

機関誌「豊かな海」

ーシリーズー

リレーでつなぐ 元気「アサリ通信」

令和元年12月

公益社団法人全国豊かな海づくり推進協会

目 次

<第1回>豊かな海 No.36 (2015年7月)

アサリの資源回復をめぐるこれまでとこれから 1

東京海洋大学 産学・地域連携推進機構 客員教授 鳥羽 光晴

<第2回>豊かな海 No.37 (2015年11月)

伊勢湾におけるアサリの資源回復 8

三重県水産研究所 鈴鹿水産研究室 主任研究員 羽生 和弘

<第3回>豊かな海 No.38 (2016年3月)

三河湾一色干潟におけるアサリ資源管理 14

愛知県西三河農林水産事務所 水産課 課長補佐 山田 智

<第4回>豊かな海 No.39 (2016年7月)

これからのアサリ漁場造成に向けて 18

国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産工学研究所 研究員 南部 亮元

<第5回>豊かな海 No.40 (2016年11月)

北海道東部海域におけるアサリ漁業とその管理について 22

北海道立総合研究機構 釧路水産試験場 研究主任 近田 靖子

<第6回>豊かな海 No.41 (2017年3月)

浜名湖におけるアサリ資源回復の取組 27

静岡県水産技術研究所 浜名湖分場 主任研究員 上原 陽

<第7回>豊かな海 No.42 (2017年7月)

有明海におけるアサリ漁業と資源の動向、今後の再生方策について 32

国立研究開発法人水産研究・教育機構 西海区水産研究所

有明海・八代海漁場環境研究センター資源培養グループ長 松山 幸彦

<第8回>豊かな海 No.43 (2017年11月)

瀬戸内海西部のアサリ資源の変動と漁場環境変化 38

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
生産環境部干潟生産グループ主任研究員 手塚 尚明

<第9回>豊かな海 No.44 (2018年3月)

大分県豊前海におけるアサリ漁業の現状とアサリ増養殖の取組 42

大分県農林水産研究指導センター水産研究部 浅海・内水面グループ
浅海チーム 主任研究員 山田 英俊

<第10回>豊かな海 No.45 (2018年7月)

アサリ資源の増殖と環境要因について 48

養殖システム研究センター 増養殖環境グループ長 渡部 諭史

<第11回>豊かな海 No.46 (2018年11月)

東京オリンピックまでにアサリ漁業復活を目指す！ 54

東邦大学理学部生命圏環境科学科教授・日本貝類学会会長 大越 健嗣

<第12回>豊かな海 No.47 (2019年3月)

海水池で生産したアサリ稚貝で母貝集団を造成へ 61

山口県水産研究センター内海研究部 増殖病理グループリーダー 岸岡 正伸

<最終回>豊かな海 No.49 (2019年11月)

アサリの今後 65

東京海洋大学産学・地域連携推進機構 客員教授 鳥羽 光晴

【新シリーズ】 リレーでつなぐ、元気「アサリ通信」

第1回

アサリの資源回復をめぐるこれまでとこれから

—アサリ資源の減少に対する危機感や、回復への熱意を失わずに—



東京海洋大学 産学・地域連携推進機構 客員教授 鳥羽 光晴

1. 私たちの現在位置

これまでの対応 もう十年以上前から、アサリの資源減少については漁業者、研究者、行政担当者などによって全国各地で事あるごとに提示され、論議されてきました。アサリの全国漁獲量の変化を示すグラフ（図1）も見飽きたという人も多いでしょう。実は私もその一人です。でもやはり、ここからでないと話が始まらないのでしばらくの間ご辛抱を。

「かつて12万トンを超えていた日本のアサリ漁獲量は、1980年代半ばに減少し始め、約15年間の減少期を経て、1990年代後半には約4万トンとなった。その後、2010年以降になっても回復の兆しは見えない。」こういった説明がこのグラフに対しては一般的です。でも、このグラフを見ながら私が今感じているのは、アサリの大幅な減少ではありません。アサリの漁獲量が4万トンの低レベルに達したのがすでに15年以上前であり、10万トン以上であったのはなんと30年以上前の昔になろうとしていることです。

1960年代以降の増養殖技術開発や漁場造成に

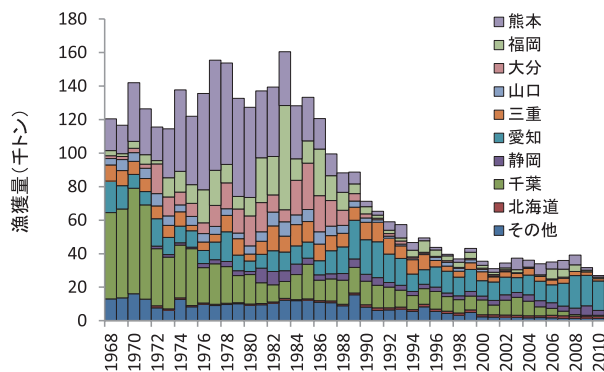


図1 アサリの県別漁獲量の変化

関する国の事業の流れを年表にしてみました（図2）。私個人の調査によるものなので、もれや時期のずれ、軽重の違いなどがあるかもしれないのはご容赦ください。これらのうち、アサリに関するのはまず沿岸漁場整備や水産基盤整備などを中心とする漁場造成、漁場改善の関連事業です。1970年代から大規模増養殖場造成事業などで取り上げられており、2000年代前後からは赤潮酸素、底質悪化、強波浪などへの対策といった環境改善もこの中で行われています。栽培を中心とした飼育技術開発に取り上げられるのは2000年代以降の養殖技術開発から。これは、単価が安く量が多いアサリは、それまで人工ふ化育成技術開発の対象とならなかったためです。また、資源管理の分野で大きく取り上げられるのはやはり2000年代以降の資源回復計画あたりからです。これは、浮魚や一般の沿岸資源とは異なって、アサリのような極内湾域の資源は資源管理より環境悪化の影響が大きく、まずは環境改善による対応の必要性が考えられたためと思われます。一括すると、漁場の造成や改善を中心としたアサリの増殖（資源回復）の試みはすでに40年近い歴史があり、2000年代以降には飼育技術開発、資源管理などが加わって全面的な水産技術の動員が行われている、といったところでしょうか。

こういった歴史を見て私が今感じていることは、これだけ長い間、水産としてはかなり大きな（最大限かもしれない）投資を行ってきたにもかかわらず資源は減少してしまい、回復傾向はみられない—ということを多くの関係者が感じているだろうということです。特に、漁業者であれ、研究者であれ、行政担当者であれ、全力を傾けてきた人ほどそう感じているのではないのでしょうか。

そしてもう一つ、上のような努力にもかかわらず

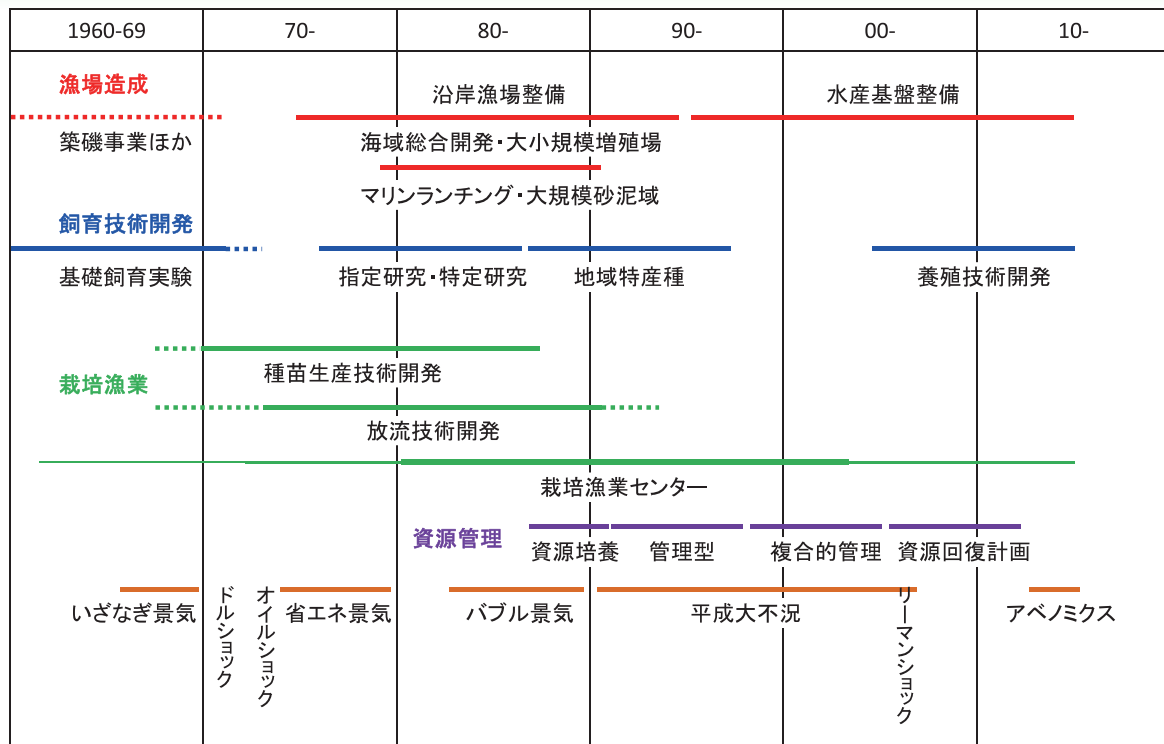


図2 二枚貝関連の漁場整備事業、増養殖技術開発および資源管理関連事業の流れ

ず、漁獲量が最低レベルに達したまますでに15年がたっているということです。この間にアサリの資源回復や増養殖の分野に入ってきた若い人々は、資源が減少したことはもちろん、かつて12万トンを超える漁獲量があったことも話とデータでしか知りません。彼らにとっては4万トンの漁獲量が現状であり、出発点になることでしょう。

現在のアサリ関連技術開発 現在行われているアサリへの対応は、研究開発、現場実施など開発レベルは様々ですが、いずれも大きく2つに分けることができます。一つは資源増殖、資源回復を目指した場づくり、環境改善、核資源の造成などの取り組みです。もう一つは、天然採苗、人工ふ化飼育、保護育成などの技術開発であり、経済事業としてのアサリ養殖産業の成立を目指した取り組みです。

資源回復を目指した最近の取り組みの特徴の一つは、個別の手法を効率的に統合してより高い効果の発現を目指していることです。個別の手法とは、例えば生息場の環境改善、食害生物や競合生物の除去、核資源となる稚貝の育成や移植などであり、それらの手法は以前から実施されてきたものです。特徴となるのは、その実施に当たって対象海域全体のアサリの個体群生態と環境条件の網羅的な調査を行いつつ、その海域のアサリの増加

に最も効果的な実施場所や実施時期を判断した上で手法を選択し、適用しようとしていることです。

経済事業としての養殖を目指した手法開発は、日本では歴史が浅く、成功例はまだ少ないのが現状です。しかし、多くの研究開発が進行中で、新しい育成手法や技術知見が次々と発表されています¹⁻⁵⁾。またそれらをもとに、これまでアサリとは縁のなかったような地先でも、新規の養殖の試行例などがいくつも報告されています。アサリ養殖はまさに急速な発展途上にあり、今後何年かのうちに全国各地で新しい成功例が生まれることでしょう。

アサリ養殖の開発は、まだ解決しなければならない点が多くありませんが、その道筋は明確です。それに比べるとアサリの資源回復の道のりはまだ遠いものと感じます。以下では、アサリの資源回復について考えてみます。

2. 資源回復を目指すときの前提

アサリの資源回復の今後を考える前に、確認しておかなければならないことがあります。一つはアサリの資源減少の原因究明の進展状況であり、もう一つはこれまでの資源回復の目的と方法の整合性です。

資源減少の原因究明 資源の回復を考えると、相手（減少原因）を良く知らなくてはなりません。相手が良くわからないまま、手持ちの武器（手法）をただ力いっぱい使うだけでは効率が悪いばかりでしょう。

これまでに、多くの要因がアサリの資源減少の原因として指摘されました（表1）。それらは全国的な情報収集^{6, 7)}、あるいは各方面の専門家からの提起によるものです。それらは大きく、沿岸開発、温暖化、水質悪化、問題となるものの移入、漁業そのものの変化などに分けられ、さらに具体的な作用要因—アサリの生き残りや成長を悪化させるとされた直接的現象—toに細分されます（表1）。これらは、アサリの減少が社会的問題とまでなって多くの議論があった時にほぼ一斉に提起されました。

問題なのは、これらの多くが提起されただけで、その後各要因の軽重大小の評価、すなわちアサリ減少の原因究明が具体的、実証的にほとんど行われていないということです。解明が進んだ数少ない要因としては、有機スズは使用規制によって多くの海域でほとんど問題ではなくなりました。また現場調査の結果、内分泌かく乱物質の影響はごく限定的で、海域資源全体に影響を与えるほどのものではなさそうだとすることがわかりました。

一方、強い波浪によるアサリの洗掘死亡は多くの海域で見られることがわかってきました。青潮や有毒プランクトン（ヘテロカプサ）による大量死亡は指摘される以前から明らかな減耗要因でした。残念ながら表1にあるこれ以外の作用要因については、アサリの資源減少との関係解明はほとんど進んでいません。

もちろん、要因によってはアサリの減少と関係付けた調査そのものが困難なものもあります。しかし、その要因が提起された時にはその要因とアサリの減少との関係が具体的に想定されていたはずで、その影響度の大きさ（定量的評価）はともかく、影響の有無（定性的評価）くらいは評価していくべきではないでしょうか。

目的と手法の齟齬1「資源」をどう見るか いまだに混乱、あるいは曖昧さがあるのではないかと感じるのは、「資源回復」という言葉を使うときの「資源」のとらえ方です。例えば、現場でアサリの稚貝を増やす（あるいは集める）方法、あるいは保護育成する方法として、砂利等を入れた網袋の設置や海底面を網で覆う被覆網など手法があります。これらは一定の条件下で有効性、再現性が認められている有用な手法です。これらの手法が地先でのアサリ稚貝の増加や、保護育成を目的として使われるときには混乱はありません。と

表1 アサリ資源減少との関係が指摘された要因

	原因	作用要因
沿岸開発	埋め立て、干拓	干潟・浅海域の減少、幼生ネットワークの崩壊
	直立護岸	潮流流速の低下、流れの変化、波浪の変化
	河川改修	砂の供給不足、泥の増加
	ヒートアイランド	高水温、短時間大量降雨、強風
	地盤沈下	生息場の減少、波浪の強大化
温暖化	高温化	高水温、プランクトンの変化、食害生物の変化
	気象の極端化	台風の強大化、短時間大量降雨、爆弾低気圧
	海面上昇	潮位上昇、流れの変化、波浪の強大化
	気候パターンの変化	冬の秋化、夏の長期化
水質悪化	有機汚濁	貧酸素・青潮、赤潮
	汚染物質	有機スズ、内分泌かく乱物質
	水質規制	栄養塩不足
移入	病虫害	新しい病虫害、有毒プランクトン
	侵入生物	食害生物
	移植放流	競合、遺伝的かく乱
漁業の変化	ノリ養殖の減少	漁獲圧の増加、波浪の強大化

ころが、ややもするとこれらの手法が「資源回復」や「資源増殖」を標榜しつつ使われることがあります。

一般的に「資源」という言葉が使われるとき、地先ピンポイントのアサリ群を対象としていることは少ないでしょう。アサリでとりあえず閉じた個体群とみなされるのは、東京湾、三河湾、伊勢湾、周防灘、有明海などのアサリ群であり、まずはこれらをそれぞれ一つの単位、すなわち資源として考えることができるでしょう。さらにこれらの海域では、その中の各地域に複数のアサリの分布があり、それぞれに密度の濃淡や規模の大小があります。そしてそれぞれの分布は複数の漁業協同組合によって管理されていることが普通です。一方、アサリ稚貝の増加や保護育成のための手法は、漁業協同組合を単位として実施されることが多いと思われまます。そしてその手法の適用範囲は一つの漁業協同組合の有効漁場の全域にわたることはまれで、通常はごく一部を対象としています。

つまり、通常実施されるアサリ稚貝の増加や保護育成のための手法の適用範囲と海域資源の規模はかけ離れたものと言えます。これまでに実施された資源回復のための試みの多くが明確な効果を謳うことができなかったのは、採用された手法の

有効性に問題があったというより、目標の設定に問題があったのではないかと感じます。網袋で集めた稚貝を養殖用の種苗として使ったり、被覆網で保護育成したアサリを潮干狩りの獲物用として使うことは適切です。覆砂あるいはコンクリート構造物や堤体の設置などもその実施場所や周辺での効果を期待するのは妥当でしょう。しかし、それらの手法を海域資源の回復のために使うことは、特にその規模において、目的と方法の大きな齟齬があるように感じます。とはいえ、海域資源の回復との間にギャップがあることを認識しつつ、局所的な個体数の増加を目指した行為を行うことが普通ではないかと思えます。しかしそのようなときでも、その局所的な手法が海域的な手法へと確実に発展していく形を展望しつつ実施することが必要ではないでしょうか。

目的と手法の齟齬2「相手の大きさ」をどう見るか これまでにアサリ天然個体の増加あるいは減耗防止を目的に実施されてきた手法を見てみましょう（表2）。用いられた手法は竹柵や土嚢の設置など漁業者自身で実施できる小規模なものから、堤体の建設など大規模な土木工事を必要とするものまで様々です。

ここで着目したいのは、それぞれの実施例の規

表2 アサリ天然個体の増加のために実施された手法と大規模な実施例

手法	現場実施	直接効果	期待できる効果	実施例	
				地区、工事例	造成(開発)面積
覆砂	砂の散布	悪化した底土の被覆	着底・集積・生き残りの改善	三重県東豊浜、覆砂 66000m ³	18ha
	碎石の散布	流れの改善			
		食害保護	生き残りの改善		
	貝殻片の散布	悪化した底土の被覆	着底・集積・生き残りの改善		
耕うん		底質改善	生き残りの改善		
	表層土の掘り返し	底土の軟化、泥分の除去			
		迷惑生物の除去			
構造物の設置	竹柵、樹脂パイプ	流れ・波の緩和	集積促進、散逸防止		
	土管、土嚢、				
	コンクリートパネル、FRP フェンス				
	被覆網	底土の安定化			
地盤改変		食害保護	生き残りの改善	愛知県福江、盛り土 386000m ³ 熊本県熊本市、盛り土 353000m ³	90ha 60ha
	盛り土	水深・流れの改善	着底促進		
		泥分の堆積軽減	生き残りの改善		
		波の緩和		熊本県玉名、削土 254000m ³ 熊本県鏡、削土 293000m ³	59ha 82ha
	削土	水深・流れの改善	着底促進		
		海水交換の促進	成長促進		
	削濬	流れの改善	着底促進	愛知県福江、削濬 V=521000m ³ 熊本県有明、削濬 L=5700m 熊本県熊本市、削濬 L=3300m	(上出) 56ha (上出)
		海水交換の促進	成長促進		
堤体等の設置	コンクリートブロック	流れ・波の緩和	着底促進、生き残りの改善	山口県山口大海湾、消波堤 L=500m 山口県下関・山陽、消波堤 L=1400m	81ha 67ha
	消波堤、潜堤	流れ・波の緩和			
	導流堤	流れの改善			

模です。表中には大規模なアサリ増殖場造成事業が実施された沿岸漁場整備開発事業の実施例の中から、規模の大きな例を示してあります。これらでは主に地盤の改変あるいは堤体等の設置などが行われました。耕耘や構造物の設置は漁業協同組合の事業として行われることが多く、規模は小さいと思われるので除きました。これらのアサリ増殖場造成の事例は、おそらく水産分野で行われたアサリ資源対策事業としては最大規模でしょう。今後このような大規模な漁場造成・改善事業が行われるかどうか分かりません。しかしながら、その規模（造成面積あるいは開発面積）は1件当たり60～90haです。1海域で複数の事業が行われましたが、それらを合わせても最も大きい有明海で300ha前後ではないでしょうか。

一方、それらの事業が行われた三河湾、伊勢湾、周防灘、有明海の干潟面積は、約1,400～20,400haになります（表3）。もちろん表2の増殖場造成事例は海域全体の資源増加を目標としたものではありません。しかし今後、アサリの海域資源の回復を目指した事業を行うとしても、これらの規模以上の事業は想定しにくいのではないかと思います。そして、このような大規模な事業を行っていたにもかかわらずアサリ資源は減少してしまったという現実があります。

表3 主要海域の干潟面積

海域	干潟面積 (ha)	県	干潟面積 (ha)
三河湾	1,526	愛知(三河湾)	1,526
伊勢湾	1,375	愛知(伊勢湾)	441
		三重	934
周防灘	6,532	山口	1,068
		福岡(瀬戸内海)	1,734
		大分	3,730
有明海	20,391	福岡(有明海)	2,590
		佐賀(有明海)	8,059
		熊本(有明海)	6,939
		長崎	3,487

(第5回自然環境基礎調査, 環境省, 1997)

3. 資源回復の方向性

規模拡大のための連携 アサリの資源回復をまじめに考えるほど重たい話になってしまいそうですが、もちろん私は今後に期待を持っています。でも、本格的に実施する際には海域全体を相手にする覚悟が必要であり、そのためには水産以外の力を借りることが必要な場合もあると思います。具体的には、全域的な水質改善やさらに規模の大きな場づくりを行うためにです。

近年、瀬戸内海では冬季を中心に極端な低栄養塩状態になることがあります。ノリの色落ちは低栄養塩の影響が顕在化した最も深刻な例でしょう。栄養塩の減少は海域の生物生産そのものを縮小させることが考えられ、アサリの資源減少との関係を想定させるデータも示されています⁸⁾。ところが、海域の栄養塩の制御は水産だけではどうしようありません。幸いなことに、社会的な問題提起と関係者への働きかけによって、第8次総量規制では「生物の多様性及び生産性の確保を考慮した」「豊かな海」への考え方が取り入れられるようです*。

三河湾では平成12～16年度に、湾口の航路浚渫で発生した良質の砂を使って、沿岸域に多くの干潟・浅場が造成されました（図3）。造成した総面積は600ha、使用した土砂量620万m³でした⁹⁾。この事業は、国交省事業、愛知県水産課事業、同港湾課事業などを組み合わせて実施されました。この事業規模は水産単独で行っていた増殖場造成事業を上回るものであり、かつ複数の事業主体による事業が統一された考え方の中で同時並行して実施されました。

国土整備関係の事業で航路浚渫などは今後も継続されるでしょうし、発生土砂が数十万～百万m³を超える場合も珍しくないようです。東京湾ではさらに大きな土砂量を使った事業が行われているとも聞きます。これまで、大規模工事による発生土砂は水産にとっては迷惑物であり、漁業関係者は漁業に悪影響がないように処理することを強く要望してきました。もちろんそのような要望は当然のことです。でも、視点を少し変えて、それら

* 環境大臣諮問第382号、平成26年9月8日。

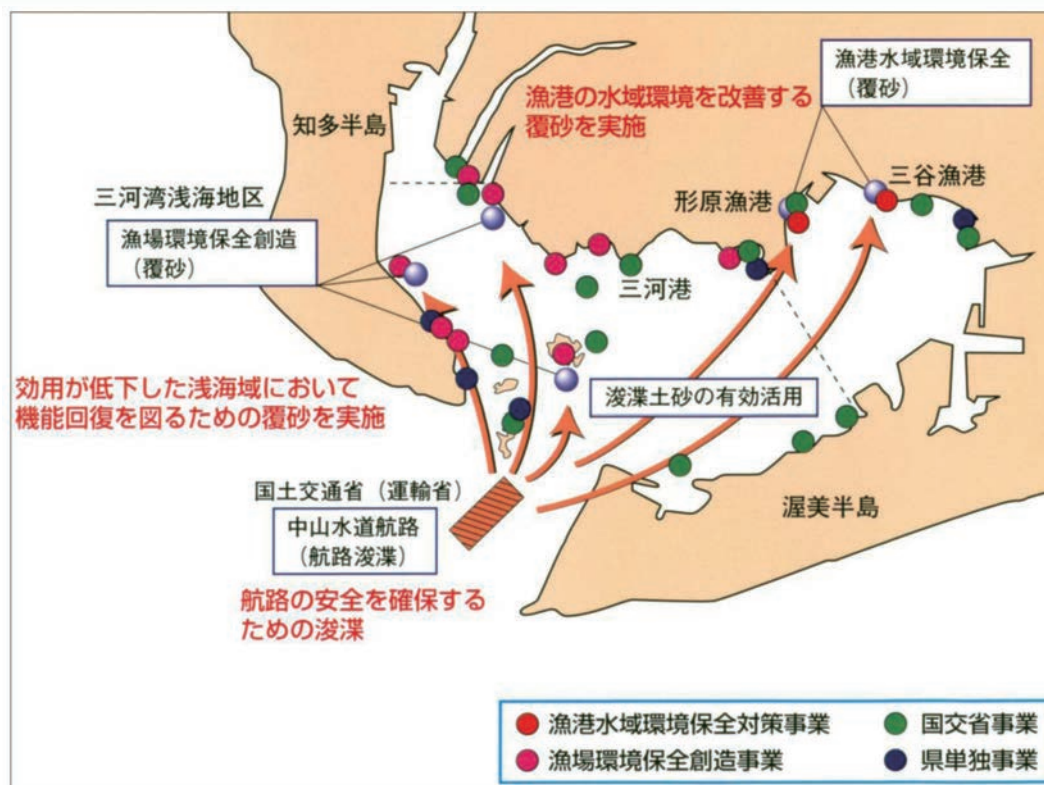


図3 三河湾での干潟・浅場の造成事例

(広域的な干潟・浅場造成による漁場の環境改善、生産力向上(愛知県三河湾地区)、水産基盤整備事業における効果事例、水産庁、http://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_zyoho_bako/zirei/sub86.html).

の発生土砂を漁場改善、漁場造成のために積極的に使ってみてはどうでしょうか。迷惑物を有用物として利用していくということです。もちろん土砂の質や量、あるいは実施時期や場所によって利用不能な場合もあるでしょう。そしてそれぞれの関係者にはそれぞれの事業目的、行政目標、要望があります。しかし、各領域の事業を連携させること、そしてそれらを共通の意思のもとに実施することで、これまで以上の規模の資源回復事業を実施することができるかもしれません。三河湾の例を見るまでもなく、関係者が周到で綿密な打ち合わせを行えば、マイナスをなくし、プラスを増やしていく可能性はあるように思います。

また、環境関係の行政部局にとって、大きな目標は水底質の維持、改善でしょう。内湾域の漁業にとってもう一つの大きな水質問題は貧酸素です。東京湾などでの貧酸素化は経年的に底質中に多量に堆積した有機物の影響が最も大きく、あらたに陸域から流入する窒素やリンを削減しても効果は小さいといわれています。このことは排水水質の管理、規制だけでは貧酸素化の改善には限界があるということを示しており、海域に対して何

らかの改善のための操作(工事など)が必要ということになります。上で述べた関係者には環境関係の人々の参加も期待されます。

水産技術の役割—水産技術のライブラリ化 このように考えると、話はアサリだけでなく内湾漁業全体に関係することになってきます。また、技術論というより体制とその運営の問題になってきます。しかし、本稿の趣旨はアサリの資源回復を技術開発の面から考えることです。上のような展望をもとに水産技術としてこれから何をすべきなのか具体的に考えてみます。

国土整備の関係者あるいは環境改善の関係者にとって不足しがちなのは、環境と生物の対応関係に関する知見です。例えば、土木関係者がアサリに適した浅場を作るために使用する土砂の選定をするとき、「泥分50%以上の場所でも生息可能(=生息していた例があった)」といった情報をもとに、使用土砂の泥分の上限を50%とするなどということがあります。しかし水産の側からしてみれば、泥分50%というのは砂場ではなく泥場であり、到底アサリの生息に好適な場所とは言えません。このような危うい例は、水底質、波・流れ、

濁り、地盤標高など、多くの環境要素でみられます。

水産の役割は、このようなとき、正確な情報を提供して生物側の都合や要求を示していくことです。アサリには成貝、受精卵、幼生、着底稚貝、稚貝、成貝といった発育段階があり、季節や場所によって異なる環境条件の中で、摂餌、呼吸、成熟、産卵、遊泳、着底・変態、潜砂などを行っています。ある発育段階のアサリが、ある環境条件に暴露されたとき、その生理生態はどのように変化するかしないのか、それは好都合なのか不都合なのか、そういったことを丁寧に示していくことが大切です。これはまさに水産の得意とする分野です。

もちろんそれらは既存の文献を読めばわかることですが、門外漢にはそれだけでは不親切です。例えば丁寧に、「ある時期にある場所である土木工事を行おうとしたとき、このように環境条件が変化して、アサリに対してこういう影響を与える可能性がある。」といった説明が望まれるでしょう。そしてさらに進んで、水産でこれまでに実施した漁場整備や増養殖の事例を体系的に示すことができれば大いに参考になるでしょう。水産の経験や事例は膨大なものであり、それだけでも貴重で巨大なライブラリになります。こういったライブラリの構築は水産だけの仕事ではありません。関係者全員で作上げていく努力が必要でしょう。

そしてさらに、このようなライブラリの構築作業は、私たち水産技術者自身にとってのレビューとなります。ある環境改善をしようとしたとき、既存の技術的知見や手法ではこういった部分が不足しているなどといったことが明らかになれば、ただちに具体的目標を持った次の研究開発のテーマにつながります。

4. 最後に

本稿ではアサリの資源回復の今後の展望について、取組みの大規模化を中心に考えてみました。しかし、方途は大規模化だけではないかもしれません。大規模ではなくても、例えば、繰り返し長期間実施することで効果の生まれる方法があるかもしれません。具体的でさまざまなアイデアを出し合っていくことが大切だと思います。

本誌では今号からアサリの資源回復に関するレビューが連載される予定です。その第1回に当たり、未整理ながらアサリの資源回復に関する私の所感と期待を述べてみました。繰り返しますが、私は現在行われている研究開発を否定的に見ているわけではありません。しかし、このまま静かに研究開発だけが続けていたのでは、アサリ資源の減少に対する危機感や、その回復に対する熱意は凋んでいってしまうような気がしてなりません。そのため、不十分かつ不遜ながら、現在行われている研究開発の先にあることの一例を示したつもりです。とはいえ、いくつもの事実誤認や重要な情報漏れがあるかもしれません。多くのご意見、ご批判をお待ちしています。なにより、(本稿を批判しつつ)アサリの資源回復に関する議論が今後さらに活発化することを期待しています。

参考文献

- 1) 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(1), 97-105.
- 2) 清水洋平 (2014) 北海道におけるアサリ漁場を用いた資源回復試験. 豊かな海, 33, 18-23.
- 3) 安信秀樹 (2014) 播磨灘におけるアサリ垂下養殖のとりくみ. 豊かな海, 33, 29-32.
- 4) 岸岡正伸 (2014) 海老池を利用した粗放的なアサリ種苗生産技術の開発. 豊かな海, 33, 33-38.
- 5) 日向野純也 (2014) アサリの天然採苗と垂下養殖. 豊かな海, 33, 56-58.
- 6) アサリ資源全国協議会提言検討委員会・水産庁・(独)水産総合研究センター (2006) 提言 国産アサリの復活に向けて. 29pp.
- 7) アサリ資源全国協議会企画会議・水産庁・(独)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 (平成21年3月改訂). 19pp.
- 8) 浜口昌巳 (2011) 一次生産の変化と有用種の関係 (二枚貝). 水産総合研究センター研究報告, 34, 33-47.
- 9) 伊勢湾再生海域検討会 三河湾部会 (2011) 三河湾の貧酸素水塊発生抑制に向けて～豊饒宝の海を取り戻すために～. 41pp.



第2回

伊勢湾におけるアサリの資源回復

—再生産関係の修復が必要—



三重県水産研究所 鈴鹿水産研究室 主任研究員 羽生 和弘

1. はじめに

前報¹⁾の鳥羽さんより、資源回復を目指すには「資源減少の原因究明が必要」とのご指摘がありました。伊勢湾でも資源量の減少が大きな問題となっているため、本報では、まず、伊勢湾におけるアサリの資源動態と減少要因について考察し、次に、それを踏まえた資源回復策について述べたいと思います。

2. 伊勢湾の特徴とアサリ漁獲量の変遷

伊勢湾は本州中部の太平洋側に位置する、面積1738km²、平均水深19.5mの閉鎖性の内湾です²⁾。湾北部には全国有数の大河川である木曽三川、名古屋市・四日市市などを中心とする大工業地帯を有しています(図1)。伊勢湾の表層水温は約7～29℃、表層塩分は約10～33の範囲で変動し、海況は河川水、気象、黒潮の影響を受けやすい特徴があります³⁾。アサリ漁場は主に水深5m以浅の浅場・干潟に形成されており、湾南部の松阪市・

明和町・伊勢市の沿岸、湾北西部の鈴鹿市・桑名市の沿岸、湾東部の常滑市・美浜町の沿岸が主要漁場となっています(図1)。

伊勢湾の三重県側におけるアサリの漁獲量は1980年代までは年間1万トン前後で推移していましたが、1990年代に激減しました(図2)。この減少要因については水野ら^{4,5)}と羽生⁶⁾が整理しています。これによると、主たる減少要因は、1980年代にノリ養殖が衰退して採貝漁業へ転業した漁業者が増え、アサリに対する漁獲圧が増加したことによる乱獲、新規漁場開拓による潮下帯漁場での乱獲、貧酸素水塊の長期化・大規模化による潮下帯漁場の消失が指摘されています^{4,5)}。東京湾で指摘されているような埋め立てによる漁場消失については、伊勢湾では埋め立ての大部分が1955～1975年の間に行われたのに対し、漁獲量の激減が1990年代に始まったことから、減少要因ではないと考えられてきました^{4,5)}。しかし、近年、湾南部の稚貝発生量は1960年代から(図3)、漁獲対象サイズの資源量は1970年代から減少し続けていることが指摘され(図4)、これらの減少が始まった年代は埋め立てが進行した年代とほぼ一致しているため、現在では、埋め立てによる漁場消失とそれによる幼生ネットワークの縮小も減少要因の一つと考えられています⁶⁾。このように、伊勢湾における1990年代の漁獲量の激減期を含む長期的な資源量の減少・低迷は、乱獲、貧酸素水塊、埋め立てなどにより母貝資源量が減少し、その結果、稚貝発生量、漁獲対象サイズの資源量が減少した“再生産関係の崩壊によるもの”と考えられます。

伊勢湾ではこの崩壊した再生産関係をどのように修復していくかが最も重要と考えられます。以下ではその理由について、前述した減少要因以外の要因のうち、一般的に指摘されることが多いものと併せて考察します。

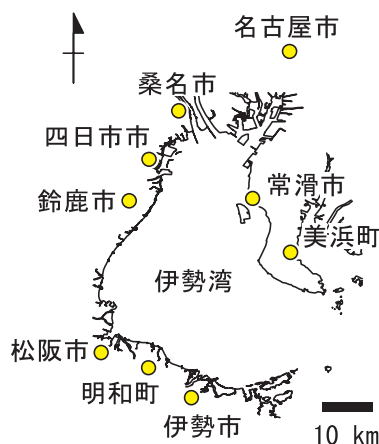


図1 本報に登場する市町の位置
(国土地理院地図を基に作成)

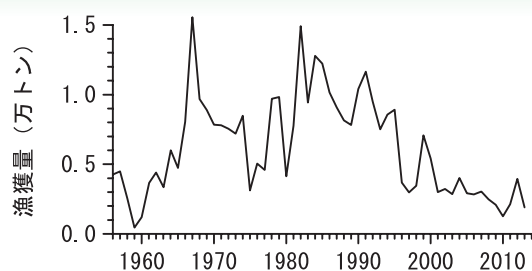


図2 伊勢湾三重県側におけるアサリの漁獲量
(農林水産省漁業・養殖生産統計年報、東海農政局
漁業生産統計調査を基に作成)

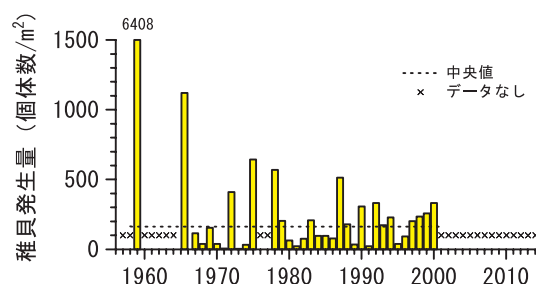


図3 伊勢湾南部の保護水面における稚貝発生量⁶⁾

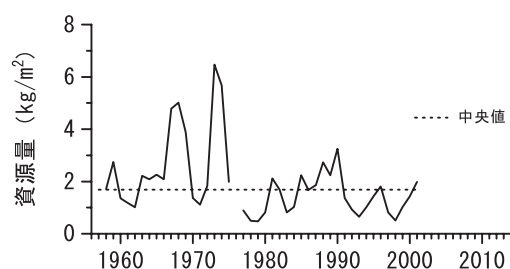


図4 伊勢湾南部の保護水面における漁獲対象サイズの
資源量⁶⁾

① 底質悪化

漁業者の皆さんや行政関係者との意見交換で良く耳にする減少要因は、漁場の底質悪化です。確かに漁場の底質を調査した私たちの研究グループ(水産庁水産整備調査委託事業「アサリ資源回復モデルの開発と実証」の関係機関)も、かつて漁場であったところに厚いヘドロが堆積したことにより、アサリが生息できなくなっている状況を広範囲で確認しています。しかし、その一方で、底質が悪化していないにもかかわらず資源量が回復しない漁場や、数年に1回アサリの大量発生が認められる漁場が相当広い面積で存在することも確認しており、こういった漁場での資源量の減少・変動は、漁場の底質悪化だけでは説明が難しいと思われます。ここで1つ興味深いデータを示したいと思います。

図5は湾南部の保護水面における底質の経年

変化を表しており、縦軸の極細砂シルトクレイ含有率が高いほど底質が悪化していることを表します。このデータによると、保護水面における底質は1980年代に悪化し、1990年代は1970年代と同レベルまで改善していました。しかし、図4に示したように、1990年代のアサリの資源水準(中央値を上回った年数)は底質が悪化していた1980年代のそれより低く、底質と資源水準には明瞭な対応関係が認められませんでした⁶⁾。このデータは、底質悪化の影響を否定するものではありませんが、底質悪化よりも影響の大きい他の減少要因が存在することを示唆しています。

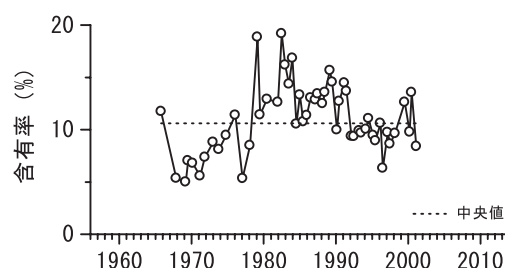


図5 伊勢湾南部の保護水面の底質における
極細砂シルトクレイ含有率⁶⁾

② 豪雨・河川出水

次によく見聞きする減少要因は、温暖化に伴うゲリラ豪雨、大規模な河川出水の影響です。記憶に新しいところでは、2013年9月の台風18号、2014年8月の台風11号による豪雨・河川出水により、稚貝の大量死亡・消失が発生しました。しかし、豪雨・河川出水は今に始まったことではなく、1960～1990年代にも大規模なものが頻発していました⁶⁾。

図6は1957～2001年の湾南部の保護水面における稚貝発生量(殻長2～7mm)と降水量が加入成功率に及ぼす影響を表したものです。横軸は稚貝発生量を、縦軸は稚貝発生後3か月以内の月降水量の最大値を表しており、図中の丸の位置は各年級群(コホート)での稚貝発生量と降水量を

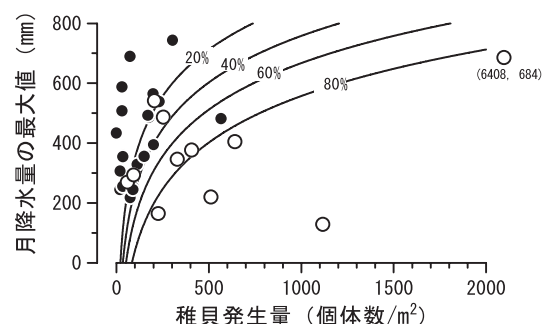


図6 稚貝発生量と降水量が加入成功率に及ぼす影響⁶⁾

表しています。白丸はそのコホートが加入に成功したこと、黒丸は加入に失敗したことを表しています。ここでの加入とはコホートの殻長が20mmより大きい漁獲対象サイズに達することであり、加入成功とはそのコホートの漁獲対象サイズの資源量が1957年から2001年までの資源量中央値を上回ることと定義しています。少し難しい図ですが、稚貝発生量が多ければ降水量が多くても加入に成功するコホートが多く、逆に少なれば加入に失敗するコホートが多いことが読み取れます。図中の実線は、このような傾向から推定した“稚貝発生量と降水量で決まる加入成功率”を表しています。このデータを見る限り、豪雨・河川出水が資源量の減少要因となっていることは間違いありませんが、稚貝発生量が多ければ豪雨・河川出水という短期的な環境変化にさらされてもコホートが壊滅的被害を受けることは少ない（生き残る稚貝も大量に存在する）ということも言えそうです。また、図3に示したように、伊勢湾における稚貝発生量は1960年代から減少し続けていると考えられ、稚貝発生量が大幅に減少した近年では、豪雨・河川出水の影響を受けやすくなっていることが推測されます⁶⁾。したがって、短期的な環境変化に耐えうる水準まで稚貝発生量を増やすこと、それが伊勢湾のアサリの資源回復に必要な対策と言えるでしょう。

③ 津波・台風による底質改善

最後に、これは減少要因ではないのですが、津波・台風による底質改善について考察しておきたいと思います。伊勢湾では1960年5月にチリ津波が、2011年3月に東日本大震災の津波が到達しました。これらの津波がアサリ資源にどのような影響を及ぼしたのかは詳しく調べられていませんが、「ヘドロが堆積した漁場では、津波による底質かく乱により底質改善が進み、アサリが大量発生した」とのお話を漁業者さんから聞いたことがあります。同様に「1959年9月の伊勢湾台風により底質改善が進み、アサリが大量発生した」とのお話も聞いたことがあります。こういった大規模かく乱と大量発生のタイミングが一致していることは興味深い現象ですが、当時の調査データ^{7, 8)}を見てみると、大規模かく乱が発生する前に、実は肉眼では確認の難しい殻長数ミリ未満の稚貝や浮遊幼生（殻長0.3mm前後）の大量発生が認められていました。したがって、少なくともここで述べた3つの事例については、底質かく乱と大量

発生のタイミングが偶然一致したことによる疑似相関の可能性が高いと考えられます。この事実は、仮にこういったかく乱により底質改善が進み、アサリの生残率が飛躍的に向上するとしても、その効果が発揮されるには、稚貝・浮遊幼生の大量発生という前提が不可欠ということを示唆しています。

①～③の他にも資源動態に影響を及ぼす要因は諸説ありますが、紙面の都合もありますので、ここからは、本題の再生産関係の修復について述べたいと思います。

3. アサリの再生産関係

ここまで見てきたように、伊勢湾において再生産関係を修復するには、資源量の主な減少要因である貧酸素水塊や豪雨・河川出水の影響を受けにくい海域において、母貝資源の保護、母貝場の再生・造成に取り組むことが重要と考えられます。また、現在のアサリ資源がどの母貝資源に維持されているのかを明らかにすることができれば、保護の対象範囲が定まりますし、母貝場の再生・造成の成立条件の精査も期待できます。伊勢湾におけるアサリの幼生ネットワークはすでにシミュレーションによってある程度推定されており、それによれば、主たる母貝場は各漁場（自己回帰）と湾北部周辺であることが示唆されています^{4, 5)}。しかし、シミュレーションでは仮説を提示することはできても、実際にそこが母貝場となっているかどうかの確証までは得られません。ここでは、前述の私たちの研究グループが資源量調査で発見した湾北西部の母貝場と湾南部の稚貝場との関係について紹介したいと思います⁹⁾。

私たちの研究グループは2012年から2014年にかけて、毎年5月と11月に伊勢湾沿岸のほぼ全域で資源量調査を実施してきました。そして様々なデータと突き合せた結果、湾北西部の鈴鹿沖に数年に1回、大規模な母貝場が出現し、その翌年、湾南部で稚貝が大量発生するということを実証しました。この大量発生のメカニズムは、まず、秋季に鈴鹿沖で貧酸素水塊が発生しなければそこに母貝場が形成され、その後、貧酸素水塊が発生するまでの間（通常は翌年夏季までの期間）に、この母貝場から産み出された大量の卵・精子が浮遊幼生となって伊勢湾の海流に乗って南下し、湾南部に大量着底するというものでした。

私たちが2013年11月にとらえた鈴鹿沖の母貝資源は、2013年5～11月の間に着底したものと考えられ、この母貝場の水深は5～10mの潮下帯を中心とし、植物プランクトン量の多い湾北西部ということもあってか、着底後産卵可能なサイズ（殻長14mm以上：羽生（未発表資料））まで急速に成長し、2013年11月の母貝資源量は1,000トンに達していました。そして、その約半年後となる2014年5月、湾南部の一部の漁場で例年の11倍もの稚貝発生量を確認しました。この大量発生した稚貝は残念ながら同年8月の台風により壊滅しましたが、こういった一連の調査結果より、湾南部のアサリ漁業は“数年に1回しか出現しない脆弱な再生産関係”に支えられている可能性が高く⁹⁾、湾南部の稚貝発生量を増加させるには、鈴鹿沖周辺を中心とする湾北西部において、母貝資源の保護、母貝場の再生・造成に取り組むことが効果的であると考えられます。

ところで、2013年11月に1000トンと推定された鈴鹿沖の母貝資源量は2014年5月にはさらに成長して3000トンにまで増加していました。しかし、同年8月下旬ごろ貧酸素水塊が鈴鹿沖に発生したため、残念ながらこの母貝資源は全滅しました。伊勢湾のアサリは産卵盛期が春季と秋季の年2回と言われていますが、周年産卵していることもわかっています¹⁰⁻¹²⁾。鈴鹿沖の母貝が全滅するまでの期間に産卵したもののうち、少なくとも2013年秋季からそれに続く冬季までの産卵群は湾南部で大量着底したと考えられますが、その後から2014年夏季までの産卵群がどこでどの程度着底したのかはよくわかりません（幼生の浮遊期間と冬季の成長鈍化を考えると、2014年秋季から2015年春季までに出現した稚貝が該当するかもしれません）。また、そもそも2013年11月に発見された鈴鹿沖の母貝が一体どこからやって来たものなのか、それさえもわかりません。このように依然として伊勢湾のアサリの再生産関係には不明な点が多く、全貌解明には、まだ時間がかかりそうです。

4. 資源量調査の限界

私たちの研究グループはアサリの生息条件の把握を目的として資源量調査を実施してきました。そして結果的に幸運にも3か年という短い調査期間で鈴鹿沖と湾南部の再生産関係をとらえることができました。しかし、「幸運にも」と書いた

ように、伊勢湾において同様の資源量調査を継続しても新たな再生産関係を検出する確率はそれほど高くはないと私は考えています。その理由の1つは、資源量推定値の精度がそれほど高くはないためです。ここでは、そのことを表す試算結果を示したいと思います。なお、内容が少し専門的となりますが、ご容赦ください。

私たちの研究グループの資源量調査では、伊勢湾の11漁場において漁場当たり40～200点（1点/5ha）の調査点を設定し、1点当たり2回採泥してきました。そして、この調査における資源量推定値の観測誤差（ここでは標準誤差を平均値で割った値のことと定義しています）は20～80%と推定されました。観測誤差は値が小さいほど資源量推定値の精度が高いことを表します。一般に調査点数を増やすほど観測誤差は小さくなる傾向がありますが、例えば調査点数を4倍にしても観測誤差は2分の1程度にしかならないという性質があります。アサリの分布調査のご経験のある方であれば現状の40～200点×11漁場という調査点数がいかに大規模なものであるかは容易に想像がつくと思います。実際、この調査には関係機関が総動員で取り組みましたが、計画通り実施することは困難を極めました。この経験を踏まえると、仮に調査点数を現状より増やした計画を立てたとしても、天候不良による調査の中止・延期、人員・作業船の確保、調査員の体力、そして採集試料の選別・測定・解析にかかる時間も考慮すると、相当多額の予算を用意しない限り、実施・継続が不可能なものとなる可能性が高いと考えられます。したがって、伊勢湾のアサリの資源量調査における観測誤差は20～80%程度に抑えるのが限界と言ってよいと思います。なお、層別サンプリング¹³⁾を用いれば少ない労力で精度が向上することが知られていますが、20～80%という値はそういった対策を取った上での値です。

さて、ここで、ある母貝資源量 X が100のとき、その子である稚貝発生量 Y も必ず100となる仮定の再生産関係を仮定します。つまり、 X と Y の相関係数（1に近いほど、 X が増えれば Y も増えることを表す）が1となる強固な再生産関係です。このような再生産関係を観測誤差20～100%の資源量調査によって検出できる確率をシミュレーションにより試算してみました。再生産関係を正しく検出できる確率（検出力）を表したものが図7左図、各条件の資源量調査で推定される再生産関係（相関係数）を表したものが図7右

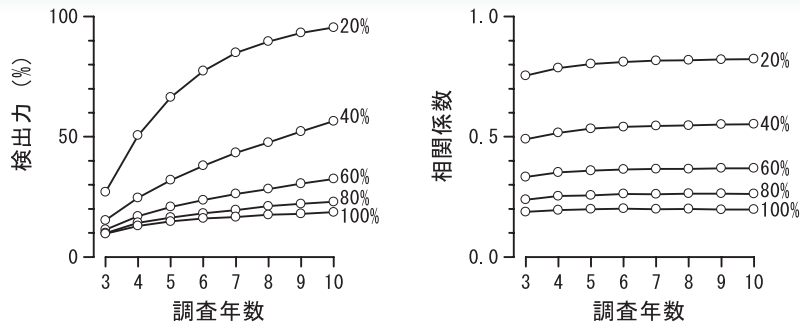


図7 調査年数と観測誤差が検出力と相関係数に及ぼす影響
(図3と4における1990年以降の変動傾向より、母貝資源量 X が変動係数50%の対数正規分布に従って年変動すると仮定)

図です。なお、詳しい計算方法は紙面の都合で省略しました。

図7左図より、観測誤差が20%以上の調査では、例え相関係数が1という強固な再生産関係があるとしても、わずか3か年の調査ではそれを検出できる確率、すなわち検出力が30%未満とかなり小さいことがわかります。検出力を高くするには調査年数を増やすか、観測誤差を小さくするため調査点数を増やす努力が必要となりますが、前述したように調査点数をさらに増やすのは現実的ではありません。一方、調査年数については、現状の観測誤差であっても調査を継続すれば検出力を徐々に高めることができそうです。ただし、観測誤差が20%以下でなければ、かなりの長期戦となりそうです。また、図7右図に示したように、観測誤差20%、100%の調査における相関係数はそれぞれ約0.8、0.2と推定され、観測誤差の増加に伴い相関係数が小さくなる傾向が認められました。これはもともと、観測誤差のあるデータでは相関係数が真の値より過小推定される傾向があるため（“相関の希薄化”という現象）であり、真の再生産関係が弱いことを表すわけではありません。この試算例はあくまでも仮定の再生産関係に関するものですが、このように観測誤差の大きい調査に基づく相関係数の解釈については注意が必要と言えます。また、実際には環境条件の変動（過程誤差）により真の相関係数は1より小さいものとなるでしょうし、もし真の再生産関係がベバートンホルト型やリカー型のような複雑な関係¹⁴⁾の場合にはそもそも相関係数を用いた単純な解析自体が不適切である可能性があります。こういった複雑な再生産関係に大きな観測誤差の影響も加わるわけですから、資源量調査のデータを用いた再生産関係の解析において有意な相関が検出されなかったとあって、それが“再生産関係

がないこと、あるいは弱いこと”を表しているとはとても言えないでしょう。

5. 再生産関係の修復に向けて

伊勢湾のアサリ資源については、冒頭で述べたように沿岸のほぼ全域にアサリ漁場が形成されますし、漁場とはなっていない海域にもアサリが生息しているため、資源量調査もそれに合わせて広域展開する必要があります。しかし、前述したように広域で大規模な資源量調査を実施したとしても、その推定値には大きな観測誤差が伴います。稚貝発生量や母貝資源量を推定するには資源量調査を実施するしかありませんが、本報で試算したように、これらの推定値を用いて再生産関係の解明に迫ることは容易ではなく、結局、幼生ネットワークのシミュレーションなど、他の調査・研究の力も借りる必要があるそうです。こういった資源量調査の限界、広域（少なくとも鈴鹿沖～湾南部）にわたる再生産関係、そして資源崩壊してしまった現状を踏まえると、伊勢湾におけるアサリの資源回復策は、現時点では、全ての漁場間で有意な再生産関係があるとの前提に立って進めるべきでしょう。具体的には、まずは、湾全体の母貝資源量・産卵量を推定してそのうちの一定量（少なくとも現状より多い量）を確実に保護すること、そういった取り組みをサポートするため、長期的に実施可能な資源量調査・評価・管理体制を構築していくこと、また、産卵量を増やすために母貝場の再生・造成に力を入れていくことが重要と考えられます。なお、資源管理において“保護する一定量”をどのように決定するのかは難しい課題ではありますが、例えば、資源回復するまで、保護する量を湾全体で年々増やしていくことが現実的な対策の一つと考えられます。

6. おわりに

ここ数年、伊勢湾では、稚貝移植による資源増大が脚光を浴びています⁹⁾。これは第一に、伊勢湾のお隣、三河湾において、稚貝移植による資源回復が成功したためです¹⁵⁾。第二の理由としては、前述の研究グループによる大規模な資源量調査や移植実験などにより、伊勢湾におけるアサリの生

息条件が明らかとなり、伊勢湾においても移植適地の選定や漁場造成の技術開発が進みつつあるためです¹⁶⁾。そして第三の理由としては、稚貝移植には当然、移植するための稚貝が必要となりますが、伊勢湾の三重県側においても、毎年、稚貝の大量発生が確認される海域があり、その発生量は数百トン以上もの規模と推定され、これらは毎年、移植しなければ台風などの影響により死滅してしまうことが明らかとなったためです⁹⁾。ただし、稚貝発生量は年変動が大きく、前述したように、これは母貝資源量の年変動の影響を強く受けていると考えられます。稚貝移植を継続的に実施するには、毎年、一定量以上の安定した稚貝が発生することが必要です。昨年11月の水産海洋地域研究集会において、これに関連した大変重要な報告¹⁵⁾がありました。それは、三河湾における稚貝移植による資源回復の効果は、移植稚貝が成長したものを漁獲するという直接的なものだけでなく、移植後の徹底した資源管理による再生産関係の安定により稚貝発生量が増加したという二次的な効果によるものも相当大きいとの報告でした。本報で考察したように、伊勢湾でも母貝資源の保護・増大は重要な課題と言えますので、移植した稚貝を今後どのように管理していくのか、関係者が早い段階で方向性を定めておく必要があると考えられます。

参考文献

- 1) 鳥羽光晴 (2015) アサリの資源回復をめぐるこれまでとこれから—アサリ資源の減少に対する危機感や、回復への熱意を失わずに一、豊かな海, 36, 57-63.
- 2) 西條八東・宇野木早苗 (1977) 伊勢湾・三河湾の海況特徴と生産力 (シンポジウム: 内湾の有効利用に関する水の流動と交換), 沿岸海洋研究ノート, 14 (1・2), 10-18.
- 3) 久野正博 (1996) 伊勢湾における海況の季節変化, 三重県水産技術センター研究報告, 6, 27-46.
- 4) 水野知巳・丸山拓也 (2009) 伊勢湾のアサリ資源と漁場環境, 水産学シリーズ 161 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 (日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, 9-25.
- 5) 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), 三重県水産研究所研究報告, 17, 1-21.
- 6) 羽生和弘 (2015) 伊勢湾南部の保護水面におけるアサリ資源量の長期変動, 三重県水産研究所研究報告, 24, 19-36.
- 7) 中西捨吉 (1960) 保護水面調査, 昭和 34 年度三重県水産試験場伊勢湾分場事業報告, 83-87.
- 8) 水野知巳・程川和宏・日向野純也・井上誠章・竹内泰介 (2011) 伊勢湾漁場環境浄化型推進事業アサリ資源管理型漁業推進事業, 平成 22 年度三重県水産研究所事業報告, 80-81.
- 9) 羽生和弘 (2014) 伊勢湾三重県側のアサリ資源の現状と課題, 水産海洋地域研究集会第 10 回伊勢・三河湾の環境と漁業を考える 伊勢湾全域のアサリ資源の復活をめざして講演要旨集, 6-10.
- 10) 萩田健二・石川貴朗 (1985) 伊勢湾におけるアサリの産卵期について, 水産増殖, 32 (4), 213-215.
- 11) Miyawaki, D. and Sekiguchi, H. (1999) Interannual variation of bivalve populations on temperate tidal flats, Fisheries Science, 65 (6), 819-829.
- 12) 松本才絵・淡路雅彦・日向野純也・長谷川夏樹・山本敏博・柴田玲奈・秦 安史・櫻井 泉・宮脇 大・平井 玲・程川和宏・羽生和弘・生嶋 登・内川純一・張 成年 (2014) 日本国内 6 地点におけるアサリの生殖周期, 日本水産学会誌, 80 (4), 548-560.
- 13) Cochran, W. G. (1977) Sampling Techniques, 3rd Edition, John Wiley & Sons, New York.
- 14) 松宮義晴 (1996) : 水産資源管理概論. 水産研究叢書, 46. 社団法人日本水産資源保護協会, 東京.
- 15) 黒田伸郎 (2014) 三河湾ではいかにしてアサリの豊漁が維持されているのか, 水産海洋地域研究集会第 10 回伊勢・三河湾の環境と漁業を考える 伊勢湾全域のアサリ資源の復活をめざして講演要旨集, 1-5.
- 16) 桑原久実 (2014) 浅海域の波浪環境がアサリの生息に与える影響とその対策, 水産海洋地域研究集会第 10 回伊勢・三河湾の環境と漁業を考える 伊勢湾全域のアサリ資源の復活をめざして講演要旨集, 20-22.



第3回

三河湾一色干潟におけるアサリ資源管理



—広大な漁場におけるアサリ資源管理の成功例—

愛知県西三河農林水産事務所 水産課 課長補佐 山田 智

1. はじめに

全国のアサリ漁獲量は1980年代半ば（12～16万トン）から急激に減少し、1990年代後半には約1/4（3～4万トン）となりました¹⁾。しかし、愛知県のアサリ漁獲量は1970年頃から約40年間、1～2万トンの間で推移し、全国に占めるシェアは近年急上昇し、6～7割となっています（図1）。

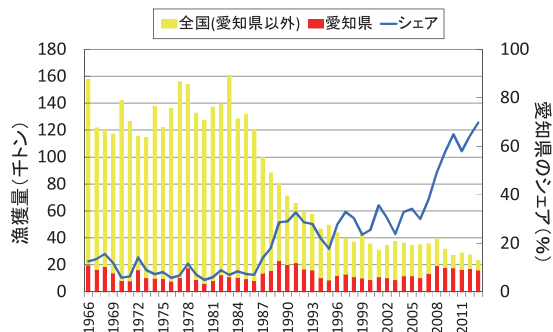


図1 全国と愛知県のアサリ漁獲量及び愛知県の全国に占めるシェアの推移

本シリーズの第1回目の鳥羽さん²⁾によると、「アサリ漁獲量が急減して以降、全国的に様々な対策が行われ、水産としては最大限の投資を行ってきたにもかかわらず資源は減少してしまい、回復傾向が見られない。その最大の原因は、アサリ資源回復手法の適用範囲と海域資源の規模がかけ離れたものであった。」と述べています。これから述べる三河湾の一色干潟を中心とした共同漁業権84号のアサリ漁場は三河湾北部に位置し、面積26.5km²（三河湾の面積の4.4%）と広大な漁場です（図2）。さらに、本共同漁業権漁場は三河湾のアサリ漁獲量の90%以上を占めていることから、三河湾のアサリ資源を代表しており、本共同漁業権漁場で行っているアサリ資源管理の適用範囲と海域資源の規模がちょうど合っていると言えます。また、第2回目の三重水研の羽生さん³⁾が指摘しているように、アサリ資源維持には良

好な再生産ネットワークが重要です。三河湾では三河湾東部湾奥の豊川河口にわずかに残った干潟である六条潟（図2）で大量の稚貝が発生し、その稚貝を三河湾中のアサリ漁場へ大量に移植放流し、そこで母貝となり、母貝から放出された浮遊幼生が再び六条潟へ戻り着底するという良好な再生産ネットワークが維持されています⁴⁾。これらのことが、全国的にアサリ資源が減少する中、三河湾でのみアサリ資源が維持されている最大の原因と思われます。



図2 共同漁業権84号及び六条潟

この一色干潟を中心とした共同漁業権84号のアサリ漁獲量の変遷をみると（図3）、1970年代から1980年代半ばまでは約3,000トンで推移していましたが、1984年に水流噴射式けた網が許可され、漁獲量は一時的に1万トン近くに増加しました。その後、大規模な苦潮の発生等で漁獲量は落ち込み、5,000トン前後で推移しましたが、1999年に六条潟の稚貝採捕が特別採捕制度で可能となり、さらに、4年後の2003年以降、稚貝の採捕が7月に前倒しされました。その結果、年間、2,000～3,000トンの大量の稚貝を採捕・放流するようになってから数年後に漁獲量が増大し、2008～2010年は15,000トン前後に達し、県内の8割、全国の6割を占めるに至りました。この様に漁獲量増大には六条潟の稚貝の移植放流の

貢献が大きいわけですが、決してそれだけではなく、漁業者が自ら行っている資源管理が極めて重要であると考えられます。

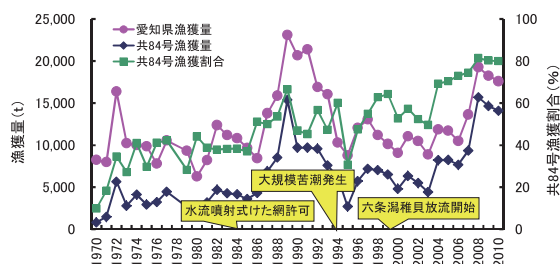


図3 愛知県のアサリ漁獲量と共同漁業権84号におけるアサリ漁獲量及びその県全体に占めるシェアの推移

2. 共同漁業権漁場でのアサリ資源管理

ここで3漁協共有の共同漁業権84号のアサリ漁業の形態を簡単に説明しますと、主に小型機船底びき網漁業と採貝漁業の2種類に分けられます。底びき網漁業による方法は、けた網に水流噴射ポンプの噴射口が取り付けられており、水流によりアサリなど貝類を底泥中から巻き上げて漁獲する方法で、通称ポンプ漁業と呼ばれており、96隻が従事しています（図4左）。もう一方の方法は、腰マンガ漁業で他県などではこしまきなどとも呼ばれ、人力でマンガ、ジョレンを使って漁獲する方法で、約370人の方が従事されています（図4右）。ポンプ、腰マンガともに漁業協同組合ごとではなく、漁業種類ごとに組織化されており、ポンプ漁業では手三貝協会、腰マンガ漁業では西三河腰マンガ協会という任意団体が設立され、それぞれで組織的に漁場の管理をするという特徴があります。



図4 共同漁業権84号におけるアサリ漁業

共同漁業権84号は、漁場の沖側と岸側で区分され、沖側の部分では底びき網が操業し、岸側の部分では腰マンガが操業しています（図5）。底びき網漁場では、この漁場をさらに60あまりの区画に細かく区分けして、輪採方式で操業してい



図5 共同漁業権84号と漁場区分、資源管理

ます。例えば、アサリを採り終わった区画は休漁し、稚貝の放流や、小さいアサリの多い区域から資源の移植を行い、アサリが大きくなるまで漁場を休ませるなどして資源を管理しています。手三貝協会（底びき網）では、操業前に役員会で操業場所及び場所ごとの隻数が決められ、協会員はそれに従って漁獲を行っています。また、漁獲量の上限も決められ、プール制を採用する等、厳密に資源管理を行っています。一方の腰マンガ協会では、会員数が370人もいることから、輪採方式での操業は難しいため、一日の操業時間、アサリのサイズ別の漁獲量の上限を決めて操業を行っています。そして、いずれの団体でも休漁日を設定しています。また、六条渚におけるアサリ稚貝特別採捕許可に関しては、資源量（許可量）を決める試験びきに参加するとともに、許可日以降は、漁業者自ら六条渚で稚貝採捕を行い、各漁場に移植放流するという作業を毎年7月から10月にかけて繰り返し行い、本共同漁業権漁場では最終的に約2,500トンの稚貝を移植放流し、漁獲量の安定化に努めています。さらに、移植したアサリ稚貝を有効に活用するために、漁業者は愛知県西三河農林水産事務所水産課（水産業普及指導員）と共に、様々な取り組みを行っています。それらには、漁場内のアサリ及び食害生物のモニタリング、水質調査等があり、特にヒトデやツメタガイ等の食害生物については、大量に発生している漁



図6 底びき網全船によるツメタガイの駆除

場があれば、全員で駆除に当たる等により（図6）、アサリ資源の保護に努めています。

以上のように、広大な漁場を漁業者自らきめ細かに管理することにより、恵まれた放流稚貝を漁獲まで繋げることができています。

3. 共同漁業権漁場でのアサリ資源量

アサリ資源量調査⁴⁾は愛知県水産試験場が2009～2011年の異なる時期(10月下旬、8月下旬、7月上旬)に計3回行いました。方法は、共同漁業権84号漁場内に岸から沖に向けて測線を6～7本設定し、各測線上に3～4地点を設け、18～32地点で実施しました（図7）。



図7 2009年10月の調査地点（赤枠：漁業権）

各地点においてSCUBA潜水を行い、25×25cm 枠のステンレス製コドラートを使用し、枠内10cmの砂泥をスコップにて3回採取し、採集したアサリの殻長、殻重を測定しました。

アサリ出現個体数の3年間の分布をみると、最大で3,211～4,544 個体/m²、漁場全体に平均すると522～681 個体/m²でした。これを地盤高(DL)で整理すると、DLが-80cmより浅いところで1,000 個体/m²以上出現した地点が多く、DLが-150cm以深となるとそのような地点は見られず、出現個体数は少なくなりました（図8）。

各年の調査における全地点をまとめたアサリの殻長組成（図9）から、本共同漁業権漁場のアサリ個体群は六条潟の稚貝を反映していました。六

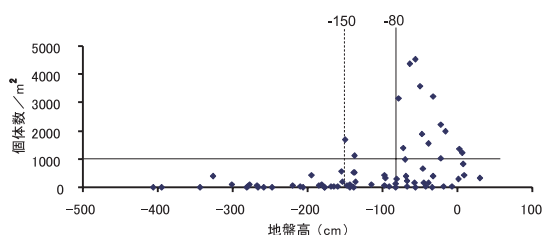


図8 地盤高とアサリ分布密度

条潟で毎年大量に発生する稚貝は秋季発生群です。2009年10月の調査は、この年の六条潟の稚貝放流が終了した後に行われ、22～25mm（前年の秋仔）にモードのあるほぼ単峰型の分布を示していました。2010年8月は稚貝放流が盛んに行われている最中であり、殻長組成は、4mm、15～18mm及び29～36mmにモードを持つ三峰型でした。これは、小さい順に漁場に自然発生した春仔、放流稚貝（秋仔）及び漁獲群です。2011年7月の調査は、稚貝放流直前に行われており、前年放流稚貝が成長した27～31mmにモードを持つ単峰型でした。また、この殻長組成から漁場内ではその年の秋仔の自然発生が極めて少ないことが分かります（図9）。このことから、本共同漁業権漁場のアサリ個体群は放流稚貝に大きく依存しているのではないかと考えられました。各年の殻長組成から本共同漁業権漁場の漁獲対象群である殻長30mm以上の個体数で占める割合を求めると、2009年10月が17.0%、2010年8月が18.1%および2011年7月が39.0%であり、重量による全体に占める割合は、それぞれ、43.6%、64.8%および60.1%となりました。

各年の調査において地点ごとの重量を用い、スプライン補間法により漁場全体に広げ、算出された本共同漁業権漁場全体のアサリ資源量（湿重量）は、2009年10月が54,694トン、2010年8

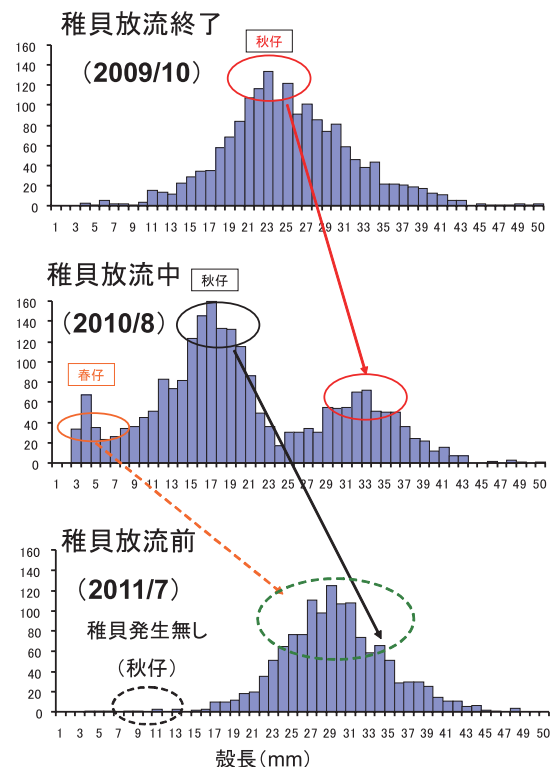


図9 3年間の調査におけるアサリ殻長組成

月が 44,510 トン及び 2011 年 7 月が 59,632 トンと計算されました（図 10、表 1）。また、漁獲対象である 30mm 以上の資源量は、殻長組成から求めた重量換算割合により、それぞれ、23,847 トン、28,842 トンおよび 35,839 トンと算出されました（表 1）。また、本共同漁業権漁場でのアサリ漁獲量は調査を行った 3 カ年とも 14,000 トン前後であったので、資源量全体に対する漁獲量の割合は、30% 前後（23～32%）、30mm 以上の漁獲対象群に対しては 50% 前後（39～62%）でした（表 1）。

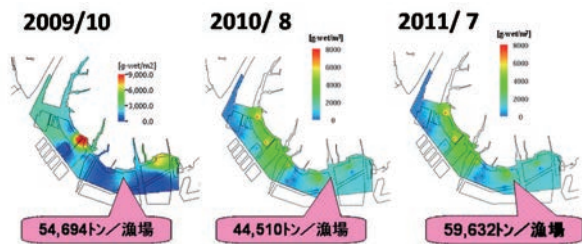


図 10 各調査におけるアサリ現存量分布（スプライン補間法）及び推定資源量

表 1 各調査における推定資源量と漁獲割合

調査時期	個体群全体 推定資源量 ton	漁獲群(>30mm) 推定資源量 ton	アサリ漁獲量 年間 ton	漁獲量／資源量(%)	
				全体	30mm<
2009/10	54,694	23,847	14,654	26.8	61.5
2010/ 8	44,510	28,842	14,080	31.6	48.8
2011/ 7	59,632	35,839	13,800	23.1	38.5

4. 共同漁業権漁場での放流稚貝の生残率

前述のとおり、本共同漁業権漁場では六条潟の稚貝を夏～秋に大量に移植放流しています。例えば、2009 年の本共同漁業権漁場に放流された稚貝（平均殻長 9～18mm）は、重量で 2,394 トンです。これを放流時の平均殻長から算出した殻重を用い、個体数に換算すると 113 億 4 千万個体と推定されました（表 2）。本共同漁業権漁場において、底びき網漁場では、稚貝を放流した区画は、稚貝が翌年に 30mm 以上の漁獲サイズに成長するまで禁漁とし、また、腰マンガ漁場では、漁獲物は漁場内でふるいにより選別し、30mm 以下は漁場に戻されています。従って、放流稚貝は翌年に 30mm 以上になるまで漁獲されません。また、本共同漁業権漁場では秋仔の発生が少ない年もあるので、漁獲対象群は放流稚貝がほとんどであると仮定しました。以上からこの放流稚貝が 1 年後の夏（8 月）に 30mm を越えた漁獲対象群になり（図 9）、2010 年 8 月調査時の 30mm 以上の推定資源量（28,842 トン）を 30mm 以上の平均殻重により個体数換算すると約 34 億個体と推定されました（表

2）。従って、単純にこの両者を割り算し、翌年の生残率とすると、30.3% となり、その 48.8%（表 1）を漁獲しているとする放流稚貝の約 15% を翌年に回収していることとなります（表 2）。

表 2 放流稚貝の翌年の生残率及び回収率

	重量(トン)	個体数
①放流稚貝(2009/10)	2,394	113×10^8
②漁獲群(2010/8)	28,842	34×10^8
	%	
③生残率(②／①)	30.3	
回収率(③×0.488)	14.8	

5. おわりに

本調査から得られたアサリ資源量に対する漁獲割合及び放流稚貝生残率は、アサリを管理しながら持続的に資源量を維持できる目安となる数値と思われます。このように良い結果が得られているのは、先に述べたとおり、稚貝を放流するだけでなく、稚貝放流後の漁業者自らの努力によるきめ細かい資源管理が重要であることは言うまでもありません。

しかし、これらの調査が行われてから約 5 年が経過し、現在の本共同漁業権漁場でもアサリ資源量（漁獲量）の減少が懸念されています。今後は、本共同漁業権漁場で同様な調査を実施し、現時点でのアサリ資源量及び稚貝の生残状況を明らかにし、本調査結果と比較することで、現在のアサリ資源がどのような状態かを把握することができれば、適切な資源管理（対策）を行うことが可能であると思われます。

参考文献

- 1) アサリ資源全国協議会企画会議・水産庁・(独)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(平成 21 年 3 月改訂), 19pp.
- 2) 鳥羽光晴(2015) アサリの資源回復をめぐるこれまでとこれからーアサリ資源の減少に対する危機感や、回復への熱意を失わずにー, 豊かな海, 36, 57-63.
- 3) 羽生和弘(2015) 伊勢湾におけるアサリ資源回復ー再生産関係の修復が必要ー, 豊かな海, 37, 55-60.
- 4) (独)水産総合研究センター 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, 203pp.



第4回

これからのアサリ漁場造成に向けて



国立研究開発法人 水産研究・教育機構

水産工学研究所 研究員 南部 亮元

1. はじめに

前々回¹⁾は鳥羽さんから漁場改善や漁場造成について湾スケールでの場づくりについて提案されていました。また、前回²⁾は羽生さんから再生産関係の修復と再生産関係を維持するために母貝場の再生・造成が重要であると指摘がありました。今回はこれらの指摘を踏まえて、漁場造成に向けた中身に少し具体的に踏み込んで、アサリ分布調査、その結果に基づく局所的な空間スケールによるアサリの生息環境評価、さらにアサリの好適な環境づくりについて、私たち研究グループが取り組んできた伊勢湾を事例³⁾に紹介していきます。また、これからのアサリ漁場造成に向けた取り組みについて述べたいと思います。

2. アサリの生息環境評価

アサリ資源回復に向けた取り組みの成果や指針は水産庁⁴⁾やアサリ資源全国協議会⁵⁾によって取りまとめられています。成果が上がっている地先や海域は見られますが、全国的な資源の底上げにはつながっていません。これは、おそらく私達は、アサリが浮遊幼生の移動分散によって広域の漁場形成に寄与していることは理解しているものの、実際にアサリ浮遊幼生が介する漁場全体のアサリ生息環境の調査やその調査に基づく生息環境の評価が不十分であり、各地先でもっとも効果的な対策の実施が困難であ

るためと考えられます。この問題点を解決するためには、アサリ浮遊幼生が移動分散する湾・内湾スケールでの調査やアサリの生息に関わる環境モニタリングが必要となってきます。

そこで、私たちは3年間にわたり年2回、伊勢湾9地区の約1,000地点での調査を実施しています(図1)。調査では殻長別のアサリの有無について取得します。また、環境データとして底質、食害生物を現地調査から、波浪環境を数値計算から、河川の影響、水深、海底勾配については海図を利用して平面図として算出します。

解析方法は次の通りです。平成25年5～6月(春季調査)に実施したアサリ資源分布調査から、成貝のアサリ個体数、競合生物としてカシパン、キセワタガイ、ツメタガイ、ヒトデ類、カニ類、底質として中央粒径、シルト含量、淘汰度、強熱減量、淡水の影響として河川幅と河口距離から算出した河川指数、地形として水深、海底勾配、波浪環境として底面波浪流速を地区別にデータセットを作成します。調査地点におけるアサリの有無を応答変数、各環境因子を説明変数として、アサリ

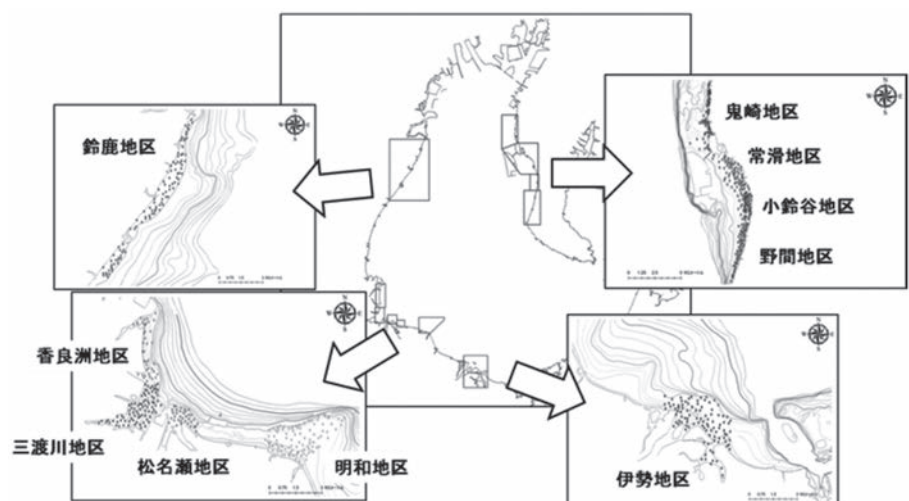


図1 伊勢湾におけるアサリ分布調査地区の概要
プロットが調査地点を示す。

の出現確率と環境因子の関係性について、二項分布を仮定した一般化線型モデル（GLM）によって予測しました。解析するにあたり、調査地区によっては地点数が少ないため、AIC が改善される地区を組み合わせるモデル予測を行います。地区の組合せは次のとおりです：1. 伊勢・鈴鹿地区、2. 明和地区、3. 香良洲・三渡川・松名瀬地区、4. 鬼崎・常滑・小鈴谷・野間地区（愛知県地区）。なお、底面波浪流速の計算は平均水位に基づいて行っているため、4つの区域について底面波浪流速が計算できる潮下帯と計算できない潮間帯に分けてモデル予測を行いました。ソフトウェアはR2.15.2を利用し、モデルはAICに基づいて選択します。最後に選択されたモデルの説明変数を用いてアサリの出現確率の空間分布を計算して、平面図として可視化します。

図2に2013年春の調査データの解析結果を示します。また、アサリ成員の分布に関連する一般化線型モデルで選択された環境因子を表1に示しています。潮下帯の解析において、伊勢・鈴鹿地

区は貧酸素の有無が強く関与していました。明和地区および香良洲・三渡川・松名瀬地区は、底質の安定性に関する最大波浪流速と中央粒径が選択され、愛知県地区は潮下帯にカシパンが広く分布しており、負の要因として選択されました。潮下帯と潮間帯を通して共通した環境因子として、強熱減量が負の要因として選択されました。

もう少し詳細にモデルの中身を、表1の香良洲・三渡川・松名瀬地区で見えていきます。係数の絶対値が大きいほどアサリ生息の予測に強く影響します。すなわち、中央粒径が大きいとアサリの生息に正の効果を与え、逆に底面流速が強いほどアサリの生息に負の効果を与えることを意味します。この説明変数や係数の大きさは地区によって異なってきます。このことは、次に述べる漁場整備による生息環境を整えるための方針に強く関わってきます。

3. アサリの生息環境改善効果の予測

これまで分布調査をとおして、アサリの生息に関わる環境因子が明らかにできること、そして地区によって選択される因子や大きさは異なること示してきました。アサリの生息にとって制限要因となる環境を取り除いて、好適な環境に改善する方法は2つあると考えます。1つめは波浪制御や海底基質の改善を目的とした漁場造成などの対策です。2つめは競合生物の駆除や底質改善のための耕耘といった対策です。ここでは、粒度組成や波浪といった底質の安定性に関わる環境因子が選択された香良洲・三渡・松名瀬地区における造成による効果予測と実施場所の選定方法について紹介します。まずは図3に選択された予測モデル

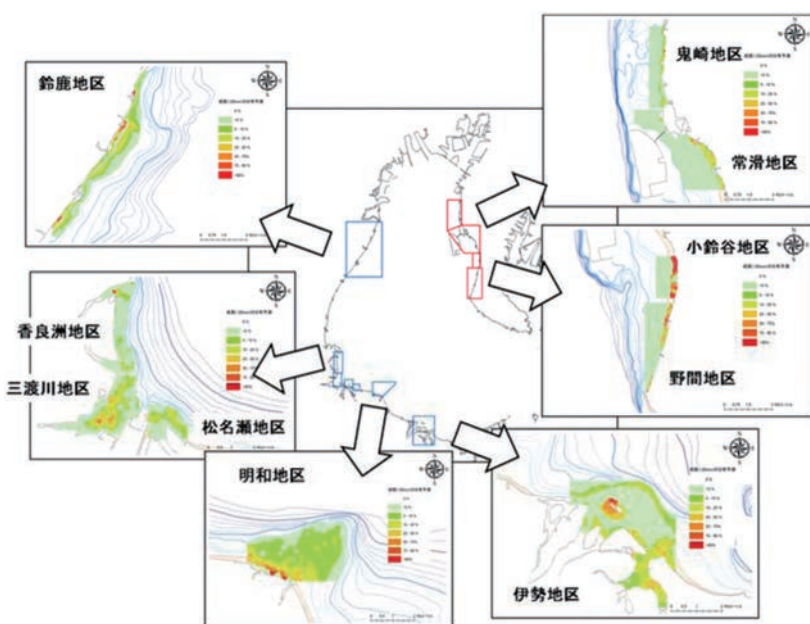


図2 一般化線型モデルに基づいたアサリの生息予測

2013年春(5～6月)の調査データを利用。暖色系ほどアサリの生息環境として適していることを示す。

表1 各地区において一般化線型モデルで選択されたアサリ成員の分布(平成25年春季調査)に関連する環境因子

地区	解析区域	切片	水深	海底勾配	河川指数	中央粒径	潮流度	シルト	強熱減量	最大波浪流速	貧酸素の有無	カシパン	競合生物(ヒトデ類等)	地区内	AIC
伊勢・鈴鹿	潮下帯	-2.43884	-0.51327	-	-	-	-	-	-0.29575	-	+	-	0.00138	-	133.59
	潮間帯	-0.9649	-	-1.0627	-	1.9015	-	-	-0.2433	-	-	-	0.4788	-	77.98
明和	潮下帯	0.6527	-0.7897	-	-	-0.9427	-2.0858	-	-	-2.4009	-	-	-0.4265	-	93.92
	潮間帯	7018	-	-	-	-	-	-	-52.85	-	-	-	-	-	4
香良洲・三渡川・松名瀬	潮下帯	0.34638	-	-1.13844	0.05407	0.9366	-1.59797	-	-0.71839	-1.93061	-	-	-1.54208	-	149.65
	潮間帯	-0.86829	1.48612	-	-0.03283	-	-0.82545	-	-0.20758	-	-	-	-	-	104.89
鬼崎・常滑・小鈴谷・野間	潮下帯	-1.29378	-0.90087	-	-	-	-	-	-0.30236	-	-	-0.05117	-	+	168.45
	潮間帯	-0.3812	-	-	-	-	-0.0457	-75.442	-0.7607	-	-	-0.4051	-	+	114.27

数値：選択された環境因子の係数、+：カテゴリ変数として選択された環境因子、-：選択されなかった環境因子、空欄：解析に含めなかった環境因子

を利用したアサリの生息適地予測を示します。ここで分かることは、天然の環境下でアサリが5割以上の確率で採集できる場所のごく限られた場所にしかないということです。また、天然環境下でのアサリ生息環境に関わる底面波浪流速と中央粒径の空間分布を図4と図5に示します。これらの図から底面波浪流速は深いところほど、また中央粒径は大きいところほどアサリの生息環境として

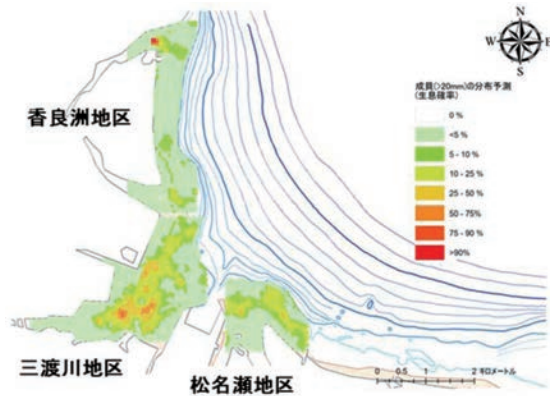


図3 香良洲・三渡川・松名瀬地区におけるアサリ成貝の生息適地予測
暖色系ほどアサリの生息環境として良いことを示している。

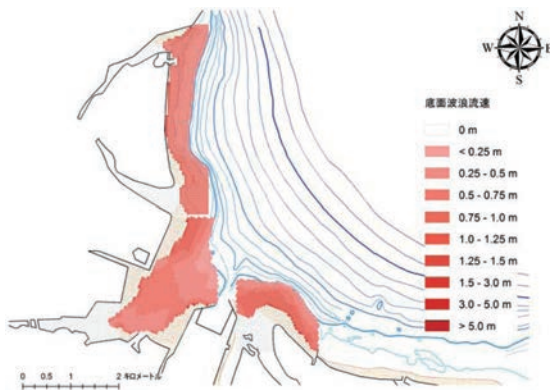


図4 2013年春に出現したアサリ成貝がさらされた期間の底面波浪流速の空間分布図

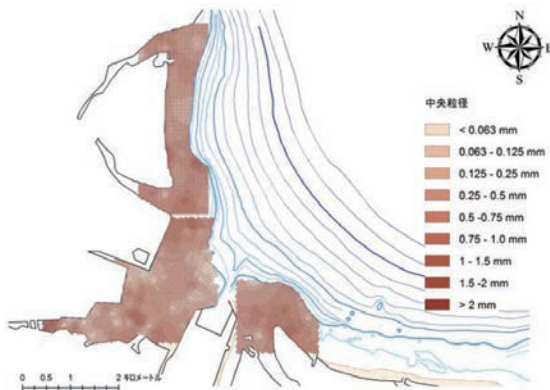


図5 中央粒径の空間分布図

適していると想像できると思います。そこで、砕石を利用した造成による波浪制御および底質改善を目的としたアサリ生息環境改善を地区全体に実施した場合に、アサリの生息環境がどのように変化するか予測してみました。条件としては中央粒径 4.0mm、淘汰度 -0.8 に底質改善すると仮定しました。なお、施工効果の算出には、仮定した砕石に置き換わったときのアサリ生息適地予測を求め、天然のアサリ生息適地予測の差で求めます。

砕石施工による予測モデルを用いたアサリ生息予測を図6に示します。砕石による造成をすることで、潮下帯の広範囲にわたり生息適地が広がること、さらに施工前の生息適地予測からの差分をとること(図7)で、各地区のより水深の深い場所で施工効果が高いことが分かります。また、施工によって好適な環境となっても改善の効果が低い場所もあることが分かります。現在、この予測に基づいてアサリ漁場。造成を実施して、アサリ稚貝の移植放流を行い、モデル予測の効果の検証を実施しています^{3), 6)}。

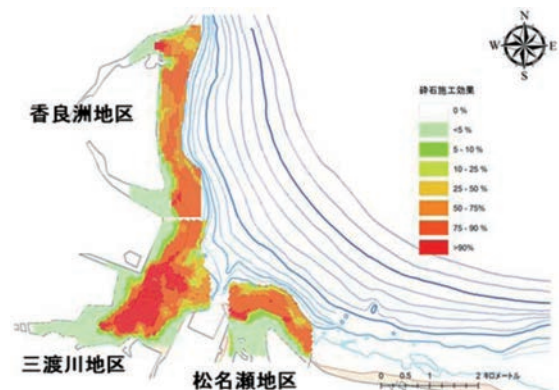


図6 砕石(中央粒径 4.0 mm、淘汰度 -0.8) 施工にしたときのアサリの生息適地予測

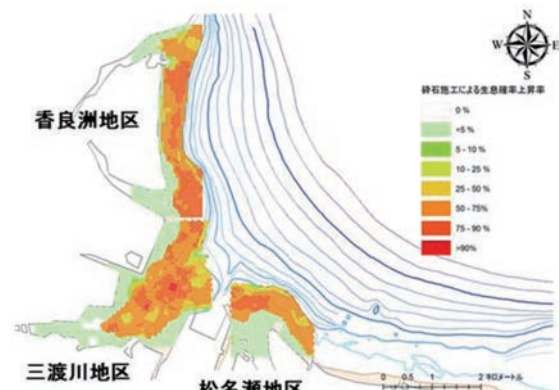


図7 砕石(中央粒径 4.0 mm、淘汰度 -0.8) 施工にしたときのアサリ生息環境の改善効果予測

4. すべては現地調査から始まる

一般化線型モデルによってアサリ漁場に関わる環境因子を明らかにし、好適な生息環境を示しました。漁場造成については解像度が粗いと具体的な場所の提案ができないため、解像度を上げた調査やデータ収集が必要であり、また具体的な目標値を提示するためには定量的なデータとして解析を進めていく必要があることが理解できたと思います。これは前回²⁾ 紹介されたように、アサリ資源量の推定精度を保ち、かつ湾・内湾スケールで現地データを収集したことで得られます（ただし、アサリ資源量の推定精度と分布予測の推定精度は分けて考える必要があります）。本稿では、アサリ成貝を中心に解析を進めてきましたが、一般的にアサリは着底初期から稚貝期において大きく減耗し、特に波浪環境によって生息場が左右されます^{7~8)}。稚貝の好適環境の把握についても成貝と同様のアプローチが有効であると考えますが、着底場所や着底量は季節・年変動が大きいので、時系列データの収集が重要となるでしょう。幸いにもアサリに関しては多くの知見があり⁹⁾、また新しい情報も蓄積され e.g. ^{7~8)}、重要な環境要因に焦点を絞って調査することができますが、やはり生活史や生息環境に応じた空間スケールや時間スケールを決定するためには、地道な調査を行う以外方法はないのです。

5. アサリ漁場造成に向けて

本稿では現地調査に基づいて生息適地予測を行い、制限要因を明らかにして、どこに手立てを打たなければいけないか、碎石による造成を例に GIS によって可視化して示しました。現在、私たち研究グループでは 50 m 四方規模のアサリ漁場を造成して、成育場として成長・生残のモニタリング調査を継続していますが、新たな課題が出ています。それは、造成による生物相、底質、水質の変化が予測できていないことです。過去の事業でも造成後の利用方法や持続的利用の方法はまとめられていません。今後、より多くのアサリ漁場造成をすすめていくためには造成後の環境変化の予測、維持・管理、母貝場や成育場といったどのような場所として利用すべきか、今回示したように造成効果の高い場所を見つけ出すことができるか、あるいはアサリ浮遊幼生の移動分散を考慮した母貝場造成の提案¹⁰⁾ といったことが鍵になる

と思います。また、耕耘や競合生物の駆除などの対策を組み入れながら、漁業者らが造成地を持続的に利用するためのシステム作りが必要であると考えています。

本稿は、水産庁水産基盤整備調査委託事業「アサリ資源回復モデルの開発と実証（H24-H26）」および「アサリ資源回復のための母貝・稚貝・成育場の造成と実証（H27-）」の成果の一部としてまとめています。関係各位にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 鳥羽光晴 (2015). アサリの資源回復をめぐるこれまでとこれから—アサリ資源の減少に対する危機感や、回復への情熱を失わずに—, 豊かな海, 36: 57–63.
- 2) 羽生和弘 (2015). 伊勢湾におけるアサリの資源回復—再生産関係の修復が必要—, 豊かな海, 37: 55–60.
- 3) 水産庁 (2014). アサリ資源回復モデルの開発と実証. 水産基盤整備調査委託事業成果報告書, 37pp.
- 4) 水産庁 (2008). 干潟生産力改善のためのガイドライン. 206pp.
- 5) アサリ資源全国協議会提言検討委員会 (2006): 提言「国産アサリの復活にむけて」, 29pp.
- 6) 桑原久実 (2014). 浅海域の波浪環境がアサリの生息に与える影響とその対策. 水産海洋地域研究集会第 10 回伊勢・三河湾の環境と漁業を考える 伊勢湾全域のアサリ資源の復活をめざして, 20–22.
- 7) 田中良男・西村規宏・桑原久実・南部亮元 (2011): 物理環境によるアサリ稚貝定着の推定方法の検討. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 67: I_941-I_945.
- 8) Nambu R, Saito H, Tanaka Y, Higano J, Kuwahara H (2012): Wave actions and topography determine the small-scale spatial distribution of newly settled Asari calms *Ruditapes philippinarum* on a tidal flat. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 99: 1-9.
- 9) アサリ資源全国協議会 (2005). アサリ文献集. 130pp.
- 10) 畑直垂 (2014). 伊勢湾におけるアサリ母貝場の造成と保護. 水産海洋地域研究集会第 10 回伊勢・三河湾の環境と漁業を考える 伊勢湾全域のアサリ資源の復活をめざして, 20–22.

第5回

北海道東部海域におけるアサリ漁業とその管理について



北海道立総合研究機構 釧路水産試験場 研究主任 近田 靖子

1. はじめに

全国のアサリ漁獲量は1980年代半ばに減少し始め、各地で回復を目指した技術開発が行われています。一方、北海道はといいますと、1980年代後半から2000年代中盤までは増加傾向にありましたが、その後、冬季の結氷被害や東日本大震災による津波の影響で減少に転じ、ここ数年は回復傾向にあるものの、1000トン程度で推移しています（図1）。ここ数年は漁獲量で全国4～5位・シェア約4%前後でしたが、2015年（概数値）にはついに3位に浮上し、シェアは7%となりました。

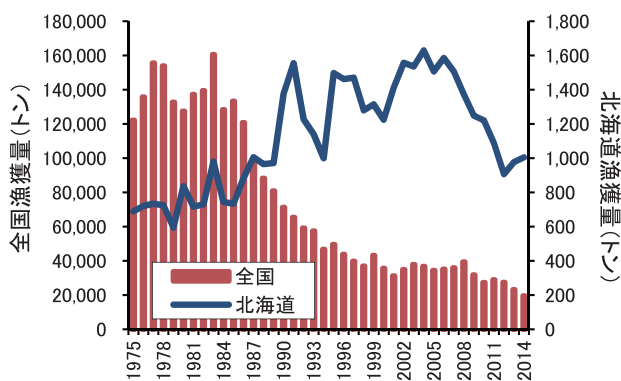


図1 全国と北海道のアサリ漁獲量の推移

本シリーズ「アサリ通信」のテーマは「資源回復に向けた栽培漁業と資源管理の推進、そして漁場環境の問題へアプローチ」とされており、第1回の鳥羽さん¹⁾が書かれているように「アサリの資源回復に関するレビューが連載される予定」とありますが、北海道は資源が大きく減少していないから該当しないのでは？とお考えの方もいらっしゃるかもしれません。しかし北海道でも、アサリ資源の減少とその後の回復対策、回復した

資源の維持への取組が行われております。そこで私からは、北海道で行われている事例について述べたいと思います。

2. 北海道のアサリ漁業

北海道のアサリは、その約97%以上が釧路・根室管内（以下道東海域、図2、図3）で漁獲されています。この地域では、各漁協の沿岸域に比



図2 道東海域のアサリ漁業のある漁協

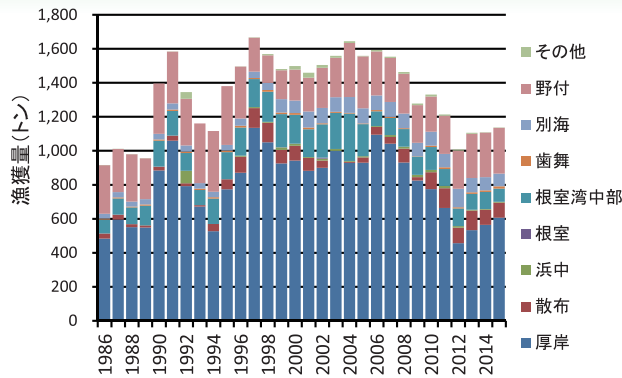


図3 北海道各漁協のアサリ漁獲量の推移

較的大きな湖沼があり、それらの砂浜域がアサリ漁場となっています。

道東海域でのアサリ漁業は、北海道海面・内水面漁業調整規則で定められている禁漁期（7月16日～8月31日）以外、漁協単位で管理されており、他魚種との兼ね合いの中、採取するサイズや漁期が決められ、資源量調査に基づく漁獲量管理が行われています²⁾。アサリ漁業専門業者がいるのは厚岸のみで、禁漁期間以外周年操業しています。根室海峡側に面している野付・別海・根室湾中部漁協は結氷期（1～3月）を除いて周年、ホタテガイやホッキガイ（ウバガイ）、魚類の操業の合間にアサリ漁を行っています。太平洋側の函舞・浜中・散布（ちりっぷ）漁協では、初夏～秋はコンブなど他の操業があるため、冬～春に操業を行っています。このように、多くの地域では、主となる漁業の収入の補完としてアサリ漁業が行われています。

3. 大量死亡と回復、その後の保全

散布のアサリ漁業

散布漁協のアサリ漁場には火散布沼および藻散布沼の二つの湖沼があり、そのうち火散布沼が主漁場となっています。火散布沼は、面積 3.58km²・平均水深 70cm の海跡湖であり、太平洋と最低幅 80m・長さ 1.5km の水路でつながる汽水湖です³⁾。また、淡水供給量よりも潮汐による外海水の流入量が多く、火散布沼の基礎生産は外海水や底生生物による再生産によって供給される栄養塩に支えられています⁴⁾。アサリ漁場は湖口周辺の干潟約 30ha で行われており、沼内では他にウニやカキの養殖、チカ漁業などが行われています。図 4 の

魚種別生産金額をみますと、散布漁協では、コンブ、サケ・マス、ウニ、サンマ、毛ガニが収入の多くを占めており、これらの漁期は大部分が春～秋です。

散布漁協のアサリ漁業は、毎年 9 月頃に行う資源量調査に基づいて漁獲許容量を算出し、12 月～3 月の漁期を迎えます。直近 5 年間の平均漁獲量は約 100 トンとなっています（図 5）。漁期前半は、昼間に干出しないため、冬の風物詩となっているハサミという漁具による機械掘りが行われ、漁期後半になると、昼間の干潮時に熊手を用いた手掘りで漁獲しています（写真 1）。アサリは、生産額としては全体の 3% 程度ですが、冬季は他の漁獲対象種が少ないため、この時期の重要な収入源となっています。また他地域のアサリ漁獲量が少ない時期でもあるため、高めの単価で取引され、漁獲される大粒のアサリは特産品となっています。

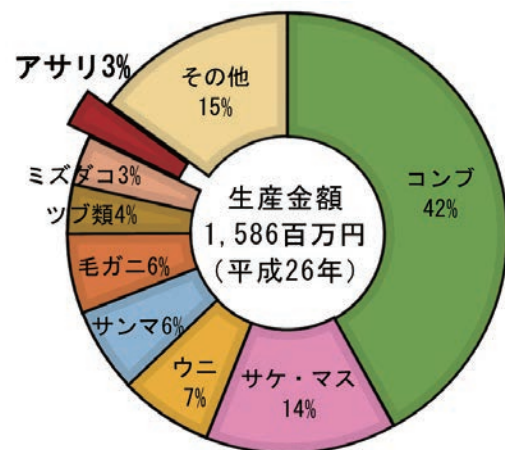


図4 散布漁協の魚種別生産金額

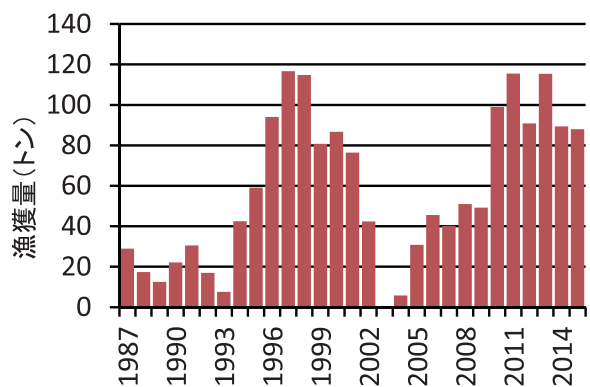


図5 散布漁協のアサリ漁獲量の推移



写真1 散布漁協のアサリ漁業

左：ハサミ機械掘り
 右上：熊手による手掘り
 右下：漁獲物のアサリ

大量死亡から回復へ

2002年3月の漁期終盤に、火散布沼の漁場でアサリの大量死亡が発生しました。そこで、散布漁協、浜中町役場、釧路地区水産技術普及指導所、北海道庁、道水試、民間調査会社と、関係機関総出で原因探索を行いました。原因として、疾病や環境の変化等が考えられました。その後、各種試験をした結果、病気等はなく、死亡発生前の秋～初冬が例年にない餌不足となり産卵後の肥満度の回復が悪かったこと、これに悪天候：強風により高頻度で発生した海底かく乱による濁水が長期間に渡ったことが重なり、大量死亡に繋がったと考えられました。資源量調査の結果から、火散布沼のアサリ推定資源量は、2001年は850トンであったのに対し、大量死亡後には60トンに減少し、85%が死亡したと考えられました。そこで2003年に、アサリ漁の禁漁、死殻の除去、漁場耕耘、土砂堆積により埋没していた潮切りの掘削、死亡が発生していなかった藻散布沼等からの母貝移植といった、火散布沼アサリ漁場再生計画⁵⁾が立てられました。

死貝を除去しながら耕耘し、そこへ母貝を移植した結果、2003年の肥満度は、成熟・産卵による低下と産卵後の回復といった例年通りの変化が見られ、その後の稚貝調査でも良好な発生が確認されました。アサリ漁も2004年12月から徐々に再開し、近年は安定した漁獲が行われています。数年という比較的短期間で回復が見られてきたことから、大量死亡は、複数の負の要因が重

なったことにより発生したものであり、漁場環境の大きな変化等によりアサリが生存できなくなったということではないと考えられます。火散布沼では古くからアサリ漁業が行われていましたが、「アサリは自然に湧いてくるものだ」という感覚があり、漁業者自らが漁場を維持・管理する意識は薄く、その体制も整っていませんでした。しかし、今回の大量死亡により、死亡への対策や漁場管理を行っていく上で、火散布沼での知見が不足していたことから、漁協・役場・水試・水産普及指導所など関係機関で協力し、再生計画の中でアサリの分布や資源状況のモニタリングを行うこととしました。その結果、火散布沼のアサリ漁場の問題点がいくつか明らかとなりました。

結果、火散布沼のアサリ漁場の問題点がいくつか明らかとなりました。

- 1) 地盤高の低下：地盤高が低い干潟では、干潮時も冠水している状態のため、アマモ等海藻の繁茂・泥の堆積がみられ、アサリは成長不良や死亡が起こっていた。
- 2) 害敵生物の増加：マヒトデやチシマタマガイといった害敵生物が増加傾向であった。
- 3) 死殻の堆積：潮流の影響で干潟の一部に死殻が集まることにより、泥の堆積や死殻を基質とした海藻・海藻が繁茂し、操業に支障が発生していた。
- 4) 耕耘効率：硬度の高くなった干潟の耕耘を行っているが、人力では限界があることがわかった。

回復から保全へ

2009年度に散布漁協所属のアサリ部会員（95名）が構成員となって「火散布沼干潟を保全する会」が立ち上げられ、環境・生態系保全活動支援事業を活用して関係機関と協力しながら、上記の問題点を改善していくことを目的に活動していくこととなりました。

1) 地盤高の低下対策として「客土」

同時期に火散布漁港の浚渫工事が行われていたので、この工事で発生した海砂を有効利用し、低下している干潟2haへ客土を行い、事前調査をもとに、干潮時に完全に干出する高さに調整しました（写真2）。その後の追跡調査では、

アマモ等の海草の着生はみられず、アサリの稚貝が大量に着底していることが明らかとなりました。

2) 害敵生物の「駆除」

ヒトデについては、ヒトデの活動力の下がる低水温期に、移動しやすい船上から、ヤスデ（ヤス・手鉈）で突いて行いました（写真3）。小型のヒトデについては、スターモップを用いて駆除を行いました。タマガイは、潜砂中は写真4のように干潮時に発見しやすいため、干潮時間が昼間に長くなる春季に、同時期に産出される卵塊（すなぢゃわん）とともに、駆除活動を行いました。その他、オオウヨウラクやエゾチヂミボラといった通称三角ツブ（写真5）もアサリを捕食するため、駆除とともにアサリ部会全体での情報共有が図られました。害敵駆除は、継続することが重要であるため、毎年の作業として行われています。

3) 堆積した死殻の「除去」

死殻の除去作業は、春の大潮時にアサリ部会員全員で行い（写真6）、2010年で延べ33トン、その後は毎年8トン程度除去を行っています。8トンの死殻はおよそ159万個と推定されます。1個10g（殻長40mm程度）だったとすると、死亡が起こらなければ、約16トンの漁獲増を見込めることから、低位ではありますが発生が続く死亡対策について、検討課題として取り組まれています。

4) 耕耘の効率化

大量死亡発生当時は、死殻除去時に人力での耕耘作業も行っていましたが、効率が悪く、限界があるため、農業用の小型耕耘機を用いて作業の効率化が図られました（写真7）。小型耕耘機は船外機船への積み込みが可能で、1分あ



写真3 ヒトデ駆除



写真4 タマガイ

左：潜砂中
右上：中にいたタマガイ
右下：アサリを捕食中



写真5 アサリと三角ツブ



写真2 客土

たり6～8㎡を耕耘することができました。また、貫入式土壌硬度計により耕耘前後の硬度を測定したところ、耕耘後の硬度は低くなり、効果が認められました。今後のモニタリングにより、耕耘効果の持続期間、アサリの成長や稚貝発生量への影響等を調査し、より効果的な漁場管理手法が検討されています。



写真6 死殻の除去作業



写真7 小型耕耘機

以上のような活動がアサリ部会員の意識改革へ繋がり、環境保全に対する共通認識を持ち、積極的な活動を行う体制へと発展する契機となりました。アサリ生産量は増加傾向にあり、引き続き資源量や分布密度のモニタリングや死亡対策、害敵駆除、耕耘等、効果的な管理手法を検討しながら、一丸となってアサリ資源維持に取り組まれています。

4. 終わりに

今回は、散布漁協の取組について述べましたが、他の漁協もそれぞれに問題を抱え、解決へ向けた対策に取り組んでいます。北海道の漁場は、本州と比較すると、連続した広い海域を共同で利用するのではなく、一つ一つの漁場が狭く漁協単位であるため、各漁協独自のアサリ漁業が行われています。そのため、各漁協のアサリ漁業者の意識統一がしやすく、活動の範囲とアサリ資源の規模が比較的近いと言えます。漁協それぞれで行われている対策は、他の漁協でも活用できることでもありますので、水試が事務局となって「北海道あさ

り勉強会」を2012年度に立ち上げ、各取組や新しい技術の情報交換の場として活用されています。

道東海域のアサリ漁場は、先の大量死亡のような突発的な資源減少が生じることはありますが、人の手を入れることによって回復が見込まれ、漁場管理や新たな技術によって更なる増産の可能性も考えられると言った状況です。しかし近年は、「数十年に一度の」というような異常気象が毎年のように発生しており、突発的な事象の発生頻度が増加しています。そのためにも北海道では、アサリの資源状況とそれを取りまく漁場環境のモニタリングを続けることにより、アサリ資源や漁場の動向を把握し、その動きに合わせて対策を重ねていくことが重要であると思います。

参考文献

- 1) 鳥羽光晴 (2015) アサリの資源回復を巡るこれまでとこれから—浅い資源の減少に対する危機感や、回復への情熱を失わずに一、豊かな海, 36, 57-63.
- 2) 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, 北水だより, 84, 1-5.
- 3) 新西正昭・齋藤俊信・渡邊哲也 (2006) 北海道霧多布地区湖沼湿原調査, 国土地理院時報, 109, 99-108.
- 4) 菅夏海・柴沼成一郎・山田俊郎・檜垣直幸・門谷茂 (2011) 亜寒帯汽水湖の火散布沼 (北海道) における栄養塩の時空間分布とその起源, 海の研究, 20 (1), 19-36.
- 5) 散布漁業協同組合 (2003), 散布沼アサリ大量斃死と今後の漁場再生について.





第6回

浜名湖におけるアサリ資源回復の取組

～漁業者とともに取り組む資源管理～



静岡県水産技術研究所 浜名湖分場 主任研究員 上原 陽平

1. はじめに

これまでに本シリーズでは、三重県・愛知県・北海道などにおけるアサリの資源管理の取組事例が紹介されてきました。静岡県の浜名湖における資源管理の取組については、本誌のNo.31（2013年11月15日発行）で紹介しましたが、今回は、2013年以降における資源回復の取組を中心に紹介したいと思います。

2. 浜名湖とアサリ漁業

静岡県西部に位置する浜名湖は、幅約200mの今切口を介して遠州灘と繋がっている、水域面積約70km²の汽水湖です（図1）。浜名湖では、県内で唯一、アサリの採貝漁業（以下、アサリ漁業）が行われており、湖内漁業の中で漁獲量及び漁獲

金額が最も多い重要な地域産業となっています。アサリ漁業は、船上又は湖内に立ち込んで、「かくわ」と称される漁具を使用し、人力のみで行われています。

アサリの漁獲動向は、浜名漁業協同組合の集計体制が整った1982年以降、増減を繰り返しながら推移し、2009年には6,007トン記録しました（図2）。しかし、2012年には2,432トン、翌2013年には1,402トンまで急減し、統計上の最低値を記録しましたが、2014・15年には4,127・3,437トンまで回復しました¹⁾。一方、全国のアサリ漁獲量は、かつて16万トン以上を記録しましたが、1980年代半ばから減少傾向にあり、近年は2万トン前後で推移しています。このように浜名湖のアサリ漁獲量は、近年増減が大きいものの、全国の漁獲量と比べると比較的安定しています。

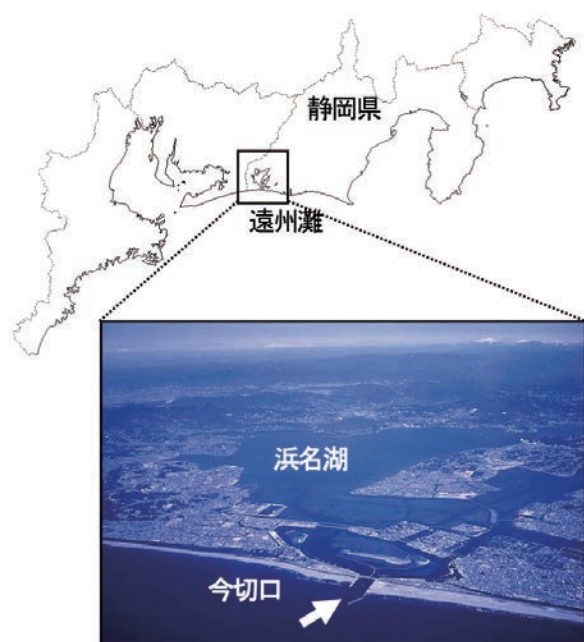


図1 浜名湖の位置

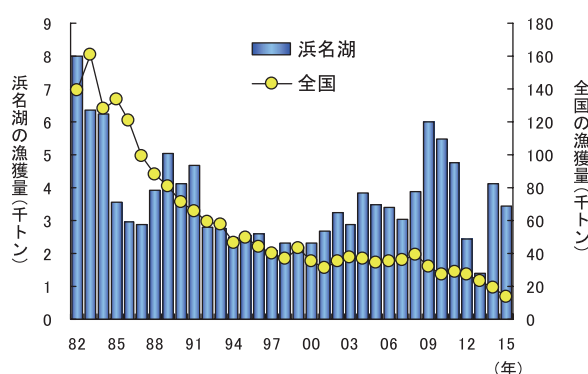


図2 浜名湖と全国のアサリ漁獲量の推移

3. 漁業者組織と漁業者の取組

アサリ漁業者は、湖内唯一の漁協である浜名漁業協同組合に所属し、その数は約600名（2016年12月時点）で、全員が漁協の内部組織である

採貝組合連合会（以下、採貝連合会）に属しています。採貝連合会は地区別に8つに細分化されており、各地区の役員計28名からなる役員会が採貝連合会の意思決定機関として機能しています。

採貝連合会では、漁獲量や漁獲サイズ制限などの操業制限、湖奥部に発生する稚貝を禁漁区へ移設する稚貝移植、アサリの被害生物であるツメタガイなどを駆除する外敵駆除など、アサリ資源を持続的に利用するために様々な取組を長年行ってきました²⁾。これらの取組の多くに当研究所の研究成果が活用されており、採貝連合会と当研究所がともに協力して行ってきた歴史があります。ここでは、2015年から取り組み始めた天然採苗や人工種苗生産の進捗状況のほか、新たに取り組み始めた資源調査について紹介します。

(1) 天然採苗

天然採苗は、砂利などの基質を網袋に入れ、干潟などに設置して、水中に漂うアサリの幼生が袋内に自然に着底し成長することによって稚貝を得る技術です³⁾。採貝連合会では、2012年の漁獲量の急減を背景として同年に試験的に開始し²⁾、2013年度からは、国と県の補助事業により規模を拡大して取り組んでいます。天然採苗の実施期間はおよそ6か月間で、春に採苗袋を湖内に設置し、得られた稚貝を冬に放流しています。放流時には大きいもので殻長35mmほどに達するものもあり、その成長の早さには漁業者も驚いています。

天然採苗は設置する場所により、得られる稚貝の数が異なるため、2014年度は、1,500袋の採苗袋を作製し、湖内11箇所に採苗袋を設置しました。その結果、多いもので150個／袋ほどの稚貝が得られ、湖南部の複数箇所でも多くの稚貝が得られました。翌2015年度は3,000袋の採苗袋を作製し（図3）、新たな適地選定のため、湖南部の複数箇所に設置しましたが、残念ながら新たな適地を見つけることはできませんでした。しかし、2016年度には、3,000袋の採苗袋を湖内3箇所に設置し、現在多いもので400個／袋ほどと、これまでで最も多くの稚貝が得られる新たな適地を見つけることができました（図4）。



図3 3,000袋の採苗袋とアサリ漁業者



図4 天然採苗で得た稚貝

(2) 人工種苗生産

人工種苗生産の取組は、2012年の漁獲量の急減を背景に、天然採苗と併せて開始しました。人工種苗生産は、既存の手法⁴⁾を簡略化した漁業者が仕事の片手間でもできる“浜名湖流”の生産手法です²⁾。これまでに毎年およそ2万個の稚貝を生産していますが、生産量増大を目的として、2015年に採貝連合会の役員と著者で（独）水産総合研究センター（現：（研）水産研究・教育機構）瀬戸内海区水産研究所の兼松氏を訪問しました（図5）。生産作業の改良方法について色々お尋ねし、これまで幼生の飼育に使用していたすり鉢状の水槽は、底が平らな水槽と比べ、残餌などが溜まり易く細菌の繁殖を招き、生残に悪影響を与える可能性があることや、これまでの幼生への給餌方法である3日に1度、3日分を給餌する大量給餌は、残餌が溜まり易くなるため、毎日一定量を給餌する方が良いことなどの助言をいただきました。この助言を基に、2016年度の種苗生産では、幼生飼育水槽を底の形状が平らなものに変更し、餌の保冷（保存）が可能な発泡スチロール

で自動給餌器を作製して幼生の飼育を行いました(図6)。現在、着底稚貝の飼育中であり、殻長5mmほどまで成長させた後に浜名湖へ放流する予定です。



図5 人工種苗生産の説明を聞くアサリ漁業者(写真下の一番右が兼松氏)



図6 幼生飼育水槽と自動給餌器

(3) 資源調査

当研究所では、浜名湖のアサリ漁場のアサリ生息密度から現在の資源量を推定し、成長や漁獲などの資源増減要因を考慮して1か月後の資源量を予測することにより、資源を持続的に利用できる適切な漁獲量(維持漁獲量)を求める手法を開発しました⁵⁾。この技術を活用するため、2015年から採貝連合会では、毎月1回、漁場のアサリ生息密度の調査を行い、当研究所でデータを取りまとめ、その結果を「アサリ資源情報」として全ア

サリ漁業者へ提供しています(図7)。アサリ資源情報には、現在のアサリ漁場の推定資源量や1か月後の資源量を予測した資源予報のほか、維持漁獲量などの情報が掲載されています。この取組は今年で2年目であり、今後は、予測した資源量の検証と予測精度の向上を行うとともに、データの取りまとめ法などを改良して、採貝連合会が主体となってアサリ資源情報の発信ができるようにしていく予定です。

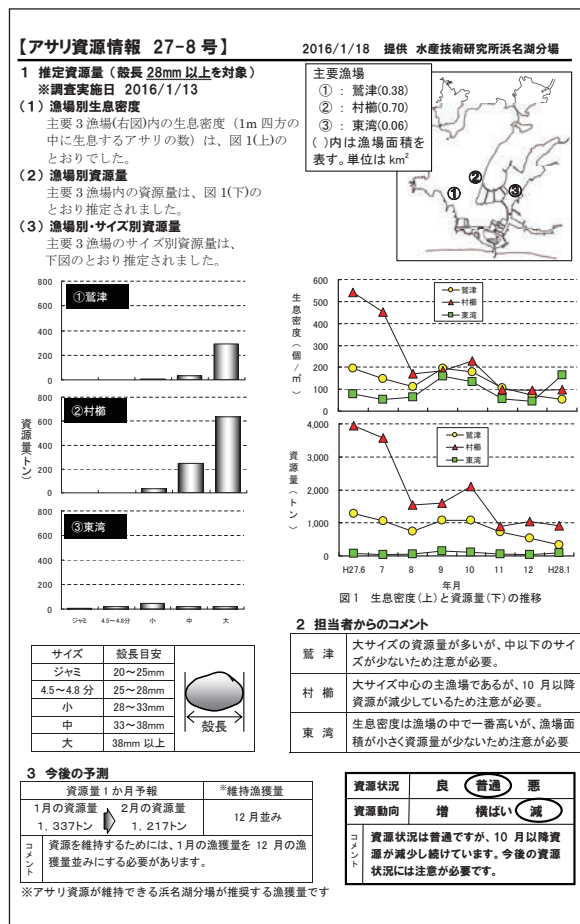


図7 アサリ資源情報

4. 水産技術研究所の取組

2016年は、浜名湖のアサリ資源の減少を背景に、渡船による潮干狩りが中止となり、地域の観光産業などに大きな影響を与えました。このため、当研究所では急遽、「安定的な利用を目指したアサリ資源回復技術の開発」の研究を実施することとしました。アサリ資源が減少した要因の一つとして、前年の夏季の断続的な降雨や台風の影響によるアサリの幼生や稚貝のへい死が考えられまし

たが、クロダイなどによる食害が大きな要因として疑われました。本年度は、食害実態の把握と対策の試験を行ったので、その結果について紹介します。

食害の実態を把握するために、浜名湖南部の浅瀬において、アサリを撒き、水中にカメラを設置して食害生物を撮影する手法で観察を行いました。その結果、複数のクロダイがアサリを捕食する様子が撮影される（図8）とともに、撒いたアサリがほとんどなくなっていたことから、食害は主にクロダイによるものであることがわかりました。次に食害対策として、被覆網の設置効果の試験を実施しました。これはアサリが生息する湖底に網を張ることでアサリを食害から守る方法です⁶⁾。

試験は、アサリを200個収容した1㎡の試験区を2区画設け、片方の試験区に被覆網を張り、各試験区のアサリの数定期的に数えることで被覆網の有無による効果を確認しました。その結果、被覆網がない試験区のアサリは試験開始14日後には半分以上に減り、30日後にはほぼなくなりました。一方、被覆網がある試験区のアサリは180日後でも多くが残っていたことから、被覆網の設置はクロダイなどの食害対策に大きな効果があることがわかりました（図9）。

この結果を受けて、現在、採貝連合会では、天然採苗で獲得したアサリ稚貝を放流した場所に被覆網を設置して、アサリを食害から守りながら資源を増やす取組を実施しています（図10）。



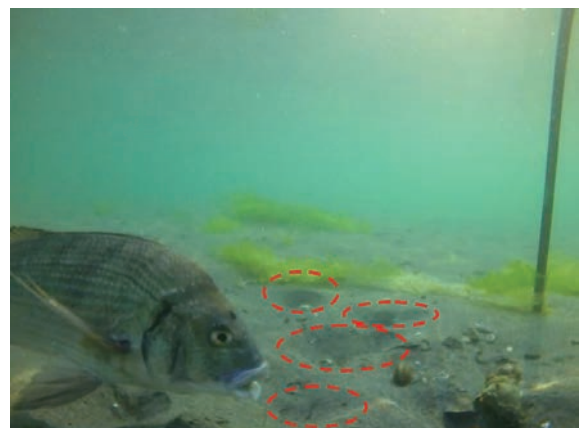
撒いたアサリに集まる



潜砂しているアサリを探す



アサリをくわえる



アサリの殻を吐き出す

○：砂中の餌を探した跡の採食跡

図8 撮影されたクロダイのアサリ食害写真

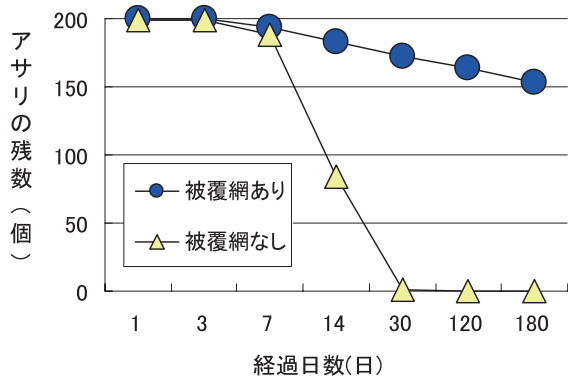


図9 食害防除試験によるアサリ残数の推移



図10 被覆網を設置する採貝連合会の役員

5. おわりに

全国では、アサリ資源の回復を目的とした各地域の実情に応じた様々な取組が行われています。これまで紹介したように、浜名湖では、ツメタガイなどの外敵駆除や天然採苗、人工種苗生産の継続のほか、被覆網の設置による食害対策も新たな取組として開始しましたが、これらの取組は先進地の研究員や漁業者の方々の協力と情報共有なくして実現することはできなかったと思います²⁾。本稿の事例紹介も全国のアサリ資源の回復のための情報として役に立てばと願っています。最後になりますが、アサリ資源の回復には、漁業者自らによる資源管理の取組が非常に重要です。当研究所では、浜名湖のアサリ資源の持続的利用を目指して、これからも採貝連合会とともに歩み続けて行きます。



参考文献

- 1) 上原陽平 2016. 平成 27 年のアサリ漁を振り返る, 静岡県水産技術研究所浜名湖分場広報誌はまな, 553, 1-2.
- 2) 霜村胤日人 2013. 漁業者と二人三脚で取り組む浜名湖のアサリ資源の回復, 豊かな海, 31, 3-7.
- 3) 日向野純也 2014. アサリの天然採苗と垂下養殖の技術開発, アクアネット, 54-58.
- 4) 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ー富津研究所の経験ー.
- 5) 上原陽平 2016. 浜名湖アサリの持続的利用に役立つ漁業管理手法の確立, あたらしい水産技術, 静岡県経済産業部振興局研究調整課, 618.
- 6) (独) 水産総合研究センター 2014. アサリを守る, FRANEWS, 38, 12-14.

第7回

有明海におけるアサリ漁業と資源の動向、 今後の再生方策について



国立研究開発法人水産研究・教育機構 西海区水産研究所

有明海・八代海漁場環境研究センター資源培養グループ長 松山 幸彦

1. はじめに

有明海は南北に細長い閉鎖度の高い内湾であり（図1）、その独特の構造から副振動による潮汐振幅の増幅が著しく、湾奥では大潮時に6mもの潮汐差が発生します。このため、全国の干潟のうち、面積でその約40%にあたる18,841haが有明海に存在するなど、国内でも干潟生態系が卓越した内湾となっています。有明海の干潟は筑後川河口から宇土半島までの東岸に砂泥干潟が、筑後川右岸から諫早湾までの湾奥西部は泥質干潟となっています。東岸の砂泥干潟はアサリやハマグリ、泥質干潟はサルボウやアゲマキの漁場として利用されており、沖合の非干出域はタイラギやウミタケの生息域として知られています。



図1 有明海の地形図

2. 有明海のアサリ漁業

このように、有明海には広大な干潟が存在し、当然ですが、アサリ漁場も国内の他海域では例を見ないほど広大です。特に有明海東岸は日常的に数キロ先まで干出する干潟であり、徒歩による採貝は時間的、物理的に困難であるだけでなく、満潮時に帰還できずに漂流・溺死する危険もあります。従って、アサリ漁は船による沖合移動が基本です。さらに熊本県海域では、アサリ漁場の先端近くまでコンクリートで舗装された立派な海中道路「海床路」が整備されており、そこを軽トラックが隊列をなしてアサリや作業員を乗せて走る情景は、まるでモーゼが海を割った後のような風景です（図2）。

有明海のアサリ漁場は、長崎県海域の一部を除いて天然漁場であり、その資源は天然発生稚貝にほぼ全面的に依存しています。アサリなど採貝のみに生計を依存した漁業者は少なく、多くの漁業者は冬期にノリ養殖に従事し、ノリの非操業期を中心にアサリ漁業を営むなど兼業形態が多く、後背地である農地で農業を兼業している人もみられ



図2 有明海の干潟上に設けられた海床路
（熊本県宇土市付近で撮影）

写真奥が岸側となり、ここから船に乗り換えてアサリ漁場へ向かう

ます。長崎県海域では諫早湾を中心に区画漁業権を設定して種苗の移植による地撒き養殖が取り組まれており、同時にカキの垂下養殖も兼業しています。ここでは、有明海におけるアサリ漁獲量の大半を占めている有明海東岸にけるアサリの現状を中心に述べます。

3. 有明海におけるアサリ資源の長期的動向

アサリは有明海で最も漁獲される二枚貝で、図3に示したように、かつては国内の総漁獲量のおよそ半数が有明海で漁獲されていましたが、近年は資源の減少に喘いでいます。この資源の長期変動について、図4に示した有明海区における県別の漁獲量を参照しながら考察します。有明海のアサリ漁獲量は、長期的に2つの山と谷が認められています。第1の山は1977～1983年で、1983年には最大漁獲量90,386tに達しました（有明海・八代海等総合調査評価委員会，2017）。これは単一の湾あるいは灘において過去に漁獲されたアサリの最大記録だと思われます。漁獲量は1980年代中頃を過ぎると急減し、1997年から2001年頃にかけて、低迷期に入ります。2001年の漁獲量は2,411tとピーク時の40分の1まで落ち込んでいます。その後、2003～2008年にかけて有明海全体で資源が増加し、2006年には9,655tの漁獲量に達しています。しかし、2009年以降再び漁獲量が低迷し、2015年には391tと過去最低に近い漁獲レベルまで減少しています。この近年の減少は、有明沿岸4県（福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県）でほぼ同時期に発生しています。

1980年代後半の漁獲量の低下は、発生した資源量の9割を漁獲するという「過剰漁獲」も原因の一つであることが指摘されています（有明海・八代海等総合調査評価委員会，2008）。こうした反省に基づき、各県で資源管理が強化された結果、2003年から資源回復がみられ、

第2の山が発生したと考えられています。2007年には「熊本県アサリ資源回復計画」が定められ、目標として県内漁獲量が7,000tを下回らない資源水準の維持が定められました。2006年の漁獲量は過去最大漁獲量の10分の1ではありましたが、浜の豊漁感（漁業者マインド）はかなり高揚したものでした。しかし、アサリ資源回復計画が設定され、熊本県以外でもアサリ資源管理を強化したにも拘わらず、2009年以降漁獲量が低迷している理由については明らかにされていません。有明海におけるアサリ資源の減少要因については、堤（2005）や松川ら（2008）などの総説があり、ここで詳細は割愛します。本稿では最近とりまとめられた環境省有明海・八代海等総合調査評価委員会報告におけるエッセンス、および各県からご提供いただいた情報に基づく最新の状況について述べます。なお、本稿作成にあたり、有明沿岸4

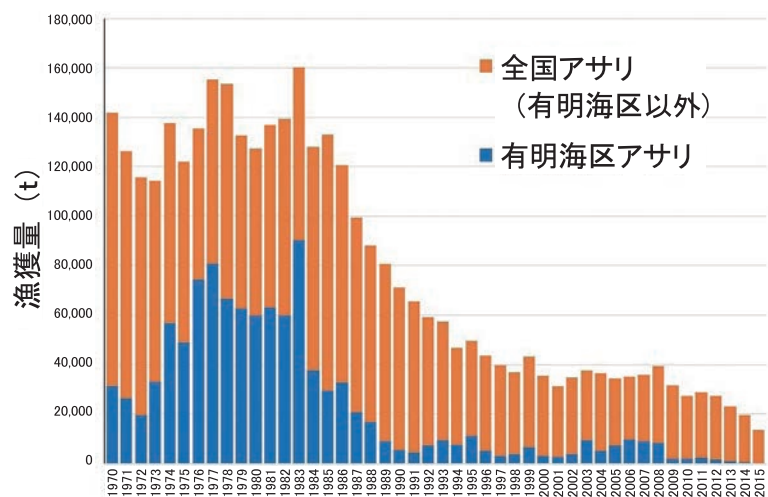


図3 全国および有明海区のアサリ漁獲量の推移（1970～2015年）
農林統計より整理した

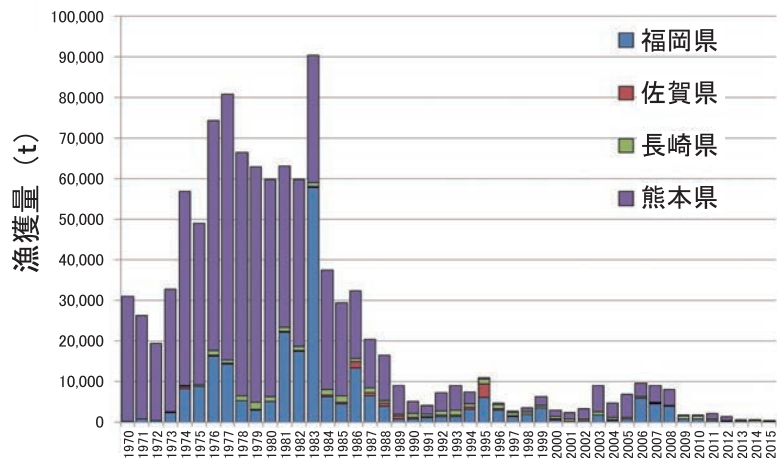


図4 有明海における県別アサリ漁獲量の推移（1970～2015年）
農林統計より整理した

県から貴重な資料等をご提供いただいたことについて、ここに記して謝辞と代えさせて戴きます。

4. アサリ資源減少要因：漁業者の目線

水産資源の変動は、基本的に気象、水質、底質など様々な環境要因が対象生物へ複合的に及ぼす影響が重層的に作用し、さらに生息場をめぐる生物間の競争や捕食－被捕食関係などの要因も加わって起こりますが、結果として「漁獲量が変動する」という事象として現れます。こうした要因がすべて長期的に一定なのは深海に限られ、アサリ漁場（などの干潟域）は数ある水産生物の生息場の中で、最も関与する要因が多く、その変動もダイナミックであると言えます。従って、そこに関与するすべての問題点の原因・要因が定量的に明らかにならない限り、明確な解を示すことは困難でしょう。こうしたことから、アサリ資源変動に関しても、ほとんどの調査研究は、関連すると推定される原因・要因を「定性的に羅列する」か、「まだ不明な点が多い」と先延ばしにするか、いずれかに終始することが多くなります。アサリに関する研究者は国内の二枚貝研究者の多数を占めるなど比較的潤沢ではありますが、それでも膨大な問題点の原因・要因を解明するためには、最初に問題点の絞り込みが必要です。こうした場合、アサリを日々漁獲している漁業者の実感ほど、問題点の原因・要因の絞り込みに役立つものはありません。有明海のアサリ漁業者との意見交換において、アサリ減少要因として頻繁に指摘されるのは、1) ダム等による土砂供給の低下、2) 1) および陸地の開発等に伴う干潟の細粒化、浮泥の増加、3) 酸処理剤や農薬の影響、4) エイやホトトギスガイなどの食害・競合生物、などです。この4つの要因の中で、少なくとも3) については実海域での検出濃度はほとんどないか微量であり（長崎ら 2016）、4) については明確にアサリ資源減少要因のひとつとなっていることが分かっています（有明海・八代海等総合調査評価委員会、2017）。

5. アサリ資源減少要因：干潟における底質の変化

漁業者から指摘のある土砂供給に関しては、1950 年代から 1970 年代にかけて川砂が盛んに採

取されたことが指摘されていますが（有明海・八代海等総合調査評価委員会、2017）、漁獲量が急減した時代とは 20 年以上の開きがあります。アサリ漁場が存在する干潟の細粒化、浮泥の増加については、残念ながら 1970 年代からの長期的変動を捉えたデータは存在しません。熊本県では 1992 年以降緑川干潟におけるアサリ生息に関する一斉調査が行われています（例えば那須ら 2004）。これらの調査で取得されたデータを見ると、年変動はあるものの、長期的にアサリ漁場の細粒化、底質の顕著な悪化は認められていないようです（有明海・八代海等総合調査評価委員会、2017）。また、他海域で顕著な埋め立てや干拓によるアサリ漁場の減少も、豊漁期である 1970～1980 年代以降はほとんど認められていません。単一の河口干潟の中で、州ごとに漁場としての優劣が変遷することがあり、その過程で干潟底質の変動がアサリ資源の盛衰へ強く影響している事実がありますが、干潟全域あるいは有明海全域で巨視的にみて、底質の変化が大きな資源変動の原因・要因となっているとは必ずしも判断できない状況です。

一方で、既存のアサリ漁場に海砂などを覆砂することで、アサリの着生が大幅に促されるとの知見が多数あります（例えば熊本県 2008、堤ら 2002）。実際に 2000 年前後に資源が低調になった時期に資源管理だけでなく、干潟への覆砂など、土木工学的な対策と移植を組み合わせることで、2003～2008 年にかけての資源増加に繋がったとの指摘もあります（熊本県水産研究センター 2008）。これは覆砂によって干潟表面の底質環境が改善されることと、比重の高い覆砂材による生息場の安定化（稚貝期の逸散抑制）の相乗効果によるものと推定されます。

特に長崎県海域である諫早湾では、元々アサリの生息に厳しい泥質干潟へ人為的に海砂を投入する漁場整備が盛んに行われてきた結果、今では好適なアサリ漁場に生まれ変わっており、覆砂など底質改善効果がアサリの生産性を高めることについては、疑いようのない事実となっています。

6. 食害生物・競合生物がアサリ資源へ及ぼす影響

有明海の干潟では恒常的に食害生物が認められます。肉食性巻貝（ツメタガイ、キセワタ）、頭足類（タ

コ)、棘皮動物(ヒトデ)、甲殻類(カニ類)、クロダイなどの硬骨魚類、エイ類が頻出しています。また、カモなど鳥類もアサリを補食します。また、ホトトギスガイ、ニホンスナモグリ、アナジャコなどは、アサリの漁場に侵入して生息に悪影響を及ぼすこともたびたび見られます。鳥類、クロダイ、ニホンスナモグリ、アナジャコを除いて、アサリ漁場に侵入したこれら食害・競合生物は漁業者によって駆除されていますが、その中でもナルトビエイによる食害は広域的かつ集中的に発生しており、特に近年の有明海における顕著な資源減少要因となっているようです(有明海・八代海等総合調査評価委員会, 2017)。ナルトビエイは1989年に東シナ海で初めて出現が認められた新種のエイで(White et al. 2013)、有明海には水温が上昇する5月頃から晩秋まで来遊し、アサリをはじめとして二枚貝類を探索しながら捕食します。同所的に出現するアカエイなどは主にスナモグリなどの甲殻類を中心に捕食し(Takeuchi and Tamaki 2014)、アサリへの捕食は気まぐれです。漁業者のナルトビエイへの関心が高いこともあり、有明海では本種の調査研究が盛んに行われてきました。その結果、表1に示したように、有明海における年間来遊量は16万個体、二枚貝への補食圧は3千t程度と推定されています。また図5に示された胃内容物解析結果から、小型の幼魚では、胃内容物の半数がアサリで占められることもあります(図5)。こうしたことから、有明海では国、県、漁業協同組合がナルトビエイの駆除事業を実施しているところ です。

7. 2009年以降のアサリ資源の減少要因

ここまでアサリの資源の長期的な傾向を中心に述べてきました。しかし、2009年以降の資源減

少要因については、着底稚貝の発生量が少ないこと、特に高密度の出現域の面積が大幅に縮小していること、夏を過ぎると急激に資源が減少することなどが特徴です。この要因としては、産卵母貝の減少は当然として、何らかの要因で浮遊幼生の発生量低下、もしくは着底稚貝の減耗が大きくなっている可能性が示唆されます。こうしたこともあり、関係者は資源減少の新たな局面に入りつつあるという危機意識が強くなっています。特に着底稚貝の減少は資源再生策を実施する上での足かせであり、近年は従来以上に母貝の保護が叫ばれる状況です。

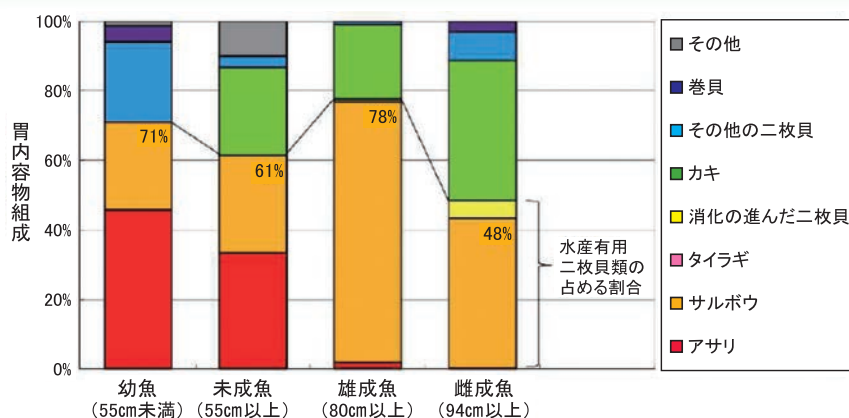
熊本県によって緑川干潟で1992年以降取得されてきたアサリ一斉調査のデータを紐解くと、有明海では、少なくとも1992以降、春と秋の2回、浮遊幼生、稚貝の加入ピークがあることが分かっています。加入量としては春の方が多いのですが、実際の漁獲サイズである30mm以上まで成長して残り、漁獲を支えているのは秋加入群(以降秋仔と称します)であることが分かってきました(熊本県2008、有明海・八代海等総合調査評価委員会, 2017)。しかも、資源が低調に推移する期間には、秋仔の加入が低調が見られなくなります(図6)。なぜ秋仔は残り、春仔は徐々に消滅して漁獲まであまり繋がらないのか、科学的なメカニズムは良く分かっていません。ただ、熊本県で取得されてきた膨大な調査データの統計的な解析結果は、肅々と秋仔の重要性を示しています。

一つの仮説としては、国内のアサリ漁場で最も南方に位置する有明海では、夏場の干潟環境が厳しく(大雨による低塩分化、台風による逸散、高水温)、体サイズが小さくて体力の弱い春仔では夏を越せないためではないかと推定されます。資源管理上重要な秋仔の発生にも、先行する夏場の肥満度が影響していると推定されています(有

表1 有明海における二枚貝の食害生物による食害量の推定

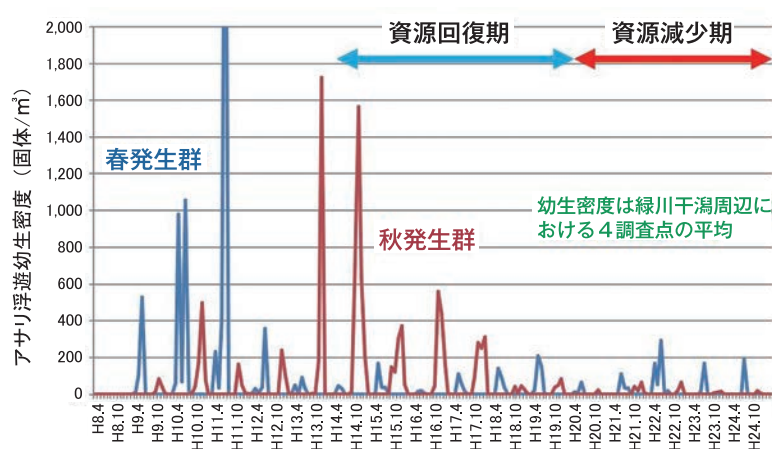
No.	食害生物		食性	現存量	年間二枚貝 摂餌量
1	エイ類	ナルトビエイ	二枚貝専食	約16万個体 (1,200t程度)	3,000t程度
2	エイ類	トビエイ	二枚貝(約50%) 巻貝(約30%)	1.7万個体程度	160~370t
3	硬骨魚類	クロダイ コショウダイ ヘダイ ヒゲソリダイ	甲殻類(約60%) 魚類(約20%) 多毛類(約10%)	—	ほとんど影響なし
4	鳥類	スズガモ ホシハジロ キンクロハジロ	二枚貝への依存度高く、 約30%は有用種を含む可能性	3種合計で2~ 35万個体 (冬季の約3ヶ月の期間)	数百~数千t

出典：有明海・八代海等総合調査評価委員会報告書



出典：有明海・八代海等総合調査評価委員会報告書

図5 ナルトビエの胃の内容物重量の合計値に占める各貝類の重量割合



出典：有明海・八代海等総合調査評価委員会報告書（原図を著者が一部改変）

図6 緑川河口におけるアサリ浮遊幼生の出現状況（平成8年～平成24年）

明海・八代海等総合調査評価委員会，2017)。そうしたなか、2014年の秋には、久々に待望の秋仔が比較的多く発生しています。もし「漁獲のためには秋仔が重要」という仮設が正しければ、2014年の秋仔は漁獲サイズまで残る筈です。こ

の原稿を執筆している2017年の5月の段階では、図7に示したように、2014年生まれの秋仔は見事漁獲サイズにまで達して、2009年以降低迷していたアサリ資源が増加に転じています。まだ一度だけではありますが、仮設が正しかったことが証明されています。



図7 緑川河口において2014年秋期発生群を中心としたアサリ
高密度生息域において、両手で底泥を一度だけ軽くすくった状況

8. 次世代を見据えたアサリ資源再生への取り組み

これまで有明海では、漁獲サイズ制限、産卵期を中心とした出荷自主規制、覆砂、海底耕耘、作渚などの土木工学的な漁場改善策、食害生物の侵入防止や駆除、移植や放流などアサリを増やす取り組みが盛んに実施されてきました。特に有明海における土木工学的な漁場改善策は規模も大きく、福岡県海域のアサリ漁場では、ほとんどのアサリ漁場が過去に覆砂されている状況です。さらに稚

貝の着生が低調になった近年は、網袋による採苗も盛んに行われています。こうしたなか、科学的データの解析により、資源の再生のためには、まずは十分な量の着底稚貝の確保（特に秋仔）が重要であること、このためには秋の時点まで産卵母貝を残し、十分に肥満・産卵させることが資源再生のためにきわめて重要であることが改めて示されました。すなわち、アサリの生活史のステージで考えると、最も後期の産卵母貝と初期の着底稚貝をうまく結びつけること、浮遊幼生のステージをうまく管理することが重要になります。現在有明海ではアサリ浮遊幼生の一斉調査が国と県の共同事業として実施されており、今後三次元シミュレーション解析技術によって、海域内のアサリ浮遊幼生ネットワークが定量的に明らかとなることが期待されます（図8）。また、秋に効率的に産卵させるための母貝の育成技術、配置などについても、さらなる調査研究が必要です。

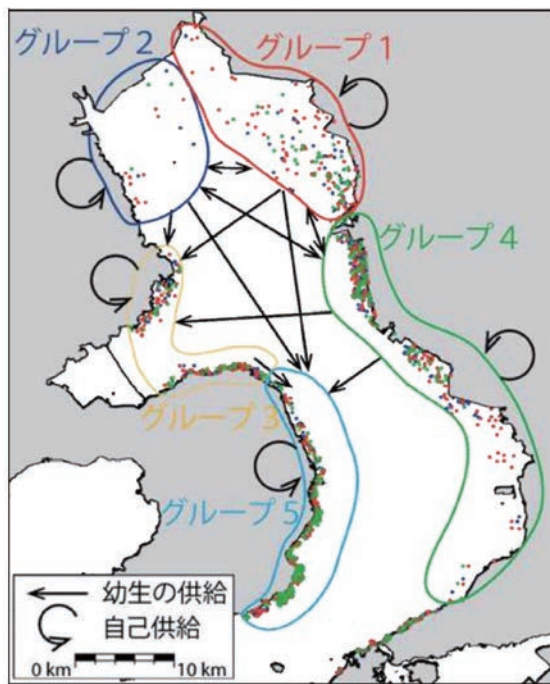


図8 有明海におけるアサリ幼生供給シミュレーション結果
オイラーラングランジュ法による仮想粒子追跡を行うモデルに基づき、各点はフルグロウン期幼生の着底域を示し、その色は供給元の親貝が生息するグループの色と同一に描画されている

9. おわりに

有明海は、福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県の4県にぐるりと取り囲まれた「4県の海」です。かつてアサリ資源が豊富な時代は、各県あるいは各漁業協同組合がバラバラに資源管理や漁業再生

に取り組んでも何も問題は発生しませんでした。しかし、資源の水準が下がってしまい、一方で漁業の再生に投資できる公的資金が減少している現状では、より効果的で具体的な対策を打ち出してゆく必要があります。そのためには、各漁業者一人一人が実施できる小さな取組は当然として、これまで見過ごされてきた、「4県が協調した海域全体での取組」が求められつつあります。今後はアサリ漁場へ効率的に秋仔を誘導できるよう、親貝資源の配置や管理、アサリ漁場のさらなる整備（実施時期や手法を含めた改善）など、関係県がより一層連携することで、有明海全域でシナジー効果の高いアサリ資源回復方策が推進されることを期待します。

参考文献

- 1) 有明海・八代海等総合調査評価委員会（2017）有明海・八代海等総合調査評価委員会報告，584pp.
- 2) 熊本県アサリ資源管理マニュアル II（2005）熊本県水産研究センター，33pp.
- 3) 長崎慶三・虫明敬一・生田和正（2015）有明海の海水・海底泥間隙水中の有機酸測定，水産技術，8(1)，37-41，2015
- 4) 那須博史（2004）有明海熊本県沿岸のアサリ資源の現状と今後の課題，MF21，49，25-34.
- 5) 那須博史・平山 泉・中原康智・陣内康成・鳥羽瀬憲久（2004）1992年から2003年にかけての緑川河口域のアサリ分布状況．熊本県水産研究センター研究報告，6，15-30.
- 6) 堤 裕昭・石澤紅子・富重美穂・森山みどり・坂元香織・門谷 茂（2002）熊本有明地区の緑川河口干潟における盛砂後のアサリ（*Ruditapes philippinarum*）の個体群動態．日本ベントス学会誌 57，177-187.
- 7) 堤 裕昭（2005）有明海に面する熊本県の干潟で起きたアサリ漁業の著しい衰退とその原因となる環境変化．応用生態工学，8（1），83-102.
- 8) 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(2)，137-143.
- 9) Takeuchi, S., Tamaki, A. (2014) Assessment of benthic disturbance associated with stingray foraging for ghost shrimp by aerial survey over an intertidal sandflat, Continental Shelf Research, 84, 139-157.
- 10) White, W. T., Furumitsu, K. Yamaguchi, A. (2013) A new species of eagle ray *Aetobatus narutobiei* from the northwest Pacific: An example of the critical role taxonomy plays in fisheries and ecological sciences. PLOS ON, Vol. 8 Iss. 12, e83785.



第8回

瀬戸内海西部のアサリ資源の変動と 漁場環境変化



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

生産環境部干潟生産グループ主任研究員 手塚 尚明

1. はじめに

瀬戸内海西部に位置する周防灘はアサリ漁獲量が激減した海域として知られています。周防灘のアサリ漁獲量はピーク時約4万トン、そのうち大分県沿岸では2万7千トンの漁獲量が記録されていましたが、近年の周防灘のアサリ漁獲量は100トン未満、そのうち大分県沿岸では10トン未満と、ほとんどアサリが漁獲できない状態です（図1）。このような漁獲量の激減はなぜ生じたのでしょうか。漁獲量を再び増やすことは可能でしょうか。本稿では、周防灘およびかつて周防灘の主要アサリ漁場であった中津干潟で近年行われた、アサリ幼生分布調査や着底後の成長生残調査の結果をもとに、当海域におけるアサリ激減の原因について考察し、今後の対策について考えてみたいと思います。

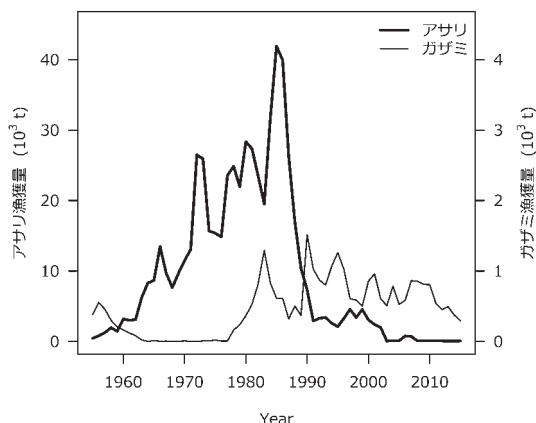


図1 周防灘のアサリおよびガザミ漁獲量の推移

2. 幼生の分布

アサリが激減した近年の周防灘でアサリは産卵し、幼生の分布は見られるのでしょうか。周防灘では、1970年代に山口県沿岸で（井上1980）、

1980年代に福岡県沿岸で（藤本ら1985）アサリ幼生分布調査が行われており、最大10000個体/㎡以上の幼生分布が確認されています。近年のアサリ激減後の幼生分布状況は調べられていませんでしたが、2004年から2007年にかけて周防灘でアサリ幼生分布調査が行われました。調査結果の詳細はTezuka *et al.* (2016)にまとめられています。調査の結果、アサリ幼生は5月から11月にかけて断続的に出現し、最大2000個体/㎡の密度で出現することが確認されました。図2に結果の一部を示します。近年の周防灘では1970～80年代に比べアサリ親貝の現存量が少ないため、かつてに比べ幼生の分布密度も低めになっていると考えられますが、残存している親貝個体群により一定規模の産卵が行われていることが伺えます。

3. 幼生の着底

アサリ幼生の分布が確認されたとしても、幼生は干潟に着底できるとは限りません。幼生分布調査と同時期の2005年から2007年に周防灘大分県沿岸の中津干潟で行われたアサリ着底稚貝モニタリング調査の結果、干潟に殻長0.5mm以下の着底稚貝が出現するのは、主に10月下旬から11月の秋季に限られることがわかりました。着底稚貝の密度は秋季には10,000個体/㎡以上に達しますが、春から夏季は最大1,000個体/㎡以下と、1/10以上の差が見られました。前述のように周防灘のアサリ幼生は5月から11月にかけて断続的に発生しますが、5月から9月に発生した幼生の大半は干潟に着底することなく死んでしまうと考えられます。ただし、アサリの着底稚貝の出現は秋が主体というのは、近年に限った話ではなく、1970年代および1980年代に周防灘沿岸の干潟で行われた調査でも報告されており、また程度の差

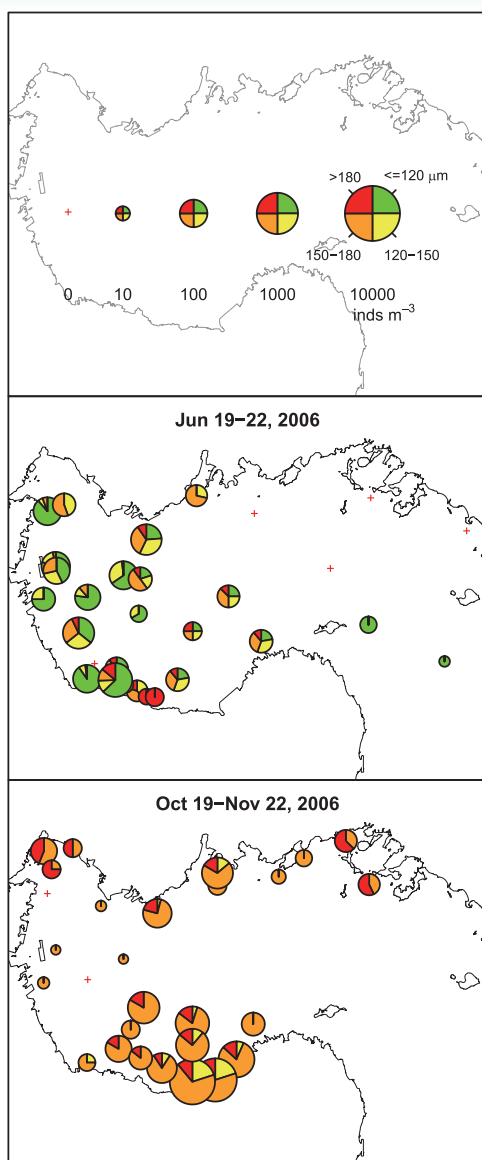


図2 周防灘のアサリ幼生分布調査結果の例

はありますが東京湾以南の他の海域でも見られる比較的一般的な現象と考えられます。

夏季の幼生はなぜ干潟に着底できないのでしょうか。流動モデルを使った研究によれば、周防灘では夏季の成層期には表層の流れが強くなり、夏季は幼生の湾外への流失、いわゆる無効分散が大きくなることがその原因である可能性が考えられました。しかしながら、実際に観察された幼生分布調査結果を見ると、180 μm 以上の着底期幼生密度は夏季にも秋季と同程度かそれ以上の密度で出現し、干潟には着底期の幼生が秋に限らず来遊していると考えられました。つまり、夏季に干潟に着底稚貝が出現しない原因は幼生期の無効分散ではなく、着底期前後の死亡であろうと考えられます (Tezuka *et al.*, 2016)。

干潟近くに来遊した幼生が着底期前後に死亡するとしたらその原因は何でしょうか。最近の研究により夏場には干潟の地温が 40℃ 前後の高温になることが確認され、幼生が夏場に干潟に着底できない主要因であることが示唆されています (梶原ら 2017)。秋季に着底稚貝が出現する頃には干潟の地温は十分に低下し、好適な着底環境が形成されと考えられます。なお、アサリ幼生の着底は低塩分下で促進され、塩分が高いと着底しにくいことが実験的に確かめられています (Tezuka *et al.*, 2013)。野外でもアサリ着底稚貝は河口干潟域に多く観察され、淡水流入による塩分低下が幼生着底のキーとなっている可能性が考えられます。アサリの着底には、地温、塩分等の好適な着底環境が必要と考えられます。

4. 着底後の成長生残

漁獲量の激減した近年でも、周防灘沿岸の干潟には着底稚貝が 10,000 個体/㎡ 以上の高密度で出現することが確認されました。干潟に着底稚貝が出現しても漁獲につながらないのはなぜでしょうか。2005 年から 2007 年にかけて中津干潟の 2 定点で着底後の成長生残を調べました。詳細は Tezuka *et al.* (2012) を参照ください。秋から冬の間、アサリの着底稚貝密度は次第に減少し、翌春に 5mm 前後の目に見えるサイズの稚貝となるまで生き残る割合は約 3～36% でした。秋の着底稚貝密度と着底後の生残率は年によって変動があるものの、中津干潟では春には 5mm 前後の目に見えるサイズの稚貝が数千個体/㎡ 以上の密度で確認できる年が多いことがわかりました。つまり、稚貝が発生しないわけではなく、むしろ、比較的高密度で出現する機会が多いことがわかりました。しかしながら、春に 5mm 前後となった稚貝がその翌春まで生き残る割合は 0～15% と低く、アサリ稚貝が漁獲サイズに至る前に死亡する実態が明らかとなりました (Tezuka *et al.*, 2012)。中津干潟では、殻長 5mm の稚貝が漁獲サイズの殻長 30mm に成長するにはさらに 2 年程度の期間を要します。春に稚貝が確認されたとしてもその翌年には既に消失していることが多く、稚貝の大量発生がなければ漁獲サイズまで生き残る個体は非常に少ない状態となっています。

2005 年の春は、中津干潟で稚貝の大量発生が

見られ、干潟全域にアサリ稚貝の分布が見られました（図3）。その結果、2006年から2007年にかけて大分県沿岸では一時的に700トン前後の漁獲量が記録されています。稚貝の大量発生原因は不明ですが、2004年は夏から秋にかけて台風が通過し干潟のかく乱が大きかったことや、雨が多かったため、小型捕食種および競合種の減少や、好適な着底環境の形成、餌の増加が生じ、2004年秋の着底や着底後の成長生残にプラスに作用した可能性が考えられます。

5. 捕食防除の有効性

稚貝はどういった原因で死んでしまうのでしょうか。中津干潟では、捕食による死亡や砂面変動による埋没死が主な要因であろうと考えています。被せ網やカゴは捕食を防除する有効な手段で、中津干潟においても有効性が確認されています（Tezuka et al. 2014）。被せ網の場合、捕食性の巻貝類やカニ類の侵入を防ぐことが困難で、中津干潟で行った被せ網調査では網下にこれら捕食生物の侵入が見られました。捕食性の巻貝類やカニ類が多い場所ではカゴを用いることでより高い生残率が期待できます。一方、中津干潟では、捕食以外にも、出水後の砂泥の堆積や波浪に伴う砂面変動による埋没死がしばしば発生します。被せ網やカゴは砂泥の堆積に弱いため、被せ網やカゴを設置する際には、砂泥の堆積や波浪による砂面変動の少ない場所を選定することや、リスク分散のため複数地点で行うことが重要でしょう。また、被せ網を干潟面から浮かすことや、ある程度高さのあるカゴを使用することで、埋没死のリスクを軽減できると考えられます。最近の調査では、中津干潟の砂面変動の少ない場所にある程度高さのあるメッシュバッグを設置することで、アサリが高密度に生産可能であることが示されています（梶原ら、投稿中）。漁業者によるコンテナカゴを用いたアサリ生産も試みられ、一部出荷もされているようです（図4）。カゴや網を用いたアサリの生産はまだ始まったばかりですが、今後の発展が期待されます。

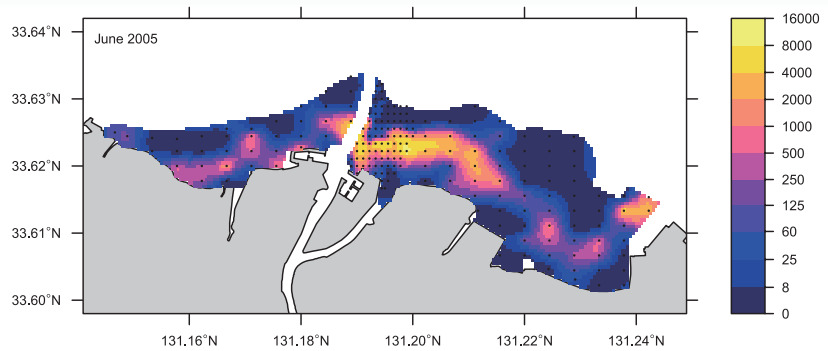


図3 2005年6月の中津干潟におけるアサリ稚貝大量発生時の稚貝分布



図4 漁業者によるコンテナカゴを用いたアサリの生産

6. 再びアサリが獲れるようになるか？

カゴや被せ網を設置し、稚貝を捕食や砂面変動から防ぐことで、アサリの激減した周防灘沿岸の干潟でもアサリの生産が可能であることがわかってきました。しかしながら今後海域全体でアサリ資源量が増加し、かつてのように自然とアサリの漁獲が可能になることがあるのでしょうか。現在の周防灘のアサリ個体群は稚貝の生残率が低く、稚貝の大量発生がない限り漁獲サイズまで生き残らない状態です。アサリの漁獲が可能になるには、稚貝の発生量が増大するか、稚貝の成長生残率が向上する必要があります。

周防灘では、近年の温暖化傾向や、栄養塩負荷量の削減、水資源開発に伴う干潟への河川水流量の減少等の環境変化により、かつてに比べアサリの着底や成長生残率が低下してきた可能性が考えられます。温暖化により、ナルトビエイの出現をはじめ、ガザミ、クロダイ、ツメタガイ類等、暖海性の捕食者が増加している可能性があり、アサリへの捕食圧は増大してきた可能性があります。ガザミの漁獲量は、アサリ漁獲量が増加した年代には非常に少なく、かつては捕食者不在の状況で

アサリが増加した可能性が考えられます（図1）。栄養塩負荷量の削減によりアサリの餌となる植物プランクトンが減少し、アサリの成長が遅くなることで着底後の生残が低下している可能性も考えられます。干潟への河川水流下量が減少し、低塩分化による好適な着底環境が形成されにくくなってきた可能性や、干潟の底質環境が変化し、波浪による着底稚貝の流失や埋没死のリスクが増大してきた可能性も考えられます。

これらの環境変化がアサリ激減の原因だとすれば、対策は可能でしょうか。捕食者の増加には、網やカゴの設置や、漁獲利用できる種であれば漁獲により捕食者を減らすことができるかもしれません。富栄養化によりアサリの成長が速くなれば、着底後の生残率が向上するかもしれません。河川水流下量が増大すれば、アサリが着底しやすい環境が形成されるかもしれません。干潟上に礫が増えれば着底稚貝の生残にプラスに作用するかもしれません。しかしながら、これらの対策は、網やカゴの設置を除けば実際に試して効果を検証することが困難なものばかりです。また、アサリにプラスに作用したとしても、他の生物にマイナスに作用する可能性があり、生態系がどう変化するかという視点が必要です。例えば、富栄養化は赤潮発生や底層の貧酸素化を招き、貧酸素に弱いガザミの減少を招く可能性があります。干潟の礫を増やせばカレイ類の着底に影響するかもしれません。一方、人為的に環境を操作する実験を行うことが困難でも、毎年環境変化とアサリを含めた生物群集構造の変化をモニタリングすることや、環境の異なる場所を比較することで、環境変化が生態系に与える影響を明らかにすることは可能でしょう。環境変化が生態系に与える影響を予測できるようになれば、将来的には沿岸生態系の人為的なコントロールがある程度可能になり、アサリを増やすことができるかもしれません。

7. おわりに

本稿では、周防灘海域でこれまで行われてきた調査研究結果を振り返りながら、同海域のアサリ減少原因や、今後の対策について考えてみました。アサリを根本的に増やすには、スケールの大きな環境変化への対策が必要で、沿岸生態系の人為的な管理という大きな課題に取り組む必要がありそ

うです。栄養塩負荷量や河川水流下量を人為的に変えた実験を行うことは困難ですが、毎年環境変化やアサリを含めた生物群集構造の変化、つまり生態系のモニタリングを行うことで、時間はかかりますが、環境変化が生物群集にどういった変化をもたらすかを予測できるようになるでしょう。また、対象が生態系となると、限られた労力でスケールの大きな対象を評価する方法の検討や、調査機関の連携が必要でしょう。短期間でアサリを増やすことは難しいかもしれませんが、ある程度長い視点とスケール感をもった取り組みにより、アサリが増えやすい環境を整備していくことは可能ではないでしょうか。

参考文献

- 1) 井上泰 (1980) 山口・大海湾におけるアサリの生態と環境について. 水産土木 16(2), 29-35.
- 2) 藤本敏昭・中村光治・小林信・林功・滝口克己・尾田一成・鶴島治市 (1985) アサリの漁場形成について. 福岡県豊前水産試験場研究業務報告. 昭和 58 年度 34-106.
- 3) Tezuka N, Hamaguchi M, Shimizu M, Iwano H, Tawaratsumida T, Taga S (2016) Seasonal dynamics of the larval distribution and settlement of the clam *Ruditapes philippinarum* in the Suo-Nada Sea, Japan. Coastal Ecosystems 3, 1-15.
- 4) 梶原直人・手塚尚明・浜口昌巳 (2017) 大分県中津干潟における地温とアサリ着底稚貝個体数の変動特性. 水産工学 53(3), 149-157.
- 5) Tezuka N, Kanematsu M, Asami K, Sakiyama K, Hamaguchi M, Usuki H (2013) Effect of salinity and substrate grain size on larval settlement of the asari clam (Manila clam, *Ruditapes philippinarum*). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 439, 108-112.
- 6) Tezuka N, Kamimura S, Hamaguchi M, Saito H, Iwano H, Egashira J, Fukuda Y, Tawaratsumida T, Nagamoto A, Nakagawa K (2012) Settlement, mortality and growth of the asari clam (*Ruditapes philippinarum*) for a collapsed population on a tidal flat in Nakatsu, Japan. Journal of Sea Research 69, 23-35.
- 7) Tezuka N, Kanematsu M, Asami K, Nakagawa N, Shigeta S, Uchida M, Usuki H (2014) *Ruditapes philippinarum* mortality and growth under netting treatments in a population-collapsed habitat. Coastal Ecosystems 1, 1-13.
- 8) 梶原直人・手塚尚明 (投稿中) 大分県中津干潟におけるメッシュバッグを用いたアサリ増殖の試み



第9回

大分県豊前海におけるアサリ漁業の現状と アサリ増養殖の取組



大分県農林水産研究指導センター水産研究部 浅海・内水面グループ

浅海チーム 主任研究員 山田 英俊

1. はじめに

本シリーズではこれまでに、三重県・愛知県・福岡県・北海道・静岡県・有明海・周防灘などにおけるアサリに関する資源管理の取組事例が紹介されてきました。

リレー連載の執筆者の皆さんが各地の状況を報告しているのと同様に、大分県においてもアサリ資源は減少しています。本シリーズ第1回目¹⁾の鳥羽さんが整理しているように、アサリ資源が減少した原因として、沿岸開発や温暖化・水質悪化・生物移入・漁業の変化など複数指摘されていますが、各地と同様に大分県でも最終的な原因の解明はされていません。また、特効薬のような資源回復策についても見つかっていない現状にあります。一方で、アサリ資源の回復を阻害している要因については、地道な現場実証試験によって確認されつつあり、アサリ増養殖方法のヒントが見えてきているような状況です。

前報²⁾の手塚さんより大分県を含む周防灘海域における浮遊幼生や着底稚貝の動向・アサリ減少要因や今後の対策について整理していただきました。そこで今回は、大分県豊前海の中津干潟におけるアサリ漁業の現状と干潟に発生した稚貝を活用したアサリの増養殖の取組事例についてご紹介したいと思います。

2. 大分県豊前海のアサリ漁場と漁業の現状

瀬戸内海西部の周防灘に属する大分県豊前海は、約30km²の広さの干潟を有しています。干潟面積の90%以

上が砂原（砂質）漁場で、その他に石原（転石）漁場が各地に点在しています（図1）³⁾。かつて大分県のアサリ主要漁場であった中津干潟は、福岡県との県境を流れる一級河川・山国川とその分流である中津川の両湾筋に挟まれた干潟で、今回紹介する中津市小祝地先は中津干潟の西端に位置しています。

大分県のアサリ漁獲量の推移をみると、1985年の27,646トン进行ピークに減少し、1989年以降は4,500トンを下回り、さらに1994年には1,000トンを割り込んでしまいました（図2）。その後、2002年までは600～800トン前後の漁獲で安定していましたが、2003年にさらに激減してしまいました。2006～2007年に一旦漁獲量が回復したものの、2008年以降はほとんど漁獲が無い状態に陥っています。各地先では漁業者が石原漁場において手堀りでアサリを僅かに漁獲しているのみで、砂原漁場でジョレンを使うような漁業は現在行われていません。

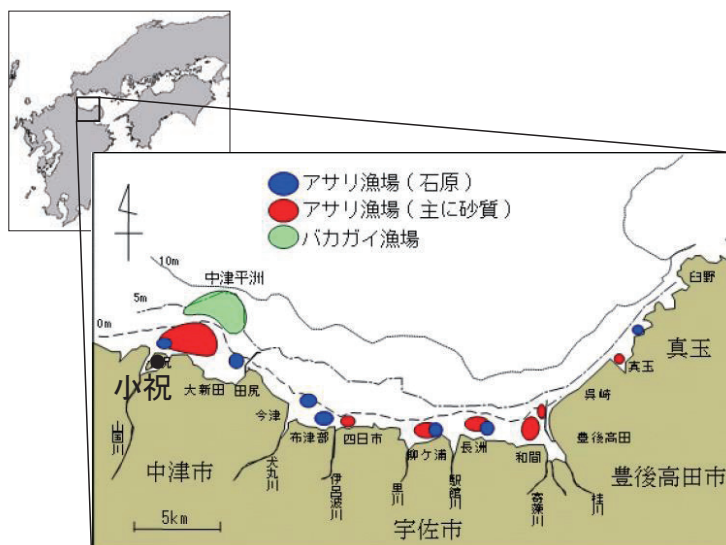


図1 大分県豊前海のアサリ漁場
（福田³⁾の図を改変

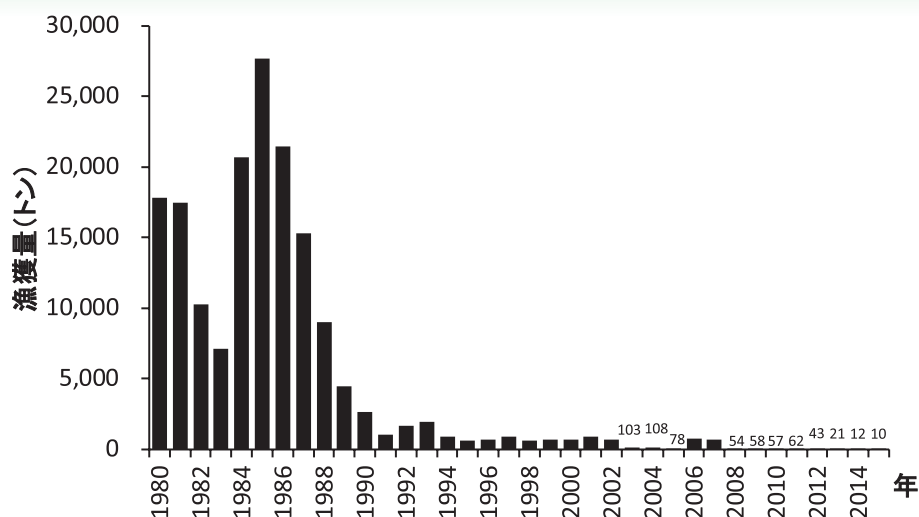


図2 大分県におけるアサリ類の漁獲量の推移
(出典 農林水産省漁業・養殖業生産統計年報)

3. 近年のアサリの生息状況

大分県豊前海域における近年のアサリの生息状況の特徴として、各地に小規模に点在している石原漁場では成貝が確認されるものの、干潟面積の大半を占める砂原漁場では成貝がほとんど確認されないことが挙げられます。また、局所的に天然稚貝（殻長10mm前後）が発生するものの、成貝まで成長せずに、消失していく傾向がみられます。

浅海・内水面グループが大分県豊前海域の主要なアサリ漁場において行ったアサリの資源量調査⁴⁾の結果、2015年秋のアサリ資源量は2,668トンと推定されました。しかし、そのうち漁獲対象としている殻長30mm以上のアサリ資源量は117トンと推定されており、資源量のほとんどが小型のアサリとなっています。また、単位面積あたりのアサリ生息資源量は砂原漁場で79g/m²、石原漁場で202g/m²と石原漁場の方がアサリの生息量が多い傾向にあります。また、殻長30mm以上の成貝については、砂原漁場では殆ど確認されません。2007～2014年の調査についても同様の結果が得られています。つまり、ほとんどの干潟に稚貝が一定量存在するものの、漁獲対象となるような大型のアサリがいない状況となっています。

中津市小祝地先の砂原漁場でアサリ生息密度の定点モニタリング調査を行った結果、6月前後に高密度（3,000～10,000個/m²）に発生した天然稚貝は、9月中旬以降減少し、翌年の5月には消失してしまう傾向がみられました（図3）。ま

た、採集したアサリの殻長分布をみると、4月頃まで生息が確認された殻長10mm前後の年級群は、5月以降、ほとんど確認されず、新しい年級群に置き換わっていることが確認されました（図4）。つまり、中津市小祝地先の砂原漁場では局所的に天然稚貝が大量発生するものの、成貝まで成長せずに消失しているような状況と言えます。このような傾向は、2007～2010年にかけて実施された過去の調査⁵⁾でも確認されており、過去10年間は同じような傾向が継続しているものと考えられます。

4. アサリ稚貝吸引装置を用いたアサリ稚貝の採集試験

秋から冬に消失していく稚貝の有効活用を図るため、アサリ稚貝の採集試験を実施した結果、アサリ稚貝吸引装置を用いれば100万～1,000万個単位で採集が可能であることが確認できました。

前述のように、干潟に発生したアサリ稚貝は成貝まで成長せずに消失していくことから、アサリ資源を回復していくためには、天然発生した稚貝を適地へ移植・保護するなどして成貝まで成長させる方策が重要であると考えられます。そこで、砂原漁場に高密度に発生したアサリ稚貝の効率的な採集方法を検討するため、漁業関係者と共にアサリ稚貝吸引装置によるアサリ稚貝の採集試験を実施しました。アサリ稚貝の採集には、水産研究・教育機構水産工学研究所等が開発したアサリ稚貝

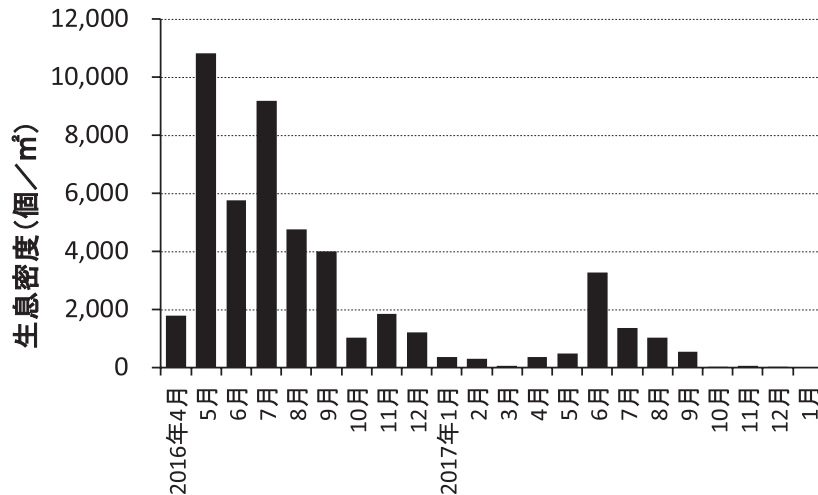


図3 中津市小祝地先の調査定点におけるアサリ生息密度の推移

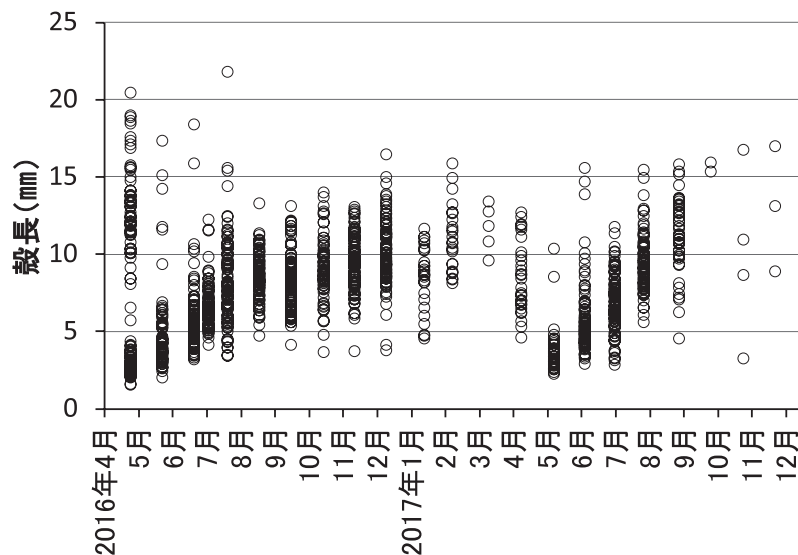


図4 中津市小祝地先の調査定点で採取されたアサリの殻長分布の推移

吸引装置⁶⁾を用いました(図5)。アサリ稚貝吸引装置による2013～2017年のアサリ稚貝(殻長約10mm)の採集実績は、約35万～1,468万個(操業日数15～33日間)となりました(表1)。以上のことから、砂原漁場に発生した殻長10mm前後の稚貝であれば、発生状況に応じて100万～1,000万個単位での採集が可能であることが中津市小祝地先においても実証されました。

5. アサリ稚貝吸引装置で採集したアサリ稚貝の成長能力

アサリ稚貝吸引装置で採集した稚貝を用いて飼育試験を実施したところ、吸引採集された稚貝は、



図5 採集試験に用いたアサリ稚貝吸引装置

表 1 アサリ稚貝吸引装置による採集試験実績

	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
操業日数(日)	28	33	31	15	20
採取物重量(kg)	7,000	1,650	1,778	545	909
採取物重量に占める アサリの割合(%)	42%	24%	61%	36%	14%
アサリの平均殻長 (mm)	9.7	9.2	10.0	9.5	11.0
アサリ採取重量(kg)	2,945	394	958	221	120
アサリ採集個数(個)	14,680,384	2,037,345	3,991,349	1,006,776	349,366

条件の良い場所へ移植すれば成貝まで成長することが分かりました(図6)。

アサリ稚貝吸引装置で採集された天然稚貝の定着活力・成長を把握するため、中津市小祝地先の人工的に造成した石原漁場において2016年9月



図6 成貝まで成長した吸引採集アサリ
(黄色い部分が吸引採集した時点の大きさ)

～2017年9月まで飼育カゴを用いた移植試験を実施しました。試験の結果、2016年9月に殻長11.8mmで移植した吸引採集稚貝は、1年後の2017年9月には平均殻長29.1mmに成長し、42%の個体が漁獲サイズである殻長30mmまで到達しました(図7)。また、1年後の平均生存率は33%(図8)と、人工種苗を用いた過去の飼育事例と同様な生存率になりました。以上のことから、アサリ稚貝吸引装置で採集しても、アサリ稚貝は定着・成長する活力を持っていることが確認されました。なお、2017年4月に採集した標本の一部において、測定作業中に放卵・放精する様子が観察されたことから、アサリ稚貝吸引装置で採集した稚貝を移植・保護することで再生産にも寄与できると推測されます。

この結果は、吸引採集した稚貝は成貝までの成長能力を持っていること、アサリ漁場の水質環境には致命的な問題は無い(アサリが完全に生息でき

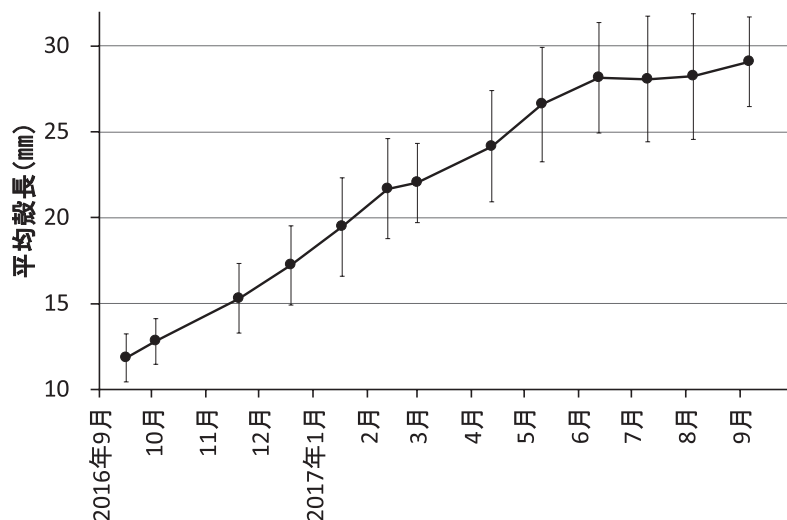


図7 人工造成石原に設置した飼育カゴ内に移植した吸引採集稚貝の成長

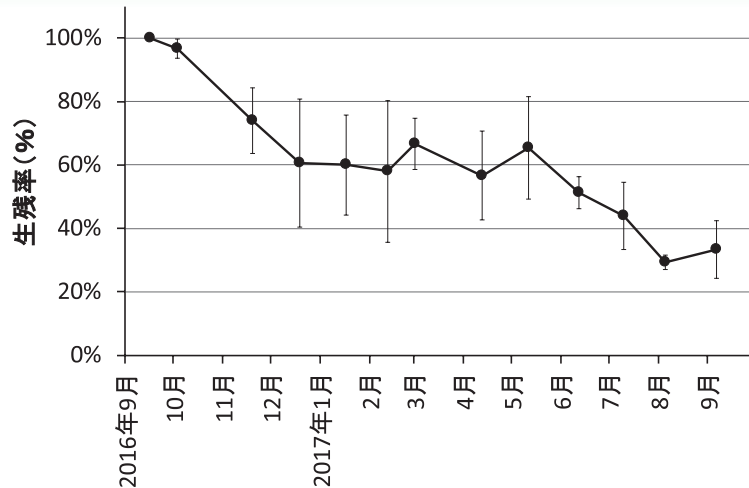


図8 人工造成石原に設置した飼育カゴ内に移植した吸引採集稚貝の生残率

ない環境ではない) ことを示唆しており、今後アサリ資源を回復させていく中で希望が持てる結果だと感じています。

6. アサリ稚貝吸引装置で採集したアサリ稚貝の移植試験

アサリ稚貝吸引装置で採集したアサリ稚貝の漁場への移植試験を実施したところ、石原漁場であれば、直接散布する移植方法でも一定量定着し、成貝に成長することが分かりました。

前述のように、干潟に発生し減耗していく天然稚貝は、条件の良い場所であれば成貝まで成長することが確認されたため、アサリ稚貝吸引装置で採集した稚貝を人工造成石原漁場に移植した場合の定着率を確認する試験を2016年9月から実施しました(図9)。移植から1年後の2017年9月



図9 人工造成石原での移植試験風景

に実施した調査の結果、人工造成石原漁場に直接散布した吸引採集稚貝のうち、1%の個体が成貝として定着していることが確認されました。過去の研究事例^{7~8)}では、石原漁場においては被覆網、砂原漁場ではステンレス製カゴを用いて、アサリ人工種苗を殻長10mmから殻長30mmに成長するまでの生残率を40~50%前後に維持できる技術が確立されていますので、漁業現場の都合に合わせて移植手法を選択しアサリ増殖につなげていければと考えています。

7. 漁業者らによる取組

現在、大分県中津地区の漁業者で構成される「中津干潟を元気にする会」では、水産多面的機能発揮対策事業を活用して、アサリ漁場に発生した競合生物のホトトギスをアサリ稚貝吸引装置で吸引回収して除去するとともに、混獲されたアサリ稚貝を石原漁場へ散布移植する取り組みを行っています。また、ナルトビエイの駆除や浮遊堆積物の除去などの活動項目を継続実施しています。また、吸引採集されたアサリ稚貝をコンテナカゴに収容して養殖を行う取組についてもアサリ漁業関係者によって近年試行されています。2012年と2017年に九州北部豪雨の影響を受けるなど、近年、気象変化が激しく、思い通りに行かないこともありますが、アサリ生産量の増加を図るべく、漁業者を主体とした漁業関係団体が連携して増養殖の取組を行っています。大分県豊前海各地の漁業関係者のこのような地道な取組が、本海域で、アサリ

稚貝が毎年一定量発生することに貢献しているものと考えられます。

8. おわりに

今回、大分県豊前海におけるアサリ漁業の現状と干潟に発生した稚貝を活用したアサリの増養殖の取組事例についてご紹介してきました。大分県豊前海では、局所的に天然稚貝が発生するものの、成貝まで成長せずに消失していくような傾向がみられています。この状況は、「まだ稚貝が一定量発生する条件下にあり、資源回復が可能な状況」と捉えることもできます。消失していく稚貝は条件の良い場所へ移植すれば成貝まで成長することが分かりましたので、この稚貝資源を有効活用しない手はありません。

過去を振り返ると、1998 年秋発生群や 2004 年秋発生群のように、まとまとまった稚貝の新規加入（大量発生）があった際に、そのまま漁獲につながった事例⁹⁾もあります。漁獲につながるような大量の稚貝を継続的に産み出すためにも、大分県豊前海各地でのアサリ資源回復の取り組みが必要です。石原漁場への直接散布法は定着率が低いものの、漁業関係者がアサリ成貝を数万～数十万個単位で増殖可能な現実的かつ簡便な手法と考えられます。今後、石原漁場への移植や飼育カゴでの増養殖等を組み合わせることで、消失していく大量の天然稚貝を産卵母貝として残存させ、アサリ資源の自立的な回復力を向上させていくことが望まれます。なお、天然稚貝の発生量は年変動が大きく、不安定な部分もあります。近年、アサリ人工種苗生産技術が向上し、浅海・内水面グループでは人工種苗（殻長 1mm）を 3,000 万個ほど生産できるようになりました¹⁰⁾。天然稚貝が発生しなかった年や残念ながら天然稚貝が発生しないような海域では、人工種苗を活用した資源増殖策を併せて進めていくことも必要です。アサリ資源回復の道のりは、長く険しい気配がしますが、地元漁業関係者の皆さんと力を合わせて、地道な資源回復・増養殖の取組を引き続き進めていきたいと考えています。

参考文献

- 1) 鳥羽光晴（2015）アサリの資源回復をめぐるこれまでとこれからーアサリ資源の減少に対する危機

感や、回復への熱意を失わずにー。豊かな海, 36, 57-63.

- 2) 手塚尚明（2017）瀬戸内海西部のアサリ資源の変動と漁場環境変化。豊かな海, 43, 39-42.
- 3) 福田祐一（2010）豊前海におけるアサリ資源回復のとりくみについて。第 3 回瀬戸内海水産フォーラム成果集, 29-32.
- 4) 金澤健（2017）地域重要魚介類の資源動向及び回復施策に関する研究ー 7, ②豊前海アサリ現存量調査。平成 27 年度大分県農林水産研究指導センター水産研究部事業報告, 173-176.
- 5) 木村聡一郎（2013）小祝地先における二枚貝類の分布。大分県農林水産研究指導センター研究報告（水産研究部編）, 3, 13-20.
- 6) 桑原久実・南部亮元（2014）天然アサリ稚貝の回収装置を用いた資源回復の試み。豊かな海, 33, 39-43.
- 7) 片野晋二郎・江頭潤一・原朋之（2011）豊前海におけるアサリ資源回復計画に関する調査研究ー 7, 放流技術開発研究。平成 22 年度大分県農林水産研究指導センター水産研究部事業報告, 217-223.
- 8) 平川千修・林亨次・江頭潤一（2010）アサリ資源回復計画推進事業（4）放流技術開発研究。平成 20 年度大分県農林水産研究センター水産試験場事業報告, 228-232.
- 9) 木村聡一郎（2012）1999～2010 年における中津干潟のアサリ分布状況。大分県農林水産研究指導センター研究報告（水産研究部編）, 2, 25-30.
- 10) 山田英俊（2017）養殖・種苗生産に関する技術指導ー 1, アサリ増養殖推進事業②養殖用アサリ種苗生産。平成 27 年度大分県農林水産研究指導センター水産研究部事業報告, 232-233.





第10回

アサリ資源の増殖と環境要因について



国立研究開発法人水産研究・教育機構 増養殖研究所

養殖システム研究センター 増養殖環境グループ長 渡部 諭史

1. はじめに

本シリーズも第10回を迎え、これまで様々な地域でのアサリ漁業の動向や漁業管理の取り組みが紹介されてきました。今回は「アサリ資源増殖と環境要因」という難しいテーマが与えられました。最初にお断りしなければなりません、アサリ増殖のための漁場環境管理といっても、水産の側から可能な対策は非常に限られています。陸域での人間の様々な活動、例えばダム管理、河川の治水や利水、下水の処理、護岸構造物の配置などはアサリが生息する沿岸の環境に多大な影響を与えます。これらの活動は環境保全に配慮して改善されるべきですが、水産資源の都合にあわせて改変するまでは、社会的な同意が得られ難いのが現状です。また、地球規模の気候変動に伴う温暖化によって、アサリ生産に適した漁場が北方へずれる可能性があります。これに対しても既存漁場で取り得る最も合理的な対策は、アサリの増殖ではなく漁業対象種の変更かもしれません。海洋酸性化についても同様で水産業として可能な対策は限定的です。

アサリの増殖を環境管理によって図るには「アサリにとっての好適環境」についての基礎的知見が必要ですが、未だ不十分です。また、環境管理といっても、そもそも人間活動がない環境下でアサリが干潟の優占種になるかも不明です。人為的な環境破壊とは無縁な縄文時代の貝塚からはマガキやハマグリなどの貝殻が多く出土され、当時の気候の影響もあると思いますが、アサリは多くは採れなかったようです。また、生活排水などによる適度な富栄養化（水中の栄養が増えること）はアサリ資源を増やす方向に作用するという意見も近年よく聞かれるようになりました。人手が加わることで沿岸域の生物生産や生物多様性が高くなると

いう「里海」という考え方も定着しつつあります。

本稿では、特に餌料環境に焦点を当ててアサリの生息環境に関する情報をまとめました。残念ながら、現段階では資源回復の取り組みに直結する技術の提案には至っていません。アサリ資源に関する一般的な情報と昔の文献からの知見の紹介を交えて、今後の方向性に関しても考えてみたいと思います。

2. アサリ漁獲量、消費量、輸入量

日本のアサリ生産量が1980年代半ばから30年以上の長期にわたり減少し続けていることは本シリーズでもたびたび紹介されています（図1）。アサリの全国漁獲量は1983年の約17万トン进行ピークに大幅に減少し、2016年には9千トンを割り込みました。95%減という深刻な状況です。シリーズ1（豊かな海No.36）に県別アサリ漁獲量の推移の図が示されていますが、これを見ると各地のアサリが単純に減少の一途を辿っているわけではありません。アサリ資源の減少は1970年代の東京湾で始まりました。千葉県での漁獲量は1966年の7万8千トン进行最高に、その後減少し続けて2016年には412トンまで減りました。当

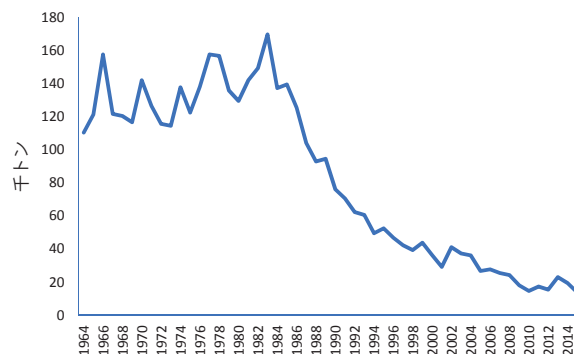


図1 日本のアサリ漁業生産の推移
農林水産省漁業・養殖業生産統計より

時の主漁場であった東京湾でアサリが採れなくなったために、熊本県や福岡県などの有明海、大分県の周防灘、三重県の伊勢湾でのアサリ漁業が活発になりましたが、これらの漁場でも1980年代後半から漁獲量が漸減しています。さらには長期に渡り1万～2万トンの間で比較的安定していた愛知県でも近年は減少傾向に転じ2016年には4千トンとなっています。このように、アサリは全国同時に減少したのではなく、各地のアサリ漁場が異なる時期に様々な原因で機能しなくなり、結果として全国的に採れなくなったということです。例外的に北海道では漁獲量が1千トン前後で今も安定しています。

国産アサリが激減した割には、アサリの入手が困難になったと感じる人は少ないでしょう。スーパーで簡単に買うことができます。一般消費者が日本のアサリ激減を実感しないのは大きな問題です。アサリの家庭内消費量の推移を図2に示しました。これを見ると、アサリの全国生産量が減少し始めた80年代以降も、2000年代初頭まで消費量は6万トン前後の高い状態が保たれていたことがわかります。その後は減少傾向に転じますが2017年でも3万5千トンあり、最大値からは半減しているものの生産量が10倍以上あった60年代よりも高い水準にあります。

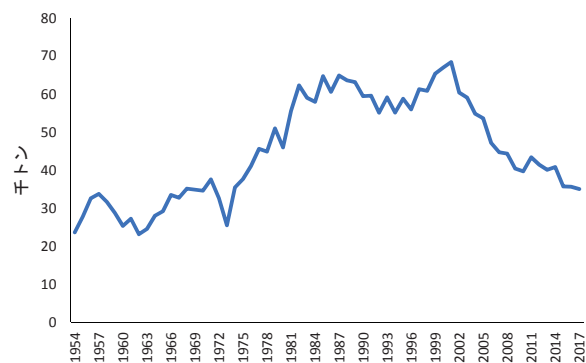


図2 アサリの家庭内消費量

総務省統計局家計調査年報のデータから、二人以上の世帯（世帯主が一次産業従事者を除く）での年間アサリ消費量に世帯数（国勢調査）をかけて求めた。

国内生産9千トンに対して家庭内消費が3万5千トンで、さらに統計情報がありませんが業務用消費を加えると、アサリの需要は国内の供給量をはるかに上回っています。足りない分は海外からの輸入で補っており、近年の主な輸入元は中国と韓国です（図3）。北朝鮮からの輸入もかつては

大きく、2001年には4万7千トンありましたが、2006年以降は経済制裁のため統計上はありません。2017年の中国からの輸入量は3万2千トンと、家庭内消費がほぼ賄える量で、輸入額は50億円に達します。この統計にはむき身など加工品は含まれていません。また産地偽装の問題が後を絶たないことを考えると、実際の輸入量はさらに大きいと考えられます。

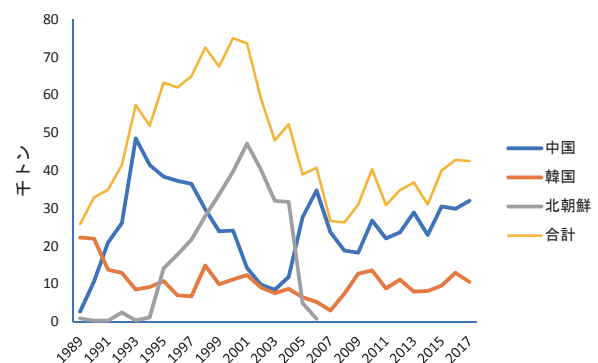


図3 アサリ輸入量（加工品は含まず）
財務省貿易統計より

日本のアサリが減る一方で世界のアサリ生産は激増しています（図4）。日本での生産量が減少し始めた1980年代半ばから急速に増加をはじめ、1983年の95万トンから2015年には405万トンにまで増加し、生産額では37億ドル（\$1=¥110換算で4,070億円）に達しています。1983年には世界生産に占める国産アサリの割合は18%であったものが、2015年では0.2%にまで減少したことになります。世界生産の大部分は中国によるもので、爆発的な生産増加もほぼ中国での生産増を意味します。なお、明治40年頃に日本産のアサリがマガキ種苗と一緒に北米に渡り、その後ヨーロッパに移植されました。現在、イタリアで

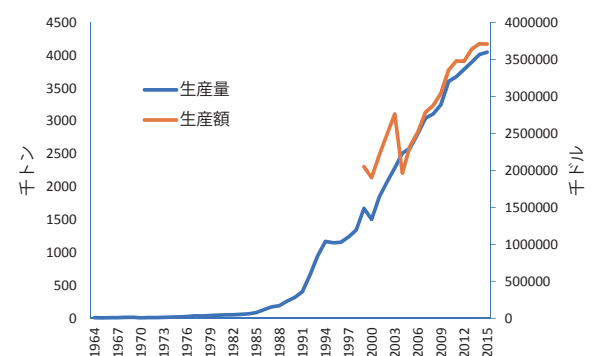


図4 世界のアサリ漁業生産の推移
FAO Year Book より

(<http://www.fao.org/fishery/publications/yearbooks/en>)

は日本を上回る量が生産されており、在来種のヨーロッパアサリよりも多く食されています。

3. 昔からあるアサリ研究

過去 30 年間の長期的なアサリ資源減少を紹介しましたが、アサリ資源が短期的に大きく変動することは明治時代から報告されていて、1929 年発行の有明海干潟利用研究報告¹⁾には以下のようなものが載っています。明治 30 年 (1897 年) 頃まで有明海ではアサリ漁業はほとんど行われていなかったが、それ以降肥料に利用する目的で漁業が盛んになった。アサリの発生は毎年多く、二人乗り一隻に十数石 (1 石は 180 リットル) 採れることもあった。明治 40 年頃から食用のための漁業が増加し、大正時代 (1912 ~) に入ると肥料に使うことはできなくなった。この頃から豊作の年が少なく不作の年が増え、明治 44 年の豊作の後、大正 8 年までの 9 年間にわたり大発生がなかった。この報告は、現代の沿岸域が抱える様々な環境問題が発生する以前の明治から大正の時代においても、乱獲により資源が不安定化していたことを示していると思われます。

また、1921 年出版の論文「有明海貝類蕃殖保護方策私見」^{2, 3)}に以下の一文があります。時代を感じて面白いので原文で載せます。「現今浅利利用事業上の最大欠陥は、貝類の発生場が干潟の一部分に限局せられ、而も其発生が年に依り富凶不定なる事なり。而して其理由は全く天然状態に放任して、殆ど人為的施設を加えざるに因るものとす。為に内湾浅海に於ける漁業並みに養殖業は甚だ、不安定なるを免れずして、之れ実に斯業不振の最大原因なりとす。」干潟でのアサリの発生場所は局所的で発生量が大きく年変動する。それにも関わらず人為的な管理をしないでいることが、養殖業が不安定で不振である原因となっている、という指摘です。100 年も昔にアサリの資源管理や増養殖の必要性が説かれているわけです。現在では、稚貝が大量発生する種場から生育場となる漁場に移殖することが一般的に行われています。しかし一方で、100 年前には考えつかなかったであろう遺伝的多様性の攪乱や移殖時の有害生物や病気の拡大が問題になっています。

4. アサリの生息環境

アサリの生息環境として、水質や底質に関する様々な調査研究が行われています。しかし、アサリの資源変動が説明できる決定的な単一要因はなく、複数の要因に影響を受けて事態は複雑である、という結論に落ち着きます。アサリが生息する潮間帯や潮下帯上部は生物に影響を与える環境要因が多く、かつ相互に影響しあう場です。水質と底質に与える陸域と海洋からの影響や人間活動の影響が混沌と絡み合っていて、個々の要因を詳しく調べても全体像を組み立てるのは困難です。

一般的なアサリの生息環境の特性について、既に 1915 年の水産研究誌⁴⁾に東京湾のアサリ生息場の環境が体系的に示されています。例えば、底質に関しては、泥分 21.5% ~ 30% のややしまつて波浪で攪乱されない砂質が 9 ~ 12cm の深さ必要である。流れの緩慢な底面には河川からの有機物の沈殿堆積により腐植土層が形成されて、表面 3cm 程度に砂の層が覆っていたとしても、そのような場所では成長が止まり、殻が黒ずみ丸みを帯びて見劣りするようになるので、底質表面だけで判断するのは早計である、という具体的な記述があります。水質に関しては主に淡水の影響が調べられており、比重 1.015 ~ 1.024 が適しており、降雨は急激でない限り稚貝発生を促進することがある、と書かれています。なお、近年では温暖化に伴うゲリラ豪雨による河川の氾濫で、短期間に大量の淡水がアサリ生息場に流入して貝をへい死させることが問題となっています。

近年の大きな環境問題として、内湾域で形成される貧酸素水塊が長期化、大規模化⁵⁾して起こる潮下帯でのアサリの大量へい死があります。大規模な貧酸素水塊の発生は、伊勢湾では 1970 年代から頻発するようになりました。しかし、貧酸素水塊の発生自体は古くから報告があり、伊勢湾では 1929 年に観測されています⁶⁾。また東京湾では、1954 年に「東京湾の夏季の奥底部の貧酸素層の発達」は底生生物の死滅をきたすもので、貧酸素層の発達及びその持続度合の程度はその年の底生生物の豊凶を支配するものと考えられる⁷⁾、という報告があり、伊勢湾よりも早くから貧酸素問題が顕在化していたと思われます。東京湾も伊勢湾も今では当時より水質が改善していますが、海底に貧酸素の原因となる大量の有機物が堆積し

ているために、貧酸素の改善には長い時間がかかると言われています。

アサリの成長に関して、大正時代の有明海で着底稚貝が約半年で殻長 22.7mm、重量 2.8g に達し、1 年 6 か月で殻長 36.4mm、重量 10g、満 2 年で殻長 41.5mm、重量 13.9g、満 3 歳で殻長 50mm、重量 22g に達するという報告があります¹⁾。一方で、1990 年代初頭に有明海でのアサリの成長をモデル化した報告⁸⁾では、5 月に殻長 4mm の春発生群が、半年で 23mm、1 年で 27mm にまで、2 月に 3mm の秋発生群が 1 年で 31mm にまで成長するとあります。大正時代と比べて成長速度は同等です。大正時代の報告では、アサリが何を食べるかは不明であるが、有明海は他に類を見ないきわめて貝の成長が速い海域であることから、過剰に餌があり、場所によって成長に良否があるのは底質や水質および地盤高（干出時間）に原因があるのではないかと考察されています。

5. それではアサリは何を食べるのか？

現代でもアサリの食性は必ずしも明らかではありません。アサリは水管から吸い込んだ餌粒子をエラでこしとり、口のわきにある唇弁と呼ばれる器官でより分けて食べます。昔の文献⁴⁾では、貝類の餌料は藍藻、珪藻類、その他の下等植物、腐敗有機物の破片（デトリタス）及び橈脚類（コペポダ）等の小さな有機物だとあります。アサリの消化管内容物にはこれらの粒子が観察されますから、食べているのは間違いありません。しかし、これら全てが消化吸収されるとは限りません。また、見た目では識別できないデトリタスが大半を占め、顕微鏡で見てもよくわからないのが実際のところでした。現在ではアサリの餌は植物プランクトンなどの微細藻類が主であり、動物性有機物は餌として利用されないという考えが主流ですが、これに関してもより詳しく調べる必要があります。

近年ではアサリの餌を推定するのに、窒素炭素安定同位体比という手法がよく使われます。詳しい説明は省きますが、これによって餌が植物性か動物性か、細藻類の中でも浮遊性（いわゆる植物プランクトン）と底生性（付着藻類）のものを、どの程度の割合で利用しているのかなどが推測できます。横浜市の海の公園で行った研究例⁹⁾では、岸沖方向の調査ライン上で採取したアサリ

の安定同位体比が、採取場所の地盤高に対応して変化することが報告されています。これは、波浪や潮汐流によって海底から巻き上がる付着藻類の量が地盤高によって異なるため、アサリが餌として利用する付着藻類と植物プランクトンの比率が変わることを示していると考えられます。このように、安定同位体比を用いた研究が進むにつれて、餌として付着藻類が重要であるという報告が増えました。アサリは海底面近くで水管を伸ばして海底直上の水を吸い込みますから、海底面に高密度で生息している付着藻類が巻き上がりやすい環境は、アサリにとって餌が豊富だと考えられます。

6. アサリの餌料環境

アサリの餌料環境を調べるために、水中のクロロフィル濃度が良く測定されます。アサリが吸っているのは海底直上水なのですが、直上水に含まれる有機物組成は潮汐の影響で刻々と変化するため、漁場の定期モニタリングで測定するのは困難です。そのため採水しやすい表層水で代用されることが多いのが現状です。他のアサリ餌料の推定方法、安定同位体比の測定は専門的な知識が必要で、かつ測定装置が高額であり一部の研究所でしか扱えませんし、微細藻類を顕微鏡で観察する方法は大変な手間と時間がかかり、頻繁に調査することは困難です。従って現実的には、クロロフィル濃度を環境中のアサリ餌量のある程度の目安にし、それに加えてアサリの状態から餌料環境の良し悪しを判断することが多くなります。

餌を十分食べているアサリは、成長が速く身入りの良いです。また、貝の栄養貯蔵物質であるグ

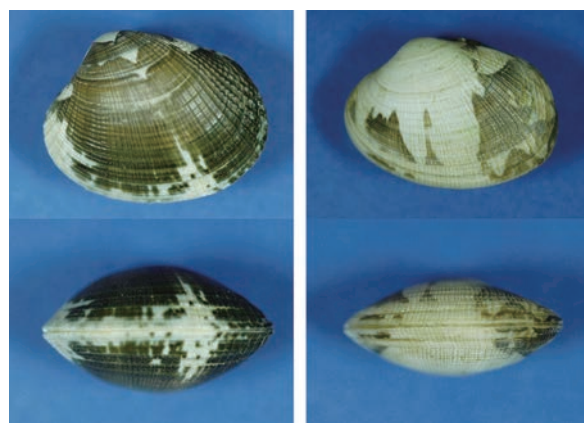


図5 アサリの殻形

好適な環境に育ったアサリは丸形指数が低い（右列）

リコーゲンを多く含むようになります。グリコーゲン測定には専門的な薬品や分析機器が必要ですが、身入りは軟体部重量を全体重量で割った値や、軟体部の重量を殻長・殻高・殻幅の積で割った値（肥満度）¹⁰⁾などで簡単に求められます。また、餌環境が悪くて成長の遅いアサリは殻が厚くてずんぐりした形になる傾向があります（図5左列）。そこで丸形指数（殻長に対する殻高と幅の比）^{11, 12)}といわれる殻の形から、アサリの大まかな成長状態を判断することができます。アサリの成長は同じ干潟の中でも地盤高や岸からの距離などで変わりますので、丸形指数を目安に成長の悪い場所の貝を成長の良い場所へ移殖することで、アサリ生産の向上を図ることができます。

7. 近頃流行りの貧栄養問題

高度経済成長期には海域の富栄養化による赤潮の発生や、海底に堆積した有機物の分解による貧酸素水塊の発生が大きな問題になりました。そのため東京湾、伊勢湾、瀬戸内海といった富栄養化しやすい閉鎖性海域では窒素やリンなどの栄養塩の排出量規制が行われています。他の海域でも下水処理の高度化などによって栄養塩レベルは年々低下（貧栄養化）しています。近年では、アサリや底魚類の資源量が激減しているのは、貧栄養化が進みすぎて海が痩せたことが原因だという考えが広まりつつあります¹³⁾。窒素やリンは微細藻類の増殖（基礎生産）に必要な栄養素であり、基礎生産が低下すると食物網全体が痩せてしまうことになります。なお、環境要因による生態系の変化は、徐々に起こるのではなくあるところを境に激変すると言われています¹⁴⁾。徐々に進んだ貧栄養化が、近年の急な沿岸性魚介類の減少を招いた可能性も考えられます。

貧栄養化への対策として、瀬戸内海では「瀬戸内海環境保全特別措置法」の一部を改正する法律が平成27年から施行されました。この改正法によって、瀬戸内海の環境保全について、水質保全だけでなく生物の多様性と生産性が確保されるように、基本理念の新設、基本計画・府県計画の規定の改正、具体的施策の追加等の措置を講ずることとされました。つまり、今よりも多くの栄養を海に流して生物が増えるように試みるということです。同様に三河湾では、アサリの生産量低下や

ノリの色落ちに菌止めをかけるために、愛知県が平成29年から三河地方で下水処理のリンの濃度を上げる実験を行っています。これらの対策の成果はまだ目に見えていませんが、豊かな海の回復が期待されています。

8. 最後に

ここからは、私見です。可能性の一つとして読んでください。海水浴場の造成などで浜に砂をまくと二枚貝が大量に湧くことが昔から知られています。この現象を利用して干潟に砂をまく覆砂の事業が行われています。覆砂をすると一旦アサリが発生するのですが、数年するとその効果が失われます。これには、砂が流されたり泥が溜まったりという理由の他に、生物群集の遷移が関係しているのではないかと考えています。

覆砂は生物がいない裸地を干潟に作ることです。そこに最初に定着する生物の一つがアサリです。東日本大震災の津波で破壊された沿岸域でも、アサリが最初に戻ってきたと聞いたことがあります。アサリやその餌となる付着藻類などの生物が定着すると、そのこと自体が環境を変化させ、新しい環境に適した別の生物が定着するようになります。これの繰り返しで生物相が変化していくのが遷移で、安定した環境では生物相も最後に極相に達して安定します。アサリは遷移初期に現れる先駆種であり、干潟が新しい状態に保たれていることが適した状態なのではないかと考えています。

中規模攪乱仮説という考えがあります。生息環境の攪乱が生物群集に与える影響について、生物の種の多様性は攪乱が少なすぎても多すぎても低く、中規模の時に高くなるという説です。アサリが生息する干潟は、本来は河川の流路変化に伴って砂を入れ替えながら場所を移動する動的な状態にあるものだと考えられます。生息環境としては、定期的な大規模な攪乱がある不安定な場であり、アサリはそこで大量に加入して優占する繁殖戦略をもった生物なのかもしれません。それが現代ではダムなどの影響で砂の供給が減り、また護岸工事などで河川の位置が固定された結果、干潟面積が減少するだけでなく、環境が安定して生物相の遷移も進むために、アサリが優占できなくなったのではないかと考えています。この考えは、砂やアサリが波浪に飛ばされないよう生息場を安定さ

せることを目的とした従来の漁場造成とは対立するものになります。しかし生物相遷移を初期化する観点から、海底耕耘などにより干潟の環境管理をすることでアサリ資源回復の可能性もあるのではないかと考えています。

参考文献

- 1) 有明海干潟利用研究報告（1929）福岡県水産試験場，福岡県。
- 2) 藤森三郎（1921）有明海貝類蕃殖保護方策私見（上）。水産界，466，14-17。
- 3) 藤森三郎（1921）有明海貝類蕃殖保護方策私見（下）。水産界，467，13-18。
- 4) 牧 義男（1915）東京湾に於ける「あさり」「ばかがひ」の養殖。水産研究誌，10，6-34。
- 5) 日向野純也（2005）貧酸素・硫化水素・浮泥等の環境要因がアサリに及ぼす影響。水産総合研究センター研報，3，27-33。
- 6) 羽生和弘（印刷中）伊勢湾の貧酸素水塊が湾奥部で大規模化した年代。三重水研報。
- 7) 菅原兼男（1956）東京湾奥に於ける沿岸水温と沖合底層酸素量との相関について。昭和29年度千葉県水産試験場事業報告，14-20。
- 8) 林 宗徳（1993）有明海におけるアサリの成長。福岡水技研報，1，151-154。
- 9) Watanabe, S., Katayama, S., Kodama, M., Cho, N., Nakata, K. and Fukuda, M. (2009) Small-scale variation in feeding environments for the Manila clam *Ruditapes philippinarum* in a tidal flat in Tokyo Bay. Fisheries Science, 75, 937-945.
- 10) 鳥羽光晴・深山義文（1991）飼育アサリの性成熟過程と産卵誘発。日本水産学会誌，57，1269-1275。
- 11) 柿野 純（1996）丸形指数を指標とした籠試験によるアサリの成長と生残の特性。日本水産学会誌，62，376-383。
- 12) Watanabe, S. and Katayama, S. (2010) Relationships among shell shape, shell growth rate, and nutritional condition in the Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) in Japan. Journal of Shellfish Research, 29: 353-359.
- 13) 海と湖の貧栄養化問題（2015）山本民治・花里孝幸編著。地球書館，pp195。
- 14) Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J.A., Folke, C. and Walker, B. (2001) Catastrophic shifts in ecosystems. Nature, 413, 591-596。





第11回

東京オリンピックまでにアサリ漁業復活を目指す！

— 震災後宮城県万石浦に造成された人工干潟でのアサリ初出荷までの道のりと今後



東邦大学理学部生命圏環境科学科教授・日本貝類学会会長 大越 健嗣

1. はじめに

2011年3月11日の午後2時46分、私と学生の鈴木聖宏君（現、東邦大学理学部博士研究員）は千葉県習志野市の谷津干潟で大きな揺れに襲われました。石巻専修大学理工学部から異動して半年、新年度からは東京湾の干潟をフィールドにアサリやアサリを捕食する外来生物のサキグロタマツメタ^{1,2)}の研究を進めようと下見に来ていたのです。その2週間前には「海のブラックバス サキグロタマツメタ 外来生物の生物学と水産学」³⁾を上梓したばかりでした。

当日は小潮で、ちょうど潮が引いて干潟が現れてきたところで地震が起こりました。干潟面は波のように揺れ、陽の光を反射してキラキラと光っていました。揺れがはじまってから水鳥が飛び、揺れがおさまると降りてきました。鳥は地震の予兆を感じて飛び立つのではないことを知りました。その後、周辺の団地では地割れした場所から水が吹き出し、高さ30cmぐらいまでの水のカーテンが出来ていました。地震前は澄んでいた谷津干潟内のクリークは濁り、泥水が水路を伝って三番瀬に流れていきました。このような「液状化現象」は国道14号線よりも海側の場所で頻発し、潮干狩りで有名なふなばし三番瀬海浜公園周辺では土砂が吹き上げ、干潟でも泥が吹き出し火山の噴火口（図1）のようになった場所がいくつも見られましたが、これを確認したのは後日です。その時は震源が近ければ「津波が来る」と直感し、急いで海岸から離れました。その後、三番瀬には1.5m程度の津波が押し寄せ海岸にあったグラウンドのネットが倒され、芝生も剥され、その上にはアオサ類がかぶっていました⁴⁾。しかし、その時はふると宮城の海岸に巨大な津波が押し寄せ、20年近くアサリの調査を行っていた宮城県石巻市の

万石浦や50年前にはじめて潮干狩りを楽しんだ福島県相馬市の松川浦がとんでもないことになっている（図2）ことは知る由もありませんでした。



図1 液状化で泥が吹き上げたと考えられる場所（ふなばし三番瀬海浜公園地先）
スケールは1m



図2 地震・津波後の松川浦（2011年4月8日）

2. 地震前のアサリ生産と外来生物の影響

万石浦では2m以上、松川浦では5m以上の津波が押し寄せ、アサリの生息する浦内は大きく攪乱されました。アサリを含め、砂質潮間帯に生息するすべての生物に津波は大きな影響を与え、多くの生物が流され、または土砂に埋められ死滅し

ました。東北地方沿岸に生息する生物に対する津波の影響については多くの報告があります^{5~10)}。一部の研究者は、「地震の影響＝津波の影響」と考え、津波による攪乱の影響が見られなくなれば地震の海洋生物への影響についての検討は終わると思っていた。しかし、そうではありませんでした。万石浦では約80cmの「地盤沈下」があり、それがアサリ漁業に大きな影響を及ぼすことになりました。そこで、本稿では地震後の地盤沈下がアサリ生産に与えた影響について述べます。

地震の前に宮城県ではどのくらいアサリが採られていたのでしょうか。最盛期の1985年には年間1,500トン以上であった漁獲量が2000年には500トンを下回り、その後は200トン前後で推移していました(図3)。漁獲量減少の一因は外来巻貝サキグロタマツメタによる食害です²⁾。1980年代後半からアサリの輸入が本格的にはじまりましたが、サキグロタマツメタは輸入アサリに混じって外国から移入し¹⁾、それらを起源とする個体群が日本各地に広がっていったと考えられます。遺伝子解析の結果もこのことを支持していま

す¹¹⁾。アサリの需要を補うために輸入したアサリに食害生物が混じっていて、それが国産アサリの減少を助長するという皮肉な結果になりました。宮城県では2004年から潮干狩り場の閉鎖が相次ぎ、万石浦でも2007年から潮干狩りができなくなりました。そのため、地元の漁協ではサキグロタマツメタの成員と卵塊(卵囊、砂ぢゃわん)(図4)の一斉駆除を毎年行い、多い時は2時間で数100kgの卵塊を駆除しました。サキグロタマツメタの「発見」まで、その生活史や生態は不明でしたので、私たちは成長や成熟、産卵期などを検討し、その情報をもとに漁協は駆除をすすめ成果が上がってきた矢先に大地震が来しました。

3. 地盤沈下の影響

約80cmの地盤沈下により、万石浦のアサリ漁場のほぼ全域が一瞬にして潮間帯から潮下帯になり、干潮時にも干出しなくなり(図5)「万石浦手掘りアサリ」は出荷できなくなりました。地震前は、干潮時に漁場に入り熊手を使った採貝が行

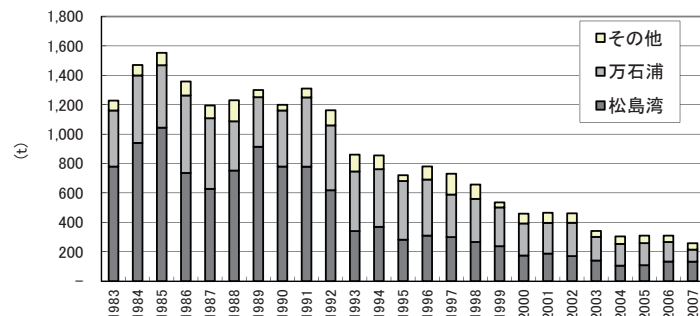


図3 宮城県における地震前のアサリ漁獲量の推移 (須藤 2011 を改変)



図4 駆除されたサキグロタマツメタの卵塊 (直径約10cm)

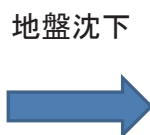


図5 地盤沈下前と後の万石浦大浜の干潮時の様子 (約80cmの地盤沈下により干潮時でも干潟があらわれなくなった。)

われていました。地盤沈下後はとくに高齢の漁業者は、胴長をはいても胸まで水に浸かる状況になり採貝ができなくなりました。潮干狩り場だった大浜地区も、地震前は駐車場だったところまで満潮時には冠水するようになり、マガキやホソウミナなどが駐車場に生息するようになりました。干出しなくなった場所にはアマモが繁茂し（図6）、アサリは激減しました。そのため、宮城県は地盤沈下した漁場に山砂を客土することにより人工的に潮間帯を造成することを決め、2013年から2016年にかけて造成工事が行われました（図7）。この漁場造成には北海道での造成事業を参考にしたことはあまり知られていません。



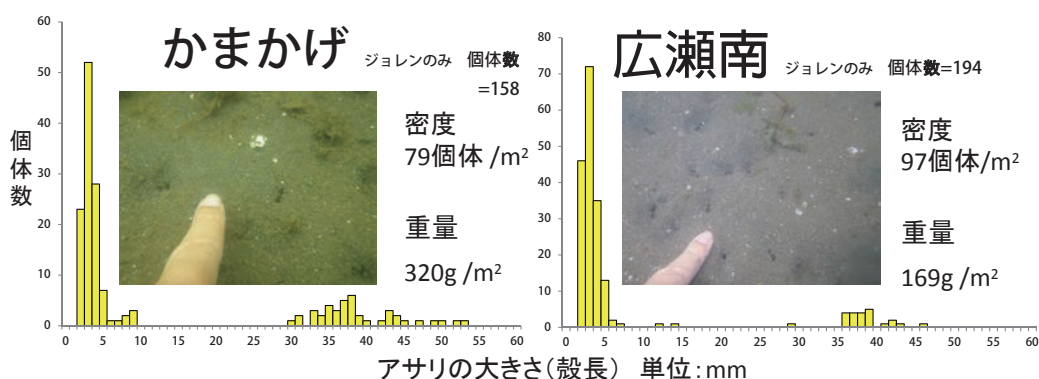
図6 アマモに覆われたかつての潮間帯
（万石浦大浜地区）



図7 万石浦広瀬南地区に造成中の人工干潟
（2016年6月）

実は今回の津波で、北海道の厚岸湖や根室のトーサム・ポロ沼などのアサリ漁場でも砂やアサリの流失が起きました。しかし地震が起こった3月中に、流失したアサリの被害額の算定が行われるなど、津波被害者の捜索さえ進んでいなかった宮城県や福島県とは異なり、北海道では迅速に漁場復旧が進みました。このことは本シリーズの北海道のアサリ漁獲量の推移にも表れており、漁獲量が地震後に激減していないことがわかります¹²⁾。万石浦での人工干潟を囲む石積みやシートによる底質の流出防止策などは北海道での先例を参考にしており、加えて表層にはカキ殻を10%混ぜてサキグロタマツメタの進入防止策も講じました¹³⁾。一方、地盤沈下した漁場では、客土前にアサリの現存量を調査し、その情報を漁協に提供（図8）

客土前にアサリ母貝の採集と移動を！



★万石浦湾口部では、1平方メートルあたり、80～100個体(200～300g)のアサリが生息。
★1cm以下の小型個体(昨年新規に着底した稚貝)と成貝(産卵に寄与する母貝)が生息。

1平方メートルあたりのアサリの重量が300gとすると、**客土予定の石巻湾支所管内**
3万平方メートルには、 $0.3\text{kg} \times 30,000 = 9,000\text{kg} = \mathbf{9\text{トン}}$ のアサリが生息している。

図8 客土前にアサリ母貝の移動を依頼するピラ

することにより、人工干潟へのアサリの移動を提案しました。移動は限定的でしたが、仙台湾沿岸のアサリの幼生数は多く¹⁴⁾、地震後も生き残った個体の一部が母貝となり、再生産に寄与したものと考えられます。

4. 人工干潟へのアサリの着底と成長、初出荷

2013年に部分的に完成した約1ヘクタールの区画（以下、2013年造成区）では、同年夏以降アサリを含めた生物の発見が相次ぎ、とくにアサリは大量の着底が確認されました。アサリは順調に成長し、2015年には販売可能サイズの殻長30mm以上の個体が多数生息するようになりました。密度は2015年5月には平均で1平方メートルあたり約3,000個体に達し、2016年5月には、1平方メートルあたり3kg以上の生息を確認しました（図9）。そこで、2013年造成区を管轄するJF宮城石巻湾支所は6月に組合員・準組合員を対象とした地震後初となる2日間限定のアサリ漁開口を実施しました。その後2017年3月には、1平方メートルあたり約5kg、2013年造成区全体では約50トンのアサリが生息していることが推定されたことから、5月と6月に計9回の開口を行い、6年3か月ぶりとなる「地震後初の万石浦手掘りアサリの出荷」を実現しました。地元の新聞2紙は何れもトップニュースとして取り上げました（図10）。2018年にはさらに開口日数を増やし、大（殻長50mm以上）、中（殻長40mm以上）、小（殻長30mm以上）に分けて、出荷時には入札

を行いました。最終的には、合計で約25トンの漁獲があり、地震が起こった2010年度の漁獲量33トンのレベルまで、あと少しのところまでできました。

5. 今後の環境管理と資源管理

今後の課題は資源管理です。これまでの人工干潟での漁獲は2013年造成区に限って行われてきました。来年度以降は2015年造成区、2016年造成区に順次拡大していく予定です。そのためには環境管理と資源管理が重要です。2017年度の東邦大学とJF宮城石巻湾支所による主な共同調査は4月の新規加入アサリ調査、5月の開口時の漁獲量調査、6月の成長試験用アサリ放流、7月の放流アサリ成長調査、組合員に対する研修会、8月の海藻・ホトトギスガイ駆除（図11）、9月のサキグロタマツメタ及び卵塊駆除でした。人工干潟全体では18の定点を設けて毎月コドラート調査を行い、成長解析や資源量の推定を行っています。また、食害生物のサキグロタマツメタの駆除や産卵期での卵塊駆除なども時期に合わせて行っています。一方、造成時にはほぼ一様だった底質の粒度組成や地盤高も滞筋側や干潟中央部などの違いにより年々変化しており、土囊の崩壊した場所では底質の流出も散見されます。また、地震後沈下した地盤は徐々に隆起しており、万石浦周辺では40cmほど隆起しました。今回の地震と同規模の地震は東北・北海道沿岸で500年に1回程度の割合で起こっていますが¹⁵⁾、沈下した地盤

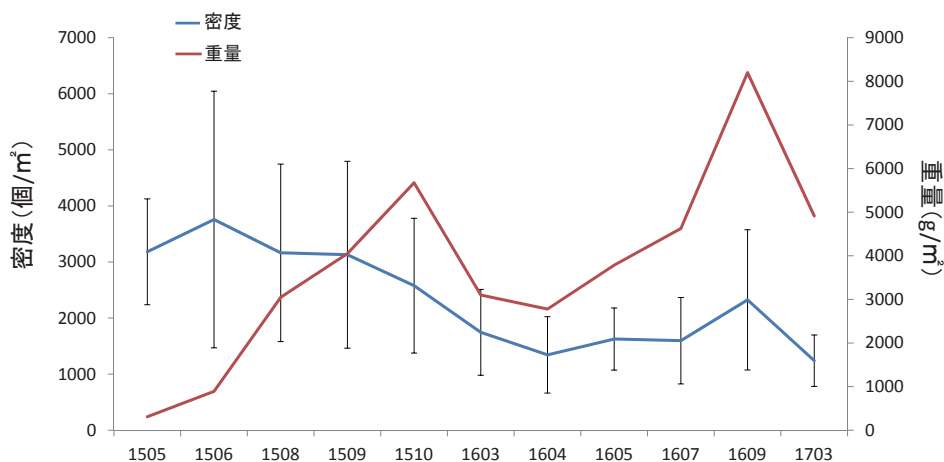


図9 2013年造成区におけるアサリの生息密度と重量変化（1505は2015年5月）。2017年3月には、1平方メートルあたり1,000個体以上、重量では約5kgのアサリが生息していたと推定される。



図10 アサリ開口初日の様子（地元紙ではトップニュース）



図11 アサリ漁場被覆生物（ホトギスガイ・海藻類）の一斉駆除

はその後隆起に転じ、もとにもどっていることがわかっています。今回の地震でも同様のことが起こると考えられており、客土して造成した人工潮間帯は何れ潮上帯になり、さらにはアサリの生息できない「陸」になる可能性があります。これまで各地で行われている人工干潟の造成では、造成後しばしば地盤沈下が起こっていますが、今回は逆に、これまでに経験したことがない継続的な隆起が起こります。移動ができない固着生物のマガキやフジツボ類は、すでに固着している上部から死滅がはじまっています¹⁶⁾。人工干潟のアサリにもこのままでは同様のことが起こる可能性があります、潮間帯を継続して維持する方策が今後必要になってきます。

6. 合言葉は「東京オリンピック」

地震前の漁獲量に並ぶまであと少しのところまでできました。私たちの目標は2020年の東京オリンピックの年までに万石浦のアサリ資源を地震前のレベルまで復活させることです。マガキやホタテガイの生産量が地震後数年で増えていく中、同じ二枚貝の中でなぜアサリの生産量は復活しないのでしょうか。その主な理由は、アサリには「水」の他に「砂」も必要だからです。マガキは1970年代までに、ホタテガイは1980年代までに、その養殖方法が確立しました。マガキもホタテガイも垂下養殖法によって固着基盤や海底から引き離すことが可能になり、水中に吊るしたままで成長させることができるようになりました。もともと潮間帯に生息していたマガキを延縄や筏から垂下することにより潮下帯で飼育することになったのです。これは生物としてのマガキにとっては生息場所を大きく変えることになり、さらに干出と冠水のサイクルがなくなり、ホタテガイにとっては耳吊りでぶら下げられ、あるいはカゴに入れて吊るされることになるなど大きな変化が生じました。しかし、それで成長や生残にマイナスの影響はほとんどありませんでした。そして両種の成長や生残には、吊るされている場所の海水の塩分や溶存酸素、餌となるプランクトンの量など、つまり、その「水」だけが重要な環境要因になったのです。一方、アサリの垂下養殖法の開発はまだ途上です。アサリは埋生生物のために「水」の他に「砂」(底質)が生息には重要と考えられており、

カゴに入れて垂下した状態で成長・生残させて出荷まで持っていくことはまだ難しい状況です。地震後10年もの間、アサリの生産が復活できなかった一因は地盤が一気に下がった後に徐々に上昇し、連続的に「砂」の部分に変化する環境におかれたからと言えるかもしれません。砂フリーのアサリ養殖法が開発されれば、国内さらには世界のアサリ生産の現状を大きく変えることになるでしょう。

中国ではアサリの生産量が年間300万トンを超え、砂を入れない状態で給餌する陸上養殖も行われています。1つの企業で日本のアサリの生産量の半分以上を賄うところもあります。日本はアサリの生産をやめて中国に任せてはどうかという声も聞こえてきます。国内生産量が1万トンを下回った現在、これはお話しの世界ではなくなりつつあります。しかし、アサリは内湾や河口域の優占種であり、漁業者がそこに定常的に漁獲のために立ち入ることはとても重要です。その環境やアサリを含めた生物の状況をずっと把握することができるからです。漁業活動や潮干狩りがなくなると漁業者も一般の人も内湾や干潟から関心がなくなり、身近な海の状況がわからなくなるでしょう。まわりを海に囲まれた島国に生活する私たちが、身近な海に関わらなくなることを私は危惧しています。縄文時代から3000年以上、私たちとかかわってきたアサリ¹⁷⁾が生息する海こそ、私たちが出かけ活用する海であると思います。

今回25トンのアサリを漁獲した場所の面積は約1ヘクタールで、そのほとんどは天然発生の地元産アサリです。全国的にアサリが減少する中、非常にポテンシャルの高い漁場となっています。その生産機構を解明する中に日本のアサリ復活につながるヒントがあるかも知れません。

7. 最後に福島のこと

万石浦と同様の広さを持ち、東北地方有数のアサリの生産地である福島県相馬市松川浦の現状について最後に少し述べたいと思います。湾口部にあった大きなカキ礁がなくなる¹⁸⁾ほどの大きな津波に襲われた松川浦ですが、地盤沈下が30cmほどだったこともあり、地震後も干潮時の干出域は広く残っています。また、アサリも2013年に大量に着底したものが万石浦と同様に成長して漁獲サイズに達しています。しかし、風評被害の影

響でほとんど漁獲は行われていません。アサリはいるのに採れないもどかしい状況が続いています。私たちは松川浦でも地震前から調査を行っており¹⁹⁾、現状については別の機会に報告したいと思います。

参考文献

- 1) 大越健嗣 (2004) 輸入アサリに混入して移入する生物—食害生物サキグロタマツメタと非意図的移入種. 日本ベントス学会誌 59: 74-82.
- 2) 大越健嗣 (2007) 非意図的移入種の水産被害の実例—サキグロタマツメタ 日本水産学会誌 73:1129-1132.
- 3) 大越健嗣 (2011) 海のブラックバス サキグロタマツメタ 外来生物の生物学と水産学 (大越健嗣・大越和加編著) 恒星社厚生閣 225pp.
- 4) 大越健嗣 (2012) 地震・津波が沿岸に生息する生物に与える影響 「災害と生物多様性 災害から学ぶ、私たちの社会と未来」 (岩槻邦男・堂本暁子監修) 生物多様性 JAPAN (JRC) pp.20-25.
- 5) 大越健嗣 (2013) 東北地方太平洋沖地震の二枚貝への影響—震災から1年半後の現状と今後の展望—水環境学会誌 36: 44-48.
- 6) Onozato, M., Nishigaki, A., and Okoshi, K. (2016) Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and bivalves on the Pacific coast of Japan: influence of tsunami and fire. PLoS ONE 11 (5) : e0156447. doi:10.1371/journal.pone.0156447
- 7) Kanaya, G., Suzuki, T., Kinoshita, K., Matsumasa, M., Yamada, K., Seike, L., Okoshi, K., Miura, O., Nakai, S., Sato-Okoshi, W. and Kikuchi, E. (2017) Disaster-induced changes in coastal wetlands and soft-bottom habitats in eastern Japan— an overview on 2011 Great East Japan Earthquake. Biology International SI36: 62-80.
- 8) Suzuki, M. and Okoshi, K. (2018) The “tsunami break:” impact of the Great East Japan Earthquake and the accompanying tsunamis on the shell growth of the invasive clam-eating snail *Laguncula pulchella*. Fisheries Science, 84 (3) : 485-494. <https://doi.org/10.1007/s12562-018-1197-2>.
- 9) Takami, H., Won, NI and Kawamura, T. (2013) Impacts of the 2011 mega-earthquake and tsunami on abalone *Haliotis discus hannai* and sea urchin *Strongylocentrotus nudus* populations at Oshika Peninsula, Miyagi, Japan. Fish Oceanogr 22:113-120.
- 10) Urabe, J., Suzuki, T., Nishita, T. and Makino, W. (2013) Immediate ecological impacts of the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami on intertidal flat communities. PLoS One 8:e62779
- 11) Ohtsuki, H., Suzuki, T., Kinoshita, K., Kanaya, G., Hirama, T., Sato, S., Shibata, K., Okoshi, K. and Urabe, J. (2016) Genetic structures of *Laguncula pulchella* metapopulations along the northeast coast of Japan after the tsunamis caused by the Great East Japan Earthquake. In: Jotaro Urabe & Tohru Nakashizuka (Eds) . Ecological impacts of tsunamis on coastal ecosystems: Lessons from the Great East Japan Earthquake. Springer pp.209-221. DOI 10.1007/978-4-431-56448-5, ISBN 978-4-431-56446-1, ISBN 978-4-431-56448-5 (eBook)
- 12) 近田靖子 (2017) 北海道東部海域におけるアサリ漁業とその管理について 豊かな海, 40, 28-32.
- 13) 須藤篤史 (2011) 7章 食害防除・駆除対策 大越健嗣・大越和加編著「海のブラックバス サキグロタマツメタ 外来生物の生物学と水産学」 恒星社厚生閣 pp.135-156.
- 14) Abe, H., Sato, T., Iwasaki, T., Wada, T., Tomiyama, T., Sato, T., Hamaguchi, M., Kajihara, N., and Kamiyama T. (2017) Impact of the 2011 tsunami on the Manila clam *Ruditapes philippinarum* population and subsequent population recovery in Matsukawa-ura Lagoon, Fukushima, northeastern Japan. Regional Studies in Marine Science, 9: 97-105.
- 15) Okoshi, K. (2015) Impact of repeating massive earthquakes on intertidal mollusk community in Japan. In: Ceccaldi H-J, Hénocque Y, Koike Y, Komatsu T, Stora G, Tusseau-Vuillemin M-H (Eds) . Marine Productivity: Perturbations and Resilience of Socio-ecosystems. Springer, pp.55-62. ISBN 978-3-319-13877-0, ISBN 978-3-319-13878-7 (eBook) DOI 10.1007/978-3-319-13878-7_6
- 16) Okoshi, K. (2016) The effects of liquefaction, tsunami, and land subsidence on intertidal mollusks following the Great East Japan Earthquake. In: Jotaro Urabe & Tohru Nakashizuka (Eds) . Ecological impacts of tsunamis on coastal ecosystems: Lessons from the Great East Japan Earthquake. Springer, pp.165-178. DOI 10.1007/978-4-431-56448-5, ISBN 978-4-431-56446-1, ISBN 978-4-431-56448-5 (eBook)
- 17) 大越健嗣 (2009) コラム⑧ 潮干狩りの危機 アサリ採り 3000 年の歴史を絶やしてはならない 「海の外来生物」 (日本プランクトン学会・日本ベントス学会編) 東海大学出版会 pp.231-232.
- 18) 大越健嗣 (2016) カキから考える海洋生物についての地震・津波の意味. 「生態学からみた東日本大震災—自然が語る震災の意味—」 (日本生態学会東北地区会編) 文一総合出版 pp.58-64.
- 19) 富山毅, 鈴木孝男, 佐藤利幸, 加藤靖, 亀岩翔太, 杉林慶明, 大越健嗣 (2011) 外来性巻貝サキグロタマツメタの松川浦における移入および分布. 日本水産学会誌 77: 1020-1026.



第12回

海水池で生産したアサリ稚貝で母貝集団を造成へ

— たい肥の利用で稚貝生産コスト低減を実現 —



山口県水産研究センター 内海研究部

増殖病理グループリーダー 岸岡 正伸

1. はじめに

山口県瀬戸内海沿岸はかつて多種多様な二枚貝の宝庫でした。特に 60 年代から 80 年代にかけて、主として潜水器漁業でタイラギ、ミルクイ、ウチムラサキ、ナミガイが、また、貝桁網でアカガイやトリガイが漁獲されていました。アサリも 1960 年代から採貝漁業によって年間 5 千トンの漁獲がされていました。ところが 1980 年代に入り、潜水器漁業の対象種が減少したため、アサリの沖合資源を潜水器で漁獲するようになりました。この沖合資源の漁獲によって一時、漁獲が増加した後、急速にアサリの漁獲量は減少して 2003 年以降、ほとんどの干潟でアサリが獲れなくなりました（図 1）。他の二枚貝も再生産がほとんど見られなくなり、浅海域の中でもアサリの住む干潟域は一変して有機質の少ない、まるで砂漠のような砂浜が多くなってしまいました。かつての浅海域では、多種多様な二枚貝が共存することで、海洋中に含まれる低密度であっても全体では膨大な量の植物プランクトンを吸収し、干潟中に排泄・蓄積しながら有機質に富んだ豊かな干潟を形成し

ていたと考えられます。これらの有機物を餌としてゴカイやエビ、カニが多数生息、活動することによって栄養塩が増加すれば植物プランクトンも再び増殖し、大きな物質循環が成り立っていたのでしょう。

このように多種多様な生物が輻輳することで生み出された生態系を取り戻すのは容易ではありません。砂漠化した大地に植林してもとの原生林を作り出すようなものです。しかし放置していても元に戻る様子も見られないので、まずはアサリのように管理しやすい干潟に成育するタイプの二枚貝の増殖に取り組んでいます。アサリは河口干潟などに網で保護すれば順調に育つことがわかっていますので、保護放流を行って過密になったアサリを間引き漁獲しつつ母集団を造成し、産卵による海域全体のアサリ資源の回復を促します。

2. 人工稚貝の必要性和問題

これまでもアサリは天然発生した稚貝を採集し、漁場に移植することで生産の維持増大が図られてきました。近年は稚貝の発生量が激減し、他の地域・国からアサリを移入するケースも見られますが、稚貝とともにその地域にいない有害生物や病原性微生物が侵入するリスクを抱えています。この点、人工稚貝にはそのような有害生物が混入しないように管理することが可能ですし、地域を大きく越えた遺伝的なく乱も防ぐことができます。しかし、アサリは安価な多獲性二枚貝であり、稚貝を大量かつ天然並み（300 円/kg）の低コストで生産する必要があります。このため、当センターの海水池（水域面積：110m × 140m、1.5ha、図 2）に 2mm サイズの人工稚貝を移植し、格安のたい肥（発酵鶏糞）を施肥して 20mm まで低コストで育成

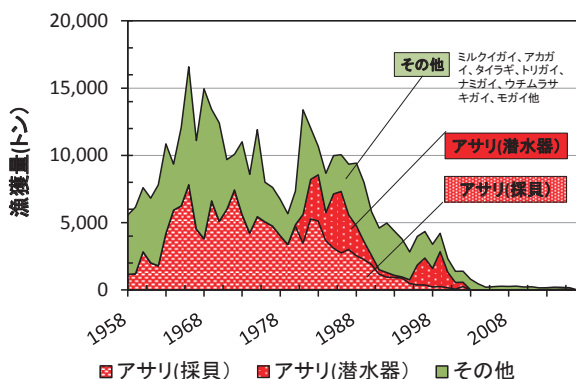


図 1 山口県瀬戸内海側の二枚貝漁獲量の推移 (1958～2016年)

資料：山口県農林水産統計年報



図2 山口県水産研究センターの海水池（大型試験池）

する技術開発に取り組んできました。

3. たい肥の安全性

たい肥は家畜の排泄物等を原料にして微生物による有機物分解作用を利用して作られ、発酵熱が生じることで温度が60℃近くまで上昇します。たい肥化の過程は施設や工程の違いにより必ずしも一様ではありませんが、水分と悪臭が減少し運搬しやすくなるとともに、人に対する病原菌や寄生虫が殺滅されます。

たい肥の原料となる家畜排泄物の発生量は、飼養頭羽数と飼料の質、量などから国内だけで糞が6,340万トン、尿が2,880万トン、合計で9,220万トンに達すると試算されています。近年、循環型社会形成に向けて家畜糞尿たい肥の製造量は増えていますが、依然として畜産経営体が利用しきれない過剰な家畜糞尿を抱えています。たい肥は主成分の含有量の多寡による一律的な評価をすることができないため、肥料取締法において特殊肥料に分類され、農薬などの異物の混入や虚偽宣伝が禁止されているとともに、公定規格の設定や保障票の添付義務等の品質に関する規制がなされ、その安全性が担保されています。

海水池でアサリを育成するためには大量の肥料が必要であり、たい肥を利用することによって生産物の安全性を確保できる上に、わが国の目指す循環型社会の構築にも貢献します。

4. 2mm稚貝を陸上水槽で大量生産

稚貝の生産は採卵から2mmまでを陸上水槽で集約的に行い、2mmから20mmまでの中間育成を海水池（約1.5ha）で育成します。2mm前後から海

水池に移す理由は、この頃から大量の餌料と育成面積が必要になるためです。

2mmまでの稚貝生産は（公社）山口県栽培漁業公社において10月に採卵し、屋外100トン水槽（10.5×7.0×1.4m）等を用いて生産したものを使用します。屋外100トン水槽で生産する場合、十分な量の着底稚貝が得られるまで何度か採卵を繰り返し、これらを翌年3月まで粗放的に培養した植物プランクトンを餌として与えながら飼育します。生産した2mm稚貝は、3月に取り上げて目合い700μmのフルイを用いて砂や殻長約1mm以下の小貝を取り除いて計数後、海水池に撒きつけます。撒きつける稚貝は池面積を最大に活用するためには4,000万個程度が必要ですが、施設の2mm生産能力の制約を受けて2014年、2015年とも約2,000万個を撒きつけました。

5. 広大な海水池で20mmまで育成

稚貝の移植に際し、まず池を2週間程度干し上げて魚類や甲殻類、大型藻類の徹底した駆除を行っています。この干し上げによって開始時の生物相を単純にしてしまうことが高い歩留りにつながっていると考えています。この際、前年に取り残したアサリも一部へい死しますが、池の中央に残った水たまりにも次亜塩素酸ナトリウム（食品添加物）を投入しながら徹底的に行います。

水門には大型魚類などの侵入を防ぐための網を設置する必要があります。当初は目合い9.1mmのステンレス製網戸を設置していましたが、アマモ等の浮遊物による目詰まりが激しかったため、2015年から袋状に縫製した漁網を水門の前方に張り込んでいます。

海水池に施肥すると植物プランクトンだけでなくアオサやシオグサなどの海藻類が増殖するリスクを抱えることになります。実際に運用初年度（2014年）は7月上旬頃からシオグサ科藻類が急増し、一時池のほぼ全面に繁茂し稚貝への影響も見られました。そこで、2015年は干し上げた際に海水がしみだす場所や葦場の中、タイドプールなどに残存するアオサやシオグサなども次亜塩素酸ナトリウムで可能な限り駆除しました。次に海藻の生育抑制・除去や池底に堆積する有機物のアサリへの利用促進を図るため、毎週3～4回を目処に、チェーンびきの小型底びき網（間口の幅

1.3m、総重量約 20～25kg) を約 1 時間、箱船で池全域をひき回しました。なお、池のコンクリート壁面や葦場に繁茂するアオサやアオノリ、シオグサは、生長するとちぎれて浮遊・移動し、池の中で急増します。このような過程で海藻が増殖するのを防ぐため、育成中に池の底面が干上がらないレベルまで水位を下げて、周囲のコンクリート壁面や葦場を干し上げて枯死させることで、これら海藻の繁茂を大幅に抑制可能であることがわかってきました。

試験を開始した 2014 年 3 月以前、海水池は長期にわたり水門を閉じた状態で遊休化しており、アサリの自生は全く確認できませんでした。2014 年 3 月に初めて稚貝を移植後、5 月に 4mm フルイにかかる稚貝が認められるようになり、9 月には池全体で 19 トン (1,600 万個、1.3kg/m²、平均殻

長 19mm) の現存量に達しました。2015 年も 3 月に稚貝を移植後、5 月頃から移植区域周辺でフルイにかかる稚貝が徐々に増加し、9 月に前年の取り残し分を含めて 27 トン (1,800 万個、1.8kg/m²、平均殻長 19mm) に達しました (図 3)。このように、十分な干し上げの後に 2mm サイズの稚貝を移植すると 4 月から 7 月にかけて急成長し、極めて高い歩留りで 20mm サイズに成長することがわかってきました。

6. 施肥による栄養塩濃度とクロロフィル量の推移

これまで国内では海産二枚貝の施肥養殖例はなく、適正な施肥量・頻度と肥料の質についてほとんど知見が見当たりません。このため、これまで最もアサリの生産性の高かった 2013 年の施肥量を参考にして研究を進めており、2014 年は試行錯誤を繰り返しながら、発酵鶏糞や硫酸などを年間、窒素ベースで海水トン当たり 46 g 添加しました。2015 年は前年に硫酸の施肥効果があり見られなかったことや、発酵鶏糞を添加しても底質が悪化しないことが確認されたので、発酵鶏糞を単独で年間窒素量にしてトン当たり 60 g まで投与しました (表 1)。

このように窒素の施肥量を増加させたにもかかわらず、2 ヶ年とも、植物プランクトン量の多い 3 月から 7 月頃まで無機態窒素濃度は 0.3～22 μM ときわめて低く、施肥後 1～2 日で植物プランクトンに消費されている様子が窺えました。しかし、9 月頃から池内の植物プランクトン量が減少し、これに伴い無機態窒素濃度は高い値を示すことが多くなりました。なお、リン酸濃度は終始高めでした。

クロロフィル量は 2 ヶ年とも 4 月から 8 月にかけて 1～30 μg/L の範囲で変動しました。8 月以降は 2～3 μg/L と低水準でした。池の水は緑色～緑褐色に着色しており、発生した植物プランクトンのほとんどは 2～4 μm の微細藻 (種不明) でした。なお、池内の pH は概ね 7.5～8.0 の範囲で外海水より低めに推移しました。

7. 曳走式噴流ジョレンで効率的に回収

海水池から稚貝を回収するためには、稚貝の活

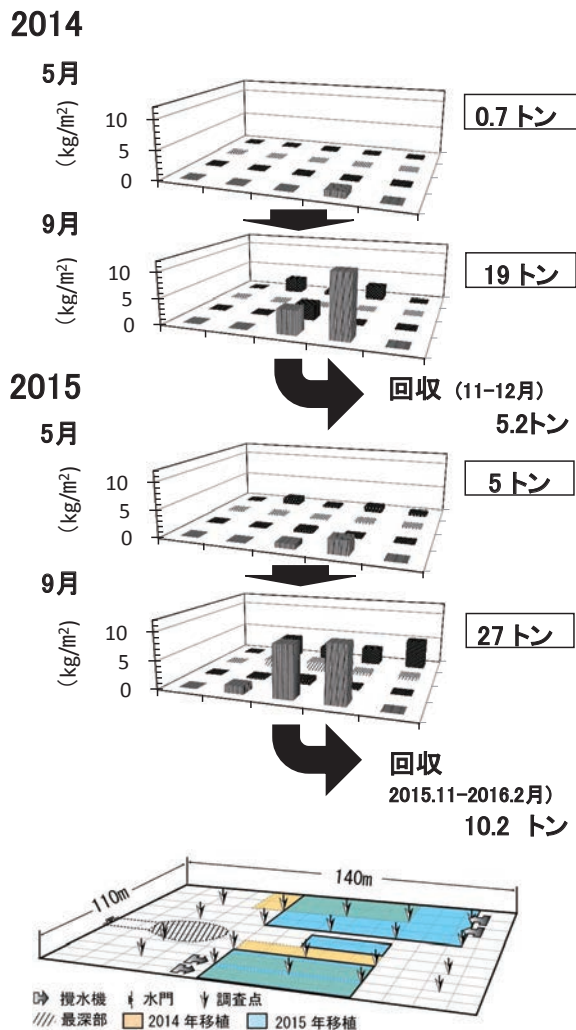


図 3 池内の 20 調査点におけるアサリ重量密度 (kg/m²) の推移
囲みの中の数値は池全体の推定総重量を示す。

表1 2013～2015 年にかけて海水池に散布した肥料の種類別施肥量
および窒素、リン酸の施肥濃度

試験池	遊休クルマエビ養殖池	海水池			
年	2013	2014			2015
面積(m ²)	5,000	15,000			
水量(m ³)	7,500	22,500			
肥料の種類	フィッシュリリーMF	発酵鶏糞(広島産)	硫安	フィッシュリリーMF	発酵鶏糞(深川産)
施肥量(kg/年)	6,460	11,250	2,900	300	32,700
窒素含有量(%)	8.4	3.5	21	8.4	4.1
リン酸含有量(%)	0.8	3.5	0.0	0.8	3.9
施肥量(成分kg/年)					
窒素	543	394	609	25	1,341
リン酸	52	394	0	2	1,275
施肥濃度(成分g/m ³ /年)					
窒素	72	46			60
リン酸	7	18			57



図4 曳走式噴流ジョレンによる回収

力を損なうことなく効率よく回収できる機械が必要です。そこで、山口県漁業協同組合・藤曲浦支店の漁業者と共同で曳走式噴流ジョレン（ジョレン本体：重量 35kg、有効幅 80cm、スリット幅 8mm、回収籠：重量 10kg、引き歩き速度約 20m/min.、可搬消防ポンプ：出力 30kw、高压放水量 0.9 m³/min.）を開発し、2014 年は 5.2 トン（平均殻長 21mm、298 万個）、2015 年は 10.2 トン（平均殻長 21mm、521 万個）を回収、配布しました。

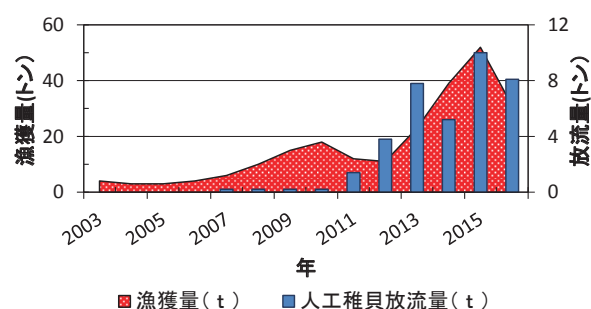


図5 山口県アサリ人工稚貝放流量と漁獲量の推移
(2003～2016)

この噴流ジョレンを用いることで、稚貝を傷めることなく1日当たり夾雑物込みで2～3トンの稚貝回収が可能になりました(図4)。なお、回収直後の夾雑物混入率(重量%)は2014年が35%、2015年が25%であり、夾雑物の多くは小石や砂、泥、ウミユナ、貝殻でした。夾雑物の混入率は、稚貝の回収を繰り返すうちに年々減少しています。

生産した人工稚貝は、共同漁業権区域内において網で保護放流しながら母集団を造成することを条件に県内の漁協に無償で配布しています。なお、保護区域内では母集団を健全に維持するため、毎年30mm以上の成貝を間引き漁獲・販売しています。この取り組みは2010年から本格的に始まり、現在は県内28の地域であわせて30,110m²の被覆網面積で行われています。こうした母集団による再生産や間引き漁獲によって県のアサリ

漁獲量は増加傾向に転じています(図5)。

8. 生産コストを大幅にカット

アサリの育成に必要な肥料を格安のたい肥に置き換えることで肥料コストを大幅に削減することができました。この結果、1.5haの海水池での育成経費(管理職員の人件費や施設の減価償却費を除く)は、人件費205万円、2mm稚貝生産費23万円、電気代70万円、肥料代20万円、その他経費82万円、計400万円となり、稚貝を年間13トン(単価300円/kg)販売することで収支が均衡化するレベルに達しました。山口県内には利用可能な3ha以上の遊休池が今もなお残っており、水門や底質環境を修復すれば利用することができます。10ha以上の海水池を利用すればさらに船舶導入などによる機械化も可能になり、商業的に実施することも夢ではないと考えています。

第13回

アサリの今後



— アサリ資源は回復が困難と考えたとき、新しい地平が開ける —

東京海洋大学産学・地域連携推進機構

客員教授 鳥羽 光晴

1. はじめに

4年前、本連載の第1回としてアサリ資源の減少とその回復に対する考え方を示しました¹⁾。12回目である今回に再び臆面もなく掲載することになりましたが、今回は前回はちゃぶ台返しするような話をします。新たな視点とするのはいわば「アサリ資源は回復できない」ということです。その上で今後の方向を考えることが本稿の主題です。たった4年で言うことが大きく変わってしまうことで著者のいいかげんさが露呈したとも言えますが、正直なところなのでご批判を覚悟の上でお話します。

4年前に比べて現在のアサリの減少はさらに著しく、かつてのアサリ漁業は事実上消滅してしまった海域が少なくありません。まさにアサリ研究者、技術者はその存在意義を失いつつあります。

そのような切迫感が本稿の背景にあります。

2. アサリ減少の再点検

どうして新たな視点を設定しなければならないのか。まずはこの点からお話します。1960年代以降のアサリ漁獲量の変化は4つの時期に分けることができます(図1)。わかりやすく5年単位で切ってみると、第Ⅰ期は1985年までの高位水準期で10万トン以上の漁獲が続いていました。第Ⅱ期は1995年までの10年間で、約4万トンまで急減した第一次減少期ともいべき時期です。第Ⅲ期は2010年までの15年間でほぼ3~4万トンを保っていた低位安定期。そして2010年から現在まで続く時期が第二次減少期にあたる第Ⅳ期で、直近の漁獲量は1万トンを大きく割り込んでいます。

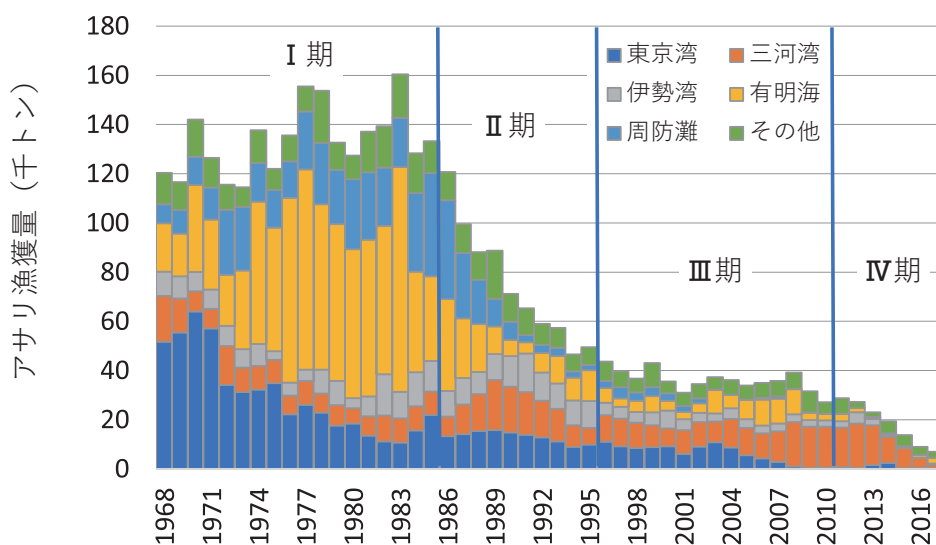


図1 我が国のアサリ漁獲量の変化

減少の経過から第Ⅰ期～第Ⅳ期の4期に区別することができる。詳細は本文。

このうち、第Ⅱ期については前報¹⁾でも触れたように様々な減少原因が取り上げられました。しかし、多くの研究努力にもかかわらず原因は特定されておらず、いくつかの有力と思える要因が列挙された段階で原因究明はほぼ停止しました²⁾。第Ⅱ期の減少原因の究明が行われたのは主として第Ⅲ期においてであり、実はこの時には漁獲量は低位ではあるものの安定していたのです。そして第Ⅱ期の減少原因究明が下火になった2010年代になって第Ⅳ期の急減が始まりました。第Ⅳ期の減少は現在も続いており、あたかも際限なく0に近づいていくような低下を見せています。

第Ⅱ期と第Ⅳ期はともに減少期であり、指摘されている減少原因には冬季の波浪減耗や貧栄養など両期に共通する要因もあります。しかし注目すべきは両期で異なる要因であり、第Ⅱ期では埋め立て、乱獲に加えて、貧酸素などの環境悪化が取り上げられましたが²⁾、第Ⅳ期では新たな食害³⁾、病害⁴⁾、高温化^{5,6)}などが指摘されています。つまり、近年の第Ⅳ期では以前と異なったことが起きているということです。

一方、両期を含めて全期に共通する特徴は減少が一方的であり、回復したことは一度もないということです。ある要因がアサリの減少をもたらしたとき、もしその要因がなくなったとしたらアサリは回復してくるはずですが、裏返して見れば、アサリが減少し続けているということは、減少をもたらす要因が働き続けているということになります。第Ⅳ期の減少は第Ⅱ期の減少要因に新たな要因が加わった結果と仮定することもできます。

3. 資源回復への対策

資源を回復させるための対策は、いずれも悪化圧力を軽減あるいは除去しようとするものです。このとき、悪化要因を除去した後、再び同じ要因が再発することがなければ対策はひとまず終了し、漁獲量が回復することが期待できます。しかし、もし悪化要因が働き続けているなら、対策を続けていかななくてはなりません。継続して働く要因に対しては、いわば終わりの見えない戦いを続けていかななくてはならないのです。悪化要因が常在する状態が「普通の状態」となってしまった現在では、悪化要因がない状態つまり「普通ではない状態」にするには何らかの手段を講じ続けな

ければなりません。さらに、その要因が一つではなく、複数の要因が重複して働いているとすれば、対策にかかるコストはさらに大きくならざるを得ません。

4. これまでの認識

これまでの認識の問題点が2つ考えられます。1つは対策にかかるコストの評価が必ずしも十分ではなかったこと、2つ目は対策をいつまで続ければいいのか曖昧だったことです。

資源の自律的な再生産に依存していたとき、採算性の認識が希薄になっていた感は否めません。当然ながら、自然発生した資源にはコスト、つまり資源を発生させるためのコストや、成貝まで育成するためのコストを考えることはあまりありません。成長した成貝を漁獲し、販売するためのコストだけを考えればいいからです。かつてのように資源が豊富に再生産していた時にはこのような考え方で十分に経営を維持できていました。

その後、稚貝発生が減少し、成貝資源が減少したことによってさまざまな対策が取られるようになりました。稚貝の移殖放流、漁場環境の改善・維持管理などです。このとき、他地区からの移殖放流では稚貝の代金を支払わなくてはならないため、漁獲金額と対比させたコスト計算がされました。しかし、一方の漁場環境の改善・維持管理のためのコストがきちんと計算された例は多くないのではないのでしょうか。これには、例えば覆砂、削濤、築堤などの土木工事を伴う対策は公的資金が投入されることが多かったからかもしれません。また、現場関係者は毎年の資源変動の大きさを知っており、トライアンドエラーは付きものだと思っていたこともあるでしょう。自然発生した資源のコストを考えないという意識が、稚貝の発生促進や保護といった方策のコスト評価をもあいまいにさせてきたきらいがあるかもしれません。言うまでもありませんが、稚貝発生を促進するために覆砂をしたとき、最終的に覆砂コストに見合った漁獲金額の増加があったかどうかの評価が必要です。

もう一つは、土木工事などによって漁場環境を改変したとき、その効果が長期間にわたって継続すると考えるなら（そのようなことはほとんどありませんが）、漁場改善事業を繰り返し実施する

という意識はあまりありません。これまでの多くの例で、同じ場所で同じ漁場改善策を継続的に実施した例はほとんどないでしょう。事業実施後は漁協が主体となって漁業者ができる範囲で軽微な維持管理をしていくというのがせいぜいではないでしょうか。ある悪化条件を緩和あるいは取り除けば、持続期間はわからないけれど、とりあえずの間は改善効果が継続すると曖昧に見ていたのではないのでしょうか（もちろん書類上は耐用年数や減価償却期間などは計算していたでしょうが）。

こういった認識の背景には、「天然資源にはいいときもあれば悪いときもある」、「そのうち回復するんじゃないか」といった漠然とした期待があったことでしょう。しかし、そのような過去の延長線上に立つ考え方はすでに通用しなくなっているように思えます。

5. 新しい認識

一足飛びに結論を言うようで危険極まりない話なのですが、今後を考えるための一つの見方（あるいは仮定）として私なりの現状認識を示します。現在のアサリ漁獲量（資源量）の減少には温暖化を象徴語とする大規模な地球環境変動の影響が大きく働いていると考えています。言うまでもなく、温暖化では水温や気温が高くなるだけでなく、気候パターンの変化、気象の極端化、海面変動などが加わって様々に自然環境が変化します。アサリにとっては、夏季の高温化、冬季の温暖化、波浪の激化、食害生物の変化、餌料プランクトンの変化などがあり、これに直接人為的な海域栄養塩の低下、新規病害生物の移入などが加わるでしょう。ここでは紙面の都合上詳細を紹介することは控えますが、温暖化は二枚貝食害種の増加など直接的な死亡要因を悪化させることがすでに明らかになっています^{7,8)}。さらには、産卵量の減少、加入稚貝の減少、成長速度の低下などそれぞれの二枚貝固有の個体群動態にも様々な形で悪影響を与えていることは一般的な事実となっています^{9,10)}。

例えば、アサリでは最近クロダイやカモ類などの食害生物の影響が指摘されています¹¹⁾。これを「そのようは食害なら今までもあったではないか」と簡単に片づけてしまうのは危険に感じます。もし、環境変動によって食害生物の増加や来遊時期の長期化、あるいは食性の変化が起きているな

ら、これまでとは全く異なった大きさの食害圧を今後も継続して与えることがあるかもしれないからです。環境変動はナルトビエイのように新規の食害生物の来遊をもたらすことがあります。既存の食害生物を変化させてしまう可能性も十分にあるでしょう。

また同じく、稚貝発生はあるが成貝になるまでに消失してしまうこと、そういった稚貝を被覆網などで保護すれば成貝まで育成できることが多くの海域で挙げられています¹¹⁾。この原因はまだ特定されていませんが、アサリの生活環の中で底生期に何らかの障害があることを示しています。底生期に働く減少要因でかつ被覆網などで緩和できるものは、食害、波浪による洗掘などがまず思い当たります。これらについても環境変動と関連があると想定することに必ずしも無理があるとは言えないでしょう。

もし資源減少の原因が大規模な環境変動であるとするなら、その変動が改善されるまで、これからも悪化要因が継続して働き続けることとなります。言い換えれば資源の自律的な回復（過去への回帰）はそれまで期待できないということになります。今後を考えるためにはこの認識が大前提であり、この認識に基づく新しい方策が必要になります。この認識によってこそ新しい展望が見えてくるとも言えます。これまでの延長線上で資源回復を求めて右顧左眄するのはもどかしく、今後の、いや現在の漁業現場を活性化するには早期に思い切った判断が必要と感じます。

6. 今後の展開

キーワードは「採算性」です。何をいまさらという人が多いでしょう。しかし、上に述べてきたように、資源の自律的な回復が期待できないと考えたとき、正確なコスト計算が不可欠になります。なぜなら、そこではこれまでのように自然発生した天然資源を「漁獲」するのではなく、人為的に作った漁獲対象群を「収獲」することが事業の基本になるためです。このように言うと、漁業から養殖業へ移行することを主張しているかのようと思われるかもしれませんが。もちろん養殖はこれからの内湾貝類産業にとって重要な事業パターンになると思われ、鋭意追求していくべき領域です。しかし現時点では、すべてを人為管理下に置

いた完全養殖だけが最終形ではありません。海域の一次生産（餌料プランクトン）に依存する二枚貝生産では、海域の生産力を利用した保護育成が中心になるでしょう。

近年の東京湾での一例を紹介しましょう。東京湾ではアサリ稚貝～成貝が冬季の波浪によって洗掘死亡することが強調されています¹²⁾。これまで波浪による洗掘抑制のために被覆網¹³⁾（図2）や建て網（図3）などによる保護を試験してきましたが十分な保護効果が得られませんでした¹⁴⁾。ところが近年、秋季にアサリを港湾岸壁上の陸上水槽に移してごく弱く自然海水を流水にしたところ、春までに8割前後のアサリが生き残るという結果が得られました（千葉県漁連未発表）（図4）。

これまでの干潟域での洗掘保護では海水の流通を確保するためにハードな構造物は想定せず、網や杭などの組み合わせによって流出限界以下まで底面流速を抑制する手法を考えてきました。しかし、その手法では一冬にたとえ数時間でも流出限界を超える流速が発生したときにはアサリは失われてしまいます。また流出限界以下であっても、繰り返し強い流速にさらされるとアサリは疲弊して潜砂が不十分になり、結果的に洗掘されてしまうと思われます。つまり、今回の情報によって冬季の洗掘防止には完全に波浪を遮蔽する構造物（今回は陸上水槽）が必要ということが明らかになりました。

以下は現在試験中ですが、冬季に陸上水槽あるいは干潟上に設置した構造物などにアサリを移して保護できた場合、洗掘死亡の恐れなくなる春以降にアサリを一般漁場などに移して育成し、次の冬までに漁獲することになるでしょう。このとき大切なのは、施設中で保護したアサリは春になって「放流」するのではなく、漁場に移したとしても管理下に置いて最終的な漁獲（収穫）まできちんと見届けることです。漁獲金額を把握することによって、保護にかかったコストと対比してその手法が採算に合うかどうか評価することができます。もし結果がプラスなら拡大適用していく可能性が生まれるし、マイナスであってもどの程度の手法改善を行えば実用化できそうなのか見通しが得られます。「放流」してしまえば保護した群の水揚げ評価ができなくなってしまいます。つまりそこでは、不特定不明量といってもいい資源を取扱うのではなく、特定群確定量の人為管理

下にあるアサリを取り扱うのです。



図2 東京湾盤洲干潟におけるアサリの冬季波浪減耗抑制のための被覆網による保護育成実験風景。



図3 東京湾三番瀬におけるアサリの冬季波浪減耗抑制のための建て網による保護育成実験風景。



図4 東京湾盤洲干潟地先漁港の岸壁での陸上水槽によるアサリ越冬実験風景。水槽には港内の海水を弱く流水にしている。

7. 技術ライブラリ

これまで様々なアサリの保護育成技術が開発されてきました。被覆網による食害の防止¹⁵⁾、洗掘の抑制¹⁶⁾、稚貝の集積保護¹⁷⁾、網袋による天然採苗¹⁸⁾、稚貝の保護育成¹⁹⁾、囲い網や杭打ちによる食害の防止²⁰⁾、碎石などの覆砂による稚貝発生の促進²¹⁾と保護育成²²⁾、さらには築堤池を使った人工種苗の中間育成²³⁾など。これらのうちのいくつかの手法は天然資源の回復を標榜しつつ開発されたものが少なくありませんが、それらはほぼすべて上に述べた特定群確定量の保護育成にそのまま応用することができます。

養殖に目を向けると、既存の二枚貝養殖手法はマガキやホタテガイなどで行われている垂下養殖が主体であり、水深が深い入り江など波浪が遮蔽されて筏などが設置しやすい場所で行われています。これに対し、全国のアサリの主要生産域は広大な干潟を主漁場としていることが多く、干潟内はもちろんその沖合でも水深が浅く開放的な海面になっています。こういった海域では既存の垂下養殖手法をそのまま導入することはできません。しかし、高波浪域で適用できるアサリの網袋による天然採苗法²⁴⁾や延縄式垂下養殖法²⁵⁾が開発されています。またアサリ以外に目を向ければ、干潟などの潮間帯で適用できるマガキの天然採苗法が開発されています²⁶⁾。ヨーロッパのカキ養殖は元来干潟に設置した棚に網袋を置いて行われており²⁷⁾、干潟浅海域でのかご（バスケット）を用いた養殖法はすでに一般的になっています²⁸⁾。アサリ生産海域で導入できる二枚貝養殖技術は少なくありません。

現時点ではアサリ育成技術のライブラリはすでに厚く^{13, 29-31)}、これらの手法を組み合わせることによって、天然種苗であれ人工種苗であれ、種苗確保、中間育成、成貝育成を展開できるようになっています。実施場所の条件や運営主体の事情などに合わせ、保護の手厚さや自然への依存度を考慮しつつ、これらの中から手法を選択して適用することがまずは基本になるでしょう。前報で資源回復のためには技術ツールのライブラリ化が必要と言いましたが、それらのツールはそのまま保護育成に使えるのです。

8. 今後に向けて

これまで栽培漁業というと人為的に生産した種苗の放流が事業の基本にあるような見方が中心でした。「作り、育てる」と言いつつ、種苗を作って放流することが中心で、放流した後に「育てる」ことは事実上困難であった場合が少なくありませんでした。アサリを代表とする内湾貝類は干潟などの浅海域が生産場であり、「育てる」ことに関しても人的な関与がしやすい対象種です。育てることを重視し、最終的な採算性を指標として経済事業としての評価をしつつ改善していくことが、今後の内湾貝類生産業の基本的な考え方になるように思われます。それを栽培漁業と呼ぶか養殖業と呼ぶか、あるいは別の呼び方をするかは重要なことではありません。過去のような資源の自律的な回復が見込めないと言っても、まだ相当量の稚貝発生が見込める海域が多くあります。また大規模な環境変動に見舞われているといっても、大きな生産力を持った海が失われたわけではありません。その生産力を最大限に利用して、豊かな水産生物を生産し、漁業現場を新たなフェーズに移していくことに知恵を絞るべきでしょう。

参考文献

- 1) 鳥羽光晴 (2015) アサリの資源回復をめぐるこれまでとこれから. 豊かな海, 36: 57-63.
- 2) 鳥羽光晴 (2017) アサリ資源の減少に関する議論への再訪. 日本水産学会誌, 83(6): 914-941.
- 3) 上原陽平 (2017) 浜名湖におけるアサリ資源回復の取組. 豊かな海, 41: 34-38.
- 4) Waki T, M Takahashi, T Eki, M Hiasa, K Umeda, N Karakawa, T Yoshinaga. (2018) Impact of *Perkinsus olseni* infection on a wild population of Manila clam *Ruditapes philippinarum* in Ariake Bay, Japan. *Journal of Invertebrate Pathology*, 153: 134-144.
- 5) 木村聡一郎 (2014) 夏季高温下におけるアサリのへい死. 大分県農林水産研究指導センター研究報告 (水産研究部編), 4: 1-8.
- 6) 藤井暁彦, 道山晶子, 田中憲一, 横山佳裕 (2016) 高温条件がアサリ稚貝の生残に与える影響の定量化. 水環境学会誌, 39(4): 103-108.
- 7) Beukema JJ, R Dekker, CJM Philippart. (2010) Long-term variability in bivalve recruitment, mortality and growth and their contribution to fluctuations in food stocks of shellfish-eating birds. *Marine Ecology Progress Series*, 414: 117-130.

- 8) Beukema JJ, R Dekker. (2014) Variability in predator abundance links winter temperatures and bivalve recruitment: correlative evidence from long-term data in a tidal flat. *Marine Ecology Progress Series*, 513: 1-15.
- 9) Beukema JJ, R Dekker, JM Jansen. (2009) Some like it cold: populations of the tellinid bivalve *Macoma balthica* (L.) suffer in various ways from a warming climate. *Marine Ecology Progress Series*, 384: 135-145.
- 10) Menge BA, Chan F, Nielsen KJ, Di Lorenzo E, Lubchenco J. (2009) Climate variation alters supply-side ecology: impact of climate patterns on phytoplankton and mussel recruitment. *Ecological Monographs*, 79:379-395.
- 11) アサリ研究会 (北海道, 千葉県, 愛知県, 三重県, 瀬戸内海区水産研究所, 熊本県) (2019) 各地の情勢報告. 第7回アサリ研究会資料, pp. 10.
- 12) 鳥羽光晴 (2016) 東京湾の研究を振り返って, 江戸前の復活とは. 東京湾の漁業と環境, 7: 39-58.
- 13) 水産庁増殖推進部研究指導課ほか (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, pp. 204.
- 14) 鳥羽光晴, 川島時英, 庄司泰雅. 支柱柵施設によるアサリ減耗改善調査 (2006) 水産庁水産基盤整備調査委託事業平成 17 年度成果報告書, pp.18.
- 15) 多賀茂. 被覆網保護対策と資源管理によるアサリ資源回復に向けた取り組み (2014) 豊かな海, 33: 24-28.
- 16) 小林豊, 鳥羽光晴, 川島時英 (2012) 被覆網を用いた春から夏季におけるアサリ人工稚貝干潟育成試験. 水産技術, 5(1): 67-74.
- 17) 桑原久実, 齊藤肇, 日向野純也, 桜井泉, 福田裕毅, 鳥羽光晴, 小林豊, 岡本俊治, 日比野学, 生嶋登, 渡辺裕倫 (2009) アサリ稚貝の定着を促進する海底協会葬の物理環境の解明. 水産基盤整備調査委託事業報告書, pp.49.
- 18) 日向野純也 (2014) アサリの天然採苗と垂下養殖. 豊かな海, 33: 56-58.
- 19) 清水洋平, 板倉祥一, 川崎琢真, 菊池亜衣子, 井上志乃 (2017) 薄湾におけるアサリ人工種苗の中間育成. 水産技術, 9(3): 119-124.
- 20) 熊本県水産研究センター (2017) 熊本県アサリ・ハマグリ資源管理リファレンス, ナルトビエイ対策編, pp. 46.
- 21) 生嶋登, 内川純一, 枡原正久, 川崎信司 (2012) 沿岸漁場保全 (補助) 事務費 II 碎石を用いた覆砂漁場調査. 平成 23 年度熊本県水産研究センター事業報告, 216-221.
- 22) (国研) 水産研究・教育機構水産工学研究所ほか (2017) アサリ資源回復のための母貝・稚貝・成育場の造成と実証. 水産庁水産基盤整備調査委託事業平成 29 年度成果報告書, pp. 26.
- 23) 岸岡正伸 (2019) 海水池で生産したアサリ稚貝で母貝集団を造成へ. 豊かな海, 47: 11-14.
- 24) 鳥羽光晴, 小林豊, 日向野純也, 石井亮, 林俊裕, 岡本隆 (2017) 東京湾盤洲干潟の網袋と人工芝のアサリ天然稚貝の捕集効果. 水産技術, 9(3): 101-112.
- 25) 安信秀樹, 磯部公一, 金尾博和 (2017) 静穏海域外で延縄施設を用いたアサリの垂下コンテナ飼育. 水産技術, 9(3): 133-139.
- 26) 長谷川夏樹, 坂見知子 (2019) 日本におけるカキ採苗の変化とシングルシード天然採苗技術. 養殖ビジネス, 2019 年 4 月号: 14-17.
- 27) Gosling E. (2003) Bivalve culture. In "Bivalve molluscs, biology, ecology and culture", Fishing News Books, Blackwell Publishing, Oxford, UK, pp. 284-332.
- 28) 吉本剛宏 (2019) シングルシードによる "日本式" バスケット養殖の普及. 養殖ビジネス, 2019 年 4 月号: 9-13.
- 29) 水産庁 (2008) 干潟生産力改善のためのガイドライン, pp. 206.
- 30) 水産庁増殖推進部 (2013) 有明海漁場造成技術開発事業, 二枚貝漁場環境改善技術導入のためのガイドライン, pp. 221.
- 31) 水産庁増殖推進部 (2018) アサリ漁場環境改善技術導入のための作業手引き, 有明海の豊かなアサリ資源再生のために, pp. 81.

