

(24) 有明海湾奥部での水質・底質特性に関する研究

Study on water quality and mud property in inner part of the Ariake Sea

○山西博幸¹・荒木宏之¹・古賀憲一²・佐藤公俊³

YAMANISHI Hiroyuki¹, ARAKI Hiroyuki¹, KOGA Kenichi² and SATO Kimitoshi³

ABSTRACT; In this study, water quality and mud property in inner part of the Ariake Sea were examined through analyzing field survey data and laboratory tests for the basic parameters. As a result, state of anaerobic and/or reduction in summer season is found to be significant phenomena in deeper water in western part area of the Ariake Sea. Averaged particle size of mud in western part of the sea is mostly silt-clay with high organic content. It shows that the deposit mud can be resuspended quickly because the water content of the mud is very high (about $w=300\%$). Also the mud property of high organic content gives some possibility of oxygen consumption in relating with resuspension and sedimentation of the mud. Water quality simulations were carried out to analyze mass balance and major phenomena in this area. From some sensitive analysis on simulation parameters, monthly change of COD concentration in the inner part is affected by mud property and rate of algae production although total loading through main rivers is not so significant except rainy season.

KEYWORDS; the Ariake Sea, Cohesive Sediments, Fluid Mud, Dissolved Oxygen, Suspended Solids, Resuspension

1. はじめに

有明海湾奥部での干満差は最大で6m近くにも及ぶわが国最大の潮位差を有する浅海域で、干潮時に出現する干潟面積はわが国の干潟全体の約40%を占めている。このような干潟浅海環境を有する場での棲息生物の変化がここ数年クローズアップされ、特に水・底質環境の悪化が指摘されている。また、閉鎖性の強い有明海の湾奥部では、外海水との交換も悪く、陸域からの汚濁負荷量や内部生産による負荷量変化が湾奥の水質に大きな影響を与えていると考えられ、従来から様々な分野でそれぞれの目的に応じた調査研究が実施されてきた（例えば、川村ら¹⁾、代田²⁾、など）。しかしながら、その特異な環境構成を明らかにする総合的な研究はなされていないのが現状である。現在、平成12年度のノリ不作を契機に様々な視点から有明海を調査・研究する試みが実施されている（例えば、荒木ら³⁾、大串ら⁴⁾、原田・滝川⁵⁾、など）。

このような背景のもと本研究では、有明海湾奥部の水質・底質に着目し、現地調査及び室内実験から湾奥部の水質・底質環境について検討した。また、数値計算モデルを用いて有明海における水質特性の把握を行った。数値計算による有明海の水質シミュレーションでは、特にCODの変動特性に着目した。これらの調査及び計算結果から、有明海湾奥部を中心にそこでの水質・底質環境とその特性について得られた知見の一部を取りまとめた。

¹ 佐賀大学低平地研究センター Institute of Lowland Technology, Saga University

² 佐賀大学理工学部 Faculty of Science and Engineering, Saga University

³ 日本理水設計（株） Nihon Risui Sekkei Corporation

2. 現地調査および解析方法

2. 1 水質調査

平成13年8月6日（大潮）に湾奥西部水域の2地点（No.A, B）、平成13年11月1日（大潮）に大浦沖から筑後川河口付近までの5地点（図-1中の点線上のSt.2～F.3）で満潮から干潮にかけて水質調査を行った（図-1参照）。各測点では、観測船から多項目水質計（堀場製作所製、U-22series）を用いて底層から表層までの所定の高さ毎にpH、DO、ORP、塩分、水温、濁度、導電率を測定した。さらに、底質の細粒化とともに底棲生物の生息環境悪化が懸念される西部水域の干潟域（図-1中のSt.T地点）において、大潮～小潮～大潮間のSS濃度の変化をメモリー式濁度計（アレック電子製、ATU3-8M）にて測定した。これらのデータに加え、佐賀県が毎月大潮満潮時に測定している浅海定線調査資料（図-1中、St.1～St.11までの計11点）を用いて、湾内水質に関する変動特性を検討した。

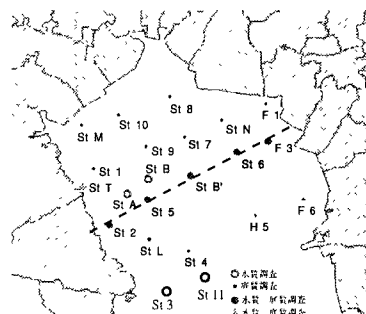


図-1 水質・底質調査地点

2. 2 底質調査

有明海湾奥部での底質分布特性の把握を目的として、湾奥部数十地点（図-1中のSt.3, St.11, St.A, St.B, St.Tを除く計17地点）において、エクマンバージ型採泥器により底質を採取した。調査は、平成13年11月1日（大潮）と11月16日（大潮）の両日に実施した。採取した底質は、土質試験法に則り、含水比・強熱減量・密度・粒度の測定を行った。加えて、今回の本調査による底質データの他に、佐賀県が年2回（5, 8月）実施している調査データも含めて検討した。また、底質の細粒化や浮泥の堆積が問題となり、底生生物への影響が懸念されている湾奥西部水域・鹿島市七浦地区（図-1中、St.T地点）の干潟底泥を内径10cm、長さ20cmの塩化ビニルパイプにて採取し、高さ方向の含水比W、強熱減量I.L., 酸化還元電位ORPの分布を求めた。さらに、浮泥の酸素消費速度に関する実験を行った。実験は現地泥表層から1cm深さまでの試料を対象とし、これを所定のSS濃度に調整後、三角フラスコ内で十分攪拌しながら水温一定(20℃)の密栓状態で所定時間毎にDOの経時変化を測定した。

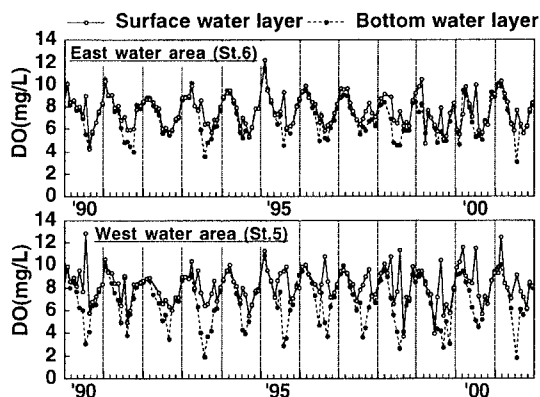


図-2 DOの濃度変化*

(* 佐賀県有明水産振興センター提供の浅海定線調査資料から表層と底層のデータを用いて図示したもの)

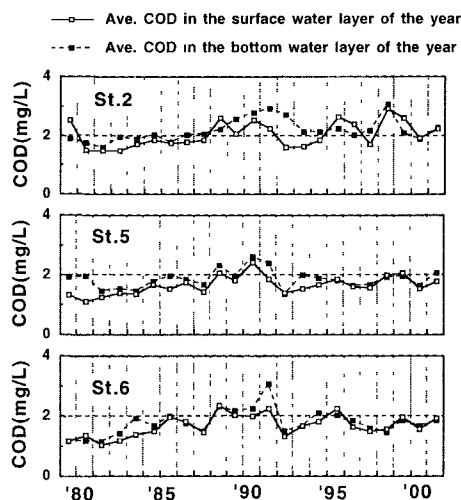


図-3 年平均CODの経年変化*

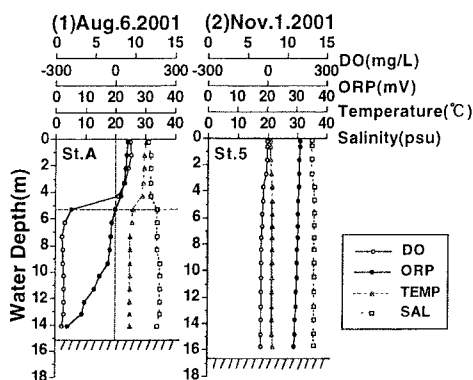


図-4 西部水域の各水質分布

3. 調査結果及び考察

3. 1 水質環境について

図-2, 3は, DOとCODの経年変化である。ここでは, 特に底質分布特性を考慮して, 湾奥部の東部水域と西部水域の代表的な2地点 (St.6とSt.5) について考察する。図-2から, 夏季のDO濃度は表層で高く, 底層で低いことが分かる。冬季になるとDO濃度の鉛直分布はあまり見られず, 全層とも6mg/L以上と比較的高い。水域別では, 西部水域において7月～9月に底層でDO濃度が2～3mg/Lと低く, 上下層のDO差は5mg/L以上となる。これらの理由として, 夏季の表層では植物プランクトンの活発な光合成によるDO増加がもたらされるが, その一方で表層での動植物プランクトンの増殖とともにこれらデトリタスの下層への供給量も増加し, 下層では有機物を酸化分解する微生物や底棲生物 (ベントス) によりDO消費が顕著となる。一方, 冬季は水温低下による飽和濃度の上昇や有機物分解速度の低下に伴うDO消費の減少などが考えられる。図-3に, 東部水域 (St.6), 西部水域 (St.5), そして陸域近くの干潟域 (St.2) での年平均CODの経年変化を示す。なお, 図中に記したCOD=2 (mg/L) の点線は, 有明海における水産用水基準 (水産庁) である。年平均CODに関しては, 全体的に若干上昇傾向にあるが, 東部水域と西部水域, 表層と底層に大きな差はみられない。ただし, 底質の細粒化が観測され, タイラギなどの底棲生物の生息環境悪化が危惧される西部水域⁶⁾に位置するSt.2では, 他の2点よりやや基準値を上回る傾向にあるとともに, 上層・下層での差が見られる。

図-4は, 西部水域 No.A のDO, ORP, 水温, 塩分の鉛直分布である。図中, 8月のDO濃度は, 水深4～5mで急激に低下し, それ以深では, 2mg/L程度で深さ方向に一樣となる。ORP値も表層から底層にかけて低下し, 水深5mで値は正から負に転じている。しかしながら, 隣接するSt.5で11月1日に測定したものは, 図-6 DOと各態窒素の濃度変化 (St.5) *

Comprehensive observation of tide in the Ariake sea in an observatory tower (Nov. 1, 2001)

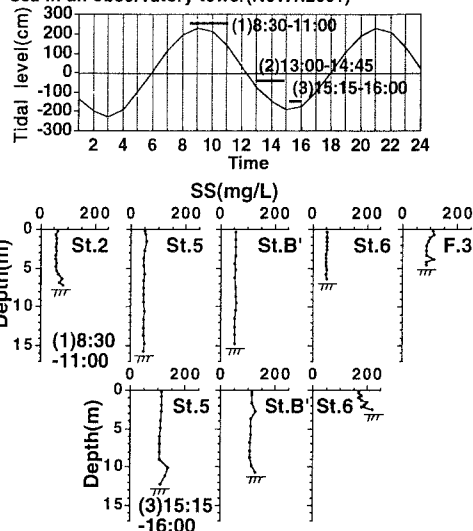


図-5 満潮・干潮時のSS濃度分布

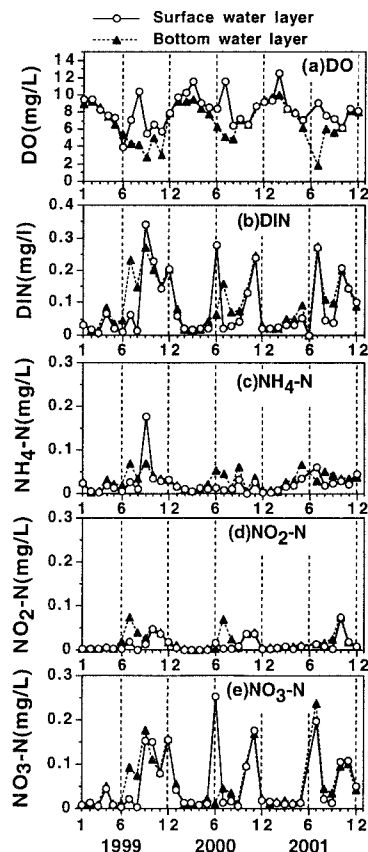


図-6 DOと各態窒素の濃度変化 (St.5) *

いずれの項目も鉛直方向に一様になっていた(図-4(2)参照)。すなわち、西部水域では、夏季に底層部で低酸素の環境が形成され、冬から春先にかけては水深方向に特に問題となる分布は形成されないことが分かる。

図-5は11月1日に測定したSt.2～F.3間におけるSS分布の経時変化である。先に示したDOやORPは、それぞれ6mg/L以上、100mV

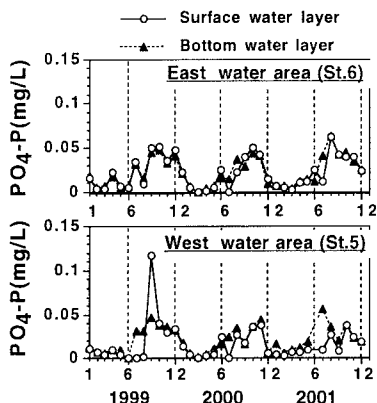


図-7 平成11-13年のDOとPO₄-Pの濃度変化(St.5とSt.6) *

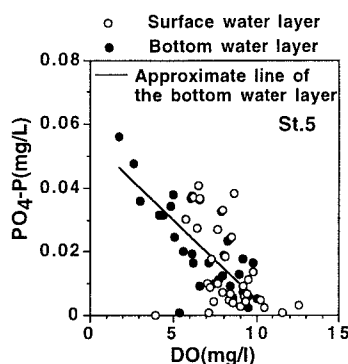


図-8 DOとPO₄-Pの関係*

以上で鉛直方向の分布は見られないものの、SS分布では、満潮に50mg/L程度だったものが、干潮になるにつれて100mg/L以上となる。また、この時期、ノリ網の維持管理のため、頻繁な船の往来があり、それによる底泥の巻き上げ及び浮泥形成から浅水域のSSが高濃度となる。有明海湾奥部で形成されるこのような浮泥は、底泥による酸素消費とともに有明海湾奥部の水質に影響を及ぼす。なお、浮泥の酸素消費に関しては後述する。

図-6は佐賀県が観測している浅海定線データよりNo.A周辺のSt.5で平成11～13年に測定されたDOと各態窒素(DIN, NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N)濃度の経月変化である。DOに関しては、図-2同様、夏場に表層と底層で濃度差が顕著で、特に底層水のDOは低濃度となる。これと先に示したORP分布から、西部水域の夏場の底層部では嫌気・還元的な環境が生じうると言える。DINの年間変動特性として6月以降、トータル量としての増減が目立ち、冬から春の変動は小さく一定となる。三態窒素成分毎の変化を見ると、表層部のNH₄-NやNO₃-Nで一部急激な増加が見られるが、これは、年周期特性ではなく、降雨などにより陸域から大量の栄養塩が外部負荷として湾内へ流入したためである。降雨時の陸域からの流出特性についてはすでに多くの検討もなされ(たとえば、國松・村岡⁷⁾)、また、川村¹⁾の現地調査結果も本結果の考察を支持するものとなっている。一方、底層部では、貧酸素・嫌気化に伴う脱窒過程におけるNO₂-Nの生成や底泥中からのNH₄-Nの溶出によるピークが夏季に見られる。しかしながら、ここでの考察は月1回のデータから湾内の水質現象を考察するものであり、潮汐に伴う時間オーダーでの水質特性に対して言及することは困難である。詳細な窒素の挙動は、好気・嫌気での硝化・脱窒作用とともにそれらの反応場所(水中、底質中)、あるいは波、流れ、降水量、水温、日射量などの外的因子や系外からの流入負荷特性を加味した、さらなる検討が必要と思われる。

窒素とともに水域の栄養塩負荷としてリンの挙動を知ることは重要である。ここでは、図-6同様、平成11-13年のリン酸態リン(PO₄-P)に関する経年変化を図-7に示した。St.5, 6におけるPO₄-P濃度の季節変動は双方とも概ね一致し、夏～初秋にかけて高濃度となり、秋～冬で減少し、冬から夏にかけては1μg/Lのオーダーで推移する。このようなリンの変動特性は梅雨期の陸域からの流入とノリ漁期(10月～4月)との関係が深い。また、底質中では夏期の貧酸素化に伴ってリンの溶出が促進されることから、DO濃度とPO₄-P濃度の変動には相関が見られる(図-8参照)。しかしながら、図-8が示すようにDO濃度と底層部でのリン濃度の相関が、そのまま表層部のリン濃度との相関には一致していない。すなわち、表層と底層ではDOに関するリンの挙動が異なっているともいえる。

3. 2 底質環境について

図-9は、湾奥部底泥の中央粒径 d_{50} の等値線図である。図より、東部水域の粒径は粗く、細砂質であり、

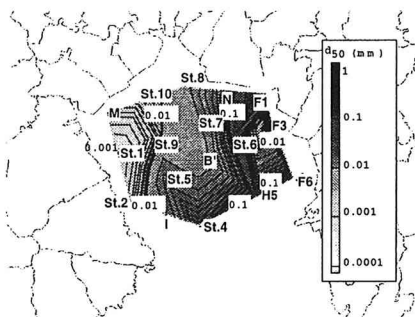


図-9 中央粒径 d_{50} の等値線図

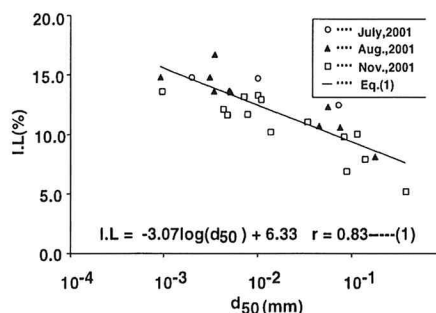


図-10 底泥における d_{50} と I.L. の関係

西部水域の粒径は細かく、シルト・粘土質である。一般に、粒径が小さくなると、有機物などを吸着する能力が増加することから、底泥の細粒化に伴う底質環境への影響として有機物含有量との関係を図-10に示した。ここで、粒径の指標として d_{50} を、有機物含有量の指標として強熱減量 I.L. を用いた。図より、 d_{50} と I.L. には有意な相関が見られ、中央粒径が小さくなるほど強熱減量は大きくなり、西部水域では高有機質土の存在が伺える。

図-11は、鹿島市飯田海岸で採取した干潟底泥（図-1中、St.T地点）の含水比 W・強熱減量 I.L.・酸化還元電位 ORP の鉛直分布である。図より、I.L. は深さ方向にほぼ一様で 13% 程度の高有機質土となっている。また、ORP 分布から、表層下 2～3cm は酸化層であり、それ以深では還元的环境が卓越しており、硫化水素などが生成しやすい状況にあるといえる。さらに、表層部の含水比は 300% 前後の高含水比で波や流れにより容易に流送・巻き上げられる状況にある。このような場合、底泥の酸素消費（SOD）同様に巻き上げによる酸素消費も底質・水質との関係から重要となる。高含水比の表層底泥が巻き上げられ、高濃度の浮泥層が形成されるものと想定し、いくつかの浮泥濃度による酸素消費実験を行った結果が図-12である。また、現地底泥面から 10cm 高さに固定したメモリー式濁度計で SS の経時変化を記録した結果が図-13である。図-12より、単位 SS 当たりの酸素消費速度係数 k を求めると、数 $\text{gO}_2/\text{kgSS} \cdot \text{day}$ のオーダーであった。一般的な底泥の酸素消費速度（SOD）は 0～数 $\text{gO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ なので⁸⁾、

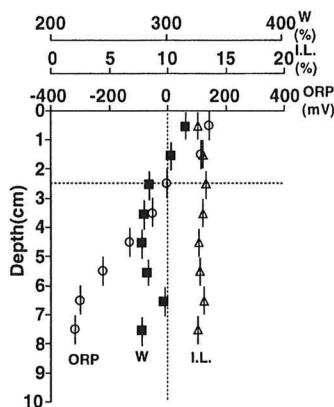


図-11 含水比 W・ORP・I.L. の鉛直分布

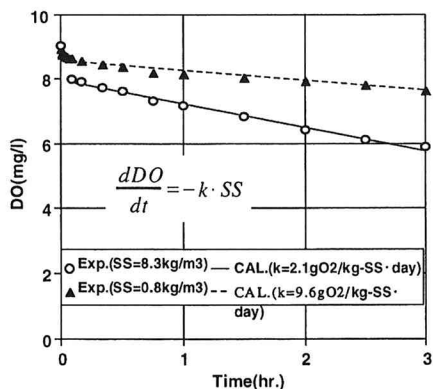


図-12 浮泥の酸素消費実験

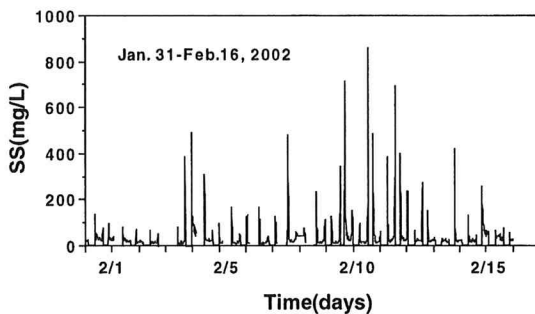


図-13 底面近傍での SS の経時変化

ここでは概算のために $1\text{gO}_2/\text{m}^2\cdot\text{day}$ と仮定する。これは、実験結果から $\text{SS}=0.8\text{kg}/\text{m}^3$ 相当（酸素消費速度 $k=9.6\text{gO}_2/\text{kg}\cdot\text{SS}\cdot\text{day}$ ）の泥が 1m^2 当たりおよそ 0.1kg 底面より巻き上がることに同等となる（ $9.6\text{gO}_2/\text{kg}\cdot\text{SS}\cdot\text{day} \times 0.1\text{kg}\cdot\text{SS} \div 1\text{m}^2 \div 1\text{gO}_2/\text{m}^2\cdot\text{day}$ ）。いま、巻き上がった泥が底面より高さ 10cm まで存在すれば、 $1\text{kg}/\text{m}^3$ の浮泥が存在することになり、上述の概算に用いた $\text{SS}=0.8\text{kg}/\text{m}^3$ とほぼ一致する。このことは、図-13のSS濃度経時変化や二渡ら⁹⁾の調査結果からも、 $\text{SS} \div 1\text{kg}/\text{m}^3$ の浮泥の存在は現実的に生じ得る。従って、浮泥による酸素消費も底泥同様、上層水質に与える影響は大きい。

4. 水質シミュレーション

現地調査から得られるデータの多くは、時間的・空間的な制限を受けるため、対象域の特性すべてを明らかにすることは不可能である。このような場合、目的に応じて数値計算による将来予測を含めた検討がなされることとなる。有明海における水質特性の概略把握を目的として、すでに潮流解析や塩分の挙動について明らかにしている¹⁰⁾。また、CODに着目した結果の一部についても報告済みである¹¹⁾。ここでは、その後さらに計算し検討を加えた結果を示す。なお、水質シミュレーションには、佐藤ら¹¹⁾と同様に既存の2次元流れ・物質輸送モデル、反応項に関する基礎式及びパラメータを用いた。以下に反応項に関する基礎式を示す。

$$\begin{aligned} \frac{d(DO \cdot V)}{dt} = & +K_2 \cdot (C_s - DO) \cdot V - K_{d3} \cdot COD_d \cdot \theta_{d3}^{(T-20)} \cdot V - K_{s3} \cdot COD_s \cdot \theta_{s3}^{(T-20)} \cdot V \\ & - K_{b3} \cdot COD_b \cdot \theta_{b3}^{(T-20)} \cdot A_b - Y_1 \cdot K_4 \cdot NH_3 \cdot \theta_4^{(T-20)} \cdot V - Y_2 \cdot K_5 \cdot NO_2 \cdot \theta_5^{(T-20)} \cdot V \\ & - R_1 \cdot \theta_1^{(T-20)} \cdot F(N, P) \cdot V - R_2 \cdot \theta_2^{(T-20)} \cdot V + P \cdot F(N, P) \cdot V - SOD \cdot \frac{DO}{HS_SOD + DO} \cdot V \quad (2) \end{aligned}$$

$$\frac{d(COD_d \cdot V)}{dt} = -K_{d3} \cdot COD_d \cdot \theta_{d3}^{(T-20)} \cdot V + K_{s3} \cdot COD_s \cdot \theta_{s3}^{(T-20)} \cdot V + K_{b3} \cdot COD_b \cdot \theta_{b3}^{(T-20)} \cdot V_b \quad (3)$$

$$\frac{d(COD_s \cdot V)}{dt} = -K_{s3} \cdot COD_s \cdot \theta_{s3}^{(T-20)} \cdot V + S_1 \cdot COD_b \cdot A_b - K_s \cdot COD_s \cdot A_s \quad (4)$$

$$\frac{d(COD_b \cdot V_b)}{dt} = -K_{b3} \cdot COD_b \cdot \theta_{b3}^{(T-20)} \cdot V_b - S_1 \cdot COD_b \cdot A_b + K_s \cdot COD_s \cdot A_s \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{d(NH_3 \cdot V)}{dt} = & +Y_d \cdot K_{d3} \cdot COD_d \cdot \theta_{d3}^{(T-20)} \cdot V + Y_s \cdot K_{s3} \cdot COD_s \cdot \theta_{s3}^{(T-20)} \cdot V + Y_b \cdot K_{b3} \cdot COD_b \cdot \theta_{b3}^{(T-20)} \cdot A_b \\ & - K_4 \cdot NH_3 \cdot \theta_4^{(T-20)} \cdot V - UN_p \cdot (P - R_1 \cdot \theta_1^{(T-20)}) \cdot F(N, P) \cdot V \\ & - UN_b \cdot K_{b3} \cdot COD_b \cdot \theta_{b3}^{(T-20)} \cdot \frac{NH_3}{NH_3 + HS_NH_3} \cdot A_b \\ & - UN_b \cdot K_{d3} \cdot COD_d \cdot \theta_{d3}^{(T-20)} \cdot \frac{NH_3}{NH_3 + HS_NH_3} \cdot V \\ & - UN_b \cdot K_{s3} \cdot COD_s \cdot \theta_{s3}^{(T-20)} \cdot \frac{NH_3}{NH_3 + HS_NH_3} \cdot V + UN_p \cdot R_2 \cdot \theta_2^{(T-20)} \cdot V \quad (6) \end{aligned}$$

$$\frac{d(NO_2 \cdot V)}{dt} = +K_4 \cdot NH_3 \cdot \theta_4^{(T-20)} \cdot \frac{DO}{DO + HS_nitr} \cdot V - K_5 \cdot NO_2 \cdot \theta_5^{(T-20)} \cdot V \quad (7)$$

表-1 パラメーター一覧

K ₂	曝気係数 (1/s)	Y _s	COD _s の窒素含有率 (mg NH ₃ -N/mg COD _s)
C _s	飽和DO濃度 (mg/l)	Y _b	COD _b の窒素含有率 (mg NH ₃ -N/mg COD _b)
COD _d	溶解性COD(mg/l)	UN _p	植物によるアンモニアの摂取 (mg N/mg O ₂)
COD _s	SS性COD(mg/l)	UN _b	ハクテリアによるアンモニアの摂取 (mg N/mg COD)
COD _b	底層COD (mg/m ²)	P	光合成による酸素生成率 (mg O ₂ /l/day)
K _{d1}	20℃におけるCOD _d 分解速度(1/day)	R ₁	植物の呼吸による酸素消費率 (mg O ₂ /l/day)
K _{d3}	20℃におけるCOD _s 分解速度(1/day)	θ ₁	植物の呼吸に関する温度補正係数
K _{d3}	20℃におけるCOD _b 分解速度(1/day)	F(N,P)	光合成に関するN,P制限項
θ _{d1}	COD _d 分解に関する温度補正係数	HS_NH ₃	バクテリアによる窒素摂取に関する半飽和定数 (mg N/l)
θ _{d3}	COD _s 分解に関する温度補正係数	R ₂	動物・バクテリアの呼吸による酸素消費率 (mg O ₂ /l/day)
θ _{b3}	COD _b 分解に関する温度補正係数	θ ₂	動物・ハクテリアの呼吸に関する温度補正係数
Y ₁	アンモニアに関する菌体収率	HS_nitr	硝化行程に関する半飽和定数
K ₄	20℃における硝化速度 (1/day)	K ₆	脱窒速度 (1/day)
NH ₃	アンモニア (mg/l)	θ ₆	脱窒速度に関する温度補正係数
θ ₄	硝化行程に関する温度補正係数	UP _p	植物によるリンの摂取 (mg P/mg O ₂)
Y ₂	亜硝酸に関する菌体収率	UP _b	ハクテリアによるリンの摂取 (mg P/mg COD)
K ₅	NO ₂ からNO ₃ への変換速度 (1/day)	Y _{d2}	COD _d のリン含有率 (mg P/mg COD _d)
NO ₂	亜硝酸 (mg/l)	Y _{d3}	COD _s のリン含有率 (mg P/mg COD _s)
NO ₃	硝酸 (mg/l)	Y _{d2}	COD _b のリン含有率 (mg P/mg COD _b)
θ ₅	NO ₂ からNO ₃ への変換に関する温度補正係数	HS_PO ₄ -P	バクテリアによるリン摂取に関する半飽和定数 (mg P/l)
SOD	底泥の酸素消費量 (mg O ₂ /l)	CHL	クロロフィルa (mg/l)
HS_SOD	底泥の酸素消費に関する半飽和定数	K ₁₀	クロロフィルC/b (mg CHL/mg carbon)
IN	無機態窒素量 (mg N/l)	K ₈	クロロフィルの死滅速度 (1/day)
KSN	植物光合成制限の窒素に関する半飽和定数	K ₉	クロロフィルの沈降速度 (m/day)
KSP	植物光合成制限のリンに関する半飽和定数	K ₁₁	初期生成時におけるC/O ₂ 比 (mg carbon/mg O ₂)
PO ₄	オルトリン酸 (mg/l)	V	体積(m ³)
S ₁	再懸濁速度(m/day)	V _b	底泥体積(m ³)
K _s	沈降速度(m/day)	A _b	巻き上げに関する底面積(m ²)
H	水深 (m)	A _s	沈降に関わる底面積(m ²)
T	水温 (℃)	A	クロロフィルの沈降に関わる底面積(m ²)
Y _d	COD _d の窒素含有率 (mg NH ₃ -N/mg COD _d)		

$$\frac{d(NO_3 \cdot V)}{dt} = +K_5 \cdot NO_2 \cdot \theta_5^{(T-20)} \cdot V - K_6 \cdot NO_3 \cdot \theta_5^{(T-20)} \cdot V \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{d(PO_4 \cdot V)}{dt} = & +K_{d3} \cdot COD_d \cdot Y_{d2} \cdot V + K_{s3} \cdot COD_s \cdot Y_{s2} \cdot V + K_{b3} \cdot COD_b \cdot Y_{b2} \cdot A_b \\ & - UP_p \cdot (P - R_1 \cdot \theta_1^{(T-20)}) \cdot F(N,P) \cdot V - UP_b \cdot K_{b3} \cdot COD_b \cdot \theta_{b3}^{(T-20)} \cdot \frac{PO_4}{PO_4 + HS_PO_4} \cdot A_b \\ & - UP_b \cdot K_{d3} \cdot COD_d \cdot \theta_{d3}^{(T-20)} \cdot \frac{PO_4}{PO_4 + HS_PO_4} \cdot V \\ & - UP_b \cdot K_{s3} \cdot COD_s \cdot \theta_{s3}^{(T-20)} \cdot \frac{PO_4}{PO_4 + HS_PO_4} \cdot V + UP_p \cdot R_2 \cdot \theta_2^{(T-20)} \cdot V \end{aligned} \quad (9)$$

$$\frac{d(CHL \cdot V)}{dt} = +(P - R_1 \cdot \theta_1^{(T-20)}) \cdot K_{11} \cdot F(N,P) \cdot K_{10} \cdot V - K_8 \cdot CHL \cdot V - K_9 \cdot CHL \cdot A \quad (10)$$

また、表-1にパラメーター一覧、図-14にモデルの概念図を示す。

本モデルは、有機物の指標としてCODを用い、これを溶解性・懸濁性に分けた。窒素の指標としてNH₄-N・NO₂-N・NO₃-N、リンの指標としてPO₄-P、藻類の指標としてChl-aを用いた。本モデルにおいてはChl-aのCOD換算は個別に算定した。各パラメータは水理公式集⁸⁾を参考に設定した。

解析対象領域は有明海全域とし、その領域を500mメッシュに区切り、外海との海水交換は早崎瀬戸で与えた。また、干潟域には移動境界を設定した。実測値として、毎月大潮満潮時に佐賀県・福岡県・熊本

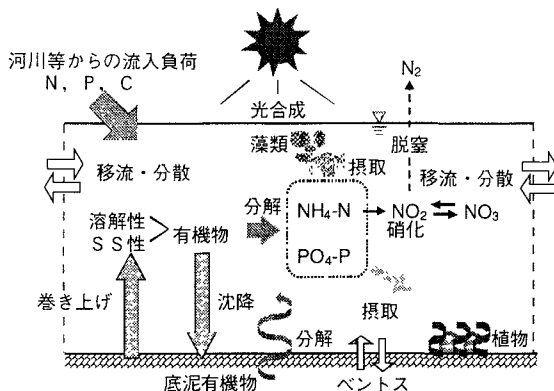


図-14 モデル概念図

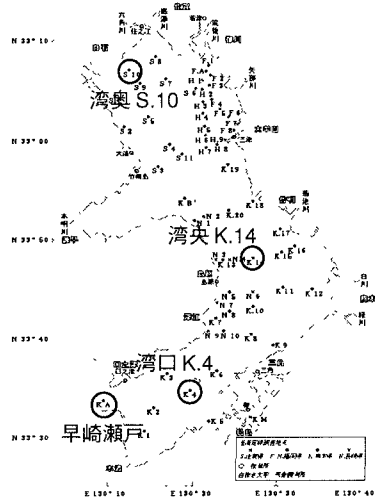


図-15 浅海定線調査地点と計算地点

県が行っている浅海定線調査地点の値を用いた（図-15 参照）。流動シミュレーションの初期条件は、全湾において振幅、流向・流速は0とし、約1ヶ月間の計算結果が安定した後のデータを用いている。水質の初期条件は浅海定線調査から得られる鉛直方向の実測データから断面平均濃度を算出して与えた。境界条件として、有明海に注ぐ各一級河川のL-Q回帰式から汚濁負荷を与え、開境界には、早崎瀬戸付近の浅海定線観測値（図-15 参照）を与えた。計算期間は1995年1月から1995年12月とした。なお、分散係数は、流速・塩分に関して、すでに良好な再現結果を得ている潮流シミュレーション、塩分を用いた物質輸送シミュレーションの結果を用いた¹⁰⁾。

図-16は、有明海に流入する負荷を外海由来と河川由来のみで計算を実施した結果である。湾口（K.4）・湾央部（K.14）における計算結果では、実測値と良好な結果が得られた。一方、湾奥部（S.10）の計算結果は、降雨期による河川負荷の増加時に若干の増加は見られるものの、実測値よりも低く推移し、最終的には湾口・湾央部の収束値に漸近している。このことから、有明海への流入負荷として河川由来の負荷のみでは湾奥部のCOD変動を再現できないことがわかる。そこで、CODを溶解性のものと懸濁性のものとに区分し、底泥からの巻き上げ・沈降を考慮した計算を行った（図-17参照）。図より、底泥からのCOD供給を考慮することで湾奥部でのCOD変動の再現性が向上したことがわかる。堆積底泥は長年にわたる外部負荷の貯蔵地として有機物の流入を受け入れているため、底泥・浮泥などを考慮せずに、外部負荷のみでの湾内水質予測は困難である。このように、湾奥部のCOD変動を予測するには、外海や河川由来の負荷だけでは再現できず、底泥の巻き上げや沈降、さらには底泥内の質変換を伴う水・底泥間の輸送機構を含めた考慮

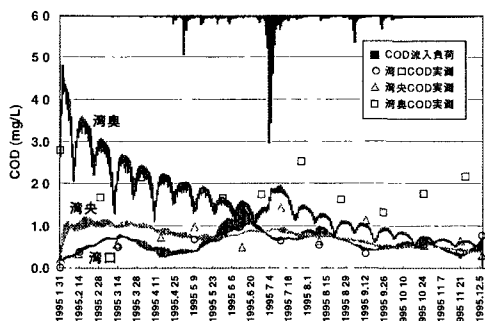


図-16 COD 計算結果（河川負荷のみ）

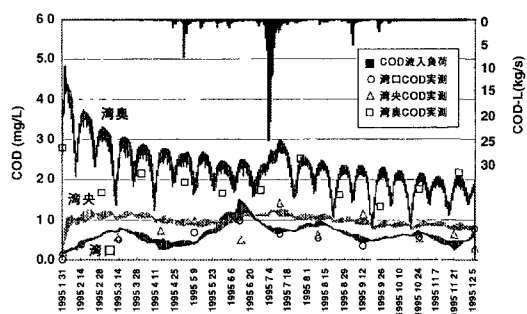


図-17 COD 計算結果（巻き上げ・沈降考慮）

が必要である。なお、今回の調査結果のみでは十分なパラメータ値の設定は行えず、多くの点で従来の研究（例えば、水理公式集⁸⁾や楠田¹²⁾、など）を参考にしている。この点からも必要な環境因子にかかわる調査も数値計算と同時に進める予定である。

5. おわりに

本研究では、有明海湾奥部の東部水域と西部水域の底質環境を考慮し、観測データに基づく有明海の水質特性についてその一部を取りまとめた。今後は、西部水域の硝酸素水塊の発生・消滅、水・底質間での物質輸送機構、陸域・水域を含めた中での窒素・リンの輸送機構、などについて検討を続ける予定である。また、現地調査とともに湾内の水質変動を予測やそのメカニズムの解明のための一手法として有効な数値計算による有明海湾奥部を含めた全域での水質変動、特にCODについていくつかの知見を述べた。その中で、湾内に堆積する底泥・浮泥の挙動や水-底泥間の輸送機構の重要性を示し、これらの湾内水質への影響は無視できないことを明らかにした。

なお、本研究を遂行するに当たり、佐賀県有明水産振興センターよりデータ提供等の便宜を図っていただいた。また、当時佐賀大学理工学部4年生・今村耕一郎、菅杏里両君には現地調査をはじめデータ整理等で多大なご協力をいただいた。さらに、生研機構・地域コンソーシアム「有明海」プロジェクト（代表：林重徳）、佐賀大学有明海等総合調査研究会議（低平地クラスター）および文部科学省科学研究費補助金（萌芽研究No.14655192）より補助を受けた。ここに、記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 川村嘉応・北嶋博卿・小澄千尋・山下康夫：「六角川河口沖定点における微細環境－I：珪藻類と水温・塩分・栄養塩類との関連について」、佐賀有明水試報，第10号，pp.71-88，1986.
- 2) 代田昭彦：「非生物体ニゴリの研究－I：河口域における栄養塩濃度の変動に關与するニゴリ」，Bull. of the Japanese Soc. of Sci. Fisheries，45（9），pp.1123-1128，1979.
- 3) 荒木宏之・Narumol Vongthanasunthorn・古賀憲一・山西博幸・大串浩一郎：「有明海の水質とボックスモデルを用いたシミュレーション」，環境工学論文集，Vol.39，2002（印刷中）.
- 4) 大串浩一郎・Thian Yew Gan・荒木宏之：「人工衛星画像を用いた有明海の水質解析」，水工学論文集，第46巻，pp.995-1000，2002.
- 5) 原田浩幸・滝川 清：「有明泥質・砂質干潟底泥の水質浄化機能と生物攪乱の影響」，海岸工学論文集，第48巻，pp.1126-1129，2001.
- 6) 大隈 齊・江口泰蔵・川原逸郎・伊藤史郎：「有明海湾奥部の底質およびマクロベントス」，佐賀有明水試報，第20号，pp.55-62，2001.
- 7) 國松孝男・村岡浩爾：「河川汚濁のモデル解析」，pp.117-124，技報道出版，1989.
- 8) 土木学会編：「水理公式集－平成11年度版－」，713p.，土木学会，1999.
- 9) 二渡 了・楠田哲也・大石京子：「強混合河川六角川感潮部における懸濁物質濃度の変動特性」，土木学会論文集，Vol.452，pp.71-79，1992.
- 10) 稗田吉伴・佐藤公俊・荒木宏之・古賀憲一・町田史子：「有明海の海象及び水質特性に関する基礎的研究(III)－数値モデルを用いた水質解析－」，平成12年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，B-454-455，2001.
- 11) 佐藤公俊・荒木宏之・山西博幸・古賀憲一・今村耕一郎・菅杏里：「有明海における水質シミュレーションに関する基礎的研究」，平成13年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，B-470～B-471，2002.
- 12) 楠田哲也編著：「自然の浄化機構の強化と制御」，242p，技報堂出版，1994.