

宮城県万石浦に造成された人工干潟における  
アサリ *Ruditapes philippinarum* の窒素・炭素安定同位体比

阿部 博和・谷合 祐一・押野 明夫・浜口 昌巳  
梶原 直人・神山 孝史

Hirokazu ABE, Yuichi TANAI, Akio OSHINO, Masami HAMAGUCHI, Naoto KAJIHARA and Takashi KAMIYAMA :  
Carbon and nitrogen stable isotope ratio of the manila clam *Ruditapes philippinarum* in artificial tidal flats  
in Mangoku-ura Inlet, Miyagi Prefecture, Japan

南 紀 生 物  
第 63 卷 第 1 号 別刷

Reprinted from  
NANKI SEIBUTSU: The Nanki Biological Society  
Vol. 63, No. 1  
June 2021

# 宮城県万石浦に造成された人工干潟における アサリ *Ruditapes philippinarum* の窒素・炭素安定同位体比

阿部 博和<sup>1)\*</sup>・谷合 祐一<sup>2)</sup>・押野 明夫<sup>3)</sup>・浜口 昌巳<sup>4)</sup>  
梶原 直人<sup>4)</sup>・神山 孝史<sup>5)</sup>

Hirokazu ABE, Yuichi TANAI, Akio OSHINO, Masami HAMAGUCHI, Naoto KAJIHARA and Takashi KAMIYAMA:  
Carbon and nitrogen stable isotope ratio of the manila clam *Ruditapes philippinarum* in artificial tidal flats  
in Mangoku-ura Inlet, Miyagi Prefecture, Japan

## はじめに

牡鹿半島の付け根に位置し、宮城県の石巻市と女川町にまたがる海跡湖の万石浦は、松島湾や松川浦と並び東北地方のアサリ *Ruditapes philippinarum* (ADAMS & REEVE, 1850) の一大産地となっている。東北地方太平洋沖地震が発生した2011年3月11日以前には、人工的に造成された干潟(約0.7 km<sup>2</sup>)を含む約1 km<sup>2</sup>の干潟が広がり、アサリの漁場として利用されていた。しかし、東北地方太平洋沖地震に伴う約80 cmの地盤沈下により、万石浦の干潟のほとんどが消失してしまった(大越, 2012; OKOSHI, 2015)。

万石浦では、地盤沈下への対策として2013年から人工干潟の造成が始まり、2016年までに3箇所で合計約0.08 km<sup>2</sup>の人工干潟が完成した(宮城県水産技術総合センター養殖生産チーム, 2019)。梨木畑の2013年度造成区(0.02 km<sup>2</sup>, 図1D)では、2016年に宮城県漁業協同組合石巻湾支所によるアサリの試験採取が行われ、2017年には6年3か月ぶりにアサリ漁が再開された(大越, 2018)。

万石浦に造成された人工干潟におけるアサリの加入から成長までの個体群動態(2014年7月~2016年1月)については、ABE *et al.* (2019) で報告されているが、その調査と並行して、アサリの窒素・炭素安定同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ )の解析が行われた。自然界の生物・非生物を構成する物質はその起源や生成の過程、物質循環内での位置づけによって異なる安定同位体比を示し(小川

ほか, 1997)、多くの場合、同じ地域でも陸上植物、植物プランクトン、底生微細藻類といった一次生産者で $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ の値が異なる。 $\delta^{13}\text{C}$ の値は被食者と消費者で同程度、 $\delta^{15}\text{N}$ の値は被食者に比べて消費者で一定数(一般的に3~4%程度)高くなることから、 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の値は動物の栄養段階や被食-捕食関係の推定に利用されている(富永・高井, 2008)。本稿では、万石浦人工干潟におけるアサリの窒素・炭素安定同位体比分析の結果を報告するとともに、アサリの食物源についての考察を行う。

## 材料と方法

万石浦の2箇所の2013年度造成区人工干潟(梨木畑・沢田)において、2014年11月と2015年1月(それぞれ40試料: 沢田20試料, 梨木畑20試料)、5月、7月、9月、2016年1月(それぞれ14試料: 沢田7試料, 梨木畑7試料)にアサリを採集し(図1)、窒素・炭素安定同位体分析の試料とした。また、2015年10月に万石浦人工干潟付近の潮下帯のアマモ場(沢田3試料, 梨木畑3試料)と裸地(沢田3試料)で、2015年5月(2試料)、7月(3試料)、11月(1試料)に東松島の波津々浦で、2015年8月と10月にそれぞれ松島湾の久ノ島(潮下帯: 3試料)と名籠人工干潟(5試料)でアサリを採集し、比較のための試料とした。

採取したアサリは蒸留水で洗浄後に殻長の測定を行い(2015年1月20日の殻長データは紛失)、殻長分布が偏らないように分析用試料の選別を行った。選別した

<sup>1)\*</sup> 〒028-3694 岩手県紫波郡矢巾町医大通1-1-1 岩手医科大学教養教育センター 生物学科  
habe@iwate-med.ac.jp, abehiro13@gmail.com

<sup>2)</sup> 〒980-8570 宮城県仙台市青葉区本町3-8-1 宮城県水産林政部 水産業振興課

<sup>3)</sup> 〒988-0241 宮城県気仙沼市波路上岩井崎107 宮城県水産技術総合センター 気仙沼水産試験場

<sup>4)</sup> 〒739-0452 広島県廿日市市丸石2-17-5 国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所廿日市拠点

<sup>5)</sup> 〒851-2213 長崎県長崎市多良町1551-8 国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所長崎本所

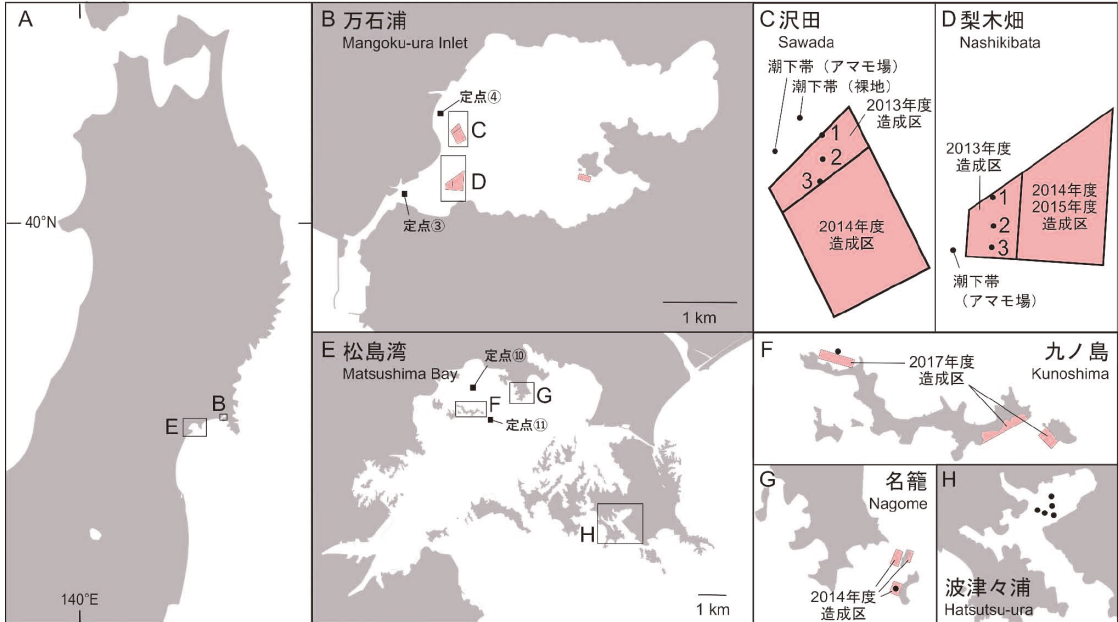


図1 万石浦、松島湾、波津々浦の調査地点図。人工干潟はピンク色で、調査地点は黒点で示す。

アサリは、大型個体ではピンセットで、殻長数 mm 程度の小型個体では 1N 塩酸に 2 時間程度浸漬することで殻を除去した。殻長 10 mm 以上の個体は 1 個体（全軟部組織）で 1 つの試料とし、2014 年 11 月に採集された殻長 10 mm 未満の個体についてはサイズの類似する 2～8 個体（全軟部組織）をまとめて 1 つの試料とした（沢田 6 試料、梨木畑 6 試料、殻長は平均値を算出した）。試料ごとに 1.5 ml のマイクロチューブまたは 15 ml の遠沈チューブに入れて凍結後、 $-60^{\circ}\text{C}$ 、4 Pa の条件で 24～48 時間の凍結乾燥を行った。凍結乾燥試料は、メタノール・クロロホルム（1:2 v/v）で 24 時間以上の脱脂を行った。その後、 $60^{\circ}\text{C}$  で 12 時間以上乾燥させた試料を解剖ハサミと乳鉢を用いて粉碎し、質量分析計にて窒素・炭素安定同位体の分析を行った。

餌料源の推定のため、2015 年 5 月、7 月、9 月、2016 年 1 月の万石浦と 2015 年 11 月の波津々浦の調査時には、調査地点付近（干潮時水深 60 cm 程度）で表層海水を採水し、事前に  $450^{\circ}\text{C}$  で 4 時間焼いた直径 47 mm の Whatman GF/F フィルターで 200 ml をろ過して凍結乾燥後に質量分析計にて窒素・炭素安定同位体の分析を行った（それぞれ  $n=1$ ）。万石浦の人工干潟では、2014 年の 9 月、11 月と 2015 年の 1 月の調査時に直径 3.7 cm のコアサンプラーで表層 1 cm までの堆積物を採取して底生微細藻類の細胞数の計数を行うとともに、2014 年の 7 月、9 月、11 月、2015 年の 1 月、5 月、2016 年の 1 月には底質の粒度分析を行った。万石浦と松島湾の塩分と栄養塩

のデータは、宮城県公式 Web サイトで公開されている宮城県水産技術総合センターによる水質調査の結果（宮城県水産技術総合センター、2021a, 2021b）から取得し、万石浦は定点③と④（図 1B）、松島湾は定点⑩と⑪（図 1E）の表層のデータから平均値と標準偏差を算出した。

## 結 果

アサリの窒素・炭素安定同位体比は同一の調査日・調査地点内では比較的類似したものの、異なる調査日・調査地点間では相違する傾向が見られた（図 2）。また、アサリの殻長と窒素・炭素安定同位体比には明瞭な関係は認められなかった（図 2）。

万石浦人工干潟のアサリの窒素・炭素安定同位体比の経時変化では、沢田と梨木畑で同様の推移が見られた。調査開始（2014 年 11 月）から 2015 年 11 月まで  $\delta^{13}\text{C}$  の値が徐々に増加する傾向が見られたが、2016 年 1 月には低下に転じた（図 3）。いずれの月でも、沢田よりも梨木畑で  $\delta^{13}\text{C}$  の値が高く、その傾向は特に冬季（1 月、11 月）に増加した。 $\delta^{15}\text{N}$  の値は 2015 年 7 月までは横ばいであったが、その後増加に転じた。海水中の懸濁態有機物（POM）の同位体比の経時変化は変動が大きく、明瞭な傾向は認められなかった（図 3）。

2015 年 10 月に万石浦の潮下帯から採集したアサリの同位体比は、沢田（裸地）と梨木畑（アマモ場）で大きな違いは見られず、沢田（アマモ場）では  $\delta^{13}\text{C}$  の値が若干高い結果となった（図 3）。波津々浦のアサリでは

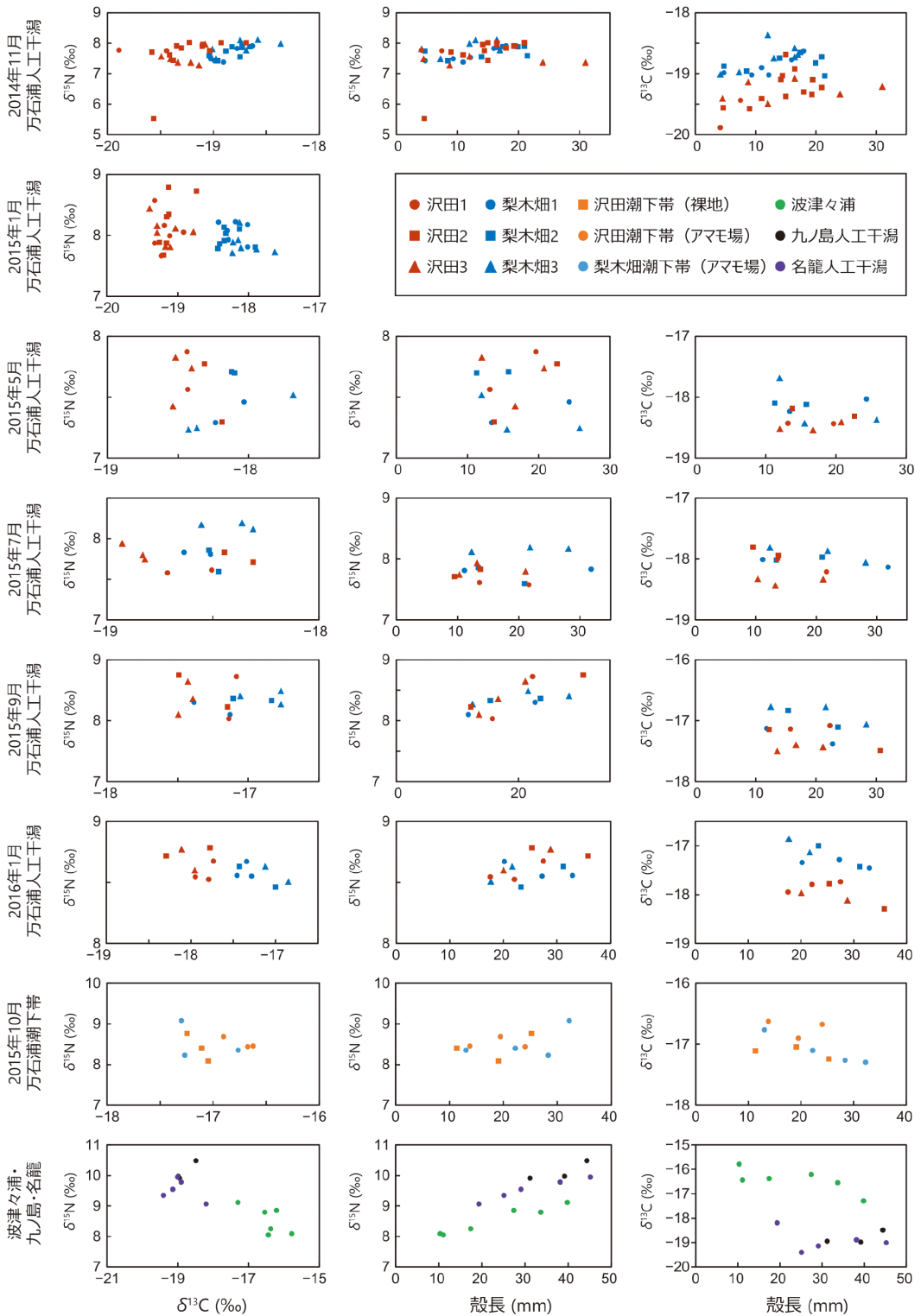


図2 各調査日・調査地点におけるアサリの窒素・炭素安定同位体比（左列）と殻長と窒素（中列）・炭素（右列）安定同位体比との関係

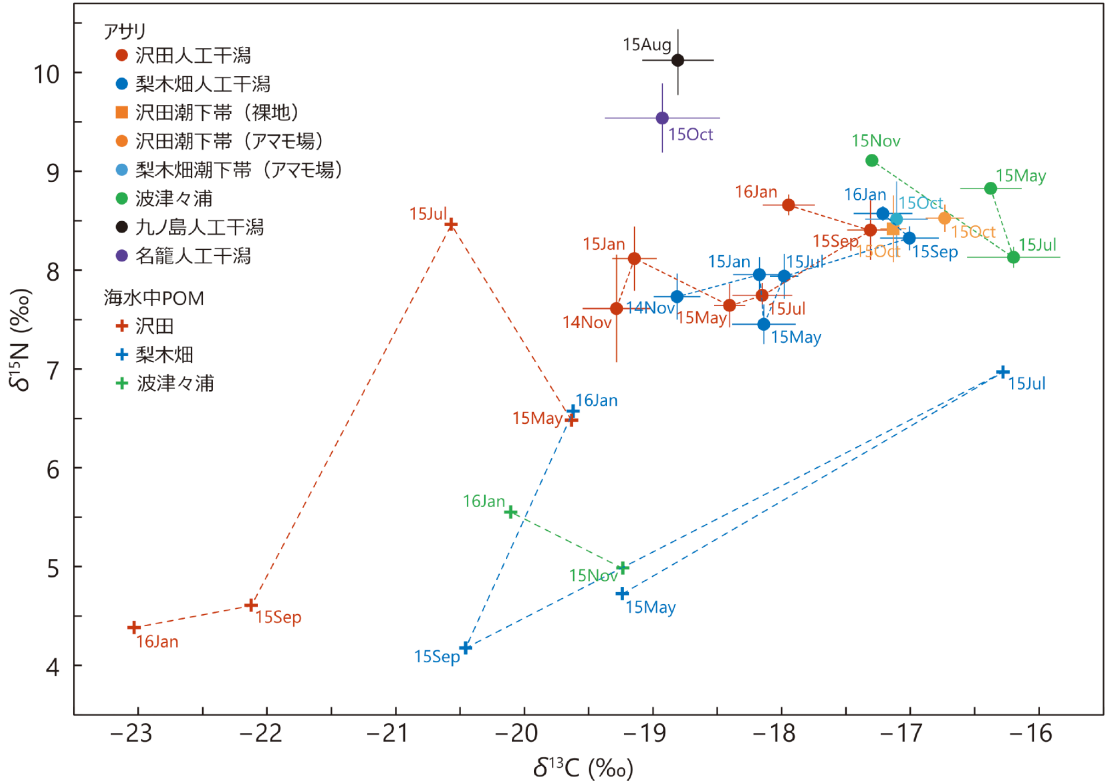


図3 アサリと海水中懸濁態有機物 (POM) の窒素・炭素安定同位体比の推移。各プロットには分析試料の平均値を使用し、標準偏差をエラーバーで示す。調査年の下2桁と調査月を各プロットに添えている。

δ<sup>13</sup>Cで、松島湾（九ノ島・名籠）のアサリではδ<sup>15</sup>Nで万石浦のアサリよりも高い値が測定された（図3）。

万石浦人工干潟の底生微細藻類の分析では、両干潟間で生育密度と分類群組成に大きな違いが見られた（図4）。沢田人工干潟では、2014年9月から2015年の1月まで底生微細藻類密度は概して低く、ナビキュラ科と

ニッチア科の羽状目珪藻が優占していた。一方、梨木畑人工干潟では、底生微細藻類密度が高く、ナビキュラ科とニッチア科のほか、2014年9月と11月の地点2,3では藍藻類の高密度な生育が見られた。

万石浦人工干潟の底質の粒度組成は沢田と梨木畑で概ね同様であったが、中砂の割合は沢田で高く、粒度組

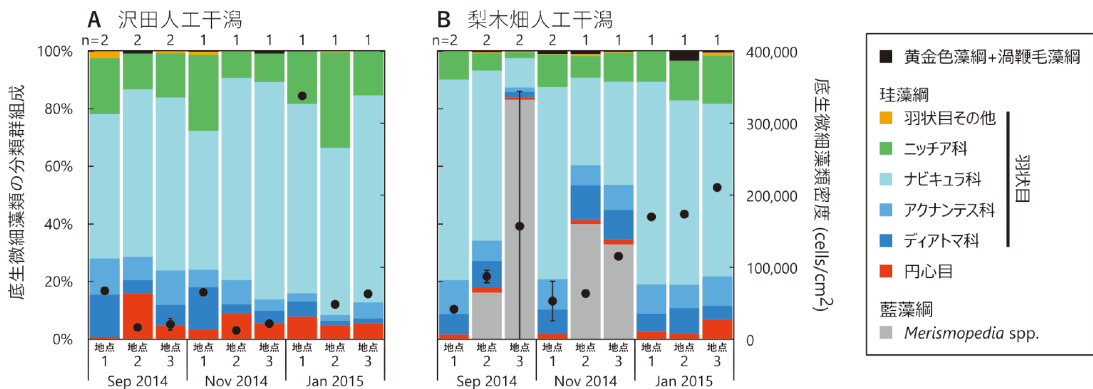


図4 万石浦人工干潟（沢田・梨木畑）における底生微細藻類の分類群組成（左軸）と生育密度（黒点：右軸）

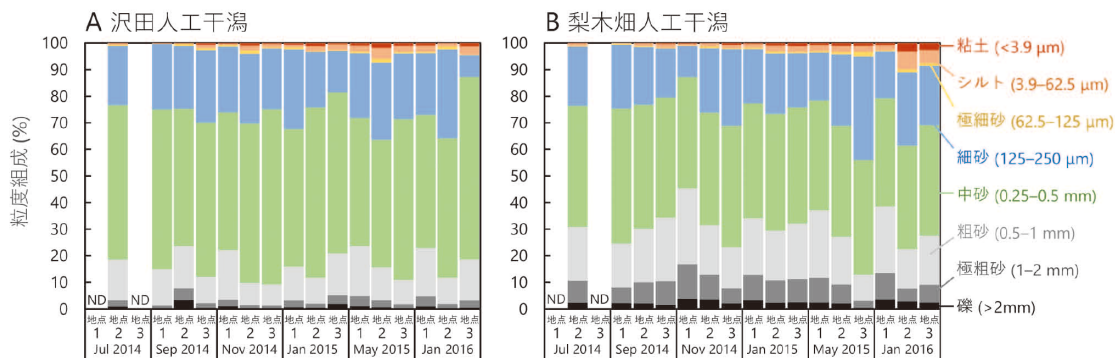


図5 万石浦人工干潟（沢田・梨木畑）における底質の粒度組成。ND=No data

成に若干の違いが見られた（図5）。調査期間における塩分のデータでは、多くの観測日で松島湾よりも万石浦で高い値を示していた（図6A）。松島湾の栄養塩類濃度の動態では、万石浦と松島湾とで大きな違いは見られなかった（図6B, C）。

### 考 察

アサリの殻長と窒素・炭素安定同位体比には明瞭な関係は認められなかったことから（図2）、サイズによって餌料源が異なる可能性は低いと考えられ、調査日・調査地点間による差異は生息環境の違いが反映されたものと推察された。

一般的に $\delta^{13}\text{C}$ の値は植物プランクトンよりも底生微細藻類で高く、中緯度海域における分布としては、植物プランクトンで $-24 \sim -18\text{‰}$ 、底生微細藻類で $-20 \sim -10\text{‰}$ の範囲に収まることが多いとされている（FRY & SHERR, 1984）。飼育実験からアサリの全軟部組織における同位体分別の濃縮係数は、含脂質サンプルの場合は $\delta^{13}\text{C}$ で $0.6\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ で $3.4\text{‰}$ （YOKOYAMA *et al.*, 2006）、脂質除去サンプルの場合は $\delta^{13}\text{C}$ で $1.4\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ で $3.8\text{‰}$ と推定されており（YOKOYAMA & ISHII, 2005）、本研究で測定された万石浦のアサリ（脂質除去サンプル）の $\delta^{13}\text{C}$ 安定同位体比の範囲が $-19.3 \sim -16.7\text{‰}$ であったことから考えると、当然のことながら餌料源として植物プランクトンと底生微細藻類の両方を利用していただと推察される。

万石浦人工干潟のアサリの窒素・炭素安定同位体比において、沢田よりも梨木畑で $\delta^{13}\text{C}$ 値が高い傾向が認められたことは（図3）、梨木畑ではアサリの餌料源として底生微細藻類の寄与がより大きかったことを窺わせる。実際に、沢田よりも梨木畑で底生微細藻類の密度が高かったことは興味深い（図4）。しかし、本研究では底生微細藻類の窒素・炭素安定同位体比を測定していなかったため、詳細については不明な点が多い。沢田と梨

木畑では底生微細藻類の生育密度と分類群組成が異なることや（図5）、万石浦の北側では降雨時の淡水流入が多いことなどの理由から、底生微細藻類の $\delta^{13}\text{C}$ 値が沢田と梨木畑の人工干潟で異なっていた可能性も考えられる。さらに、沢田と梨木畑の人工干潟では底質の粒度組成には若干の違いが見られたことから（図6）、客土された山砂の由来が異なり底生微細藻類の安定同位体比に影響を与えた可能性も否定はできない。万石浦の両人工干潟付近にはアマモ場が発達しているため、潮流の影響を受けやすい湾口におけるアマモ葉上の付着微細藻類の懸濁による寄与（辻・門谷, 2018）も無視できないだろう。一方で、沢田と梨木畑の両干潟間でアサリの成長には違いは見られていないことから（ABE *et al.*, 2019）、餌料の供給状況については大きな差はなかったものと考えられる。

万石浦人工干潟のアサリでは、調査開始（2014年11月）から2015年11月まで $\delta^{13}\text{C}$ の値の漸増傾向が見られた（図3）。このような経時変化は、懸濁物食者であるアサリの餌料源となる海水中的懸濁有機物（POM）の同位体比の経時変化とは動態を異にするように思われた。しかし、海水中POMの同位体比の値は堆積物の巻き上げの影響を受けている可能性もあり、今回の分析では反復測定数が少なく変動も大きかったため（それぞれ $n=1$ ）、アサリの同位体比との関係性の有無については判断できなかった。POMや溶存態無機炭素（DIC）・窒素（DIN）の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ の値は、一般的に、海域よりも陸域・河川で低いことが知られている（WADA & HATTORI, 1990; CHANTON & LEWIS, 1999）。万石浦のアサリにおける $\delta^{13}\text{C}$ の漸増は陸域・河川からの影響の漸減を想像させるが、いくつかの沢が流入するのみである万石浦では、調査期間においても塩分の変動は小さく（図6A）、淡水流入がアサリの $\delta^{13}\text{C}$ 値に影響を与えた可能性は低いだろう。

比較のための試料として万石浦の潮下帯から採集されたアサリの同位体比（2015年10月）は、その前月（2015

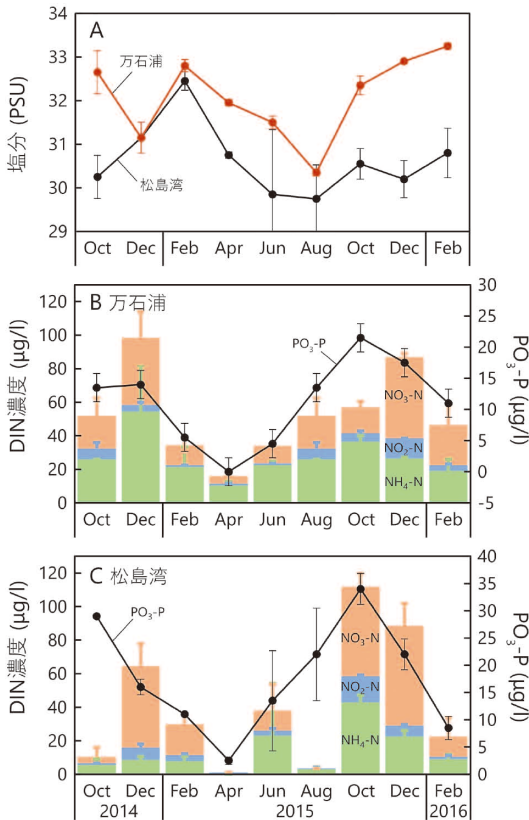


図6 万石浦と松島湾における塩分 (A) と溶存態無機リン ( $\text{PO}_3\text{-P}$ ) と溶存態無機窒素 (DIN:  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) 濃度 (B, C) の変動。エラーバーは標準偏差を示す。

年9月)の人工干潟のアサリの同位体比とも類似したため、潮間帯と潮下帯でアサリの餌料源は大きく異なるものと推察された。ただし、潮下帯のアサリは1回のみの分析であったため、潮間帯のアサリと経時的な同位体比の変化の動態が一致するかどうかは今後の研究で検証する価値があるかもしれない。

松島湾には高城川や潜ヶ浦水道を介した成瀬川からの淡水流入があり (KAKEHI *et al.*, 2016, 2017), 本研究期間においても万石浦よりも低い塩分を示していた (図6A)。塩分の条件のみからは万石浦よりも松島湾でアサリの  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  値が低くなることが予想されたが、松島湾 (九ノ島・名籠) では  $\delta^{15}\text{N}$  で万石浦よりも高い値が測定された (図3)。藻類の炭酸固定・硝酸同化時における炭素・窒素同位体の分別係数は増殖速度と負の相関を示し、富栄養化などで大増殖が起きている際には藻類の  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  の値が顕著に増加することが知られている (高井, 2005)。しかし、万石浦と松島湾では栄養塩濃度に大きな違いは見られず (図6B, C), 両海域にお

けるアサリの  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  の値の違いとの関連性は見出せなかった。調査地による同位体比の違いがどのような環境条件の違いに起因しているのか、各海域のアサリの生息環境を考える上で興味深い。

## 謝 辞

東北区水産研究所の高橋律子氏にはサンプル処理にご助力協力いただいた。宮城県水産技術総合センターの伊藤 博氏, 熊谷 明氏, 西澤裕子氏にはフィールド調査にご協力いただいた。宮城県漁業協同組合石巻湾支所の方々には、冬期夜間のフィールド調査における人工干潟への船舶での往復に多大なるご協力をいただいた。国立環境研究所の金谷 弦氏, 岩手医科大学の松政正俊氏には、論文をまとめるにあたり有益な助言をいただいた。この場を借りて厚く御礼申し上げる。本研究は、水産庁漁場復旧対策支援事業 漁場生産力向上対策事業の一環として行われた。

## 引用文献

- ABE, H., M. HAMAGUCHI, N. KAJIHARA, Y. TANAI, A. OSHINO, A. MORIYAMA & T. KAMIYAMA. 2019: Population dynamics of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* and implications of the 2011 tsunami impact in two shallow, semi-enclosed bays in northeastern Japan. *in* T. KOMATSU, H. J. CECCALDI, J. YOSHIDA, P. PROUZET & Y. HENOCQUE (eds.) *Oceanography Challenges to Future Earth*, 365–386. Springer, Cham, Switzerland.
- CHANTON, J. P. & F. G. LEWIS. 1999: Plankton and dissolved inorganic carbon isotopic composition in a river-dominated estuary: Apalachicola Bay, Florida. *Estuaries*, **22**, 575–583.
- FRY, B. & E. B. SHERR. 1984:  $\delta^{13}\text{C}$  measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Contributions in marine science*, **27**, 13–47.
- KAKEHI, S., T. KAMIYAMA, H. ABE, S. HANAWA, H. OOTA, R. MATSUURA & A. OSHINO. 2016: Mechanisms leading to the decline in Pacific oyster *Crassostrea gigas* seedlings in Matsushima Bay, Japan. *Fisheries Science*, **82**, 499–508.
- KAKEHI, S., T. TAKAGI, K. OKABE & K. TAKAYANAGI. 2017: Circulation in a bay influenced by flooding of a river discharging outside the bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **187**, 204–215.
- 宮城県水産技術総合センター. 2021a: 万石浦水質調査結果 (<https://www.pref.miyagi.jp/site/kankyo/suisitu-mn.html>). (2021年2月17日参照)
- 宮城県水産技術総合センター. 2021b: 松島湾水質調査

- 結果 (<https://www.pref.miyagi.jp/site/kankyo/suisitu-mt.html>). (2021年2月17日参照)
- 宮城県水産技術総合センター養殖生産チーム. 2019: 震災後のアサリ資源造成の取り組み. 新・みやぎ・シー・メール, (27), 1.
- 小川奈々子・木庭啓介・高津文人・和田英太郎. 1997: 自然生態系における炭素・窒素安定同位体存在比. *RADIOISOTOPES*, **46**, 632-644.
- 大越健嗣. 2012: 東北地方太平洋沖地震が沿岸に生息する生物に与えた影響. *日本ベントス学会誌*, **66**, 117-119.
- OKOSHI, K. 2015: Impact of repeating massive earthquakes on intertidal mollusk community in Japan. *in* H. J. CECCALDI, Y. HÉNOCQUE, Y. KOIKE, T. KOMATSU, G. STORA & M. H. TUSSEAU-VUILLEMIN (eds.) *Marine Productivity: Disturbance and Resilience of Coastal Socio-ecosystems*, 55-62. Springer, Cham, Switzerland.
- 大越健嗣. 2018: 東京オリンピックまでにアサリ漁業復活を目指す!—震災後宮城県万石浦に造成された人工干潟でのアサリ初出荷までの道のりと今後. *豊かな海*, **46**, 21-27.
- 高井則之. 2005: 瀬戸内海の生態系解析における有機物質フローの指標としての炭素・窒素安定同位体比. *日本生態学会誌*, **55**, 269-285.
- 富永 修・高井則之. 2008: 安定同位体スコープで覗く海洋生物の生態—アサリからクジラまで. 165 pp. 恒星社厚生閣, 東京.
- 辻 泰世・門谷 茂. 2018: アマモ場海域に見られる多様な微細藻類群集の時空間分布と生物生産構造における意義. *沿岸海洋研究*, **55**, 91-95.
- WADA, E. & A. HATTORI. 1990: *Nitrogen in the Sea: Forms, Abundance, and Rate Processes*. 213 pp. CRC press, Boca Raton, FL.
- YOKOYAMA, H. & Y. ISHIHI. 2006: Variation in  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  among different tissues of three estuarine bivalves: implications for dietary reconstructions. *Plankton & Benthos Research*, **1**, 178-182.
- YOKOYAMA, H., A. TAMAKI, K. HARADA, K. SHIMODA, K. KOYAMA & Y. ISHIHI. 2005: Variability of diet-tissue isotopic fractionation in estuarine macrobenthos. *Marine Ecology Progress Series*, **296**, 115-128.