

栽培漁業技術開発研究

第33巻 第1号

2005年8月

目次

養成環境下におけるズワイガニ雌ガニの生残，産卵，ふ化に及ぼす水温の影響およびふ化幼生の質の判定の試み	森田哲男	1
アサリ稚貝の成長および粗成長効率と水温の関係	小林 豊・鳥羽光晴	9
瀬戸内海東部海域におけるサワラ標識放流結果—III. 当歳魚の資源尾数および再捕率について	竹森弘征・坂本 久・山崎英樹・岩本明雄	15
北海道日本海寿都海域で標識放流されたクロソイ人工種苗の再捕結果.....	佐々木正義・滝山修市・西内修一	21
クルマエビの放流効果—現状と課題—.....	浜崎活幸・北田修一	27
アワビ類の漁獲変動：エゾアワビの漁獲量と気候変動および種苗放流の関連について	中村 藍・北田修一・浜崎活幸・大河内裕之	45

SAIBAI GYOYO GIJUTSU KAIHATSU KENKYU

—Technical Reports of Japanese Sea Ranching Programs—

Vol. 33, No. 1, 2005

CONTENTS

Tetsuo MORITA	Effects of water temperature on survival, spawning and hatching in adult female snow crab, <i>Chionoecetes opilio</i> , under laboratory conditions, and a trial to determine larval quality	1
Yutaka KOBAYASHI, and Mitsuharu TOBA	Relationship of growth and gross growth efficiency to rearing temperature in juvenile Manila clam <i>Ruditapes philippinarum</i>	9
Hiroyuki TAKEMORI, Hisashi SAKAMOTO, Hideki YAMAZAKI, and Akio IWAMOTO	Mark-recapture experiments using Spanish mackerel, <i>Scomberomorus niphonius</i> , in the Eastern Seto Inland Sea—III. Stock size of yearlings and recapture rates	15
Masayoshi SASAKI, Shyuichi TAKIYAMA, and Shyuichi NISHIUCHI	Results of release experiments of reared young black rockfish, <i>Sebastes schlegeli</i> , in the Suttsu area of southeastern Hokkaido	21
Katsuyuki HAMASAKI, and Shuichi KITADA	Effectiveness of stock enhancement programs for the kuruma prawn, <i>Penaeus japonicus</i> , in Japan: present status and problems	27
Ai NAKAMURA, Shuichi KITADA, Katsuyuki HAMASAKI, and Hiroyuki OKOUCHI	Catch fluctuation in <i>Haliotis</i> spp. abalones: annual landings of Ezo abalone <i>Haliotis discus hannai</i> in relation to climate oscillation and stock enhancement programs	45

養成環境下におけるズワイガニ雌ガニの生残、産卵、ふ化に及ぼす水温の影響およびふ化幼生の質の判定の試み
森田哲男

日本海で漁獲されたズワイガニの天然抱卵雌を1~7℃で5ヶ月~2年間養成し、ふ化時期、ふ化幼生数、産卵率、生残率を調査するとともに、幼生の質の判定方法を検討した。その結果、1回目のふ化では生残率や産卵率に差はないが、5℃以上で幼生数が減少した。一方2~3回目の5℃以上でのふ化では水温が高いほど産卵率、生残率、幼生の活力低下が生じ、幼生の小型化やふ化数の減少が顕著となった。また、無給餌条件下6日目までの死亡率や背額棘間長が第1齡ゾエアの飼育成績と強い相関があり、幼生の質の判定には有効であることが分かった。

栽培技研, 33(1), 1-8, 2005

アサリ稚貝の成長および粗成長効率と水温の関係
小林 豊・鳥羽光晴

アサリ稚貝の成長および粗成長効率と水温の関係を調べた。飼育方法は閉鎖循環式のエアリフトアップウェーリング飼育装置で、水温はそれぞれ12, 18, 23, 28℃の4段階に設定し、14日間飼育した。実験開始時の重量は12, 18, 23, 28℃の実験区でそれぞれ53.6, 54.5, 58.8, 48.1 $\mu\text{gAFDW}/\text{個}$ (AFDW: Ash-free dry weight, 除灰重量)であった。アサリ稚貝の増重量速度は12, 18, 23, 28℃の実験区でそれぞれ1.9, 11.7, 25.2, 45.2 $\mu\text{gAFDW}/\text{個}/\text{日}$ 、粗成長効率は8.9, 33.6, 43.2, 57.0%であり、増重量速度および粗成長効率ともに水温が高くなるほど高い値を示した。総摂餌量についても同様に、水温が高くなるほど高い値を示した。また、増重量速度と水温の関係は次のとおり3次式で近似された。 $G = 0.0002 \times T^{3.78}$: G = 増加重量速度 ($\mu\text{gAFDW}/\text{個}/\text{日}$), T = 水温 ($^{\circ}\text{C}$) ($r^2 = 0.99$)。

栽培技研, 33(1), 9-13, 2005

瀬戸内海東部海域におけるサワラ標識放流結果—III. 当歳魚の資源尾数および再捕率について

竹森弘征・坂本 久・山崎英樹・岩本明雄

1999~2002年の4年間、サワラ人工種苗にALCを主とした標識放流を行い、標識放流魚の再捕状況から各年の瀬戸内海東部海域におけるサワラ当歳魚の資源尾数および再捕率を推定した。その結果、サワラ当歳魚の天然資源尾数は86~924千尾と推定され、2002年の資源発生が卓越していたことが明らかとなった。また、各年における推定資源尾数とサワラ瀬戸内海系群の資源評価による資源尾数の割合は68.2~100.5%の範囲にあった。一方、標識魚の再捕率は2.6~16.8%と推定され、2002年の再捕率が一番低かった。

栽培技研, 33(1), 15-20, 2005

北海道寿都海域におけるクロソイ人工種苗の標識放流の再捕結果

佐々木正義・滝山修市・西内修一

北海道寿都町で放流されたクロソイ人工種苗の移動および漁獲期間、主漁具を明らかにするため、1990年~1997年に標識放流された結果をとりまとめた。放流されたクロソイは主に放流海域である寿都町で、定置網や底建網によって当歳から5歳まで再捕された。再捕数は1歳の10~12月に増加し、2歳の10~12月に最も多くなり、3歳までの4~6月と10~12月に多かった。この結果から、寿都町で放流されたクロソイ人工種苗は、放流海域に留まり、1歳秋季から漁獲加入し、その後3歳まで主に春季と秋季に定置網や底建網で漁獲されると考えられた。

栽培技研, 33(1), 21-26, 2005

クルマエビの放流効果—現状と課題—

浜崎活幸・北田修一

クルマエビの放流効果の現状を把握するため、大海区別に漁獲量と種苗放流の統計値を整理した。また、近年の標識放流調査をレビューした。大海区レベルでクルマエビの漁獲量変動と種苗放流の関連をみると、クルマエビ資源のダイナミクスは種苗放流とは無関係に動いていた。近年の標識放流調査において、放流個体の回収率が損益分岐回収率を超える事例は少なかったが、高い回収率が得られている事例もあり、ローカルな規模でみるとクルマエビの栽培漁業は成立する可能性がある。今後は、地域ごとに回収率を定量的に把握し、種苗放流効果を科学的に評価していくことが重要である。

栽培技研, 33(1), 27-43, 2005

アワビ類の漁獲変動: エゾアワビの漁獲量と気候変動および種苗放流の関連について

中村 藍・北田修一・浜崎活幸・大河内裕之

アワビ類の漁獲変動のうち、特にエゾアワビの漁獲量と気候変動(アリューシャン低気圧の強弱の指数ALPIと冬季沿岸表層水温)および種苗放流の関連性を検討した。近年アワビ類の漁獲量は全国的に減少しているが、太平洋北区(エゾアワビ)の漁獲量は冬季水温の上昇にもとない増加する傾向がみられた。また、漁獲量とALPIには逆相関関係がみられたが、回帰直線の傾きの絶対値は種苗放流開始以降に小さくなっていた。太平洋北区の漁獲量増加は、最近のALPIの低下によって稚貝の生残率の向上につながる冬季水温の上昇が起きていること、また種苗の放流効果など複合的な要因に起因しているものと推察された。

栽培技研, 33(1), 45-54, 2005

養成環境下におけるズワイガニ雌ガニの生残, 産卵, ふ化に及ぼす水温の影響およびふ化幼生の質の判定の試み

森田 哲男*1

Effects of water temperature on survival, spawning and hatching in adult female snow crab, *Chionoecetes opilio*, under laboratory conditions, and a trial to determine larval quality

Tetsuo MORITA

Ovigerous females of the snow crab, *Chionoecetes opilio*, caught from the Japan Sea were kept in the tanks in which temperature was regulated at 1, 3, 5, and 7°C for five months or two years. The time of larva release, numbers of newly hatched larvae, spawning rates of females, as well as survival rates of females and larval quality were recorded. As a result, it was seen that there was no difference in spawning and survival rates of females upon the first larva release, but numbers of newly hatched larvae decreased at 5°C or more. Spawning rates, survival rates and larval quality decreased with increasing temperature at 5°C or more upon the second and third larva release, and markedly decreasing size and numbers of the newly hatched larvae became apparent.

On the other hand, there was a relationship between survival rates up to the second zoeal stage, and body size (rostral-dorsal spine distance) of newly hatched larvae or mortality rates of larvae until day 6 under non-feeding conditions. This result suggests that body size and mortality rate of larvae until day 6 under non-feeding conditions may be used as a practical indicator of the quality of snow crab larvae.

2005年5月23日受理

ズワイガニ *Chionoecetes opilio* はクモガニ科の大型カニ類で, グリーンランド西岸域から北米メイン州沿岸, ベーリング海, アリューシャン列島, 日本海, 朝鮮半島東海岸まで広く分布する¹⁾ 重要な漁業資源である。本種は日本近海では水深 200~450 m に生息し²⁾, 水深から推察した生息域の水温は 1~2°C 程度とされている。漁獲量は 1968~1972 年までは 4.2~6.2 万トンのレベルで推移したが, その後乱獲等により減少し, 1982 年には 1 万トン以下となった³⁾。そこで, 1967 年から 1989 年にかけて, 日本海に面した数県で資源増殖を目的とした種苗生産の技術開発が行われたが^{4, 5)}, 飼育の難しさから安定した種苗生産に成功した事例はほとんどない。さらに, 本種のふ化ピークは 2~3 月の 1 週間程度に限られ⁶⁾, しかもふ化から稚ガニまでの飼育期間が約 2~3 カ月^{7, 8)} と長期にわたり, 毎年ふ化時期に飼育実験を繰り返し実施できないことが, 技術開発が進まない一因となって

いる。

水産総合研究センター小浜栽培漁業センター (以下, 小浜栽培漁業センター) は 1984 年から本種の種苗生産技術開発を実施しており⁷⁾, 種苗生産試験へふ化幼生を天然抱卵雌ガニより早期に供給し, 1 年間に複数回飼育実験を行うことを目的に, ふ化終了後の天然雌ガニをやや高温の 3°C 海水で 1~2 年養成し, 1 年間にふ化幼生を得られる期間を長期化させている⁹⁾。しかし, ズワイガニ雌ガニの養成水温について比較検討し, 適正養成水温の範囲を明らかにした研究事例はない。

そこで, 本研究では, 1~7°C の範囲で数段階に調整した水温で雌ガニを長期間養成して, その生残, 産卵およびふ化状況を調べた。また, 雌ガニの養成試験で得られたふ化幼生の質 (活力) を評価する基準を模索するため, ふ化幼生の背額棘間長等を測定するとともに, 飢餓耐性試験 (無給餌飼育) を実施した。

*1 独立行政法人水産総合研究センター小浜栽培漁業センター 〒917-0117 福井県小浜市泊 26 号 (Fisheries Research Agency, Obama Station, National Center for Stock Enhancement, Obama, Fukui 917-0117, Japan).

材料と方法

1. ふ化幼生の質の判定

雌ガニの入手と養成 供試した雌ガニは2000年から2001年にかけて福井県越前町漁業協同組合および石川県西海漁業協同組合（現、石川とぎ漁業協同組合）に水揚げされたもので、900 l 断熱水槽（縦1.8 m×横0.8 m×高0.6 m）に70尾/槽以下になるよう収容した。水槽は外部の光を完全に遮断した屋内に設置し、照明は昼間（原則的に9時から17時）のみ蛍光灯により行ったが、水槽上面は発泡スチロール製平板で覆って遮光しているため、給餌や観察以外には直接光の照射はなかった。養成は紫外線殺菌装置（照射量：30,000 $\mu\text{W}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$ 以上）を組み込んだ循環ろ過冷却方式で行い、1日当たり総水量の約10%を新鮮海水で交換した。養成水温は3~7°Cに調整した。餌料には冷凍アサリ（中華人民共和国大連産）、または、これに水深200 m付近から籠網により採取し、冷凍保存しておいたクモヒトデ類やエビジャコ類を一定量添加して、週に2回の程度に残餌が出る頻度で与えた。

供試幼生 試験は2001年から2002年にかけて小浜栽培漁業センターで実施した。幼生は雌ガニを養成している水槽のオーバーフロー口に設置したプランクトンネット（目合い150 μl 、容量約30 l）で採集した。

幼生の質の判定方法の検討 ふ化は2001年9月20日~2002年3月30日までの間に191回みられ、そのうち無作為の17回について、ふ化ゾエアの乾燥重量および背棘と額棘間の長さ（背額棘間長）を測定した。また、ふ化幼生を無給餌で飼育し、魚類およびカニ類のふ化幼生の飢餓耐性を評価する指標に用いられている¹⁰⁻¹²無給餌生残指数（Survival Activity Index: SAI）を求めた。各指標の測定方法は以下のとおりである。

乾燥重量：幼生を50尾抽出し、60°Cで24時間乾燥後に重量を計測した。各ロットについて測定の繰り返し数を3回とし、結果は平均で示した。

背額棘間長：幼生を30尾抽出し、万能投影機を用いて10倍に拡大して背棘と額棘先端間の長さを計測し、平均値を求めた。

SAI：ふ化幼生30尾を水温12°Cの1 L ビーカーに直接収容し、無給餌下で飼育した。飼育期間中には毎日生残個体と死亡個体を計数し、新聞ら¹⁰に従い次式によりSAIを求めた。飼育は各ロットについて3例行い、SAIはその平均値で示した。

$$\text{SAI} = \frac{k}{i-1} \sum_{i=1}^k (N - hi) \times i / N$$

ここで、 N は幼生数、 hi は*i*日目の死亡幼生累積尾数、 k は生残尾数が0となった日を示す。

一定期間（*i*日目）までの死亡率：SAIを求めた幼生群について、次式より飼育開始*i*日目までの死亡率を算出

し、*i*日目までの死亡率とした。

$$i \text{ 日目までの死亡率} = hi / N \times 100$$

幼生の給餌飼育：SAIを求めた無給餌飼育と同じ飼育容器3個にそれぞれ30尾のふ化幼生を収容し、第2齡ゾエアに脱皮するまで飼育を行った。飼育水は12°Cに調温し、毎日ピペットを用いて新鮮な海水を入れた飼育容器に移し変えた。餌料として、L型ワムシを2個/ml、アルテミアを0.5個/mlの基準で給餌した。第2齡ゾエアまでの生残率は3水槽の平均値で示した。

これらの各指標と、同時に行った同一環境条件下での給餌飼育における第2齡ゾエアへの脱皮直後までの生残率との関係を調査することによって、これらが幼生の質の判定指標となり得るか検討した。

2. 3, 5, 7°Cによる適正養成水温の検討（養成試験1）

試験区の設定 試験は1999年から2002年に小浜栽培漁業センターで実施した。試験区として、養成水温を3°C、5°C、7°Cとする区を設定し、2年間養成した。各試験区には順に41尾、41尾、40尾の天然抱卵雌ガニを供試した。**供試雌ガニ** 供試した雌ガニは1999年12月29日に西海漁業協同組合に水揚げされた個体の中から、胚発生が進み、ふ化が近いと判断された122尾を入手した。雌ガニは水温1°Cに調整した海水を入れた1 k l 容器に収容し、自動車を用いて同センターまで5時間かけて輸送した。

養成方法 入手した雌ガニは甲長を1 mmの単位で測定し、400 l 断熱水槽（縦1.8 m×横0.8 m×高0.3 m）3槽に収容した。養成水温の平均値（範囲）は、3°C、5°C、7°C区の順に3.6°C（2.8~6.5°C）、5.3°C（3.1~8.8°C）、7.4°C（4.1~9.6°C）であった。餌料は中国産冷凍アサリを週2回の頻度で残餌が出る程度与えた。その他の養成方法はふ化幼生の質の判定試験における雌ガニの養成に準じた。雌ガニの養成は、水槽内で3回目のふ化終了1週間後まで行った。養成期間中は週に2回の頻度で、雌ガニの生死を確認した。ふ化幼生は各水槽のオーバーフロー口に設置したプランクトンネットで回収した。幼生の計数は容量法で原則的に毎朝10時前後に実施した。雌ガニ1尾当たりのふ化幼生数は、養成期間中にふ化した幼生の総尾数を、養成雌ガニ尾数で除して求めた。ただし、ふ化前に死亡した個体は養成雌ガニ尾数に含めなかった。雌ガニはふ化後ほぼ1週間以内に再抱卵することから（未発表）、雌ガニ群のふ化終了1週間後に全個体の産卵状況を観察し、産卵個体の割合（産卵率、%）を求めた。**評価方法** 雌ガニの生残率、産卵率、幼生のふ化期間とふ化幼生数を養成水温の評価指標として用い、各項目について測定した。養成環境下における2回目のふ化では、幼生のふ化後6日目までの死亡率（以下、初期死亡率、別項定義）、背額棘間長、乾燥重量も指標として測定した。危険区間の有意差の検定には分散分析と多重比較を用い、危険率を5%とした。

3. 1, 3, 5°Cによる適正養成水温の検討（養成試験2）

試験区の設定 試験は2001年から2002年に小浜栽培漁業センターで実施した。試験区として、養成水温を1°C, 3°C, 5°Cに調整する区を設定し、ふ化終了1週間後まで養成した。各試験区には順に30尾, 30尾, 29尾の天然抱卵雌ガニを供試した。

供試雌ガニ 供試した雌ガニは2001年12月13日と21日に越前町漁業協同組合に水揚げされた個体の中から、胚発生が進み、ふ化が近いと判断された89尾を入手した。雌ガニは前述の容器に収容し、2時間かけて輸送した。

養成方法 入手した雌ガニは甲長を1mmの単位で測定し、前述と同様の400l断熱水槽3槽に収容した。養成方法は養成試験1に準じた。養成水温の平均値（範囲）は、1°C, 3°C, 5°C区の順に1.1°C（0.3~3.9°C）、3.2°C（2.3~3.6°C）、5.6°C（4.7~6.7°C）であった。養成水温の評価指標は養成試験2と同様に観察、測定した。

結 果

1. ふ化幼生の質の判定

無給餌飼育と給餌飼育における生残状況を図1に示し

た。無給餌飼育における生残率は、飼育開始直後から直線的に減少するものから、給餌飼育において第2齢ゾエアが出現する時期から急激に低下するものまで、異なるパターンを示した。次に、給餌飼育における第2齢ゾエアまでの生残率(y)とSAI(x_1)、乾燥重量(x_2)および背額棘間長(x_3)の関係を図2に示した。生残率は25.0~90.9%、SAIは89.2~315.8、乾燥重量は0.07~0.15mg、背額棘間長は4.62~5.25mmの範囲にあった。生残率は、各評価指標値が増加するにともない、直線的に増加する傾向を示し、各関係に直線回帰式を適用した相関係数は、ふ化幼生の乾燥重量および背額棘間長の場合に比較的高い値を示した(図2)。

次に、同様に第2齢ゾエア生残率と*i*日目までの死亡率(x_4)の関係を直線回帰式を適用した結果、表1の回帰式が得られ、6日目までの死亡率との相関係数が最も高い値を示した(図2)。そのため、最も第2齢ゾエアまでの生残率と相関が強かった6日目までの死亡率を初期死亡率と定義した。

2. 養成試験1

ふ化、生残および産卵結果の概要を表2、ふ化状況を図3に示した。

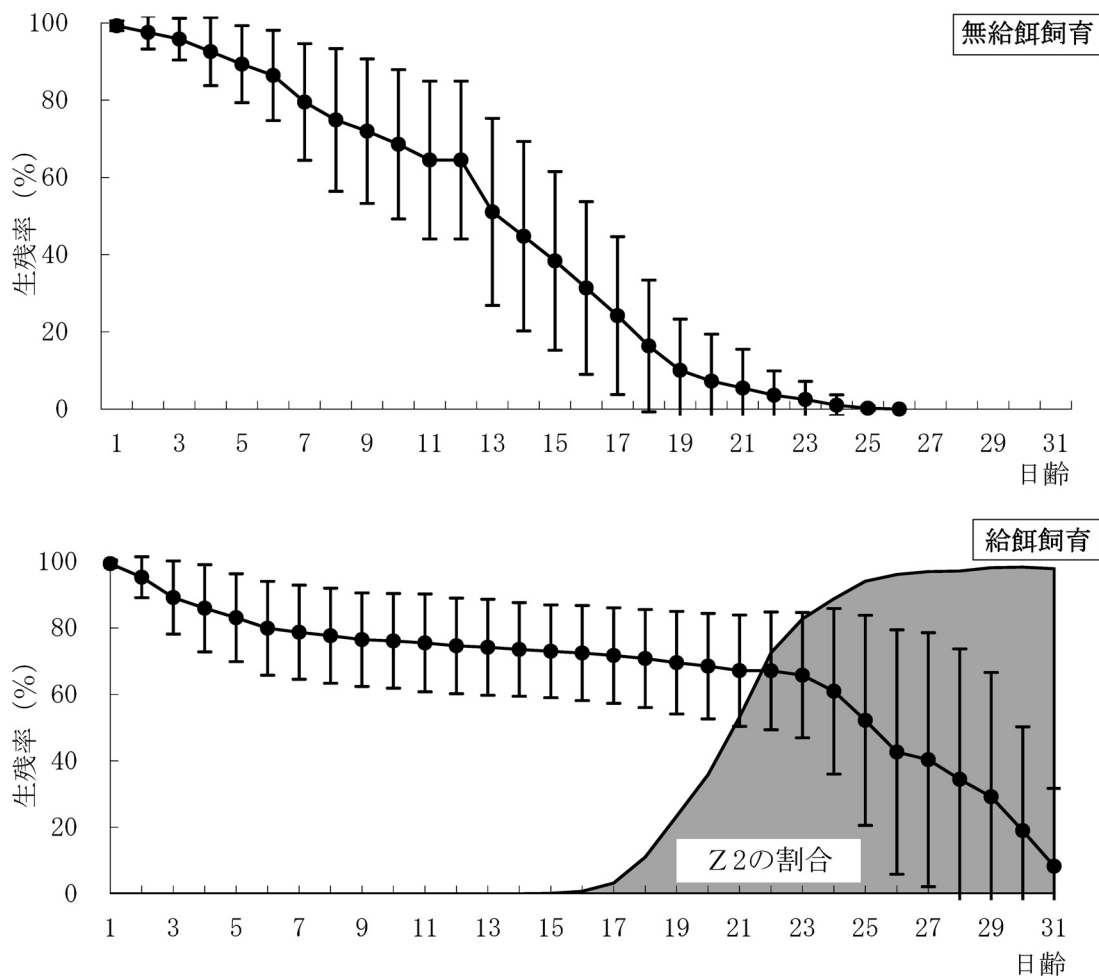


図1. 無給餌飼育と第2齢ゾエア(Z2)までの給餌飼育における生残状況

第2齡ゾエアまでの生残率(%)

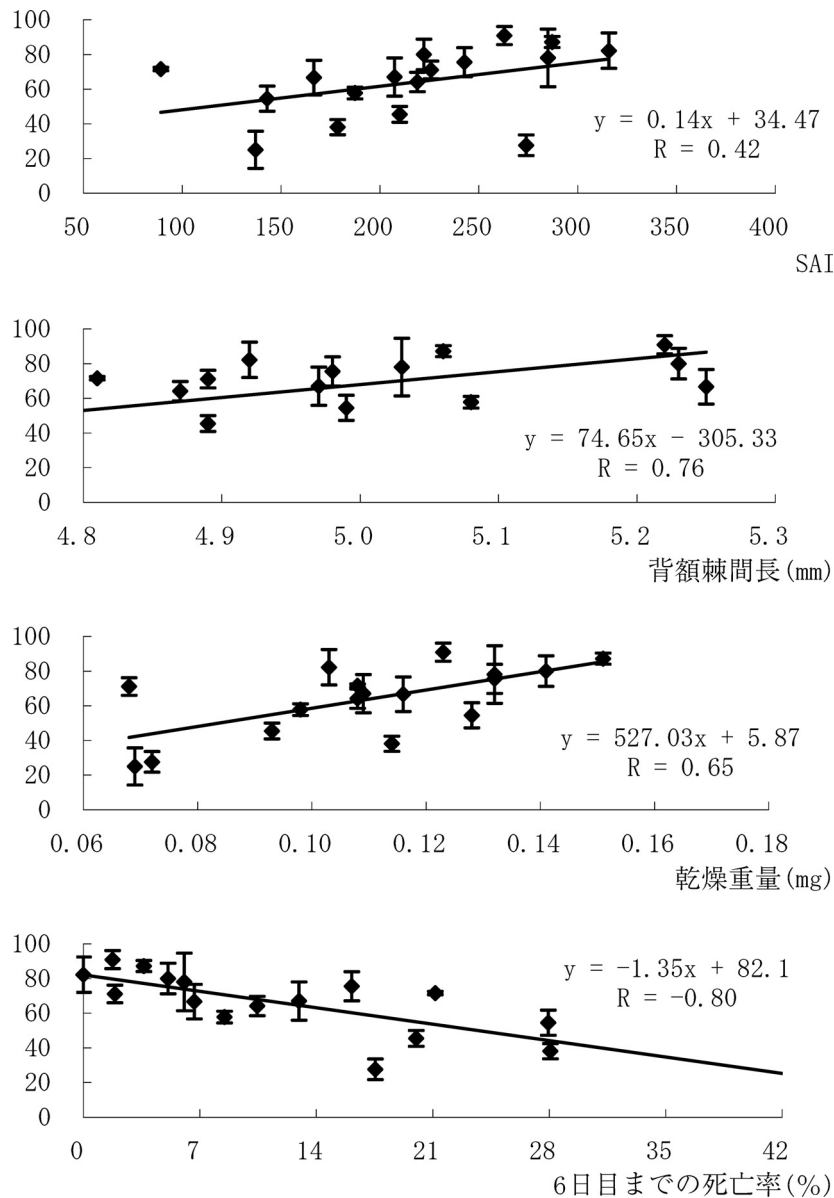


図2. 幼生のSAI, 背額棘間長, 乾燥重量, ふ化後6日目までの死亡率と第2齡ゾエアまでの生残率の関係

天然抱卵雌ガニ（以下、天然抱卵群）の養成環境下における1回目のふ化終了までの生残率は、全試験区で100%であったが、翌年の2回目のふ化終了までは3℃, 5℃, 7℃区の順に75.6%, 58.5%, 55.0%, 3回目のふ化終了までは51.2%, 29.3%, 19.5%であった。天然抱卵群の1回目ふ化終了後の産卵率は、全試験区100%であったが、2回目ふ化終了後は順に100%, 57.7%, 5.3%, 翌々年の3回目ふ化終了後は3℃, 7℃区の順に52.4%, 14.3%であった。なお、3回目ふ化終了後の5℃区では試験終了直前の事故により抱卵雌ガニが死亡した。

第1回目の天然抱卵群におけるふ化開始時期は水温により大差なかったが、ふ化期間は水温が高くなるほど短くなった。また、7℃区におけるふ化幼生の目視観察では、活力がなく、沈降する個体が多かった。ふ化のピークは3℃, 5℃, 7℃区の順に概ね2月下旬, 2月初旬～中旬, 1月下旬～2月初旬であり、雌ガニ1尾当たりのふ化

幼生数は順に6.7万尾, 6.2万尾, 5.0万尾であった(表2)。2回目のふ化開始時期は水温が高くなるほど早くなり、1尾当たりのふ化幼生数は3℃, 5℃, 7℃区の順に7.5万尾, 6.5万尾, 4.7万尾であった。

ふ化幼生の背額棘間長は、養成水温が高くなるにつれて順に5.09 mm, 4.97 mm, 4.66 mm, 乾燥重量は0.111 mg, 0.107 mg, 0.088 mg, 初期死亡率は2.8%, 4.0%, 32.6%であった(表3)。いずれも3℃, 5℃区は7℃区に対して有意な差が認められ、背額棘間長の3℃区と5℃区にも有意な差が認められた。3回目のふ化開始時期は3℃区で最も早く、7℃区は1日ふ化が認められたにすぎなかった。1尾当たりのふ化幼生数は3℃, 7℃区の順に2.8万尾, 25尾であった。

3. 養成試験2

ふ化, 生残, 産卵および幼生の質の判定結果の概要を

表4, ふ化状況を図4に示した。

生残率は1℃, 3℃, 5℃区順に100%, 100%, 93.1%, 産卵率は順に96.7%, 100%, 86.2%であった。ふ化開始時期は水温が高くなるほど早くなり, ふ化期間は3℃区が最も短かった。ふ化ピークは順に概ね3月下旬, 2月下旬, 2月上旬であり, 1尾当たりのふ化幼生数は順に8.2万尾, 8.5万尾, 6.4万尾であった。ふ化幼生の背額棘間長は順に5.17 mm, 5.20 mm, 4.93 mm, 乾燥重量は

0.106 mg, 0.105 mg, 0.101 mg, 初期死亡率は5.1%, 5.1%, 11.7%であった。いずれも1℃区と3℃区には有意差が認められなかったが, 1℃区と5℃区, 3℃区と5℃区には有意差が認められた。

考 察

ふ化幼生の質の判定 暖水性甲殻類におけるふ化幼生の質の判定は, アミメノコギリガザミ¹³⁻¹⁵⁾ やアサヒガニ¹²⁾ などで, SAI, 乾燥重量, 背額棘間長等を指標に用いて試みられてきた。しかし, 冷水性甲殻類については, これまでふ化幼生の質の判定を試みた事例はない。本研究では, ズワイガニふ化幼生の質を判定する試みとして, 給餌飼育における第2齢ゾエアまでの生残率とSAI, ふ化幼生の乾燥重量および背額棘間長の関係を調べた。その結果, 生残率とSAIの間には正の相関関係は認められたものの, 相関係数は低かった。また, SAIを算出するまでに3~4週間も要すことから, SAIはズワイガニふ化幼生の質の判定指標として適していないものと考えられた。一方, 生残率と乾燥重量, 背額棘間長および一定期間までの死亡率の間には比較的高い相関係数が得られた。特に初期死亡率とした6日目までの死亡率との相関係数が高かった。

以上の結果から, 初期死亡率の高い幼生および乾燥重量, 背額棘間長の小さい幼生を種苗生産試験に用いることは好ましくないと考えることができる。しかし, 乾燥重量および背額棘間長の測定は簡便であるが, 初期死亡率の測定には7日間必要であり簡便な手法とは必ずしもいえない。そのため, ふ化幼生の質は, まず簡便な背額棘間長により大まかに判断して極端に小さい幼生群を除去し, 最終的には初期死亡率で評価すべきであると考え

表1. 幼生の*i*日目までの死亡率と第2齢ゾエアまでの生残率における回帰直線の係数と相関係数

<i>i</i>	傾き	切片	相関係数
1	0.0	72.0	-0.71
2	-3.4	72.0	-0.73
3	-2.5	74.2	-0.68
4	-1.5	74.6	-0.66
5	-1.5	79.3	-0.74
6	-1.4	82.1	-0.80
7	-0.8	80.8	-0.63
8	-0.6	79.7	-0.59
9	-0.6	79.6	-0.53
10	-0.5	79.3	-0.48
11	-0.4	79.5	-0.46
12	-0.4	79.5	-0.46
13	-0.4	82.0	-0.46
14	-0.3	82.3	-0.42
15	-0.4	86.3	-0.43
16	-0.4	89.9	-0.43
17	-0.3	89.2	-0.35
18	-0.4	100.4	-0.38
19	-0.5	109.6	-0.34
20	-0.6	116.6	-0.35
21	-0.7	127.0	-0.34
22	-1.0	158.8	-0.31
23	-2.0	257.9	-0.47
24	-3.1	373.5	-0.42
25	-12.4	1298.4	-0.40

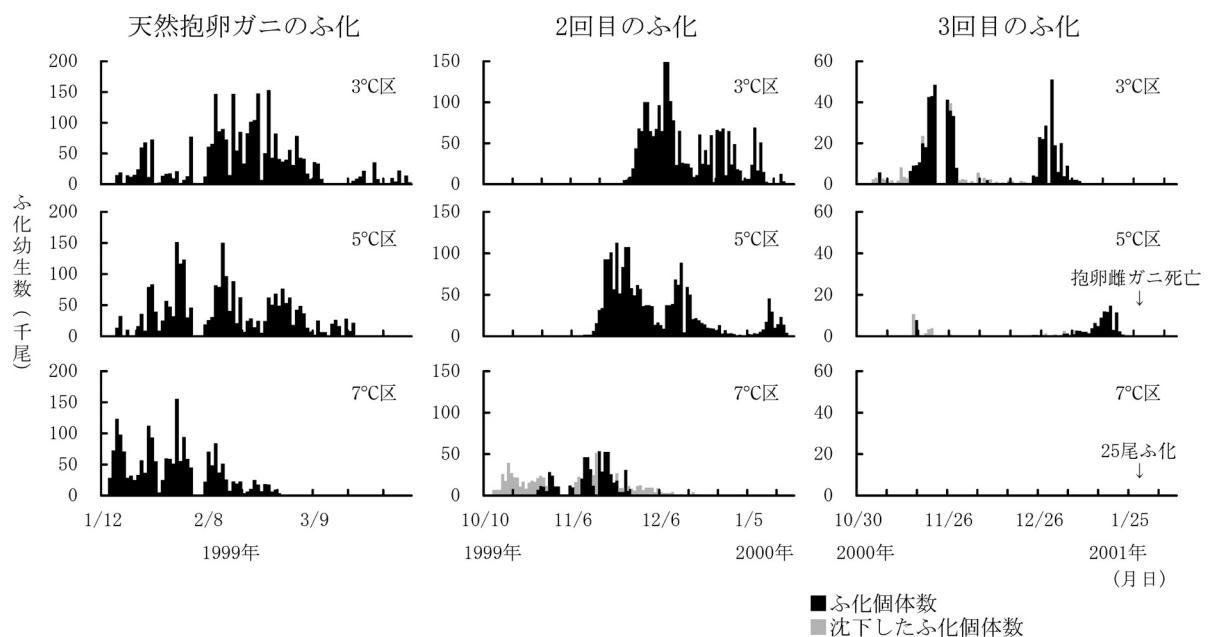


図3. 養成試験1における各水温区のふ化状況

表 2. 養成試験 1 におけるふ化、生残および産卵結果の概要

試験区名	供試尾数 (尾)	平均甲幅 標準偏差 (mm)	平均水温 (範囲) (°C)	ふ化 (天然抱卵)		生残率 (%)	産卵率 (%)	ふ化 (2 回目)		生残率 (%)	産卵率 (%)	ふ化 (3 回目)		生残率 (%)	産卵率 (%)
				ふ化期間 (月日)	幼生数*1 (万尾)			ふ化期間 (月日)	幼生数*1 (万尾)			ふ化期間 (月日)	尾数*1 (万尾)		
3°C 区	41	67.8±3.5 (2.8~6.5)	3.6	1.13~4.6 (6.7)	275.4 (6.7)	100	100	11.23~2.10 (7.5)	233.2 (7.5)	75.6	100	10.31~2.8 (2.8)	59.7 (2.8)	51.2	52.4
5°C 区	41	67.6±4.5 (3.1~8.8)	5.3	1.14~3.21 (6.2)	253.4 (6.2)	100	100	10.21~2.5 (6.5)	215.3 (6.5)	58.5	57.7	11.18~1.24 (*2)	13.3 (*2)	29.3	*2
7°C 区	40	67.9±2.3 (4.1~9.6)	7.4	1.13~3.13 (5.0)	201.4 (5.0)	100	100	10.11~1.23 (4.7)	113.4 (4.7)	55.0	5.3	1.27 (0.0)	25 尾 (0.0)	19.5	14.3

*1 ふ化幼生数の下の () は、ふ化の成功した雌ガニ 1 尾当たりのふ化幼生数を示している

*2 ふ化終了前に死亡個体があったため算出していない

表 3. 養成試験 1 の 2 回目のふ化におけるふ化幼生の質の判定結果の概要

試験区名	棘間長 (mm)	乾燥重量 (mg)	初期死亡率 (%)
3°C 区	5.09*5, 7 (17)	0.111*7 (15)	2.8*7 (30)
5°C 区	4.97*3, 7 (21)	0.107*7 (20)	4.0*7 (40)
7°C 区	4.66*3, 5 (23)	0.088*3 (22)	32.6*3 (44)

() は、測定回数を示している

*3: 3°C 区に対して有意差あり

*5: 5°C 区に対して有意差あり

*7: 7°C 区に対して有意差あり

られる。

雌ガニの養成水温 天然海でのズワイガニ雌ガニの生息水温について記載した事例は少なく、小林が島根県沖合におけるズワイガニ保護礁と底生生物群集を潜水艇で観察した際に¹⁶⁾、調査海域の水温として 1.4~1.5°C 以下であったと記載している程度である。しかしながら、日本海における本種抱卵雌の生息水深については 240~260 m 付近^{17, 18)} が中心であると考えられており、その水深から推して生息水温は 1~2°C 前後であると考えられる。そのため、当センターがこれまで養成水温として採用している 3°C は、天然生息水温より 1~2°C 前後高い温度となる。

天然抱卵群が養成環境下で初めて産卵するまでの期間

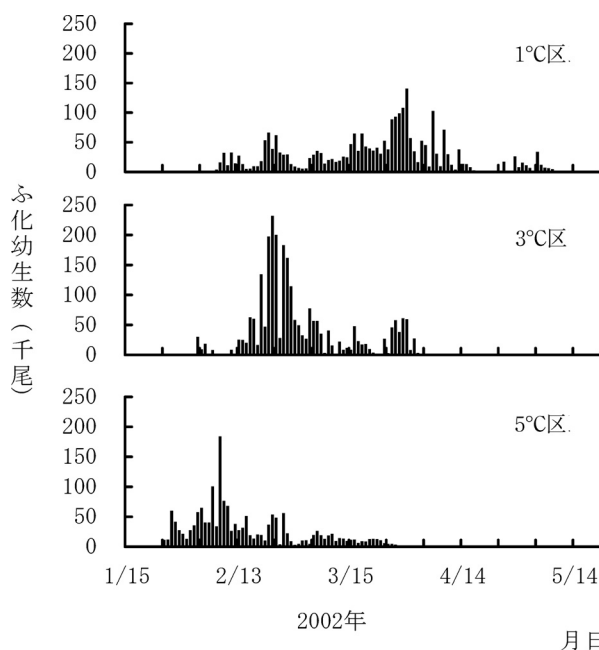


図 4. 養成試験 2 における各水温区でのふ化状況

では、養成試験 1, 2 の結果から判断すると、今回の養成水温の範囲 (1~7°C) では、雌ガニの生残率、産卵率に差はないと考えてよい。ふ化幼生数は、1°C 区と 3°C 区では差はないが、3°C 区に比較して、5°C 区、7°C 区では減少し、特にその傾向は高温の 7°C 区で強い。また、1°C 区と 3°C 区では幼生の乾燥重量、背額棘間長に有意差が認め

表 4. 養成試験 2 におけるふ化、生残、産卵および幼生の質の判定結果の概要

試験区名	試験尾数 (尾)	平均甲幅 標準偏差 (mm)	平均水温 (範囲) (°C)	幼生のふ化 (天然抱卵)		生残率 (%)	産卵率 (%)	幼生の質の判定		
				ふ化期間 (月日)	幼生数*1 (万尾)			棘間長 (mm)	乾燥重量 (mg)	初期死亡率 (%)
1°C 区	30	80.6±5.4	1.1 (0.3~3.9)	1.29~5.17 (8.2)	247.4 (8.2)	100	96.7	5.17* (31)	0.106* (26)	5.1* (66)
3°C 区	30	79.3±6.5	3.2 (2.3~3.6)	1.22~4.6 (8.5)	254.0 (8.5)	100	100	5.20* (23)	0.105* (24)	5.1* (49)
5°C 区	29	78.3±6.7	5.6 (4.7~6.7)	1.16~5.21 (6.4)	172.8 (6.4)	93.1	86.2	4.93 (23)	0.101 (24)	11.7 (58)

*1 ふ化幼生数の下の () は、ふ化の成功した雌ガニ 1 尾当たりのふ化幼生数を示している

*2 幼生の活力判定の下の () は、測定回数を示している

*: 5°C 区に対して有意差あり

られないのに対し、5°C区の乾燥重量、背額棘間長は1°C区および3°C区に比較して有意に低く、小型化した。

天然抱卵雌ガニをふ化が終了するまで5°C前後で養成した事例¹⁹⁻²⁴⁾は他機関でも多数あるが、生残率が著しく低下した事例はなく、高い産卵率も記録¹³⁾されており、短い期間であれば生残、産卵に影響を及ぼさないと考えられる。6~10°Cで短期間養成した事例^{19, 20, 25)}についても生残率の低下は起きていないが、10°C前後では雌ガニの活力低下²⁴⁾、産卵率の減少²⁰⁾が報告されている。さらに田畑ら¹⁹⁾が14°Cで養成した事例では、全個体が死亡している。一方、ふ化幼生数については、田畑ら¹⁹⁾、武田ら²⁰⁾が少数の雌ガニを用いて比較した事例があるが、水温が高いほど幼生数は減少し、乾燥重量、背額棘間長は低く、小型化するとしている。また、高橋²⁶⁾は4°Cと10°Cで養成した試験の結果から、高水温養成による抱卵数の減少と卵が腹肢から脱落する現象を報告している。これらの養成事例と今回の試験について総合的に評価すると、天然抱卵群を1回目のふ化が終了するまで養成する場合、養成水温の上限は7°C程度であり、その水温までは生残と産卵に悪影響はみられず、水温が高いほどふ化ピークは早期化される利点があるが、5°C以上ではふ化幼生数の減少や初期死亡率の増加、乾燥重量、背額棘間長が減少する。ただ、初期死亡率の増加やふ化幼生数の減少は5°C区では7°C区の2回目のふ化でみられたように顕著なものではない。

一方、1年以上養成を行った2~3回目のふ化終了までの生残率を養成試験1で比較すると、3°C区では75.6%と51.2%であるのに対して、5°C区と7°C区は、2回目では55.0%、58.5%、3回目では29.3%、19.5%であり、明らかに高水温により生残率が低下し、その傾向は養成期間が長くなるほど顕著であった。2回目のふ化終了までの産卵率についても同様に比較すると、3°C区では100%であったのに対して、5°C区と7°C区では57.7%、5.3%であり、水温が低いほど産卵率が高く、7°Cでは産卵させることが困難であることが分かる。また、2回目以降のふ化では、ふ化幼生数は水温の影響をより強く受け、7°C区では抱卵はするものの、3回目のふ化はほとんどみられないといってよい。さらに、高水温ほどふ化幼生の乾燥重量、背額棘間長の減少や初期死亡率の増加が見られた。さらに、沈下幼生個体の増加や初期死亡率が3°C区と比較して10倍以上となることから、質の低下が顕著であり、種苗生産にこれらの幼生を用いることは不可能と考えてよい。

これらのことから、ズワイガニ雌ガニの適正養成水温は、1回目のふ化終了までは1~5°C前後であるが、より健全な幼生を得るには1~3°C前後であり、2回目以降のふ化では3°C以下であると考えられる。また、1°Cと3°Cの養成では、ふ化幼生の質に差はないことから、ふ化の早期化や冷却コストの削減を考えると、3°Cでの養成が適していると考えられる。

謝 辞

雌ガニの養成にご協力いただいた独立行政法人水産総合研究センター小浜栽培漁業センター小金隆之技術開発員をはじめとする職員各位に厚くお礼申し上げます。さらに本論文を取りまとめるにあたり、ご校閲いただいた東京海洋大学海洋科学部濱崎活幸博士、独立行政法人水産総合研究センター小浜栽培漁業センター塩澤 聡場長に深謝する。また、雌ガニの入手にご協力頂いた、越前町漁業協同組合の濱田敬次郎氏、西海漁業協同組合（現、石川とき漁業協同組合）の瀬川浩之氏をはじめとする関係各位にお礼申し上げます。

文 献

- 1) 三宅貞祥 (1983) 原色日本大型甲殻類図鑑 (II). 保育社, 大阪, 31 pp.
- 2) 青山恒雄 (1980) 底魚資源. 恒星社厚生閣, 東京, 237 pp.
- 3) 農林水産省統計情報部 (1966-2002) 漁業・養殖業生産統計年報.
- 4) 今 攸 (1981) ズワイガニの幼生飼育に関する現状と問題点. 栽培技研, 10, 125-136.
- 5) 田畑和男・益田恵一・原田和弘 (1989) ズワイガニ種苗生産試験. 平成元年度兵庫水試報, 124.
- 6) 福井県 (1992) “越前がに”の世界. 福井水試報, 18.
- 7) 松山泰嗣・鎌田 厚 (1974) ズワイガニ幼生の飼育における成長について. 兵庫水試事業報告, 14, 31-36.
- 8) 今 攸 (1970) ズワイガニに関する漁業生物学的研究—IV 飼育によるふ化幼生の浮遊期間の推定. 日水誌, 36, 219-224.
- 9) 森田哲男・野上欣也 (2003) 養成環境下におけるズワイガニ雌ガニの産卵とふ化. 栽培技研, 31, 5-9.
- 10) 新聞脩子・辻ヶ堂 諦 (1981) カサゴ親魚の生化学的性状と仔魚の活力について. 養殖研報, (2), 11-20.
- 11) 日本栽培漁業協会 (1996) シマアジおよびブリの親魚養成技術の開発に関する研究. 日裁協特別研究報告, 9号, 12-41.
- 12) 浜田和久・濱崎活幸・虫明敬一 (2001) アサヒガニふ化幼生の活力判定の試み. 水産増殖誌, 50, 79-84.
- 13) 日本栽培漁業協会 (1990) 成体の確保と採卵. アミメノコギリガザミ. 日裁協事業年報 (昭和63年度), 78-81.
- 14) 日本栽培漁業協会 (1991) 成体の確保と採卵. アミメノコギリガザミ. 日裁協事業年報 (平成元年度), 68-70.
- 15) 日本栽培漁業協会 (1993) 成体の確保と採卵. アミメノコギリガザミ. 日裁協事業年報 (平成3年度), 70-72.
- 16) 小林啓二・永井浩爾 (1991) 島根県沖合におけるズワイガニ保護礁と底生生物群集の観察. 海洋技術セ試験研究報告, 1991, 267-275.
- 17) 今 攸 (1980) ズワイガニ *Chionoecetes opili* (O. FABRICIUS) の生活史に関する研究. 新潟大学理学部付属佐渡臨海実験所特別報告第2集, 1-64.
- 18) 桑原昭彦・篠田正俊・山崎 淳・遠藤 進 (1995) 日本海西部海域におけるズワイガニの資源管理. 水産研究叢書, 22-33.

- 19) 田畑和男・益田恵一 (1991) 異なった水温で飼育されたズワイガニ雌ガニからのゾエア孵出状況. 兵庫水試研報, **29**, 69-72.
- 20) 武田雷介・田畑和男・原田和弘 (1991) 異なった飼育水温からのズワイガニ孵化幼生について. 兵庫水試研報, **30**, 11-16.
- 21) 福井県水産試験場 (1980) カニ類増殖技術開発試験研究報告書, 福井水試報告昭和 55 年第 7 号.
- 22) 福井県水産試験場 (1981) カニ類増殖技術開発試験研究報告書, 福井水試報告昭和 56 年第 17 号.
- 23) 野村 元・吉田敏泰 (1981) ズワイガニの種苗生産研究. 石川増殖試資料 24 号, 27-30.
- 24) 冲山宗雄 (1974) 対馬暖流, 3. 日本海々域の生物的特性. 水産学シリーズ, **5**, 42-55.
- 25) 福井県水産試験場 (1976) カニ類増殖技術開発試験研究報告書. 福井水試報告昭和 51 年第 112 号.
- 26) 高橋庸一 (1986) ズワイガニ. 日裁協小浜事業場昭和 61 年度事業場報告.

アサリ稚貝の成長および粗成長効率と水温の関係

小林 豊*・鳥羽光晴*

Relationship of growth and gross growth efficiency to rearing temperature in juvenile Manila clam *Ruditapes philippinarum*

Yutaka KOBAYASHI, and Mitsuharu TOBA

Juveniles of the Manila clam were maintained at 12, 18, 23 and 28°C for 14 days using a closed re-circulating air-lifted upwelling system. Initial mean weights pooled for each treatment were 53.6, 54.5, 58.8, 48.1 $\mu\text{gAFDW}/\text{ind.}$ (AFDW: ash-free dry weight) at 12, 18, 23 and 28°C, respectively. Growth rates and gross growth efficiency were determined.

Growth rates were 1.9, 11.7, 25.2, 45.2 $\mu\text{gAFDW}/\text{ind.}/\text{day}$, gross growth efficiencies were 8.9, 33.6, 43.2, 57.0% at 12, 18, 23, and 28°C, respectively. Both growth rates and gross growth efficiency increased in proportion to temperature. Total ingestion rate of the juveniles also increased. The relationship between growth rates and temperature were best described by the cubic regression curve: $G=0.0002 \times T^{3.78}$, where G =growth rate ($\mu\text{gAFDW}/\text{ind.}/\text{day}$), and T =temperature (°C) ($r^2=0.99$).

2005年5月24日受理

まえがき

アサリ *Ruditapes philippinarum* の種苗生産においては、計画的な飼育を行う上で、アサリ稚貝の成長と環境条件に関する基礎的知見を得ることが必要である。その中でも、アサリ稚貝の成長と水温の関係は最も重要な情報の一つである。これまで、アサリでは幼生の成長と水温の関係についての報告がある¹⁾。しかし、稚貝の成長と水温についてのものは見当たらない。そこで、著者らは人工的に育成したアサリ稚貝を水温別に飼育し、成長および粗成長効率と水温の関係を求めた。

材料と方法

稚貝飼育装置 飼育装置は塩化ビニル管で作成した全長520 mmの円筒型飼育容器を、総水量100 lのポリカーボネイト飼育水槽内に吊り下げて設置したエアリフトアップウェリング方式による閉鎖循環式の装置である(図1)。

円筒型飼育容器の底面(内径60 mm)にはオープニング500 μm のナイロンネットを張り、このネット上にアサリ稚貝を收容した。飼育容器底面から高さ95 mmのところにはオープニング300 μm のナイロンネットを張り、稚貝の流失を防止した。また、高さ330 mmのところには内径60 mmの排水口を設け、飼育水槽の水面はこの排水口の下30 mmとした。排水口からは重りを付けたビニールチューブを稚貝流失防止のネット上まで挿入し、エアリフトによって飼育水を飼育容器の下面から流入させ、上部の排水口から排水させた。

アップウェリングの通水量は600~1,000 ml/分になるように設定した。飼育水は砂ろ過海水に紫外線流水殺菌装置(千代田工販, SF-4NSH; 公称殺菌処理能力, 2 kl/h 使用時: 145,000 $\mu\text{Wsec}/\text{cm}^2$)で殺菌処理したものを使用した。

実験水温は12, 18, 23, 28°Cの4段階とし、各水温に1つの飼育装置を用いた。水温調節はサーモスタット(日東機材, デルサーモ100 V; 精度 $\pm 1^\circ\text{C}$)、および投げ込み式チタンヒーターあるいは石英ヒーターで行った。飼育水槽内の水温を均一に保つため、飼育水は通気により攪

* 千葉県水産総合研究センター 東京湾漁業研究所 〒293-0042 千葉県富津市小久保3091 (Chiba Prefectural Fisheries Research Center, Tokyo Bay Fisheries Laboratory, Kokubo 3091, Futtsu, Chiba 293-0042, Japan).

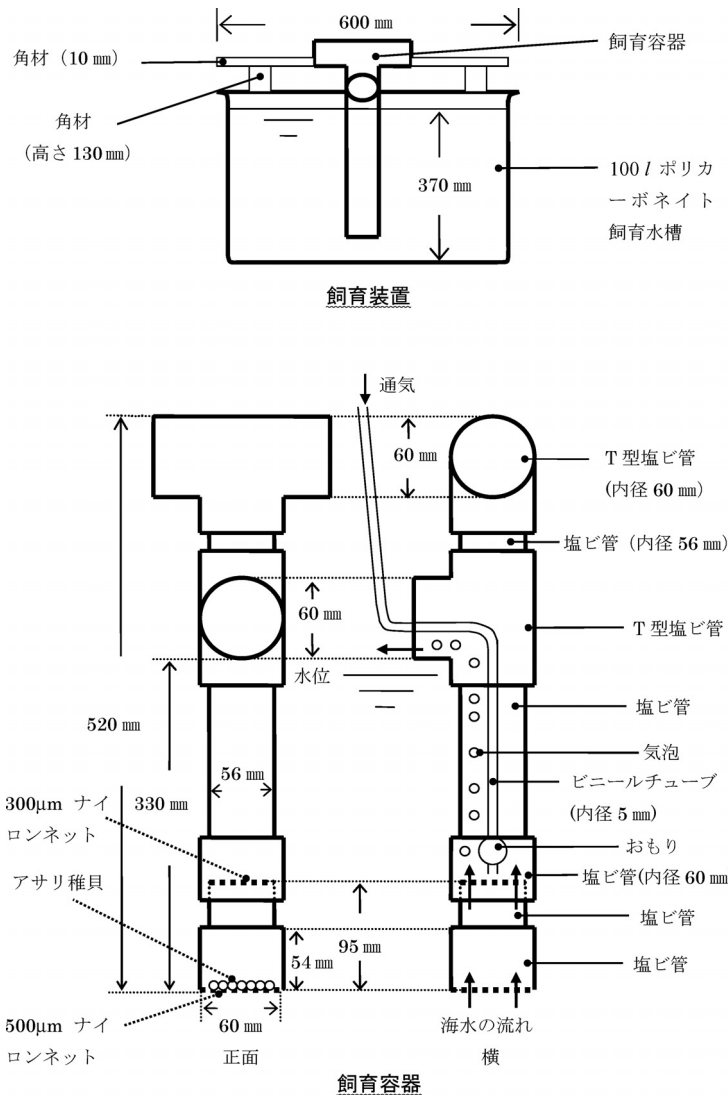


図1. 実験に使用したエアリフトアップウェリング方式によるアサリ稚貝飼育装置（上）と飼育容器（下）の模式図

拌した。

アサリ稚貝と水温馴致 実験に使用したアサリ稚貝は、2002年9月30日に親貝収容水槽内での自然産卵によって得た受精卵を用い、自然水温で150日間育成したものである。

供試したアサリは自然水温で飼育していたため、実験開始時の飼育水温と設定水温との差が大きかったため、実験開始前に水温馴致を行った。水温馴致には実験開始前の5日間を充て、馴致前には11℃であった飼育水温を2日間で一旦20℃まで上げ、残りの2日間でそれぞれの設定水温に調整し、5日目にはそれぞれの設定水温で飼育した。馴致終了後、各群から開始時の殻長・体重等の測定用として各1,000個体を分取した後、残った稚貝約1,000個体ずつを各実験区に充当した。なお、馴致終了時のアサリの殻長は各水温で1.32, 1.35, 1.37, 1.37 mmであり、馴致期間中の成長差はなかった (t 検定, $P < 0.05$)。

飼育管理と給餌 実験期間は2003年3月5～19日まで

の14日間とし、その間毎日、あらかじめそれぞれの設定水温に調温した海水で稚貝の洗浄を兼ねて全量換水を行った。

餌料は人工培養した *Pavlova lutheri* (以後パブロバと呼ぶ) を毎日1回、午前中の換水後(前日の給餌24時間後)に与えた。給餌にあたっては、換水前に微粒子計測装置(ベックマンコールター社, MultisizerII)で飼育水中の残餌量(細胞/ml)を測定し、過不足のないように給餌量を調整した。給餌細胞密度は、最初は35,000細胞/ml(飼育水)とし、100,000細胞/ml(飼育水)まで増やした。しかし、23, 28℃の実験区ではそれでも残餌が少なくなったため、23℃の実験区では12日目以降、28℃の実験区では9日目以降から午前中と夕方の1日2回の給餌を行なった。2回目の給餌では、給餌直前に残餌量を測定し、1回目に与えた給餌量と同じになるように与えた。

アサリ稚貝、パブロバの除灰乾燥重量(Ash-free dry weight: AFDW)の測定 アサリ稚貝、パブロバともに乾

乾燥重量 (DW) 測定後, AFDW を測定した。アサリ稚貝は, 実験開始時の各実験区 1,000 個体と, 実験終了時の全個体を測定した。アサリ稚貝の DW は 0.5 M 蟻酸アンモニウムで十分に稚貝を洗浄した後, 常圧加熱乾燥法で 80°C, 24 時間で乾燥させた後, 秤量した。パブロバは, 3 l の三角フラスコを使用して 20°C の恒温室内で上部から連続照明を施し, 通気培養したものをガラスフィルター (ワットマン: GF/C) 上で一定量吸引ろ過して細胞を捕集し, 0.5 M 蟻酸アンモニウムで十分に洗浄した後, 同様の方法で乾燥させて秤量した。使用したガラスフィルターは, あらかじめ蒸留水を吸引ろ過して洗浄した後, マッフル炉 (ヤマト科学, FM38) で 450°C・14 時間加熱処理した。

なお, パブロバの DW および AFDW は, それぞれ $(1.94 \pm 0.13) \times 10^{-8}$ mg/細胞, $(1.86 \pm 0.13) \times 10^{-8}$ mg/細胞 ($N=3$) と計測されたので, 以降の解析ではこれらの値を使用した。

各実験区のアサリ稚貝の摂餌量, 総摂餌量および粗成長効率の算出 各水温での餌料の自然減少率を算出するため, 飼育実験とは別途に同様の飼育装置を用いて, 各設定水温で給餌 24 時間後の細胞密度 (細胞/ml) を測定した。その結果, 給餌したパブロバの自然減少率は 12, 18, 23, 28°C でそれぞれ 7.0, 6.8, 17.0, 28.7% であった。

各実験区のアサリ稚貝 1 日当たりの総摂取細胞数 (I) は, $I = [(給餌密度) \times (自然減少率) - (残餌密度)] \times (水量)$ として求め, 以下の計算式により飼育日ごとに算出した。

$$1 \text{ 回給餌の場合: } I = \{F_a \times (D/C) - R_a\} \times V$$

$$2 \text{ 回給餌の場合: } I = I_a + I_b$$

$$I_a = [F_a - F_a \times \{1 - (D/C)\} \times (H_a/24) - R_0] \times V$$

$$I_b = [(F_b + R_0) - (F_b + R_0) \times \{1 - (D/C)\} \times (H_b/24) - R_a] \times V$$

I_a : 2 回目給餌前の摂取細胞数

I_b : 2 回目給餌から翌日換水前の摂取細胞数

F_a : 1 回目の給餌細胞密度

R_0 : 2 回目給餌前の水槽内の細胞密度

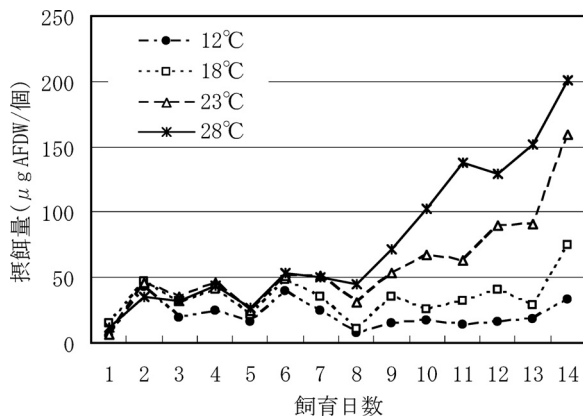


図 2. 各実験区におけるアサリ稚貝摂餌量の推移

F_b : 2 回目の給餌細胞密度

R_a : 換水前の水槽内の細胞密度

H_a : 1 回目から 2 回目給餌までの経過時間

H_b : 2 回目給餌から翌日給餌までの経過時間

C : 対照区の給餌細胞密度

D : 対照区の給餌 24 時間後の水槽内の細胞密度

V : 飼育水の総水量 (100,000 ml)

上に基づいて計算した各実験区の 1 日当たりの摂取細胞数 I から AFDW ベースによるアサリ稚貝の n 日目の 1 個体当たりの摂餌量 J_n (AFDW/個/日) を以下の計算式により算出した。

$$J_n = \{I_n / (N_s - M_n)\} \times P$$

I_n : n 日目の摂取細胞数

N_s : 実験開始時における各実験区のアサリ稚貝個数

M_n : 実験開始時から n 日目までの各実験区の死亡個体数 (実験期間中の全死亡個体数から 1 日当たりの死亡個体数が一定になるように調整した。)

P : パブロバ重量 (AFDW)

n : 飼育日数

各実験区の AFDW ベースによるアサリ稚貝 1 個体当たりの総摂餌量 W_1 (AFDW/個) と粗成長効率 K_1 は, 以下の計算式により算出した。

$$W_1 = \sum_{i=1}^{14} J_i$$

$$K_1 = W_2 / W_1 \times 100$$

W_2 : アサリ稚貝の増重量 (AFDW/個)

表 1. 各実験区のアサリ稚貝の重量と増重量速度

実験区	重量 ($\mu\text{g AFDW/個}$)		増重量速度 ($\mu\text{g AFDW/個/日}$)
	開始時	終了時	
12°C	53.6	79.6	1.9
18°C	54.5	218.0	11.7
23°C	58.8	411.0	25.2
28°C	48.1	681.1	45.2

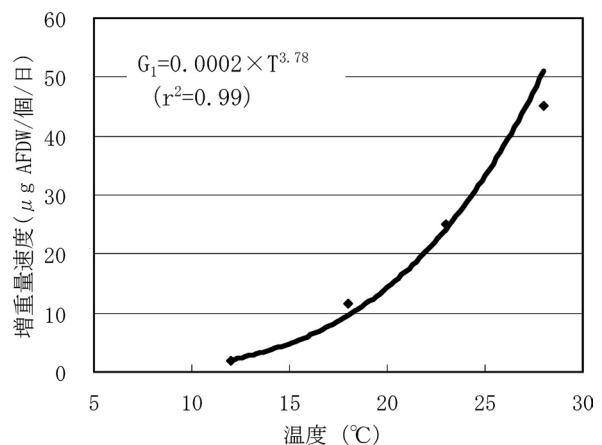


図 3. アサリ稚貝の増重量速度と水温の関係

結 果

各実験区の生残率および残餌量の割合 各実験区の生残率は 12, 18, 23, 28℃でそれぞれ 88, 90, 94, 85%であった。

毎日の換水前および 2 回目給餌直前に測定した残餌量の割合はそれぞれ 51, 46, 41, 34%以上であり、実験中は極端な餌不足の状態ではなかった。

摂餌量の推移 アサリ稚貝の摂餌量は、8 日目までは各実験区ともおよそ 10~50 $\mu\text{g AFDW}/\text{個}/\text{日}$ の間で増減を繰り返していた。しかし、9 日目以降からは摂餌量は水温が高いほど多くなった。12℃では約 20 $\mu\text{g AFDW}/\text{個}/\text{日}$ で大きな変化はなかったが、23, 28℃では増加が著しく、終了時の摂餌量は 12, 18, 23, 28℃でそれぞれ 33, 75, 159, 201 $\mu\text{g AFDW}/\text{個}/\text{日}$ であった (図 2)。

増重量速度 アサリ稚貝の増重量速度は水温が高くなるほど速くなり、12, 18, 23, 28℃それぞれ 1.9, 11.7, 25.2, 45.2 $\mu\text{g AFDW}/\text{個}/\text{日}$ であった (表 1)。この増重量速度と水温の関係は以下の 3 次式で近似された (図 3)。

$$G_1 = 0.0002 \times T^{3.78} (r^2 = 0.99)$$

G_1 , 増重量速度 (AFDW/個/日), T , 水温 (°C)

粗成長効率 アサリ稚貝の粗成長効率 K_1 は水温が高くなるほど高くなり、12, 18, 23, 28℃でそれぞれ 8.9, 33.6, 43.3, 58.0%であった (表 2)。

殻長成長 水産の現場では、二枚貝の成長を知る指標として殻長が最も馴染み易いと思われる。したがって、殻長の成長速度についても論じることとした。

終了時の殻長は水温が高くなるほど高い値を示し、12, 18, 23, 28℃それぞれ 1.55 ± 0.23 , 2.41 ± 0.51 , 3.31 ± 0.61 , 3.88 ± 0.68 mm であり (表 3)、すべての実験区間において有意差が認められた ($P < 0.05$)。また、成長速度と水温の関係から回帰式を最小二乗法で求めると、

$$G_2 = 0.01 \times T - 0.108 (r^2 = 0.99)$$

G_2 , 成長速度 (mm/日), T , 水温 (°C)

表 2. 各実験区のアサリ稚貝粗成長効率 (K_1)

実験区	総摂餌量	増重量	K_1 (%)
	($\mu\text{g AFDW}/\text{個}$)	($\mu\text{g AFDW}/\text{個}$)	
12℃	291.1	26.0	8.9
18℃	486.3	163.5	33.6
23℃	814.3	352.2	43.3
28℃	1091.1	633.0	58.0

表 3. アサリ稚貝の殻長と成長速度

実験区	殻長 (mm)		成長速度 (mm/日)
	開始時	終了時	
12℃	1.32 ± 0.20	1.55 ± 0.23	0.02
18℃	1.35 ± 0.15	2.41 ± 0.51	0.08
23℃	1.37 ± 0.23	3.31 ± 0.61	0.14
28℃	1.37 ± 0.18	3.88 ± 0.68	0.18

と計算された (図 4)。この関係式から、成長速度が 0 となる生物学的零度は 10.8℃と算出された。

考 察

アサリ稚貝は 12~28℃の範囲内では、水温が高くなるほど摂餌量は多く、それに伴って増重量速度並びに成長速度は速く、粗成長効率も水温が高いほど高くなるということが認められた。つまり、種苗生産での稚貝育成においては、この水温範囲ではできるだけ高水温で飼育することが有利であると考えられる。ただし、高水温では稚貝の摂餌量は多くなるので、1 日当たりの給餌量を増加させなければならない。ところが、アサリ稚貝は給餌密度が 160,000 細胞/ml 以上になると、高密度給餌により成長阻害を生ずることが報告されている³⁾。したがって、高水温の飼育では成長阻害を防止するために、飼育密度の低減や連続給餌などによる給餌方法の工夫が必要となる。さらに、高水温では水質の悪化が起きやすく、稚貝の生残に影響を及ぼす可能性があるため、換水や洗浄などの飼育管理を徹底することが必要不可欠となる。

AFDW ベースの粗成長効率は、殻長 0.77 mm のアサリ稚貝 (*R. decussatus*) では、31.8~54.9%であり⁴⁾、本実験の結果と近い。他の二枚貝の稚貝における粗成長効率は、太平洋ホタテガイ (*Argopecten ventricosus*) では 36.1~74.9%⁵⁾、バージニアガキ (*Crassostrea virginica*) では 11.1~22.6%⁶⁾、ムラサキガイ (*Mytilus galloprovincialis*) では 2.81~32.11%⁷⁾と報告されている。粗成長効率は飼育水温や餌料種類により異なるが、これらの稚貝と比較すると、アサリ稚貝の粗成長効率はやや高いと考えられる。

本実験で計測されたアサリ稚貝の成長速度は 12~28℃では水温が高いほど速く、0.02~0.18 mm/日であった (表 3)。一方、殻長 0.8 mm のミルクイ稚貝の成長速度は、7~20℃の範囲では水温に比例して速くなり、20℃で最大となる。しかし、25℃になると成長速度は低

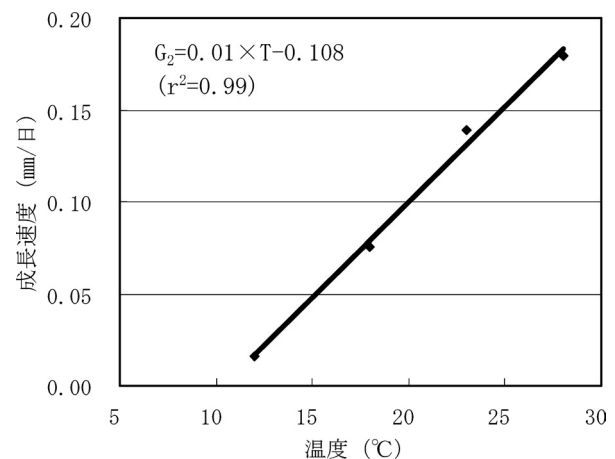


図 4. アサリ稚貝の水温と成長速度の関係

下し、30℃では10日間で死滅する⁸⁾。また、殻長6.3 mmのバカガイ稚貝は、7.5℃では成長は認められないが、10～25℃の範囲では水温に比例して成長率が上昇し、25℃で最大となる。しかし、27.5℃になると成長率は低下し、35℃では死滅する⁹⁾。さらに、殻長2.3 mmのハマグリ稚貝は、10℃では成長は認められないが、13～34℃の範囲では水温に比例して成長率が増加し、37℃では成長率が大幅に低下する⁹⁾。これらのことから、アサリ稚貝の成長と水温の関係は、ハマグリ稚貝のそれに近く、ミルクイ稚貝、バカガイ稚貝よりは好適水温が高い。

同種二枚貝の幼生と稚貝での成長速度と水温の関係を比較すると、アサリでは幼生の成長速度は9～30℃の範囲で水温が高いほど速く¹⁾、本実験の範囲では、稚貝と幼生の水温に対する成長速度の関係に大きな違いは見られなかった。しかし、今回求められた稚貝の成長における生物学的零度は10.8℃であり、幼生の値(7.9℃)¹⁾より高い。つまり、稚貝は幼生より低水温条件下で成長が停滞しやすいと考えられる。ミルクイ幼生の水温と成長速度の関係は、10～26℃の範囲では水温に比例して成長速度は速く、26℃で成長速度は最大となり、30℃では8日間でほとんど死滅する¹⁰⁾。ハマグリでは、変態期幼生と水温に関する報告で、変態期幼生の成長は15℃から24℃までは緩やかに、25℃から30℃までは急激に上昇し、32℃に至って急激に低下すると述べている¹¹⁾。3種の二枚貝で幼生と稚貝の成長に要する水温の範囲は、大きな違いは見られないが、アサリ・ミルクイでは稚貝のほうが、ハマグリでは幼生のほうが若干狭く、種により微妙に違うようである。

文 献

- 1) 鳥羽光晴 (1992) アサリ幼生の成長速度と水温の関係. 千葉水試研報, **50**, 17-20.
- 2) 堤 忠一・小泉英夫 (1982) 食品分析法. 光琳, 東京, pp. 239-245.
- 3) 鳥羽光晴・深山義文 (1993) 異なるパブロバ・ルテリを給餌したアサリ稚貝の総成長効率. 千葉水試研報, **51** 29-36.
- 4) ALBENSOTA, M., A. PEREZ-CAMACHO, U. LABARTA, and M. J. FERNANDEZ-REIRIZ (1996) Evaluation of live microalgal diets for the seed culture of *Ruditapes decussatus* using physiological and biochemical parameters. *Aquaculture*, **148**, 11-23.
- 5) LORA-VILCHIS, M. C., and N. DOKTOR (2001) Evaluation of seven algal diets for spat of the Pacific scallop *Argopecten ventricosus*. *J. Aquat. Soc.*, **32**, 228-235.
- 6) URVAN, JR., EDWARD R., G. D. PRUDER, and C. J. LANGDON (1983) Effect of ration on growth and growth efficiency of juveniles of *Crassostrea Virginica* (GMELIN). *J. shell. Res.*, **3**, 51-57.
- 7) FIDALGO, J. P., A. CID, I. LOPEZ-MUNOZ, J. ABALDE, and C. HERRERO (1994) Growth and biochemical profile of juvenile mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lmk) fed on different algal diets. *J. shell. Res.*, **13**, 67-75.
- 8) 柳橋茂昭 (1988) ミルクイ稚貝の沈着と成長に関する飼育試験. 昭和62年度愛知県水産試験場業務報告, 10-11.
- 9) 田中弥太郎 (1987) ハマグリおよびバカガイの好適水温. 養殖研ニュース, **13**, 17-20.
- 10) 鳥羽光晴 (2002) ミルクイ幼生の成長速度と水温の関係. 千葉水研研報, **1**, 67-68.
- 11) 田中弥太郎 (1986) ハマグリ幼生の沈着におよぼす水温の影響. 養殖研報, **9**, 45-49.

瀬戸内海東部海域におけるサワラ標識放流結果—III 当歳魚の資源尾数および再捕率について

竹森弘征*¹・坂本 久*¹・山崎英樹*²・岩本明雄*²

Mark-recapture experiments using Spanish mackerel,
Scomberomorus niphonius, in the Eastern Seto Inland Sea—III.
Stock size of yearlings and recapture rates

Hiroyuki TAKEMORI*¹, Hisashi SAKAMOTO*¹, Hideki YAMAZAKI*², and Akio IWAMOTO*²

Mark-recapture experiments were conducted using marked seeds of Spanish mackerel during 4 years from 1999 to 2002. For marked fish obtained with yearling samples, the stock size of wild fish and recapture rate were estimated annually. Based on these results, the stock numbers of wild fish were 86,000–924,000 and numbers in 2002 were the largest in 4 years. In addition, recapture rates were 2.6–16.8% and the rate in 2002 was the least in 4 years.

2005年6月1日受理

香川県では、サワラ *Scomberomorus niphonius* の資源回復のために、1998年から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（以下「屋島栽培漁業センター」という）で生産されたサワラの種苗放流を実施し、さらに1999年からはその放流効果把握のため人工種苗に標識を装着した標識放流を行っている^{1,2)}。放流後は香川県水産試験場が中心となり屋島栽培漁業センターとともに標識放流魚の追跡調査を行い、1999～2002年の標識魚の再捕結果からサワラの移動回遊および当歳（0歳）魚の成長については報告したところである^{3,4)}。一方、種苗放流の本来の目的は再生産を見込んだサワラ資源量（資源尾数）の増大にあることから、資源尾数および標識放流魚の再捕率を推定することは、サワラ種苗の放流効果を把握するうえで最も重要なことである。

そこで、今回1999～2002年の4カ年の標識放流魚（以下「標識魚」という）の当歳での再捕結果から瀬戸内海東部海域（図1）における各年のサワラ当歳魚の資源尾数および標識魚の再捕率について検討したので報告する。

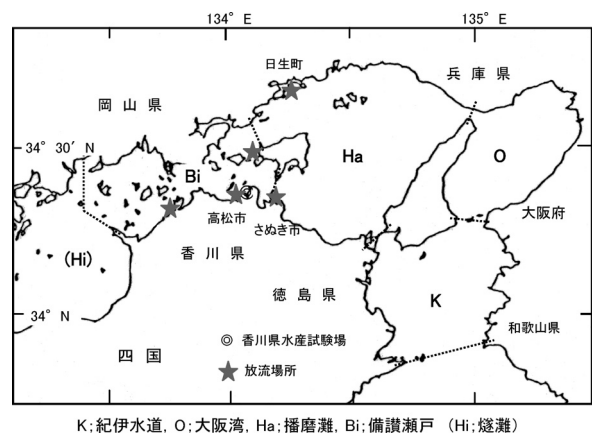


図1. 瀬戸内海東部海域図

材料と方法

標識魚はすべて屋島栽培漁業センターで生産され、香川県高松市屋島湾、さぬき市小田湾および岡山県日生町地先等で放流されたものである（図1）。標識としては耳石にALC（アリザリンコンプレクソン）およびTC（テ

*¹ 香川県水産試験場 〒761-0111 香川県高松市屋島東町75-5 (Kagawa Prefectural Fisheries Experimental Station, 75-5 Yashimahigashi, Takamatsu, Kagawa, 761-0111 Japan).

*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 〒761-0111 香川県高松市屋島東町234.

表 1. 瀬戸内海東部海域におけるサワラ当歳魚の漁法別標本数および標本中の再捕尾数

	流しさし網		小型定置網		大型定置網		延べ縄		釣り		その他		計	
1999	154	(6)	11	(2)	0	(0)	15	(1)	14	(0)	21	(1)	215	(10)
2000	174	(22)	34	(34)	254	(44)	55	(6)	12	(1)	16	(6)	545	(113)
2001	454	(7)	21	(5)	218	(0)	107	(2)	165	(6)	10	(0)	975	(20)
2002	695	(28)	1,609	(188)	359	(19)	317	(11)	87	(5)	65	(7)	3,132	(258)

(): 再捕尾数 流しさし網: サワラ流しさし網, マナガツオ流しさし網
 その他: 小型底曳網, 建網, 袋待網等

表 2. 瀬戸内海東部海域におけるサワラ当歳魚の天然資源尾数の推定結果

年	放流尾数 (大型種苗) (M)	標本数 (n)	標本中の 標識魚尾数 (m)	天然資源尾数 (\hat{N}) $M(n-m)/m$	\hat{N} の分散 (V)	\hat{N} の 95%信頼区間 [下限-上限]	($\hat{N}+M$) の区間 [下限-上限]
1999	5,598	215	10	114,759	1250493816	[45,449- 184,069]	[51,047- 189,667]
2000	22,619	545	113	86,473	48620099	[72,806- 100,139]	[95,425- 122,758]
2001	5,468	975	20	261,097	3325004701	[148,078- 374,116]	[153,546- 379,584]
2002	82,992	3,132	258	924,492	3005980147	[817,032-1,031,953]	[900,024-1,114,945]

トラサイクリン) を装着した内部標識あるいは焼印を装着した外部標識があるが、ALC はすべての放流魚に装着していることから、標識魚は耳石の ALC の有無により確認した。放流には、直接放流した小型放流群(全長 25~45 mm) と中間育成後に放流した大型放流群(全長 83~230 mm) があるが、小型放流群については再捕尾数が非常に少なく全くない年もあることから、本研究では大型放流群の放流尾数および再捕尾数によって資源尾数と再捕率を推定した。また、瀬戸内海東部海域での資源尾数および再捕率の推定としたため、燧灘海域での標本数と再捕尾数は計算から除いた。

ここで、4カ年の瀬戸内海東部海域における当歳魚の放流後の漁法別標本数および標本中の標識魚の再捕尾数を表 1 に、4カ年の標識放流の実施状況および各年の当歳標本魚の月別海域別入手状況と標識魚(大型放流群)の再捕結果をそれぞれ付表 1, 2 に示した。

香川県ではサワラの資源管理のため 1998 年以降主漁法である流しさし網の秋漁(9~11 月)を休漁としている。したがって、県内の標本は主に 10 月に実施した流しさし網の試験操業で漁獲されたものとあわせ、放流後に小型定置網や大型定置網で漁獲されたもの、あるいは夏季のマナガツオ流し網で混獲されたものの中から無作為に入手したものである。一方、県外の標本は岡山県、兵庫県、大阪府、徳島県および和歌山県で流し網や延縄、釣り等で漁獲されたものの中から無作為に入手したものである。そしてその標本中の標識魚の占める割合から、瀬戸内海東部海域におけるサワラ当歳魚の大型種苗放流分を除いた天然資源尾数および標識魚の再捕率を推定した。

当歳天然魚資源尾数の推定 1999~2002 年の各年の当歳天然魚資源尾数(\hat{N})は次により求めた。

$$(\hat{N}) = M(n - m) / m$$

ただし、 M : 標識放流尾数, n : 当歳標本数, m : 標本中の標識魚尾数。

また \hat{N} の分散を (V) として \hat{N} の 95%信頼区間の尾数を、 $\hat{N} \pm 1.96\sqrt{V}$ から求めた。

標識魚の再捕率の推定 再捕率を推定するに当たり、まず瀬戸内海東部海域における標識魚の総再捕尾数を求め、得られた総再捕尾数と放流尾数から各年の標識魚の再捕率を推定した。ここで、瀬戸内海東部海域における標識魚の総再捕尾数(\hat{R})は次により求めた。

$$\hat{R} = cm / n$$

ただし、 c : サワラ瀬戸内海系群の資源評価で示された瀬戸内海東部海域の当歳魚の漁獲尾数⁵⁾, m/n : 標識混獲率(標本中の標識魚の占める割合)。

そして各年の再捕率(\hat{r} : %)は次により求めた。

$$\hat{r} = \hat{R} / M \times 100$$

結 果

当歳天然魚資源尾数の推定結果を表 2 に示した。表 2 より瀬戸内海東部海域におけるサワラ当歳魚の天然資源尾数は、1999 年が 115 千尾、2000 年が 86 千尾、2001 年が 261 千尾、2002 年が 924 千尾となり、4 カ年では 2002 年の資源発生量が卓越していた。また、今回推定した瀬戸内海東部海域でのサワラ当歳魚の天然資源尾数を、サワラ瀬戸内海系群の資源評価⁵⁾で示された当歳魚資源尾数と比較し、その結果を表 3 および図 2 に示した。資源評価による資源尾数はコホート解析により推定されており種苗放流分を含んだものとなっているため、今回再捕結果から推定した資源尾数は、求めた天然資源尾数に放流尾数を加えたものとした。表 3 より、標識魚再捕結果から推定した資源尾数 $\hat{N}+M$ と資源評価による資源尾数 \tilde{N} の割合 $(\hat{N}+M)/\tilde{N}$ は 68.2~100.5% の範囲にあった。さらに、表 2 に \hat{N} の 95% 信頼区間の上限と下限にそれぞれ放流尾数 M を加えた資源尾数 $(\hat{N}+M)$ の区間を示したが、これと資源評価による資源尾数 \tilde{N} を比較した。その結果、2000 年を除く他の 3 カ年については \tilde{N} の

表 3. 資源評価および標識魚再捕結果による瀬戸内海東部海域のサワラ当歳魚の資源尾数の比較

年	資源評価 ⁵⁾		標識魚再捕結果		比率 (%)
	資源尾数 (\hat{N})	天然資源尾数 (\hat{N})	大型種苗放流尾数 (M)	資源尾数 ($\hat{N}+M$)	
1999	176,495	114,759	5,598	120,357	68.2
2000	146,796	86,473	22,619	109,092	74.3
2001	364,168	261,097	5,468	266,565	73.2
2002	1,002,251	924,492	82,992	1,007,484	100.5

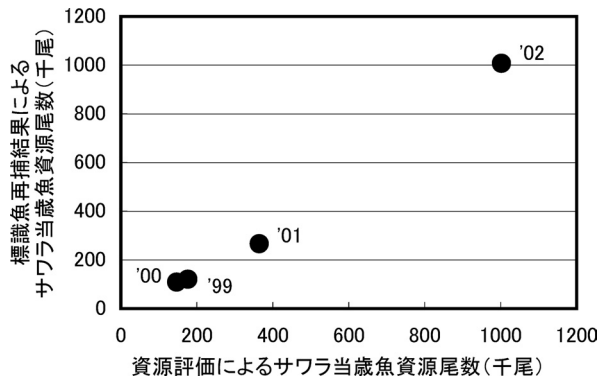


図 2. 資源評価結果および標識魚再捕結果による瀬戸内海東部海域でのサワラ当歳魚資源尾数

値が ($\hat{N}+M$) の区間の範囲内にあったが、2000 年は \hat{N} の値が ($\hat{N}+M$) の上限を上回っていた。

次に標識魚の再捕率の推定結果を表 4 に示した。表 4 より瀬戸内海東部海域におけるサワラ標識魚の再捕率は、1999 年が 13.3%、2000 年が 16.8%、2001 年が 5.5%、2002 年が 2.6% となり、2002 年は 4 カ年で最も再捕率が低かった。

考 察

標識魚再捕結果から推定した各年の資源尾数 $\hat{N}+M$ は資源評価による資源尾数 \hat{N} とよく近似し、さらに図 2 に示したように両者に正の相関が見られたことから、本研究の標識魚を用いた推定方法は妥当であることが示唆された。なお、2000 年についてのみ \hat{N} の値が ($\hat{N}+M$) の区間の範囲外になった。このことについては、後述するように放流直後に入手した標本すべてが標識魚であったことから \hat{N} が過少評価されたことが要因と考えられ

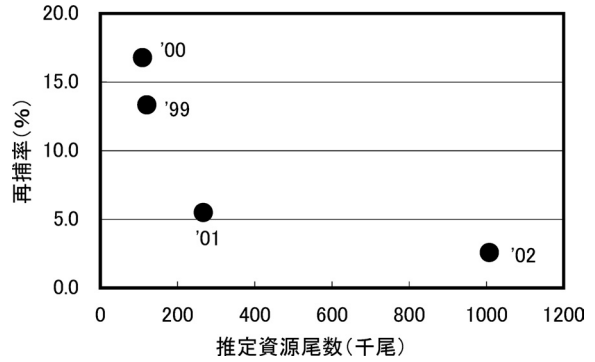


図 3. 再捕結果による資源尾数と再捕率の関係

る。

次に再捕率について検討する。本研究において、サワラ放流種苗の再捕率 \hat{f} は、年によるバラツキはあるものの 2.6~16.8% の範囲にあった。過去に本研究と同一海域で、タグを用いたブリ人工種苗の標識放流が実施されており^{6,7)}、放流されたブリの放流年内の再捕率は 3.7~11.3% の範囲にあって、今回のサワラ標識魚の再捕率は似た結果となった。また各年の再捕率をみると、2002 年の再捕率が 2.6% と最も低くなっていた。この要因として 2002 年は資源尾数 \hat{N} が多い割には同年の当歳魚の漁獲尾数 C が少ないことが考えられるが、漁獲尾数が少ないのは、2002 年 4 月から「サワラ瀬戸内海系群資源回復計画」の取り組みが始まっているためとも思われる。さらに、各年の \hat{f} と資源尾数 $\hat{N}+M$ の関係を図 3 に示した。図 3 から資源尾数が少ない 1999 年や 2000 年には再捕率が高く、資源尾数が多い 2002 年には再捕率が低く、負の相関が同われる。このことから、サワラ資源の水準が低い場合には種苗放流の効果が高いものと思われる。

ところで標識魚の再捕率を推定に当たっては、マダイやヒラメで実施されているように、対象種を水揚げする標本市場を抽出し、調査日に水揚げされた対象種を全数調査して、標本市場での漁期中の標識魚再捕尾数を推定し、さらにそれを対象海域全体に引き伸ばし、標識魚の再捕率を推定することが望ましい⁸⁾。ところが、サワラは広域回遊魚であり、漁獲される漁法も流し網や定置網等多岐にわたること、耳石標識であるため標本を購入する必要があること、さらに香川県で漁獲されたサワラは高松市中央卸売市場や岡山方面に出荷が集中することなどから、標本市場での全数調査が非常に困難である。し

表 4. 瀬戸内海東部海域における標識魚の総再捕尾数および再捕率の推定

年	標本数 (n)	大型放流群再捕尾数 (m)	標識混獲率 (m/n)	瀬戸内海東部当歳魚漁獲尾数 (c) [*]	標識魚総再捕尾数 ($\hat{R}) = (cm/n)$	放流尾数 (大型種苗) (M)	標識魚再捕率 (f)% = ($\hat{R})/(M) \times 100$
1999	215	10	0.05	16,053	747	5,598	13.3
2000	545	113	0.21	18,309	3,796	22,619	16.8
2001	975	20	0.02	14,636	300	5,468	5.5
2002	3,132	258	0.08	25,968	2,139	82,992	2.6

^{*}サワラ瀬戸内海系群資源評価⁵⁾ から抜粋

たがって、本研究では漁獲されたサワラの一部を標本として無作為に入手し、その標識魚混獲率を瀬戸内海東部海域における標識魚混獲率として用いて標識魚の再捕率を推定した。しかし、さぬき市小田地先に大量に放流された2002年には、放流直後の6月に播磨灘の放流場所近くに設置されている1統の小型定置網に相当量のサワラ幼魚が入網し、このうち標本として入手した147尾がすべて標識魚という事例があった。また前述したが2000年にも同様の事例があり、同小型定置網から標本として入手した35尾すべてが標識魚であった(付表2)。このことは標識魚が放流直後にこの小型定置網で大量に漁獲されたことを示唆する。さらに、この標本以外にも同定置網では同時期にサワラ幼魚がかなり漁獲された事実があり、標識魚が多数混獲されたことは十分に考えられる。したがって、2000年および2002年の資源尾数および再捕率の推定にあたっては、放流直後の同小型定置網に再捕された標本数と再捕尾数の取扱いを検討し再度推定することが望まれる。

サワラ種苗の放流効果を高めるためには、放流直後の小型定置網での不合理漁獲をなくすることが重要である。また、標本入手にあたっては、まず瀬戸内海東部海域の関係府県から当歳魚サワラの漁獲量データがとれる標本漁協を抽出し、それらからサンプリングを行うような調査計画を検討する。そして標本市場での標識魚混獲率を求め、それを海域全体へ引き伸ばし資源尾数や再捕率を推定し、今回の結果と比較検討する必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり、当歳魚標本の入手にご協力いただいた瀬戸内海関係府県の水産試験場担当職員の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 藤本 宏・坂本 久・植田 豊・竹森弘征(2001) 再捕されたサワラの焼印標識魚, 栽培技研, 29, 51-53.
- 2) 坂本 久・植田 豊・竹森弘征(2000) サワラ標識放流試験について(短報), 瀬戸内海魚類研究報告会報告(1), 33-35.
- 3) 竹森弘征・坂本 久・植田 豊・山崎英樹・岩本明雄(2005) 瀬戸内海東部海域におけるサワラ標識放流結果—I 移動回遊について. 栽培技研, 32, 25-34.
- 4) 竹森弘征・坂本 久・植田 豊・山崎英樹・岩本明雄(2005) 瀬戸内海東部海域におけるサワラ0歳魚の成長. 栽培技研, 32, 35-41.
- 5) 瀬戸内海区水産研究所(2005) 平成16年サワラ瀬戸内海系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価, 1021-1057.
- 6) 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, 49-61.
- 7) 須田 明・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) II 減少過程の分析と今後の問題点. 栽培技研, 14, 63-77.
- 8) 北田修一(1996) 栽培漁業の資源論・さいばい叢書(3), 57-72.

付表 1-1. 標識放流結果 (1999 年)

(単位: 尾)

区分	放流場所	放流日	放流サイズ (mm)	標識	放流尾数	
					場所別	区分別計
小型放流	高松市屋島湾	6/10	25~45	ALC	2,778	2,778
大型放流	高松市屋島湾	7/23	200~250	ALC	84	
	さぬき市小田地先	7/1	150	ALC	714	
	高松市屋島湾	7/8	120~150	焼印+TC	2,132	
	高松市屋島湾	7/1, 7/5	120~150	焼印	2,322	
	高松市屋島湾	7/8	120~150	焼印+ALC+TC	168	
	高松市屋島湾	7/1, 7/5	120~150	焼印+ALC	178	5,598

ALC: アリザリンコンプレクソン

TC: テトラサイクリン

付表 1-2. 標識放流結果 (2000 年)

(単位: 尾)

区分	放流場所	放流日	放流サイズ (mm)	標識	放流尾数	
					場所別	区分別計
小型放流	高松市屋島湾	6/15, 6/20	35	ALC	50,500	50,500
大型放流	さぬき市小田地先	6/30, 7/7	110~130	ALC	17,867	
	小豆郡土庄町四海地先	7/11	120	焼印+ALC	3,300	
	高松市屋島湾	8/2	230	焼印+ALC+TC	1,452	22,619

付表 1-3. 標識放流結果 (2001 年)

(単位: 尾)

区分	放流場所	放流日	放流サイズ (mm)	標識	放流尾数	
					場所別	区分別計
小型放流	高松市屋島湾	6/12	34	ALC2	55,000	55,000
大型放流	さぬき市小田地先	6/29	99	ALC1+TC	2,083	
	小豆郡土庄町四海地先	6/26	83	ALC1+TC	1,280	
	高松市女木島地先	6/29	96	ALC1+TC	2,105	5,468

ALC1: 孵化仔魚浸漬

ALC2: 全長 10 mm 浸漬

付表 1-4. 標識放流結果 (2002 年)

(単位: 尾)

区分	放流場所	放流日	放流サイズ (mm)	標識	放流尾数	
					場所別	区分別計
小型放流	高松市屋島湾	6/6	40	ALC1	51,000	51,000
大型放流	さぬき市小田地先	6/20	112	ALC2	33,000	
	さぬき市小田地先	6/22	93	ALC2+TC	8,389	
	高松市女木島地先	6/22	105	ALC2+TC	10,998	
	高松市屋島湾	6/21	109	ALC2+TC	4,468	
	岡山県日生町地先	6/21	127	ALC2+TC	2,353	
	香川県宇多津町地先	6/21	101	ALC1+TC	8,180	
	高松市屋島湾	7/5	152	ALC1+二重 TC+尾鰭カット	10,765	
	岡山県日生町地先	6/21	127	ALC2+TC+焼印	4,839	82,992

ALC1: 孵化仔魚浸漬

ALC2: 全長 10 mm 浸漬

付表 2-1. 当歳標本魚の月別, 海域別入手状況および標識魚 (大型放流群) の再捕状況
(1999 年)

(単位: 尾)

年月	海域					計
	燧灘	備讃瀬戸	播磨灘	大阪湾	紀伊水道	
1999. 7 月		31 (2)	11 (2)			42 (4)
8 月		18 (0)	35 (2)			53 (2)
9 月		5 (1)				5 (1)
10 月			72 (2)			72 (2)
11 月			1 (0)		14 (0)	15 (0)
12 月					15 (1)	15 (1)
2000. 1 月					13 (0)	13 (0)
計	0 (0)	54 (3)	119 (6)	0 (0)	42 (1)	215 (10)

標本尾数 (標識魚の再捕尾数)

付表 2-2. 当歳標本魚の月別, 海域別入手状況および標識魚 (大型放流群) の再捕状況
(2000 年)

(単位: 尾)

年月	海域					計
	燧灘	備讃瀬戸	播磨灘	大阪湾	紀伊水道	
2000. 7 月	28 (0)	5 (3)	39 (35)			72 (38)
8 月	153 (0)	20 (1)	191 (38)			364 (39)
9 月	8 (0)	1 (0)	103 (9)	41 (11)		153 (20)
10 月			26 (1)	27 (5)	12 (1)	65 (7)
11 月	10 (0)		13 (0)		22 (0)	45 (0)
12 月					42 (8)	42 (8)
2001. 1 月					1 (0)	1 (0)
2 月					2 (1)	2 (1)
計	199 (0)	26 (4)	372 (83)	68 (16)	79 (10)	744 (113)

標本尾数 (標識魚の再捕尾数)

付表 2-3. 当歳標本魚の月別, 海域別入手状況および標識魚 (大型放流群) の再捕状況
(2001 年)

(単位: 尾)

年月	海域					計
	燧灘	備讃瀬戸	播磨灘	大阪湾	紀伊水道	
2001. 7 月	111 (0)	23 (2)	25 (4)			159 (6)
8 月	102 (0)	18 (0)	216 (3)			336 (3)
9 月			222 (3)			222 (3)
10 月			158 (0)		20 (1)	178 (1)
11 月			38 (0)	52 (2)	125 (4)	215 (6)
12 月			3 (0)	2	63 (1)	68 (1)
2002. 1 月					10 (0)	10 (0)
計	213 (0)	41 (2)	662 (10)	54 (2)	218 (6)	1,188 (20)

標本尾数 (標識魚の再捕尾数)

付表 2-4. 当歳標本魚の月別, 海域別入手状況および標識魚 (大型放流群) の再捕状況
(2002 年)

(単位: 尾)

年月	海域					計
	燧灘	備讃瀬戸	播磨灘	大阪湾	紀伊水道	
2002. 6 月		23 (1)	147 (147)			170 (148)
7 月	3 (0)	1,133 (11)	260 (38)			1,396 (49)
8 月	240 (5)	167 (5)	248 (16)			655 (26)
9 月			208 (7)		59 (0)	267 (7)
10 月			394 (15)	76 (2)	82 (3)	552 (20)
11 月			21 (0)	93 (4)	122 (7)	236 (11)
12 月				23 (0)	54 (1)	77 (1)
2003. 1 月					22 (1)	22 (1)
計	243 (5)	1,323 (17)	1,278 (223)	192 (6)	339 (12)	3,375 (263)

標本尾数 (標識魚の再捕尾数)

北海道日本海寿都海域で標識放流された クロソイ人工種苗の再捕結果

佐々木正義*1・滝山修市*2・西内修一*3

Results of release experiments of reared young black rockfish,
Sebastes schlegeli, in the Suttsu area of southeastern Hokkaido

Masayoshi SASAKI, Shyuichi TAKIYAMA, and Shyuichi NISHIUCHI

This study on reared black rockfish, *Sebastes schlegeli*, released in the Suttsu area of southeastern Hokkaido in 1990-1997, aimed to ascertain the migration, age of recruitment, principal gear used and recapture period of tagged fish. Tagging experiments were conducted using yearlings (total of 37,701 fish except 1991, mean total length (TL): 73-150 mm) in October or November 1990-1997, and using one year-old fish (total of 1,066 fish, mean TL: 162 mm) in June 1996.

Released rockfish were found at the release area and its adjacent waters and were mainly recaptured by fixed and bottom fixed set-nets. The number of recoveries began to increase from the summer in the first year and increased in April-June and October-December until tagged fish reached the age of 3 years. From these results, we concluded that tagged fish were mainly caught during the period from the autumn for one year-old fish, to the spring for 3 year-old fish at the release area and its adjacent waters using fixed and bottom fixed set-nets.

2005年6月6日受理

クロソイは、北海道以南の日本各地、朝鮮半島および中国北部の沿岸に分布する岩礁性魚類である^{1,2)}。本種は各地での漁獲量は多くないものの、成長がソイ・メバル類中最も早く、種苗生産も比較的容易なことから、北陸、東北地方、北海道で種苗放流が実施されてきた³⁻⁶⁾。

北海道日本海西南部に位置する寿都町(図1)でも、クロソイ資源の増大を目指し、1990年から人工種苗が放流された後、寿都町漁業協同組合(寿都町漁協と記載)のクロソイ漁獲量は増加し、放流の効果が示唆されている⁷⁾。しかし、放流効果を詳細に検討するための基礎資料となる人工種苗の放流後の分布・移動や漁獲年齢等についての知見は極めて乏しい。このため、1990~1996年に実施された標識放流の再捕結果をとりまとめ、放流種苗の分布・移動、漁獲加入年齢等を検討するとともに、他海域と比較検討したので報告する。

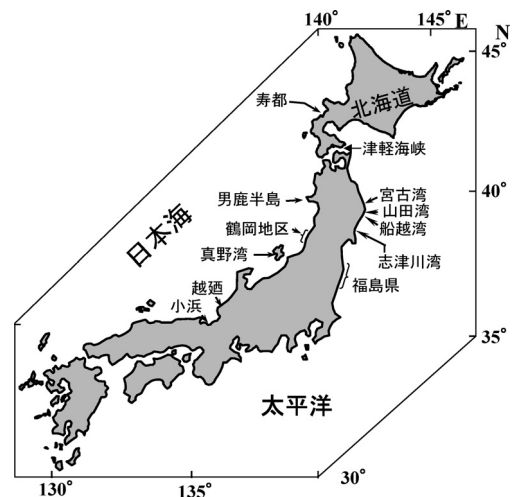


図1. 寿都町および文中の地域の所在

*1 北海道立釧路水産試験場 〒085-0024 北海道釧路市浜町2-6 (Hokkaido Kushiro Fisheries Experimental Station, 2-6 Hama, Kushiro, Hokkaido 085-0024, Japan)

*2 北海道寿都町役場 〒048-0406 北海道寿都町字渡島町140-1

*3 北海道立網走水産試験場 〒099-3119 北海道網走市鱒浦31

表 1. 1990-1997 年における寿都町のクロソイの標識放流実施状況

実施機関	放流年	月日	水深 (m)	平均全長 (mm)	放流尾数	標識種類	年齢
寿都町役場	1990	11/16	不明	100-150*	4,200	アンカータグ	当歳魚
寿都町役場	1991	11/18	不明	95	不明	アンカータグ	当歳魚
寿都町役場	1992	10/22	不明	125	3,000	アンカータグ	当歳魚
寿都町役場	1993	11/18	不明	125	6,000	アンカータグ	当歳魚
寿都町役場	1994	10/26	不明	100	2,000	アンカータグ	当歳魚
中央水試	1995	10/4	4	90	6,970	スパゲッテイタグ	当歳魚
		10/12	7	90	1,998	スパゲッテイタグ	当歳魚
		10/31	2	89	4,127	スパゲッテイタグ, 背鰭切除	当歳魚
中央水試	1996	6/17	20	162	1,066	スパゲッテイタグ	1歳魚
		10/2	9	77	5,040	蛍光イラストマー	当歳魚
中央水試	1997	10/29	4	77	933	スパゲッテイタグ	当歳魚
		11/4	7	83	3,433	スパゲッテイタグ	当歳魚

*放流魚の全長範囲

材料および方法

本報告に使用した資料は 1990 年～1994 年に寿都町役場、1995～1997 年に北海道立中央水産試験場が寿都海域で標識放流したクロソイ人工種苗の再捕結果である。標識放流試験は、1996 年 6 月に 1 歳魚を用いて行われたが、それ以外は 1990 年～1997 年の 10 月もしくは 11 月に、当歳魚を用いて実施された。標識放流に供したクロソイの総尾数および平均全長は、当歳魚は 37,701 尾（放流尾数が不明な 1991 年を除く）、平均全長 77～150 mm、1 歳魚は 1,066 尾、平均全長 162 mm であった（表 1）。

本報告では、すべての放流年群の再捕結果を足し合わせ、年齢別の町村別再捕尾数、漁具漁法別再捕尾数をもとに、放流されたクロソイ人工種苗の効果の波及範囲、受益者を検討した。また、放流年級および放流年齢ごとに、各年齢の四半期別（1～3 月、4～6 月、7～9 月、10～12 月に区分）再捕尾数をとりまとめ、効果の出現期間や時期を検討した。

この他、再捕の場所や年齢は、放流場所およびその周辺海域のクロソイを漁獲する漁具・漁法やその設置場所、さらに年々の標識脱落率や再捕報告率の相違によっても異なると考えられる。このことから、寿都町に隣接する岩内町と島牧村のクロソイを漁獲している漁具・漁法や漁場に関する情報を後志南部地区水産指導所から聞き取り調査を行うとともに、市場調査で得られた標本を元にして得た資料⁹⁾により、寿都町漁協における 1988～1997 年級群の四半期別漁獲尾数の比率を調べた。

なお、各年に放流されたクロソイは 5 月に産仔されたことから、本来なら年齢起算月を 5 月にすべきである。しかし、本報告では再捕結果を四半期ごとにとりまとめて検討したことから、5 月を含む区分は 4～6 月になるため、4 月を年齢起算月とした。

結 果

再捕場所 図 2 に町村別の再捕尾数を示した。これによ

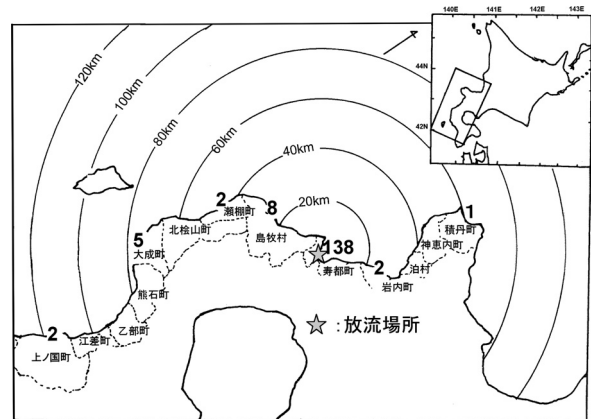


図 2. 寿都町から放流されたクロソイ人工種苗の町村別の再捕尾数

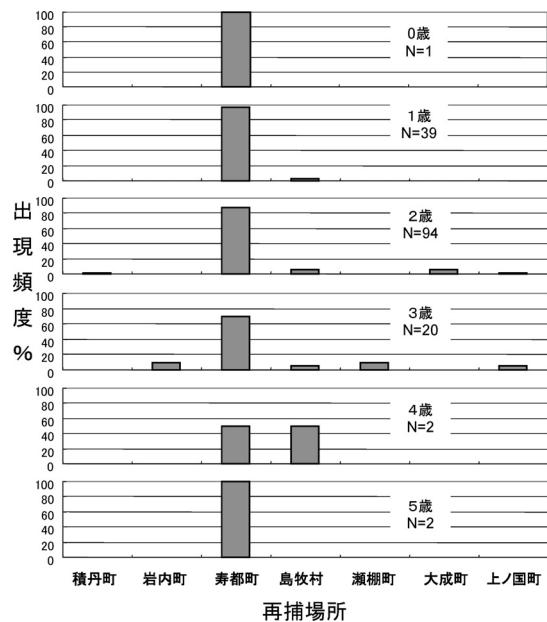


図 3. 寿都町で放流されたクロソイ人工種苗の年齢別町村別再捕尾数および出現頻度

ると、標識放流されたクロソイは、放流海域からおおよそ 100～120 km 離れた上ノ国町で 2 尾、60～70 km 離れた大成町で 5 尾、積丹町で 1 尾、40～50 km 離れた瀬棚町で 2 尾再捕されていたが、その他は隣接する島牧村、

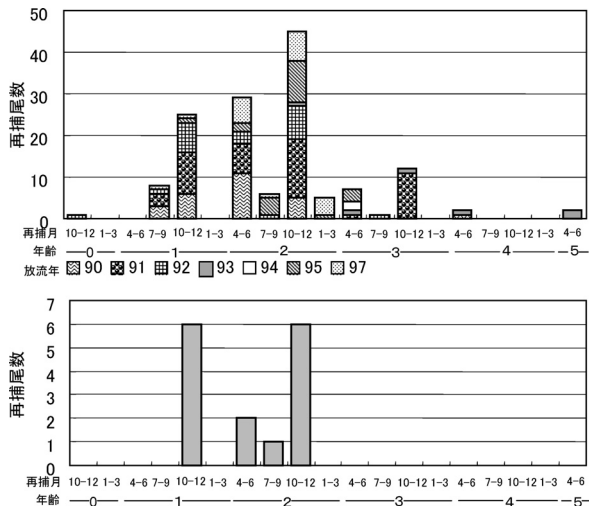


図4. 寿都町で放流されたクロソイ人工種苗の各放流年の年齢別時期別再捕尾数（上段：当歳魚，下段：1歳魚（1996年放流））
注）5歳の4～6月以降の再捕はない。

岩内町でそれぞれ8尾，2尾，放流海域の寿都町で138尾が再捕され，再捕されたうちの87.3%が放流地点からおおよそ半径20km以内であった。次に，放流後の時期の経過に伴う再捕魚の移動を検討するため，年齢別の再捕場所について図3に示した。3歳，4歳で寿都町における比率がそれぞれ70%，50%となっていたが，それ以外の5歳までの各年齢で，寿都町での比率が87%以上であった。

年齢別の再捕状況 図4に各放流年群の四半期毎の再捕尾数を示した。当歳放流では，再捕は放流された年の10～12月からおおよそ4年半経過した後の4～6月すなわち，当歳～5歳までみられた。しかし，当歳における再捕があった1993年を除くと，再捕は放流年の翌年の7～9月からみられ，放流後約1年経過した1歳の10～12月に増加し，その後2～4歳までの4～6月，2歳および3歳の10～12月に多かった。また，最も多く再捕された年齢および時期は，1990年放流群は2歳の4～6月，1991年および1995年放流群は2歳の10～12月，1992年群は

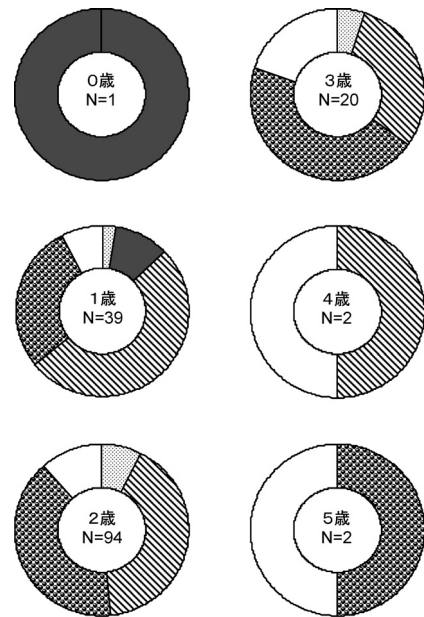


図5. 寿都町で放流されたクロソイ人工種苗の年齢別漁具・漁法別再捕

1歳および2歳の10～12月，1993年群および1994年群は3歳の4～6月と放流年によって異なっていたが，全体的には2歳の10～12月が多かった。また，1歳放流では，1歳および2歳の10～12月に再捕尾数が多かった。**漁具漁法別の再捕状況** 年齢別の再捕漁具の相違を検討するため，図5に各再捕年齢における漁具漁法別の再捕状況を示した。これによると，再捕尾数が1尾の当歳では釣り（遊漁），2尾の4歳および5歳ではそれぞれ定置網と不明，底建網と不明であった。一方，20尾以上の再捕があった1～3歳をみると，1歳では定置網が過半数を占め，次いで底建網，2歳では定置網と底建網の比率が同じようになり，3歳では底建網の比率が最も高く，次いで定置網の順となっていた。

聞き取り調査および年齢別四半期別漁獲尾数 聞き取り調査では，寿都町に隣接する岩内町と島牧村において，

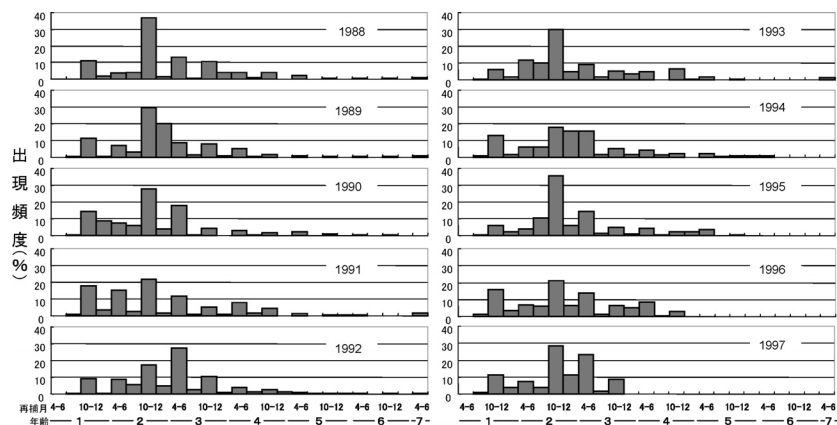


図6. 寿都町漁協における年級群別時期別漁獲尾数（1988～1997年級群）
注）1994年級群は6歳，1995年級群は5歳，1996年級群は4歳，1997年級群は3歳のそれぞれ12月までのものである。

クロソイは、寿都町海域でのクロソイの漁獲状況と同様に、水深 20~30 m で定置網、水深 20~80 m 位で主に底建網で漁獲されているとの情報が得られた。また、各年級群の年齢別の四半期ごとの漁獲尾数の比率についてみると、各年級群とも 1 歳の 10~12 月から比率が増加し、各年齢において 4~6 月、10~12 月に高い傾向にあり、1992 年を除く各年級群で 2 歳の 10~12 月に最も高かった (図 6)。

考 察

寿都町で放流されたクロソイ人工種苗は、時期の経過にかかわらず、全再捕魚の 87% が寿都町で、定置網や底建網によって、1 歳の 10~12 月から 5 歳の 4~6 月まで、再捕されていた (図 2~5)。再捕尾数は 2 歳の 10~12 月に最も多くなり、各年齢とも 4~6 月、10~12 月に多かった (図 4)。しかし、再捕は、放流場所およびその周辺海域のクロソイを漁獲する漁具やその設置場所によっても異なると考えられることから、聞き取り調査を行ったところ、寿都町に隣接する岩内町や島牧村でも、寿都町と同様の漁業形態でクロソイを漁獲していた。したがって、放流されたクロソイが再捕される際の努力量の分布に大きな相違はなかったと考えられる。このことから、これらの海域にも、放流されたクロソイが得られた再捕比率以上に移動した場合、再捕の比率は増加すると考えられる。それにもかかわらず、寿都町での再捕尾数の比率は 87% であった。このことは、寿都町で放流されたほとんどのクロソイの移動範囲は、寿都町の海域すなわち半径 20 km 以内であったと推察される。

また本試験で使用した標識は、1996 年の当歳魚放流で使用された蛍光イラストマー以外は、体内へ打ち込む外部標識であった (表 1)。このことは、各放流年群の標識装着時のサイズや標識装着の実施者によって、年齢の増加に伴う標識脱落率の相違が生じ、年齢別の時期別再捕尾数に影響を及ぼすと考えられる。また、年々の再捕報告率の相違も同様の影響を及ぼすと考えられる。このため、時期別再捕尾数は、漁獲物の各年級群における四半期ごとの漁獲尾数の比率と比較することにより、年々の標識脱落率や再捕報告率の影響を受けずに評価できると考えられる。各年級群の四半期ごとの漁獲尾数は、1 歳の 10~12 月に多くなり、2 歳の 10~12 月に最も多く、さらに各年齢において 4~6 月、10~12 月に多い傾向にあり (図 6)、放流魚の時期別再捕尾数 (図 4) と同様であった。このことから、再捕結果から得られた漁獲対象となる期間や時期、最多漁獲年齢に関して、年々の標識脱落率や再捕報告率の相違による影響はほとんどなかったものと考えられる。

したがって、寿都海域で放流されたクロソイの人工種苗は、一部は数十~120 km 移動する個体もあるが、大部分は寿都海域に留まり、1 歳の秋季から本格的に漁獲対

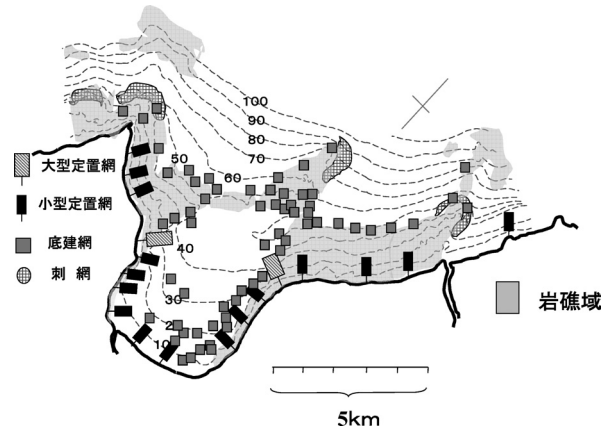


図 7. 寿都町漁協における漁具の配置 (佐々木¹⁵⁾一部改変)

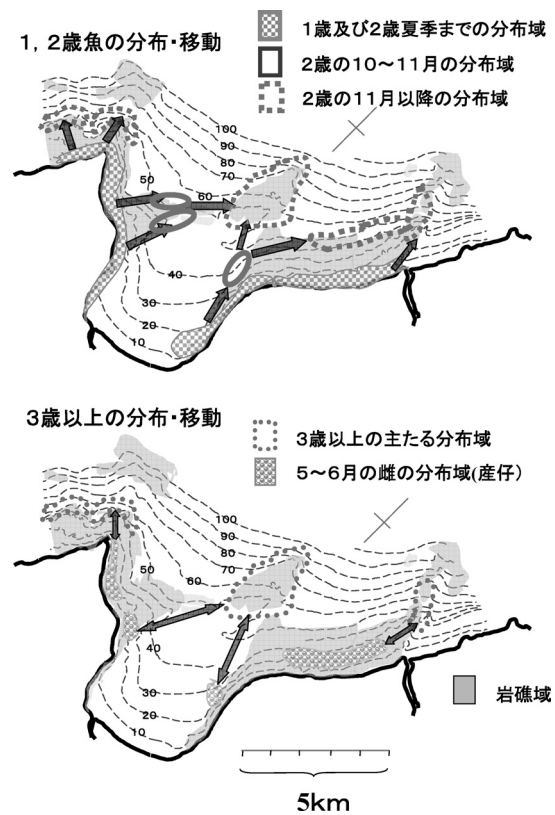


図 8. 寿都町におけるクロソイの分布・移動想定図 (佐々木¹⁵⁾一部改変)

象となり、その後 2 歳の秋季に最も多く漁獲され、およそ 5 歳まで、主に春季および秋季に定置網や底建網で漁獲されると推定される。

他海域 (秋田県男鹿半島周辺⁹⁾, 山形県鶴岡地区¹⁰⁾, 岩手県宮古湾, 山田湾および船越湾¹¹⁾, 宮城県志津川湾¹²⁾, 福島県³⁾, 新潟県真野湾¹³⁾) では、一部は 200 km 以上移動する個体もみられるが⁹⁾, 放流場所から半径 20 km 以内で 80~90% 以上が再捕されており、寿都海域と同様となっている。再捕尾数は当歳魚放流の場合、放流翌年すなわち 1 歳の夏季~秋季に最多となる地域が多く (北海道津軽海峡¹⁴⁾, 男鹿半島周辺⁹⁾, 鶴岡地区¹⁰⁾, 山田湾お

よび宮古湾¹¹⁾、志津川湾¹²⁾、福島県³⁾、これらを再捕する主たる漁具は定置網（鶴岡地区¹⁰⁾、山田湾¹¹⁾、宮古湾¹¹⁾、志津川湾¹²⁾）や刺し網（津軽海峡¹⁴⁾、福島県³⁾）となっている。したがって、寿都海域の再捕特性として、再捕尾数が2歳秋季に最も多くなることや定置網の他、底建網によっても主に再捕されることがあげられる。

寿都湾は図7に示すように、湾の両側の岸から水深50 m位まで、さらに湾中央部の水深数十m～80 m位にかけて岩礁域が存在し、底建網が水深10 m～80 m位までの岩礁域縁辺部に多数敷設されている¹⁵⁾。この海域では天然クロソイは次のように分布・移動すると考えられている。2歳の夏季まで極沿岸の岩礁域を中心に分布し、秋季に岩礁域縁辺部を通り水深数十m～100 m近くまでの岩礁域に移動する。その後3歳魚以上は5～6月に成熟した雌が産仔場所である水深約20～35 mへ移動するが、それ以外は水深数十m～100 m近くの岩礁域に分布している（図8）¹⁵⁾。寿都海域では、放流された人工種苗も、天然クロソイと同様に分布・移動しており、極沿岸で定置網などによって漁獲される2歳夏季頃までよりも、2歳秋季の沖合への移動時に、底建網による漁獲圧が高くなったため、この時期の再捕尾数が最も多くなったと推定される。また、3歳における底建網の再捕比率が最も高かったのも、沖合で底建網によって主に漁獲されていたためと考えられる。

岩手県の例では隣接する山田湾と船越湾において、放流されたクロソイが山田湾では主として1歳魚、船越湾では1歳魚の他、2歳魚以上も相当数定置網によって水揚げされている¹⁶⁾。また、新潟県真野湾では、2歳魚の再捕尾数が最多となる年が多く、さらに1歳魚より3歳魚が多い年もある¹⁷⁾。山田湾では定置網が沿岸だけ、一方船越湾では沿岸部と同数が湾口およびその沖合に位置する島において設置されている¹⁶⁾。真野湾では、板曳網が水深70～80 m、刺し網が水深30～40 mで行なわれている^{*4)}。すなわち、再捕漁具やその設置場所によって、主たる再捕年齢に相違がみられる。クロソイの分布・移動についてみると、宮城県志津川湾¹²⁾や福井県小浜海域や越廼海域¹⁸⁾では放流された人工魚が2歳以降に沖合に移動し、秋田県¹⁹⁾では天然魚が2歳まで水深20 m以浅に分布していることが確認され、2歳以降に沖合へ移動すると考えられている。これらのことからすると、各地ともクロソイの天然魚と人工魚は、寿都海域と同様、1歳には主に20～30 m以浅の沿岸に分布し、2歳に沖合に出ていくと推定される。したがって、定置網が沿岸だけにある山田湾では1歳魚を、定置網が沿岸および湾口やその沖合に位置する島にも敷設されている船越湾では1歳魚の他、沿岸から沖合に移動し、その後沖合に分布する2歳魚以上も漁獲できるが、水深30 m以浅にクロソイを漁獲する漁業がない真野湾では1歳魚を漁獲でき

ず、沿岸から沖合に移動する2歳魚や沖合に分布する2歳魚以上が主に漁獲されるために、放流魚の主漁獲対象年齢における海域間の相違が生じたと考えられる。また、多くの地域で1歳魚の再捕が多いのも、これらの地域では、定置網など沿岸に設置された漁具によって、クロソイ1歳魚を主に漁獲していたためと考えられる。

以上のことから、各地で放流されたクロソイの主漁獲対象年齢は、漁業が主に行なわれる水深によって決定され、水深20～30 m以浅では1歳魚、それ以上の水深では2歳魚以上になり、極沿岸域から水深100 m位まで漁業が行なわれる海域では、水深20～30 m以浅の努力量が30 m以深の努力量より多い場合は1歳、水深30 m以深の努力量が多い場合は2歳以上になると推定される。

謝 辞

この研究をとりまとめるに当たり、調査にご協力いただいた寿都町漁業協同組合の職員の方々、後志地区水産技術普及指導所（現根室地区水産技術普及指導所）塩川文康氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 松原喜代松 (1955) 魚類の形態と検索. 石崎書店, 東京, XV+7-89 pp.
- 2) 益田一・尼岡邦夫・荒賀忠一・上野輝彌・吉野哲夫 (1984) 日本産魚類大図鑑解説. 東海大学出版会, 東京, pp. 264.
- 3) 福島県水産試験場 (1985) 昭和57-59年度放流技術開発事業報告書, クロソイ・インガレイ. 福島水試調査研究資料, 192, 3-21.
- 4) 佐々木 攻 (1989) 日本海におけるクロソイの増養殖. 日本海ブロック試験研究集録, 水産庁・日本海区水産研究所, 15, 85-90.
- 5) 宮城県気仙沼水産試験場・宮城県栽培漁業センター・宮城県気仙沼水産事務所・宮城県塩釜水産事務所・青森県水産増殖センター・青森県水産試験場・山形県水産試験場・新潟県栽培漁業センター・福井県栽培漁業センター・水産庁東北水産研究所・水産庁西海区水産研究所・日本栽培漁業協会・日本栽培漁業協会宮古事業場 (1995) 平成2～6年度放流技術開発事業総括報告書, クロソイ班. 33 pp.
- 6) 北海道・青森県・宮城県・新潟県・福井県水産庁栽培増殖課・水産庁東北水産研究所・社団法人日本栽培漁業協会宮古事業場 (2000) 平成7～11年度放流技術開発事業報告書, 底棲種グループ クロソイ. 146 pp.
- 7) 滝山修市 (1996) クロソイの種苗生産と育成管理. 育てる漁業, 281, 2-8.
- 8) 北海道 (2002) 平成7～11年度放流技術開発事業総括報告書, 底棲種グループ クロソイ. 北1-北39.
- 9) 杉山秀樹 (1986) 秋田県におけるクロソイの増養殖. さいばい, 39, 13-21.
- 10) 山形県 (1995) 平成6年度放流技術開発事業報告書, クロ

*4 真野漁協からの聞き取りによる

- ソイ班, 73-97.
- 11) 清水 健 (1992) E クロソイ. 日本栽培漁業協会事業年報 平成 2 年度, 326-335.
 - 12) 高橋清孝・熊谷 明・浅野勝志・富川なす美・佐藤 靖・及川 茂・菊池喜彦 (1994) 志津川湾におけるクロソイの種苗放流—III. 湾内漁獲魚の成長と分布. 宮気水試研報, **9**, 18-21.
 - 13) 新潟県 (1995) 平成 6 年度放流技術開発事業報告書, クロソイ班, 99-135.
 - 14) 田嶋健一郎 (1996) 津軽海峡におけるクロソイ種苗放流再捕結果. 育てる漁業, **278**, 2-9.
 - 15) 佐々木正義 (1999) 聞き取り調査および市場調査から推定された寿都町におけるクロソイの分布・移動. 育てる漁業, **316**, 3-6.
 - 16) 足立純一 (1993) E クロソイ. 日本栽培漁業協会事業年報 平成 3 年度, 295-300.
 - 17) 新潟県 (2002) 平成 7~11 年度放流技術開発事業総括報告書, 底棲種グループ クロソイ. 新 1-新 21.
 - 18) 福井県 (1995) 平成 6 年度放流技術開発事業報告書, クロソイ班, 137-202.
 - 19) 杉山秀樹・中嶋正道・藤尾芳久 (1986) 日本海におけるクロソイの集団構造. 日本海ブロック試験研究集録, 63-70.

クルマエビの放流効果 ——現状と課題——

浜崎 活幸*¹・北田 修一*¹

Effectiveness of stock enhancement programs for the kuruma prawn, *Penaeus japonicus*, in Japan: present status and problems

Katsuyuki HAMASAKI, and Shuichi KITADA

In order to elucidate the present status of stock enhancement programs for kuruma prawn and analyze their effectiveness, we present trends in fishery and release statistics for this species for all of Japan using data for seven specific areas. In addition, we review the results of recent marking surveys for estimating recapture rates of released juveniles. Kuruma prawn catch greatly decreased after the mid-1980s, and juvenile release did not very much affect catch trends throughout Japan. Although the estimated recapture rates exceeded the breakeven point in only a few case studies, high recapture rates were reported in several cases. These facts suggest that stock enhancement of kuruma prawn can be successful on the local scale. It is therefore important to use scientific methodology in order to estimate recapture rates and evaluate the effectiveness of stock enhancement programs for kuruma prawn in respective localities.

2005年5月26日受理

1. はじめに

クルマエビ *Penaeus japonicus* はインド・西太平洋域に広く分布する体長 30 cm に達する大型のエビ類で、日本では本州北部以南に分布し¹⁾、沿岸漁業の重要な対象種となっている。クルマエビ資源は 1960 年代の中期から後期にかけて激減した^{2, 3)}。このクルマエビ資源の減少期に先立つ 1960 年代初期から、国(水産庁)は瀬戸内海をモデル海域として、重要水産生物の増殖を目的とした栽培漁業の技術開発に着手し、クルマエビも対象種に選定されていた⁴⁾。養殖用種苗の供給を目的として開発されたクルマエビの種苗生産技術は当時すでに実用レベルに達しており^{5, 6)}、瀬戸内海における人工種苗の放流尾数は 1964 年の数 10 万尾から 1968 年には 500 万尾を超え³⁾、放流地域はまたたく間に北海道を除く全国各地に拡大した⁷⁾。

クルマエビ種苗の放流効果調査は 1960 年代末から瀬戸内海西部海域を中心に開始され、その後各地で実施された⁸⁻¹⁷⁾。それらの調査によって、クルマエビの生態に関する多くの知見が集積されるとともに、漁獲モデルに

よる放流効果の予測¹¹⁾や体長組成解析に基づいた放流群と天然群の分離によって、放流個体の回収率が推定されるようになった^{10, 14, 17)}。また、種苗放流量の増加とともに漁獲量が増えた事例も報告された^{2, 17, 18)}。さらに、1986 年にはそれまでの多くの調査研究事例がレビューされ、クルマエビの生態、種苗の受け入れから放流、放流から収穫、放流効果の予測と把握方法および種苗放流効果の事例を取りまとめた「クルマエビ栽培漁業の手引き」が刊行された¹⁷⁾。

このように、瀬戸内海で産声を上げたクルマエビの栽培漁業は全国へ展開されてきた。しかし、クルマエビは脱皮して成長するため、放流個体を長期にわたって識別できる標識がなかったことから、放流個体と天然個体を直接識別して回収率を推定する定量評価は長らく困難であった。この状況は、マダイ *Pagrus major* の鼻腔隔皮欠損¹⁹⁾やヒラメ *Paralichthys olivaceus* の無眼側黒化²⁰⁾等の自然標識²¹⁾を利用した市場調査法²¹⁾によって種苗放流効果の定量評価が可能になった種類とは対称的であり、クルマエビの栽培漁業を推進してきた関係者の間で、「果たしてクルマエビ種苗の放流効果はあるのだろうか?」という疑問が常につきまとってきた背景でもあった。

*¹ 東京海洋大学海洋生物資源学科 〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7 (Department of Marine Biosciences, Tokyo University of Marine Science and Technology, Konan Minato, Tokyo 108-8477, Japan).

このような状況に変化が見られ始めたのは1995年になってからであり、放流種苗を長期にわたって識別可能な標識が開発・適用され、放流個体を直接識別して回収率が推定されるようになった²²⁻²⁴⁾。

本論は、わが国におけるクルマエビ栽培漁業、特にその放流効果の現状をレビューすることを目的としている。そのために、まずクルマエビの生活史を概観し、その漁獲と種苗放流に関する統計値を大海区レベルで示すとともに、漁獲量変動と種苗放流の関連をみる。次いで、近年の標識放流実験による回収率の推定結果を中心に種苗の放流効果評価の現状をとりまとめ、回収率に影響を及ぼす要因について考察し、今後の課題を述べる。

2. クルマエビの生活史

倉田に基づき、クルマエビの発育段階と発育段階別の大きな生息域を表1に要約して示した^{9, 14, 17)}。クルマエビの発育段階は大きくは浮遊期と底生期に区分される。プランクトン生活を終えて体長7~9 mm程度に達したポストラーバは干潟等の浅海域に來遊して平均潮位から小潮平均満潮位までの地盤高を中心に着底し、成長にともない分布域を深い方へ拡大する。瀬戸内海西部海域で標識放流した個体の再捕報告から、成長して分布域を広げた当歳クルマエビは周防灘から伊予灘の深みで越冬し、翌年の春から夏に成熟して産卵期を迎えることが明らかにされている²⁵⁻²⁷⁾。周防灘等の外海域にあたる豊後水道では大型成熟雌が分布しており²⁸⁾、内海で標識放流した個体が豊後水道まで回遊して2歳で再捕された事例があることから、瀬戸内海西部海域から豊後水道のクルマエビは同一の地域個体群を形成していると考えられている¹⁷⁾。瀬戸内海東部海域の兵庫県赤穂市地先で放流されたクルマエビは、播磨灘北部から播磨灘南部あるいは大阪湾を経由して、紀伊水道へ移動するものと推察されている²⁹⁾。紀伊水道は豊後水道と同様に採用用成熟雌の漁獲が多いことから^{30, 31)}、瀬戸内海西部海域と同様の

クルマエビの生活圏の広がりが見込まれている¹⁷⁾。また、有明海では、標識放流と雌エビの生殖腺調査によって、湾中部と外海の橋湾が主産卵場であることが明らかにされている^{32, 33)}。

3. 漁獲量と種苗放流

3-1. 漁獲量

漁業・養殖業生産統計年報³⁴⁾によると、わが国におけるクルマエビの漁獲量は1965年には2915トンであったのが、その後の数年間で大幅に減少し、1970年に過去最低の1263トンを記録した(図1)。その後の漁獲量は増

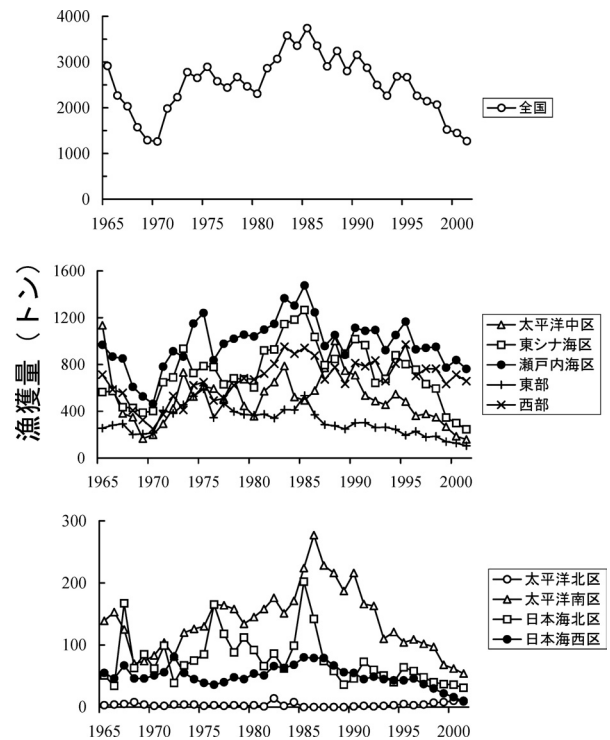


図1. 日本におけるクルマエビ漁獲量の推移(漁業・養殖業生産統計年報³⁴⁾より作成し、漁獲量の多い海区と少ない海区を別図で示した。また、瀬戸内海区は東部と西部海域を区別した。

表1. クルマエビ生活史における発育段階区分(倉田^{9, 14)}をクルマエビ栽培漁業の手引き委員会¹⁷⁾に基づき一部改変)

区分	はじまり	期間*1	体長 (mm)		生活様式	およその生息水深 (m)
			雄	雌		
胚	受精	0.6 日		0.24*2	浮遊	-
幼生	ふ化	30 日		0.3~7.0	遊泳	-
稚仔	鰓の完成	15 日		7~25	底生	+2~0
若年	体型安定	2 (10) カ月	25~90*3	25~110*4	底生	+2~5
前成体	性成熟開始	9 (1) カ月	90~100*5	110~125*6	底生	0~20
成体	性成熟完成	24 カ月	100~220*7	125~262*7	底生	20~110

*1 春(夏)発生個体の経過。

*2 卵膜径。

*3 Petasma が結合する最小型。

*4 交尾栓をもつ最小型。

*5 輸精管開口部が白濁突出した最小型。

*6 完熟卵をもつ最小型。

*7 今までの最大型。

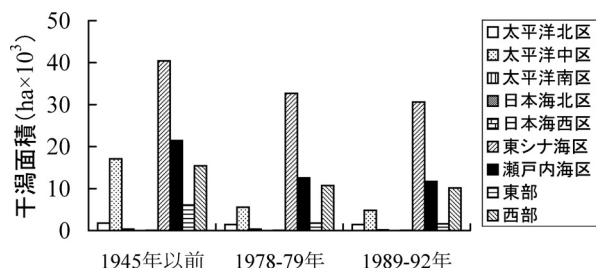


図2. 日本における干潟面積の推移
環境省の第2回（1978年～1979年）および第4回（1989年～1992年）自然環境保全基礎調査より作成した。

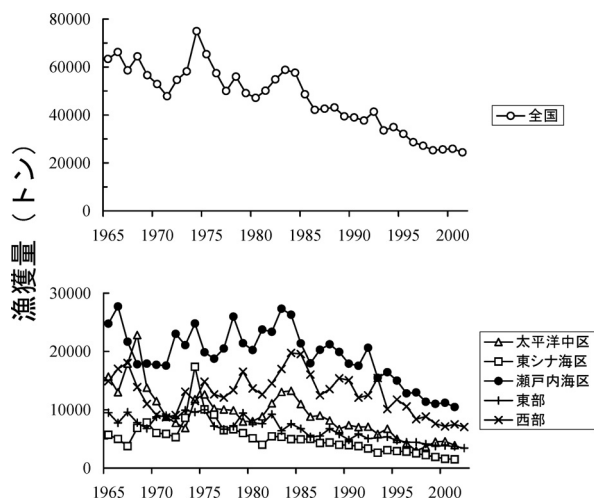


図3. 日本におけるその他エビ類の漁獲量の推移
漁業・養殖業生産統計年報³⁴⁾より作成した。クルマエビの漁獲量が多い太平洋中区、東シナ海区および瀬戸内海区を区別して示し、さらに瀬戸内海区では東部と西部海域を区別した。

加傾向に転じ、1985年に3741トン記録したものの、それ以降は一貫して減少傾向を示しており、2001年には1970年ごろの水準にまで落ち込んでいる。漁獲量を大海区別にみると、クルマエビは干潟域の発達した伊勢・三河湾を有す太平洋中区、有明海や不知火・八代海を有す東シナ海区および瀬戸内海区で多い（図1, 2）。漁獲量が数トンレベルの太平洋北区を除くと、各海区の漁獲量は類似した変動傾向を示し、1980年代中ごろをピークに減少している。ただし、瀬戸内海区の漁獲量の減少率は相対的に小さく、東部海域（和歌山県、大阪府、兵庫県、岡山県、徳島県、香川県）と西部海域（広島県、山口県、愛媛県、福岡県、大分県）に分けてみると、東部海域は他の海区と同様に減少傾向を示しているのに対し、西部海域では700トン前後のレベルで推移しているのが注目される。

ここで、イセエビとクルマエビを除いて集計されているその他のエビ類の漁獲量の推移を図3に示した。全国的にみると、漁獲量は直線的に減少しており、近年では1965年ごろの半分の水準にまで落ち込んでいる。さらに、アカエビ *Metapenaeopsis barbata* やトラエビ *M. acclivis*

等の小型クルマエビ類の漁獲が多い瀬戸内海³⁵⁾の統計値をみると、その漁獲量は東部・西部海域とも1960年代後半に減少したが、その後回復し、1980年代中ごろまでは瀬戸内海全体で2～2.5万トンのレベルを推移していた。しかし、その後直線的に減少し、近年では1万トンのレベルまで低下している。

以上のように、クルマエビを含めたクルマエビ類の漁獲量は1960年代に減少し、その後回復したものの、1980年代半ばから再び直線的に減少し、現在は過去最低のレベルにある。

3-2. 種苗放流

栽培漁業種苗生産、入手・放流実績（全国）資料³⁶⁾より毎年クルマエビの種苗放流に係わる統計値を大海区別に整理して図4, 5に示した。ここで整理した統計値は、1977年から報告されている受け入れ種苗の体長、放流時の体長、全放流事例数に対する中間育成実施事例数の割合（中間育成頻度）、中間育成日数、中間育成における生残率、放流時体長別の放流尾数、また1983年から報告されている全中間育成実施事例数に対する育成手法別事例数の割合（育成手法別頻度）、1981年から報告されている全放流事例数に対する月別の放流事例数の割合（月別放流頻度）である。体長、中間育成頻度、日数および生残率は県単位で統計値を整理し、その平均値を海区の代表値とした。ただし瀬戸内海区では、それら統計値と放流時体長別の放流尾数については、東部と西部海域を分けた場合の統計値も示した。なお、中間育成を実施したにもかかわらず生残率が100%として記載されている事例の放流尾数は、ここでの集計から除外することとした。

種苗放流がいち早く始まった瀬戸内海区では、1977年には1億4千万尾もの種苗が放流されており、そのほとんどは体長30mm以下の小型種苗であった。その後、受け入れ種苗と放流種苗の平均体長は徐々に大型化し、体長30mm以上の種苗の放流割合が高まるとともに、放流尾数は1995年以降直線的に減少して2002年には4600万尾弱となっている。一方、他の海区の放流尾数は当初増加傾向を示したが、その後は瀬戸内海区とほぼ同様の傾向で推移し、太平洋中区を除いて近年の放流尾数は種苗の大型化にともない減少している。なお、太平洋北区では、1986年を最後にクルマエビの種苗放流は中止されている。また、クルマエビの種苗放流を実施している府県数は、1998年までは33府県前後であったのが、それ以降若干減少し、近年では30～31府県となっている。

次に中間育成に関する統計値をみると、中間育成頻度は太平洋北区を除くと当初50%前後を示し、その後増加して海区によっては80%を超えていたが、瀬戸内海区を除くと近年では減少傾向にある。中間育成日数は当初は10日前後であったのが、どの海区も概ね増加している。これは放流種苗が大型化してきたことに起因する

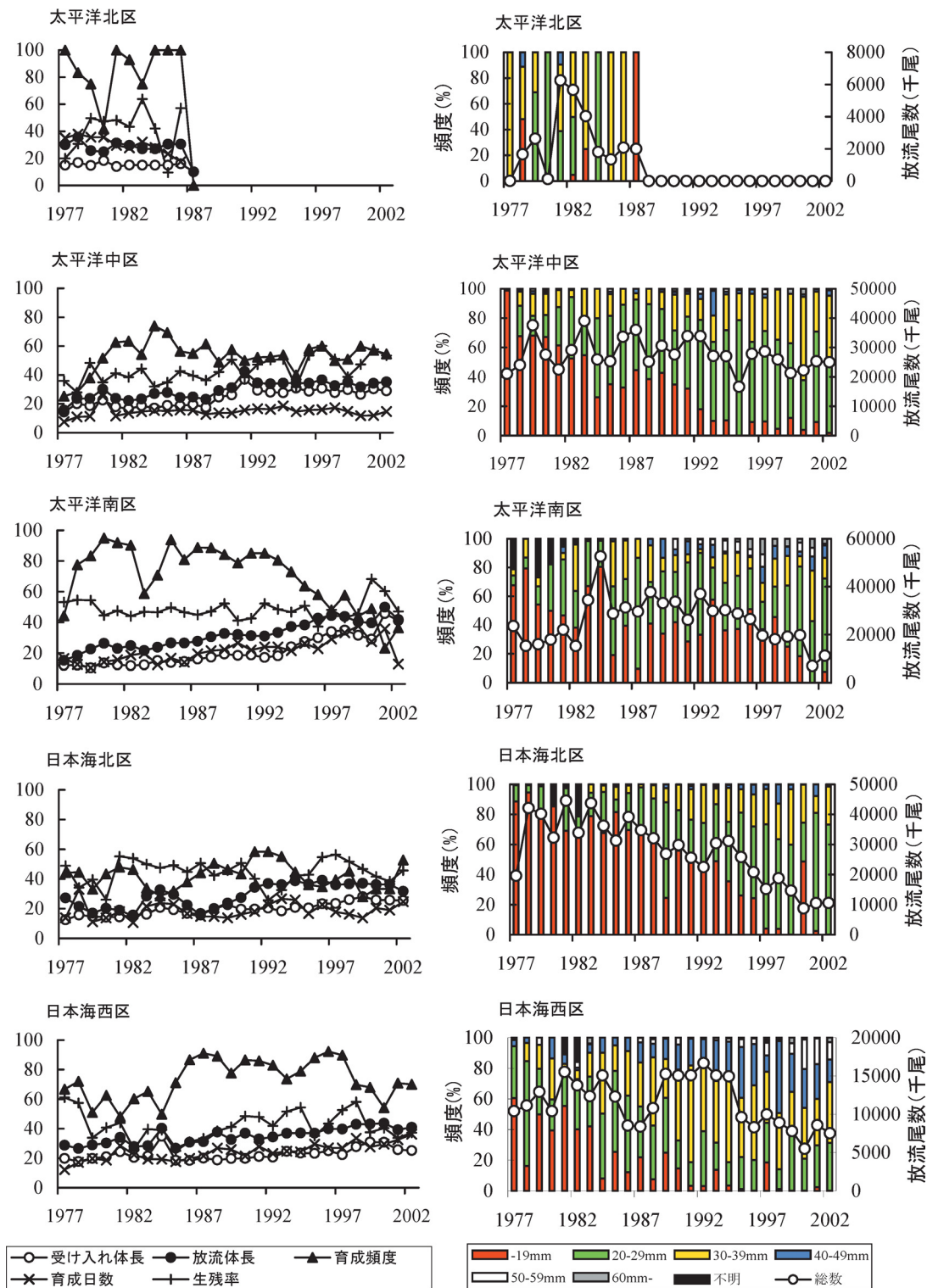


図4-1. クルマエビ種苗の受け入れ体長 (mm), 放流体長 (mm), 中間育成頻度 (%), 中間育成日数 (日), 中間育成における生残率 (%), 体長別の放流尾数の頻度および放流尾数の推移
栽培漁業種苗生産, 入手・放流実績 (全国) 資料³⁶⁾より作成した。

ものと考えられる。中間育成時の生残率は40~50%前後の値で推移している。中間育成は囲い網, 小割網, 海浜池等の海上施設とキャンパス水槽等の陸上施設を用いて行われてきた¹⁷⁾。また, 中間育成した種苗を短期間囲い網に收容し, 環境馴致して放流される場合もある (図

5)。育成手法別の頻度をみると, 当初は囲い網等の海上施設の頻度が高かったが, 徐々に陸上施設の頻度が増加し, 近年では太平洋中区と南区を除くと70%を超えている。放流は2~12月のほぼ周年にわたって実施されているが, 6~10月の頻度が高い。

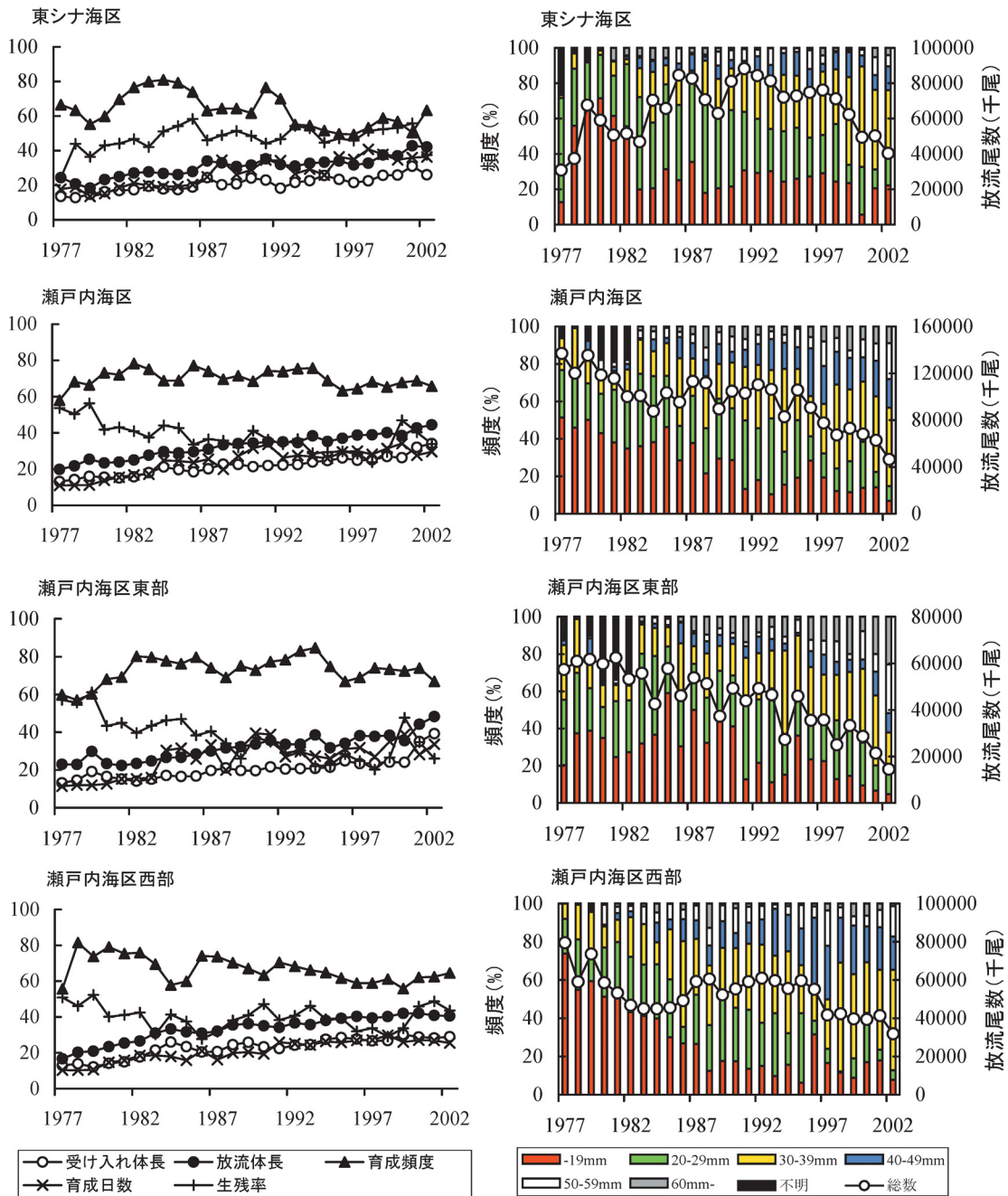


図4-2. クルマエビ種苗の受け入れ体長 (mm), 放流体長 (mm), 中間育成頻度 (%), 中間育成日数 (日), 中間育成における生残率 (%), 体長別の放流尾数の頻度および放流尾数の推移
栽培漁業種苗生産, 入手・放流実績 (全国) 資料³⁶⁾より作成した。

3-3. 漁獲量変動と種苗放流の関連

瀬戸内海では1958～1968年の干潟消失面積とクルマエビ漁獲量には負の相関関係が認められ、1 km²の干潟が消失すると漁獲量は6トン減少することが示されている³⁷⁾。そこでは1964年に全国に先立って種苗放流が始まり、その種苗放流数は当初の数十万尾から1971年以降には1000万尾を超え³⁾、漁獲量は1970年以降直線的に増加したことから(図1)、資源回復に種苗放流が一定の効果を示したと評価された^{2,3)}。ただ、漁獲量の増加はまだ種苗放流が十分に行われていない海区でも同時に起

こっていたことから(図1)、当時の漁獲増の要因として種苗放流以外の要因についても考える必要がある。日本栽培漁業協会がとりまとめた平成5年度クルマエビ放流事業検討会討議要録³⁾では、1960年代のクルマエビの減産と農業増産のために使用されていた農薬の関連性が指摘されている。クルマエビは農薬(殺虫剤)に弱いことが知られている^{38,39)}。1970年前後にはDDTやBHC等の毒性が強く残留性の高い有機塩素系の殺虫剤が使用禁止になり^{40,41)}、1970年には水質汚濁防止法が施行された。さらに、1973年には瀬戸内海環境保全臨時措置法が

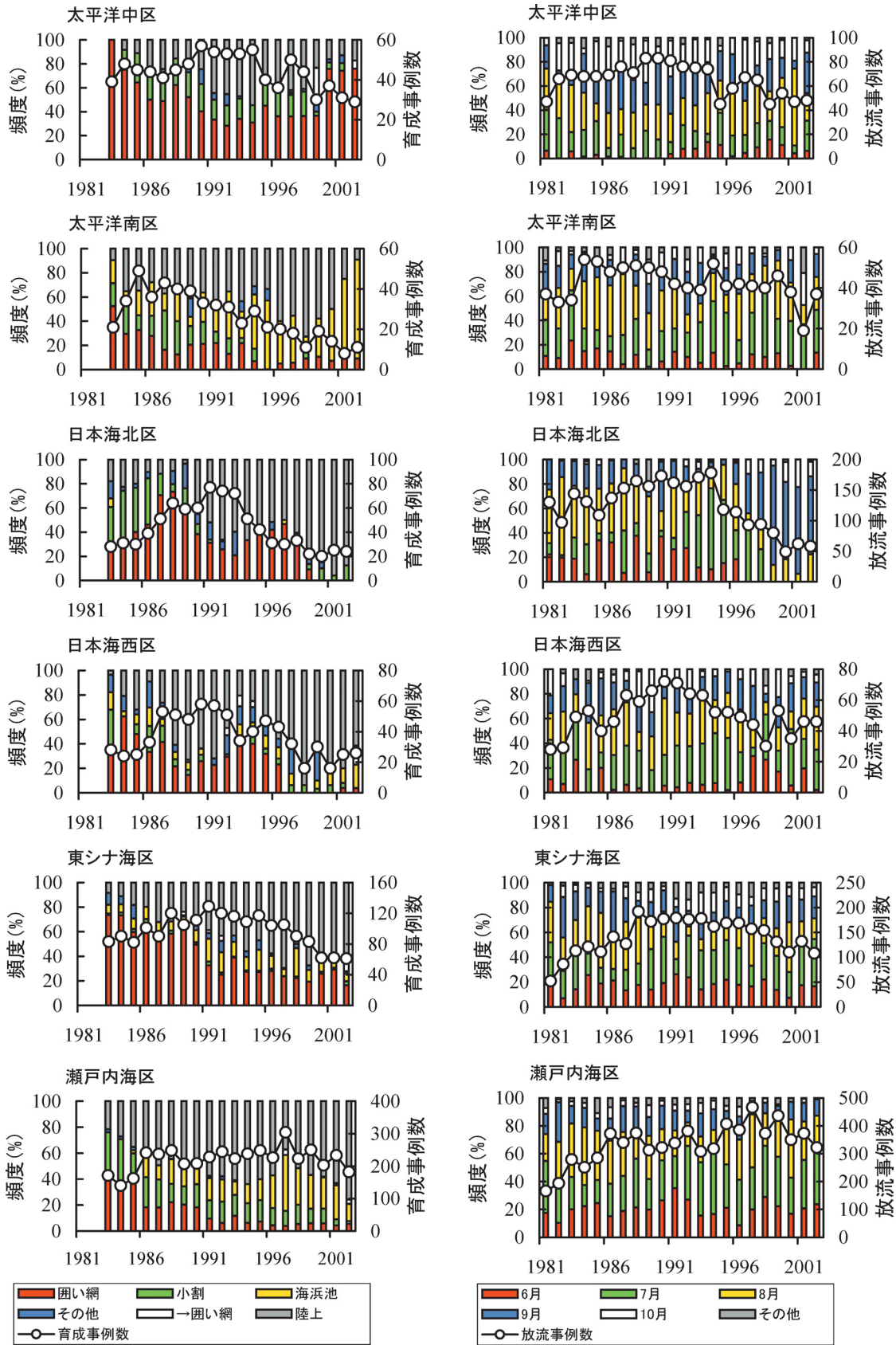


図5. クルマエビの中間育成手法別頻度と月別放流頻度の推移
 栽培漁業種苗生産，入手・放流実績（全国）資料³⁶⁾より作成し，中間育成と放流事例数の推移も示した。「→ 囲い網」は，他の手法で中間育成を始め，最終的に囲い網で育成したことを示す。

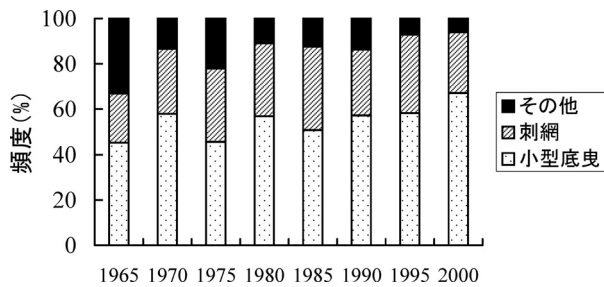


図6. クルマエビの漁法別漁獲量の推移
1965年～2000年までの5年ごとの統計値³⁴⁾を示した。

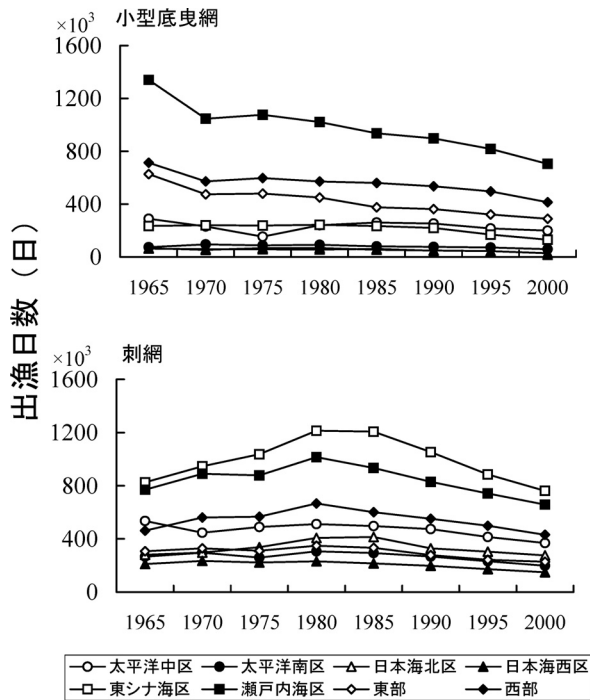


図7. 小型底曳網と刺網の出漁日数の推移
1965年～2000年までの5年ごとに毎年延べ出漁日数の統計値³⁴⁾を示した。小型底曳網は縦曳その他、刺網はその他刺網の統計値である。

公布され、海面の埋め立てが規制されるようになった。このようなことが、クルマエビ資源の回復にプラスに作用した可能性が考えられる。

一方、近年のクルマエビの漁獲量は1980年代半ばから直線的に減少していた(図1)。種苗放流数はここ10年ほど減少しているが、漁獲量の減少はそれ以前から始まっている。また、後述のように放流効果が高いと考えられる大型種苗の放流数が増加しているにもかかわらず、漁獲量は減少している。これらの事実を、大海区レベルでみるとクルマエビ資源のダイナミクスは種苗放流と無関係に動いていることを示している。

クルマエビは主に小型底曳網(縦曳その他)とその他の刺網で漁獲され、その割合は前者の方が高い³⁴⁾(図6)。小型底曳網と刺網の漁獲努力量を延べ出漁日数の統

計値³⁴⁾からみると、小型底曳網の出漁日数は減少傾向にあり、近年は1965年の5割前後に減少している(図7)。刺網の出漁日数は1980年までは増加していたが、1985年から減少傾向に転じ、近年は1965年の水準にある。このように漁獲努力量が減少していることから、近年のクルマエビ漁獲量の減少は乱獲に起因するものではない。漁獲努力量が減少しているにもかかわらずクルマエビの漁獲量の減少に歯止めがかからないのは、資源量が増加してないことを示唆しており、クルマエビ資源の再生産過程に問題があると考えるのが妥当であろう。小型のクルマエビ類の漁獲量が多い瀬戸内海におけるその他エビ類の漁獲量もクルマエビと同様に減少していることから(図3)、クルマエビ類に共通した生息環境に問題がある可能性が考えられる。なお、瀬戸内海西部海域におけるクルマエビの漁獲量だけが700トンレベルで維持されており(図1)、種苗放流との関連を含めて、この原因を明らかにすることが、クルマエビ資源のダイナミクスを理解する手がかりになるものと考えられる。また、クルマエビと同様に干潟を主生息域とするアサリ *Ruditapes philippinarum* の漁獲量も1980年代半ばから激減しており、その原因を明らかにするために水産庁のプロジェクト研究が始まっている^{*2}。クルマエビにおいても、その再生産過程のどこに問題があるのかを明らかにするような研究の展開が望まれる。

4. 放流効果の評価

4-1. 従来の方

種苗の放流効果を定量的に評価するには、放流個体と天然個体を識別することが基本になる。アトキンス型やリボン型タグ等の外部標識を体長50～60mm以上のクルマエビに装着することは可能で、回避経路の把握等の定性的な調査に利用されてきた^{14, 17, 25-27, 32, 42-44)}。一方、体長50～60mmより小さい種苗に外部標識を装着することは困難であったことから、トリバンブルー等の染色剤で染色する方法^{14-16, 45)}、片方の尾肢を切除する方法(尾肢切除法)^{14, 17)}、尾節や片眼を切除する方法⁴⁶⁾が小型種苗の標識方法として開発された。そのうち染色法と尾肢切除法は実際に野外調査に適用されたが、放流個体を識別できる期間は1カ月程度で、放流個体の長期追跡は困難とされた。以上のように、クルマエビ放流個体を長期間識別できる外部標識は開発されていなかった。

このような状況の中で、クルマエビの種苗放流効果を把握するために、干潟浅海域における大規模な放流実験や漁業の解析によって得られたパラメータを用い、漁獲モデルと体長組成解析によって放流個体の回収率が推定され、その値は放流群によって大きく異なるものの、2.3～24.3%の値が報告された^{10, 17)}。また、種苗放流量の

*2 <http://www.fra.affrc.go.jp/pressrelease/pr16/160729/asari.htm>

表 2. クルマエビ

事例	調査海域	放流				
		年	月日	地点	平均体長 (mm)	尾数
1	丹後海	1995	7.28	京都府宮津市由良地先	63	1680
2		1996	8.5	京都府宮津市中村地先	60	3733
3		1996	8.5	京都府宮津市中村地先	48	4097
4		1997	7.29	京都府宮津市中村地先	51	11703
5		1997	8.1	京都府宮津市由良地先	51	12401
6		1998	6.25	京都府宮津市中村地先	30	16765
7		1998	7.25	京都府宮津市中村地先	49	33612
8		1999	7.7	京都府宮津市中村地先	33	5631
9		1999	8.3	京都府宮津市中村地先	47	8522
10		2000	7.11	京都府宮津市由良地先	47	7512
11		2000	7.25	京都府宮津市由良地先	71	3733
12		2001	6.27	京都府宮津市由良地先	33	7700
13		2001	7.24	京都府宮津市由良地先	48	9400
14		2001	8.24	京都府宮津市由良地先	50	10700
15	伊万里湾	1995	8.10	長崎県松浦市地先	48.5	170291
16		1996	7.17	長崎県松浦市地先	35	50425
17		1996	7.17	長崎県松浦市地先	35	24290
18		1996	7.17	長崎県松浦市地先	35	27045
19		1996	8.2	長崎県松浦市地先	45	52742
20		1996	8.3	長崎県松浦市地先	45	23010
21		1996	8.4	長崎県松浦市地先	45	25723
22		1997	8.4-11	長崎県松浦市地先	41	95527
23		1997	9.27-28	長崎県松浦市地先	34.6	34358
24		1998	6.25	長崎県松浦市地先	46	55445
25		1998	7.24	長崎県松浦市地先	41.4	26074
26		1999	7.9	長崎県松浦市地先	40.6	79380
27		1999	8.9	長崎県松浦市地先	42.5	48379
28	加布里湾	1998	9.3	福岡県加布里地先	61.9	30000
29		1998	10.5	福岡県加布里地先	47.4	20000
30	有明海	1998	6.12-6.28	佐賀県早津江川沖合	46.1	875961
31		1998	6.12	熊本県熊本市地先	40	145657
32		1999	6.18-6.27	福岡県柳川市地先	45	507500
33		1999	6.30-7.7	熊本県玉名市地先	46.1	508200
34		2000	6.28-7.17	佐賀県早津江川沖合	37.2	1015330
35		2000	7.19-7.22	長崎県有明町地先	39.5	156520
36		2001	6.17-7.5	佐賀県早津江川沖合	41.9	511900
37		2001	6.20-7.5	福岡県矢部川沖合	45.1	505420
38		2002	6.5-19	佐賀県早津江川沖合	45.2	471000
39		2002	6.7-19	福岡県矢部川沖合	47.2	454610
40	瀬戸内海東部	1998	7.17	兵庫県赤穂市地先	50.9	176000

*G-CWT: 22 金製コードワイヤータグ, S-CWT: ステンレス製コードワイヤータグ.

放流種苗の回収率

標識*	回収率 (%)				損益分岐回収率 (%)			放流方法
	合計	当年	翌年	翌々年	30 g	50 g	100 g	
左尾肢切除	18.0	7.9	8.5	1.6	10.1	6.1	3.0	直接放流
左尾肢切除	4.0	0.6	3.1	0.2	8.6	5.2	2.6	直接放流
右尾肢切除	3.3	1.1	1.9	0.3	4.5	2.7	1.3	直接放流
左尾肢切除	0.6	0.3	0.3	0.0	5.3	3.2	1.6	直接放流
右尾肢切除	2.0	1.2	0.8	0.0	5.3	3.2	1.6	直接放流
右尾肢切除	0.3	0.1	0.2	0.0	1.7	1.0	0.5	直接放流
左尾肢切除	0.3	0.2	0.1	0.0	4.7	2.8	1.4	直接放流
左尾肢切除	1.3	0.4	0.7	0.2	2.0	1.2	0.6	直接放流
右尾肢切除	0.9	0.2	0.6	0.1	4.2	2.5	1.3	直接放流
左尾肢切除	1.9	1.1	0.8	0.0	4.2	2.5	1.3	直接放流
右尾肢切除+左尾肢縦切	4.2	2.9	1.3	0.0	15.6	9.4	4.7	直接放流
左尾肢切除	1.0	0.6	0.4	—	2.0	1.2	0.6	直接放流
右尾肢切除	1.0	0.7	0.3	—	4.5	2.7	1.3	直接放流
縦切	0.3	0.3	0.0	—	5.0	3.0	1.5	直接放流
G-CWT (第3腹節)	4.3	3.9	0.4	—	4.6	2.8	1.4	囲網馴致放流 (7-20日間)
G-CWT (第3腹節)	0.5	0.5	—	—	2.2	1.3	0.7	直接放流
G-CWT (第3腹節)	1.0	1.0	—	—	2.2	1.3	0.7	囲網馴致放流 (2日間)
G-CWT (第3腹節)	1.6	1.6	—	—	2.2	1.3	0.7	囲網馴致放流 (3日間)
G-CWT (第3腹節)	0.3	0.3	—	—	3.8	2.3	1.1	直接放流
G-CWT (第3腹節)	0.2	0.2	—	—	3.8	2.3	1.1	囲網馴致放流 (2日間)
G-CWT (第3腹節)	0.5	0.5	—	—	3.8	2.3	1.1	囲網馴致放流 (3日間)
S-CWT (第6腹節)	0.2	0.1	0.1	—	3.1	1.8	0.9	直接放流
S-CWT (第6腹節)	0.0	0.0	0.0	—	2.2	1.3	0.7	直接放流
S-CWT (第3腹節)	1.1	1.1	0.0	—	4.0	2.4	1.2	囲網馴致放流 (2-5日間)
S-CWT (第3腹節)	0.2	0.2	0.0	—	3.1	1.9	0.9	囲網馴致放流 (2-3日間)
右尾肢切除	0.4	0.4	—	—	3.0	1.8	0.9	囲網馴致放流 (13-17日間)
左尾肢切除	0.1	0.1	—	—	3.3	2.0	1.0	囲網馴致放流 (8-10日間)
S-CWT (第6腹節) +左尾肢切除	1.9			—	9.5	5.7	2.9	直接放流
S-CWT (第6腹節) +右尾肢切除	1.8			—	4.3	2.6	1.3	直接放流
右尾肢切除	8.7	8.7	—	—	4.0	2.4	1.2	直接放流
左尾肢切除	9.2	9.2	—	—	2.9	1.7	0.9	直接放流
右尾肢切除	3.9	3.9	—	—	3.8	2.3	1.1	直接放流
左尾肢切除	2.2	2.2	—	—	4.0	2.4	1.2	直接放流
右尾肢切除	3.1	3.1	—	—	2.5	1.5	0.7	直接放流
左尾肢切除	2.3	2.3	—	—	2.8	1.7	0.8	直接放流
右尾肢切除	2.0	2.0	—	—	3.2	1.9	1.0	直接放流
左尾肢切除	1.4	1.4	—	—	3.8	2.3	1.1	直接放流
右尾肢切除	2.2	2.2	—	—	3.8	2.3	1.2	直接放流
左尾肢切除	1.4	1.4	—	—	4.3	2.6	1.3	直接放流
左尾肢切除	22.1			—	5.2	3.1	1.6	囲網馴致放流 (1日間)

増加にともなう漁獲量の増大(回帰分析)^{18, 47, 48)}や種苗放流後の漁期の延長と漁獲ピークの顕在化^{17, 49)}等によっても放流効果が報告された。さらに、静岡県浜名湖では、綿密な市場調査が実施された。体長組成解析によって放流群を天然群から識別し、漁獲モデルを適用して種苗(放流体長 30 mm 前後)の回収率が推定され、平均 45%、最高では 94% を示す放流群もあった¹⁷⁾。

4-2. 標識放流による回収率の直接推定

体長組成解析による放流種苗の追跡によって回収率が推定されるようになったが、クルマエビの産卵期は春から夏でその間に複数の発生群が存在する^{14, 17, 49, 50)}ことから、放流群と天然群の識別精度に問題が残されていた。放流効果をより直接的に評価するためには、放流種苗を長期にわたって識別できる標識の開発とそれによる回収率の直接推定が必要と考えられる。

クルマエビの栽培漁業に携わってきた技術者がこれに応え始めたのは 1995 年で、Coded Wire Tag (CWT, Northwest Marine Technology 社)⁵¹⁾と尾肢切除法^{14, 17)}による標識放流実験で回収率が推定されるようになった²²⁻²⁴⁾。ここでは近年の標識の開発・適用と回収率を推定した標識放流調査結果の概要を述べ、クルマエビの種苗経費と市場価格から損益分岐回収率²¹⁾を求め、現状の回収率を評価する。

(1) 標識

1) CWT

CWT は長さ 0.5~1.6 mm、直径 0.25 mm のワイヤー標識で、甲殻類へも試用されてきた^{52, 53)}。本標識には数値等のコードが刻まれており、放流群を識別できる利点がある。標識は専用の打ち込み装置で動物体内に打ち込まれ、ステンレス製であれば専用の検出器で標識個体を検出できる。材質が金製(22 金)であれば、捕獲個体を軟 X 線装置で撮影し、標識の有無を検出できる⁵⁴⁾。

長崎県水産試験場^{22, 54)}はステンレス製と金製の CWT をそれぞれ体長 39 mm と 55 mm のクルマエビ種苗の腹部に打ち込んで飼育し、標識の残存率、種苗の生残率と成長を調べた。その結果、標識個体の生残と成長は対照区と大差なく、標識の残存率はステンレス製が実験開始後 129 日目で 82.5%、金製が 99 日目で 95.4% を示した。さらに、体長 30~39 mm 種苗の第 3、第 6 腹節にステンレス製 CWT を挿入し、同様に飼育実験を行ったところ、実験開始 54 日後の標識残存率は 79~93% の高い値を示したことから、クルマエビ放流種苗の標識として利用可能であると報告した。ただし、後述のように野外調査では、CWT の残存率は低いと考えられている。

2) 尾肢切除法

本方法では種苗の片方の尾肢を根元(原節中央)から切除して標識とするが、切除された尾肢は 3 回の脱皮で正常個体と区別できないほどまで再生するので、尾肢を切除した種苗の放流後の長期追跡は困難であるとされてきた^{14, 17)}。なお、クルマエビの尾肢中央には暗赤色素

が帯状に発現しており、尾肢切除個体ではその暗赤色素の発現が弱いことから、色素の発現状況も尾肢切除個体の識別指標になる可能性が示唆された¹⁴⁾。このように尾肢切除法は放流種苗の長期追跡には利用できないと考えられてきたが、宮嶋ら^{23, 24)}はこの尾肢切除法によって放流種苗の追跡調査を実施する過程で、原節から下の左尾肢を切除した個体を長期間飼育したところ、暗赤色素の発現面積が狭いことに気づき、それを利用して放流種苗を長期間追跡可能なことを明らかにした。その後、彼らはいくつかの標識実験を実施し、尾肢切除法は実用的には体長 30 mm 以上の種苗に適用できることを明らかにするとともに^{55, 56)}、標識個体の判別マニュアルを公表している⁵⁷⁾。さらに、彼らは尾肢の先端中央から半分を切除すると、再生した尾肢は先端が拡大して再生し、標識としての認識率が高まることも明らかにしており⁵⁸⁾、新たな標識手法として注目されている。

(2) 回収率の推定

1995 年以降、CWT と尾肢切除法を利用した標識放流実験が若狭湾の宮津市地先(通称、丹後海)⁵⁹⁻⁶²⁾、長崎県伊万里湾^{54, 60, 61)}、福岡県加布里湾⁶³⁾、有明海^{61, 62, 64-67)}および瀬戸内海東部⁶⁸⁾で実施され、2002 年までに 40 の放流事例で回収率が報告されている(表 2)。各標識放流実験における放流体長と放流尾数はそれぞれ 30~71 mm と 1.7~87 万尾の範囲にあり、放流場に設置した囲い網で環境に馴致して放流した事例や、環境に馴致することなく直接放流した事例等の様々な手法で放流が行われている。回収率の推定は、丹後海では主に市場の水揚げ日を抽出単位とした 1 段クラスターサンプリング法²¹⁾、有明海では主にクルマエビの主漁業である源式網(底流し網の 1 種)の操業者と操業日を抽出単位とした 2 段サンプリング法²¹⁾で行われている。その他の事例における回収率は、標識個体の発見尾数、総調査尾数および漁獲重量と漁獲物の平均体重から算出した総漁獲尾数に基づいたいわゆる重量法²¹⁾によって推定されている。また、丹後海では放流後 2 年目まで、その他の海域では当年から 1 年目までの回収率が推定されており、有明海では放流個体のほとんどが放流当年に回収されると考えられている⁶²⁾。

各標識放流調査で推定された回収率をみると、丹後海の 18.0% や瀬戸内海東部海域の 22.1% など高い事例もあるが、14 事例では 1% 未満の低い値を示している。なお、加布里湾で実施された放流調査事例 28 と 29 では、CWT と尾肢切除法で二重に標識した種苗が放流され、両標識の有用性が調査されている。その結果によれば、尾肢の暗赤色素面積で放流個体を判別して CWT の有無を調査したところ、事例 28 では CWT 保有個体の割合は放流当年の 75.6% から翌年の 6.3% へ大きく減少したことが報告され、事例 29 では放流当年の再捕尾数が少ないものの事例 28 と同様の結果が得られている。また、上田ら⁶⁹⁾は同様に CWT と尾肢切除法で標識した

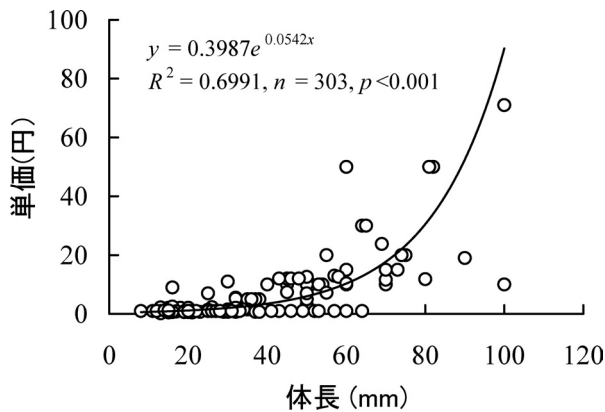


図8. 2002年におけるクルマエビ種苗の体長と入手単価の関係
栽培漁業種苗生産，入手・放流実績（全国）資料³⁶⁾より作成した。

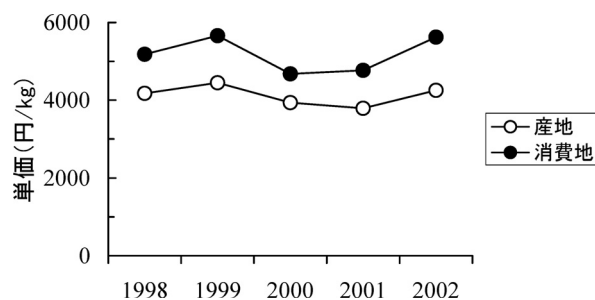


図9. 近年の生鮮クルマエビの産地および消費地市場価格
平成14年水産物流通統計年報⁷⁰⁾より作成した。

種苗の放流を行った結果、CWTの脱落率が高い場合があることを報告している。前述のようにクルマエビ種苗に挿入したCWTの残存率は実験室レベルでは高いものの、野外では脱落率が高い場合があることから、CWTをクルマエビの標識放流調査へ利用することには問題が残されているものと考えられる。

(3) 損益分岐回収率

種苗放流事業が経済的に成立するには、少なくとも放流個体の漁獲金額が放流に要する経費を上回る必要があり、それを実現する最低限の回収率を損益分岐回収率として計算できる^{21, 64)}。ここでは、種苗を購入して直接放流する場合を想定し、種苗単価と生鮮クルマエビの単価から、回収時の放流個体の体重別に種苗体長と損益分岐回収率の関係を求めることとする。

2002年の栽培漁業種苗生産，入手・放流実績（全国）資料³⁶⁾から種苗の体長と入手単価（円/尾）の関係を求めると、バラツキが大きいものの、種苗単価は体長にともない指数関数的に増大する傾向を示していることから、ここではそれらの関係を図中の指数式で表すこととする（図8）。一方、近年の生鮮クルマエビの産地および消費地市場価格はそれぞれ4000円/kg前後と5000～6000円/kgを推移している⁷⁰⁾（図9）。そこで、産地市場価格を4000円/kgとすると、先の種苗体長と単価の関係式から、損益分岐回収率を $R = (0.3987e^{0.0542BL}) \times 10^2 / 4BW$ と

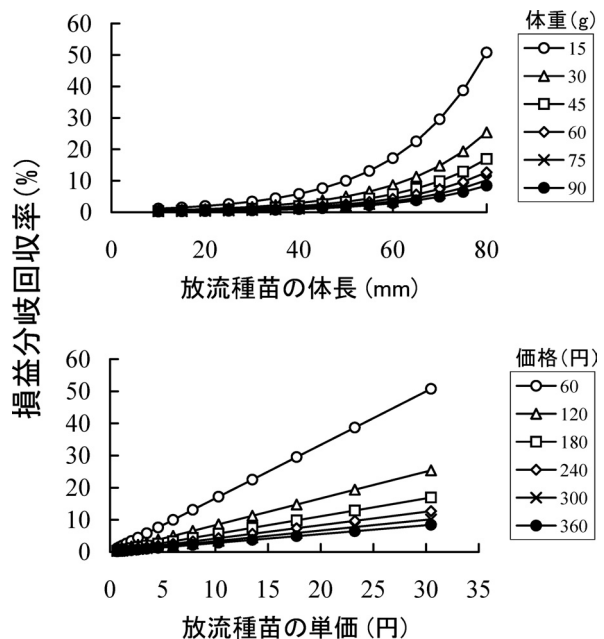


図10. クルマエビ放流種苗の体長あるいは種苗単価と損益分岐回収率の関係
上図は回収時体重 (g) 別に，下図は回収時の1尾あたり価格 (円) 別に示した。

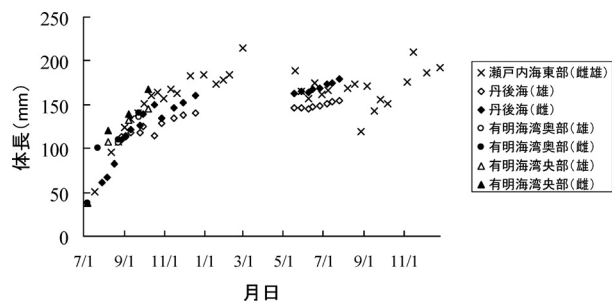


図11. 放流クルマエビの成長
瀬戸内海東部海域のデータは10日ごとに計算された再捕個体の平均体長²⁹⁾，丹後海では再捕個体の平均体長と市場調査において放流再捕個体が含まれていた体長組成群の平均体長⁷¹⁾，有明海では2000年7月～10月にかけて各月の前期と後期に再捕された個体の平均体長⁶⁶⁾である。

表すことができる。ここで、 R は損益分岐回収率 (%), BW は回収時体重 (g), BL は放流種苗の体長 (mm) である。本関係式から回収時のクルマエビの体重別に種苗体長と損益分岐回収率の関係を求めることができる（図10上）。また、それは1尾あたりの産地市場価格別に種苗単価と損益分岐回収率との関係としても表現できる（図10下）。

近年の標識放流調査結果から放流個体の体長（平均値）データを拾い出すと、放流個体は放流後1カ月ほどで平均的な漁獲加入サイズである体長100mm（雌雄込みで求められた体長 BL ）と体重 BW の相対成長式 ($BW = 1.418 \times 10^{-5} BL^{2.971}$)²⁹⁾ から換算した体重は12.4gに成長し、年内に体長140～180mm (33.7～74.7g) 程度に達して以降大きく変化しない^{29, 66, 71)}（図11）。有明海

における調査では、放流年内に回収される個体の平均体重は湾奥部では 14.8～29.4 g、湾中央部では 23.9～43.3 g と報告されており⁶⁶⁾、単純平均すると約 27 g となる。また、丹後海では再捕個体の平均体重は放流年内が 30.2 g、翌年が 47.2 g、翌々年が 100.6 g と報告されている⁵⁹⁾。そこで、ここでは放流当年～2 年目までに回収される個体の平均的な体重をそれぞれ 30 g、50 g、100 g とし、表 2 に示された放流事例の損益分岐回収率を求めると、回収率が損益分岐回収率を上回ると考えられる事例は 1, 30, 31, 32, 34 および 39 の 6 事例となる (表 2)。

5. 回収率に影響を及ぼす要因

以上のように、尾肢切除法と CWT を利用した標識放流調査によって、クルマエビ放流種苗の回収率が直接推定されるようになったが、多くの調査事例の回収率はここで試算した損益分岐回収率を下回っており、現状では種苗放流事業は経済的には厳しい状況にあることがうかがえる。

回収率は種苗の放流後の生残率 (減耗率) と密接に関連し、放流種苗の減耗率は放流種苗の体長、放流時期、直接放流等の放流方法によって異なるものと考えられている^{9, 12, 14, 17)}。また、回収率は間接的には漁獲努力量に影響されることも知られている¹¹⁾。本節では、回収率を向上させる方策を把握する手がかりを得るために、回収率に影響を及ぼす要因について考えてみたい。

5-1. 放流後の種苗の減耗過程とその要因

倉田らの研究グループは、1970～1974 年にかけて瀬戸内海西部海域で毎年 1000 万尾強の種苗 (体長 10 mm 程度) を放流し、コドラート調査や曳網調査によって種苗の減耗率を推定した¹⁴⁾。倉田はその調査結果に基づき、放流種苗が漁獲加入するまでの減耗を 3 段階に分けている。それによれば、第 1 の減耗は放流直後の 24 時間、第 2 はその後体長 30 mm に成長するまでの期間 (夏季には 2～3 週間)、第 3 はそれから漁獲開始体長 (約 100 mm) に成長するまでの期間 (夏季には約 2 カ月) に起こるとされている。第 1 段階は放流減耗、第 2 段階は初期生育減耗、第 3 段階は後期生育減耗と呼ばれ、第 1 と第 2 段階を合わせて初期減耗と呼ばれる。直接放流した群の放流減耗率として、瀬戸内海西部海域では 32～80% の値が報告されている¹⁷⁾。このように放流直後の減耗率が著しく高いが、この主要原因として魚類、特に干潟域でクルマエビ稚エビと生息域が重なるハゼ類による被食の重要性が指摘されてきた^{9, 12, 14, 17)}。例えば、燧灘西条干潟では放流した体長 10 mm 程度の種苗 200 万尾のうち、114 万尾が放流後次の満潮までの数時間でヒメハゼ *Favonigobius gymnauchen* によって被食減耗したと推察されている¹⁴⁾。なお、太平洋北区、太平洋中区、太平洋南区、日本海北区および瀬戸内海区で実施されたクルマエビの種苗放流調査では、放流種苗の被害種として魚類 25 種と甲

殻類のエビジャコ *Crangon affinis* が知られている¹⁷⁾。

放流種苗の初期減耗状況を把握した放流調査事例は瀬戸内海以外では少ないが、安永ら^{15, 16)} は体長 11～15 mm の種苗 30～56 万尾を日本海の砂浜海岸である新潟県五十嵐浜に直接放流し、底曳網によって種苗の追跡調査と被食状況を調査している。その結果、倉田らと同様に、放流後数時間の減耗率は極めて大きく、6～10 時間で 99% 前後を示したことを報告している。また、放流減耗の原因はヒラメ、ネズミゴチ *Repomucenus richardsonii*、エビジャコ等による被食の可能性が高く、中でもエビジャコによる被食率が高いと推察している。さらに、近年宮嶋ら⁷²⁾ は丹後海の砂浜海岸において、体長 51 mm の種苗を直接放流して曳網調査を実施した結果、放流後数時間の減耗率がきわめて高いと推測している。

以上のように、クルマエビ種苗は放流直後の数時間というきわめて短い時間に減耗しやすく、その原因は魚類等による被食と考えられている。

5-2. 潜砂習性と被食

クルマエビ種苗は体長 8 mm 前後で底性生活に移り、潜砂習性を示すようになる⁷³⁾。この潜砂習性が被食と密接に関連している。体長 7～15 mm の種苗 30 尾と体長 40～58 mm のヒメハゼ 2 尾を、それぞれ砂を敷いた水槽と敷いていない水槽に同居させた実験結果によれば、前者では 10 尾の種苗が生残したのに対し、後者では生残個体はなかった¹⁴⁾。また安永⁷⁴⁾ は次の 3 条件下で 8 種魚類による体長 10 mm 前後のクルマエビ種苗に対する捕食実験を行っている。A: 砂を敷いていない水槽に実験前日に捕食魚を収容し、水槽環境へ馴致させて種苗を投入する。B: 砂を敷いた水槽に実験前日に捕食魚を収容し、水槽環境へ馴致させて種苗を投入する。C: 砂を敷いた水槽に実験前日に種苗を収容して潜砂可能な状態にし、捕食魚も同水槽にカゴに入れた状態で収容しておく、実験開始時にストレスを与えないように捕食魚を放す。条件 A と B は放流直後の被食状況を砂の有無で比較するものであり、B と C は放流直後の減耗を回避した種苗の被食状況を比較するものである。その結果、平均的にみれば、条件 A の被食率を 100 とすると、B は 70 程度であり、また B と C には大差は認められていない。また、供試魚の捕食量は捕食開始初期が最も多かったという。以上に例示した二つの実験結果から、少なくとも砂の存在、すなわち潜砂習性は被食回避に有効に働いているものと解釈できる。ただし、砂の存在によって被食率が大幅に低下しているわけではなく、これは供試した種苗サイズが体長 10 mm 前後で、潜砂習性が十分に発達していなかったことによるものと考えられている⁷⁴⁾。すなわち、安永の水槽実験結果によれば、明期・無給餌条件下での潜砂個体の割合は平均体長 14.6 mm で 58%、20.0 mm で 71.2%、25.6 mm で 87.6%、35.6 mm で 92.9%、48.4 mm で 99.3% であり、潜砂習性は成長にともない強化される。さらに、体長 20 mm 以下の種苗の潜砂率は明

暗条件で差はないが、体長 25 mm 以上では明期にほとんどの個体が潜砂して、暗期には露出する習性が明瞭になる。このことは石岡の実験結果でも示されていることである⁷³⁾。また、体長 14~26 cm のゴンズイ *Plotosus lineatus* を捕食者とし、潜砂率の異なる種苗群の体長（潜砂率 100% 群: 20.9~31.2 mm, 同 31~68% 群: 14.3~31.5 mm）と被食率の関係調べた結果によれば、いずれの群でも体長にともない被食率は低下し、さらに潜砂率の高い群で体長の増加による被食回避効果は高かったという⁷⁵⁾。換言すれば、これは体長そのものの増加によって供試したゴンズイが物理的に捕食できる確率が低下すること、あるいは種苗の逃避能力が向上すること等によって被食の確率が低下すること、また潜砂率が低く不安定な場合にはその効果が下がることを示している。

以上の実験結果から、潜砂習性が未発達な小型種苗は放流直後に被食に遭いやすいものと考えられ、先述した野外における放流実験の状況を裏付けるものである。ただ、先述したように最近の宮嶋らの調査では、潜砂習性が発達していると考えられる体長 51 mm の大型種苗の放流減耗率はきわめて高かったことが報告されている⁷²⁾。これは、直接放流された種苗はハンドリング等のストレスによって放流直後には砂から出て放浪する個体が多いことを想像させるものである。

クルマエビ種苗の潜砂率は、摂餌の有無、塩分、底質や波浪の物理的条件等で異なる^{14, 17, 73, 74, 76)}。さらに、種苗生産や中間育成過程で歩脚が欠損した個体の潜砂能力は劣る⁷⁷⁻⁸¹⁾。したがって、これらの条件によっては、放流種苗の潜砂率は低下し、被食の確率を高める可能性がある。

5-3. 漁獲努力量

一般に刺網を操業する漁業者はその時々で最も利益の大きい漁業（対象種）を選択する傾向にあると言われており、クルマエビを対象とするエビ刺網の操業隻数は 1 日 1 隻あたり漁獲量に応じて変化することが知られている¹¹⁾。この事実と漁獲モデルで計算した種苗放流による漁獲量の関係から、培養資源の規模を増やすことは漁獲努力量や単位努力量あたり漁獲量を増加させ、漁期を延ばす効果があり、全体の漁獲増と回収率の向上をもたらすことになると推察されている¹¹⁾。このことは、近年の放流調査でも当てはまることで、丹後海ではクラゲ類の大発生あるいは資源量そのものの減少によって刺網の努力量が減少し、さらに漁獲量が低下するとともに、回収率も低下していると考えられている⁶²⁾。また、有明海ではクルマエビは底流し網（刺網）の 1 種である源式網で漁獲されているが、近年の漁獲量の低下にともない漁獲努力量が減少し、それによって回収率が低下していると考えられている^{64, 66)}。有明海での調査で放流された種苗の体長は 40 mm 前後で概ね一定していることから、ここで有明海が属する東シナ海区のクルマエビ漁獲量と有明海で 1998~2001 年に調査された放流クルマエビの回

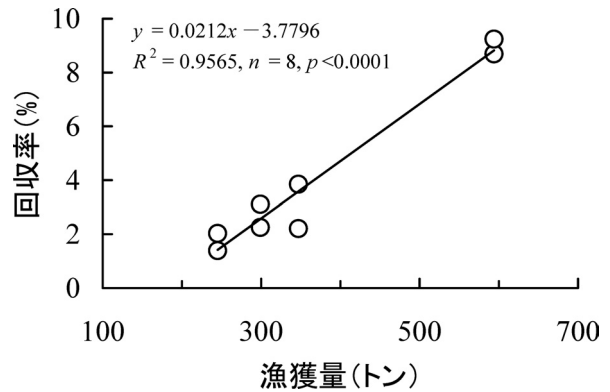


図 12. 東シナ海におけるクルマエビ漁獲量と有明海における放流クルマエビの回収率の関係
漁業・養殖業生産統計年報³⁴⁾と表 2 の事例 30~37 のデータから作成した。

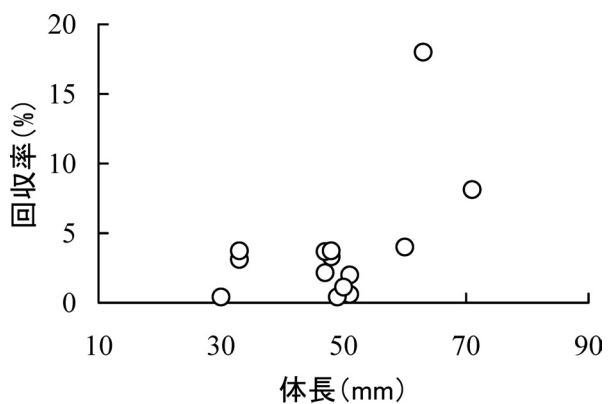


図 13. 丹後海における放流クルマエビの体長と回収率の関係
表 2 の事例 1~14 のデータから作成し、回収率は漁獲努力量（市場へ出荷した延べ人数）で補正した。補正方法の詳細は本文で説明した。

収率の関係を対比させてみると、回収率と漁獲量の間には統計的に有意な正の相関関係が認められ、回収率は近年の漁獲量の低下にともない直線的に低下していることが分かる（図 12）。

5-4. 放流種苗の体長

前述のようにクルマエビ種苗は成長にともない潜砂習性が強化され、実験例は少ないものの魚類による被食率も低下することから、大型種苗ほど初期減耗率は低く、回収率は高くなることが期待される。このようなことから、体長 30~50 mm の大型種苗の放流が推奨され¹⁷⁾、実際に大型種苗の放流によって漁期の延長と漁獲ピークの顕在化がみられた地域もある⁴⁹⁾。しかし、実際に体長と初期減耗率あるいは回収率の関係を直接求めた研究事例はほとんどない。宮嶋らは 1995 年から 2001 年にかけて尾肢切除法で標識した平均体長 30~71 mm の種苗群を丹後海で放流し、回収率を求めている⁵⁹⁻⁶²⁾（表 2）。前述のように、回収率は漁獲努力量が低いと低くなる。宮嶋らが調査した市場においても漁獲努力量は減少しており、クルマエビを市場へ出荷した延べ人数は 1996~1997

年の1200人前後から2001年までの329人までほぼ直線的に減少している⁶²⁾。そこで、ここでは1998年以降も1997年までの漁獲努力量が継続されたと仮定して回収率を補正し(補正回収率=回収率×1996年～1997年の平均述べ出荷人数/各年度の述べ出荷人数)、体長と回収率の関係を図13に示した。回収率はかなりバラツキながらも体長にともない高くなる傾向がみられる。

5-5. 放流手法

放流減耗を回避する方策として、直接放流する場合には、1) 放流地に建干網(エビ刺網の1種)を設置してハゼ類等の進入を防ぐ手法、2) ハゼ類等が進入しないような地盤高に人工干潟を造成し放流する手法、3) 昼間干潮時の干潟域の潮だまりに低密度で分散放流する手法、4) 放流場に設置した囲い網に種苗を収容し放流前に短期間環境に馴致する手法が提案され、試みられた^{9, 12-14, 17)}。いずれの手法も種苗と捕食者の同居による被食の確率を下げることを目的としたものであり、4) では放流時のハンドリング等のストレスによって弱化した潜砂習性の復調も意図しているものと考えられる。直接放流とは別に囲い網や海浜池で中間育成し、そのまま放流される場合もあり¹⁷⁾、そこでは環境馴致効果が期待される。さらに、囲い網による育成には種苗生産過程において受けた歩脚の障害を回復させる効果もある^{79, 81)}。このような放流手法のうち、1)と3)の手法が実際に実践されているのか情報は無い。2)の人工干潟については、天然干潟と比較して高い定着率が得られた事例があり、その定着基盤としての有効性が示されたが^{12-14, 17)}、実用化されなかった。4)の囲い網による環境馴致の効果を直接放流と比較した研究事例は少ない。関山・森川⁸²⁾は直接放流群(放流時平均体長39mm)と囲い網で放流前8日間育成する群(同35mm)を設定し、放流翌日と6日後の種苗の定着率をライトランセクト法で調査した。その結果、囲い網による馴致群の定着率は直接放流群と比較して放流翌日には約2倍、6日後には約6倍高かったことを報告している。また、囲い網による育成によって、個体あたり欠損していた歩脚節の24%が回復したと報告している。さらに、長崎県水産試験場⁶⁰⁾はCWTで標識した体長35mmと45mmの種苗を用い、それぞれの体長群で放流前に囲い網に2日間あるいは3日間馴致して放流する区と直接放流する区を設定して放流調査を実施し、市場調査で回収率を推定した(表2)。その結果、体長35mm群の回収率は囲い網による馴致期間の増加にともない増加する傾向を示し、囲い網による環境馴致効果がうかがわれる。一方、体長45mm群ではそのような関係は認められていない。体長によって結果に差がみられた原因については不明であるが、関山・森川⁸²⁾の結果と考え合わせると、放流前の囲い網による短期間の環境馴致育成は、放流減耗を低減するうえで効果を示すものと推察される。ただし、放流海域に設置した囲い網で中間育成し、網を開放して放流する場合でも放流減

耗が起こることが知られており、城田・浜中⁸³⁾によれば、囲い網による育成現場で放流された平均体長32mmの種苗が放流翌日から5日目にかけてメゴチ *Suggrundus meerdervoortii* 等の魚類による被食によって大きく減耗したと推察されている。これは種苗の分散過程での被食減耗に起因するものと考えられる。

現在、囲い網による放流前の短期馴致育成の実践例はあるが、事例数は少なく、囲い網や海浜池における中間育成事例は近年減少傾向にある(図5)。このことは種苗が放流場で環境に馴致されることなく、直接放流される頻度が増加していることを示している。

5-6. 放流時期

浅海域に定着したクルマエビは成長とともに徐々に生息域を深い方へ拡大し、漁獲加入する。例えば熊本の有明海干潟では、4～6月には前年生まれの体長20～80mmの個体がみられ、それらは4月以降の水温上昇にともない成長し、80mmを超えると沖合へ移動して漁獲加入する³²⁾。当年発生群は7～11月に干潟に着底補給され、7～8月に着底した群は9～10月ごろには100mm前後に成長して漁獲加入する。10月以降に着底したものは水温の低下によって成長が停滞し、そのまま干潟で越冬して翌春の水温上昇期に成長を再開する。漁獲モデルを用いた試算によれば、8月以前に放流された早期放流群は主に当年から翌年にかけて、また9月以降に放流された晚期放流群は主に翌春から夏にかけて回収され、回収率は後者のほうが高いという²⁷⁾。また、長崎県総合水産試験場⁶¹⁾は、放流時期(6～8月)が回収率に及ぼす影響を伊万里湾における標識放流実験で調査した。その結果によれば、回収率は放流時期が早いほど高い傾向があるように見える(表2)。このような放流時期と回収率の関係は、放流個体の成長や漁業の構造によって異なるものと考えられるが、放流時期が回収率に影響を及ぼすことは確かであろう。

7. 今後の課題

本論では、大海区レベルでクルマエビの漁獲量変動と種苗放流の関連をみたところ、クルマエビ資源のダイナミクスは種苗放流とは別の要因で動いているものと考えられた。近年の標識技術の開発によって回収率が定量的に把握されるようになったが、損益分岐回収率を超える事例は少なかった。ただ、高い回収率が得られている事例もあり、ローカルな規模でみるとクルマエビの栽培漁業は成立する可能性があるが、現在まで回収率が定量的に推定された事例は少なく、クルマエビの栽培漁業の潜在力が評価されたとは言いがたい状況である。今後は地域ごとに回収率を定量的に把握して放流効果を科学的に評価していくことが重要である。特に、現在唯一クルマエビの漁獲量が維持されている瀬戸内海西部海域において、回収率を推定する標識放流調査を行う必要があるも

のと考えられる。

その際、先に述べたような回収率の向上につながる放流方を地域の実態に即して採用する必要がある。例えば、放流時期によって回収率が大きく異なる可能性があることから、温量指数¹⁷⁾によって予測される成長と漁業の構造を考慮し、回収率が高くなるような放流時期を選択する必要がある。また、種苗を直接放流するのではなく、囲い網によって環境に馴致して放流することの有効性を再検討すべきである。ただし、現段階では囲い網による環境馴致放流の効果のメカニズムが十分に把握されているとは言えないことから、そのような方法を採用しつつ実験的にその効果のメカニズムを把握していくような取り組みが必要である。

クルマエビの回収率を上げるには、放流後の短時間に起こる「放流（被食）減耗」を回避することがきわめて重要である。被食回避に係わるクルマエビの重要な生物学的要素は潜砂習性であり、その習性は成長（体サイズ）にともない強化される⁷⁴⁾。また、潜砂習性は摂餌や物理的要因によっても変化する^{14, 17, 73, 74, 76)}。それら潜砂習性に影響を及ぼす要因のうち、体サイズは人間側がコントロールできる唯一の要素であることから、大型種苗の放流が推奨され、実際に放流種苗は大型化し、それにともない種苗放流数は減少してきた（図4）。種苗を大型化すると、高い回収率が要求される（図10）。このように種苗の体サイズはきわめて重要な要素であるが、種苗の体長、潜砂習性および被食減耗の関係についてはゴンズイを捕食者とした実験例しか見当たらず⁷⁵⁾、十分に解析されているとはいえない。さらに、丹後海における標識放流調査では、回収率は放流体長にともない高くなる傾向がみられたものの、バラツキが大きかった（図13）。種苗の体長、潜砂習性、被食減耗の関係を精査するとともに、放流体長と回収率（定着率）の関係を実験的に、さらには野外における標識放流調査によって明らかにすることも重要な研究課題である。

以上に述べた回収率の向上に係わる研究課題の他に、種苗の遺伝的多様性の問題がある。栽培漁業を推進する上で、人工種苗の遺伝的多様性の低さが天然個体群に与える負の影響が問題視されてきた²¹⁾。Sugaya *et al.*⁸⁴⁾は愛知県、愛媛県、熊本県および鹿児島県からクルマエビを採集し、その集団構造をマイクロサテライトDNAとミトコンドリアDNAのPCR-RFLP分析によって調査した。その結果、一部のサンプルでは放流種苗に由来すると思われる血縁度の高い集団が認められたが、遺伝的に異なる集団構造は認められないと結論付けている。このように今のところ日本周辺海域のクルマエビには遺伝的に異なる集団構造は認められないが、種苗生産に使用する親エビは同じ生活圏の個体群から得るのが望ましい。しかし、クルマエビの種苗生産に使用される親エビの産地は三河湾、紀伊水道、豊後水道、日向灘および橘湾に集中しており^{31, 32, 85)}、放流種苗の遺伝的多様性も把

握されていない。地先から漁獲された天然クルマエビの成熟・産卵の制御技術を開発すること、生産種苗の遺伝的組成を把握すること、また放流を行っている場所では天然集団の遺伝的モニタリングを行うことも課題として残されている。

謝 辞

本論をとりまとめるにあたり、漁獲・種苗放流統計に係わるデータの入手に便宜をはかっていただいた独立行政法人水産総合研究センター栽培漁業部今村茂生理事と同部の久門一紀氏に深謝する。

文 献

- 1) 三宅貞祥 (1982) 原色日本大型甲殻類図鑑 (I). 保育社, 大阪, p. 6.
- 2) 大島泰雄 (1972) クルマエビ種苗放流の生産効果に関する考え方. 協会研究資料 No. 2, 瀬戸内海栽培漁業協会, 神戸, 6 pp.
- 3) 日本栽培漁業協会 (1994) 平成5年度クルマエビ放流事業検討会討議要録. 協会研究資料 No. 60, 日本栽培漁業協会, 東京, 78 pp.
- 4) 日本栽培漁業協会 (2003) 日本栽培漁業協会40年史. 日本栽培漁業協会, 東京, 223 pp.
- 5) HUDINAGA, M. (1942) Reproduction, development and rearing of *Penaeus japonicus* Bate. *Japan. J. Zool.*, **10**, 305-393.
- 6) 橋高二郎 (1971) クルマエビの養殖技術. 「浅海完全養殖」(今井丈夫監修), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 358-422.
- 7) 小畑泰弘 (1995) 栽培漁業種苗生産・放流統計. 栽培資源調査検討資料 No. 11, 日本栽培漁業協会, 東京, 141 pp.
- 8) 平松達夫・多胡信良・寺田和夫 (1967) クルマエビ種苗の放流後における成長分散および漁獲状況について. 福岡豊前水試研報, 昭和41年, 1-20.
- 9) 倉田博 (1972) クルマエビ栽培における種苗とその播殖に関する諸原理について. 南西水研報, **5**, 33-75.
- 10) 種苗放流事業生産効果研究会 (1974) クルマエビ種苗放流の生産効果判定に関する検討事例. 瀬戸内海栽培漁業協会, 神戸, 80 pp.
- 11) 長谷川 彰・石岡清英・外間源治・松山節久 (1975) クルマエビ種苗放流の経済効果. 東海水研報, **83**, 7-23.
- 12) 倉田博 (1976) クルマエビ放流種苗の初期減耗と人工干潟. 「種苗の放流効果—アワビ・クルマエビ・マダイ」(日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 74-82.
- 13) 上北征男 (1976) クルマエビ放流漁場の造成効果. 「種苗の放流効果—アワビ・クルマエビ・マダイ」(日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 83-101.
- 14) 農林水産技術会議事務局 (1979) 浅海域における増養殖場の開発に関する総合研究, pp. 14-111.
- 15) 安永義暢・興石裕一 (1980) 日本海沿岸におけるクルマエビ種苗放流追跡調査上の基礎的考察. 日水研報, **31**, 129-151.
- 16) 安永義暢・興石裕一・田中邦三・赤嶺達郎 (1981) 砂浜性海岸におけるクルマエビ種苗放流時の減耗に関する基礎的考察. 日水研報, **32**, 27-38.

- 17) クルマエビ栽培漁業の手引き検討委員会編 (1986) クルマエビ栽培漁業の手引き. 日本栽培漁業協会, 東京, 306 pp.
- 18) 八柳健郎 (1982) 山口県および周防灘隣接海域におけるクルマエビ種苗放流の生産効果について. 山口内海水試報, **10**, 1-52.
- 19) 山崎明人 (1998) マダイにおける胸鰭変形および鼻孔隔皮欠損による人工種苗放流魚と天然魚識別の有効性. 栽培技研, **26**, 61-65.
- 20) 藤田恒雄・水野拓治 (1990) 福島県沿岸におけるヒラメの漁獲実態からみた放流効果の推定. 栽培技研, **18**, 91-99.
- 21) 北田修一 (2001) 栽培漁業と統計モデル分析. 共立出版, 東京, 335 pp.
- 22) 長崎県水産試験場 (1996) 平成7年度重要甲殻類栽培資源管理手法開発調査報告書 (エビグループ), 長1-長15.
- 23) 宮嶋俊明・豊田幸詞・浜中雄一・小牧博信 (1996) クルマエビ標識放流における尾肢切除法の有効性について. 栽培技研, **25**, 41-46.
- 24) MIYAJIMA, T., Y. HAMANAKA, and K. TOYOTA (1999) A marking method for Kuruma prawn *Penaeus japonicus*. *Fish. Sci.*, **65**, 31-35.
- 25) 寺井千尋・中川浩一・小林 信 (2000) 周防灘におけるクルマエビの移動と成長. 福岡水技研報, **10**, 1-7.
- 26) 寺井千尋 (2001) 豊島干潟に放流された標識クルマエビの産卵. 福岡水技研報, **11**, 7-9.
- 27) 広島県水産試験場・山口県水産研究センター・福岡県水産海洋技術センター豊前海研究所・大分県海洋水産研究センター浅海研究所・宮崎県水産試験場・鹿児島県水産試験場・愛媛県中予水産試験場・高知県水産試験場 (2001) 平成8~12年度放流資源共同管理型栽培漁業推進調査事業総括報告書Ⅱ (瀬戸内海西部ブロック), 1-130.
- 28) 田染博章・能津純治 (1970) 豊後水道におけるクルマエビの研究Ⅱ, 産卵期について. 大分水試調研報, **7**, 1-10.
- 29) 谷田圭亮・池脇義弘・青山英一郎・奥山芳生・野坂元道・藤原宗弘 (2003) 瀬戸内海東部海域における放流クルマエビの移動と成長. 栽培技研, **31**, 25-30.
- 30) 松永 繁 (1973) クルマエビ種苗生産における親エビ使用の現状と問題点. 栽培技研, **2**, 39-49.
- 31) 藤田信一・武野泰之・萩野 昭・野中 忠 (1986) クルマエビ種苗生産に使用される親エビについて. 栽培技研, **15**, 19-25.
- 32) 有明4県 (1997) 平成4~8年度 (総括) 重要甲殻類栽培資源管理手法開発調査報告書 (エビグループ), 有1-有24.
- 33) MINAGAWA, M., S. YASUMOTO, T. ARIYOSHI, T. UMEMOTO, and T. UETA (2000) Interannual, seasonal, local and body size variations in reproduction of the prawn *Penaeus (Marsupenaeus) japonicus* (Crustacea: Decapoda: Penaeidae) in the Ariake Sea and Tachibana Bay, Japan. *Mar. Biol.*, **136**, 223-231.
- 34) 農林水産省統計情報部 (1967~2003) 昭和40年~平成13年漁業・養殖業生産統計年報. 農林統計協会, 東京.
- 35) 阪地英男 (2003) 土佐湾におけるクルマエビ科エビ類の資源生物学的研究. 水研センター研報, **6**, 73-127.
- 36) 水産庁・日本栽培漁業協会 (1980~2004) 昭和57年~平成14年栽培漁業種苗生産, 入手・放流実績 (全国) ~資料~. 日本栽培漁業協会, 東京.
- 37) 土井長之・岡田啓一・石橋喜美子 (1973) クルマエビ環境要因の減耗作用の評価Ⅰ, 西条干潟における環境指標の選抜. 東海水研報, **76**, 37-52.
- 38) 平山和次・玉乃井省吾 (1980) 農薬 MEP, Diazinon のクルマエビ, ガザミ幼生に対する急性毒性. 日水誌, **46**, 117-123.
- 39) 金沢 純 (1992) 農薬の環境科学. 合同出版, 東京, 310 pp.
- 40) 金沢 純 (1979) 農薬と魚介類. 「水生生物と農薬」 (金沢純・田中二良監修), サイエンティスト社, 東京, pp. 3-19.
- 41) 上路雅子・永山敏廣 (2002) 残留農薬. 中央法規出版, 東京, 309 pp.
- 42) 松山節久・尾串好隆 (1973) クルマエビの標識放流試験. 山口内海水試報, **3**, 67-72.
- 43) 中島博司 (1986) 標識実験からみたクルマエビの越冬期中の自然死亡. 日水誌, **52**, 1759-1764.
- 44) 佐々木和之・太刀山 透 (1994) 標識放流からみたクルマエビの移動と成長. 福岡水技研報, **2**, 33-42.
- 45) 倉田 博 (1968) クルマエビの染色標識法について. 水産増殖, **16**, 39-45.
- 46) 田中邦三・中村 勉 (1971) クルマエビの標識について. 千葉水試報, **24**, 145-150.
- 47) 石橋喜美子 (1984) 種苗放流効果の判定に関する統計的研究Ⅰ, クルマエビの放流効果について. 東海水研報, **113**, 141-155.
- 48) 岡本一利 (1993) クルマエビの種苗生産, 中間育成, 漁獲回収過程における効率についての考察. 静岡水試研報, **28**, 29-40.
- 49) 徳田眞孝・上妻智行 (1995) クルマエビの漁獲状況の変化から推察した大型種苗放流の影響. 福岡水技研報, **4**, 33-38.
- 50) 八柳健郎・前川兼佑 (1955) 山口県瀬戸内海における重要生物の生態学的研究, 第8報, 瀬戸内海産クルマエビ *Penaeus japonicus* Bate の生態. 山口内海水試調研業績, **7**, 1-15.
- 51) JEFFERTS, K. B., P. K. BERGMAN, and H. F. FISCUS (1963) A coded wire identification system for microorganisms. *Nature*, **198**, 460-462.
- 52) KNEIB, R. T., and M. C. HUGGLER (2001) Tag placement, mark retention, survival and growth of juvenile white shrimp (*Litopenaeus setiferus* Pérez Farfante, 1969) injected with coded wire tags. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **266**, 109-120.
- 53) OKAMOTO, K. (2004) Juvenile release and market size recapture of the swimming crab *Portunus trituberculatus* (Miers) marked with coded wire tags. in "Stock enhancement and sea ranching: development, pitfalls and opportunities, second edition" (ed. By K. M. LEBER, S. KITADA, H. L. BLANKENSHIP, and T. SVÁSAND), Blackwell Publishing, Oxford, pp. 181-186.
- 54) 長崎県水産試験場 (1995) 平成6年度重要甲殻類栽培資源管理手法開発調査報告書. 長1-長24.
- 55) 豊田幸詞・宮嶋俊明・上家利文・松田裕二・大槻直也 (1997) クルマエビ標識放流における尾肢切除法の有効性についてⅡ, 切除部位別の再生状況. 栽培技研, **25**, 95-100.
- 56) 豊田幸詞・宮嶋俊明・吉田啓一・藤田義彦・境谷季之 (1998) クルマエビ標識放流における尾肢切除法の有効性についてⅢ, 切除時の体長から検討した標識としての有効性. 栽培技研, **26**, 85-90.
- 57) 宮嶋俊明 (1997) クルマエビの尾肢切断判別マニュアル.

- さいばい, 91, 23-27.
- 58) TOYOTA, K., T. YAMAUCHI, and T. MIYAJIMA (2003) A marking method of cutting uropods using malformed regeneration for Kuruma prawn *Marsupenaeus japonicus*. *Fish. Sci.*, 69, 161-169.
- 59) 宮嶋俊明・浜中雄一・竹野巧壘 (1998) クルマエビの放流技術開発—X, 放流効果推定の試み. 京都府海洋センター研報, 20, 41-47.
- 60) 京都府立海洋センター・長崎県水産試験場 (1997) 平成8年度及び平成4年～8年(総括)度重要甲殻類栽培資源管理手法開発調査報告書.
- 61) 京都府立海洋センター・長崎県総合水産試験場・有明4県(1998～2000)平成9年～11年度重要甲殻類管理手法高度化調査報告書.
- 62) 京都府立海洋センター・有明4県(2001～2003)平成12年～14年度資源増大技術開発事業報告書, 地域型中・底層性種グループ(甲殻類).
- 63) 深川敦平・太刀山透・福澄賢二(2001)糸島地区におけるクルマエビの放流効果. 福岡水技研報, 11, 1-5.
- 64) 伊藤史郎・江口泰蔵・中島則久・北田修一(2001)有明海湾奥部におけるクルマエビ人工種苗の放流効果の検討. 栽培技研, 29, 35-43.
- 65) 森川晃・村瀬慎司(2001)有明海島原半島沿岸域におけるクルマエビ人工種苗の放流効果の検討. 長崎水試研報, 27, 9-15.
- 66) 森川晃・伊藤史郎・山口忠則・金澤孝弘・内川純一・皆川恵・北田修一(2003)有明海におけるクルマエビの放流効果. 栽培技研, 30, 61-73.
- 67) 山口忠則・伊藤史郎・北田修一(2003)有明海佐賀県海域におけるクルマエビ標識種苗の再捕尾数の推定と誤差評価. 佐賀有明水研報, 21, 1-5.
- 68) 谷田圭亮・池脇義弘・青山英一郎・奥山芳生・野坂元道・藤原宗弘(2003)瀬戸内海東部海域におけるクルマエビの放流効果. 栽培技研, 31, 31-34.
- 69) 上田拓・伊藤史郎・宮崎孝弘・村瀬慎二・石田祐幸・林宗徳(1999)クルマエビ種苗への標識手法の検討. 福岡水技研報, 9, 75-79.
- 70) 農林水産省統計部(2004)平成14年水産物流通統計年報. 農林統計協会, 東京.
- 71) 宮嶋俊明・浜中雄一・竹野巧壘(1997)クルマエビの放流技術開発—V, 放流種苗の成長について. 京都府海洋センター研報, 19, 46-51.
- 72) 宮嶋俊明・浜中雄一・竹野巧壘(1998)クルマエビの放流技術開発—IX, 初期生残から見た放流場所の検討. 京都府海洋センター研報, 20, 36-40.
- 73) 石岡宏子(1973)クルマエビ人工種苗の生理生態に関する研究. 南西水研報, 6, 59-84.
- 74) 安永義暢(1979)日本海沿岸におけるクルマエビ種苗放流技術開発のための基礎的研究. 日水研報, 30, 67-96.
- 75) 三重県浜島水産試験場(1984)昭和58年度放流技術開発事業報告書クルマエビ類, 三25-三27.
- 76) 飯倉敏弘(1975)クルマエビ稚仔の流れに対する反応と耐性について. 水産増殖, 22, 124-127.
- 77) 石田雅俊(1974)クルマエビ人工生産種苗の潜砂能力, とくに歩脚の障害との関係について. 栽培技研, 3, 11-18.
- 78) 宇都宮正・八柳健郎(1975)クルマエビ種苗生産時に出現する傷害エビについて. 栽培技研, 4, 1-6.
- 79) 柄多哲・中村一彦・山本強・金尾博和・柴田忠士(1985)中間育成時の底質条件を異にしたクルマエビ種苗の歩脚障害と潜砂粒度について. 兵庫水試研報, 23, 49-55.
- 80) 羽野元秀・長野泰三・川西敦(1986)クルマエビ種苗の歩脚欠損と潜砂能力との関連性. 香川水試研報, 2, 31-37.
- 81) 岡田一宏・辻ヶ堂諦・渡部公仁・上谷和功・浮永久(1993)陸上水槽によるクルマエビの中間育成と歩脚障害の回復および進行. 三重水技研報, 5, 35-46.
- 82) 関山博史・森川晃(1994)海面におけるクルマエビの放流前予備飼育の効果. 長崎水試研報, 20, 35-39.
- 83) 城田博昭・浜中雄一(1992)放流初期におけるクルマエビ種苗の減耗について. 京都府海洋センター研報, 15, 25-30.
- 84) SUGAYA, T., M. IKEDA, and N. TANIGUCHI (2002) Relatedness structure estimated by microsatellites DNA and mitochondrial DNA polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphisms analyses in the wild population of kuruma prawn *Penaeus japonicus*. *Fish. Sci.*, 68, 793-802.
- 85) 加治俊二・今泉圭之輔(2003)クルマエビ種苗生産技術～(社)日本栽培漁業協会志布志事業場での取り組み～. 日本栽培漁業協会, 東京, 58 pp.

アワビ類の漁獲変動：エゾアワビの漁獲量と 気候変動および種苗放流の関連について

中村 藍^{*1}・北田修一^{*1}・浜崎活幸^{*1a}・大河内裕之^{*2}

Catch fluctuation in *Haliotis* spp. abalones: annual landings of Ezo abalone *Haliotis discus hannai* in relation to climate oscillation and stock enhancement programs

Ai NAKAMURA, Shuichi KITADA, Katsuyuki HAMASAKI,
and Hiroyuki OKOUCHI

In this manuscript, we have summarized the catch trend in *Haliotis* spp. abalones in Japan, and have placed particular emphasis on the nationwide effects of climate oscillation and hatchery-release programs on catch fluctuation of Ezo abalone *Haliotis discus hannai*. Inshore surface seawater temperature in winter from January to March and the Aleutian Low Pressure Index (ALPI) were examined as explanatory variables for climate oscillation. Recent catches of abalone decreased throughout Japan; however, annual landings of Ezo abalone in the North Pacific region (NPR) tended to increase with winter seawater warming. A negative correlation between catches of Ezo abalone and the ALPI in the NPR was found, but the absolute value of the slope of regression line became small after the initiation of stock enhancement programs for abalones. We postulate that the recent increase in Ezo abalone catches in the NPR was influenced by the increase in survival rate of wild juveniles due to increased winter seawater temperature brought about by regime shift, as well as increased efficacy of recruitment from enhanced population sizes based on stocking programs.

2005年6月6日受理

アワビ類は重要な沿岸漁業資源であり、日本では主にエゾアワビ *Haliotis discus hannai* が寒流域で、クロアワビ *H. discus discus*、メガイアワビ *H. gigantea* およびマダカアワビ *H. madaka* が暖流域で漁獲されている¹⁾。全国のアワビ類漁獲量は、1951年から2001年までの統計資料によると、1970年の6466トンピークに減少を続け、2001年には1982トンを示し過去最低となった²⁾。減少したアワビ類資源の回復を目的として、1970年代後半から人工種苗の放流が全国的に実施されおり、その放流数は年々増加して1996年には全国で3千万個を超えている³⁾。しかし、種苗放流や漁獲規制などの管理努力にもかかわらず、アワビ類の漁獲量は減少を続けている^{1, 4, 5)}。

アワビ類の放流効果をめぐる諸問題のうち最も重要なものの一つは、放流貝の混獲率が大きくなっても総漁獲量が必ずしも増加しないことであり、この要因として三つの仮説が考えられている。一つは、乱獲・密漁による親貝不足である^{6, 7)}。二つ目は、冬季の水温低下による稚貝の生存率の低下が挙げられる⁷⁻¹⁰⁾。これは、水温低下により当歳稚貝の死亡が直接増加すること⁸⁾や稚貝の活性が低下し、被食や波浪等の物理的要因を通して間接的に死亡率が増加すること⁹⁾等によるものと考えられている。三つ目は、放流原因説である⁷⁾。これは、一般に言われている風評を整理したもので、放流貝による天然貝の置き換えと放流貝の遺伝的影響によって漁獲量が減少しているという仮説である。遺伝的影響は、具体的には、

^{*1} 東京海洋大学海洋生物資源学科 〒108-8477 東京都港区港南4-5-7 (Department of Marine Biosciences, Tokyo University of Marine Science and Technology, Konan Minato, Tokyo 108-8477, Japan).

^{*2} 独立行政法人水産総合研究センター宮古栽培漁業センター 〒027-0097 岩手県宮古市崎山4-9-1.

^a 連絡先: hamak@s.kaiyodai.ac.jp

放流員の繁殖成功率が良くないことや放流員同士や放流員と天然員の交雑によって生じた稚員の生存率が低下することが指摘されている。このようにアワビ類の漁獲量減少に係わるいくつかの原因仮説が考えられているが、その漁獲量変動を気候変動と種苗放流に関連させて検討した研究報告はみあたらない。

そこで本研究では、アワビ類の漁獲量と種苗放流統計を道府県別・大海区別に整理するとともに、近年漁獲量が増加に転じている太平洋北区（エゾアワビ）およびその対比としての太平洋南区（暖流系アワビ類）に注目し、初期稚員の減耗要因とされる冬季の水温（1～3月）を中心に漁獲量変動と気候変動および種苗放流の関連を検討した。

材料と方法

漁獲と種苗放流統計 1951年～2001年までの年別のアワビ類漁獲量を漁業・養殖業生産統計年報²⁾から、1977年～2001年までの年別のアワビ類種苗放流数を栽培漁業種苗生産、入手・放流実績（全国）資料³⁾から入手し、道府県別・大海区別にそれら統計値を整理した。なお、種苗放流数はアワビ類で一括して集計した。また、1977年～1979年までの種苗放流量は種苗数と重量で示されている場合があったので、ここでは1980年以降の種苗放流数の統計値を使用することとした。

漁獲量変動、気候変動および種苗放流の関係 漁獲量変動の大的な変化の要因の一つを気候変動と想定して、近年漁獲量が増加している太平洋北区（エゾアワビ）およびその対比として太平洋南区（暖流系アワビ類）をとりあげ、稚員の出現状況を左右すると考えられている冬季の沿岸水温⁸⁻¹⁰⁾の長期的変化を調べた。使用した水温データは海上保安庁から入手し、各県の沿岸表層で2週に1度測定されたものであり、太平洋北区5県（青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県）では1963年～2001年まで、太平洋南区6県（和歌山県、徳島県、愛媛県、高知県、大分県、宮崎県）では1967年～2001年まで毎年1～3月の平均値を算出した。

次に、冬季の太平洋北区の環境と漁獲量との関係を詳しくみるために、北部太平洋の環境に大きな影響を及ぼすといわれているアリューシャン低気圧の強弱の指標（Aleutian Low Pressure Index; ALPI）¹¹⁾と太平洋北区5県の漁獲量との関連を検討した。ALPIは冬季（12月～3月）におけるアリューシャン低気圧1005 hpa以下の面積の平年値からの偏差であり、正の数であれば低気圧が強いことを示す¹¹⁾。ALPIのデータはFisheries and Oceans Canada-Pacific Regionのホームページ^{*3}から入手した。

太平洋北区の中で、岩手県ではアワビ類の漁獲量等に

関する長期データが得られたので、ALPI（1908年～2002年）、岩手県宮古湾における冬季（1～3月）の最低水温（1915年～2002年）および岩手県におけるアワビ類漁獲量（1926年～2001年）の関係を単回帰分析で解析した。さらに、気候変動と漁獲量の関係に及ぼす種苗放流の影響を検討するため、ALPIと漁獲量の関係については、岩手県において種苗放流が行われ始めたと考えられる1977年（付図）の前後で区別して2本の回帰式を推定し、両式の傾きの有意差を共分散分析¹²⁾で検定した。

以上の解析を行うにあたり、ALPIと水温データについては、当歳稚員に与える影響を考慮するため、漁獲物の年齢組成情報に基づいて移動平均をとることとした。宮城県におけるエゾアワビ漁獲対象群の年齢組成は、4歳貝40%、5歳貝33%、6歳貝16%、7歳貝11%の比率によって構成されており¹³⁾、これを太平洋北区での年齢組成とした。漁獲年を*t*年とすると、漁獲物を構成する複数年齢群のふ化年は*t-7*～*t-4*年にあたる。そこで、ALPIあるいは水温の変数を*t-7*～*t-4*年の4年移動平均で表した。一方、長崎県の宇久島におけるクロアワビの漁獲は5歳以上を対象とし、主体は6～8歳群で、全漁獲個体数の70%を占めている¹⁴⁾。これを用いて、太平洋南区の水温は、*t-8*～*t-6*年の3年移動平均で表した。すなわち、変数を*x_t*とすると、太平洋北区では $\bar{x}_t = (x_{t-7} + x_{t-6} + x_{t-5} + x_{t-4})/4$ 、太平洋南区では $\bar{x}_t = (x_{t-8} + x_{t-7} + x_{t-6})/3$ となる。

結 果

漁獲量と種苗放流数 アワビ類の漁獲量と種苗放流数の推移を大海区別に図1に示した。近年のアワビ類の漁獲量は、ほとんどの海区で減少していたが、太平洋北区だけは1990年以降500トン規模で増加に転じていた。また、この現象は太平洋北区全域（青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県）で認められるものであった（付図）。種苗放流数は海区によって異なり、太平洋北区と中区で多く、特に前者では近年1400万個前後もの種苗が放流されている。

漁獲量変動、気候変動および種苗放流の関係 太平洋北区5県のアワビ類漁獲量と冬季沿岸表層水温の推移を図2に示した。水温は4℃前後の幅で変動しており、ここ10年ほどは上昇傾向を示している。水温と漁獲量を照らし合わせると、どの県でも水温と漁獲量の変動は概ね一致しており、近年の水温上昇にともない漁獲量も増加傾向にある。一方、太平洋南区6県の冬季沿岸表層水温をみると、その変動幅は小さいが、北区と同様に近年は上昇傾向を示しており、その上昇幅は平均1.5℃程度である（図3）。しかし、漁獲量は北区とは逆に減少が著しい（図3）。このように、沿岸水温は全国的にここ10年ほど

*3 http://www.pac.dfo-mpo.gc.ca/sci/sa-mfpd/climate/clm_indx_alpi.htm

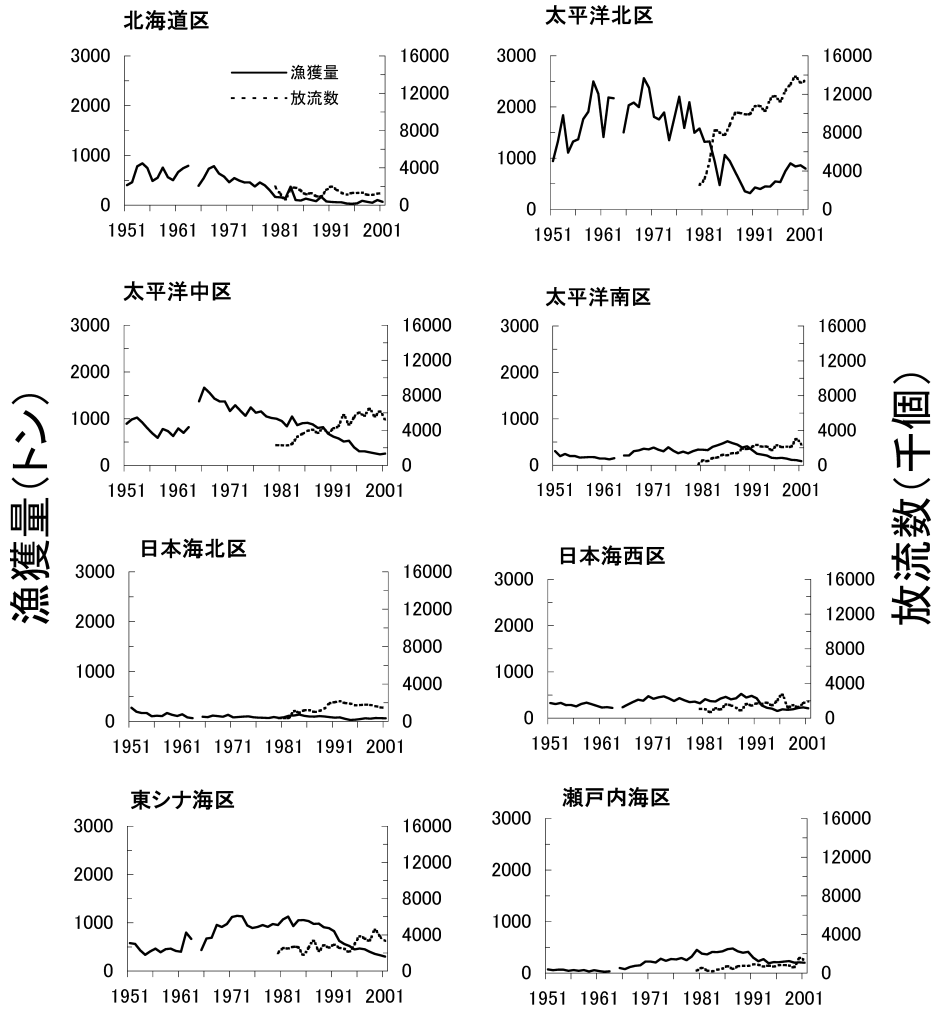


図1. 大海区別のアワビ類の漁獲量と種苗放流数の推移

上昇傾向を示しているが、太平洋の北と南でアワビ類の漁獲量変動が極めて異なっていることが示された。

太平洋北区5県でALPIとアワビ類漁獲量の関係を見ると、ALPIが小さいとき(1953年～1964年, 1971年～1980年)に漁獲量は高水準であるが、ALPIが大きくなる(1981年～1993年)と漁獲量が低水準に遷移する傾向がみられた(図4)。さらに長期の漁獲量データが揃う岩手県についてみると、漁獲量はALPIが大きいとき(1930年～1933年, 1944年～1952年, 1981年～1993年)には減少し、ALPIが小さいとき(1926年～1929年, 1953年～1964年, 1971年～1980年)には増加する傾向がみられた(図5)。両者には有意な負の相関関係($r = -0.592, p < 0.001$)が認められ、アリューシャン低気圧が卓越すると漁獲量が減少することが示唆された(図6)。ここで図6のALPIと岩手県の漁獲量の関係を種苗放流開始前後(1977年)で区別して回帰式を推定すると、放流開始前後とも有意な負の相関関係(放流前： $r = -0.515, p < 0.001$, 放流後： $r = -0.564, p < 0.01$)が認められた(図7)。両回帰直線の傾きを比較すると、データのバラツキが大きいために統計的に有意な差は認められ

なかったものの($p = 0.241$)、傾きの絶対値は放流前の140から放流後の94に大幅に低下していた。

次に、ALPIと宮古湾の最低水温の関連を解析したところ、相関係数は低いものの、有意な負の相関関係($r = -0.239, p < 0.05$)が認められ、ALPIが高くなると水温が低くなる傾向がみられた(図8)。また、宮古湾における1～3月の最低水温と岩手県の漁獲量についても有意な相関($r = 0.436, p < 0.001$)があり、水温が高くなると漁獲量が増加していることがわかった(図9)。

考 察

太平洋北区5県では、アワビ類の漁獲量は近年の冬季沿岸表層水温の上昇にともない増加する傾向がみられ、またALPIが小さいときに高水準で、ALPIが大きくなると低水準に遷移する傾向があった。さらに、ALPIと岩手県の漁獲量および冬季最低水温の間には有意な負の相関関係が認められた。アリューシャン低気圧が卓越すると親潮の南下が強まることが知られている¹⁵⁻¹⁷⁾。したがって、アワビ類の漁獲量変動のメカニズムの一つとし

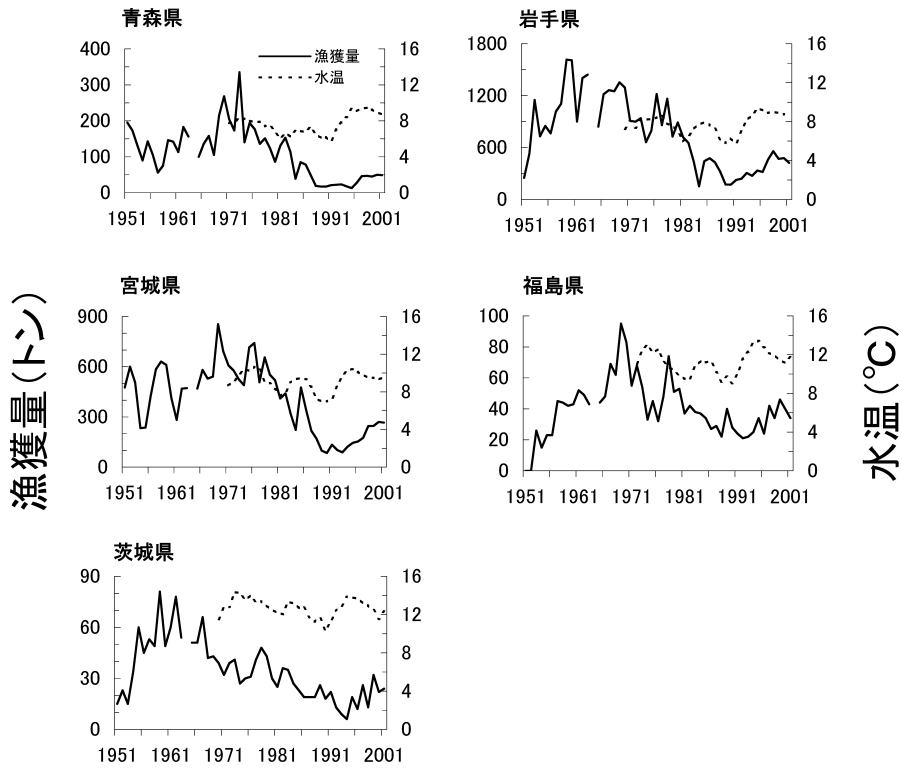


図2. 太平洋北区における冬季沿岸表層水温とアワビ類の漁獲量の推移
 冬季沿岸表層水温は1～3月の平均値を用い、漁獲年から7年～4年前までの4年移動平均とした。

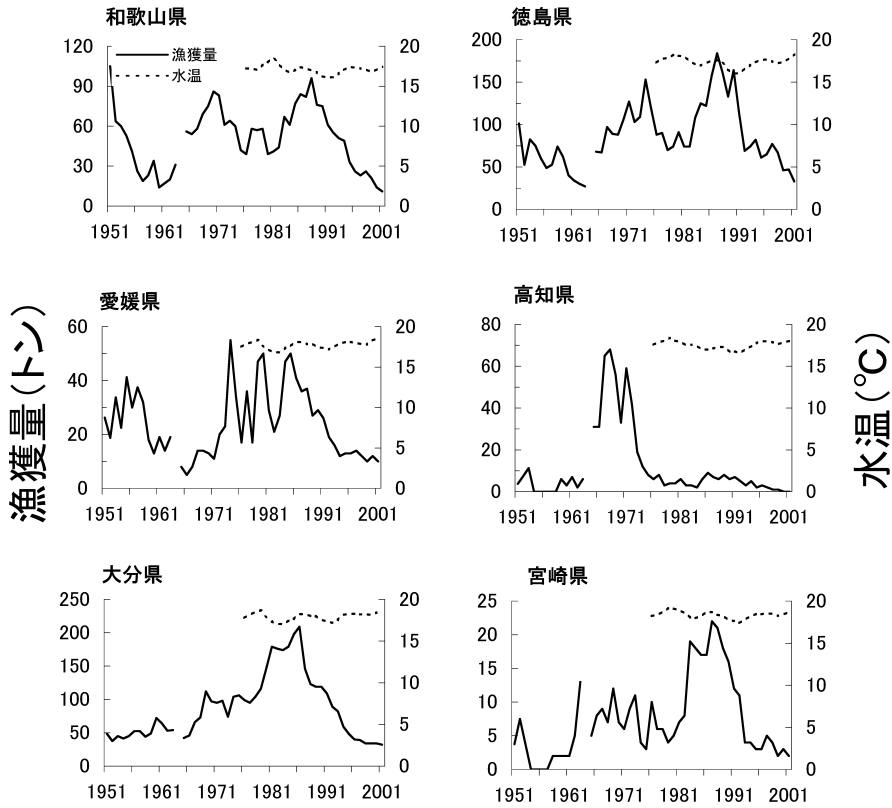


図3. 太平洋南区における冬季沿岸表層水温とアワビ類の漁獲量の推移
 冬季沿岸表層水温は1～3月の平均値を用い、漁獲年から8年～6年前までの3年移動平均とした。

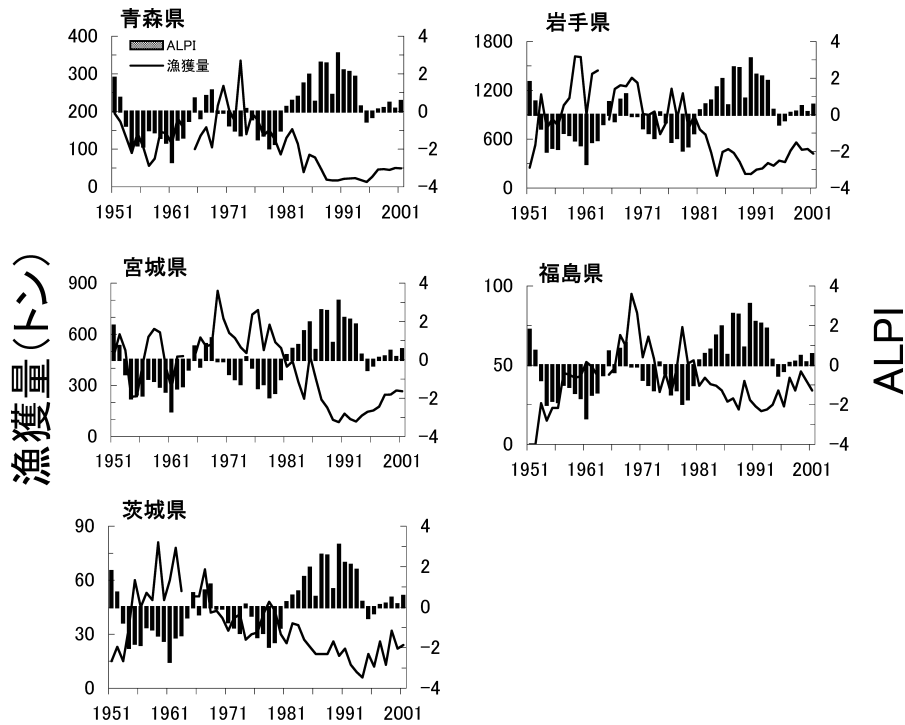


図4. ALPI と太平洋北区5県のアワビ類漁獲量の推移
ALPIは漁獲年から7年～4年前までの4年移動平均とした。

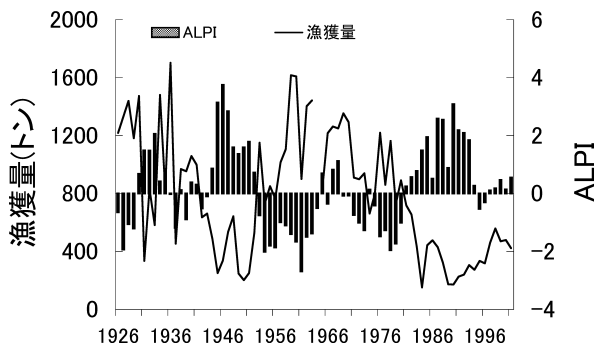


図5. ALPI と岩手県のアワビ類漁獲量の推移
ALPIは漁獲年から7年～4年前までの4年移動平均とした。

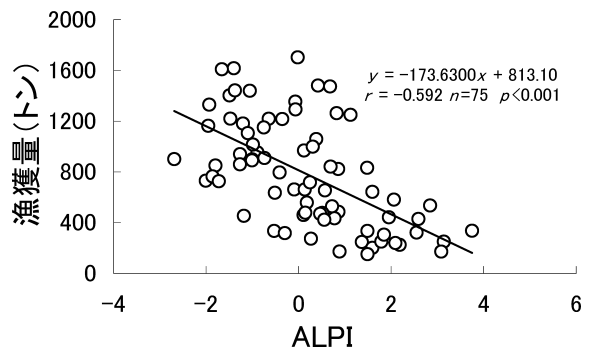


図6. ALPI と岩手県のアワビ類漁獲量の関係
ALPIは漁獲年から7年～4年前までの4年移動平均とした。

て、アリューシャン低気圧が卓越することで、親潮の南下が強まり冬季の最低水温を低下させ、加入量を減少させることが想定される。長期的な気候変動において、例えば暖かい気候から冷たい気候に大きく変化する現象はレジーム・シフトと呼ばれる¹⁸⁾。以上のことから、アワビ類の漁獲量変動はレジーム・シフトの影響を受けていることが示唆される。近年はALPIが小さくなる、すなわちアリューシャン低気圧の勢力が低下する周期にあたっていることが、太平洋北区におけるアワビ類漁獲量の増加をもたらしているものと推察される。

アワビ類の種苗放流数は太平洋北区で多く、近年1400万個前後の種苗が放流されていた。ここで、アワビ類放流種苗の天然資源への混入状況を岩手県山田湾における放流数、天然と放流個体別の漁獲量のデータ^{19, 20)}を用い、天然アワビの漁獲個数と1歳貝を放流し4歳貝を

獲ったと仮定して放流アワビの漁獲個数を算出すると、放流貝が比較的高い割合で資源を構成していることが分かる(図10)。今回、ALPIと岩手県におけるアワビ類漁獲量の関係を種苗放流開始前後で分けて回帰式を求めたところ、両回帰直線の傾きに統計的に有意な差は認められなかったものの、傾きの絶対値は放流前後で大幅に低下していた。このことは、ALPIの漁獲量への影響が種苗放流開始後に緩和されていることを示唆している。このことから、近年太平洋北区でアワビ類漁獲量が増加した原因として、先述したレジーム・シフトによる水温上昇と種苗放流が考えられるが、両者の効果を分離することは困難である。

産卵期に密集し放卵・放精するアワビ類やホタテガイ *Patinopecten yessoensis* などは、Beverton-Holt型の再生産曲線とは異なり、親の個体数が少ないところでは再生産

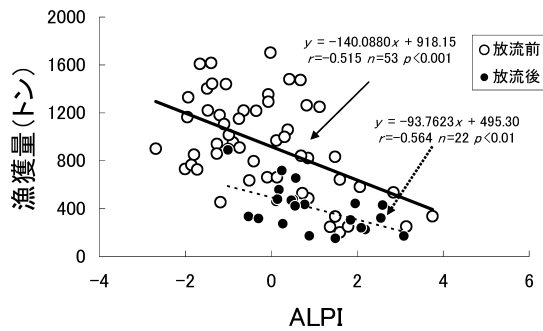


図7. アワビ類の種苗放流開始前後のALPIと岩手県のアワビ類漁獲量の関係
ALPIは漁獲年から7年～4年前までの4年移動平均とした。放流開始前後は1977年で区分した。

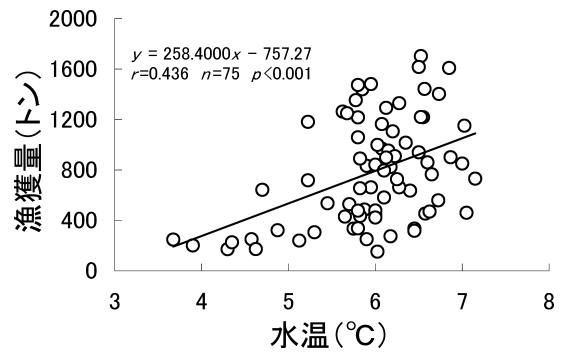


図9. 岩手県宮古湾における冬季(1～3月)最低水温とアワビ類漁獲量の関係
最低水温は漁獲年から7年～4年前までの4年移動平均とした。

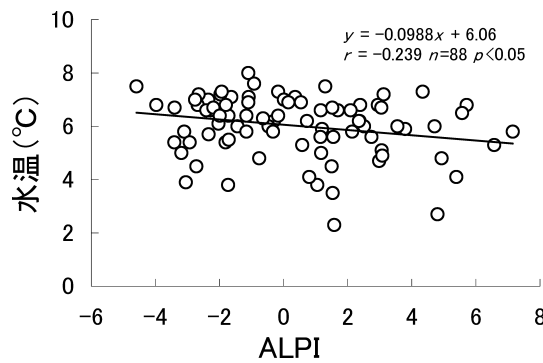


図8. ALPIと岩手県宮古湾における冬季(1～3月)最低水温の関係

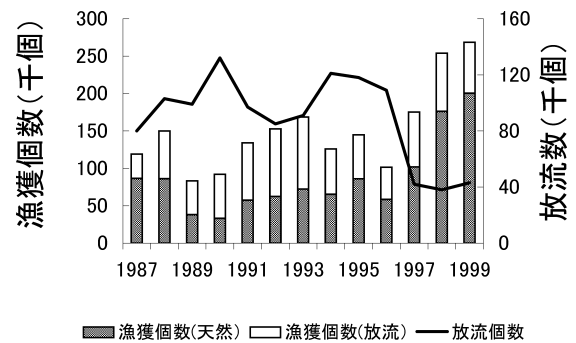


図10. 岩手県山田湾におけるアワビ類の種苗放流数と漁獲個数の推移

の効率が低下することが知られている²¹⁾。これは、親の数が少ないと繁殖成功率が低くなり、加入数が少なくなるため、この状態は **depensation** と呼ばれる²¹⁾。図10でも示されたように岩手県山田湾における放流員の混獲率の実測値は、放流員が確実に資源に加入していることを示しており、太平洋北区では、放流による直接効果に加え、放流によって親の数が増加し、再生産効率が向上した可能性も考えられる。

以上のことより、太平洋北区におけるアワビ類(エゾアワビ)漁獲量の増加は、ここ数年アリューシャン低気圧が勢力低下の周期にあたり、稚貝の生残率の向上につながる冬季水温の上昇が起こっていること、さらに種苗放流による直接効果と再生産効果などの複合的な要因に起因しているものと推察される。一方、太平洋南区の暖流系アワビ類漁獲量の減少要因については不明であるが、エゾアワビと暖流系アワビ類稚貝の水温耐性の違い、乱獲による縮小再生産²²⁾、地球温暖化による海藻群落への影響²³⁾、生息環境の悪化などが要因として想定され、今後他の海区の漁獲量減少要因も含めて精査する必要がある。

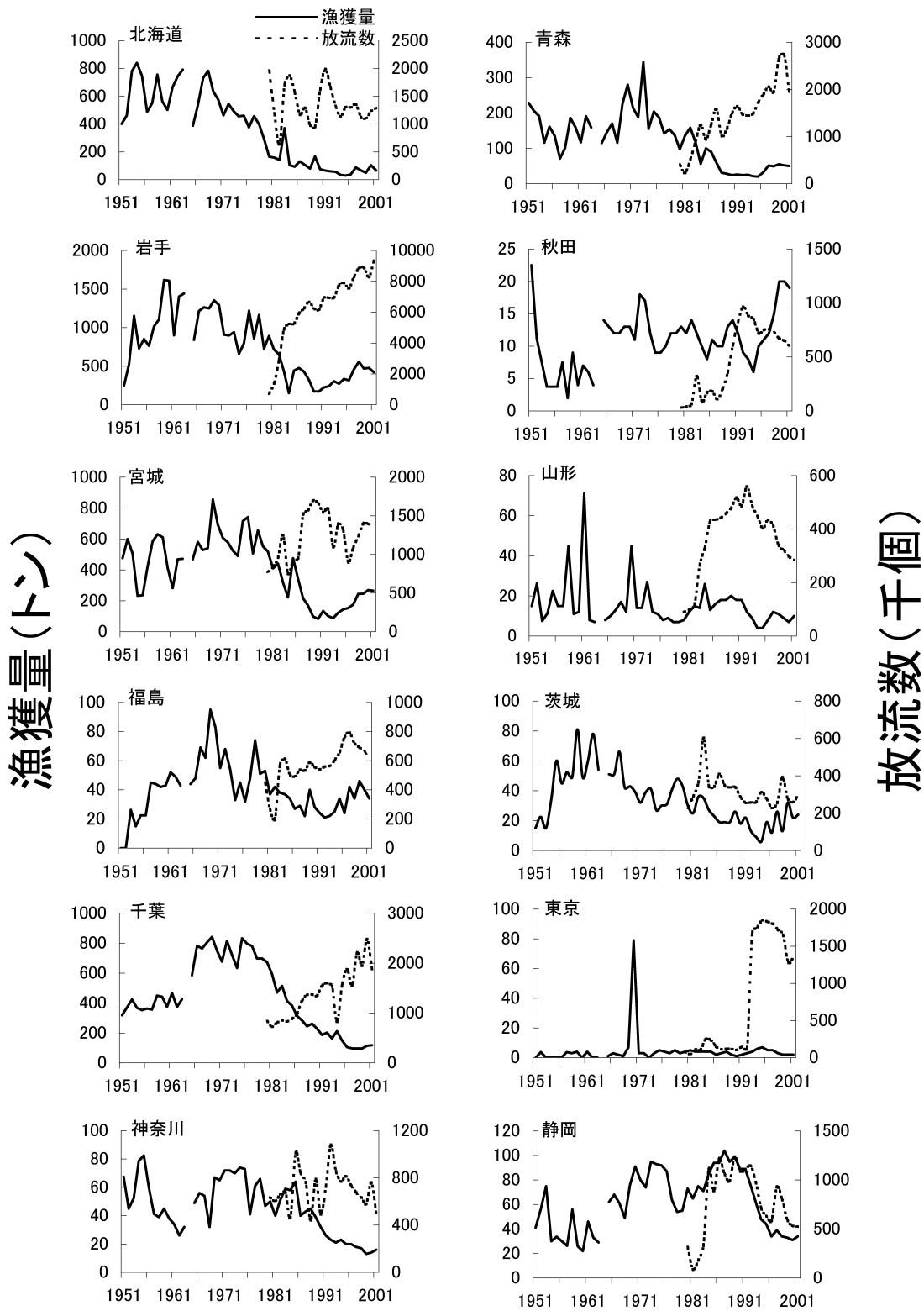
謝 辞

本研究を進める上で、長期のデータが必要不可欠なものであった。海水温のデータを提示していただいた海上保安庁と岩手県水産技術センターの職員の方々に深く感謝申し上げます。

文 献

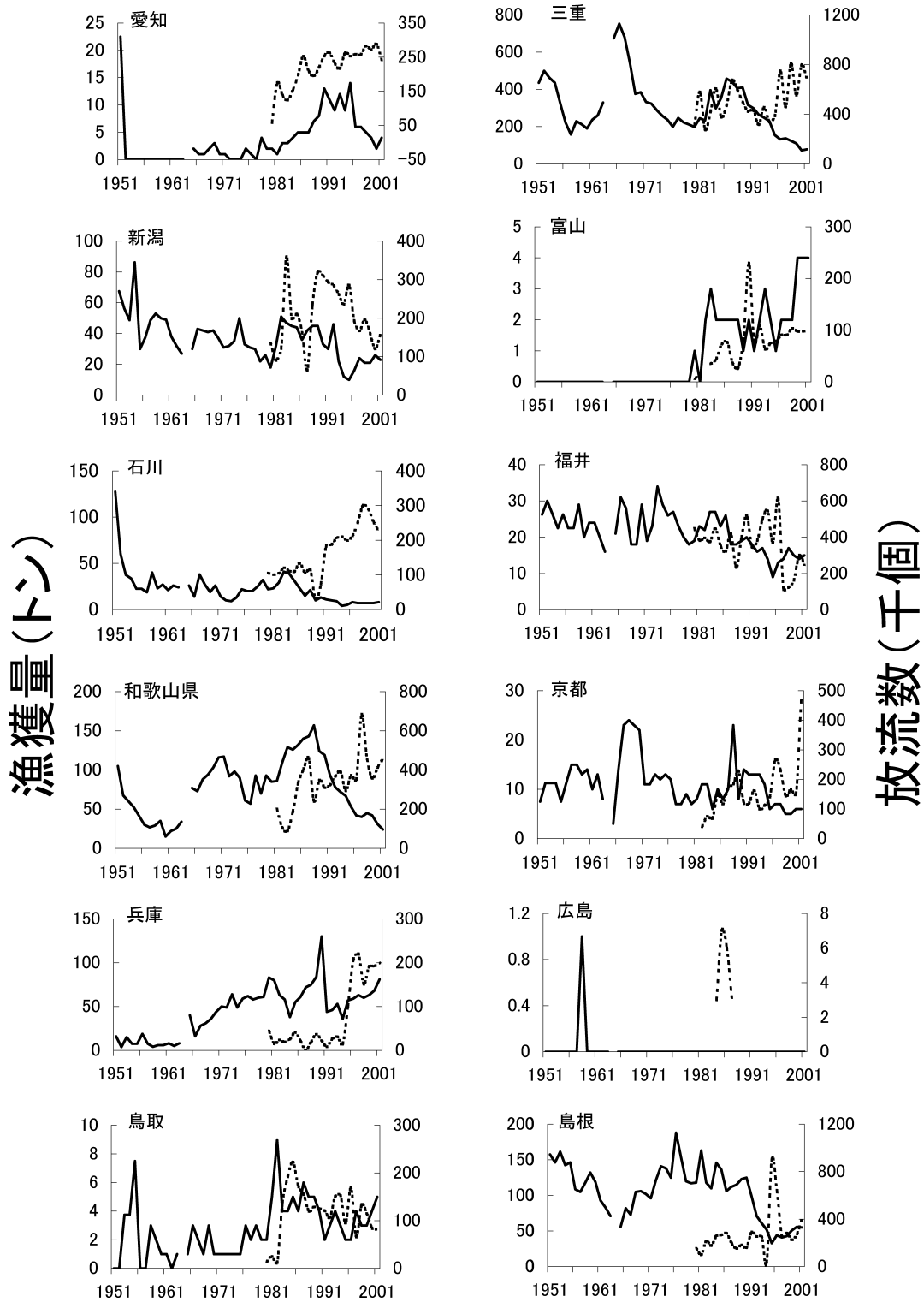
- 1) 河村知彦(2002)アワビ類—資源の現状と研究の動向—。月刊海洋, **34**, 467-469.
- 2) 農林水産省統計情報部(1953～2003)昭和26年～平成13年漁業・養殖業生産統計年報, 農林統計協会, 東京.
- 3) 水産庁・日本栽培漁業協会(1980～2003)昭和57年～平成14年栽培漁業種苗生産, 入手・放流実績(全国)～資料編～, 日本栽培漁業協会, 東京.
- 4) 野中 忠(1995)アワビ漁業の諸問題. 水産増殖研究会報, **9**, 13-25.
- 5) 野中 忠(2000)アワビ減産の概観. 水産増殖研究会報, **26**, 25-29.
- 6) 藤井明彦(2002)長崎県におけるアワビ類資源の現状と問題点. 月刊海洋, **34**, 496-497.
- 7) 北田修一(1998)アワビ類はなぜ増えないか. アクアネット, **12**, 42-45.
- 8) 干川 裕(2000)北海道におけるエゾアワビの資源変動.

- 月刊海洋, **34**, 470-476.
- 9) 西洞孝広 (2000) 岩手県におけるエゾアワビ資源の回復とその要因. 月刊海洋, **34**, 477-481.
 - 10) 渋井 正 (1984) 岩手県におけるエゾアワビの生産変動と諸環境要因との関係. 栽培技研, **13**, 1-20.
 - 11) BEAMISH, R. J., C. E. NEVILLE, and A. J. CASS (1997) Production of Fraser River Sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* in relation to decadal-scale changes in the climate and the ocean. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **54**, 543-554.
 - 12) 北田修一・山田作太郎 (2004) 生物統計学入門. 成山堂, 東京, pp. 122-141.
 - 13) 高橋清孝・雁部総明・佐々木 良 (1987) 宮城県中部沿岸におけるエゾアワビの資源解析. 宮城水試研報, **12**, 42-60.
 - 14) 市来忠彦 (1980) 長崎県宇久島沿岸におけるクロアワビの成長. 長崎水試研報, **6**, 11-21.
 - 15) 日本海洋学会編 (1991) 海と地球環境—海洋学の最前線—. 東京大学出版会, 東京.
 - 16) 見延庄士郎 (2003) 長期変動とレジーム・シフト. 月刊海洋, **35**, 86-94.
 - 17) 杉本隆成 (2003) 気候と低次生産のレジーム・シフト—北太平洋と北大西洋の比較. 月刊海洋, **35**, 147-154.
 - 18) 川崎 健 (1999) 漁業資源—なぜ管理できないのか—. 成山堂, 東京.
 - 19) 内田 明 (1994) 岩手県山田地区におけるエゾアワビの増殖について—I. 栽培技研, **23**, 11-17.
 - 20) 内田 明 (1995) 岩手県山田地区におけるエゾアワビの増殖について—II. 栽培技研, **24**, 1-7.
 - 21) HILBORN, R., and C. J. WALTERS (1992) Quantitative Fisheries Stock Assessment Choice, Dynamics & Uncertainty. Chapman and Hall, New York, pp. 251-252.
 - 22) 柴田輝和 (2002) 千葉県におけるアワビ類資源の現状と回復に向けた取り組み. 月刊海洋, **34**, 489-493.
 - 23) 小島 博 (1994) アワビ栽培漁業の現状と問題点覚え書き. 水産増殖研究会報, **7**, 4-13.

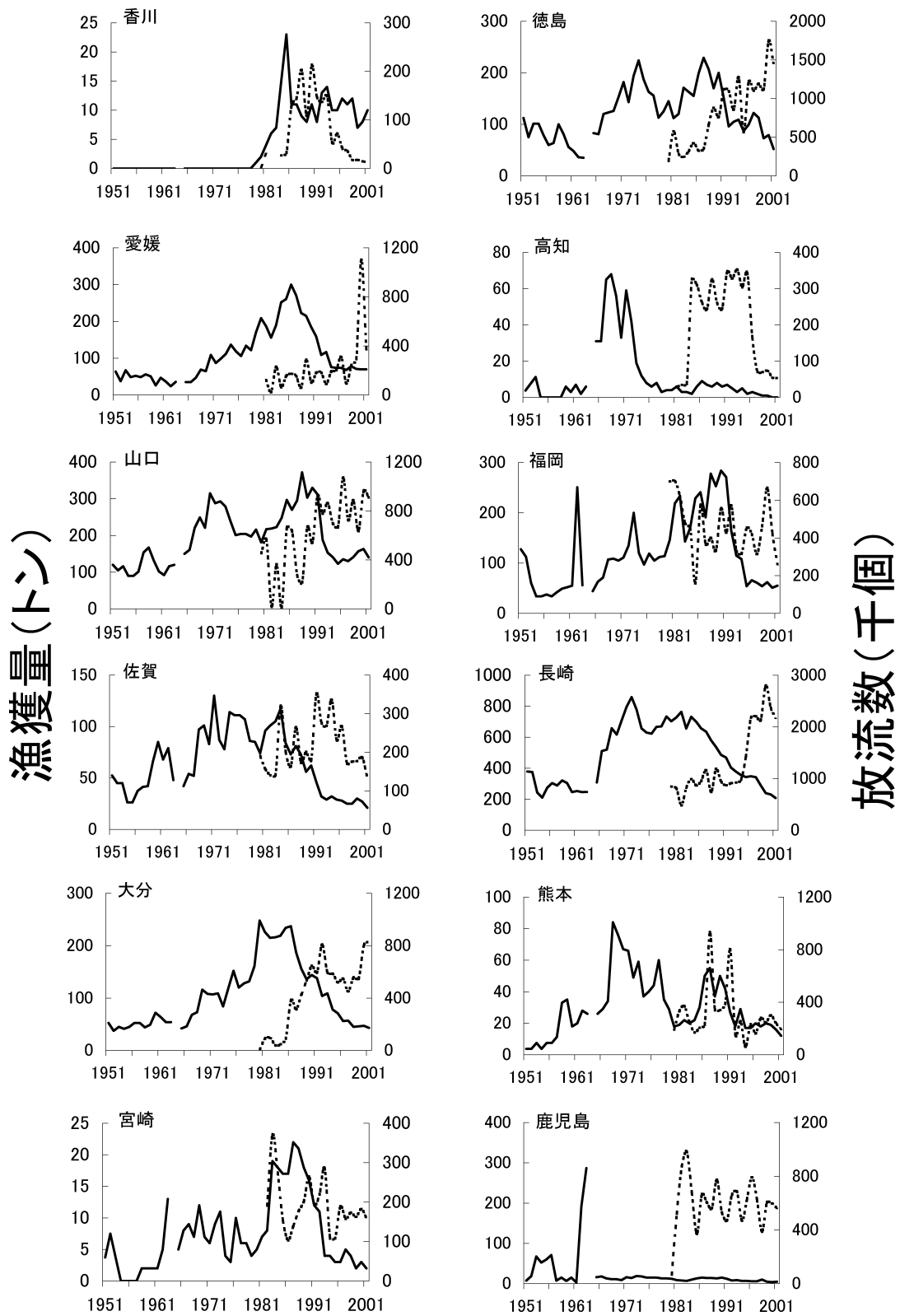


付図-1

付図-1~3. 県別のアワビ類の漁獲量と放流数の推移
2つの海区に所属する県があるが、ここでは海区を区別せずに示した。



付図-2



付図-3

栽培漁業技術開発研究 投稿要領

[投稿の資格]

投稿者は、栽培漁業に関する技術開発および研究に従事するものとする。ただし、編集委員長が特に認めた場合についてはこの限りではない。

[投稿原稿の種類]

報文は原著論文および総説、短報、資料とする。

短報・資料は、論文としてまとまらないが、限られた部分に関する実験結果や、新しい手法など情報として価値があるものや、栽培漁業技術の発展に寄与すると考えられる技術情報等とする。

[投稿原稿]

1. 投稿原稿は和文とする。
2. 投稿原稿は別に定める「原稿の書き方」にしたがって作成する。
3. 投稿原稿は、表題、著者名、所属および所在地、英文表題、英文著者名、英文要旨のあとに、本文、文献、表、図・写真、和文要旨の順に綴る。
4. 原則として、同一著者の同一シリーズの論文は1号につき1編を掲載する。

[投稿の方法]

原稿を投稿する場合には、以下の印刷物の原本（各1部）および原稿を保存した電子媒体を編集事務局宛て送付する。電子媒体での送付が不可能な場合には、原稿の原本1部と写し（コピー）2部および投稿用紙1部を事務局あて郵送するものとする。

- (1) 所定の様式にしたがって作成した原稿
- (2) 投稿用紙（用紙は事務局あて請求のこと）

[投稿原稿の取り扱い]

投稿された原稿は、編集委員会において審査する。内容について再検討を要すると判断された原稿は、コメントを付して著者に返送し、修正を求めることがある。

[著者校正]

誤植防止のため、校正は原則として著者が行う。校正では原則として印刷所のミスによる誤り以外の訂正、変更をしてはならない。

[別刷]

著者が別刷を希望する場合は、著者の実費負担にて印刷する。

[写真]

掲載する写真は原則としてモノクロームとする。著者の希望により編集委員長が認めた場合にはカラー印刷を可とする。

[刊行]

「栽培漁業技術開発研究」は、原則として年2回、4月および10月に刊行するとともに、電子ファイルにて水研センターのホームページに掲載する。

本誌掲載文の著作権は、水研センターに帰属する。

[規程の変更]

この規程は栽培技研編集委員会の承認により変更することができる。

（平成 5年 10月 27日一部改訂）

（平成 13年 6月 18日一部改訂）

（平成 16年 4月 1日一部改訂）

栽培漁業技術開発研究 原稿の書き方

[原稿用紙]

原稿は原則としてワードプロセッサ（パソコン）を用いて作成する。用紙はA4判白紙とし、縦長に置き、上下左右に各2 cm以上の十分な余白を設け、35字×25行の十分に行間をとった横書き形式で、文字の大きさは11あるいは12ポイント、字体は特に指定する以外は明朝体（MS明朝、平成明朝等）で作成する。手書きの場合には、A4判原稿用紙（400字詰）に明瞭な楷書で横書きとする。すべてのページにページ番号を付すこと。

[原稿の長さ]

原稿の長さは、おおむね以下のとおりとする。

短報：刷り上がり2頁程度

その他の報文：刷り上がり10頁を限度とする

ただし、編集委員会が認めた場合、および、編集委員会が特に依頼した総説等の原稿はその限りではない。

[原稿の構成]

投稿原稿は、表題、著者名、所属および所在地、英文表題、英文著者名、英文要旨のあとに、本文、文献、表、図・写真、和文要旨の順に綴る。

[表題]

1. 表題は、論文内容を適切に表現する簡潔な文とし、英文表題を添える。
2. 和文表題では、生物名は原則として和名のみとし、学名は併記しない。
3. 英文表題は、生物名に続けて学名を記入しイタリックで指定する。

[著者名]

英文著者名はローマ字で書き、名 (first name)、姓 (family name) の順とする。姓の最初の文字はキャピタル、2番目以降の文字はスモールキャピタルで指定する。

連名の場合、和文著者名では中点「・」で、英文著者名では「,」と「and」で連ねる。

(例)

ヒラメの成熟に及ぼす水温の影響について

鈴木一郎*¹・山田二郎*¹・田中三郎*²

Effect of Water Temperature on the Maturation of the Flounder *Paralichthys olivaceus*

Ichiro SUZUKI, Ziro YAMADA, and Saburo TANAKA

[所属および所在地]

和文著者名の右肩にアスタリスク「*」（ただし共著者のある場合には*1, *2, …）を付けて指定し、本文第1頁の下段に脚注として記載する。第一著者は所属する機関名とその住所を和文と英文で記載し、第二著者以下については、所属機関名と住所を和文で記載する。

(例)

*¹ 独立行政法人水産総合研究センター 八重山栽培漁業センター 〒907-0451 沖縄県石垣市桴海大田148 (Yaeyama Station, National Center for Stock Enhancement, FRA 148, Fukaioota, Ishigaki, Okinawa 907-0451, Japan).

*² 独立行政法人水産総合研究センター 八重山栽培漁業センター 〒907-0451 沖縄県石垣市桴海大田148

[要旨]

要旨は和文と英文を併載する。

和文要旨はA4判用紙に横書きで作成し、表題、著者名を含めて300字以内とする。

英文要旨はA4判用紙に横書きで作成し、表題、著者名を除いて200語以内とする。

[本文の構成]

1. 原著論文の場合、本文の記載は、原則として、まえがき、材料と方法、結果、考察、要約（必要な場合）、文献の順序に従う。
2. 原著論文以外の報文は、方法、結果、考察など項目に細分しなくてもよい。
3. 見出しは左寄せで記載しゴシック指定を行う。ただし、まえがきの見出しは付けない。
4. 材料と方法や結果の項等の小見出しはゴシック指定を行い、番号は付けず、本文は追い込みとする。さらに細分化した見出しが必要な場合には、番号を、1., 2., …, (1), (2), …, 1), 2), … の順に使用して区分する。A, B, は用いない。番号および小見出しは並字で記載する。この場合も本文は追い込みとする。

(例)

材料と方法

親魚の飼育 採卵に用いた親魚は、20〇〇年〇月〇日に…

1. 餌料 親魚用の餌料としてイカナゴ、イワシ、などの鮮魚と配合飼料を…
- 1) 配合飼料 市販の配合飼料を…

[文 献]

1. 引用した文献は、引用順に連番号を付ける。本文中では以下の例のように肩付き番号(上付き文字で指定する)で示し、「田中(1993)は…」のような引用は行わない。著者が複数の場合、2名までは姓を連記し、3名以上の場合には筆頭著者の姓に「ら」または「*et al.*」を付けて示す。
2. 外国語の文献を引用する場合は、著者名はキャピタル・スモールキャピタルで指定する。
3. 句読点の箇所に引用番号を付ける場合には、句読点の前に付ける。

(例)

田中^{1,2)}は…、…が知られている³⁻⁶⁾。
鈴木ら⁷⁾は…

GULLAND⁸⁾は…

4. 文献のリストは、本文の末尾にまとめて引用番号順に記載する。
5. 雑誌に掲載された論文を引用する場合は、以下の例に示すように、引用番号、著者名、年、表題、雑誌名、巻、ページの順に記載する。雑誌名は、慣用法に従って略記する。巻数はゴシックで指定する。欧文雑誌から引用する場合、雑誌名はイタリックで指定する。
6. 単行本から引用する場合は、引用番号、著者名、年、書名、出版社、出版地、ページの順に記載する。
7. 文献リストでは、著者が3名以上の場合でも著者名は全て記載する。また、同一著者や同一題名が続く場合にも「-」のように省略しない。
8. 事業報告書等で、著者名が明示されていない文献から引用する場合には、引用番号、報告県名(機関名)、年、報告書、ページの順に記載する。

(例)

・雑誌の場合

- 1) 吉村研治・宮本義次・中村俊政 (1992) 濃縮淡水クロレラ給餌によるワムシの高密度大量培養。栽培技研, **21**, 1-6.
- 2) NOGAMI, K., and M. MAEDA (1992) Bacteria as biocontrol agents for rearing larvae of the crab *Portunus trituberculatus*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*,

49, 2373-2376.

・単行本(引用箇所が1カ所の場合)

- 3) 田中昌一 (1985) 水産資源学総論. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 181-183.

- 4) GULLAND, J. A. (1983) *Fish stock assessment*. Wiley, New York, pp. 83-96.

・単行本(同一の本から複数カ所を引用している場合)

- 5) 田中義麿・田中 潔 (1980) 科学論文の書き方. 裳華房, 東京, 365 pp.

- 6) COCHRAN, W. G. (1977) *Sampling techniques*. Wiley, New York, 428 pp.

・単行本(複数の論文を集めた本の中の1編を引用する場合)

- 7) 廣瀬慶二 (1992) 最近の成熟・産卵制御法. 「海産魚の産卵・成熟リズム」(廣瀬慶二編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 125-137.

- 8) ALLENDORF, F. W., and N. RTMAN (1987) Genetic management of hatchery stocks. in "Population genetics & fishery management" (ed. by N. RYMAN, and F. UTTER), Univ. of Washington Press, Seattle, pp. 141-160.

・事業報告書(著者名が明示されていないもの)

- 9) 茨城県 (1992) 平成2年度放流技術開発報告書, 太平洋ヒラメ班. 茨 21-茨 63.

- 10) 海洋水産資源開発センター (1992) 平成2年度沖合漁場総合整備開発基礎調査, 日本海大和推海域(本文編). 216 pp.

9. 私信, 未発表(投稿中は除く)や学会講演, シンポジウム要旨, 修士論文などは文献の項には記載しない。必要なら引用箇所に上付き指定でアスタリスク(※, ※1, ※2…)を付け, 脚注とする。

[図・写真・表]

1. 投稿原稿に添付する原図は、そのまま印刷可能なものを原則とする。ただし、図の説明や数字、記号は原図コピーに鉛筆書きしたものでもよい。
2. 図、写真、表の原稿は、本文とは別葉とし、挿入箇所を本文原稿中の右の欄に赤字で指定する。
3. 図、写真、表の原稿の大きさは、A4判を超えないことを原則とする。刷り上がり時の大きさは、横幅が16 cmまたは8 cmとなるので、縮小率または刷り上がり時の大きさを必ず明記する。
4. 図、写真、表には番号と和文の説明文を付ける。
5. 図、写真の番号および説明文は、「図 1. …」、「写真 1. …」として原図の下部に直接記入する。表の番号および説明文は、「表 1. …」として表の原稿の上部に直接記入する。

[脚注]

脚注は、1カ所なら $\text{\textcircled{*}}$ 、複数箇所の場合は連番号を使用し、 $\text{\textcircled{*1}}$ 、 $\text{\textcircled{*2}}$ のように上付きで指定して関連頁の下段に入れる。

[文字]

- 下記のとおり赤字で字体の指定を行う。
イタリック：abcd、abcd → *abcd*
ゴシック：abcd、abcd → **abcd**
スモールキャピタル：ABCD → ABCD
キャピタル：abcd、ABCD → ABCD
キャピタル・スモールキャピタル：
abcd、ABCD → ABCD
上付き： $m\sqrt{}$ 、 $m\sqrt{}$ → m^2
：山田 $\sqrt{}$ 、山田 $\sqrt{}$ → 山田¹⁾
下付き： $O\hat{}$ 、 $O\hat{}$ → O_2
- 数式の上付き、下付きの記号、およびギリシャ文字は明瞭に指定する。

[生物名]

生物名は標準和名をカタカナで書く。学名を入れる場合には本文中の初出の箇所に記載し、イタリックで指定する。原則として命名者名を省略する。

[電子ファイル原稿の提出要領]

- 提出する電子媒体は、3.5 インチフロッピーディスクまたは3.5 インチ MO ディスク（容量 640 MB 以下）または CD-R ディスクとする。
- フロッピーディスクおよび MO ディスクは MS-DOS フォーマットとし、CD-R ディスクは ISO9660 フォーマットとする。
- 原稿は、Windows あるいは Macintosh の MS Office や一太郎で投稿することが望ましい（その他対応ソフトウェアは表 1 を参照のこと）。文字化けなどトラブル時の内容確認のためにテキストファイルも同時に提出すること。どうしても表 1 に掲載したソフトウェアのファイルで投稿できない場合はテキストファイルのみを提出すること。
- 写真などの画像を電子ファイルで入稿する際には、必ず別ファイルとすること。また、300 dpi 以

上の TIFF か EPS ファイルとすること。JPEG も可能であるが、破壊的圧縮方法であることに留意すること。また、色再現性を高めるために、オリジナル写真、版下あるいはプリントアウトしたもの

- を必ず添付すること。
- 日本語は全角を、英数字、小数点および斜線は半角を使用する。英文要旨や図表に全角特殊記号（÷, 凸, ∴, ♀, °C, ¥, ☆, ©, △, →, ※, ℓ など）を使用しない。
 - 改行マークは文章の段落の区切りのみに使用する。
 - スペースキーは英単語などの区切りにだけ使用し、文献などの字下げには使用しない。
 - 電子媒体を郵送する際には、ラベルに整理番号、連絡者氏名、原稿の表題、ファイル名、および原稿作成に使用したソフトウェアを明記する。ラベルが使用できない場合は別紙に明記し、電子媒体に同封して郵送すること。
 - 電子媒体の郵送に際しては、物理的な破損を防ぐために丈夫なケースで保護すること。
 - 提出する電子ファイルはバックアップコピーをとり、印刷終了時まで著者の手元に保管する。

表 1. 電子ファイル投稿時の推奨ソフトウェア

プラットフォーム	ソフトウェア
Windows	MS Office, 一太郎, Illustrator, 花子, CorelDraw
Macintosh	MS Office, 一太郎, Illustrator

[その他]

その他の記載様式は、栽培技研の最新号に記載された論文を参照する。

(平成 5 年 4 月 14 日一部改訂)
(平成 5 年 10 月 27 日一部改訂)
(平成 6 年 4 月 21 日一部改訂)
(平成 8 年 4 月 22 日一部改訂)
(平成 10 年 12 月 21 日一部改訂)
(平成 13 年 6 月 18 日一部改訂)
(平成 16 年 4 月 1 日一部改訂)