

原著論文

コンテナ垂下養殖アサリの成長と餌料源

石樋由香^{*1}・松本才絵^{*1}・渡部諭史^{*1}・藤岡義三^{*1}・長谷川夏樹^{*1}・日向野純也^{*2}Growth and food sources of asari clam *Ruditapes philippinarum* in suspended cultureYuka ISHIHI, Toshie MATSUMOTO, Satoshi WATANABE, Yoshimi FUJIOKA,
Natsuki HASEGAWA and Junya HIGANO

Suspended culture of the asari clam has recently been developed due to a drastic decline in catch production. In this study, we compared the growth of the clam between suspended culture in a plastic container and bottom culture in a mesh bag in a tidal flat. We conducted an experimental suspended culture of the clam at rafts in Gokasho Bay and Ounoura Bay in Mie from September 2012 to September 2013. The clam was cultured in a plastic container with gravel at a depth of 2 m from a raft and in a mesh bag containing gravel placed in a tidal flat adjacent to the raft. The fastest growth was observed in the suspended culture in Gokasho Bay, where the clam grew from 16.3 mm in shell length to 33.1 mm in 26 weeks. The growth was faster in suspended culture than in bottom culture by 1.7 to 3.3 times in shell length. The stable isotopic signature indicated that the clam with faster growth mainly assimilated organic matter in the water column in comparison with that in the sediment.

キーワード：アサリ, 垂下養殖, 安定同位体, 餌料源
2015年10月20日受付 2017年1月26日受理

近年、アサリ天然資源の激減にともない、アサリの垂下養殖手法が提案されている（藤原ら 2008）。アサリの垂下養殖は、干潟のない場所でもアサリを生産することができ、成長や身入りがよくなることが経験的に知られている。これまで垂下養殖アサリと天然アサリの成分や食味の違いを調べた例（鈴木ら 2009）はあるが、垂下養殖アサリと干潟のアサリの成長の違いを同所的に比較した例は報告されていない。本研究では、コンテナで垂下養殖したアサリと干潟に設置した網袋内のアサリの成長を比較し、垂下養殖技術の基礎的知見を得ることを目的とした。また炭素・窒素安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ ）を用いて、アサリの餌料源を推定し、海水中と干潟でのアサリの餌料源と成長の関係について検討した。

材料と方法

三重県鳥羽市生浦湾と度会郡南伊勢町五ヶ所湾の試験いかだ（図1）において、アサリのコンテナ垂下養殖試験を行った。またそれぞれ試験いかだと隣接する干潟に、同じアサリ種苗を網袋に入れて設置し、垂下養殖との比較試験を行った。

生浦湾と五ヶ所湾の干潟（図1）に、長谷川ら（2012）に従ってポリエチレン製のラッセル網袋を設置し、アサリ種苗を採苗した。垂下養殖試験には、目合い9.6mmまたは20mmの網蓋で上部を覆ったプラスチック製コンテナ（内寸235×310×110mm）を使用した。コン

*1 国立研究開発法人水産研究・教育機構増養殖研究所
〒516-0193 三重県度会郡南伊勢町中津浜浦 422-1

National Research Institute of Aquaculture, Japan Fisheries Research and Education Agency, 422-1 Nakatsuhamura Minamiise, Mie, 516-0193, Japan

ishihi@affrc.go.jp

*2 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

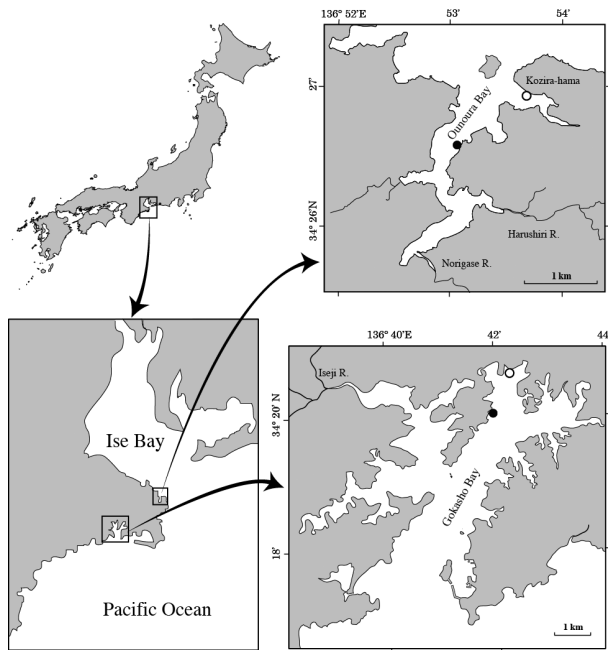


図 1. 調査地点図
○は採苗地、●養殖試験地を示す

テナには、基質として粒径 10mm 以下の砂利 5L を入れ、アサリ種苗を収容した。コンテナは試験いかだから水深 2m に垂下した。対照区として、目合 3mm のラッセル網袋 (300 × 450mm) に、砂利 5L とアサリ種苗を収容し、試験いかだに隣接する干潟上に設置し試験を行った。

生浦湾では、2012 年 10 月 18 日から 2013 年 5 月 24 日までの 31 週間、コンテナと網袋各 3 個を用いて養殖試験を行った。生浦湾から得られた殻長 $15.9 \pm 1.4\text{mm}$ (平均値 ± 標準偏差)、重量 $0.69 \pm 0.13\text{g}$ (平均値 ± 標準偏差) のアサリ種苗を、1 コンテナまたは 1 袋当たり 150 個体収容した。

五ヶ所湾では、第 1 期試験として 2012 年 9 月 14 日から 2013 年 5 月 10 日までの 34 週間、異なるサイズのアサリ種苗を用いて試験を行った。生浦湾から得られた $12.8 \pm 0.6\text{mm}$, $0.32 \pm 0.04\text{g}$ のアサリ種苗 100 個体ずつをコンテナと網袋各 1 個に、同じく生浦湾から得られた $15.6 \pm 1.0\text{mm}$, $0.61 \pm 0.08\text{g}$ のアサリ種苗 150 個体ずつをコンテナと網袋各 2 個に収容した。第 2 期試験として、産地の異なるアサリ種苗を用いて 2013 年 3 月 1 日から 9 月 12 日までの 28 週間、試験を行った。五ヶ所湾から得られた $17.6 \pm 0.7\text{mm}$, $1.21 \pm 0.18\text{g}$ のアサリ種苗 100 個体ずつをコンテナと網袋各 1 個に収容した。また 2013 年 3 月 13 日から 9 月 12 日までの 26 週間、生浦湾から得られた $16.3 \pm 1.0\text{mm}$, $0.81 \pm 0.15\text{g}$ のアサリ種苗 100 個体ずつをコンテナと網袋各 1 個に収容した。

いずれの試験でも、試験期間中 2 週間または 4 週間ごとにコンテナと網袋から各 5 個体のアサリを採取し、殻長と重量を測定した。試験終了時に、殻長と重量の分散

を F 検定により検定した後、分散が等しい場合は t 検定により、分散が等しくない場合は Welch 法により平均値の差を検定した。

生浦湾では 2012 年 11 月 16 日から 2013 年 5 月 7 日まで、五ヶ所湾では 2012 年 10 月 2 日から 2013 年 6 月 11 日まで、メモリー式クロロフィル濁度計 (JFE アドバンテック社 COMPACT-CLW) をいかだから水深 2m に垂下し、水温と蛍光強度を 10 分間に 1 回 1 秒間隔で 10 データを記録する方式で測定した。クロロフィル濁度計を月に 1 回の頻度で引上げ、実験室に持ち帰った後、培養した微細藻類 *Pavlova lutheri* を懸濁させた海水に暗黒化で浸漬し、1~2 時間上記の方式で蛍光強度を測定・記録した。測定中に藻類懸濁水を 50ml 採水し、ガラス繊維ろ紙 (GF/F 25mm) でろ過してジメチルホルムアミド 5ml 中に浸漬させた後、蛍光光度計 10-AU (Turner Designs 社製) を用いてクロロフィル *a* 濃度を定量した。このクロロフィル *a* 濃度を採水と同時に記録された蛍光強度で除して比を求め、クロロフィル濁度計に記録された蛍光強度をクロロフィル *a* 濃度に換算した。

アサリの餌料源を推定するために、生浦湾と五ヶ所湾第 1 期試験において、コンテナと網袋からアサリと堆積物 (SOM)、海水中の懸濁態有機物 (POM) を採取し、安定同位体比測定試料とした。アサリは、凍結乾燥後、乳鉢で粉末にし、安定同位体比分析に供した。SOM は、コンテナと網袋から採取した基質の砂利を 1mm 目合いの篩でこしたものを、ガラス繊維フィルター (Whatman GF/F) で捕集した。POM は試験いかだから表層水 1L を採取し、ガラス繊維フィルター (Whatman GF/F) で捕集した。SOM と POM を捕集したフィルターは 2 等分し、一方は炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) の測定に、もう一方は 1.2N の塩酸に浸して脱炭酸処理をおこなった後、窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) の測定に供した。 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の測定には、元素分析計 (サーモクエスト社 EA1110) とオンラインで接続した質量分析計 (フィニガン社 MAT-252) を用いた。

$\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ は、(1) 式により、標準試料に対する同位体比の千分率偏差 (‰) で示した。

$$\delta X = (R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}} - 1) \times 1000 (\text{‰}) \quad (1)$$

ここで、X は ^{13}C あるいは ^{15}N , R は $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ あるいは $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ である。標準試料として、炭素には Pee Dee Belemnite (PDB)、窒素には大気中の窒素を用いた。

結 果

生浦湾と五ヶ所湾の水温 (図 2) とクロロフィル *a* 濃度 (図 3) の日平均値を示す。観測期間中の最低水温は、生浦湾で 6.7°C 、五ヶ所湾で 8.8°C であった。クロロフィル *a* は、この期間中の平均が生浦湾で $2.8\mu\text{g/L}$ 、五ヶ所

湾で $3.2\mu\text{g/L}$ で、五ヶ所湾の方が高かった。

コンテナと網袋で養殖したアサリの殻長と重量の変化を図4に示す。生浦湾では31週間で、網袋のアサリが $23.8 \pm 1.7\text{mm}$, $2.69 \pm 0.36\text{g}$ に、コンテナのアサリが $29.4 \pm 1.6\text{mm}$, $4.85 \pm 0.99\text{g}$ と殻長の平均値に有意な差が見られた ($p < 0.01$)。コンテナで垂下養殖したアサリの成長量(終了時の殻長・重量と開始時の殻長・重量との差)を網袋で養殖したアサリの成長量で除した値(以降、成長比)は、殻長で1.7倍、重量で2.1倍であった。五ヶ所湾では、第1期試験の34週間で、殻長 15.6mm の種苗が網袋で $25.4 \pm 1.0\text{mm}$, $3.36 \pm 0.58\text{g}$ に対し、コンテナでは $33.7 \pm 1.9\text{mm}$, $7.98 \pm 1.57\text{g}$ と、殻長・重量ともに平均値に有意な差が認められた ($p < 0.01$)。網袋に対するコンテナの成長比は、殻長で1.9倍、重量で2.7倍であった。殻長 12.8mm の種苗は急激に成長し、16週間後に 15.6mm の種苗に追い付き、その後は 15.6mm 種苗と同様の傾向を示した。五ヶ所湾の第2期試験では、生浦湾産の種苗が26週間後に、殻長では網袋の $21.4 \pm 4.0\text{mm}$ に対しコンテナは $33.1 \pm 2.7\text{mm}$ ($p < 0.05$)、重量では同様に $2.29 \pm 1.24\text{g}$ に対し $7.09 \pm 1.65\text{g}$ ($p < 0.01$) となり、平均値に有意な差が見られた。網袋に対するコンテナの成長比は、殻長で3.3倍、重量で4.3倍に達した。五ヶ所湾産の種苗もほぼ同様に成長し、生浦湾産種苗との間に有意差は見られなかった。

試験期間中のアサリの $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の変化を図5に示す。試験で用いたアサリ種苗の $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ は、それぞれ -16.3‰ , 9.5‰ であった。試験開始から16週間後の12月下旬における $\delta^{13}\text{C}$ は、生浦湾の網袋のアサリで -17.9‰ であったのに対し、生浦湾のコンテナと五ヶ所湾のコンテナと網袋のアサリで $-19.5\sim -19.0\text{‰}$ の値をとり、その後概ね一定であった。 $\delta^{15}\text{N}$ では、生浦湾の網袋のアサリが試験開始時から9%前後でほぼ一定であったが、生浦湾のコンテナのアサリは8週目以降 8.6‰ 前後で推移した。五ヶ所湾のアサリも8週目には 8.6‰ に低下したが、その後20週目となる2月以降はさらに値が低下し、 7.0‰ 程度になった。

試験期間中に得られたPOM, SOMの $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の平均値、ならびに試験開始時および試験終了時のアサリの $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ を図6に示す。試験終了時の生浦湾の網袋のアサリは、 $\delta^{13}\text{C}$ が $-17.5 \pm 0.3\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N}$ が $9.4 \pm 0.5\text{‰}$ と、アサリ種苗の値からあまり変化しなかった。生浦湾におけるコンテナのアサリの $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ は、 $-18.5 \pm 0.3\text{‰}$, $8.7 \pm 0.3\text{‰}$, 五ヶ所湾における網袋のアサリは $-18.7 \pm 0.3\text{‰}$, $6.9 \pm 0.2\text{‰}$, コンテナのアサリは、 $-19.1 \pm 0.2\text{‰}$, $7.2 \pm 0.4\text{‰}$ と試験終了時にはアサリ初期値よりも低い値を示した。

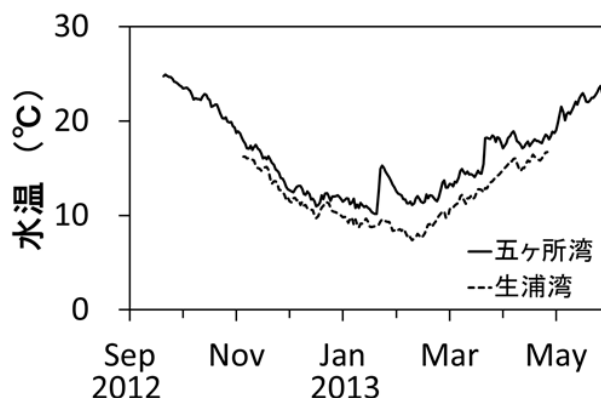


図2. 生浦湾と五ヶ所湾の水溫の変化

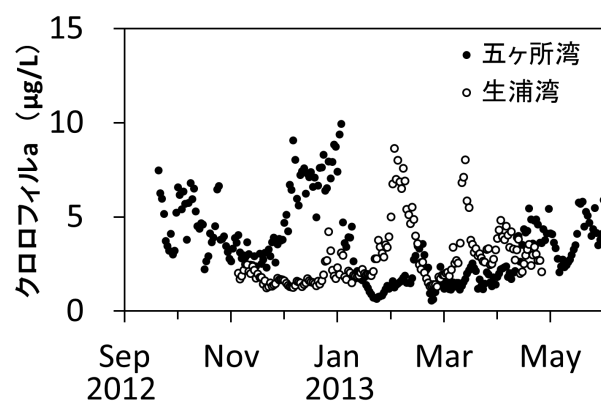


図3. 生浦湾と五ヶ所湾の水溫とクロロフィルa濃度の変化

考 察

2012年11月16日~2013年5月7日の平均水溫は、生浦湾の 11.7°C に対し五ヶ所湾は 14.1°C で、五ヶ所湾の方が温暖であることを示している(図2)。五ヶ所湾では、2月初旬に急激な水溫上昇が観測された。熊野灘南部の沿岸では黒潮系の暖水が湾内に侵入することが知られており(竹内1989), 阿保ら(1996)は五ヶ所湾でも湾外水がしばしば侵入することを報告している。この時の急激な温度上昇も湾外から黒潮系の暖水の侵入があったと考えられる。クロロフィルa濃度は、貝類の餌となる植物プランクトンの指標であり、生浦湾よりも五ヶ所湾のクロロフィルa濃度の値が高かったことから、五ヶ所湾の方が餌環境は良かったと考えられる。

全試験を通して、コンテナで垂下したアサリは、干潟に敷設した網袋のアサリよりも有意に成長が優れていた。26~31週間の試験期間中に、コンテナのアサリは網袋のアサリよりも、殻長で1.7~3.3倍、重量で1.9~4.3倍の成長比を示した。五ヶ所湾の第1期試験で用いた2種類のサイズのアサリ種苗は、試験開始時には殻長で1.2倍、

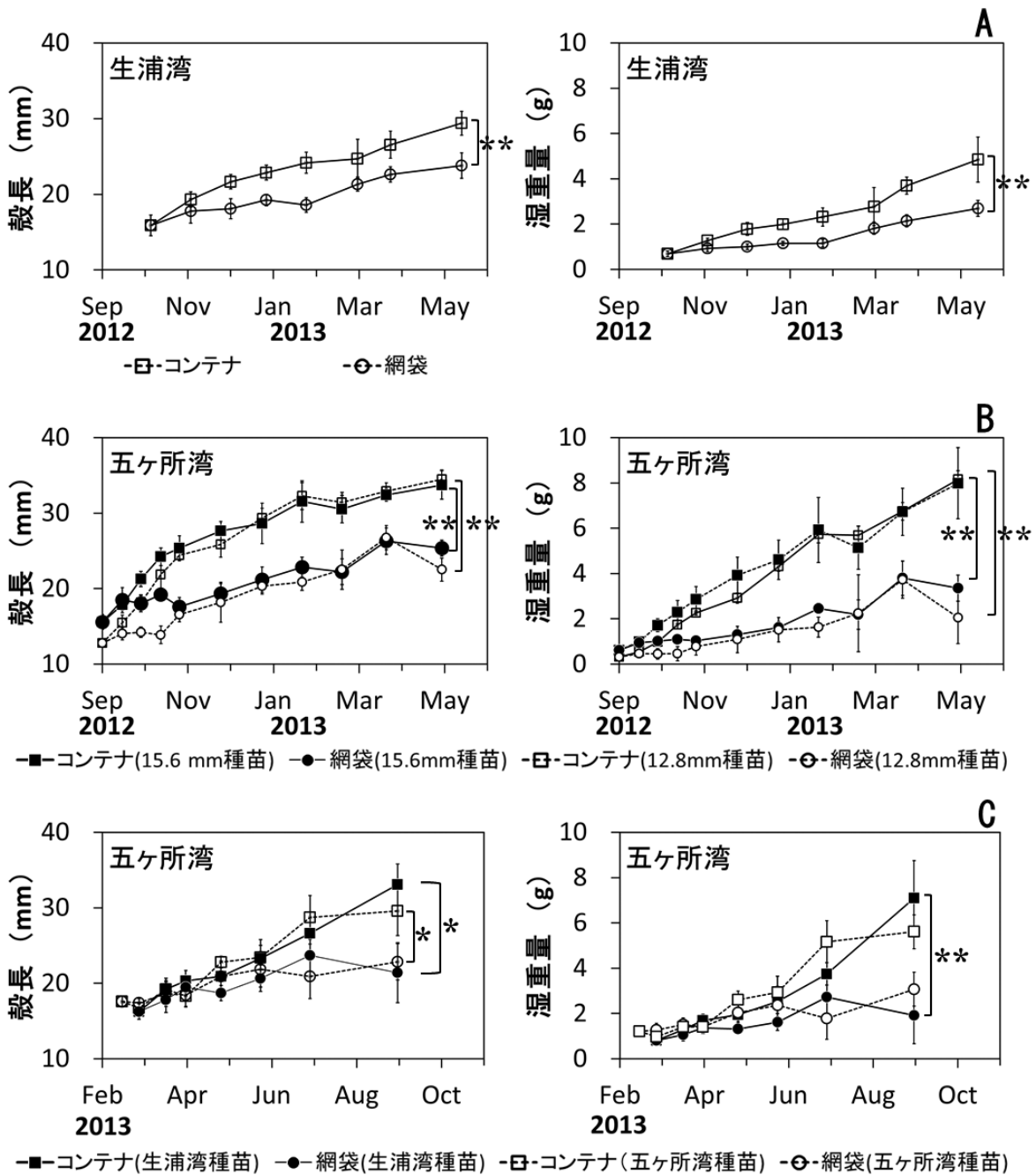


図4. 垂下コンテナと網袋で養殖したアサリの殻長と湿重量
 A：生浦湾での飼育試験，B：五ヶ所湾での第1期試験（種苗サイズによる比較），C：五ヶ所湾での第2期試験（種苗産地による比較）（*： $p < 0.05$ ，**： $p < 0.01$ ）

重量で1.9倍の差があったが、試験開始後8週間で、殻長、重量ともほぼ同じ大きさになった。すなわち、養殖開始時における殻長が12mm～16mm程度であれば、重量が2倍程度のサイズの差は殻長が30mm程度に達する頃にはほぼ無くなり、収穫時の大きさにほとんど影響しないと考えられる。五ヶ所湾の第2期試験では、産地の異なるアサリ種苗を用いたが、これも成長に有意な差は認められなかった。

五ヶ所湾における POM の $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ の試験期間中を通した平均値は、 $-21.9 \pm 1.4\text{‰}$ 、 $6.4 \pm 0.9\text{‰}$ であった。これまで報告されている五ヶ所湾の POM の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ は、それぞれ $-20.4 \pm 0.9\text{‰}$ 、 $6.3 \pm 1.0\text{‰}$ (Yokoyama and Ishihi 2007)、 $-20.5 \pm 0.4\text{‰}$ 、 $5.9 \pm 1.4\text{‰}$ (Yokoyama and Ishihi 2003) であり、 $\delta^{13}\text{C}$ はこれらの値よりもやや低かった。また五ヶ所湾の底生微細藻類の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ は、 $-14.7 \pm 2.5\text{‰}$ 、 $4.9 \pm 1.0\text{‰}$ (Yokoyama

垂下養殖アサリの成長

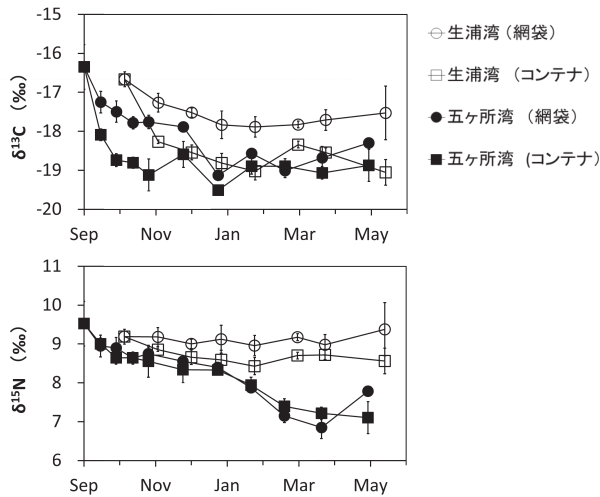


図5. コンテナと網袋のアサリの炭素・窒素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) の変化

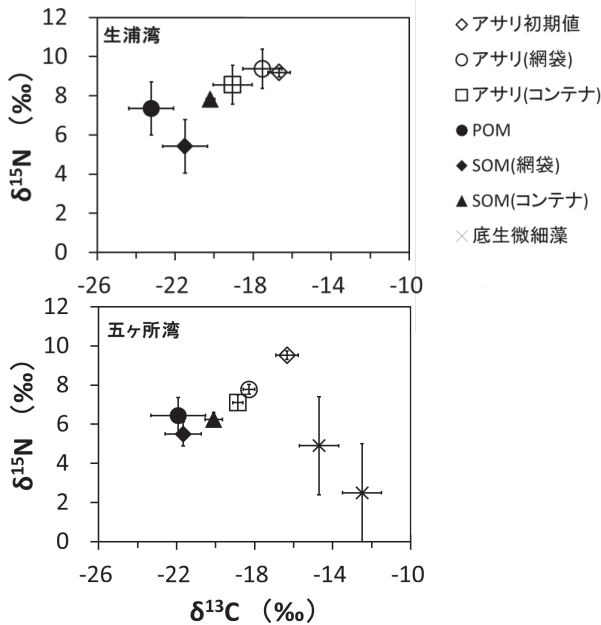


図6. 生浦湾と五ヶ所湾でコンテナと網袋で養殖したアサリとPOM, SOMのCNマップ
底生微細藻の値は, Yokoyama and Ishihi (2003, 2007) による

and Ishihi 2003), $-12.5 \pm 2.5\%$, $5.1 \pm 1.0\%$ (Yokoyama and Ishihi 2007) と報告されている。Yokoyama ら (2005) は飼育実験により, アサリの濃縮係数を $\delta^{13}\text{C}$ が 0.6% , $\delta^{15}\text{N}$ が 3.4% と算出している。この濃縮係数とアサリ種苗の $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ からその餌料源を推定すると, 底生微細藻類とPOM中の植物プランクトンの両方が餌料源となっていたと考えられる (図6)。POMやSOMには植物プランクトンや底生微細藻類以外の餌料として直接

貢献しない有機物画分の値も含まれており, 詳細な推定には限界があるが, 試験終了時には五ヶ所湾のコンテナと網袋のアサリは底生微細藻類よりもPOMの $\delta^{13}\text{C}$ に近づいたことから, 海水中のPOMに含まれる植物プランクトンをより多く摂食して成長したと考えられた。またPOMの $\delta^{15}\text{N}$ は冬季に低くなる傾向があり (Yokoyama and Ishihi 2003), 五ヶ所湾のアサリの $\delta^{15}\text{N}$ の低下 (図5) は, 餌の $\delta^{15}\text{N}$ の季節変化が反映されていることが示唆された。また生浦湾では, 網袋で育ったアサリの $\delta^{13}\text{C}$ はアサリ種苗の値からほとんど変化しなかったことから, 餌料源も変わらなかったことが示唆された。これに対して成長の良かったコンテナのアサリは, POMの $\delta^{13}\text{C}$ に近づき, 海水中の植物プランクトンを摂食して成長したと考えられた。これらのことからコンテナ垂下養殖では, アサリが海水中に含まれる豊富な植物プランクトンを餌料源として利用できるため, 高成長となることが示唆された。

謝 辞

本研究を実施するにあたり, 多大なご協力を賜った鳥羽磯辺漁業協同組合浦村支所浦村アサリ研究会の浅尾大輔氏, 株式会社ケアシェルの山口恵氏, 今井芳多賀氏に, 厚く御礼申し上げます。調査や計測にあたっては, 増養殖研究所の山本茂也氏, 世古圭子氏, 廣千尋氏, 栗原真野氏にご協力頂き, 深く感謝申し上げます。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)によって実施した。

文 献

阿保勝之, 杜多 哲, 西村昭史 (1996) 五ヶ所湾への湾外水の侵入と沿岸湧昇. 沿岸海洋研究, **33**, 211-220.
 竹内淳一 (1989) 熊野灘南部の暖水舌について. 水産海洋研究, **53**, 242-254.
 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. 京都府立海洋センター研究報告, **30**, 49-52.
 鈴木杏子・山本義和・高岡素子 (2009) 兵庫県における垂下養殖アサリと天然アサリの比較について. ヒューマンサイエンス, **12**, 7-17.
 Yokoyama H, Ishihi Y (2003) Feeding of the bivalve *Theora lubrica* on benthic microalgae: isotopic evidence. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **255**, 303-309.
 Yokoyama H, Tamaki A, Harada K, Shimoda K, Koyama K, Ishihi Y (2005) Variability of diet-tissue isotopic fractionation in estuarine macrobenthos. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **296**, 115-128.
 Yokoyama H, Ishihi Y (2007) Variation in food sources of the macrobenthos along a land-sea transect: a stable isotope study. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **346**, 127-141.