

岡山県児島湾における底質中の有機物と 底生有孔虫群集の季節変動

辻本 彰¹・野村律夫¹・福田賢一²

Seasonal variation of sediment organic substances and benthic foraminifera in Kojima Bay, Seto Inland Sea, Southwest Japan

Akira Tsujimoto¹, Ritsuo Nomura¹ and Kenichi Fukuda²

Abstract: We investigated seasonal variation of sediment organic substances and living benthic foraminifera in Kojima Bay, Seto Inland, Southwest Japan, in order to assess the effect of a density current generator. Eight stations surrounding the density current generator were sampled from August 2011 through August 2012. Total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN) concentrations increased during winter and spring, corresponding to phytoplankton bloom period. Moreover, C/N decreased during this phytoplankton bloom period. These facts suggest that the supply of fresh organic matter to the seafloor was enhanced by phytoplankton bloom during winter and spring. After the operation of the density current generator, sediment C/N near the generator remains low compared to before the operation. This may indicate that phytoplankton surrounding the density current generator increased after the operation by the increased nutrients. Benthic foraminiferal biomass rapidly increased after December 2011. This increase corresponds to phytoplankton bloom period and the supply of fresh organic matter to the seafloor. However, further investigations are necessary to examine the relationship between benthic foraminifera and the effect of a density current generator.

Key words: benthic foraminifera, sediment quality, environmental monitoring, Kojima Bay, density current generator

¹ 島根大学 教育学部 地学研究室 Lab of Geology, Fac. of Education, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan.

² ナカシマプロペラ (株) Nakashima Propeller Co. Ltd., Okayama 709-0625, Japan.

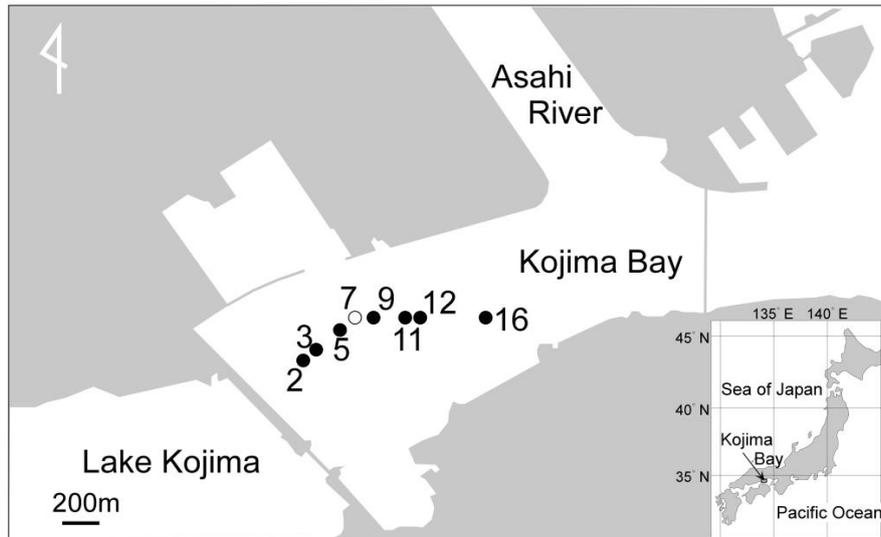


図1 試料採取地点図。白丸の地点 (st. 7) が密度流拡散装置近傍。

Fig. 1 Location map showing sampling stations. Open circle is close to the density current generator.

はじめに

児島湾は瀬戸内海備讃瀬戸に位置する面積約 10 km²、平均水深約 5 m の閉鎖的な内湾である (図 1)。児島湾周辺では江戸時代から大規模な干拓が行われており、明治時代以降には約 5500ha が農地として造成された。この農地の干害や塩害を防ぐため、児島湾奥部を堤防によって締切る「児島湾淡水化事業」が 1951 年に開始された。児島湾奥部は 1959 年に堤防によって完全に締切られ、人工湖である児島湖が誕生した。

児島湾には、流域に都市域や工場域をもつ一級河川の吉井川・旭川に加え、児島湖からの淡水の流入がある。高度経済成長期以降、栄養塩類を多量に含むこれらの淡水の流入によって児島湾の水質は著しく悪化したが、最近では湾の貧栄養化によるノリの色落ちなどの問題が生じている (高木ほか, 2009, 2012)。

このような児島湾を取り巻く近年の問題を改善する目的で、2011 年 12 月に児島湾奥部に密度流拡散装置が設置された。密度流拡散装置は、表層の低密度海水と底層の栄養塩に富む高密度海水を混合し、混合海水を中間層に貫入させることによって広範囲に栄養塩に富む海水を拡散させる装置である (大内ほか, 1998; 大塚ほか, 2007)。

三重県五ヶ所湾の迫間浦において 1997 年の 6 月以降稼働している密度流拡散装置の長期的な運用が底質や海藻の生育環境の改善効果を示したとの報告

例があり (大塚ほか, 2007)、底質の長期的なモニタリング調査によって密度流拡散装置による環境への効果を評価・検証することができる。このような背景のもと、筆者らは児島湾において 2011 年 6 月より底生有孔虫の継続モニタリング調査を行っている。多くの底生有孔虫は硬質の炭酸カルシウムの殻を持つメイオベントスである。底生有孔虫は小型のため世代時間が短く、環境の変化に鋭敏に反応する。また、生息密度が高いため統計学的手法を用いた群集解析のために十分な個体数を容易に得ることが可能である (Schönfeld et al., 2012)。沿岸生態系を保全・管理するためには、メイオベントスなどの下位の栄養段階にある動物群の動態を理解することが重要である。底生有孔虫は水温や塩分変動などの自然環境要因のほか、汚染や富栄養化、貧酸素化などの種々の人為的環境ストレスに規制されて棲み分けを行っていることが知られている (Alve, 1995; Yanko et al., 1999; Murray and Alve, 2002)。三重県五ヶ所湾の迫間浦において 1997 年の 6 月以降稼働している密度流拡散装置が、プランクトン起源有機物の海底への負荷および富栄養環境を好む有孔虫種 (*Eggerella advena*) の増加をもたらした可能性が示唆されており (野村ほか, 2011a)、密度流拡散装置による環境への効果を評価・検証するための指標生物として、底生有孔虫の有用性が期待される。

本論では、2011 年 6 月より継続的に行っている底質モニタリング調査のうち、2011 年 8 月から 2012 年 8 月における底質および底生有孔虫の変化

岡山県児島湾における底質中の有機物と底生有孔虫群集の季節変動

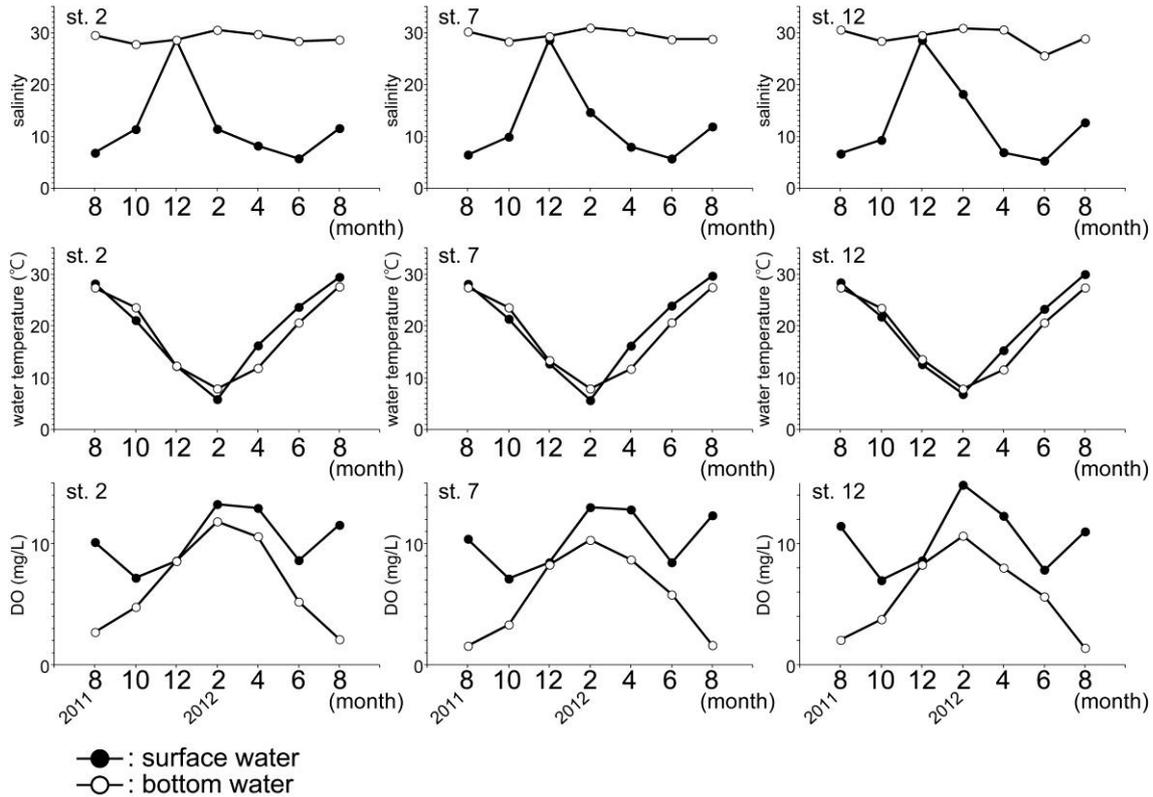


図2 st. 2, 7, 12における塩分, 水温, 溶存酸素濃度の季節変化。

Fig. 2 Seasonal variability in salinity, water temperature, and dissolved oxygen (DO) at station 2, 7, and 12.

について示し, その変化要因について検討する。

調査値の水質

2011年8月から2012年8月にかけてのst. 2, st. 7, st. 12における表層水・底層水の塩分, 水温, 溶存酸素濃度(DO)を図2に示す。いずれの地点においても水温は2月に最低値, 8月に最高値を示し, 表層水・底層水ともほぼ同じ値を示した。表層水の塩分は2011年12月に30%程度の高い値を示すものの, その他の月においては概ね10%前後で変動した。それに対し, 底層水の塩分は年間を通じて30%程度で安定していた。底層水の溶存酸素濃度は夏季に低下し, 冬季にかけて上昇した。夏季には溶存酸素の成層構造が顕著であったが, 冬季から春季にかけては成層構造が崩壊した。

研究方法

採泥調査は, 児島湾奥部に設置された密度流拡散装置近傍(st. 7)から西側500m, 東側800mの側線に沿った地点で行っている(図1)。採泥調査は,

密度流拡散装置稼働前の2011年6月より隔月1回を基本としている。各地点でEkman-Birge式採泥器を用いて堆積物を採集した。採集した堆積物から茶褐色を呈する酸化層のみをポリエチレン袋に入れて実験室へ持ち帰り, 以下の分析項目用の試料とした。

全有機炭素・窒素分析

採取した堆積物試料を一部分取し, 乾燥機で乾燥させて堆積物の含水率を求めた。乾燥した試料はめこの乳鉢で粉砕した後, 約10mgを石膏容器に秤量し, 1Mの塩酸を加えて無機炭素を除去した。次にホットプレート上で塩酸を蒸発させ, 島根大学教育学部所有のYanaco社製元素分析計MT-5を用いて全有機炭素(TOC), 全窒素(TN)濃度を測定した。

底生有孔虫分析

湿潤状態の堆積物試料の重量を計測した後に目開き63μmの篩上で水洗し, ローゼベンガル法(Walton, 1952)によって, 遺骸殻と識別するために生体を染色した。残渣を乾燥器で乾燥した後, 四塩化炭素(比重:1.58g/cm³)を用いて底生有孔虫殻を浮選した。浮選した試料は目開き106μmの篩を用

表 1 各地点における含泥率の変化.

Table 1 Seasonal variability in the mud content at each study site.

station	st. 2	st. 3	st. 5	st. 7	st. 9	st. 11	st. 12	st. 16
2011/8/26	50.9	34.8	97.3	97.7	98.8	99.3	99.5	99.5
2011/10/17	60.6	65.8	96.8	97.8	98.7	99.0	99.1	98.2
2011/12/9	47.3	64.2	92.9	97.5	98.7	99.2	99.2	99.5
2012/2/22	49.2	52.0	96.6	98.6	99.0	99.5	99.4	99.2
2012/4/17	74.2	69.7	87.7	98.2	99.3	99.2	99.6	99.6
2012/6/25	37.6	71.6	93.4	97.9	99.2	98.9	99.2	99.1
2012/8/21	48.9	54.1	96.3	96.6	98.5	99.0	99.2	99.1
average (wt%)	52.7	58.9	94.4	97.7	98.9	99.2	99.3	99.2

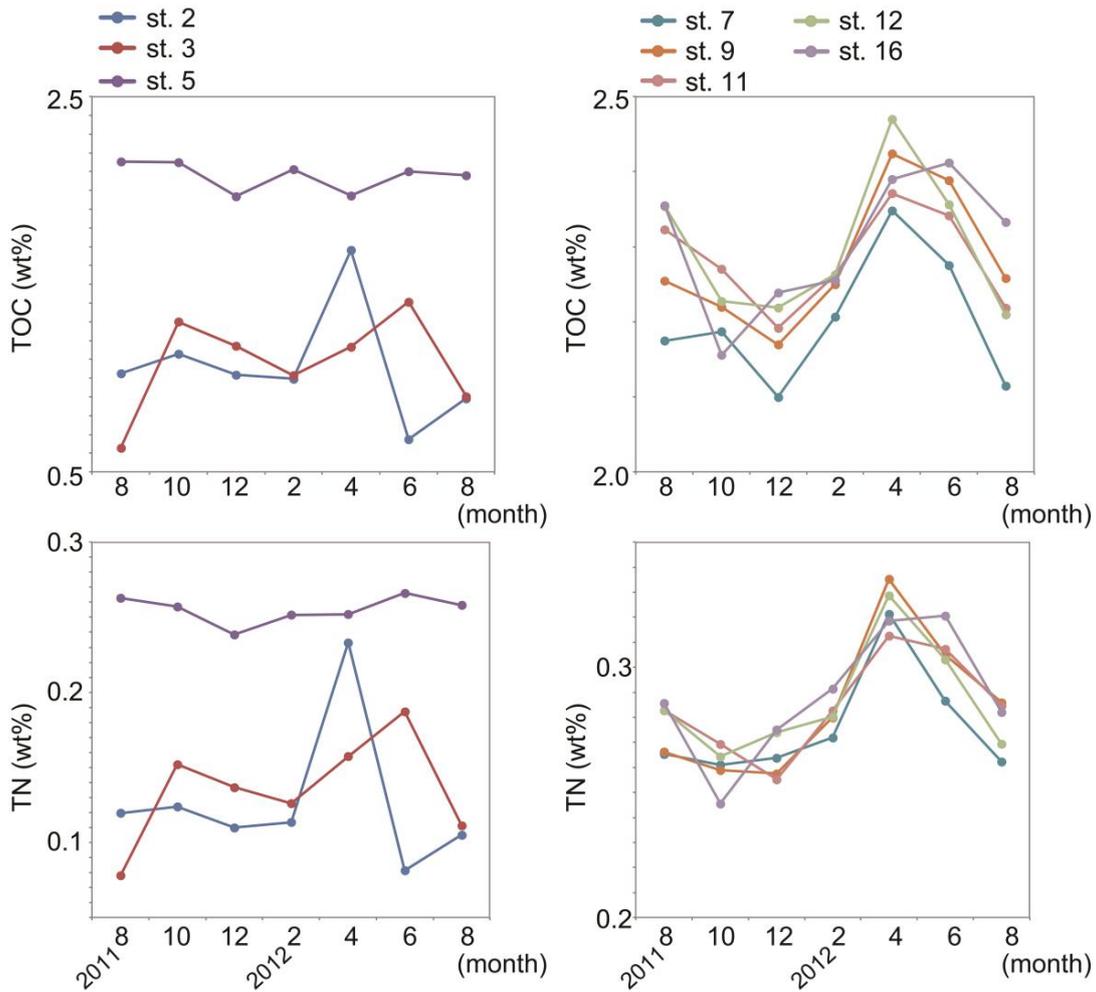


図 3 TOC 濃度, TN 濃度の季節変化.

Fig. 3 Seasonal variability in total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN).

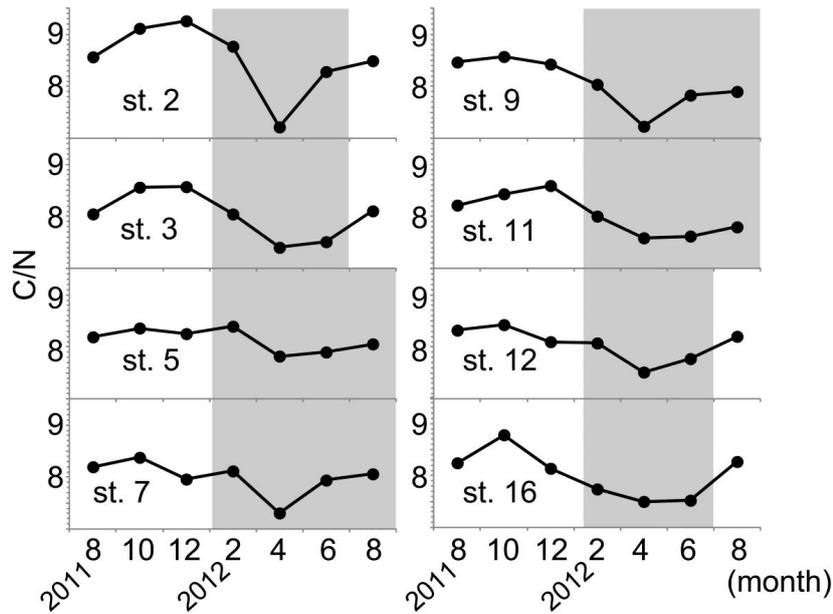


図4 C/Nの季節変化. 灰色の枠はC/Nの低下時期を示す.

Fig. 4 Seasonal variability in C/N. Shaded zone means decreases in the C/N.

いて篩分けを行い、粒径 106 μm 以上の試料から実体顕微鏡を用いて生体有孔虫を抽出し、種の同定を行った。有孔虫殻が豊富に含まれる場合には、試料を分割器で分割し、有孔虫の個体数が 200 程度になるように分割した試料中に含まれる有孔虫を全て抽出した。堆積物の含水率から堆積物乾燥重量 10 g あたりに含まれる生体底生有孔虫の個体数を算出した。

結果

全有機炭素・窒素の経月変化

含泥率 (63 μm > の粒子の重量%) は、st. 7 より西側ほどその値が低くなる傾向にある (表 1)。とくに、児島湾締切堤防に近い st. 2, 3 では調査期間を通して変動が大きく、それぞれ 37.6 ~ 60.6 wt% (平均 52.7 wt%)、34.8 ~ 71.6 wt% (平均 58.9 wt%) の値を示す砂質堆積物となっていた。一方、st. 7 より東側の地点では調査期間を通してほとんど変動がなく、概ね含泥率が 99 wt% 程度の均質な泥が堆積していた (表 1)。

TOC 濃度と TN 濃度は類似した変化傾向を示した (図 3)。児島湾締切堤防に近い st. 2, 3 では調査期間を通して変動が大きかった。st. 2 では TOC 濃度が 0.67 wt% (2012 年 6 月) ~ 1.68 wt% (2012 年 4 月)、TN 濃度が 0.08 wt% (2012 年 6 月) ~ 0.23 wt% (2012 年 4 月)、st. 3 では TOC 濃度が 0.63 wt%

(2011 年 8 月) ~ 1.41 wt% (2012 年 6 月)、TN 濃度が 0.08 wt% (2011 年 8 月) ~ 0.19 wt% (2012 年 6 月) の値を示した。st. 5 では顕著な経月変化を示さず、TOC 濃度が 2.1 wt% 程度、TN 濃度が 0.25 wt% 程度の安定した値を示す。一方、st. 7, 9, 11, 12, 16 では濃度が顕著な季節変動を示した。具体的には、2011 年 10 月、12 月は TOC 濃度がそれぞれ全地点平均 2.21 wt%、2.18 wt%、TN 濃度がそれぞれ全地点平均 0.25 wt%、0.28 wt% であったが、2012 年の春季には TOC 濃度が 2.25 wt% ~ 2.40 wt% に、TN 濃度が 0.29 wt% ~ 0.32 wt% に増加した。

TOC 濃度と TN 濃度の比 (C/N) は、2011 年 8 月から 12 月はいずれの地点においても 8 ~ 9 前後の安定した値を示したが、2012 年 2 月以降その値が低下した (図 4)。その後 2012 年 8 月には st. 2, 3, 12, 16 においては 2011 年 8 月の値とほぼ同等の値となったが、st. 5, 7, 9, 11 では 2011 年の値に比べて低い値を維持していた。

底生有孔虫の経月変化

調査期間 (2011 年 8 月 ~ 2012 年 8 月) において、24 属 32 種の生体有孔虫が確認された。中で *Ammonia "beccarii"*、*Buccella frigida*、*Eggerella advena*、*Elphidium excavatum*、*Elphidium somaense*、*miliolids* などのタクサが特徴的に産出した。最優占種は *Ammonia "beccarii"* であり、密度流拡散装置の

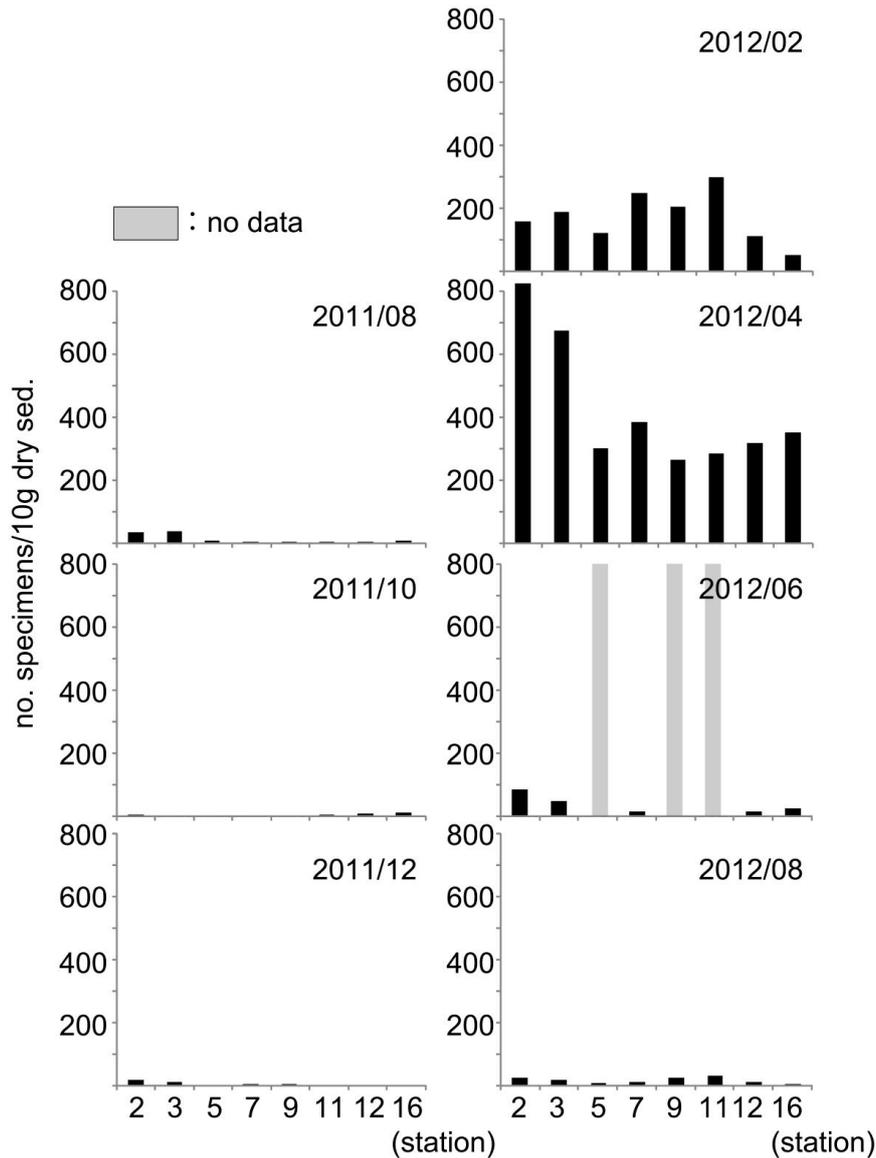


図5 底生有孔虫現存量（乾燥堆積物重量 10 g あたりの個体数）の季節変化。
 Fig. 5 Seasonal variability in the absolute abundance of living benthic foraminifera.

西側側線の地点ではいずれの月も概ね 80 % 以上の頻度を占めた。

生体有孔虫の現存量（乾燥堆積物重量 10 g あたりの個体数で定義）は顕著な経月変化を示した（図 5）。2011 年 8 月から 12 月までは全地点平均で 5～15 個体と低い値を示したが、2012 年 2 月になると全地点平均で 174 個体、4 月になると 427 個体になり、2011 年 8 月～12 月に比べて極めて高い値を維持していた。しかし、6 月になると全地点平均は 24 個体へと急激に減少し、8 月には全地点平均 18 個体と低い値を示した。

種組成の経月変化を見ると、2011 年 10 月には密度流拡散装置の東側側線の地点において *miliolids* が

特徴的に産出し、2012 年 2 月には全地点において *Buccella frigida* が特徴的に産出した（図 6）。

考 察

海底への有機物供給の季節変動とその要因

TOC 濃度および TN 濃度は水域の一次生産性や河川からの陸起源有機物負荷量などによって変化する。また、有機物は堆積物内での微生物活動による分解・無機化の影響を被る。未分解の有機物が多く含まれる場合、TOC 濃度と TN 濃度の比 (C/N) は低くなる。つまり、植物プランクトン起源の新鮮な有機物の供給が多いほど、C/N 比は低い値を示す

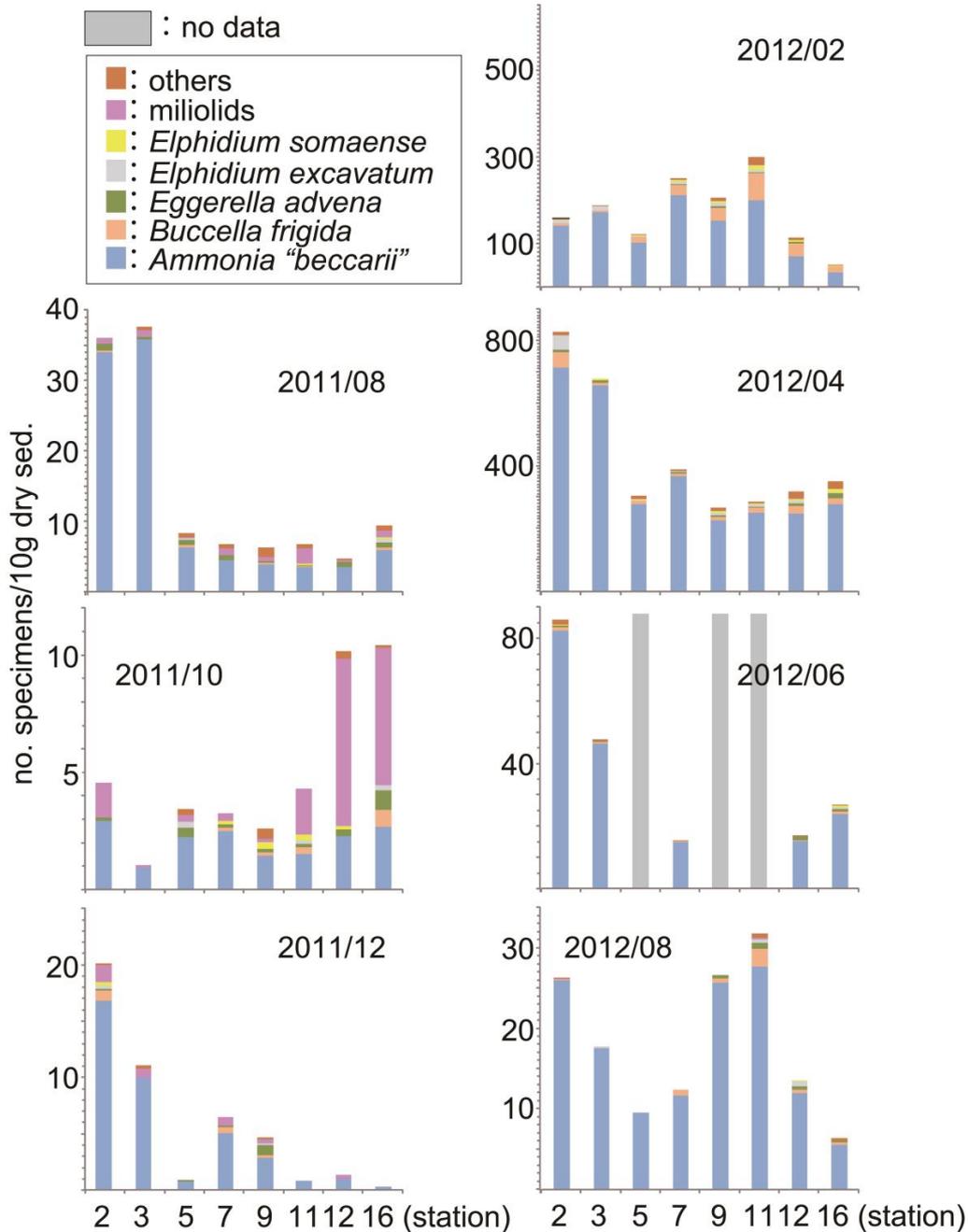


図6 産出底生有孔虫タクサの積算個体数.

Fig. 6 Cumulated number of benthic foraminiferal taxa.

(白居ほか, 2011). 冬季から春季(2月~6月)にかけて st. 7, 9, 11, 12, 16 では TOC 濃度が全地点平均で 2.25 wt% ~ 2.40 wt% に, TN 濃度が全地点平均で 0.29wt% ~ 0.32 wt% まで顕著に増加した(図3). また, 2011年8月から12月はいずれの地点においても8~9前後で安定していた C/N の値が, 2012年2月以降7~8程度に低下した. このことは, この時期に海底への新鮮な有機物の供給が増加していることを意味していると考えられる. 児島湾奥部

において, 調査期間中の2月~4月にかけて水深2m以浅の水中に chlorophyll-a の濃集層が形成されており(図7), これは植物プランクトンの春季大増殖(spring bloom)を反映しているものと考えられる. 春季大増殖によって植物プランクトンの底層への沈降量が増加し, 堆積物の TOC 濃度, TN 濃度の増加, ならびに C/N の低下が生じているものと考えられる. 地点ごとの C/N の季節変化を見ると, 2012年8月には st. 2, 3, 12, 16 においては2011年8月の

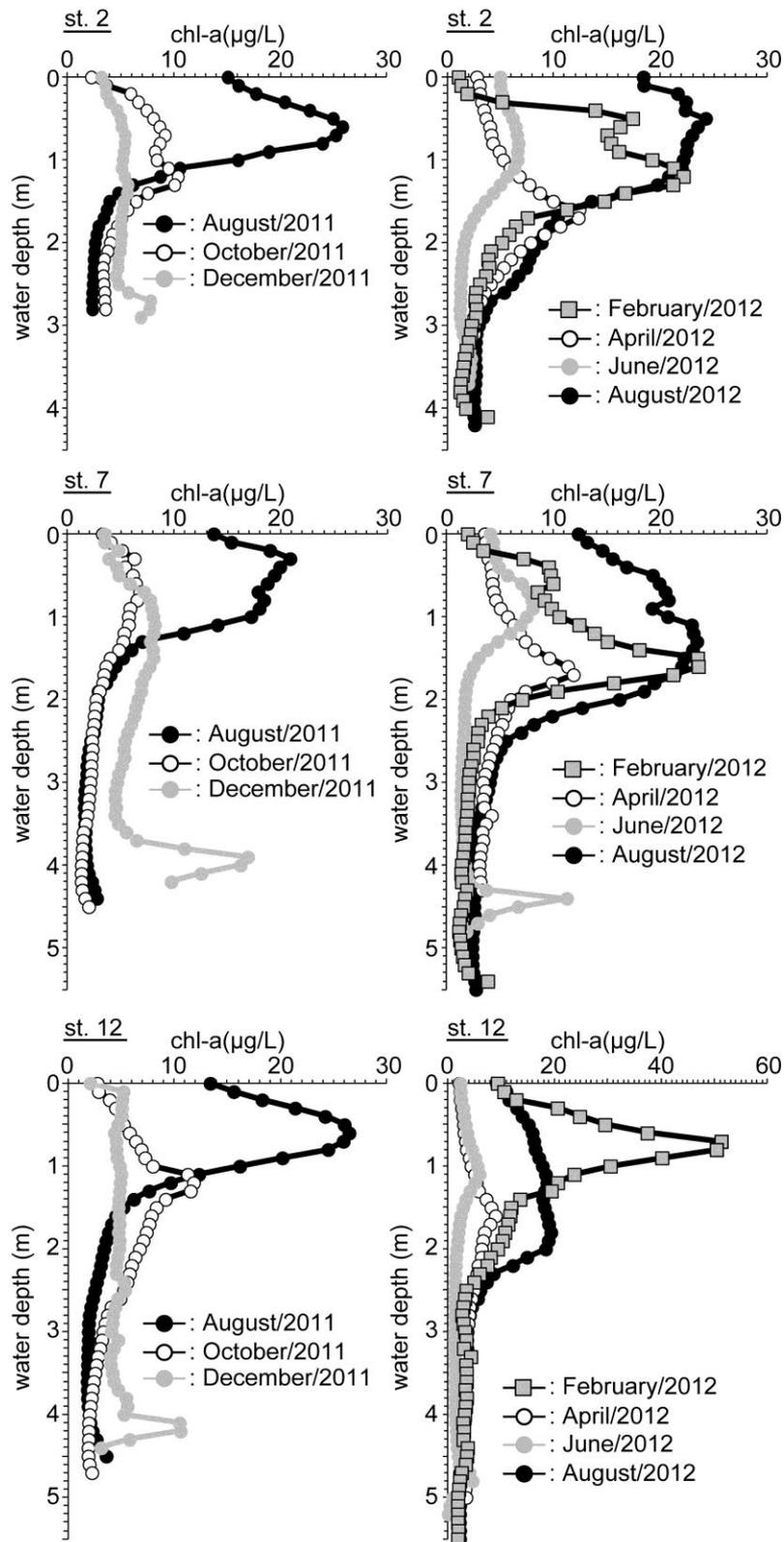


図7 st. 2, 7, 12における chlorophyll -a の月毎の鉛直分布.

Fig. 7 Vertical distribution of chlorophyll -a in each month at st. 2, 7, and 12.

値とほぼ同等の値を示したが、密度流拡散装置周辺の st. 5, 7, 9, 11 では 2011 年 8 月の値に比べて低い値を維持していた。密度流拡散装置は底層の栄養塩に富む海水を吸い込み中層水へ放出するため、それらの栄養塩類を利用した植物プランクトンの増加によって、密度流拡散装置周辺では新鮮な有機物の供給が増加していることが考えられる。

有孔虫群集の季節変動

Ammonia "beccarii" は広塩性種で、浅海域に普遍的に生息する (Alve and Murray, 1999)。小杉ほか (1991) は、日本各地の沿岸浅海域における底生有孔虫群集を比較し、*Ammonia "beccarii"* を塩分変動の大きい (30 ~ 8 ‰ の範囲) 内湾奥部の特徴種とした。本種は有機物負荷の高い環境に多産し (Alve, 1995; Thomas et al., 2000), 溶存酸素の低下に対する抵抗力を有している (Moodley and Hess, 1992)。本調査期間中に産出した生体底生有孔虫の全体群集のうち、80 % 以上を *Ammonia "beccarii"* が占めていた。また、児島湾奥部では、塩分が高く溶存酸素量の豊富な水域を好む *Elphidium* などの種 (Matoba, 1970; 小杉ほか, 1991) の産出が乏しい。児島湾奥部の中層水~表層水の塩分は年間を通して 5 ‰ ~ 30 ‰ の間で大きく変動しており (野村ほか, 2013), 児島湾奥部は年間を通じて児島湖からの放水や旭川から淡水の影響を強く受けやすい環境であると言える。児島湾奥部の底層水の塩分は年間を通して 30 ‰ 程度で安定しているものの (図 2), 年間を通じた表層での急激な塩分変動や、夏季の底層水の貧酸素化等の環境変動によって多様性の低い底生有孔虫群集が形成されていると言える。

生体底生有孔虫の現存量は 2011 年 12 月以降いずれの地点においても急激に増加している (図 5)。2012 年 2 月には東部地点において *Buccella frigida* 等の種が相対的に増加したものの、優占種は依然として *Ammonia "beccarii"* であった (図 6)。冬季から春季にかけての有孔虫現存量の急激な増加は、植物プランクトンの春季大増殖期に一致している (図 7)。深海域においては、植物プランクトンの春季大増殖によって深海底へともたらされる有機物によって底生有孔虫の現存量が増加することが知られている (Gooday, 1988; Gooday and Lambshead, 1993; Kitazato et al., 2000)。富栄養化した浅海域においても、植物プランクトンの大増殖と底生有孔虫との関係が議論されている (例えば Gustafsson and Nordberg, 1999; 2000; 2001)。Diz et al. (2006) はスペ

インの Ría de Vigo (エスチュアリー) において、植物プランクトンの大増殖による易分解性有機炭素の海底への供給によって、底生有孔虫の現存量が急激に増加することを明らかにしている。Lesen (2005) はサンフランシスコ湾において、水中 chlorophyll-a および堆積物中の有機元素の季節変化から、海底への新鮮な有機物の供給が底生有孔虫現存量を増加させることを示した。有孔虫の摂食様式については不明な点が多いが、*Ammonia "beccarii"* の近縁種である *Ammonia tepida* は植食性や肉食性の摂食様式をとっていることが知られている (Dupuy et al., 2010)。Moodley et al. (2000) は ¹³C で標識した藻類起源有機物を用いた室内実験によって、*Ammonia* が新鮮な有機物を急速に消費する過程を明らかにしている。野村ほか (2011b) は柱状堆積物中の *Ammonia "beccarii"* の産出と C/N の減少との関係から、*Ammonia "beccarii"* のプランクトン食としての摂食嗜好について論じている。よって、児島湾奥部における 2011 年 12 月以降の底生有孔虫現存量の急激な増加が、植物プランクトンの春季大増殖による新鮮な有機物の海底への沈降量の増加によって引き起こされた可能性が指摘できる。

4 月以降は底生有孔虫の現存量が急激に減少した (図 5, 6)。これは、水中 chlorophyll-a の減少および溶存酸素成層構造の形成期に一致する (図 2, 7)。夏季表層水中にも chlorophyll-a の濃集層が形成されているものの (図 7), 堆積物中の TOC 濃度, TN 濃度は低く, C/N も相対的に高い値を示した。これは、夏季に水中で形成される成層構造や水中での有機物の消費によって、海底への有機物の沈降量が低下していることを意味していると考えられる。春季以降の新鮮な有機物の供給量の減少および夏季の底層貧酸素状態等によって、児島湾奥部では有孔虫の生育が阻害されている可能性がある。

本調査期間においては、密度流拡散装置稼働による種数の増加など、群集構造の変化は認められず、密度流拡散装置による底生生物への影響を評価するには今後の継続調査が必要である。

ま と め

児島湾奥部において、密度流拡散装置設置前の 2011 年 8 月から設置後の 2012 年 8 月における底質の有機物・底生有孔虫 (メイオベントス) のモニタリング調査結果を示した。底質の TOC 濃度, TN 濃度は密度流拡散装置設置地点を含む東部海域にお

いて顕著な季節変動を示し、植物プランクトンの春季大増殖期 (spring bloom) には TOC 濃度、TN 濃度の増加、ならびに C/N の低下が生じていた。密度流拡散装置稼働前後を比較すると、装置周辺では稼働後の 8 月に C/N の低下がみられた。これを密度流拡散装置の効果ととらえると、装置から 300 m 程度の範囲で植物プランクトンの増加が生じていると考えられる。

底生有孔虫の現存量は 2011 年の 12 月以降いずれの地点においても顕著に増加した。底生有孔虫の現存量の増加は植物プランクトンの春季大増殖による新鮮な有機物の海底への沈降と同期している。密度流拡散装置による底生生物への影響を評価するには今後の継続調査が必要である。

謝 辞

海底堆積物の採取にあたっては、岡山県農林水産総合センターの高木秀蔵氏、弘奥正憲氏、石黒貴裕氏、ナカシマプロペラ (株) の藤井啓太氏、原田泰典氏に大変お世話になった。匿名の査読者には丁寧な査読をしていただき、有益なご指摘・ご助言をいただいた。以上の方々に深く感謝の意を表すとともにお礼申しあげる。

引用文献

- Alve, E. (1995) Benthic foraminiferal responses to estuarine pollution: A review. *Journal of Foraminiferal Research*, 25: 190-203.
- Alve, E. and Murray, J.W. (1999) Marginal marine environments of the Skagerrak and Kattegat: A baseline study of living (stained) benthic foraminiferal ecology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 146: 171-193.
- Diz, P., Francés, E. and Rosón, G. (2006) Effects of contrasting upwelling-downwelling on benthic foraminiferal distribution in the Ría de Vigo (NW Spain). *Journal of Marine Systems*, 60: 1-18.
- Dupuy, C., Rossignol, L., Geslin, E. and Pascal, P.-Y. (2010) Predation of mudflat meio-macrofaunal metazoans by a calcareous foraminifer, *Ammonia tepida* (Cushman, 1926). *Journal of Foraminiferal Research*, 40: 305-312.
- Gooday, A.J. (1988) A response by benthic foraminifera to the deposition of phytodetritus in the deep sea. *Nature*, 332: 70-73.
- Gooday, A.J. and Lamshead, P.J.D. (1993) Influence of seasonally deposited phytodetritus on benthic foraminiferal populations in the bathyal northeast Atlantic: the species response. *Marine Ecology Progress Series*, 58: 53-67.
- Gustafsson, M. and Nordberg, K. (1999) Benthic foraminifera and their response to hydrography, periodic hypoxic conditions and primary production in the Koljö Fjord on the Swedish west coast. *Journal of Sea Research*, 41: 163-178.
- Gustafsson, M. and Nordberg, K. (2000) Living (stained) benthic foraminifera and their response to the seasonal hydrographic cycle, periodic hypoxia and to primary production in Havstens Fjord on the Swedish West Coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 51: 743-761.
- Gustafsson, M. and Nordberg, K. (2001) Living (stained) benthic foraminiferal response to primary production and hydrography in the deepest part of the Gullmar Fjord, Swedish west coast, with comparison to Höglund's 1927 material. *Journal of Foraminiferal Research*, 31: 2-11.
- Kitazato, H., Shiryama, Y., Nakatsuka, T., Fujiwara, S., Shimanaga, M., Kato, Y., Okada, Y., Kanda, J., Yamaoka, A., Masuzawa, T. and Suzuki, K. (2000) Seasonal phytodetritus deposition and responses of bathyal benthic foraminiferal populations in Sagami Bay, Japan: preliminary results from Project Sagami 1996-1999. *Marine Micropaleontology*, 40: 135-149.
- 小杉正人・片岡久子・長谷川四郎 (1991) 内湾域における有孔虫の環境指標群集の設定とその古環境復元への適用. *化石*, 50:37-55.
- Lesen, A.E. (2005) Relationship between benthic foraminifera and food resources in South San Francisco Bay, California, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 297: 131-145.
- Matoba, Y. (1970) Distribution of recent shallow water foraminifera of Matsushima Bay, Miyagi Prefecture, Northeast Japan. Tohoku University, Science Reports, 2nd series. *Geology*, 42: 1-85.
- Moodley, L. and Hess, C. (1992) Tolerance of infaunal benthic foraminifera for low and high oxygen concentrations. *Biological Bulletin*, 183: 94-98.
- Moodley, L., Boschker, H.T.S., Middelburg, J.J., Pel, R., Herman, P.M.J., de Deckere, E. and Heip, C.H.R. (2000) Ecological significance of benthic foraminifera:

- 13C labeling experiments. *Marine Ecology Progress Series*, 202: 289-295.
- Murray, J.W. and Alve, E. (2002) Benthic foraminifera as indicators of environmental change: marginal-marine, shelf and upper slope environments. In: *Quaternary Environmental Micropalaeontology*, (Ed.) Haslett, S.K. pp.59-90. Oxford University Press.
- 野村律夫・辻本 彰・中村光作・福田賢一 (2011a) 有孔虫群集からみた密度流拡散装置の閉鎖性沿岸水域への影響評価. 日本古生物学会第 160 回例会 (高知)
- 野村律夫・河野重範・辻本 彰 (2011b) 島根県佐陀川に記録された *Ammonia* イベント. *Laguna* (汽水水域研究), 18:1-12.
- 野村律夫・辻本 彰・福田賢一・井上睦夫 (2013) 児島湾における $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 比の深度別変化と密度流拡散装置. *Laguna* (汽水水域研究)
- 大塚耕司・中谷直樹・大内一之・粟島裕治・山磨敏夫 (2007) 五ヶ所湾における密度流拡散装置の環境修復効果. *日本船舶海洋工学会論文集*, 6:57-63.
- 大内一之・山磨敏夫・小林勝弥・中村 充 (1998) 密度流拡散装置の研究開発. *日本造船 学会論文集*, 183:281-289.
- Schönfeld, J., Alve, E., Geslin, E., Jorissen, F., Korsun, S., Spezzaferri, S. and Members of the FOBIMO group (2012) The FOBIMO (FORaminiferal BIO-MONitoring) initiative – towards a standardized protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies. *Marine Micropaleontology*, 94-95: 1-13.
- 高木秀蔵・藤沢節茂・藤原建紀 (2009) 備讃瀬戸のノリ養殖の現状と河川からの栄養塩供給. *海洋と生物*, 31:118-122.
- 高木秀蔵・清水泰子・草加耕司・藤沢節茂・藤原宗弘・渡邊康憲・藤原建紀 (2012) 河川から間欠的に供給される栄養塩によるノリ色調の回復. *日水誌*, 78: 246-255.
- Thomas, E., Gapotchenko, T., Varekamp, J.C., Mccray, E.L. and Buchholz ten Brink, M.R. (2000) Benthic foraminifera and environmental changes in Long Island Sound. *Journal of Coastal Research*, 16: 641-655.
- 白居 諒・坪井 研・矢持 進 (2011) 大和川河口干潟における有機物と栄養塩濃度の変動特性に関する現地調査. *土木学会論文集*, 67:936-940.
- Walton, W.R. (1952) Techniques for recognition of living foraminifera. *Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research*, 3: 56-60.
- Yanko, V., Arnold, A.J. and Parker, W.C. (1999) Effect of marine pollution on benthic foraminifera. In: *Modern Foraminifer*. (Ed.) Sen Gupta, B.K. pp.201-216. Kluwer Academic Publishers.