

原著論文

静穏海域外で延縄施設を用いたアサリの垂下コンテナ飼育

安信秀樹*¹・磯部公一*²・金尾博和*¹

Suspended culture of asari clam *Ruditapes philippinarum* with two types of longline system in a rough sea area

Hideki YASUNOBU, Kimikazu ISOBE and Hirokazu KANAO

Asari clam, *Ruditapes philippinarum*, was reared experimentally with two types of longline system (surface and submerged arrays) in a rough sea area (maximum wave height of 2.7 m) in northeastern Harima Nada Sea, off Hyogo Prefecture. The clams were reared in plastic containers (depths of 115 and 175 mm) containing sand, which were suspended from longlines at three depths (2, 3, and 4 m). The containers in the submerged longline system showed less agitation and consequently greater sand retention than those in the surface longline system. Sand retention was also greater with increasing suspended depth. The clams grew faster with increasing suspended depths in the surface longline system, whereas no difference was recognized among the three depths in the submerged system. A sufficient amount of sand remained in the shallower containers (depth of 115 mm) for the clam to burrow at depths greater than 3 m in the submerged longline system. Therefore, the subsurface longline system with containers suspended at a depth of 3 m was considered to be appropriate for asari clam culture in rough sea conditions.

キーワード：アサリ，延縄養殖，波浪域，垂下養殖

2015年8月3日受付 2017年1月26日受理

トリガイ *Fulvia mutica* やアサリ *Ruditapes philippinarum* などの潜砂性二枚貝の垂下養殖では、コンテナにアンスラサイトや砂を敷き詰めて、いかなる中層に垂下するため（岩尾ら 1995, 藤原ら 2008, 安信 2014）、波浪によるコンテナの動揺があると、基質が流出することが指摘されており（岩尾ら 1995）、これまでは内湾などの静穏海域で養殖されていた（藤原ら 2008, 谷本ら 2011, 日向野 2014）。

兵庫県では天然アサリの漁獲量が減少するなか、アサリを種苗とした垂下養殖が注目されている（安信 2014）。垂下養殖したアサリは干潟のそれよりも肥満度が顕著に高いことが知られており（長谷川ら 2015）、兵庫県で養殖されたアサリも市場での評判が良く、高値で

取引されている（安信 2014）。このためアサリの垂下養殖を行う漁業者が増加し、養殖する場所が不足するようになった。しかし、兵庫県では静穏海域は限られており、そのような海域では既にカキやアサリの垂下養殖が行われている。また、静穏海域を持たない地域でもアサリの垂下養殖を実施したいとの要望が多く寄せられていることから、静穏海域外でもコンテナ内の基質が流出することなくアサリを垂下養殖できるような手法の開発が期待されている。

波浪のある海域のカキ養殖では、いかなる式よりも延縄式（浮子式）が一般的である（資源協会 1986）。また、ホタテガイ養殖はさらに波浪の強い海域で養殖されることから、カキとは若干異なる延縄式（半沈下式）養殖が

*¹ 兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター
〒674-0093 明石市二見町南二見 22-2

Fisheries Technology Institute, Hyogo Prefectural Technology Center for Agriculture, Forestry and Fisheries, 22-2 Minami-Futami, Akashi, Hyogo 674-0093, Japan

hideki_yasunobu@pref.hyogo.lg.jp

*² 室津漁業協同組合

実施されている（西山ら 1972, 資源協会 1986）。そこで、アサリにおいても延縄式養殖施設で垂下養殖できるか検討し、コンテナ内の基質の流出およびアサリの成長について知見を得たので報告する。

材料と方法

浮子式延縄養殖施設 20mm のポリエチレン製ロープ（PE ロープ）50m を幹縄とし、2m 間隔で丸形フロート（佐々木商工社製 MS-39, 浮力 29kgf）を幹縄と結束し、幹縄が海面から 0.8m になるようにした。この幹縄に海面から 2, 3, および 4m となるように 0.5m 間隔で 8mm の PE ロープをくくりつけ、その末端にコンテナを垂下し

た（図 1）。なお、幹縄末端のフロートは 200kgf, 錨は 80kg を使用した。

半沈下式延縄養殖施設 20mm の PE ロープ 50m を幹縄とし、10m 間隔で丸形フロート（佐々木商工社製 MS-36, 浮力 23kgf）を幹縄と結束し、幹縄が海面から 1.2m になるようにした。10m のフロートの間に 0.5m 間隔で小型丸形フロート（佐々木商工社製 MS-24, 浮力 6.8kgf）を幹縄から 0.5m 上部にロープでくくりつけた。この中間浮子から 0.5m 間隔で 8mm の PE ロープを取り付け、その末端に海面から 2, 3, および 4m となるようにコンテナを垂下した（図 2）。コンテナを垂下すると、その重量により小型丸形浮子は水面下およそ 0.7m に沈下する。なお、幹縄末端のフロートは 200kgf, 錨は 80kg を使用

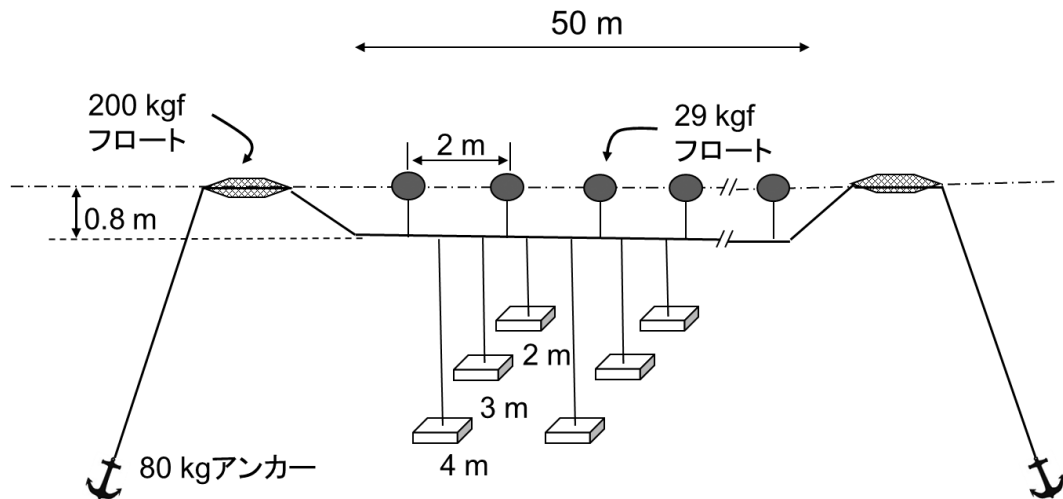


図 1. 浮子式延縄養殖施設

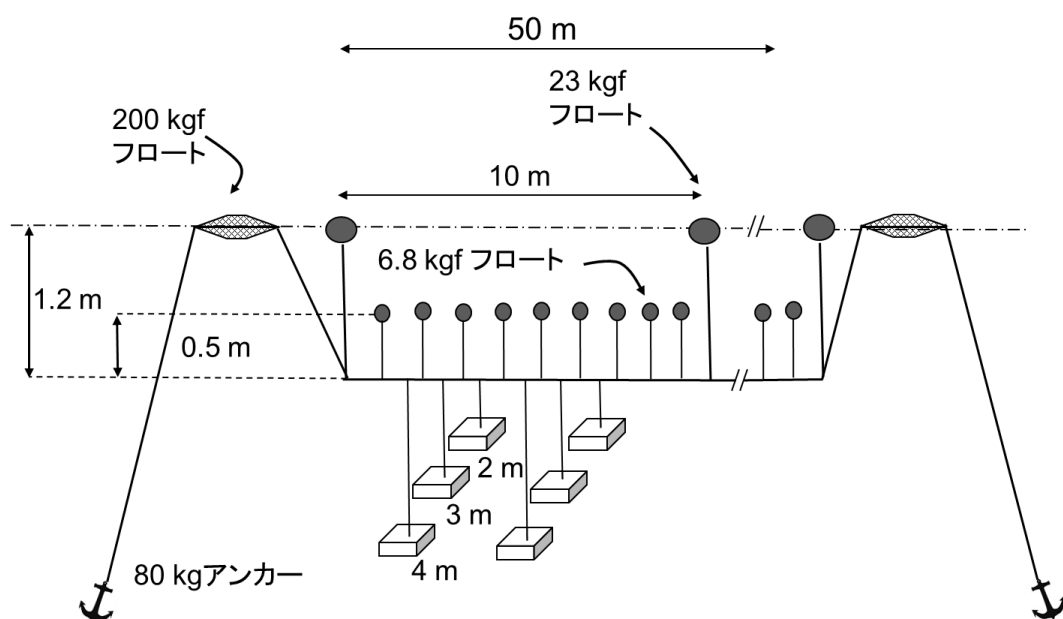


図 2. 半沈下式延縄養殖施設

した。

深型コンテナを用いた延縄養殖試験 延縄式養殖試験は、兵庫県たつの市御津町室津地先の水深5m付近で実施した(図3)。なお、参考としてアサリの垂下養殖漁場となっている静穏海域の御津町室津の大浦湾(水深およそ4m)のいかだでも、垂下養殖試験を実施した(図3)。いずれの試験地の海底の底質は泥である。垂下試験ではプラスチック製深型コンテナ(内寸454×310×170mm, 岐阜プラスチックRH-23A)に海砂を13kg敷き詰め、愛知県産天然アサリ(平均殻長38.1mm, 平均殻付き重量12.7g, 平均肥満度14.1)を150個収容し、目合20mmの網蓋で覆って垂下深度毎に5個ずつ垂下した。なお、静穏海域のいかだでは、通常行われている垂下深度の2mとした。深型コンテナに13kgの海砂を収容した時の砂面からコンテナ上部までの高さは約100mmである。試験期間は2013年11月12日~2014年2月4日とし、試験終了時にはコンテナからアサリを取り出した後、オープニング224 μ m(100目)のネット上にコンテナ内の砂を広げて水を切り、コンテナ内に残留した砂の重量を測定して砂の残留率を算出した。取り出したアサリはコンテナごとに殻長、殻付き重量を全数測定し、

そのうち10個については、鳥羽・深山(1991)に基づき、以下の式により肥満度CFを算出した。

$$CF = SBWW / (SL \times SH \times SB) \times 10^5$$

ここで、SBWWは軟体部湿重量(g)、SLは殻長(mm)、SHは殻高(mm)、SBは殻幅(mm)である。

環境測定 波浪は気象庁の統計データからS-M-B法((社)全国沿岸漁業振興開発協会1993)により有義波高を推算して最大波高を算出した。コンテナの動揺はHOBO加速度ペンダントロガー(Onset社製UA-004-64)をコンテナに固定し、10分間に1回測定した。加速度計のデータ処理方法については、後川ら(2014)に従った。すなわち各データと平均値の差の絶対値をコンテナの揺れの大きさとした。餌料環境を把握するため、延縄区では垂下深度3m、いかだ区では2mにクロロフィル計(COMPACT-CLW, JFEアドバンテック)を設置して20分毎に10秒連続観測した。なお、試験期間中およそ月に1回クロロフィル計が設置されている深度の海水を採水し、アセトン抽出法による蛍光法(気象庁1990)によりクロロフィルa量を測定し、分析値を元にクロロフィル計の測定値を変換した。また、クロロフィルaと流速の積であるクロロフィルフラックス(張ら2013)を観測するため、クロロフィル計と同深度において流速を20分毎に10秒連続観測した(INFINITY-EM, JFEアドバンテック)。水温はHOBO水温ペンダントロガー(Onset社製UA-002-64)を用い、延縄区では深度3m、いかだ区では深度2mで1時間毎に測定した。

半沈下式での浅型コンテナの砂流出試験 砂の流出を抑制するために養殖試験では深型コンテナを使用した。静穏海域におけるいかだ式垂下養殖には、通常浅型コンテナ(454×310×115mm, 岐阜プラスチックRH-16A)が使用されている(安信2014)。そこで、半沈下式延縄養殖施設で、深型と浅型コンテナを用いて、垂下深度別にコンテナの砂の残留率を確認した。砂の収容量はいずれも12kgとした。なお、2種のコンテナに12kgの海砂を収容した時の砂面からコンテナ上部までの高さは浅型コンテナで約50mm、深型コンテナでは約100mmである。試験期間は2014年7月1日~8月13日とした。**統計解析** 浮子式および半沈下式延縄養殖施設での垂下深度毎のコンテナ内の砂の残留率、アサリの殻長、殻付き重量、および肥満度の各群間の比較は、Tukey-Kramerの多重比較検定を適用した。

結果

延縄養殖施設別の深型コンテナ内の砂の残留 深型コンテナを用いた2種の延縄養殖施設(浮子式・沈下式)における垂下深度別の砂の残留率は、浮子式よりも半沈下式の方が高い砂残留率を示した(表1)。また両者とも、垂下深度が深いほど砂の残留率は高くなったが、統計

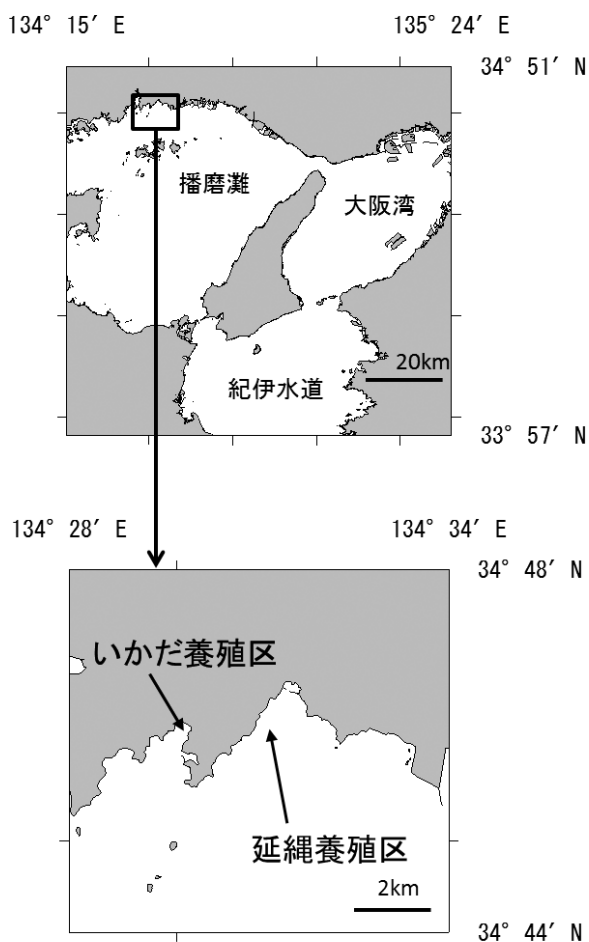


図3. 試験海域

的な有意差が見られたのは、浮子式の垂下深度 2m の試験区であった ($p < 0.01$)。なお、浮子式の垂下深度 4 m、半沈下式、およびいかだ区では、試験開始時よりも砂重量が増加した。

表 1. 延縄方法別の深型コンテナの内容物重量変化

垂下方式	垂下深度 (m)	内容物重量変化 (%)
浮子式	2	49.1 ± 29.2**
	3	97.2 ± 6.7
	4	107.1 ± 10.9
半沈下式	2	107.1 ± 4.3
	3	109.3 ± 4.4
	4	114.5 ± 9.8
いかだ式	2	110.0 ± 3.1

値は平均値 ± 標準偏差 (n=5)

** は 1% の危険率で有意差が検出されたことを示す

両施設とも、垂下深度の浅い 2m で加速度の値が高く、最大波高時の値は浮子式で 0.87, 半沈下式で 0.3G を示し、垂下深度 3m, 4m では浮子式がそれぞれ 0.31, 0.35G, 半沈下式が 0.14, 0.16G と小さくなり、浮子式よりも半沈下式施設の方が小さい値を示した (図 4)。静穏海域でのいかだ式養殖施設では、最大波高時でも 0.09G を示し、ほとんど動揺は認められなかった。なお、最大波高は 2013 年 11 月 25 日で、南南東の風、平均風速 9.0m で、波浪を推算すると最大波高は 2.7m となった。

アサリの成長 試験終了時のアサリの殻長と殻付き重量は、浮子式で垂下深度が深いほど有意に大きくなった ($p < 0.05$) (表 2)。半沈下式では垂下深度別に有意差は認められなかった。浮子式は垂下深度で殻長と殻付き重量が異なるが、半沈下式では浮子式の 4m には劣るものの垂下深度で大きな違いはなかった。肥満度は、浮子式で垂下深度が深いほど値が大きくなったが、有意に小さかったのは 2m 区であった。半沈下式の肥満度は、浮子式よりやや低い傾向が認められたが、垂下深度別の有意差はなかった。生残率は、多くの試験区で 95% 以上の高い値であったが、半沈下式の 4m で 90.3% と低かった。いかだ式の養殖施設では、生残率は 95% 以上だったが、延縄式施設の試験区のアサリに比べ殻長や殻付き重量はやや低く、肥満度は顕著に低かった。

環境測定 クロロフィル *a* は 2013 年 12 月 20 日前後でやや低くなったが、クロロフィル *a* は延縄区で平均 10.0 $\mu\text{g/L}$ (2.5~19.1 $\mu\text{g/L}$)、いかだ区で平均 4.8 (1.2~13.0 $\mu\text{g/L}$) であった (図 5)。また、流速は延縄区で平均 5.2cm/秒 (2.4~11.8cm/秒)、いかだ区で平均 1.6cm/秒 (0.8~4.2cm/秒) であったため、クロロフィルフラックスは延縄区で顕著に高く、アサリやカキ養殖で過密になっている上に流速が遅い湾内のいかだ区では、アサリの良好な成長に必要なとされるクロロフィルフラックス量が、目安とされる 10 以下 (張ら 2013) になることがあった。

試験期間中の水温は延縄区で平均水温 11.9 $^{\circ}\text{C}$ (8.4~19.2 $^{\circ}\text{C}$)、いかだ区で平均水温 11.7 $^{\circ}\text{C}$ (7.9~19.0 $^{\circ}\text{C}$) であった。

半沈下式での浅型コンテナの砂流出試験 浅型コンテナ

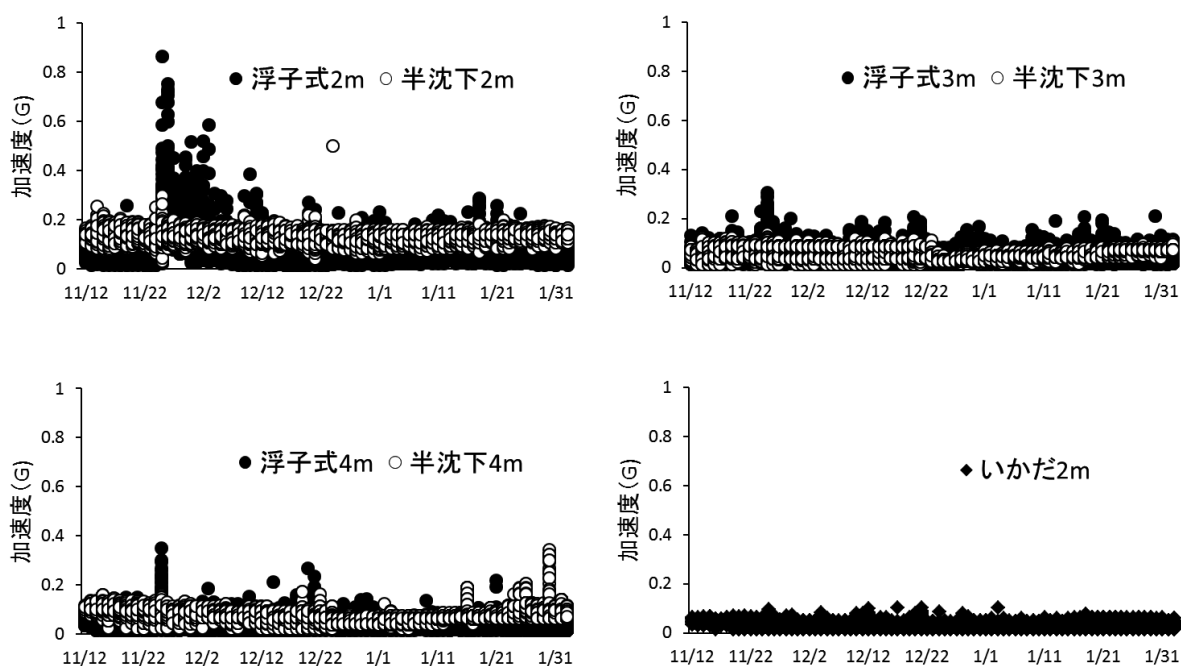


図 4. 延縄施設別、垂下深度別垂下コンテナの動揺

表 2. 深型コンテナを用いた延縄式アサリ垂下養殖試験における飼育成績

垂下方式	垂下深度 (m)	殻長 (mm)	殻付き重量 (g)	肥満度	生残率 (%)
浮子式	2	39.3 ± 0.6 ^a	14.5 ± 0.6 ^a	24.7 ± 0.6 ^a	95.6 ± 0.5 ^{ab}
	3	41.2 ± 0.6 ^b	16.2 ± 0.7 ^b	25.8 ± 0.6 ^{bc}	97.7 ± 1.8 ^b
	4	42.2 ± 0.4 ^c	17.0 ± 0.4 ^c	26.0 ± 0.6 ^c	95.7 ± 1.4
半沈下式	2	40.9 ± 0.4 ^{bd}	16.0 ± 0.4 ^{bd}	24.7 ± 0.2 ^a	96.4 ± 1.7 ^b
	3	41.1 ± 0.5 ^{bd}	16.0 ± 0.5 ^{bd}	24.8 ± 0.4 ^{ab}	96.7 ± 1.2 ^b
	4	40.8 ± 0.4 ^{bd}	15.6 ± 0.3 ^{bd}	24.1 ± 1.1 ^a	90.3 ± 5.8 ^a
いかだ式	2	40.5 ± 0.9	15.2 ± 1.0	19.9 ± 0.4	95.2 ± 2.0

値は平均値 ± 標準偏差 (n=5)

同じ列内で異なるアルファベットは 5% の危険率で有意差が検出されたことを示す

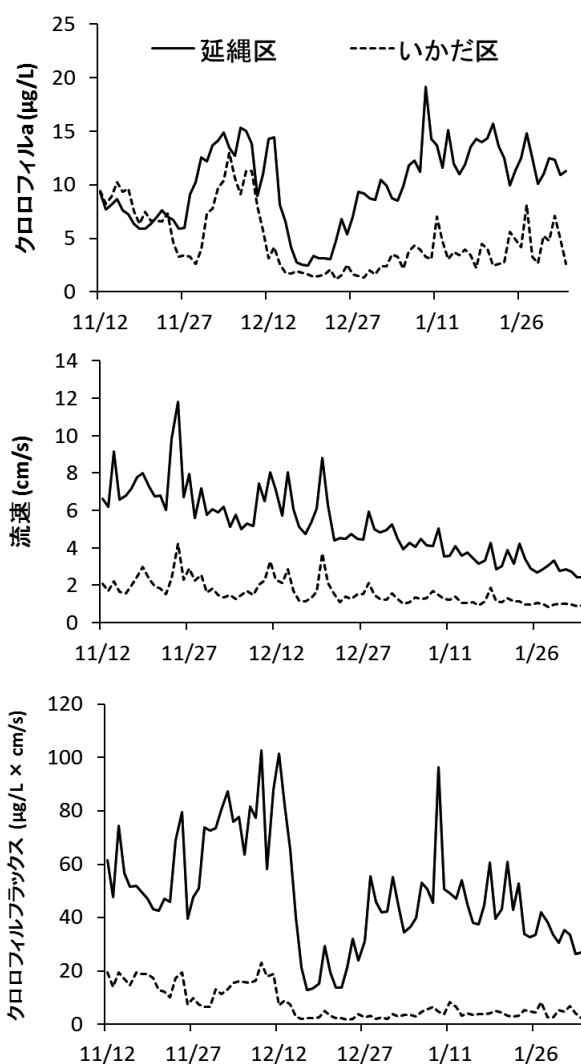


図 5. 延縄区といかだ区のクロロフィル、流速およびクロロフィルフラックス

の垂下深度 2m では、砂残留率は 80.1% とやや低くなるが、3m であれば 94% となり、4m ではやや重量が増加した (表 3)。また、深型コンテナではいずれの垂下深度でも試験開始時の砂重量より増加した。重量増加は底質の巻き上げによる泥の堆積であった。試験期間中の最大波浪は、試験開始まもなくの 2014 年 7 月 10 日にあり、南南東の風平均風速 8.5m を記録した。これから推算される最大波高は 2.5m であった。

表 3. 半沈下式延縄養殖施設でのアサリ垂下養殖試験におけるコンテナの種類および垂下深度別の内容物重量変化

コンテナ種類	垂下深度 (m)	内容物重量変化 (%)
浅型	2	80.1 ± 5.3 ^a
	3	94.0 ± 3.5 ^b
	4	101.9 ± 2.8 ^{bc}
深型	2	100.5 ± 0.6 ^{bc}
	3	103.6 ± 1.2 ^c
	4	106.0 ± 0.3 ^c

値は平均値 ± 標準偏差 (n=3, 深型 2m のみ n=4)

異なるアルファベットは 5% の危険率で有意差が検出されたことを示す

考察

波浪のある海域では垂下コンテナの動揺による基質の流出が最も危惧される (岩尾ら 1995)。コンテナ内の砂の流出を抑制するために、兵庫県の新静海域での養殖には通常用いられない深型コンテナで 2 種の延縄方式で垂下養殖したところ、半沈下式がコンテナの動揺が少なく砂の流出も抑制された。しかし、動揺が少ない状況で深

型コンテナを使用したため、コンテナ内に底泥の堆積が多く認められた。被泥については殻長の2~3倍の厚さで100%斃死すると報告されているが(林ら1992)、半沈下式の垂下深度4mの取り上げ時には砂の上部にかなりの泥が堆積していたので、生残率がやや低くなった可能性が考えられた。このことから、少なくとも水深5m程度の場所における深型コンテナを用いた半沈下式では、垂下深度4mは適切ではないと考えられた。なお、より深い場所で実施する場合でも、あまり海底に近い垂下深度は適切でないと考えられた。

半沈下式でコンテナ内への堆積物が多いとアサリの生残率の低下に加え、底泥堆積による表面浮子の沈下が危惧される。半沈下式はコンテナに中間浮子を取り付けて中間浮力を与えているが、底泥の堆積が顕著になると表面浮子まで海面から沈下する。そうなれば、コンテナは海底に着底して底泥に埋没するので、アサリが斃死する恐れがある。表面浮子の沈下を防ぐために、ホタテガイの半沈下式養殖では浮子の追加を実施するが(資源協会1986)、兵庫県の場合、アサリのコンテナ垂下養殖はカキ養殖との兼業がほとんどで、かつアサリの養殖は10月下旬~5月上旬までなのでカキ養殖時期とほぼ重なり、延縄施設の頻繁な見回りや浮子の追加は労力的に負担になる。そこで、堆積物増加によるコンテナの沈下がないようにするため、半沈下式で浅型コンテナを用いて砂の残留を確認したところ、垂下深度3mで砂の流出がほとんどなく、なおかつ底泥の堆積もないことが明らかになった。すなわち、頻繁に養殖施設を確認し、浮子の追加をしなくても、浅型コンテナで3mに垂下すれば出荷まで放置できることが示唆された。そのため、浅型コンテナを用いた半沈下式の垂下深度3mで、アサリの養殖試験を実施したが、試験期間中には大きな波浪はなかった(波浪推算による最大波高は1m)。波浪条件下において半沈下式で浅型コンテナを用いたアサリの成長は確認できなかったが、砂の流出はほとんどないことは確認されているため、本海域では半沈下式の養殖施設で垂下深度3mで養殖するのが妥当と考えられた。

また、湾内で流速も遅い海域では既にカキ等の二枚貝養殖が行われている場合が多く、餌料が少なくなっている可能性がある。本研究で、静穏海域でないものの餌料が多い海域で、浅型コンテナを用いたアサリ垂下養殖が実施できる可能性が示唆されたことは、今後アサリの垂下養殖を拡大するうえで非常に意義があると考えられた。

延縄式養殖は波浪に強いだけでなく、養殖する漁業者の労力の軽減にもなった。いかだ式の場合は、いかだ中央部に垂下したコンテナを取り上げる場合、重いコンテナを持ちながら、いかだの端まで歩く必要があるが、延縄式の場合は幹縄に船を横付けでき、ローラーで取り上げできるので、重いコンテナを抱えて移動する必要がなくなる。

一方、延縄式のアサリ垂下養殖の課題は、いかだ式と

比べて垂下できるコンテナ数が少ない点にある。兵庫県では9×25mのいかだで1,000コンテナを垂下しているが、延縄養殖の場合は平面的に利用出来ないので100mの延縄でも200コンテナの垂下に留まる。垂下数を増やすために延縄の本数を増やすと、設置費用が増加する。最近、袋状のネットに軽石を収容し、その中にアサリを収容し、そのネットをカキ養殖用の丸カゴに2~3袋入れ、いかだから垂下する方法が考案された(畑ら2017)。これは砂や礫を敷き詰めた重いコンテナを取り上げる際の労力を軽減するために考案されたものである。袋状のネット2つに軽石を8Lずつ入れ、その中にアサリを合計1.6kg収容し、カキ養殖用の丸カゴに入れて水中重量を測定したところ、6.5kgであり、砂入りコンテナの1/3であった。そこで、半沈下式延縄養殖施設の一部にこの丸カゴを3段縦に連結して、アサリを養殖した。砂入り浅型コンテナのアサリの殻長が平均38.6mmに対し、丸カゴのアサリの殻長は平均36.4mm、殻付き重量はコンテナで平均13.9gに対し、丸カゴは平均12.0gとやや劣ったものの、肥満度はコンテナで平均26.6に対し、丸カゴは平均26.3とほぼ同等で、丸カゴの段毎(平均殻長1段目36.3、2段目36.3、3段目36.6mm)の成長の違いも認められなかった(安信、未発表)。先述の浅型コンテナを用いた養殖試験と同様に、試験期間中に大きな波浪はなかったため波浪耐性は明らかにできなかったが、今後この方法が利用できれば、延縄養殖でもいかだ式と比較して遜色ない垂下規模が可能になるであろう。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご配慮いただいた室津漁業協同組合の中川照央組合長および漁業者の皆様へ深謝します。波浪推算についてご指導いただいた前国立研究開発法人水産研究・教育機構水産工学研究所の高木儀昌博士に感謝します。また、アサリの測定に協力いただいた、兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センターの小柴貢二主任、渡邊雅子氏、米田弥生氏、黒川優子博士(現所属：(株)日本海洋生物研究所)にお礼申し上げます。クロロフィルの分析を行っていただいた兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センターの宮原一隆博士に深謝します。また、半沈下式延縄養殖に取り組むきっかけをくださった北海道立総合研究機構函館水産試験場の金森誠研究主任、軽石を用いた3段吊り試験の機会をいただいた国立研究開発法人水産研究・教育機構増養殖研究所の長谷川夏樹博士に感謝します。また、本論文を校閲くださった兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センターの五利江重昭博士に深謝します。本研究は農林水産省・食品産業科学技術研究推進事業「地域特産化をめざした二枚貝垂下養殖システムの開発(課題番号24019c)」で得られた成果の一部である。

文献

- 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 (2013) 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. 水産基盤整備事業報告書, http://www.mf21.or.jp/suisankiban_hokoku/data/pdf/z0000913.pdf, 平成 27 年 7 月 10 日.
- 藤原正夢・辻 秀二・田中雅幸・今西裕一・中西雅幸 (2008) 垂下コンテナ飼育におけるアサリの成長. 京都海洋セ研報, **30**, 49-53.
- 長谷川夏樹・日向野純也・藤岡義三・石樋由香・水野知巳・森田和英・山口 恵・今井芳多賀・浅尾大輔・尾崎善信・山本善幸 (2015) アサリ垂下養殖における基質の検討. 水産増殖, **63**, 9-16.
- 畑 直垂・長谷川夏樹・水野知巳・藤岡義三・石樋由香・渡部諭史・浅尾大輔・山口 恵・今井芳多賀・森田和英・日向野純也 (2017) アサリ垂下養殖における飼育容器と基質の検討. 水産技術, **9**, 125-132.
- 林 宋徳・浜崎稔洋・秋本恒基・山下輝昌 (1992) アサリ種苗初期減耗原因に関する研究. 福岡有明水試研報, 平成 2 年度, 85-104.
- 日向野純也 (2014) アサリ垂下養殖の取組. 日水誌, **80**, 121.
- 岩尾敦志・西広富夫・藤原正夢 (1995) トリガイ養殖に関する研究 - II. 京都海洋セ研報, **18**, 57-61.
- 海洋観測指針 (気象庁編) (1990) クロロフィルの測定. 日本気象協会, 東京, p. 257-261.
- 西山勝蔵・早川 豊・本堂太郎 (1972) ホタテガイの垂下養殖試験. 青森県水産増殖センター事業概要, **1**, 158-164.
- (社) 資源協会 (1986) 浅海養殖. 大成出版社, 東京, 648 p.
- 社団法人 全国沿岸漁業振興開発協会 (1993) 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針. 水産庁, 東京, 400 p.
- 谷本尚史・中西雅幸・久田哲二・尾崎 仁・藤原正夢 (2011) 阿蘇海における垂下養殖によるアサリの成長, 生残, 肥満度. 京都海洋セ研報, **33**, 17-23.
- 鳥羽光晴・深山義文 (1991) 飼育アサリの性成熟過程と産卵誘発. 日水誌, **57**, 1269-1275.
- 後川龍男・内藤 剛・吉田幹英 (2014) 筑前海におけるカキ養殖の耐波性施設に関する研究. 福岡水海技セ研報, **24**, 25-31.
- 安信秀樹 (2014) 播磨灘におけるアサリ垂下養殖の取り組み. 豊かな海, **33**, 29-32.