

貝類の生物機能と水域環境への影響に関する全国評価

中村 義 治*・金綱紀久恵**・磯 野 良 介***・三 村 信 男****

国内沿岸域に分布しているウバガイの生物量と漁場環境情報についてデータベース化を行なった。また、個体群の代謝特性を基盤とする機能評価モデルを開発し、個体群の生物活動が水域環境に果たす役割について全国評価した。1998 年時の分布面積は約 880 km²、平均個体密度は 1.2 個/m²、現存量は約 10³ 個と推定された。全個体群の生物代謝による年間の炭素収支は、排出量は 16.4 ktC/y、固定量は 17.0 ktC/y でほぼ均衡している。年間貝殻形成量は 1.7 ktC/y で、これにより生成される CO₂ は 3.7 ktCO₂/y で呼吸量も含めると海域に排出される CO₂ の総量は 15.4 kt CO₂/y と算定された。

1. はじめに

化石燃料の燃焼による地球温暖化の問題に対して、海洋における炭素循環の解明が重要視されている。海洋の物理的循環に比べて生物過程を通じた物質循環は複雑であり、中でも高い生物生産と生物多様性を有する沿岸域における炭素循環を解明することは重要な課題である。我が国沿岸域に生息する貝類資源は、沿岸漁業の 1 割以上を占める重要水産物であると共に、摂餌や貝殻形成等の生物活動が周囲の海域環境に及ぼす影響も大きい重要な生物資源である。しかし水産有用種といえども、これまで漁獲統計以外の全国的な生物量に関するデータベースはなく、さらに生産性や浄化機能、物質固定能といった生物機能を全国的に評価した研究例も見あたらない。

前報で著者らは北海道東岸の砂浜性二枚貝の一種であるウバガイ (*Spisula sachalinensis*) 個体群を対象に成長段階別の代謝特性をモデル化した生物機能評価法を提案し、琵琶湖湾におけるウバガイと個体群の生物機能について炭素収支の試算をもとに評価した (中村他, 2001)。この成果を元に全国評価のための機能評価モデルを作成し、ウバガイの分布範囲、現存量、基礎代謝特性等についてのデータベースを作成した。そして、炭素収支による貝類個体群の代謝特性および CO₂ 生成量に関する解析などから、生物活動が水域環境に果たす役割について全国的な定量評価を行なった。

2. 機能評価モデル

一般的に、生物機能は外部環境と生活史の各段階によって変化する生物の内在的生理作用から影響を受ける。後者については、二枚貝では稚貝、未成貝、成貝でそれぞれ摂餌量、排泄量、呼吸量、成熟等に関係する生理反応速度や死亡率等が異なる。一方、前者の環境条件は季節や漁場による差が大きく、代謝特性に関する生

理反応も時間的・空間的に様でない。これらの要因が複合した結果、生産、再生産、浄化等の生物機能は季節、空間、年令に対し特異的に作用する (中村他, 2001)。機能評価モデルでは前者の環境条件に対する代謝特性の特異性に注目し、水温と餌料環境としての *Chl.a* 量の変化に対するウバガイ個体群の代謝特性の定式化を行い、全国の漁場に適用し得る機能評価モデルの作成を試みた。

機能評価モデルの概要は図-1 に示すとおり、個体代謝および個体群動態の二つの素過程により構成され、それらの出力である各個体の代謝特性及び個体群動態の情報が、個体群の代謝機能解析へ受け渡される。この炭素収支解析により、漁場毎・季節毎・ウバガイのサイズ毎に摂餌量、排泄量、呼吸量、成熟産卵、貝殻形成、自然

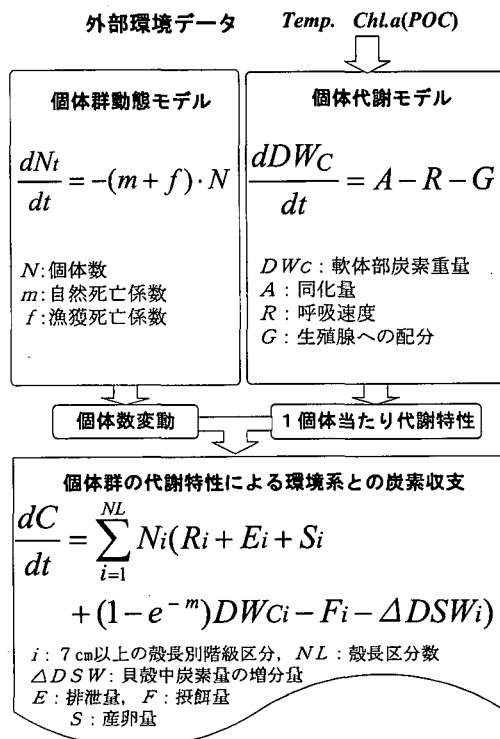


図-1 機能評価モデルの構成

* 水博 (独法) 水産工学研究所環境分析研究室長
** 日本海洋 (株)
*** (財) 海洋生物環境研究所 実証試験所
**** 正会員 工博 茨城大学教授 広域水圏環境科学教育センター

死亡による分解量等が算定される。ここでは、計算期間は一年間とし、計算ステップは日単位で行った。また、計算領域は各漁場を1ブロックとし、漁場内の空間分布は取り扱わず、解析結果の集計は海区単位とした。

3. 生物量と水域環境情報のデータベース化

ウバガイ漁場は銚子以北の太平洋岸と北海道沿岸に分布し、1998年度の漁獲量は約8千トン、現存量は約20万トンと推定される。漁獲量では貝類全体の1/50を占め、貝類の中では魚種別漁獲量の第5位にあたる有用種である。

解析に必要な現存量、殻長組成、漁獲強度、漁期、漁獲開始殻長等については、1998年度をベースとして各道県水試へのアンケートおよび聞取調査、水試の調査報告書等から資料を収集整理し、GISへ入力した。生物情報として、後に示す海域区分毎の現存量の分布および殻長組成を図-2に示した。ウバガイは北海道および本州太平洋側に分布している。殻長7.5 cm以上にあたる漁獲対象群の個体数は道東区が最も多く、次いで茨城県、道南区、福島県、オホーツク海区、宮城県、青森県、日本海区の順となっている。ウバガイの地域別殻長組成の特徴は、資源豊度の高い北海道の漁場では殻長組成が広範囲

であるのに対し、本州では卓越年級群を示す8~9 cm付近のモードがみられることである。北海道における広い殻長組成は寿命が長いこと、低い漁獲率を反映した結果と言える。

次に、解析に必要な漁場環境については、公共用水域水質測定結果(環境庁, 1998)等を中心に情報を収集した。北海道については道南区、道東区、日本海区、オホーツク海区の4海区に、本州は青森県、宮城県、福島県、茨城県の4海区に区分した。環境項目として、月別水温および餌料環境の目安となる *Chl.a* 量を海区毎に設定し図-3に示した。その地域の特徴は海区の緯度を反映し、水温は南へ行くほど高くなる傾向があり、特に最低水温の変化が大きい。*Chl.a* 量は日本海区が他の海区に比べて小さく、ウバガイ漁場の南限に位置する福島県、茨城県は他の海区に比べて *Chl.a* 量が多い。*Chl.a* 量の季節変動は海区によって異なる傾向がみられる。道東区と宮城県、福島県は年2回型のブルームが存在しており、ピークの現れる時期は道東は冬と秋、宮城県と福島県では春と秋である。他の海区は、概ね年1回のブルームがあり春に *Chl.a* 量が増大する季節変動を示している。

4. ウバガイ個体群の生物機能評価

4.1 個体の代謝特性

全国のウバガイ主要漁場について、機能評価モデルを用いて漁獲対象群の代謝特性を炭素収支により解析し

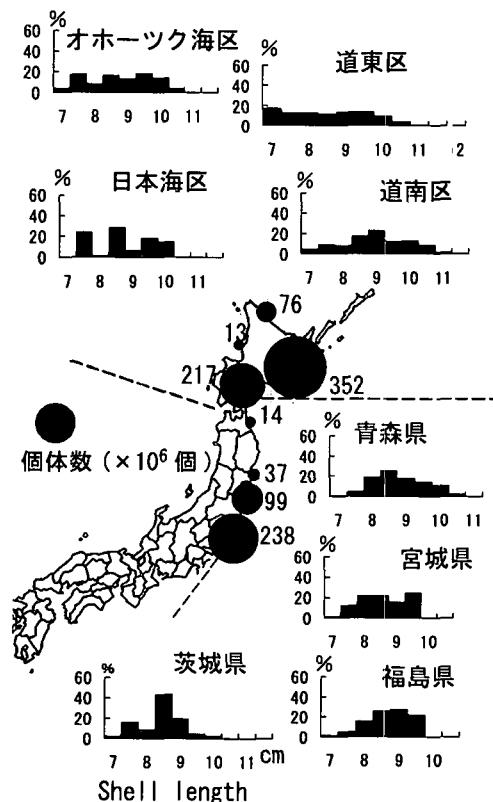


図-2 ウバガイの殻長組成と現存量の分布

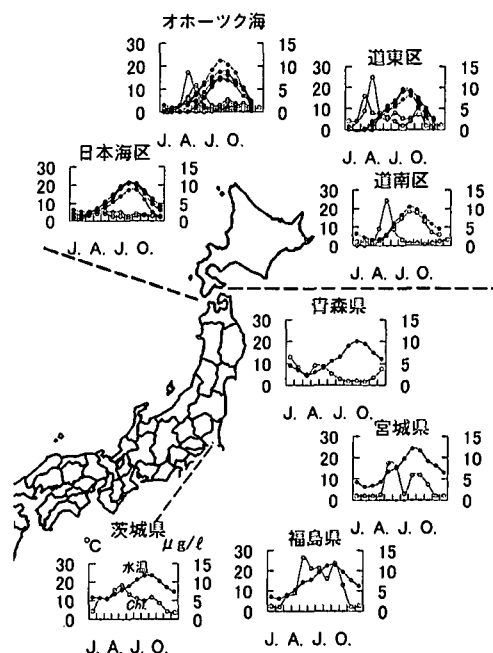


図-3 代表的漁場における水温と *chl.a* の変動

た。図-4は各海区における個体群の代謝特性を一個体当たり平均したものである。海区によって環境条件や個体群の殻長組成が異なることを反映し、個々の代謝特性には地域差がみられる。呼吸量は水温の影響が大きく、北から南に向かって増大しているが、*Chl.a*量との関係は明確ではない。これに対し摂餌量及び排泄量は水温と*Chl.a*量の両方の影響を受けており、*Chl.a*量については年平均値だけでなく*Chl.a*量の増大するブルームの時期と水温の上昇する時期のマッチングが成長速度に大きく寄与している。北海道に比べて水温、*Chl.a*量が共に高い茨城・福島は、摂餌量及び排泄量が北海道の3倍から10倍以上に達する。貝殻形成の地域差は小さいが、水温、*Chl.a*量が共に小さいオホーツク海区が最も小さい値を示した。日本海区は*Chl.a*量が最も小さいが水温がオホーツク海区よりやや高く、貝殻形成は道東と同程度である。

4.2 個体群の代謝特性に関する全国評価

海区毎の個体群の代謝特性について、炭素収支による解析結果を図-5に示す。海区毎の炭素収支は現存量を反映しているが、これに図-4で示した個体の代謝特性の地域差が影響を及ぼす。特に摂餌量と排泄量の地域差が顕著であり、現存量の大きい道東区と道南区での代謝特性レベルは、水温と*Chl.a*が共に高い茨城県、福島県より相対的に小さい値を示している。排出側では排泄が最も大きく、次いで呼吸、分解、産卵となっている。固定側では9割近くを摂餌が占めている。

海区毎の分布面積、個体密度、現存量および単位面積当たりの代謝特性を表-1に示した。全国の分布面積は

約880 km²、個体密度は1.19個/m²、全国の現存量は1,048×10⁶個の規模となる。漁獲対象群と水域環境間の炭素収支は、図-6に示したとおり、排出側で16.4 ktC/y、固定側で17.0 ktC/yとなり、一年間の炭素収支については排出側と固定側でほぼ均衡がとれているといえる。

摂餌によって取り込まれた15.3 ktC/yのうち11.1 ktC/yが排泄物として底泥に排出され、4.2 ktC/yが体内に同化される。ここから3.2 ktC/yが呼吸量として体外に排出され、残り1.0 ktC/yが生殖腺を含む軟体部に一旦固定されるが、うち0.9 ktC/yは産卵によって水域に排出される。このほか0.6 ktC/yが漁獲によって陸上へ除外されることが、水産有用種の特徴である。なお、排泄物の一部は底泥に埋没し固定される可能性もあるが、ここでは無視している。また個体数は自然死亡によって減少し、自然死亡した個体の軟体部はバクテリア等他生物に利用され環境に急速に回帰する。軟体部は結果的に一年間で1.1 ktC/y減少するが、これは若齢貝から

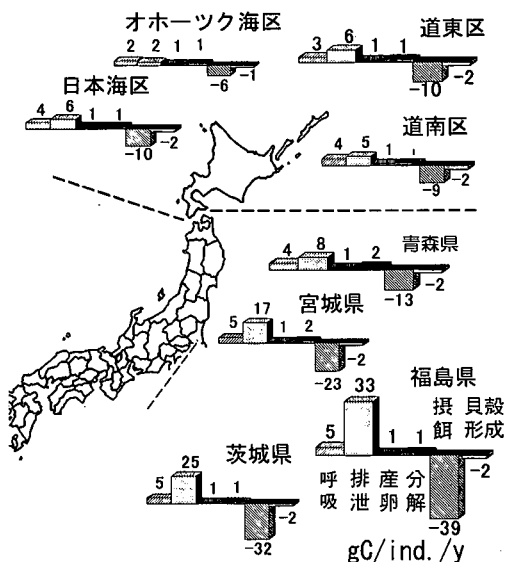


図-4 ウバガイ個体の平均代謝特性

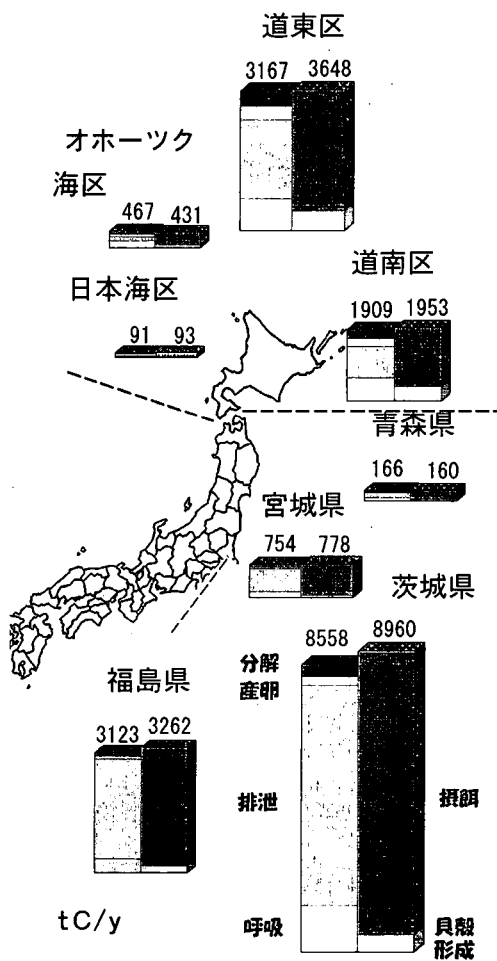


図-5 ウバガイ個体群の代謝特性

表一 ウバガイ個体群特性の全国評価

海域区分	分布面積 km ²	個体密度 ind./m ²	現存量 10 ⁶ ind.	代謝特性 (gC/m ² /y) 排出側				固定量	
				呼吸	排泄	産卵	分解	摂餌	貝殻形成
日本海区 (石狩, 後志, 留萌)	52.65	0.25	13.21	0.56	0.69	0.21	0.26	1.40	0.36
オホーツク海区 (網走, 宗谷)	233.00	0.33	76.42	0.78	0.52	0.31	0.36	1.48	0.36
道東部 (十勝, 釧路, 根室)	152.25	2.32	352.61	5.07	12.52	2.05	2.37	19.12	3.28
道南部 (渡島, 胆振, 日高)	210.83	1.03	217.52	3.07	4.18	1.01	1.21	7.82	1.84
青森県	52.65	0.28	14.64	0.86	1.60	0.27	0.42	2.61	0.43
宮城県	54.29	0.69	37.23	2.56	9.39	0.59	0.88	12.79	1.17
福島県	43.48	2.27	98.56	8.74	60.58	1.81	2.34	72.27	4.23
茨城県	80.64	2.95	237.89	12.84	60.69	2.41	3.32	78.24	5.85
全国平均	—	1.19	—	3.67	12.58	1.05	1.31	17.35	1.97
全国合計 (tonC/y)	879.8 km ²	—	1,048×10 ⁶ ind.	3,231	11,066	927	1,151	15,264	1,732

の漁獲加入を考慮していないことと、個体群の成長が自然死亡と漁獲死亡による個体数の減少に追いつかなかったためである。年齢組成が若齢貝主体である場合には、有機物の軟体部への固定がプラスとなる可能性もある。また、貝殻形成量として 1.7 ktC/y の炭素が水域から貝殻に固定される。この貝殻形成の材料は、炭素安定同位体比により約 9 割が海水由来であることが、ウバガイの実験により確認された (磯野, 2000)。

周辺の水域環境との炭素収支を評価する上で、炭素の固定と同時に石灰化反応により CO₂ を生成する貝殻形成量の把握は、重要な課題である。これまでアコヤガイの貝殻形成等に関する研究 (和田ら, 1974) を除き、水生生物の石灰化量を算定した事例はほとんど無いが、人工湿地におけるヤマトシジミの殻体無機物生成量やサンゴ礁における無機生産量に関する知見が得られている。

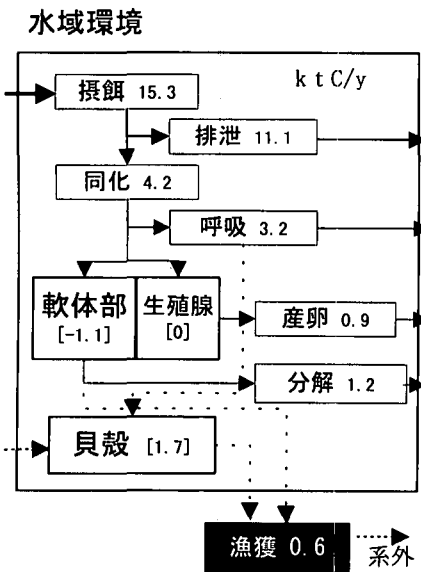
藤岡ら (2002) が神西湖畔の人工湿地で実験した 4 月～11 月間のヤマトシジミ殻体部 (無機物) への炭素固定量は 123 gC/m²、この時のシジミ生物量は 2.0 kg/m² (山口ら, 2002) であった。これに対しウバガイの 1 年間の貝殻形成量は 1.97 gC/m²/y、この時の個体密度は 1.2 個/m² (約 0.2 kg/m²) である。算定の期間や個体の大きさが異なっているため単純に比較するには無理があるが、ウバガイの生物量はヤマトシジミの約 10 分の 1、貝殻形成量は約 60 分の 1 となった。

また、藤岡 (2002) によれば我が国周辺におけるサンゴ礁域での無機生産量は 129.95 ktC/y、有機物の純生産量は 48.30 ktC/y であり、その比率は約 3 : 1 である。これに対しウバガイの場合の同比率は約 2 : 1 である。またサンゴ礁域の総面積は約 53 km² とウバガイ分布面積 880 km² のわずか 16 分の 1 なのに対し、無機生産量はウバガイの貝殻形成量 1.7 ktC/y の 70 倍以上である。これらのことから、サンゴ類が貝類に比べて石灰化に優れた生物機能を有していることが示唆された。

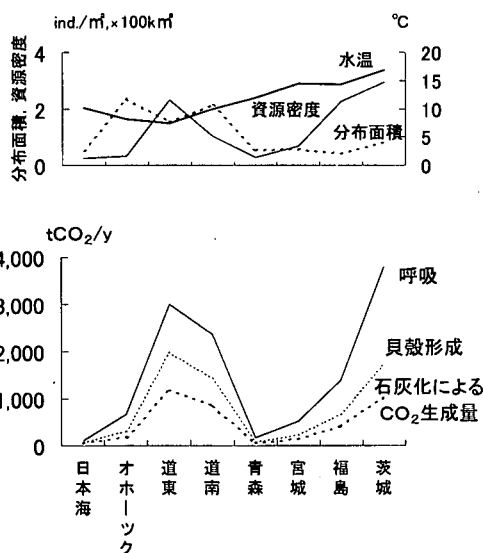
4.3 ウバガイ個体群による CO₂ 生成量

海水中の CO₂ 濃度変化に直接影響する代謝機能として、呼吸と石灰化に伴う分圧の上昇を検討する必要がある。石灰化に伴う CO₂ 分圧の変化についてはサンゴを対象に研究が進められており、サンゴ礁海域では炭酸カルシウム 1 mol の生成に対して生成する CO₂ はほぼ 0.6 mol 相当との報告がある (鈴木, 1997)。このモル比は水温、塩分によっても、全炭酸やアルカリ度等の濃度によっても異なる他、炭酸カルシウム生成量が多いほど比率が大きくなることが指摘されている (鈴木, 1994)。

貝類の貝殻形成を対象とした同様の研究例は現状ではほとんどなく、サンゴとウバガイでは世代交代の速さや貝殻形成のメカニズムも異なることからサンゴ礁での手法をそのまま貝類に適用するには無理がある。しかし石灰化に関わる一連の化学反応は同様であることから、ウバガイの貝殻形成による CO₂ 生成量のおおまかな目安



図一六 全国のウバガイ個体群の炭素収支



図一七 漁場特性と CO₂ 生成量の地理的分布

を得るための一つの算定として、サンゴ礁海域での炭酸カルシウム生成に対する CO₂ 生成のモル比を 0.6 と仮定し、貝殻形成量の 6 割を CO₂ 生成量として換算した。

図一七に漁場特性並びに呼吸および貝殻形成量と貝殻形成に伴う CO₂ 生成量の地理的分布を示した。呼吸および貝殻形成量等の生物機能は資源豊度を反映する一方、水温の高い海区は生物量に対して相対的に生物機能の高い傾向にある。ウバガイ個体群からの呼吸による排出量は 11.7 ktCO₂/y で、貝殻形成に伴う CO₂ 生成量は 3.7 ktCO₂/y となり、全国の合計は 15.4 ktCO₂/y となった。

5. おわりに

ウバガイの現存量およびその生物機能について炭素収支等を用いた解析により、はじめて全国的に定量評価を行なった。貝類等による炭酸カルシウムの生産は人間活動とは無関係に太古から続いてきた過程であり、近年の大気中 CO₂ 濃度の上昇を促進させている要因ではない

ことは明白である。むしろ原始地球の大気に 97% 以上あった CO₂ を地球年代的な時間をかけて現在のレベルまで減らす役割の一端を担ってきた。従って、貝類の水域環境に対する役割については短期的な石灰化による CO₂ 生成能を正確に評価する意義よりも、人類へのタンパク供給源としての役割や海表面で生産される有機物を海底に沈降堆積させる生物ポンプとしての役割、さらには水質浄化作用や、長期炭素循環に対する炭素蓄積の役割等、地球環境に対する効果について生態系レベルでの評価が必要と考える。

本研究を行うにあたり、全国の漁場環境および資源情報の資料収集に際して各道県の水産試験場のご協力をいただいた。ここに感謝の意を表す。なお本研究は農林水産技術会議プロジェクト研究の一環として実施した。

参考文献

- 磯野良介・中村義治 (2000): 二枚貝による海水濾過量の推定とそれにおよぼす温度影響の種間比較, 水環境学会誌, 第 23 巻, 第 11 号, pp. 683-689.
- 環境庁水質保全局 (1998): 全国公共用水域水質データファイル
- 鈴木 淳 (1994): 海水の炭酸系とサンゴ礁の光合成・石灰化によるその変化—理論と代謝量測定法—, 地質調査所月報, 第 4 巻, 第 10 号, pp. 573-623.
- 鈴木 歆 (1997): 海洋生物と炭素循環, 東京大学出版会, 193 p.
- 中村義治・金網紀久恵・磯野良介・三村信男 (2001): 生活史に沿った二枚貝個体群の生物機能評価法, 海岸工学論文集, 第 48 巻, 土木学会, pp. 1231-1235.
- 藤岡克巳・山口啓子・相崎守弘 (2002): ヤマトシジミ優占人工湿地での炭素収支に関する研究, 第 36 回日本水環境学会年会講演要旨集 pp. 560.
- 藤岡義三 (2001): サンゴ類による CO₂ 収支の把握, 森林, 海洋における CO₂ 収支の評価の高度化, 平成 13 年度研究報告, 農林水産技術会議, pp. 90-91.
- 山口啓子・天野聖子・藤岡克巳・相崎守弘 (2002): 神西湖人工湿地におけるヤマトシジミ *Corbicula japonica* の成長と生産, 第 36 回日本水環境学会年会講演要旨集, pp. 559.
- 和田浩爾・藤賢正 (1974): 軟体動物の生理調節における貝殻の形成と溶解の生理, *Bull. Natl. Pearl Res. Lab.*, 17, pp. 2085-2110.