

総説

## アサリ垂下養殖の意義と普及に向けた課題 (総論)

日向野純也\*<sup>1</sup>・浅尾大輔\*<sup>2</sup>Significance of the suspended culture of asari clam *Ruditapes philippinarum* and obstacles to increasing its use

Junya HIGANO and Daisuke ASAO

*Asari clam Ruditapes philippinarum* is one of the most important fisheries species in Japan. Most of the production of this clam is from the wild catch, and the culture production in tidal flats accounts for only 6% to 7% of the total production. The recently established suspended culture of asari clam has not been widely used in Japan or elsewhere. Considering the sharp decline of the wild catch in Japan since the 1980s, it is worthwhile attempting to expand culture production, especially in suspended culture. Clam culture requires a seed supply and appropriate facilities and materials. This paper discusses techniques for natural seed collection using mesh bags and the materials and locations required for suspended culture. To disseminate the suspended culture, the culture procedure should be designed to suit the environmental conditions and ensure economic profitability, which depends on the unit price and the cost of the seed and the materials. It is essential to increase the added value, emphasizing the localness of the cultured clams by utilizing natural seeds collected in local areas. Pre-culture in tidal flats in combination with subsequent suspended culture may be useful to increase the efficacy of culture production.

キーワード：アサリ，種苗，垂下養殖，天然採苗

2016年7月14日受付 2017年1月26日受理

アサリ *Ruditapes philippinarum* は我が国の沿岸漁業における重要な水産資源であるが、その生産のほとんどが天然資源を漁獲することによって得られている。アサリの国内生産量と輸入量の変化を図1に示す。1953年には8万トン程度であったが徐々に増加し1960年代に入ると10万トンを越え、それ以降約25年間に渡り11~16万トンの生産量を推移した。ところが、生産量は1983年をピークとして急激に減少し始めた。1987年に10万トンを割り込んだ後も生産量の減少傾向は続き、1996年以降は4万トンを下回り、さらに2014年には2万トン以下にまで落ち込んでいる（農林水産省統計情報部1954-2015）。一方、生鮮アサリの輸入が1989年より統計に上るようになった。輸入量は2000年には7.4万

トンに達したが、その後減少に転じ、2010年代は3~4万トンで推移している（財務省貿易統計）。

アサリ生産を減少させる要因として、以下のような事象が掲出され、その関連性が考察されている。無酸素・貧酸素や青潮（柿野1982, 柿野1986, 日向野・品川2009）あるいは河川からの大量出水（三重県水産研究所2011）による大量死亡、ナルトビエイ *Aetobatus flagellum*（山口2006）やサキグロタマツメタ *Euspira fortunei*（大越2012）による食害、寄生生物であるカイヤドリウミグモ *Nymphonella tapetis*（小林・鳥羽2014）やパーキンサス *Perkinsus olseni*（浜口ら2002, 脇2014）の寄生による被害、栄養塩濃度の減少とアサリ漁獲量の減少傾向の一致（水野ら2009, 浜口2011）などが挙げ

\*<sup>1</sup> 国立研究開発法人水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所

〒739-0452 広島県廿日市市丸石2-17-5

National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Japan Fisheries Research and Education Agency, 2-17-5 Maruishi, Hatsukaichi, Hiroshima, 739-0452, Japan

higa@affrc.go.jp

\*<sup>2</sup> 鳥羽磯部漁業協同組合浦村アサリ研究会

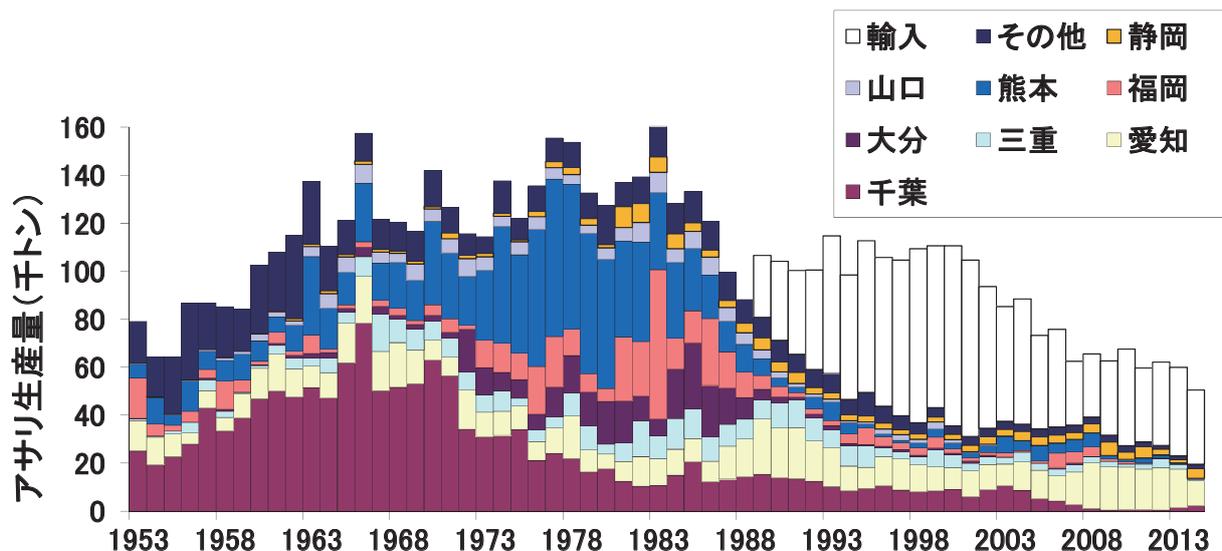


図1. 日本におけるアサリ生産量と輸入量の推移  
 漁業養殖業生産統計年報（農林水産省統計情報部 1954–2015）および財務省貿易統計より

られている。また、1960～80年代に進行した大規模な埋め立てやダム建設とは異なって、近年でも地形図には表れない小規模な変化が全国各地で進行している。小規模な海岸整備による流れや波浪の変化、河川改修や取水堰の運用による流出土砂の細粒化と河川流量の減少（河川環境総合研究所 2005）、波浪抑制効果のある支柱式ノリ養殖施設の減少（柿野 2000）など、極沿岸域や河川における変化がアサリの生息環境を不安定にしていることも推察される。また、埋め立てによる漁場の消失と貧酸素・青潮による大量死亡が過剰漁獲（獲り過ぎ）や漁獲行為による攪乱を誘発したとする意見もある（松川ら 2008）。さらに、上述した種々の要因が複合的に作用した結果として、浮遊幼生のネットワークが希薄になって各地先に幼生が十分に補給されないなど、アサリの再生産が不良に至っているとの指摘もある（アサリ資源全国協議会企画会議ら 2009）。しかしながら個々の要因の影響の大小は地域によって大きく異なる上に、減少が激しかった時期が異なるため、海域を通じた画一的な減少原因の特定は困難である。このため、全国的に共通する対策手法を示すのではなく、各地域において問題解決型のアプローチを図る必要がある。

次に、漁業養殖業生産統計年報（農林水産省統計情報部 1954–2014）および FAO の水産統計（Global Production Statistics）に基づき世界におけるアサリ類生産の状況を概括する（図2）。なお FAO の統計では、ヨーロッパ諸国のアサリ類生産量には在来種のアサリ *Ruditapes decussatus* にアサリの生産量が合算されている。日本のアサリ生産量は 1980 年代まで世界第一位であったが、1990 年代以降中国が大きく生産を増加させ、2012 年には 400 万トン近くに達している。韓国

は生産量のピーク時よりも減じたものの 2～4 万トン程度で推移している。一方、本来アサリの生息域でなかった北米においては、米国でマガキが日本から移入された 1930 年代の前半にアサリが偶然に混入したと言われている（Chew 1989）が、これが自然に繁殖し漁業資源および養殖対象として利用されてきた。さらに、その養殖を目的として米国からヨーロッパ各地に広がった（Chew 1990）。現在、米国で 3～5 千トン、カナダで 1～2 千トン、フランスやスペインで 1～2 千トンの生産で推移しているが、イタリアでは 3～6 万トンと日本や韓国を上回る生産量となっている。

中国では南部の福建省などの沿岸において堰堤で囲われた水域を利用して粗放的な種苗生産が行われ、得られた稚貝を黄海、渤海、東シナ海に移送して地蒔き養殖が行われている（Fang 2016）。また、北米太平洋岸では、Taylor Shellfish Farms に代表される企業経営の養殖が行われており、人工種苗を干潟に播き付け、被覆網等で保護して育てられている（Toba et al. 1992）。すなわち、図2でも明らかなように世界のアサリ生産量の主体は養殖生産によるものであり、日本とはアサリの生産体系がかなり異なっていると推察される。

日本におけるアサリの養殖は、干潟養殖（潮間帯における養殖）と垂下養殖（海中に吊るす養殖）に大別される。干潟養殖は漁業協同組合の組合員個々に区画の使用権を割り当て、各個人が割り当てられた場所にアサリの種苗を地蒔きし、管理・収穫も個人単位で行う方式である。これに対し、一般的なアサリの移殖放流では、種苗の採捕または購入および放流の作業は漁協等の単位で行われる。このため、放流後の管理は行われず通例であり、これらの点がアサリの干潟養殖と移殖放流の大

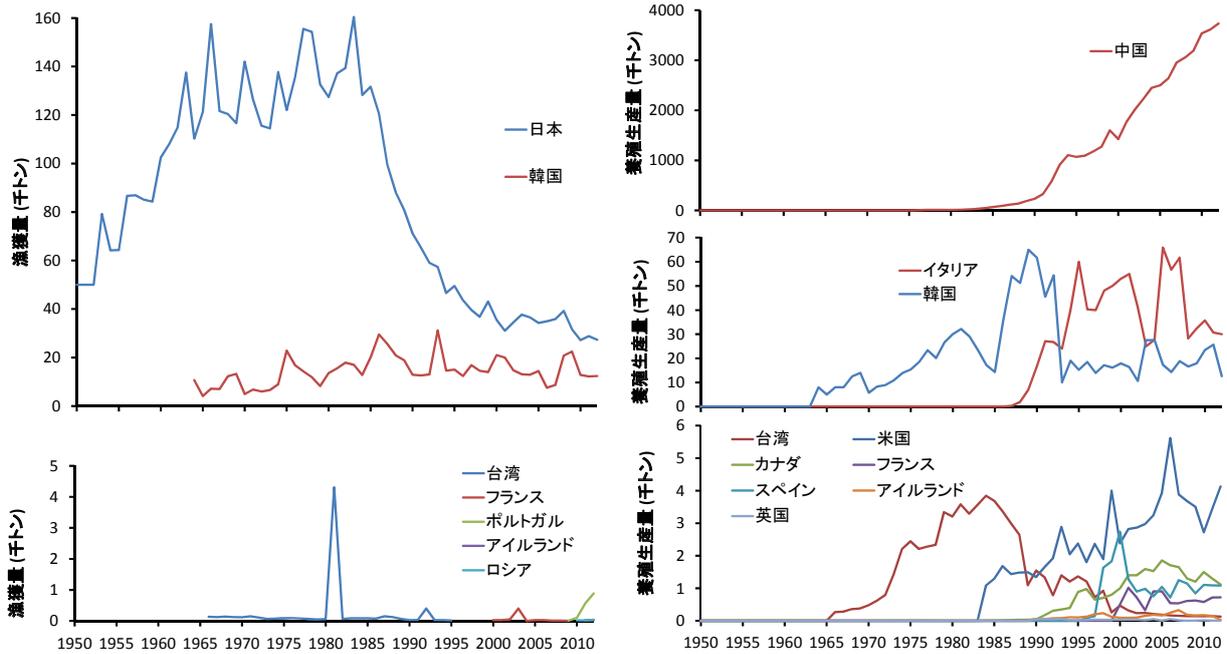


図2. 世界の主なアサリ生産量の推移  
 左側は漁業生産、右側は養殖生産量を示す。  
 漁業養殖業生産統計年報（農林水産省統計情報部 1954-2014）およびFAOの水産統計より

きな違いである。干潟養殖によるアサリ生産量は統計資料の上では明確に区分されていないが、北海道厚岸漁協で約 1000 トン（佐々木 2012）、長崎県小長井町漁協で 200~400 トン（Higano et al. 2010）といった報告から 2014 年の国内生産量 2 万トン弱の 6~7% と推定される。垂下養殖はカキいかだなどを利用して、プラスチックコンテナなどの飼育容器にアサリとともに砂などの潜砂基質を入れ、ロープで海中に吊るして育成させる方式である。ほとんどの場合、いかだや飼育容器は個人の所有となるため、すべての養殖工程は個人の責任で行われることになる。アサリの垂下養殖は兵庫県西部海域などで行われており、その生産量は年間数十トンに達しているものの（安信 2014）、まだ全国的にはほとんど普及していない。アサリ漁獲量の減少が著しい現状においては、生産の維持・回復と生産現場の活性化のために垂下養殖を導入する意義は大きい。

本論では、アサリの養殖、特に垂下養殖を推進するために必要な情報を総括し、プロジェクト研究によって開発された技術と問題点、経営の面から見た今後の方向性・見通しについて述べる。

### アサリの生活史と生残・成長

アサリの生活史の模式図を図 3 に示す。親貝は基本的に雌雄異体で、産卵期は東北以北の海域では夏季の 1 回、東北以南では、5~6 月および 10~11 月の年 2 回が盛期となる場合が多い（鳥羽 1995）。雌 1 個体の産卵

数は 50~100 万といわれるが、サイズや身入りによってその数は大きく異なる。受精卵の卵径は約 60 $\mu\text{m}$  であり、20 $^{\circ}\text{C}$  の場合 8~9 時間後にトロコフォラ幼生がふ化し、さらに 10 時間後には D 型幼生となる（千葉県水産研究センター 2004）。D 型幼生以降の成長は水温 20 $^{\circ}\text{C}$  では 1 日約 5 $\mu\text{m}$  であり、着底時の殻長は 200~230 $\mu\text{m}$  である。浮遊期間は 2~3 週間程度で、この間に潮の流れに乗って遠方まで運ばれるとともに希釈拡散される。幼生は場合によっては数十 km 以上流されていく可能性があり、すべてが着底可能な場所に到達することはない。また、この間にプランクトン食性の動物、例えばヤコウチュウ *Noctiluca scintillans*（粕谷 2005）やクシクラゲ類（McNamara et al. 2010）などにアサリの浮遊幼生も捕食されるであろう。

着底以降、アサリは底生生活をするようになるが、サイズに応じて、殻長 300 $\mu\text{m}$  までを着底稚貝、0.3~1mm までを初期稚貝、1~15mm までを稚貝、15~25mm を未成貝、25mm 以上を成貝という呼称が提案されている（全国沿岸漁業振興開発協会 1996）。アサリ着底稚貝は細砂粒と変わらない大きさであるので、波浪によって砂が巻き上げられるような条件では、容易に移動させられてしまい定着が困難である。開放性の高い海岸で、砂れんが形成され浮遊砂を生ずるような条件では初期稚貝の定着が困難である。さらに、砕波等により海底面の砂が層状に懸濁するシートフローの状態になればアサリ稚貝も洗掘を受けて容易に移動を強いられることになるであろう。したがって、アサリ稚貝が多く残存するため

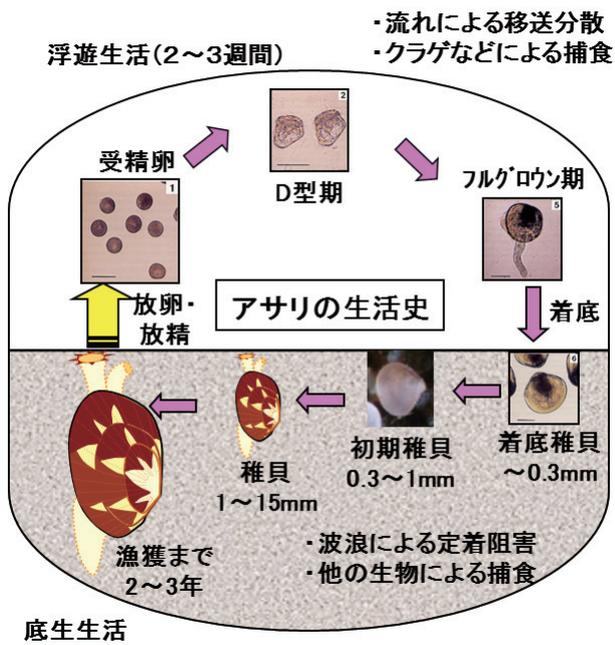


図3. アサリ生活史の模式図と浮遊幼生期および稚貝期における減耗要因

には、波浪等が比較的静穏であるか、底質の組成として粗砂や砂利、貝殻を含むことによって、巻き上げが生じにくい条件が好ましい。また、アサリは着底直後からヤドカリなど他の底生生物などによる捕食を受けていると推察される（浜口 2011）。そして、ケフサインガニ *Hemigrapsus penicillatus* のような小型のカニ（鳥羽 1987, 1989）、イシガニ *Charybdis japonica* やタイワンガザミ *Portunus pelagicu*（木村 2005）、巻き貝であるキセワタガイ *Philine argentata*（瀬川・菅沼 1996）、魚類など（重田・薄 2012）による捕食が報告されており、稚貝期以降も常に食害の危険に曝されているといえる。

アサリの成長は水温や餌（海中に懸濁する植物プランクトンや海底面に繁茂する微細藻類等が主要な餌と考えられている）の多寡によって影響を受けるので、海域により大きく異なる。水温の低い北海道では最初の1年で殻長6~8mmに成長するのに対し（山本・岩田 1956, 富田 1983）、東京湾や有明海において最も成長の速い例では1年で30mmに成長したと報告されている（西沢ら 1992, 池末 1957, 中原・鳥羽瀬 1996）。一般的に漁獲サイズとなる殻長30mmに至るのに、成長の速い場合で1年半程度、遅い場合では3年以上要すると考えられる。最大殻長は84mmのアサリが北海道で採集された事例が報告されている（中川ら 1992）。

このようなアサリの生活史からみた時、浮遊幼生期にどこに運ばれて着底するか、着底した場所の環境は息に適しているのか、着底稚貝から稚貝期においてどの程度捕食を受けるか、波浪や潮流によって何処に動かされ

るか、といった事由によってアサリの資源形成は大きく変動するものと思われる。

### アサリの種苗確保

アサリの垂下養殖を行う際にも、干潟養殖ないしは移殖放流を行う際にも、種苗の確保は必須である。種苗はその由来から天然種苗と人工種苗に大別される。天然種苗の確保は、アサリ稚貝の発生状況に左右される。自然条件でアサリの発生が多い場合はこれらを移殖用種苗として利用してきた。これまで多くのアサリ漁場では、天然の稚貝が濃密に発生する場所から他の場所に移殖する方式で漁獲資源を増殖する方式が取られてきた。また、稚貝の発生場がそのまま漁獲の場になることも多く、全国津々浦々で昔はアサリが良く獲れたという話を聞かされる。しかしながら、現在はほとんどの浜でアサリが少なくなり、移殖するための種苗を確保することもできない状況である。唯一、安定した生産を上げているのが三河湾で、豊川河口の六条潟に発生する数千トンのアサリを愛知県内の各漁場に移殖することにより漁業資源が形成されているが（蒲原ら 2014）、現在では例外的に成功している事例として認識せざるを得なくなっている。また、六条潟では地元で漁業権が存在しないことから、特別採捕によって稚貝を種苗として利用できるという事情が、成功事例に繋がっているという特徴も挙げられる。

これに対し、通常は都道府県の漁業調整規則に基づくアサリ漁獲の殻長制限により、採捕できるアサリのサイズはほとんどの地域で殻長20mm以上に限定される。したがって、これらの地域では殻長20mm未満のアサリを合法的に入手することはできない。このため、一旦漁獲されたアサリを種苗として用いることになる。漁獲されたアサリを種苗として用いる利点は、ある程度のサイズにまで成長しているのので、育成期間が短くても商品サイズのアサリを得ることができる点である。一方、欠点は種苗を購入するための経費が大きくなることと、漁獲されるまでに育ってきた環境と移殖された先の環境が異なる場合に生残・成長に支障を来す恐れがあることである。また、他地域から種苗を購入しているため地場産のアサリであるというアピールができない。さらに、養殖中に散逸したり産卵したりした時には地域個体群の遺伝的攪乱を引き起こしかねない点である。特に2010年以降、日本国内で漁獲されるアサリの量がますます少なくなってきており、国産のアサリ種苗を入手することが困難になってきている。このような状況下では、安価な種苗を入手しようとする場合には、非意図的に外国産の種苗を用いることになるかもしれないが、同時に新たな食害生物の持ち込み（大越 2012）、在来アサリとの交雑（Kitada et al. 2013）、といったリスクをとらなければならない。

地元産の天然種苗を用いる方法として、三重県鳥羽市浦村町の小白浜という干潟域を実験海域として開発さ

れた網袋を用いた天然採苗法が挙げられる（長谷川ら 2012, 浅尾 2013, 日向野 2015a, 2015b）。本方法では、ネトロン製のアサリネット（目合約 6mm）やポリエチレン製のラッセル網地で作成した網袋（目合 3~4mm）に粒径が 10mm 未満の砂利やカキ殻加工固形物を詰めて、潮間帯の海底に設置することにより、効率良くアサリの種苗を確保することができる。具体的事例として、2010 年 6 月に小白浜において、長さ 60cm × 開口幅 30cm のラッセル網袋を用いて上記の要領で設置し 15 か月後の状況を調査した場合、自然に生息する殻長 10mm 以上のアサリは皆無に等しいのに対し、網袋の中では殻長 10mm 以上に成長したアサリが網袋 1 袋（設置面積約 0.1m<sup>2</sup>）あたり平均 200 個体以上、総湿重量で 600g 以上となることを確認した（日向野 2015b）。この機序として、網袋内の基質にアサリ浮遊幼生が着底するとともに、周辺に着底して網地を通過することができる初期稚貝を捕捉し、さらに網袋内では捕食を受けにくいいためその後の生残が良好であったことが考えられる。これまでの調査により、初夏の産卵群であれば半年で、秋産卵群でも 8 か月程度で殻長 20mm 程度にまで成長することが確認されており（日向野 2015a, 2015b）、網袋の中ではアサリの成長が早く短期間で養殖用の種苗を確保できるという利点もある。網袋から種苗を回収する際には、目合い 10mm の篩いを用いることにより、概ね殻長 20mm 以上のアサリのみを回収できることが確認されている。

それ以下のサイズのアサリを有効利用するために、篩いを通してアサリは基質とともに網袋に詰め直して再設置しておけば、数ヶ月後に同様の方法で回収できる。

とはいえ、アサリの浮遊幼生がほとんど来遊しない場所や海底面がシルト粘土質の軟泥の場所、あるいは砂質で漂砂移動が著しい場所、岩礁帯・転石帯で底面が平らでない場所では、採苗数が少ないか、採苗できないことがある。さらに、砂質の海岸では漂砂による堆積、泥質の多い海岸では網袋の沈下・埋没によって、網袋の上面を底質が覆ってしまうため、袋の中のアサリが全滅してしまうこともある（図 4）。このため、網袋式の天然採苗を行うにあたっては、候補地において事前に採苗の有効性を検討するための予備試験を実施しておくことが望ましい。また、その際の種苗生産コストは、資材のコストに対する採苗数量によって変化する。採苗効率が極めて高い場合には種苗を購入するのに比べはるかに安価になるが、採苗数が少ない場合には資材購入等の初期投資が回収できない場合もある。その場合、網袋や基質などの資材は耐久性が高いことから、数年間繰り返して使用することにより、初期投資の回収が可能になる。とはいえ、設置・回収の手間を掛けても期待した種苗数が得られない場合には漁業者の意欲低下が懸念されるので、予備試験で予め設定した期待値に届くか否かを基準にして、網袋設置の採否を検討しておくことが重要である。

本方式は、網袋の中に基質を入れて干潟上に敷設する

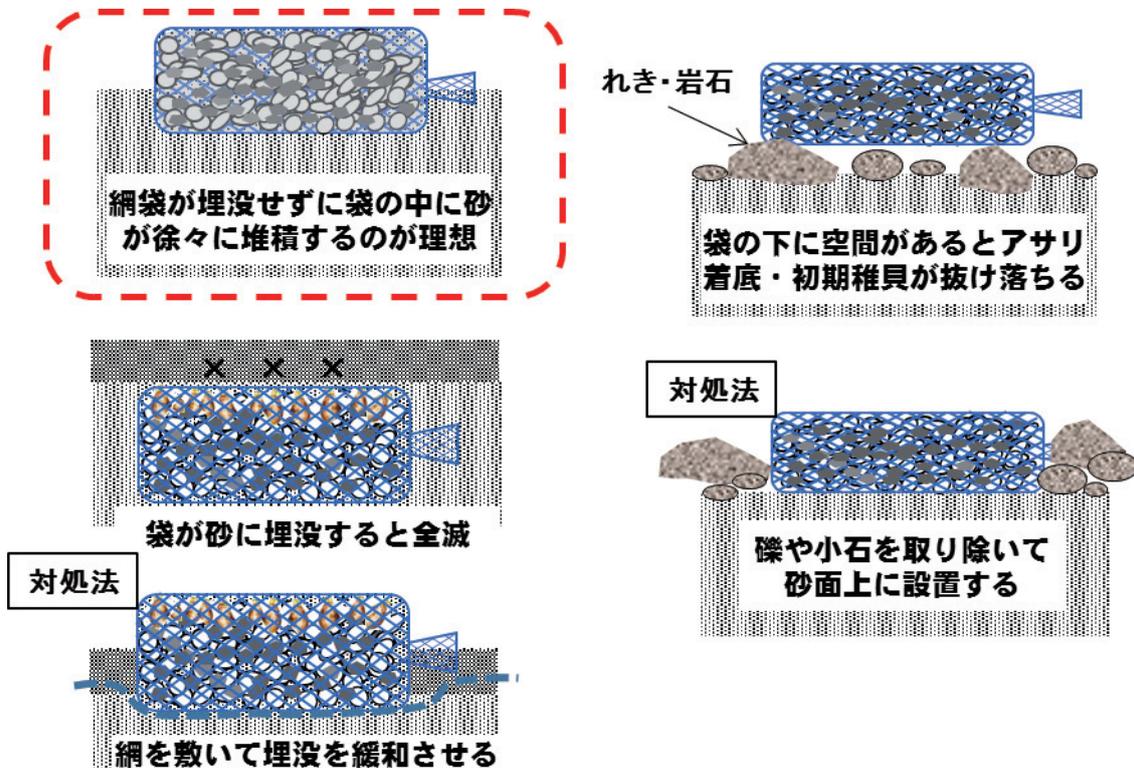


図 4. 網袋を用いた天然採苗における問題点と解決策の一例

だけの簡便な手法でアサリを採苗できるため、既に全国各地で取り組みが始まっている（例えば、中原 2015）。しかし、網袋が砂の中に埋没してアサリが全滅したり、れき質海岸において小石やれきの上に設置した網袋ではアサリが全く取れなかったりするなど、困難に直面することもまだ多い（図 4）。さらに、アサリの採苗ができない場所があったり（幼生自体が流れてこない？）、同一干潟内でも採苗数に多寡を生ずる事例が見られることから、網袋を設置する際の適地の選択は最も重要な課題である。

アサリの人工種苗生産は、技術の進歩によって実用レベルに達していると考えられるが（千葉県水産研究センター 2004, 安信 2012）、アサリ養殖の種苗として広く実用に供されている事例は、我が国においてはまだ見られない。しかし、欧米では既に 1980 年代からアサリ養殖に人工種苗が用いられており、地蒔き式の養殖用種苗として企業から販売されている（Jones et al. 1993, Toba et al. 2005）。米国では日本から移入されたアサリは、在来種 *Protothaca staminea* に比べて成長が良いため養殖に適しているとされ、養殖用に人工種苗生産も発展・普及した（Toba et al. 2005）。

人工種苗を用いる利点は、由来が明確な種苗を用いることができる点に加えて、成長が速い品種や疾病に強い品種を選抜できる可能性、すなわち育種による商品開発の可能性がある点である。アサリは早ければ半年、遅くとも 1 年で成熟産卵が可能である。このように世代サイクルが短いという性質は育種に適している。米国のアサリ種苗生産会社では成長の速い品種がすでに養殖に用いられている（Jones et al. 1993）。中国でも品種開発の試験が進められており（Fang 2016）、成長や耐病性を目標にした選抜育種が行われている（Zhao et al. 2012）。また、マーカー選抜も有効であると考えられ、遺伝子型と発現形質との関係を明らかにして、特徴のある品種を作出しておくことは製品としての多様性を維持する観点からも有用である。

## アサリの養殖

アサリの養殖は、場の利用の仕方によって 2 種の区画漁業権のうちのどちらかが適用される。1 つは干潟養殖で、第三種区画漁業権で行使される。もう 1 つは垂下養殖で、カキやホタテガイ、魚類の小割生け簀養殖と同様に、第一種区画漁業権で行使される。これらは特定区画漁業権と呼ばれ、漁業協同組合管理漁業権として、漁業協同組合に優先的に免許され、漁業権行使規則に基づき組合員が漁業権を行使することになる（漁業法第八条）。また、干潟養殖の場合は第一種共同漁業権の中で漁業協同組合の裁量により、みなし区画として行使される場合もある。

干潟でアサリの地蒔き養殖が行われているのは、北海道の厚岸漁協による厚岸湖内の養殖場、広島県の浜毛保漁協・大野漁協・大野町漁協による永慶寺川河口の前潟

と呼ばれる養殖場、長崎県の小長井町漁協による諫早湾内の養殖場の事例がある。特に、古川ら（1956）によると、前潟干潟では明治時代から小区画のアサリ養殖が行われてきたとされており、現在でも同様の方式が継承されている。また、小長井町漁協では 1970 年代から泥質干潟の上に粗砂で覆砂を行い、アサリの生育に適した環境を創出して干潟養殖が営まれている（森 1982）。これらの養殖場では、漁業者個人が管理する区画を割り当てられているので、割り当てられた区画の環境条件および食害生物防除やホトトギスマット除去に代表される漁場の管理などの努力量に応じた生産が見込まれる。瀬戸内海においてアサリ漁業が衰退する中で、前潟でのアサリ養殖が連綿と生き続けてきたのは、個人の責任により管理が継続される体制が築かれていたからであると推察される。すなわち、投入する努力量に応じた見返りのあることが、アサリ養殖漁場管理を継続する上で必要不可欠といえる。

二枚貝の垂下養殖はマガキ、ホタテガイのように潜砂性でない二枚貝ではかなり古くから行われてきたが、潜砂性二枚貝では近年まで産業的規模での養殖は行われていなかった。1980 年代には米国でオオノガイ *Mya arenaria* の垂下飼育試験が試みられ、垂下飼育したオオノガイは殻幅が増して身入りも向上すると報告されている（Hidu and Newell 1989）。にもかかわらず、Castagna and Manzi（1989）では潜砂性二枚貝の中間育成手法として垂下飼育は有効であるが、いかだの設置にコストが掛かるのと暴風時にダメージを受けやすいために実用には至っていないと述べられている。日本では、アカガイ *Scapharca broughtonii*（高見ら 2002）、トリガイ *Fulvia mutica*（岩尾ら 1991）、エゾイシカゲガイ *Clinocardium californiense*（鈴木 2007）において人工種苗を用いた垂下飼育が試みられ、地域特産物の生産手段として垂下養殖が産業化しつつある。イタリアではアサリ（Boscolo et al. 2003）およびヨーロッパアサリ（Pais et al. 2006）において、垂下飼育の実験的検討が行われ、成長や身入りが優れることが見出されているが、産業規模での垂下養殖はまだ行われていない。

日本における本格的なアサリの垂下養殖は、京都府の宮津湾などで成功しているトリガイの垂下養殖を参考に、2000 年代前半に兵庫県室津漁協の磯部公一氏が始められたのが発祥である（安信 2014）。室津で行われているアサリ垂下養殖では、当初は地蒔き放流用などの比較的小さいサイズのアサリが用いられていたが、夏場に生物付着が著しく管理が大変であった。そこで、夏の養殖を避けるため、現在では別の地域で漁獲されたアサリを秋季に種苗として購入、砂を敷き詰めたコンテナに収容し、いかだに垂下して数か月間養殖した後、春に出荷する方式が採られている。

著者らも三重県鳥羽市浦村海域における垂下養殖の可能性を探索するため、2011 年 4 月に平均殻長 22mm、平均重量 2g のアサリを用いて垂下飼育実験を実施した

(増養殖研究所 2012)。外寸 475 × 369 × 154mm, 有効内寸が 412 × 313 × 136mm のプラスチックコンテナに、砂利に対するカキ殻加工固形物の容量比を 0, 20, 50, 80, 100% となるように混合し、厚さ 6cm に敷き詰めた。アサリは本来砂泥中に潜って生活しているため、潜砂するための基質が必要である。基質が無い場合には、短期間では生死への影響は無いが、長期にわたると殻の成長が見られず徐々に死亡する個体が増えてしまうことがある。このようにして準備した基質入りのコンテナにアサリを 150 個体ずつ収容し、生浦湾内のカキいかだに垂下して(水深 2m) 生残と成長を調べた。その結果、アサリは 5 か月後には平均殻長 33~35mm, 平均重量 8.5~9.2g に達した。収容時 300g であったアサリの総重量はコンテナあたり 1,100~1,300g と約 4 倍に増え、この間の生残率は 90% 以上であった。これは、舞鶴湾や栗田湾で実施されたアサリの垂下飼育試験の結果(4~9 月の間に殻長 20mm からそれぞれ 42mm と 36mm に成長)(藤原ら 2008) に比べると劣るものの、伊勢湾の干潟域での天然アサリの成長(殻長 25mm に成長するのに約 2 年を要する)(水野ら 2009) に比べてはるかに成長が速かった。同海域においても垂下養殖の優位性が示され、十分にアサリの垂下養殖が新たな産業に発展する可能性が示された。なお、砂利とカキ殻加工固形物の比率と成長・生残の間に一定の関係は見られなかった。

また、垂下養殖ではアサリは成長が速いのみならず、身入りが良くアミノ酸などの呈味成分の濃度が高くなることが報告されている(鈴木ら 2009)。したがって、干潟で網袋あるいは地蒔き養殖したアサリをさらに 1 か月間程度垂下肥育し、身入りを良くしてから出荷するという養殖方法も実用的な手法として提唱される。実際に、小長井町漁協で売り出されている「ゆりかごアサリ」(小長井町漁業協同組合) はまさに垂下肥育による高付加価値化を意図したものである。さらに、垂下飼育は任意の水深に懸垂することにより、貧酸素水塊の被害を回避する手段としても有効であることが報告されている(水田ら 2011)。

採苗用網袋の中で漁獲サイズまでアサリを育てる養殖方法も、垂下養殖の適地がない場所では有効な手段として提唱される。Walker and Hurley (1995) はホンビノスガイ *Mercenaria mercenaria* の養殖試験によって、コンテナ容器やカゴに比べて網袋を海底に敷設する方式の方がコストも安く手間も掛からないと結論付けている。北米のアサリ養殖方法の中には網袋に種苗を入れて養殖する方法もあり(Toba et al. 1992)、日本でも今後導入を進めていく価値があるものと思われる。ただし、有明海においては一部の網袋に穴が開けられて中のアサリがなくなっている様子が確認され、ナルトビエイによって開けられたと推測されている(熊本県水産研究センター私信)。網袋だけで、食害からの保護が可能なのか良く見極めることが大切である。もし、網袋だけでは不十分と思われ

た場合には、被覆網などさらなる保護策を組み合わせる食害を防止するための工夫が必要である。

## 地域特産化をめざした二枚貝養殖システムの開発研究について

平成 24~26 年度の 3 カ年、農林水産省の競争的研究資金である実用技術開発事業(平成 25 年度からは農林水産省・食品産業科学技術研究推進事業)「地域特産化をめざした二枚貝養殖システムの開発(課題番号 24019C)」によって、アサリの種苗確保と垂下養殖技術の向上を目標として、水産総合研究センター(現水産研究・教育機構)、北海道立研究推進機構、千葉県水産総合研究センター、三重県水産研究所、兵庫県水産技術センターが協力して研究を実施した。本号の各論文は小課題ごとにその成果を取りまとめたものであるが、本論では以下にその全体の概要を紹介する。

**1. 安定したアサリ天然採苗技術** 静穏域では、本研究の開始前から実績のある、網袋に基質として砂利とカキ殻加工固形物を収容して干潟域に設置する方法を基本として、網袋の目合いや基質、設置場所、設置時期と回収時期の関係などについて、ポリエチレン製ラッセル網地で作製した開口幅 30cm, 奥行き 60cm の網袋を用いて三重県鳥羽市や南伊勢町の海岸で試験を実施した。高波浪域では、網袋の他に人工芝を加えて設置・固定方法や設置場所について千葉県木更津市の海岸で試験を実施した。網袋の目合いについては、採苗数や稚貝の成長、収穫時の取り扱い易さの点から目合い 4mm 角が採苗効率に優れる結果を得たが、目合い 3mm の方が適する場所も見られた。基質については、砂利とカキ殻加工固形物の混合比率は採苗成績に影響をもたらさなかった。すなわち、底質や波浪の条件に問題が無ければ上記 2 種類の基質は同等に扱うことができる。

設置場所については、湾内でも場所によって採苗数に偏りが見られ、開放度(開口距離/吹送距離)が高く、河口近くの地点で採苗成績が優れる傾向にあった。大規模なアサリ漁場から離れた場所では、その傾向が顕著であった。また、底質が転石やれき質で凹凸がある場合は、そのまま網袋を設置するとアサリ稚貝が底面の隙間から抜け落ちるため、小れき等を取り除いて平坦な砂面を露出させた上に網袋を設置する必要があることが判明した(図 4)。網袋の設置と回収の時期は、関東以西では年 2 回産卵期があることを考慮すると、初夏産卵群に対しては 5 月以前に設置して 10 月以降に回収、秋産卵群に対しては 10 月以前に設置して翌年 5 月以降に回収すれば、殻長 20mm 以上のアサリ種苗を得られる可能性が高まる。

高波浪域の砂質干潟(盤洲干潟など)では埋没が最大の問題であるが、台風などによる波浪や出水に伴う急激な土砂の堆積による埋没を未然に防ぐのは極めて困難であった。埋没を防ぐため、網袋の中に浮体を入れたり、

網袋の一辺を海底面から 30cm 程度上方に張ったロープに固定したりする方法では、通常の平置きに比べ採苗数が著しく減少した。設置方法の改良をさらに進める必要はあるが、埋没しかけた袋の引き上げなど日常的な管理を継続的に行うことが肝要である。

高波浪域では、網袋の他に毛足の長い人工芝に転動するアサリ稚貝を捕集する機能があることがわかり、周辺のアサリの分布密度の 30 倍程度の密度で捕集が可能であると見積もられた。盤洲干潟の岸沖方向での比較では、岸側で採苗数が多く、砂面変動の少ないことがその理由と考えられた。これにより、砂面変動は設置場所の選択要件に挙げられる。

網袋と人工芝の適用法を総括すると、短期間にアサリ稚貝を捕集するのであれば人工芝式が有利で、累積的な捕集と内部での成長を期待するのであれば網袋式が有利であることがわかった。また、周辺にアサリ稚貝が生息していない場所では人工芝式の適用は不可能であるが、網袋式では浮遊幼生が来遊する場所であれば採苗に成功する可能性がある。採苗成績を総括すると、網袋では接地面積がおよそ 0.1m<sup>2</sup> の袋に 200~400 個体、最大で 1.2kg 程度のアサリを採取できると見積もられた。また、人工芝では 1m<sup>2</sup> あたり 2,000~30,000 個体のアサリを捕集できると見積もられた。ただし、前者のサイズは殻長 20mm 以上であるのに対し、後者は殻長 2~16mm であるので、垂下養殖に用いるには中間育成を要するであろう。

**2. 低コスト人工採苗技術** 人工種苗生産されたアサリ稚貝を養殖用種苗として適正サイズにまで育成する施肥技術の開発と、北海道の寒冷地における人工種苗生産の効率化に関する試験を行った。

前者では、栄養塩が少なくアサリの餌料となる植物プランクトンが少ない海域でアサリの生育を促進させるため、人工種苗の稚貝をコンテナに収容して栄養塩の溶出が緩慢な施肥方法を検討した。その結果、硝酸ナトリウムまたは硝酸カルシウムを石膏で複合体にすることで、餌料価値のある微細珪藻が増殖し、アサリの成長が有意に増加することが確認された。ただし、当初想定された施肥剤である硫酸は毒性が認められたので使用できず、上記のようなアンモニアを含まない肥料を用いると高コストとなることが明らかになった。

後者では、水温を 24℃まで加温することにより浮遊幼生の飼育期間を約 14 日間に短縮させることができ、カキ殻加工固形物やホタテ殻片を着底基質に用いることにより、着底率が高まるとともに着底稚貝の回収が容易になった。これらによってこれまでよりも室内飼育に掛かるコストの削減が可能となり、安価な人工種苗の生産に寄与させることができた。さらに、基質とともに陸上飼育で越冬の後、砂利とカキ殻加工固形物やホタテ殻を収納した網袋に稚貝を入れ、初夏から漁場に設置して中間育成したところ、1年で 10~20mm の種苗の生産に成

功した。

**3. 低コストで安全な養殖施設・資材とその設置・管理手法** アサリの垂下養殖にはこれまで既存のカキ養殖用いかだが用いられてきたが、いかだの設置が可能なのは静穏域に限られ、全国各地に普及を図るためには、いかだ以外の施設の開発が望まれた。また、いかだ式においても従来から用いられてきた養殖容器（コンテナ）と基質（砂または砂利）では重量が大きく、作業負担を改善する必要があった。特に、海中から容器を引き上げた際に海水を蓄えたままだと 30kg 程度の重量物を足場が不安定ないかだ上で取り扱わなければならないという、危険な重労働を強いられる状況にあった。そこで、本研究では延縄式施設の開発と、容器および基質の新規提案と改良を行った。

既に開発されていた表層に幹縄を張る方式の延縄式施設にコンテナ容器を垂下する方法を検討した結果、基質の流出を防ぐには深型コンテナ（深さ 15cm 以上）を用い、かつ垂下水深を深くする必要のあることが明らかになった。また、新たに開発した半沈下式延縄養殖施設では波浪に対する安定性が極めて高く、浅型コンテナ（深さ 11cm）を用いても基質の流出が起こらないことを確認した。さらに、延縄式では船を延縄に横付けして船の中で作業を行えるため、いかだ式に比べ足場が安定し、安全で操作性に優れることを見出した。

アサリ垂下養殖用の基質の比較および容器の改良試験を行った結果、複数の基質候補の中から選定した軽石は砂利などとほぼ同等の成長を示した。また、コンテナ以外の容器として真珠養殖用の卵抜きカゴと呼ばれる全面に穴の開いたコンテナや細かい網地のカゴが適用できる可能性が示された。さらに、カキ養殖で用いる丸カゴ（25mm 目合の網カゴ）を容器として用い、基質に軽石を使ってアサリの養殖試験を行った。軽石とアサリ種苗を 4~5mm 目の網袋に収納して底面をビニールシート等で覆った丸カゴに収めることにより、従来のコンテナと同等の成長が得られた。この方法では容器が転倒しても基質やアサリの流出が起こらないという利点がある。ただし、波浪（うねり、風浪、航跡波）の影響を強く受ける場においては、アサリの成長が抑制され、生残も良くない結果が得られているので、適用可能な環境条件を明らかにする必要がある（長谷川ら 2015）。また、ホヤなどの生物付着や食害生物による被害を軽減する対策法として、淡水浴および干出が有効であることを示した。さらに、干出には成長と身入りを増加させる効果も認められ、養殖容器を定期的に干出させる管理法が有用であることを提案した。

**4. 垂下養殖適地の評価** アサリ垂下養殖の立地条件を判断する基準として、静穏度、餌料環境、水温が挙げられる。本研究で得られた試験結果から以下のような知見が集約された。静穏域でないとは作業および施設維持の面から見て適用が難しいいかだ式と、開放的な海域でも適

用が可能と考えられる半沈下延縄式の2方式で、丸カゴを用いた養殖方法の検証を行った。半沈下延縄式では、砂入コンテナに比べるとやや成長が劣るものの問題なく成長し、3段吊りにすれば垂下ロープ1本当たりの生産量を従来の約3倍にすることができた。本手法を導入することにより静穏域以外の場所でもアサリの垂下養殖を行うことが可能になり、垂下養殖を全国各地の生産現場に広げることができる。アサリは海水中の植物プランクトンなどをろ過摂食して成長するため、餌料としての海水中の植物プランクトン量とアサリの成長との関係を把握することは適地評価にとって重要である。そこで、海水中のクロロフィル $a$ 量を植物プランクトン量の指標として複数の地点で垂下養殖の比較試験を行ったところ、平均クロロフィル $a$ 現存量とアサリの成長との間に正の相関を見出した。また、養殖容器周辺の流速が18cm/s以下であれば、流速と成長に正の相関がみられ、餌料の現存量だけでなく、流速と餌料濃度との積が成長に大きく影響していることが明らかになった。クロロフィル $a$ 量と流速は、垂下養殖適地判定の基準としてだけでなく、成長予測の指標として有効である。すなわち、1容器当たりの収容可能量や成長速度と身入りは養殖海域の餌料条件に強く依存する。これらの知見を活用して事前に成績を予測するとともに、試験養殖を行って適切な養殖場所とアサリの収容量を決めてから本格的な養殖を開始することにより、アサリ垂下養殖の成長速度や収穫量の最大化を図ることができる。

低水温ではアサリの成長に長い時間を要するため、北海道では垂下養殖は不適であると考えられていたが、函館港内における垂下飼育試験を実施したところ、アサリは極めて良好な成長を示し、1年間で殻長が30mm以上増加した。特に水温8~14℃で最も速く成長していたと推定された。本成果に基づき、道内各地でアサリ垂下養殖の導入が検討され始めている。

## 今後の展望

本論ではアサリ垂下養殖の普及に向けた課題として、主に種苗確保と垂下養殖についての技術的進展状況や課題について述べてきた。しかし、実際にアサリ漁業者や養殖業者の話を見ると、垂下養殖を導入できる場は必ずしも多くはないことを認識させられる。また、採苗を行わなくても殻長数mmまでの稚貝であれば比較的大量に得られる場も残されている。これらの状況を勘案すると、天然発生稚貝の利用や干潟での養殖を含めたアサリ養殖のあり方を展望する方が現実には即していると思われる。

図5にアサリ採苗と養殖の組み合わせを検討するための簡単な判定フローチャートを示した。網袋を用いた中間育成は、アサリの稚貝発生が十分な場合には稚貝を有効に活用するための保護育成手法として使用されるであ

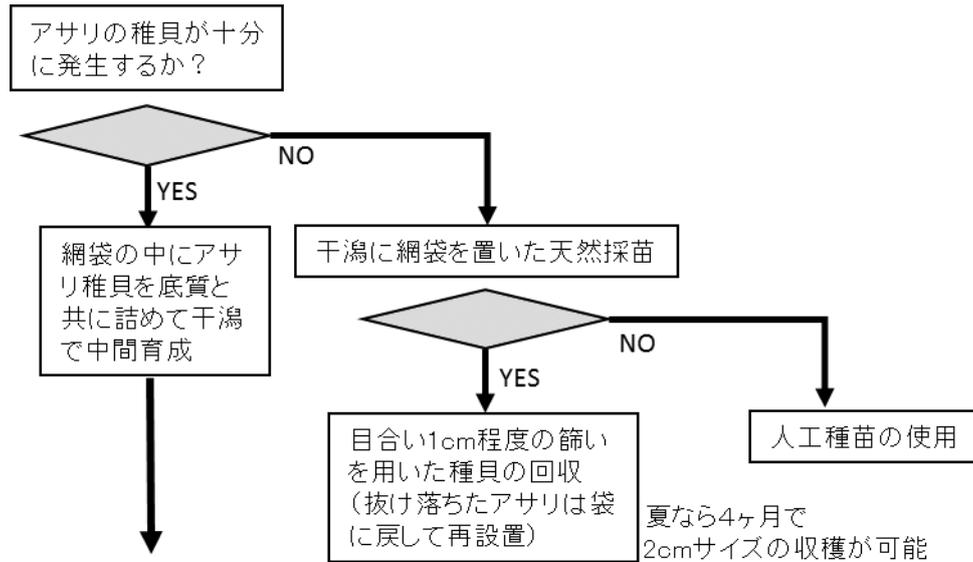
ろう。稚貝の発生が不十分あるいは認められない場所では、干潟に網袋を設置して天然採苗を行い種苗を確保する。そして、種苗が確保できた場合には、地理的条件に応じて垂下養殖あるいは干潟養殖が選択される。このとき、垂下養殖が可能な場所でも干潟養殖を併用して十分な大きさになるまでアサリを育成し、その後垂下によって身入りを充実させ付加価値を高める方が有利かもしれない。

以下にアサリの垂下養殖、干潟養殖を導入するにあたり、制度的、技術的また経済的に検討が必要な課題について述べる。

**1. 垂下養殖・干潟養殖を導入するための制度的制約**  
アサリ漁場では共同漁業権の行使される場所が大多数を占めるが、垂下養殖では区画漁業権を取得しなければならない。特定区画漁業権や共同漁業権は漁業協同組合に認可されるので、一部の組合員が垂下養殖を始めたいと考えても、組合員の3分の2以上の同意が必要なため、垂下養殖を実施しない組合員の理解を得ることが必要になる。干潟での養殖を選択する場合には、区画漁業権を取得せずに行使できる可能性があるため、当該地区において適正な養殖手法を選択しておくことが必要であり、そのためには漁業者が中心になり、研究、普及、行政が関与して、事前の育成試験等を行うことにより、方向性を見極めてから漁業権の新規導入や変更を申請するべきである。

**2. 販売ルートの確立**  
アサリの養殖において天然のアサリを漁獲するのと最も異なる点は、資材、種苗、生産管理に掛かるコストである。いかに効率良く養殖を行おうとも、最低限のコストが掛かることは必須である。これらのコストと養殖されたアサリの出荷価格からどの程度の利益が見込めるかについて事前に見極める必要があり、そのための簡易な診断シートが作成されている(高木ら, 2017)。アサリの出荷価格が安いために利益が出なければ、養殖業は成立し得ない。したがって、出荷価格をいかに高くするかが肝心で、高価格を実現するための販売ルートの確立はアサリ養殖の成否を左右する。地場採苗したアサリを垂下養殖している鳥羽磯部漁協浦村アサリ研究会では、地元の朝市や旅館・レストランなどへの直接販売により、高い売価を確保しており(浅尾2013)、このような戦略はこれからアサリ養殖を開始しようとする場合に参考になるとと思われる。

**3. 付着生物・食害生物の対策**  
垂下養殖を行う上で悩ましい問題点は、養殖容器やロープなどへの生物付着である。Miyazaki (1938)は東京湾でのマガキの養殖施設に石灰質の付着板を垂下し、フジツボ類 *Balanus amphitrite*、ホヤ類、マガキ *Crassostrea gigas*、海綿類 *Haliclona (Reniera) sp.*、フサコケムシ *Bugula neritina*、ベニクダウミヒドラ *Tubularia mesembryanthemum* などが付着し、マガキは上面に、それ以外は下面に多く付着することを報告している。アサリの垂下養殖容器にも上記



留意点: 採苗袋の埋没, 採苗袋内への食害生物混入(カニ, 巻貝)

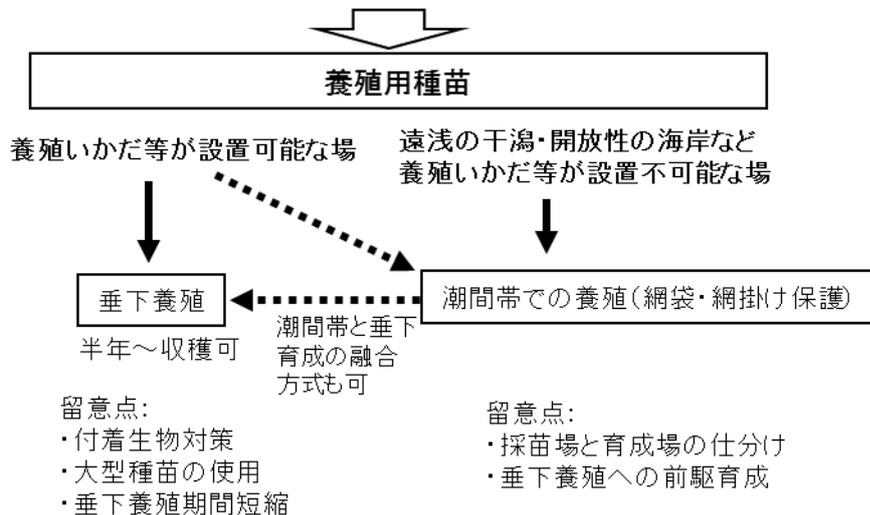


図 5. アサリ採苗と養殖の組み合わせを検討するための判定フローチャート

と類似の付着動物に加えて、カサネカンザシ *Hydroides elegans* や群体ボヤなどが高密度に付着する。これらの付着生物の多くはろ過食性であるため、アサリとこれらが餌を競合する上に、容器や基質の表面を覆い尽くして海水交換を阻害する。特に外来種であるカサネカンザシ(西・田中 2006) は容器や潜砂基質である砂利などの表面をマット状に覆ってしまうので、注意が必要である。これらの生物付着により、アサリは成長・身入りが著しく低下し、そのまま放置した場合には死亡することもある。その対策として頻繁な清掃ないしは容器の交換が必要になる。淡水浴や干出が有効であるが、海域や季節に応じて1~2週間に1回の高頻度の作業が必要な場合もある。通常、コンテナ式の容器には目合 20mm 程度の網蓋が施されるが、イシガニ *Charybdis japonica* が侵入

して成長し、多くのアサリを食害することもしばしば経験する。また、タコ類が容器の外側から腕を挿入してアサリを捕捉している様子が観察されることもある。さらに網カゴ式では内袋に目合 5~6mm 程度の網袋を用いているが、コンテナ式も含め容器の中に扁形動物のツノヒラムシ *Planocera reticulata* が侵入してアサリを食害することもある。以上のように、付着生物や食害生物は枚挙のいとまがない状況であるため、垂下飼育ではこれらの生物による付着や捕食活動が活発な夏場は避けるのが得策であろう。

**4. 海域環境と垂下養殖** 干潟養殖でも同様であるが、垂下養殖では特に、アサリの生残、成長、身入りを可能な限り最良にするために、海域の生産力(一次生産)、流速、波浪、水温、塩分などの環境条件をもとに、適正

な場所、垂下深度、時期を選ぶとともに、施設や容器の選択を行う必要がある。とはいえ、漁業権により指定された限られた地理的条件の中では、垂下深度、施設、容器の選択が具体的な対象にならざるを得ない。海域環境とアサリの生産性の関係を検討する場合、アサリの代謝の面からエネルギー収支を考慮すべきであり、体成長 somatic growth と再生産成長 reproductive growth の振り分けが生産性を決定していることにも着目しなければならない。垂下養殖されたムラサキガイ *Mytilus edulis* の再生産成長は天然個体群よりも著しく少なく、その理由として餌環境が良ければ体成長に多くのエネルギーが振り分けられると考察されている (Rodhouse et al. 1984)。水温や餌料供給といった環境面とアサリ体内におけるエネルギーの振り分けに関する詳細な研究は、アサリ垂下養殖の適地判定や技術開発だけでなく、天然資源を支える再生産構造の解明にも大きく寄与すると考えられる。

垂下養殖では、アサリの身入りが良くなるという長所ばかりではない点も認識すべきである。松本ら (2017) は、垂下養殖では成熟の盛期にあたる成熟期と放出期が干潟面に設置した網袋での飼育に比べて長引くことを指摘している。成熟期が長く成熟状態も良好であるということは、再生産成功率向上に寄与することが期待されるが、養殖生産から見た時には収穫時の取り扱いが刺激となってアサリの産卵が容易に起こり、製品の品質が安定しない場合があることを示唆する。

また、前章で述べたように北海道におけるアサリ垂下養殖試験で極めて良い成長を示したという事実は、比較的低い水温帯の方がアサリの成育に有利であることを示している。温暖化に伴う海水温の上昇などを考慮すると、アサリ垂下養殖の適地は北方に変遷するかもしれない。

**5. 垂下養殖が及ぼす生態系への影響** マガキでは垂下養殖が盛んになると生物堆積 biodeposition により、底泥に蓄積された有機物が底質の還元化や貧酸素水塊の発生を引き起こし、マガキ自体の成長生残に悪影響を及ぼすなど養殖環境の悪化事例が報告されている (楠木 1981)。また、Kaiser et al. (1988) は二枚貝の海面養殖において種苗の採取行為から干潟および垂下養殖、収穫における周辺環境への影響について種々の事例を取り纏めている。一方、Saurel et al. (2014) は北米西海岸におけるアサリ養殖による生態系サービスの便益を算定しており、Puget Sound 全体では 4,500 トンのアサリ生産により、約 9 万人分の栄養塩負荷量の処理に相当すると推定している。この背景には、給餌養殖でない二枚貝の養殖に対しても住民から厳しい目が向けられる欧米の事情があり、アサリ養殖による生態系サービスを具体的に示すことで社会的な理解を得る目的がある。日本におけるアサリの垂下養殖においても、生態系サービスの評価などのプラス面とともに、マイナス面も具体的に示すことができるように、生態系に与える影響も研究し評価されることが望ましい。

**6. ビジネスとしてのアサリ養殖の可能性** これまで述べてきたとおり、技術的にはアサリの天然採苗および垂下養殖とも実用の段階に至っている。しかし、アサリ垂下養殖が儲かるビジネスでなければ、普及を促進することはできない。ここで、アサリ天然採苗と垂下養殖の組み合わせによる簡単な収益試算例を示す。浦村では、1袋に 200 個体のアサリが採苗できることが確認された。網袋の接地面は 25 × 40cm 程度なので 1m<sup>2</sup> 当たり少なくとも 6 袋は設置が可能である。100m<sup>2</sup> に 600 袋設置すると、半年から 1 年後に 12 万個体のアサリ種苗 (殻長約 20mm) が収穫できる。また、1 袋のコストを 200~600 円とすると、アサリ 1 個体の製造原価は 1~3 円となる。人工種苗の生産コストは兵庫県水産技術センターによって殻長 10mm のアサリを生産するのに 1 個体あたり 0.25 円まで低減できたと報告されている (兵庫県立農林水産技術総合センター 2010)。また、種苗を市場から購入する場合は殻長 30mm (約 200 個体/kg) として単価が 500 円/kg 程度であるので、1 個体あたり 2.5 円となる。それぞれの種苗の大きさが異なるので単純に比較はできないが、天然採苗によるアサリ種苗の単価は、ほぼ同等のレベルにあると言えよう。砂利はもちろん、網袋とカキ殻加工固形物も 5 年以上繰り返し使用可能であることがわかっており、資材を有効に活用すれば、自前の天然種苗は購入種苗より低コストに抑えることが可能であろう。

垂下養殖では、1 個体の重量 10g、殻長 35mm 以上が出荷可能な製品の目安になる。先に述べたコンテナあるいは同程度のサイズの容器にアサリ種苗を 150 個体収容できるので、1 容器あたり 1.5kg、販売単価を 1,500 円/kg (現在の垂下養殖アサリの標準的小売価格) として 2,250 円の売り上げが見込まれる。上記の 12 万個体をすべてこのサイズに成長させたとすれば 1.2 トンの収穫量、180 万円が期待できる。このためには 800 容器 (単価 500~1,000 円) と基質 (1 容器分 300~1,200 円)、いかだなどの施設 (50~100 万円) が必要なので、初期投資として 114 万円~276 万円程度と見積もられる。また、先に述べた種苗確保のためのコストとして 12~36 万円が必要になる。したがって、初年度はほとんど利益が見込めないということになる。しかし、減価償却期間を 5 年間と仮定すると、垂下養殖と天然採苗のコストはそれぞれ年あたり 22.8~55.2 万円および 2.4~7.2 万円となる。この場合、人件費や輸送・出荷のための経費を考慮しなければ 100 万円以上の収益が見込まれることになる。すなわち継続することによって利益率を向上させることが可能になる。経費は選択する容器や基質の素材により大きく変わるし、1 本のロープに複数の容器を吊り下げる多段式を採用すれば、利益率の向上が期待できる。最も重要なのは、地元で採苗したアサリを製品にまで育て上げることで、地元産養殖アサリとして高い付加価値を付けることである。なお、ここで考慮しなかった項目を盛

り込んだ採算性については、高木ら（2017）による自己診断シートを用いて事前検討が可能である。

垂下養殖をモデルとして収益性について述べたが、先に述べたようにアサリ養殖においては必ずしも垂下養殖にこだわる必要はない。その場所における地勢・水理条件に適合すれば、垂下養殖以外に干潟養殖あるいは網袋養殖も選択される。そのためには、アサリ養殖を行おうとする候補地における水温、塩分に加え、波浪の強さ（有義波高や最大波高、有義周期や最大周期）、流れの強さ（上げ潮時や下げ潮時における最大流速）、潮差、海底勾配、底質粒径（中央粒径や淘汰度、土性三角図表による土性の分類）等で表される物理環境とクロロフィルの鉛直分布や時系列記録などといった生物環境を指標として、これらの指標がどの範囲にあればどの手法が適正なのか客観的に判断できるように類型化する作業が必要になるであろう。

## 文 献

- 浅尾大輔（2013）カキ殻を有効活用した新しいアサリ養殖一種とり（天然採苗）から垂下式養殖まで－. 第18回全国青年・女性漁業者交流大会資料, 88-96.
- アサリ資源全国協議会企画会議・水産庁増殖推進部・独立行政法人水産総合研究センター（2009）提言国産アサリの復活に向けて（改訂版）. 21p.
- Boscolo R, Cornello M, Giovanardi O（2003）Condition index and air survival time to compare three kinds of Manila clam *Tapes philippinarum* (Adams & Reeve) farming systems. *Aquacult. International*, **11**, 243-254.
- Castagna M, Manzi J J（1989）Nursery culture of clams in North America. in “clam mariculture in North America” (ed. By Manzi J J, Castagna M), Elsevier Press, New York, NY, p.127-147.
- Chew K K（1989）Manila clam biology and fishery development in western North America. in “clam mariculture in North America” (ed. by Manzi J J, Castagna M), Elsevier Press, New York, NY, p.243-261.
- Chew K K（1990）Global bivalve shellfish introductions. *World Aquacult.*, **21**, 9-22.
- 千葉県水産研究センター（2004）アサリ種苗生産の現場基礎技術：富津研究所の経験. 千葉県水産研究センター業績Ⅳ, 98 p.
- Fang J（2016）Development of Manila clam industry in China. *Bull. Fish. Res. Agen.*, **42**, 29-34.
- 藤原正夢・辻 秀二・田中雅幸・今西裕一・中西雅幸（2008）垂下コンテナ飼育におけるアサリの成長. 京都海七研報, **30**, 49-53.
- 古川厚・鈴木正也・木曾 亮（1956）小区画アサリ養殖について. 水産増殖, **4**, 1-13.
- Global Production Statistics. <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-production/en>, 2016年8月1日（閲覧日）
- 浜口昌巳（2011）一次生産の変化と有用種の関係（二枚貝）. 水研センター研報, **34**, 33-47.
- 浜口昌巳・佐々木美穂・薄 浩則（2002）日本国内におけるアサリ *Ruditapes philippinarum* の *Perkinsus* 原虫の感染状況. 日本ベントス学会誌, **57**, 168-176.
- 長谷川夏樹・日向野純也・井上誠章・藤岡義三・小林節夫・今井芳多賀・山口恵（2012）アサリ増殖基質としてのカキ殻加工固形物「ケアシェル」の利用. 水産技術, **5**, 97-105.
- 長谷川夏樹・日向野純也・藤岡義三・石樋由香・水野知巳・森田和英・山口 恵・今井芳多賀・浅尾大輔・尾崎善信・山本善幸（2015）アサリ垂下養殖における基質の検討. 水産増殖, **63**, 9-16.
- Hidu H, Newell C R（1989）Culture and ecology of the soft-shelled clam, *Mya arenaria*. in “clam mariculture in North America” (ed. by Manzi J J, Castagna M), Elsevier Press, New York, NY, p.277-292.
- 日向野純也（2015a）カキ殻加工固形物の開発とアサリの天然採苗. 養殖ビジネス, **651**, 48-51.
- 日向野純也（2015b）アサリの天然採苗と垂下養殖. 養殖ビジネス, **652**, 55-58.
- 日向野純也・品川 明（2009）アサリの代謝生理からみた貧酸素の影響とその対策. アサリと流域圏環境－伊勢湾・三河湾での事例を中心として（生田和正・日向野純也・桑原久実・辻本哲郎編）. 恒星社厚生閣, 東京, p. 87-100.
- Higano J, Hirano K, Kitahara S, Matsuda M, Mizuta K, Fujii A, Shinagawa A（2010）Manila clam and Pacific oyster culture in Isahaya Bay. *Bull. Fish. Res. Agency*, **29**, 39-47.
- 兵庫県立農林水産技術総合センター（2010）超低価格アサリの生産に成功. <http://hyogo-nourinsuisangc.jp/18-panel/pdf/h22/4-3.pdf>, 2016年8月1日（閲覧日）
- 池末 弥（1957）アサリの生態学的研究－Ⅱ. 沈着期と初期成長. 日本水産学会誌, **22**, 736-741.
- 岩尾敦志・西広富夫・藤原正夢（1991）トリガイ養殖の可能性について. 京都海洋センター研報, **14**, 14-19.
- Jones G G, Sanford C L, Jones B J（1993）Manila clams: hatchery and nursery methods. Innovative Aquaculture Products Ltd., Lasqueti Island, Canada., 70p. <http://innovativeaqua.com/Publication/clam.pdf>, 2016年8月1日（閲覧日）
- Kaiser M J, Laing I, Utting S D, Burnell G M（1988）Environmental impacts of bivalve mariculture. *J. Shellfish Res.*, **17**, 59-66.
- 柿野 純（1982）青潮によるアサリへい死原因について 貧酸素水および硫化物の影響. 千葉水試研報, **40**, 1-6.
- 柿野 純（1986）東京湾奥部における貝類へい死事例 特に貧酸素水の影響について. 水産土木, **23**, 41-47.
- 柿野 純（2000）東京湾盤洲干潟におけるアサリの減耗に及ぼす波浪の影響に関する研究. 東京水産大学博士論文, 140p.
- 蒲原 聡・山田 智・曾根亮太・青木伸一（2014）三河湾六条潟におけるアサリ稚貝の生産機構. 愛知水試研報, **19**, 1-9.
- 河川環境総合研究所（2005）流量変動と流総土砂量の変化が沖積河川生態系に及ぼす影響とその緩和技術. 河川環境総合研究所資料16, 財団法人河川環境管理財団河川環境総合研究所, 西印刷, 東京, 181p.
- 粕谷智也（2005）東京湾におけるアサリ浮遊幼生の動態. 水産総合研究センター研報, 別冊 **3**, 51-58.
- 木村 博（2005）かに類によるアサリの捕食. 山口県水産研究センター報告, **3**, 97-103.
- Kitada S, Fujikake C, Asakura Y, Yuki H, Nakajima K, Vargas K M, Kawashima S, Hamasaki K, Kishino H（2013）Molecular and morphological evidence of hybridization between native *Ruditapes philippinarum* and the introduced *Ruditapes* form in

- Japan. *Conserv. Genet.*, **14**, 717-733.
- 小林 豊・鳥羽光晴 (2014) 東京湾盤洲干潟におけるカイヤドリウミグモの大量寄生によるアサリの死亡と漁業への影響. 千葉水産研報告, **8**, 27-33
- 小長井町漁業協同組合 ゆりかごあさり. <http://www.jf-konagai.com/clam>, 2016年8月1日 (閲覧日)
- 楠木 豊 (1981) カキ養殖漁場における漁場老化に関する基礎的研究. 広島水試研報, **11**, 1-93.
- McNamara M E, Lonsdale D J, Cerrato R M (2010) Shifting abundance of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* and the implications for larval bivalve mortality. *Mar. Biol.*, **157**, 401-412.
- 松川康夫・張 成年・片山知史・神尾光一郎 (2008) 我が国のアサリ漁獲量激減の要因について. 日本水産学会誌, **74**, 137-143.
- 松本才絵・石樋由香・淡路雅彦・日向野純也 (2017) 垂下養殖によるアサリの肥満度と生殖周期. 水産技術, **9**, 155-157.
- 三重県水産研究所 (2011) 三重県アサリ資源管理マニュアル～伊勢湾のアサリを守り育て活かす～. 三重県, 41p.
- Miyazaki I (1938) On fouling organisms in the oyster farm. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **6**, 223-232.
- 水野知巳・丸山拓也・日向野純也 (2009) 三重県における伊勢湾のアサリ漁業の変遷と展望 (総説). 三重水研報, **17**, 1-21.
- 水田浩二・山砥稔文・日向野純也・玉置昭夫 (2011) 垂下飼育による夏季のアサリ大量へい死対策. 水産増殖, **59**, 435-442.
- 森 文義 (1982) アサリ養殖業の展開を進めて. 第28回全国漁村青壮年婦人活動実績発表大会資料, p.169-173.
- 中川義彦・東 幸兵・廣原正康・新田 尚 (1992) 野付湾で採取された超大型アサリについて. 釧路水試だより, **67**, 12-17.
- 中原康智・鳥羽瀬憲久 (1996) 熊本県玉名地先 (菊池川河口域) におけるアサリ成長について. 平成7年度熊本県水産研究センター資料, 1.
- 中原良信 (2015) アサリの復活を目指して! ～鹿児島湾 (錦江湾) の恵みを次代につなぐ～. 第21回全国青年・女性漁業者交流大会資料, 8p.
- 西 栄三郎・田中克彦 (2006) 要注意外来生物としての多毛類カンザシゴカイ類の分類について. 神奈川自然史資料, **27**, 83-86.
- 西沢 正・柿野 純・中田喜三郎・田口浩一 (1992) 東京湾盤洲干潟におけるアサリの成長と減耗. 水産工学, **29**, 61-68.
- 農林水産省統計情報部 (1954-2015) 昭和28年度～平成26年度漁業養殖業生産統計年報. 農林統計協会, 東京
- 大越健嗣 (2012) 外来巻貝サキグロタマツメタのアサリに対する捕食. 日水誌, **78**, 979-982.
- Pais A, Chessa L A, Serra S, Rui A (2006) An alternative suspended culture method for the Mediterranean carpet clam, *Tapes decussatus* (L.), in the Calich Lagoon (North Western Sardinia). *Biol. Mar. Medit.*, **13**, 134-135.
- Rodhouse P G, Roden C M, Hensey M P, Ryan T H (1984) Resource allocation in *Mytilus edulis* on the shore and in suspended culture. *Mar. Biol.*, **84**, 27-34.
- 佐々木正義 (2012) 北海道東部海域におけるアサリ漁業と漁業管理の実態. 北水試だより, **84**, 1-5.
- Saurel C, Ferreira J G, Cheney D, Suhrbier A, Dewey B, Davis J, Cordell J (2014) Ecosystem goods and services from Manila clam culture in Puget Sound: a modelling analysis. *Aquacult. Environ. Interact.*, **5**, 255-270.
- 瀬川直治・菅沼光則 (1996) 漁場および飼育にみる捕食者キセワタガイと被食者アサリの関係. 愛知水試研報告, **3**, 7-15.
- 重田利拓・薄 浩則 (2012) 魚類によるアサリ食害ー野外標本に基づく食害魚種リストー. 水産技術, **5**, 1-19.
- 鈴木賢也 (2007) 希望の光「エゾイシカゲガイ」登場!- エゾイシカゲガイの可能性を探る-. 第13回全国青年・女性漁業者交流大会資料, p.53-57.
- 鈴木杏子・山本義和・高岡素子 (2009) 兵庫県における垂下養殖アサリと天然アサリの比較について. ヒューマンサイエンス, **12**, 7-17.
- 高木儀昌・大山寿美・日向野純也 (2017) アサリ養殖経営の採算性評価に関する簡易自己診断シートの入力方法と解説. 水産技術, **9**, 159-170.
- 高見東洋・金井大成・原川泰弘・河村和寛 (2002) アカガイの新養殖技術の開発に関する研究 - I 基礎的条件下における可動式育成床の生産性. 山口県水産研究センター研報, **1**, 53-58.
- Toba D R, Dewey B, King T (2005) Small-scale clam farming for pleasure and profit in Washington. Washington Sea Grant Program Publications, Seattle, 20p. <https://wsg.washington.edu/wordpress/wp-content/uploads/Small-Scale-Clam-Farming.pdf>, 2016年8月1日 (閲覧日)
- Toba D R, Thompson D S, Chew K K, Anderson G J, Miller M B (1992) 水産増養殖叢書42: ワシントン州におけるアサリ養殖ガイドブック (鳥羽光晴監訳, 1996). 日本水産資源保護協会, 東京, 119p.
- 鳥羽光晴 (1987) アサリ種苗生産試験-I人工種苗生産したアサリの成長. 千葉水試研報, **45**, 41-48.
- 鳥羽光晴 (1989) ケフサイソガニによるアサリ稚貝の捕食実験 特に種苗生産稚貝と自然発生稚貝の捕食されやすさの差異. 千葉水試研報, **47**, 27-33.
- 鳥羽光晴 (1995) アサリ *Ruditapes philippinarum* Adams et Reeve の種苗生産に関する基礎的研究. 東京水産大学博士論文, 261p.
- 富田恭司 (1983) アサリについて. 釧路水試だより, **51**, 1-3.
- 脇 司 (2014) アサリに寄生する *Perkinsus* 属原虫の病害性に関する研究. 東京大学博士論文, 176p.
- Walker R L, Hurley D H (1995) Biological feasibility of mesh bag culture of the northern quahog, *Mercenaria mercenaria* (L.), in soft-bottom sediments in coastal waters of Georgia. *Mar. Extension Bull.*, **16**, University of Georgia, Athens, 35p.
- 山口敦子 (2006) 日本沿岸域へのナルトビエイ *Aetobatus flagellum* の出現と漁業への影響. 月刊海洋号外, **45**, 75-79.
- 山本喜一郎・岩田文男 (1956) 厚岸湖に於けるアサリに関する研究 (II) 成長度及び最小成体形. 北水研報, **14**, 57-63.
- 安信秀樹 (2012) 垂下カゴ式飼育によるアサリの中間育成. 水産技術, **5**, 33-38.
- 安信秀樹 (2014) 播磨灘におけるアサリ垂下養殖の取り組み. 豊かな海, **33**, 29-32.
- 財務省貿易統計. <http://www.customs.go.jp/toukei/info/tsdl.htm>, 2016年8月1日 (閲覧日)
- 全国沿岸漁業振興開発協会 (1996) 沿岸漁場整備開発事業増殖場造成計画指針ヒラメ・アサリ編 (平成8年度版). 日本

印刷，東京，316p.

Zhao L, Yan X, Huo Z, Yang F (2012). Divergent selection for shell length in the Manila Clam, *Ruditapes philippinarum*. *J. World*

*Aquacult. Soc.*, **43**, 878–884.

増養殖研究所 (2012) ノリ色落ち対策に寄与する二枚貝増養殖技術ガイドライン. 伊藤印刷，津，203p.