

閉鎖性海域の環境創生プロジェクト研究 適正養殖量把握のためのアコヤガイ成長モデルの開発 真珠養殖の英虞湾への影響および適正養殖量の検討

渥美貴史・増田 健・山形陽一

目的

英虞湾は真珠養殖の盛んな海域であるが、その環境（特に底質）は悪化の一途をたどっている。悪化原因の一つに真珠養殖の影響があると考えられるが、その影響の程度はよくわかっていない。本研究では、真珠養殖が英虞湾の環境に与える影響および適正養殖量を推定することを目的とした。そのため、アコヤガイの生理学的調査に加え、貝掃除に伴う負荷量についても定量的調査を行い、真珠養殖に関連する物質の流れを定量化した。また、アコヤガイの生理学的知見を基に、アコヤガイ成長モデルを開発し、別途開発された生態系モデルに組み入れることにより、英虞湾における真珠養殖の影響の数値的評価を試みた。

本研究の詳細については、英虞湾物質循環調査研究報告書（千葉 2008、渥美 2008）を参照されたい。

方法および結果の概要

1. 真珠養殖に関連する物質の流れの定量化

アコヤガイおよび貝掃除について、全有機炭素（TOC）、全窒素（TN）、全リン（TP）、有機物（POC、PN）と無機態栄養塩（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）を分析した。

1) 養殖貝数：英虞湾内の真珠養殖業者を対象に、2003年の養殖貝数を聞き取り、月毎の養殖貝数を推定した。

2) ろ水量：珪藻を指標にした間接法で測定した（渥美ら 2004a）。貝肉乾重量、水温、季節変化との関係について実験を行い、ろ水量と貝肉乾重量、ろ水量と水温との関係式を求めた。

3) 呼吸量：チャンパーに貝を収容し、チャンパー通過前後の溶存酸素量の差から呼吸量を算出した。貝肉乾重量、水温との関係について実験を行い、呼吸量と貝肉乾重量、呼吸量と水温との関係式を求めた。

4) アンモニア排泄量：貝を収容した水槽中のアンモニア濃度の変化からアンモニア排泄量を算出した（渥美ら 2004b）。貝肉乾重量、水温、季節変化との関係について実験を行い、アンモニア排泄量と貝肉乾重量、アンモニア排泄量と水温との関係式を求めた。

5) 排泄物量：水槽に貝を収容し、収容時間中に排泄される易沈降性排泄物（水槽底に沈降した糞）と難沈降性排

泄物（沈降せず懸濁していた粒状物質とアンモニアを主体とする溶存物質）を測定し、年間量を推定した。また、筏 1 台あたりのアコヤガイの排泄物量と筏・樽の付着生物の排泄物量の比率は、有機炭素、有機窒素ともに、貝：筏：樽 = 10：5：1 との報告がある（植本ら 1978）。そこで、易沈降性排泄物量および 2003 年度の英虞湾の登録筏台数 17,172 台（三重県真珠養殖連絡協議会調べ）から、筏の付着生物による易沈降性排泄物の年間量も推定した。

6) 貝肉乾重量および貝肉中の TOC、TN、TP 含有率：5～12 月まで各月の貝肉乾重量と貝肉中の TOC、TN、TP 含有率を測定した。

7) 摂餌量と易沈降性排泄物量：真珠養殖漁場において、貝を収容したチャンパーに生海水を注水し、ろ水量と易沈降性排泄物量を測定した。ろ水量は、Chl. *a* を指標にした間接法で測定した。また、海水中の粒状物質（POC、PN）を測定し、ろ水量に乗じて摂餌量を算出した。そして、摂餌量と易沈降性排泄物の関係、Chl（蛍光値）と粒状物質の関係式を求めた。

8) 貝掃除洗浄排水による負荷量：貝を収容したカゴが貝掃除機内を通過する時の洗浄排水中の TOC、TN、TP 濃度を測定し、各濃度と洗浄水量から貝掃除に伴う時間当たりの負荷量を求めた。また、アンケート調査により業者 1 件あたりの月ごとの作業時間を算出した。貝掃除負荷量と業者の作業時間を基に、英虞湾における貝掃除洗浄排水による年間負荷量を推定した（山形ら 2007）。

以上の実験データを基に、英虞湾の真珠養殖に関連する 1 年間の物質量を推定した（図 1）。海底への沈降量（アコヤガイと付着生物の糞、へい死により発生した貝肉、浜揚げ後再び海に投棄される軟体部の総量）は TOC 量で 74.4tC、TN 量で 15.6tN であった。これらの量は、浜揚げにより英虞湾から系外搬出される貝柱の TOC 量で 7.8 倍、TN 量で 6.2 倍に相当した。

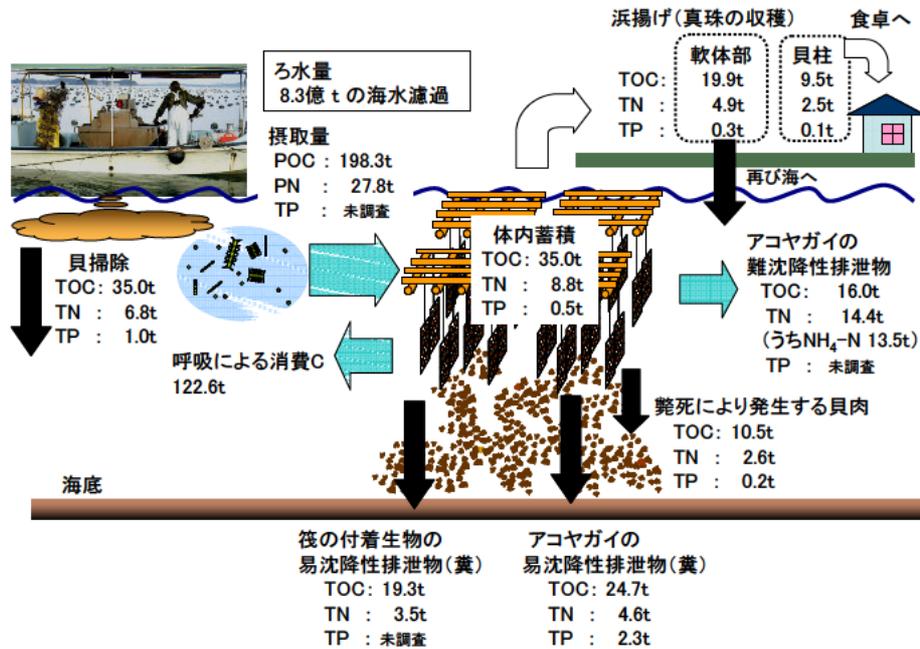


図1. 英虞湾の真珠養殖に関連する物質の流れ（年間量）

2. 糞の沈降速度と水平拡散距離

真珠養殖は海底に年間 100tC 前後の物質を沈降させることが明らかとなった。アコヤガイの糞の沈降速度が、懸濁物より速いことは容易に推測されるが、アコヤガイの糞の沈降速度に関する知見は乏しい。そこで糞の沈降速度を測定した。

アコヤガイが排泄した糞を直ちにろ過海水入りのアクリルパイプ（内径 15cm×長さ 120cm）に入れ、糞が 50 cm 沈降するのに要する時間を計測した。図2に示したように、大きさ（糞の長さ×幅）が 5mm²未満の糞は、大きさに比例して沈降速度が大きくなり、平均沈降速度は 1.32cm/秒（47.5m/時間）であった。一方、5mm²以上の糞は、大きさに係わらず沈降速度がほぼ一定で、平均沈降速度は 2.00cm/秒（72.0m/時間）であった。よって、英虞湾奥部（平均水深約 7m）において、アコヤガイの糞は極めて短時間（10 分以内）に海底へ到達する計算となる。

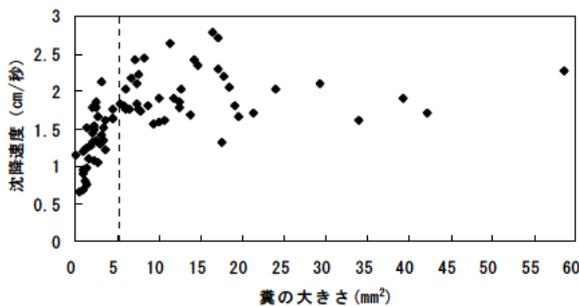


図2. 糞の大きさと沈降速度

次に、水深 10m の漁場に、流速 3cm/秒（湾奥部の平均的な潮汐流速）の一方方向流がある条件で、5mm²以上の糞が沈降する時の水平拡散距離と糞の堆積状況を萩野（1977）の式を用いて計算した。糞は排泄地点から 9.0～32.3m の範囲に堆積し、14.1m 離れた距離に最も多く堆積した（図3）。このことから、英虞湾ではアコヤガイの糞の多くは筏から 10 数 m の範囲内に堆積すると考えられた。

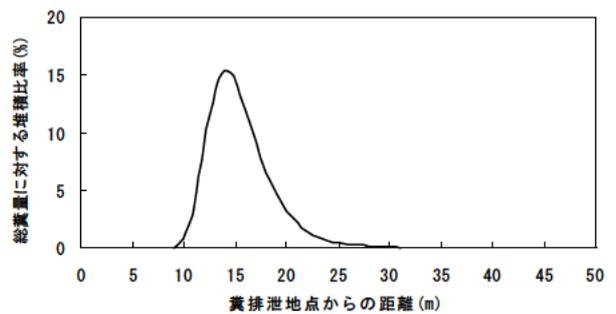


図3. 堆積時における糞の水平分布

3. 英虞湾への影響

真珠養殖による英虞湾への影響として、1) アコヤガイのろ過摂取、2) アコヤガイや筏の付着生物の易沈降性排泄物、3) アコヤガイのへい死、4) アコヤガイの体内蓄積と浜揚げ、5) 貝掃除による影響が考えられる。それぞれの項目について、図1を基に検討した。

1) アコヤガイのろ過摂取

アコヤガイの年間ろ水量は、英虞湾の全水量（2.5 億 t）

の3.3倍に相当した。単純計算すると、アコヤガイは3カ月弱で英虞湾の全海水に相当する水をろ過していることになる。POC摂取量は198.3tC/年、そのうち同化量が157.6tC/年（体内蓄積量35.0tC/年+呼吸による消費量12.6tC/年）であった。PN摂取量は27.8tN/年、そのうち同化量が22.3tN/年（体内蓄積量8.8tN/年+アンモニア排泄量13.5tN/年）であった。これらのことから、アコヤガイは代謝により同化した炭素の77.8%を二酸化炭素として、また同化した窒素の60.5%をアンモニアとして排泄している計算となった。よって、アコヤガイは大量の海水をろ過し、粒状態有機懸濁物を多量に摂取することで、海域表層水の懸濁物濃度を低下させていると考えられた。また、アコヤガイは、従来から考えられている懸濁有機物を海底へ沈降させるという働きだけではなく、海域表層の有機懸濁物を分解無機化する働きを強く行っていることが示された。

2) アコヤガイや筏の付着生物の易沈降性排泄物

アコヤガイの糞は、静水中を40m/時間以上の速度で沈降する（図2）。珪藻およびその遺骸の沈降速度は0.34~2.9m/日であるとの報告がある（細川ら1988）。このことから、アコヤガイは消化吸収できなかつた懸濁物を糞の形にし、300倍以上もの速度で海底に沈降させていると考えられた。また、筏の付着生物の代表種であるマガキの糞も、静水中を沈降速度14.4~64.8m/時間で沈降し（楠木1981）、アコヤガイ同等の沈降速度を示す。従って、アコヤガイや筏の付着生物は海水中の懸濁物を集積し糞の形に変え、筏周辺の一定範囲の海底に極めて短時間で沈降させる作用（局所化作用）を持つと考えられた。

3) アコヤガイのへい死

アコヤガイがへい死すると、その貝肉は腐乱し海底に沈降していく。へい死により発生する貝肉量はアコヤガイの易沈降性排泄物量の約1/2に相当した。アコヤガイがへい死すると、生前に体内蓄積してきた有機懸濁物が筏周囲の海底に沈降するため、負荷の局所化が生じる。大量へい死が生じた場合、一度に多くの貝肉が海底に沈降するため、易沈降性排泄物量の何倍もの有機負荷を筏周辺の海底に加わることになる。

4) アコヤガイの体内蓄積と浜揚げ

アコヤガイの体内蓄積量は、易沈降性排泄物量よりも多く、浜揚げはアコヤガイの体内に蓄積させた物質を陸に取り上げる作用（英虞湾からの系外搬出）がある。しかし、貝柱は食用となり地元で消費されるものの、貝柱量の約2倍ある軟体部は現在のところ未利用のままである。軟体部の多くは再び海に投棄されるため、筏周辺の海底に局所的な負荷を与えていると考えられた。

5) 貝掃除

貝掃除による負荷量は、本研究で推定した真珠養殖に

よる海底への負荷量の中で最も多かった。貝掃除洗浄排水の全てが海底に沈降するわけではないが、海底への有機物負荷量の増大に大きく関与していると考えられた。

以上をまとめれば、真珠養殖は海域表層水の懸濁物を除去集積するものの、その一部を筏周辺に沈積させ、底質を悪化させていると考えられた。そして、底生生物が筏周辺の海底に生息することを困難にさせていると推測された。1960年代は現在の5倍以上の生産量があり（図4）、過密養殖が行われていた。このことから、1950、1960年代の真珠養殖最盛期には、養殖漁場の海底への負荷量は現在よりも相当多く、真珠養殖は英虞湾の底質を中心に大きな影響を与えたものと推測された。

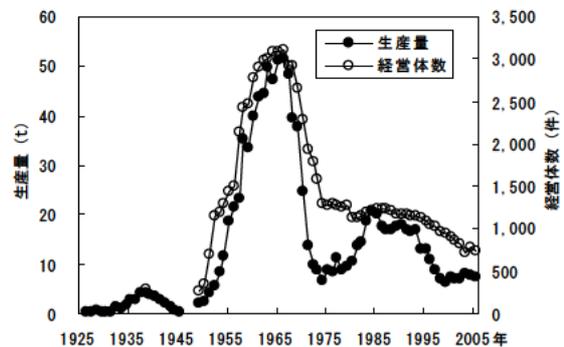


図4. 三重県の真珠養殖業の推移
（出典：漁業・養殖業生産統計年報）

4. 適正養殖量

本研究で作成したアコヤガイ成長モデル（増田ら2007、渥美2008、千葉2008）を別途開発した生態系モデル（千葉2008）に組み入れ、英虞湾における真珠養殖の環境への影響評価を試みた。現在の真珠養殖量（1倍）、最盛期の真珠養殖量（5倍）、真珠養殖のない場合の3通りの計算を行った。湾奥部において、真珠養殖が影響する海底（5km²）への負荷量の計算結果を図5に示した。単位面積あたりの真珠養殖負荷量は、現在の真珠養殖ではPOC沈降量の14%、最盛期には44%を真珠養殖が占め、真珠養殖が筏周辺の底質に影響を与えると考えられた。しかし、真珠養殖負荷量と一般POC沈降量（主に植物プランクトン由来のPOC沈降量）を比較すると、一般POC沈降量は真珠養殖負荷量よりも海底への負荷が大きく、真珠養殖のない場合においても、一般POC沈降量は真珠養殖がある場合とほぼ同等の結果となった。これらのことから、真珠養殖量を現在よりさらに減らしても、海底へのPOC沈降量の著しい減少は期待できないと考えられた。

適正真珠養殖量について、真珠養殖をなくしても海底への負荷を減少させることが期待できないとのシミュレーション結果に基づけば、真珠養殖量は現状維持が適当

と考えられた。従って、今後は開発した生態系モデルの結果検証およびモデルの改良をさらに進めるとともに、英虞湾の底質改善のためには、真珠養殖量を維持しつつ、次の対策を早急にとる必要があると考えられた。

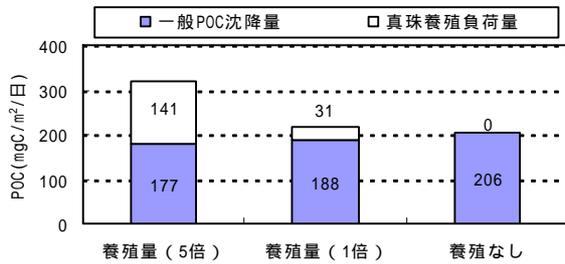


図 5. 湾奥部の海底への POC 負荷量

すなわち、貝掃除の洗浄排水中の有機物量を削減すること、浜揚げ後の貝肉の海洋投棄を全面的に廃止す

ること、である。本研究事業では、貝掃除による負荷削減を図るため、貝掃除洗浄排水処理機を開発した（山形から 2007）。本機は、貝掃除の負荷を 30%以上削減することが可能である。貝掃除負荷削減を浜揚げ後の貝肉の陸上処理と合わせて行うことで、真珠養殖により英虞湾の海底に負荷される有機物量を約 30%軽減することができる。

真珠養殖は英虞湾の自然環境の多大な恩恵を受けて成立している産業である。環境に配慮した真珠養殖の実現に向け、真珠養殖業者の組織的な取り組みに期待したい。

関連報文

三重県（2008）英虞湾物質循環調査研究報告書