

日本海

リサーチ & トピックス

2013年 8月 第13号



着底前のアカアマダイ浮遊期稚魚（飼育個体，全長15mm，日齢40日）

編集 日本海区水産研究所



独立行政法人
水産総合研究センター

目 次

若狭湾西部におけるアカアマダイ浮遊期仔稚魚の出現・分布 井関智明・上原伸二・八木佑太（資源管理部 沿岸資源グループ）	3
日本海沖合域におけるズワイガニ属メガロパ期幼生の分布特性 本多直人（資源環境部 海洋動態グループ）	7
シオミズツボウムシ（S型）の閉鎖循環式連続培養法の開発 手塚信弘（資源生産部 初期餌料グループ） 森田哲男（瀬戸内海区水産研究所 増養殖部 閉鎖循環システムグループ）	11

表紙の解説

着底前のアカアマダイ浮遊期稚魚（飼育個体，全長15mm，日齢40日）

アカアマダイはふ化後40～50日程度の浮遊期を経た後，主として水深60～100mの海底に着底し，まもなく巣穴生活を開始する。この浮遊期間中の生き残りは資源変動に大きな影響を与える。日本海区水産研究所では若狭湾西部をモデル海域として，仔稚魚期を対象とした生態調査と漁獲データの解析等により仔稚魚から親魚までの分布，移動，加入特性などを把握し，資源診断の基礎資料とするための研究を行っている。

若狭湾西部における アカアマダイ浮遊期仔稚魚の出現・分布

井関智明・上原伸二・八木佑太（資源管理部沿岸資源グループ）

はじめに

アカアマダイは主として水深50~100数十メートルの海域で底生生活を行う沿岸性魚類であり、釣・はえ縄のほか、漕ぎ刺網、底びき網等、さまざまな漁業種類の対象種となっている。古くから京料理の高級食材として珍重される「若狭ぐじ」に代表されるように、とりわけ日本海沿岸では注目度、重要度が特に高く、各地で漁業関係者らによるブランド化も推進されている。また、近年、日本海区水産研究所（宮津庁舎）等により人工種苗生産技術がほぼ確立され、万単位での安定的な生産が可能となったことから、マダイ、ヒラメに次ぐ新たな栽培漁業対象種としても注目を集めており、若狭湾西部、島根県、山口県沿岸等で放流技術開発が進められている。

本種は重要な漁獲対象種であることから、年齢と成長・成熟・産卵・分布・食性などの基礎的な資源生態や、銘柄別の漁獲量データによる資源量の推定など、漁獲物から得られるデータを用いた研究事例（清野ら1977a, 清野ら1977b, 林1985, 安達, 石田2002, 尾崎ら2008など）は少なくないが、一方で初期生活史に関する情報は極めて限定的で断片的な採集事例があるに過ぎない（沖山1964, 木下ら1997, 河野, 天野2008）。

日本海区水産研究所では、研究課題「日本海砂浜・陸棚資源の診断手法の開発と変動要因の解明」の対象種として、日本海西部（若狭湾西部）海域のアカアマダイを取り上げ、仔稚魚期を対象としたフィールド調査と漁獲データの解析等により、資源診断のための基礎資料となる仔稚魚から親魚までの分布、移動、加入特性などを把握するための研究を行っている。ここでは、それらのうち浮

遊期仔稚魚の出現、分布調査について紹介する。

なお、アカアマダイの初期生活史に関する数少ない研究事例の中では、1962年10~12月に当所の漁業調査船「みずほ丸」による三角中層稚魚網を用いた調査で、佐渡海峡より得られた浮遊期仔稚魚23個体が初めてアカアマダイと同定され、日本海区水産研究所研究報告に記載されたのが最初であるから（沖山1964）、研究対象としてのアカアマダイ仔稚魚というのは、当所と大変、縁の深い存在であると言える。

調査の概要

調査では京都大学フィールド科学教育研究センター舞鶴水産実験所の協力のもと、同実験所の実習調査研究船「緑洋丸」（18トン）を使用した。若狭湾西部の水深40~100mの海域において、2010年9~11月（Stn.0~4の5定点）および2011年7~10月（Stn.0~6の7定点）の各月1回、浮遊期仔稚魚採集を実施した（図1）。

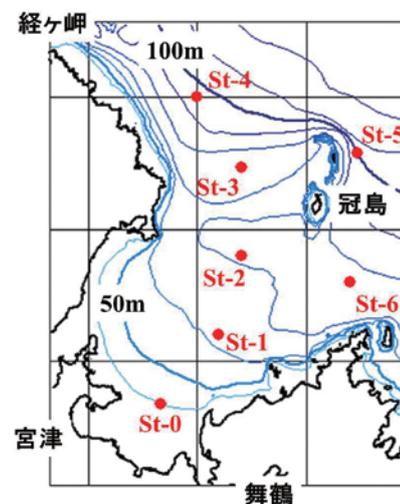


図1 調査海域

2010年の調査では口径80cm, 目合い0.33mmのボンゴネットを使用し, 10分間の傾斜曳(海底直上から)および水平曳(40m層, 40m深のStn.0では20m層)を実施した。なお同海域におけるアカアマダイの産卵期は7月から10月, その盛期は9, 10月とされている(清野ら1977a)。このため手探り状態であった2010年の調査は, より多くの浮遊期仔稚魚が分布するであろう産卵盛期以降に設定し, また曳網方法についても全層をカバーする海底直上からの傾斜曳と, 過去の知見(沖山1964, 木下ら1997)から有力と考えられる40mまたは20m層の水平曳(ただし網口開閉装置等は使用していないため, 入, 揚網時は設定層以外を曳網していることになる)を併用した。

2010年の調査の結果, 次章に示す通り, 多くのアカアマダイ浮遊期仔稚魚が採集されたが, いくつかの課題も見つかったため, 翌2011年には調査漁具を口径160cm, 目合い0.33mmのORIネット, 曳網方法を10分間の傾斜曳(50m層から, 40m深のStn.0では海底直上から)に変更し, 産卵期間を網羅した調査を実施した。

これまでに得られた結果

2010年には計171個体, 2011年には計109個体のアカアマダイ浮遊期仔稚魚が採集された。本種の浮遊期仔稚魚は, ふ化後間もないごく未発達な時期を除けば, 頭部骨質突起および体表微小棘が発達しており, 一見して「とげとげ」しているのが特徴的である(図2)

採集月ごとの出現状況を見ると, 2010年は調査開始月である9月から, 2011年は8月からアカアマダイ浮遊期仔稚魚が採集され, 両年とも出現盛期は10月であったが, 11月(2010年)にはほとんど採集されなかった(図3)。なお2010年に行っ

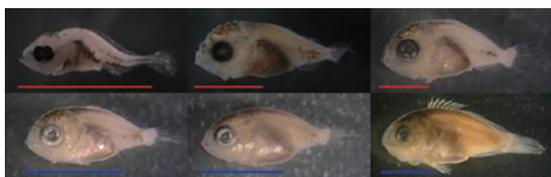


図2 採集されたアカアマダイ浮遊期仔稚魚(赤バーは2mm, 青バーは5mm)

た海底直上からの傾斜曳と40m層あるいは20m層(Stn.0)の水平曳の採集結果の間ではほとんど違いは見られなかったため, 図4, 図5の2010年の結果は両曳網による採集個体を合わせた値で示した。ただし, 今回の結果はアカアマダイ浮遊期仔稚魚の鉛直分布に関して何ら情報を与えるものではないため, その点については網口開閉装置等を用いた, より厳密な調査が必要である。

採集個体の全長組成を見ると, 2010年では, ふ化後間もないと考えられる全長3mm未満の個体が全体の約50%, 全長6mm(飼育下ではふ化後3週間程度)未満の個体が約95%を占めており, 11月に採集された全長9.0mmの個体が最大であった(図4)。稚魚期に達した全長10mm以上の浮遊個体の採集例が過去に1例(1個体)しかないことや(沖山1964), これまでの知見(河野, 天野2008)から考えても, 採集個体の大半が小型の仔魚であることは, アカアマダイ浮遊期仔(稚)魚の採集状況としては珍しいことではない。しかし, より大型の仔稚魚を採集することは成長に伴う移動, 着底過程や着底海域の解明の上でも重要なことであるので, このような, 相対的には遊泳力が高くなった個体の網口回避を軽減するため, 翌2011年には網口がより大きいORIネットを使用した。結果としては2011年の採集個体も, 全長3mm未満が約35%, 全長6mm未満も約85%と, 前年ほどではないものの小さな個体の割合が高かったが, 10月には稚魚期に達した全長14~15.6mmの2個体も含め, 前年はほとんど見られ

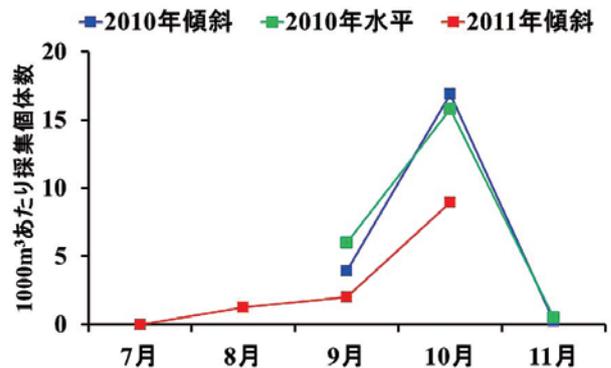


図3 各年の出現動向(全定点平均の濾水量1000m³あたり採集個体数)

なかった全長7mm以上の個体も採集されたことから(図4), 調査漁具の変更による一定の効果があつたものと考えられる。

次に出現盛期である10月の定点ごとの採集結果を比較すると, 図中の数字で示した分布密度(濾水量1,000m³あたりの採集個体数)が高い定点では, 両年ともふ化後間もないと考えられる全長2mm台の個体の割合が高くなってはいたが, 分布密度と定点の水深に特に関係は見られず, 分布密度の高低の傾向も両年の間で異なっていた。また同様に採集個体の全長組成も定点の水深との間に特に関係は見られず, 両年の傾向も異なっていた(図5)。

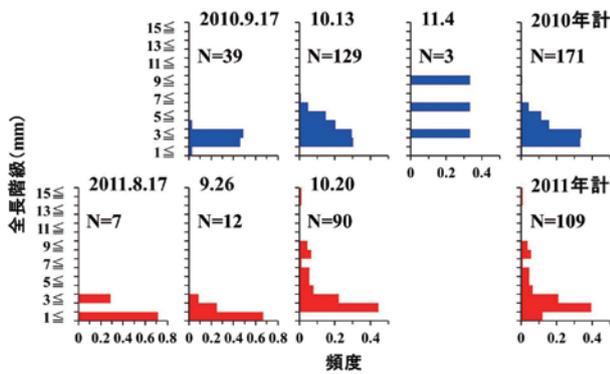


図4 採集日ごとの全長組成(全定点計)
 ※飼育実験下でアカアマダイふ化仔魚の全長は2.2mmとされているが, 固定による収縮等により2mm弱(1mm台)に区分される個体が見られた。

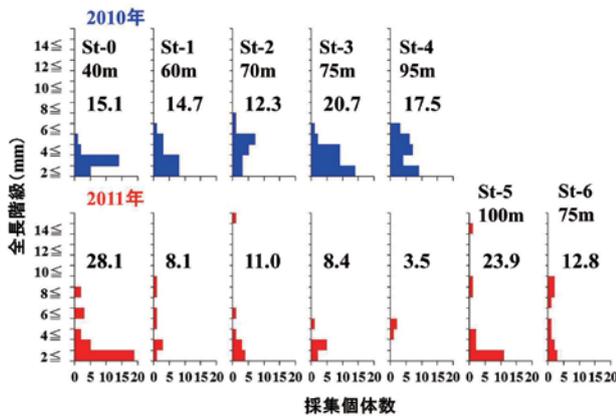


図5 10月(出現盛期)における定点ごとの採集状況
 ※各グラフ上の数値は濾水量1000m³あたり採集体数

2011年10月に採集された全長15mm前後の稚魚は, 飼育下ではあと5~7日程度で着底する, 着底直前の個体であるので, 今後, このような個体が特定の水深帯で多く採集されるようなら, その水深帯が有力な着底海域となっていると言えるかもしれない。しかし, ここまでの結果からは, ふ化後間もない個体も, このような着底直前の稚魚も含めたより成長した個体も, ある特定の水深帯に多いといった傾向は見られない。このことについて親魚の分布との関係から若干の考察を試みる。若狭湾西部海域におけるアカアマダイの漁場は周年, 水深60~100mの水深帯が主となっており, 産卵期には漁獲量が多くなるものの, 特定の水深に漁獲が集中するといったことはないようである。つまり, 産卵場については, この水深帯が広く利用されていると考えることが出来る。一方, 着底海域については, 桁網による調査が可能なStn.4付近(水深90~100m)では着底稚魚(図6)の採集実績があるものの, その全容については明らかではない。ただし, 幼魚(1歳魚が主, 一部, 当歳魚を含む)については漁場と同じ水深60~100m, 特に60~80mで多く採集されており(京都府立海洋センター2000), また, 飼育実験から本種は着底直後から海底に巣穴を掘って生活し(竹内ら2009), 定着性が強いとされる。これらことから着底海域も幼魚や成魚(漁場)の分布と全く同じ水深60~100mに広がっていると考えられる。すなわち, 若狭湾では浮遊期のスタート地点とも言うべき産卵場と, ゴール地点とも言うべき着底海域の水深帯が重なっており, 結果として, その途中の段階である浮遊期仔稚魚の分布密度や採集個体の全長組成と各定点の水深との間には, 何ら関係が見られないのかもしれない。

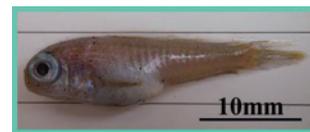


図6 水工研II型桁網により採集されたアカアマダイ着底稚魚(2011年11月11日, Stn.4付近にて)

おわりに

先述の通り、アカアマダイは水深60m以深の海底に全長20~25mmで着底した後、間もなく巣穴生活を開始するため、底びき網や桁網等の調査漁具で着底稚魚や幼魚を定量的に採集することは極めて困難である。このため、若狭湾西部における各年級群の多寡を推定するための指標として、最小銘柄である「しゃりぐじ」(体長20cm前後、雄で2~3歳、雌で3~4歳が主)の漁獲より早い段階で定量的なモニタリングが可能なデータは、浮遊期仔稚魚の分布密度に限られる。本研究により若狭湾西部におけるアカアマダイ浮遊期仔稚魚の出現、分布状況の概要が明らかになったことは、将来の資源変動要因解明のための基礎資料として有用であるが、鉛直分布特性の把握等の課題も残されており、より定量的な採集方法の確立にはまだ検討の余地がある。

また、本調査で採集されたアカアマダイ浮遊期仔稚魚の大半がふ化後間もない個体であったことは、若狭湾(西部)のアカアマダイ資源が、漁獲量(資源量)が圧倒的に多い東シナ海等、西方からの卵および浮遊期仔稚魚の流入によるものではなく、主に地先の資源の再生産によって支えられていることを示唆している。このことから、当面は若狭湾西部、ゆくゆくは福井県側も含めた若狭湾全体を資源管理の単位として捉え、この範囲をモデル海域とした資源診断を実施し、種苗放流等も含めた資源管理体制を構築していくことが目標である。

謝辞

本調査を実施するにあたり、京都大学フィールド科学教育研究センター舞鶴水産実験所 助教 甲斐嘉晃博士、助教 上野正博博士、前船長 佐藤一夫氏をはじめ、同センターの教職員および大学院生の皆様には多大なるご協力を賜りました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

【引用文献】

- 清野精次, 林 文三, 小味山太一, 1977a: 若狭湾産アカアマダイの生態研究-I 産卵と性比. 京都府立海洋センター研究報告, 1, 1-14.
- 清野精次, 林 文三, 小味山太一, 1977b: 若狭湾産アカアマダイの生態研究-II 未成魚・成魚の分布. 京都府立海洋センター研究報告, 1, 15-28.
- 林 奉行, 1985: 東シナ海産アカアマダイの漁業生物学的研究. 山口県外海水産試験場研究報告, 20, 1-95.
- 安達二郎, 石田建次, 2002: 隠岐海峡におけるアマダイ延縄漁業とアカアマダイの資源評価. 島根県水産試験場研究報告, 10, 17-22.
- 尾崎 仁, 飯塚 覚, 宮嶋俊明, 浜中雄一, 2008: 若狭湾西部海域におけるアカアマダイの年齢と成長. 京都府立海洋センター研究報告, 30, 1-11.
- 沖山宗雄, 1964: アカアマダイ *Branchiostegus japonicus japonicus* (HOUTTUYN) の初期生活史. 日本海区水産研究所研究報告, 13, 1-14.
- 木下 泉, 村上直人, 中丸 徹, 1997: 若狭湾におけるアカアマダイ仔魚の分布. 1997年度日本魚類学会年会講演要旨, 13.
- 河野光久, 天野千絵, 2008: 日本海南西海域におけるアカアマダイの産卵期・産卵場および仔魚の出現. 山口県水産研究センター研究報告, 6, 31-36.
- 京都府立海洋センター, 2000: 丹後海のアカアマダイ. 京都府立海洋センター季報, 69.
- 竹内宏行, 町田雅春, 渡辺 税, 中川 亨, 升間主計, 2009: アカアマダイ人工種苗の巣穴形成行動の発現サイズ. 2009年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 33.

日本海沖合域における ズワイガニ属メガロパ期幼生の分布特性

本多直人（資源環境部海洋動態グループ）

はじめに

日本海における水産上の重要種であるズワイガニ *Chionoecetes opilio* およびベニズワイ *Chionoecetes japonicus* は、クモガニ科ズワイガニ属に属する大型のカニである。特にズワイガニは日本海側の各地において「越前がに」や「松葉がに」等の名でブランド化され、高値で取引されている。両種は価格以外にも違いがあり、例えばズワイガニが主に水深200～500mの海底に分布するのに対し、ベニズワイは水深1000mより深い海底が分布の中心であるため、ズワイガニは主に底びき網漁で漁獲されるのに対し、ベニズワイは主にカニ籠漁で漁獲されている（養松ら 2009）。

これらズワイガニ属の漁獲量には年によって変動があり（木下 2007）、それには毎年の資源量の違いが大きく影響していると考えられる。これまでの研究から、ズワイガニおよびベニズワイの主産卵期は両種とも2～4月であり、海底でプレゾエア幼生として孵化し、表層まで浮上した後に、脱皮をすることでゾエアⅠ期、ゾエアⅡ期、メガロパ幼生と浮遊しながら発育段階を進め、稚ガニとして海底に着底することがわかっている（図1、

図2：ゾエアおよびメガロパの形態）。幼生として海中を浮遊する期間は、孵化から約3カ月程度と考えられている。このように長い浮遊期間を有することから、その間の海流の変動が幼生の輸送および稚ガニとしての着底状況に影響を及ぼし、水揚げ対象となる成体の資源量変動や漁場形成に大きく関与すると考えられる。日本海では海流分布が鉛直的に大きく変化することが報告されており、深度100m以深では海面付近とは逆向きの流れ（西流）が観測されることも多い。したがって、幼生の輸送経路には、浮遊している時の分布深度が大きく関わると考えられる。

日本海区水産研究所で2005～2007年の2～3月にズワイガニ属のゾエア期幼生の採集調査を実施したところ、両種のゾエアとも深度50m以浅にほとんどが分布していることがわかった（加藤ら 2009）。またゾエアでは、ベニズワイはズワイガニに比べ沖合側に分布する傾向が強いことと、年による採集量及びゾエアⅠ期とⅡ期幼生の比率の違いから、孵出時期及び出現量が年により大きく異なることも推測された。ただし、これら冬季の調査結果のみではゾエア期幼生の分布しか把握で

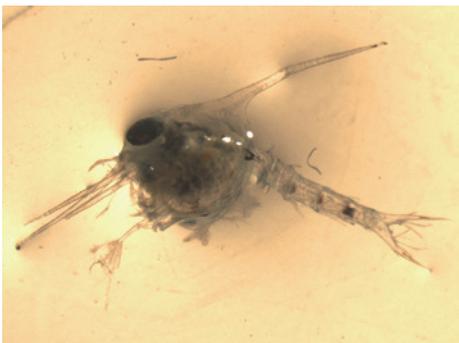


図1 ズワイガニのゾエアⅡ期幼生



図2 ズワイガニのメガロパ幼生

きず、浮遊幼生期全体の鉛直分布深度の変化までは把握できなかった。そこで、幼生の発育段階が進んだ初夏にも採集調査を行うことで、特に知見が乏しく浮遊期間も長いメガロパ期幼生の分布特徴についてデータを収集したので、その調査方法と結果についてここで報告する。

幼生分布の調査方法

ズワイガニ属メガロパ期幼生の分布調査は2008～2011年に水産庁調査船照洋丸（2,214トン）を用いて実施した。メガロパ期幼生の分布調査を目的としたため、各年の6月前後に、日本海の我が国EEZ内の山陰～新潟沖合に設けた76点の観測点において、プランクトンネットを用いた幼生の採集およびCTDを用いた海洋観測を実施した（図3）。

ズワイガニ属幼生の採集には、MOCNESS（多段開閉式ネット・環境計測システム、図4）とボンゴネットを用いた。どちらのネットも、最大深度500mから海面までの間を曳網した。ボンゴネットは最大曳網深度から海面までにいる幼生をまとめて採集するのに対し、MOCNESSは、任意の層で採集網を開閉することで、最深曳網深度から海面までを8層に分けて採集できる。これに

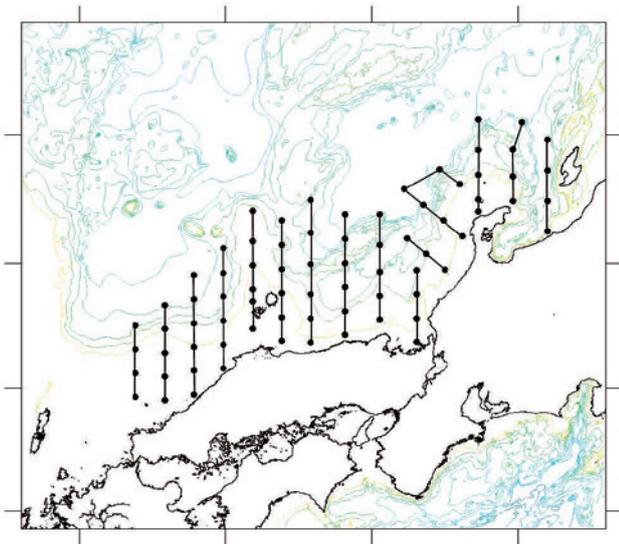


図3 メガロパ分布調査観測点

よって、幼生の鉛直分布を把握した。

採集した幼生は、保存のために船上でエタノール固定をして、下船後にズワイガニとベニズワイに分類した。ズワイガニとベニズワイのメガロパは、採集直後であれば体色の違いによりある程度分類できるものの、固定すると脱色されて種判別が非常に困難である。さらに、ズワイガニとベニズワイには、両者の交雑個体が存在することが知られている。ただし、これら交雑個体の幼生は形態上での識別ができない。そこで、採集された幼生のすべてについて個別に核DNAおよびmtDNAの分析をすることにより、ズワイガニ、ベニズワイ、そして両者の交雑個体に識別した。分析は東京農業大学アクアゲノム研究室において実施した。また、幼生は甲長および甲幅を計測して、種による大きさの違いや分布との関係を検討した。



図4 MOCNESS
（多段開閉式ネット・環境計測システム）

**日本海におけるメガロバ期幼生の
水平分布と種比率**

2008年から2011年までのメガロバの水平分布を図5に示す。各年とも、沿岸海域、すなわち海底水深150m未満の海域には少なく、比較的沖合の冷水域辺縁に多く分布していた。各年で多少の違いはあるものの、ベニズワイはズワイガニの2～3倍の数が分布しており、両種は同一観測点でも混在して採集される場合が多かった(図5)。両種の交雑個体は、各年で全体の0～3.5%(平均0.4%)の範囲内で採集された(表1)正確な統計は確認できないが、交雑個体は水揚げされる成体カニ中で1000～30000匹に1匹ともいわれ、近年は「黄金がに」などといわれて高値で取引される場合もある。水揚量に占める交雑個体の割合や、幼生の生残性などを検討して、実際に自然界にどの程度交雑個体が現れるのかを推測することも興味深い。

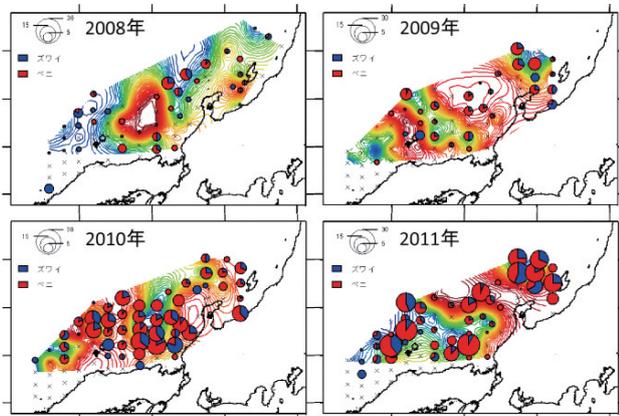


図5 メガロバの水平分布
青：ズワイガニ，赤：ベニズワイ。
円サイズは個体数密度 (inds/10³m³)。
深度200m水温を表示。

表1 ズワイガニ属メガロバ期幼生の採集匹数

調査年月日	採集個体数		
	ズワイガニ	ベニズワイ	交雑種
2008/6/23 - 2008/7/5	35	49	3
2009/6/3 - 2009/6/18	58	140	0
2010/5/31 - 2010/6/15	98	289	4
2011/6/8 - 2011/6/23	130	308	0

メガロバ期幼生の鉛直分布および分布水温

両種のメガロバとも深度500mまでに分布しており、深度50m未満にほとんどが分布するゾエア期幼生よりも、分布深度範囲は大きかった(図6)。各観測点において最も多く分布していたモード深度は、ズワイガニが100～250m、ベニズワイが100～300mの範囲内であった(表2)。メガロバの分布深度は、2～3月にゾエアが分布する深度より深くなっているものの、ゾエアが分布する深度の海水密度と6月にメガロバが分布する深度の海水密度はほぼ等しい上に、別途水槽実験で調べたゾエアおよびメガロバの体密度はほぼ等しかったことから、海水密度の鉛直構造の季節的変化が、ズワイガニ属幼生の鉛直分布を変化させる一因になっていると考えられる。また、海底水深が深い海域では深度150m以浅にも多くの幼生が分布したにも関わらず、海底水深150m以浅の海域

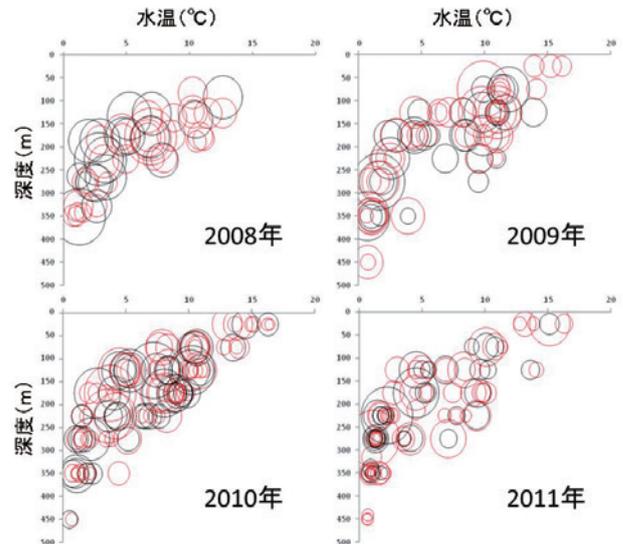


図6 メガロバの深度-水温分布
黒バブル:ズワイガニ，赤バブル:ベニズワイ。
バブルサイズは個体数密度(相対値)。

表2 各観測点においてメガロバが最も多く分布した深度および水温

調査年	ズワイガニ				ベニズワイ			
	Mode深度(m)		Mode水温(°C)		Mode深度(m)		Mode水温(°C)	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
2008	150	200	4	6	150	200	6	8
2009	150	200	8	10	100	150	8	10
2010	100	150	6	8	150	200	4	6
2011	200	250	4	6	250	300	4	6

では、ほとんど幼生が確認されないことは、ズワイガニ属のメガロパが、ある程度の深度幅を鉛直移動しながら浮遊している可能性も示唆される。

メガロパは水温15℃以上の水域にも若干量が確認されたものの、各観測点において最も多く分布していたモード水温は両種とも4～10℃の範囲内であり(表2)、7～14℃に分布していたゾエア期幼生よりも低い水温に分布していた。これらは、日水研小浜庁舎での飼育実験結果(山本ら2009, 山本ら2013)の適切さを支持する結果である。

幼生の大きさと分布の関係

メガロパの甲幅および甲長は、ベニズワイの方がズワイガニよりも有意に大きかった(図7)。水平分布と体サイズの関係に明確な特徴は確認されなかった。

海水中では、幼生のように小さな物体のサイズが大きくなると、海水の粘性の影響が少なくなるため、水中での沈みやすさが増加すると考えられる。それゆえに、体サイズが大きくなると分布深度が深くなる、あるいは分布深度範囲が大きくなることが予想された。しかし、実際の海域では、体サイズと分布深度に相関は認められなかった。また、分布深度範囲が大きくなることもなかった。このことから、メガロパの分布深度は単に物理的要因で決定されるわけではなく、生物的な嗜好特性や、個々の能動的な鉛直移動によっても変動する場合が考えられる。

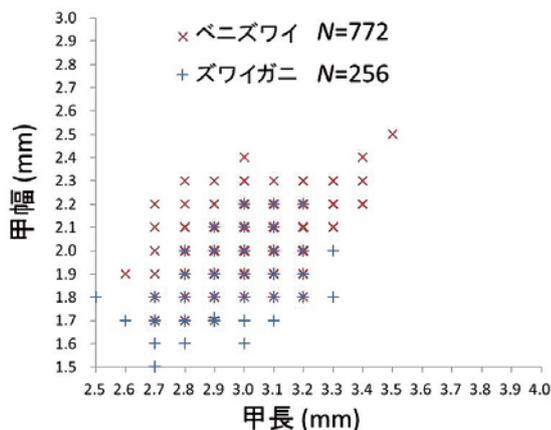


図7 メガロパの甲幅および甲長
青+：ズワイガニ，赤×：ベニズワイ。

おわりに

ここでは、2011年までのズワイガニ属メガロパ期幼生の分布調査結果について報告した。これらの調査結果から推定された沈降様式を、数値シミュレーションモデル(日本海海況予測システム:JADE)に取り入れることで、過去の幼生の輸送経路を再現することが概ね可能になった。また、これらの調査で得られた知見を飼育に適した環境情報として種苗生産現場に提供できる。ただし、メガロパが着底に至るまでの詳細な生態特性や、ズワイガニとベニズワイの分布の違いなど、今なお未解明の部分が少なくない。幼生の分布調査は継続して2012年と2013年にも実施している。幼生が特異的に大量分布する海域、鉛直分布の日周期性、深度500m以深の分布、種によるメガロパの成長度合の差、親資源量の年々変動と幼生分布の関係、などについて、新たに得られた調査結果から検討が進みつつある。これらの研究結果を基に、過去の資源量変動の要因が解明され、将来的には資源加入量の予測技術の開発につながることが期待される。

【引用文献】

- 養松郁子, 廣瀬太郎, 白井 滋, 2009: 水深2000mからの大移動-ベニズワイの生活史と漁場水深の関係-. 日本海リサーチ&トピックス, 4, 6-7.
- 木下貴裕, 2007: ズワイガニ資源調査と漁況予測. 日本海リサーチ&トピックス, 1, 4-5.
- 加藤 修, 白井 滋, 木下貴裕, 廣瀬太郎, 山田東也, 渡邊達郎, 2009: 日本海西部におけるズワイガニ属幼生の分布. 水産研究成果情報, 水産総合研究センター.
- 山本岳男, 藤本 宏, 山田達哉, 高橋庸一, 2009: 長年の研究が実る! -世界で初めてズワイガニの稚ガニ量産に成功-. 日本海リサーチ&トピックス, 5, 3-5.
- 山本岳男, 山田達哉, 2013: ズワイガニ幼生の生存と発育日数に及ぼす水温と塩分の影響. 日本海リサーチ&トピックス, 12, 6-8.

シオミズツボウムシ(S型)の 閉鎖循環式連続培養法の開発

手塚信弘 (資源生産部 初期餌料グループ)

森田哲男 (瀬戸内海区水産研究所 増養殖部 閉鎖循環システムグループ)

はじめに

クロマグロ、ヒラメ、マダイ等の魚類の種苗生産において、輪形動物に属するシオミズツボウムシ *Brachionus plicatilis* sp. complex (以下ワムシ) は、仔魚に最初に与える餌料として必要不可欠である。最近では、ワムシの大量培養技術として、約1ヶ月の長期間にわたり安定培養が可能で生産効率に優れた連続培養法が開発され、多くの種苗生産機関で採用されている。この連続培養法の利点は、連続注水によりワムシが一定の増殖率で増えるため、常に増殖状態が良好な餌料価値の高いワムシが生産できる点にある (小磯雅彦, 2010)。

しかし、この連続培養法も含めて、現在多くの機関で行われているワムシ培養には以下の問題点があり、その解決が強く望まれている。

- ①連続培養法も含めたワムシの培養からは大量の有機物を含んだ培養廃水が生じ、その浄化処理に多くの費用がかかる。このため、環境への負荷が少なく、かつ廃水処理のコストを必要としないワムシ培養技術が求められている。
- ②ワムシの増殖率は低塩分で高くなることから、培養に使用する海水は水道水等を用いて希釈している。このため、水道水にも費用がかかり、海水取水費用も含めたコストの低減が強く望まれている。
- ③ワムシ培養ではしばしば増殖不良が発生し、その原因の一つに培養水槽に注水する海水中の細菌が原因の一つと疑われている。このため、培養を安定させるためにはなるべく新たな海水を注水しない培養方法の開発が重要となっている。

現在、魚類の親魚養成や種苗生産では水槽内へ新たな海水を注水せずに、水槽からの廃水を再利用する閉鎖循環式の飼育システムが開発されている (山本義久, 2010)。そこで、上記の問題を解決するため、ワムシの連続培養系に廃水を再利用するための装置を組み合わせた閉鎖循環式連続培養システムを試作し、培養試験を行った。

培養システムの概要と試験方法

試作したシステムの構成は、ワムシの培養水槽と収穫水槽 (ともに1kLふ化水槽)、生物ろ過装置 (後述)、泡沫分離装置 (ボルケーノVL-3D, オーシャンアース製)、受水槽 (1.5kL, 円型水槽)、循環ポンプ3台 (100W) とした (図1)。

生物ろ過装置の模式図を図2に示した。生物ろ過装置には2台の0.5kL角型水槽を用い、各水槽にろ材としてサンゴ礫250kgずつを設置した。これらを上下に重ねて配置し、下の水槽から上の水槽の海水をポンプアップして2水槽の海水を循環させた。海水中の毒性の高いアンモニア態窒素を

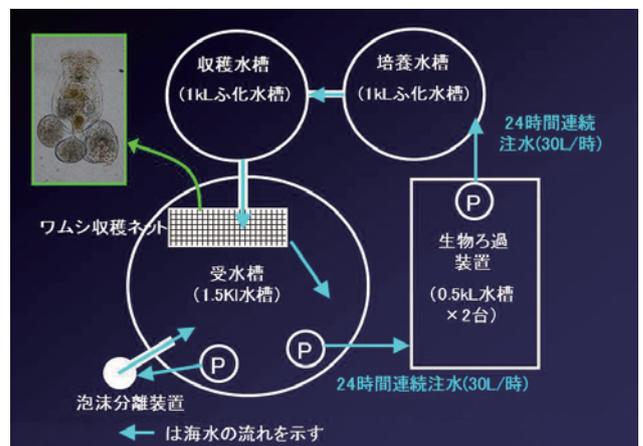


図1 閉鎖循環式ワムシ連続培養システムの模式図

毒性の低い硝酸態窒素へ硝化させる効率を上げるため、海水がろ材と十分に接触するように、水槽内にはプラスチック製板で5カ所の仕切りを設けた。また、生物ろ過装置内の海水に酸素を供給するために、水槽底面3カ所に設置したユニホース（長さ50cm）から強く通気した。

試験開始時のシステム全体の海水量は合計3kLで、培養水槽、受水槽、生物ろ過装置に各1kLとした。海水を水道水で希釈して塩分を27psuとした。ポンプにより受水槽の海水を生物ろ過装置に24時間連続注水した。注水量は、収穫率（収穫水槽の水量/培養水槽の水量）が0.7となるよう、30L/時とした。生物ろ過装置から培養水槽にも同様にポンプで24時間連続注水した（30L/時）。培養水槽のワムシを含む海水は、オーバーフローにより収穫水槽槽に24時間かけて貯留

した。収穫水槽に貯留したワムシを含む海水は1日に1回その全量をホースで受水槽に移した。この時、受水槽中のホースの先端にワムシ収穫ネットを取り付け、ワムシを取り除いて海水だけを受水槽に移した（図3）。受水槽に移した海水中に多量に存在するワムシの排出物や残餌等の有機物は泡沫分離装置を用いて除去した。

培養試験にはS型八重山株のワムシを、その餌料として市販の濃縮淡水クロレラ（以下クロレラ）を用いた。本システムでの適正な給餌量を把握するために、クロレラの給餌量を5, 7, 9L/日とし、5L/日区は2例、7L/日は3例、9L/日は1例の計6例の培養試験を行った。これらのクロレラに水道水を加えて10Lに希釈したものを定量ポンプ（電磁式, EHN-R）で培養水槽に24時間かけて連続給餌した。試験期間は30日とし、培養水槽と生物ろ過装置の水温、塩分、pH、DO、3態窒素の濃度を1日1回、午前9時に、HACH社製の吸光光度計DR-2000と専用試薬を用いて測定した。また、培養水槽と収穫水槽のワムシ密度を毎日計数し、水槽の水量からワムシの保有量、日間収穫数、収穫率（収穫槽の水量/培養槽の水量）を求めた。

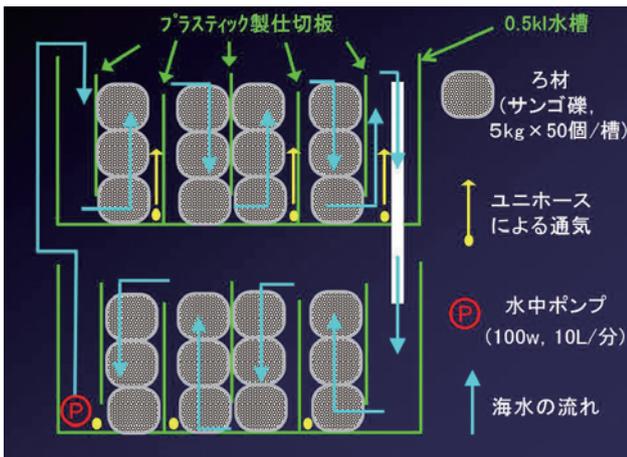


図2 生物ろ過槽の模式図



図3 閉鎖循環式培養装置の全体写真（受水槽でワムシを収穫中）

培養試験

6例とも新たな海水を全く添加せずに、廃水を出すこともなく、30日間の連続培養に成功した。6例とも収穫率は0.7、培養水槽の水温は25～27℃、溶存酸素は培養水槽で60%以上、生物ろ過装置で90%以上であった。培養水槽におけるワムシの平均密度はクロレラ給餌量の増加に伴い高くなった。ワムシの平均日間収穫数も給餌量の増加に伴い多くなり、5L/日区では19～20億個体/日、7L/日区は28～29億個体/日、9L/日区は39億個体/日であった（表1）。

これら6例の培養水槽の海水中の平均アンモニア態窒素濃度は、給餌量が多い区ほど高く、28～56mg/Lの範囲にあった。毒性の高い非解離アンモニア濃度も同様な傾向にあり、0.9～1.8mg/Lの範囲にあった。これに対して、生物ろ過装置から培養水槽に注水する海水の平均アンモニア態窒素

濃度は0.2~0.6 mg/L, 平均非解離アンモニア濃度は0.11~0.56 mg/Lで, 培養水槽の海水よりも低かった (表2)。このことから生物ろ過装置が十分に機能したことが考えられた。非解離アンモニアは約 2 mg/Lでワムシの増殖に悪影響を及ぼすことが示されている (Yu et al., 1986)。9 L/日区の培養水槽の海水の平均非解離アンモニア濃度は1.8 mg/Lで, Yu et al.が示した値に近かった。このことと給餌量が多い区ほど非解離アンモニア濃度が高くなる傾向にあったことから, クロレラの給餌量を 9 L/日以上にすると, 非解離アンモニア濃度は 2 mg/Lを超える可能性が高く, 給餌量 9 L/日は本システムでの給餌量の上限に近いと考えられた。

培養水槽中の 3 態窒素濃度の経日変化は 6 例とも同様な傾向を示したため, ピーク時の濃度が最も高かった 9 L/日区の結果を図 4 に示した。アンモニア態窒素濃度は培養開始 5 日目までは上昇して最高70mg/Lに達したが, それ以降はほぼ一定の値となった。亜硝酸濃度は培養開始 5~7 日目に最高 4 mg/Lのピークに達した後に減少し, 10日目以降は 1 mg/L以下であった。硝酸濃度は各区とも経日的に増加し, 9 L/日区では最大360mg/Lに達した。これらのことと生物ろ過装置から培養水槽に入る海水のアンモニア濃度が低かったことから, 培養水槽内で増加した海水中のアンモニアは生物ろ過槽で細菌によりアンモニアから亜硝酸, 硝酸へと硝化されたと考えられた。

表 1 各試験区の収穫率と平均日間収穫数

試験区 (給餌量)	収穫率	日間収穫数			S.D.	
		平均 (億個体)	最小 (億個体)	最大 (億個体)		
5 L/日	1	0.71	19.6	14.6	25.8	2.5
	2	0.72	20.7	15.0	34.4	4.2
7 L/日	1	0.73	28.4	20.4	38.1	3.8
	2	0.72	29.7	24.9	38.0	3.6
9 L/日	3	0.71	28.1	23.4	37.8	2.9
	1	0.72	39.2	31.3	49.1	4.7

表 2 各試験区のアンモニア態窒素, 亜硝酸態窒素, 硝酸態窒素の平均濃度

試験区 (給餌量)		培養水槽内の海水			
		アンモニア		亜硝酸 (mg/L)	硝酸 (mg/L)
		総 (mg/L)	非解離 (mg/L)		
5 L/日	1	28.6	1.0	0.29	76.7
	2	29.6	0.9	0.43	82.1
7 L/日	1	39.4	1.4	0.55	103.7
	2	45.2	1.5	0.75	131.5
	3	40.3	1.4	0.42	103.5
9 L/日	1	56.9	1.8	1.68	172.2

試験区 (給餌量)		培養水槽に注水する海水			
		アンモニア		亜硝酸 (mg/L)	硝酸 (mg/L)
		総 (mg/L)	非解離 (mg/L)		
5 L/日	1	0.21	0.014	0.031	96.0
	2	0.11	0.012	0.012	103.3
7 L/日	1	0.22	0.002	0.048	122.1
	2	0.56	0.023	0.031	160.8
	3	0.12	0.020	0.020	140.5
9 L/日	1	0.30	0.012	0.080	187.0

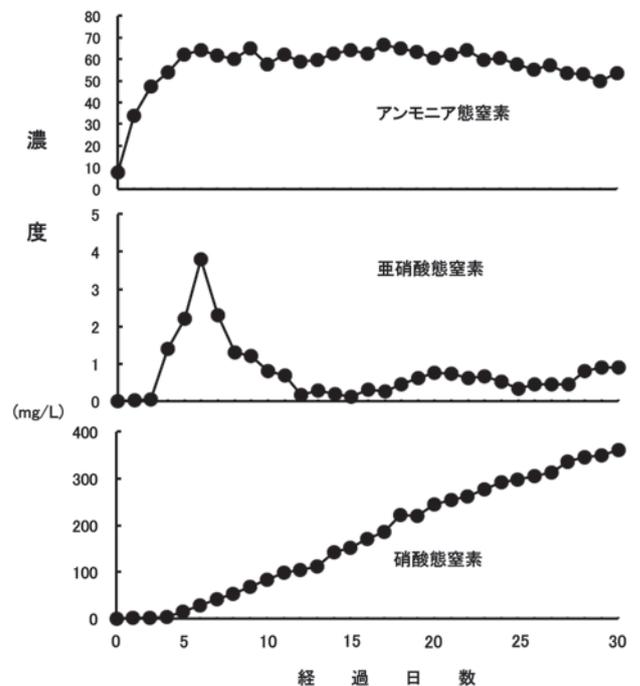


図 4 9 L/日区の 3 態窒素濃度の経日変化

おわりに

本システムを活用することで、培養廃水を全く出さずに30日間にわたって、毎日、最大約40億個体のS型ワムシを安定的に、収穫することが可能である。この1日あたりの生産数はヒラメ種苗を約40万尾生産できるワムシ個体数に相当し、本システム1～2台で平均的な海産魚の種苗生産機関のワムシ生産をまかなうことができる。また、本システムで使用する海水は培養開始時の約3kLだけであることから、潤沢に海水が使用できない内陸部や取水海水の水質が不良な場所でもワムシ培養が可能である。種苗生産に不可欠なワムシが海水条件の不利な場所でも培養できることから、閉鎖循環式の飼育システムと組み合わせることで内陸部等でも種苗生産場の設置が可能になると考えられる。

ワムシ培養における問題点としては、「はじめに」で示したように廃水による環境負荷、高額な廃水浄化費用、使用用水費用、注水海水中の細菌を原因とするワムシの増殖不調などがある。これらの問題に対して、本システムは廃水を再利用することで培養廃水を出さないため、毎日排出される培養廃水の浄化処理に必要なコストが不用となる。また、本システムは海水や水道水のコストの低減にも有効であった。通常のワムシの連続培養法では毎日、新鮮な海水を注水する必要がある。しかし、本システムで使用する希釈海水は培養開始時の3kLだけで、培養開始後は新しい希釈海水を使用しない。1例として、市販の人工海水（約2万円/kL）を使用する場合を想定して、両者のコストを比較した。人工海水で30日間、連続培養法でワムシを培養すると、培養開始時に必要

な海水の金額は1kL×2万円=2万円、毎日必要な海水の金額は0.7kL×30日×2万円=42万円で、合計44万円となる。一方、本システムにおける必要な金額は培養開始時の3kL×2万円=6万円だけであり、38万円のコスト低減が可能となる。加えて、本システムでは廃水を再利用するため、培養開始以降、新たな海水を全く使用しないことからワムシ培養水槽へ培養不調の原因となる細菌等を持ち込む可能性が低いと考えられる。このため、安定培養の面からも有効であろう。

現在、L型ワムシ小浜株等を用いた試験を実施し、L型ワムシでも本システムがある程度有効に使用できることが確認されている。今後は泡沫分離装置の必要性、生物ろ過装置の適正な規模・構造および、より効率の良いろ材等を明らかにし、より省コストで効率的なシステムを開発する必要がある。

【引用文献】

- 小磯雅彦, 2010: 効率的なワムシ培養手法, 「平成23年度栽培漁業技術研修会テキスト集」, 社団法人全国豊かな海づくり推進協会, pp. 1-13.
- 山本義久, 2010: 閉鎖循環飼育システムの開発と欧州の閉鎖循環養殖試験の現状, 「平成23年度栽培漁業技術研修会テキスト集」, 社団法人全国豊かな海づくり推進協会, pp.1-15.
- Yu J. P., Hirayama K. 1986: The effect of unionized ammonia on the population growth of the rotifer in the mass culture. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 52, 1509-1513.

編集後記

早々に梅雨が明けた関東甲信から西の地域に比べ、新潟では平年の7月24日を過ぎても梅雨空が続いています。米どころとして適度な雨は必要ですが、長雨すぎて稲の生育に影響したり、河川の決壊で田んぼが冠水するのではないかと心配してしまうような昨今の天気です。

さて今号では、昨年度の日本海区水産研究所の研究成果をご紹介します。若狭湾で漁獲されるアカアマダイは若狭グジとも呼ばれて京料理には欠かせない高級魚ですが、泥底に巣穴を作って生活するという特殊な生態も相まって生活史などに不明な点が多く、資源管理や増殖へのアプローチが十分ではありません。今回の研究で生活史の一部が解明されたことにより、持続的なアカアマダイの利用に繋がることを期待しています。

ズワイガニやベニズワイはふ化した幼生が海流によって流されてから着底することが分かっています。その海流の変動がズワイガニ属の資源変動に影響していると考えられることから、幼生の分布域や分布水温を調査しました。今回の結果等から、過去の幼生の移送をある程度シミュレートすることが可能となりましたが、今後も調査研究を進め、ズワイガニ属資源の予測が行えるよう、資源変動の要因を解明していきたいと考えています。

シオミズツボムシ（ワムシ）は1960年代に餌料として利用され始め、その後50年以上にわたって研究開発が進められていますが、未だに解決されていない培養上の問題が残されています。今回の成果はそのうちのいくつかを解決するとともに、ワムシを利用した新たな産業の創出に関わるヒントも与えてくれるものです。今後、システムの改良等により、より効率的な培養方法の開発に取り組みます。

(日本海区水産研究所業務推進課長)

発行：独立行政法人水産総合研究センター

編集：独立行政法人水産総合研究センター日本海区水産研究所
〒951-8121 新潟市中央区水道町1-5939-22
電話：025-228-0451(代) FAX：025-224-0950
<http://jsnfri.fra.affrc.go.jp/>