

豊前海における水平垂下式カキ養殖の導入に関する研究

田中 慎也¹・永松 公明²・黒川 皓平^{1a}・野副 滉^{1b}・後川 龍男¹・鹿島 祥平¹
(¹ 豊前海研究所・² 国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産大学校)

カキ養殖の生産効率向上を目的として、豊前海で通常行われている鉛直垂下方式と比較して高密度で養殖可能な水平垂下方式での成長試験や餌料環境の調査を実施した。その結果、水平垂下では高密度で育成しても成長が良好であり、収穫量が増加することが明らかになった。鉛直垂下と比べて水平垂下のコレクター周辺の潮通しが良くなることで、養殖筏内で餌料環境の指標であるクロロフィルフラックスが高くなり、これが良好な成長に繋がったものと推察された。

キーワード：マガキ、水平垂下、養殖手法、成長、クロロフィルフラックス

福岡県豊前海区でのマガキ養殖は、1983年に恒見漁協（現豊前海北部漁協恒見支所）で試験養殖が開始されてから急速に発展し、現在では「豊前海一粒かき」というブランド名で年間1,500トンを超える生産を揚げる冬季の主幹漁業に成長している。

現在、カキ養殖は豊前海全域に拡大しており、安定した生産を継続している。しかしながら、漁船漁業との漁場の競合があり、利用可能な漁場が沿岸に限られていることから、漁場の大幅な拡大は困難な状況である。

今後、生産量を維持・増大させるためには、養殖手法の改良により、養殖密度を高め、単位収量を増やす対策が必要である。

現在、豊前海ではコレクター（カキ種苗が付着したホタテ殻）を垂下ロープに対し鉛直方向に挟み込む鉛直垂下方式（以下鉛直垂下と記述）による養殖が行われている。一方、広島県や三重県では、塩ビ管等のスペーサーを用いてコレクターを水平方向に配置するいわゆる「水平垂下方式」（以下水平垂下と記述）が一般的である¹⁾。

この水平垂下は、コレクターを水平に配置するため、潮流に対する抵抗が小さいことが期待される。さらに、垂下ロープには、コレクターの幅の分、間隔を狭く配置できることから、垂下ロープあたりのコレクター枚数を増やすことが可能となる。

そこで、当海区において水平垂下がカキの養殖密度を高め、単位収量を増やす対策となりうるか検証を行った。

方 法

1. 室内水槽実験

(1) 流れの可視化による観察

本実験では、コレクターの配置の違いによる流れの差異を把握するため、小型可視化水槽にコレクターを配置し、トレーサー法²⁾により流れの観察を行った。

トレーサー法とは流れの場に流体と同じ動きをするトレーサー（アルミ粉）を懸濁させて、トレーサーが描く線および模様により流れの状況をレーザー光の照射で可視化する方法である。図1に流れの可視化実験の概要、図2に実験に使用した小型可視化水槽を示す。

実験では、小型可視化水槽（PT-130：西日本流体技研）の観測部中央にコレクターを固定、流速5cm/sでトレーサーを流し、上方からグリーン・レーザー光をコレクター中央部に向けて照射した。

コレクターは、実際の水平垂下および鉛直垂下を想定し、水平垂下については凸面あるいは凹面が上方を向くように、鉛直垂下については凸面が上流側を向くよう

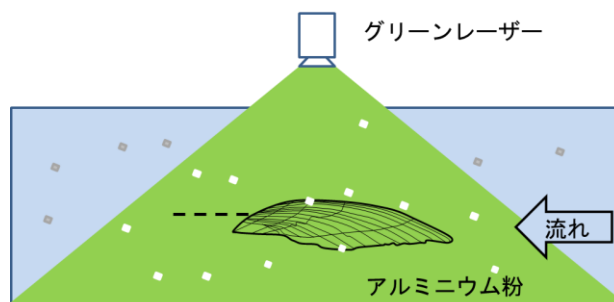


図1 流れの可視化（トレーサー法）の概要



図2 小型可視化水槽

にそれぞれ固定した。トレーサー法による流れの状況は、静止画および動画に記録した。また、画像解析ソフト imageJ を用いて、得られた静止画から垂下方式別に下流側に出来る乱流域の面積を算出した。

2. 海上試験

(1) 適切なコレクター間隔の検討

水平垂下の適切なコレクター間隔を検討するため、2019年に、図3に示す人工島周辺漁場の養殖筏において成長試験を実施した。試験区として水平垂下のコレク

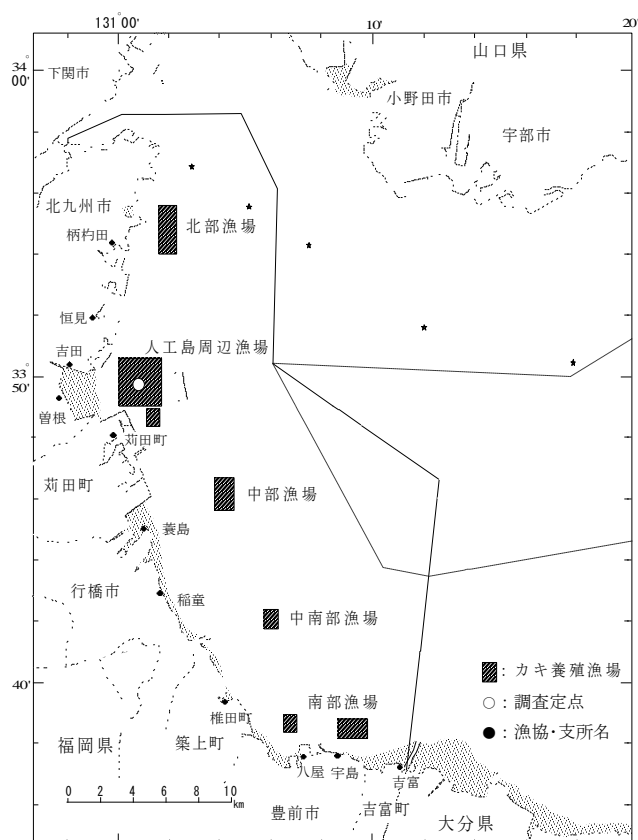


図3 調査地点

ター間隔を 15cm, 20cm, 30cm としたものと、対照区として鉛直垂下（間隔 30cm）の垂下連を各区 20 本ずつ 4 月に垂下した。コレクターの間隔は図4に示すように、コレクターの中心間の距離として設定した。マガキのサンプリングは、2019年6月から翌年1月まで月1回行い、各試験区からコレクターを数枚採取、その中から無作為に 20 個体選別し、20 個体選別できない試験区は全数を用いた。測定項目は、殻高及び殻付き重量とし、その差を検討するため、Tukey-Kramer 法による多重比較（有意水準 5%）を行った。

(2) 垂下方式別の収穫量の比較

垂下方式別の収穫量を比較するため、2021年に図3に示す人工島周辺漁場の上記(1)と同じ養殖筏にて、成長試験を実施した。試験区として、鉛直垂下のコレクター間隔を豊前海で一般的である 22.5cm（研究所調べ）としたものと、水平垂下の間隔を 21cm（規格品の塩ビ管使用）としたものを4月に各 20 本ずつ垂下した。翌年1月に垂下ロープ 2 本ずつ収穫、その中から無作為に 60 個サンプリングし、平均殻付き重量を測定した。平均殻付き重量、コレクター 1 枚あたり付着数及びコレクター間隔から収穫量を算出した。

(3) 養殖筏の餌料環境の測定

2021年9月24日12時から10月1日0時にかけて、図3に示す人工島周辺漁場の隣り合う鉛直垂下及び水平垂下のみの養殖筏中央部に、図5に示すように流向流速計（AEM-USB：JFEアドバンテック社）とクロロフィル濁度計（ACLW-USB：JFEアドバンテック社）を設置し、筏内の流速及びクロロフィルa濃度を測定した。流向流速計及びクロロフィル濁度計の測定間隔は10分に設定し、流速については、2方向の流速を合成して算出された合成流速を使用した。さらにクロロフィルa濃度と流速の積で求められるクロロフィルフラックスを用い

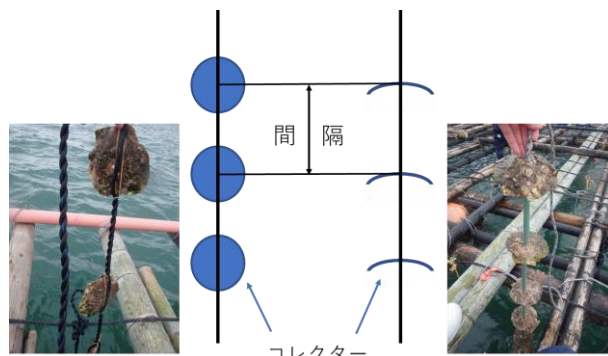


図4 鉛直垂下（左）と水平垂下（右）の概略図

養殖筏概略図

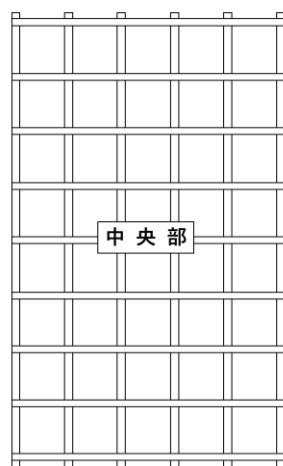


図5 測定機器の設置箇所及び方法

機器設置方法

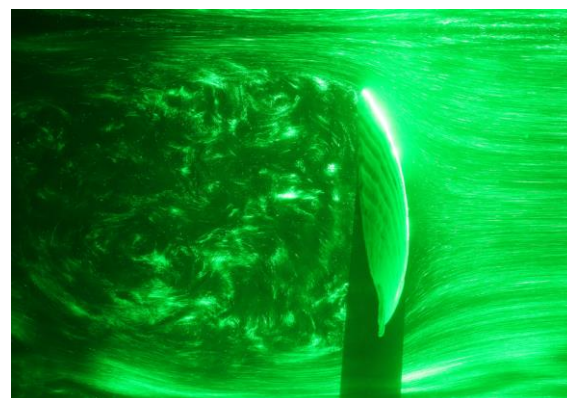
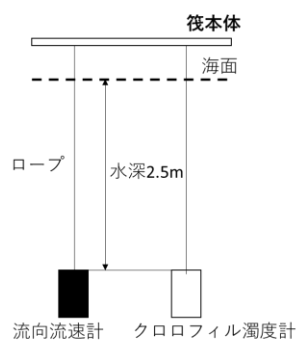


図6 鉛直垂下を想定した流れの可視化 (5cm/s)

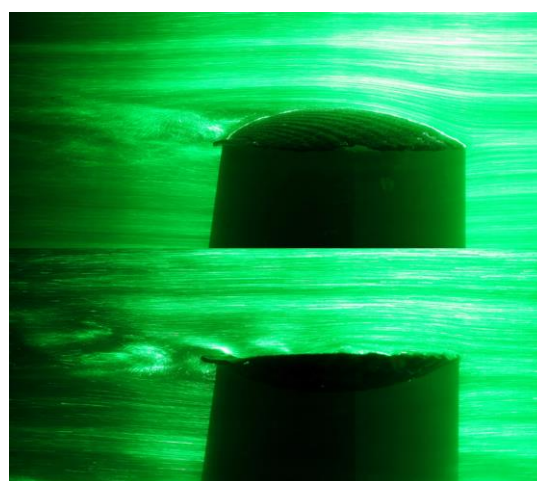


図7 水平垂下を想定した流れの可視化
(上：凸面が上，下：凹面が上，5cm/s)

て筏内の餌料環境を評価した。

各項目の値についてはt検定(有意水準5%)による2試験区間での統計処理を実施した。

結 果

1. 室内水槽実験

(1) 流れの可視化による観察

流速 5cm/s の定常流中における鉛直垂下及び水平垂下を想定した場合のコレクター周りの流れの可視化写真をそれぞれ図6, 7に示した。写真の右側が流れの上流側であり、コレクターの下方に見られる黒い部分はレーザー光がコレクターに遮られることによって発生した影である。

鉛直垂下の場合、コレクターの左側(下流側)には逆流を伴う広範囲に及ぶ乱流域が確認された。一方、水平垂下では下流側に一部小規模な乱流域のみみられるものの、凸面及び凹面側においても、流れはコレクター表面に沿ってスムーズに流れる様子が確認された。

下流側に確認された乱流域の面積は、水平垂下で 24.9cm²、鉛直垂下で 226.3cm²と算出された。

2. 海上試験

(1) 適切なコレクター間隔の検討

試験期間中の各試験区の殻高を図8に、殻付き重量を図9に示した。

試験が終了した1月時点での殻高は、水平区(20cm)の方が鉛直区(30cm)よりも有意に大きかった(Tukey-Kramer法: P<0.05)。殻高の大きさ順では、水平区(間隔20cm)>水平区(15cm)>水平区(30cm)>鉛直区(30cm)

となった。

殻付き重量は、水平区(間隔20cm)>水平区(15cm)>水平区(30cm)>鉛直区(30cm)の順となったが、各水平区とも、鉛直区との有意な差は見られなかった。

(2) 垂下方式別の収穫量の比較

垂下方式別の収穫量を表1に示した。1月時点での垂下ロープ1本分の収穫量比は1.21倍と、水平垂下の方が収穫量が多い結果となった。

(3) 養殖筏の餌料環境の測定

試験期間中の流速、クロロフィル濃度及びクロロフィ

表1 垂下方式別のカキ収穫量比

	* コレクターあたり 殻付きカキ総重量 (g)	** 重量比(a)	コレクター間隔(cm)	コレクター間隔比 (b)	収穫量比 (a)×(b)
鉛直垂下	208.2	1	22.5	1	1.0
水平垂下	236.2	1.13	21	1.07	1.21

*収穫時点(1月)の付着数×平均重量で試算

**鉛直区のコレクターあたりの殻付きカキの総重量を1とした場合の水平区の重量比を算出。

ルフラックスの値を 1 時間平均し、その推移をそれぞれ図 10, 11, 12 に示した。

流速は、鉛直区 3.65cm/s, 水平区 4.00cm/s と水平区の方が有意に速い結果となった (t 検定: $p < 0.05$)。

クロロフィル a 濃度は、鉛直区 1.45 $\mu\text{g/L}$, 水平区 1.59 $\mu\text{g/L}$ で水平区の方が有意に高く (t 検定: $p < 0.05$) , クロロフィルフラックスも鉛直区 5.31 $\mu\text{g/L}\cdot\text{cm/s}$, 水平区 6.33 $\mu\text{g/L}\cdot\text{cm/s}$ と水平区の方が有意に高い結果となった (t 検定: $p < 0.05$)。

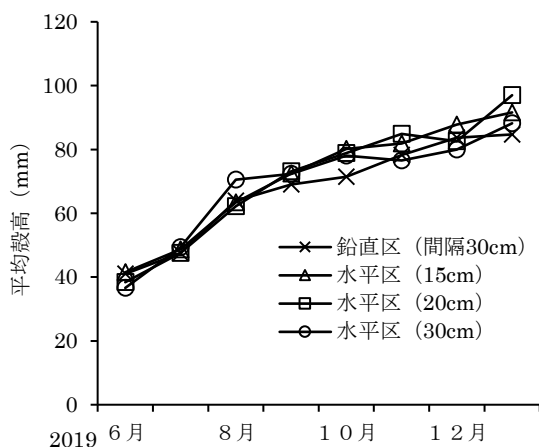


図 8 コレクター間隔別の平均殻高

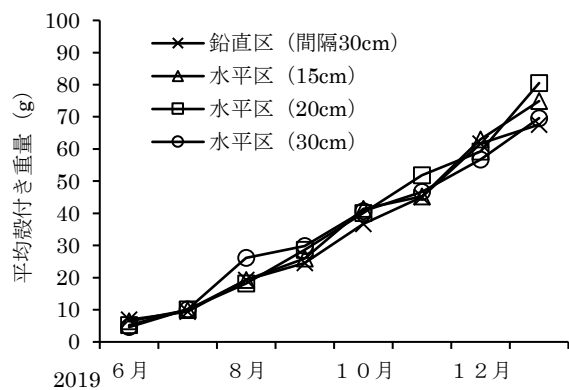


図 9 コレクター間隔別の平均殻付き重量

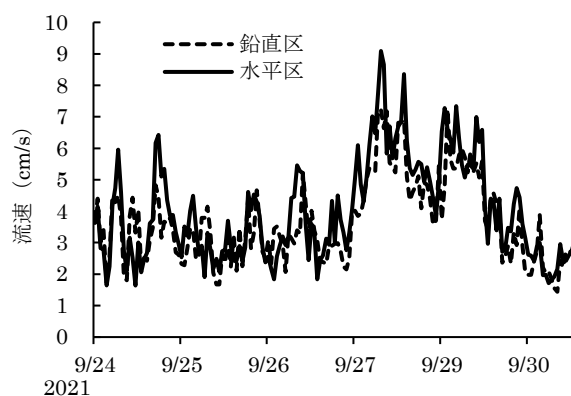


図 10 垂下方式別筏内の流速の推移

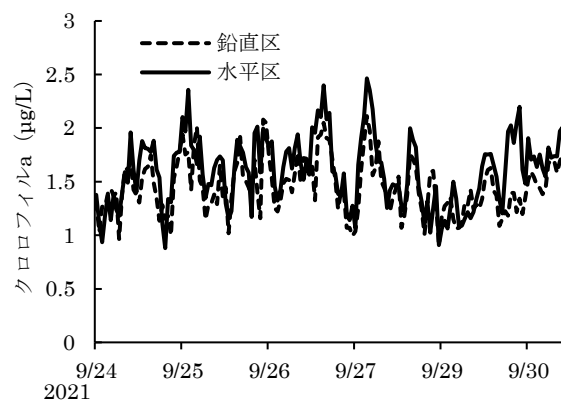


図 11 垂下方式別筏内のクロロフィルの推移

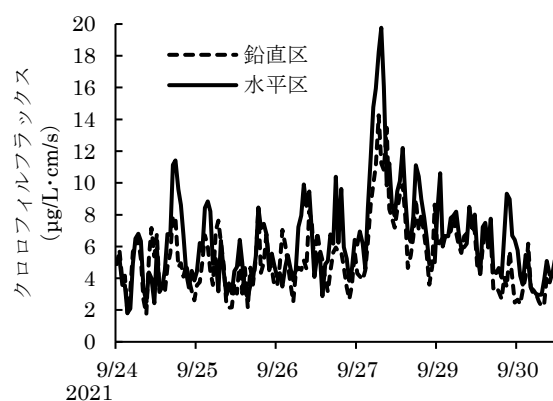


図 12 クロロフィルフラックスの推移

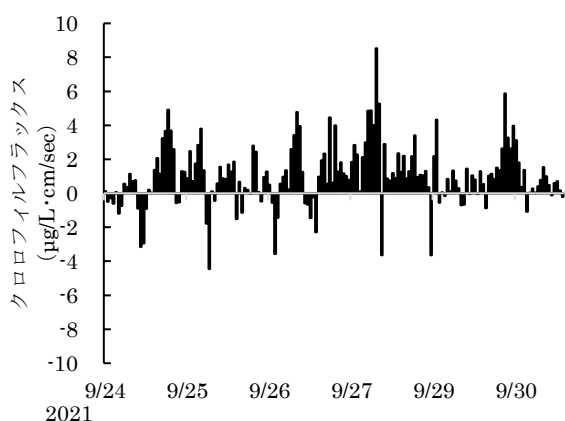


図 13 水平区から鉛直区を引いた差の推移

考 察

今回の結果では、鉛直垂下よりもコレクター間隔 20cm に設定した水平垂下で、カキの成長が良好であったが、間隔 30 及び 15cm では鉛直垂下と差がみられなかった。間隔 30cm では垂下ロープあたりのコレクター枚数が他の試験区より少なく、ロープ自体が筏の揺れによって振動しやすかったため、その振動の影響によりカキの成長が阻害され³⁾、鉛直垂下との差がみられなかったものと考えられた。一方、間隔 15cm では、上下のコレクターから成長したカキ同士が重なり合い、成長が抑制されたためと考えられた。これらのことより、水平垂下の養殖密度はコレクター間隔を狭めても成長が良好である間隔 20cm が適当であると考えられた。

次に、流れの可視化試験では水平に垂下すると、コレクター周辺には大きな滞留がみられず、潮通しが良い状況が確認された。鉛直垂下の場合、コレクターに流れが当たる面の高さが 12cm であったのに対して、水平垂下の場合は 2cm と 6 分の 1 しかなかった。そのため、下流側にできる乱流域も鉛直垂下の方が約 9 倍と広範囲に滞留が引き起こされていた。以上のことより、水平垂下では視覚的にも滞留が起きづらい状況が確認された。

養殖筏中央部における流速は、鉛直垂下よりも水平垂下の方が速い結果となった。これは、室内試験における流れの可視化試験の結果とも一致し、海上においても水平垂下の潮通しの良さが示された。ただ今回の試験時期が 9 月下旬とカキがある程度成長した状態であり、カキが上下のコレクター間の隙間を塞ぐことによる潮通しの悪化が考えられた。そのため、カキが成長する前の時期に同様の試験を実施すれば、より流速に差が出る可能性があると考えられた。

また、中央部のクロロフィル量は水平垂下の方が高い結果となったが、上妻らは筏縁部部のクロロフィル量は

中央部と比較して高いことを報告しており³⁾、水平垂下では潮通しが良いため縁部からの栄養が豊富な海水が中央部まで滞留せずに流入することで、鉛直垂下よりもクロロフィル量が多くなったと推察された。

流速が速く、クロロフィル量も多かったことから両者を掛け合わせたクロロフィルフラックスは、水平垂下の方が高い結果となった。マガキ 1 個の濾水量は約 10L/hr とも言われており⁴⁾、筏中央部に栄養が豊富な海水が行き届くことはカキの成育にとって重要である。これまで、カキ養殖においてクロロフィルフラックスを測定した事例はないが、アサリでは、良好な成長に必要なとされるクロロフィルフラックスは 10 以上が望ましいとされている⁵⁾。単純に比較できるものではないが、今回の結果では 10 を超える数値は両試験区でほとんど確認されなかった。豊前海におけるカキ養殖は種苗垂下から収穫まで半年以上かかるが、今回の試験期間は 1 週間と短期間であったため、長期的な傾向をつかめなかった可能性があり、今後、流速やクロロフィル量を長期間測定していく必要があると考えられた。

次に、クロロフィルフラックスについて水平区から鉛直区の値を引いた差の推移を図 13 に示した。これを見ると、流速が速い時にその差も大きくなり、餌料環境も改善されやすい傾向が示唆された。このことより、流速が速い時間帯が長い方が垂下方式によるクロロフィルフラックスの差も大きくなり、カキ成育状況も良くなると考えられた。

今回試験を実施した漁場は人工島周辺であるが、より流速の速い中部や南部漁場の方では水平垂下の効果が高くなる可能性があり、更に良好な成長に繋がる可能性があると思われる。そのため、今後は筏規模での長期的な検証を進めていく必要がある。

中川ら⁶⁾は豊前海において、夏季及び秋季を通じてクロロフィル a 濃度の減少がみられることを報告している。クロロフィル a 濃度はカキ成育の重要な要素であるため、このような状況が続けば、長期的には成長不良が起きる可能性がある。今回の結果より、筏内の餌料環境を改善できる水平垂下は、このようなクロロフィル a 濃度減少の影響を低減できると考えられる。豊前海では、出荷前育成中のある程度成長した段階で 1 度収穫して、附着物を除去した後にかごに入れて再垂下し、身入りを向上させる「かご垂下」を行う。鉛直垂下よりも成長が良好であれば、この「かご垂下」を早期に開始でき、従来よりも長期間かご養成が可能となることから、更なる身入り向上も期待できる。

今回の収穫試験では、垂下方式を鉛直から水平にすることで、成長が良好なうえ、養殖密度を高めることが可

能となり、その結果収穫量を 1.21 倍に増大できることが示された。ただし、今回の試験は筏の一部で実施したものであるため、今後は筏規模での実証試験を行うことで、より詳細な生産性・収益性を明らかにする必要がある。また、水平垂下に変えることによる経費の増減や作業性の違い等も明らかにすることで、現場に普及しやすい体制作りも必要であろう。

文 献

- 1) 尾定 誠. シリーズ<水産の科学> 3. カキ・ホタテガイの科学, 朝倉書店, 東京都, 2019, 96.
- 2) 流れの可視化学会編. 新版流れの可視化ハンドブック, 朝倉書店, 東京都, 1987, 184-198
- 3) 上妻智行, 江崎恭志, 長本篤, 片山幸恵, 中川清. 豊前海における養殖カキの成長格差と環境要因. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2003 ; 13, 31-34.
- 4) 大島泰雄. 各論編かき. 浅海養殖, 第 1 版, 株式会社大成出版社, 東京都, 1986, 385.
- 5) 張成年, 山本敏博, 丹羽健太郎, 柴田玲奈, 日向野純也, 淡路雅彦, 松本才絵, 長谷川夏樹, 櫻井 泉, 秦安史, 鈴木秀和, 宮脇大, 村内嘉樹, 平井玲, 水野知巳, 羽生和弘, 程川和宏, 川崎信司, 内川純一, 梅本敬人, 生嶋登. 漁場生産力の有効活用によるアサリ母貝場造成および新規創出技術開発. 平成 24 年度水産基盤整備事業報告書 : http://www.mf21.or.jp/suisankiban_hokoku/data/pdf/z0000913.pdf, 令和 5 年 1 月 10 日閲覧
- 6) 中川浩一, 俵積田貴彦, 中村優太. 近年の「豊前海一粒かき」の成育状況と漁場環境との関係. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2003 ; 19 : 109-114.