

英虞湾の真珠養殖漁場における アコヤガイの成長過程と汚濁負荷に関する現地調査

上野 成 三* 灘 岡 和 夫**・高山百合子***
勝 井 秀 博****・山田二久次*****

1. はじめに

各地の養殖漁場で、海底のヘドロ化や赤潮の慢性化などの漁場老朽化が進行し、養殖魚介類の病害や斃死が増え生産性が低下している。このような状況下、持続的養殖生産確保法（養殖新法）が制定され、適正養殖容量に基づいた漁場管理が強く求められている。漁場の老朽化を防ぎ持続的な養殖事業を行うには、漁場の自然浄化能力を考慮した養殖密度、給餌方法などを検討する必要がある。また、老朽化が極度に進行した漁場では、ヘドロ除去や海水交換などの環境浄化対策を実施する必要がある。しかし、多数の漁業者が自由競争的に海域を利用している現状において、漁場全体の管理ルールや浄化対策をとりまとめるのは困難な課題である。その実現のために、検討段階から対策効果を事前に評価し、幅広い海域利用者の合意形成を支援することが有効と考えられる。

そこで、適正養殖容量と環境浄化対策の検討ツールとして、著者らは海域の流動・水質・低次生態系に加えて、養殖資源も予測可能な海域環境管理システムを開発中である(上野, 2000)。この種の既存モデルとしては、水温・塩分・水質などの環境情報を既知として水産生物の変動を予測するもの（例えば, Powell et al., 1992; 杜多, 1998）、養殖資源量は既知として、赤潮や貧酸素化などの水質変化を予測するもの（例えば, 片岡ら, 1998）がある。しかし、今後、適正環境容量の算定には、海域環境と水産資源の相互作用をモデル化したシステムが必要不可欠であるものの、本システムの開発に必要な流動・水質・水産生物が一体となった現地データはほとんど存在しない。そこで、真珠養殖が盛んな英虞湾においてアコヤガイ 2000 個を試験養殖し、養殖に関わる物質循環データを通年にわたり連続観測した。本研究では、貝の成長過程、貝の成長と水質環境の関係、真珠養殖の汚濁負荷をとりまとめた。

2. 現地調査の概要

調査は、英虞湾の湾奥部に位置する枝湾の立神浦で実施した(図-1)。立神浦は、海域のほぼ全面で長年にわたり真珠養殖が行われ、海底のヘドロ化や有害赤潮の発生など漁場の老朽化問題が深刻な海域である。調査・分析項目を表-1 に、調査内容を図-2 に示す。調査は 1999 年 5 月から 12 月まで、調査筏 X1 でアコヤガイ 2000 個体を試験養殖した。試験に用いたアコヤガイは、従来から使用されてきた国産貝（アコヤガイ A）と、斃死問題を抱える国産貝の代替種として導入されつつある新品種の貝（アコヤガイ B）の 2 種類を各 1000 個づつ用いた。アコヤガイの管理は立神真珠研究会により付着生物除去など通常の養殖と同様の作業を行った。ただし、二枚貝に有害な渦鞭毛藻類ヘテロカプサ・サーキュラリスカーマの赤潮が発生した 8 月から 9 月の時期では、立神浦のほぼ全ての養殖貝は他の海域へ移動したが、本研究で用いた試験貝は移動せずそのまま飼育を続けた。

調査項目は、貝の成長、養殖汚濁負荷量、底質汚濁、環境情報の 4 項目で、各々のデータを毎月取得した。この内、底質汚濁に関する解析は上野ら（2000）で別途詳述した。貝の成長量として、アコヤガイ A, B の各 50 個体の殻寸法、殻・軟体部重量などを計測した。また、全個体の斃死数も随時計測した。養殖汚濁負荷として、貝

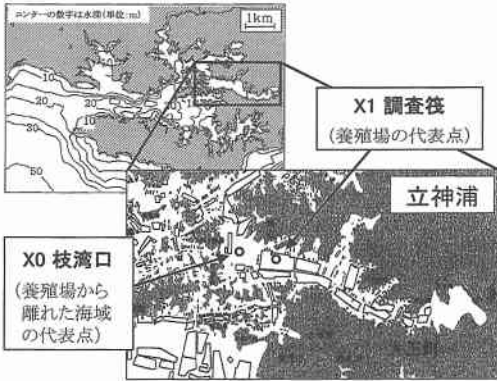
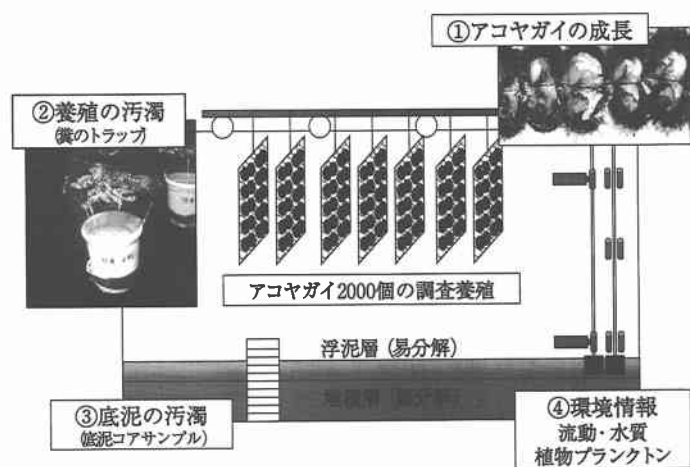


図-1 調査位置

* 正会員 工修 大成建設(株)技術研究所海洋水理研究室
** 正会員 工博 東京工業大学教授 大学院情報理工学研究所
*** 正会員 大成建設(株)技術研究所海洋水理研究室
**** 正会員 工博 大成建設(株)技術研究所海洋水理研究室長
***** 正会員 水博 大成建設(株)(農林水産特別研究員)

表-1 調査・分析項目

調査項目	計測場所	計測層	計測頻度	計 測 項 目	備 考
アコヤガイの成長	X1	—	毎月	殻寸法（幅，長さ，厚さ）	
				湿乾重量（殻，軟体部，生殖腺）	
				軟体部の C, N, S 含有量	CNS コーダー
				貝柱の変色	色彩計
養殖の汚濁	X0, X1	2 m 層	毎月	貝，筏，海域からの沈降物量（湿乾重量）	
				IL, 含水率, COD, TP, T-SiO ₂ , クロロフィル a, フェオ色素	JIS などによる分析
				TOC, TN, TS, AVS	CNS コーダー
底質の汚濁	X0	1 層 (0-1 cm)	毎月	PH, ORP, TS	現場計測
	X1	3 層 (0-1 cm, 4-6 cm, 19-20 cm)		IL, 含水率, COD, TP, T-SiO ₂ , クロロフィル a, フェオ色素	JIS による分析
				TOC, TN, TS, AVS	CNS コーダー
	X0-X5	0-30 cm の範囲を 13 層分割	夏季	含水率・TOC, TN, TS, AVS	CNS コーダー
				せん断強度	簡易式ベーン試験機
環境情報	X1	3 層 (2 m, 5 m, 海底上 1 m)	毎月	SS, VSS, COD, D-COD, TOC, DOC, TP, DP, PO ₄ -P, TN, DS, NO ₃ -N, NO ₂ -N, NH ₄ -N, T-SiO ₂ , D-SiO ₂ , クロロフィル a,	採水 JIS などによる分析
			10 分間隔	T, S, DO, ORP, pH, 濁度, 蛍光強度, 流向・流速	計測機器による連続計測



式の負荷は、淡水タンクに沈降した排出物と死滅状態にある貝の付着物を合計したものとした。沈降物トラップによる計測は毎月実施し、貝掃除の負荷計測は、洗浄式は調査期間中3回、水処理式は1回実施した。採取した沈降物や排水は遠心分離機にかけ粒子状のものを分離し、表-1に示した各種の分析を実施した。海域の環境情報としては、表・中・底層の3層での採水による水質分析、流動・水温・塩分・溶存酸素・植物プランクトンは計測器による連続観測を行った。

本研究の解析に用いた項目の分析方法の内、特筆すべき点を述べる。養殖海域での沈降物には貝殻やカサネカンザシなどの炭酸カルシウム成分が多量に含まれ

る。環境悪化の要因は分解過程で酸素を消費する有機物であるので、炭酸塩成分を除いた分析を行う必要がある。そこで、分析サンプルに塩酸処理による炭酸塩除去の前処理を行った後、CNS コーダーにより全炭素量を計測した(日本海洋学会, 1986)。この分析値を粒子状物質の全有機炭素量 POC として、養殖負荷の解析に用いた。

からの負荷、筏の付着生物からの負荷、海域自体の自然負荷、貝掃除の負荷の4項目を計測した。貝の負荷は、アコヤガイ50個を沈降物トラップ付きの養殖カゴに入れ水深2mに吊るし約24時間後に回収して求めた。養殖筏の付着生物の糞や付着生物自体の落下などの負荷は、貝を吊るしていない筏の下に沈降物トラップを設置して収集した。海域自体の自然負荷は、養殖漁場から離れた枝湾口部のX0に沈降物トラップを設置して計測した。貝掃除の方法は、ブラシとジェット水流により機械的に付着生物を除去する洗浄式と、貝を淡水につけて付着生物を死滅させる水処理式の2種類が一般に行われている。洗浄式の負荷は、貝掃除機の排水を採取するとともに、掃除された貝数と排水量の関係を計測した。水処理

る。環境悪化の要因は分解過程で酸素を消費する有機物であるので、炭酸塩成分を除いた分析を行う必要がある。そこで、分析サンプルに塩酸処理による炭酸塩除去の前処理を行った後、CNS コーダーにより全炭素量を計測した(日本海洋学会, 1986)。この分析値を粒子状物質の全有機炭素量 POC として、養殖負荷の解析に用いた。

3. 現地調査結果

(1) アコヤガイの成長過程

アコヤガイ A, B について、殻と軟体部の乾燥重量と死亡率の経時変化を図-3に示す。殻と軟体部の乾燥重量のデータは50個体の平均値である。殻重量は、A, Bともに、5月から12月までほぼ毎月増加するものの、8

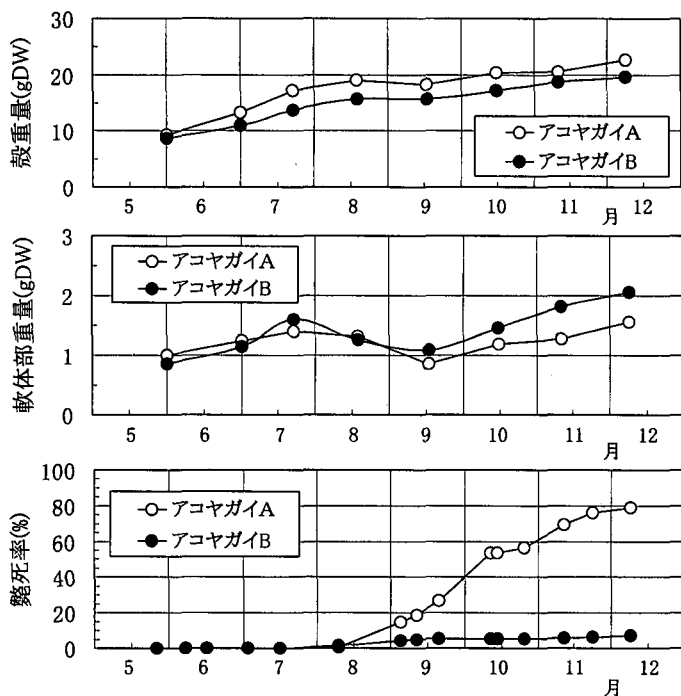


図-3 アコヤガイの殻・軟体部の重量と死亡率の経時変化

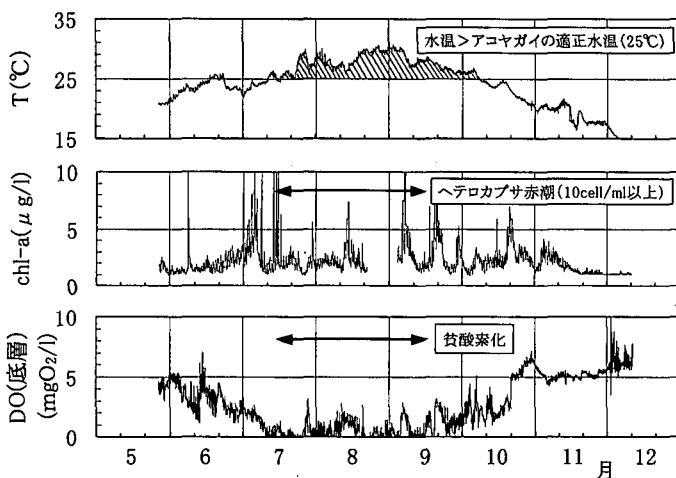


図-4 T・chl-a・DOの経時変化

月から9月にかけて増加量が減少する傾向を示した。軟体部重量は、A、Bともに、5~7月で増加、8~9月で減少、10~12月で再度増加した。特に、9月の貝の軟体部は水分が多量に含まれる、いわゆる水貝状態となった。なお、12月の重量はAよりBが約30%増加した。死亡率は、AとBとの違いが大きく、最終の12月の死亡率はAで80%、Bで5%と大きな差が出た。

以上より、8~9月に貝の軟体部重量が減少し殻の成長が鈍化するなど、貝の衰弱が激しいことが明らかになっ

た。また、2種類の貝の差として、アコヤガイAに比べてBの方が明らかに成長が良く死亡率が少ない。これは、Bが感染症に強く高水温に適した種であるためと予想される。

(2) アコヤガイの成長過程と水質環境の関係

図-3で示したアコヤガイの成長パターンの原因を検討するため、海域の環境情報として、貝の設置層である水深2mにおける水温T、クロロフィルa、chl-a、および、海底上1m層での溶存酸素DOの経時変化を示す(図-4)。水温は7月中旬から9月後半まで25°C以上となり、アコヤガイの適正水温を越えた状態であった。貝の餌となる植物プランクトンは、8月を中心に減少する傾向が見られた。また、7月中旬から9月中旬にかけて二枚貝に有害なヘテロカプサ赤潮が発生した。底層の溶存酸素は7から9月まで貧酸素状態が持続した。しかし、ここでは示していないが、貝の設置層2mでは有意な貧酸素化は生じなかった。

以上より、図-3で示した8月から9月における貝の衰弱の原因として、貝の適正水温を越える高水温によるエネルギー消耗、餌不足による消耗、有害赤潮によるストレスが上げられる。貧酸素化は貝の斃死の原因とされることが多いが、本調査では貝の設置層で貧酸素化が生じておらず衰弱や斃死の直接的原因ではないと言える。

(3) 真珠養殖負荷量の経時変化

真珠養殖負荷量の経時変化を検討する。アコヤガイA、Bが排出する負荷量(貝数100個・1日当たり換算)、養殖筏から沈降する負荷量(1m²・1日当たり換算)、海域の自然負荷量として枝湾口部の

X0での沈降物負荷量(1m²・1日当たり換算)の経時変化を図-5に示す。負荷量は粒子状有機炭素量POCの沈降量として示した。まず、アコヤガイA、Bおよび筏からのPOC沈降量は、枝湾口部のPOC沈降量に比べて、10倍以上の大きい値を示した。真珠養殖に伴う貝の糞や筏付着生物の沈降物は海域自体の自然沈降物に比べて非常に大きな量となることが分かる。また、アコヤガイA、BのPOC沈降量は8月から9月に大きく減少した。これは、この時期の貝の衰弱により貝のろ水量や摂餌効率

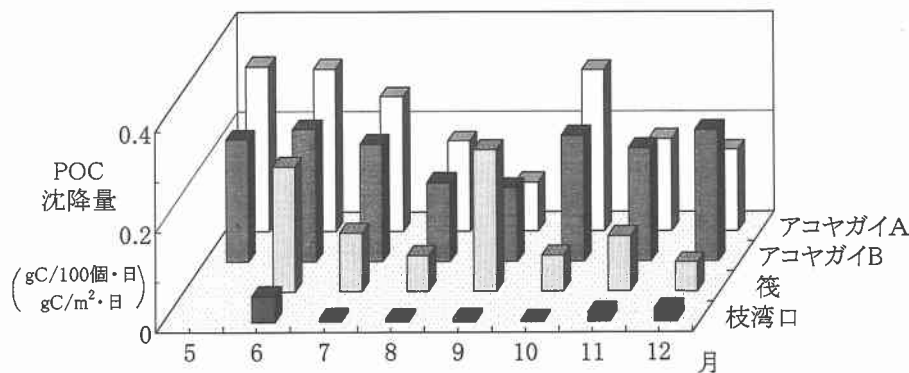


図-5 POC 沈降量の経時変化

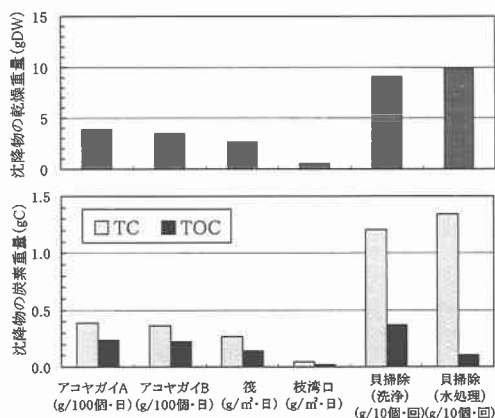


図-6 貝・筏・海域・貝掃除の負荷量

が低下したためと考えられる。なお、筏からの POC 沈降量は 6 月と 9 月に増加した。これは、筏の付着物の塊が沈降物トラップに落下したためと考えられる。付着物自体の落下も筏からの負荷の一部であることから、本データも汚濁負荷の解析に含めた。

以上より、貝や筏付着物からの汚濁負荷は内部生産などの海域自体の汚濁負荷より非常に多いこと、8 月から 9 月に貝の衰弱に対応して貝の糞量も減少することが明らかになった。

(4) 汚濁要因別の汚濁負荷量

年間を通した汚濁負荷量の要因を調べる。アコヤガイ A, B (貝数 100 個・1 日当たり換算), 養殖筏 (1 m²・1 日当たり換算), 枝湾口部 X0 (1 m²・1 日当たり換算), 洗浄式と水処理式の貝掃除 (貝数 10 個・1 回当たり換算) の各沈降物について、沈降物全体の乾燥重量, 沈降物の全炭素 TC, 無機炭酸塩を除いた有機炭素 TOC を比較する (図-6)。貝掃除を除く各データは 5 月から 12 月までの毎月のデータの平均値である。沈降物全体量や TC は、貝掃除からの沈降量が最も大きく、貝や筏からの沈降量

の 2～3 倍となった。しかし、汚濁原因となる TOC については、貝掃除からの沈降物に含まれる有機物含有率は少なく、貝掃除の TOC 負荷は貝・筏の負荷と同オーダーとなった。貝掃除から排出される物質は、カサネカンザシ、フジツボ、カキなどの炭酸カルシウム成分を多量に含んでおり、全体量に占める有機炭素の割合が少ない。しかし、貝掃除からの沈降物に占める TOC 量は、依然として、貝や筏からの TOC 量以上となることから、海域の大きな汚濁要因と言える。

貝・筏・海域の POC 沈降量, 貝掃除で排水される POC 量について、本調査から得られた原単位, 海域 1 m²当たりの負荷量, 養殖筏 1 台当たりの負荷量を表-2 にまとめた。また、各要因別の負荷量の割合を図-7 に示した。真珠養殖事業の直接的な汚濁負荷である貝と貝掃除からの負荷の寄与は合計負荷の約 80% となり、特に貝掃除の汚濁負荷が約 50% と大きいことが示された。過去に実施された真珠養殖の汚濁負荷調査 (植本, 1978; 西村, 1997) から、貝掃除負荷が貝や筏からの負荷に匹敵すると結果が得られていることから、真珠養殖漁場の汚濁負荷低減には貝掃除の負荷低減が急務と言える。

以上より、本調査では陸域負荷を直接考慮していないものの、養殖負荷が海域の環境悪化の要因であることが定量的に示された。

4. 結 論

本研究の主要な結論を以下に示す。

- ① アコヤガイの成長過程として、8, 9 月に軟体部重量の減少など貝の衰弱が激しいことが示された。この原因として、アコヤガイの適正水温を超える高水温、餌となる植物プランクトンの減少、有害赤潮の発生などのストレスが指摘された。
- ② 新品種であるアコヤガイ B は、従来の国産種であるアコヤガイ A に比べて、斃死率が極端小さく、成長も良い結果を示した。これは、B が感染症に強く高水温に適

表-2 汚濁要因別の POC 負荷量の一覧

負加要因	負荷量の原単位		1 m ² 当たりの負荷量 (gC/m ² ・日)	筏 1 台当たりの筏荷量 (gC/筏・日)	備 考
	単位	値			
アコヤガイ	gC/100 個・日	0.23	0.28	9.2	アコヤガイ A, B の平均値
筏付着物	gC/m ² ・日	0.14	0.14	4.6	筏直下の 2 点の平均値
貝掃除 (洗浄)	gC/10 個・回	0.37	0.32	10.6	洗浄機の排水中の沈降物
貝掃除 (水処理)	gC/10 個・回	0.10	0.09	3.0	水処理排水中の沈降物と貝付着物の合計
海域の自然沈降	gC/m ² ・日	0.02	0.02	0.6	枝湾口 (X0) の沈降物
	合計		0.85	27.9	

設定条件：筏 1 台当たり貝吊数を 4000 個、筏面積 33 m²、貝掃除頻度 2 週間に 1 回

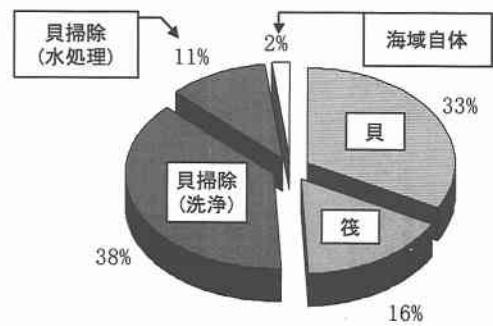


図-7 筏 1 台当たりの各負荷の割合

正敏氏から献身的な協力を得た。ここに謝意を表す。

参 考 文 献

上野成三・灘岡和夫・高山百合子・勝井秀博 (1999a): 水質環境の動的変化に着目した英虞湾の現地観測, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 1051-1055.

上野成三・灘岡和夫・高山百合子・勝井秀博 (1999b): 内部潮汐を考慮した英虞湾の流動シミュレーション, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 466-470.

上野成三 (2000): 英虞湾の海域環境管理システム, ヘドロ, No. 77, pp 39-45.

上野成三・灘岡和夫・高山百合子・勝井秀博・山田二久次 (2000): 英虞湾の真珠養殖漁場における底泥の汚濁流動層に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 1206-1210.

植本東彦 (1978): 真珠養殖における排出物量, 国立真珠研究所資料, Vol. 45, No. 5.

片岡真二・田中昌広・小林英一・小島 洋・Marinus Bokhorst (1998): 大船渡湾における流況・水質の現状再現と養殖カキの役割について, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 1006-1010.

西村昭史 (1996): 真珠養殖漁場の環境, 伊勢・志摩海洋国際会議講演集, pp. 31-36.

杜多 哲 (1998): アコヤガイ代謝モデル—適正収容量の算定をめざして, 養殖研ニュース, No. 38, pp. 3-6.

日本海洋学会編 (1986): 沿岸環境調査マニュアル (底質・生物篇), 恒星者厚生閣, 266 p.

Powell, E. N・E. E. Hofmann・J. M. Kilnck・S. M. Ray (1992): Modeling oyster populations I. A commentary on filtration rate. Is faster always better?, J. Shellfish Res., Vol. 11, No. 2, pp. 387-398.

した種であるためと予想される。

③貝からの糞量は、貝の衰弱に対応して、8、9月に大きく減少する。

④海域自体の自然負荷に比べて、真珠養殖事業に伴う汚濁負荷が非常に大きい。特に、貝掃除から負荷が最も大きく、全負荷の約 50%を占める。次いで、糞などの貝から負荷が約 30%の寄与となる。

謝辞：本研究の一部は農林水産新産業技術開発事業「水産養殖海域の水質汚染を予防する環境管理エキスパートシステムの開発」の成果である。また、現地調査では立神真珠研究会の皆様、芙蓉海洋開発株式会社松岡