

有明海の白川・緑川河口域における干潟環境特性と その評価に関する研究

滝川 清*・鈴木敦巳*・古川憲治*
大本照憲**・山田文彦***

1. はじめに

有明海は、熊本・福岡・佐賀・長崎の 4 県に囲まれ、九州西岸から胃袋状に深く入り込んだ代表的な閉鎖性海域である。総面積 1690 km² に達する大型内湾であり、最深部は湾口近くの湯島海釜で 165 m にも達するが、湾の平均水深は約 20 m に過ぎない。干満による潮位差が日本一大きく湾奥部では大潮位差が 5 m 以上にも及び、このため干潟がよく発達し、湾奥部の福岡・佐賀県沿岸では沖合 5~7 km, 熊本県沿岸部等でも 2~3 km 沖合まで干潟が発達する。この干潟及び浅海部は古くからノリ養殖やアサリ等の採貝漁業の漁場として大きな経済的価値を持ち、また同時に有明海特有の生物種が分布するなど貴重な地域である。したがって、この海域の環境に関する研究は、農業・水産土木の立場から各地方行政機関を中心に多くの調査が行われてきたが、持続的な自然環境との共生を図るためには、物理・化学・生物学さらには地域社会学等の総合的立場からの研究を積極的に推進しなければならない。

有明海に関しては、海底地形・沿岸地質(鎌田, 1980)、底生生物の分布と特徴(風呂田・関口・菊池ら, 1999)、プランクトン(弘田, 1980)など海洋環境や生物相に関する多くの研究がなされており、これらをまとめた文献(日本海洋学会沿岸海洋研究部会, 1985)も刊行されているが、総合的な有明海の環境評価に関する試み(渡辺,

1982; 滝川, 1998a) は少ない。

最近、この有明海域で漁獲量の減少、魚種の変化、水質の悪化や藻場の減少等の報告(熊本日日新聞, 1998)がなされるなど環境の悪化が社会的にも懸念される状況にある。本研究は、この希少な数々の特徴を有する有明海の自然環境が、修復不可能となることなく環境容量に十分配慮された開発利用が為されるよう、事前に総合的立場から技術的提言を行う事を目的に行うもので、今回は、特に熊本県沿岸域の白川・緑川河口域の干潟を対象に、流況特性と地形変化、干潟の底質土特性と底生生物の分布特性及び干潟の浄化機能特性についての調査・検討結果を報告する。

2. 干潟地形の経年変化と流況特性

干潟における土砂輸送形態を把握するために白川・緑川河口域に発達した砂泥質の干潟地形の経年変化傾向を調べ、さらに、懸濁物質濃度の高くなる大潮時の干潮前後の流速、水温、溶存酸素濃度、塩分濃度および浮遊物質濃度等の水質項目を現地計測し、干潟上の流況・水質特性を検討した。また、各河川からの流入流量変化による流況特性について潮流・拡散計算を行い検討した。

流速および水質項目の現地計測は、白川河口域では、1998年8月5日、緑川河口域については同年8月6日の大潮時に実施した。図-1に白川・緑川河口域での観測地点を示す。

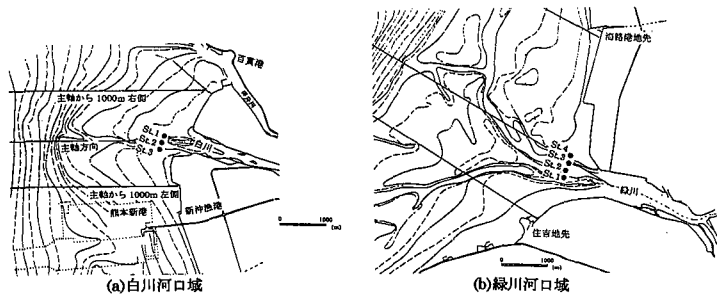


図-1 観測地点

* 正会員 工 博 熊本大学教授 環境システム工学科
** 正会員 工 博 熊本大学助教授 環境システム工学科
*** 正会員 博(工) 熊本大学大学院助手 自然科学研究科

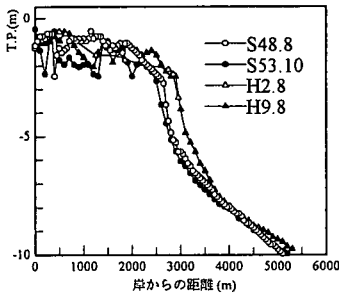


図-2 滞筋部の縦断形状

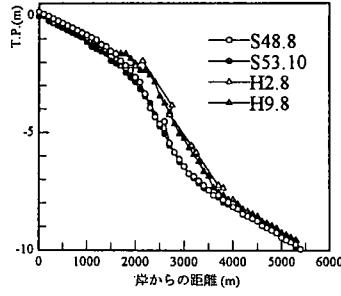


図-3 干潟地形の縦断形状

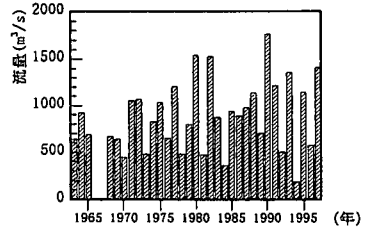
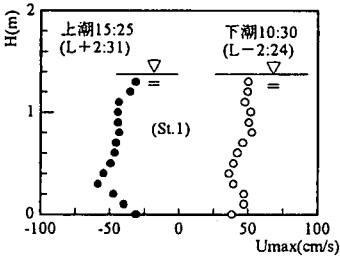
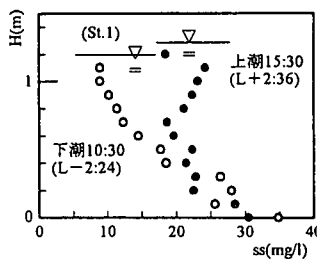


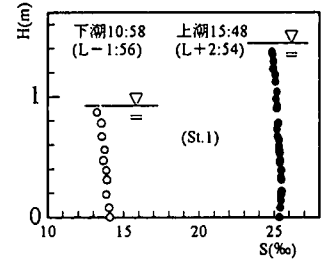
図-4 白川の年最大流量の経年変化



(a) 主流速の鉛直分布

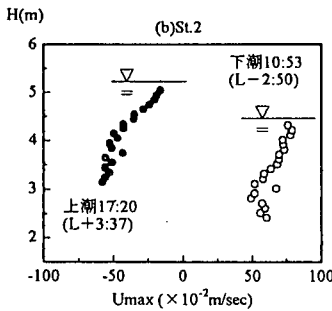


(b) 浮遊物質濃度の鉛直分布

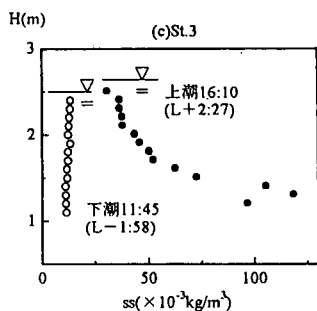


(c) 塩分濃度の鉛直分布

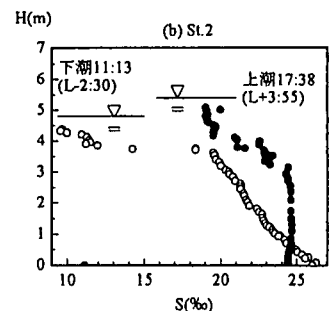
図-5 白川河口干潟域における観測流況



(a) 主流速の鉛直分布



(b) 浮遊物質濃度の鉛直分布



(c) 塩分濃度の鉛直分布

図-6 緑川河口干潟域における観測流況

2.1 干潟地形の経年変化と水質項目の実測

干潟地形の時空間的変動は、熊本県および運輸省熊本港湾空港工事事務所が実施した1973年、1978年、1990年、1997年の干潟地形測量データを基に検討する。図-2および図-3は、それぞれ白川河口の主軸に沿った滞筋部および滞筋から右岸側に1000m離れた干潟の縦断形状の沖向き変化を示す。標高は、東京湾平均海面を基準高さとしている。図-2より滞筋部の底面高さは、河口より沖向き方向に2500m~3000mまではほぼ平坦に近く、それより沖側で急激に低下する典型的なデルタを形成していることがわかる。このデルタ地形は、1978(昭和53)年から1990(平成2)年の間に沖側に前進し、堆積傾向が顕著であることが分かる。一方、図-3に示す滞筋部から1000m離れた右岸側の干潟においては、顕著な頂部堆積層(Top-set beds)が形成されず、勾配の緩や

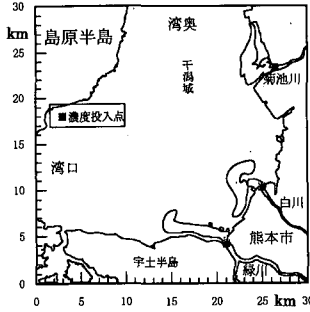
かな前部堆積層(Fore-set beds)となっている。江崎(1985)による貯水池堆砂形状の分類を参考にすれば、この領域には河川起源の掃流砂の流入は少なく大半が浮流砂で占められることが予想される。

図-4は、1964年から1998年の34年間の年最大流量の経年変化を示したものである。1978年から1990年の間では、最大流量が1500m³/sを越える規模の洪水が3回生起している。特に、1990年の干潟地形は、7月2日の洪水から1ヶ月後に測量が実施されたもので、この時の洪水ピーク流量1760m³/sによる流出土砂量57m³/sの堆積を反映している。また、白川河口域の干潟は1973年から1978年の間および1990年から1997年の間では平衡状態にあることから、ピーク流量が1500m³/s以下では顕著な上昇が現れないことが予想される。

図-5、図-6はそれぞれ白川及び緑川河口での、滞筋

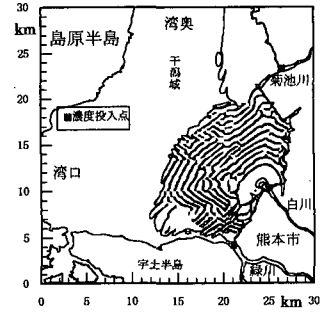
部における干潮前後の水平流速、浮遊物質濃度、塩分濃度の鉛直分布の一例である。

図-5の白川河口域では、水深、水平流速が同程度であっても、浮遊物質濃度は下げ潮時よりも上げ潮時の方が水面付近で高く、また塩分濃度は鉛直方向にほぼ様な強混合形態であり、河川流の影響は弱く、潮流が流れを支配している。図-6の緑川河口域では、流速は滞筋中央部では水面付近で河川の影響を受ける。浮遊物質濃度は白川域と同様に上げ潮時の方が大きく、特に底面付近の濃度が高く底質の巻き上げが生じていると推定される。これは白川河口域の底質が火山灰を多く含む砂質であるのに対し、緑川域では粘土質であることが原因と考えられる。塩分濃度の鉛直分布は海水と河川水とが2層をなして塩水楔を形成しており弱混合型の形態となっているが、滞筋部から干潟部になると塩分濃度は鉛直方向に一様化の傾向にあり強混合型に変わる。



(7 潮汐後)

図-7 豊水時の拡散状況



(7 潮汐後)

図-8 最大流量時の拡散状況

2.2 河川水流入量変化と流況特性の解析

白川・緑川河口付近に発達する広大な干潟上の流況特性を調べるため、潮流解析及び拡散解析を行った。潮流と拡散の解析に際しての基礎式は、水深方向に積分した2次元の浅水長波方式及び拡散方程式を対象とし、潮流の数値計算には差分法の一つであるADI法を適用し、移流拡散の計算にはクランク・ニコルソン法を用いて計算した。今回は、図-7、図-8に示す白川・緑川河口域の30 km四方を計算領域とし、海底地形は沿岸海域地形図(1/2500)より読み取った。干潟の干出・水没と汀線移動をモデル化し(滝川, 1998a), 計算格子間隔は100 m, 計算時間間隔は5.0 sとし、外海との境界条件は海上の境界線上で潮位の強制水位を与えた。

3. 干潟の底質土特性の経年変化と環境評価

干潟の環境を評価するための客観的指標が望まれているが、ここでは底質土特性に着目し、熊本市沿岸部の干潟の分析と生物の生息状況からその環境特性の変遷を検討する。今回の調査は白川・緑川河口域の干潟について熊本港周辺海域干潟生物調査((財)熊本開発研究センター, 1977~1990及び1992~1997)のデータを用いて、底質特性として泥分・強熱減量・硫化物、また底生生物としては個体数・種類数・多様度を用いてクラスター分析を行った。

表-1にクラスター分析による分類型と底質項目の組成を示す。I型は泥分が50%以下、強熱減量が7.5%以下で特に硫化物が少ない。a型はb型に比べ泥分が少ないものである。II型は泥分、強熱減量共に大である。III型は泥分はI型と同様に少ないが、硫化物、強熱減量の値が大きい。IV型は泥分は多いが硫化物、強熱減量がII型よりも少ない。V型は泥分はI型と類似するが、硫化物、強熱減量がI型より若干大きい。a型はb型より硫化物が大きい。VI型は特異点で1地点のみで硫化物の値が極端に大となった地点である。

図-9にクラスター分類型の白川・緑川河口域における平均的な経年変化を示す。泥分の多いI-b型、II及びIII型は1979(昭和54)年度以降増加の傾向にあり、白川

表-1 分類型毎の底質特性

分類型	平均			
	件数	泥分(%)	硫化物(mg/g-dry)	強熱減量(%)
I-a	276	7.6	0.01	3.0
I-b	60	33.5	0.04	4.9
II	70	79.5	0.23	9.9
III	57	17.1	0.16	10.1
IV	44	65.3	0.09	5.3
V-a	5	14.8	0.57	5.1
V-b	23	10.8	0.09	5.8
VI	特異点(1地点のみ)			

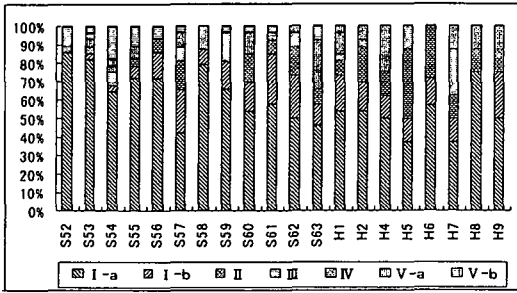


図-9 クラスター分類型の経年変化

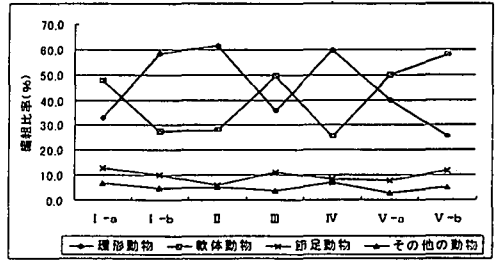


図-10 底生生物の組成比率

以北及び緑川河口付近に広く分布する。特に白川以北では分類型の変化が大きい地域であることが分かった。また、白川河口からその沖合以北では強熱減量及び硫化物ともに高いII型が広く分布しており、これは、白川から流入した有機物が干潟上沖合で北上する潮汐残流の影響を受けることによるものと考えられる。

図-10に底質分類型と底生生物の組成比率、表-2に分類型毎の生物優占種を示す。泥分の多いI-b, II及びIII型では環形動物の割合が多い。砂質に生息するアサリは泥分の少ないI-a, III, V-bで優先しており、ここでは組成比率からもアサリを含む軟体動物の割合が多い。特にI-a型は泥分が最も低くアサリ、シオフキやマテガイ等の二枚貝類が多く生息している砂質域で、緑川尻で経年的に広く分布している。ホトトギスガイは汚染域にも生息できるといわれているが、V-a型の地域で大量発生した経緯がある。また、環形動物の増減と軟体動物の増減が逆の相関にあることから、この両者間では泥分の多少によって棲み分けがなされていると考えられる。

表-2 分類型毎の優占種

I-a	アサリ (軟体) シオフキ (軟体) マテガイ (軟体)
I-b	ハナオカカゴカイ (環形) Mediomusutus sp. (環形) Pseudopolydora kempji japonica (環形) Heteromusutus sp. (環形)
II	Heteromusutus sp. (環形) シズクガイ (軟体) ダルマガカイ (環形)
III	シズクガイ (軟体) アサリ (軟体) ホトトギスガイ (軟体) Heteromusutus sp. (環形)
IV	Heteromusutus sp. (環形) Glycinde sp. (環形) Pseudopolydora kempji japonica (環形)
V-a	特になし (3地点のみ)
V-b	アサリ (軟体) ヒメカノコアサリ (軟体)
VI	特になし (1地点のみ)

る傾向にあること、沿岸よりの地点ほど脱窒速度が大きいことが分かる。

図-12は地点別の含泥量の変化、また図-13は含泥量と脱窒速度との関係を示したものである。これらの図から、含泥量は沿岸に近いほど高くなり、また含泥量が高いほど脱窒速度も大きくなる。この含泥量は粘土、シルト分の占める割合のことであり含泥量が高いほど粒子が細かく底泥に酸素が供給されにくくなり、脱窒の生じる嫌気状態になりやすいと言える。また粒子が細くなるほど粒子間に栄養分が吸着・堆積しやすくなる。

図-11で示したアセチレンブロック法で測定された脱窒速度は、基質(NO₃-N, C)濃度を高め、温度を30°Cとしたもので、いわば底泥の脱窒ポテンシャルを示していることになる。実際の干潟では、基質濃度は低く、しかも温度も季節により大きく変化しているため、干潟の浄化能力を正當に評価するには低基質濃度域での脱窒速度の推定と温度依存性を明らかにする必要がある。

まず、基質濃度と脱窒速度の相関を実測結果からMichaelis-Menten式を適応させて、NO₃-NとCの両基質が律速となる場合の脱窒速度を次式で推定した。

4. 脱窒能測定による干潟浄化能の評価

干潟の浄化能力は高いと評価されているが、その浄化能力の定量的評価は余りなされていない。本研究では、干潟の浄化能力を定量的に評価するため、緑川河口域の干潟を調査対象として脱窒量の推定、水質や底質因子と脱窒量との関係を調べた。底泥は、干潮時に熊本県緑川河口域において沿岸から沖合い方向に500m~2000m地点まで500mおきに4地点で採取した。各地点において直径7.5cm、高さ50cmの鉄製の円筒を用い、深さ30cmまで採取し、上層(深さ0~10cm)、中層(深さ10~20cm)、下層(深さ20~30cm)に分け、各底泥について間隙水を採取した。採取した底泥サンプルについて、アセチレンブロック法による脱窒活性の測定、MPN法による脱窒菌の計数、底質、水質の解析を行った。

図-11は、各地点における深さ方向と脱窒速度、並びにその季節変化を示したものである。これより500m、1000m地点では深さが深くなるほど脱窒速度が低くな

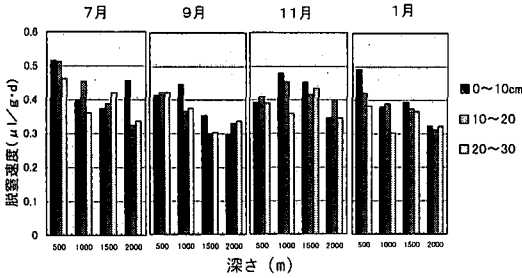


図-11 各季節における脱窒速度の地点、深さ変化

$$V = \left(\frac{V_{mn}N}{K_{mn} + N} \right) \left(\frac{V_{mc}C}{K_{mc} + C} \right) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 V ：脱窒速度 (mg-N/g·d), V_{mn} ：最大脱窒速度 (mg-N/g·d), K_{mn} ： $\text{NO}_3\text{-N}$ に関する飽和恒数 (mg-N/l), N ： $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度 (mg-N/l), V_{mc} ：最大脱窒速度 (mg-N/g·d), K_{mc} ： C に関する飽和恒数 (mg-C/l), C ： C 濃度 (mg-C/l)である。また、脱窒速度と温度の相関は次式で示される。

$$k_T = k_{30} \theta^{T-30} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 k_T ：温度 $T^\circ\text{C}$ における脱窒速度 (mg-N/g·d), k_{30} ：温度が 30°C の時の脱窒速度 (mg-N/g·d), θ ：温度恒数(今回の実験の場合1.13), T ：温度($^\circ\text{C}$)である。式(1)の N, C に干潟間隙水の $\text{NO}_3\text{-N}$ と TOC の濃度を代入することで得られる脱窒速度を式(2)を用いて温度補正を加えると、各々の採掘日での脱窒速度を推定することができる。その推定結果を各月毎の地点別の変動として図-14に示した。また、間隙水水質、底質の調査結果からは、有機物の含有量が圧倒的に高く窒素酸化物の含有量が低いことから、実際の干潟においては、有機物量よりも窒素酸化物量の方が脱窒活性に及ぼす影響は大きいと思われる。

5. おわりに

有明海の白川・緑川河口域の干潟環境に関して、地形の経年変化を流況特性との関連で調べ、底質特性に基づく干潟の環境機能評価を試み、また、干潟の浄化機能を脱窒能で評価し検討を加え幾つかの重要な資料を得ることが出来た。今後ともにデータの収集を行うと共に、広範な視点から系統的・緻密に研究を進展して行く計画である。最後に、本研究は平成10～13年度文部省科学研究費補助金(基盤研究(A)(2))(研究代表者：滝川 清)の補助による研究の一部であることを付記し謝意を表する。

参考文献

鎌田泰彦 (1980)：有明海の沿岸地質・海底地形と底質，月刊海

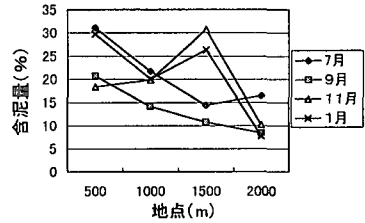


図-12 地点別の含泥量

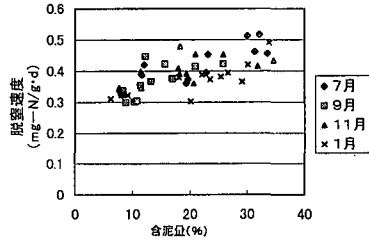


図-13 含泥量と脱窒速度

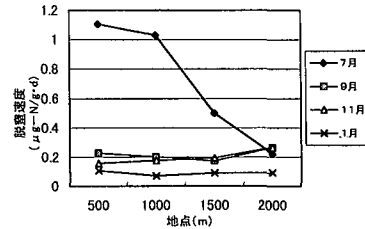


図-14 各季節ごと地点別の脱窒活性の推定

洋科学, Vol. 12, No. 2, pp. 88-96.
 熊本日日新聞 (1998)：海映えて天草第1部, No. 1~7. 1998, 10.
 (財)熊本開発研究センター(1977-1997)：熊本港周辺海域干潟生物調査。
 滝川 清 (1998a)：有明海河口域の自然環境に及ぼす陸水流入の影響，平成8, 9年度文部省科学研究費補助金(基盤研究(B)(2))，研究成果報告書, 115 p.
 滝川 清・山田彦彦・原田浩幸・北園芳人・中島和弘 (1998 b)：有明海沿岸域における干潟の浄化機能と環境特性に関する研究，海岸工学論文集, 第45巻, pp. 991-995.
 日本海洋学会 沿岸海洋研究部会編 (1985)：日本全国沿岸沿岸海洋誌, 21章有明海, 東海大学出版会, pp. 815-878.
 弘田禮一郎(1980)：有明海のプランクトン, 月刊海洋科学, Vol. 12, No. 2, pp. 138-142.
 風呂田利夫・関口秀夫・菊池泰二・田北 徹・東 幹夫・佐藤正典 (1999)：九州の干潟を中心とした浅海域開発と環境アセスメントの問題点, 海の研究, 第8巻, 1号, pp. 47-68.
 吉川秀夫 (1985)：流砂の水理学, 丸善株式会社, 536 p.
 渡辺 潔 (1982)：有明海の浅海域の開発と環境保全に関する総合的研究, 昭和54~56年度文部省科学研究費補助金(特定研究), 研究成果報告書, 66 p.