

2004 No. **17**

栽培資源調査検討資料

瀬戸内海東部水域に放流されたブリ早期 種苗群から期待される生産効果の総合評価

平成16年9月

独立行政法人 水産総合研究センター

は し が き

独立行政法人水産総合研究センターでは、旧(社)日本栽培漁業協会時代の昭和53年度から62年度にかけて国からの委託調査事業で実施した「天然ブリ仔資源保護培養のための基礎調査」に引き続いて、昭和63年度から平成9年度まで「ブリ種苗放流技術開発調査事業」を実施した。前者では流れ藻とブリ仔の関連を明らかにし、流れ藻から離れたブリ仔の沿岸域における分布生態把握を目的に事業を実施した。後者では日本周辺海域における各海域相互のブリの移動・資源添加機構の解明を行う目的で、放流した種苗が漁獲対象となるまでの過程を明らかにするとともに漁獲実態調査を実施した。これらの事業結果等については旧日栽協「協会研究資料」に詳しく報告されているが、この中で、太平洋系群の瀬戸内海東部海域については、瀬戸内海東部から紀伊水道内外域にかけての当歳魚から1.5歳魚までの移動回遊状況及び海域別の漁獲状況等の成果が得られている。

これらの事業の一環として、屋島栽培漁業センターではブリ種苗放流を昭和54年度より実施してきたが、種苗生産開始時期の制約から人工種苗は放流時の天然種苗より大きさが小さく、種苗放流による移動状況についてはある程度明らかにできたものの、経済的な効果調査までには十分に立ち入ることはできなかった。その後、平成8年度に古満目・五島栽培漁業センターでブリの早期採卵技術が開発され、これら早期卵を使用した早期種苗生産が量産規模で実施され、天然のモジャコと同等の大きさと放流することが可能となった。このため、屋島栽培漁業センターでは、これら早期種苗を用いて平成10、11年の2カ年にわたり、瀬戸内海東部海域（播磨灘）において、放流年内に限っての放流効果を定量的に把握することを目的とした早期種苗放流試験を実施した。この結果は「瀬戸内海東部海域におけるブリ早期種苗の放流効果」として報告されているが、この試験では、放流した人工種苗15万尾が放流年内の5ヶ月間にわたり放流海域の播磨灘から13,700尾、水揚げ量7.1tになって回収されたことを明らかにした。しかしながら、放流年の秋期に鳴門海峡を抜けて紀伊水道へ移動した後は調査範囲が広域にわたることから追跡調査は手つかずのまま残された。

本報告書では、この結果を出発点として、放流年の年末に播磨灘、紀伊水道で生き残った放流魚が、その後成長しながら太平洋外海域まで拡散し、その生涯を終るまでの間に見込まれる漁獲量を予測し、放流魚の生涯を通じて期待される回収金額と放流に要する経費のバランスに基づいた放流プロジェクトの経済性の判断や、放流技術の水準を示す指標として放流直後から漁獲開始までの間に発生するいわゆる播種減耗の大きさの評価等、より総合的にブリ種苗放流の効果を再評価をすることが試みられている。

本報告書は元日栽協常務理事須田明博士を中心に技術開発チーム「放流効果追跡グループ」のバックアップを得て取りまとめられた。特に、放流効果の形成に関わる諸要因の評価並びに放流群からの再捕量の評価方法等栽培資源調査に関する考え方等が詳細に検討されており、本書が種苗放流事業や放流効果調査に携わる研究者や、ブリ漁業に関わっておられる漁業関係者の方々の参考になれば幸いである。

平成16年9月

理事 今村茂生

瀬戸内海東部水域に放流されたブリ早期種苗群から 期待される生産効果の総合評価

須田 明^{*1}, 岩本 明雄^{*2}, 藤本 宏^{*2}, 山崎 英樹^{*2}, 小畑 泰弘^{*3}

^{*1} 元日本栽培漁業協会本部

^{*2} 独立行政法人 水産総合研究センター 屋島栽培漁業センター

^{*3} 独立行政法人 水産総合研究センター 玉野栽培漁業センター

目次

はじめに	1
第 I 章. 放流効果の形成に関わる諸要因の評価	3
1 - 1. 既往の放流データのレビュー	4
1 - 2. 放流群の減耗要因と、個々の要因の評価法	5
(1) 全減少係数の推定手順	6
(2) 逸散係数の推定法	6
(3) 自然死亡係数 M (成魚・未成魚段階) と M' (幼魚段階) の設定	7
1) 成魚・未成魚段階の自然死亡係数 M についての考え方	7
2) 幼魚段階 (0.3-0.8歳) の自然死亡係数 M' についての考え方	7
(4) 漁獲係数 F , 漁獲率 E および漁期始めの加入尾数 $N_{8,1}$ の決定	8
(5) 紀伊水道域における諸パラメータの推定	8
2. 放流群の減耗に関わる諸要因の評価結果	9
(1) 全減少係数: Z	9
(2) 逸散係数: D	10
(3) 自然死亡係数 M (成魚・未成魚段階) および M' (幼魚段階) の設定	13
1) 成魚・未成魚段階での自然死亡係数 M の推定	13
2) 幼魚段階 (0.3-0.8歳) の自然死亡係数 M' についての作業仮説の設定	13
(4) 漁獲死亡係数 F , 漁獲率 E および漁期始めの加入尾数 $N_{8,1}$ の決定	14
(5) 紀伊水道における諸減耗要因の推定	16
第 II 章. 放流群からの再捕 (漁獲) 量の評価	17
1. 放流群からの再捕 (漁獲) 重量の評価方法	17
(1) ① - 1. 播磨灘漁場:	18
(2) ① - 2. 紀伊水道漁場:	18
(3) ②. 外海域漁場:	19
(4) 放流群からの生涯を通じた総再捕 (漁獲) 重量 $Y^{(T)}$ の推定	19
2. 放流群からの再捕 (漁獲) 重量の評価結果	20
(1) 播磨灘での放流年内の再捕 (漁獲) 量と放流年末までの生残尾数	20
(2) 紀伊水道域からの放流年内における漁獲尾数と放流年末における生残尾数	21
(3) 放流翌年以降, 生涯の終わりまでの間に外海漁場で期待される漁獲量	22
1) 放流年末 (放流翌年の 1 月 1 日) における放流群からの生残尾数 (外海漁場への加入量)	23
2) 外海漁場での Y/R と漁獲量の予測	23
(4) 放流群からの総収穫量	23

第Ⅲ章. 放流効果の経済的評価	25
1. 放流がもたらす経済効果の評価法	25
1-1. 回収金額の推定	25
(1) 銘柄別の平均漁獲量の計算	25
(2) 銘柄別の平均単価の算出	26
1-2. 必要経費の推定	26
2. 放流がもたらす経済効果の評価結果	27
2-1. 放流魚からの回収金額	27
2-2. 放流事業の実施に必要な経費	28
(1) 種苗生産経費の積算	28
(2) 放流作業と、再捕魚の追跡調査に必要な経費	29
(3) 漁業経費	29
1) 漁業支出を掛かり増し経費として評価する場合：漁業経費(1)	30
2) 漁家経済統計の経費率を手掛かりに漁業経費を推定する場合：漁業経費(2)	31
3) 2つの漁場経費による評価結果の比較	31
(4) 事業に必要な総経費の見積もり	31
2-3. 15万尾放流の収支バランス	33
第Ⅳ章. 総合評価	35
1. 結果の概要	35
2. 追加論議	37
(1) 放流された幼魚群の資源生物学的情報の収集に当たって留意すべきこと	37
1) 放流された幼魚群の生態や減耗パラメータについての考え方	38
2) 放流デザインの変化とデータの互換性	40
3) 播種減耗（放流減耗）についての考え方	41
(2) 放流効果の形成過程	44
(3) ブリ種苗放流の地域漁業への貢献	48
〔補遺-1〕 本報告で用いる各種係数，統計量の記号一覧	51
〔補遺-2〕 各種計算式	53
〔補遺-3〕 経済的評価に用いた各種経費の算出基礎	55
謝辞	58
文献	59

はじめに

大島⁽¹⁾ (1973) は瀬戸内海東部海域の高い生産力を利用してブリの人工集団が構築できれば地域の漁業へ大きな貢献になるという考え方を提示し、その可能性を検討するため日本栽培漁業協会は関連府県の協力を得ながら、1979年以降、ブリの人工種苗の実験放流を継続してきた。同時にこの実験放流では、別途1977年に開始されたブリの人工種苗生産技術開発事業の成果物である人工種苗の、フィールドでの生残能力や行動特性についての情報収集や、本種のような広域回遊魚に装着する標識の開発も行われてきた。これら一連の実験放流の経過については、栽培漁業技術開発の歩み（昭和52-55年度の総括）⁽²⁾や1977年以降の一連の日本栽培漁業協会事業年報⁽³⁾に逐次報告されている。また、錦・三橋⁽⁴⁾、須田他⁽⁵⁾は1981-82年のデータを用いて、放流後1カ年間における再捕過程を追跡した結果を報告している。これらの諸報告を通して、瀬戸内海東部海域（播磨灘）に放流された人工種苗は、備讃瀬戸を越えて西に向うことはほとんどなく、水温下降期に入ると顕著な南下回遊を示すこと、この海域での人工種苗の減少率は著しく大きい（日率0.0377）その大半は逸散であること、放流海域である播磨灘と逸散先である紀伊水道を込みに見てみると、全死亡のなかで放流年内に漁獲死亡の占める割合は10%に達しないのではないかと推測されること等が示された。

1998年と1999年にかけて、日本栽培漁業協会・屋島事業場は、香川県の協力を得ながら、各年15万尾の早期人工種苗を用いた放流試験（放流点：香川県志度町）を行った。その結果については既に藤本・山崎⁽⁶⁾ (2001) の報告がある。「早期種苗」が用いられたねらいは、放流群の平均サイズを天然発生群のそれとできるだけ近づけ、人工的に構築されたブリ資源の地域漁業者にとっての利用価値を高めることにあった。また、放流水域における放流年内の再捕情報の収集にあたって魚市場における標本調査の導入を試み、放流直後から12月末までの5カ月間に、播磨灘水域の主要な魚市場に専門あるいは委託調査員を配置して水揚げされるブリの標本調査を行い、放流年内にこの水域から水揚げされた天然ならびに放流ブリ0歳魚の尾数を推定した。15万尾からの5カ月間の再捕尾数は2カ年の平均で13,700尾、再捕水揚げ量は7.1トン、漁獲物中で放流魚の占める割合（有標識率）は27.7%に達することが示された。

本研究は、上記の藤本・山崎の報告を出発点として、さらに過去の放流試験から得られた情報をも補足しながら、より総合的に、ブリ種苗の放流効果の再評価を試みたものである。この再評価では、特に、

- ① 放流群は、放流後間もなく、放流場である播磨灘から逐次紀伊水道に逸散し始め、この水域でも漁獲の対象となりながら、効率的に紀伊水道からさらに外海の太平洋沿岸域に移動し、放流の翌春以降、生涯を終わるまでの間に各種漁業の漁獲対象となる。この間の漁獲量は放流域である播磨灘でのそれより大きいと思われるので、その漁獲量の予測
- ② 放流魚の生涯を通じて期待される回収金額と、放流種苗の生産と回収に必要な経費のバランスに基づいた放流プロジェクトの経済性の判断
- ③ 放流技術の水準を示す指標として、放流直後から漁獲開始までの間に発生する、いわゆる播種減耗の大きさの評価

について、可能な限り具体的、数量的な把握を試みるとともに、放流効果について総合的な判断を深めたいと考えた。

また、放流効果についてできるだけ適切な判断に到達するためには、それに先立って、放流群の減耗過程、特に逸散率や幼魚段階の自然死亡率について改めて情報の整理が必要と考えた。そのために、本題へ

の取り組みに先立って、特に第Ⅰ章においてこれら諸要因の再検討を行った。再検討された情報に基づいて、第Ⅱ章で生物生産面から放流効果を評価した。第Ⅲ章では、第Ⅱ章の結果を経済的に再評価した。播種減耗については、当初期待した程の情報が得られなかったので、「総合評価」のなかで考察した。

第 I 章. 放流効果の形成に関わる諸要因の評価

本研究で追跡の対象となったブリの人工種苗群(藤本・山崎⁶⁾)は、放流時点から、漁獲開始時点(0.3歳)を経て、放流年の年末、すなわち播磨灘漁期の期末(0.8歳)までの間の「幼魚期」の段階のものであり、この間、その生理・生態的な条件は、時間の推移に応じて急速に変化しつつあるものと考えられる。したがって、未成魚・成魚について得られた減耗のパラメータに関する情報を、そのまま幼魚段階の放流群に適用することは避け、可能な限り放流データに基づいて幼魚期のパラメータを独立に推定することを試みる。

特に、その自然死亡係数の見積もりは注意深く進める必要がある。本種の未成魚・成魚段階の自然死亡係数 M は一般に年率0.3前後と見積もられているが、これは幼魚期のそれとは別のものであり、かつ、幼魚期の自然死亡係数は一般に成魚・未成

魚期のそれより大きいと考えられる。したがって本報告では、幼魚期の自然死亡係数は M' と記述し、未成魚・成魚段階の自然死亡係数 M と区別する。

本研究が最終的に目指すところは、放流群からの生涯を通じた回収(再捕)量を評価することであり、そのためには、図1に示すように、放流場である播磨灘だけでなく、それに接続する紀伊水道域での回収量、さらに播磨灘や紀伊水道での漁獲を免れて外海域に拡散した未成魚・成魚群からの回収量も推定しなければならない。そのうち、外海域からの回収量については、放流群からの加入量さえ推定できれば、未成魚・成魚についての研究蓄積が過去にあるから、その成果を活用して Y/R を推定できる見込みがある。一方、播磨灘から紀伊水道域へ逸散した幼魚群からの再捕量

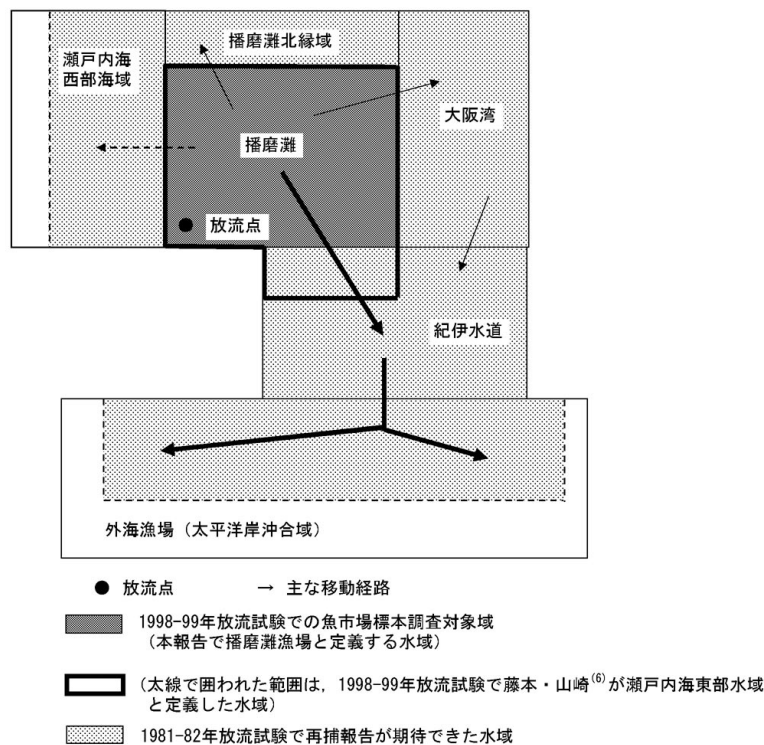


図1 放流されたブリ人工種苗の拡散・移動モデル

と、さらに紀伊水道から外海漁場への加入量を推定するためには、放流場である播磨灘から紀伊水道域への逸散（移入）量と、この水域での減耗要因に関する情報が不可欠で、何らかの方法でこれを得ておく必要がある。

紀伊水道漁場について必要とされる諸情報のなかで、放流場である播磨灘から紀伊水道への逸散効率が特に重要な役割を果たすことが予測された。過去の放流試験からは放流直後から放流水域外への活発な移動、拡散を示す資料が得られている⁽²⁻⁵⁾。放流プリの生残過程では、この逸散は自然死亡の一部ではなくて、その一部は逸散先で生き残り、やがては外海域に蓄積されて未成魚・成魚群を構成するようになる。そこで本報告では逸散係数 D を M や F とは独立したパラメータと考え、漁獲方程式を構成する要素を1個増やすことにした。

ところで、放流魚からの再捕に関する情報のなかで、著者等にとって最も信頼できるものは、藤本・山崎⁽⁶⁾が1998年から1999年にかけての放流実験から得たものである。しかし、このデータには紀伊水道域の幼魚群のダイナミクスに関する情報の手掛かりはない。これは放流魚の追跡計画、とくに予算計画から来る制約で、標本調査の対象になった魚市場は全て播磨灘水域に限られ、移動先の紀伊水道やその外海域まで放流魚の行動を追跡できなかったためである。このような情報不足を補うために、過去の情報、特に錦・三橋⁽⁴⁾、須田他⁽⁵⁾が取り組んだ1981-82年放流からの情報をできるだけ有効に利用したい。そのためには、まず過去のデータのキャラクターを理解しておく必要がある。

ここで、まず1981-82年の放流試験の特性と1998-99年のそれとを比較し、過去の放流試験から得られる知見の活用の可能性について考察する。そのあと、個々のパラメータへの取り組み方について考え方を整理する。なお、これらのパラメータの表示に用いた諸記号ならびに計算式を各々補遺1、補遺2として文末に整理した。

1-1. 既往の放流データのレビュー

図2に模式的に示すように、1981-82年の放流試験の進め方と、1998-99年のそれとの間にはいくつかの重要な相違点があり、これが得られる情報の質的な差をもたらしている。すなわち、

① 前回（81-82）試験では、放流魚の再捕情報は専ら漁業者からの再捕報告に依存していたために、Age-dependentな再捕報告率の低下があることは否めず、漁獲率は過少に、また全死亡係数は過大に評価された可能性がある⁽⁹⁾。今回の試験では、再捕に関する情報を、魚市場に配置された専門または委嘱調査員による標本調査で収集した⁽⁶⁾ので、再捕尾数の時間的変化がより正確に把握でき、全減少係数の推定値は前回よりも改善され不偏推定値に近づいたと期待される。

② 前回試験での再捕報告による情報収集は一方ではメリットをもたらした。再捕情報が放流域の播磨灘のみならず、紀伊水道をはじめとする広範な海域から寄せられた。今回試験では情報収集が調査員の配置された魚市場に限られ、再捕情報もほとんど播磨灘漁場からのものに限られた。もともと逸散係数の推定には逸散先の海域における再捕情報が不可欠である。したがって逸散係数の推定では、前回試験で得られたデータを何らかの形で用いざるを得ない。また、この種のデータに加えて、1981年および82年の8月下旬から9月上旬にかけて日裁協と徳島

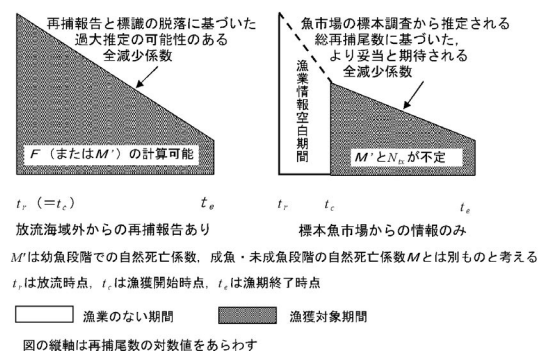


図2 1981-82試験放流と1998-99試験放流の特性の比較

県、和歌山県の共同調査^(10,11)として、紀伊水道で行われた放流試験は、この海域の漁獲率について情報をもたらし、両海域間での魚群量比較の手掛かりとなった。

③ 前回試験では通常種苗を使用し、放流時期が8月末ないし9月初旬となったため、放流魚は放流直後から漁獲の対象になった。そして、放流尾数を減耗過程の初期尾数として、漁獲方程式を用いた自然死亡係数の計算は可能であった。ただし、この場合でも、自然死亡のなかに、当然、放流直後の播種減耗が含まれる可能性があり、これを分離して評価できないという問題は残る(Ⅳ. 総合評価 2, (1), 3の項で言及する)。これに対して、今回の試験では放流と漁獲開始の間には約1カ月の隔りがある。漁獲死亡を含む減少過程の起点が放流時点と一致しなかったために、漁獲開始時点における資源尾数が決定できず、自然死亡係数の想定値が与えられない限り播磨灘漁期の初期尾数は計算できないことになった。その結果、今回の放流試験では、幼魚期の自然死亡係数を想定するための工夫が新たに必要となった。

④ 前回試験ではダート型の外部装着標識を用いたので、標識の脱落、埋没等による見かけ上の自然死亡があった。今回の試験では体表に付した焼印を標識としたが、これは少なくとも放流後1カ年間は確認可能^⑧であること、さらに焼印を調査員が確認するという方式を採ったので、標識の脱落や埋没によるこの種の減耗は非常に少ないと判断される。そのうえ前回試験では、①でも述べたように、漁獲死亡が過少に評価される可能性があったこと、③で述べたように、自然死亡係数の推定値には播種減耗が含まれていること等をも考慮すると、前回と今回の放流試験の間で、減耗要因、とくに自然死亡係数の構成と大きさが異なり、データの互換性は十分に満たされていないと判断された。

以上が我々にとって利用可能な過去の試験放流データの特性である。そして、1981-82年の

放流試験のデータを、そのまま1998-99年放流試験の解析に導入することは避け、バイアスを含んだデータの扱い方を工夫する必要があることが示唆された。

1-2. 放流群の減耗要因と、個々の要因の評価法

今回の放流結果の分析で最初に関心が持たれるのは、放流場である播磨灘漁場での再捕尾数 C がどのような形の漁獲方程式で評価できるかということである。後述するように、[式3]の漁獲方程式で再捕尾数が評価できるという見通しを得たので、次に漁獲方程式[式3]を構成する独立変量として、播磨灘漁期始め(8月1日)の資源尾数 $N_{8/1}$ 、全減少係数 Z 、漁場外への逸散係数 D 、幼魚期の自然死亡係数 M の4者を設定した(なお、 F は Z に含まれるので、上記4変量が決まれば自動的に決まる)。

これら4要素のうち、漁場外への逸散係数 D と、幼魚期の自然死亡係数 M については注意深く扱う必要のあることはすでに述べたとおりである。

漁獲方程式に含まれる減耗要因の再評価は、以下の順序で進めた。(1)まず、1998年から99年の放流試験の際に、標本魚市場調査で推定された月別漁獲尾数(対数値)(藤本・山崎^⑥)が直線的に減少することを手掛かりに、全減少係数 Z を推定する。(2)次に、全減少係数のなかで最も大きい割合を占めると目される逸散係数 D を漁獲方程式によらずに、1981年から82年の放流試験のデータを活用しながら、放流域と逸散域の間で観測される放流魚の現存尾数のバランスを手掛かりに独立に推定する。(3)幼魚期の自然死亡係数 M と漁期始めの資源尾数 $N_{8/1}$ については、先述したように放流時点 t_r と漁獲開始時点 t_c の間に約1カ月のギャップがあって今回の放流試験のデータからは直接推定できない。両者は、今回(1998年から99年)の放流試験で測定値の得られた C 、 Z と前述の D の推定値を漁獲方程式に入れて導かれる関係式(後述の実験式2)のなかで不定となる。ここで

は、どちらか一方が決定されれば、この関係式を通して他方も決まる。本報告では両者の最大、最小値をやや先験的に想定し、両者に挟まれた領域を $N_{8/1}$ と M' の出現域と想定した。

別に紀伊水道域への放流魚の蓄積量や、この海域での漁獲量を推定するために、この海域の減耗係数 $Z^{(K)}$ あるいは $F^{(K)}$ を独立のパラメータとして推定する必要がある。先述したように、1998-99年の放流試験では播磨灘の外側水域からは放流魚の動向についての情報を得ていないので、1981-82年放流試験で得た情報を活用したい。しかし、このデータと今回のデータの間には互換性が十分でないという問題が存在する。そこで、1981-82年放流で得られた減耗パラメータの推定値をそのまま用いるのではなく、このときの播磨灘の全減少係数 $Z_{(81-82)}$ が過大に評価されていることを前提に、その過大評価率を $Z_{(81-82)}/Z$ と仮定し、この値を媒介値として1998-99年放流における紀伊水道域のパラメータを推定する。(詳細については〔補遺-2〕の(2)を参照)。

以下、各減耗要因ごとに推定の手法上の留意点を述べる。

(1) 全減少係数の推定手順

この計算に用いるデータは、藤本・山崎⁽⁶⁾が播磨灘水域の主要な魚市場から収集した10日毎の放流魚の水揚げ尾数を、30日毎に再集計したものである。水揚げ尾数の対数値が時間とともに直線的に減少することに着眼して、〔式3〕の漁獲方程式が成立すると判断した。そして、まず最小二乗法で求めた回帰係数から月当たり全減少率を推定する。これは全減少係数 Z であり、 Z の構成要因は以下のように考える。

$$Z = F + M' + D$$

さきにも指摘したように幼魚期の資源変動のパラメータは発育段階の進行とともに急速に変化してゆくと考えられている。したがって、漁場、漁期、すなわち播磨灘漁場の範囲(図1、濃い陰影を施した水域)とその漁獲開始時点と終了時点(図

2、 t_c と t_e)の設定の仕方には十分留意しないと、漁獲に関する統計量の均質性が損なわれる可能性がある。

放流後1カ月間は、放流魚は未だ商品サイズには達せず、一部が小型定置網で漁獲されるものの、漁獲物としては魚市場には揚がらない。放流魚が商品として魚市場に水揚げされるようになるのは8月に入ってからである。したがって、ここで推定される全減少係数は、放流直後からのものではなく、放流から1カ月を経た8月初め(t_c)から放流年の年末(t_e)までのものである。なお、藤本・山崎⁽⁶⁾に示された瀬戸内海東部海域からの漁獲量には、播磨灘に隣接した紀伊水道域からのものが一部含まれている(図1、太線で囲まれた水域)ので、本報告ではこの分を除外した。また、同報告では小型定置網による8月漁獲分は全て商品価値を持たないものとして扱われているが、本報告では、そのうち商品サイズに到達したものの尾数を再評価し漁獲尾数に計上した。本章の2.表1には、これ等の修正値が示されている。

(2) 逸散係数の推定法

放流直後から放流群の一部は、今回設けられた調査網の外側に位置する播磨灘北縁域や大阪湾へも拡散^(2-5,7)する。とくに顕著なのは秋期以降、播磨灘から離脱して紀伊水道域へと南下移動するものである^(4,5)。別に備讃瀬戸を越えて瀬戸内海西部海域に移動するものもあるが、その量は少なく⁽⁴⁾、ここでは無視する。ここでは、備讃瀬戸以東のブリは、同以西のブリとは独立性の強い地域群を構成するという作業仮設^(1,4)を採る。図1は、この間の放流ブリの移動拡散に関する著者等の作業モデルである。なお、播磨灘北縁域や大阪湾へ逸散した個体群も最終的には紀伊水道域を経て、外海漁場へ移動するものと見られている。

前述したように、逸散係数推定の手掛かりは、今回の放流試験の結果のなかにはなく、前回試験で得られた資料のなかにある。したがって、前回(1981-82年)の試験結果を活用することになるが、

前回試験での放流群ごとの再捕データを見ると、放流後間もなく、放流海域である播磨灘のみならず、紀伊水道域からも再捕が始まる。ここで著者等は、放流域である播磨灘に残存する放流魚の数と、同じ時期に逸散先である紀伊水道域に蓄積される放流魚の数が等しくなる時期を探ることが逸散係数推定の手掛かりになると考えた。我々が実際に利用できる再捕情報は、播磨灘と逸散先である紀伊水道域からの10日毎の再捕尾数（須田他⁽⁵⁾1985）である。放流域に残存する放流個体数と逸散域に蓄積される放流個体数が等しくなる時期を推定するためには、10日毎の再捕尾数を資源尾数またはその指数に転換したい。そのためには、両海域それぞれの漁獲率、あるいはその相対的な大きさが計算できるデータがあればよい。ちょうど播磨灘放流が行われたその時期に、比較のために、紀伊水道域への直接放流が和歌山県と徳島県によって行われていて、この試験放流群からのデータ^(10,11)を用いることによって両海域の漁獲率の比較が可能になる。

こうして、播磨灘側での放流魚の残存数と紀伊水道側での放流魚の蓄積数が等しくなる時点 t_x が推定できると、 t_r を放流時点として、以下の関係式が成り立つ。

$$\begin{aligned} & \exp\{-Z(t_x - t_r)\} \\ &= \int_{t_r}^{t_x} D \cdot \exp\{-Z(t - t_r)\} \cdot \exp\{-Z^{(K)}(t_x - t)\} dt \end{aligned} \quad \text{〔式1〕}$$

ここで Z は放流水域である播磨灘の、 $Z^{(K)}$ は逸散域である紀伊水道域での全減少係数である。この式の左辺は、時点 t_x における播磨灘水域での放流魚の残存数である。右辺の $D \cdot \exp\{-Z(t - t_r)\}$ の部分は時点 t において播磨灘から紀伊水道へ逸散する放流魚の割合であり、 $\exp\{-Z^{(K)}(t_x - t)\}$ の部分は時点 t において紀伊水道へ移入してきた魚群の時点 t_x までの生残率である。したがって、 $D \cdot \exp\{-Z(t - t_r)\}$ と $\exp\{-Z^{(K)}(t_x - t)\}$ との積、すなわち上式の右辺は、時点 t において播磨灘から紀伊水道へ移動してきた魚群からの時点 t_x にお

る蓄積量である。

この式を解けば逸散係数 D が求まるはずであるが、今回（1998-99年）の試験では標本調査網の外側にあった紀伊水道域の全減少係数については推定値が得られていない。そこで、データの互換性が十分でないことを前提としつつ前回（1981-82年）の放流試験で得た推定値 $Z^{(K)}$ を活用することになる。ただし、この推定値をそのまま用いるのではなく、1981-82年の放流試験の際に得た播磨灘漁場の全減少係数の推定値と、今回の放流試験でのそれとの比： $Z/Z_{(81-82)}$ を媒介にして、

$$Z^{(K)} = Z_{(81-82)}^{(K)} \cdot Z/Z_{(81-82)} \quad \text{〔式2〕}$$

としてを推定する（補遺-2, (2)参照）。

なお、〔式1〕と〔式2〕の Z はこの段階では既知数である。

(3) 自然死亡係数 M （成魚・未成魚段階）と M' （幼魚段階）の設定

1) 成魚・未成魚段階の自然死亡係数 M についての考え方.

「我が国周辺水域の漁業資源評価⁽¹³⁾」では、田中⁽¹²⁾をも参照しながら、 $M=0.3$ （年率）という数値が使われていて、本研究でもこれにならうことにする。

2) 幼魚段階（0.3-0.8歳）の自然死亡係数 M' についての考え方.

前々項(1) 全減少係数の推定手順で述べたように、漁獲方程式〔式3〕（補遺-2, (3)）が成り立つことを前提として、そして幼魚期の自然死亡係数 M' を〔式3〕を構成するパラメータの1つとして、その推定作業を進める。この前提のもとでは、 M' は放流魚の漁獲開始時点である8月初頭から放流年の年末までの間は一定で、この間の平均自然死亡係数と定義される。

上記の前提とは別に、幼魚段階の各時点 t における自然死亡率 M'_t は、漁獲開始時点以降、時間の経過とともに逐次減少して、放流年の年末には、成魚・未成魚段階の自然死亡係数 $M=0.3$ （年率）に近づいてゆくという考え方をとることもでき

る。本報告では漁獲尾数の対数値の時間的な変化が直線回帰することをより重くみてこの考え方は採らないが、その可能性を全く否定することはできないように思われる。また、本章の冒頭で述べたように、未成魚・成魚段階での自然死亡係数： M の値をそのまま幼魚段階の放流群の自然死亡係数 M に適用することは避け、可能な限り放流データに基づいて、 M とは独立に M を推定することを試みる。

しかしながら現状では、 M の値を漁獲方程式を用いずに独立に探索できる生物学的な手掛かりはほとんど見当たらない。一方、漁獲方程式（補遺-2, [式3]）を構成する変量のうち、 C と Z （前々項(1)）および D （前項2）は既知だから、漁期初めの資源尾数 $N_{8/1}$ がわかれば M が推定できるはずである。したがって、放流時点 t_r と漁獲開始時点 t_c が一致している場合には、放流尾数を漁獲開始点の資源尾数 $N_{8/1}$ と見なせるから、 M は推定できることになる。

しかし、今回の放流試験では種苗放流時点と漁獲開始時点の間には1カ月間の隔りがあり、この間の漁獲情報が欠如して漁獲開始時点における資源尾数 $N_{8/1}$ は不明である。この場合には、 M の値も決まらない。ただし、何らかの方法で $N_{8/1}$ か、あるいは M' （または F ）の何れか一方を与えることができれば、漁獲方程式を用いて他方の値を決めることができる。

[式3]に含まれるパラメータのうち Z 、 D と C は既知数であるから、[式3]を変形して $N_{8/1}$ と M の直接的な関係を示す実験式（後述の実験式(2)）を求めることができる。ところで、この実験式を与えただけでは $N_{8/1}$ と M は不定のままである。ここではどちらか一方のとり得る最大値と最小値を想定し、この2つの想定値に挟まれた領域で放流効果を推定するという手順をとる。最小想定値、最大想定値をどのように設定するかが次の問題であるが、その準備として、まず、この実験式のなかで $N_{8/1}$ と M がとる挙動を明らかにするとともに、その一方で既往の資料のなかから最大、

最小想定値の手掛かりを探ることになる。

(4) 漁獲係数 F 、漁獲率 E および漁期始めの加入尾数 $N_{8/1}$ の決定

漁獲係数 F は、 $F=Z-D-M'$ として与えられる。 Z と D は既知だから、 M' が与えられれば F の値は一義的に決まる。 F が与えられれば、時点 t までの漁獲率 E は、

$$E = (F/Z) [1 - \exp \{-Z \cdot (t - t_c)\}]$$

として与えられる。

M' が決まれば、 $N_{8/1}$ の値も前項(3)で述べたように後述の実験式(2)を用いて決めることができる。

(5) 紀伊水道域における諸パラメータの推定

紀伊水道漁場における全減少係数を $Z^{(K)}$ 、漁獲係数を $F^{(K)}$ 、漁獲率を $E^{(K)}$ で表す。ここで、自然死亡係数 M は播磨灘、紀伊水道両水域に共通と考える。

M 以外のこの水域の各パラメータ推定は過去のデータ、とくに1981-82年放流のデータによらざるを得ない。須田他⁽⁵⁾は、1981-82年の播磨灘での放流試験の再捕記録を分析して、播磨灘水域と紀伊水道域の全減少係数、漁獲係数をそれぞれ計算している。別に紀伊水道域に直接放流された群からの再捕記録も分析して同様に推定値を得ている。しかし、1981-82年試験放流と1998-99年試験放流の間には、種々の原因に基づく減少率の差があって、データ間の互換性が十分に満たされていない。そこで、(2) 逸散係数の推定法の項で述べたように、全減少係数 $Z^{(K)}$ の推定に当たっては1981-82年の紀伊水道での全減少係数の推定値をそのまま用いることはせず、[式2]を用いて推定する。 $Z^{(K)}$ が推定されれば、漁獲係数 $F^{(K)}$ は、

$$F^{(K)} = Z^{(K)} - M'$$

として計算される。なお、この M' は後述の実験式2から導かれるので、 $F^{(K)}$ は播磨灘における $N_{8/1}$ の想定値が異なるたびに、それに連動して逐次異なった値をとる。全減少係数 $Z^{(K)}$ の値は[式2]で導かれた値に固定されるが、その内訳は播磨灘

水域への加入尾数 $N_{8,1}$ をいかに想定するかによって変化することになる。

2. 放流群の減耗に関わる諸要因の評価結果

(1) 全減少係数：Z

表1は、1998年から99年にかけて瀬戸内海東部海域で行われたブリ早期種苗の放流試験（藤本・山崎⁶⁾）の際に得られた再捕尾数のデータを30日毎にまとめ直したものである。この表の「期間番号：x」は8月1日から始まる30日毎の単位期間に与えたもので、与えられた番号は実質的には月の標示に当たると考えてよい。

各月（期間）の再捕尾数 C_x が〔式3〕の漁獲方程式に従うなら、その対数値は期間番号とともに直線的に減少し、その直線の回帰係数（勾配）は全減少係数に相当する。ここで、月別再捕尾数の対数値の期間番号に対する回帰係数を、年別に、最小二乗法で求めた。両年の回帰式は、それぞれ

$$1998年：\ln C_x = 13.203 - 0.577x$$

$$1999年：\ln C_x = 14.137 - 0.687x$$

で表される（図3）。期間番号と再捕尾数の対数値の間の相関係数はそれぞれ0.8944 ($R^2 = 0.80$)、0.8062 ($R^2 = 0.65$)で、再捕尾数（対数値）の分散のほぼ2/3、または、それ以上を線形回帰する部分として説明することができる。そして、このような回帰関係の存在は、月別再捕尾数がほぼ〔式3〕の漁獲方程式にしたがっていることを示唆している。

分散分析の結果では、両年の回帰線の間で、回帰からの残差の分散、回帰線の傾き、高さ（修正平均値）のいずれについても有意な差は認められなかった。そこで、両年に共通の回帰関係を想定し、両年のデータを合わせて回帰式を計算し直した。両年に共通の回帰式は、

$$\ln C_x = 13.663 - 0.6315x \quad \text{〔実験式1〕}$$

である。この場合、漁獲月（期間番号）と漁獲尾数（対数値）の間の相関係数は、

$$r = 0.8354 \quad (R^2 = 0.6979)$$

表1 播磨灘漁場における放流魚の期間別再捕、水揚尾数（標本魚市場水揚尾数）

(1) 期間別（月別）の再捕尾数

	8/1 ~8/30	8/31 ~9/29	9/30 ~10/29	10/30 ~11/28	11/29 ~12/28	
期間番号(x)	8	9	10	11	12	合計
1998放流群	6,069	2,953	957	1,860	427	12,266
1999放流群	2,182	6,277	2,471	1,026	174	12,130
合計						24,396

* 藤本・山崎が推定した瀬戸内海東部海域からの再捕尾数のうち、
 ①新鳴門、福良、南淡漁協での水揚物のすべて
 ②10月以降の堂ノ浦、11月以降の鳴門町、新鳴門漁協での水揚物は紀伊水道漁場での漁獲物とみなすこととし、本表には計上していない。
 一方、8月に小型定置網で漁獲され、市場へ出荷されなかった小型群のうち、商品体長に達したと推定される個体数は、同月の水揚尾数に計上した。

(2) 同上自然対数値

期間番号(x)	8	9	10	11	12	合計
1998放流群	8.71	7.99	6.86	7.53	6.06	37.15
1999放流群	7.69	8.74	7.81	6.93	5.16	36.34

であった。

この実験式から、月当たり全減少係数 (Z) は、 $Z=0.632$ と推定される ($P<0.01$)。この値は年当たり7.578に相当する。

播磨灘漁場の漁期は8月初頭から12月末までの5カ月間であるから、放流年末までの生残率は $\exp(-5 \times 0.632) = 0.0424$ と極めて低い計算になる。現場の漁業者の経験や、今日まで繰り返し実施されてきた試験放流の結果^(3,4)からも、放流年の年末には放流魚は放流水域にはほとんど留まっていなと見られることから、この全減少係数の値は受け入れられるものである。それでも、この全減少率の値は「通常種苗」を用いて行った前回の1981年から82年の放流実験の結果(月当たり1.131, 日率で0.0377)(須田他⁽⁵⁾)に較べると明らかに小さい。前回の実験では、再捕情報の収集を再捕報告によったために、長期再捕数が過少評価になったと考えられるうえに、外部標識の脱落、埋没等があつて、全減少係数が見かけ上大きく評価された⁽⁹⁾と考えられる。

(2) 逸散係数 : D

D の計算に入るまえに、[式1]に含まれる t_x と $Z^{(K)}$ を決めておく必要がある。しかし、 $1 - 1$,

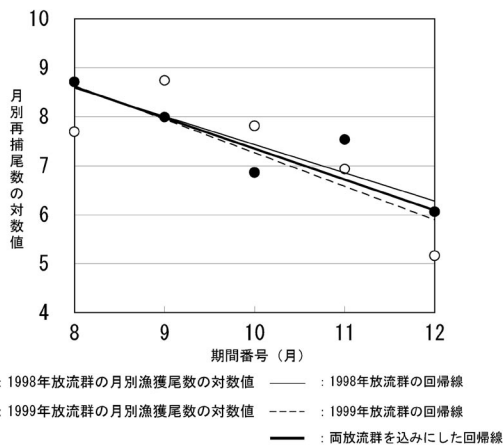


図3 播磨灘漁場における再捕尾数(対数値)の時間的(月)変化と回帰直線

既往の放流データのレビューの項で述べたように、逸散係数 D の推定に必要なこれらのデータは今回の放流試験からは得られない。そこで、1981-82年の放流試験の際に得られた放流水域外での再捕情報をてがかりに、まず t_x についての情報を整理する。

図4は須田・他⁽⁵⁾からの引用で、1982年の2つの放流事例からの再捕尾数を、播磨灘での再捕分と紀伊水道でのそれに分けて10日毎に示したものである。漁獲尾数の比較にあつて、播磨灘と紀伊水道の漁獲率の比が4.65ないし9.29(再捕報告率をそれぞれ0.5と、0.25に想定した場合に対応する値)とみなされることから、この図では、紀伊水道からの漁獲尾数を播磨灘からの漁獲尾数の4ないし9倍のスケールで目盛って相対資源尾数が比較できるようにしてある。この図に見られるように、放流魚は、放流直後から、放流域である播磨灘のみならず、紀伊水道域でも再捕されるようになる。ここで、放流年内のある時点における播磨灘の相対資源尾数を、同じ時点 t での紀伊水道域からのそれと比較してみる。

この図で示唆されるように、これら2つの放流事例で、両海域の相対資源尾数がほぼ同じになるのは、播磨灘からの再捕尾数(播磨灘の魚群量指数)を示す実線と、紀伊水道からのそれを示す網目帯とが交差する時点、すなわち放流後40日前後の時点(図中破線の位置)である。換言すれば、9月上旬(実質的には9月1日から10日の間)の放流事例では、 t_x は10月中のどこかに位置している。もう少し詳しくみると、 t_x は、No.1-4放流群で放流から約40日前後の10月10日前後、したがって $(t_x - t_r) = 1.3$ (ヶ月)、そして $t_r = 9.0$ だから $t_x = 10.3$ (月単位)と見なされる。また、同じくNo.5放流群でも、 t_x は放流後40日目辺りにあつて、 $(t_x - t_r) = 1.3$ (ヶ月)、そして $t_r = 9.3$ だから $t_x = 10.7$ と判断される。

t_x については、なお、追加的な考察が必要である。錦・三橋⁽⁴⁾によると、9月下旬以降、瀬戸内海は水温下降期に入るが、水温下降期に放流され

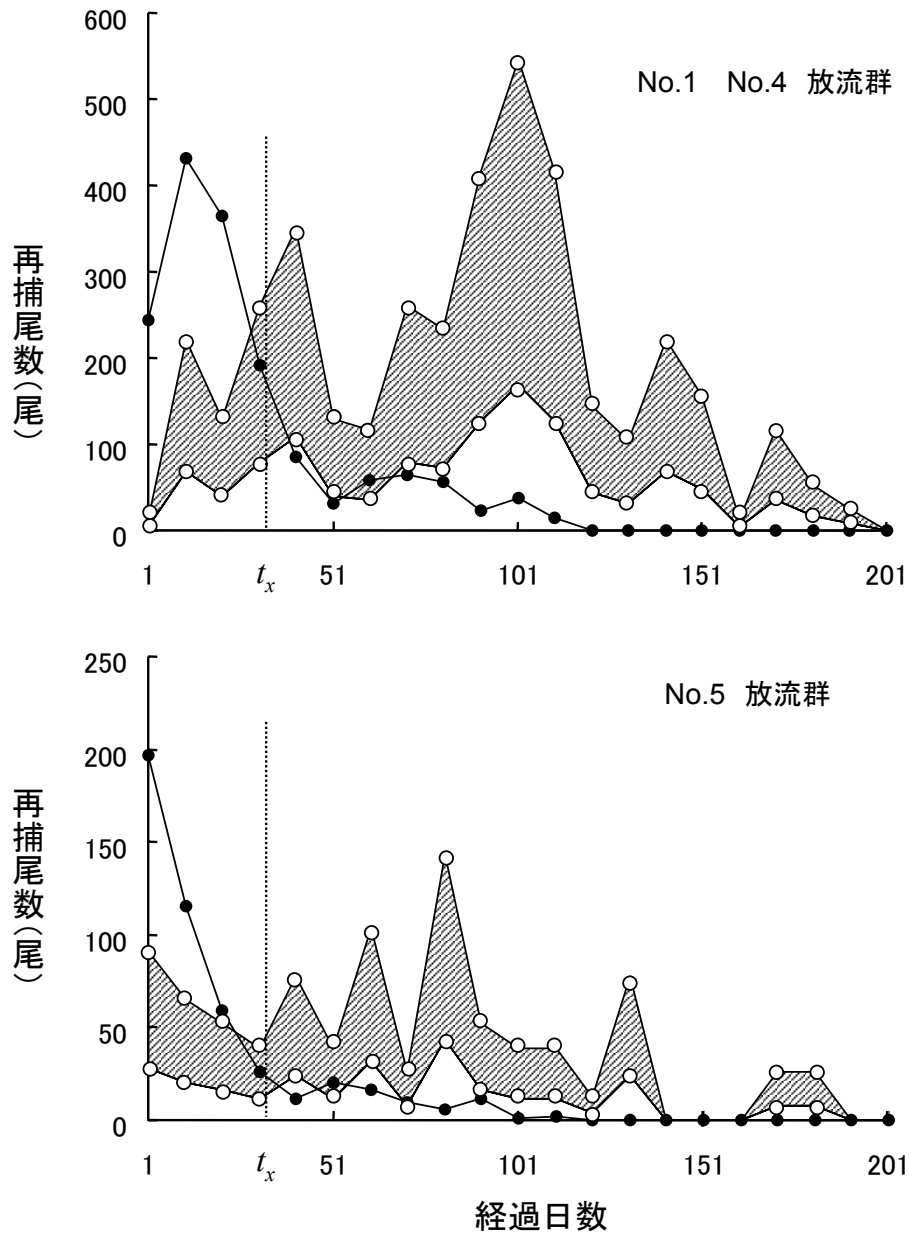


図4 1982年放流群からの放流後200日目までの水域別, 時期別再捕尾数の10日毎の変化 (須田・他⁽⁵⁾の図1を引用)

上段:1982年No.1 No.4放流群:8月中旬から9月1日の間に放流
(実質的には9月1日放流とみなす) $t_r=9$ $t_x=10.3$

下段:同年No.5放流群:9月10日に放流 $t_r=9.3$ $t_x=10.8$

●は播磨灘, ○は紀伊水道からの再捕尾数
紀伊水道の2本の再捕尾数曲線のうち, 下側曲線は播磨灘の4倍,
上側曲線は9倍のスケールで描いてある

図中, 破線の位置は播磨灘漁場の残留群と紀伊水道への逸散群の量とが
ほぼバランスする時点(t_x)を示す

た魚群は、その放流時期が遅いほど、より速やかに南下、逸散する傾向がある。換言すると、水温の下降とともに南下回遊に向けての生理的要求が高まり、晩期放流群では逸散率が高くなる可能性がある。同時に、錦・三橋⁴⁾のデータでは、高水温期の8月放流群でも活発な逸散は認められている。ブリのように成長速度が大きく摂餌要求の強い魚種では、放流直後の密集状態を和らげるための拡散が必然的に要求されるのであろう。結局、本種では放流水域から逸散しようとする生理的要求が絶えず働いていて、常に活発な逸散行動が見られる。そして、放流時期が遅れる程南下刺激が強くなって、放流時点 t_r と t_x の間隔 $(t_x - t_r)$ は小さくなるであろう。逆に、放流時点が早まると $t_x - t_r$ が大きくなると考えられる。以上は、天然群では観察されない放流群に内在する特異的な挙動といえよう。

1998年から99年試験での早期種苗の放流時期は7月初旬であるが、播磨灘漁場の漁期始めが8月1日、そして各減耗パラメータの適用範囲も8月1日から放流年末までの間としているので、早期放流群の放流尾数を8月1日の生残量 $N_{8,1}$ に読み替え、 t_x 計算の起点も8月1日とする。早期放流群の t_x は、9月上旬の放流群のそれより早い時期、したがって少なくとも10月10日より前であると予想される。一方、早期放流群の $(t_x - t_r)$ と9月上旬放流群のそれとに差がなくて40日とすれば、8月1日から起算して $t_x = 9.3$ (9月10日)となる。しかし、早期放流群ほど $(t_x - t_r)$ が長くなると考えると、 t_x は9月10日より後ろにくるはずである。結局、早期放流群の t_x は9月10日と10月10日の間のどこかにくると思われる。ここでは t_x を9月10日と10月10日の中間点にとることとし、 $t_x = 9.8$ (9月25日)とおく。

さて、時点 t_x において、播磨灘の魚群量と、紀伊水道側の魚群量がバランスする条件は以下の〔式1〕で表されるが、計算をやりやすくするために、この式を〔式1'〕の形に書き換えた。

$$\begin{aligned} & \exp\{-Z(t_x - t_r)\} \\ &= \int_{t_r}^{t_x} D \cdot \exp\{-Z(t - t_r)\} \cdot \exp\{-Z^{(K)}(t_x - t)\} dt \\ &= D \cdot \frac{\exp(Zt_r - Z^{(K)}t_x)}{-(Z - Z^{(K)})} \left[\exp\{-(Z - Z^{(K)})t\} \right]_{t_r}^{t_x} \end{aligned} \quad \text{〔式1'〕}$$

次に必要なのが両海域の全減少係数 $(Z$ と $Z^{(K)})$ のデータである。しかし、今回の放流試験では、放流水域の外側水域の再捕状況については直接に情報を得ていないので、〔式1'〕の $Z^{(K)}$ が未知数で、このままではこの式は解けない。そこで、データの互換性が完全でないことを前提としながら、須田・他⁵⁾が前回の放流試験で得た播磨灘の全減少係数の推定値1.131と、今回の放流試験で得た推定値0.632との比0.559を媒介数とし、須田・他が前回の放流試験で得た紀伊水道域での全減少係数の推定値0.338を用いて〔式2〕によって間接的に $Z^{(K)}$ を推定した。

$$\begin{aligned} Z^{(K)} &= Z^{(K)}_{(81-82)} \cdot Z / Z_{(81-82)} \quad \text{〔式2〕} \\ &= 0.338 \times 0.559 \\ &= 0.190 \end{aligned}$$

以降、本報告では $Z^{(K)}$ の値を0.190に固定する。

ここで、 $Z = 0.632$ 、 $Z^{(K)} = 0.190$ 、 $t_r = 8$ 、 $t_x = 9.8$ として、〔式1'〕を解くと、 $D = 0.363$ を得る。

本報告では、この値：0.363を逸散係数 D の近似値として用いる。 $Z = 0.632$ であるから逸散係数 D は全減少の57%を占め、播磨灘での放流魚の減少要因のなかでは最大のものとなる。

〔式1'〕を構成する独立変量は Z 、 $Z^{(K)}$ と t_x の3者であるが、このうち Z の精度はすでに触れたようにならかなり高いと考えられる。 $Z^{(K)}$ は、1981-82年放流の際に得られた播磨灘の全減少係数と今回のそれとの比を媒介数として推定したもので、 D の不偏性を損なう可能性は否定できない。 t_x については、放流から t_x までの経過時間 $(t_x - t_r)$ が、放流から放流年末までの期間($N_{8,1}$ 群の場合、5カ月)に較べて短いことが注目される。これは、 $Z = 0.632$ (月率)のもとでは放流後1カ月毎の播磨灘での残存率は、 $0.53 \rightarrow 0.28 \rightarrow 0.15 \rightarrow 0.08$ と急

図5は、〔式3〕に、実際に播磨灘漁場で得られたデータ： $Z=0.632$, $C=12,198$ （1998年と99年の平均漁獲尾数）と逸散係数についての推定値： $D=0.363$ を与えて得た $N_{8/1}$ と M' の関係式：

$$N_{8/1}=8,050/(0.269-M') \quad \text{〔実験式2〕}$$

ただし、 $150,000 \geq N_{8/1}$, $M' \geq 0$

を図示したものである。ここで実験式2の導関数を求めると、

$$dN_{8/1}/dM'=8,050/(0.269-M')^2 > 0$$

となり、この関数は $M'=0$ で増加の状態にある。したがって、 $N_{8/1}$ か M' のいずれか一方が増加すれば他方も増加する。その結果、両者のいずれか一方の極限值が想定できるなら、同時に他方の極限值も想定できる。

実験式2を書きなおすと、

$$M'=0.269-8,050/N_{8/1} \quad \text{〔実験式2'〕}$$

ただし、 $150,000 \geq N_{8/1}$, $M' \geq 0$

ここで M' のとり得る最大値は、漁期始めの資源尾数 $N_{8/1}$ の最大値に対応する値である。 $N_{8/1}$ について考え得る最大値として、放流尾数150,000尾が全く減耗しないで播磨灘漁場に参加したと仮定し、150,000尾をそのまま実験式2'に入れて計算すると、 $M'=0.215$ を得る。 M' のとり得る最小値はもちろん0で、このときの $N_{8/1}$ の値は29,926尾と計算される。そして、 M' は0.215と0の間で、また $N_{8/1}$ は150,000と29,926の間で種々の値をとることができる。

しかし、放流効果についての推論の中をなるべく小さくするために、ここで M' の想定中をできるだけ狭くしておきたい。そのために漁業生物学的な知見をもっと活用したい。まず、 $N_{8/1}$ のとり得る最大値を再想定してみよう。放流直後には、種苗の取り扱い技術の未熟さ、棲息環境の急変、食害、放流現場での高い魚群密度に起因する逸散等によって個体数は急速に減少し、かつ、その間の減少率はそれに続く安定期（ここでは、播磨灘漁期をこのように見なす）でのそれに較べて、少なくとも同等か、多分それよりは大きいと考えられている。このような放流直後に想定される減少

係数、すなわち播種減耗係数($Z^{(R)}$ と表示する)は、播磨灘漁期の全減少係数と少なくとも同等の大きさか、それよりも大きいと考える。 $Z^{(R)} \geq Z$ ということである。この考えの方が、放流尾数が全く減耗しないという考え方よりも現実性がある。とすると、放流からほぼ1カ月を経た時点での放流資源尾数、すなわち播磨灘漁期の初期資源尾数 $N_{8/1}$ の最大想定値は、

$$150,000 \times \exp(-Z) = 150,000 \times \exp(-0.632) \\ = 79,703$$

と計算（図5のA点）される。また、この $N_{8/1}$ に対応する M' の値は実験式2、または2'から0.168（図5のa点）と計算できる。この値が M' について漁業生物学的により現実性のある最大想定値である。

M' について想定できる漁業生物学的により現実的な最小値（図5の点線b）は、もちろん成魚・未成魚段階の自然死亡係数 M （年率で0.3、月率で0.025、図5の点b）である。また $M'=0.025$ に対応する $N_{8/1}$ の値は32,992尾である。

このように、より現実的に設定されたブリの幼魚期の自然死亡係数 M' でも、0.025から0.168に至る広範な値をとっている。この場合、 M' の最大想定値は未成魚・成魚時代の自然死亡係数 $M=0.025$ （年率では0.3）の6.7倍に当たる。 M' の想定中が広いので、できればこれをさらに狭めて生涯を通じて期待できる漁獲量を推定したいが、そのための判断の手掛かりとなる生物学的な情報は得られていない。現状では、この中のみで放流効果の検討を進めざるを得ない。

(4) 漁獲死亡係数 F 、漁獲率 E および漁期始めの加入尾数 $N_{8/1}$ の決定

$Z=D+M'+F$ を変形して $F=(Z-D)-M'$ を得る。

ここで、 Z と D は既知で、 $Z=0.632$, $D=0.363$ だから、

$$F=0.269-M'$$

したがって、上式に逐次 M' を与えてゆけば、それ

に対応する F が得られる。 M' を最小想定値の0.025とした場合、 F は0.244、 M' を最大想定値の0.168としたときの F は0.101である。

F が与えられれば、月当たりの漁獲率 E は、 $F/Z \cdot \{1 - \exp(-Z)\}$ で与えられる。

また、 M が決まれば、 $N_{8/1}$ は

$$[\text{実験式2}] : N_{8/1} = 8,050 / (0.269 - M')$$

を用いて計算できる。

ただし、 M' や $N_{8/1}$ 、あるいは F の各パラメータの何れか1つについての想定が変化すれば、これらのパラメータは実験式(2)または(2')を通して互いに規制しあっているから、放流個体群の減少過程に複雑な変化が起きる。このような漁獲方程式を構成する個々の要因の変化によって生ずる減少機構の変化についての理解を助けるために表2を作成した。この表の作成にあたっては、まず実験式2(または2')に、逐次0.025間隔で増大する M' 値を与え、それに対応する $N_{8/1}$ の値を計算する。 F は $(0.269 - M')$ として求める。播種減耗期の生残率は $N_{8/1} / 150,000$ として計算し、その対数値を播種減耗係数 $Z^{(R)}$ とした。月当たり漁獲率は $F/Z \cdot \{1 - \exp(-Z)\}$ として計算した。この表には、 $150,000 \geq N_{8/1} \geq 29,926$ 、 $0.215 \geq M' \geq 0$

表2 播磨灘漁場の自然死亡係数 M' の想定値の変化にともなう加入尾数 $N_{8/1}$ 、漁獲死亡係数 F 、漁獲率 E の変化

播種減耗係数 $Z^{(R)}$	播種期生残率	加入尾数 $N_{8/1}$	自然死亡係数 M'	漁獲死亡係数 F	月当たり漁獲率 E
1.612	0.200	29,926	0.000	0.269	0.199
1.514	0.220	32,992	0.025	0.244	0.181 *1
1.406	0.245	36,758	0.050	0.219	0.162
1.285	0.277	41,495	0.075	0.194	0.144
1.168	0.311	46,667	0.0965	0.173	0.128 *3
1.147	0.318	47,633	0.100	0.169	0.125
0.987	0.373	55,903	0.125	0.144	0.107
0.796	0.451	67,647	0.150	0.119	0.088
0.632	0.531	79,703	0.168	0.101	0.075 *2
0.561	0.571	85,638	0.175	0.094	0.070
0.251	0.778	116,667	0.200	0.069	0.051
		150,000	0.215		

全減少係数 $Z=0.632$ 、逸散係数 $D=0.363$ はそれぞれ固定

*1: M' の最小想定値(未成魚・成魚段階の年自然死亡係数 $M=0.3$ に相当)

*2: M' の最大想定値(0.168)

*3: M' の最小、最大想定値の中間値(0.0965)

の条件下で、実験式2(または2')に関わる全ての減耗要因の値が示してある。また表中の2本の点線は、漁業生物学的な情報に基づいて求めた、より現実的な M' と $N_{8/1}$ の範囲の上・下限を示す。この数値表について以下の諸点を指摘しておく。

先に述べたように、漁期始めの資源量(加入量) $N_{8/1}$ の変化と同じ方向に自然死亡係数 M' の想定値が変化する。加入量が増大すれば、これを補償するように自然死亡係数も大きく見積もられる。一方、 $F=Z-D-M'$ であり、かつ $(Z-D)$ が既に0.269として固定されているから、漁獲死亡係数 F は M' の変化とは反対の方向に変化し、さらにこれを反映する形で漁獲率 E も変化することになる。

加入尾数が6万尾あたり、換言すると播種減耗期の生残率40%あたりを境として、それよりも加入が大きい場合には漁獲死亡係数よりも自然死亡係数が、逆に小さい場合には漁獲死亡係数の方が大きく想定される。これは自然死亡係数 M' では0.125ないし0.150の水準である。

表3 紀伊水道域での各減耗係数の推定値(月率)

$Z^{(K)}=0.190$

自然死亡係数 M' は播磨灘漁場と紀伊水道漁場に共通とみなす

自然死亡係数 M'	漁獲係数 $F^{(K)}$	月当たり漁獲率 E
0.000	0.190	0.173
0.025	0.165	0.150 *1
0.050	0.140	0.127
0.075	0.115	0.105
0.0965	0.094	0.085 *3
0.100	0.090	0.082
0.125	0.065	0.059
0.150	0.040	0.036
0.168	0.022	0.020 *2
0.175	0.015	0.014
0.200	-0.010	
0.215	-0.025	

*1: M' の最小想定値

*2: M' の最大想定値

*3: M' の最小、最大想定値の中間値

(5) 紀伊水道における諸減耗要因の推定

[式2]を用いて,この海域の全減少係数 $Z^{(K)}$ を,

$$\begin{aligned} Z^{(K)} &= Z^{(K)}_{(81-82)} \cdot Z / Z_{(81-82)} && \text{〔式2〕} \\ &= 0.338 \times 0.559 \\ &= 0.190 \end{aligned}$$

と推定した。本報告では,以降,紀伊水道の全減少係数 $Z^{(K)}$ を0.190に固定する。また,自然死亡係数 M は播磨灘と本水域で共通とみなす。

以上のように $Z^{(K)}$ と M が設定されると,漁獲係数 $F^{(K)}$ は

$$F^{(K)} = Z^{(K)} - M' = 0.190 - M'$$

として与えられる。結局,播磨灘の自然死亡係数をいかに設定するかは,紀伊水道の自然死亡係数のみならず漁獲係数をも決定することになる。表3に紀伊水道での自然死亡係数と漁獲係数の相互関係を示す。本表での自然死亡係数の設定水準は,播磨灘(表2)のそれを踏襲している。本表の*1は, M の最小想定値,*2は同最大想定値,*3は中間想定値に対応する数値である。

第Ⅱ章. 放流群からの再捕（漁獲）量の評価

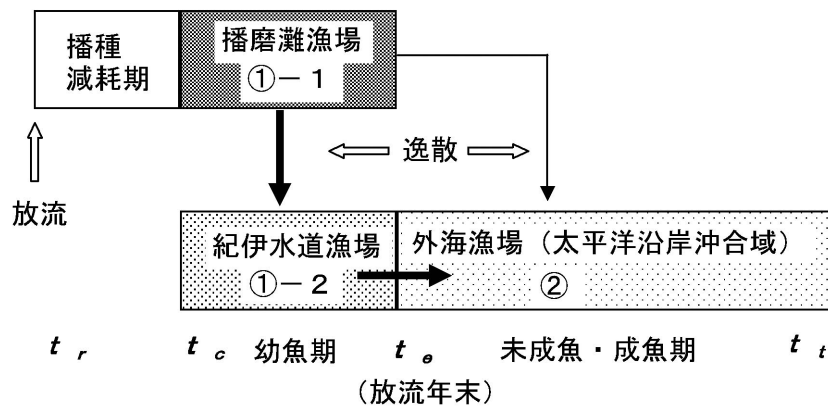
ブリの放流試験のなかで、著者等が考えている放流効果とは、放流群から期待できる再捕（漁獲）量と、それから生ずる経済的収益である。本章では前者について考察する。

1. 放流群からの再捕（漁獲）重量の評価方法

瀬戸内海東部海域に放流されたブリ幼魚がその生涯を通じて、漁獲の対象となってゆく過程を図6に模式的に示す。7月初旬に放流された幼魚群の基本的な分布域は放流域である播磨灘（図6の①-1）であるが、放流後間もなく周辺水域、特に紀伊水道（図6の①-2）への逸散が始まり、特に主逸散域である紀伊水道に蓄積される放流魚の個体数は月とともに増大する。これを紀伊水道の幼魚群、また、この水域を紀伊水道の幼魚漁場

と呼称する。放流翌年の1月1日以降においては、それまで幼魚と見なされてきた前年の放流群は、未成魚・成魚群と読み替えられる。同時に、自然死亡係数も幼魚期の M から未成魚・成魚期の M に読み替えられる。この未成魚・成魚群は、さらにその分布域を紀伊水道およびそれ以南の太平洋沿岸の外海域（外海域漁場：図6の②）に拡大する。したがって①-2の紀伊水道漁場は、放流年内中は幼魚の漁場、放流翌年以降は未成魚・成魚の外海域漁場の一部として扱われることになる。

放流群からの再捕量の推定は、以下のように漁場別に個別に行い、最後にその値を集計して「放流群からの生涯を通じた総漁獲量」とする。図6の3漁場のうち、①を与えた播磨灘漁場と紀伊水道漁場は放流年内の幼魚の漁場であり、自然死亡



t_r : 放流時点 (7/1)

t_c : 播磨灘での漁獲開始時点 (8/1)

t_o : 播磨灘漁期の終了時点
(放流年の年末に当たる。0.8歳相当の時点、
幼魚段階から未成魚・成魚段階への移行点) (1/1)

t_t : 放流魚が生涯を終える時点

図6 放流ブリを対象とする漁場の形成過程

係数 M は成魚・未成魚の自然死亡係数 M より大きいと考えられるので、放流効果の評価は②の太平洋岸沖合の外海漁場と切り離して行う。また、播磨灘漁場と紀伊水道漁場の間にも、加入、逸散、全減少係数や漁獲係数等に差があって効果の評価は、両者を切り離して個別に進めざるをえない。②の外海漁場については、著者等はブリの生態や漁獲量の決定に与えるパラメータについて直接の情報収集は行っていないが、利用可能な既往の資料¹³があるので、放流群からこの海域への加入量、換言すれば放流年末における放流群の生残量が把握できれば漁獲量の評価は可能と考えている。

結局、放流効果の評価のための主な作業は、①-1：播磨灘漁場での放流年内の再捕（漁獲）重量と放流年末における生残尾数、①-2：紀伊水道漁場へ移動してきた放流群からの放流年内での再捕（漁獲）重量と放流年末における生残尾数、および②放流翌年以降の紀伊水道を含む外海域漁場へ拡散した放流群から生涯を終わるまでの間に期待される再捕（漁獲）重量の推定に3大別される。

これらの作業に必要なデータは、それぞれの漁場への加入尾数と、減耗係数の推定値ならびに漁獲物の大きさについての生物学的情報であるが、漁場によって入手できる漁獲物の大きさに関する情報の形が異なるので、漁場ごとに再捕（漁獲）重量計算の手順が多少異なってくる。

(1) ①-1. 播磨灘漁場：

3漁場のなかでは最もデータが充実しているが、加入量 $N_{8/1}$ が特定できず、自然死亡係数 M' との組み合わせが実験式2の形で与えられている。この実験式を用いて想定可能な範囲内で計算した $N_{8/1}$ と M' の組み合わせと、そのときの漁獲係数 F の値はすでに表2に示されている。 $Z=0.632$, $D=0.363$ と固定されているから、 $N_{8/1}$, M' と F のいずれか1つが与えられれば、表2でそれに対応する $N_{8/1}$ や F の値を拾い、この値を〔式4〕あるいは〔式5〕に入れて、播磨灘漁期末の生残尾数 $N_{1/1}$ と漁獲尾数 C を計算することができる。ここ

で、放流年末の播磨灘漁場での生残尾数 $N_{1/1}$ は

$$N_{1/1} = N_{8/1} \cdot \exp(-5Z) \quad \text{〔式4〕}$$

放流年内の播磨灘漁場での漁獲尾数 C は

$$C = F/Z (N_{8/1} - N_{1/1}) \quad \text{〔式5〕}$$

ただし、表2に示された $N_{8/1}$ と F （または M' ）のどの組み合わせを選んでも、〔式5〕は常に同じ漁獲尾数（播磨灘漁場での漁獲尾数の実測値）を与えるように組み立てられている。したがって、〔式5〕を用いた漁獲尾数 C の計算を実際に行う必要はなく、藤本・山崎⁶から播磨灘漁場での漁獲尾数の実測値（本報告ではI, 1-2, (1)で説明したような小修正を行っている）を引用すればよい。そして C と「漁獲物の平均重量」の積として漁獲重量 Y が得られる。

なお、放流年末における残存尾数 $N_{1/1}$ は $N_{8/1}$ と F （または M' ）の組み合わせによって変わるので、〔式4〕で計算しておく必要がある。

(2) ①-2. 紀伊水道漁場：

放流年内における紀伊水道漁場への加入量（播磨灘からの逸散量）の計算は多少煩雑である。この水域への加入（播磨灘からの逸散、あるいは移入）は漁期の始めの集中的加入という形のものではなく、漁期中を通じて継続的に行われる。かつ、加入量は月が進むにつれて減少する一方で、加入した月によって年末までの滞在期間も変化する。当然のことながら、年末までの滞在時間が短くなると、それに応じて生残率は高くなり、逆に漁獲率は小さくなる。必要な計算は以下の3種である。

1) 全漁期を通じた加入量（播磨灘からの逸散量）

$$N_D = D/Z \cdot N_{8/1} \{1 - \exp(-5Z)\} \quad \text{〔式6〕}$$

N_D の決定に関係するパラメータは全部播磨灘漁場のものである。

2) 紀伊水道域内での放流年末までの生残尾数

$$N_{1/1}^{(K)} = N_{8/1} \int_{t=8}^{13} D \cdot \exp\{-Z(t-8)\} \cdot \exp\{-Z^{(K)}(13-t)\} dt \quad \text{〔式7〕}$$

この式は〔式1〕の t_r を $t=8$ に、また t_x を $t=13$ に置き換えたものである。 $t=13$ の意味は $t=12+1$ 、すなわち12月31日、あるいは翌年の1月1日までということである。

3) 紀伊水道域内での放流年内における漁獲尾数

$$C^{(K)} = F^{(K)} / Z^{(K)} (N_D - N_{1/1}^{(K)}) \quad \text{〔式8〕}$$

以上のような手順とデータを用いて、この水域からの漁獲尾数と、放流年末における生残尾数は推定できる。しかし、今回の試験放流では紀伊水道域からの漁獲物のサイズについて情報を得ていない。そこで、播磨灘での再捕（漁獲）物が紀伊水道のそれと同じ放流群由来であること、しかも漁期も紀伊水道とほぼ同じであることに着目して、藤本・山崎⁽⁶⁾の瀬戸内海東部海域の全漁期を通じた平均体重 \bar{W} を、そのまま放流年内における紀伊水道漁場のそれと見なすことにする。したがって、放流年内における紀伊水道内での漁獲重量は、

$$Y^{(K)} = C^{(K)} \times \bar{W}$$

で与えられる。

(3) ②. 外海域漁場

本章の(1)及び(2)で、それぞれ〔式4〕及び〔式7〕を用いて、放流年の年末、すなわち播磨灘及び紀伊水道の幼魚漁期の終点（外海漁期の始点）での残存尾数の計算法を示した。この残存尾数の合計値が太平洋・外海漁場への加入尾数に相当する。ここで、この群の Y/R についての情報があれば、放流翌年の1月1日以降、生涯を通じて期待される再捕重量の計算が可能になる。この種の情報として、「我が国周辺水域の漁業資源評価」（水産庁・水産総合研究センター（2002）⁽¹³⁾）に、太平洋系群のブリの Y/R が漁獲開始年齢が0歳と1歳の場合について示されているので、これを用いて外海漁期の始点における Y/R を近似的に推定できる。人工早期種苗の場合、発生時期は天然群に較べて1ないし2カ月早い、春季の瀬戸内海域の水温の低さに影響されて放流後の成長効率が低く、その体長、体重は8月には天然発生群に

追い付かれてしまう。その後の成長については両群間に差はない⁽⁶⁾。したがって、8月以降、放流群由来の個体は同年令の天然魚と同じ成長過程をたどると考えることができる。その結果、放流された早期種苗の外洋生活期での Y/R は天然群のそれと同じ値になると考える。12月末における当年生まれの天然ブリの年齢は、ほぼ0.8歳である。したがって、放流群が外海域漁場へ加入する12月末以降の Y/R は、天然魚の漁獲開始年齢0.8歳の場合に相当することになる。この値は、水産庁・水産総合研究センター（2002）が漁獲開始年齢を0歳と1歳として計算した2つの Y/R の値⁽¹³⁾の平均よりやや大きいとみてよい。外海域での放流群からの生涯を通じた漁獲量は、ある程度の過小評価になることは無視して、前述の水産庁・水産総合研究センターが漁獲開始年齢を0歳および1歳として計算した Y/R の値の平均値に、放流年末における播磨灘漁場と紀伊水道漁場での生残尾数の和を乗じて求めることとする。

この間の計算手順は以下のように整理できる。

- 1) 放流群の外海漁場における Y/R は、水産庁・水産総合研究センター（2002）の「我が国周辺水域の漁業資源評価⁽¹³⁾」に掲載された漁獲開始年齢を0歳と1歳としたときの値の平均値（ $Y/R_{(0.5)}$ ）とする。
- 2) 図6に示すように、外海漁場②への加入尾数は、放流年末における播磨灘漁場①-1での生き残り尾数と、おなじく紀伊水道漁場①-2での生き残り尾数の和である。外海漁場への加入尾数は以下のように書ける。

$$N_{1/1}^{(G)} = N_{1/1} + N_{1/1}^{(K)}$$

3) 外海漁場における漁獲量： $Y^{(G)}$

$$Y^{(G)} = N_{1/1}^{(G)} \times Y/R_{(0.5)} \quad \text{〔式9〕}$$

(4) 放流群からの生涯を通じた総再捕（漁獲）重量 $Y^{(T)}$ の推定

$Y^{(T)} =$ 〔8月から12月末までの播磨灘における再捕（漁獲）重量〕 $Y +$ 〔8月から12月末までの紀伊水道における再捕

(漁獲)重量 $Y^{(K)}$ + [放流翌年1月以降,
生涯を通じての外海漁場における再捕
(漁獲)重量] $Y^{(G)}$

として計算する。

2. 放流群からの再捕（漁獲）重量の評価結果

すでに述べたように、放流効果の形成に関与する諸係数のうち、幼魚期の自然死亡係数 M' と播磨灘漁場への加入尾数 $N_{8/1}$ を特定することはできなかった。そこで以下の再捕量の評価作業では、自然死亡係数 M' の最小想定値と最大想定値に対応する再捕量を推定し、放流群からの真の再捕量は、これら2つの想定値の間にあると考えることにする。この考え方は、自然死亡係数 M' の値を最大想定値と最小想定値の中間に設定して計算した再捕（漁獲）量や生残量（後出の表4、表5）が、常に M' の最大想定値と、最小想定値に対応する値の間にくることからも支持される。

また、再捕量を通して放流効果を総括的に評価する場合、すなわち、本章2、(3)項以降では、表現を簡素化するために、自然死亡係数 M' を最小想定値：0.025（したがって $N_{8/1}$ ：32,992）とする場合を想定-1、最大想定値：0.168（したがって $N_{8/1}$ ：79,703）とする場合を想定-2と呼称することにする。

(1) 播磨灘での放流年内の再捕（漁獲）量と放流年末までの生残尾数

再捕尾数と生残尾数の計算には本章の1.(1)で説明した〔式4〕と〔式5〕を用いるが、これらの式に含まれる全減少係数は $Z=0.632$ として既知なので、両式は以下のように変形できる。

a) 播磨灘へ放流された魚群からの放流年末の播磨灘での生残尾数

$$N_{1/1} = 0.0424N_{8/1} \quad \text{〔式4'〕}$$

b) 播磨灘へ放流された魚群からの播磨灘での放流年内の漁獲尾数

$$C = 1.5152F \cdot N_{8/1} \quad \text{〔式5'〕}$$

〔式4'〕、〔式5'〕を用いて計算した結果を表4に

示す。〔式4'〕の形からもわかるように、放流年末までの生残数は単純に加入尾数の増減に応じて同じ方向に変化している。これは図5における M' と $N_{8/1}$ の関係と全く同じである。

一方、〔式5'〕で計算した漁獲尾数は一定で、表4の表底に示した計算値の平均12,197尾は表1-(1)に示した2カ年間の実測値の平均値（12,198尾）と一致している。これは当然予測されたことで、実験式2が常に一定の漁獲尾数12,198を得るように条件付けているからである。

さきに藤本、山崎⁽⁶⁾は瀬戸内海東部海域からの年間漁獲尾数を2カ年間の平均で11,966尾、その重量を7.1トンと報じた。しかし、本報告では、前章、1-2、(1)や本章、1. で述べたように、藤本・山崎⁽⁶⁾の漁獲尾数の推定値の一部を修正した。

その結果、この漁場からの年当たり推定平均再捕尾数は、11,966尾から12,198尾に増加した。これを受けて、播磨灘漁場からの推定再捕重量を、藤本・山崎⁽⁶⁾の7.1トンから $7.1 \times 12,198 / 11,966 = 7.2$ トンに修正する。

表4 播磨灘海域での、放流群の放流年末までの生残尾数と漁獲尾数

自然死亡係数 M'	加入尾数 $N_{8/1}$	生残尾数 $N_{1/1}$	$N_{8/1} - N_{1/1}$	F/Z	漁獲尾数 C_N
0.000	29,926	1,269	28,657	0.426	12,197
0.025	32,992	1,399	31,593	0.386	12,197 *1
0.050	36,758	1,559	35,199	0.347	12,197
0.075	41,495	1,759	39,735	0.307	12,197
0.0965	46,667	1,979	44,688	0.273	12,197 *3
0.100	47,633	2,020	45,613	0.267	12,197
0.125	55,903	2,370	53,533	0.228	12,197
0.150	67,647	2,868	64,779	0.188	12,197
0.168	79,703	3,379	76,324	0.160	12,197 *2
0.175	85,638	3,631	82,007	0.149	12,197
					平均12,197

*1 : M' の最小想定値

*2 : M' の最大想定値

*3 : M' の最小、最大想定値の中間値

(2) 紀伊水道域からの放流年内における漁獲尾数と放流年末における生残尾数

これは、放流群から期待される漁獲量のうち、藤本・山崎⁽⁶⁾がカバーしきれなかった部分の一つである。

ここでは、本章、1. (2)で示した〔式6〕から〔式8〕を用いて、紀伊水道域での放流年末における生残尾数と、放流年内における漁獲尾数の計算を行うが、計算作業に入る前に、これ等の諸式に含まれている減耗係数のうち、既知のものについてはその数値を導入し、計算式の簡素化を図った。

a) 加入尾数(播磨灘から紀伊水道への移動尾数、あるいは逸散尾数)の計算式〔式6〕については、 $Z=0.632$, $D=0.363$ を導入して、以下のように簡素化できる。

$$N_D = 0.55N_{8/1} \quad \text{〔式6'〕}$$

b) 紀伊水道域へ逸散した個体の放流年末までの生残数 $N_{1/1}^{(K)}$ は〔式7〕で計算できるが、この式はやや複雑なので、これを扱いやすい形に組み直しておきたい。まず、〔式7〕を $N_{1/1}^{(K)}$ と $N_{8/1}$ の比(すなわち、生残率の形)の形に変形し、

さらに、右辺を定積分の形にもってゆく〔式7-2〕。

$$\begin{aligned} N_{1/1}^{(K)} / N_{8/1} &= \int_{t=8}^{13} D \cdot \exp\{-Z(t-8)\} \cdot \exp\{-Z^{(K)}(13-t)\} dt \\ &= \frac{D \cdot \exp(8Z - 13Z^{(K)})}{-(Z - Z^{(K)})} \left[\exp\{-Z - Z^{(K)}\} t \right]_8^{13} \end{aligned} \quad \text{〔式 7-2〕}$$

ここで $t=13$ は12月末日、すなわち $12+1$ を意味する。また、右辺に含まれる減耗要因 D , Z , $Z^{(K)}$ はいずれも既知数だから、右辺全体が $N_{1/1}^{(K)}$ に対する $N_{8/1}$ の比例常数になっている。この式に、 $D=0.363$, $Z=0.632$, $Z^{(K)}=0.190$ を代入すると、 $N_{1/1}^{(K)} = 0.2840 \times N_{8/1}$ 〔式7'〕が得られる。

c) 漁獲尾数の計算式〔式8〕については、 $Z^{(K)} = 0.190$, $(N_D - N_{1/1}^{(K)}) = 0.266N_{8/1}$ 〔式6'〕と〔式7'〕の差)を与えて次式を得る。

$$C^{(K)} = 1.40F^{(K)} \cdot N_{8/1} \quad \text{〔式8'〕}$$

これらの諸式を用いた計算結果を表5に示す。

表5 紀伊水道域での、放流群の放流年末までの生残尾数と漁獲尾数

自然死亡 係数 M'	播磨灘 加入尾数 $N_{8/1}$	紀伊水道への 移動尾数 N_D	紀伊水道での 生残尾数 $N_{1/1}^{(K)}$	*4 $F^{(K)}/Z^{(K)}$	$N_D - N_{1/1}$	紀伊水道での 再捕尾数 $C^{(K)}$
0.000	29,926	16,459	8,499	1.000	7,960	7,960
0.025	32,992	18,145	9,370	0.868	8,776	7,621 *1
0.050	36,758	20,217	10,439	0.737	9,778	7,205
0.075	41,495	22,822	11,785	0.605	11,038	6,681
0.0965	46,667	25,667	13,253	0.492	12,413	6,109 *3
0.100	47,633	26,198	13,528	0.474	12,670	6,002
0.125	55,903	30,747	15,876	0.342	14,870	5,087
0.150	67,647	37,206	19,212	0.211	17,994	3,788
0.168	79,703	43,837	22,636	0.116	21,201	2,455 *2
0.175	85,638	47,101	24,321	0.079	22,780	1,798

*1: M' の最小想定値

*4: $F^{(K)} = Z^{(K)} - M' = 0.190 - M'$

*2: M' の最大想定値

したがって、 $F^{(K)}/Z^{(K)} = 1 - M' / 0.190$

*3: M' の中間値

計算結果のなかで注目されるのは、水道域での放流年末における生き残り尾数と再捕（漁獲）尾数の変化の仕方である。まず、〔式6'〕、〔式7'〕の形からわかるように、この水域への移動尾数 N_D （播磨灘からの逸散尾数、すなわち表5の紀伊水道域への移動尾数）と、この群からの放流年末までの生残尾数 $N_{1/1}^{(K)}$ のいずれもが図7に示すように播磨灘漁場への加入尾数 $N_{8/1}$ と同じ方向に変化している。一方、〔式8'〕に示すように、漁獲尾数の動きはやや複雑で、紀伊水道域の漁獲係数 $F^{(K)}$ と播磨灘漁場への加入尾数 $N_{8/1}$ の積が関与している。 M' の想定値が大きくなるほど逆に $F^{(K)}$ が小さく想定されるので、図7に示すように、 M' の想定値の変化に対する生残尾数(図中の曲線B)の変化の方向と漁獲尾数(図中の曲線C)のそれとは反対になっている。生残尾数は外海域への加入尾数に当たるから、 M' の想定値の変化に対して紀伊水道での漁獲尾数と外海域への添加尾数は反対の方向に変化することになる。

紀伊水道域での放流群からの再捕尾数が推定されると、この値に漁獲物の平均サイズを乗じて漁獲重量 $Y^{(K)}$ を計算することができる。ここでは、播磨灘からの漁獲物の平均サイズと紀伊水道域か

らのそれとの間に差はないとみなし、両海域からの水揚重量はそれぞれの水揚尾数に比例するとして、紀伊水道域からの再捕重量を推定する。15万尾を放流した場合、播磨灘からの漁獲尾数ならびに漁獲重量は前項で藤本・山崎⁽⁶⁾の推定値を一部修正して平均12,198尾、7.2トンとしたので、紀伊水道域からの再捕重量は、

M' を最小想定値：0.025 とした場合

$$7.2 \times 7,621 / 12,198 = 4.50 \text{ トン}$$

M' を最大想定値：0.168 とした場合

$$7.2 \times 2,455 / 12,198 = 1.45 \text{ トン}$$

M' を中間値：0.0965 とした場合

$$7.2 \times 6,109 / 12,198 = 3.61 \text{ トン}$$

と推定される。

(3) 放流翌年以降、生涯の終わりまでの間に外海漁場で期待される漁獲量

放流の翌年に入ると、ブリは未成魚・成魚段階に入り、太平洋南岸の外海域に広く分散して長期間にわたって漁業の対象になる。外海漁場での漁獲量を予想するためには、本報告では、まずこの漁場への加入量を把握し、この値と別途求められた Y/R との積を求めるという手順をとる。

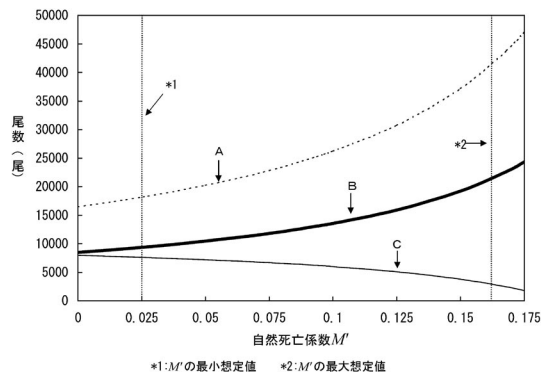


図7 自然死亡係数 M' と播磨灘から紀伊水道への移動逸散尾数(曲線A)、紀伊水道での放流年末における放流魚の生残尾数(曲線B)及び放流年内、紀伊水道での放流魚の再捕尾数(曲線C)

表6 15万尾放流群の放流年末における生残尾数(太平洋岸・外海漁場への資源添加量)

自然死亡係数 M'	放流魚の生残尾数		
	播磨灘 $N_{1/1}$	紀伊水道 $N_{1/1}^{(K)}$	計
0.000	1,269	8,499	9,768
0.025	1,399	9,370	10,769 *1
0.050	1,559	10,439	11,998
0.075	1,759	11,785	13,544
0.0965	1,979	13,253	15,232
0.100	2,020	13,528	15,547
0.125	2,370	15,876	18,247
0.150	2,868	19,212	22,080
0.168	3,379	22,636	26,015 *2
0.175	3,631	24,321	27,952

*1: M' の最小想定値

*2: M' の最大想定値

1) 放流年末（放流翌年の1月1日）における放流群からの生残尾数（外海漁場への加入量）

外海漁場への加入量は、放流年末における播磨灘漁場と紀伊水道漁場での生残尾数の合計である。これらの数値はすでに〔式4〕と〔式7〕を用いて計算され、それぞれ表4と表5に示されている。両表の推定生残尾数を合わせて表6を作成した。

表6によれば、15万尾からの放流年末までの生き残りは、両海域合わせて1万ないし2.6万尾ということになる。表7に示すように、この生き残り尾数は放流尾数15万尾の7ないし17%、また、播磨灘漁期始めの資源尾数の1/3に相当する。また、生残魚の90%近くが紀伊水道への逸散（移動）個体であることから、紀伊水道域への逸散群が放流群からの生き残りの主群といえる。

2) 外海漁場でのY/Rと漁獲量の予測

以上のように、15万尾放流群から放流翌年の1月1日に1.0万尾ないし2.6万尾の放流起源のブリ未成魚 ($N_{1/1}^{(G)}$) が太平洋南岸沖の外海漁場へ拡散してゆくことになる。この群からの生涯を通じた漁業への貢献度を評価するには、Y/Rが求まればよい。ここで、我が国周辺水域の漁業資源評価：平成14年版（水産庁・水産研究センター2002⁽¹³⁾）に示された加入1尾当たり漁獲量の表（平成14年ブリ太平洋系群の資源評価：表4および表

5）が利用できる。両表にはそれぞれ、 $M=0.3$ （年率）、 F を近年の水準に据え置いて、漁獲開始年齢を0歳および1歳としたときのY/Rの値が示されている。放流群は12月末（または翌年1月1日）に0.8歳の未成魚として外海漁場へ加入してくる。したがって漁獲開始年齢を0.8歳相当と考えると、そのY/Rは同報告の表4と表5の数値の平均：Y/R、すなわち $(0.92+1.68)/2=1.3\text{kg}$ よりやや大きいものとなるであろう。

多少の過少評価は無視してY/R=1.3kgとし、この値に放流年末での生残尾数を乗ずれば、種々のM'の想定値に対する外海域での予想漁獲量が計算できる（〔式9〕）。表6や表7の数値からみて、予想漁獲尾数にはかなりの幅があることになるが、これは、幼魚期の自然死亡係数M'の値を特定できなかったことに起因している。M'の最小想定値及び最大想定値のもとで、15万尾放流群から、0.8歳以降、生涯を終わるまでの間に期待される漁獲量を、表7の数値から想定(1)と想定(2)について計算すると、

$$N_{1/1}^{(G)} \times Y/R = 10,769 \text{ (または, } 26,024) \times 1.3 = 14,000 \text{ (または, } 33,820) \text{ kg}$$

となる。

(4) 放流群からの総収獲量

種々のM'の想定値に対応する播磨灘からの漁獲尾数（表4）と紀伊水道からのそれ（表5）に漁獲物の平均体重（7,200kg/12,198=0.590kg）を乗ずると、両海域からの漁獲量が求まる。また、太平洋外海域への加入尾数（表6）にY/R(1.3kg)を乗ずるとこの海域からの漁獲量が求まる。これら3海域の漁獲量を集計した結果が図8及び表8である。図8に示すように、総漁獲量の想定値はM'の想定値の増大につれて漸次増大する。これは重要な総漁獲量想定値の変化特性である。

ここで、特に注目されるのがM'の最小想定値（想定-1）と最大想定値（想定-2）のもとでの漁獲量の対比である。表8に示すように、15万尾放流から予想されるそれぞれの総漁獲量は25.7

表7 放流年の年末における放流魚の生残率

自然死亡係数M'の想定値		最小想定値	最大想定値
		(想定-1)	(想定-2)
		0.025	0.168
播磨灘での生残尾数	$N_{1/1}$	1,399	3,379
紀伊水道での生残尾数	$N_{1/1}^{(K)}$	9,370	22,636
計（生残数合計）*	$N_{1/1}^{(G)}$	10,769	26,015
播磨灘での漁獲開始日の尾数	$N_{8/1}$	32,992	79,703
漁獲開始日からの生残率		0.33	0.33
15万尾からの生残率		0.07	0.17

*外海漁場への加入量を意味する

トンと42.4トンである。想定-2の漁獲量は想定-1のそれの1.65倍になっている。この差はもちろん、 M' の値を特定できなかったことによるものである。それでも2つの想定値は、生涯を通じた放流効果が、放流域である播磨灘漁場での漁

獲量：7.2トンの数倍のスケールのものであることを示唆している。

なお、生涯を通じた放流魚1尾当たりの収穫量 (Y/R) は、0.17~0.28kgとなる。

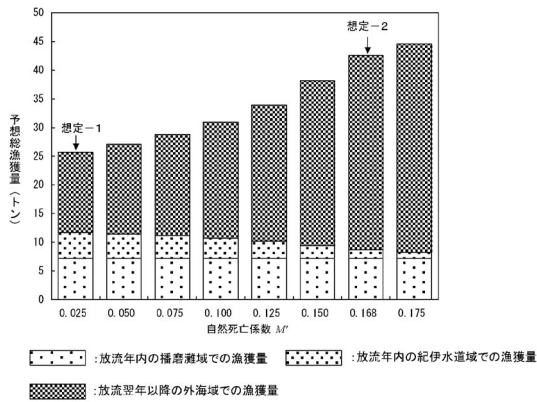


図8 自然死亡率 M' の想定レベルの変化に伴う生涯を通じた予想総漁獲量の変化

表8 放流魚15万尾からの生涯を通じた総回収重量 (単位トン)

自然死亡係数 M'	放流年内		放流年末以降	生涯を通じた総漁獲量 : $Y^{(T)}$
	播磨灘: Y	紀伊水道: $Y^{(K)}$	太平洋外海: $Y^{(G)}$	
0.000	7.2	4.7	12.7	24.6
0.025	*1 7.2	4.5	14.0	25.7
0.050	7.2	4.3	15.6	27.1
0.075	7.2	4.0	17.6	28.8
0.0965	*3 7.2	3.6	19.8	30.6
0.100	7.2	3.6	20.2	31.0
0.125	7.2	3.0	23.7	33.9
0.150	7.2	2.2	28.7	38.1
0.168	*2 7.2	1.4	33.8	42.4
0.175	7.2	1.1	36.3	44.6

*1 想定-1
*2 想定-2
*3 想定-1と想定-2の中間値

第Ⅲ章. 放流効果の経済的評価

1. 放流がもたらす経済効果の評価法

本章の目標は「放流規模15万尾での回収金額と支出した経費のバランス」を明らかにすることである。評価に必要な情報は、放流された15万尾からの生涯を通じた回収金額と、その生産、放流、回収ならびに事業管理に要した経費である。

1-1. 回収金額の推定

回収金額は、個々の銘柄（ツバス、ハマチ、メジロ、ブリ）別に求めた平均単価と平均漁獲量の積の総和として求める。

(1) 銘柄別の平均漁獲量の計算

播磨灘及び紀伊水道域では漁獲物は全て0歳のツバスで構成されているから、表9の合計漁獲重量はそのまま、それぞれの海域の銘柄別（ツバス）の平均漁獲重量とみなすことができる。

外海漁場からの銘柄別漁獲量の算出にあたっては、まず、「我が国周辺水域の漁業資源評価：平成14年版¹³⁾」に示された1996-98年級群（生涯を通じた漁獲記録のある最近年の年級群）について計算した年齢別漁獲尾数の平均値に、同じく同報告に示された年齢別平均体重を乗じて年齢別平均漁獲重量を求める。一方、各産地毎の銘柄区分は年齢区分よりさらに細分化され、かつ、個々の銘柄の重量範囲には著しい地域差があつて、共通の銘柄区分の設定は極めて困難なのが実態である。そこで、暫定的に1歳魚をハマチ、2歳魚をメジロ、3歳およびそれ以上のものをブリとし、この暫定銘柄別（年齢別）の漁獲重量を百分率に換えて表9、第2段、太平洋・外海域の欄に示した。同第3、第4段には、それぞれ想定-1と-2のもとで予測される銘柄別漁獲重量が示してある。

表9 15万尾の放流魚から、その生涯を通じて期待される銘柄別水揚量

想定-1 : $M' = 0.025$, 想定-2 : $M' = 0.168$

漁場 漁期	播磨灘 放流年内	紀伊水道 放流年内	太平洋岸・外海 放流翌年以降
合計 想定-1 漁獲重量	7.2 t	4.5 t	14.0 t
合計 想定-2 漁獲重量	7.2 t	1.4 t	33.8 t
漁獲重量の 銘柄別内訳	ツバス 100%	ツバス 100%	ハマチ 6% メジロ 27% ブリ 67%
銘柄別 漁獲重量 : 想定-1	ツバス 7.2 t	ツバス 4.5 t	ハマチ 0.8 t メジロ 3.8 t ブリ 9.4 t
銘柄別 漁獲重量 : 想定-2	ツバス 7.2 t	ツバス 1.4 t	ハマチ 2.0 t メジロ 9.2 t ブリ 22.6 t

(2) 銘柄別の平均単価の算出

銘柄別の平均単価の算出にあたっては、複雑なデータ処理が必要である。本種の水揚価格が、銘柄、水揚地、年ならびに季節によって著しく異なるからである。播磨灘地区での水揚価格については藤本・山崎⁽⁶⁾の報告があるのでその結果を用いるとして、紀伊水道域ならびに太平洋沿岸外海域漁場については、主要な産地から収集したデータを用いて、まず産地銘柄別に年間水揚げ重量と水揚げ金額を求める。この数値を、暫定銘柄（年齢群）の体重範囲と産地銘柄のそれとを手掛かりに暫定銘柄別に組み換える。組み換えられた産地別の年間水揚げ量と水揚げ金額を、漁場毎にすべての産地にわたって集計し、漁場別、暫定銘柄別の総水揚げ重量と水揚げ金額を得る。両者の比が漁場別、暫定銘柄別の代表単価である。

また、暫定銘柄別「平均漁獲重量」と「平均単価」の積が暫定銘柄別「回収金額」である。

1-2. 必要経費の推定

(1) 種苗生産、放流に必要な経費

必要経費に関する情報のうち、種苗生産と放流に関する経費については、日本栽培漁業協会・屋島および古満目両事業場にデータの蓄積がある。また、必要に応じて同様にブリの種苗生産を担当している五島事業場のデータを引用した。放流群の追跡調査経費については藤本・山崎⁽⁶⁾の調査記録が利用できる。

(2) 放流魚の回収に必要な経費

問題は、漁業による放流魚の回収経費（再捕経費）をいかに推定するかである。ブリの漁獲経費に関する直接の調査データの蓄積はないので、本報告では、まず、放流魚の回収に必要な漁業支出を、放流による増産分を収穫するための追加経費、いわゆる「掛かり増し経費」⁽⁴⁾として評価してみることとした。以下、本報告ではこれを漁業経費(1)と呼称する。

もう1つ、統計情報部の漁家経済調査⁽⁵⁾に収録されている大海区別の漁船漁家と小型定置網漁家

の、漁業収入と漁業支出のデータを用いて経費率（漁業支出／漁業収入）を求め、これと放流ブリからの水揚金額との積をブリの水揚げに要した漁業支出の近似値とした。これが漁業経費(2)である。今井⁽⁶⁾もマダイの放流事業の効果判定でこの方法をとっている。

このように2つの漁業経費のとらえ方があるが、ここで著者等が特に重視しているのは、ブリ漁業の特性をどのようにとらえ、その結果を漁業経費のとらえ方にどのように反映させるかということである。もともとブリは漁獲変動の激しい魚種と言われており、ブリ漁業は長年にわたる歴史の中で、そのような顕著な漁獲変動に耐えてきた。この変動の大きさが把握できれば、放流のインパクトがどの程度まで「掛かり増し経費」、すなわち漁業経費(1)によって受け止めることができるか、およその目処がつけられる可能性がある。そこで過去30年間（1972年－2001年）でのブリの漁獲変動の大きさを検討し、その結果に基づいて漁業経費(1)による評価の有効性を判断することにした。

一方、漁業経費(2)では、個々の漁業経営体が複数の漁業を営むのに必要な共通経費や、事業の継続のために必要な生産材の更新費（償却費）も含まれている。これは漁業経費(2)に内在する重要な機能である。ただし現実問題として、今日までのこの種のデータの蓄積が十分でないために、実際に利用できるデータは異質の漁業からの情報が「込み」にされていることが多い。例えば、統計情報部の漁家経済調査の場合でも、漁船漁家あるいは小型定置網漁家の範疇で編纂された漁業収入や漁業支出には、対象魚種や漁法、流通のシステムを異にする種々の漁業のデータが「込み」にして収録されている。このようなデータから計算された経費率は一種の代表値ではあるが、個々の漁業にとってその代表性の度合いが不明であり、漁業の実態が反映されにくいという不安が残る。

ここで、放流事業が、放流対象種の漁業やそれを含む地域漁業の構造に変化をもたらすほど有効

であった場合を想定してみよう。この場合、当然規模の拡大に伴う諸経費の見直しを行う必要がある。漁業経費(1)では、このような経費の変化に対応しきれないおそれが残る。これが漁業経費(1)の限界であり、漁業経費(2)によって必要経費を近似的に予測するか、あるいは改めて対象漁業について必要経費の調査を行う必要がある。

結局、放流魚の回収に必要な経費については、2つの評価基準、漁業経費(1)と漁業経費(2)とを、

ケースバイケースで使い分けるとするのが著者等の姿勢である。

2. 放流がもたらす経済効果の評価結果

2-1. 放流魚からの回収金額

ここでは、15万尾放流からの水揚金額の評価を試みる。放流魚の生涯を通じて予想される銘柄別の漁獲量および水揚金額の試算結果を表9、表10に示す。

表10 15万尾の放流魚から、その生涯を通じて期待される銘柄別回収金額（千円）

想定-1 : $M' = 0.025$, 想定-2 : $M' = 0.168$

漁場 漁期	播磨灘	紀伊水道	太平洋岸・外海
	放流年内	放流年内	放流翌年以降
漁獲物の 平均単価 (kg当たり)	ツバス 843円 ¹⁾	ツバス 1,166円 ²⁾	ハマチ 624円 ³⁾ メジロ 706円 ³⁾ ブリ 1,172円 ³⁾
銘柄別水揚 金額（千円） : 想定-1	ツバス 6,070	ツバス 5,247	ハマチ 505 メジロ 2,690 ブリ 10,995
銘柄別水揚 金額（千円） : 想定-2	ツバス 6,070	ツバス 1,632	ハマチ 1,219 メジロ 6,494 ブリ 26,545
漁場別水揚 金額（千円）			
想定-1	←----- 11,317 ----->		14,189
想定-2	←----- 7,702 ----->		34,257
全海域からの 総水揚金額（千円）			
想定-1	←----- 25,506 ----->		
想定-2	←----- 41,959 ----->		

注：1) 1999年屋島事業場が標本魚市場で行った調査（藤本・山崎⁽⁶⁾）によるツバス単価

2) 2000-2001年にかけての和歌山県加太漁協でのツバスの平均単価

3) 2000-2001年の間の三重県ブリ定置網漁獲統計、和歌山県串本漁協、加太漁協および高知県佐喜浜漁協の銘柄別平均単価をそれぞれの水揚量を重みとして平均したもの

両表の作成にあたって遭遇した最も大きな困難は、それぞれの産地の水揚げ単価が種々の要因(水揚げ地、銘柄、季節等)によって著しく変動し、その平均値の把握が極めて困難なことであった。このことが予測されたので、紀伊水道沿岸およびそれに接する外海域の主要な産地から月別、銘柄別の水揚げ記録の入手に努めた。紀伊水道域については和歌山県の加太漁協から、太平洋沿岸・外海域については、三重県のブリ定置網漁獲統計、和歌山県の串本漁協、さらに高知県の佐喜浜漁協からデータを入手した。次に、これらデータを用いて、先述した手順にしたがって、漁場別の銘柄別年平均価格を計算したが、外海域の全ての代表的な水揚げ地からデータの入手が可能であった訳ではない。それだけに外海域の平均単価の推定値にはかなりの誤差が伴っている可能性がある。

表10によれば、15万尾放流からの総回収金額は、想定-1で2,550万円、想定-2では4,200万円と予測される。そのうち、想定-1では総水揚金額の55%が、想定-2では80%が外海域から回収されることになる。

2-2. 放流事業の実施に必要な経費

図9にブリの放流事業のなかで必要経費が生ず

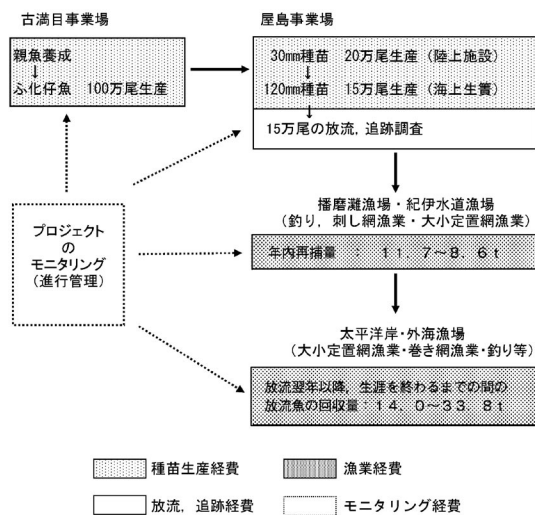


図9 ブリの放流プロジェクトにおける生産経費の発生過程

る過程を示した。日裁協・古満目事業場が親魚養成とふ化仔魚生産を担当し、このふ化仔魚を用いて屋島事業場が、種苗生産、中間育成、放流ならびに再捕状況の追跡調査を担っている。一方、放流ブリの回収は、放流年内においては播磨灘と紀伊水道域⁶⁾で釣り、刺し網等の漁船漁業(60%)と大・小定置網(40%)によって、また放流翌年以降は太平洋沿岸の外海域¹³⁾において大・小定置網(50%)と漁船漁業(50%)によって行われている。

補遺3、表1~4は、日裁協・古満目事業場と同じくブリの親魚養成に携わっている日裁協・五島事業場と屋島事業場の資料に基づいて、全長120mmの放流用種苗15万尾の生産、放流や、放流群からの再捕魚の追跡調査に必要な経費を算出したものである。放流魚の回収経費のうち漁業経費(2)については、経費率の算出に用いた基礎データと計算の手順を同補遺の表5に示した。

(1) 種苗生産経費の積算

積算基礎はおよそ以下の通りである。

親魚養成経費とは、古満目(五島)事業場で通常の産卵期よりも1ないし2カ月早い2月から3月にかけて産卵させ、これからふ化仔魚100万尾を生産するのに必要な経費である(補遺3、表1)。なお、本表については追加説明が必要である。通常、親魚養成がふ化仔魚の生産を目的として行われる場合には1,000万、あるいはそれ以上のふ化仔魚が生産され、生産されたふ化仔魚は、大規模放流や種々の試験事業に分配される。今回の早期種苗生産もそのような試験計画の一部として行われたものである。100万尾といった小規模なふ化仔魚生産のための親魚養成が行われることはほとんどないが、このような場合には人件費を中心に親魚養成費が割高になることは歪めない。量産効果が逆方向に動いてくるからである。本表に示した生産経費は、日裁協・五島事業場が1,000万尾のふ化仔魚生産に要した総親魚養成経費を、100万尾に比例配分したもので、まず、総親魚養成費からふ化仔魚1尾当たりの経費2.35円を計算し、

これを100万倍して得た値である。事業規模で放流が行われる場合には、放流量は通常今回の15万尾放流の規模を数倍上回るはずで、この場合に必要なお魚養成経費は、計画された放流規模に比例して本表に示された数値（100万尾当たり単価）を引き伸ばして予測することができる。小規模なお魚養成事例を基準にして、事業規模の放流計画に必要なお魚養成経費を予測すると経費予測が過大になる。

100万尾のお化仔魚は屋島事業場に輸送され、陸上施設において全長30mm種苗20万尾生産の工程に入る（補遺3、表2）。この工程での必要経費は、餌料培養費と種苗の飼育経費に分けて示してあるが、前者は仔魚に投与するワムシの生産経費である。この間のお化仔魚から全長30mmまでの生残率は平均20%とおかれているが、この生残率の高低が必要経費に大きく影響する。

陸上施設で生産された20万尾の30mm種苗は海上施設に移され、120mmの放流用種苗15万尾の生産工程に入る。この工程での幼魚の生残率は通常75%と見込まれている（補遺3、表3）。

以上の生産工程別に、必要経費を集計した結果

を表11に示す。15万尾の種苗生産に必要な諸経費を集計してみると、16,736千円となる。120mm種苗1尾当たりの生産経費は112円である。なお、以上の計算では、施設の減価償却費は含んでいない。

(2) 放流作業と、再捕魚の追跡調査に必要な経費

日裁協・屋島事業場の資料を用いて算出した。放流作業では海上の飼育施設をそのまま開放して逸散させる場合が多いので、経費は海上施設での種苗生産経費に含まれると考えてよい。しかし、時には地元の要望する他の地点へ輸送して放流することもあるので、別途概算として若干の経費を上積みした。再捕魚の追跡経費（補遺3、表4）は1998年、99年に実施した標本魚市場での追跡調査の実績に基づく積算である。

なお、上記の(1)種苗生産と、(2)放流関係に要した経費を合すると約17,846千円、種苗1尾当たり119円と計算された（表11）。

(3) 漁業経費

放流がもたらす経済効果の評価法の項で述べたように、ブリ漁業の操業実態を直接調査し、放流魚の回収に必要な漁業支出を把握することができ

表11 15万尾放流に必要な種苗生産、放流経費の見積もり額

項目	見込み金額（千円）	摘要
親魚養成費	2,518	生産目標お化仔魚100万尾（お化率65%）
種苗生産費	9,200	生産目標30mm種苗20万尾
餌料培養	1,946	
陸上飼育	7,254	
中間育成費	5,018	取り揚げ目標120mm種苗15万尾
小計	16,736	〔種苗1尾当たり 112円〕
放流作業費	200	殆ど中間育成費でカバーできる
追跡調査費	910	魚市場での標本調査
種苗生産・放流 経費 計	17,846	日裁協関連の総経費とみなしてよい 〔種苗1尾当たり 119円〕

なかった。これをカバーするために、ここでは2つの考え方をとった。すなわち、漁業経費(1)と漁業経費(2)である。

1) 漁業支出を掛かり増し経費として評価する場合：漁業経費(1)

播磨灘沿岸の各漁協、魚市場での聞き取り調査によって得た情報に基づいて、増産に伴う経費の増加分は、氷代、トロ箱代、販売手数料等を一括して水揚げ高の10%とおいた。この値は外海域漁場においてもあてはまると考えられる。ところで、今回の15万尾放流からの再捕魚が播磨灘での漁獲物の20-35%を占めたこと（藤本・山崎⁶⁾）から推して、もし放流規模が2倍に拡大され、30万尾放流が行われれば播磨灘の漁獲量の半分が放流魚で占められる可能性もある。放流魚の貢献度がこの程度に達すれば、地域漁業の操業パターンにも変化が生じ、操業時間も延長され、例えば燃油代も掛かり増し経費に見込む等、その内容を見直す必要も生じてくると思われる。その結果、掛かり増し経費が水揚金額の10%を上回る場合もあり得るかもしれない。そして、放流技術の効率がさらに向上すると、放流の規模も拡大し、やがてはそれまで掛かり増し経費として評価されてきた漁業経

費は、経費率×水揚金額の形で評価しなければならない段階へと移行してゆくと思われる。

しかしその一方で、太平洋・外海域ではブリは伝統的に重要漁獲物としての地位を保ってきた。そして長い歴史を通して確立された漁業態勢のもとで万トンオーダーの漁獲量を支え、かつ激しい漁獲変動に耐えてきた。表12に、「我が国周辺水域の漁業資源評価」¹³⁾のデータを用いて計算された太平洋系群全体としての1972年から2001年に至る30年間の平均漁獲量、標準偏差と変動係数と、農林統計の各大海区から漁獲量の最も多い県（大海区によっては2番目の県も含めて）について同様に行った計算結果を示してある。この表で特に変動係数に注目してみると、ブリの生産県における漁獲量の変動係数はいずれも25%以上、多くの場合、50%前後の大きな値となっている。こういうところでは、3年に1回くらいの頻度で漁獲量が平均値の50%以上変動していることになる。個々の経営体が体験している漁獲変動はさらに著しいはずである。そして、このような経営体間、地域（県）間の変動を相殺しながら、太平洋系群全体を「込み」にして求めた数字が、平均漁獲量1.36万トン、標準偏差5千トン、変動係数37%という値である。この数字から推すと、もし、放流によって数十%の漁獲増が実現したと仮定しても、個々の経営体にとって、その程度の漁獲増は、すでに過去に経験した漁獲量変動の範囲内にある。伝統的にブリを漁獲してきた漁場（既に確立した漁業）について考えてみると、少なくとも放流による増産量が数千トンに達するまでは、必要経費は係増し経費として評価出来そうである。のみならず、この程度の放流のインパクトではブリ漁業の操業パターンに大きな変化が出ないとすれば、ブリの放流事業は、ブリ産地といわれる地域においても、地域漁場全体に大きな変化をもたらすことなしに受け入れられると思われる。

したがって、著者等としては、ブリの全生涯を通じて期待される放流効果の経済性を評価する場合、漁業経費(1)：掛かり増し経費を評価基準とす

表12 ブリ太平洋系群全体、ならびに主要ブリ生産県について計算した1972-2001年の30年間のブリの平均漁獲量(トン)、標準偏差(トン)ならびに変動係数

計算対象	平均漁獲量	標準偏差	変動係数
太平洋系群全体	13,623	4,999	0.37
岩手県(太平洋・北)	1,382	2,054	1.49
千葉県(太平洋・中)	3,278	1,667	0.51
三重県(")	1,814	505	0.28
高知県(太平洋・南)	1,013	283	0.28
鹿児島県(東シナ海)	1,360	647	0.48
兵庫県(瀬戸内海)	157	79	0.50
愛媛県(瀬戸内海)	182	96	0.53

ることで所期の目的を達し得ると考えている。

2) 漁家経済統計¹⁵⁾の経費率を手掛かりに漁業経費を推定する場合：漁業経費(2)

農林水産省・統計情報部が1998年から2000年の間に収集した漁家経済調査資料¹⁵⁾から、漁業収入(水揚げ金額)のなかで漁業支出が占める割合、即ち経費率を求め、これを手掛かりに、間接的に、放流魚からの水揚げ金額のなかに含まれている漁業経費の大きさを推定する方法である。ここでの漁業支出には船舶の維持、改装費、漁具経費、燃油代、漁業用の陸上施設等、漁家の経営戦略に係わる共通経費が含まれていて、この点が掛かり増し経費と著しく内容を異にする点である。ただし、この種のデータには複数の異質な漁業からの情報が込みにされている可能性があり、経費の内容が、漁獲物区分、あるいは漁法区分によって著しく異なる場合には、偏りのある推定がなされる可能性があることはすでに述べた通りである。

複数の漁業階層によって漁獲されるブリの場合、漁家経済調査資料¹⁵⁾の漁業階層別に編纂されているデータを出発点として、海域毎にブリを漁獲する全漁業を包括した代表経費率を計算する必要がある。この場合、まず、ある海域の漁業階層別の経費率を求める。次にその海域でのブリの漁業階層別水揚げ量を求める。そして、この水揚げ量を重みとして平均の経費率を求め、その海域の経

費率の代表値とする。統計情報部の資料は大海区別に編纂されているので、通常海域の広さは大海区となる。太平洋外海域のように、漁場が複数の大海区にわたる場合には、漁業階層間の代表値を求めたのと同じ手順を繰り返して海域間の代表値を求める。このようにして求めた経費率の代表値は、瀬戸内海東部水域(播磨灘、紀伊水道を含む)で0.51、太平洋岸外海域で0.45である。なお、以上の計算に用いた基礎データは補遺-3、表5に収録してある。

3) 2つの漁業経費による評価結果の比較

漁業経費についての推定結果を表13に一括して示す。現段階では経費率から推定した漁業経費(2)と掛かり増し経費として評価した漁業経費(1)の間には数倍の格差がある。評価の結果が著しく異なる2つの漁業経費の解釈については、2-3、15万尾放流の収支バランスにおいて再び議論する。

(4) 事業に必要な総経費の見積もり

表11に示すように、15万尾の種苗生産・放流に必要な経費は、17,846千円と見積もられた。種苗1尾当たりの経費は約119円である。一方、放流魚の生涯を通じて回収に要した経費の見積もり額(表13の合計欄)は、漁業経費(1)として2,551-4,196千円、そして漁業経費(2)としては12,157-19,344千円であった。以上の経費とは別に、プロ

表13 15万尾放流において放流魚の回収に要した漁業経費の推定 (単位・千円)

		播磨灘 ・紀伊水道域		太平洋岸 外海域		合計
漁獲金額	想定-1	11,317		14,189		25,506
	想定-2	7,702		34,257		41,959
漁業経費(1) 掛増経費	想定-1	0.10	1,132	0.10	1,419	2,551
	想定-2	0.10	770	0.10	3,426	4,196
漁業経費(2) 経費率×水揚げ金額	想定-1	0.51	5,772	0.45	6,385	12,157
	想定-2	0.51	3,958	0.45	15,416	19,344

表14 漁業経費のタイプ別に見積もった総事業経費

(1) 全生涯を通じた事業経費

漁業経費のタイプ		漁業経費(1) (掛かり増し経費として)	漁業経費(2) (経費率×水揚金額)
種苗生産・放流経費		17,846	17,846
漁業経費	想定-1	2,551	12,157
	想定-2	4,196	19,344
事業の 振興管理費	想定-1	1,020	1,500
	想定-2	1,102	1,860
総放流事業費	想定-1	21,417	31,509
	想定-2	23,144	39,050

(2) 放流年内の播磨灘、紀伊水道漁場に限定して評価した事業経費

漁業経費のタイプ		漁業経費(1) (掛かり増し経費として)	漁業経費(2) (経費率×水揚金額)
種苗生産・放流経費		17,846	17,846
漁業経費	想定-1	1,132	5,772
	想定-2	770	3,958
事業の 振興管理費	想定-1	949	1,181
	想定-2	931	1,090
総放流事業費	想定-1	19,927	24,799
	想定-2	19,547	22,894

表15 15万尾放流の収支バランスと事業効率（回収金額、事業経費の単位は千円）

(1) 全生涯を通じた収支バランスと事業効率

	漁業経費(1) 掛かり増し経費		漁業経費(2) 経費率×水揚金額	
	想定-1	想定-2	想定-1	想定-2
回収金額	25,506	41,959	25,506	41,959
総事業経費	21,417	23,144	31,509	39,050
差し引きバランス・	+4,089	+18,815	-6,003	+2,909
事業効率・	1.19	1.81	0.81	1.07

(2) 放流年内の播磨灘、紀伊水道域に限定して評価した収支バランスと事業効率

	漁業経費(1) 掛かり増し経費		漁業経費(2) 経費率×水揚金額	
	想定-1	想定-2	想定-1	想定-2
回収金額	11,317	7,702	11,317	7,702
総事業経費	19,927	19,547	24,799	22,894
差し引きバランス・	-8,610	-11,845	-13,482	-15,192
事業効率・	0.57	0.39	0.46	0.34

プロジェクト全体のモニタリング経費も確保しておく必要がある。ただし、現状では事業の実施態勢についての具体的なイメージを描きにくいので、取りあえず、総経費（種苗生産・放流経費+漁業経費）の5%とおくことにする。

種苗生産・放流と生涯を通じた放流種苗の回収に必要な総経費の見積もり額は、表14の(1)に示すように、漁業経費(1)の場合、約2,100万から2,300万円、漁業経費(2)として見積もった場合は約3,150万から3,900万円となった。このように、総経費の見込み額は、現段階では漁業経費の見積もり方によって大きく異なる。

2-3. 15万尾放流の収支バランス

15万尾放流からの生涯を通じた回収金額と事業経費との収支対比を表15の(1)に示す。生涯を通じた総回収額と総事業経費についてのバランスは、漁業経費(1)で判断した場合、想定-1と想定-2のいずれについてもプラスであった。漁業経費(2)の場合、想定-2でプラスであった。しかし、想定-1でのバランスはマイナスであった。このように、漁業経費の見積もり方によって収支のバランスの評価に差が生じた。

ここで放流に携わる者にとって重要な課題は、漁業経費(1)と漁業経費(2)という2つの判断基準の何れが妥当かという議論に入る前に、現実問題として放流事業が対象漁業の操業パターンにどの程度のインパクトを与えるかを判断することである。この判断が漁業経費(1)を用いるか、漁業経費(2)を採るかの判断の分かれ目である。放流事業が対象漁業の操業パターンに新しい変化を持ち込むのでなければ、必要経費は漁業経費(1)で評価できる。

表12に示したように1972年から2001年に至る30年間の太平洋系群のブリからの平均漁獲量は1.36万トン、標準偏差は5千トン、C.V.は37%である。この値は地域間の漁獲変動や経営体間の変動が相殺された値であって、個々の地域漁業や経営体はさらに激しい漁獲変動にさらされている。このこ

とは表12の県別計算値からも伺える。このような観察に基づいて、著者等はブリ漁業の場合、激しい漁獲変動に耐えながら万トンオーダーの巨大な生産を支え得る態勢がすでに確立していて、漁業経費(1)、すなわち掛かり増し経費を用いた収支判断が、より漁業の実態に即応した結論を導くと考えている。仮に放流事業によって顕著な、例えば数千トンの漁獲増が実現したとしても、それによってブリ漁業の操業パターンや構造に変化が起きる可能性は小さいと判断されるからである。

このような判断にたつて表15の(1)が示す結果を評価すると、生涯を通じた収支バランスはプラスで、15万尾のブリ早期種苗の放流は放流経費を賄いつつ25.7ないし42.4トンの増産をもたらすと考えられる。後述する(第四章、総合評価、2、(1)、3)ように、自然死亡係数 M の真の値が想定-1よりは想定-2に近い可能性が示唆されていて、著者等は漁業経費(2)による評価では、想定-2の結果をより重視すべきと考えている。

ただし、例えば、ある局所的な水域において新しい地域資源が構築され、それが地域の漁業構造に大きなインパクトを与える場合には当然、上述の考え方の転換が必要であろう。そして漁業経費(2)による評価が必要となる場合もあり得る。こういう視点に立って、表15の(2)には種苗放流域である播磨灘と、それに隣接する紀伊水道域のみに限って評価した総事業経費を示してある。ブリの地域資源構築が可能になる条件を探るためである。

表15の(2)では、バランスは全てマイナスで、放流域並びにそれに隣接する海域だけで事業経費が回収できる可能性は非常に小さいと判断せざるを得ない。ここでの事業経費の回収率（事業効率）は、漁業経費(1)の場合、想定-1では57%、想定-2では39%、漁業経費(2)の場合でも、想定-1で46%、想定-2で34%である。放流効果は放流海域では十分に回収されず、放流の効果の主要部分は外海域に転移していることが分かる。このことは、将来の放流事業の進め方を検討するうえで重要な意味を持っているので、次章、総合評価の

2. 追加議論, (3)の項で再考察する。

ここで視点を変えて、15万尾放流からの回収金額、あるいは事業経費見積もりの過程で、過少、あるいは過大評価になっている可能性のある部分について、見直しておきたい。表15に示された数値のなかに過少あるいは過大評価のものが含まれてはいないかということである。回収金額の過少評価を招いたと判断される根拠としては以下のものが挙げられる。

- ① 遊漁による放流魚の再捕量については全く情報を収集しなかった。この水域でブリの当歳魚を対象とした遊漁が行われていることは確かである。
- ② 太平洋岸外海域での再捕量の推定に用いた Y/R の値が過少評価になっている可能性も否定できない。本報告では、外海域での漁獲開始年齢を0.8歳とおいた場合の Y/R を、漁獲開始年齢0歳のときの値と1歳のそれとの平均として1.3kgとおいた。0.8歳は0.5歳よりは1歳に近いから1.3kgが過少評価である可能性は残され

ている。この種の過少評価は将来、情報の蓄積によって補正できる性格のものである。

- ③ 逆に、過大評価の可能性は再捕魚の水揚単価の評価の不確実性と関連している。1歳以降、放流魚は広範な外海域へ拡散するが、この広範な地域に散在するブリの水揚地から、偏りのない情報を収集すること自体、計画性と経費と実施のエネルギーを要するものである。しかも、より本質的な問題としてブリの単価は極めて変異性に富んだものであり、放流事業の収益性を大きく変化させる。おそらく、この種の価格変動からくる過少評価と過大評価の可能性は5分と5分であろう。そして、ブリの放流プロジェクトに対するニーズを最も大きく変化させるのは単価の変動かも知れない。

以上のように放流効果の過少評価、過大評価の可能性をレビューした結果では、表15の評価値(収支バランス)が全体として過大評価になっている可能性は小さいと考えられる。

第IV章. 総合評価

1. 結果の概要

今回の放流試験では、放流効果を放流域である播磨灘での再捕だけで評価するのではなく、それに続く紀伊水道域ならびに生涯の大部分を過ごす太平洋外海漁場での再捕をも含めて評価してみようということであった。そして、作業の結果、図10に示すように、15万尾放流の効果として、藤本、山崎⁽⁶⁾によって報ぜられた播磨灘での7.2トンの漁獲に加えて、逸散先である紀伊水道域から放流年内に1.4ないし4.5トン、さらに放流翌年以降、生涯を通じて太平洋沿岸の外海域で14ないし34トンの漁獲の上積みのあることが見込まれた。したがって、放流ブリの生涯を通じてみれば、総計で25.7~42.4トン(表8)、播磨灘の数倍(3.6~5.9倍)の漁獲が見込まれることになる。これを生涯を通じた放流魚1尾当たりの漁獲量(放流魚の Y/R)に換算すると、0.17~0.28kgになる。このような推定結果は、今回の放流効果の再評価作業がもた

らした成果の一つといえる。

このような推定が可能になった背景には、1998-99年の試験放流の際に、藤本・山崎⁽⁶⁾が精度の高い追跡調査を行い、その結果に基づいて放流群の減耗課程についての解明が進んだことが挙げられる。

播磨灘漁場における全減少係数は月率で $Z=0.632$ と推定された。この値は通常の資源解析で経験される数値に較べて著しく高いが、これは幼魚段階にある魚群量変動の特性を示すものであろう。

放流域からの旺盛な逸散も放流ブリ幼魚の行動特性のひとつで、逸散係数(月率) $D=0.363$ と推定された。この値にはバイアスが含まれている可能性があるが、全減少係数の最大の構成要因である。

幼魚段階での自然死亡係数 M' は月率で0.025~0.168の間にあると想定された。これは年率0.30

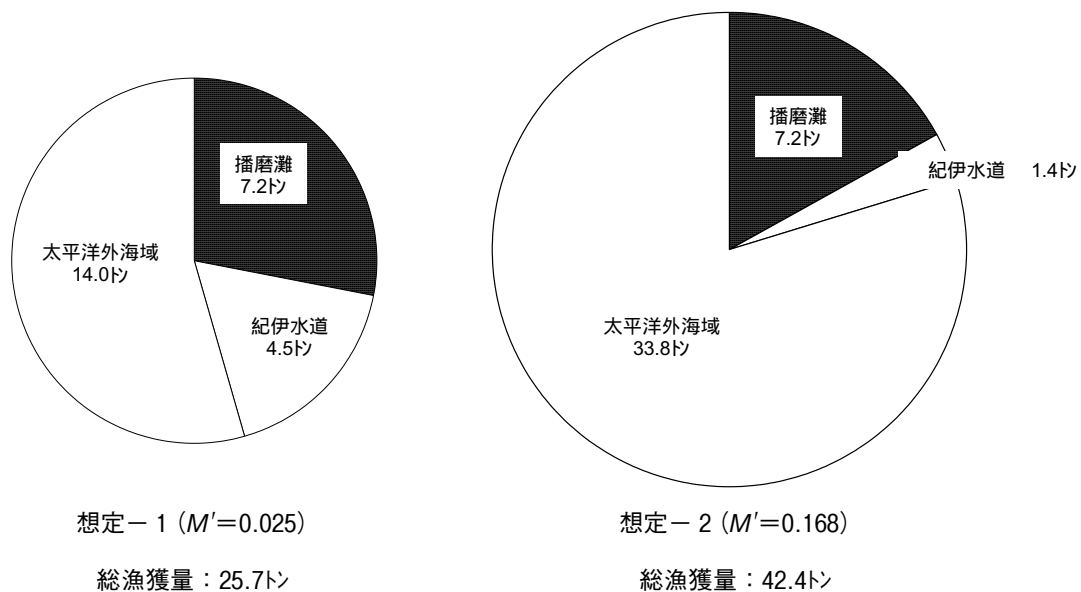


図10 15万尾放流群の生涯を通じて予測される漁獲量

～2.02に相当し、実際の M' の値は未成魚・成魚段階の数倍に達する可能性がある。 M' の想定値に大きな幅を与えざるを得なかった背景には、放流時点と漁獲開始時点の間に存在した1カ月間の情報の空白期間の存在と過去の幼魚生態に関する研究蓄積がほとんどないことが係わっている。したがって、本報告では得られた結果は常に2つの想定値のもとで与えられている。例えば、放流された15万尾からの生涯を通じた総漁獲量は、想定-1の場合25トン、想定-2の場合、42トンというように表現される。そして、真実の値は25トンと42トンの間のどこかにあると考えるのである。

播磨灘漁場における漁獲係数は、 $F=(Z-D)-M'$ として計算したが、結果は0.244～0.101で年率では1.21～2.93となる。これは外海漁場とはほぼ同一ないしは2倍強の水準である。また、この値は須田・他⁽⁵⁾(1985)の予測に較べて確かに大きい。これは1. 1-1, 既往の放流データのレビューの項で述べたように、前回試験では、自然死

亡係数を大きく、漁獲係数を小さく見積もる傾向のあったことの反映と考えられる。再捕報告依存型の放流効果追跡調査に内在する偏りが今回の評価によって修正された結果と言えるであろう。

紀伊水道漁場の全減少係数 $Z^{(K)}$ は播磨灘漁場の Z と、前回試験(1981-82年)で得られた Z と $Z^{(K)}$ の比率を用いて、 $Z^{(K)}=0.190$ と推定された。

これらの諸減耗要因の推定値を用いて、放流魚15万尾から各時点までの生き残り尾数を計算することができる。放流から1ヶ月後の8月1日、すなわち播磨灘漁期始めまでの生残尾数は3.30～7.97万尾(表2)、放流年の年末の12月31日時点では1.08～2.60万尾(表6)、そして放流後1カ年を経た放流翌年の7月では0.56～1.36万尾と推定された(脚注1)。また、放流後の累積再捕率についてみると、放流年の年末までの間、すなわち播磨灘および紀伊水道域で13ないし10%(脚注2)、全生涯を通じて19ないし23%(脚注3)と計算される。

脚注1：放流後、満1カ年後の生残尾数とは、2. 追加議論、(2)でも述べるように、放流年の年末(あるいはその翌年1月1日)での生残尾数 $N_{7/1}$ (表6)から、さらに6ヶ月後まで生き残った尾数である。外海漁場での全減少係数： $Z^{(G)}=1.3$ (年率)と推定されている⁽¹²⁾から、

$$N_{7/1}=N_{1/1} \cdot \exp(-0.65)=N_{1/1} \times 0.5220$$

したがって、

$$\text{想定-1では、} N_{7/1}=10,769 \text{ (表6)} \times 0.5220 = 5,621$$

$$\text{想定-2では、} N_{7/1}=26,015 \text{ (表6)} \times 0.5220 = 13,580$$

脚注2：播磨灘と紀伊水道域での再捕(漁獲)尾数は、それぞれ表4と表5に示されている。両水域からの再捕尾数の和は、

$$\text{想定-1では、} 12,197 \text{ (表4)} + 7,621 \text{ (表5)} = 19,818$$

$$\text{想定-2では、} 12,197 \text{ (表4)} + 2,455 \text{ (表5)} = 14,652$$

したがって再捕率は、

$$\text{想定-1では、} 19,818/150,000 = 0.13$$

$$\text{想定-2では、} 14,652/150,000 = 0.10$$

脚注3：太平洋外海域での漁獲尾数は、放流翌年1月1日での生残尾数 $N_{1/1}$ に、外海域で生涯を終わるまでの間の漁獲率 $F^{(G)}/Z^{(G)}$ を乗じたものである。 $F^{(G)}/Z^{(G)}=1.0/1.3=0.7692$ ⁽¹²⁾であるから、外海域での漁獲尾数 $C^{(G)}=N_{1/1} \times 0.7692$ となる。したがって、放流されてから生涯を通じての再捕尾数は、

$$\text{想定-1では、} 19,818 \text{ (脚注2)} + 10,769 \text{ (表6)} \times 0.7692 = 28,102$$

$$\text{想定-2では、} 14,652 \text{ (脚注2)} + 26,015 \text{ (表6)} \times 0.7692 = 34,663$$

したがって、生涯を通じての再捕率は、

$$\text{想定-1では、} 28,102/150,000 = 0.19$$

$$\text{想定-2では、} 34,663/150,000 = 0.23$$

図11は15万尾放流の収支バランスを示す。図中の太い点線は、漁業経費を掛かり増し経費として見積もったときの事業経費(1)を表す曲線で、本報告では、これが収支バランスの基本的な評価基準である。これは、ブリ漁業が中・南部太平洋外海域において、長年にわたり万トンオーダーの漁獲を支えながら激しい漁獲変動に耐えることができたという実績のもとで、放流による増産分の収穫に必要な経費は掛かり増し経費として十分に評価できるという考え方にたっている。図中の太い実線は15万尾放流からの回収金額を示す曲線で、想定-1と想定-2の間の全領域で事業経費(1)を上回っている。結局、15万尾のブリの人工種苗放流は、内海域及び外海域に合わせて25~42万トンの増産をもたらしながら、同時に放流に必要な経費を賄っていることになる。

なお念のため、図には細い点曲線で「水揚げ金額×経費率」として評価したときの事業経費(2)が示されている。この場合でも、 $M' < 0.14$ の領域で、総水揚げ金額は事業経費(2)を上回っている。现阶段では真の M' の値はわからないが、もし想定-2に近い値をとるとすれば(2. 追加議論(1), 3)参照), 事業経費(2)で評価しても事業経費(1)と同じ結論が導かれることになる。

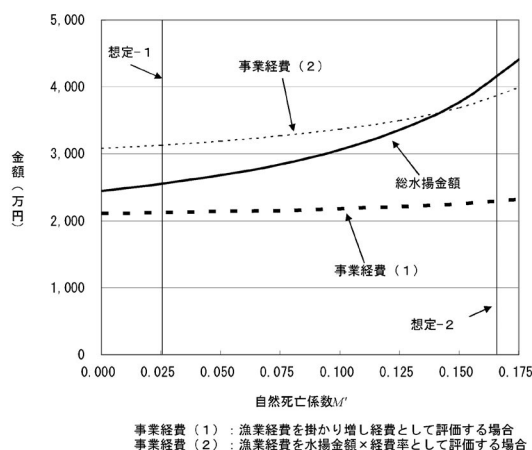


図11 15万尾放流の収支バランス

表15の(2)が示すのは、上述してきたような「生涯を通じた収支バランス」とは全く異なった局面に関するものである。放流水域(播磨灘)及びその接続水域(紀伊水道)に限ってみると、必要経費を賄えるだけの水揚げ金額はとて期待できそうにない。このことは、瀬戸内海域にブリの「地域資源を構築することの可能性」を判断する上で重要な材料となる。地域資源の構築は、漁業者の手による地域漁業の活性化に繋がる極めて重要な課題であるので、2. 追加議論のなかで改めて取り上げる。

2. 追加議論

今回の放流効果の評価作業から多くの教訓を得た。これらについては、その都度指摘するように努めてきたが、そのうちいくつかについては将来に向けてさらに検討を重ね、理解を深めておく価値と必要性がある。このような課題として、

- ① 放流された幼魚群の資源生物学的情報の収集に当たって留意すべきこと
 - ② 放流効果の形成過程を分析すること
 - ③ 地域漁業の活性化に向けて、放流による地域群構築の可能性を探ること
- 等が挙げられる。

(1) 放流された幼魚群の資源生物学的情報の収集に当たって留意すべきこと

評価作業を進める課程で、著者等は幼魚群についてのデータ処理や結果の評価手法をめぐって種々の問題に遭遇した。過去の情報や経験の蓄積が十分でない幼魚群の生態や減耗パラメータについての考え方、放流デザインが年々見直されるなかで生ずるデータの互換性の問題、将来の資源評価や資源構築技術の鍵となる播種減耗についての情報収集の方法等の課題である。とくに、播種減耗の実態が明らかになれば、 M' の真の値が想定-1と想定-2に挟まれた広い領域の何処に位置しているかについても考え方が絞れるはずである。

以下、これらの問題について逐次考え方の整理

を試みる。

1) 放流された幼魚群の生態や減耗パラメータについての考え方

放流された幼魚群の資源生物学的生態を未成魚・成魚期の延長上で考えるのは適当でない。放流海域における生態学的な位置づけが未成魚・成魚とは大きく異なるうえに、成長段階の差に応じて成長率、生残率が著しく変化すると考えられるからである。こういう意識に立って、本報告では幼魚段階と、未成魚・成魚段階の自然死亡係数を示す記号： M' と M を完全に区別してきた。

放流効果の追跡という視点から言うと、特に重要なのは成長と生残に関する情報である。しかし、放流対象になる幼魚についてのこの種の情報蓄積は殆ど無いというのが実情である。この種の情報収集には、放流種苗という極めて高価な実験材料と、人手不足のなかで専門家による野外調査が必要だからである。換言すれば、幼魚期の生態や減耗パラメータに関する情報が蓄積される機会そのものが少なかったと言わざるを得ない。このことを受けて、主として未成魚・成魚を対象として過去に確立されてきた調査法やデータの解析法の見直しも慎重に進める必要があると筆者等は考えている。

例えば藤本・山崎⁽⁶⁾が魚市場での標本調査で得た播磨灘漁期での漁獲尾数(対数値)の時間的変化が直線回帰することに注目して、先ず全減少係数を推定してみた。結果は月当たり $Z=0.632$ (年率7.578)と未成魚・成魚の資源解析では殆ど経験されないような大きな数値が出た。後述するように、このなかには大きな逸散係数が含まれているが、この逸散係数の推定値を差し引いても月率0.269(年率3.228)相当の減少係数が残る。この中身は自然死亡係数と漁獲死亡係数ということになるが、幼魚段階の魚群が激しい減耗にさらされている実態が読み取れる。

著者らは上述の漁獲尾数(対数値)の直線的な減耗過程に注目して、個々のパラメータの推定に[式3]の漁獲方程式を用いることにした。この

型の漁獲方程式は未成魚・成魚段階の資源解析において極めて普通に用いられているものである。ところでこのモデルには、播磨灘漁期を通じて、式を構成する個々のパラメータは一定の平均値を持つという前提がある。この前提のもとでは、播磨灘漁期の最終点、すなわち放流年の年末に(12月31日から1月1日にかけて)、ブリの自然死亡率 M' は月率0.025~0.168(代表値として中間値をとると0.0965)から一挙に1/4近くの $M=0.025$ に急低下することになる。あまりにも大きなギャップは生物の生残過程を考える上で不自然である。むしろ、パラメータを一定とする[式3]型の漁獲方程式とは別のモデル、例えば M' の値が成長にともなって(時間の関数として)一定の割合で変化するというモデルのほうが、この間の生残過程をうまく説明できるかもしれない(I , 1-2, (3), 2))。このように幼魚期の資源動態に対処するために、今日までの手法を見直し、これを新しい方向に拡げてゆくことの必要性を感じている。

コホート解析の導入も断念せざるを得なかった。すでに何回か触れたように、播磨灘漁期の初期尾数 $N_{8,1}$ の推定は本研究にとって重要な課題であった。 $N_{8,1}$ が特定できれば M' も特定できたからである。そして、その推定にコホート解析を用いることが検討されたが、 M' の実態を把握しかねている現状では導入は時期尚早と判断された。

個々のパラメータの推定作業の過程で著者等が遭遇したもう一つの課題は、「放流という手順」が発生させる放流効果への直接、あるいは間接的な影響であった。この種の事例としては、すでにマダイやヒラメの放流サイズと放流群の生残率との関係が議論されているが、著者等が今回のブリ幼魚の放流実験で体験したものは、より間接的で、かつ、ブリという広域回遊種の生態学的な行動特性とも深く関連したものであった。

第I章の冒頭で述べたように、本種の生涯を通じた漁獲量を推定するには、放流場である播磨灘から紀伊水道への逸散量(係数)を推定しておく

必要があった。過去の放流試験の結果を通して、播磨灘漁場では放流魚の逸散が極めて顕著なことが知られていた^(3,4)。逸散は見かけ上は減耗であるけれども、ブリの生涯を考えれば、その「ある部分」は生き残って将来の漁獲に貢献する。自然死亡の一部ではなくて、紀伊水道や太平洋外海域への加入量を決定する要因として評価する必要がある。したがって、本報告で著者らが用いた漁獲方程式のパラメータには逸散係数 D が入っている。したがって、

$$Z = M' + D + F$$

となる。ここで、増やしたパラメータ D は漁獲方程式の外側で何らかの方法で推定しないと、他のパラメータが未定になってしまう。ここで、逸散係数 D を解く鍵は、放流魚の播磨灘での残存量と紀伊水道への蓄積量がバランスするのに要する時間を測定することにあると考えた。そして[式1]を組み立てた。この式を解くにあたって2つのパラメータ t_x と $Z^{(K)}$ をいかに決定するかが問題であった。

2つのパラメータのうち、 t_x は、紀伊水道からの再捕データのある放流事例については、I, 1-2, (2)で説明した方法(図4参照)で決めることができる。当初、 t_x の推定は案外簡単に行けると思われた。ところがいくつかの放流事例を洗っているうちに、 t_x は固定された値ではなくて、放流時期 t_r と関連していることがわかってきた。放流時期 t_r が遅れるほど $(t_x - t_r)$ が短くなる傾向がある。晩期放流群ほど逸散が早いのである。その一方で、1998-99年の試験放流に使われたのは早期種苗であり、過去のどの放流群よりも放流時期が早くなっている。しかも、この群については追跡のための調査網は播磨灘に限られていて、紀伊水道域からの再捕情報を収集する手だては全くない。それだけに、この群の t_x を直接推定する手がかりがない。そこで、1981-82年の9月上旬放流群について得られた、 $(t_x - t_r)$ の測定値を基準にして、早期種苗の t_x は基準よりも早い時期、そして $(t_x - t_r)$ は基準よりは長くなると想定し、こ

の2つの想定が両立する時期として $t_x = 9.8$ (9月25日)とおいた。この値は実測値ではないから、将来確認する必要がある。

もう一つのパラメータ $Z^{(K)}$ の決定にあたって、必要なデータは1998-99年の試験放流からは得られなかった。結局、1981-82年データの利用の仕方を工夫する(I, 1-2, (2)の脚注)ことによって推定値を得たが、この値がbiasedである可能性は否定できない。

結局、逸散係数 $D = 0.363$ は早期放流群(7月放流、8月から漁獲開始)に特定された値であり、係数 D そのものの値は、放流時期がおそくなるとともに漸次増大してゆくと考えられる。換言すれば、 t_x 、したがって $(t_x - t_r)$ は放流時点 t_r の函数であり、係数 D も放流時点 t_r が変化すると改めて推定し直す必要があるということである。

放流時点 t_r と漁獲開始時点 t_c の間に時間的なギャップ、換言すれば放流サイズと商品サイズの間にギャップがあったために、 M の推定手順は所期の計画通りには進まなかった。放流されたブリは放流直後からは漁獲されず、播磨灘漁期の初期尾数 $N_{8,1}$ が決まらなかった。[式3]を構成する5個の変量のうち、 Z 、 C と D は既知だから、放流尾数を初期尾数として[式3]によって M' が求まる手はずであった。しかし、 M' の推定値の代わりに著者らが得たものは、 $N_{8,1}$ と M' の関係式(実験式2または2')であった。ここで、不定となった両係数($N_{8,1}$ と M')の何れか一方が決まれば他方も決まる。こうして M' の最小(想定-1)と最大想定値(想定-2)が設定されたのである。その結果、放流15万尾からの予想漁獲量には25.5~42トンと大きな巾がついている。42トンという数字は大きな漁獲のポテンシャルをイメージさせるが、その一方でこの数字は M' を絞りきれなかったことを反映するものである。

ただし、 M' を絞りきれなかったことについて、著者らの間で新しい考え方が生まれつつある。 M' の最小想定値と最大想定値の間に7倍もの格差があったにも関わらず、漁獲量の推定段階での

格差は2倍以下に収まった。[実験式2]には、播磨灘漁期の全減少係数と再捕尾数の測定値が常に再現できるように $N_{8,1}$ と M の値を相互調整できる機能があるので、放流効果の推定値の拡散をこの程度に抑えることができたと考えられる。とすれば、[実験式2]の実用性はかなり高く評価してよい。放流種苗や漁業の操業実態によっては、いつも放流群が放流直後から漁獲対象になるとは限らない。それだけに、[実験式2]を用いて評価を進めることにむしろ一般性を認めるという考え方である。

以上のように、放流という手段は、多様な形で放流効果や、効果の推定手順を変化させる。おそらく、今回著者等がブリについて経験したものよりさらに多様な「放流に起因するインパクト」が、放流効果の追跡課程において経験されることになるだろう。このようなインパクトを先行的に予察し、放流デザインを調整することが放流計画立案者に科せられた課題であることは間違いない。

2) 放流デザインの変化とデータの互換性

今回の放流実験に与えられた最終的な課題は、生涯を通じた放流効果を追跡するということがあった。そのためには、播磨灘の外側海域での放流魚のダイナミクスについての情報がほしい。この種の情報は1998～99年放流群の追跡データからはほとんど得られないので、既往のデータ、例えば1981～82年放流群の追跡データに依存することになる。しかし、これらのデータ間での互換性が十分でなく、データの活用にあたって制約のあることを経験した。それだけに、将来の放流効果追跡作業で遭遇するであろうこの種の制約を最小限度に止めるような措置を工夫しておく必要がある。

そのためには、放流計画と放流された魚群の追跡計画の立案にあたり、一定の基準を持つ必要がある。この基準については、栽培漁業モニタリング委員会（日本栽培漁業協会が水産庁の委託事業として実施）でも議論され、同委員会の報告書：栽培漁業モニタリング指針⁽²²⁾に収録、刊行され

ているので参考になる。

この基準に関連して、著者等が特に重要性を指摘したい事項は以下の如くである。

① データの互換性を維持するために最も基本的な事柄は、水揚げ地を対象とした標本調査を通して、「単位期間別の総再捕尾数」を推定することである。再捕尾数の推定値を不偏にすることが、複数の放流試験で C と Z の比較を可能にする必要条件である。

この標本調査の設計では、予算に応じた調査員の配置計画と標本抽出率、調査網の広がりについてのデザインが特に重要と考えられる。

② 事前に、放流用素材の吟味を十分にやっておくこと。

以下に挙げる諸項目が、実験放流間でしばしば変更され、データの互換性の妨げになっている。再捕率にバイアスが導入されることを避けるために、なるべく変更を避けたい。

- 1) 放流用人工種苗の種苗性
- 2) 放流時期の設定
- 3) 用いる標識のタイプ

ただし、以上の項目については技術開発の視点から、計画的な変更が必要なこともあり得る。これは技術の発展に伴う避け難い変更であって、前項①で述べた再捕尾数の推定値を不偏にするような調査デザインが採られていれば、放流用素材に変更はあっても、結果の比較は可能である。

③ 漁期始めにおける資源尾数が特定できるか否かは、その後の結果の分析計画に大きな影響をもたらす。放流時点と漁獲開始時点の間にギャップが予想される場合、加入前漁獲の実態についての情報をできるだけ収集するシステムを工夫しておく必要がある（播種減耗の項参照）。

④ ブリのような広域回遊魚では、広域に逸散した放流魚を追跡することは放流効果を確かめるうえで不可欠の手順である。しかし、その一方で標本調査を導入する場合、必要な調査員数、調査経費と全体の進行管理経費が必要で、か

なりの出費を必要とする。したがって、追跡作業は何れかの時点、あるいは地点で打ち切らざるを得ない。この場合、放流群をどのような状態で放流場から商業漁場に送り込めたかを確かめるような情報収集を行うことが、放流魚の追跡計画を担当するものの最小限の責任と考える。

こういう意味で、1998-99年のブリ早期種苗の放流試験の追跡調査で、藤本・山崎⁽⁶⁾が魚市場での標本調査を実施し、放流海域での総再捕尾数の時間的変化を良好な精度で解明したことは、外海域のブリ漁場に送り込まれた幼魚の尾数推定の手掛かりとなった。商業漁場へ送り込まれた魚群からのデータ収集については、漁業管理の一環として進められることを期待したい。

3) 播種減耗（放流減耗）についての考え方

播種減耗とは「放流直後のある期間に発生する顕著な減耗」のことで、放流種苗に特有のものである。もし播種減耗が存在するなら、これを把握することは放流効果の推定のみならず、放流技術の改善に顕著な貢献をもたらす。今回の試験放流の場合、種苗放流時点と漁獲開始時点の間に1ヶ月のズレがあって、その間の放流群の減耗課程についてはほとんど情報はとられていなかった。そのために、漁獲開始時点における資源尾数 $N_{8/1}$ が決定できず、漁獲方程式を構成するもう一つのパラメータ M も不定となってしまった。そして、放流効果の評価結果に M の2つの想定値（想定-1と想定-2）によって与えられる大きな安全幅を付けざるを得なくなった。もしここで、放流時点と漁獲開始時点の間の全減少係数（播種減耗係数 $Z^{(R)}$ ）が把握できていたとしたら、 $N_{8/1}$ も M も特定できるし、放流効果の評価結果も特定できたはずである。また、 $Z^{(R)}$ の推定精度が十分でない場合でも、放流効果の評価はもっと絞った範囲内で行えたはずである。播種減耗課程へのアプローチの重要性を痛感させられる経験であった。

技術サイドにとって今後の大きな課題は、放流

直後の情報空白期間での放流魚の挙動の有効な追跡手法を工夫することであろう。そのためにはまず、既往の知見を、放流群に直接関連するものに限らず、一般的な知見をも含めて、整理してみる必要がある。この際に「比較の対象となる事例」を持つことが有効と考えられる。今回の場合、例えば播磨灘漁期の全減少係数 Z をコントロールにするのである。播磨灘漁期の全減少係数 Z の値は既知であるから、これとの比較によって、播種減耗係数 $Z^{(R)}$ のおよそのレベルについての目処も得られよう。さらに Z （コントロール）の構成要素と $Z^{(R)}$ のそれとの相互比較を試みるのである。

とりあえず、播種減耗係数を構成する要素を表16の左側の欄のように考えてみた。なお、本表での表示の仕方について補足すると、 $\Phi > \Omega$ は播種減耗期の数値が播磨灘漁期のそれより大きい、その差がとくに顕著な差があるとは判断できない場合を示す。当初、播種減耗期の数値の方が播磨灘漁期のそれより明らかに大きい場合を想定して $\Phi \gg \Omega$ を設けたが、これに相当するものはなかった。 $\Phi \approx 0 > \Omega$ は播種減耗期においてもこの種の減耗は顕著でないと判断されるが、播磨灘漁期には全く存在しないことを示すものである。 $\Phi \leq \Omega$ は、この種の減耗は播磨灘漁期の方が強く現れる可能性のあることを示す。

この表において主観的判断を完全に排除することは難しいが、播種減耗を構成する減耗要因のなかで播磨灘漁期のそれと顕著に性状が異なるものの存在を示唆する情報はないといえる。著者等の間には、漁獲死亡と逸散については、むしろ播磨灘漁期の方が大きいかも知れないという見解すらある。自然死亡要因については目下のところほとんど情報が無い。しかし、少なくとも放流時のストレスは播磨灘漁期には存在しないはずである。また疾病による死亡については、種苗生産時の高密度飼育の影響を考えると、播種減耗期での可能性の方が播磨灘漁期でのそれより大きいと思われる。以上を総括して、現段階では、播種減耗係数 $Z^{(R)}$ の値は、「播磨灘漁期の全減少係数 Z のそれ：

0.632から大きく隔たっているらしい。そして、多分それよりも高い水準にある」と考えられる。この想定のもとでは、15万尾の放流群から播磨灘漁場に添加される資源尾数 $N_{8/1}$ は、表2の M' の最小想定値（*1印）に対応する値32,992尾よりも、最大想定値（*2印：これは播種減耗係数 $Z^{(R)} \equiv Z$ と想定したときの M' 値である）に対応する値79,703尾に近い可能性が大きいと判断される。

表16を用いてこのような推論を行ってみたが、本表の内容で最大の弱点は実測に基づいた記述がないということである。本表に基づいた推論の客

観性を高めるために実行可能で、かつ有効な情報収集が期待できるのは「加入前漁獲量の定期的な調査」であろう。実施要領は、魚市場における放流魚の再捕水揚げ量の標本調査と同じである。ただし、放流魚が未だ市場価値を持たない段階での調査であるから、調査の実施場所は標本漁撈体となる。また、播種減耗期間中に複数の単位調査期間を設ける必要がある。この調査を通して把握したい情報は全減少係数と、そして加入前漁獲の総量である。

一般的に言って、全ての放流計画において、放流時点と漁獲開始時点とが一致するとは限らな

表16 放流直後の播種減耗係数 $Z^{(R)}$ を構成する諸要素の試行的評価

構成要素	評価	Zとの比較
自然死亡		
放流時のストレス	環境馴致のため、小割網飼育の後、網を開放して複数回にわたって分離放流するので、取り扱いによるストレスが発生する可能性は小さいと考えられる。ただし、閉鎖的な生活環境から開放環境へ移されることによるストレス発生の可能性は否定できないが、具体的な情報は持ち合わせていない。	$\phi > \Omega$
放流直後の飢餓	一般的にあってあまり考えられない	$\phi \approx 0 > \Omega$
放流直後の被食	ブリではあまり考えられない	$\phi \approx 0 > \Omega$
疾病による死亡	実態については手がかりがないが、播種減耗期の幼魚は播磨灘漁期のものよりは若齢であり、疾病による死亡率はおそらく播磨灘漁期より大きいであろう。	$\phi > \Omega$
漁獲死亡	商品価値を持たないから播磨灘漁期ほど F 値は大きくないであろう。特に釣漁業の漁獲圧はほとんど効かない。Unwillingな漁獲は否定できないが、その可能性を持つのは小型定置網だけである。	$\phi \leq \Omega$
逸散	過去の再捕記録からみると放流直後から逸散はある。同時に放流点近辺の養殖場に滞留するという観察 ⁽¹⁷⁾ もある。この時期の逸散が播磨灘漁期のそれより大きいと考えなければならない理由はない。	$\phi \approx \Omega$

い。放流時点と漁獲開始時点の間に播種減耗が介在して、放流尾数 N_R を漁期始めの資源尾数 N_C とみなせない場合がしばしば生ずると考えられる。このように、漁獲開始時点における資源尾数が特定できないような事態に対処する手法として、著者等が採ったのが「実験式(2)」と「不定となったパラメータの限界値についての想定」を組み合わせることで放流群からの漁獲量を予想するというものであった。今回の事例では、自然死亡係数 M' の存在可能範囲を予想するための事前情報がほとんど得られなかったため、限界値についての想定-1 (0.025) と想定-2 (0.168) の間に十分に広い領域を設定せざるを得なかった。想定-1と想定-2の間には M' について7倍近くの格差があったが、この値を用いて計算された放流群からの収穫量の格差は2倍以下で収まった。実験式(2)の持っている $N_{8,1}$ と M' の相互調整機能が推定結果の拡散を制御したと著者等は考えている。このことを受けて著者等は、実験式(2)を構成する他のパラメータの推定値さえしっかりしていれば、この方式で評価作業は進め得るという感触を得た。この手法を**播種減耗が確定できない場合の放流効果の評価法**と仮称することにする。さきに、**本章, 2, (1), 1)**で、著者等の間には、放流時点と漁獲開始時点とが一致しなかったために、漁期始めの資源尾数が特定できず、漁獲方程式で幼魚期の自然死亡係数 M' の値を特定できなかったことは必ずしも損失ではないという考え方が生まれつつあることを述べた。この考え方は、実験式(2)の実用性の評価のうえに生まれたものであるが、この実用性がさらに「播種減耗へのアプローチの度合い」とも関連していることを忘れてはならない。ここで指摘したいことは、実験式(2)のパラメータの精度は漁獲対象期に得られるデータの質と量で決まるが、「不定となったパラメータの想定巾」は播種減耗期の減耗課程について得られる情報の質と量によって決まるということである。この種の情報が多いほど、不定となったパラメータの想定巾を絞ることができるからである。

不定となったパラメータの想定巾を決めるのは播種減耗期の減耗課程についての情報であるから、今後、放流種苗の追跡計画のなかで、前述した加入前漁獲の実態把握を特に重視し、その手法の効率化を図ってゆきたい。この種の情報蓄積を通して、播種減耗期の全減少係数 $Z^{(R)}$ がある程度の精度で推定できるなら、**播種減耗が確定できない場合の放流効果の評価法**の実用性は著しく高められることになる。むしろ、オーソドックスな手法としての位置付けを占めるようになるかもしれない。

放流直後から漁業があって、放流尾数をそのまま漁期始めの加入尾数と見なすことができる場合には、それだけパラメータの特定には有利であるように見える。標識放流はしばしばこういう目的で実施される。これに関連して、北田⁽¹³⁾が注目される事例を提供している。北田は瀬戸内海の底曳網漁場にマダイの種苗を放流し、翌日から毎日の再捕尾数を追跡した。そのとき、再捕尾数は一定の割合で減少するのではなく、放流直後のある期間の減少率はその後に比べて統計的に区別できる程度に高かった。そして減少率の変化点を推定する方法を提唱している。この減少率の高い期間は播種減耗期に相当するとも考えられる。人工種苗の場合、放流は生活様式の不連続点に当たる。そのために、放流直後の期間に放流減耗（あるいは播種減耗）が存在する可能性が大きいと考えられる。放流尾数と真の有効（実効）放流尾数は異なるかもしれない。これは人工種苗の放流に携わる者が常に配慮すべきことであろう。そして、仮にここで初期尾数が与えられ、自然死亡係数 M' が計算できても、この係数値には本来の意味の自然死亡の上に播種減耗が複合している可能性がある。そして、最悪の場合には、このような播種減耗の存在に気付かないままに済まされる可能性もある。むしろ、今回の放流試験では、放流と漁獲開始時点の間にズレがあったために播種減耗期の存在が強く意識され、それへの対応の仕方についての議論が持たれた。これはむしろプラスであっ

たとえられる。

将来、放流されたブリ人工種苗の播種減耗 $Z^{(R)}$ についての情報が充実すれば、今回の研究で著者等が設定した自然死亡係数 M' 、あるいは播磨灘漁期への加入尾数 $N_{8/1}$ についての想定幅がさらに狭められることになる。

(2) 放流効果の形成過程

ここでは、自然死亡係数 M' について設けた想定-1と想定-2が総再捕重量の推定値に及ぼす「見かけ上の効果」と、ブリ資源が生産したバイオマスが資源内部のどの部分（漁場）に蓄積されるかという「資源構造に基づいた漁場別の生産性」

を区別して考察する。

放流効果の推定にあたっては図6に示すように漁場を設定し、実験式2、計算式〔式4' - 8'〕および〔式9〕を用いて、15万尾放流群からの各漁場への加入尾数と漁期末における残存尾数ならびに漁獲尾数が推定された（表4（播磨灘）、表5（紀伊水道）及び表6（太平洋岸・外海））。さらに、播磨灘及び紀伊水道漁場については漁獲尾数に平均体重：0.59kg⁽⁶⁾を、太平洋・外海域については加入尾数に Y/R ：1.30kg⁽¹³⁾を乗じて漁獲重量が計算された。この間の作業経過を模式的に示したのが図12である。

この図を辿ってゆくと、「自然死亡係数 M' の想

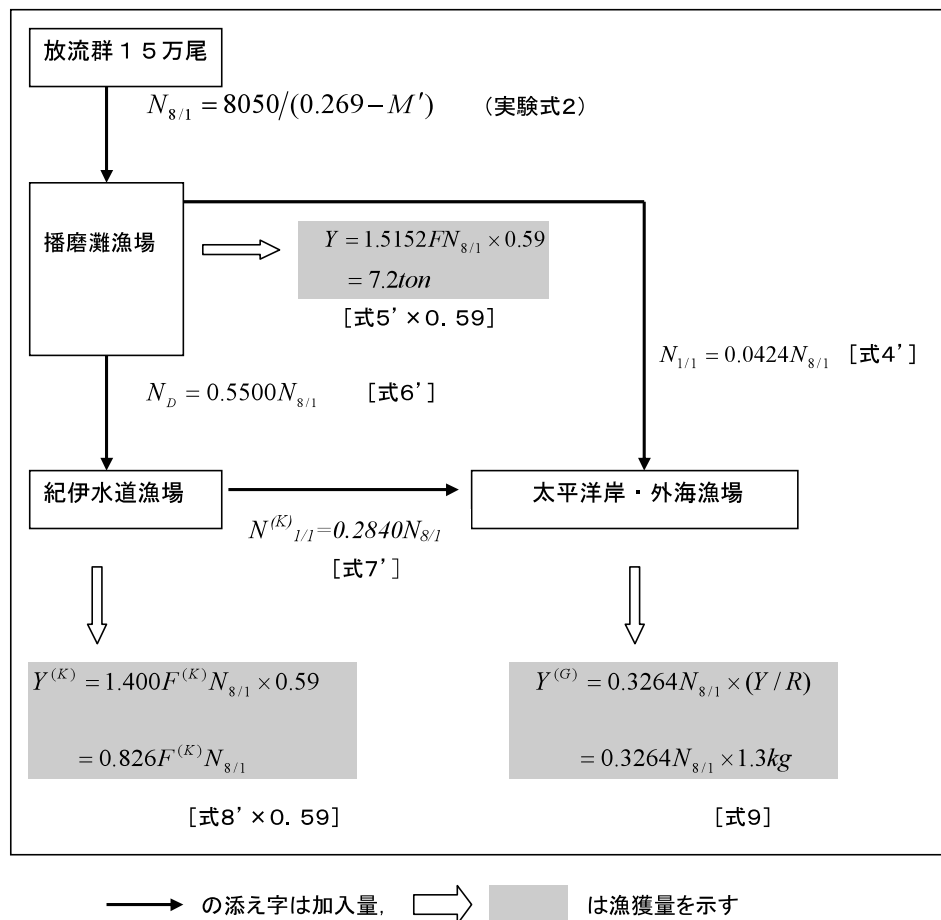


図12 15万尾放流群からの各漁場への加入尾数、各漁場での漁獲量（間引き量）

定値の変化」が加入尾数にどのような影響を及ぼしているかが明瞭に読み取れる。まず、播磨灘から紀伊水道への逸散尾数（すなわち紀伊水道への加入尾数） N_D と、放流年末での播磨灘と紀伊水道での残存尾数の和（すなわち外海漁場への加入尾数） $[N_{1/1} + N_{1/1}^{(K)}]$ は播磨灘への加入尾数 $N_{8/1}$ と単純な比例関係にあることがわかる。すでに指摘した（第I章, 2, (3), (2)参照）ように、 M' と $N_{8/1}$ の両者は同方向に変動するという関係が実験式(2)によって与えられている。したがって、 M' についての想定値が想定-1から想定-2に向けて増大するにつれて、播磨灘のみならず紀伊水道や太平洋・外海域への、換言すれば全海域への加入尾数もまた増大することになる。

次に関心が持たれるのは、総漁獲量 $Y^{(T)}$ が M' の想定値とどのように関連しているのかということである。播磨灘漁場の漁獲量はすでに7.2トンと確定しているので、総漁獲量のうち M' の想定値の変化と関連するのは、紀伊水道域での漁獲量と太平洋外海域からの漁獲量の和、すなわち、

$$Y^{(K)} + Y^{(G)} = 0.826^{(K)} \cdot N_{8/1} + 0.3264N_{8/1} \times 1.3 \\ = (0.826F^{(K)} + 0.4243)N_{8/1} \quad \text{〔式10〕}$$

である。実験式2と、 $F^{(K)} = 0.190 - M'$ の関係式を使って $N_{8/1}$ と $F^{(K)}$ を全部 M' に転換し、この式を整理すると

$$Y^{(K)} + Y^{(G)} = (4,679 - 6,649M') / (0.269 - M') \quad \text{〔式11〕}$$

この式の M' についての導関数は

$$d(Y^{(K)} + Y^{(G)}) / dM' = 2,890 / (0.269 - M')^2 > 0$$

したがって、 M' の想定値が増大すれば、 $Y^{(K)} + Y^{(G)}$ すなわち紀伊水道域と太平洋・外海域からの合計漁獲重量も増大することになる。このことは、総漁獲重量の増加を意味する。

ここで〔式10〕構成成分を、紀伊水道からの漁獲量： $Y^{(K)}$ と外海域からのそれ： $Y^{(G)}$ に分解して、それぞれの M' に対する挙動をみてみよう。まず外海域漁場では、先述したように、 M' の増大、したがって $N_{8/1}$ の増大にともなって漁獲量 $0.3264N_{8/1} \times 1.3$ も当然増大する。一方、紀伊水道域では、

M' の増大、すなわち $N_{8/1}$ の増大は加入尾数 N_D を増大させる一方で、漁獲係数 $F^{(K)}$ を減少させる（第I章, 2, (4)参照）。その結果、紀伊水道域からの漁獲量を表す式： $Y^{(K)} = 0.826F^{(K)} \cdot N_{8/1}$ の M' についての導関数は負となり、 M' の増大によって徐々に漁獲量は減少する。このように、紀伊水道漁場と外海域漁場の間で M' の増減に対する漁獲量の挙動が異なり、 M' の想定値の増大につれて外海域の漁獲量 $Y^{(G)}$ が増大するのとは逆に紀伊水道域の漁獲量 $Y^{(K)}$ は減少する。紀伊水道域での漁獲量は外海域への加入増にも貢献しているはずである。先に述べたように、両海域の合計漁獲量（ $Y^{(K)} + Y^{(G)}$ ）は M' の増大に応じて増大するから、 M' の増大によって徐々に減少する紀伊水道からの漁獲量を上回る効率で外海域の漁獲見込み量が増大し、全体としての漁獲量が増大することになる。この間の経緯は、先に示した図8にもよく現れている。以上のように、自然死亡係数 M' についての想定値が増大すると、放流群からの総再捕量…したがって放流効果…は増大することになる。そして、ここで改めて自然死亡係数 M' の真の値について重大な関心が持たれることになる。

ここで視点を変えて、各漁場の生産性の比較を試みる。図13に漁場別の加入量と漁獲重量を示す。この図の左半分は想定-1、右半分は想定-2のもとでの推定値である。当然、この図においても想定-2のもとでの加入量や漁獲量の予想値は想定-1のもとでのそれよりも大きくなっている。ここで、漁獲量が漁場によってどのように変化するか注目しよう。3海域のなかで、生涯の最終段階に当たる外海域への加入尾数が最も少ないのは当然であるが、逆に収穫量は最大になっている。これは極めて重要なことで、放流効果は放流海域から外海域へと転移していることを意味する。

海域間の収穫量の格差は、瀬戸内海東部海域（播磨灘と紀伊水道を含む）がブリの生活圏としては0歳魚（そしてごくわずかの1歳魚）のそれにほとんど限定されていて平均体重が小さいこと、そして、この幼魚群が絶えず拡散しようとする傾向、

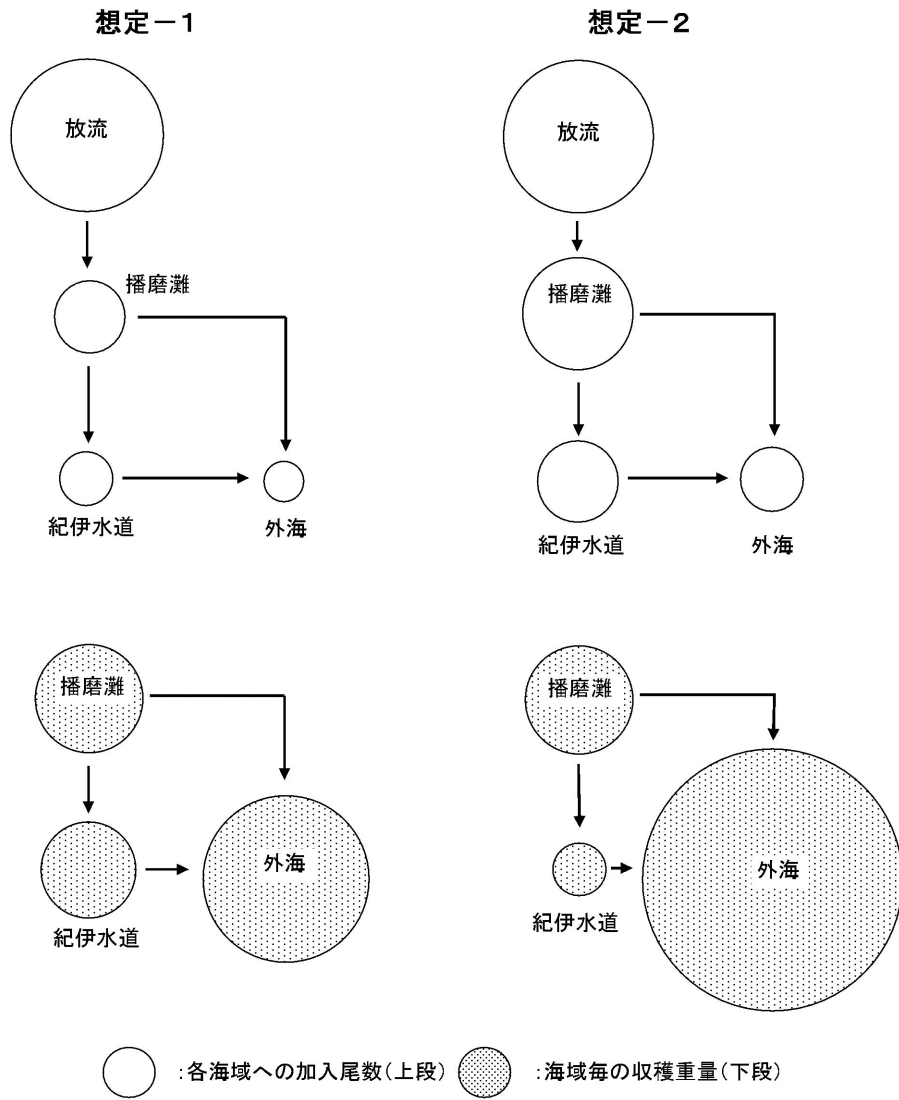


図13 海域別に見た加入量（尾数）と収穫数（重量）

特に秋期の水温下降期に外海域へ逸散しようという強い習性を持っていて漁獲対象になる期間が短いことと関連していると著者等はみている。播磨灘や紀伊水道域での放流魚の平均滞在期間は実質的には5ヶ月以下と見込まれ、これらの漁場は幼魚の通過漁場としての性格が強いと考えられる。

播磨灘漁場と紀伊水道漁場の通過漁場的な性格は、その Y/R を太平洋・外海域のそれと比較すればさらに明瞭になる。ここで、播磨灘漁場と紀伊水道漁場の Y/R は、それぞれの漁獲量を加入量で除して求めたものである。太平洋外海

域のそれは水産庁増殖推進部・水産総合研究センター⁽¹³⁾から引用した。結果は図14に示す。播磨灘漁場と紀伊水道漁場の Y/R は太平洋外海域のその1/5あるいはそれ以下である。当然、この Y/R 値の低さは播磨灘と紀伊水道漁場での漁獲物がほとんど0歳魚からなることと、魚群の漁場滞在期間の短さに起因している。結局、成長に伴って外洋性が強くなるブリの場合、仮に放流点の内湾にあって放流効果は外海域に転移してゆく。ブリ資源はそのような生産構造を持っているということである。

ここで視点を変えて、15万尾放流からの生き残り数の時間的変化をみておこう。図15は放流後1か年間の生残過程を模式的に描いたもので、漁業管理やSPR値評価のための基礎情報を提供するものである。図の縦軸の値はそれぞれの時点における資源尾数 N_t である。生残曲線は2本の曲線で表した。下側の点線が想定-1のもとでの生残曲線であり、上側の実線が想定-2のもとでの生残曲線である。実際の減耗過程はこの2本の曲線の間…そしてたぶん、上側の想定-2に近いところ（前項(1), 3) 播種減耗についての考え方参照）

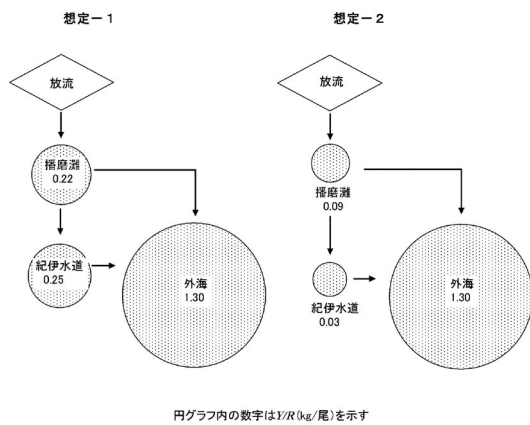


図14 漁場別に評価した Y/R

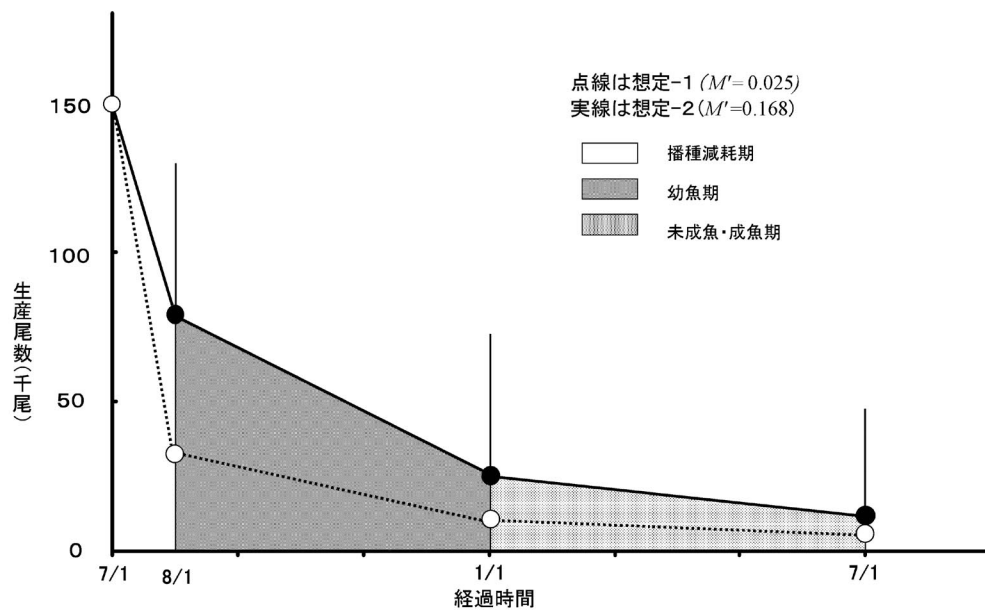


図15 放流後の1か年における15万尾放流群の生き残り過程

に位置していると考えられる。図の横軸，7/1は15万尾が放流された時点，8/1は播磨灘漁期の始点，1/1(=12/31)は放流年の年末で，播磨灘漁期の終点である。これは同時に紀伊水道域での幼魚期漁期の終りでもあり，名目上ではあるが幼魚期から未成魚・成魚段階への移行点でもある。各時点での加入尾数(生残尾数)の計算値は，表2，表6及び本章1，結果の概要の項の脚注1に示されている。

なお，放流後1カ年間の各時点における生き残り状況を生残率で表すと，

放流後1カ月間(放流年の8月1日)：

0.220-0.531

〳 6カ月間(放流年の年末)：

0.072-0.173

〳 12カ月間(放流翌年の7月1日)：

0.037-0.091

である。

この図では，放流直後の1カ月間，いわゆる播種減耗期での生残尾数の減少が最も激しく現れているが，ここでこの図に示された各時点での生残尾数の計算手順を想起しておく必要がある。放流年の年末の値 $N_{1/1}$ には，表6に示すように，播磨灘での生残数のみならず，播磨灘から紀伊水道域へ逸散した個体群からの生き残りも含まれている。言わば，播磨灘からの逸散の影響が消去された値が示されている。また放流後1年を経た図の右端の7/1の値 $N_{7/1}$ は前述の1/1の生残数 $N_{1/1}$ (逸散の影響は消去された値)を太平洋外海域の初期尾数として， $Z=1.3$ として計算されたものである。しかも外海漁場は十分に広範で，この漁場からの逸散は実質的にはないという実態がある。その一方で播磨灘漁期以前の逸散分がそのまま資源尾数の減少量として評価されているのが，放流後1カ月(播種減耗期)を経た8/1の値である。これが放流直後の1カ月間の減耗を大きく評価させる理由になっている。今回の放流試験では情報収集態勢が播磨灘の外側海域をカバーするには至っていなかったために，播種減耗期における逸散

量を測定する手だてに欠けていたことがその背景にある。

(3) ブリ種苗放流の地域漁業への貢献

本章の冒頭で要約した通り，15万尾放流からの生涯を通じた収穫量(表8)及び水揚げ金額(表10)は，想定-1の場合26トン：2,550万円，想定-2の場合42トン：4,190万円であった。必要経費は，漁業経費を掛かり増し経費として計算して，想定-1で2,140万円，想定-2で2,300万円と見積もられた(表14, (1))。そして，生涯を通じた収支のバランスはプラスと判断された(表15-(1))。

一方，種苗が放流された播磨灘およびそれに接続する紀伊水道域からの再捕水揚げ金額(表10)は想定-1で1,130万円，想定-2で770万円，漁業経費(1)で評価しても総事業経費の57%(想定-1)ないし39%(想定-2)しかカバーできていない(表15, (2))。漁業経費(2)での評価はさらに厳しい。しかも前項での議論のように，真の M' の値が想定-1よりも想定-2に近い可能性があるとする，放流水域からの経費の回収率はおそらく40%前後ということになる。

このことは，ブリ放流事業の意味を考えるうえで重要な意味を持っている。先述したように，放流群の生涯を通じた漁業への貢献から判断すると，放流事業全体としての収支はプラスと考えられる。しかし，放流水域に限った場合の経費の回収率が40%ということから判断して，瀬戸内海東部の地域漁業の活性化のためにブリの地域資源を構築するという構想が，事業として成り立つ条件が整っているとは判断し難い。もともと「地域資源の構築」を目指した種苗放流は，放流によって構築された資源が地域の漁業者によって有効に活用されることを目的としたもので，資源全体の水準をかき上げしたり，あるいはその安定化を図るために行われる資源管理型の種苗放流とは動機を異にしている。そして可能な限り地域漁業者が放流効果を回収するといった視点からの放流群管

理が求められる。それだけに、地域漁業者はそのような利用戦略に対応する責任を果たすべき立場にあって、少なくとも事業水域外の漁業者の不利益や負担増はできるだけ避けなければならない。ここで、このようなタイプのブリ種苗放流の事業化を瀬戸内海東部域で図るとすると、放流の担い手はブリ幼魚の最大の利用者である播磨灘や紀伊水道の漁業者ということになる。もともと、ブリの放流計画が検討された背景には、瀬戸内海の漁業者に漁獲の上積みになるような新しい漁業資源を提供できないかという発想があった。夏期における瀬戸内海域の生産性の高さは大島⁽¹⁾や伏見⁽⁷⁾によっても指摘されている。さらに瀬戸内海域や紀伊水道域における0歳ブリ（ツバス）の単価の高さ（表10）は、この地域でのブリに対する需要の大きさを示唆している。また、1998-99年の放流試験では播磨灘漁場の放流ブリの混獲率は20～35%に達していて、15万尾放流が瀬戸内海東部海域のブリ資源のかさ上げに実質的な貢献をしていることも明らかである。ところが、瀬戸内海東部海域からの漁業者に対する直接のリターンだけでは、放流経費は賄えないのである。ここで仮に拡大的な考え方として、放流事業を東部瀬戸内海以外の漁業者、換言すれば外海漁場の漁業者をも含めた広域事業と考え、これ等の漁業者が共同実施者として事業を分担してくれる可能性はないかと考えるのである。しかし、現在、ブリ資源は安定状態にあり、加入が減少している訳ではない。むしろ高位水準にあると判断⁽¹³⁾されている。このような背景のもとで、外海域の漁業者が現段階でのブリの種苗放流の必要性を支持するとは期待し難い。

先にも述べたように、瀬戸内海の漁業者向けの地域資源の構築は本放流試験のひとつのねらいであり、そのためには「放流水域での収支が賄えること」が基本である。ここで、対象海域を放流域とその接続水域（播磨灘と紀伊水道域）に限定してブリ放流事業の収支バランスを改善できる可能性を検討してみる。ここでは議論の整理をたすけ

るために表15、(2)、想定-2の場合を中心に考察を進める。

この水域で収支がバランスする最小限の条件は、ツバスの単価を900円/kg（表9と10、想定-2の数値を用いて計算した漁獲物の重み付き平均単価は、895円/kg）、15万尾放流に必要な種苗生産・放流経費を17,846千円（表11）、掛かり増し経費を10%、当水域からの必要漁獲量を Y として、収支のバランスシート（単位：千円、トン）は、

$$900Y = 17,846 + 0.1 \times 900Y + 0.05(17,846 + 0.1 \times 900Y)$$

と考えることができる。現行の Y は8.6トン（表8、想定-2）である。一方、このバランスシートを漁獲量だけで解決しようとするなら、 Y は約23トンで、現行の2.7倍の漁獲量が必要になる。しかし、2.7倍の漁獲を実現するためには現行の操業パターンを変化させる必要が生じる可能性がある。操業時間の延長、漁労設備の増強等が求められるよう。こうして、掛かり増し経費の評価基準は、10%ラインを超えて、漁業経費の性格は漸次、漁業経費(1)から漁業経費(2)へと移行し、上述のバランスシートをむしろ悪化させる。

このバランスシートを成り立たせるためには、別に Y/R を高めるとか、単価アップを図るとか、あるいは種苗生産コストの切り下げといった発想がある。この種の発想は既に過去においてこの水域で行われてきた試験放流の背景として存在してきた。そして放流効果を高めるために、多様な技術的な努力が積み重ねられてきた。その柱となった考え方の一つは放流魚の漁場滞在期間を延長すると同時に天然魚とのサイズの格差をできるだけ小さくすることであった。 Y/R を高めると同時に単価アップをねらったものである。この考え方の到達点が早期種苗の放流であり、早期種苗の生産実現にむけて種苗生産段階での技術開発も行われた。その結果、放流魚と天然魚の間にあったサイズの格差の問題はほぼ解消し、漁期も天然魚のそれより1カ月延長することができた。また、放流ブリの漁場滞在時間の延長を図るために種苗の

「飼い付け」試験⁽²⁰⁾にも関心が持たれた。しかし、冬季の水温と生産力低下の激しい瀬戸内海では大規模な冬季滞留を期待することは無理というのが現段階での判断である。

技術開発のもう一つの柱は種苗生産コストの低減である。漁獲量 Y を現行の8.6トンに固定し、逆に種苗生産コストを変数と置いて、上記のパラメータシートを成り立たせる種苗生産コストを計算すると6,600千円となる。現行の種苗生産コストを1/3近くまで圧縮することを求められていることになる。種苗生産コストに最も強く関連している技術的要素は、ふ化仔魚から中間育成サイズ(30mm)に達する間の種苗の生残率である。近年のふ化仔魚から中間育成サイズまでの生残率は20%、全長120mmの放流用種苗までの生残率は15%、放流用種苗1尾当たりの生産コストは112円(表11)であるが、10年前の放流サイズまでの生残率は5~6%で、かつ生産成績は非常に不安定であった。その後の10年間の技術的進歩はめざましく、正確な評価は難しいが、種苗生産コストは1/2ないし1/3に圧縮されたと見て良い。それだけに、これをさらに1/3近くまで削減することは極めて困難と言わざるを得ない。

以上のような多様な努力にもかかわらず、放流水域で必要経費の40%の回収が困難という事態の背景として、瀬戸内海域の冬から初夏にかけての低水温が、ブリのように瀬戸内海域に産卵域を持たない暖海・外海性魚類の放流場への定着率と生物生産性を低下させ、高い逸散率($D=0.363$)が放流効果を外海域へ転移させ、積年の技術的努力にもかかわらず、内海域だけでは収支を賄うような放流事業の組み立てを困難にしていると著者等は判断する。

しかし、なお検討価値のある課題が残されている。それは遊漁の見直しである。本報告では評価の対象とはしなかったが、現実に遊漁による漁獲は存在する。かつ、瀬戸内海東部水域の地理的条件を考えると、この水域のブリ遊漁に対する潜在的ニーズは十分に大きいと考えられる。それにし

ても、現行の漁獲量を2.7倍に嵩上げ出来るだけの遊漁釣獲量を期待することは、将来における可能性をも含めて、容易ではないように思われる。ただし、遊漁の場合、漁獲金額以上の付加価値が期待できる⁽¹⁶⁾から、遊漁と漁業の間の良好な関係が維持でき、かつ遊漁者が増加すれば、経費回収の手段となり得る可能性は残されている。

生涯を通じたブリ種苗放流の経済的収支はプラスであり、資源の維持管理を目的とした本種の放流が外海域を含めた広域事業として、経費的にも成り立つことは既に触れた。ここで資源構築事業における種苗放流の役割を整理しておこう。種苗放流という手法が、資源構築において、漁獲管理を主体とした資源管理とは異なった機能を発揮することを想起したい。「栽培漁業による資源の持続的な増大に関する検討会」の報告⁽²¹⁾では以下のように述べられている。

- ① 種苗放流によって、効果を予見できる形で加入量を強化できるだけでなく、放流効果に相当するだけ漁獲規制を緩和できる。
- ② 放流の影響は対象種に集中する(限定できる)から、管理対象以外の資源や、その周辺漁業への規制の影響を抑制した形で資源構築計画が推進できる。
- ③ 同時に、放流魚は自然加入量の自然変動の支えとなり、長期的には漁獲量に付随する自然変動の軽減に取り組める。

とくに③の機能は、資源が衰退して低水準におかれた加入量が自然変動によって崩壊することを防ぎ、資源の回復を確実なものにする。それだけに、将来、ブリ資源の管理計画の中で資源構造の改善をめぐる何らかの要望が提起される場合には、栽培漁業技術と漁獲管理型の資源管理技術を併用することによって、より能率的に、かつ漁業者が受けるであろう諸規制を緩和しながら事業を進めることができる。ブリの種苗生産・放流技術は現在すでに経費に見合うだけの放流効果が期待できるレベルに達しており、諸種の技術開発や管理プロジェクトに安心して導入することができる。

〔補遺 - 1〕 本報告で用いる各種係数，統計量の記号一覧

1. 播磨灘漁期（8月1日から翌年1月1日）での放流資源尾数，漁獲量や，その変動に関わる諸係数

播磨灘漁期，漁場での各種統計量や変動パラメータには，（ ）入りの上付の添え字は全く用いない。

漁獲方程式を構成する諸係数

$$C = \{(Z - D - M') / Z\} \times N_{8/1} \{1 - \exp(-5Z)\}$$

C : 播磨灘漁期における総漁獲尾数

C_x : 期間 x における播磨灘漁場での漁獲尾数

$$\sum_{x=8}^{12} C_x = C$$

Z : 全減少係数（月当たり）

D : 逸散係数（月当たり）

M' : 幼魚段階における自然死亡係数（月当たり）

$M'_{(MAX)}$: M' について想定した最大値

$M'_{(MIN)}$: M' について想定した最小値

$F = (Z - D) - M'$: 漁獲死亡係数（月当たり）

E : 漁獲率

その他

$N_{7/1} = 15$ 万尾 : 7月1日の放流尾数

$N_{8/1}$: 漁期始めにおける資源尾数

$N_{1/1}$: 漁期末（放流年末）における播磨灘水域での資源（生残）尾数

\bar{W} : 漁期間を通じた漁獲物の平均体重

Y : 漁期を通じた総漁獲重量

2. 紀伊水道漁期（8月1日から翌年1月1日）での放流魚由来の資源尾数や漁獲量，及びその変動に関わる諸係数

当漁期での各種統計量や変動パラメータには，右上に (K) の添え字を与える。

$C^{(K)}$: 漁期を通じた総漁獲尾数

$Z^{(K)}$: 全減少係数（月当たり）

$F^{(K)}$: 漁獲死亡係数（月当たり）

$N_{1/1}^{(K)}$: 漁期末（放流年末）における紀伊水道での資源（生残）尾数

$Y^{(K)}$: 漁期を通じた総漁獲重量

播磨灘漁場から紀伊水道漁場へ移動した放流群からの，紀伊水道域における漁獲量や生残数の算出に必要な諸統計量に関する記号

t_x : 播磨灘での放流魚の残存数と紀伊水道側での放流魚の蓄積数とが等しくなる時点（単位は月：6. 時間に関する記号の項参照）

N_{Dt} : 時点 t に播磨灘から移入してきた放流魚の尾数

$E_t^{(K)}$: 時点 t に移入してきた群の年末までの漁獲率

$C_t^{(K)}$: 時点 t に移入してきた群からの年末までの漁獲尾数

なお， $C_t^{(K)} = N_{Dt} \times E_t^{(K)}$

$C^{(K)}$: 放流年内における紀伊水道域からの全漁獲尾数

$Y^{(K)}$: 放流年内に紀伊水道域で期待される放流群からの総再捕重量

$S_t^{(K)}$: 時点 t に移入してきた群の年末までの生残率

$N_{1/1t}^{(K)}$: 時点 t に移入してきた群の漁期末（放流年末）における資源（生残）尾数

なお， $N_{1/1t}^{(K)} = N_{Dt} \times S_t^{(K)}$

$N_{1/1}^{(K)}$: 漁期末（放流年末）における紀伊水道域での総資源（生残）尾数

3. 太平洋岸・外海域漁場での放流魚由来の資源尾数や漁獲量，及びその変動に関わる諸係数

当漁場での各種統計量や変動パラメータには，

右上に (G) の添え字を与える。

M : 成魚・未成魚段階における自然死亡係数=0.3 (年当たり)

$N_{1/1}^{(G)}$: 放流翌年の1月1日における放流群からの総生残尾数。これは同時に外海域漁場への加入量である。

なお, $N_{1/1}^{(G)} = N_{1/1} + N_{1/1}^{(K)}$

$Y/R_{(0.5)}$: 漁獲開始年齢を0歳及び1歳としたときの成魚・未成魚期のブリの Y/R (単位加入量当たり漁獲量) の平均値

$Y^{(G)}$: 外海域漁場から生涯を通じて期待される再捕 (漁獲) 重量

なお, $Y^{(G)} = Y/R_{(0.5)} \times N_{1/1}^{(G)}$
 $= Y/R_{(0.5)} \times (N_{1/1} + N_{1/1}^{(K)})$

$Y^{(T)}$: 放流群からの総再捕重量

4. 播種減耗期における資源量の変動に関わる諸係数, 統計量

播種減耗期とは放流日 (7月1日) に続く1カ月間である。この期間の諸係数, 統計量には, 右上に (R) の添え字を与える。播種減耗期は7月31日に終了し, 8月1日から播磨灘漁期に移行する。

$Z^{(R)}$: 播種減耗係数 (月当たり)

5. 経済評価に用いる諸係数に与える記号

現段階では設定していない。

6. 時間に関する記号 (単位は月)

x : 8月1日から始まる30日毎の単位期間に与えるもので, 最初の単位期間に与えた番号は8。したがって, 実質的には月の表示に当たると考えてよい。

t : 時点を表す。時点の表示は, 月表示に当たる整数部分と, それに続く小数部分からなっている。小数部分は当該月における経過日数を月単位で表示するもので, 例えば,

○月1日の場合: $(1-1)/30=0$

○月11日の場合: $(11-1)/30=0.33$

○月16日の場合: $(16-1)/30=0.5$

○月30日の場合: $(30-1)/30=0.97$

大の月の場合は経過日数を31で除す。

したがって, 例えば9月1日は9.0, 同11日は9.33と表示される。また, 9月1日と10月16日 (10.48) の時間的間隔は, $(10.48-9.0) = 1.48 \approx 1.5$ (ヶ月) と評価する。

t_r : 放流時点 (両年の平均は7/1)

t_c : 漁獲開始時点 (両年の平均は8/1)

t_e : 漁期終了時点

t_x : 播磨灘での放流魚の残存数と紀伊水道側での放流魚の蓄積数とが等しくなる時点

[補遺 - 2] 各種計算式

第 I 章, 第 II 章で用いた関係式 (基本式) と, そのパラメータの一部が既知のとき, その値を用いて導いた簡便式を示す。なお, 簡便式の場合, 基本式の式番号に ' を付してある。

(1) 「放流水域での放流魚の残存数」と「逸散水域へ蓄積される放流魚の数」がバランスするための条件を示す式

t_r : 種苗放流時点

t_x : 「放流水域に残存する放流魚の数」と「逸散水域へ蓄積される放流魚の数」とがバランスする時点

Z : 放流水域 (播磨灘) での全減少係数

$Z^{(K)}$: 逸散水域 (紀伊水道) での全減少係数

D : 逸散係数

$$\exp\{-Z(t_x - t_r)\} \\ = \int_{t_r}^{t_x} D \cdot \exp\{-Z(t - t_r)\} \cdot \exp\{-Z^{(K)}(t_x - t)\} dt \quad \text{〔式 1〕}$$

$$= D \cdot \frac{\exp(Zt_r - Z^{(K)}t_x)}{-(Z - Z^{(K)})} \left[\exp\{-(Z - Z^{(K)})t\} \right]_{t_r}^{t_x} \quad \text{〔式 1'〕}$$

$t_r, t_x, Z, Z^{(K)}$ が与えられると, 逸散係数 D が計算できる。

(2) 設計の異なる 1981-82 年の放流試験 (通常種苗, 外部装着型標識, 漁業者からの再捕報告) で得られた紀伊水道と播磨灘の全減少係数の比を媒介にして, 1998-99 年放流試験 (早期種苗, 焼き印標識, 水揚げ物標本調査) での紀伊水道での全減少係数 $Z^{(K)}$ を近似的に推定する手順

$$Z^{(K)} = Z^{(K)}_{(81-82)} \cdot Z/Z_{(81-82)} \quad \text{〔式 2〕}$$

ここで,

$$Z = 0.632 \text{ (不偏推定値とみなす)}$$

$$Z^{(K)}_{(81-82)} = 0.338 \text{ (バイアスのある推定値)}^{(5)}$$

$$Z_{(81-82)} = 1.131 \text{ (バイアスのある推定値)}^{(5)}$$

1. $Z^{(K)}_{(81-82)} = 0.338$ には, 種苗性の相違, 外部装着型標識で発生する脱落, 埋没, 漁業者からの再捕報告における age-dependent な報告率の低下等に起因するバイアスがあるので, これを直接 $Z^{(K)}$ の推定値として用いることは避けたい。

2. 播磨灘漁場での全減少係数については, $Z_{(81-82)} = 1.131$ と $Z = 0.632$ が得られていて, 前者はバイアスのある推定値, 後者は不偏推定値とみなされている。したがって両者の差 $B = 0.499$ はバイアスの大きさと考えられる。

もし, 紀伊水道域に, 1. で想定した以外のバイアスの発生源が存在しないなら, $Z^{(K)}$ は, $Z^{(K)} = Z^{(K)}_{(81-82)} - B$ の形で推定できるはずである。

3. しかし, 実際には $Z^{(K)}_{(81-82)} = 0.338 < B = 0.499$, したがって 2. の手順で $Z^{(K)}$ を推定すると $Z^{(K)} < 0$ となってしまふ。ここで $Z^{(K)}_{(81-82)}$ の値が 1. で想定しなかった形で偏っていることが考えられる。現段階では, それがどのようなバイアスか具体的に把握できないが, 例えば, 魚群や漁獲の挙動が海域間で異なる場合には, これがバイアス源になり得る。放流のデザインとは無関係なバイアスが存在する可能性は否定できない。

4. このように, $Z^{(K)}$ に作用するバイアスは複雑で, その種類も挙動も未だ十分に把握されているとは言い難い。結局, $Z^{(K)} = Z^{(K)}_{(81-82)} - B$ の形で $Z^{(K)}$ を推定することは難しいと判断せざるを得ない。ここではとりあえず, 播磨灘で, 1981-82 年放流 (推定値に偏りがある) と 1998-99 年放流 (不偏推定とみなす) の際に得られた 2 つの全減少係数の推定値 $Z_{(81-82)}$ と Z の相対的な大きさ関係 ($Z/Z_{(81-82)}$) は, 紀伊水道での $Z^{(K)}_{(81-82)}$ と $Z^{(K)}$ の間 ($Z^{(K)}/Z^{(K)}_{(81-82)}$) でも近似的に成り立つと仮定して, 〔式 2〕を用いて $Z^{(K)}$ を推定する。

(3) 播磨灘漁場の全漁期を通した漁獲尾数を表す
漁獲方程式

M' : 幼魚期の自然死亡係数

$N_{8/1}$: 播磨灘漁期初頭の資源尾数 (= 播磨灘漁場への加入尾数)

$$C = \{(Z - D - M') / Z\} \times N_{8/1} \{1 - \exp(-5Z)\}$$

または,

$$N_{8/1} = CZ / \{ \{(Z - D) - M'\} \{1 - \exp(-5Z)\} \}$$

〔式 3〕

既知のパラメータ $Z = 0.632$, $C = 12,198$, $D = 0.363$ を入れて整理すると, 播磨灘漁場への加入量 $N_{8/1}$ と自然死亡係数 M' との関係式

$$N_{8/1} = 8,050 / (0.269 - M') \quad \text{〔実験式 2〕}$$

または,

$$M' = 0.269 - 8,050 / N_{8/1} \quad \text{〔実験式 2'〕}$$

が得られる。

(4) 播磨灘漁場での放流から放流年末まで (8月1日から12月31日, あるいは翌1月1日) の生残尾数

$$N_{1/1} = N_{8/1} \cdot \exp(-5Z) \quad \text{〔式 4〕}$$

$Z = 0.632$ として

$$N_{1/1} = 0.0424 N_{8/1} \quad \text{〔式 4'〕}$$

(5) 播磨灘漁場での放流年内の漁獲尾数 C

$$C = F/Z(N_{8/1} - N_{1/1}) \quad \text{〔式 5〕}$$

$Z = 0.632$, $(N_{8/1} - N_{1/1}) = N_{8/1}(1 - 0.0424)$ だから

$$C = 1.5152F \cdot N_{8/1} \quad \text{〔式 5'〕}$$

(6) 全播磨灘漁期を通じての播磨灘漁場から紀伊水道域への逸散量 (紀伊水道漁場への加入量)

$$N_D = D/Z \cdot N_{8/1} \{1 - \exp(-5Z)\} \quad \text{〔式 6〕}$$

N_D の決定に関わる D , Z のいずれもが播磨灘漁場での数値である。

$Z = 0.632$, $D = 0.363$ として

$$N_D = 0.55 N_{8/1} \quad \text{〔式 6'〕}$$

(7) 紀伊水道域における放流年末での生残尾数

$$\begin{aligned} N_{1/1}^{(K)} &= N_{8/1} \int_{t=8}^{13} D \cdot \exp\{-Z(t-8)\} \cdot \exp\{-Z^{(K)}(13-t)\} dt \\ &= N_{8/1} \frac{D \cdot \exp(8Z - 13Z^{(K)})}{-(Z - Z^{(K)})} \left[\exp\{-Z - Z^{(K)}\} t \right]_8^{13} \end{aligned}$$

〔式 7〕

$t = 13$ は 12 月末日を意味する。〔式 7〕 に $D = 0.363$, $Z = 0.632$, $Z^{(K)} = 0.190$ を代入して整理すると

$$N_{1/1}^{(K)} = 0.2840 N_{8/1} \quad \text{〔式 7'〕}$$

(8) 紀伊水道域での放流年内における漁獲尾数

$$C^{(K)} = F^{(K)} / Z^{(K)} \cdot (N_D - N_{1/1}^{(K)}) \quad \text{〔式 8〕}$$

$$Z^{(K)} = 0.190, (N_D - N_{1/1}^{(K)}) = N_{8/1}(0.55 - 0.2840)$$

を導入して,

$$C^{(K)} = 1.40 F^{(K)} \cdot N_{8/1} \quad \text{〔式 8'〕}$$

(9) 太平洋外海漁場での漁獲重量

$$Y^{(G)} = N_{1/1}^{(G)} \times Y/R_{(0.5)} = (N_{1/1} + N_{1/1}^{(K)}) \times Y/R_{(0.5)} \quad \text{〔式 9〕}$$

$Y^{(G)}$: 太平洋外海漁場における漁獲重量

$N_{1/1}^{(G)}$: 太平洋外海漁場への加入尾数

$$= N_{1/1} + N_{1/1}^{(K)}$$

$Y/R_{(0.5)}$: 水産庁増殖推進部・水産総合研究センター: 「我が国周辺水域の漁業資源評価 (2002)^[13]」, 太平洋系ブリ資源の漁獲開始年齢 0 歳および 1 歳のときの値の平均値

〔補遺－3〕 経済的評価に用いた各種経費の算出基礎

第Ⅲ章. 放流効果の経済的評価において各種経費の算出基礎として用いたデータを収録した。

表1～3はふ化仔魚から放流用種苗を生産するのに要する経費を3段階に分けて示している。

表4は放流効果追跡のために行った魚市場での

標本調査費である。

表5は経费率×水揚げ金額として漁業経費を算出する場合に用いた資料で、農林水産省・統計情報部の漁家統計資料から抜粋したものである。

表1 プリふ化仔魚生産経費 : 2,518千円

費目	金額(千円)	備考
①親魚養成費	2,350	ふ化仔魚100万尾 × @ 2.35円 (円/尾) 別表参照
②ふ化仔魚管理費	88	
・人件費	28	1 日・人 × @ 28,000円
・光熱水量	50	1 式 電気, 燃油費
・消耗品・資材費	10	1 式 バケツ, ふ化ネット等
③輸送費	80	4 トン車 1台 × @ 80,000円 (屋島～古満目)

付表 ふ化仔魚生産費の積算根拠 (五島事業場で早期受精卵10,391千粒を採卵した事例での試算)

費目	金額(千円)	備考
親魚養成経費	15,893	
①人件費	5,190	
・正規職員	4,200	150 日・人 × @ 28,000円
・臨時職員	990	165 日・人 × @ 6,000円
②親魚購入費	780	975 kg × @ 800円 (150尾; 6.5kg/尾)
③餌料費	623	150 袋 × @ 4,150円
④光熱水量	8,500	
・電気	4,300	取水ポンプ等稼働費, ブロワー稼働費
・重油	4,200	100,000 kl・日 × @ 42円 (A重油 1kl/日×100日)
⑤消耗品費	800	HCG, 注射器, 血液性状検査関連品等
受精卵 円/粒	1.53円	15,893/10,391=1.53
ふ化仔魚 円/尾	2.35円	受精卵からのふ化率65%として 1.53/0.65=2.35

*五島事業場で平均体重6.5kgのブリ親魚150尾を養成して、12月に受精卵10,391千粒を採卵した事例をもとに、人件費を考慮して算出

表2 ブリ種苗生産経費（ワムシ培養経費含む）：9,200千円 全長30mm種苗20万尾生産の経費

費目	金額(千円)	備考
1. 餌料培養費	1,946	
①人件費	600	
・正規職員	420	15日・人 × @ 28,000円
・臨時職員	180	30日・人 × @ 6,000円
②ワムシ培養経費	1,204	340億個体 × @ 3,540円
③資材・消耗品費	142	培養並びに作業用資材, 消耗品1式
2. 陸上飼育経費	7,254	
①人件費	3,510	
・正規職員	2,730	97.5日・人 × @ 28,000円
・臨時職員	780	130日・人 × @ 6,000円
②餌料費	1,283	
・配合飼料	376	47kg × @ 8,000円
・アルテミア	450	90缶 × @ 5,000円
・栄養強化剤等添加物	371	
・薬剤	57	
・その他	29	
③光熱水量	2,390	
・電気代	1,050	最大使用水量430トン/日
・燃油代	1,340	最高時自然水温+10℃
④資材・消耗品費	71	飼育用資材・消耗品1式

* 30mm種苗 46.00円/尾 9,200千円/20万尾（稚魚の平均生残率は20%）

表3 海上飼育経費：5,018千円 全長30mm種苗20万尾から120mm種苗15万尾までの育成経費

費目	金額(千円)	備考
①人件費	3,120	
・正規職員	1,680	60日・人 × @ 28,000円
・臨時職員	1,440	240日・人 × @ 6,000円
②餌料費	1,328	
・配合飼料	1,148	3,600kg × @ 319円
・餌料添加物	30	
・薬剤	150	
③光熱水量	120	
・水道代	90	小割網洗浄作業用
・電気代	30	小割網洗浄作業用
④資材・消耗品費	450	45枚 × @ 50,000/5年

* 120mm種苗 33.45円/尾 5,018千円/15万尾

表4 播磨灘水域で実施した放流魚の追跡調査経費 : 910千円 (水揚地における標本調査)

費目	金額(千円)	備考
①小型定置網記帳経費	300,000	15ヵ統×4ヵ月 × @ 5,000円
②主要水揚げ市場でのモニター調査費	610,400	
・モニター代	440,000	10ヵ所×4ヵ月 × @ 11,000円
・市場調査出張旅費	70,400	32日・人 × @ 2,200円
・交通費	100,000	20回 × @ 5,000円

表5 漁船漁家ならびに小型定置網漁家についてみた漁業収入、漁業支出と経費率

大海区	漁業階層	1998年	1999年	2000年	合計 (千円)	平均経費率 ^{*2} (%)	
太平洋・中	*1 船	収入	5,852	5,596	5,292	16,740	0.58
		支出	3,332	3,326	3,060	9,718	
	定	収入	4,503	4,709	3,060	12,272	0.43
		支出	1,800	1,992	1,524	5,316	
太平洋・南	船	収入	3,439	3,398	3,714	10,551	0.54
		支出	1,877	1,818	2,008	5,703	
	定	収入	3,023	2,775	9,151	14,949	0.26
		支出	812	776	2,344	3,932	
瀬戸内海	船	収入	2,522	2,443	2,423	7,388	0.45
		支出	1,094	1,120	1,113	3,327	
	定	収入	5,591	5,292	4,400	15,283	0.58
		支出	2,529	3,498	2,834	8,861	

(農林水産省・統計情報部の海面漁業・漁家統計⁽¹⁹⁾より抜粋)

*1 船：30ト以下の漁船漁家， 定：小型定置網漁家

*2 経費率＝漁業支出／漁業収入

[参考資料]

・太平洋沿岸外海域の経費率の代表値の計算 (漁船と定置網の漁獲割合：それぞれ50%，太平洋中区と南区の水揚額比率：0.58:0.42)

$$(0.58 \times 0.58 + 0.54 \times 0.42) / 2 \times (0.5) + (0.43 \times 0.58 + 0.26 \times 0.42) / 2 \times (0.5) = 0.45$$

・瀬戸内海 (紀伊水道を含む) の経費率の代表値の計算 (漁獲割合は0.55 : 0.45)

$$0.45 \times 0.55 + 0.58 \times 0.45 = 0.51$$

謝 辞

ブリ人工種苗の放流効果についての総合評価作業は、旧・日本栽培漁業協会、屋島事業場の担当者によって2002年4月に開始された。作業開始と同時に、すでに同協会内部に設置されていた技術開発チーム：「放流効果追跡グループ」によるバックアップ体制が構築され、緊密な協力のもとに評価作業が進められてきた。2003年10月の機構再編成以降、本検討作業は独立行政法人・水産総合研究センター、栽培漁業部・屋島栽培漁業センターに引き継がれ、引き続き、前記「放流効果追跡グループ」（グループ・リーダー：宮古栽培漁業センター 大河内裕之、玉野栽培漁業センター 小畑泰弘）によるバックアップを得ながら、本年（2004年）4月に結果のとりまとめを終了したものである。その間、同グループの各位には年2ないし3回の検討会に参加するとともに、意見の交換、情報の提供等をいただいた。作業の完了にあたり、同グループに厚く御礼申し上げます。とくに、同グループメンバーとして、また放流効果に関する研究手法の開発者として、データ解析の方法論

や結果の評価について種々のアドバイスをいただいた東京海洋大学 北田修一教授、ならびに「放流効果追跡グループ」のリーダーとして本作業の推進に努めていただいた宮古栽培漁業センター 大河内裕之技術開発員に深く感謝申し上げます。放流がもたらす経済効果の試算にあたって、紀伊水道沿岸及びそれに接する外海域の主要魚市場の月別、銘柄別水揚げ単価の貴重な情報を提供いただいた三重県科学技術振興センター水産研究部 久野正博研究員、和歌山県農林水産総合センター水産試験場 中地良樹主任研究員並びに吉村晃一主任研究員、高知県室戸漁業指導所 清水茂樹水産業改良普及員の方々、さらに鳴門海峡周辺の漁業実態について貴重な情報をいただいた徳島県堂浦漁協 小川文夫組合長、徳島県鳴門町漁協 笹幹夫参事にお礼申し上げます。また、放流用種苗生産に用いるふ化仔魚を供給して頂いた古満目栽培漁業センターの山崎哲男場長をはじめとする職員各位、及び種苗生産経費の積算にあたって親魚養成経費の資料をいただいた五島栽培漁業センター 虫明敬一場長に感謝する。

文 献

- (1) 大島 泰雄 1973：瀬戸内海におけるブリ種苗放流の意義について 瀬戸内海栽培漁業協会研究資料, 4, 1-6
- (2) 日本栽培漁業協会 1983：栽培漁業技術開発の歩み [日本栽培漁業協会における昭和52～55年度技術開発業績の総括] 種苗放流技術開発(2)ブリ, 148-156
- (3) 日本栽培漁業協会 1982：日本栽培漁業協会事業年報 昭和56年度 放流技術開発の概要, cブリ, 204-214
- (4) 錦 昭夫・三橋直人 1984：瀬戸内海東部海域におけるブリ人工種苗の標識放流とその結果 (昭和56-57年度) - I, 栽培技研 13(1), 49-62
- (5) 須田 明・錦 昭夫・三橋直人 1985：瀬戸内海東部海域におけるブリ人工種苗の標識放流とその結果 (昭和56-57年度) - II, 減少過程の分析と今後の問題点 栽培技研 14(1), 63-78
- (6) 藤本 宏・山崎英樹 2001：瀬戸内海東部海域におけるブリ早期種苗の放流効果, 栽培技研 29(1), 21-34
- (7) 伏見 浩 2001：漁獲量分布と標識放流再捕結果からみたブリの生活, 日本栽培漁業協会・研究資料 80, pp34
- (8) 岩本明雄・藤本 宏・山崎英樹・津崎龍雄・早乙女浩一 2001：ガス充填式半田ゴテを用いた焼印標識の実用性について, 栽培技研 29(1) 13-20
- (9) 須田 明 1989：放流効果の評価をめぐる問題点, 月刊海洋 21(5), 306-312
- (10) 徳島県水産試験場 1983: 徳島県瀬戸内海域における当年産ブリの標識放流結果 日裁協研究資料, 25, 53-69
- (11) 和歌山県水産試験場 1983：紀伊水道域における若年ブリの標識放流結果について 日裁協研究資料, 25, 71-81
- (12) 田中昌一 1960：水産生物のPopulation Dynamicsと漁業資源管理, 東海水研報 28, 1-200
- (13) 水産庁増殖推進部・水産総合研究センター 2002：我が国周辺水域の漁業資源評価 547-557
- (14) 水産庁・開発課栽培漁業班 1989：放流魚を漁獲することによって生じる掛増し経費 β について, 第1回放流効果評価モデル検討委員会検討資料付表, 栽培資源調査検討資料3, 39
- (15) 農林水産省・統計情報部 2000：平成10年漁業経済調査報告書 (漁家の部) 2. 海面漁業漁家統計 [海区階層別統計], (1)総括 ア. 漁家経済の概要 40-43
- (16) 今井利為 1997：神奈川件におけるマダイ種苗放流の経済的評価について 栽培技研 26(1) 29-42
- (17) 藤本 宏・池脇義弘・城 泰彦・上田幸男・天真正勝・大槻観三 1994：徳島県鳴門海峡に放流したブリの天然0才魚と人工種苗0才魚の特性について, 栽培技研23(1) 61-75
- (18) 北田修一 1985：標識放流再捕データからパラメータを推定する方法, その理論と応用の留意点, 1回放流連続再捕の場合, 日裁協研究資料 28, 20pp
- (19) 北田修一 1991：標識再捕に基づく種苗放流効果の評価に関する統計学的研究 栽培資源調査検討資料 6, 96pp
- (20) 小磯雅彦 1992：五島事業場におけるブリの飼い付け試験, 飼い付け型栽培漁業技術開発報告書(2), 日裁協特別研究報告 4, 88-94
- (21) 栽培漁業による資源の持続的な増大に関する検討会 1999：栽培漁業による漁業資源の再構築とその持続的管理, 栽培資源調査検討資料 15, 79pp
- (22) 水産庁・日本栽培漁業協会 2002：栽培漁業モニタリング指針 (平成14年度), 73pp

栽培資源調査検討資料No.17

平成16年 9 月30日発行

発行者：独立行政法人 水産総合研究センター 栽培漁業部
〒220-6115 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-3-3
クイーンズタワーB棟15階
TEL 045 (227) 2715

印刷所：日昇印刷株式会社
〒104-0043 東京都中央区湊1-14-14
TEL 03 (3553) 3161(代)
