

有明海奥部のサルボウガイ漁場における炭素固定量の評価

中村 義治* ・ 深町 孝子** ・ 真崎 邦彦***
関根 幹男**** ・ 三村 信男*****

有明海奥部のサルボウガイ分布量は養殖漁場全体では、4,923 ha の面積に総個体数 $2,322 \cdot 10^6$ 個体、総重量 13,022 t が生息すると推定された。サルボウガイの年間濾水量は $223 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ であり、泥質干潟の浄化機能を果たす環境エンジンとして大きな役割をもっていると考えられる。サルボウガイの個体代謝特性をみると高年齢貝より若令貝の方が貝殻形成速度が大きく、身内の成長、身内部の P/B 比(回転率)も大きく、炭素固定の重要な役割を果たしている。全漁場では、炭素排出量(呼吸, 排泄, 産卵, 分解)は 14.6 ktC/y、炭素固定量(摂餌, 貝殻形成)は 16.4 ktC/y で、固定量が 1.8 ktC/y 排出量を上回っている。

1. はじめに

CO₂の吸収源としての海洋の役割の解明には、大気と海洋を循環する CO₂の挙動について科学的な評価が必要である。特に CO₂排出量が多い都市沿岸域においては CO₂の大気と海洋の間の収支の解明が急がれるが、大洋に比べて、沿岸域は収支の時間変化が激しく、また、陸水からの炭酸の供給の他、生物による光合成や石灰化が行われているため、科学的評価を困難にしている。それにもかかわらず、高い生物生産と生物多様性を有する沿岸域に生息している貝類など、石灰化生物による CO₂固定機能の解明に期待が寄せられており、石灰化生物の生息する生態系を利用した地球温暖化ガス対策の検討が進められている。

沿岸域の CO₂収支の科学的評価のためには、生態系の主要構成要素である生物群集間の炭素フラックスや貯留機能に対する研究が不可欠である。これらを評価するにはバイオマスの大きな石灰化生物の個体群動態の研究が重要となる。本来、CO₂収支を扱うにはそれらの生息する生態系の炭酸平衡の研究が必要であるが、ここでは第一段階として生物活動の炭素収支として解析した。

著者らはホタテガイなど有用二枚貝 8 種の個体群による炭素収支に関する全国評価を行っている。このうち、わが国南部の内湾でかつ広大な干潟を有し、陸域の影響が大きい有明海において、アサリとともにバイオマスが大きく、比較的安定した生産が行われているサルボウガイに注目し、炭素の固定と貯留に関する評価を行った。

2. 材料及び方法

(1) サルボウガイ

サルボウガイは二枚貝綱、フネガイ目、フネガイ科に

属し、殻質厚く、箱形でよく膨らみ、放射肋は 32 本内外、左殻肋上には不規則な結節をそなえる。水管はなく、貝殻の開閉により直接外套腔と海水を交換する。分布域は東京湾から有明海で、潮下帯上部から水深 20 m の砂泥底に生息する。

現在の主要なサルボウガイ漁場は有明海奥部(佐賀県)と瀬戸内海(岡山県)に分布し、2000 年の漁獲量は 7.3 千トンでわが国貝類全体の 1/50 を占め、魚種別では第 5 位にあたる有用種である。このうち佐賀県は全国の 75% を占めている。したがって、本論文は有明海奥部のサルボウガイ漁場における炭素固定量の評価を行うこととした。

サルボウガイ漁場は養殖漁場と天然漁場に分かれ、養殖漁場は東部、中部、西部、南部の 4 漁場にわかれている。ここで言う養殖方法は採苗器に仔貝を付着させる天然採苗方式を採用し、1～2 年育成する地まき養殖である。

(2) 現場調査

現場調査は、図-1 に示す佐賀県地先の干潟域を主とする水深 5 m 以浅のサルボウガイ漁場において、2001 年に漁場環境とサルボウガイの分布量及び成長、漁獲量を調べる目的で佐賀県有明水産振興センターが実施した。

漁場の底質は、99 の調査地点で粒度組成を調査した。水質は水温と塩分、餌料環境として Chl. *a* について調

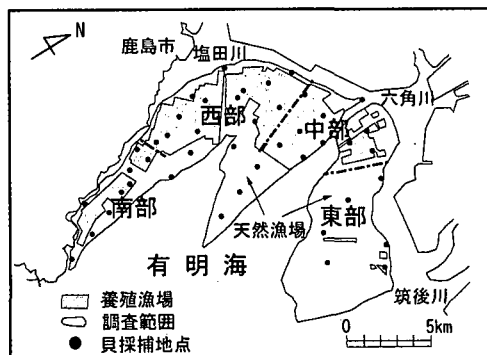


図-1 サルボウガイ漁場

* 水博 (独法)水産工学研究所 水産土木工学部長
** 日本海洋株式会社 環境調査事業部
*** 佐賀県有明水産振興センター
**** 正会員 日本海洋株式会社 環境調査事業部
***** 正会員 工博 茨城大学教授 広域水圏環境科学教育研究センター

べ、毎月1回、漁場内の8地点で観測した。

サルボウガいの分布量調査は2001年10月にじょれん、ヘルメット式潜水で実施した。じょれんは間口60 cm×21 cm、目合い10.5 mmのものをうい、東部漁場1地点、中部漁場9地点、西部漁場8地点、南部漁場2地点、天然漁場12地点で実施し、1地点について20 mの距離を2回曳網した。

成長は4月から12月にかけて調査対象域内養殖漁場で延べ49回のサンプリング調査を行った。サンプリング調査は漁期である4月から7月にかけて、サルボウガイ採集専用漁具のじょれんで水揚げされたものを買い上げ、7月以降については同漁具を用いて佐賀県有明水試振興センターが調査を行った。サルボウガイの漁獲量はサルボウガイ養殖業（第一種及び第三種区画漁業権漁業）を営んでいる13漁協へのアンケート調査により把握した。

(3) 炭素収支評価モデル

炭素収支評価モデルはサルボウガいの摂餌、同化、呼吸、排泄によって表される代謝計算に基づく軟体部と殻長の成長を推定する個体成長モデル及び殻長別の個体数の時間的変動を推定する個体群動態モデル、個体群の生物機能の物質収支を扱う炭素収支モデルから構成されている。炭素収支モデルでは個体群の代謝機能のうち、呼吸、排泄、産卵、死亡個体の分解を水域環境への排出効果とし、摂餌、貝殻形成を水域環境からの固定効果として、漁場ごとにその収支計算を行った。

a) 個体成長モデル

個体成長モデルはウバガイで開発された中村ら(2001)のモデルを基本にし式(1)で定式化した。

$$\frac{dW_c}{dt} = A - R - G \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで、 W_c は軟体部の炭素重量(mgC)、 A は同化量(mgC/day)で $A = F - E = F \cdot A_e$ 、 F は摂餌量(mgC/day)、 A_e は同化効率で $Chl. a$ 濃度の関数とした。また、 E は排泄量(mgC/day)、 R は呼吸量(mgC/day、酸素消費量より換算する)、 G は生殖腺への配分量(mgC/day)である。Gonad Indexの最大値は7.5%であり、殻長サイズに関係なく一定として計算を行った。計算時間は、ほぼ全てのコーホートが漁獲される3歳までとした。

濾水量式は山元ら(1996)、酸素消費量式は川口ら(1953)に基づき作成し、同化効率式は阿保ら(2001)を用いた。以下に各式を示す。

濾水量(l/indiv./h)

$$F_t = 0.55 \cdot (0.1023 \cdot 10^{0.0431 \cdot W_t}) \cdot W_t^{0.6} \quad \cdots \cdots (2)$$

酸素消費量(μ l/indiv./min)

$$Res = 0.1022 \cdot W_t^{0.89} \cdot 10^{0.0431 \cdot W_t} \quad \cdots \cdots (3)$$

同化効率

$$A_e = 2.6 / (2.6 + Chl. a) \quad \cdots \cdots (4)$$

ここに、 W は軟体部湿重量、 W_t は水温である。

b) 個体群動態モデル

個体群動態モデルでは式(5)に示す資源変動方程式(中村ら, 1989)を用い計算した。

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial UN}{\partial l} + Z \cdot N = 0 \quad \cdots \cdots (5)$$

ここで、 N は殻長別の個体数 $N(l, t)$ で表され、殻長 l と時間 t の関数である。 U は殻長の成長速度で代謝モデルの計算結果から与えられる。 Z は全死亡係数($Z = M + F$)で、 F は漁獲係数、 M は自然死亡係数である。

漁獲係数は漁獲量と努力量の関係から求めた。調査期間中の7月から9月に生じた大量斃死時の自然死亡係数は実測の生残率より求め、通常時の自然死亡係数は佐賀県有明水試振興センターの研究資料を引用した。

c) 炭素収支モデル

計算は月別、漁区別、殻長別に行った。排出項として呼吸、排泄、産卵、死亡貝の分解とした。固定項として摂餌、貝殻形成とした。これらの計算結果に基づいて、サルボウガイ個体群を通過する炭素の収支計算を行った。

$$\frac{dC}{dt} = (R + E + G + D) - (F - P_c) \quad \cdots \cdots (6)$$

ここに C :水域中の炭素量(mgC)、 R :呼吸量(mgC/day)、 E :排泄量(mgC/day)、 G :産卵量(mgC/day)、 D :死亡貝の分解量(mgC/day)であり、第1の括弧内は環境水中に放出される炭素の総計である P_c :貝殻形成量(mgC/day)で、第2の括弧内は環境水中から貝に移行する炭素の総計である。

3. サルボウガいの生息環境と生物特性

(1) 生息環境

a) 底質環境

底質の中央粒径値は東部漁場 $53.7 \mu\text{m}$ ($4.02 \sim 257 \mu\text{m}$)、中部漁場 $7.34 \mu\text{m}$ ($4.07 \sim 22.8 \mu\text{m}$)、西部漁場 $4.71 \mu\text{m}$ ($2.92 \sim 8.79 \mu\text{m}$)、南部漁場 $7.54 \mu\text{m}$ ($3.06 \sim 149 \mu\text{m}$)であった。サルボウガイの生物量が多い中西部漁場はシルト～粘土質に限られた。

b) 水質環境

図-2に漁場別の水温と $Chl. a$ の表層平均値を示した。

調査全地点の平均水温は $9.6 \sim 28.7^\circ\text{C}$ の間で経月変化した。7月から9月の間は 25°C 以上の値を示した。表層の平均塩分は $5.93 \sim 31.21$ psuの間で変化した。表層の平均 $Chl. a$ 量は $2.1 \sim 20.9 \mu\text{g/l}$ の間で変化した。6月～9月の赤潮発生時には $20 \mu\text{g/l}$ を越える値を多くの地点で観測したが、概ね $10 \mu\text{g/l}$ 以下で推移した。

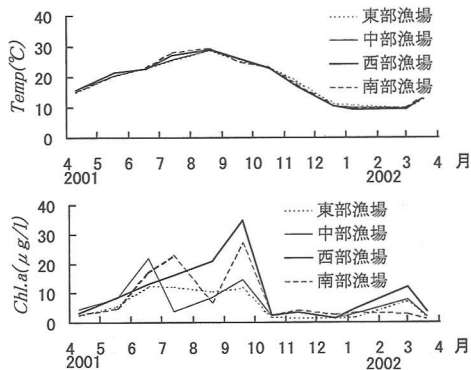


図-2 漁場の水温と Chl. a の変化

表-1 サルボウガイの分布状況 (2001 年 10 月)

漁場区分	養殖漁場					天然漁場
	東部	中部	西部	南部	計	
調査地点数	1	9	9	4	23	21
漁場面積 (ha)	85	1,754	2,480	604	4,923	7,193
生貝分布量	個数(10 ⁶ 個)	0.3	654	1,566	102	2,322
重量(t)	2	3,332	8,656	1,033	13,022	216
斃死貝分布個数(10 ⁶ 個)	—	871	670	67	1,607	24

(2) サルボウガイの分布量

表-1 に 2001 年 10 月の調査点数, 漁場面積, 生貝分布量, 斃死貝分布個体数を示した。

ほとんど利用されていない砂質もしくは砂泥質である東部漁場の養殖漁場は平均密度は 0.3 個体/m²で, 総個体数が 0.3・10⁶個体, 推定総重量は 2t にすぎなかった。

六角川河口の前面にあたる中部漁場では, 平均密度は 37 個体/m²で, 総個体数が 654・10⁶個体, 総重量は 3,332 t の生息が推定された。同様に塩田川河口前面の西部漁場は平均密度 63 個体/m²で, 総個体数 1,566・10⁶個体, 総重量 8,656 t, 南部漁場の平均密度は 17 個体/m²で, 総個体数 102・10⁶個体, 総重量 1,033 t の生息が推定された。養殖漁場全体では, 4,923 ha の面積に総個体数 2,322・10⁶個体, 総重量 13,022 t が生息すると推定された。

これに対し沖合に位置する天然漁場では, 生息密度は 0.3 個体/m²と極めて低く, 生息量も推定 216 t と養殖漁場に比べ 2% にすぎない。

2001 年 7 から 9 月の産卵期から秋期にかけ各漁場で大量斃死が発生したが, 斃死数は養殖漁場で 1,607・10⁶個体, 天然漁場で 24・10⁶個体と推定された。

(3) 成長と殻長組成

殻長と重量の測定結果から年齢-殻長関係を示す Bertalanffy の成長式, 殻長-殻重, 軟体部重量-殻長の関係等を解析し以下に示した。

殻長 (mm)

$$l = 43.698 \cdot (1 - \exp(-0.9374(Age + 0.03463))) \quad (7)$$

$$\text{全重量 (g)} \quad TW = 2.66 \cdot 10^{-4} l^{3.0106} \quad (8)$$

$$\text{殻重 (g)} \quad SW = 1.308 \cdot 10^{-4} l^{3.0389} \quad (9)$$

$$\text{軟体部重量 (g)} \quad WW = 4.416 \cdot 10^{-5} l^{3.173} \quad (10)$$

ただし, Age は年齢である。

各地点の殻長組成を漁場別に集計し, 推移を図-3 に示した。個体群動態モデルでは初期条件に漁獲開始直前 4 月における殻長組成を与える。観測によれば中部漁場の 4 月の殻長組成は 20~22 mm と 36~38 mm にモードをもつ 2 峰形となっている。西部漁場も同様に 20~22 mm と 36~38 mm のモードをもつ 2 峰形である。南部漁場は 22~24 mm にモードをもつ単峰形となっている。中部漁場, 西部漁場の両漁場とも, 12 月には単峰形の組成となり, 高齢群が漁獲されていることが示されている。

20~24 mm をモードとする群は 1 歳貝(2000 年発生), 36~36 mm をモードとする群は 2 歳貝(1999 年発生)と推定された。

(4) 漁業情報

養殖漁場においては, 大半が 2 年を周期とした輪作で漁獲されており, 漁獲期間は 4 月から 7 月である。漁協

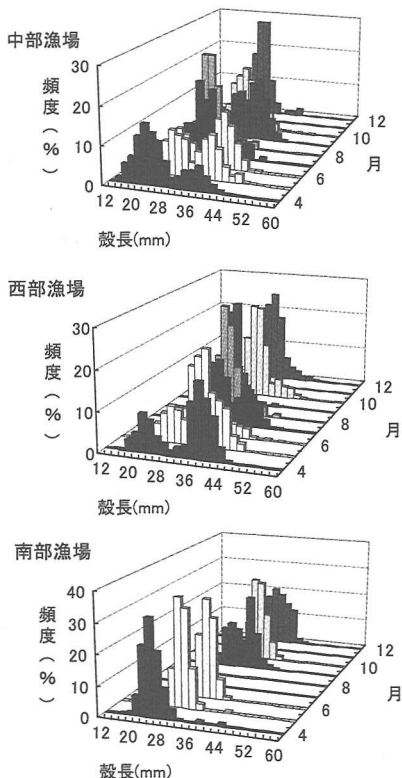


図-3 殻長組成の推移 (実測値)

へのアンケート調査による2001年の水揚量は5,363 tであった。

漁場別みると中部漁場は2,318 t, 西部漁場で2,802 t, 南部漁場で244 tであり, 中西部漁場の水揚量が大きい。月別にみると南部漁場は4月のみの水揚げであった。中西部漁場では4月～6月はそれぞれに600 t以上の水揚げがあるが, 7月は300 t前後であった。

4. サルボウガイの個体代謝特性

サルボウガイは殻長30 mmで漁獲対象となることから3年までの再現性をみることにし, 外部環境としての水温, *Chl. a* は全調査地点の平均値とした。計算は産卵月である7月を開始月とした。

図-4にサルボウガイの代謝特性を示した。

濾水量, 摂餌量, 同化量, 呼吸量は年齢とともにピーク量が増加傾向にあり, 生物機能が活発になっていると推定された。それぞれの項目ごとに特徴をみると濾水量のピークは水温と連動し夏期に高く, 2歳では約50 l/indiv./dayとなる。摂餌量は*Chl. a*より換算したPOC及び濾水量の高い夏期に摂餌量は高く, 2歳で125 mgC/indiv./dayとなる。同化量は摂餌量と連動し夏期に高く, 4 mgC/indiv./day以上となっている。呼吸は夏期に3 mgC/indiv./day以上となっている。生物的最小形(15 mm)に達した後の成貝は生殖巣の成長により夏場では身肉の重量は減少し, 貝殻の成長速度の停滞がみられ

た。

代謝モデルから予測される殻長, 全湿重量, 軟体部湿重量の推移を現地調査で得られたBertalanffyの成長曲線等と比較すると, 成長の停滞する冬期では一部整合しないものの, 概ね成長過程は再現できたと思われる。

5. サルボウガイの個体群動態

モデル解析は殻長組成が2峰形を示す中部漁場と, 単峰形を示す南部漁場を対象として4月の各漁場の初期殻長を使用し, 漁場毎の外部環境に合わせて再現を試みた。

4月の操業前の生物量を推定すると, 中部漁場1,821・10⁶個体, 南部漁場168・10⁶個体と推定された。

各漁場別に殻長組成の推移をみると, 中部漁場, 南部漁場でみられるように4月～7月は30 mm以上の2才貝は漁獲対象となり, 殻長の大きい群は漁獲により個体数が減少する。計算結果の1年後の殻長組成の特徴は, 中部漁場ではモードが34～36 mmに, 南部漁場は34～36 mmにみられ, 1歳貝が急速に成長して30 mm以上となる。

この殻長組成の推移を図-3の実測値の殻長組成と比較すると概ねモデルの再現性は確保されている。

6. サルボウガイ個体群の生物機能

全漁場の代謝特性は図-6に示すように, 摂餌は年間14.8 ktC(54.3 ktCO₂), 排泄は年間12.2 ktC(44 ktCO₂)である。このうち2.6 ktC/y(10 ktCO₂/y)が同化, 0.9 ktC/y(3 ktCO₂/y)が純生産量として身肉固定の役割を担っている。真のCO₂の排出としては呼吸と貝殻形成に伴うCO₂生成が指摘され, 呼吸により1.7 ktC/y(6

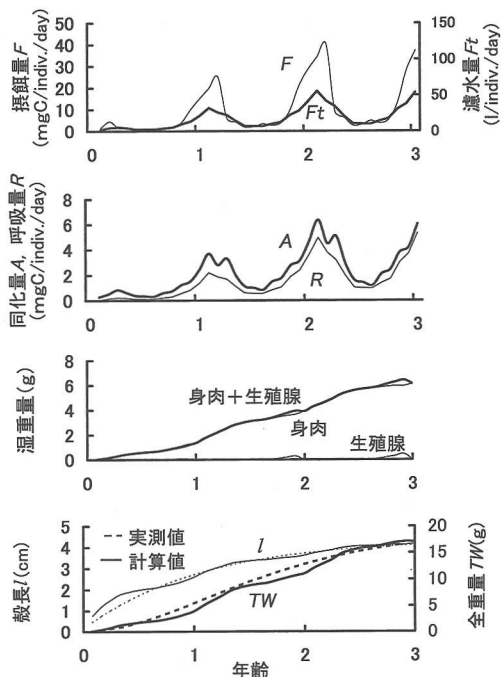


図-4 サルボウガイの代謝特性

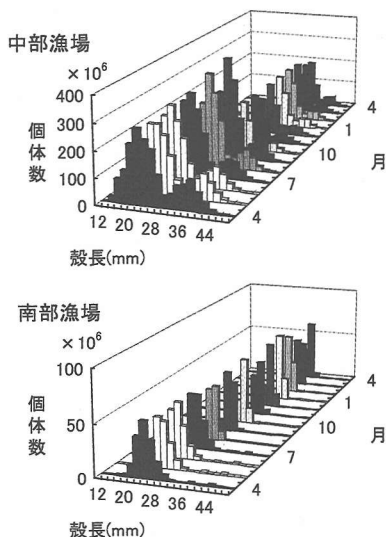


図-5 殻長組成の推移 (計算値)

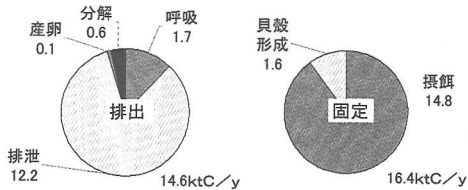


図-6 サルボウガイの代謝特性 (全漁場)

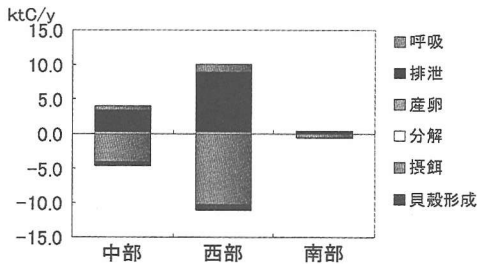


図-7 サルボウガイ個体群の代謝機能

ktCO₂/y) と、貝殻形成 1.6 ktC/y (6 ktCO₂/y) が生成され、合計として 12 kt/y の CO₂ が生成されたと推定される。

個体群代謝機能は図-7 に示すように個体数、環境条件、殻長組成の違いを反映し、南部漁場に比べ、中部漁場と西部漁場の漁場は生物機能が大きく、とりわけ摂餌と排泄の漁場差が大きい。全漁場では、炭素排出量 (呼吸, 排泄, 産卵, 分解) は 14.6 ktC/y、炭素固定量 (摂餌, 貝殻形成) は 16.4 ktC/y で、排出量と固定量はわずかに固定量が上回っている。

炭素貯留の時間効果は排泄, 貝殻形成, 軟体成長によってもたらされる。貝殻に固定された炭素は溶解速度が極めて遅いので、環境への回帰が遅く、サルボウガイ漁場では炭素の貝殻形成量 1.6 ktC/y が貯留される。また自然死亡個体の貝殻が底泥中に埋没 (化石化) されるとときに、炭素の底泥への貯留量は 1.2 ktC/y (4.4 ktCO₂/y) となる。

7. ま と め

有明海奥部のサルボウガイ漁場における炭素固定量の評価を行い以下の結果を得た。

養殖漁場全体では、4,923 ha の面積に総個体数 $2,322 \cdot 10^6$ 個体、総重量 13,022 t のサルボウガイが生息すると推定された。サルボウガイ漁場の底質はサルボウガイの生物量が多い中西部漁場はシルト～粘土質に限られる。水質は河口干潟の特徴を示し平均水温 9.6～28.7°C、塩分は 5.93～31.21 psu、Chl. *a* は 2.1～20.9 μg/l で推移した。

殻長と重量の測定結果から年齢-殻長関係を示す Bertalanffy の成長式、殻長-殻重、軟体部重量-殻長の関係等を解析した。殻長組成は中西部漁場において 1 歳貝と 2 歳貝の 2 峰形を、南部漁場で 1 歳貝の単峰形であった。

式 (2) から推定されるサルボウガイの年間濾水量は $223 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ であり、筑後川の年総量 (1955～1998 年の平均) $36.4 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ の約 6 倍にあたり、泥質干潟の浄化機能を果たす環境エンジンとして大きな役割をもっていると考えられる。

サルボウガイの個体代謝特性をみると高年齢貝より若令貝の方が貝殻形成速度が大きく、身肉の成長、身肉部の P/B 比 (回転率) も大きく、炭素固定の重要な役割を果たしている。

全漁場では、炭素排出量 (呼吸, 排泄, 産卵, 分解) は 14.6 ktC/y、炭素固定量 (摂餌, 貝殻形成) は 16.4 ktC/y で、固定量が 1.8 ktC/y 排出量を上回っている。

8. 謝 辞

本研究を行うにあたり、佐賀県有明水産振興センターからサルボウガイに関する文献の提供を受けると共に、漁業情報および水質環境の詳細をうかがった。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されたものである。

参 考 文 献

- 阿保勝之・杜多 哲 (2001): アコヤガイの生理と餌料環境に基づく養殖密度評価モデル, 水産海洋研究 65 (4), pp. 135-141.
- 奥谷喬司 (2000): 日本近海産貝類図鑑, 東海大学出版会, pp. 1173.
- 片山勝介・三宅志雄・池田善平・池上 徹 (1982): 岡山県西部における養殖モガイの異常へい死に関する研究-IV, 岡山水誌事業報告, pp. 70-80.
- 川口四郎・岩田清二・渡辺孝宗・福原 充 (1953): 藻貝の種苗育成と斃死原因調査報告.
- 佐賀県有明水産振興センター (2002): 有明海における地域重要資源の現地調査, 森林, 海洋等における CO₂ 収支の評価の高度化, 農林水産技術会議事務局, pp. 94-95.
- 杠 学・小澄千尋・山下康夫・中武敬一・佐賀県有明水産試験場 (1988): 佐賀県有明海におけるサルボウの養殖試験 (昭和 62 年度及び昭和 56～62 年度まとめ), サルボウのへい死要因解明のための養殖試験 (VII), 南海海区水産研究所, pp. 37-57.
- 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, 海工論文集, 48 巻, pp. 1231-1235.
- 中村義治・平山信夫・秋元義正 (1989): 動的モデルによるウバガイ資源変動の解析方法, 日水誌, 55 巻, 第 3 号, pp. 417-422.
- 山元憲一・田村征生・棚野元秀 (1996): アコガイのろ水量と鰓纖毛運動に及ぼす水温の影響, 水産大学校研究業績, 45 巻, 第 2 号, pp. 95-101.