

# 琵琶湖におけるビワマスの資源構造に関する研究

田中秀具

Studies on the Resource Structure of Biwa salmon, *Oncorhynchus masou rhodurus* in Lake Biwa

Hidetomo Tanaka

キーワード：ビワマス、標識放流再捕調査、年齢・体長組成、資源動態モデル、琵琶湖

## 序 章

### 1. ビワマス

ビワマス, *Oncorhynchus masou rhodurus*<sup>1)</sup>は、琵琶湖の固有魚で、サケ科 (Family: *Salmonidae*)、サケ属 (Genus: *Oncorhynchus*) に分類され、サクラマス (ヤマメ), *O. masou masou*<sup>1)</sup>、サツキマス (アマゴ), *O. masou macrostomus*<sup>1)</sup> とごく近縁で、これらと共にサクラマス群の一亜種とされている<sup>1)</sup>。ビワマスという標準和名の起源は1929年の大島<sup>2)</sup>の提唱と思われる。ただし大島<sup>3)</sup>はビワマスがサクラマスとは別種であるとしたものの、アマゴはビワマスと同種であるとした。その後も1980年頃までビワマスとアマゴは同種 (同亜種) で、その違いを認める場合も、例えばビワマスを湖水型とし、アマゴを河川型とするなどとされてきた<sup>4)5)</sup>。しかし、現在では上記のようにサクラマス群の別亜種という見解が一般的であり、ビワマスという琵琶湖固有魚の、少なくとも亜種としての独立性は認められるところである。本研究は、この琵琶湖に生息するビワマスを1つの個体群すなわち水産資源の1単位として、琵琶湖におけるビワマスの資源構造、およびその資源量・動態との関係を解明することを主目的としたものである。

### 2. 水産資源としてのビワマス

ビワマスは琵琶湖の重要な水産資源で、「琵琶湖の淡水魚の中で最もおいしいとされる魚」<sup>6)</sup>である。その刺身は「マグロのトロにも負けない。冬場から七月までのビワマスが身に脂がのっていて特に美味しい。」<sup>6)</sup>とされている。

ビワマスの資源状況を、公的な記録の残る明治期まで遡ると、1915年刊行の琵琶湖水産調査報告<sup>7)</sup>に

は、「ますハ湖魚中重要ナルモノトニシテ古来鮭ト称シ其ノ名高シ明治維新当時迄ハ其ノ蕃殖多カリシモ以後濫獲其ノ度ヲ失シ著シク減少スルニ至レルヨリ……」との記述があり、1860年代には豊富であったビワマス資源が1870年代にはすでに乱獲が懸念されるような利用状況であったことが伺われる。同書には続いて「明治十二年本縣事業トシテ阪田郡上丹生宗谷川ノ辺リニ養魚場ヲ設ケテ人工孵化放流ノ試験ニ着手シ……」云々の記録があり、1879年に滋賀県が人工孵化放流の試験に着手したことや、1883年 (明治16年)には高島郡有志の主唱により知内川、安曇川への孵化放流が行われたこと等が記されている<sup>7)</sup>。その後、事業実施者や事業の位置づけなどは変わりつつも、種苗生産放流による増殖<sup>8)</sup>は、現在まで継続してきた。このように明治期以降、ビワマス資源は漁業とその補償または産業振興策としての増殖事業との均衡で維持されてきたといえる。

種苗放流事業の歴史を概観すると、種苗放流は、前述のように1883年の有志による放流が最初であり、その年40200尾が放流された<sup>9)</sup>。以降1908年までは近江水産組合や漁業組合他により放流が行われ、その間の年平均放流数は267000尾であった<sup>9)</sup>。1908年からは滋賀県によって「11カ年計画琵琶湖水産経営事業 (明治41~51年)」が立ち上げられ、その計画に則って1909年以降、滋賀県水産試験場 (以下、滋賀水試と記す) が重要魚苗放流事業の一環として担った。放流方法やサイズに関しては、当時から餌付け放流が行われ、放流時期も3月下旬~4月中旬と、近年と大きな相違はなかった<sup>10)11)</sup>ようではあるが、放流サイズは体長1寸3分~1寸5分 (3.9~4.2cm)、体重0.12~0.15

匆(0.5~0.6g)の記録<sup>10)</sup>があり、後述するように現在より小型であった。放流尾数は500万尾を超える年もあったようで、現在より多く放流していた<sup>10)</sup>。この事業以降は、1948年まで滋賀水試が経常的事業として実施した。1949年~現在は滋賀県漁業協同組合連合会(以下、県漁連と記す)が実施している。

昭和50年代(1970年代後半)頃までの放流は平均体重1g程度の種苗を、4~5月頃に琵琶湖々心部付近に放流していた<sup>8)</sup>。

滋賀県は1980年代以降、第1次~第5次の滋賀県栽培漁業基本計画に記載されているように、平均体重2g(平均体長5.0~5.5cm)の種苗を70万尾/年生産し放流することを目標にしてきたが、これを実現できたのは2004年が最初である。その後2010年までは、毎年体重2g前後の種苗が平均約81万尾放流されている。放流場所についても生活史にあわせるために、1998年以降は従来の湖内放流から、主要な琵琶湖流入河川(現在では15河川)への放流に変更され、放流河川では親魚の遡上が見られるようになってきた。

なお、放流種苗の生産は明治以来一貫して、河川遡上した、または遡上直前の湖中の天然成熟親魚からの受精卵によっている。

ビワマスの漁獲量を滋賀県統計書(滋賀県, 1955年以前)と滋賀農林水産統計(近畿農政局, 1956年以降)によって、資料の明らかな20世紀後半以降を概観する。これらの統計資料には琵琶湖漁業の「マス」の漁獲量が記載されているが、本研究ではこれら資料の「マス」は全量がビワマスと考えてよいものと判断する。すなわちビワマス以外に琵琶湖で漁獲されるマスとして、近年は琵琶湖流入河川から琵琶湖へ降ったサツキマスが漁獲(1979年に初めて確認<sup>12)</sup>)される場合があり、漁獲量への混入の可能性があるが、漁業関係者はビワマスとは区別しており、その商品価値もビワマスに比して極めて低いなどの状況から、漁獲量としての報告も多くはないと思料されるからである。

これら資料によると、ビワマスの漁獲量は1958年の98トンを最大として、1955~59年の5年平均が75トンであったが、1960年を境に急減し、以降は多少の増減はあるものの、概ね10~20トンで推移してきた。近年では2004~08年の5年平均は22トンであるが、2007年は27トン、2008年は33トンと、最近は増加傾向にある。

### 3. 琵琶湖産ビワマスの資源に関する研究史

ビワマスの資源に関する研究は、手法によって標識放流再捕調査と、漁獲魚・遡上親魚(回帰親魚)の標本調査に大別できる。

標識放流再捕調査は、滋賀水試によって<sup>13)</sup>1909年(明治42年)<sup>10)</sup>を皮切りに1985年までに何度か実施された<sup>14)~18)</sup>。しかし標識放流後の追跡調査は、標識魚が再捕できなかつたり、再捕できた場合でも、漁獲場所、漁法、体型、成長等を記録するに留まつたり<sup>14)~17)</sup>、調査が途中で打ち切られたり<sup>18)</sup>で、いわゆる放流効果に言及した報告はない。ただ、1923年の報告<sup>19)</sup>には1909~11年の標識放流再捕魚について、成長が論じられている。また、田中他(2007)<sup>18)</sup>は、1982年に放流した標識魚の3+(1985年)までの再捕魚から、琵琶湖における成長と鱗紋による年齢査定の情報を得ている。

滋賀県醒井養鱒場(現在は滋賀水試に統合)が実施した研究としては、澤田(1998)<sup>20)</sup>の当歳魚資源を対象とした標識放流再捕調査がある。澤田は1996年秋に当歳魚の標識放流・再捕調査を行い、その時点におけるビワマス当歳魚の資源尾数を推定し、併せてその年の春に県漁連が放流した種苗の放流効果を推定し、さらに異なるサイズの種苗放流効果についても検討した。しかし、当歳魚段階までの結果であり、漁獲期以降の放流効果の検討例はない。

漁獲魚や回帰親魚の年齢・体長組成に関する研究報告は、件数が少ない上に、調査標本数が少なく組成が明確でなかつたり<sup>7)10)19)</sup>、特定の河川に遡上した親魚を対象にした調査<sup>21)22)</sup>であったり、琵琶湖全体、しかも漁獲魚と回帰親魚の両方について論じた研究報告は、滋賀水試の田中他(2007)<sup>18)</sup>の1報他には、びわ湖生物資源調査団(1966)<sup>23)</sup>による1報がみられるのみである。

以上のように、ビワマスについては、明治期以来、100年以上に亘って増殖を目的とした種苗放流事業を継続している魚種であるにも関わらず、その放流効果を問う研究や資源の評価・診断を行う研究が少なく、そして何より資源研究において最も基本的な重要テーマであるはずの琵琶湖におけるビワマスの資源量、資源尾数の推定を行った研究例は、これまでにみられないのである。

### 4. 本研究における資源および資源構造の定義

本研究における資源と資源構造を定義する。

まず、水産資源学で対象生物種を「～資源」という場合の基本単位は、生態学における個体群と概ね一致するであろう。そして個体群は、「ある空間(水域)に棲む同種個体の全てを含んだ集団」と定義される。そこで、本研究では琵琶湖に生息するビワマス個体群全体をその地理的分布域や漁業、種苗生産・放流事業の実態等の社会的条件も含めて、不可分の単一資源、しかも閉じた資源として研究対象とする。

次に、資源構造であるが、本稿で述べる資源構造は上記の定義から、生態学でいう個体群構造と同義である。生態学における個体群構造としては、社会的構造(social structure)、生理的構造(physiological structure)、生態的構造(ecological structure)がある<sup>24)</sup>。また、遺伝子解析の様な集団遺伝学的研究手法に基づく集団構造を指す場合もある。このように個体群構造すなわち資源構造は、様々な内容を包含している。本研究では、このうち最も基本的な生理的構造、すなわち資源量の推定に必須の年齢構造(age structure; 年齢構造)と体長組成(body-length structure)に関する個体群構造を資源構造として解析する。

## 5. 本研究の目的

本研究の目的は複数あり、それらは二重構造を為す。すなわち、大きな目的の下に達成すべき三つの小目的がある。

まず、小目的を挙げる。

1. 種苗放流の効果を評価する。
2. ビワマスの年齢構造、サイズ構造を解明する。
3. ビワマスの資源量を推定する。

目的の1と2は、並列で、一体となって達成される。先述のように、現在実施されているビワマスの種苗放流事業は、長年目標としてきた種苗放流量を達成し、その放流手法も、生活史にあわせた河川への放流に切り替えて、2004年以降安定的に実施されている。この放流手法の効果を評価するのが第1の目的である。併せて、大型種苗の放流による、より効果的な種苗放流手法の検討もこの目的に加える。

第2の目的は、ビワマスの資源解析の基礎的知見として、現在の資源構造を解明すること、および上記の種苗放流の資源構造への影響を推測することである。また、資源構造の理解が種苗放流の効果判定の一助ともなる。

そして第1と第2の目的達成の先に、次の目的が位置する。すなわち第1の目的である種苗の放流効果判定のための研究では、放流時点の資源尾数が推定できる。また、第2の目的のためのビワマス資源の年齢構造の調査からは、ビワマスの生残過程の推定ができる。これらを利用して、琵琶湖のビワマスの資源尾数、資源量を推定することが可能となり、これが第3の目的である。前述の様に、ビワマスの資源研究史上、資源量、資源尾数を推定した事例はなく、これは水産資源研究の必須の課題である。

これらの小目的は、主題「資源構造の解析」に繋がっており、過去の文献・資料等との照合を経て、資源構造の変化、換言すれば資源動態の推測を可能とする。

田中(1960)<sup>25)</sup>は、魚類の Population Dynamics(個体群動態=資源動態)研究について、「Population Dynamics は、具体的な資源管理と結びつき、一体となって、はじめて生きた学問となり得るであろう」と述べ、資源動態研究の意義は資源管理への応用であるとしている。本研究でもこれに異議はなく、資源構造の解明によって、資源管理の指針を得ることを「大きな目的」とする。

まとめると、研究目的は琵琶湖におけるビワマスの資源構造を解明し、資源の現状を把握すると共に、今後のビワマス資源をその増殖方策も含めて適正に管理するための指針を探ることである。

## 6. 本論文の構成

本論文の構成は次のとおりである。

第1章では2006～09年に調査した漁獲魚と回帰親魚の体長組成と年齢組成から、現在の琵琶湖におけるビワマスの資源構造(年齢・サイズ構造)を推測した。

第2章では2005～09年に実施した標識放流再捕調査について論述した。すなわち Petersen 法により現在実施しているビワマスの放流事業の効果の評価と、種苗放流時点の資源尾数推定を行い、琵琶湖におけるビワマス資源の現在の規模を推測した。併せて湖中生活型であるスモルトまで育成した大型の種苗を、直接湖中へ放流し、その再捕状況を、上記の放流種苗の標識魚と比較することで、放流サイズ、放流場所を変更した場合の放流効果と資源構造への影響について検討した。また、標識再捕魚の体長データによりビワマスの琵琶湖における成長曲線を推定した。さらに、成熟親魚となった標識魚の再捕場

所から、母川回帰性についても検討した。

第3章では、1984年および2006～09年に琵琶湖で採捕されたピワマスの測定データを用いて、第1章、第2章の個体数データを資源量に換算するための体長-体重関係の他、第5章で行う過去の研究資料を用いての資源構造の動態解析に必要となる、測定部位間の関係式(換算式)を検討した。

第4章では、第1章の資源構造の解析と第2章の資源規模の推定、第3章の換算式等を用いて、代表的な資源動態(Population dynamics)モデルの1つである成長・生残モデル(Dynamic pool model)を礎として、資源構造を総合的に表すピワマス資源動態モデルを構築し、モデルによる資源量、資源特性値、資源としての利用状況等の推定を試みた。

第5章では、ピワマスの年齢・体長組成の記述のある文献と漁獲量の資料により推測した過去のピワマスの資源構造に、第4章で構築した資源動態モデルを適用し、資源構造の年代間の比較および、資源構造と資源動態との関係について検討した。

第6章では、本研究の全体を総括して、ピワマスの資源構造に関する本研究の結論、資源構造と種苗放流の関係、資源構造の動態モデル化と資源管理への応用について論じた。

## 文 献

- 1) 荒賀忠一(1985)：サクラマス群の学名・和名について。日本産魚類大図鑑(益田一・尼岡邦夫・荒賀忠一・上野輝弥・吉野哲史 編),38, 東海大学出版会, 東京。
- 2) 大島正満(1929)：ヤマメ・アマゴの系統と生活史に関する2, 3の知見。自然科学, 4(1)。  
\*再録誌：財団法人淡水魚保護協会(1981)：「大島正満サケ科魚類論集」, 105-114, 大阪。
- 3) 大島正満(1957)：桜鱒と琵琶鱒。楡書房, 札幌。  
\*再録誌：財団法人淡水魚保護協会(1981)：「大島正満サケ科魚類論集」, 160-213, 大阪。
- 4) 松原喜代松(1955)：魚類の形態と検索 I。206, 石崎書店, 東京。
- 5) 宮地傳三郎・川那部浩哉・水野信彦(1976)：原色日本淡水魚類図鑑。86-87, 保育社, 大阪。
- 6) 堀越昌子(2003)：湖魚と近江のくらし(滋賀の食事文化研究会編)。95-101, サンライズ出版, 彦根。
- 7) 滋賀県水産試験場(1915)：まず、琵琶湖水産調査報告。3, 40-49。
- 8) 古川優(1976)：琵琶湖における魚貝類の増養殖。新版つくる漁業,(資源協会 編著), 510-521, 農林統計協会, 東京。
- 9) 滋賀県水産試験場(1923)：琵琶湖魚鱒放流表。琵琶湖水産増殖事業成績報告, 1, 209。
- 10) 滋賀県水産試験場(1918)：放流事業の経過。自明治41年度至大正7年度第1期魚苗放流事業経過及成績概要, 3-4。
- 11) 滋賀県水産試験場(1924)：鱒苗養成及放流事業。大正11年度滋賀県水産試験場業務功程, 9-15。
- 12) 加藤文男(1981)：琵琶湖で獲れたアマゴ。魚類学雑誌, 28(2), 184-186。
- 13) 滋賀県水産試験場(1980)：滋賀県水産試験場要覧。80年のあゆみ, 8-22。
- 14) 滋賀県水産試験場(1914)：鱒標識魚放流試験。大正元年度滋賀県水産試験場報告, 62-63。
- 15) 滋賀県水産試験場(1915)：鱒標識放流試験。大正2年度滋賀県水産試験場報告, 53-55。
- 16) 滋賀県水産試験場(1915)：鱒標識放流試験。大正3年度滋賀県水産試験場報告, 53-54。
- 17) 滋賀県水産試験場(1917)：鱒標識放流試験魚ノ漁獲。大正4年度滋賀県水産試験場報告, 54-55。
- 18) 田中秀具・大江孝二・山中治(2007)：琵琶湖におけるピワマスの年齢・体長組成。滋賀県水産試験場研究報告, 52, 1-12。
- 19) 滋賀県水産試験場(1923)：鱒苗放流事業。琵琶湖水産増殖事業成績報告, 1, 55-88。
- 20) 澤田宣雄(1998)：ピワマスの種苗放流効果。平成8年度醒井養鱒場業務報告, 39-40。
- 21) 滋賀県水産試験場(1947)：遡上鱒年齢調査。滋賀県水産試験場事業報告, 43-45。
- 22) 末富寿樹・大杉久治(1952)：琵琶鱒の資源。滋賀県水産試験場研究報告, 2, 78-83。
- 23) びわ湖生物資源調査団(1966)：ピワマス。びわ湖生物資源調査団中間報告, 726-728。
- 24) 瀬野裕美(2008)：個体群動態の数理モデリング序論。「数」の数理生物学(日本数理生物学会 編), 1-43, 共立出版, 東京。
- 25) 田中昌一(1960)：水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理。東海区水産研究所研究報告, 28, 1-200。

## 第1章 ビワマス資源の齢構造・サイズ構造

水産資源解析において、漁獲物(魚)や繁殖集団(親魚)の年齢組成や体長組成は、基本的な調査項目の一つである。田中(1985)<sup>1)</sup>は、漁獲によって資源量が減少すると、その結果として「資源の体長組成、年齢組成などの内容が変化し…高齢魚が少なくなる。魚体は小型化する。大型魚の減少や平均体長の減少は、資源減少の証拠」と述べ、年齢組成や体長組成の重要性を論じている。また帰山(2004)<sup>2)</sup>はビワマスと同じサケ属魚類の北海道系シロザケの、回帰した成熟親魚について、個体群サイズが増加すると、体サイズが小型化し、成熟年齢が高齢化するというような、資源構造(齢・サイズ構造)の変化と個体群サイズ(資源尾数)の変化との密接な関係を指摘している。

ビワマス資源の研究を行う場合にも、資源状況を把握するためには、漁獲魚や回帰親魚の年齢・体長組成の解析は必須と考えられる。

本章は、2006～09年の4年間、ビワマスの漁獲魚と回帰親魚の年齢と体長の組成を調査した結果を、琵琶湖におけるビワマス資源の齢構造・サイズ構造の解明という観点でとりまとめたものである。

### 材料および方法

**漁獲魚調査** 2006～09年に漁獲魚の年齢組成・体長組成の解明を目的として、後述(第2章)の標識魚の探索を兼ねて、琵琶湖で漁獲されるビワマスの標識の確認、被鱗体長(以下、体長：以降、ことわりの無い限り体長は被鱗体長を指す)の測定と年齢査定用の採鱗を行った。ビワマスの主たる漁法は刺網で、10～11月を除いて周年操業可能であるが、実際の主要漁期は6～9月であり、調査もその期間に行った。調査場所は図1(図中：◆)に示す。琵琶湖西岸側は、集荷の多い三和漁業協同組合の魚揚場を主として、他に百瀬漁業協同組合の魚揚場も調査した。琵琶湖東岸側では、漁業者からの集荷が多くて、かつ協力の得られる鮮魚店を訪問しての調査を中心に行った。

なお、漁獲魚調査の対象となった魚の漁場は、明確には確認していないが、漁業者からの聞き取り情

報を総合すると、概ね愛知川河口～沖島南西側水域～安曇川河口を結ぶ線から北の琵琶湖で、特に姉川河口～竹生島北側水域～知内川河口～安曇川河口を囲む水域が主であった。

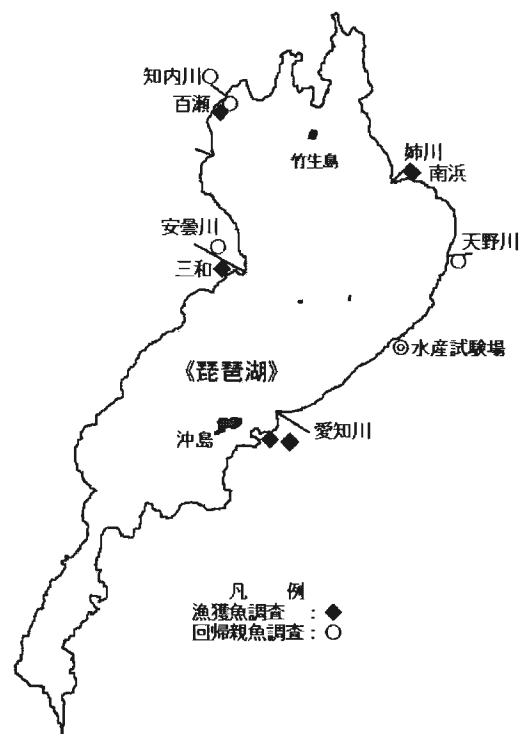


図1. 調査場所

**回帰親魚調査** 2006～09年の10～11月に、天然成熟親魚の体長組成・年齢組成の解明と後述(第2章)の標識魚の探索を目的として、琵琶湖から河川に遡上、または遡上直前の接岸したビワマス(以下、回帰親魚)の体長測定と採鱗を行った。具体的には毎年県漁連が増殖事業のために実施している天然親魚の捕獲・採卵作業に同行し、標識の確認、体長の測定および採鱗を行った。漁法は主に、遡上河川河口部周辺の小型定置網、遡上河川のやなおよび投網である。調査場所を図1(図中：○)に示す。

**年齢査定** 本研究の調査魚については、全個体から年齢査定のための採鱗を行った。

採鱗は背鰭基底後端直下の側線より上(背側)の部位を原則とし、該当部位が剥離している場合は、最寄りの部位からの採鱗とした。なお、再生鱗採取のリスクを回避するため、各個体から複数枚採取した。

年齢査定は、鱗をスライドグラス上に透明マニキュア(資生堂製)で封入してカバーグラスをかけ、万

能投影機で20倍に拡大して、鱗相を観察することにより行った。年齢査定法は、小林(1961)<sup>3)</sup>がシロザケ, *Oncorhynchus keta* で検討・適用した方法、伊藤ら(1998)<sup>4)</sup>によるサケ属魚類を対象とした研究、またピワマスに関しては大島(1957)<sup>5)</sup>の鱗相に関する記述を参考としつつ、最終的な年齢の決定は、本研究(第2章)の標識放流試験の年齢既知の標識再捕魚の鱗相(附図I参照)との照合によった。

## 結 果

### 1. 漁獲魚に関する解析

1.1. 漁獲時期と体長の関係 2006~09年の6~9月の漁獲魚調査によって、各年201尾、510尾、880尾、606尾、合計2197尾の体長と年齢のデータを得た。

これらから年齢・体長組成を解析するにあたり、前提として漁獲期間中(調査期間中)の成長の影響を検討する必要がある。そこで、2006~09各年の年齢別の漁獲時期と体長との関係をプロットし図2~5に示す。これらの図に明らかなように、各年齢魚の漁獲時期と体長との間に直線関係が認められた。最小二乗法により回帰直線を求めて各図に併記し、各直線の回帰係数をその99%信頼限界とともに表1~4に示す。これらの表に明らかなように多くの直線の

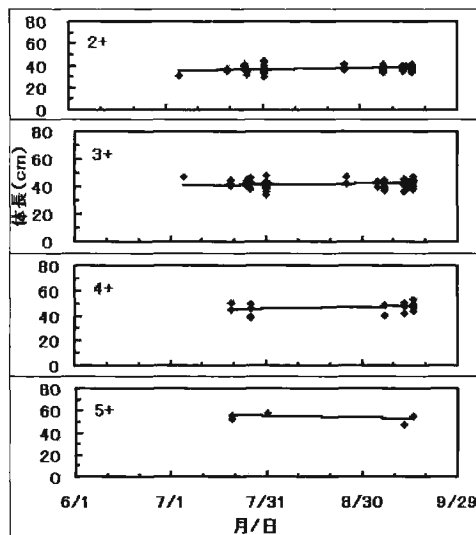


図2. 年齢別の漁獲時期と体長の関係(2006年)

回帰係数は、その99%信頼区間内に0を含み、また0を含まない場合でも0に近い値を示した。そこで、6~9月の体長組成の解析に成長の影響は無いものとして、以降の各項目の解析を行った。

表1. 漁獲時期-体長関係の回帰係数(2006年)

年齢	回帰係数	99%下限	99%上限
2+	0.0315	0.0024	0.0607
3+	0.0216	-0.0177	0.0609
4+	0.0536	-0.0668	0.1740
5+	-0.0468	-0.3224	0.2289

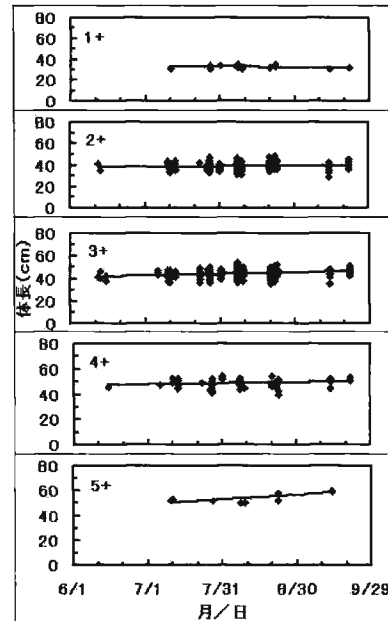


図3. 年齢別の漁獲時期と体長の関係(2007年)

表2. 漁獲時期-体長関係の回帰係数(2007年)

年齢	回帰係数	99%下限	99%上限
1+	-0.0182	-0.0717	0.0352
2+	0.0142	-0.0186	0.0470
3+	0.0436	0.0107	0.0765
4+	0.0303	-0.0279	0.0885
5+	0.1174	-0.0286	0.2633

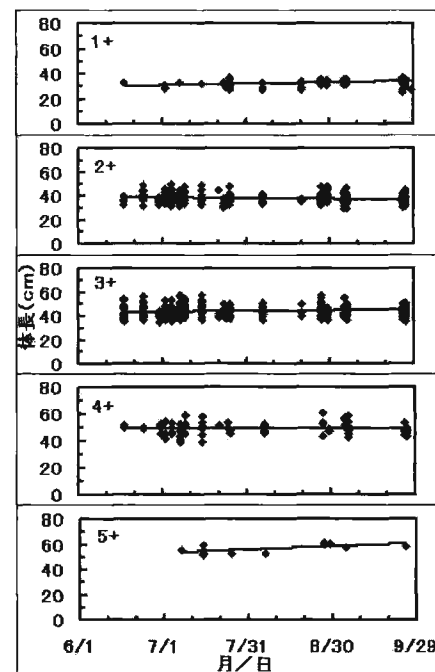


図4. 年齢別の漁獲時期と体長の関係(2008年)

表3. 漁獲時期—体長関係の回帰係数(2008年)

年齢	回帰係数	99%下限	99%上限
1+	0.0299	0.0041	0.0657
2+	-0.0139	-0.0281	0.0002
3+	0.0117	-0.0084	0.0319
4+	-0.0004	-0.0390	0.0382
5+	0.0809	-0.0249	0.1866

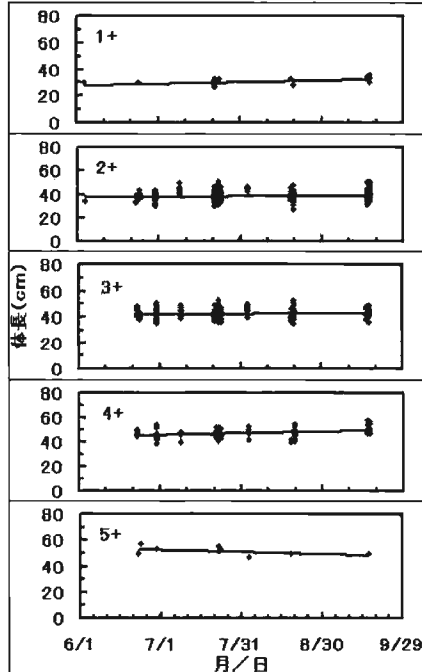


図5.年齢別の漁獲時期と体長の関係(2009年)

表4. 漁獲時期—体長関係の回帰係数(2009年)

年齢	回帰係数	99%下限	99%上限
1+	0.0419	-0.0239	0.1078
2+	0.0152	-0.0068	0.0372
3+	0.0141	-0.0091	0.0372
4+	0.0490	0.0006	0.0974
5+	-0.0547	-0.1892	0.0797

1.2. 漁獲魚の体長と年齢 2006～09年の年毎の漁獲魚の体長組成および年齢別の体長組成を図6～9(次頁)に、調査年毎の平均体長とその99%信頼区間を表5に示す。

表5. 2006～09年の漁獲魚の平均体長

漁獲魚\年	2006	2007	2008	2009
個体数	201	510	880	606
平均体長(cm)	40.5	42.2	40.9	40.4
99%下限	39.6	41.6	40.4	39.9
99%上限	41.4	42.9	41.5	41.0

漁獲魚の各年の体長分布は各年単峰型で、右側の裾が長いという類似した様相を呈した。平均体長は2006～09年の順に40.5cm、42.2cm、40.9cm、40.4cmで、2007年が信頼区間を含めてやや大きい、その他は信頼区間も重なり合っており、ほぼ等しかった。

漁獲魚の年齢は、2006年が2+～5+、その他が1+～5+で構成されていた。その年齢の組成について

次項に述べる。

1.3. 年齢組成 各調査年の漁獲魚の年齢組成を、表6と図10に示す。年齢組成は、調査年の順に1+

表6. 各調査年の漁獲魚の年齢組成(単位:%)

年\年齢	1+	2+	3+	4+	5+	計
2006	0.0	50.2	37.8	9.0	3.0	100
2007	3.9	41.8	42.4	10.2	1.8	100
2008	10.6	42.0	36.5	9.4	1.5	100
2009	2.5	49.2	36.0	10.9	1.5	100
4年平均	4.2	45.8	38.2	9.9	1.9	100

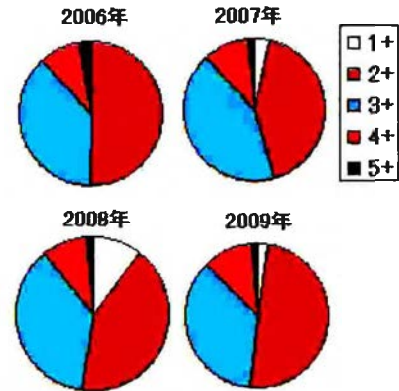


図10. 各調査年の漁獲魚の年齢組成

が、0%、3.9%、10.6%、2.5%、2+が50.2%、41.8%、42.0%、49.2%、3+が37.8%、42.4%、36.5%、36.0%、4+が9.0%、10.2%、9.4%、10.9%、5+が3.0%、1.8%、1.5%、1.5%であった。

4ヶ年について組成を比較すると、1+は2006年には漁獲されなかったのに対して、2008年は10%を超えることや、2006年の5+の比率が高いことなど、調査年毎の特徴も見られたが、4ヶ年に共通した組成の特徴は、漁獲魚の主体が2+と3+で、それぞれ40%以上あるいは40%近くを占め、両者を合わせると概ね80%を超え、それに4+が約10%で続き、2+～4+で90%以上を占めるということであった。

1.4. 年齢別の体長組成 各調査年の漁獲魚の年齢別の体長分布は、図6～9に示すように、概ね平均値を中心とする単峰型であった。

年齢別の平均体長と99%信頼区間は表7～11に示す。漁獲魚の1+の平均体長は、調査年順に、32.9cm、32.7cm、30.2cm、以降の年齢では調査年順に、2+ : 37.4cm、38.9cm、37.8cm、37.9cm、3+ : 42.1cm、44.3cm、44.0cm、42.2cm、4+ : 46.8cm、48.8cm、49.3cm、47.0cm、5+ : 54.2cm、54.3cm、56.6cm、51.1cmで、どの調査年も年齢と共に大きくなる傾向は明らかではあったが、図6～9に示すように、体長分布の範囲は隣接する年齢間で、相互の平均体長を超えるほど大きく重なりあっていた。

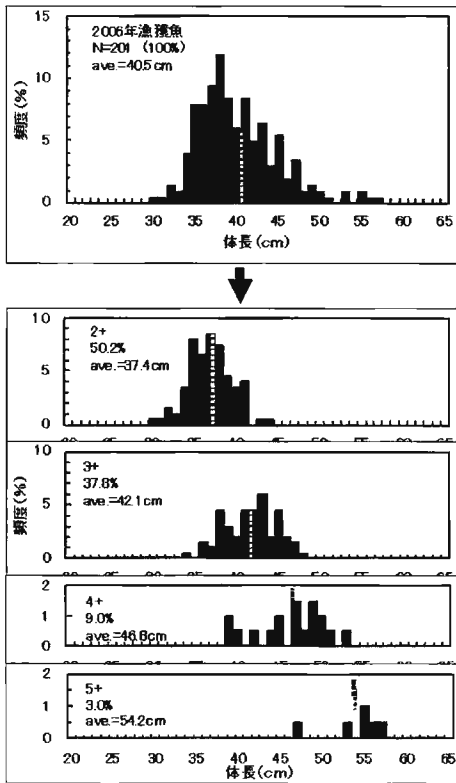


図6. 2006年漁獲魚の年齢・体長組成

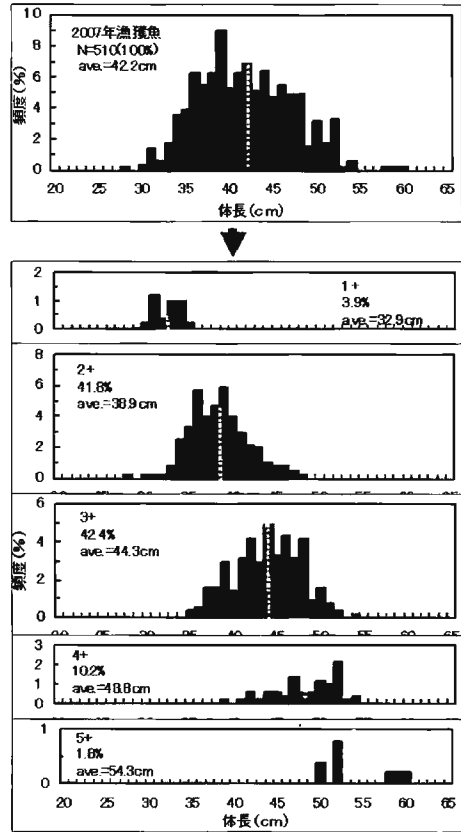


図7. 2007年漁獲魚の年齢・体長組成

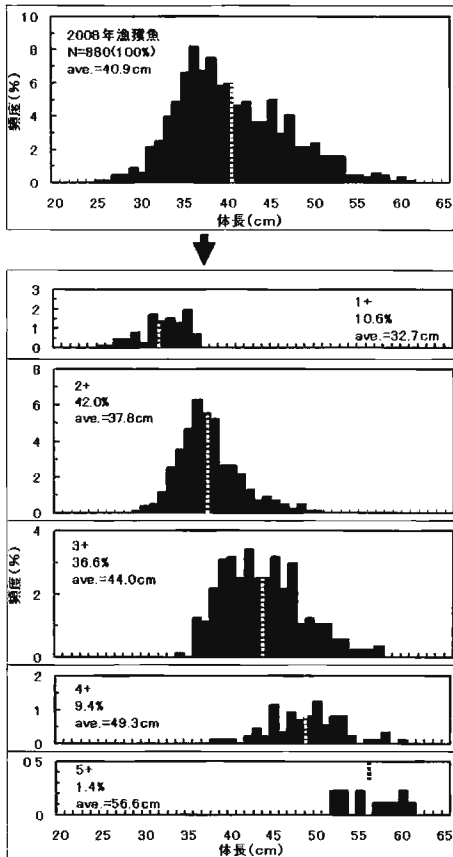


図8. 2008年漁獲魚の年齢・体長組成

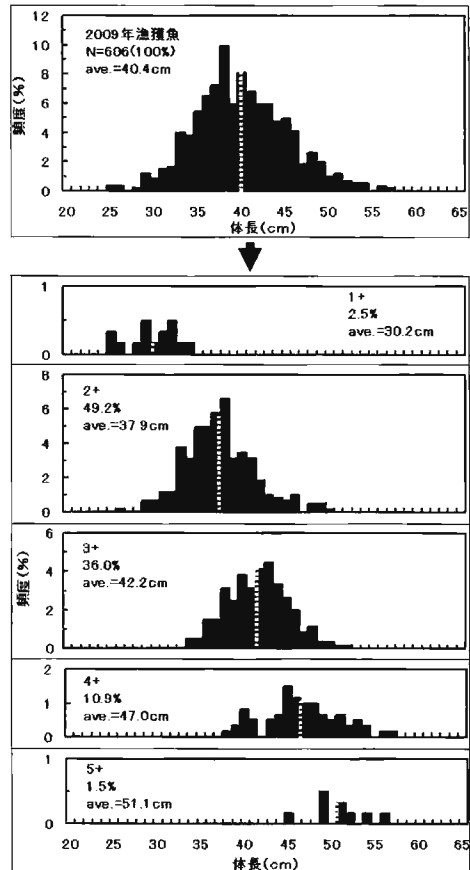


図9. 2009年漁獲魚の年齢・体長組成

※図中の破線は平均体長(ave.)の位置を表す。



表7. 1+齢の漁獲魚の体長

1+ \ 年	2007	2008	2009
個体数	20	93	15
平均体長(cm)	32.9	32.7	30.2
99%下限	32.0	32.0	27.9
99%上限	33.8	33.4	32.4

表8. 2+齢漁獲魚の体長

2+ \ 年	2006	2007	2008	2009
個体数	101	213	370	298
平均体長(cm)	37.4	38.9	37.8	37.9
99%下限	36.7	38.3	37.4	37.3
99%上限	38.1	39.5	38.3	38.5

表9. 3+齢漁獲魚の体長

3+ \ 年	2006	2007	2008	2009
個体数	76	216	322	218
平均体長(cm)	42.1	44.3	44.0	42.2
99%下限	41.2	43.6	43.4	41.6
99%上限	43.0	45.0	44.7	42.8

表10. 4+齢漁獲魚の体長

4+ \ 年	2006	2007	2008	2009
個体数	18	52	83	66
平均体長(cm)	46.8	48.8	49.3	47.0
99%下限	43.9	47.5	48.1	45.6
99%上限	49.7	50.2	50.6	48.4

表11. 5+齢漁獲魚の体長

5+ \ 年	2006	2007	2008	2009
個体数	6	9	12	9
平均体長(cm)	54.2	54.3	56.6	51.1
99%下限	48.1	49.9	53.5	47.5
99%上限	60.3	58.6	59.8	54.7

年齢毎の体長を4ヶ年で比較すると、体長範囲は年齢毎に類似していた(図6~9)。年齢別の平均体長の99%信頼区間は表7~11に示す様に、2+と3+で若干の不連続はあるものの、各年齢のほとんどの調査年間で連続し(危険率1%で有意差がない)、不連続な部分でも、その差は僅少であった。すなわち、年齢毎の体長は調査年間で大きな違いはなかった。

**1.5. 漁獲魚の年齢・サイズ構造** 以上のように、漁獲魚の年齢・体長組成は、調査年の間に大きな差異、例えば卓越年級群の存在の示唆や経年的な変化傾向等の表徴は見られなかった。そこで調査4ヶ年分の年齢・体長・年齢別体長の組成をまとめて、「モデル資源」とし、漁獲魚の年齢・サイズ構造を解析した。

年齢組成については、4ヶ年の平均をモデル資源の年齢組成(表6)とした。すなわち、1+~5+の順に、4.2%、45.8%、38.2%、9.9%、1.9%であり、これを図11に示す。図に示すようにモデル資源の漁獲魚の年

2006~09年



図11. 漁獲魚の年齢組成(モデル資源)

年齢組成は、当然のことながら、先述の4ヶ年に共通の特徴を表し、40%を超える2+と、40%近い3+の2齢で80%以上を占め、これらに4+を加えて2+~4+で90%以上となった。

モデル資源の体長組成の構築は、調査年毎に標本数が異なるため、各調査年の組成の頻度を、同じ重みの頻度、つまり各年の年齢組成の合計が25%になるように変換した上で行った。調査4ヶ年を統合した体長組成と年齢別体長組成は、図12に示す。

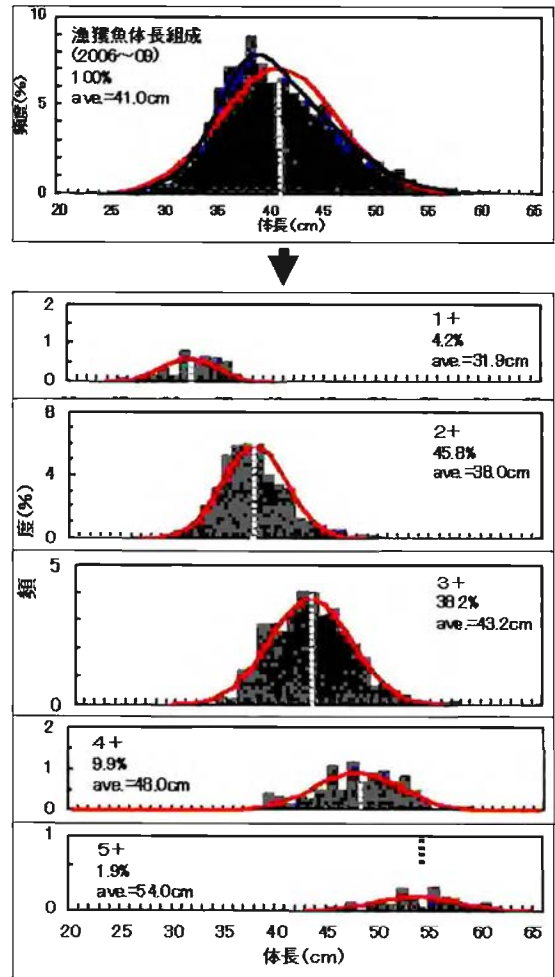


図12. 漁獲魚の年齢別体長組成(モデル資源)

\*) 破線は平均体長(ave.)の位置を表す。

\*\*) 赤線は体長組成の近似正規分布曲線、青線は年齢別の正規分布曲線の和の曲線を表す。

統合した漁獲魚の体長組成と年齢毎の体長組成に正規分布曲線をあてはめ、体長組成の正規分布近似を試みた。求めた各正規分布曲線を図12に併記(図中、赤線)する。正規分布近似は次のように行った。正規分布の形状は平均値と標準偏差で決定されるが、平均値は統合した各体長組成の平均値を用い、標準偏差は最小二乗法、具体的には体長の正規分布

曲線式上の理論値の標準偏差  $\sigma$  を変数として、次の偏差平方和：

$\sum (\text{各体長の階級頻度} - \text{その階級の正規分布確率})^2$  が最小となるように、MS-Excelのアドイン、ソルバーを用いて探索的に求めた。求めた漁獲魚の年齢別の標準偏差を平均体長と共に表12に示す。

表12. 漁獲魚の年齢別平均体長と標準偏差 (2006~09年)

年齢	平均(cm)	標準偏差
1+	31.9	2.7
2+	38.0	3.1
3+	43.2	4.0
4+	48.0	4.3
5+	54.0	4.0
全年齢	41.0	5.6

また漁獲魚の体長組成(図12, 最上図)には、年齢別の正規分布曲線の和の曲線(青線)を併記する。

図12に明らかなように、統合した漁獲魚の年齢毎の体長分布は正規分布曲線に適合した。しかし、漁獲魚の全年齢の体長組成(図12, 最上)は、ピーク的位置や、左右への裾の形状などについて、正規分布曲線(赤線)には適合せず、それは和の曲線(青線)とのずれとして表れた。すなわち、全漁獲魚の体長組成において正規分布近似曲線(赤線)と年齢別の正規分布の和の曲線(青線)とを比較すると、和の曲線の最頻値の体長(39.0cm)が正規分布曲線の最頻値の体長(=平均体長：41.0cm)より左側に位置し、右裾が

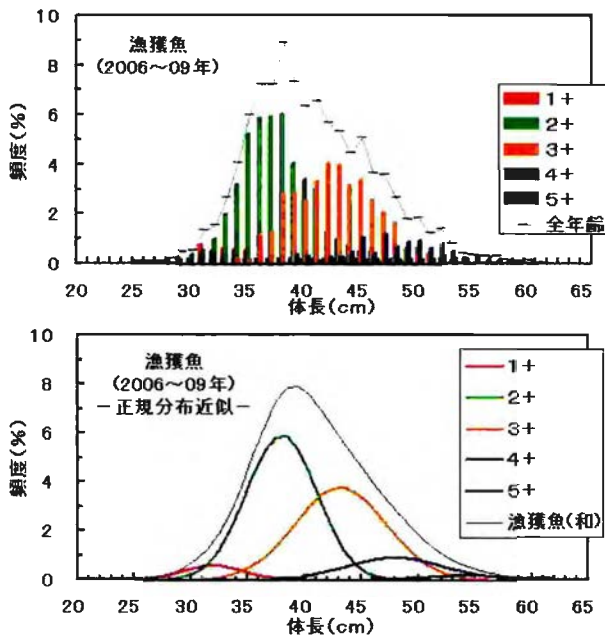


図13. モデル資源の漁獲魚の年齢別体長組成(上)とその近似正規分布(下)

\*) 下図の漁獲魚(和)の曲線は各年齢の体長組成の近似正規分布曲線の総和の曲線であり、正規分布曲線ではない。

広い分布形状を示した。

以上のように漁獲魚の年齢別の体長組成の様相は、正規分布で近似することができ、漁獲魚全体の体長組成は、正規分布で表すことができなかった。

統合した漁獲魚の年齢別体長組成とその近似正規分布曲線をそれぞれ一図にまとめて図13に示す。図の上下を比較すると、年齢別体長組成への正規分布近似曲線の適合性が良いことは明らかであり、全漁獲魚(和)の曲線は、前述の右裾が広いという分布の特徴を顕著に示した。また、図13(下)は、ピワマスの漁獲開始年齢は1+だが、本格的な加入年齢が2+であることを明確に示した。

## 2. 回帰親魚に関する解析

### 2.1. 回帰親魚の体長と年齢

2006~09各年の10~11月の回帰親魚調査によって、各々調査年順に393尾、552尾、556尾、519尾、合計2020尾の体長と年齢のデータを得た。調査年毎の回帰親魚の体長組成および年齢別の体長組成を図14~17に、各年の平均体長とその99%信頼区間を表13に示す。

表13. 2006~09年の回帰親魚の平均体長

親魚\年	2006	2007	2008	2009
個体数	393	552	556	519
平均体長(cm)	42.2	46.1	44.2	41.7
99%下限	41.5	45.5	43.4	40.9
99%上限	42.9	46.7	45.0	42.4

回帰親魚の体長分布は、各年概ね平均体長付近を中心とする単峰型であった。その形状は漁獲魚とは異なり、「右側の裾が広い」という様相はみられなかった。平均体長は調査年順に42.2cm、46.1cm、44.2cm、41.7cmであり、2007年、次いで2008年が、信頼区間が不連続となるほど大きかったが、2006年と2009年は信頼区間も重なり合い、ほぼ等しかった。またいずれの調査年も回帰親魚の年齢は、1+~5+で構成されていた。次にその組成について述べる。

### 2.2. 年齢組成

調査年毎の回帰親魚の年齢組成を表14と図18に示す。年齢組成は、調査年順に、1+が2.0%、2.2%、10.8%、7.3%、2+が30.0%、21.2%、25.5%、43.0%、3+が44.8%、49.8%、44.6%、35.1%、4+が17.3%、22.1%、17.1%、12.3%、5+が5.9%、4.7%、2.0%、2.3%であった。

4ヶ年の年齢組成を比較すると、2006年と2007年は2008年と2009年に比べて、1+の割合が低い、5+の割合が高いなど、調査年による違いも見られたが、

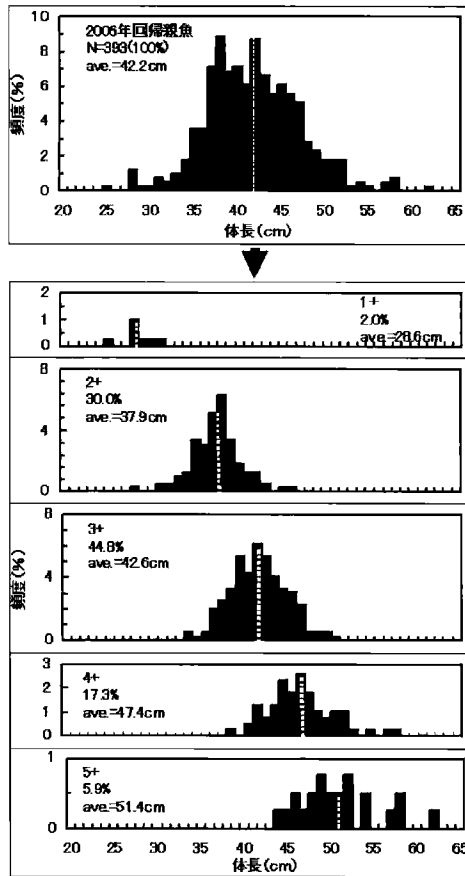


図14. 2006年回帰親魚の年齢・体長組成

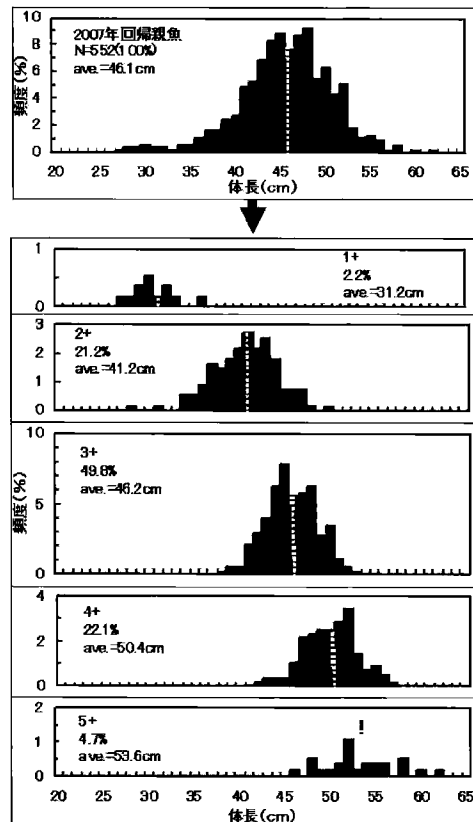


図15. 2007年回帰親魚の年齢・体長組成

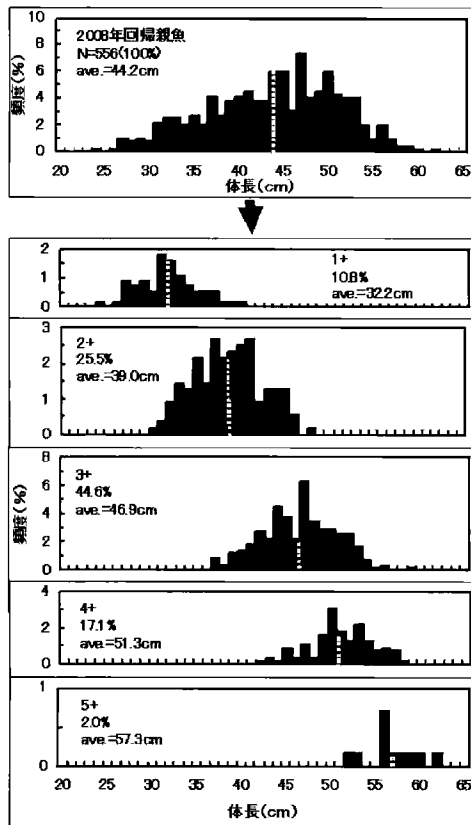


図16. 2008年回帰親魚の年齢・体長組成

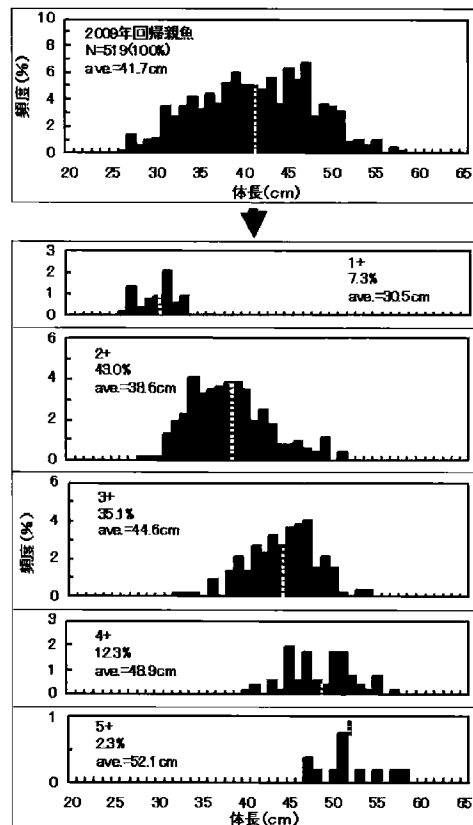


図17. 2009年回帰親魚の年齢・体長組成

※図中の破線は平均体長 (ave.) の位置を表す。

表14. 各調査年の回帰親魚の年齢組成(単位%)

年\年齢	1+	2+	3+	4+	5+	計
2006	2.0	30.0	44.8	17.3	5.9	100
2007	2.2	21.2	49.8	22.1	4.7	100
2008	10.8	25.5	44.6	17.1	2.0	100
2009	7.3	43.0	35.1	12.3	2.3	100
4年平均	5.6	29.9	43.6	17.2	3.7	100

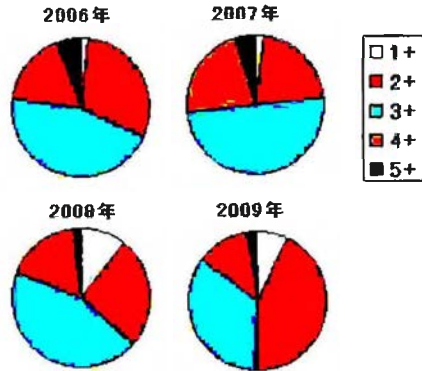


図18. 各調査年の回帰親魚の年齢組成

4ヶ年に共通の特徴は、回帰親魚の主体が2+と3+で、両者を併せると概ね7割を超え、それに4+を加えて、これらで9割以上を占めることであった。

2.3. 年齢別の体長組成 回帰親魚の各調査年の年齢毎の体長分布は、図14~17に示すようにそれぞれ概ね平均値を中心とする単峰型であった。

年齢別の平均体長と99%信頼区間を表15~19に示す。1+の平均体長は、調査年順に、28.6cm、31.2cm、32.2cm、30.5cm、以降の年齢では調査年順に、2+ : 37.9cm、41.2cm、39.0cm、38.6cm、3+ : 42.6 cm、

表15. 1+歳の回帰親魚の体長

1+\年	2006	2007	2008	2009
個体数	8	12	60	38
平均体長(cm)	28.6	31.2	32.2	30.5
99%下限	26.2	29.0	31.0	29.6
99%上限	30.9	33.3	33.3	31.4

表16. 2+歳の回帰親魚の体長

2+\年	2006	2007	2008	2009
個体数	118	117	142	223
平均体長(cm)	37.9	41.2	39.0	38.6
99%下限	37.2	40.3	38.2	37.8
99%上限	38.6	42.0	39.9	39.4

表17. 3+歳の回帰親魚の体長

3+\年	2006	2007	2008	2009
個体数	176	275	248	182
平均体長(cm)	42.6	46.2	46.9	44.6
99%下限	41.9	45.8	46.2	43.8
99%上限	43.2	46.6	47.6	45.9

表18. 4+歳の回帰親魚の体長

4+\年	2006	2007	2008	2009
個体数	68	122	95	64
平均体長(cm)	47.4	50.4	51.3	48.9
99%下限	46.2	49.7	50.4	47.7
99%上限	48.6	51.1	52.3	50.2

表19. 5+歳の回帰親魚の体長

5+\年	2006	2007	2008	2009
個体数	23	26	11	12
平均体長(cm)	51.4	53.6	57.3	52.1
99%下限	48.8	51.5	54.5	49.0
99%上限	54.0	55.8	60.0	55.3

46.2cm、46.9cm、44.6cm、4+ : 47.4cm、50.4 cm、51.3cm、48.9cm、5+ : 51.4cm、53.6cm、57.3cm、52.1cmであった。このようにどの調査年も年齢と共に大きくなる傾向は明らかではあったが、体長分布の範囲は、漁獲魚と同様、隣接する年齢間で相互の平均体長を超えるほど大きく重なりあった。

年齢毎の体長について4ヶ年を比較すると、体長範囲は類似していた(図14~17)。年齢別平均体長の99%信頼区間は、表15~19に示すように1+と5+では2008年は2006年より大きい、2+では2007年が他の3年より大きい、3+では2009年と2006年が、他の2年と比べてそれぞれ小さい、4+では2007年と2008年が2006年と2009年より大きい等々、調査年間で不連続な部分があったが、ほとんどの各年齢の調査年の間では連続しており、不連続部分もその差は僅少であった。

2.4. 回帰親魚の年齢・サイズ構造 以上のように、回帰親魚についても、漁獲魚と同じく年齢・体長組成は、調査年の間に大きな差異は見られなかった。そこで、回帰親魚の年齢、体長、年齢別体長の組成についても、調査4ヶ年分をまとめて、「モデル資源」とし、回帰親魚の年齢・サイズ構造を解析した。

モデル資源の年齢組成は、4ヶ年の平均値(表14)を充てた。すなわち、1+~5+の順に 5.6%、29.9%、43.6%、17.2%、3.7%であり、これを図19に示す。図

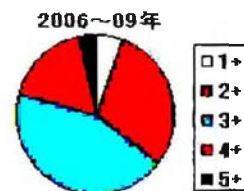


図19. 回帰親魚の年齢組成(モデル資源)

に示すように、モデル資源の回帰親魚の年齢組成は、当然のことながら、先述の4ヶ年に共通の特徴を表し、4割を超える3+と3割近い2+で合わせて7割以上を占め、これらに4+を加えると9割以上となった。

モデル資源の体長組成の構築は漁獲魚の場合と同じく、調査年毎に標本数が異なるため、各調査年の組成の頻度を同じ重みの頻度、つまり各年の年齢組成の合計が25%になるように変換した上で行った。



これを図20に示す。また、モデル資源の回帰親魚の体長組成、年齢別体長組成に、漁獲魚と同一手法で正規分布曲線をあてはめ、体長組成の正規分布近似を試みた。求めた各正規分布曲線を図20に併記(図中、赤線)する。この正規分布曲線のあてはめの際に計算された各年齢の回帰親魚の標準偏差を平均体

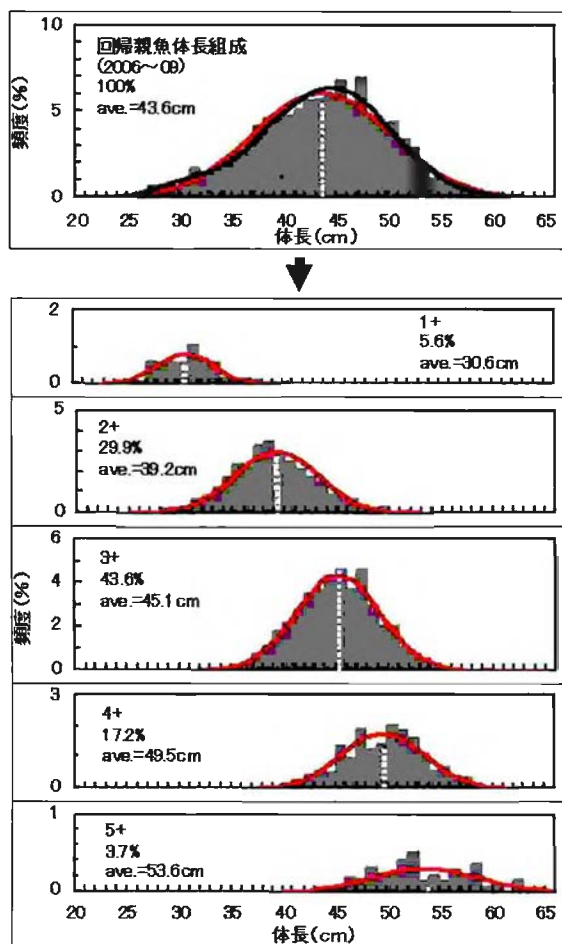


図20. 回帰親魚の組成 (モデル資源)

- \*) 破線は平均体長 (ave.) の位置を表す。
- \*\* ) 赤線は体長組成の近似正規分布曲線、青線は年齢別の正規分布曲線の和の曲線を表す。

長と共に表20に示す。また、図20(最上図)には、各年齢の近似正規分布曲線の総和の曲線(青線)を併記する。

図20に明らかな様に、回帰親魚の統合した年齢毎の体長組成は正規分布曲線に適合した。ただし、回帰親魚の全年齢の体長組成は、ピークの位置や左右への裾の形状などについて、正規分布曲線(赤線)より、年齢別の正規分布曲線の和の曲線(青線)に適合した。すなわち、回帰親魚の年齢別の体長組成の様相は、正規分布で近似することができ、全回帰親魚の体長組成は、年齢別の正規分布の和の曲線で表す

表20. 回帰親魚の平均体長と標準偏差 (2006~09年)

年齢	平均(cm)	標準偏差
1+	30.6	2.8
2+	39.2	4.0
3+	45.1	4.0
4+	49.5	3.9
5+	53.6	5.0
全年齢	43.6	6.5

ことができた。ただし全回帰親魚の体長組成における正規分布近似曲線と年齢別の正規分布の和の曲線との相違は漁獲魚の場合ほど大きくはなく、相違の方向も和の曲線のモードにおける体長(44.7cm)が正規分布曲線のモード(=平均体長: 43.6cm)より右側に位置した、つまり左裾が広い傾向を示し、漁獲魚の場合とは逆となった。

モデル資源の回帰親魚の年齢別体長組成とその近似正規分布曲線をそれぞれ一図にまとめて図21に示す。この上下の図の形状の相似性は、漁獲魚の場合と同様に、年齢別体長組成を近似した正規分布曲線の適合が良いことを示した。また下図では全年齢を併せた「親魚(和)の曲線」が、先述の「漁獲魚の場合とは逆に、左裾が広い」という回帰親魚の体長組成の傾向を顕著に示した。

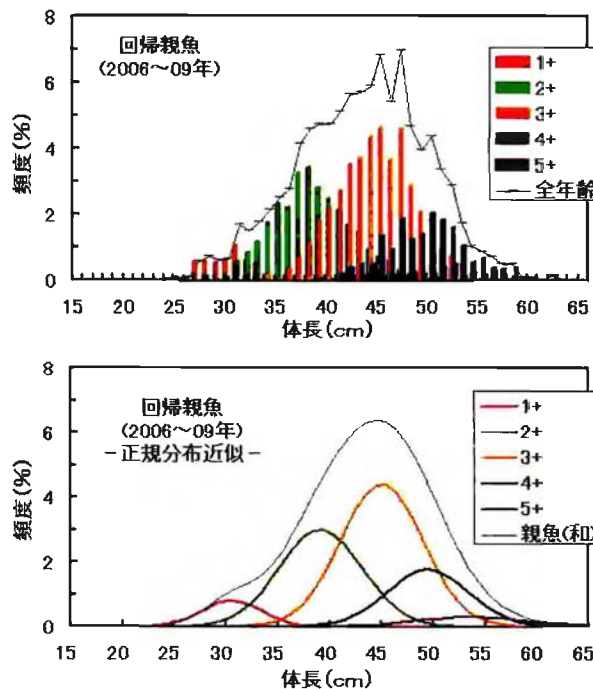


図21. モデル資源の回帰親魚の年齢別体長組成 (上) とその正規分布近似 (下) (2006~09年)

- \*) 下図の親魚(和)の曲線は各年齢の体長組成の近似正規分布曲線の総和を表しており、正規分布曲線ではない。

## 総括ならびに考察

**1. モデル資源** 2006～09年の漁獲魚と回帰親魚について、その体長組成、年齢組成、年齢別体長組成を調査した。調査4ヶ年間のこれらの組成には大きな変化はなく安定的であった。そこで、4ヶ年の組成を統合したモデル資源の年齢・体長組成を構築して、その齡構造・サイズ構造を解析した。その結果について、次のように総括し、考察を加える。

**2. 漁獲魚の年齢・体長組成** モデル資源の漁獲魚の年齢組成は、1+～5+の順に、4.2%、45.8%、38.2%、9.9%、1.9%であった。

年齢別の体長組成は、各々正規分布で近似することができ、各平均体長(±標準偏差)は、1+ : 31.9(±2.7)cm、2+ : 38.0(±3.1)cm、3+ : 43.2(±4.0)cm、4+ : 48.0(±4.3)cm、5+ : 54.0(±4.0)cmであった。また、全年齢の漁獲魚の平均体長は41.0(±5.6)cmであった。ただし、全年齢の漁獲魚の体長分布は、その正規分布近似とは一致せず、各年齢の和の曲線のモードは正規分布曲線のモードより左側に位置すると共に、右裾が広い分布形状を示した。

以上のように漁獲魚の年齢別の体長組成の様相は、正規分布に近似することができ、全漁獲魚の体長組成は、「各年齢の正規分布近似曲線の和」の曲線で表すことができた。

**3. 回帰親魚の年齢・体長組成** モデル資源の回帰親魚の年齢組成は、1+～5+の順に5.6%、29.9%、43.6%、17.2%、3.7%であった。

年齢別の体長組成は、漁獲魚と同じく、それぞれ正規分布に近似することができ、各年齢の平均体長(±標準偏差)は、1+ : 30.6(±2.8)cm、2+ : 39.2(±4.0)cm、3+ : 45.1(±4.0)cm、4+ : 49.5(±3.9)cm、5+ : 53.6(±5.0)cmであった。また全年齢の回帰親魚の平均体長は43.6(±6.5)cmで、その体長組成の正規分布近似曲線と年齢別の正規分布の和の曲線との相違は漁獲魚の場合ほど大きくはなく、相違の方向も漁獲魚の場合とは逆に、和の曲線のモードが正規分布曲線のモードより右側に位置した。

**4. 漁獲魚と回帰親魚との組成比較** モデル資源の漁獲魚と回帰親魚の組成を比較すると、年齢組成はともに1+～5+で構成されていた。また、2+と3+が主体で、4+を加えれば9割以上を占める組成という点

も両者に共通の特徴といえる。さらに、年齢別体長も漁獲魚と回帰親魚でほぼ等しい。一方、最も多いのが漁獲魚では2+、回帰親魚では3+であることや、モデル資源の組成から求めた平均年齢は、漁獲魚では2.60歳、回帰親魚では2.84歳となるなど、回帰親魚が高齢傾向を示した。

以上をまとめると、漁獲開始年齢と成熟開始年齢は、ともに1+、最高年齢も漁獲魚、成熟親魚とも5+で、漁獲と成熟の年齢の範囲は等しいが、漁獲年齢のピークが成熟年齢のそれより若齢側にあり、平均年齢もそれを裏付けた。すなわち、若干ではあるが、漁獲が成熟に先駆ける傾向があるといえる。

しかし全体的にみれば、漁獲魚と回帰親魚の年齢組成・年齢別体長組成はほぼ等しく、漁獲対象魚は、その年の秋に成熟し親魚となる魚と同一群であることが推察される。すなわち刺網を主とするピワマスの漁業は、直近の繁殖期に成熟可能な未成魚群全体を対象とした合理的な漁業といえよう。

併せていえば、殆どが刺網というサイズ選択性のある漁具で採捕された漁獲魚標本をもって、年齢組成、体長組成を論ずることの妥当性に対する懸念が、主に定置網、築、投網などのサイズ選択性の低い漁具で採捕された回帰親魚の標本と類似した組成となったことで、ある程度払拭されるのではなかろうか。

## 文 献

- 1) 田中昌一(1985): 水産資源学総論, pp381, 恒星社厚生閣, 東京
- 2) 埴山雅秀(2004): サケの個体群生態学. サケ・マスの生態と進化(前川光司 編), 137-163, 文一総合出版, 東京.
- 3) 小林哲夫(1961): サケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum) の年齢, 成長並びに系統に関する研究. 北海道さけ・ます・ふ化場研究報告, 第16号, 1-102.
- 4) 伊藤外夫・石田行正(1998): 鱗相によるさけ・ます類の同定と年齢査定. 遠洋水産研究所研究報告, 第35号, 131-154.
- 5) 大島正満(1957): 桜鱒と琵琶鱒. 楡書房, 札幌.  
\*再録誌: 財団法人淡水魚保護協会(1981): 「大島正満サケ科魚類論集」, 160-213, 大阪.

## 第2章 標識放流再捕法による資源構造諸元の推定

標識放流再捕法は生態学や水産学の研究分野において、個体数推定、行動追跡、生残率の推定等々、様々な目的で用いられる研究手法である。本研究では、主に次の5項目を目的として2005年にサイズの異なる2種類の標識魚を放流した。

### 1. Petersen 法による、初期資源尾数の推定

県漁連が実施する放流事業の放流種苗の一部を標識魚とし、その琵琶湖での混獲率から、初期資源尾数(放流時点の資源尾数)の推定を試みる。

### 2. 種苗放流事業の評価

序章で述べたように、ビワマスの放流事業は、長年目標としてきた「天然親魚から採卵し、2gサイズ(体重)の種苗を70万尾放流する」を、2004年以降は安定的に実現しており、その放流も、主要な琵琶湖流入河川への分散放流という一定の手法で実施している。すなわち、放流技術は一定の水準に達し、安定的に実施されている。その放流の効果を明らかにすることは、現放流の評価と共に、今後の増殖事業の指針として重要である。そこで、放流種苗の一部を標識魚として、その再捕結果から放流効果を評価する。これは上記1と同一調査であり、上記1を別の側面から検討するものである。

### 3. 放流サイズの違いによる放流効果の差の検討

上記1,2の放流種苗とは異なるサイズの種苗、本研究では大型の種苗に異なる標識を施して放流し、再捕結果を比較することで、現在の放流手法の更なる効率化を検討する。

### 4. ビワマスの成長様式の解明

標識放流魚は年齢既知であるから、これを琵琶湖に放流し、再捕した場合、放流時点～再捕時点の間の成長が明らかとなる。本研究では標識再捕魚の体長を測定することによって、琵琶湖におけるビワマスの成長様式を推測する。具体的には成長曲線のパラメータを推定する。

### 5. 母川回帰性の確認

サケ属に属するビワマスが母川回帰性を有していることは、経験的に周知の事実であるが、これを実証的に示した報告は、田中(2006)<sup>1)</sup>以外にはない。本研究では、標識魚を知内川から放流し、その回帰親魚としての再捕位置によって、ビワマスの母川回帰性に関する知見を得ることを目的とする。一方、

前記3に述べたサイズの異なる大型の種苗は銀毛(スモルト)種苗であり、琵琶湖内で生活する発育段階である。本研究ではこれを湖中放流するが、その場合の成熟魚としての母川回帰性も、放流手法開発面に関心ある検討項目となる。

本章では、2005年に放流した標識魚の同齢魚が主要な漁獲年齢(2+~4+)を構成する2009年までの再捕調査で、上記の項目に関して得られた結果を、ビワマスの資源構造の解明という観点を変えて論じた。なお、目的4については2010年の再捕魚を含めて検討した。

## 材料および方法

**標識魚の放流** 本研究では、サイズの異なる2種類の標識魚を放流した。以降これらの標識魚を「小型種苗」と「大型種苗」という。これらはいずれも県漁連が実施するビワマス増殖事業の放流種苗の一部であり、しかも同一の飼育群由来である。すなわち、2004年10~11月に天然親魚から採られた受精卵を発眼期まで県漁連高島事業場に収容・管理後、滋賀県醒井養鱒場に輸送し、そこで孵化・種苗生産された放流用0+齢稚魚である。

小型種苗は、県漁連が実施するビワマス増殖事業の放流種苗の一部に脂鰭切除標識をしたものであり、増殖事業の放流時と同じ3月に放流した。

一方、大型種苗は放流効果の向上を狙った適正放流サイズの検討を目的として放流したもので、増殖事業の放流群の一部を継続飼育し、脂鰭と左腹鰭の切除標識をして、6月に放流した。

放流時における標識魚の平均体長(±S. D.)と平均体重(±S. D.)は、小型種苗が5.5(±0.6)cm、2.5(±0.8)g、大型種苗が9.6(±1.1)cm、12.8(±4.9)gであった。

標識魚の放流尾数は、小型種苗が20000尾、大型種苗が19298尾であった。

標識魚の放流場所は図22に示す。小型種苗は知内川の河口から約3km上流地点へ増殖事業の種苗と共に放流した。知内川への放流数は標識魚を含めて92790尾であった。大型種苗はスモルトであり、その生活史に合わせて、琵琶湖の北湖中央部である沖の白石と多景島の間付近の水域へ放流した。

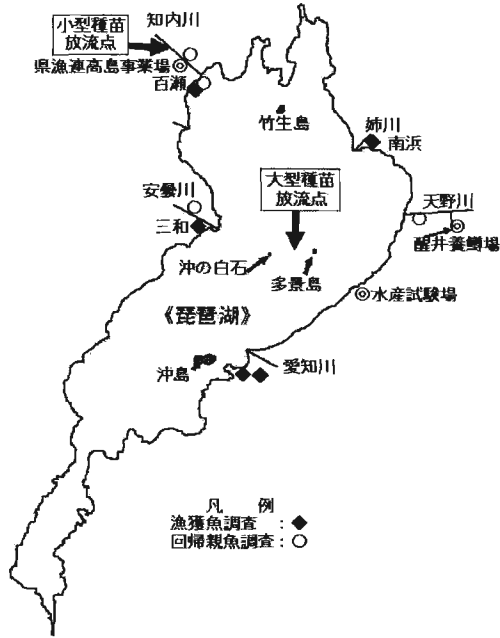


図22. 放流地点と主な調査地点

なお、標識放流を行った2005年の県漁連による増殖事業の放流尾数は649000尾であるが、このうち約20000尾を県漁連の協力を得て、本研究用の大型種苗用として醒井養鱒場にて引き続き飼育した。従って3月の放流は、標識魚(小型種苗)20000尾を除くと609000尾(無標識魚)で、これらは知内川を含む13の琵琶湖流入河川に放流された。

従って、県漁連の増殖事業用種苗放流に対する標識率の対象は小型種苗であり、その標識率(H)は、

$$H=100 \times 20000 / 629000 \approx 3.18\%$$

となる。

**標識再捕魚調査** 放流後、漁業者や県漁連の採卵担当者等のピワマス漁業関係者に対して、標識放流試験に対する周知と調査への協力を依頼し、2006～09年の間、前述(第1章)の漁獲魚・回帰親魚の体長組成・年齢組成の解明を兼ねて、標識魚の探索を行い、標識の確認、体長の測定と年齢査定用の採鱗を行った。主な調査場所は図22に示すが、ピワマスが水揚げされる市場や集荷場(図中：◆,○)で、前述(第1章)の漁獲魚・回帰親魚の調査場所と同じである。

それ以外に不定期に上記の調査地や他の場所から寄せられた再捕報告の標識魚も測定等を行った。ただし、これらの漁獲魚調査・回帰親魚調査以外の再捕データは、混獲率に基づく解析・推定には使用できず、専ら成長や行動・分布等、琵琶湖におけるピワマスの生物学的情報として、その意義を見いだし

た。

**標識再捕魚の混獲率の推定** 第1章では2006～09年の漁獲魚・回帰親魚の年齢組成を推定した。それにより、標識再捕魚数と同年齢の漁獲魚数の比が推定でき、これが混獲率となる。ただし、本研究では小型種苗を特定の1河川から放流しているの、回帰親魚では母川回帰性により、標識魚と無標識魚がランダムに混獲されるという仮定が成立しない。従って、混獲率の推定は漁獲魚のみのデータを用い、それによって初期資源尾数の推定や種苗放流効果の判定等の解析を行った。

**初期資源尾数(放流時の個体数)推定** 小型種苗の標識再捕魚の調査漁獲魚中の同年齢魚に対する混獲率から、Petersen法により放流時点の資源尾数を推定した。なお、本推定は、1+漁獲魚は除外し、本格的に漁獲される2+～4+魚、すなわち、2007～09年の6～9月の漁獲魚調査(第1章)を対象に行った。

**標識魚による成長様式の推定** 標識放流魚は放流までの履歴が明らかであり、再捕された標識魚の体長はそのまま放流後の、ひいては孵化後の月齢の琵琶湖でのピワマスの体長である。標識再捕魚の体長を時系列にプロットし、非線型最小二乗法により、琵琶湖におけるピワマスの成長曲線を求めた。

なお、本研究期間(2006～09年)の翌年2010年7月に大型種苗1尾が再捕されたが、5+の貴重な例であり、成長様式の推定に限って、本研究の一部とした。

あてはめる成長曲線は、魚類の成長式として最もよく使用される Bertalanffy の成長式と、その一般式で、これよりパラメータが1つ多い分、形に自由度の高い Richards の成長式とした。

**母川回帰性の確認** 2種類の標識魚、すなわち小型種苗と大型種苗の成熟親魚としての再捕位置を調査し、母川回帰性の確認を行った。小型種苗は本来河川生活をしている時期に知内川へ放流し、大型種苗は前述のように、スモルトにまで育成し、生活型に合わせて湖中へ放流した。従ってその予想される母川は、小型種苗が知内川、大型種苗は放流直前まで飼育されていた醒井養鱒場の用水が流入する天野川ということになる。

## 結 果

### 0. 標識魚の再捕結果



2006～09年の調査期間中の標識再捕魚数は、表21に示すように、小型種苗49尾、大型種苗131尾であった。そのうち資源尾数の推定と種苗放流効果の検討対象となるのは、第1章の漁獲魚調査で発見した標識魚のうち、本格的に漁獲対象となる2+以上の漁獲魚(表中、混獲再捕魚)で、小型種苗19尾、大型種苗75尾であった。以降、調査結果を検討項目別に示す。なお、標識再捕魚の年齢毎の例を附図IIに示す。

## 1. Petersen法による初期資源尾数の推定と種苗放流効果の評価

**1.1. 初期資源尾数の推定** 本項に関する標識放流の概要を「材料および方法」から抜粋すると、2005年3月、県漁連の629000尾の放流の際、20000尾を標識魚(脂鰭切除)として放流した。平均放流サイズは、体長が5.5cm、体重が2.5gで、標識率(H)は、

$$H = 100 \times 20000 / 629000 \approx 3.18 (\%)$$

であった。

Petersen法に従って、2+～4+の調査漁獲魚中の標識魚混獲状況から初期資源尾数(放流時点の資源尾数)を以下に計算した。

初期資源尾数 : N(求めたい値)  
 標識放流数 : M = 20000 尾  
 調査した同年齢の漁獲魚数 : n = 601 尾(表21)  
 調査魚中の標識魚(小型種苗) : m = 19 尾(表21)  
 混獲率 :  $m/n = 100 \times 19/601 \approx 3.16 (\%)$

Nの点推定値は、 $N : M = n : m$ を期待して、

$$\bar{N} = n \cdot M / m$$

この式に代入して、初期資源尾数の点推定値 $\bar{N}$ は、

$$\begin{aligned} \bar{N} &= 601 \times 20000 / 19 \\ &= 632632 \\ &\approx 633000 \text{ 尾} \end{aligned}$$

となった。

本来、標本n尾中に標識魚m尾を得る確率は、非復元抽出であり、超幾何分布に従う。しかし、標本数n(=601)に対して、推定しようとする標本と同年齢の琵琶湖のピワマスの個体数Nは、少なくとも放流時点では629000尾と非常に大きいので、復元抽出の場合の二項分布に近似できる。この場合、標本n(=601)尾中に標識魚m(=19)尾を得る確率(尤度)L(P)は、

$$L(P) = {}_{601}C_{19} P^{19} \cdot (1-P)^{601-19}$$

ここで、 $P = M/N = 20000/N$

Nが未知の変数だから、尤度L(P)は、Nの関数L(N)となる。

$$L(N) = {}_{601}C_{19} (20000/N)^{19} \cdot (1-20000/N)^{601-19}$$

これを図23に示す。図に示すように、最尤推定値は

$$N = 632632 \approx 633000 \text{ (尾)}$$

となり、先述の点推定値と一致した。

次に、 $\bar{N}$ の95%信頼区間を北田(2001)<sup>2)</sup>の方法に従って求める。

この二項分布を、正規分布に近似すると $\bar{N}$ の近似的な分散 $\bar{V}(\bar{N})$ は、

$$\begin{aligned} \bar{V}(\bar{N}) &= M^2 \cdot (1-m/n) / n \cdot (m/n)^3 \\ &= M^2 \cdot n(n-m) / m^3 \end{aligned}$$

で推定される。

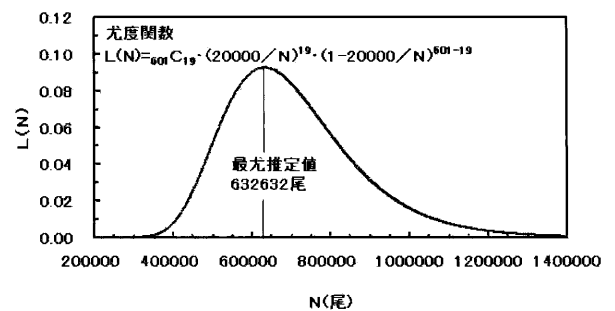


図23. 初期資源尾数推定値の尤度関数

表21. 標識魚の再捕尾数および同齢の混獲率推定の対象調査尾数

西暦年	年齢	小型種苗		大型種苗		同齢調査魚 <sup>*)</sup>
		全再捕魚	混獲再捕魚	全再捕魚	混獲再捕魚	
2006	～1+漁期前	0	0	5	5	17
	1+漁獲魚	1	0	6	0	0
	1+親魚	1	0	1	1	8
2007	2+漁獲魚	10	6	50	36	213
	2+親魚	2	2	8	3	117
2008	3+漁獲魚	16	12	46	37	322
	3+親魚	11	9	9	9	248
2009	4+漁獲魚	2	1	3	2	66
	4+親魚	6	2	3	1	64
計		49	32	131	94	1055
うち漁獲魚計(2+～)		28	19	99	75	601
うち親魚計(2+～)		19	13	20	13	429

\*) 同齢調査魚数は、本研究第1章の解析による

Nの推定値( $\bar{N}$ )の95%信頼区間は、

$$\bar{N} = \bar{N} \pm 1.96 \sqrt{\bar{V}(\bar{N})}$$

で求まる。この式に数値を代入すると、

$$\bar{N} = 632632 \pm 279933 \text{ (尾) より、} \\ 352698 \sim 912565 \text{ 尾}$$

と推定された。

なお、分散 $\bar{V}(\bar{N})$ の推定において、推定しようとする標本と同年齢の琵琶湖のビワマス個体数Nは非常に大きい場合に相当するとして、

V(N)に有限修正項:  $n \cdot (M - n) / (M \cdot n - m)$  を乗じなかったが、有限修正項を考慮して計算しても、Nの95%信頼区間は、

$$352831 \sim 912432 \text{ 尾}$$

で、ほとんど変わらなかった。

以上のように、初期資源尾数(95%信頼区間)は、千尾単位で丸めて、

$$633000 \text{ 尾 (353000} \sim 913000 \text{ 尾)}$$

と推定された。

**1.2. 小型種苗標識魚の再捕パターン** 601尾の漁獲魚中に19尾の標識魚が混獲されたというデータから初期資源尾数を推定したが、調査は2007~09年の三漁期(2006年は1+のため省かれる)に亘っている。換言すれば2+~4+齢の標識魚に対して実施している。そこで各々の年齢の再捕数が調査尾数(標本数)に対して一様か、すなわち標識魚の混獲率が一定かどうかについて、一様性の検定( $\chi^2$ -検定)を行った。その統計量を表22に示す。

表22. 小型種苗の獲れ方の一様性の検定

年齢	2+	3+	4+	計	
観測度数	標識	6	12	1	19
	無標識	207	310	65	582
	観測計	213	322	66	601
理論度数	標識	6.734	10.180	2.087	19
	無標識	206.266	311.820	63.913	582
	理論計	213	322	66	601
差の2乗/期待値		0.080	0.325	0.566	0.971
		0.003	0.011	0.018	0.032

$$\chi^2 = 1.003$$

※無標識には大型種苗再捕魚を含む。

なお、この検定は1つのカテゴリーの度数が5以上であることが望ましいとされる。従って本来は3+と4+を1つにまとめるのが望ましいことになるが、ここでは年齢で分ける意義を優先させ、あえてそのまま解析した。自由度( $\phi$ )は、

$$\phi = (2-1) \cdot (3-1) = 2$$

である。表に示すように、 $\chi^2$ 値は、

$$\chi^2 = 1.003 \text{ (有為確率: } P=0.606)$$

となり、危険率5%の検定を行うと、

$$\chi^2 < \chi_{0.05}^2 = 5.991$$

で、年齢毎の標識魚の混獲に差があるとはいえない、すなわち、標識魚(小型種苗)は2+~4+に亘って、同齡漁獲魚中に一様に存在し、同齡の無標識魚と同じ獲れ方をするという結果となった。

**1.3. 種苗放流事業の効果** 以上のことから、現在実施されている種苗放流事業の効果について次の結果を得た。県漁連の2005年の放流尾数は629000尾で、標識率は、 $H \doteq 3.18\%$ であった。一方、標識魚の混獲率(%)は、

$$m/n = 100(\%) \times 19/601 \doteq 3.16(\%) \text{ で、}$$

$$H \doteq m/n \text{ (標識率} \doteq \text{混獲率)}$$

となった。これは、放流尾数629000尾が、1.1項で求めた初期資源尾数推定値の95%信頼区間内の、しかも最尤推定値:632632尾と極めて近い値であることと同義である。すなわち、2005年の初期資源尾数はこの年の県漁連の放流尾数にほぼ一致し、さらに1.2項の結果もふまえて、県漁連実施の種苗放流事業の資源添加効果は極めて高く、現在のビワマス資源は放流種苗に依っていることが示唆された。

## 2. 大型種苗の放流効果

**2.1. 大型種苗放流時点の資源尾数推定** 本項に関する標識放流の概要を「材料および方法」から抜粋すると、2005年6月に、大型種苗19298尾を標識魚(脂鰭と左腹鰭を切除)として琵琶湖(北湖, 図22)へ放流した。放流魚の平均サイズは、体長が9.6cm、体重が12.8gであった。

実際、この放流サイズがその時点の湖内にいる当歳魚のサイズと一致するか否か、つまりこの標識魚が湖内の当歳魚と同群とみなせるかが不明なため、Petersen法の適用には無理があるが、小型種苗と同じ方法で、以下に放流時点の資源尾数を試算した。

放流時点の資源尾数 : N(求めたい値)

標識放流数 : M = 19298 尾

調査した同年齢の漁獲魚数 : n = 601 尾(表15)

調査魚中の標識魚(大型種苗)数

: m = 75 尾(表21)

Nの点推定値 $\bar{N}$ は、 $N : M = n : m$ を期待して、

$$\bar{N} = n \cdot M / m$$

で求まる。これに数値を代入すると、6月放流時点の資源尾数の点推定値 $\bar{N}$ は、

$$\bar{N} = 601 \times 19298 / 75$$

$$=154641 \div 155000 \quad (\text{尾})$$

となった。この95%信頼区間は、前述の小型種苗による推定と同様に、

$$\bar{N} = \bar{N} \pm 1.96 \cdot \sqrt{V(\bar{N})}$$

に数値を代入して、

$$\bar{N} = 154641 \pm 32742 \quad (\text{尾}) \text{より、}$$

$$121899 \sim 187383 \text{尾}$$

と推定された。有限修正項を考慮すると、

$$121963 \sim 187320 \text{尾}$$

で、考慮しない場合とほとんど変わらなかった。

以上のように、6月放流時点の資源尾数(95%信頼区間)は、千尾単位で丸めて、

$$155000 \text{尾} (122000 \sim 187000 \text{尾})$$

と推定された。

**2.2. 大型種苗の再捕パターン** 大型種苗の獲れ方が漁獲魚の獲れ方と一致するののかについて、小型種苗と同様に一様性の検定を行った。その統計量を表23に示す。

表23. 大型種苗の獲れ方の一様性の検定

年齢	2+	3+	4+	計	
観測度数	標識	36	37	2	75
	無標識	177	285	64	526
	観測計	213	322	66	601
理論度数	標識	26.581	40.183	8.236	75
	無標識	186.419	281.817	57.764	526
	理論計	213	322	66	601
差の2乗/期待値		3.338	0.252	4.722	8.312
		0.476	0.036	0.673	1.185
				$\chi^2 =$	9.497

※無標識には小型種苗の標識再捕魚を含む。

なお、小型種苗の場合と同様、度数が5以下のカテゴリー(4+)があるが、ここでは年齢で分ける意義を優先させ、そのまま解析した。自由度( $\phi$ )は、

$$\phi = (2-1) \cdot (3-1) = 2$$

である。 $\chi^2$ 値は、表に示す様に、

$$\chi^2 = 9.497 \quad (\text{有意確率: } P=0.009)$$

となり、危険率5%の検定を行うと、

$$\chi^2 > \chi_{0.05}^2 = 5.991$$

で、年齢間の大型種苗標識魚の混獲状況は一樣でない、すなわち、年齢毎に漁獲魚と同じ獲れ方をしないという結果となった。

表23の観測度数をみると2+~4+の順に、36尾、37尾、2尾で、合計75尾であるのに対して、それぞれの調査母群である標本漁獲魚数は同順に213尾、322尾、66尾、合計601尾だから、全体の混獲率Xは、

$$X = 100 \times 75 / 601 \\ = 12.48 \quad (\%)$$

となった。一方、同表に示す観測度数から、大型種

苗再捕魚の年齢別の混獲率を計算すると、

$$2+ : 100 \times 36 / 213 = 16.90 \quad (\%)$$

$$3+ : 100 \times 37 / 322 = 11.49 \quad (\%)$$

$$4+ : 100 \times 2 / 66 = 3.03 \quad (\%)$$

となり、2+~4+全体の混獲率と比較して、上回るのは2+、下回るのは3+と4+であった。すなわち、漁獲魚の獲れ方と一致する小型種苗に比べて、大型種苗は若齢側に偏った獲れ方をした。

**2.3. 大型種苗放流の効果と影響** まず先の2.1項、2.2項の結果を、1項の小型種苗の結果と比較して、大型種苗の放流効果を求めた。

3月に放流した小型種苗の混獲率から推定した放流時点の当歳魚資源推定尾数は633000尾で、これは放流尾数(629000尾)に匹敵する数であった。6月に放流した大型種苗の混獲率から推定した放流時点の当歳魚資源推定尾数は155000尾となった。これらの推定値は、標識魚をほぼ同数放流し、同じ漁獲魚群を対照として得た推定値である。

以上より、当歳魚資源をすべて放流で賄うとすれば、3月に小型種苗(体重2.5g)633000尾を放流する効果と、6月に大型種苗(体重12.8g)155000尾を放流する効果とが比較でき、尾数に限って言えば、6月の大型種苗の放流は、3月の小型種苗の放流の4.08倍(633000/155000)効果的という結果となった。

次に先の2.2項で大型種苗の年齢毎の再捕パターンが同齢の漁獲魚の獲れ方と一樣ではなく、若齢側に偏った獲れ方をしたことについて、当歳魚資源をすべて大型種苗の放流で賄うとすると、漁獲魚あるいは資源の年齢組成がどのように変化するかについて、第1章を引用して試算した。

第1章で述べたように、2006~09年の漁獲魚の年齢別の頻度は、1+~5+の順に4.2%、45.8%、38.2%、9.9%、1.9%であった。そして、2.2項では大型種苗の2+~4+の漁獲魚の年齢組成が、若齢側に偏るという結果が得られたが、その偏った獲れ方に適合する漁獲魚群(仮想群)の年齢組成を試算する。大型種苗の全体の混獲率X(2.2項参照)が、年齢別でも成立する年齢別漁獲魚数は、

$$2+ : 36 \times 601 / 75 = 288 \quad (\text{尾})$$

$$3+ : 37 \times 601 / 75 = 296 \quad (\text{尾})$$

$$4+ : 2 \times 601 / 75 = 16 \quad (\text{尾})$$

となる。実際の調査漁獲魚数は、2+~4+の順に213尾、322尾、66尾(表23、観測度数)だから、年齢別に大型種苗の混獲率を一樣にするには、

2+ : 288 / 213 = 1.35 (倍)  
 3+ : 296 / 322 = 0.92 (倍)  
 4+ : 16 / 66 = 0.24 (倍)

の魚が獲られる必要がある。すなわち、上記の漁獲魚の各年齢頻度に、2+は1.35、3+は0.92、4+は0.24の倍率を乗じて、仮想群の2+~4+の仮の頻度とした。1+と5+の仮の頻度は、文献<sup>3)4)</sup>検索により過去の漁獲魚の年齢組成および、本稿第1章の2006~09年(モデル資源)の組成から求めた隣接年齢との関係(1+は2+との関係:表24,図24、5+は4+との関係:表25,図25)の一次回帰式によって推定した。こうして求めた1+~5+の仮の頻度を全体が100%になるように補正して、仮想群の年齢組成を求めた。結果を、比較のために現在(モデル資源)の組成と共に表26に示す。

表24. 2+年齢, 1+年齢の組成頻度 表25. 4+年齢, 5+年齢の組成頻度

西暦年	2+(%)	1+(%)	西暦年	4+(%)	5+(%)
1963	62.9	3.2	1963	3.2	0.0
1964	82.9	1.2	1964	0.0	0.0
1984	61.7	2.4	1984	5.3	0.4
1985	44.8	3.9	1985	8.7	1.0
2006~09	45.8	4.2	2006~09	9.9	1.9

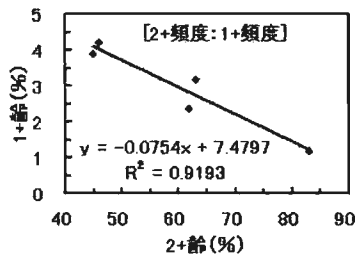


図24. 2+と1+の組成頻度の関係

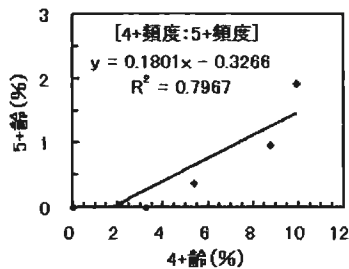


図25. 4+と5+の組成頻度の関係

表26. 2006~09年のモデル資源の漁獲魚と大型種苗放流の場合(仮想群)の漁獲魚の年齢組成(%)

年齢	1+	2+	3+	4+	5+	計
モデル資源	4.2	45.8	38.2	9.9	1.9	100
仮想群	2.7	60.5	34.3	2.3	0.1	100

試算の結果は、表に示すように当歳魚を全て大型種苗の放流で賄った場合、漁獲魚(仮想群)は95%以上が3+以下で占められ、特に、2+に集中した年齢組成となった。すなわち、その場合の漁獲魚の年齢組成は、現在の漁獲魚の年齢組成(≒資源構造, 第1章)を、若齢側へ変化させ得ることを推測させる結果となつ

た。

### 3. 標識再捕魚による成長曲線のあてはめ

3.1. Bertalanffyの成長曲線 2006年(1+齢)~10年(5+齢)に再捕された標識魚の再捕時月齢(孵化後月数)と被鱗体長を、放流種苗の区別をつけて図26に示す(○:小型種苗,49尾、□:大型種苗,132尾)。また図中には、放流時の平均体長も示している(●:小型種苗、■:大型種苗)。

これらの点から、ビワマスの成長様式をモデル化するため、魚類の成長曲線式として最もよく使用される Bertalanffy の成長曲線式:

$$L_t = L_{\infty} \cdot (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

ただし、 $L_t$ : 月齢  $t$  における体長 (cm)

$L_{\infty}$ : 極限体長

$t_0$ : 体長 0 の時の計算月齢

$k$ : 成長係数

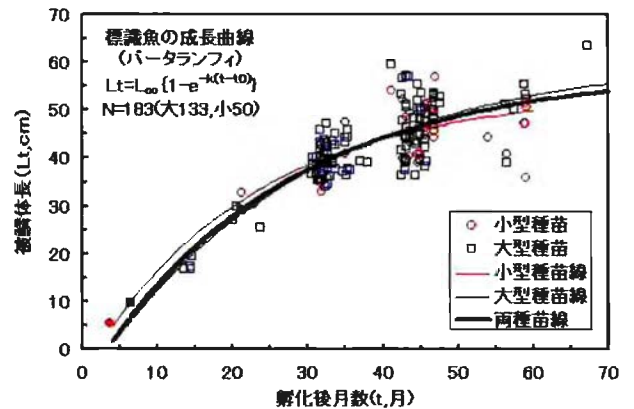


図26. 標識再捕魚の成長(Bertalanffyの成長曲線)

を大型種苗、小型種苗のそれぞれ、およびこれらを合わせた両種苗にあてはめた。その方法は、非線形最小二乗法で、MS-エクセルのアドイン、ソルバーによりパラメータ  $L_{\infty}$ 、 $t_0$ 、 $k$  を探索的に推定した。各々の成長曲線を図26に併記し、それら成長式のパラメータ推定値を表27に示す。

表27. Bertalanffy成長曲線のパラメータ

$$\text{成長式: } L_t = L_{\infty} \cdot (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

パラメータ	小型種苗	大型種苗	両種苗
$L_{\infty}$	53.895	61.629	58.459
$k$	0.0447	0.0350	0.0383
$t_0$	1.818	3.526	3.181

なお、いずれの標識魚も 0+ 齢の再捕がないため、初期成長が放流サイズと大幅にずれるのを抑制すべく、放流時の平均体長データを計算に用いた。ただし、その影響を最小限に留めるために、各平均体長を1尾分として算入した。従って、使用データ数は

小型種苗が50、大型種苗が133、両種苗合計が183である。

### 3.2. Richardsの成長曲線 Richardsの成長式：

$$L_t = L_\infty / (1 + r \cdot e^{-k(t-t_0)})^{1/r}$$

ただし、 $L_t$ ：月齢 $t$ における体長(cm)

$L_\infty$ ：極限体長

$t_0$ ：変曲点の月齢理論値

$k$ ：成長係数

$r$ ：式の性質を表す<sup>3)</sup>パラメータ

(※  $r=1$ : Logistic,  $r=0$ : Gompertz,  $r=-1$ : Bertalanffyの各成長式と一致)

を大型種苗、小型種苗のそれぞれ、およびこれらを合わせた両種苗にあてはめた。用いたデータは上記の Bertalanffy の成長式と共通であり、方法も非線型最小二乗法で、MS-エクセルのアドイン、ソルバーにより、パラメータ $L_\infty$ 、 $t_0$ 、 $k$ 、 $r$ を探索的に推定した。その曲線を図26と同様にして図27に、それら成長式のパラメータ推定値を表28に示す。

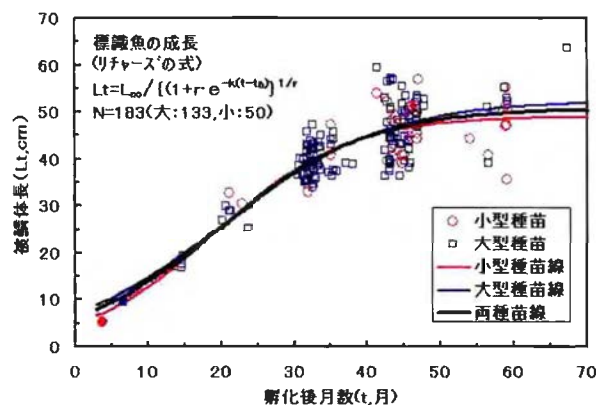


図27. 標識再捕魚の成長 (Richardsの成長曲線)

表28. Richards成長曲線のパラメータ

パラメータ	小型種苗	大型種苗	両種苗
$L_\infty$	49.316	52.645	51.002
$k$	0.748	0.694	0.719
$t_0$	2.401	-2.187	-0.238
$r$	6.694	7.696	7.283

3.3. 放流サイズによる成長差 先の3.1項と3.2項で、標識再捕魚の種苗別のおよび両種苗の体長の成長曲線を求めたが、図26、27に示すように、Bertalanffy、Richards いずれの成長曲線でも、大型種苗の線と小型種苗の線とは、重なるほど類似し、両種苗の体長を用いた成長曲線も大・小種苗の中間に位置し、結果としていずれの成長曲線でも3本がほぼ重なり合った。

大型種苗と小型種苗の各再捕魚の年齢別の平均体

長とその95%信頼限界を、種苗別に表29と表30に示す。両表で年齢毎の平均体長を比較すると、両者の95%信頼区間は、1+の様に標本数が少なくて信頼性に欠ける部分もあるが、各年齢で相互に重なり、両者の平均体長には、差がなかった(危険率5%)。

表29. 大型種苗再捕魚の平均体長とその信頼区間

大型種苗	1+	2+	3+	4+
再捕尾数(尾)	11	58	55	6
平均体長(cm)	23.7	39.7	46.7	50.1
95%下限(cm)	19.6	38.9	45.1	44.2
95%上限(cm)	27.7	40.5	48.4	56.1

表30. 小型種苗再捕魚の平均体長とその信頼区間

小型種苗	1+	2+	3+	4+
再捕尾数(尾)	2	12	27	8
平均体長(cm)	31.6	39.1	47.6	46.6
95%下限(cm)	17.6	36.6	45.8	41.4
95%上限(cm)	45.6	41.7	49.5	51.8

以上のように、放流サイズが異なっても年齢毎の体長には差がないことから、琵琶湖におけるビワマスの成長は、両種苗の体長データを用いて、次の成長曲線で表わすことができた。

Bertalanffyの成長式：

$$L_t = 58.459 \cdot (1 - e^{-0.0383(t - 3.181)})$$

ただし、 $t$ ：孵化後月数(3.7 ≤  $t$  ≤ 67.3)

$L_t$ ：月齢 $t$ の被鱗体長(cm)

Richardsの成長式：

$$L_t = 51.002 / (1 + 7.283 \cdot e^{(0.719(t - 0.238))^{1/7.283}})$$

ただし、 $t$ ：孵化後月数(3.7 ≤  $t$  ≤ 67.3)

$L_t$ ：月齢 $t$ の被鱗体長(cm)

3.4. 成長曲線の選択 あてはめた2種類の成長曲線について、あてはまりのよさを、下に掲げる赤池の情報量基準(AIC)<sup>5)</sup>により比較検討した。

$$AIC = n \cdot \ln(1 - R^2) + 2 \cdot k$$

ただし、 $\ln$ ：自然対数

$n$ ：データ数

$R^2$ ：決定係数

(=残差平方和/偏差平方和)

$k$ ：パラメータ数

で、AICの値の大小によって曲線が選択され、この値が小さい方が適合がよいとされている<sup>5)</sup>。

両成長曲線のAICを求めると、

$$\text{Bertalanffy 式} : AIC = -226.905$$

$$\text{Richards 式} : AIC = -227.196$$

と、ほとんど差はないものの、僅かに、Richards式のAICが小さく、Richardsの成長式が選択された。

#### 4. 母川回帰調査

2006～09年の10～11月に親魚(成熟魚)として再捕を確認した標識魚数は、先に表21で示したが、図28には、再捕場所を、種苗と年齢の区別をつけて示す。

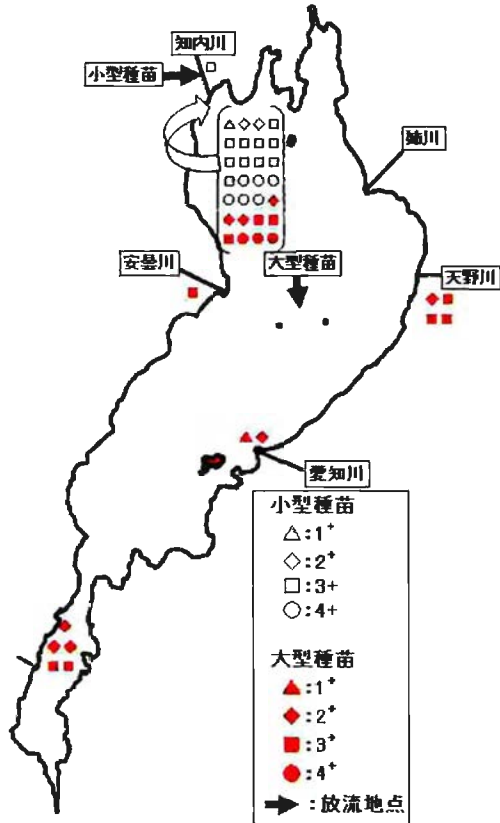


図28. 標識魚(回帰親魚)の再捕場所

知内川へ放流した小型種苗は、白抜き印で示したが、1+ : 1尾、2+ : 2尾、3+ : 11尾、4+ : 6尾の合計20尾で、その全てが知内川か、その河口付近で再捕された。一方、琵琶湖の北湖中央に放流した大型種苗は赤い印で示したが、その数は合計21尾で、再捕場所の内訳は、知内川河口付近で9尾(2+~4+ : 各3尾)、愛知川河口付近で2尾(1+、2+各1尾)、天野川で4尾(2+ : 1尾、3+ : 3尾)、安曇川で1尾(3+)、南湖で5尾(2+ : 3尾、3+ : 2尾)と、再捕の場所は琵琶湖の各所に散在した。

以上のように、平均体重2.5gで知内川へ放流された小型種苗は1+~4+の再捕成熟個体の全てが、知内川およびその河口周辺で再捕され、明瞭な母川回帰性を示した。一方、平均体重12.8gで琵琶湖(北湖中央)へ放流された大型種苗は放流される直前まで、その飼育用水が天野川へ流れる醒井養鱒場で飼育されており、母川回帰先としては、天野川が予想されたが、成熟個体の再捕場所は広範囲に亘り、天野川

で再捕が確認されたのは4尾(19.0%)で、母川回帰性は不明瞭であった。

#### 考 察

1. 初期資源尾数と種苗放流尾数 Petersen 法で推定した、2005年に当歳魚であった2005年級群の初期資源尾数(種苗放流時点を指す)は、633000(353000~913000)尾で、2gサイズの種苗放流数(629000尾)にはほぼ一致した。また、この推定に用いた標識魚(小型種苗)は一様性の検定により、2+~4+(2006~09年)に亘って、同齡漁獲魚中に一樣に混在することが示された。以上により、2005年級群は放流魚に依拠していたことが示唆された。

そこで、近年の初期資源添加は放流に依拠しているといえるかについて、以下に検討する。

まず、2006~09年の資源構造は第1章で示した様に安定的である。また、近年の県漁連による種苗放流数(平均体重)は、2004~09年の順に、972千尾(2.21g)、649千尾(2.10g)、889千尾(1.95g)、877千尾(2.06g)、894千尾(2.37g)、721千尾(2.25g)で、6年間の平均は83.4千尾(2.06g)であり、近年の種苗放流は数的にもサイズのにも、比較的安定している。

その中で、2005年の放流数は、6年平均の77.8%と最も少ない。もし、初期資源尾数が種苗放流数と一致し、毎年の放流後の生残状況が等しければ、第1章で検討した漁獲魚、回帰親魚の年齢組成に、2005年級群の少なさが表れる、すなわち、2006年の1+、2007年の2+、2008年の3+、2009年の4+は、漁獲魚・回帰親魚の割合が低いことになる。そこで、第1章の表6、表14(以下に再掲)をみると、漁獲魚の2009年の4+、回帰親魚の2008年の3+を除いて、程度の差こそあれ、いずれも調査4ヶ年の平均を下回り、漁獲魚と回帰親魚を合わせた全年齢(1+~4+)の割合の平均(21.2%)でも、2005年級群は4ヶ年の平均(24.3%)の87.2%となっている。

表6. 漁獲魚の年齢組成(再掲)

年 \ 年齢	1+	2+	3+	4+	5+	計
2006	0.0	50.2	37.8	9.0	3.0	100
2007	3.9	41.8	42.4	10.2	1.8	100
2008	10.6	42.0	36.5	9.4	1.5	100
2009	2.5	49.2	36.0	10.9	1.5	100
4年平均	4.2	45.8	38.2	9.9	1.9	100

逆に、種苗放流数が最も多いのは2004年で、近年の2004~09年の平均放流尾数の1.16倍である。これ



表14. 回帰親魚の年齢組成(再掲)

年 \ 年齢	1+	2+	3+	4+	5+	計
2006	2.0	30.0	44.8	17.3	5.9	100
2007	2.2	21.2	49.8	22.1	4.7	100
2008	10.8	25.5	44.6	17.1	2.0	100
2009	7.3	43.0	35.1	12.3	2.3	100
4年平均	5.6	29.9	43.6	17.2	3.7	100

に対して2004年級群は2006年の2+, 2007年の3+, 2008年の4+, 2009年の5+であるが、もし、同じように初期資源尾数と種苗放流尾数が一致するという仮説が成立するとすれば、これらの漁獲魚、回帰親魚の割合は高いということになる。そこで表6、表14をみると、2004年級群は漁獲魚、回帰親魚ともに、主要年齢の2+と3+で調査4ヶ年平均を上回り、全年齢(2+~5+)の平均値(25.3%)でも、2004年級群は4ヶ年平均(23.8%)の1.06倍と高くなっている。

以上をまとめる。2006~09年の資源構造は、安定的であった(本稿第1章)。そして2004~09年の種苗放流尾数も、手法も安定的であった。そして、種苗放流数の変動が、漁獲魚、回帰親魚の年齢組成の変動に概ね同調して現れ、標識放流調査からの初期資源尾数が種苗放流数に一致するという推測と合致した。すなわち、近年のビワマス資源は種苗放流に依拠していることが示唆された。

**2. 種苗サイズの差と放流効果** 本研究では大小2種類の標識魚をほぼ同数放流し、再捕調査を行った。小型種苗の混獲状況から、放流時点の当歳魚資源尾数が633000尾と推定された。一方、大型種苗の混獲状況から、その放流時点における当歳魚資源尾数は、155000尾と推定された。これらのことから、当歳魚資源をすべて放流で賄うとした場合、3月の小型種苗(平均体重2.5g)と、6月の大型種苗(平均体重12.8g)との放流効果は、尾数に限って言えば、大型種苗の放流が小型種苗の放流の4.08倍効果的であるという結果になった。一般に放流サイズと放流効果の関係は、初期生残率が放流サイズの関数となることに帰結すると考えられ、至極当然の結果といえる。

ところで、両種苗の年齢別の獲れ方を比較すると、大型種苗が若齢側に偏った獲れ方をしたことは、尾数以外の放流効果に関わる重要な問題の存在を示している。すなわち当歳魚資源の全てを、大型種苗の放流で賄うとすると、ビワマス資源の年齢組成が、若齢側にシフトする可能性を示唆している。漁獲尾数が等しければ、若齢化に伴って漁獲魚の小型化とそれによる漁獲量の減少や、また、第1章で述べた

ように漁獲魚と回帰親魚との年齢組成が大きく異ならないとすれば、成熟年齢が若齢化することも示唆される。すなわち、種苗放流が、手法によっては、漁獲サイズの小型化や年齢構造の単純化などの資源構造の変化を招き得ることが懸念される。

しかし、漁獲魚の若齢化は放流サイズの検討によって回避できると思われる。田中(2006)<sup>6)</sup>は飼育下のビワマスで、成長が速いと1+で成熟し、成熟年齢が若くなることを確認している。そのことから類推すると、湖中放流種苗のサイズが、河川由来の降湖当歳魚がその時期に達するサイズより大きい場合、以後の湖中でのサイズも上回り続ける結果、若齢での成熟に至ると考えられる。従って、湖中放流種苗を、その放流時点における天然当歳魚と同等サイズにまで小型化することで解消できると思われる。当然のことながら、その場合放流効果の面で、多少の生残率の低下は否めないであろう。

**3. 成長様式** 小型種苗と大型種苗の、年齢毎の再捕魚の体長には差がなかったことから、両標識再捕魚の体長データを用いて、琵琶湖におけるビワマスの成長曲線を求めた。一方、両標識魚間の年齢毎の再捕割合には違いがあり、大型種苗の方が若齢で再捕される傾向がみられた。

以上のことは、各年齢の再捕魚のサイズには差はないが、年齢別の漁獲への加入割合は、大型種苗の方が若齢でより多くの個体が、漁獲対象の体長に達しているということを示す。この現象が生じる原因を考察すると、1つは年齢毎の体長のばらつき(体長分散)が大きいことによると思われる。各年齢の平均体長は一致しているが、標本個体間のばらつきが大きく、各年齢内の成長の様子がその中に埋没していることが推察される。また、別の原因として、ビワマスには成長の周季性があり、成長速度が季節毎に様でないことによるとも考えられる。ビワマスの成長は年中一定ではなく、成長の亢進期と停滞期があることに起因するのではなかろうか。ビワマスの成長は早春から初夏にかけて活発で、晩夏から冬に停滞することは明らかで、それ故に鱗相による年齢査定も可能なのであり、田中(2006)<sup>6)</sup>は飼育過程でもこれを確認している。そして、年齢毎のある一定のサイズに到達するには、前年の停滞期までに一定の大きさに到達している必要がある、換言すれば、停滞期には年齢毎の一定の体長に到達するため

のハードルのような働きがあることが推察される。さらに、漁獲魚と成熟魚(回帰親魚)の年齢毎の大きさに大きな差がないこと(本稿, 第1章)を、漁獲魚群が同齡のその秋の成熟魚群と等しいと解すると、そのハードルはその年の成熟の可否にも関わるとも考えられる。

これらのこと(体長の分散の大きさと成長の周季性)は、本稿第1章の「漁獲時期と体長との関係」で述べた年齢別の漁獲魚の体長が6~9月の漁獲期間を通じて一定であったことと同義なのではなかろうか。

**4. 母川回帰性** 本研究の小型種苗は、県漁連の放流事業の種苗である。そして、この標識魚は放流河川である知内川への明確な母川回帰性を示した。また、田中(2006)<sup>1)</sup>も、水系の異なる2ヶ所で生産され、同時(2001年3月)に同サイズ(平均体重約2.9g)で知内川へ放流された各々2.5万尾の2種類の標識放流魚について、2003、2004年の調査で、両者がともに知内川へ母川回帰したのを確認している。その標識放流魚は本研究の小型種苗と同じく県漁連の放流事業の種苗であった。以上のことから県漁連の放流種苗は母川回帰性を発揮し、放流河川へ回帰することが示唆される。すなわち、放流各河川の遡上魚がその河川を母川とする地域個体群を形成する可能性があるという意味でも、効果的な放流であるといえる。

一方、琵琶湖へ直接放流した大型種苗は、明確な母川回帰性を示さなかった。大型種苗は、所謂スマルトで、湖中生活に適した姿であり、その意味で大型種苗も生活史にあわせた放流であった。母川回帰性は、河川生活期に母川を記憶するもので、本研究の小型種苗は、それを実証している。その記憶時期が小型種苗の放流サイズ以降の河川生活期であろうという推測も、前出の田中(2006)<sup>1)</sup>の報告が支持している。湖中放流された大型種苗は、その河川生活期に相当する時期を醒井養鱒場で過ごしているから、回帰する母川は醒井養鱒場の排水が流れ込む天野川ということになる。予想どおり天野川へ遡上したのは成熟して再捕された21尾中4尾(19%)で、他の17尾の再捕場所は琵琶湖および周辺の広範な水域に亘り、安曇川へ遡上して再捕(1尾)されたり、普通ビワマスが採捕されない南湖でも5尾が再捕された。知内川周辺に再捕数が多いのは調査頻度が高かったことによると思われるが、このような大型種苗

成熟魚の再捕地点の広い分布は、大型種苗の成熟魚が回帰先を探して迷走していることを示すものと思われる。

この原因としては、①醒井養鱒場由来の水量が少なく、天野川本流の水に希釈され、ビワマスの感知能力の限界を下回った、②天野川自体の琵琶湖への排水量が少ないまたは、河口付近の水草の繁茂により天野川の琵琶湖への流入が阻害され、流入水が沖へ拡散しないことで、ビワマスに感知されなかった等、調査時の傍証からいくつか推察されるが、実証的には明らかではない。

**5. 放流魚と天然魚** 先述の「種苗サイズの差と放流効果」の項の論述と若干重複するが、放流効果について総括する。2005年に放流した標識魚(小型種苗)の2006~09年に亘る再捕調査から、Petersen法により放流時点の当歳魚資源尾数を推定した。同時にこの推定値から、

(放流尾数) / (推定当歳魚資源尾数)

として資源に対する放流の貢献度が判定でき、2005年の放流尾数は推定当歳魚資源尾数とほぼ等しい、すなわち放流効果 $\approx 1$ となった。

併せて、調査4ヶ年の年毎の小型種苗の混獲状況は漁獲魚に対して一様であることが示唆された。さらに、同じく2005年に放流した県漁連の放流種苗とサイズの異なる標識魚(大型種苗)は漁獲魚とは異なり、若齢側に偏った獲れ方をした。すなわち漁獲魚と小型種苗は同じ獲れ方をし、大型種苗は一致しなかった。以上のことから、ビワマスの資源添加が県漁連の種苗放流に依っていることが示唆された。逆に言えば、放流以外の資源添加が無いに等しいということになる。ただし、標識放流による当歳魚資源尾数推定値の95%信頼区間上限値が、913000尾であるから、これと最尤推定値633000尾との差280000尾を2005年の放流以外の、天然産卵による資源添加の最大値と考えることは可能ではある。

一方、澤田(1998)<sup>7)</sup>は、1996年に Petersen 法によりビワマスの当歳魚(11~12月、放流後約6ヶ月時点)の資源尾数を 347652~446140尾(中央値:396896尾; 筆者注)と推定し、放流種苗の割合を16.2%と推定している。すなわち、発眼卵の埋没放流由来の種苗も含むが、83.8%が天然魚ということである。1996年5月の2gサイズの放流が149000尾であるから、この時点の資源尾数は919753尾と計算できる。この尾数は



本研究の初期資源尾数推定値の、95%信頼区間の上限値(913000尾)とほぼ一致する。また、近年(2005～09年)の放流尾数(649000～972000尾)とも近い数といえる。

問題は1996年の場合、初期資源の83.8%が天然魚であったのに対して、2005年の場合、少なくとも数的には、ほぼ全てが放流魚と推測されたことである。

1996年と2005年の違いの1つは増殖用の種苗の放流場所にある。1996年は琵琶湖へ放流されたのに対し、2005年は、産卵親魚の遡上する13河川に放流された。1996年の場合、放流種苗が天然魚の河川生活期に影響を及ぼすことはないであろう。一方、2005年は主要な産卵河川への放流である。放流時期が3月、放流サイズは平均体重約2gで、時期的にもサイズの的にも河川への放流はビワマスの生活史にあわせた、効果的な放流であるといえる。

ところが、この放流時点において、河川を生息場所としている天然の当歳魚は、放流魚より小型であると思われる。そのことは尾田ら(2008)<sup>8)</sup>の姉川におけるビワマス稚魚の分布調査でも示唆されている。すなわち尾田ら(2008)<sup>8)</sup>は姉川において、県漁連の種苗放流後に採集稚魚のサイズが大きくなることを観察し、これは種苗放流に由来する大型個体が加入したためと推察している。

放流種苗が天然当歳魚より大きいことは放流種苗の生産過程の飼育水(地下水)温が天然魚の育つ河川水温より高く、また、浮上以降の餌条件も、放流種苗は給餌、天然魚は環境内の天然餌料依存と、大きく異なることから容易に推察され、大きさで優る放流魚が天然当歳魚の河川生活に影響を与えた可能性をも示唆する。

帰山(2004)<sup>9)</sup>はサケ属魚類に関して、孵化場魚の野生魚への影響について述べ、海洋初期生活期に大型で放流された孵化場魚と浮上直後に降海した小型の野生魚との間で置換が起きたアラスカのカラフトマス個体群の例を紹介している。また永田ら(2004)<sup>10)</sup>は、サクラマスについて放流河川における孵化場魚と野生魚の攻撃行動、採餌行動、危険回避行動等を実験的に比較し、「孵化場魚の特徴として、野生魚に比べ採餌活性が高いこと、および捕食者に対する回避行動が劣っていること」をあげている。攻撃行動については、孵化場魚と野生魚の間の相互の優劣は統計学的に差はなかったが、「ほかのサケ科魚

類では、孵化場魚の方が野生魚に比べ、攻撃性が高いことが報告されている」と述べ、野生魚の生活への孵化場魚による影響を指摘している。以上は近縁他種の例であるが、ビワマスにおいても河川放流種苗が天然当歳魚の河川生活に影響を及ぼす可能性を示唆する。

ただし永田ら(2004)<sup>10)</sup>のいう「孵化場魚」のこういった行動特性は、継代飼育親魚由来の種苗である「池産系」で顕著であって、本研究のビワマス放流魚は、行動特性が天然魚に近い天然遡上親魚由来の種苗である「遡上系」に相当するため、上記の影響は大きくない可能性はある。また、ビワマスの河川生活期間はサクラマスほど長くはないため、影響が小さいことも考えられる。

この様に河川生活期における放流魚の天然魚への影響が推察されるが、他方、河川の環境面から全く別の考察も可能である。ビワマスの遡上・産卵河川は、アユにとっても主要な産卵河川である。アユは秋期、ビワマスに先駆けて河川で産卵する。ところが近年アユの産卵場が一部の河川に集中する傾向が指摘されている<sup>11)</sup>。この現象は近年の河川環境に何らかの変化があることを示しているのかもしれない。もしその原因がビワマスの産卵～浮上後の河川生活期にも影響を与えているとすれば、放流魚の存在に関わらず、天然魚が生息し得ないということもあり得よう。

また、尾田ら(2008)<sup>8)</sup>は、前記の姉川における調査によって、「姉川では上流域への親魚の遡上が魚止堰堤によって妨げられ、稚魚の分布も下流域に限られている」ことを示し、「浮上直後の稚魚は琵琶湖に押し流された場合には資源には寄与し得ないものと考えられる」とも述べ、さらに多数の産卵床が確認されたにも関わらず稚魚が殆ど採集されなかった水域の存在も示して、現在のビワマスの産卵河川は天然産卵由来の稚魚が成育しにくい環境であることを指摘している。

ただ、小型種苗で証明されたように、近年河川へ体重2gサイズで放流されたビワマスが琵琶湖で漁獲されている事実から、現在の主要放流河川の環境は、少なくともこのサイズ以降の河川生活が可能で状態であるということではできよう。

**6. 種苗放流のあり方** 先述のように、現在の種苗放流事業は、極めて高い放流効果を示す反面、天然

産卵由来魚の生活への影響が懸念された。

他方、湖内へ放流した大型種苗は明確な母川回帰性は示さなかったが、放流効果は尾数に関しては小型種苗より4.08倍高かった。漁業形態を生態と照合してみた場合、ビワマスは、沿岸に限定された北太平洋サケ・マス類の漁業とは事情が異なり、沖捕り（とはいえ、漁業種別では沿岸漁業ではあるが・・・）であり、その点で漁業のための増殖事業に母川回帰性は必須ではない。高い放流効果を求め、かつ天然魚へ影響の懸念を払拭するには、河川生活期を省略した増殖、すなわち大型種苗（スマルト）の琵琶湖への放流は、活用し得る手法であろう。

大型種苗が資源構造に与える影響についての先述の懸念は、資源添加の全てを大型種苗が補うとすればという仮定上のものであり、実際には天然魚の河川からの加入（量的には不安定なものであろうが）期待されるし、現在の河川への種苗放流との併用も可能であろう。また、先述のように湖中放流種苗のサイズの検討が、この懸念を解消する可能性もあろう。

澤田(1998)<sup>7)</sup>が当歳魚の83.8%が天然由来魚と推定した1996年と比較して、ビワマスの産卵～降河間の河川生息環境が変化していなければ、天然産卵河川の保全によるビワマス資源の維持もあり得るが、その安定性の観点から、資源維持を天然産卵のみに委ねることはできない。ビワマスの琵琶湖固有魚としての本来の生態保全の観点と、重要な水産資源の維持・培養の観点とでは、自ずからその個体群（資源）維持のために異なる手法を選択する可能性は否めないであろう。

以上のことをふまえて、本研究の結果から、種苗放流のあり方を提言するとすれば、次のようになる。  
①親魚の遡上が確認された河川のうち、稚魚の成育に好適な環境を有する河川を選定して保全河川に指定し、遡上親魚の捕獲や種苗放流は一切行わず、自然に産卵させ、それに由来する稚魚を降河までの間そのまま生育させる。

②水産資源の維持は、その安定性確保の点で、全てを上記①に委ねることはできず、種苗放流に依らざるを得ない。そこで、①以外の主要河川を増殖放流河川として、本研究で放流効果の高さが証明された現在の放流手法で、体重2gサイズの種苗を放流する。

③10gサイズのスマルト種苗の放流効果は、尾数と

して、現在の放流の4.08倍高い反面、資源構造に対して、年齢構造の若齢側への変化という影響を及ぼす可能性が示唆されたことから、②の放流手法との置換はせず、②を補完する手法として、例えば、放流尾数を少なくする、あるいは、せざるを得ない場合や、放流予定河川に天然産卵が豊富で河川放流を回避する場合等に用いる。また、放流種苗のサイズを検討して、放流の主体を②から③に変更することもあり得よう。

なお、本項「種苗放流のあり方」に関しては、後章の結果をふまえて、総合結論(第6章)において、再度検討する。

## 文 献

- 1) 田中秀具(2006)：ビワマスの母川回帰性確認. 平成17年度滋賀県水産試験場事業報告, 56
- 2) 北田修一(2001)：栽培漁業と統計モデル分析, pp 335, 共立出版, 東京.
- 3) びわ湖生物資源調査団(1966)：ビワマス. びわ湖生物資源調査団中間報告, 726-728.
- 4) 田中秀具・大江孝二・山中治(2007)：琵琶湖におけるビワマスの年齢・体長組成. 滋賀県水産試験場研究報告, 52, 1-12.
- 5) 荻田正雄・上田太一郎・中西元子(2006)：[新版] EXCELでできる最適化の実践らくらく読本. pp243, 同友館, 東京.
- 6) 田中秀具(2006)：ビワマスの成長に関する選抜育種の研究. 滋賀県水産試験場研究報告, 51, 25-41.
- 7) 澤田宣雄(1998)：ビワマスの種苗放流効果. 平成8年度醒井養鱒場業務報告, 39-40.
- 8) 尾田昌紀・秋葉健司・山本俊昭(2008)：ビワマス稚魚の浮上期における生態について. 陸水生物学報, 23, 7-14.
- 9) 帰山雅秀(2004)：サケの個体群生態学. サケ・マスの生態と進化, 137-163, 文一総合出版, 東京.
- 10) 永田光博・山本俊昭(2004)：サケ属魚類における「人工孵化」の展望. サケ・マスの生態と進化, 213-241, 文一総合出版, 東京.
- 11) 藤岡康弘・酒井明久・田中秀具・鈴木隆夫・澤田宣雄(2008)：湖産アユの産卵状況の長期変化と最近の産卵河川の集中. 平成19年度滋賀県水産試験場事業報告, 164-165.