近年ではようやくニゴロブナの漁獲に明るい兆しが見えてきた。これを弾みに、今後、順調にニゴロブナ資源の回復が進むことを期待して稿を終えたい。

100 文

- 1)ニゴロブナ. 2009(平成21)年度生産放流事業報告. 財団法人滋賀県水産振興協会, 草津. 2011;2-14.
- 2) 放流事業. 1996~1999 (平成8~11) 年度事業報告書. 財団法人滋賀県水産振興協会, 草津. 1999~2002.
- 3) 礒田能年, ニゴロブナの遺伝的多様性の評価. 滋賀 水試事業報告 2007;21.

謝辞

本研究を取りまとめるに当たり, 懇切なご指導とご高閲を賜った東京海洋大学教授 北田修一博士に深謝の意を表する。有益なご教示やご助言を賜った東京海洋大学准教授 浜崎活幸博士, 同教授 ストルスマン・カルロス博士, 同助教 横田賢史博士ならびに独立行政法人水産総合研究センター西海区水産研究所有明海・八代海漁場環境研究センターセンター長 有瀧真人博士に感謝申し上げる。

本研究を進めるに当たり、組織標本の作製についてご指導いただいた独立行政法人水産総合研究センター養殖研究所 三輪理博士には心から厚くお礼申し上げる。また、有益なご助言とご鞭撻を賜った京都大学名誉教授 田中克博士には心から厚くお礼申し上げる。

本研究の実施についてご英断いただき,研究の機会を与えて頂いた財団法人滋賀県水産振興協会元理事長 山田新二元滋賀県副知事ならびに同元常務理事 箕田冠一氏には,心から感謝申し上げる。また,本研究をまとめるに当たり,東京海洋大学大学院での研究をご快諾いただいた滋賀県水産試験場場長藤岡康弘博士に感謝申し上げる。

本研究の推進に格別なご協力,ご助言を賜った財団法人滋賀県水産振興協会 松尾雅也次長に,心からお礼申し上げる。また,本研究の推進に多大なご協力をいただいた当時の滋賀県水産試験場職員 臼杵崇広氏(現滋賀県農政水産部副主幹),根本守仁氏(現滋賀県水産試験場主査)ならびに財団法人滋賀県水産振興協会竹岡昇一郎主幹,田中満班長,中新井隆班長に心から感謝申し上げる。

本研究に必要なニゴロブナの卵や仔稚魚を快く提供して頂いた財団法人滋賀県水産振興協会ならびに 滋賀県漁業協同組合連合会に厚くお礼申し上げる。 また,供試魚の輸送,放流などにご便宜を図って頂い た滋賀県漁業協同組合連合会 小林眞栽培部長に, 心からお礼申し上げる。

本研究を推進するに当たり種苗放流にご協力をいただいた当時の滋賀県水産試験場職員の方々に心から感謝申し上げる。

最後に,本研究費の獲得,研究の推進など多岐に渡りご理解,ご協力,ならびにご指導を賜った元滋賀県 水産試験場場長・元滋賀県農政水産部技監 林英志 氏(現滋賀県漁業協同組合連合会専務理事) に, 深謝 の意を表する。