

# アサリ垂下養殖技術に関する

## 共同研究報告書

令和3年5月

国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所  
地方独立行政法人北海道立総合研究機構

Copyright © (2021) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

# アサリ垂下養殖技術に関する 共同研究報告書

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所  
寒地水圏研究グループ水産土木チーム

上席研究員	石井 馨 <sup>※1</sup>
総括主任研究員	河合 浩
主任研究員	丸山 修治 <sup>※2</sup>
主任研究員	須藤 賢哉
研究員	梶原 瑠美子
研究員	稲葉 信晴

地方独立行政法人北海道立総合研究機構

水産研究本部栽培水産試験場栽培技術部栽培技術グループ

栽培技術部長	清水 洋平
研究主幹	高島 信一 <sup>※3</sup>
研究主幹	多田 匡秀
主査	川崎 琢真
研究職員	井上 智

※1：元 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所水産土木チーム上席研究員

※1：現 国土交通省北海道開発局稚内開発建設部築港課

※1：現 北海道立総合研究機構水産研究本部稚内水産試験場調査研究部長

## 要旨

本報告書は、国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所（水産土木チーム）と地方独立行政法人北海道立総合研究機構（栽培水産試験場栽培技術部）が、平成 27 年度から令和元年度にかけて実施した「アサリ垂下養殖技術に関する共同研究」について、その成果をとりまとめたものである。

本共同研究では、北海道日本海沿岸の漁港構造物を活用したアサリ垂下養殖の技術開発を目的として、殻長の成長結果と餌料の供給量との関係、北海道内の他地域との比較、アサリの成長に有利となる垂下条件の検討を行った。

その結果、生残率は最低でも 82.5%（初期サイズ 6mm、200 個体収容）と高く、北斗市および火散布沼の干潟と同程度の成長が得られたこと、成長に有利な流速と基質材について明らかとなったことから、漁港施設における垂下養殖事業の実用化の可能性が示唆された。

キーワード：アサリ、垂下養殖

## 目次

第1章	はじめに	1
第2章	現地試験の概要	3
2.1	現地試験箇所	3
2.2	アサリ垂下養殖試験の基本条件と方法	3
2.3	物理環境・水質調査の項目と観測方法	4
第3章	アサリ TOC（全有機炭素）増加量と餌料供給量との関係	
	北海道内の他地域との比較（垂下試験、干潟）	6
3.1	材料と方法	6
3.1.1	アサリ垂下養殖試験	6
3.2	試験結果	7
3.2.1	アサリの成長	7
3.2.2	物理環境	9
3.2.3	水質調査	9
3.2.4	安定同位体比分析	9
3.3	考察	10
3.3.1	アサリ TOC（全有機炭素）増加量と餌料供給量との関係	10
3.3.2	北海道内の他地域との比較（垂下試験、干潟）	11
第4章	垂下条件の検討	13
4.1	材料と方法	13
4.1.1	アサリ垂下養殖試験	13
4.1.2	室内実験	13
4.2	試験結果	15
4.2.1	アサリの成長	15
4.2.2	物理環境	16
4.2.3	室内実験	18
4.3	考察	19
4.3.1	籠の固定の有無と成長との関係	19
4.3.2	基質（砂利、軽石）の有無と成長との関係	19
4.3.3	基質材（砂利、軽石）の種類と成長との関係	20
第5章	おわりに	22

## 第1章 はじめに

国内のアサリ(*Ruditapes philippinarum*)生産量は近年減少傾向が続き、2016年はピーク時の1983年と比較して1割にも満たない<sup>1)</sup>。北海道においては、1983年以降、年間約1,000～1,500トン<sup>1)</sup>の安定した生産が続き、2018年に統計上生産量が1t以上の道内の市町村は6市町で、厚岸湖、風蓮湖、火散布沼など干潟が発達している道東の海域が99.9%以上を占めている。道東以外では道南西部の北斗市で生産があるものの、その割合は0.1%未満と極端に少なく<sup>2)</sup>、特定の海域に依存している。

北海道の日本海沿岸は、北海道の海域の中でも特に漁業生産が低く、栽培漁業の割合も低いことから、アサリなど二枚貝類の養殖技術の開発・普及などが課題となっている<sup>3)</sup>。

近年、全国的にアサリの垂下養殖試験が行われるようになり、天然干潟と比較して成長が早いことが報告されている<sup>4,5,6)</sup>。北海道内においても、北斗市の近隣にある函館漁港内において垂下養殖試験が行われ、約1年間で殻長が12.3mmから43.0～44.8mmまで30mm以上増加し、良好な成長を示している<sup>7)</sup>。しかし、函館漁港周辺は道内でも特に温暖な海域であることから、垂下養殖技術を開発し日本海沿岸へ普及するためには、アサリの成長に重要な海水温や餌料などの環境条件が厳しい地域でも実施することが重要と考えられる。

一方、水産業の競争力強化の観点から、生産の効率化や国内への安定的な水産物の供給が求められている<sup>8)</sup>。北海道南西部に位置する江良漁港(松前町)では、冬季の大時化を回避でき、通年で静穏な状態を確保・維持できる港内に蓄養施設を整備し、出荷調整による安定的な水産物供給体制の確立に取り組んでいる<sup>9)</sup>。

本共同研究では、北海道日本海沿岸の漁港構造物を活用したアサリ垂下養殖の技術開発を目的として、江良漁港の港内蓄養施設を活用してアサリ垂下養殖試験を行い、アサリTOC(全有機炭素)増加量と餌料供給量との関係、北海道内の他地域との比較(垂下試験、干潟)、垂下条件の検討を行った。当該技術の確立は、北海道内におけるアサリ生産量について、既存の漁場に依存することなく増大を図ることが可能になると考えられ、さらに、漁港水域の有効活用のみならず、人口減少や高齢化が進む北海道の漁業地域において、アサリ養殖の管理の容易化による地域振興にも寄与すると考えられる。

本共同研究報告書は、研究成果として土木学会へ投稿した論文から引用してまとめたものである。

### <引用論文>

- ・丸山修治, 梶原瑠美子, 大橋正臣, 伊藤敏朗, 金森誠, 清水洋平, 門谷茂: 江良漁港蓄養施設内におけるアサリ垂下養殖試験, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol.74, No.2, pp.348-353, 2018.
- ・丸山修治, 梶原瑠美子, 伊藤敏朗, 井上智, 大橋正臣, 門谷茂: 江良漁港蓄養施設におけるアサリ垂下養殖試験(第2報: 垂下条件の検討), 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol.75, No.2, pp.492-497, 2019.

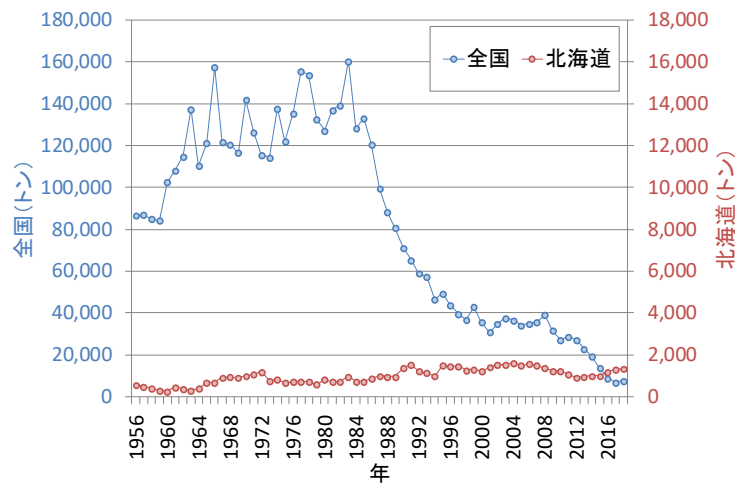


図-1 全国と北海道のアサリ生産量<sup>1,2)</sup>

表-1 2018年の北海道の市町村別アサリ生産量<sup>2)</sup>

市町村	生産量 (t)	道内シェア (%)
厚岸町	910	60.5
別海町	396	26.3
根室市	99	6.6
浜中町	97	6.4
北斗市	1	0.1
網走市	1	0.1
合計	1,504	100.0

<参考文献>

- 1) 農林水産省：海面漁業生産統計調査，海面漁業魚種別漁獲量累年統計，2018.
- 2) 北海道水産林務部：北海道水産現勢，pp.6-29，2017.
- 3) 北海道水産林務部：日本海漁業振興基本方針〔改定〕，pp.1-3，2018.
- 4) 藤原正夢，辻秀二，田中雅幸，今西裕一，中西雅幸：垂下コンテナ飼育におけるアサリの成長，京都府立海洋センター研究報告，第30号，pp.49-53，2008.
- 5) 日向野純也：アサリの天然採苗と垂下養殖，豊かな海，No.33，pp.56-58，2014.
- 6) 石樋由香，松本才絵，渡部諭史，藤岡義三，長谷川夏樹，日向野純也：コンテナ垂下養殖アサリの成長と餌料源，水産技術，9(3)，pp.141-145，2017.
- 7) 金森誠，奥村裕弥，清水洋平，川崎琢真：函館湾におけるアサリ垂下養殖試験について，北水試だより，94，pp.14-18，2017.
- 8) 水産庁：漁港漁場整備長期計画，pp.2-4，2017.
- 9) 函館開発建設部築港課：江良漁港(松前町)蓄養施設の完成報告，港のたより，Vol.109，pp.4-5，2014.

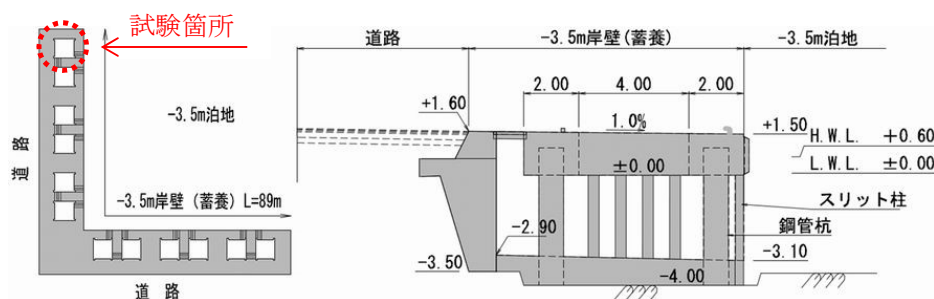
## 第2章 現地試験の概要

### 2. 1 現地試験箇所

現地試験は、北海道日本海沿岸の松前町に位置する江良漁港の-3.5m岸壁（蓄養）L=89mの内、先端の1区間を活用して実施した。1区間の形状は4.0m×4.0m、水深D.L.-3.1m、天端高D.L.+1.5mで、D.L.±0.0m以深は周囲が海水交換可能なスリット構造である。



写真-1 江良漁港



### 2. 2 アサリ垂下養殖試験の基本条件と方法

「容器」：丸籠（直径40cm×高さ10cm、底面積1,256cm<sup>2</sup>、1分目（3.03mm四方））

「基質材」：砂利（粒径5~10mm）、軽石（粒径6~12mm）、砂利と軽石の混合、基質なし

「基質厚」：3cm（殻長の1~2倍の深さに潜砂する<sup>10)</sup>）

「容器の固定方法」

- ・フック固定：施設上部に設置済みの手摺りからロープで丸籠を垂下し、丸籠の下面に取り付けたフックで、施設内の海底に配置したロープに固定
- ・単管固定：施設内の壁面に配置した単管に丸籠を直接固定
- ・固定なし：施設上部に設置済みの手摺りからロープで丸籠を垂下

「垂下水深」：D.L.-2.0m

「試験方法」：垂下試験開始後は約3ヶ月ごとに、適宜、計測（全生残個体数または無作為

に 30～50 個体を抽出) や分析を行い、計測後は基質清掃した方が成長・生残が良好との報告<sup>11)</sup>があることから、試験終了時を除き基質と容器を海水で洗浄し、再び容器内に稚貝と基質を収容して垂下した。なお、人為的な給餌は行っていない。

「計測・分析項目」：生残個体数、殻長、個体湿重量、軟体部湿重量、安定同位体分析、TOC (全有機炭素)、基質内の定位方向



写真-2 容器 (丸籠)、基質材 (砂利、軽石)

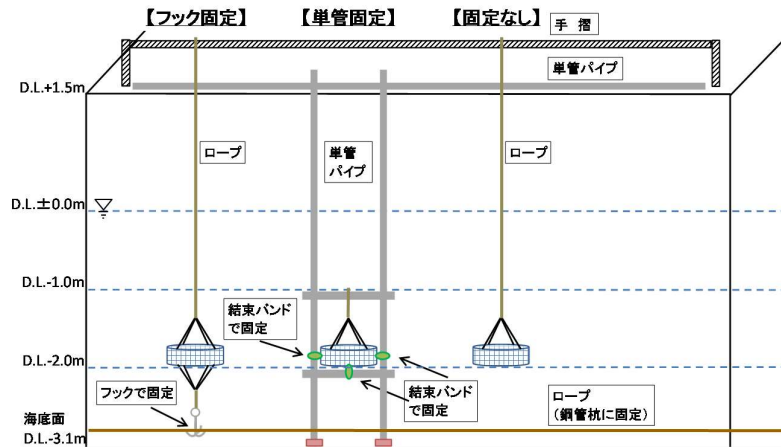


図-3 丸籠の固定方法

<参考文献>

- 10) 水島敏博, 鳥澤雅監修: 漁業生物図鑑 新 北のさかなたち, 北海道新聞社, p.317, 2003.
- 11) 尾鷲市水産商工食のまち課: 二枚貝養殖試験事業結果報告書, pp.15-16, 2014.

2. 3 物理環境・水質調査の項目と観測方法

垂下養殖試験を実施する蓄養施設内の物理・水質環境を把握するため、水圧式波高計、クロロフィル濁度計、流向流速計を施設内に設置し、波高、周期、水平流速、水温、クロロフィルの連続観測を行った。また、施設内、港内、港口から採水器を用いて海水を採水し、クロロフィル、POC (粒状態有機炭素)、PON (粒状態有機窒素) を分析するとともに、アサリが蓄養施設内で取り込んでいる餌料を把握するため、海水 POC、PON の安定同位体比分析を行った。



表-2 物理環境および水質調査の項目と方法

方 法	観測・分析内容	観 測 箇 所	観 測 間 隔	観 測 時 期
水圧式波高計 (WAVE HUNTER)	波高、周期 水平流速	海底に固定 D.L.-3.1m (T.P.-3.225m)	サンプル間隔0.5秒 測定時間20分 測定間隔120分	2016.6.28~2018.9.21
クロロフィル濁度計 (INFINITY-CLW)	水温、クロロフィル		サンプル間隔1.0秒 測定時間10秒 測定間隔10分	2016.6.28~2018.9.21
流向流速計 (INFINITY-EM)	水平流速	D.L.-2.0m (T.P.-2.125m)	サンプル間隔0.5秒 測定時間2秒 測定間隔120分	2018.6.15~2018.9.21
採水 (バンドーン採水器)	Chl. <i>a</i> POC PON	施設内 D.L.-2.0m (T.P.-2.125m)	—	2016.6.28、2016.9.28 2016.12.27、2017.3.2 2017.6.15
	安定同位体 ( $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ )	施設内、港内、港口 ともにD.L.-2.0m (T.P.-2.125m)	—	2016.9.28

第3章 アサリ TOC（全有機炭素）増加量と餌料供給量との関係  
北海道内の他地域との比較（垂下試験、干潟）

第3章は、2016年6月28日から2017年6月15日までに実施した現地試験をもとに検討したものである。

3. 1 材料と方法

3. 1. 1 アサリ垂下養殖試験

垂下養殖試験ケースを表-3に示す。今回の試験内容は、垂下試験開始時の初期サイズと収容個体数の検討に主眼を置き、4サイズ（20mm、15mm、10mm、6mm）の稚貝（人工種苗）と収容個体数（50個/籠、100個/籠、200個/籠）を組み合わせた12ケースとした。殻長は無作為に50個体を抽出して計測、試験終了時には全個体数を計測するとともに、生残個体数から生残率を把握した。

また、アサリが取り込んでいるPOC（粒状態有機炭素）を把握するため、炭素および窒素の安定同位体比を分析することとし、同施設内に2016年6月28日から2016年9月28日まで別途垂下した（ケース13）。さらに、殻長とTOC含有量との関係を把握するため、2017年6月15日から2017年9月26日までの期間にも別途垂下し（ケース14）、その稚貝の殻長、個体湿重量、軟体部湿重量を計測するとともにTOCを分析した。

表-3 垂下養殖試験ケース

ケース	容器	初期稚貝サイズ (平均mm)	収容個体数 (個)	垂下水深 (D.L.m)	容器の垂下 ・固定方法	基質	垂下時期	計測項目・時期	分析項目・時期
1	丸籠	20mm (15.2~23.7)	50	-2.0m	フック固定	砂利1 : 軽石1 (厚さ8cm)	2016.6.28 ~ 2017.6.15	【項目】 殻長 生残個体数  【時期】 2016.6.28 2016.9.28 2016.12.27 2017.3.2 2017.6.15	-
2			100						
3			200						
4		15mm (11.2~17.9)	50						
5			100						
6			200						
7		10mm (7.2~12.7)	50						
8			100						
9			200						
10		6mm (3.6~8.7)	50						
11			100						
12			200						
13	丸籠	6mm (4.7~8.3)	100	-2.0m	フック固定	砂利6cm	2016.6.28 ~ 2016.9.28	-	【項目】 安定同位体 ( $\delta^{13}C$ 、 $\delta^{15}N$ ) 【時期】 2016.9.28
14		6~20mm (7.0~23.9)	100						砂利3cm

### 3. 2 試験結果

#### 3. 2. 1 アサリの成長

##### (1) 殻長

平均殻長の推移を図-4に示す。初期サイズによらず、2016年6月28日から9月28日までと2017年3月2日から6月15日までの期間に殻長が大きく成長したが、上記期間以外は殻長の成長は小さかった。

収容個体数と殻長との関係を図-5に示す。全ての初期サイズとも収容個体数の違いによる成長に有意な差がみられ、初期サイズの小さい方が、殻長が大きく増加した（一元配置分散分析による検定結果：全サイズ  $P < 0.01$ ）。また、全ての初期サイズにおいて353日後の平均殻長は、21.4（初期6mm、200個体/籠）～30.1mm（初期15mm、50個体/籠）の範囲であり、平均殻長としては北斗市館野地区の出荷（漁獲対象）サイズである32mmに達しなかった。しかし、初期サイズ15mm以上では、収容個体数に係わらず1籠当たり10個体程度32mmに達する個体があった。

収容個体数と生残率との関係を図-6に示す。初期サイズ別の平均生残率は87.5～95.8%であり、高い生残率を確保できた。

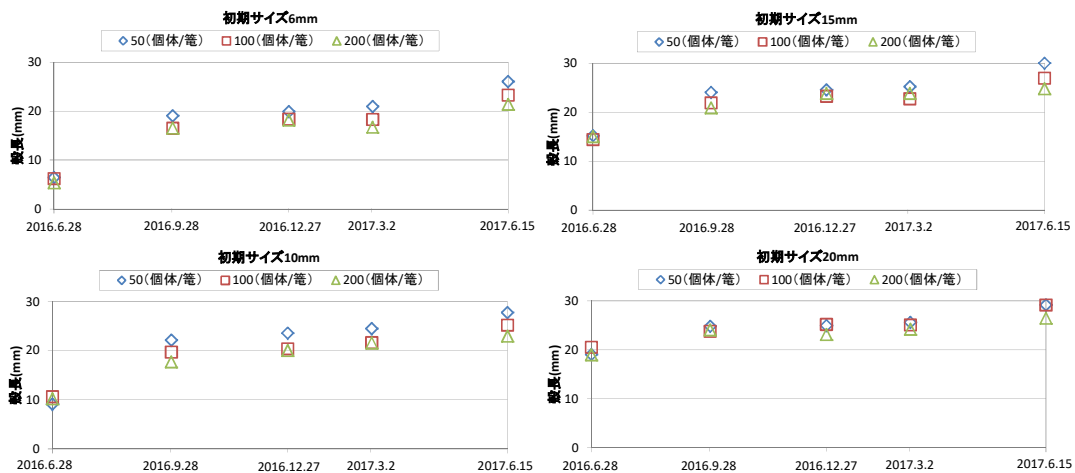


図-4 平均殻長の推移

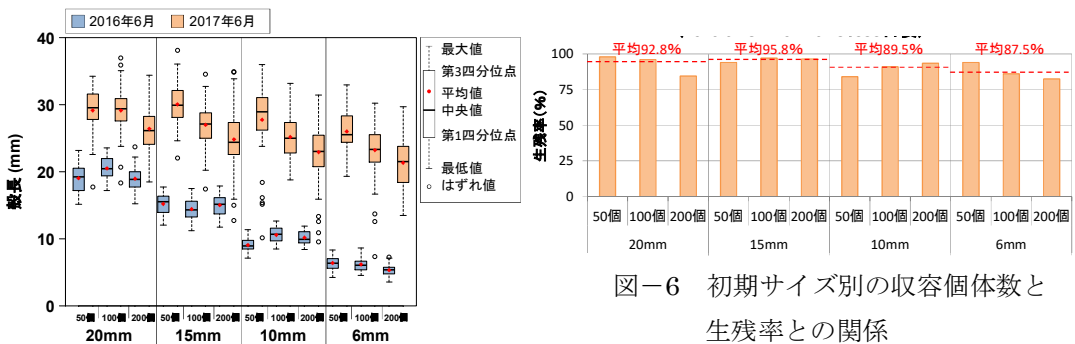


図-6 初期サイズ別の収容個体数と生残率との関係

図-5 初期サイズ別の収容個体数と殻長との関係

(2) アサリ TOC 増加量

ケース 14 によって得られた殻長と個体湿重量との関係を図-7 に、個体湿重量と軟体部湿重量との関係を図-8 に示す。これらの関係式を TOC の分析結果を含めて下記に記す。

$$\text{「個体湿重量」} = 0.0002 \times \text{「殻長」}^2.9835$$

$$\text{「軟体部湿重量」} = 0.2236 \times \text{「個体湿重量」}^{1.0262}$$

$$\text{「TOC」} = 353.4 \text{mgC/gww (軟体部湿重量当たり)}$$

これらの関係式を用いて、収容密度によるアサリの成長量の違いを TOC の増加量で把握するため、ケース 1~12 の計測した殻長から 1 個体当たりの TOC を算出し、試験開始時 (2016 年 6 月 28 日) と試験終了時 (2017 年 6 月 15 日) の差から増加量を算出した。さらに、このアサリ 1 個体当たりの TOC 増加量に、1 籠当たりの収容個体数を乗じ、これを試験日数 (353 日) で除して、籠・日当たりのアサリ TOC 増加量を算出した。

初期サイズ別の収容個体数とアサリ TOC 増加量との関係を図-9 に示す。全ての初期サイズとも密度により成長に有意な差がみられ、密度の低い方がアサリ 1 個体当たりの TOC 増加量が大きい傾向があった (一元配置分散分析による検定結果: 全サイズ  $P < 0.01$ )。一方、籠・日当たりのアサリ TOC 増加量では、密度の高い方が増加量も大きくなる傾向がみられた。

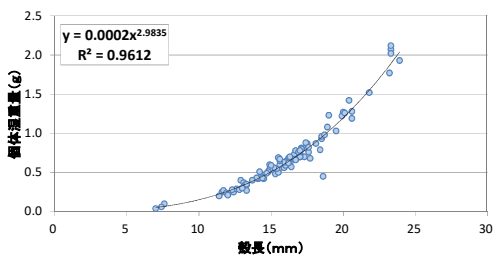


図-7 殻長と個体湿重量との関係

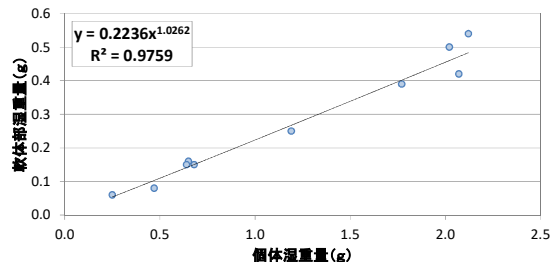


図-8 個体湿重量と軟体部湿重量との関係

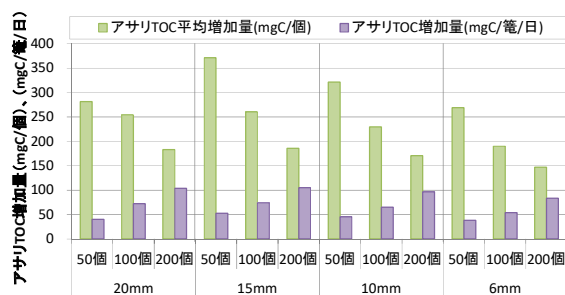


図-9 初期サイズ別の収容個体数とアサリ TOC 増加量との関係

### 3. 2. 2 物理環境

波高および周期の観測結果を図-10に示す。有義波高の全観測期間の平均は0.18mであり、10月以降は冬季風浪のためそれ以前に比べて波高が高い傾向があったが、比較的静穏な状態が継続していた。水平流速を求めると0~2cm/sの範囲で、1cm/sが最も出現頻度が高く全体の82.4%を占め平均値は0.86cm/sであった。

水温の変化を図-11に示す。各月の平均水温は2016年8月に23.1℃と最も高く、2017年2月に6.3℃と最も低かった。平均水温が20℃を超える時期は8、9月に限られていた。

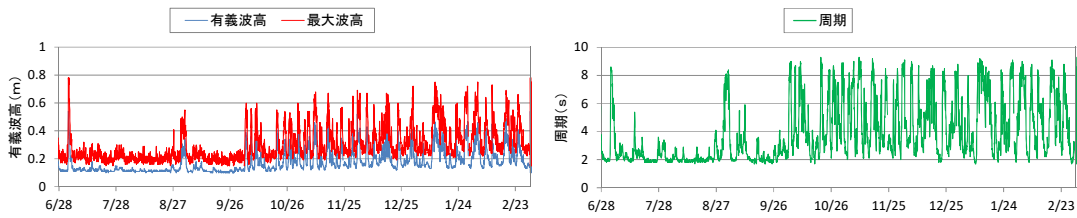


図-10 蓄養施設内の波高、周期

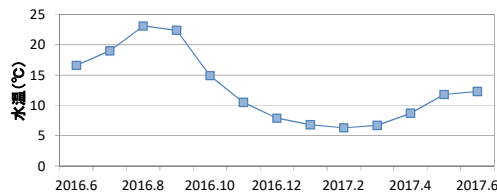


図-11 水温変化

### 3. 2. 3 水質調査

Chl.a、POC、PONの変化を図-12に示す。Chl.a濃度の機器観測値(月平均)は、春季に高く冬季に低い傾向を示し、施設内から採水した分析値と大きな違いはなかった。POCは、2016年6月に2.0mg/Lと最も高く、冬季に低くなる傾向を示した。

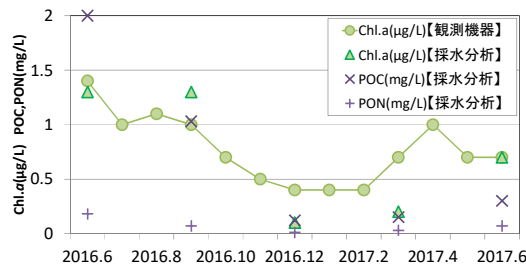


図-12 Chl.a、POC、PONの変化

### 3. 2. 4 安定同位体比分析

炭素および窒素の安定同位体比分析結果を図-13に示す。海水のPOCには、アサリが利用しやすいと考えられているChl.a由来のPOCも含まれているが、アサリと海水の分析結果を比較すると、施設内の海水の値は、報告のあるアサリの前処理や部位による差異を考

慮した餌料からの各同位体分別（炭素 1.9‰、窒素 4.6‰<sup>12)</sup> から推測されるアサリの餌料の値の範囲内にあった。このことから、アサリは施設内周辺の POC 全体を取り込んでいると考えられ、Chl.*a* 由来の POC 以外も取り込んでいることが推察された。

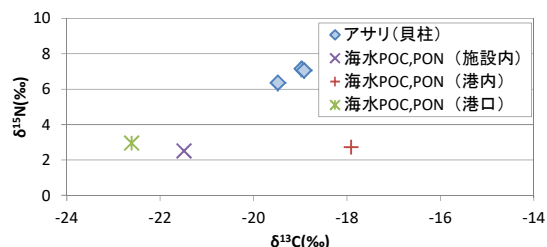


図-13 安定同位体比分析結果

<参考文献>

- 12) Yokoyama, H. and Ishii, Y.: Variation in  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  among different tissues of three estuarine bivalves: implications for dietary reconstructions, *Plankton and Benthos Research*, Vol.1 (4), 178-182, 2006.

3. 3 考察

3. 3. 1 アサリ TOC (全有機炭素) 増加量と餌料供給量との関係

餌料は、丸籠内の基質天端高より上部（直径 40cm、高さ 2cm）に海水が流入して供給されるものと仮定した。アサリが利用しやすいと考えられている Chl.*a* 由来の POC は、Chl.*a* の分析値から  $\text{POC}/\text{Chl.}a=20\sim 50$ <sup>13)</sup> の関係を用いて求めた。この POC に調査期間の水平流速の平均値 (0.86cm/s) を基に求めた丸籠内への日当たり海水供給量 (cm<sup>3</sup>/籠/日) を乗じて、丸籠内の餌料を POC 供給量 (mgC/籠/日) として算出した (Chl.*a* 換算値)。さらに、アサリは施設内周辺の Chl.*a* 由来の POC 以外も取り込んでいることが推察されたことから (図-13)、POC 分析値 (施設内) も対象とし、これに丸籠内への日当たり海水供給量 (cm<sup>3</sup>/籠/日) を乗じて、POC 供給量 (mgC/籠/日) を算出した (POC 分析値)。

アサリ TOC 増加量 (1 個体当たり/調査期間、籠当たり/日、m<sup>2</sup> 当たり/1 年間)、海水の POC 供給量 (Chl.*a* 換算値、POC 分析値)、成長効率 (成長/消費) を 0.188 とした場合<sup>14)</sup> のアサリ TOC 増加量 (mgC/籠/日) に対する海水 POC 供給量 (Chl.*a* 換算値、POC 分析値) を表-4 に示す。

アサリ TOC 増加量 (mgC/籠/日) に対する海水 POC 供給量 (Chl.*a* 換算値) の割合は 1.0 以下が多く、Chl.*a* 由来の POC 供給量以上にアサリの TOC が増加したことから、Chl.*a* 由来の POC 以外も取り込んでいることがわかった。また、アサリ TOC 増加量 (mgC/籠/日) に対する海水 POC 供給量 (POC 分析値) の割合は、収容個体数 200 個の場合でも 7.6~9.7 であった。仮に海水 POC の全てをアサリが利用できるとした場合、アサリの成長に十分な海水 POC が供給されていると考えられ (成長効率を 0.188 とした場合)、これ以上に

密度を高くした場合でも、籠当たりのアサリの TOC の増加が期待できると考えられた。さらに、光合成による基礎生産を考慮しないで、単純に海水 POC 供給量を基に 1 年間の生産可能なアサリの湿重量（増加量）を計算すると、本施設の垂下養殖には、1 籠当たり 60 【POC/Chl.a=20】、144 【POC/Chl.a=50】～2,482 【POC 分析値】（g/籠/年）のポテンシャルを有している可能性が考えられた。

一方で、密度が高いほど殻長の成長が小さかったことから、密度が局所的な餌料制限や摂餌効率に影響を与えていることが考えられた。

養殖事業の実用化には経済性も重要となり、養殖期間内に殻長が 32 mm まで成長できるような初期サイズや密度に設定する、もしくは多くの個体数を収容して 32 mm に達したのから順次出荷するといった方法も考えられる。

表-4 アサリ TOC 増加量と海水 POC 供給量

初期サイズ	個体数	アサリTOC増加量 (mgC/個) (a)	アサリTOC増加量 (mgC/籠/日) (b)	アサリTOC増加量 (gC/m <sup>2</sup> /yr) (c)	海水POC供給量 (mgC/籠/日)		海水POC供給量 / アサリTOC増加量		
					内、Chl.a 換算値 (d)	POC 分析値 (e)	換算値 (d)/(b)	分析値 (e)/(b)	
20mm	50個	281.8	39.9	116.0	86 ～ 214	4,280	0.4	～ 1.0	20.2
	100個	254.4	72.1	209.4			0.2	～ 0.6	11.2
	200個	183.2	103.8	301.6			0.2	～ 0.4	7.8
15mm	50個	371.5	52.6	152.9			0.3	～ 0.8	15.3
	100個	260.8	73.9	214.7			0.2	～ 0.5	10.9
	200個	185.8	105.3	305.9			0.2	～ 0.4	7.6
10mm	50個	321.7	45.6	132.4			0.4	～ 0.9	17.7
	100個	229.9	65.1	189.3			0.2	～ 0.6	12.4
	200個	170.8	96.8	281.2			0.2	～ 0.4	8.3
6mm	50個	268.8	38.1	110.7			0.4	～ 1.1	21.1
	100個	190.0	53.8	156.4			0.3	～ 0.7	14.9
	200個	147.1	83.3	242.2			0.2	～ 0.5	9.7

※成長効率0.188の場合

<参考文献>

- 13) Eppley, R.W.: An incubation method for estimating the carbon content of phytoplankton in natural samples: *Limnology and Oceanography*, Vol.13, No.2, pp.574-582, 1968.
- 14) Komorita, T., Kajihara, R., Tsutsumi, H., Shibanuma, S., Yamada, T. and Montani, S.: Food sources for *Ruditapes philippinarum* in a coastal lagoon determined by mass balance and stable isotope approaches, *PLOS ONE*, Vol.9 (1), pp.1-11, 2014.

### 3. 3. 2 北海道内の他地域との比較（垂下試験、干潟）

北海道内他地域の垂下試験と干潟における 1 年間での殻長の成長結果を表-5 に示す。

垂下試験は、先に述べたとおり函館漁港内において、2013 年 6 月から 2014 年 7 月に実施されている。垂下条件は、容器はコンテナ（長さ 48cm、幅 33cm、高さ 12cm）、基質は 3 種類（アンストラサイト、陶器殻、陶器殻とケアシェル（混合比率 7:3））、稚貝サイズは 12.3mm、収容個体数は 100 個体（密度 15.84 個/cm<sup>2</sup>）、垂下水深は約 1m である。試験の

結果、約 1 年後になる 7 月の試験終了時の殻長は 43.0～44.8mm（各コンテナの平均値）、平均生残率は 85.3%であった。

江良漁港と函館漁港の垂下条件は異なるが、函館漁港の垂下条件と類似している江良漁港の試験ケース（初期サイズ 10mm と 15mm、収容個体数 100 個（密度 12.56 個/cm<sup>2</sup>）の 353 日後における平均殻長は、初期サイズ 10mm は 25.3mm、初期サイズ 15mm は 27.3mm であった（図-5）。江良漁港の試験は、函館漁港の試験と比べ成長が遅い結果となり、容器、基質、垂下水深といった垂下条件、海水温や餌料などの環境条件が、アサリの生育に影響を与えている可能性が考えられた。

一方、表-5 に示すとおり、干潟との比較において、約 1 年間の殻長の増加は北斗市で得られた結果と同程度であった。また、道東の火散布沼の単位面積当たりのアサリ TOC 増加量（130 gC/m<sup>2</sup>/yr<sup>14</sup>）とも同程度であったことから（表-4(c)）、江良漁港のように日本海沿岸で周辺が岩礁域であっても、垂下試験により干潟と同程度に成長することがわかった。

表-5 北海道内の垂下試験と干潟との比較（約 1 年間）

場所	江良漁港 (垂下試験1)	江良漁港 (垂下試験2)	函館漁港 <sup>1)</sup> (垂下試験)	北斗市 <sup>15)</sup> <干潟>
約1年間の平均殻長変化 (mm)	10.0→25.3	14.9→27.3	12.3→44.0	12.9→26.4

<参考文献>

- 15) 田村亮輔，中川宙飛，五嶋聖治：北海道函館湾におけるアサリの成長，北海道大学水産科学研究彙報，64(2)，pp.37-44，2014.



## 第4章 垂下条件の検討

第4章は、2017年6月15日から2018年9月25日までに実施した現地試験をもとに検討したものである。

### 4.1 材料と方法

#### 4.1.1 アサリ垂下養殖試験

垂下養殖試験ケースを表-6に示す。今回の試験内容は、垂下養殖の作業性等を勘案して、籠の固定の有無、基質の有無、基質材2種を組み合わせた7条件で試験を行った。籠の固定方法は「フック固定」、「単管固定」、「固定なし」の3ケースとし(図-3)、基質は「砂利(粒径5~10mm)」、「軽石(粒径6~12mm)」、「基質なし」の3ケースで丸籠に厚さ3cmとなるよう敷設した。

アサリは、殻長が7.9~8.6mm(各試験ケースの平均)の人工種苗で、丸籠に各100個体収容した。殻長は全個体数を計測するとともに(2018年6月13日は無作為に30個体抽出)、生残個体数から生残率を把握した。加えて、2018年9月25日には、ケース3、4を対象に基質内のアサリの定位方向を記録した。

表-6 垂下養殖試験ケース

ケース	容器	初期稚貝サイズ (平均mm)	収容個体数 (個)	垂下水深 (D.L.m)	容器の垂下 ・固定方法	基質	垂下時期	計測項目・時期
1	丸籠	8.3mm (6.5-10.2)	100	-2.0m	フック固定	砂利 (厚さ3cm)	2017.6.15 ~ 2018.9.25	【項目】 殻長 生残個体数 定位方向(※1)  【時期】 2017.6.15 2017.9.26 2017.12.12 2018.3.6 2018.6.13 2018.9.25
2		8.6mm (6.7-11.0)				無し		
3		8.0mm (5.5-10.7)			単管固定	砂利 (厚さ3cm)		
4		8.0mm (4.7-9.7)				軽石 (厚さ3cm)		
5		8.2mm (6.3-10.1)			無し			
6		7.9mm (5.6-9.9)			固定なし	砂利 (厚さ3cm)		
7		8.0mm (5.5-11.7)				無し		

※1 ケース3,4(2018.9.25)

#### 4.1.2 室内実験

これまで干潟においては、アサリの底質変動による移動や定位のための運動量の増加による衰弱や<sup>16)</sup>、潜砂制限がアサリの成長に影響を及ぼすこと<sup>17)</sup>などが指摘されているが、漁港構造物を活用した垂下養殖技術の確立のためには、波浪に伴い発生する流速とアサリや基質の移動との関係を把握する必要がある。

垂下した丸籠などの容器内に着目すると、波浪環境によっては基質がない場合はアサリの反転、基質がある場合は基質やアサリの移動が考えられる。このため室内実験は、波浪に伴い発生する流速とアサリの反転、基質やアサリの移動との関係を把握することを目的とした。

室内実験ケースを表-7に示す。試験方法は、振動流水槽（任意波形振動流発生装置）に容器として丸籠を想定した模型を設置し、振動流を与えて、以下（1）（2）に記載の流速についてレーザー流速計を用いて丸籠（模型）前面の位置で計測した。なお、実験に使用したアサリは、現場の蓄養施設で別途垂下していた稚貝を室内水槽で馴致していたアサリを用いた。

（1）容器（丸籠）に基質がない場合

- ・ 模型内の底面に 2 サイズのアサリを 12 個体ランダムに配置してアサリが反転した流速（実験は、各サイズごとに実施）

（2）容器（丸籠）に基質がある場合

- ・ 表層付近に定位している殻長の小さなアサリは基質の移動の影響を受けると考えられるため表層の基質が移動した流速
- ・ 殻長の大きなアサリは基質内でのアサリの移動が成長に影響すると考えられるため、アサリを丸籠の端部の基質内に水管を上向きに 5 個配置させてアサリが移動した流速

波浪条件として、周期は現地観測結果（1.5～10.3s）から 2,5,8s の 3 周期とした。観測結果において、周期が短い場合は水平流速が小さい傾向であるが、流速とアサリの反転、アサリや基質の移動との関係は他海域での垂下養殖にも応用できると考え、各周期において、アサリが反転、基質やアサリが移動するまで徐々に流速を大きく変化させた。

表-7 室内実験ケース

実験装置	稚貝	容器	基質	周期	計測項目
振動流水槽 (任意波形振動流発生装置)	アサリ小 ・12個体 ・殻長9.0～11.3mm	丸籠を想定した模型 (幅30cm、高10cm、 1分目)	なし	2,5,8s	アサリが反転する流速
	—		・砂利(厚さ3cm) ・軽石(厚さ3cm)		基質が移動する流速
	アサリ大 ・12個体 ・殻長23.3～29.8mm		なし		アサリが反転する流速
	アサリ ・5個体 ・殻長26.8～30.4mm		・砂利(厚さ3cm) ・軽石(厚さ3cm)		アサリが移動する流速

<参考文献>

- 16) 柴田輝和, 柿野純, 村上亜希子: 冬期の漁場における砂の流動に対するアサリの定位性ならびに餌料量・運動量とアサリの活力との関係、水産工学, Vol. 33, No. 3, pp. 231-235, 1997.
- 17) 田村亮輔, 戸田拓磨, 竹下文雄, 五嶋聖治: 潜砂制限がアサリの成長に及ぼす影響, 日本ベントス学会誌, Vol. 70, No. 2, pp. 83-90, 2016.

## 4. 2 試験結果

### 4. 2. 1 アサリの成長

殻長と生残率の推移を図-14 に、殻長の増加量を図-15 に示す。全てのケースとも、2017年6月～2017年9月（成長Ⅰ期）と2018年3月～2018年9月（成長Ⅱ期）の期間に殻長が大きく増大した。よって、この期間を対象に、各試験ケース間で殻長の増加量（成長後殻長－初期平均殻長）を算出して有意差検定を行い表-8に示す（ケース1-2, 6-7はt検定, ケース1-3-6, 2-5-7, 3-4-5はTukey-Kramer法による多重検定）。

籠の固定について「フック固定」と「固定なし」を比較すると、成長Ⅰ期、Ⅱ期、全期間ともに「フック固定」で殻長がより増大し、有意に成長が大きかった（比較ケース：1と6, 2と7）、「単管固定」と「固定なし」の比較結果も同様に「単管固定」で殻長がより増大し、有意に成長が大きかった（比較ケース：3と6, 5と7）。なお、「フック固定」と「単管固定」との比較では、「基質が砂利」の条件下で成長Ⅰ期は「単管固定」、成長Ⅱ期は「フック固定」で有意に成長が大きかった（比較ケース：1と3）、「基質なし」の条件下では有意な成長差はなかった（比較ケース：2と5）。

基質について「砂利」と「基質なし」を比較すると、成長Ⅰ期は「砂利」で殻長がより増大し、有意に成長が大きかった（比較ケース：1と2, 3と5, 6と7）。また、成長Ⅱ期は「固定なし」の条件下において「砂利」で殻長がより増大し、有意な成長差があったが（比較ケース：6と7）、「固定あり」の条件下では有意な成長差はなかった（比較ケース：1と2, 3と5）。「軽石」と「基質なし」の比較では、成長Ⅰ期、Ⅱ期ともに「軽石」で殻長がより増大し、有意に成長が大きかった（比較ケース：4と5）。

基質材の種類について「砂利」と「軽石」を比較すると、成長Ⅰ期は「砂利」で殻長がより増大し、有意に成長が大きかったが、成長Ⅱ期は逆に「軽石」で有意に成長が大きかった（比較ケース：3と4）。

基質内のアサリ定位方向の調査結果を表-9に示す。水管が概ね上向きに定位していた割合は、「砂利」が84.6%、「軽石」が95.1%であった。

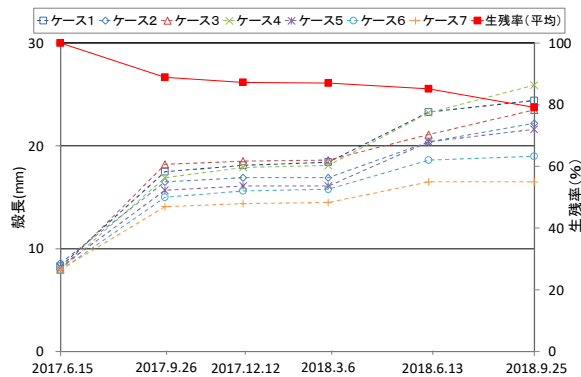


図-14 殻長と生残率の推移

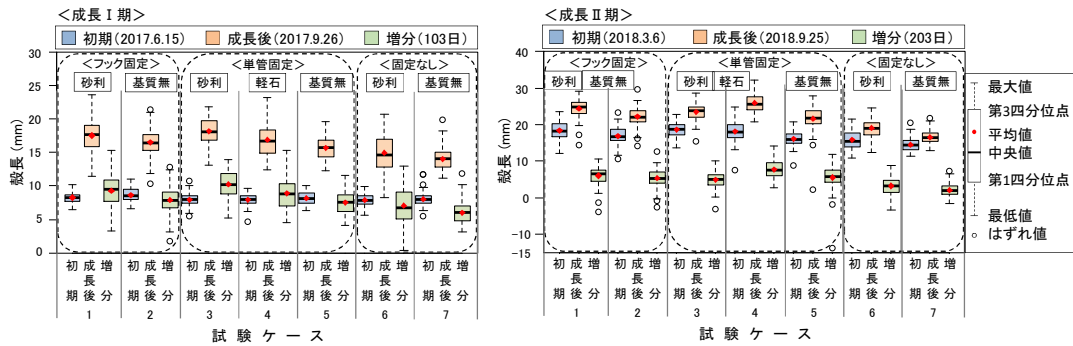


図-15 殻長の増加量

表-8 有意差検定結果

比較試験ケース【固定の有無・方法】				基質	検定結果			
					成長Ⅰ期	成長Ⅱ期	全期間	
フック	ケース1	固定なし	ケース6	砂利	1 > 6	1 > 6	1 > 6	
	ケース2		ケース7	基質なし	2 > 7	2 > 7	2 > 7	
単管	ケース3		ケース6	砂利	3 > 6	3 > 6	3 > 6	
	ケース5		ケース7	基質なし	5 > 7	5 > 7	5 > 7	
	ケース1		ケース3	砂利	1 < 3	1 > 3	—	
フック	ケース2		単管	ケース5	基質なし	×	×	—

比較試験ケース【基質の有無】				固定方法	検定結果	
					成長Ⅰ期	成長Ⅱ期
砂利	ケース1	基質なし	ケース2	フック	1 > 2	×
	ケース3		ケース5	単管	3 > 5	×
	ケース6		ケース7	固定なし	6 > 7	6 > 7
ケース4	ケース5		単管	4 > 5	4 > 5	

比較試験ケース【基質材の種類】				固定方法	検定結果	
					成長Ⅰ期	成長Ⅱ期
砂利	ケース3	軽石	ケース4	単管	3 > 4	3 < 4

「有意差あり」は大小関係を示す(P<0.05) ×:「有意差なし」(P>0.05)

表-9 基質内のアサリ定位方向 (2018年9月25日)

定位方向	ケース3 固定方法: 単管 基質材: 砂利	ケース4 固定方法: 単管 基質材: 軽石
水管が概ね上向き	66個体	77個体
上記以外(右殻又は左殻が上向きなど)	12個体	4個体
計	78個体	81個体

#### 4. 2. 2 物理環境

波高、周期の観測結果を図-16に示す。平均有義波高は0.16 m、平均周期は3.5 sであり、蓄養施設内は比較的静穏な状態が継続していた。また、水温とクロロフィル濃度の変化を図-17に示す。各月の平均水温は2018年8,9月に22.3℃と最も高く、2018年2月に5.6℃と最も低かった。各月の平均クロロフィル濃度は、0.3~1.0 μg/Lの範囲で、平均は0.76 μg/Lであった。

水平流速の観測結果を図-18に示す。水平流速と有義波高の関係を図-19に示す。平均水平流速は5.5 cm/sで、有義波高が高くなると周期は長く水平流速が大きくなる傾向があった。

有義波高との相関から算出した周期別の水平流速の出現頻度を図-20に示す。水平流速10 cm/s未満の発生頻度が高く成長Ⅰ期は93.8%、成長Ⅱ期は90.6%であった。

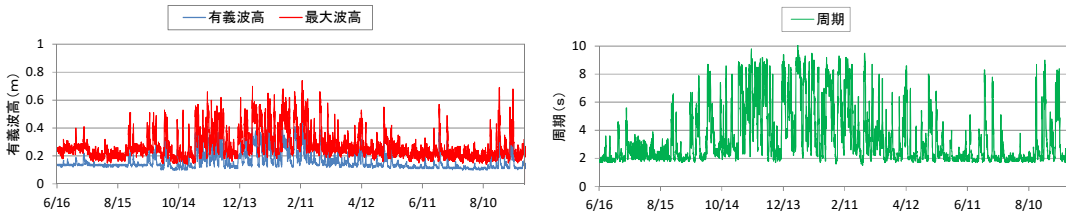


図-16 蓄養施設内の波高、周期

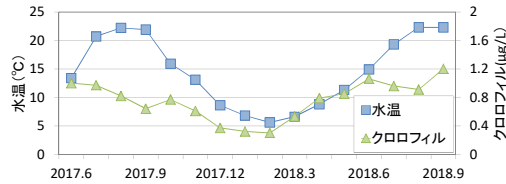


図-17 蓄養施設内の水温とクロロフィル濃度

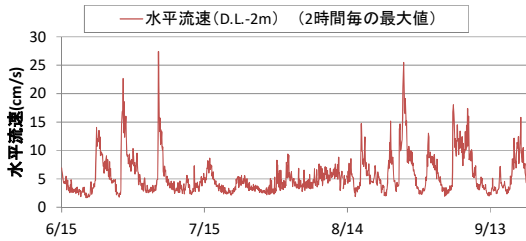


図-18 蓄養施設内の水平流速

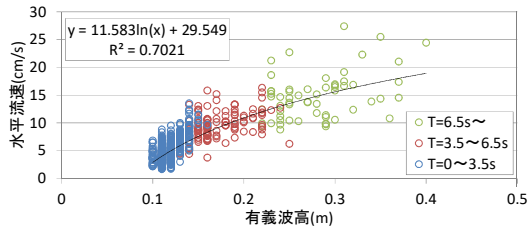


図-19 蓄養施設内の水平流速と有義波高との関係

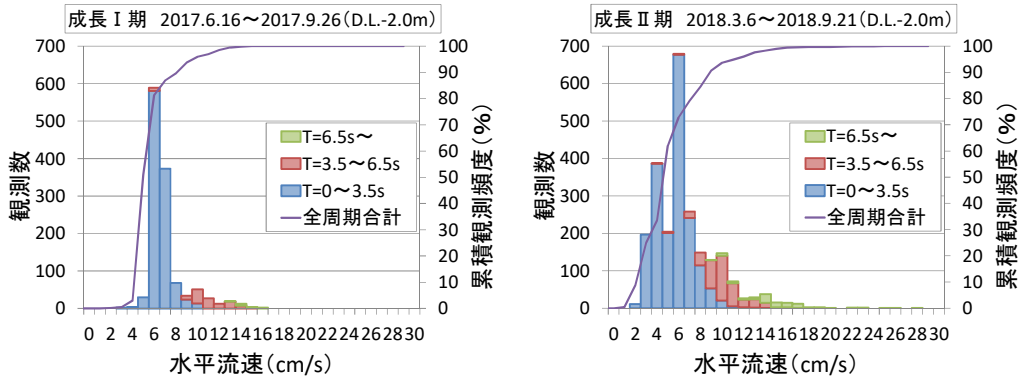


図-20 蓄養施設内の水平流速の出現頻度 (2時間毎の最大値)

#### 4. 2. 3 室内実験

室内実験の整理方法は、容器（丸籠）に基質がない場合は、危険側を考慮して3回の実験のうち1個体目が反転した最も小さい流速を採用した。容器（丸籠）に基質がある場合は、基質（表層）やアサリが移動した流速を整理した。

##### (1) アサリの反転と水平流速との関係（丸籠に基質がない場合）

アサリ 12 個体（小・大）が反転した流速の実験結果を図-21 に示す。アサリが反転しはじめた流速は、「アサリ小」は 2.1（周期 5 秒）～5.8 cm/s（周期 2 秒）、「アサリ大」は 10.0（周期 2 秒）～11.2 cm/s（周期 5.8 秒）であり、今回の実験では、流速と周期に明確な傾向はなく、周期間で大差ない結果であった。

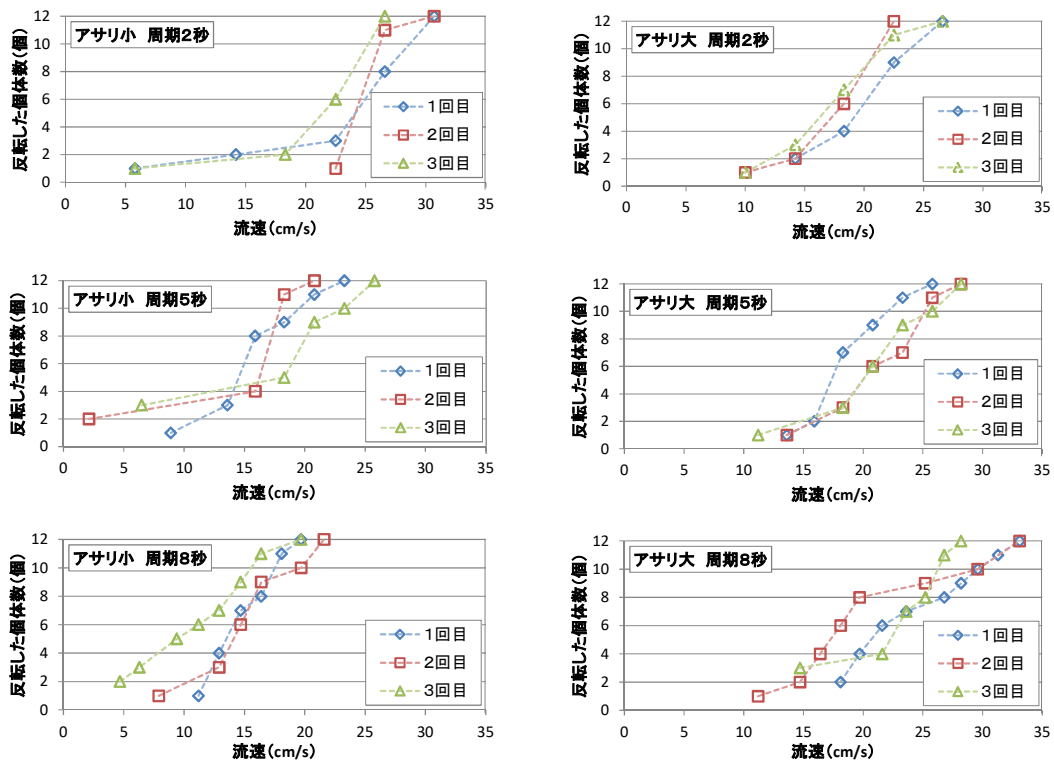


図-21 室内実験結果（アサリ反転：丸籠に基質がない場合）

##### (2) アサリ・基質移動と水平流速との関係（丸籠に基質がある場合）

基質（表層）が移動しはじめた流速は、「砂利」は 25.2（周期 8 秒）～30.7 cm/s（周期 2 秒）、「軽石」は 5.8（周期 2 秒）～13.6 cm/s（周期 5 秒）であり、今回の実験では周期間で大差なく、また、「軽石」の方が小さい流速で基質が移動しはじめた。

アサリ 5 個体が基質から移動した流速の実験結果を図-22 に示す。表層の基質が移動しはじめるとアサリの周辺に局所的な洗掘が生じ、アサリ自身が移動しはじめた流速は、「砂利」は 35.2（周期 2 秒）～45.8 cm/s（周期 8 秒）、「軽石」は 26.6（周期 2 秒）～33.4 cm/s

(周期 5 秒) であり、今回の実験では周期間で大差なく、また、「軽石」の方が小さい流速でアサリが移動しはじめた。

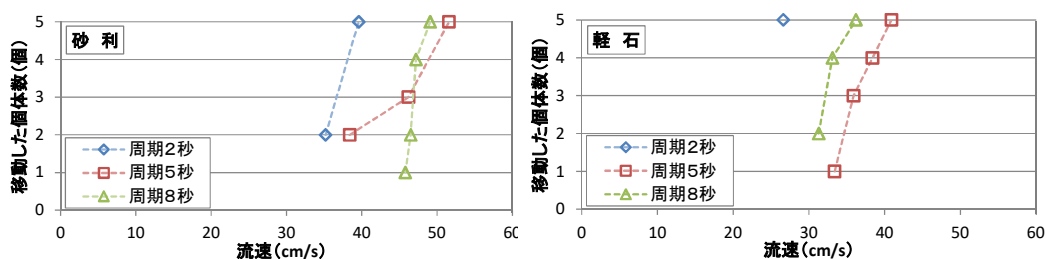


図-22 室内実験結果 (アサリ移動：丸籠に基質がある場合)

#### 4. 3 考察

##### 4. 3. 1 籠の固定の有無と成長との関係

垂下養殖試験結果において、籠の固定について「フック固定」、「単管固定」と「固定なし」の比較結果では、成長 I 期、II 期、全期間ともに固定方法によらず「固定あり」で有意に成長が大きかった。また、固定方法では、「基質が砂利」の条件で成長 I 期は「単管固定」、成長 II 期は「フック固定」で有意に成長が大きかった。本施設内のような波浪環境下での垂下養殖では、波浪に伴う籠の揺れが成長に影響を与えている可能性があり、要因の解明は今後の課題であるが、籠の固定は成長に有利と考えられた。

##### 4. 3. 2 基質 (砂利、軽石) の有無と成長との関係

室内実験結果と水平流速 (有義波高との相関から算出した周期別の水平流速の出現頻度図-20) を基に、アサリが反転または移動、基質が移動する水平流速の出現頻度・割合を成長 I 期 II 期別に整理し、表-10 に示す。

垂下養殖試験結果において、「基質あり」と「基質なし」の比較結果では、成長 I 期は「基質あり」で籠の固定の有無にかかわらず、有意に成長が大きかった。アサリは高密度給餌による悪影響が現れない範囲で、総成長効率は摂餌量の増加とともに上昇することが報告されている<sup>18)</sup>が、右殻または左殻を上向きに定位しているため濾水速度が遅い<sup>19)</sup>と考えられる「基質なし」のアサリは、摂餌量が減少して成長が遅くなりうる状態にあると考えられ、さらにアサリ小が反転しはじめる流速 2.1 cm/s (最小流速) の発生頻度は 100% であった。これに対し「基質あり」のアサリは、砂利が移動しはじめる流速 25.2~30.7 cm/s の発生がなく、軽石が移動しはじめる流速 5.8~13.6 cm/s の発生頻度は 0.7~97.0% であったため、アサリは「砂利」内では水平流速の影響が少なく、「軽石」内でも安定している場合があることが要因として考えられた。

成長 II 期においても、「砂利 (固定なし)」と「軽石 (単管固定)」では、成長 I 期同様に「基質あり」で有意に成長が大きかった。「砂利」は、籠の揺れにおいてもアサリを安定に保つことが考えられた。「軽石 (単管固定)」に有意な成長差があった要因は次の項で述べる。

なお、「砂利（フック固定，単管固定）」が「基質なし」と有意な成長差がなかった要因は、アサリが成長Ⅰ期に比べ成長（殻長が増大）しているため、「基質なし」でもアサリ大が反転しはじめる流速 10.0 cm/s（最小流速）の発生頻度が 9.4%と低かったことが考えられた。

これらのことから、本施設内のような波浪環境下での垂下養殖では、基質（砂利、軽石）の配置は、特に流速の影響を受けやすい殻長の小さい時期は、成長に有利と考えられた。

表-10 アサリ反転または移動、基質移動の流速の発生頻度・割合

【成長Ⅰ期：垂下試験平均殻長12.2mm 流速観測数(2時間毎)1,227回】					
(1) 基質なし:アサリ反転					
平均殻長	基質材	反転個体数	反転開始流速	出現頻度	出現割合
小 9.8mm	-	1/12個	2.1cm/s(T=5s)	1,227回	100%
		7/12個	12.9cm/s(T=8s)	18回	1.5%
(2) 基質あり:基質移動					
平均殻長	基質材	基質の移動	移動開始流速	出現頻度	出現割合
-	砂利 (厚さ3cm)	表層	25.2cm/s(T=8s)	0回	0%
			30.7cm/s(T=2s)	0回	0%
-	軽石 (厚さ3cm)	表層	5.8cm/s(T=2s)	1,190回	97.0%
			13.6cm/s(T=5s)	9回	0.7%
【成長Ⅱ期：垂下試験平均殻長19.4mm 流速観測数(2時間毎)2,384回】					
(1) 基質なし:アサリ反転					
平均殻長	基質材	反転個体数	反転開始流速	出現頻度	出現割合
大 26.4mm	-	1/12個	10.0cm/s(T=2s)	223回	9.4%
		7/12個	18.3cm/s(T=2.5s)	10回	0.4%
(2) 基質あり:アサリ移動					
平均殻長	基質材	移動個体数	移動開始流速	出現頻度	出現割合
29.0mm	砂利 (厚さ3cm)	1/5個	35.2cm/s(T=2s)	0回	0%
		3/5個	39.6cm/s(T=2s)	0回	0%
	軽石 (厚さ3cm)	1/5個	26.6cm/s(T=2s)	1回	0.1%
		3/5個	26.6cm/s(T=2s)	1回	0.1%

<参考文献>

- 18) 鳥羽光晴, 深山義文: 異なる量のパブロバ・ルテリを給餌したアサリ稚貝の総成長効率, 千葉県水産試験場研究報告, No. 51, pp. 29-36, 1993.
- 19) 岩城里奈, 田村亮輔, 五嶋聖治: アサリの定位方向が摂食効率に与える影響, 北海道大学水産科学研究彙報, 66(2), pp. 63-68, 2016.

#### 4. 3. 3 基質材（砂利、軽石）の種類と成長との関係

垂下養殖試験結果において、「砂利」と「軽石」の比較結果では、成長Ⅰ期は「砂利」、成長Ⅱ期は「軽石」で有意に成長が大きかった。

成長Ⅰ期では、「軽石」が移動しはじめる流速 5.8~13.6 cm/s の発生頻度は 0.7~97.0%であったのに対し、「砂利」の移動しはじめる流速 25.2~30.7 cm/s の発生がなかったため（表-10）、「砂利」の方が「軽石」よりもアサリが基質内で安定していることが多く、このことが「砂利」に有意差があったことの要因として考えられた。

また、成長Ⅱ期では、「砂利」と「軽石」のアサリが移動しはじめる流速の発生頻度が同等である中（砂利 0%、軽石 0.1%）（表-10）、現地観察の結果では「軽石」の方が水管を概ね上向きに定位している個体数の割合が高かったことから（軽石 95.1%、砂利 84.6%）



(表－9)、「軽石」に有意差が生じた可能性がある。

これらのことから、本施設内のような波浪環境下での垂下養殖では、アサリが流速に影響を受けやすい殻長の小さい時期の基質は「砂利」、流速の影響を受けづらい大きさに成長した時期では「軽石」が成長に有利になる可能性が考えられた。

## 第5章 おわりに

北海道南西部に位置する江良漁港（松前町）の港内蓄養施設において、人工種苗を用いたアサリ垂下養殖試験を行った。

まず、殻長の成長結果と餌料の供給量、および北海道内の他地域との比較結果から、垂下養殖事業の可能性を検討した。その結果、生残率は最低でも82.5%（初期サイズ6mm、200個体収容）と高く、北斗市および火散布沼の干潟と同程度の成長が得られたことから、当該施設における垂下養殖事業の実用化の可能性が示唆された。

次に、殻長の増加量、蓄養施設内の物理環境を把握するとともに、波浪環境下でのアサリや基質の移動に関する室内実験結果から、アサリが反転または移動、基質が移動しはじめる流速の発生頻度を整理し、成長に有利な垂下条件について検討した。その結果、本施設内のような波浪環境下での垂下養殖では、「籠の固定」、「基質の配置」は成長に有利と考えられ、基質材はアサリが流速に影響を受けやすい殻長の小さい時期は「砂利」、流速の影響を受けづらい大きさに成長した時期は「軽石」が成長に有利になる可能性が考えられた。

今後の課題としては、「籠の固定の有無」が成長に影響を与えていると考えられた要因の検討に加え、丸籠上面の網の目合いを広くし光合成の促進による餌料環境の向上に関する検討が必要と考えており、引き続き、北海道日本海沿岸の漁港構造物を活用したアサリ垂下養殖技術の開発を目指して研究を継続していきたい。

最後に、本試験の実施に際し、蓄養施設の使用およびアサリの計測等にご協力をいただいた松前町および国土交通省北海道開発局函館開発建設部函館港湾事務所の関係者に感謝申し上げます。

---

共同研究報告書  
COOPERATIVE RESEARCH REPORT of P.W.R.I.  
No. 5 4 5 May 2021

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

---

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所  
寒地土木研究所 寒地技術推進室

〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 電話 011-590-4046