

埋立て、浚渫にともなう富栄養化水質汚濁予測とその改善について

山口大学工学部 ○中面 弘 浮田正夫

1. まえがき 海岸埋立地の造成ならびに浚渫事業は、土木工事のなかで重要な位置を占めている。埋立てや浚渫事業の環境アセスメントでは、埋立てや浚渫計画に基づく環境影響行為に対する環境要素としての自然環境、景観、水象、海象(潮流、波浪等)、気象、地象、地形、大気質、水質、底質、動物、植物、水産生物、漁業、騒音、振動、悪臭、廃棄物、海上交通、背後地、その他社会的環境など、さまざまな要素に対する影響を予測、評価し、その影響を最低限に抑えるべき対策と計画のなかにフィードバックさせる必要がある。こうした種々の環境要素のなかでも、水質環境の保全は最も重要な項目の一つであるが、埋立てや浚渫に係る水質汚濁では、濁りの発生や富栄養化が問題となる。この報告では、富栄養化に係る水質汚濁問題を取りあげ、水質保全行政上の重要水質指標にあげられているCODを中心に、その意義、予測手法(非保存系としての取りあつかい、内部生産の評価)環境アセスメント事例などを紹介し、現実に行われている沿岸域の地形変化に対する水質環境変化予測の現状を明らかにし、その問題点をまとめた。

2. 水質環境基準としてのCODの評価と問題点

有機物汚濁に係る水質環境基準項目として、湖沼や海域ではCOD、河川ではBODが採用されている。BODはもとより、有機汚濁物質が水域に放流された場合に、そこに存在する好気性微生物によって利用され、溶存酸素を消費することにより水中生物に被害を与えるという意味から、現実に近い酸素消費量を表示している。河川では、有機物はすべて系外から供給されたものと解釈されBODで表示されているのに対して、湖沼や海域では、プランクトンの生産に由来する有機物が加わり、BODの測定に複雑な反応を示すのでCODで表示することに決められた。生活環境の保全に関する水質環境基準は利水基準の強い性格のものであり、海域や湖沼の水産環境水質基準がBODでなくCODで表示されているということもあって水産側の強い要望も加わり、CODに設定されたという経緯がある。水質環境基準としてのCODについて、次のような評価や問題点が考えられる。

1. 有機汚濁が溶存酸素の消費とそれにとまなう水質障害という前提にたつならば、指標としてCODよりもBODの方が意義がある。BODはBOD₅と意味しているが、BODの測定は暗条件で行われており、光合成作用は阻止されているので、BODは有機物が現実の水域で微生物によって酸化分解される場合に近い酸素消費量をあらわしている。酸素収支の面からみれば、水域で生産される有機物(プランクトン類)による収支は、時間のずれはあるが差し引き増減がない。

2. COD設定の経緯からも明らかなように、湖沼や海域の水質環境基準のなかにすでに、水域で生産されるプランクトン由来のCODの概念が入れられている。たゞし、陸域由来のCODと水域由来のCODとの分離定量が困難であり、COD濃度の総量が問題にされているだけで、その中味についてはあまり言及されていない。

3. 環境基準や排水基準に採用されているKMnO₄酸化法CODでは、有機物に対する酸化率は低く、有機物の種類によって酸化率に大きな差がある。また、海水では塩素イオンの酸化を抑えるために多量の銀塩を加える必要がある。測定法が簡便なことと有機物濃度の相対的な比較の尺度としてKMnO₄法CODが採用されているが、有機物濃度全体を考えると、たとえKMnO₄法CODで測定するとしても常にその背景にあるTOCやTODの値に換算することを念頭においておかなければならない。すなわち、水質基準項目としてそれぞれ真に意義のあるものはMnCODではなく、BOD(BOD₅やultimate BOD 20日間のBODで代用)、全有機炭素TOC、全酸素要求量TODである。

4. 水質環境基準値は、許容限度や受認限度ではなく、あくまでも維持されることが望ましい行政上の目標値である。また、CODの測定精度からいって小数点2桁以下の数値にはあまり意味がない。環境基準達成状況の

評価や水質汚濁予測計算結果の評価においても、この点をよく認識しておくことが必要であって、小数点以下の細かい数値にこだわり過ぎることはよくない。

3. CODを中心とした富栄養化水質予測モデル

行政目標からいえば、湖沼や海域の水質環境基準はCODで決められており、環境影響行為に対する水質影響予測もまたCODで行われている。2で述べたようにCODについては種々の評価や問題点が考えられるがこのことを念頭において、CODに関する種々の濃度予測モデルをまとめる。

ア 保存系としてのCOD濃度予測モデル

海域における水質の現況の解析や将来予測に関して、海水の流動や物質移動を把握するには、水理模型実験と数値解析による方法とがある。前者は複雑な地形を持つ流動場の解析に有効であるが、計算機の利用が進むにつれて、数値解析による方法がよく用いられてきている。数値計算による水質シミュレーションでは、式(1)の基礎式が示されている。この非定常拡散方程式の入力として流動モデルより求めた潮流速が与えられ、拡散係数は塩分濃度より求められている。

$$(h+z) \frac{\partial C}{\partial t} = -(h+z) u \frac{\partial C}{\partial x} - (h+z) v \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \{ K_x (h+z) \frac{\partial C}{\partial x} \} + \frac{\partial}{\partial y} \{ K_y (h+z) \frac{\partial C}{\partial y} \} + \beta, \quad (1)$$

C; COD濃度, K_x, K_y ; x, y方向の拡散係数, β ; COD流入負荷量, u, v ; x, y方向の平均流速

h ; 平均水面から海底までの水深, z ; 平均水面から海面までの高さ

この場合、CODは保存物質として取りあつかわれているが、3次元的な物理拡散過程を取りあつかうもの(2層値モデルなど)もある。なお、陸域から流入したCODは、微生物分解や沈降などの作用により水域中で減少するので、CODを保存物質として取りあつかうことは実際よりも高い濃度を示すので安全側にあるといえる。また、富栄養化された水域ではCODの水成生産(内産生産)があるので、当然のことながら計算結果が陸域由来のCODとあわれし、水域全体のCOD濃度とあわれしていないことを十分に認識しておかねばならない。

ニ 富栄養化簡易COD濃度予測モデル

水域に存在するCOD成分は、①陸域、底泥、肥水域から供給されたものと、②水域自体で生産されたものに大別されるが、水域生産CODは、②-①-①によって求まる。富栄養化された水域ではCOD濃度に周期性があり、一般的には夏場に高く、冬場に低い値を示している。この水域でのCODの季節的な変動は主としてフワクトンの生産に由来するCODの水成生産(内産生産)によるものと考えられるので、①②の評価として次に示すものがある。

$$a) \quad PCOD = COD - COD_{min} \quad (2), \quad \Delta COD = \overline{COD} - COD_{min} \quad (3)$$

PCOD; 水域で生産されたCOD, COD; 任意の時期の水域のCOD, COD_{min} ; 年間のCODの最小値

ΔCOD ; 水域で生産されたCODの年平均値, $\overline{COD}$; 水域でのCOD年平均値

式(2)、式(3)は、年間のCODの最小値が主として陸域から供給されたものとしているが、これはその時期にはCODの水成生産がほとんど認められないことや、陸域からのCOD負荷が年間を通じてほぼ一定であることと前提としている。なお、底泥からのCODの溶出にフワトンはほとんど河漿にならずに、底泥のよみあげのあるところではそのCOD値は無視できない。式(2)、式(3)は水質基準値の監視等、行政目的のために制定されている膨大なCOD測定値と有効に活用できる点において、この方法は意義があると考えられる。

イ 陸域由来CODおよび水域由来CODの評価

陸域由来のCODとして COD_{min} をあげたが、その他にも種々の評価法が考えられる。それらをまとめると次のようになる。

- 陸域由来のCOD値; イ. COD_{min} ロ. 溶解性COD ハ. COD最小値と示す時期の溶解性COD
= 保存系物質および ホ. 非保存系物質としての陸域CODの拡散モデル計算結果
水域由来のCOD値; ニ. 浮遊性COD ト. 7コロフィルと測定結果のCOD換算値 テ. 有機性窒素の

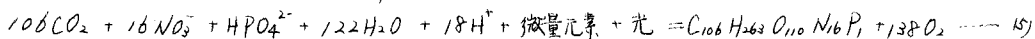
COD換算値 リン、有機性リンのCOD換算値 又、クロロフィルaおよびフエオフィテンのCOD換算値

このうち、ロやへは、浮遊性CODはプランクトン由来、溶解性CODは陸域由来という割切った解釈を示すものである。厳密にいうとプランクトンの代謝や分解による溶解性CODの生成もあり、浮遊性CODのなかにも陸域由来のCODもあるので、これは近似的な表示である。またハは、冬季のCOD最小の時期でも多少ともCODの水成生産が認められることから、COD_{min}時期の溶解性CODを陸域由来のCODと対応させたものである。ニ、ホは、拡散モデル計算により陸域、移流等によるCODを求めたものであり、ホではCODの分解や沈降などによる減少を考慮している。すなわち、ニ、ホは正攻法的な陸域等由来のCODの評価であるが、簡易な手法でないことや計算結果の検証が困難なことなどが悩みである。トは、クロロフィルaの測定値をCODに換算したものであるが、換算法として現場で採集したプランクトンについてのクロロフィルaとCODの分析値から求めるものと、AGPなどの藻類培養法の培地のなかで求めたクロロフィルaとCODの分析値から求めるものとがある。前者では、プランクトンネットで採集したものがすべてのプランクトンであるかどうか、また集められた浮遊物のすべてプランクトンで占めているかどうか、プランクトン由来の溶解性物質などについて疑問が残る。後者では、培養藻類についてのクロロフィルaとCODの関係は明らかとなるが、現場の実状を再現できているかという点が未解決である。チ、リ、モと同じ問題をかかげているが、プランクトン由来のCODの評価として、培養藻類の水質分析値から求めたクロロフィルaとフエオフィテンのCOD換算値と利用することが現状では最も正確な手法であろう。

なお、水質環境基準達成の行政目標から ΔCOD と式(1)に示すような $\overline{COD} - COD_{min}$ ではなく、 $COD_{75\%}$ 値を代表値として、 $\Delta COD = 75\% COD - COD_{min}$ としている例がある。³⁾ (4)

c) 窒素、リンの水成生産COD

以上、6で述べた種々の評価法によって求めた実測に基づく水成生産CODは、次のような反応によって得られたものであり、窒素、リン濃度と関係づけられる。



式(5)の $C_{106}H_{262}O_{110}N_{16}P_1$ は代表的な植物プランクトンの組成であり、窒素1gおよびリン1gより生成されるプランクトン1体のTOD量は、それぞれ19.7gと143gとなる。また、プランクトンの純粋培養のデータよりTODと酸性法COD_{Mn}との関係は(2~3) $COD = TOD$ で示される。したがって式(5)によって、窒素およびリン1ppmからプランクトンの生産を通じて得られるCODは、それぞれ6.6~8.9ppmと48~72ppmであり、この値は水成に存在する窒素、リンからCODが生成される上限値である。実際のプランクトンの増殖には、水温、光、塩分、微量元素などが関係しているので、窒素、リンを基礎としたプランクトン由来COD生産量は、この理論的上限値以下となっている。そこで、水成の窒素、リンが実際にCODに変換する割合を変換率として次のように定義する。

$$\Delta COP \text{ or } PCOD = \alpha_N COD_N = \alpha_P COD_P \quad (6)$$

α_N, α_P ; それぞれ窒素、リンを基礎とした変換率、 COD_N, COD_P ; それぞれ窒素、リン濃度より求めたCOD理論的上限値。

変換率 α は、窒素、リン濃度を基礎としたものがあるが、式(5)より求めたN/P比24(質量比)と比較して、水成のN/P比が24より大きい場合にはリンが制限因子となり、値が24より小さい場合には窒素が制限因子となると考えられるので、N/P比によって変換率を窒素、リンのいずれを取りあげるか判断することができ、また、窒素、リンの砂態には無機態、有機態があるが、有機態の窒素、リンも直接、あるいは間接的にCODの生産に関係しているので、全窒素、全リン濃度を対象にして変換率を求めている。なお、変換率 α は、プランクトン生産の旺盛な時期に、とくにリンにおいて100%を越えることがある。これはプランクトン組成のCOD/P比が式(5)より大きい場合もあること、また、リンがリサイクルしてCOD再生産に利用されているためであると思われる。また、変換率 α は、実測を基礎とした窒素、リン濃度と水成生産CODとの関係を不ずものであり、その

水域の富栄養化特性を示す指標としても意義がある。なお、変換率は式(7)に示す変換係数として直接に窒素、リン濃度とCODとの関係を知る方が、実用的には便利である。

$$\Delta COD \approx PCOD = \alpha_N N = \alpha_P P \dots\dots (7)$$

ここで、 α_N, α_P ; それぞれ窒素、リンの変換係数 N, P ; それぞれ水域の全窒素、全リン濃度 (ppm)

④ COD濃度予測計算

陸域等由来COD濃度と水域由来COD濃度の予測計算を分けて行い、合計して水域COD濃度とする。

① 陸域等由来COD予測

式(2)に示すような拡散モデル式を用い、保存系としてのCODの濃度予測を行うか、式(2)の右辺にCODの分解速度項や沈殿項を加えた非保存系としてのCOD予測計算を行う。また、Joseph-Sendner系の式、Rick系の式、新田式のような簡易な拡散計算式、あるいは閉鎖水域における潮汐流に移動交換、完全混合を考えたもの、完全混合ボックスモデルなどによる計算もある。いずれも計算結果が水域の全CODに対応しないことに注意しておかねばならない。

② 水域由来のCOD予測

その水域のN/P比からみて、窒素、リンのいずれが制限因子であるかを知る。次に制限因子となっているリンまたは窒素についての濃度予測を行う。栄養塩種の濃度予測においては拡散モデル式に、全リンでは沈殿項および底泥からの溶出項を、全窒素では沈殿、溶出および脱窒素項を加える。また、完全混合ボックスモデルにおいても同様である。シミュレーションの結果、求めたリン、または窒素濃度、先きに求めたその水域の変換係数 α_P 、または α_N と掛け、PCODまたは ΔCOD を求める。

この種の富栄養化簡易CODモデルでの水質予測値は、年平均値か、季節代表値程度の長期予測値であり、来潮の発生予測のごとく近期間の水質変化を予測することは困難である。

③ 富栄養化COD予測モデル

上述述べた簡易COD予測モデルでは、水域生産CODと栄養塩濃度との関係とその水域の実測水質資料から求めた変換係数によって明らかにし、その変換係数によって逆に予測した栄養塩濃度と水域生産COD濃度に変換する手法を用い、変換係数は将来においても変化するとしている。これに対して別のモデルでは、水域生産のCODと生産項と分解項に分け、生産項を無機態栄養塩濃度の関数として、その関数型を実測水質濃度からではなく、現場または室内実験によって求めている。すなわち、両者の違いは表1のようにまとめられる。

表1 富栄養化CODモデルと簡易モデルの比較

ここで、中間モデルとして

COD生産項と全リンまたは全窒素濃度の関数とのおいたものがある。

一般に、CODの水域生産項は式(8)で示され、簡略化されたものは一次反応式となっている。

$$P \cdot \mu_P (I, E) \frac{N_0 - N_E}{K_M + N_E} \dots\dots (8)$$

基礎式	$+(COD\text{水域生産項}) - (水域生産COD\text{分解項}) - (陸域COD\text{分解項})$
簡易モデル	$\boxed{(COD\text{水域生産項}) - (水域生産COD\text{分解項})}$ の積分値 (ppm) $= \alpha_P \times \text{水域全リン濃度}$ or $\alpha_N \times \text{水域全窒素濃度 (ppm)}$
富栄養化モデル	$(COD\text{水域生産項}) - (水域生産COD + \text{陸域COD})\text{分解項}$ $= f(\text{無機態リン or 窒素}) - g(COD)$
中間モデル	$= f'(\text{全リン or 全窒素}) - g(COD)$

P ; COD生産速度 μ_P /日 T ; 水温 E ; 照度 K_M ; 定数 N_E ; 無機態窒素、orリン N_0 ; 有機態窒素、orリン(プランクトンに量と意味している) なお、生産速度の関数型の決定は、AOP試験や明暗ビン法によって求められる。また、CODの分解速度は、一般にCODの一次反応式として表現されているが、厳密には水域生産CODと陸域由来CODで分けて取扱うのが本筋であろう。

4. 埋立て、浚渫にともなう富栄養化水質予測の事例

り 保存系としてのCOD拡散計算

今なお、COD濃度予測に広く用いられている方法がある。これまでの環境アセスメントにおいて、正式に採用されてきた予測手法である。基礎式は式(1)であるが、まず現況の水質を再現できる拡散係数を採用している。すなわち、元来、非保存系であるCODについて、減衰項を拡散係数の中に含めて保存系としての整合性を求めている。なお、この方法では、CODの流入源から遠ざかるほど濃度が減少するが、富栄養化水域でしばしば認められるような沖合でかえって濃度が高くなるような現象を再現することはできない。最近の事例として、秋田湾(昭53.10)¹⁰⁾、大分地域(別府湾 昭55.05)¹¹⁾、長崎南総線早湾、昭55.05¹²⁾、関西空港(昭56)¹³⁾などの埋立開発計画におけるCOD予測が保存系として計算されている。これは埋立計画にともなう特定の汚濁発生源の直接の影響だけを知る目的ではそれなりの意義があるが、計算結果をCOD濃度全体に整合性を求めることには無理がある。

式(1)に、COD減衰項(沈殿、分解)を加え、非保存系として取扱えば、陸域よりの特定の発生源の影響をより正確に把握できる。さらに、CODの水成生産項を加えることにより、水域全体のCOD濃度を求めることができる。広島湾の水質予測(建設省 昭50.02)¹⁴⁾では、減衰項をCODの一次、二次、三次反応式として、また生産項を定数、水深の関数、時間の関数において、COD濃度を求めている。三河湾でも同様な計算結果がある¹⁵⁾。

2. 富栄養化簡易モデルによるCOD予測計算

環境アセスメントの図印資料として、また、1部は公表された資料として、富栄養化簡易モデルが利用されている。式(3)に示した水域生産CODの年平均値 ΔCOD の評価において、 COD_{min} を陸域由来のCODと考えるときには、筆者らが指摘しておいたように若干の問題がある¹⁶⁾。すなわち、年間のCOD最小の時期においてもCODの水成生産が認められ、また、陸域COD流入負荷の影響も降雨にともなう温水流入量の大きな変動に左右されるので、陸域由来CODの年平均値が COD_{min} に一致するという確証はない。しかし、CODの大きな季節変動が水域生産CODに由来することは大筋において認められることである。

式(2)、式(3)によって東京湾の水成生産COD量やCOD生産現存量の評価が、東京湾環境改善調査報告(昭54.3)¹⁷⁾においてなされている。また、琵琶湖への下水処理水放流の影響調査(昭52)¹⁸⁾において、式(3) 式(6)によって、琵琶湖の ΔCOD 、 α_N 、 α_P を求めているが、その数値の妥当性をクロロフィルaの測定結果から推定した全窒素、全リン濃度と ΔCOD 、 α_N 、 α_P から逆算した全窒素、全リン濃度と比較することによって検証している。ここではリンと指標として、下水道整備前後の PO_4-P 濃度予測値から ΔCOD を求めている。また、陸域由来のCOD濃度は、実測CODより ΔCOD を減ずることにより求め、流入COD負荷量の湖内単純混合濃度と得られた陸域由来COD濃度との比を流入COD負荷の水成寄与率とし、その寄与率をもとにして将来の陸域由来COD濃度を求めている。また、諫早湾の淡水湖計画における水質予測においては¹⁹⁾求めた湖内の全窒素、全リン濃度に別求めた変換率 α'_N 、 α'_P を用いて水成生産CODを算出している。大分地域(別府湾)では¹¹⁾昭和52年度の ΔCOD および $\overline{COD} - \Delta COD$ の水成および陸域由来のCOD分布と、それらの経年変化を求めている。徳山湾のCOD濃度シミュレーションでは¹²⁾、次式に示すように陸域由来の COD_{base} を非保存系の拡散モデル式によって求め、水域由来のCODは、リンに関する拡散モデル式によって求めたリン濃度に変換率を用いて求めている。

$$COD = COD_{base} + \Delta COD = COD_{base} + \alpha'_P P \quad (7)$$

$$\frac{\partial C_b}{\partial t} = -U \frac{\partial C_b}{\partial x} - V \frac{\partial C_b}{\partial y} + D_x \frac{\partial^2 C_b}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C_b}{\partial y^2} + g_C - K_d C_b \quad (10)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -U \frac{\partial P}{\partial x} - V \frac{\partial P}{\partial y} + D_x \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + g_P - \lambda_P P + R_P \quad (11)$$

C_{base} : 陸域由来COD, UV : 流速

D_x, D_y : 拡散係数 g_C, g_P : COD リンの流入負荷量

K_d : COD分解係数 λ_P : リンの沈降係数

R_P : 底泥からのリンの溶出速度

関西空港のアセスメントにおいても、CODの水成生産が検討されている¹³⁾。すなわち、保存系モデルによる計算結果と実測値との差は、広い意味の水成生産によるものとして、COD予測モデルで式(13)に設定している。

$$L(t) = Q^L + Q^P - Q^S \quad (12) \quad L(t): \text{移流, 拡散項} \quad Q^L: \text{陸域負荷量} \quad Q^P: \text{水域内での生産量} \quad Q^S: \text{水域内での分解}$$

沈降水量 (ΔC) ; COD濃度 ΔC ; 自浄係数 水域生産量 $Q_c^p = Q^p - Q^{sp} = V \Delta C$ V ; 水域容量 ΔC ; 水域生産濃度
 ここでも ΔC を、式(14)あるいは自浄作用を考慮した非保存系計算より求められている。 ΔC と窒素、リン濃度の
 関係を式(13)で表わしている。 $\Delta C = \alpha'_p (\bar{P} - P_{min})$ or $\alpha'_N (\bar{N} - N_{min})$ (13)

$\bar{P}, \bar{N}$; 全リン、全窒素の年平均値 P_{min}, N_{min} ; 全リン、全窒素の手最低値 α'_p, α'_N ; 変換係数 ΔC ; 水域生産COD
 しかし、式(13)の意義が定かではない。さらに、実測結果と移流拡散計算結果からの水域生産量の推定を2つの方
 法で行っている。これらの結果をみると、水域生産量の評価は、式(13)、式(13)、自浄作用を考慮した非保存系計算
 実測と移流拡散計算結果の順で大きくなっている。特に後者が非常に大きな値となっている。

博多湾の埋立てアセスメントでは³⁾、COD予測に簡易モデルが正式に採用されているが、水域生産由来COD
 は式(14)で示されている。 $\Delta COD = \alpha\% \text{ 通COD} - F \cdot COD$ (14) ここで $F \cdot COD$ は冬期の溶解性COD
 であり、リンを富栄養化の制限因子として、式(14)より変換係数 α'_p を求められている。COD濃度予測にあたって、
 陸域由来の一次汚濁は式(1)により、水域生産由来の二次汚濁は式(14)により全リン濃度を予測し、得られたリン濃
 度に変換係数 α'_p を乗じて求められている。

3. 富栄養化COD予測モデル

拡散モデル、およびボックスモデルによる解析が行われている。拡散モデルでは式(4)に示すように、有光層無
 光層に分り、移流項、拡散項、上下交換項、生産項、分解項、沈降項、底泥溶出項、流入負荷項より構成される¹⁴⁾。

$$\text{有光層COD } \frac{\partial S}{\partial t} = -\frac{\partial S u}{\partial x} - \frac{\partial S v}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} (K H \frac{\partial S}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K H \frac{\partial S}{\partial y}) - K_2 (S - S') + \alpha \Delta N - K_3 S - K_3 (S - S') + L_S \text{ (15)}$$

$$\text{無光層COD } \frac{\partial S}{\partial t} = -\frac{\partial S u}{\partial x} - \frac{\partial S v}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} (K' H \frac{\partial S}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K' H \frac{\partial S}{\partial y}) + K_2 (S - S') - K_1' S' + K_3 (S - S') - K_3' (S' - S') + S_B \text{ (16)}$$

S, S' ; 有光層、無光層COD S, S' ; 有光層、無光層の陸域由来のCOD K_2 ; 上下層間の交換係数 K, K' ; 有光層、無光層の分解速度 K_3, K_3' ; 有光層、無光層
 の沈降速度 α ; 栄養塩濃度とCOD濃度の相対付着比 N ; 有光層の無機態栄養塩濃度 Δ ; 光合成速度 L_S ; 陸からのCOD負荷量
 S_B ; 底泥からのCOD溶出量 u, v ; 有光層、無光層の水深 u, v ; 有光層、無光層の流速 K, K' ; 有光層、無光層の水平分散係数
 ここではCODの水域生産速度は無機態窒素やリン濃度に比例するとしているが、生産速度については栄養塩濃
 度の関数として種々の関数型が提案されている。なお、生産速度を求めるには必要な無機態栄養塩濃度を求める
 ために、有光層、無光層における無機態栄養塩および有機態栄養塩に関する拡散方程式を解かなければならぬ。東
 京湾底質浄化調査(運輸省)¹⁴⁾ 秋田湾水質変化予測(林研)¹⁵⁾ 国防難海域底質浄化調査(運輸省)¹⁶⁾をはじめ、多くの富栄養
 化水域の埋立て、浚渫あるいは底質改善効果の判定に式(15)、式(16)のモデルが使用されている。また、新門司の
 埋立てアセスメントでは¹⁷⁾、生産項を全リンの関数とにおいてCODを予測している。

ボックスモデルでは、基礎式は式(17)であらわれるが、ボックスを上層、下層などいくつかに分り、移流項、
 拡散項、非保存項より構成された物質収支式より濃度を求める。非保存項では、生産項、沈降項、分解項、底泥
 溶出項などより構成される。東京湾底質浄化調査 国防難調査 瀬戸内海底質浄化(運輸省)をはじめ多くの水域で
 のCOD予測に利用されている。 $V \frac{dC_j}{dt} = \sum Q_{kj} C_k + \sum E_{kj} (C_k - C_j) + \sum S_{j,n}$ (17) C_j ; ボックスjのCOD濃度

V_j ; ボックスjの容量 Q_{kj} ; 移流(ボックスkよりjへ) E_{kj} ; 拡散係数(ボックスkよりjへ) $S_{j,n}$; ボックスjにおける物質nに関する因子

5. おわりに 埋立てや浚渫計画にともなう富栄養化水域での環境アセスメントに係るCOD濃度予測の手法や
 幾つかの事例を示した。現実のアセスメントにおいても、COD予測に水域生産CODの評価が入れられてきて
 おり、簡易なより精度のよいモデルの開発に努力されている。この報告が多少とも役に立てば幸である。

参考文献 1) 中野、清田、河合、水と廃水工学(1978) 2) 福岡市博多湾埋立てアセスメント第6号 3) 福岡県秋田湾開港計画(中田敏彦)昭53.10 4) 大阪大分地域工業開発
 計画(中田敏彦)昭53.5 5) 大阪府公害対策計画(中田敏彦)昭53.8 6) 運輸省関西圏環境調査(中田敏彦)昭53.10 7) 建設省広島湾埋立て計画(中田敏彦)昭53.2 8) 国土庁九州四国環境調査
 報告(昭54.1976) 9) 環境庁水質変化予測(林研)昭53.5 10) 運輸省東京湾環境改善調査報告(昭54.2) 11) 国土庁四国四国環境調査報告(昭53.2) 12) 秋田県、秋田湾水質変化予測(昭54.10) 13) 運輸省
 日本港湾協会COD内部生産量計算(昭56.3) 14) 運輸省東京湾底質浄化調査(昭52.53.54) 15) 秋田県秋田湾水質変化予測(昭54.10) 16) 運輸省
 国防難海域底質浄化調査(昭54.7) 17) 中野、清田、河合、水と廃水工学研究討論会(昭56.1) 18) 運輸省瀬戸内海底質浄化調査(昭53.6)