

原著論文

流速と網蓋の目合が垂下飼育アサリの成長に及ぼす影響

伊藤 篤^{*1}・西本篤史^{*2}・小島大輔^{*1}・山崎英樹^{*1}・兼松正衛^{*1}・崎山一孝^{*3}

The effects of water flow and mesh size of the covering net on the growth of asari clam *Ruditapes philippinarum* suspended in a tank.

Atsushi ITO, Atsushi NISHIMOTO, Daisuke OJIMA, Hideki YAMAZAKI,
Masaei KANEMATSU and Kazutaka SAKIYAMA

To investigate the effects of water flow rate and mesh size of the covering net on the survival and growth of asari clam *Ruditapes philippinarum* in suspended culture, tank rearing experiments were conducted. Clams (3.7–6.4 mm in shell length) were placed in small plastic containers with sand substrate. The containers were covered with or without a net (mesh size of 2, 7, or 14 mm) and suspended at three positions (periphery, middle, and center) in an experimental tank with circular water flow for 43 to 57 days. Survival rates of the clams were over 97% in all containers during the experimental period. Growth rates of the clams were higher at the periphery (higher flow rate) than at the center of the tank (lower flow rate). Clams also grew slower with nets with a smaller mesh size. These differences in growth rate might be attributable to differences in the extent of food supply to the clams. Higher water flow may increase the rate at which the suspension-feeding clams encounter food particles. Being covered with a net with a small mesh size may reduce water exchange between the inside and the outside of the container, resulting in a reduced food supply.

キーワード：アサリ，垂下養殖，成長，流速

2015年10月12日受付 2017年1月26日受理

日本国内のアサリ *Ruditapes philippinarum* 漁獲量が低迷していることから、アサリを垂下養殖する取り組みが各地で行われている。兵庫県西播磨地域では、垂下養殖アサリは、一般に漁獲されたアサリよりも身入りが早く、アサリが市場に出回らない1月下旬から出荷できるため高値で販売されている（安信 2014）。三重県鳥羽市浦村では、袋網による天然採苗で得た地元産アサリを垂下養殖し、地域特産品としている（日向野 2014）。また、長崎県諫早市では、冬季に餌料環境の良い沖合のカキ筏にアサリを垂下して肥育させて出荷している（松田・鶴田 2015）。このように垂下養殖アサリは身入りが良く高値で取引されることから、垂下養殖の導入を検討している

漁業者も多い。しかしながら、現在、アサリ垂下養殖は、個々の現場における養殖従事者の経験的な技術の積み重ねを基に行われており、どのような海域や資材がアサリの垂下養殖に適しているのかは明らかになっていない。そこで本研究では、アサリの垂下養殖において、高生残と高成長を実現するために、環境条件や養殖資材について以下の2点に着目して検討した。

1点目は餌料供給である。アサリは植物プランクトンや底生微細藻類、デトライタスなどの懸濁態有機物を主な餌料としていると考えられており、それらの粒子は海水によって運搬されることから、海水の流れは餌供給に影響を与えると推定されている（西沢ら 1992）。そこで

*1 国立研究開発法人水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所海産無脊椎動物研究センター

〒722-0061 広島県尾道市百島町 1760

Research Center for Marine Invertebrates, National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Japan Fisheries Research and Education Agency, 1760 Momoshima, Onomichi, Hiroshima 722-0061, Japan

itoa@affrc.go.jp

*2 国立研究開発法人水産研究・教育機構中央水産研究所

*3 国立研究開発法人水産研究・教育機構日本海区水産研究所

本研究では、環境条件の1つとして水流に着目し、流速が垂下飼育したアサリの生残や成長にどのような影響を与えるのかを検証した。

2点目は食害防除である。アサリは魚類など多くの生物の餌となっているため(重田・薄 2012)、アサリの垂下養殖においては、アサリを収容した容器の上部に網蓋を取り付けて、捕食生物からアサリを保護する(安信 2014)。しかし、容器に取り付けた網は捕食者からアサリを守る一方で、容器内外の海水交換を阻害し、容器内の餌条件や環境条件の悪化を引き起こし、アサリの生残や成長に悪影響を与える可能性もある。そこで本研究では、アサリを収容した容器の上面に取り付ける網の目の違いが、アサリの生残や成長に与える影響も検証した。

材料と方法

アサリの成長に及ぼす流速の影響 2012年春季生産群のアサリ人工種苗を、ステンレス製の篩を用いて大型稚貝(殻長 $6.4 \pm 0.6\text{mm}$, 平均±標準偏差, 以下同様)と小型稚貝($3.7 \pm 0.3\text{mm}$)に選別したものを供試した。直径15cm, 深さ9cmのスチロール樹脂製の円形容器に、砂(中央粒径値0.6mm)を約7cmの深さに入れたものを飼育容器として、各容器の中に大型稚貝もしくは小型稚貝を3.0g(殻付き湿重量)ずつ収容した(大型稚貝: 58.5 ± 2.6 個体/容器, 小型稚貝: 273.3 ± 6.9 個体/容器)。アサリ稚貝を収容した飼育容器を、3基のFRP製円形水槽(直径1.94m, 水深約70cm)の中心部(水槽中心から10cm), 中間部(中心から45cm), 縁辺部(中心から80cm)に、それぞれ同心円状に4カ所ずつ(計36個), 垂下容器の上端が水深20cmの位置になるように垂下した(写真1)。円形水槽には、毎分約80Lの自然海水を縁辺底部から水槽壁面に沿って注水して、縁辺上部から排水することで回転流を起こした。試

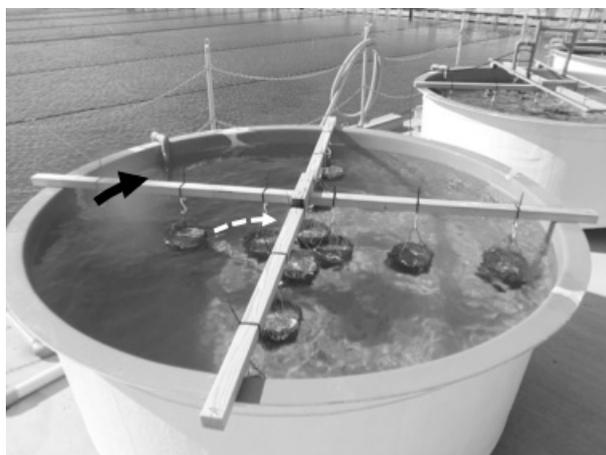


写真1. 垂下試験(2012-2013)に用いたFRP円形水槽と垂下容器。黒矢印: 水面付近に設置した排水口, 白破線: 水槽底部からの注水流

験は2012年11月22日から2013年1月18日までの57日間行い、試験終了時に飼育容器内のすべてのアサリを回収して、容器内のアサリ総湿重量と各個体の殻長を測定した。円形水槽の1つに記録式温度計(おんどとりTR-52, 株式会社ティアンドデイ)を設置し、11月25日から試験終了時まで30分おきに水温を記録した。また、円形水槽の中心部, 中間部, 縁辺部の垂下容器直上部の流速を、三次元電磁流速計(アレック電子株式会社, ACM300-A)を用いて測定し、水平方向の流速を算出した。流速測定は、飼育試験終了前日の2013年1月17日と飼育試験後の1月23日に行った。1月17日の流速測定時には円形水槽の内壁に藻類が繁茂しており、試験開始時と比べて流速が減衰している可能性があったことから、1月23日の測定では、試験開始時における円形水槽内の水流を再現するために、水槽壁面に繁茂している藻類を除去した後に、飼育試験時と同様に砂を入れた容器を垂下して、各容器直上部の流速を測定した。

水槽内の流速, 試験終了時のアサリの個体数, 総湿重量, 個体の殻長を分散分析(ANOVA)を用いて解析した(Underwood 1997)。流速の解析については、測定日と円形水槽内の位置(中心部, 中間部, 縁辺部)を固定要因として、Two-way ANOVAで解析した。アサリの個体数, 総湿重量, 個体の殻長解析については、円形水槽内の垂下容器の位置(中心部, 中間部, 縁辺部)と供試個体のサイズ群(大型稚貝, 小型稚貝)を固定要因, 円形水槽をランダム要因とした。個体数の解析においては、大型個体と小型個体のそれぞれについてTwo-way ANOVAで垂下位置と水槽の効果を, 総湿重量の解析においては垂下位置と水槽と供試個体サイズの効果をThree-way ANOVAで, 殻長の解析においては垂下容器を垂下位置と水槽にネストさせて, 大型個体と小型個体のそれぞれをThree-way nested ANOVAで解析した。また, 分散分析において有意な交互作用が検出されなかった場合は, Tukey-Kramerの方法で多重比較を行った。

アサリの成長に及ぼす流速と網目の影響 2012年秋季生産群の人工種苗を、ステンレス製の篩を用いて選別して供試した(殻長 $5.9 \pm 0.4\text{mm}$)。直径6cm, 深さ7cmの塩化ビニル樹脂製の円形容器を飼育容器として、砂を約6cmの深さに入れ、各容器の中にアサリ稚貝を2.0g(殻付き湿重量)ずつ収容した(34.9 ± 1.2 個体/容器)。飼育容器は、大(14mm角), 中(7mm角), 小(2mm角), いずれかの目の目のナイロン製の網蓋を被せたものと、網蓋を被せないものを使用した。アサリ稚貝を収容した垂下容器を、2基のFRP製円形水槽(直径180cm, 水深約90cm)の中心部(水槽中心から20cm), 中間部(中心から50cm), 縁辺部(中心から80cm)に、それぞれ12カ所ずつ(計72個)垂下容器の上端が水深20cmの位置になるように垂下した。アサリを収容した容器に被せた網蓋が付着生物等によって目詰まりすることを防ぐ

ために、1週間から10日毎に網蓋を外して洗浄もしくは交換した。

円形水槽には、毎分約75Lの自然海水を縁辺底部から注水、縁辺上部から排水することで回転流を起こした。試験は2014年4月22日から6月4日までの43日間行った。水槽内面に付着する付着生物や藻類を取り除くため、試験開始から12日後の5月7日と25日後の5月20日に水槽の掃除を行った。水槽を掃除している間、アサリを収容している垂下容器は自然海水をかけ流した別の水槽内に保持し、掃除終了後は再び元の場所に垂下した。試験終了時に垂下容器内のすべてのアサリを回収して、容器内のアサリの総湿重量と各個体の殻長を測定した。

また、5月8日に円形水槽の中心部、中間部、縁辺部の垂下容器直上部の流速を、三次元電磁流速計（アレック電子株式会社、ACM300-A）を用いて測定して、水平方向の流速を算出した。試験水槽における水温とアサリの餌料環境を把握するために、4月25日から試験終了時まで、円形水槽内の垂下容器と同じ水深にクロロフィル濁度計（COMPACT-CLW、アレック電子株式会社）を設置して、水温と水中の植物プランクトン量の指標となるクロロフィル蛍光強度の連続観測を行った。計測は30分毎に1秒間隔で10回、測定値を記録するバーストモードで行った。測定したクロロフィル蛍光強度より、ウラニン換算クロロフィルa濃度（ $\mu\text{g/L}$ 、以下、クロロフィルa濃度）を回帰式を用いて算出した。

水槽内の流速、試験終了時の個体数、総湿重量、個体の殻長は分散分析（ANOVA）を用いて解析した（Underwood 1997）。流速の解析にあたっては、円形水槽内の位置（中心部、中間部、縁辺部）を固定要因として、Tukey-Kramerの方法で多重比較を行った。また、アサリの個体数、総湿重量、殻長の解析においては、円形水槽内の垂下容器の位置（中心部、中間部、縁辺部）と網蓋の目合サイズ（大、中、小、網蓋なし）を固定要因、円形水槽をランダム要因とした。個体数と総重量は、Three-way ANOVAで垂下位置と水槽、網蓋の目合の大きさの効果を解析した。殻長の解析においては、垂下容器を垂下位置と水槽、網蓋の目合にネストさせて、Four-way nested ANOVAで解析した。

結果

アサリの成長に及ぼす流速の影響 試験期間中の最高水温は 15.1°C 、最低水温は 7.5°C であった。水温は11月から1月にかけて低下し、11月、12月、1月の平均水温はそれぞれ 13.6°C 、 11.1°C 、 9.3°C であった（図1）。

水槽内壁の藻類を除去した後の1月23日の流速は、除去前の1月17日の流速に比べて大きく、掃除前と掃除後のいずれも円形水槽内の流速は水槽縁辺部で速く、中心部で遅かった（表1、図2）。また、測定日と水槽内の位置の交互作用が有意であり、水槽壁面に藻類が繁茂

すると、水槽縁辺部において流速が大きく減衰することが示された。

試験終了時に回収されたアサリの個体数は大型稚貝、小型稚貝ともに、垂下場所（中心部、中間部、縁辺部）による違いは認められず、試験期間中のアサリ稚貝の生存率は大型稚貝で約100%、小型稚貝で約97%であった（表2、表3、図3）

試験終了時、飼育容器内のアサリ稚貝の総重量は、いずれの容器においても、試験開始の3倍以上となっており（図4上）、円形水槽中心部よりも縁辺部の飼育容器における増加量が大きく、小型個体は大型個体よりも総重量の増加量が大きかった（表4）。垂下位置と供試個

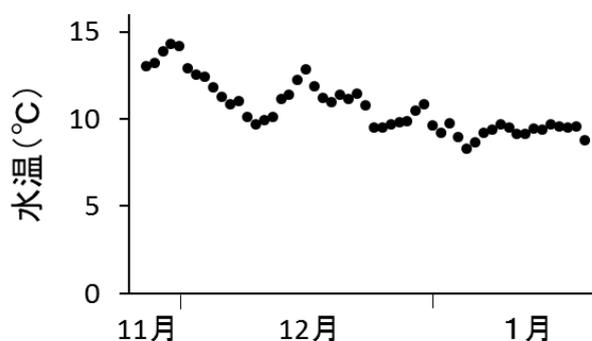


図1. 垂下実験(2012-2013)におけるFRP円形水槽内の水温

表1. 測定日と水槽内の位置（位置）が流速に及ぼす影響についての二元配置分散分析

要因	自由度	平方和	平均平方和	F	P
測定日	1	226.68	226.68	139.07	0.0001
位置	2	985.31	492.65	302.24	0.0001
測定日×位置	2	229.29	114.64	70.51	0.0001
残差	66	107.31	1.63		

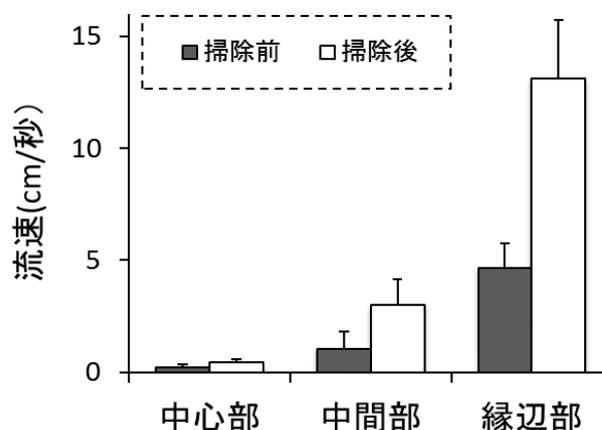


図2. 垂下実験(2012-2013)におけるFRP円形水槽の中心部、中間部、縁辺部の平均流速 エラーバーは標準偏差を示す($n=12$)

表 2. 水槽内の位置 (位置) と水槽が垂下試験 (2012-2013) 終了時の大型稚貝の個体数に及ぼす影響についての二元配置分散分析

要因	自由度	平方和	平均平方和	F	P
位置	2	3.11	1.56	0.86	0.4885
水槽	2	14.78	7.39	0.81	0.4744
位置 × 水槽	4	7.22	1.81	0.2	0.9331
残差	9	82	9.11		

表 3. 水槽内の位置 (位置) と水槽が垂下試験 (2012-2013) 終了時の小型稚貝の個体数に及ぼす影響についての二元配置分散分析

要因	自由度	平方和	平均平方和	F	P
位置	2	2.11	1.06	0.01	0.9902
水槽	2	28.78	14.39	0.21	0.8121
位置 × 水槽	4	429.56	107.39	1.59	0.2584
残差	9	608	67.56		

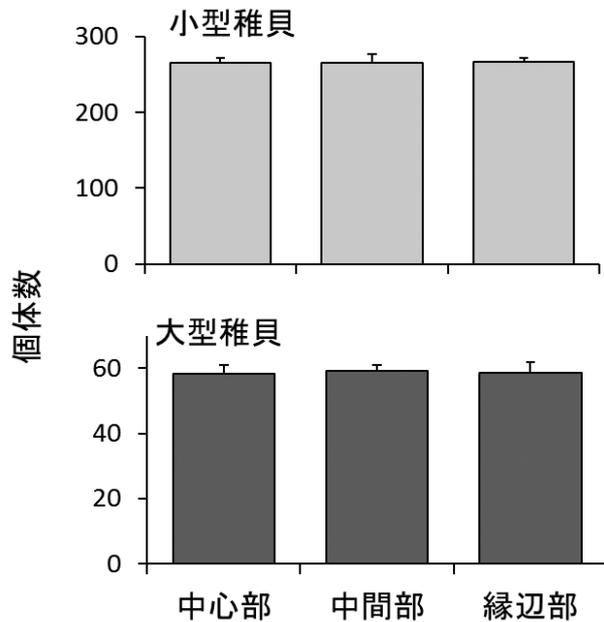


図 3. 垂下試験 (2012-2013) 終了時の垂下容器内の平均アサリ個体数 (上: 小型稚貝、下: 大型稚貝) エラーバーは標準偏差を示す (N=6)

体サイズの相互作用が有意であり、水槽縁辺部の小型個体の重量は大型個体よりも大きく増加したことが示された。試験終了時のアサリ稚貝の殻長は大型稚貝、小型稚貝ともに垂下位置によって異なり (表 5, 表 6, 図 4 下), 円形水槽中心部よりも縁辺部の飼育容器において有意に成長していた (Tukey-Kramer post-hoc test, $p < 0.05$)。円形水槽中心部, 中間部, 縁辺部における殻長成長率は, 小型稚貝でそれぞれ $46\mu\text{m}/\text{日}$, $56\mu\text{m}/\text{日}$, $66\mu\text{m}/\text{日}$, 大型稚貝でそれぞれ $75\mu\text{m}/\text{日}$, $85\mu\text{m}/\text{日}$, $92\mu\text{m}/\text{日}$ であった。**アサリの成長に及ぼす流速と網目の影響** 試験期間中の日平均水温と日平均クロロフィル a 濃度を図 5 に示す。水槽内面の掃除を行った 5 月 7 日と 5 月 20 日は水槽内が濁り, クロロフィル a 濃度が非常に高くなったこと

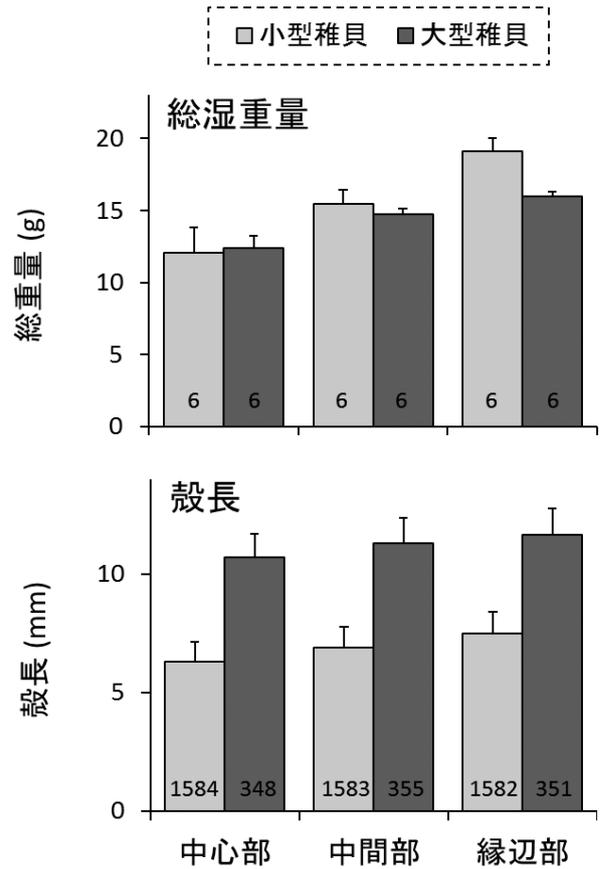


図 4. 垂下試験 (2012-2013) 終了時の垂下容器内の平均アサリ総湿重量 (上) と平均殻長 (下) エラーバーは標準偏差を, 数字はサンプルサイズを示す

表 4. 水槽内の位置 (位置), 水槽, 供試個体サイズ (サイズ) が垂下試験 (2012-2013) 終了時のアサリ総湿重量に及ぼす影響についての三元配置分散分析

要因	自由度	平方和	平均平方和	F	P
位置	2	167.93	83.97	102.03	0.0004
水槽	2	0.24	0.12	0.1	0.9103
サイズ	1	12.74	12.74	1979.66	0.0005
位置 × 水槽	4	3.29	0.82	0.65	0.6357
位置 × サイズ	2	18.91	9.45	11.93	0.0206
水槽 × サイズ	2	0.01	0.01	0.01	0.9949
位置 × 水槽 × サイズ	4	3.17	0.79	0.62	0.6515
残差	18	22.87	1.27		

から, 欠測値として扱った。また, 5 月 25 日も $2,000\mu\text{g}$ を超える異常値が測定されたことから, この日のデータも除いた。水温, クロロフィル a 濃度ともに試験後半にかけて上昇する傾向があり, 水温は 15.8°C から 22.8°C , クロロフィル a 濃度は $0.43 \sim 1.55\mu\text{g}/\text{L}$ であり, ほとんどの日で $1\mu\text{g}/\text{L}$ 以下であった。円形水槽内の流速は縁辺部で速く, 中心部で遅かった ($F_{2,69}=128.07, p=0.0001$, Tukey-Kramer post-hoc test $p < 0.05$, 図 6)

試験終了時に飼育容器内にはアサリ稚貝の死殻はほとんど認められず, 供試個体の平均回収率は 99% であり (図 7 上), 垂下位置や目合サイズによる違いは認められなかつ

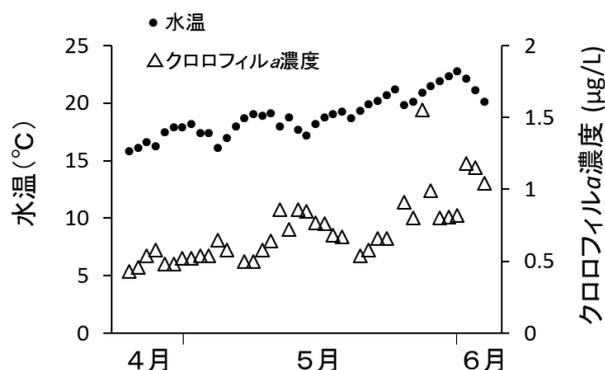


図 5. 垂下試験(2014)における FRP 円形水槽内の水温とクロロフィル a 濃度

表 5. 水槽内の位置 (位置), 水槽, 垂下容器が垂下試験 (2012-2013) 終了時の大型稚貝の殻長に及ぼす影響についての三元配置 nested 分散分析

要因	自由度	平方和	平均平方和	F	P
位置	2	158.24	79.12	26.63	0.0049
水槽	2	11.96	5.98	1.55	0.2636
位置×水槽	4	11.89	2.97	0.77	0.5705
垂下容器 (位置×水槽)	9	34.68	3.85	3.54	0.0002
残差	1036	1127.3	1.09		

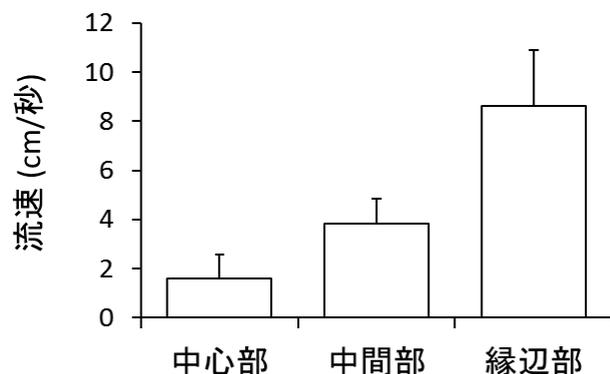


図 6. 垂下試験(2014)における FRP 円形水槽の中心部, 中間部, 縁辺部における平均流速 エラーバーは標準偏差を示す (n = 24)

表 6. 水槽内の位置 (位置), 水槽, 垂下容器が垂下試験 (2012-2013) 終了時の小型稚貝の殻長に及ぼす影響についての三元配置 nested 分散分析

要因	自由度	平方和	平均平方和	F	P
位置	2	1084.14	542.07	226.2	0.0001
水槽	2	0.19	0.09	0.01	0.9955
位置×水槽	4	9.59	2.4	0.12	0.9731
垂下容器 (位置×水槽)	9	184.41	20.49	28	0.0001
残差	4731	3461.79	0.73		

た (表 7)。容器内のアサリの総湿重量は、円形水槽の中心部よりも縁辺部の飼育容器において増加し、網蓋のない飼育容器で増加量が大きく、網蓋の目合が細くなるほど、総湿重量が小さくなった (表 8, 図 7 中)。垂下

位置と目合サイズとの交互作用が有意であったことから、目合サイズの影響の程度は垂下位置によって異なり、流れの速い縁辺部よりも流れの遅い中央部で、より総湿重量が小さくなること示された。最も総重量が増加したのは、水槽縁辺部に垂下した網蓋のない容器で、アサリ稚貝は収容時の 4.6 倍の重量となっていた。一方、総重量増加量が最も少なかったのは、水槽中心部に垂下した目合小の網蓋を被せた容器で 1.3 倍のみの増加であった。試験終了時のアサリの殻長については垂下位置による違いは検出されなかったが、網蓋のない飼育容器で最も成長量が大きく、網蓋の目合が細くなるほど成長量が小さくなり (表 9, 図 7 下), 総重量と同じ傾向を示した。また、総湿重量と同様に、垂下位置と目合サイズとの交互作用が有意であり、目合サイズの影響の程度は垂下位置によって異なり、流れの速い縁辺部よりも流れの遅い中央部で、小さな目合により殻成長が抑制されることが示された。最も高かった平均殻成長率は、水槽縁辺部に垂下した網蓋のない容器で 116µm/日, 最も低かった殻成長率は、水槽中心部に垂下した目合小の網蓋を被せた容器で 19µm/日であった。

考 察

両試験において、流速の大きい水槽外縁部に垂下した容器内でアサリの成長が速く、流速の小さな水槽中心部では成長が遅かった。この結果から、垂下されたアサリの成長には流速が大きな影響を与えており、アサリ垂下養殖の適地判定において、養殖海域の流速が 1 つの指標になることが示された。漁場においても、アサリの成長や肥満度と生息場所の流速との間には正の相関があることが報告されており (西沢ら 1992, 柿野 1996), アサリの生育環境として流れが重要であることが示唆される。アサリは海水中の微細藻類や懸濁有機物を主要な餌としていると考えられており、流れの速い水槽縁辺部においては、流れの遅い水槽中心部よりも、アサリ直上を通過した海水量が多いことから餌供給量も多くなり、成長が促進されたと考えられる。また、アサリは付着性の底生微細藻類も餌料と利用していることが知られている (沼口 2001a, Yamaguchi et al. 2004)。懸濁物を摂餌するアサリにとっては、波浪や潮汐によって剥離しやすい付着力の弱い付着珪藻が餌として利用しやすいと考えられることから (水産庁 2008), 流速の速い水槽外縁部では、より多くの付着藻類が剥がされて懸濁したため、アサリの餌として利用しやすくなったのかもしれない。

2014 年の垂下試験期間中に測定したクロロフィル a 濃度はウラニン換算濃度であることから、他のアサリ漁場で報告されているクロロフィル a 濃度 (沼口 2001b, 宮脇ら 2014, 長谷川ら 2015) と単純に比較することはできないが、餌濃度がほぼ均一である 1 つの水槽の中で、流れの速い縁辺部において高成長を示したことから、ア

■ 2mm目合 ■ 7mm目合 ■ 14mm目合 □ 網なし

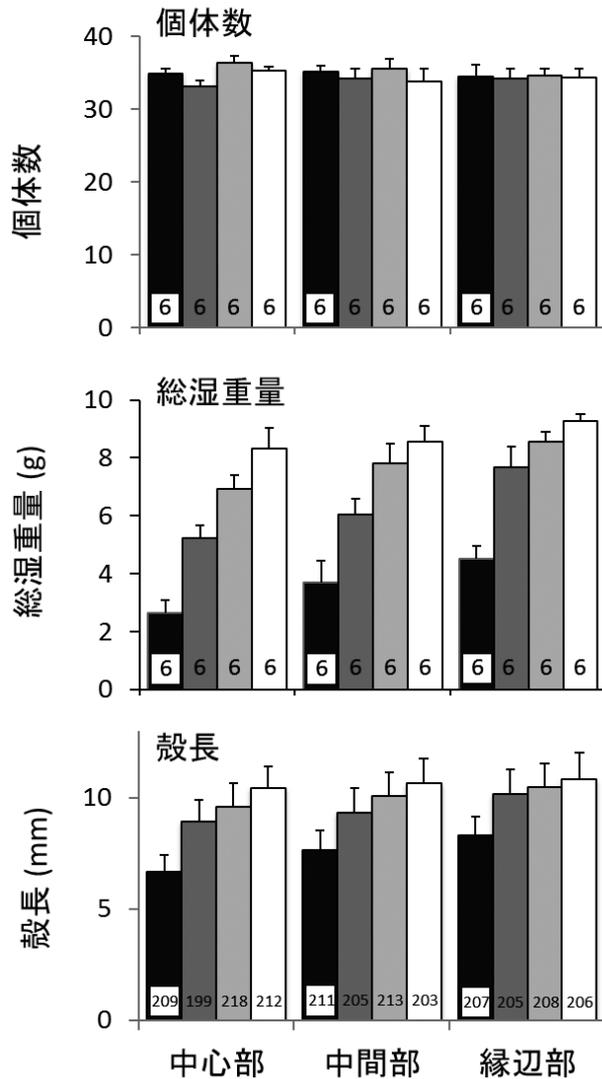


図 7. 垂下試験 (2014) 終了時における垂下容器内のアサリ稚貝の平均個体数 (上) 総湿重量 (中) と平均殻長 (下) エラーバーは標準偏差を、数字はサンプルサイズを示す

表 7. 水槽内の位置 (位置), 網蓋の目合の大きさ (目合), 水槽が垂下試験 (2014) 終了時のアサリ個体数に及ぼす影響についての三元配置分散分析

要因	自由度	平方和	平均平方和	F	P
位置	2	3	1.5	0.63	0.6143
目合	3	26	8.67	6.5	0.0793
水槽	1	0.22	0.22	0.18	0.6735
位置 × 目合	6	17.67	2.94	1.36	0.3595
位置 × 水槽	2	4.78	2.39	1.93	0.1559
目合 × 水槽	3	4	1.33	1.08	0.3671
位置 × 目合 × 水槽	6	13	2.17	1.75	0.1292
残差	48	59.33	1.24		

サリの餌料環境は餌濃度のみではなく、多賀・和西 (2006) や程川・水野 (2013) が行っているようにクロロフィル a 濃度に流速を乗じたクロロフィル a フラックス (通過

表 8. 水槽内の位置 (位置), 網蓋の目合の大きさ (目合), 水槽が垂下試験 (2014) 終了時のアサリ総湿重量に及ぼす影響についての三元配置分散分析

要因	自由度	平方和	平均平方和	F	P
位置	2	35.64	17.82	28.12	0.0343
目合	3	267	89	412.19	0.0002
水槽	1	0.39	0.39	1.18	0.2821
位置 × 目合	6	4.05	0.68	16.33	0.0018
位置 × 水槽	2	1.27	0.63	1.91	0.1596
目合 × 水槽	3	0.65	0.22	0.65	0.587
位置 × 目合 × 水槽	6	0.25	0.04	0.12	0.9928
残差	48	15.95	0.33		

表 9. 水槽内の位置 (位置), 網蓋の目合の大きさ (目合), 水槽, 垂下容器が垂下試験 (2014) 終了時のアサリの殻長に及ぼす影響についての四元配置 nested 分散分析

要因	自由度	平方和	平均平方和	F	P
位置	2	440.36	220.18	14.76	0.0634
目合	3	3396.07	1132.02	415.77	0.0002
水槽	1	1.55	1.55	0.43	0.5174
位置 × 目合	6	100.04	16.67	18.75	0.0012
位置 × 水槽	2	29.83	14.92	4.16	0.0281
目合 × 水槽	3	8.17	2.72	0.76	0.5279
位置 × 目合 × 水槽	6	5.34	0.89	0.25	0.9554
容器 (位置 × 目合 × 水槽)	24	86.05	3.59	3.51	0.0001
残差	2448	2499.39	1.02		

全色素量) による評価がより望ましいと思われる。クロロフィル a フラックスがアサリの成長に与える影響を検証するためには、流速と餌料濃度の両方を操作した実験が必要であろう。

今回の垂下飼育試験では、複数の還流水槽を用いることなく、1つの円形水槽内で異なる流速条件におけるアサリの成長を比較することができた。アサリの垂下飼育試験に限らず、水温・餌料藻類や栄養塩濃度などが均一な条件下で流速の効果を見出す実験を行うための簡便で有効な方式と考えられる。また、本試験で発生させた流速の範囲内では、流速が速いほど成長が促進されたが、より流速が速い環境ではアサリの濾水や摂餌活動が阻害されて、成長が抑制されるかもしれない。今後は、どのくらいの流速までアサリの成長が促進されるのかを明らかにする必要がある。

2014年の垂下試験の結果から、目合の小さな網蓋はアサリの成長を阻害することが示唆された。網蓋の目合が小さな容器においては、網蓋の目合が大きな容器や網蓋がない場合と比較して、容器内外の海水の交換率が低下し、容器内への餌の供給量が少なくなり、成長が抑制されたと考えられる。トリガイ *Fulvia mutica* の垂下養殖においても、垂下コンテナに取り付ける網の目合が大きく、開口率が大きいほど、トリガイの成長が良いことが報告されている (田中ら 2008)。また、最も小さい 2mm の目合の網蓋を被せた容器においては、アサリが砂から這い出して砂上にいるのが観察された。慶野ら

(2005) は、ストレスを受けたアサリが砂中から這い出すことを報告している。試験期間中、網蓋上には付着藻類が繁茂し、2mm の目合の網蓋は目詰まりしやすくなっていったことから、小さな目合の網蓋を被せた容器内のアサリは餌不足や生息環境の悪化など、なんらかのストレスを受けた可能性が示唆される。

目合サイズが成長に与える影響は流速が遅い場所ほど大きく、最も流速が遅い水槽中心部に垂下した目合の小さい容器においては、アサリ稚貝の成長が大きく抑制されていた。これは、流速の遅い海域において目合サイズが小さな網蓋を使用してアサリの垂下養殖を行った場合、生産性が大きく低下してしまうことを示しており、流れの遅い海域では適切な目合の網蓋を選択することがより重要となると考えられる。

垂下容器の網蓋は、捕食者からアサリを保護するのみではなく、アサリの散逸防止の効果もあるだろう。これまで、アサリの垂下養殖は内湾などの静穏な海域で行われてきたが(長谷川 2015)、垂下養殖アサリの需要が高くなってきたことから、アサリ垂下養殖が盛んに行われている兵庫県室津地区では、より波浪の強い海域で垂下養殖を行う技術開発が進められている(安信 2017)。垂下容器の網蓋を収容したアサリが抜け出さないような目合にすることで、荒天時に容器が大きく揺動することがあっても、アサリが容器から脱落することを防ぐことができると考えられる。

このように、網蓋の目合が小さいほど捕食や脱落のリスクは小さくなると期待されるが、その一方でアサリの成長が阻害されることが明らかになった。アサリの垂下養殖において、垂下容器の網蓋の目合サイズを決定する際には、養殖海域にいる捕食者の種類や大きさ、収容するアサリのサイズ、波浪による揺動や流速などを考慮する必要がある。また、藻類や付着生物によって網蓋が目詰まりしてしまうとアサリに悪影響を与える可能性があるため、状況に応じて網蓋の洗浄や交換が必要であろう。

全国的なアサリ資源の減少に伴い、放流用、養殖用の天然種苗の安定的確保が困難となっていることから、低コストで省力的に大量の稚貝を生産する手法の開発が求められている(崎山ら 2012)。アサリの中間育成方法としては、海上あるいは陸上でのアップウェリング方式が知られているが(藤田ら 1984, 鳥羽・早川 2002, 崎山ら 2012)、筏式の飼育装置の設置やその維持管理にはコストと労力が必要となり、陸上の大型水槽などを利用する場合には餌料の確保が問題となっている(小林ら 2007)。本研究で用いた陸上の円形水槽内での垂下飼育は自然海水をかけながすだけで、特殊な装置も必要としないことから、放流用、養殖用のアサリ稚貝の中間育成に活用できる可能性がある。

アサリの成長は冬季の低温期に停滞することが知られており(鳥羽 1988, 柴田 2004)、小林・鳥羽(2005)は

アサリ稚貝の成長が0となる生物学的零度は10.8°Cと報告している。しかし、秋から冬にかけて行った垂下試験1では、試験期間の半数以上の日で平均水温が10.8°C以下であったにもかかわらず、アサリ稚貝の成長がみられた。アサリ稚貝の中間育成においては、冬季の低水温期に成長が鈍ることから、中間育成の期間が長くなってしまふことが問題となっていたが(鳥羽 1988)、本試験の飼育方法を用いることで、効率的な稚貝の中間育成が可能になるかもしれない。

中間育成手法として活用するにあたっては、水槽壁面に藻類などが付着すると流速が減衰して、アサリの成長が抑制される可能性があるため、適切な間隔での水槽掃除が必要となる。水槽壁面には付着性微細藻類も繁茂していることから、それらを水槽掃除によって剥離して水槽内に懸濁させることで、アサリの餌料として利用することができるかもしれない。また、効率的に中間育成をするためには、流速のみではなく、注水される天然海水に含まれる植物プランクトンの量や、垂下容器への適切な稚貝収容密度も検討する必要もあろう。

謝 辞

本研究の実施にご協力いただいた国立研究開発法人水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所海産無脊椎動物研究センターの皆さまと、統計解析について有益なご助言をいただいた鳥取県衛生環境研究所の宮本 康博士に感謝する。本研究は農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業委託事業「地域特産化をめざした二枚貝垂下養殖システムの開発」(平成 24~26 年度)の一環として実施した。関係各位に謝意を表す。

文 献

- 藤田真吾・吉田 弘・西広富夫(1984) Up-welling System を応用した二枚貝の海上中間育成装置と飼育の試み。栽培技研, **13**, 29-35.
- 長谷川夏希・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.
- 日向野純也(2014) アサリの天然採苗と垂下養殖の技術開発。アクアネット, **2014**, **10**, 54-58.
- 程川和宏・水野知巳(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。平成 23 年度三重県水産研究所事業報告, 69-70.
- 柿野 純(1996) 東京湾盤洲干潟におけるアサリの成長と流れとの関係。千葉水試研報, **54**, 7-10.
- 慶野英生・杉山清泉・西沢 正・鈴木輝明(2005) 冬季波浪時におけるアサリの潜砂行動とエネルギー消費過程に関する実験的研究。水産工学, **42**, 1-7
- 小林 豊・鳥羽光晴(2005) アサリ稚貝の成長および粗成長効率と水温の関係。栽培技研, **33**, 9-13.

- 小林 豊・鳥羽光晴・庄司紀彦 (2007) 屋外大型水槽を使用したアップウェリング方式によるアサリ人工稚貝中間育成. 千葉水産研報, **2**, 15-23.
- 松田正彦・鶴田政文 (2015) 区画管理された客土覆砂漁場でのアサリ養殖漁業. 小長井町漁業協同組合の取り組み. アクアネット, 2015, **4**, 47-50.
- 宮脇 大・村内嘉樹・山本直生・平井 玲・川村耕平 (2014) 三河湾の前浜干潟におけるアサリの成長と成熟. 愛知水試研報, **19**, 16-18.
- 西沢 正・柿野 純・中田喜三郎・田中浩一 (1992) 東京湾盤洲干潟におけるアサリの成長と減耗. 水産工学, **29**, 61-68.
- 沼口勝之 (2001a) アサリ漁場の餌料環境としてのセジメント. 水産工学, **37**, 209-215.
- 沼口勝之 (2001b) 潮汐に伴うアサリ漁場底層水中の植物色素量と懸濁粒子量の変化. 日水誌, **67**, 209-216.
- 崎山一孝・山崎英樹・兼松正衛 (2012) 自然海水を利用した陸上アップウェリングシステムによるアサリ稚貝の飼育方法の検討. 水産技術, **5**, 27-31.
- 柴田輝和 (2004) 東京湾盤洲干潟におけるアサリ稚貝の着底と成長, 生残. 千葉水産研報, **3**, 57-62.
- 重田利拓・薄 浩則 (2012) 魚類によるアサリ食害野外標本に基づく食害魚種リスト. 水産技術, **5**, 1-19.
- 水産庁 (2008) 干潟生産力改善のためのガイドライン. 206p.
- 多賀 茂・和西昭仁 (2006) 干潟におけるアサリの餌料環境評価. 山口県水産研究センター研究報告, **4**, 111-117.
- 田中雅幸・井谷匡志・藤原正夢 (2008) トリガイ養殖に関する研究-VI トリガイの養殖コンテナに用いるカバーネットの適正網目サイズ. 京都海洋セ研報, **30**, 43-47.
- 鳥羽光晴 (1988) アサリ種苗生産試験Ⅱ 秋季中間育成試験. 千葉水試研報, **46**, 43-49.
- 鳥羽光晴・早川美恵 (2002) アサリ稚貝のアップウェリング飼育での適正密度と流量. 千葉水産研報, **1**, 63-65.
- Underwood A J (1997) Experiments in ecology. Cambridge University Press, Cambridge, 504p.
- Yamaguchi H, Tsutsumi H, Tsukuda M, Nagata S, Kimura C, Yoshioka M, Shibamura S, Montani S (2004) Utilization of photosynthetically produced organic particles by dense patches of suspension feeding bivalves on the sand flat of Midori River estuary, Kyushu, Japan. *Benthos Res.*, **59**, 67-77.
- 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.
- 安信秀樹 (2017) 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. 水産技術, **9**, 133-139.