

大阪湾沿岸域におけるエッジレスガラス瓶 カレットを活用したアカガイのカゴ養殖実験

大嶋 真謙¹・山本 剛一²・中岡 明²・横山 隆司³・久保忠義⁴・
吉田 司⁵・矢持 進⁶

¹ 正会員 (株) シャトー海洋調査 環境調査部
(〒530-0043 大阪府北区天満 1-13-14)

E-mail: oshima@chateau-kaiyou.co.jp (Corresponding Author)

² 藤野興業 (株) (〒584-0045 大阪府富田林市山中田町 1-11-8)

³ 正会員 (一社) 大阪湾環境再生研究・国際人材育成コンソーシアム・コア (〒591-8025 大阪府堺市
北区長曾根町 130-42 さかい新事業創造センター内 104)

⁴ (一社) 大阪湾環境再生研究・国際人材育成コンソーシアム・コア (〒591-8025 大阪府堺市
北区長曾根町 130-42 さかい新事業創造センター内 104)

⁵ (株) シャトー海洋調査 環境調査部 (〒530-0043 大阪府北区天満 1-13-14)

⁶ 大阪市立大学 複合先端研究機構 (〒558-0022 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

アカガイ *Scapharca broughtonii* は、エッジレスガラス瓶カレット (クリスタルストーン・サンド；
CSS) を基質とする垂下養殖カゴの中で良好に成長し (449 日間で殻長が 37.8 mm から 62.0-65.6 mm ま
で増加) , 市民生活から大量に発生する CSS が二枚貝などの増養殖基質として活用可能であることが本
現場実験により明らかとなった。CSS と Anthracite での殻長を同じ水深で比較した場合、両者において差
が見られなかった。一方、同じ基質の場合、水深による殻長の違いが CSS 区では認められなかった
が、Anthracite においては水深 3 m 層のほうが 1 m 層より成長が良好であった。富栄養な都市沿岸域に
おける持続可能な二枚貝のカゴ養殖には海域環境、特に溶存酸素量のモニタリングが不可欠であると考
えられた。

Key Words : edgeless glass bottle cullet, cage culture, Osaka Bay, ark shell

1. はじめに

我が国におけるガラスの年間生産量は 300 万トン以上
であり、大量に使用される素材の一つである。ガラス瓶
リサイクルのシステムは、繰り返し使うリターナブルシ
ステムと砕いて新しいガラス瓶の原料として再利用する
ワンウェイシステムが確立されている^{注1)}。しかし、年間
約 115 万トンもの資源化されない空き瓶が、埋め立て処
分されている。ガラス瓶生産におけるカレット利用率は、
年々着実に増加しているものの、ガラス瓶の品質の点か
ら、瓶から瓶へのカレット利用は既に限界に達している。

ガラス瓶カレットの用途は、ガラス瓶原料としての利
用が 90%以上を占めている。ガラス瓶以外の用途は約 10
万トンで、その 4 割がガラス繊維原料として、そのほか
の用途として 6 割がタイル・ブロック類、道路舗装用骨
材、軽量骨材等に利用されている¹⁾。ガラスカレットの
リサイクルをさらに向上させていくためには、ガラス瓶

以外への用途開発が強く求められている。

東京湾や大阪湾再生プロジェクトに謳われている豊か
で美しく恵み多い「豊穡の海」に対する都市市民の期待
は大きい。一方、生物多様性に富み生産性が高い干潟や
浅場は激減し、また海砂の採取禁止とも相まって生態系
や国土保全上不可欠な海浜の維持・再生に係わる海砂代
替物の必要性が高まっている。大阪湾では水環境の改善
により生物飼育可能域が拡大するものの、沿岸域にはい
まだ多数の未利用・遊休閉鎖性水面が存在しており、そ
の活用が望まれている。

大阪湾では近年、水環境の改善が進むとともに、水産
資源の管理が適正に行われるようになったことによりア
カガイ (*Scapharca broughtonii*) やトリガイ (*Fulvia mutica*)
といった市場価値の高い二枚貝類が安定的に漁獲される
ようになっている^{注2)}。前述の二枚貝類のうち、アカガイ
は、例えば山口県で 1000 万個オーダーの人工種苗を生産
している²⁾ように稚貝の入手が容易であることから、カゴ

養殖試験の対象種として適性や可能性は高いと考えられる。

アカガイは、水深5-50mの砂泥から泥底に生息する。アカガイの生息域は、海底に細粒分が堆積する場所は流速が緩く、表層からエサになるプランクトンやデトリタス等の有機物が降り注ぐ海域で、夏には過剰な有機物が分解され、貧酸素水の発生しやすい場所でもある。貧酸素下ではそこに生息する生物はその場から逃避したり、へい死したりするが、アカガイはある程度の貧酸素(2ml/L=2.86mg/L)³⁾には耐えることができる。幼生はふ化後3週間海中を浮遊した後、海底のゴミや貝殻等に足糸で付着し、10ヶ月で殻長30mmになると海底に潜泥する。満1年で殻長30-50mm、2年で50-70mmになり商品サイズとなる。また、水管がないので、外套膜の縁(ヒモ)で水の入口と出口をつくり、吸い込んだ水とともに水中の有機物やプランクトンを粘液にからめて摂餌する。そのため泥底に深く潜ることはない^{注3)}。

アカガイが生息可能な上限水温は25℃までとされ、30℃は致命的とされる。塩分では14-15付近が境界塩分域であり、それ以下の塩分では生残率が著しく低下する。また、アカガイの殻は箱型で転がりやすい形状をしており、カゴが波浪等で揺れると転がりやすく定位出来ないため、外套膜を開いて行う摂餌活動が十分に出来ないことによる摂餌不良が原因でへい死や成長不良が起こることも報告されている³⁾。そのため、アカガイを飼育するためには基質が不可欠である。

本研究は市民生活から発生する大量のガラス瓶カレットを資源として有効活用することを目指し、美味しく身近な海産物に対する市民願望と水産増養殖技術の進歩を受け、エッジレスガラス瓶カレット(クリスタルストーン・サンド、以下CSS)の生物成育基質としての有効性検証と、富栄養な都市沿岸海域での高級二枚貝 アカガイのカゴ養殖の可能性を検討した。

2. 調査方法

(1) 調査海域

本研究は、大阪湾東岸に位置する大阪府岸和田市の静穏な阪南1区岸和田泊地で実施した(図-1)。現地の水深は6m前後であり、平常時における泊地内への河川水の大量流入は認められない。

(2) 材料と方法

a) 実験に供した材料

飼育用基質はCSS、および入手が容易であり三重県^{4,5)}等のアカガイ等の二枚貝のカゴ養殖に用いられているAnthracite(無煙炭を破碎し粒状にしたもの、以下 Anthra)

の2種類とした。各基質の性状については、CSSが粒径1.2-2.5mm、密度2.4-2.6g/cm³である^{注4)}。Anthraについては、粒径1.5mm、密度1.40-1.69g/cm³である^{注5)}。

b) 実験に用いたアカガイの入手と飼育実験の概要

飼育実験には、山口県下松市栽培漁業センターで生産されたアカガイの稚貝を用いた。飼育用カゴ(コンテナ)はプラスチック製(内寸:長さ395×幅304×深さ200mm)で、カゴ上面には害害防止ネット(目合10mm、以下フタ)を取り付けた(図-2)。両基質は厚さ130mmとなるようにカゴ内部へ敷き詰め、飼育水深は夏季の高温と貧酸素の影響を考慮し1mと3mとした(図-3)。



図-1 調査海域 (Googleの地図を加工して作成)



図-2 飼育用カゴの外観 (フタを取り付けた状態)

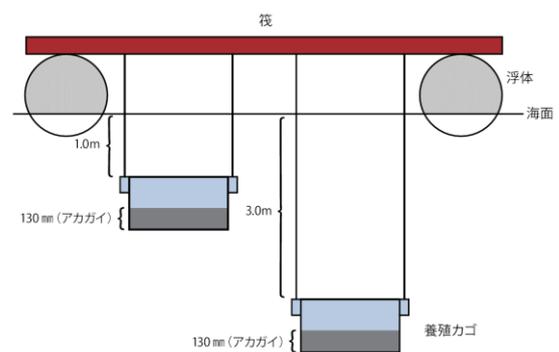


図-3 実験施設の概要

(3) 実験方法

アカガイは2021年9月28日に各カゴへ40個ずつ入れ(実験開始時の平均殻長37.8mm, 平均殻付き重量10.7g), 2022年12月まで1ヶ月に1回, 殻長, 殻付き湿重量, 生残数を計測した。実験開始時の収容個体数は, 1982年から1983年にかけて長崎県大村湾で行われた垂下養成試験²⁶⁾を参考に設定した。また, 飼育環境の維持管理のために, 収容カゴやフタ, ロープ等に付着した生物, 収容カゴ内に堆積した浮泥の除去も実施した。また, 実験場所において多項目水質計(ASTD, JFEアドバンテック社製)により水温, 塩分, 溶存酸素濃度(Dissolved Oxygen, 以下DO), クロロフィル蛍光量を測定した。

クロロフィルa量(以下, Chl.a)への換算は, 蛍光光度計(10-AU-005-CE, Turner designs Inc.社製)を用いて, Holm-Hansen法により分析した値と現地での実測値から換算係数を期間ごとに求めた(換算係数: 2021年9月 - 2022年3月; 1.39, 2022年4月 - 同年12月; 1.87)。2021年9 - 10月においては, メモリー式DO連続観測計(AR01-USB, JFEアドバンテック社製; 以下, メモリーDO計)を水深3mに設置し, 水温, DOを10分おきに測定した。

実験期間中におけるアカガイの殻長, 殻付き重量の4飼育区についての有意差は, 時間と水深を変数とした二元分散分析を用いて調べ, 基質と水深による影響を明らかにした。一方, 生残率(=100×生残数/実験開始時の収容個体数40個体)の有意差は実験終了時の値に対して χ^2 検定を用いて調べ, 基質と水深による影響を明らかにした。統計解析にはR²⁷⁾を用いた。

3. 結果

(1) 実験水域の環境

実験水域の水温, 塩分, DO, Chl.aの推移(2021年9月28日 - 2022年12月21日)を図-4に示した。

実験期間中の水温は, 水深1m層で9.0-29.6°C, 水深3m層では9.2-30.0°Cの範囲で推移した。両層ともに飼育が開始された2021年9月28日から2022年1月18日にかけては低下し続け, 同年1月18日から3月8日にかけては9°Cほどで推移した。2022年3月8日以降の水温は上昇し続け, 2022年8月24日には約30°Cにまで達した。そこから飼育終了時にかけては低下し続けた。

塩分は, 水深1m層で27.3-31.8, 水深3m層で26.4-32.0の範囲で推移した。両層ともに6-9月に値の低下がみられた。6-9月以外の時期については30-32と比較的安定していた。

DOは, 水深1m層で3.3-9.9mg/L, 水深3m層で1.2-9.2mg/Lの範囲で推移した。夏季から秋季においては2

-3mg/Lあたりまで低下する事例がしばしばみられた。その傾向は水深3m層において明瞭であり, 2021年9月14日には1.3mg/L, 2022年9月14日には1.6mg/Lまで低下した。10月以降のDOは両層ともに上昇傾向を示していた。

Chl.aは, 水深1m層で0.7-18.2 μ g/L, 水深3m層で1.1-17.8 μ g/Lの範囲で変動を繰り返しながら推移していたが, 冬季(2022年2月)においても5 μ g/Lを超える高い値がみられた。

メモリーDO計による連続観測結果を図-5に示した。水温は昼夜に同調して変動していた。DOは2mg/L⁴⁾を下回るケースはみられたものの, その状態が長時間(例えば0.5ml/L(=0.72mg/L)での半数致死日数である10日間³⁾)継続することはなかった。

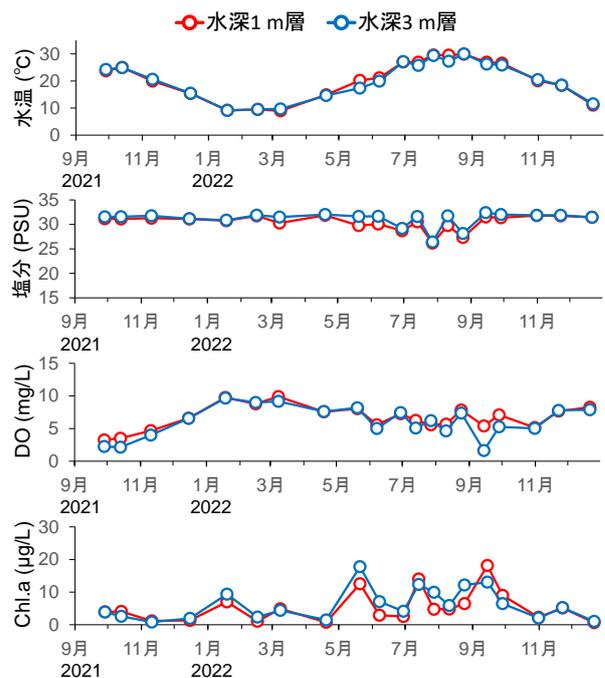


図-4 実験水域における水温, 塩分, DO, Chl.aの推移

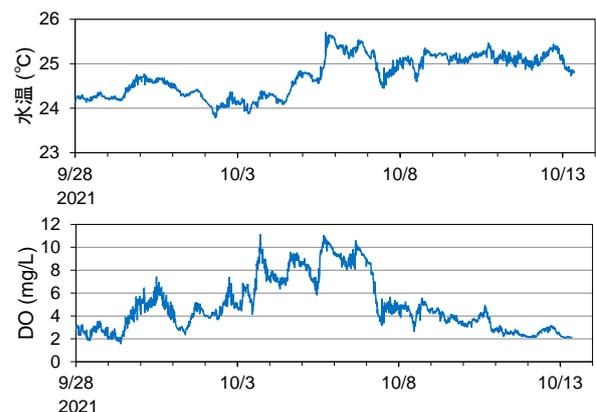


図-5 メモリーDO計による水深3m層の水温とDOの時系列変化

(2) アカガイの成長と生残率

実験期間中におけるアカガイの殻長、殻付き重量、生残率の推移をそれぞれ図-6、図-7、図-8に示した。

アカガイは2022年12月21日までの449日間の飼育により、殻長が水深1m層のCSS区で 62.0 ± 3.1 mm (平均値 \pm SD, 以下同じ)、Anthra区では 63.5 ± 2.8 mm, 水深3m層のCSS区で 63.1 ± 3.5 mm, Anthra区では 65.6 ± 2.7 mmとなり、4飼育区について殻長を比較したところ、有意な差がみられた(二元分散分析, $p < 0.001$)。同じ水深でみた場合、基質による殻長の差は両層ともにみられなかった(Bonferroniの補正による二元分散分析, $p > 0.05$)。一方、同じ基質でみた場合、水深による殻長の差はCSS区においてはみられなかった(Bonferroniの補正による二元分散分析, $p > 0.05$)が、Anthra区においてはみられ、水深3m層のほうが大きかった(Bonferroniの補正による二元分散分析, $p < 0.001$)。

殻付き重量は水深1m層のCSS区で 64.3 ± 5.5 g, Anthra区では 65.6 ± 2.8 g, 水深3m層のCSS区で 66.2 ± 9.3 g, Anthra区では 71.8 ± 7.7 gとなり、4飼育区について殻付き重量を比較したところ、有意な差がみられた(二元分散分析, $p < 0.001$)。同じ水深でみた場合、基質による殻長の差は水深1m層ではみられなかった(Bonferroniの補正による二元分散分析, $p > 0.05$)が、水深3m層ではみられ、Anthra区のほうが大きかった(Bonferroniの補正による二元分散分析, $p < 0.001$)。同じ基質でみた場合、CSS区, Anthra区ともに水深1m層よりも水深3m層のほうが大きかった(CSS区; Bonferroniの補正による二元分散分析, $p < 0.05$; Anthra区; Bonferroniの補正による二元分散分析, $p < 0.001$)。

生残率はいずれの飼育区においても実験開始の2-3ヶ月の間で大きく低下したが、それ以降については飼育が終了するまでは緩やかな低下にとどまった。飼育終了時の生残率は50-65%となり、各区で有意な差はみられなかった(χ^2 検定, $p > 0.05$)。なお、飼育期間中における食害の影響は、フタの効果により確認されなかった。また、毎月のカゴ掃除により、カゴ内部の水の循環を遮るような生物の付着による影響は軽減された。

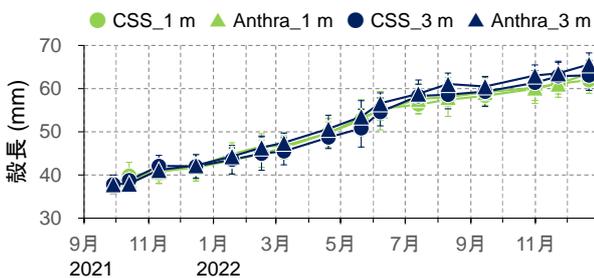


図-6 殻長の推移 (平均値 \pm SD)

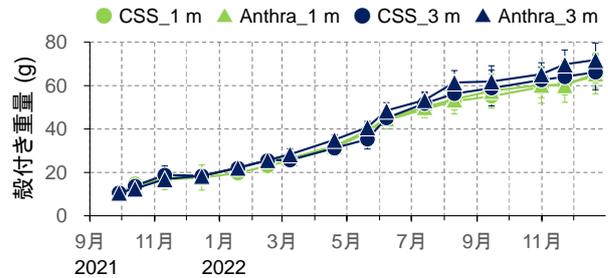


図-7 殻付き重量の推移 (平均値 \pm SD)

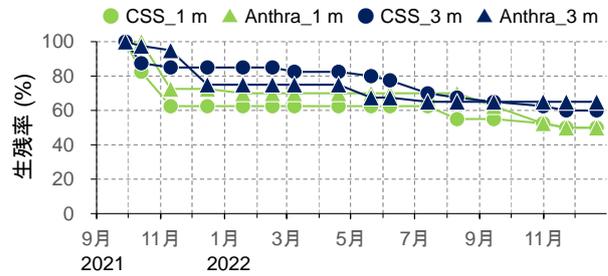


図-8 生残率の推移

4. 考察

アカガイの飼育は従来からいくつかの府県で様々な方法で行われ、夏季から秋季にかけての高水温期に 25°C 以上の水温が長期にわたった場合に大量へい死が起きることが指摘されている^{注6)}。本実験では 25°C 以上の高温が水深1m層では7ヶ月にわたり続いたが、高水温期のアカガイの大量へい死はみられなかった。塩分も14-15 ‰ を切る値はなかった。DOは2022年9月の水深3m層において 1.6mg/L まで低下しているのが確認された。しかしながら、2021年9-10月に実施したDO計を用いた連続観測によると、DOは 2mg/L^3 を下回るケースはみられたものの、その状態が日単位で継続することはなかった。Chl.aの時系列的な変動はみられたものの冬季にも $5\mu\text{g/L}$ を超える高い値がみられ、餌料環境は好適であったと推察される。これら水温・塩分・DO・Chl.aの変動から、富栄養な大阪湾東部沿岸の泊地である本実験水域はアカガイの成育に最適な環境とは言えないものの、カゴによる養成が可能であると考えられた。

なお、生残率の低下は実験開始の2ヶ月から3ヶ月の間で起こっており、この期間中の減耗の主原因はアカガイが飼育水槽からカゴへ移されるという飼育環境の変化の影響を受けたことに加え、この時期に調査海域の周辺で行われるシラス漁で入出港する漁船の航跡波等の影響を受け、十分に定位できずに動揺したこと、生息密度が高すぎて個体同士が重なり、ぶつかり合い、外套膜を開いて行う摂餌活動が十分にできなかったことから摂餌不良によりへい死に至ったと考えられた。また、実験開始

449 日後における殻長は水深 1 m 層に比べて水深 3 m 層で 1.02-1.03 倍、殻付き重量は水深 1 m 層に比べて水深 3 m 層で 1.03-1.09 倍大きく、殻長、殻付き重量ともに水深 3 m 層のほうが水深 1 m 層に比べると高成長となる傾向が示された。それらの理由として、水深 3 m 層のほうが前述の航跡波等の影響が小さく、摂餌活動をするのに有利な環境であったためではないかと推察された。

本実験でのアカガイの平均日間成長速度を求めてみたところ 0.06 mm/day であり、この値は佐賀県伊万里湾で 0.06 mm/day (2007)⁸⁾、三重県鳥羽市 (2013)⁹⁾ および山口県笠戸湾 (2012)⁹⁾ の 0.09 mm/day と同程度を示した。本実験では生息密度が高かったにもかかわらず既往知見に匹敵する成長となったのは、富栄養により餌が多かったためと考えられる。したがって、CSS は養殖ならびに沖合で漁獲した市場価値の低いアカガイ小型個体の畜養など生物成育基質として活用できることが明らかとなった。今回の実験においてアカガイが CSS 基質で成長したことから、生物生息という視点では、海砂に代わる干潟や海浜造成等の覆砂材として都市沿岸域の遊休泊地や未利用な閉鎖性海面での CSS の利用可能性が考えられた。

5. おわりに

本研究により、アカガイが CSS の垂下養殖カゴで順調に生育し、市民生活から大量に発生する CSS が二枚貝等の生物成育基質として従来のものと遜色なく活用できることが判明した。CSS と Anthra での殻長を同じ水深で比較した場合、両者において差が見られなかった。一方、同じ基質の場合、水深による殻長の違いが CSS 区では認められなかったが、Anthra 区においては水深 3 m 層のほうが 1m 層よりも成長が良好であった。富栄養な都市の沿岸域における持続可能な二枚貝のカゴ養殖には水温・塩分とともに DO のモニタリングが不可欠であると考えられた。

NOTES

- 注1) 環境省資料. (<https://www.env.go.jp/content/900506596.pdf>, 参査 1-59.)
- 注2) JF 全漁連: 組合員同士の協力と対話で資源管理に取り組む「泉佐野のトリガイ」. (https://sakanadia.jp/to rikumi/osaka_torigai2022/)
- 注3) 大阪府立環境農林水産総合研究所: 図鑑、大阪湾の生き物、アカガイ. (https://www.knsk-osaka.jp/zukan/zukan_database/osakawanikimono/385c4e95fd0b200/935c4e9ff7759a1.html)
- 注4) 藤野興業 (株): クリスタルストーン・サンド, パンフレット. (<https://www.fujino-kougyo.co.jp/products/product-4923/>)

- 注5) 株式会社トーケミ: 製品紹介, ろ材・ろ過膜, アンソラサイト (水処理用濾材). (<https://www.tohkemy.co.jp/products/anthracite/>)
- 注6) The R Project for Statistical Computing. (<https://www.r-project.org/>)
- 注7) 沼口勝之: アカガイ垂下養殖の可能性と問題点, 中央水研ニュース, No.22, 1998. (<https://nrifs.fra.affrc.go.jp/news/news22/2203.htm>)

REFERENCES

- 1) 小山秀美, 田中実, 有馬信行: ガラス瓶カレットを主原料にした焼成ブロックの開発, 東京都立産業技術研究所研究報告, 3, pp.111-112, 2000. [Koyama, H., Tanaka, M., and Arima, N.: Fired brick manufacturing from glass bottle cullet, *Bulletin of Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute*, Vol. 3, pp. 111-112, 2000.]
- 2) 沼口勝之: アカガイ人工種苗の養殖漁場における成熟過程, 日本水産学会誌, 62(3), pp.384-392, 1996. [Numaguchi, K.: Gonad Development of the ark shell *Scapharca broughtonii* (Schrenck) broodstock in farming grounds of Japan, *Nippon Suisan Gakkaishi*, Vol. 62, Issue 3, pp. 384-392, 1996.]
- 3) 中西雅幸: アカガイの成長に及ぼす水温, 塩分, 溶存酸素濃度の影響について, 京都海洋センター研報, 5, pp.23-28, 1981. [Nakanishi, M.: Some effects of water temperature, salinity and dissolved oxygen concentration on growth of ark shell, *Scapharca broughtonii*, *Bulletin of Kyoto Institute of Oceanic and Fishery Science*, Vol. 5, pp. 23-28, 1981.]
- 4) 三重県尾鷲市水産商工食のまち課: 二枚貝, pp.17-27, 2014. [Suisanshokosyokunomachi-ka, Owase City, Mie Prefecture: Clams, pp. 17-27, 2014.]
- 5) 三重県農林水産部水産経営課: 平成 25 年度水産業改良普及事業成果報告書, アカガイ垂下式養殖試験, 2013. [Mie Prefecture Norinsuisan-bu Suisankeiei-ka: Heisei25nendo Suisangyo Fukuyujigyoseikahoukokusyo, Test of hanging culture of the ark shell, *Scapharca broughtonii*, 2013.]
- 6) 沼口勝之: アカガイの生残および生理状態におよぼす塩分の影響, 水産増殖, 47(3), pp.391-396, 1999. [Numaguchi, K.: Influence of salinity on the survival rate and physiological condition of the ark shell, *Scapharca broughtonii* (Schrenck), *Suisanzoshoku*, Vol. 47, Issue 3, pp. 391-396, 1999.]
- 7) 江口泰蔵, 真崎邦彦, 千々波行典: 佐賀県伊万里湾における養殖アカガイの成長, 生残について, 佐賀玄海水振セ研報, 4, pp.31-37, 2007. [Eguchi, T., Masaki, K., and Chijiwa, Y.: Growth and survival of ark shell, *Scapharca broughtonii*, culture in Imari Bay, *Bulletin of Saga Genkai Institute of Oceanic and Fishery Science*, Vol. 4, pp. 31-37, 2007.]
- 8) 山口県: 栽培てびき (改訂版), アカガイ, pp.108-115, 2012. [Yamaguchi Prefecture: Guidance of aquatic culture (Revised edition), ark shell, *Scapharca broughtonii*, pp. 108-115, 2012.]

(Received February 9, 2023)

(Accepted May 11, 2023)

A FIELD EXPERIMENT ON THE CAGE CULTURE OF ARK SHELLS USING
EDGELESS GLASS BOTTLE CULLET IN COASTAL AREAS OF EASTERN
OSAKA BAY

Masakane OSHIMA, Kouichi YAMAMOTO, Akira NAKAOKA,
Takashi YOKOYAMA, Tadayoshi KUBO, Tsukasa YOSHIDA and
Susumu YAMOCHI

This field experiment revealed that ark shell *Scapharca broughtoniie* grew well (increase from 37.8 mm to 62.0-65.6 mm in length in 449 days) in the suspended culture cage where glass bottle cullets (Crystal Stone Sand; CSS) were used as substrate. The CSS discharged from public life in large quantities was thought to be available for the substrate of aquacultures of marine bivalves. In comparison between CSS and Anthracite, no significant difference was observed in shell length at the same depth. In case of the same substrate, the shell length was significantly higher at 3m than 1m depth for Anthracite although there was no significant difference in the shell length among two depths for the CSS. Monitoring of sea environments, especially dissolved oxygen, is crucial for the sustainable cage cultures of clams in the enriched coastal area like Osaka Bay.