2009年夏季における諫早湾底泥の環境特性

Environmental Characteristics of Seabed Sediment in Isahaya Bay in Summer 2009

李 洪源¹·奥田和久²·松永信博³

Hongyuan LI, Kazuhisa OKUDA and Nobuhiro MATSUNAGA

The environmental characteristics of seabed sediment in Isahaya Bay were investigated comprehensively in summer of 2009. The sediment was composed of the grain size from medium silt to fine silt. The value of IL was totally higher than 10 % and especially the organic pollution advanced near the both drain gates of the reclamation dike. The value of AVS was larger than the standard of water for fisheries and the sediment in the inner area was in the anaerobic condition. The velocity of the sediment oxygen consumption took the largest value near the south drain gate. The relationships of AVS, NH₄-N, NO₂-N+NO₃-N and PO₄-P versus ORP revealed that the seabed sediment was in sulfate reduction and PO₄-P was released in the sediment.

1. はじめに

1997年の潮受け堤防建設に伴い諌早湾奥部は閉め切ら れ,約15km²の干潟を含む35.5km²の浅海域が消滅した. 干潟の消滅は,海域の有機物分解能力を低下させ,有機 汚濁を進行させる.有機汚濁の進行は,底生生物の生息 環境を悪化させ,物質循環システムを脆弱化させる.そ の結果,豊かな生態系とそれに伴う健全な物質循環シス テムが保たれてきた有明海は,現在様々な環境問題に直 面している.特に,諌早湾では潮受け堤防の建設により 入退潮量と潮流速は減少し,生物生息環境は急速に荒廃 している(佐々木ら,2005;東ら,2000).

以下では、潮受け堤防建設後において行われた諫早湾 内の環境調査研究を紹介する. 佐々木ら (2003) は、潮 受け堤防建設により諌早湾に排出される COD は3,000~ 4,800t/年,全窒素は430~550t/年,全リンは20~70t/年 増加したと見積った.また、海水交換による希釈効果、 干潟の生物浄化能力,SSの凝集・堆積効果が失われたと 指摘した. 鯉渕ら (2003) は、2002年夏季において諌早 湾の水質観測と気象観測を行い、諌早湾における栄養塩 の約85%が筑後川由来であり、残りの15%が調整池か らの排水であることを明らかにした.岡村ら (2006) は、 2002年と2003年の夏季に有明海の奥部と中部域および諌 早湾の表層堆積物の特性を調べた.彼らは、諌早湾では 植物プランクトン起源の有機物が高濃度で堆積してお り、貧酸素水塊の頻発や慢性化が危惧されることを指摘 した.多田ら (2009) は、2008年夏季の水質観測結果か

1	学生会員	工修	九州大学大学院総合理工学府大気海洋環
2	非会員		九州大学大学院総合理工学府大気海洋環
3	フェロー	工博	境 5 人 7 五 子 导 攻 九州大学教授大学院総合理工学研究院

ら, 竹崎沖ではシャットネラ赤潮が発生した直後に貧酸 素水塊が発生したこと、離岸風によって貧酸素水塊が湧 昇し,青潮が発生したことを報告している.横山ら (2009)は、2007年夏季に有明海奥部と諌早湾の48地 点において底泥環境調査を行い、諌早湾の北部では Mdø>9となっており、底泥が細粒化していることを明ら かにした、Liら(2009, 2010)は、2008年の夏季におい て諫早湾底泥の生物化学的環境調査を行い、諫早湾南岸 に沿って多量の有機物と硫化物が堆積し、底泥が嫌気状 態に達していることを明らかにした. 李ら(2009)は 2008年8月に湾央の小長井 - 瑞穂ラインに沿って流速観 測と水質観測を行い、諌早湾を吹き抜ける南風によって 島原沿岸において低酸素水塊が湧昇する現象を見出し た. 松永ら(2010)は、夏季に有明海に吹き込む南風の 特性を数値解析により調べ、諌早湾上では多良岳と雲仙 岳によって南風が縮流・加速されることを指摘した. 諫 早湾に関するこれら多くの調査研究により、湾内の流動 構造や貧酸素水塊の発生機構が次第に明らかにされてい るが、諌早湾内の底泥環境に関する研究例は極めて少 ない.

本研究の目的は,閉鎖性内湾の水質環境特性は底泥環 境特性と密接に関係しているという視点に立ち,諫早湾 の底泥環境特性を総合的に明らかにするとともに,将来 開門調査を行うことにより諌早湾干拓事業の影響を評価 する際のベンチマークになり得るデータを提供すること にある.

2. 観測概要

図-1に示されるように、諌早湾における22地点から未 攪乱底泥コアを採取した.コア・サンプリングは2009年 6月14日~8月26日の小潮満潮時に潜水夫を雇って行わ れた.地点番号は、湾奥から湾口に向かって大きくなる ように付けられている.長さ50cm,直径11cmの透明ア クリル円筒形パイプを海底に突き刺し,コアの高さが 10cm以上になるように底泥を採取した.各地点において, 4本ずつ未攪乱底泥コアを採取し,氷詰めにして実験室 に持ち帰った.

採取した底泥コアを表層から深さ3cmまでを5mm間隔 で6層に切り、各々の層におけるMdø、強熱減量(IL)、 クロロフィルa (Chl.a) 濃度,フェオフィチン (Pheo.) 濃度,酸化還元電位 (ORP),酸揮発性硫化物 (AVS), 間隙水中の栄養塩濃度 [アンモニア態窒素 (NH₄-N), 亜 硝酸態窒素 (NO₂-N),硝酸態窒素 (NO₃-N),リン酸態 リン (PO₄-P)] を測定した. Mdøは, 粒径分析装置 (SHIMADZU, SALD-3100) で中央粒径を測定すること により求められた. ILは, 乾燥炉 (ASONE, DO-450A) を用いてサンプルを110℃の下で2時間乾燥させ、得ら れた重量と燃焼炉(ISUZU, STR-14K)を用いて550℃ で6時間加熱した後に得られた重量との差から求められ た. Chl.aとPheo.の濃度は、90%アセトン溶液で溶出さ せた後,標準分光光度分析方法を用いて求められた (Lorenzen, 1967). ORPは, ORP電極 (TOADK, TPX-90Si)を切り取った底泥サンプルに直接挿入することに より測定された。AVSは、ガス検知管(GASTEC, GV-100S)を用いて測定された湿潤底泥中のAVS値を乾燥重 量に対する値に換算することにより求められた.間隙水 中の栄養塩濃度は、まず底泥を2000rpmで20分間遠心分 離器にかけ、間隙水を抽出した後、間隙水を0.45μmの 濾紙で濾過し、オートアナライザー (BLTEC, SWAAT) を用いて分析された.6層の値の平均値を用いて等値線 図を作成した.間隙水中の栄養塩とORPの関係を調べる 図には、2008年行った底泥観測の表層データもプロット されている.

3. 観測結果

(1) 粒径の空間分布

図-2にMdφの空間分布を示す.全体的にMdφの値は 6.5以上の値を取り,隷早湾内の底泥は中粒シルトから細 粒シルトに属する.また,粒径は湾奥に向かうにつれ小 さくなっていた.特に南排水門周辺から湾央にかけて, Mdφは7程度の値をとり,粒径は非常に小さくなってい た.これは,宇野木(2002)が指摘しているように,潮 受け堤防による潮流の変化率は北排水門よりも南排水門 周辺のほうが大きく,流速の弱化が著しいことに起因し ていると考えられる.

(2) 有機物量の空間分布

ILの空間分布を図-3に示す.ILは5.6%~14.2%の値 を取り,小長井沖(St.14)と国見沖(St.22)を除いて諌 早湾内のほとんどの地点で10%を超える値を示し,湾内 に多量の有機物が堆積していたことがわかる.特に,両 排水門背後において有機物が多く堆積しており,潮受け 堤防の排水門からの淡水排水の影響が示唆される.

図-4に Chl.a+Pheo.濃度の空間分布を示す. Chl.a+Pheo. は6.92µg/g-wet~19.88µg/g-wetの値を取り, 湾奥部の南 岸, 湾央部と湾口の中部に若干高い値を取っているが, 湾全体において変化が小さいことがわかる.

(3) AVSとORPの空間分布

AVSの空間分布を図-5に示す. AVSは0.02mg/g-dry~ 0.99mg/g-dryの値を取り,湾口から湾奥に向かって大き くなる. 湾内の多くの地点でAVSの値は水産用水基準で ある0.2mg/g-dryを大きく超える結果であり,湾内全域で 底泥環境の悪化が進んでいたことを示す. AVSの値は潮 受け堤防に沿って大きな値をとっており,硫化物が堆積 していることが確認できる. この分布は,両排水門から



図-1 諫早湾における底泥観測地点



図-2 Md Ø の空間分布



の有機物の流出と堤防背後における潮流速の低下に起因 していると推測される.湾口の南側と北側で小さい値を 取っているが,これは以下で示すORPの値が正の領域と よく一致している.

ORPの空間分布を図-6に示す.ORPの値は全体的に負 の値を取り,湾口から湾奥に向かって減少する傾向にあ る. 潮受け堤防付近では大きな負の値を取り,強い還元 状態になっていることがわかる.これは,ILの分布が示 すように湾奥部に多量に堆積している有機物の分解によ って,底泥環境が還元状態になっているためと考えら れる.

図-7にAVSとORPの関係を示す.図中の実線は、データに基づいて目視で描かれたものである.ORPの増加とともにAVSは単調に減少する傾向を読み取ることができる.これまで見てきたように、諌早湾の底泥では有機汚濁が進行しており、含有有機物量が多いほど底泥の嫌気化,硫酸還元化が著しいことが分かる.





(4) 酸素消費速度(SOC)の空間分布

図-8に酸素消費速度の空間分布を示す.酸素消費速度 は湾奥部そして湾口の南側と北側で若干高い値を取って おり,特に南排水門の背後(St.3),湾口部の北側(St.18), 南側(St.22)において高い値を取っている.湾奥部と湾 口の北側に高い値を取っている理由として有機物の堆積 が考えられるが,湾口南側の高い酸素消費速度について は更なる詳細な調査が必要である.

(5) 間隙水中の栄養塩とORPの関係

図-9, 10, 11に間隙水中の栄養塩とORPの関係を示す. ●は2009年のデータで、○は2008のデータである.図-9 にNH₄-NとORPの関係を示す.図中の実線はデータに基 づいて目視で描かれたものである.2008年と2009年の ORPの値はほぼ同じ範囲にあるが、NH₄-Nの値は2008年 のほうが若干高くなっている.全体的にORPの減少とと もにNH₄-N濃度は高くなる傾向が認められる.これは、 含有有機物量が多いほど嫌気化が進行すると同時に、有





機物分解によって多くのNH₄-Nが生成されるためであ る.また還元状態では有機物分解がNH₄-Nの状態で止ま るためNH₄-Nのみが蓄積されること,酸化状態では生成 されたNH₄-NがNO₂-N, NO₃-Nへと硝化されることもそ の一因である.

図-10はNO₂-N+NO₃-N濃度とORPとの関係を示す. 図中の実線はデータに基づいて目視で引かれている. NO₂-N+NO₃-Nの値は,ORPが負の場合2008年と2009年 の間に違いは認められないが,ORPが正の時2008年の ほうが高い値を取っている.データはかなりばらついて いるが,ORPの増加とともにNO₂-N+NO₃-N濃度は増加 する傾向が認められる.これは,前述したように還元 状態においては有機物分解がNH₄-Nの状態で止まるため NO₂-N+NO₃-Nが生成されないこと,一方,酸化状態では 有機物分解が硝化まで進行するためNO₂-N+NO₃-Nが蓄 積されることによる.

図-11はPO₄-P濃度とORPとの関係を示す. 図中の実線 はデータに基づいて目視で描かれたものである. PO₄-P の値は2008年と2009年にほぼ同じ値を取る.全体的に 言って,ORPの増加とともにPO₄-P濃度は減少する傾向 が認められる.

図-12はPO₄-P濃度と溶存態窒素(DIN)濃度の関係を 示す.DINの値は<NH₄-N>濃度 + <NO₂-N+NO₃-N>濃度 から求められている.2008年と2009年のデータを合わせ て,酸化状態(ORP>0)にあるデータを●で,還元状態 (ORP<0)にあるデータを○で示している.図中の実線 と破線は,それぞれのデータに基づいて原点を通る直線 で近似したものである.植物プランクトンなどの易分解 性有機物の分解が好気条件下で進んだ場合,窒素に対す るリンの割合はレッドフィールド比(Redfield, 1963)と して知られている1/16に近づくと考えられる.酸化状態 にあるデータの傾きは約1/17で,レッドフィールド比に 近い値を取る.一方,嫌気条件下では,底泥からのPO₄-P の溶出が進行するため窒素に対するリンの割合はレッド フィールド比よりも大きくなる.還元状態にあるデータ の傾きは約1/10で,この傾向を示している.



100 00 80 0 PO₄-P(μ M) 60 C 0 400 .0<u>.8</u>. 20 200300 400 500 100600 $DIN(\mu M)$ 図-12 PO₄-PとDINの関係 (\bigcirc ORP>0, \bigcirc ORP<0)

4. 結言

2009年夏季において諌早湾における22地点から未攪乱 底泥コアを採取し, 諫早湾内の底質環境の空間分布特性 を調べた. さらに, 2008年夏季に観測された有明海奥部 の底泥環境と2009年夏季における諌早湾の底泥環境を比 較検討した. 得られた結果は以下のとおりである.

- i) 隷早湾全域にわたる2009年夏季の底質環境特性調査 から、底泥は全体的に中粒シルトから細粒シルトで構 成されており、南門周辺で粒径が特に小さくなってい ることが示された。
- 2) 隷早湾全域でILは10%を超え,湾内に多量の有機物が堆積していた.特に,両排水門付近では,ILは13%以上の値を取り,有機汚濁が進行していた.
- 3) 諌早湾全域においてAVSの値は水産用水基準 0.20mg/g-dryより大きな値を取っていた。潮受け堤防 周辺の底泥や諌早湾奥部の底泥は嫌気状態にあり、硫 酸還元化が進行していた。
- 4) 底泥表面からの酸素消費速度は、南排水門の背後、 湾口部の北側と南側において高い値を取った。
- 5) ORPに対するAVS, NH₄-N, NO₂-N+NO₃-N, PO₄-Pの 関係が調べられ, 諌早湾における底泥環境は, 有機汚 濁による嫌気化, 硫酸還元化が進行し, 底泥中からは PO₄-P溶出が認められた.

謝辞:本研究に対して,科学研究費(基盤研究(A),研 究代表者:小松利光,課題番号20246083),(基盤研究 (A),研究代表者:松永信博,課題番号21246078)の援 助を受けた.ここに記して,謝意を表します.

参考文献

- 佐々木克之 (2005): 有明海の生態系再生を目指して (日本海 洋学会編),恒星社厚生閣, pp. 39-48.
- 東 幹夫 (2000): 有明海の生き物たち (佐藤正典編),海遊 舎, pp. 320-337.
- 佐々木克之・程木義邦(2003): 諫早湾調整池からのCOD・ 全窒素・全リンの排出量および失われた浄化量の推定, 海の研究, Vol.12, No.6, pp. 573-591.
- 鯉渕幸生・佐々木淳・有田正光・磯部雅彦(2003):有明海に おける水質変動の支配要因,海岸工学論文集, Vol.50, pp. 971-975.
- 岡村和磨・田中勝久・木元克則・清本容子(2006):有明海奥 部と諫早湾における表層堆積物中の有機物の分布と有機炭 素安定同位体比,海の研究, Vol.15, No.2, pp. 191-200.
- 多田彰秀・阿部和也・中村武弘・竹之内健太(2009):2008 年諫早湾で発生した赤潮および青潮と水質動態の関連に ついて,海岸工学論文集, Vol.56, pp.961-965.
- 横山 寿・石樋由香 (2009): 底質の主成分分析による有明海 奥部海域の区分, 日本水産學會誌, Vol.75, No.4, pp. 674-683.
- Li, H., Matsunaga, N. and Takino, T. : Investigation on Biochemical environments of seabed in Isahaya Bay, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.53, pp.1501-1506, 2009.
- Li, H. and Matsunaga, N. : Secular and spatial variations on sediment environments behind Isahaya reclamation dike, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.54, pp.1627-1632, 2010.
- 李 洪源・樋口秀太郎・松永信博(2009):南風により諫早湾 南岸で発生した低酸素水塊の湧昇,海岸工学論文集, Vol.56, pp. 406-410.
- 松永信博・油野後也・久田由紀子・李 洪源 (2010): 夏季に おいて有明海に吹き込む南風の特性,水工学論文集, Vol.54, pp. 1579-1584.
- Lorenzen, C.J.: Determination of Chlorophyll and Pheo-Pigments: Spectrophotometric Equations, Limnology and Oceanography, Vol.12, No.2, pp. 343-346, 1967.
- 宇野木早苗(2002):有明海における潮汐と流れの変化:諫早 湾干拓事業の影響を中心にして,海と空, Vol. 78, No.1, pp. 19-30.
- Redfield, A.C., Ketchum, B.H. and Richards, F.A. (1963) : The Sea (ed. By Hill, M.N.), Interscience, Vol.2, pp. 26-77.