

(9) 周防灘における富栄養化シミュレーション解析

山口大学工学部 ○中西 弘 浮田正夫
九州理工専門学校 河合泰治
九州産業大学 加納正道
東京設計事務所 松本 毅

1 まえがき

瀬戸内海の西部に位置する周防灘は、北部沿岸に周南地区（徳山、新南陽、下松、光、防府）および宇部小野田、下関地区の化学コンビナートをひかえ、関門海峡を通して響灘に北九州工業地帯を持ち、南部は以前から底質悪化の顕著な豊前海に面する閉鎖性の海域である。周防灘の大規模工業開発計画は夢物語に終わったが、面積3100Km²、容積73.63Km³、平均水深23.7mの沿岸遠浅のこの水域は、今なお埋立てのポテンシャルの高い地域である。沿岸域を除いて大部分は水質環境基準海域A類型の適用水域であるが、その適合率は低い。昭和30年頃から徳山湾に赤潮の発生がみられ、水域全体に富栄養化が進んでいる。

本研究は、周防灘全域およびその西部海域を対象にして、COD、窒素、リンなどの主要な汚濁因子の汚濁要因を明らかにして、この水域の今後の環境保全に役立てるために、ボックスモデルおよび拡散シミュレーションによる富栄養化の現況解析と将来予測を行った。また、それらの結果から、この水質の水質改善に対する具体策を検討した。研究は、1)シミュレーション解析に必要な検証用の水質および底質調査、既往の水質資料の収集整理、2)水質予測計算のための諸元、諸係数の設定に関する現場および室内実験、既往の水質資料の解析、4)汚濁負荷量の算定、5)水質シミュレーションモデル、6)モデルの検証と将来予測、7)水質保全対策 などについて行った。なお、水質調査については、一部九州環境管理協会の協力によった。

2 水質および底質調査

2.1 水質調査；水質調査は、昭和54年2月、3月、および7月、8月、9月にかけて集中的に行った。調査地点は、周防灘全域におよぶが、新門司前面海域を中心に周防灘西部海域に重点をおいた。調査地点数は総計50地点、一般の表層試験、中層および底層試験、連続定点観測を行った。調査項目は、水温、水色、透明度、COD、溶解性COD、全窒素、溶解性窒素、全リン、溶解性リン、クロロフィル(a,b,c)、DO、BOD、無機性窒素(NH₄-N、NO₂-N)、ケルダール性窒素、溶解性ケルダール性窒素、塩素イオン、一次生産速度などである。一次生産速度は、屋外に設けた光合成実験用水槽で、光量を透明度の1/2、1、2倍水深の状態にして、明びん、暗びん法によって測定した。また、各水域のプランクトンを捕集して、乾燥重量当りのCOD、全窒素、全リン、TOC、クロロフィルの割合を求めた。調査結果をまとめると次のようになる。

1) COD、窒素、リンの三層平均値を図1に示す。COD分布の特徴として、周防灘西部は中央部を除いて2ppmを越えることが多い。また、新門司地先では冬季でも2ppmを越えることが多い。全窒素では0.2~0.3

図1 水質調査結果(S.54)平均等濃度線

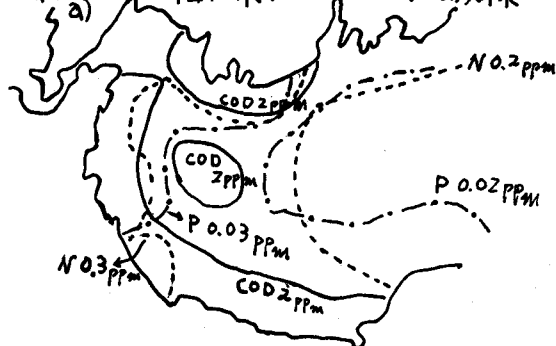
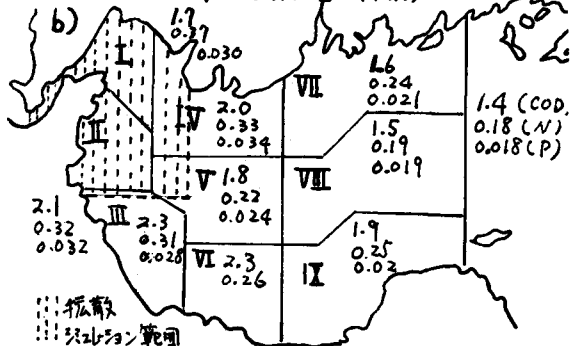


図1 モデルの範囲と代表水質 (PPM)



ppmの範囲のところが多い。特に西部沿岸や北西部の沿岸の濃度が高い。全リンでは0.02~0.03ppmの範囲が多く、特に北西部では0.03ppmを越えている。浮遊性のCOD、窒素、リンの占める割合は、それぞれ31~41%、20~39%、25~65%であり、COD、窒素では約1/2、リンでは約1/3程度が浮遊性物質で占められている。

2) 透明度、クロロフィル量、COD(全および浮遊性)、一次生産量などのプランクトンの消長に関係深い項目についてみると、透明度は周防灘西北部から南東部にかけて高くなっているが、夏季は1.7~7.7m、冬季は3.0~10.0m程度であり、北西部はかなり悪い。この傾向はクロロフィル量でも同様な傾向にあり、値は2~13 $\mu\text{g}/\text{L}$ 程度である。なお、クロロフィル量は夏と冬とであまり差がない。浮遊性のCODはプランクトンの生産に関係するが、底泥の巻き上りも関係しているので明瞭な関係は認め難いが、夏季の水質変動は植物プランクトンの消長と明らかに関係がある。総生産速度は沿岸部に高く、沖合部に低い傾向がみられるが、地点や日時によってかなり変動がみられるが、3~23 $\text{gO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ の値が得られており、中央部は10 $\text{gO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ 程度であった。また、透明度とクロロフィルとの間には逆相関の関係が認められた。

3) 8月に行った4地点の15日間の連続試験結果からみれば、植物プランクトンは強い風のおさまった1~2月後から顕著な増殖がみられる。全CODも溶解性CODも同様な変動を示し、プランクトンの多いときに濃度が高くなる傾向がある。プランクトンの減少にもかかわらず風の強いときCODが増加する傾向にあるが、これは底泥のまきあがりに起因するものと考えられる。しかし水質分析からそれらの定量的な分別は困難である。各水質の平均値と変動係数をみれば、変動係数はクロロフィルaが最も大きく、53~78%、次いで全リン、CODであり、総窒素が最も変動が小さく15~23%である。なお、この水域の特性として夏季にはプランクトンの増減による水質変動が、冬季には浮泥のまきあげによる水質変動が卓越しているものと思われる。

4) プランクトンネットで採集したプランクトンの組成は、COD53~127%であり、冬の値は夏より高い。

総窒素は2.53~3.30%であり、底泥の10倍程度である。また、全リンは0.156~0.266%であり、底泥の5倍程度である。TOCは17.5~24.1%、クロロフィル量は0.056~0.37%で、海が荒れ底泥のまきあげのあった時期には相対的に低くなっている。TOC/CODは1.47~3.5%、全窒素/全リンは9.7~16.2%である。

5) 水深方向の変化の特徴として、浮遊性のCOD、総窒素、全リンやクロロフィルの相互の割合でみると、季節によって顕著な変化のみられない時期と底泥のまきあげの影響のある時期とが認められた。底泥直上水では、プランクトン類、プランクトンの遺骸と思われる微細な有機物、あるいは微細泥による濁りがみられるが、冬季に比較して夏季には一般にまきあがりにくい。

2.2 底質調査 ; 底質調査地点は全部で70地点であり、表層泥(2cm)、柱状泥(約20cm)、および混合泥(表層5cm混合)を採集した。調査項目は、含水比、強熱減量、COD、全窒素、全リン、間引き水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、可溶性の $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、BDN(Biological Degradable Nitrogen)、BDP、IOD(Immediate Oxygen Demand)、重金属類(Zn, Ca, Pb, Fe, Cu, Cd, Ni)、74 μ ふるい通過重量百分率、沈降速度 $0.2 \times 10^{-5} \text{m}/\text{S}$ 以下の微細泥率、COD、窒素、リンそれぞれの溶出率、底泥表面のDO消費性などである。ここでBDN、BDPは微生物によって分解可溶化され、溶出可能量の総量を示したもので、102mlのDOびんに湿泥5gを入れ、嫌気海水を充し、嫌気状態で30℃ 10日間培養した後の可溶性 $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ の量であり、 $\mu\text{g}/\text{g}$ 湿泥であらわしている。また、IODは湿泥10gを300mlの広口びんにとり、DO飽和海水を充し、密栓して十分振とう(15分間)、2~3時間静置後のDO消費量を測定したものである。調査結果は次のようである。

1) 表層泥の色は、冬は灰褐色が大部分を占め、好気的環境にあるが、夏は灰々黒色~灰黒色で H_2S 臭や魚臭が感じられる。強熱減量は乾泥当り10%前後、CODは乾泥当り5~20 mg/g 、全窒素は800~2700 $\mu\text{g}/\text{g}$ 、全リンは400~650 $\mu\text{g}/\text{g}$ であった。全窒素は夏の方が若干低い値を、全リンは夏の方が若干高い値を示している。

2) 間引き水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 、可溶性 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、BDNは窒素の溶出速度と関係がある。 $\text{NO}_3\text{-N}$ の値はほとんど無視できる。間引き水の $\text{NH}_4\text{-N}$ では冬の値に比べて夏はほぼ2倍、可溶性の $\text{NH}_4\text{-N}$ ではほぼ1.4倍の値を示してい

る。BDNは平均的に夏の値は冬の値の0.7倍程度と低い。これは夏は分解が盛んであるためと思われる。

間げき水の $\text{NH}_4\text{-N}$ は $1.0\sim 5.0\text{mg/L}$ 、可溶性 $\text{NH}_4\text{-N}$ は $1.4\sim 6.0\mu\text{g/g}$ 湿泥、BDNは $6.7\sim 29.0\mu\text{g/g}$ 湿泥の値を示している。

3) 間げき水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 、可溶性 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、BDP、IODなどは、主としてリンの溶出速度に関係する項目であるが、平均的に間げき水 $\text{PO}_4\text{-P}$ では夏は冬の3.5倍、可溶性 $\text{PO}_4\text{-P}$ では夏は冬の約2倍、BDPでは逆に夏は0.8倍に減少している。間げき水の $\text{PO}_4\text{-P}$ は $0.07\sim 2.4\text{mg/L}$ 、可溶性 $\text{PO}_4\text{-P}$ は $0.3\sim 2.0$ (平均 1.0) $\mu\text{g/g}$ 湿泥、BDPは $35\sim 20$ (平均 10) $\mu\text{g/g}$ 湿泥、IODは $18\sim 78\mu\text{gO}_2/\text{g}$ 湿泥、DO消費性は $160\sim 310\text{mgO}_2/\text{m}^2\cdot\text{日}$ の値を示した。

4) COD、窒素、リンの溶出速度については、柱状泥について実験を行った。CODの溶出は測定誤差範囲内であったので、有機態窒素の溶出速度から推定した。その結果は $1\sim 48$ (平均 13) $\text{mgCOD}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ の値であった。窒素の溶出速度は、夏は冬に比べて約2倍程度大きい値を示した。すなわち、冬では $0.6\sim 21$ (平均 9.6) $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ 、夏では $4.8\sim 84$ (平均 20.2) $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ の範囲であった。リンの溶出速度は、冬季は測定誤差範囲内($0.1\sim 0.3\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{日}$)であり、ほとんど溶出はないものと考えられる。夏季は $0.1\sim 19.2$ (平均 3.5) $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ であり、地点によって大きな差がみられる。リンの溶出は底泥の嫌気状態によって大きく左右されるが、年平均でみると $0.3\sim 9.6$ (平均 1.8) $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ を示している。図2は、溶出速度の水域分布である。また、図3は溶出速度の季節変化の1例であり、冬に比べて夏は窒素で3倍、リンで5倍程度の高い溶出速度を示している。

5) 底泥のまきあがりに関して、底泥の粒度、沈降速度による分類を試みたが、 74μ ふるい通過百分率では80, 90, 95%の等値線が描けた。また、沈降速度 $10\times 10^{-5}\text{m/s}$ 以下の微細泥率の分布をみると50, 60%で等値線が描ける。その他、沈降速度 $1\times 10^{-5}\text{m/s}$ や $0.2\times 10^{-5}\text{m/s}$ 以下の微細泥率の分布で5~10%の範囲で等値線が描けた。 50μ 以下の微細泥について、COD、窒素、リンの含有量を測定したが、CODは $2\sim 25\text{mg/g}$ 乾泥であり、全表層泥の2倍程度の高い値を示している。全窒素は $1000\sim 2500\mu\text{g/g}$ 、全リンは $600\mu\text{g/g}$ 程度であり、全表層泥と同程度かやや高めの値を示す。底泥のまきあげに関する定性的な実験では、 $5\sim 10\text{cm/s}$ の乱れで浮上するのは泥表面の有機物に富んだフロックが主体であり、 20cm/s では微細な粘土粒子がまきあがる。

冬には 5cm/s の乱れで浮上が始まり、夏では 10cm/s の乱れで若干まきあがる傾向にあった。こうしたまきあがりの傾向に関するおおよその地域分布が明らかとなった。

74μ 以下の微細粒子をけん濁させた24時間後の上澄水の浮遊物中のCOD組成は約10%であり、プランクトン中のCODの値にはほぼ等しい。

6) 底泥の重金属分布からみて、Ca, Pb, Cu/Mgなどは陸域の自然地質や工業特性と関係づけられる傾向が認められた。

7) 底泥の上層水におよぼす影響の総合評価指標として、COD溶出速度+窒素、リンの溶出速度のCOD換算速度+CODまきあげ速度の和で求めることとし、その地域分布を求めた。全般的に総合評価指標として、COD $200\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ 以上のところが多い。なお、まきあげ速度については、まきあげ頻度とまきあげ粒子の底泥表面密度との積を想定しているが、まだ十分に検討できていない。

図2 窒素、リン溶出速度等値線



図2 ボックスの窒素、リン溶出速度

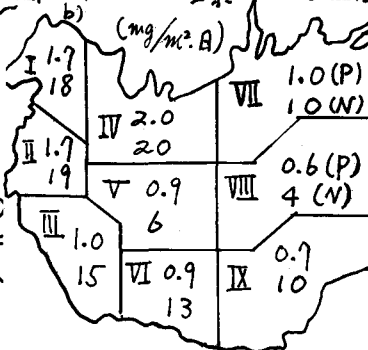
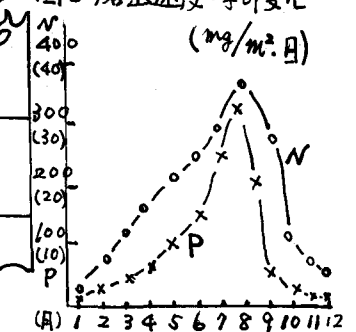


図3 溶出速度の季節変化



3 水質シミュレーション

3.1 水質シミュレーションモデル

周防灘という広い水域を対象にした富栄養化の、現況および将来の水質予測にあたって、ボックスモデルによる解析を行った。また、新門司を中心として周防灘西部海域について、拡散シミュレーションモデルによる解析を行った。これは、広水域について全体像を把握し、その中の特定水域についてより詳しい検討を行うという手法が、解析精度をあげるうえで有効であると考えられるからである。

ボックスモデルでは、計算容量が小さい、定常計算により未定量の1つが推定できる。細部にわたる場所的、時間的評価ができないなどの特徴をもつが、全体を把握するうえで有効である。周防灘を9つのボックスに分割し、各ボックス内の物質収支を求めた。基礎式は次の式であり、ボックス内の汚濁物質の変化は、流入負荷量、移流量、拡散量および内部変化量によって規定される。対象水域はCOD、全窒素、および全リンである。

$$V_i \frac{dC_i}{dt} = L_i + \sum_{ij} Q_{ij} C_i + \sum_{ij} K_{ij} (C_j - C_i) + R_i V_i$$

ここで、 C_i ; i ボックスの塩素イオン、COD、全窒素、全リン濃度ppm、 V_i ; i ボックスの容積 $10^3 m^3$
 L_i ; i ボックスへの流入負荷量 $kg/日$ 、 Q_{ij} ; i から j ボックスへの移流量 $10^3 m^3/日$ 、 K_{ij} ; i j ボックス間の拡散量 $10^3 m^3/日$ 、 $R_i V_i$; i ボックス内の変化量 $kg/日$ 、 R_i ; i における変化濃度 ppm

また、 R_i については、塩素イオンでは、 $R_i = 0$ 、 $L_i = 0$ であるが、COD、窒素、リンでは次の式で示される。

$$COD ; R_C = -\left(\frac{W}{H}\right)\left(\frac{ssC}{C}\right)C + \phi_C/H - K_C C, \quad \text{全リン ; } R_P = -\left(\frac{W}{H}\right)\left(\frac{ssP}{P}\right)P + \gamma_P/H$$

$$\text{全窒素 ; } R_N = -\left(\frac{W}{H}\right)\left(\frac{ssN}{N}\right)N + \gamma_N/H - K_N N,$$

ここで、 W ; 浮遊物 ss の沈降速度 $m/日$ 、 H ; 水深 m 、 γ_P, γ_N ; リン、窒素の底泥よりの溶出速度 $mg/m^2 \cdot 日$
 C, N, P ; COD、窒素、リン濃度ppm、 ssC, ssN, ssP ; 浮遊性のCOD、窒素、リン
 K_N ; 脱窒素速度定数 $(1/日)$ 、 K_C ; CODの分解速度定数 $1/日$ 、 ϕ_C ; CODの生産速度 $g/m^2 \cdot 日$

すなわち、各ボックス内の水質変化は、これまでの水質、底質調査の結果から重要と考えられる項目として、CODでは沈降、分解、生産、リンでは沈降、溶出、窒素では沈降、溶出、脱窒の現象を取りあげた。ここでは、沈降は底泥のまきあげも含めた正味の沈降を意味している。

計算は、現況 V, C, L, Q を既知として、定常状態を仮定して、1) C の収支より K_{ij} を求める。2) リンの収支より他の項を既知として W を求める。3) 窒素の収支より K_N を求める。4) CODの収支より K_C を求める。また、将来水質予測において、 L や γ_P を変化させて C を求めた。

拡散シミュレーションでは、計算に用いた基礎式は次の式である。

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -u \frac{\partial P}{\partial x} - v \frac{\partial P}{\partial y} + D_x \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \phi_P - \frac{W}{H} \frac{ssP}{TP} P + \frac{\gamma_P}{H}$$

ここで、 P ; 一次生産に利用可能なリン濃度ppm、 u, v ; x, y 方向の流速 m/sec 、 D_x, D_y ; x, y 方向の拡散係数、 TP ; 全リン濃度ppm、 ϕ_P ; リン負荷量(利用可能) $kg/日$ 、 γ_P ; リンの溶出速度 $mg/m^2 \cdot 日$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -u \frac{\partial C}{\partial x} - v \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \phi_C - \frac{W}{H} \left(\frac{ssC}{C} \right) C - R_C C^2 + \frac{\phi_C}{H} + \frac{Mc}{H}$$

ここで、 C ; COD濃度ppm、 ϕ_C ; COD負荷量 $kg/日$ 、 R_C ; COD分解速度定数 $1/ppm \cdot 日$
 ϕ_C ; COD生産速度 $g/m^2 \cdot 日$ 、 Mc ; CODまきあげ速度 $g/m^2 \cdot 日$

拡散シミュレーションでは、COD濃度の内部変化において、沈降、まきあげ、生産、分解の現象を取り

あげたが、CODの分解はその濃度の2乗に比例するとした。計算は周防灘西部海域を600mのメッシュに分割して行ったが、現状濃度の再現を時間的、場所的に詳細なものとすることができ、移流や拡散が潮流の流向速に左右されるので、正確な潮流データが必要である。

3.2 計算に必要な諸係数の設定

1) 検証用の水質濃度と溶出速度分布 検証用の水質濃度分布は、2で述べた水質測定結果や環境庁、沿岸各県の測定資料などを参考にして作成したが、ボックスモデルのボックス分割とその代表水質を図1にあって記入した。また、各ボックスの溶出速度の代表値は図2に記入した。拡散シミュレーション用のものは紙数の都合で割愛したが、まきあげ速度は $(6\sim39)\times10\text{mg COD}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ の範囲で分布を示した。

2) 流入負荷量 COD, 窒素, リンの負荷量は、実測値を参考にしながら原単位法によって求めたが、基本的な数値は可能な限り地域の特性を加えた。ここで、デポジットケージを周防灘周辺9地区に設置して、大気からの降下負荷をCOD, 窒素, リンについて求めた。ここであらたに特徴的に言えることはCODの降下負荷であり、地域によって $52\sim15\text{mg COD}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ の値が得られた。流入負荷量は、現況(昭和52年)および将来(60年)について求めたが、将来のフレームがはっきりしてないところでは2, 3の仮定を設けた。なお、拡散シミュレーションでは、各メッシュごとに細分化した負荷量の算定が必要である。ボックスモデル対象区間の現況および将来の負荷量は、COD 61.9, 56.1t/日, 窒素49.0, 47.0t/日, リン3.11, 2.55t/日となった。

3) COD生産速度および分解速度 これまでに検討した結果より、COD生産速度はつぎのように設定した。総生産量($\text{g COD}/\text{m}^2\cdot\text{日}$) $\phi_c = (143/3)TP = 47.7TP$, または、 $\phi_c = (19.7/3)TN = 6.5TN$

ここでTPは全リン濃度ppmであり、143はリンのTOD換算量、3は $TOD = 3\text{ COD}$ からきている。また、TNは全窒素濃度ppm、19.7は窒素のTOD換算量である。

一方、CODの分解速度については、実測資料においてかなりばらつきがあり、季節によって状況が異なるが、拡散シミュレーションにおける数値の設定において、多くの実測資料の結果より次のようにおいた。

COD分解速度 $1/\text{ppm}\cdot\text{日} = K_c C^2 = 0.04 C^2$, ($C = \text{COD ppm}$)

なお、ボックスモデルでは計算結果より、分解速度 $= K_c C$ において $K_c = 0.019\sim0.079$ (平均0.041)/日 とおいた。

4) 沈降速度 沈降速度の実測は困難であるが、実測や東京湾の資料¹⁾などを参考にして、静止プランクトンの沈降速度を1.02 m/日とおいた。ボックスモデルでは、まきあげも含めた正味の沈降速度を計算結果より、 $0.08\sim0.49$ (平均0.20) m/日 とおいた。

5) 溶出速度、まきあげ速度 溶出速度は図2に示すように実測よりCOD $0.001\sim0.05$ (平均0.01) $\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{日}$, 窒素は年間0.003 ~0.061 , 冬0.001 ~0.03 , 夏は0.005 ~0.084 $\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{日}$, リンは年間0.003 ~0.01 $\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ であった。また、まきあげ速度は0.002 ~0.15 $\text{g COD}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ においた。

6) 脱窒素速度 脱窒素速度はボックスモデルにおいて、計算により求め、速度定数 K_N は0.0009 ~0.0099 /日とした。

7) その他 流況計算は東洋情報システムの資料を参考にし、計算の時間間かくは、ボックスモデル1日、拡散シミュレーションは600秒である。これらの結果を表1にまとめた。

3.3 計算結果

計算は、ボックスモデルでは、現況濃度を対象にした定常計算による未定係数の決定、拡散シミュレーションでは現況濃度の再現を行った。これらの結果を用いて、糞尿負荷に対するCOD,

表1 水質シミュレーションの諸係数の設定

ボックスモデル	拡散シミュレーション
流入負荷量(陸上)	COD 621/日, N 48.9/日, 93.111/日
降下負荷量 t/日	24.5 8.85 0.43
容 積 10^3m^3	90,962 (9分割)
表面積 km^2	2,350 390
淡水流入量 $10^3\text{m}^3/\text{日}$	10,903 2,366
平均濃度COD ppm	1.5 $\sim$ 2.2
N "	0.18 $\sim$ 0.35
P "	0.02 $\sim$ 0.03
COD生産速度中 ($\text{g COD}/\text{m}^2\cdot\text{日}$)	$\phi_c = 6.5N$ or $\phi_c = 47.7P$ 0.08 $\sim$ 0.49
沈降速度W ($\text{m}/\text{日}$)	平均0.198 (2.01) 以上で0, 流速0 を差し引いた正味 m/sec で1.02/日 (の値)
SSCOD/COD, SSN/N, SSP/P比	0.4, 0.333 0.5
COD分解速度定数 K_c (1/日)と	$K_c = 0.019\sim0.079$ $K_c = 0.04 C^2$
COD分解速度 R_c ($\text{ppm}/\text{日}$)	平均0.041 (計算) ($C: \text{COD ppm}$)
底泥よりの溶出速度 COD ($\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{日}$)	0.001 $\sim$ 0.05 (年間平均0.01)
N	0.003 $\sim$ 0.061 (年間)
P	冬0.001 $\sim$ 0.03 0.003 $\sim$ 0.01 夏0.005 $\sim$ 0.084 (年間)
脱窒素速度定数(1/日)	0.0009 $\sim$ 0.0099
底泥まき上げC(1/日) ($\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{日}$)	正味の沈降速度に付 0.002 $\sim$ 0.15 (年間)
移流水量, 潮流速	流況計算結果より(東洋情報システム)
拡散水量	C.I. 収支より計算
拡散係数	$D_x = 2.11\sqrt{g}$, $nh^2 V$ $D_y = 2.11\sqrt{g}$, $nh^2 u$
Δx Δy Δt	1日 600 m, 600 sec

窒素、リンの濃度予測、種々の負荷量削減対策に対する濃度予測計算を行った。計算結果はつぎのようにまとめられる。

1) ボックスモデルと拡散シミュレーションにおいて、ほぼ現状の水質を満足させられる計算結果が得られた。また、種々の濃度予測計算においてにも両モデルともほぼ一致した値が得られた。図4は、拡散シミュレーション計算結果による現況COD再現結果である。また、表2は、ボックスモデルにおける、沈降速度、脱窒速度定数、COD分解定数の計算結果を示す。

2) 現況水質における物質収支について、ボックスモデルによる計算結果は、図5に示すとおりである。また、水質シミュレーション結果における現況COD組成図は、図6のとおりである。ボックスモデル結果よりCODの構成要素を解析すれば、ボックスⅡ(新門司前面海域)に加えられるCOD負荷の割合は(陸域負荷を1.0とする)陸域(大気を含む)より;1.0, 正味のプランクトン生産;9.7, 正味の沈降; -6.3, 移流拡散; -4.4であり、拡散シミュレーション結果でも同水域を対象にした場合、陸域より;1.0, プランクトン生産;11.9, 移流拡散; -4.8, まきあげ;4.8, 分解; -7.4, 沈降; -5.5となり、この水域のCODに最も大きく寄与しているのはプランクトンの増殖による一次生産量であり、それは陸域よりのCOD負荷量の約10倍に相当する。したがって、この水質のリン濃度を下げることがCOD対策としても有効な方法であることが明らかである。

3) 将来水質について、①将来負荷、②将来負荷+埋立(36Km²)+A区しゅんせつ(17.64Km²)、③将来負荷+埋立+AおよびB地区しゅんせつ(11.52Km²)、④将来負荷+埋立+A+B+Cしゅんせつ(170Km²)、⑤三次処理による将来負荷の削減+埋立+A, B, Cしゅんせつの5つのケースについて、新門司前面海域(ボックスⅡ)の水質予測を行った結果、両モデルの計算結果はほぼ一致し、この地域の下水処理を3次処理まで行って放流水のリン濃度を0.5ppm以下にするか、前面海域A地区の底泥をしゅんせつして、底泥からのリン供給量を下げることにより、現況の平均COD 2.2 ppmを環境基準A, COD 2.0 ppm以下にすることができることが明らかとなった。図7は、埋立およびしゅんせつ想定地域であり、図8は、水質予測値である。

4 むすび

水域の水質汚濁解析を行うとき、その水域の水質特性を十分に把握していなければならない。周防灘については、水質資料が十分に整っていないので、富栄養化の特性を明らかにするために、多くの実験や実測を重ねた。特に、海域のCODの中味を検討するために、種々の水質測定項目を浮遊性のものと溶解性のものとに分けて、それぞれの相関を求めたが明確な結果は得られなかった。また、底泥の影響について、静的な溶出のみならず、まきあげの影響がかなりあることが定性的には明らかとなったが、定量化は不完全である。流況についても、水質測定結果からその特性を明らかにすることを試みたが十分な成果は得られていない。

こうした種々の検討が不備のまま、水質シミュレーション解析を行ったが、ある程度の成果は得られた。しかし、基礎データの不足は否定できない。今後の課題として、浮泥のまきあがりに関する調査の継続、冬季や荒天時前後の連続水質調査、関門海峡や沿岸干潟部の生産量や分解量の調査などが必要である。最後にこの研究に多大の協力を得た北九州市港湾局、九州環境管理協会、および山口大学や九州産業大学の研究室のスタッフや学生諸君に感謝する次第である。

参考文献

- 1) 運輸省第二港湾建設局;東京湾底質浄化調査報告書 昭53年
- 2) 九州環境管理協会;周防灘水質汚染調査報告書 昭54年3月
- 3) 北九州市港湾局;周防灘水質汚染調査結果報告書 昭54年12月

表2 ボックスモデル計算結果

BOX	沈降速度 m/日	脱窒素速度 定数 1/日	COD分解 速度定数1/日
1	0.49	0.00456	0.07940
2	0.27	0.00994	0.05393
3	0.19	0.00143	0.04963
4	0.20	0.01318	0.06262
5	0.09	0.00038	0.02709
6	0.15	0.00234	0.02778
7	0.21	0.00880	0.03209
8	0.11	0.00088	0.01869
9	0.08	-0.00005	0.02022
平均	0.20	0.00461	0.04127

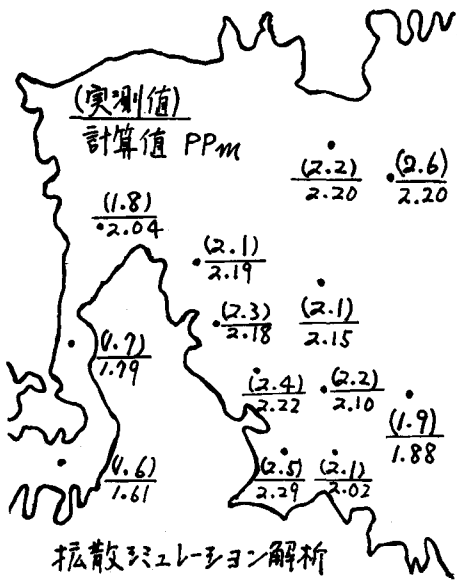


図4 現況COD濃度の再現

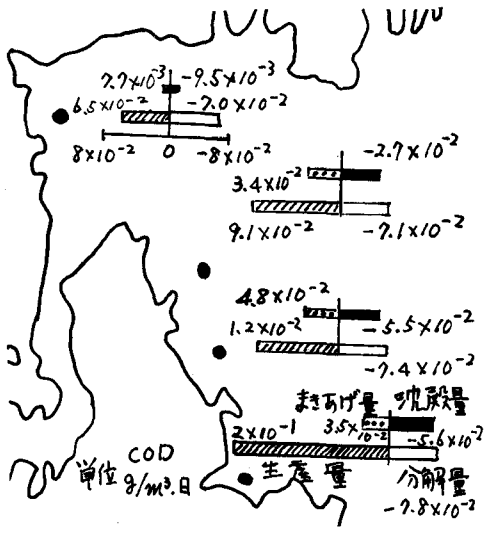


図6 現況CODの組成(拡散シミュレーション)

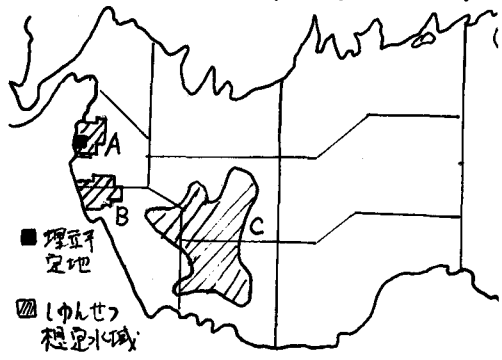


図7 埋立て、しゅんせつ想定水域

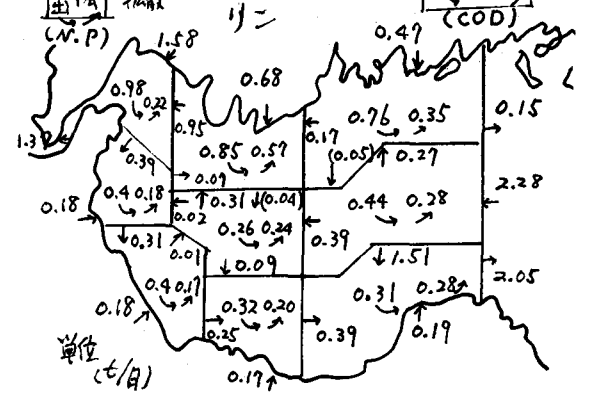
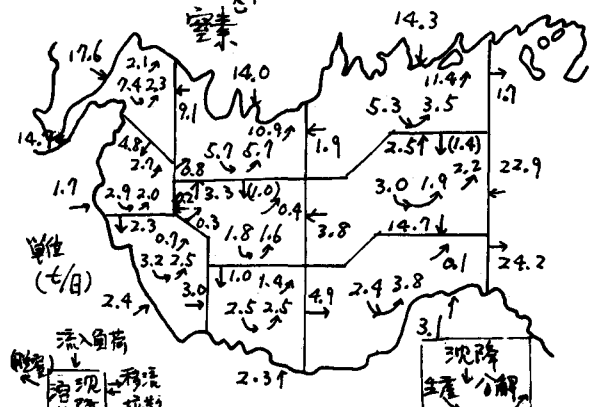
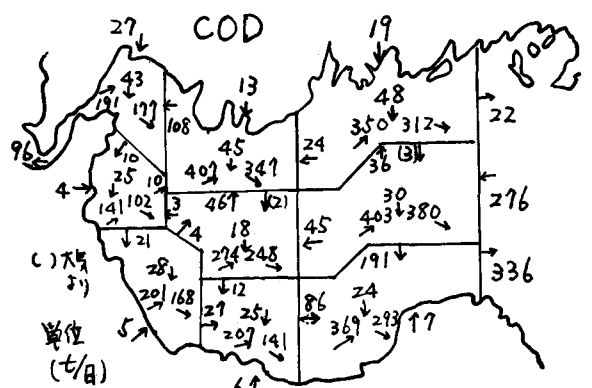


図5 COD,窒素,リンの現況物価収支(ボックスモデル)

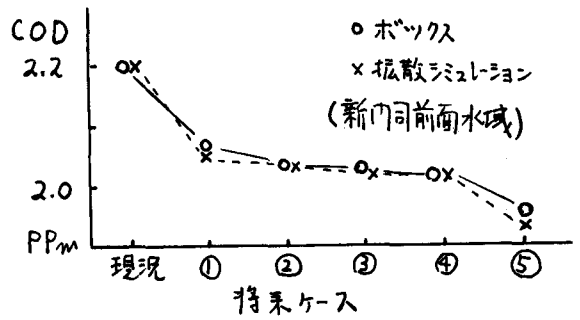


図8 両モデルのCOD将来予測値