

堆積汚泥の処理による水質底質と生物相の回復効果の予測手法

堀 江 毅*

1. ま え が き

海底に堆積した汚泥の除去, または, 汚染されていない材料による汚泥の被覆などにより, 溶出や溶存酸素消費を抑制することは, 流入負荷の削減とともに, 周辺海域の有機物による汚染を軽減する有効な方策であると考えられる。これまでわが国の代表的な閉鎖性内湾の一部海域で行った浚渫または被覆の試験工事における水質底質改善効果の追跡調査結果, あるいは数値シミュレーション結果によると, 底泥からの溶出の抑制, 底質の化学的酸素要求量 (COD), 全リン (T-P) などの低下は期待できる。しかし, 海水中の COD や溶存酸素 (DO), リンなどの溶解性物質は海水の流動による移流拡散作用を受け, 水質改善効果は見掛け上小さくなっている。一方, 試験工事に基づく生物相の回復効果は顕著であり, 種類数や個体数の増加が観察されている。すなわち, 底質の浄化によって生物学的には有意な効果が現われている。

以上の背景をふまえ, 動物プランクトン, 底生生物, 底魚, 漁獲量などの生物量に着目し, 底質浄化による改善効果を生物の面から予測できる生態モデルを開発し, 本モデルによる効果予測シミュレーションを行った¹⁾。本文はこれらの結果の概要を報告するものである。

2. 沿岸生態モデルの構築

沿岸域の水質・底質と生物との関係は模式的に図-1のように表すことができる。海域の水質は, 陸域からの外部負荷, 海底の堆積汚泥からの溶出, 生物による負荷, 生物活動, 海水の循環・交換などの要因に支配される。これらの要因のうち, 生物活動を除いて議論されている例が多く見受けられるけれども, 温度が高まり, 生物活性の高まる時期においては, プランクトン, 底生生物, 魚などの生物作用が海域の物質循環に果たす役割は大きい。このような理由から, 沿岸域の水質水理と海洋生物との関係を表す数理モデ

ルをつぎのような仮定のもとに構築した。すなわち,

- ① モデルは, 従来より扱っている物質循環モデルを基本とする,
 - ② 海水系と底泥系は一体として取扱う,
 - ③ 計算領域は, 対象とする領域全域を 1 ボックスとし, 海水系と底泥系とをそれぞれ適当に層分割する,
 - ④ モデルの構成因子は, 植物プランクトン, 動物プランクトン, 底生生物, デトライタス, 溶存態有機リン (O-P), 無機態リンとする,
 - ⑤ 物質循環過程は, 内部生産, 細胞内分泌, 捕食, 排泄, 排糞, 分解, 呼吸, 枯死, 漁獲などの生物過程と, 移流, 拡散, 沈降, 外部負荷, 溶出などの非生物過程とにより捉える,
 - ⑥ 底質の処理による海水の浄化効果は底質の全リンの減少に基づく溶出量および DO 消費量の削減率より捉える,
 - ⑦ 底質の処理による底生生物への効果は, 底質の中央粒径の増大に伴う底生生物の死亡率の減少により捉える,
- などである。

上述の仮定のもとに構築したモデルの構成因子間の関係は図-2に示すとおりである。

図-2 中の構成因子間の各過程の定式化, および, これらの中に現われる定数については, 既往の研究成果を参考に設定した²⁾。

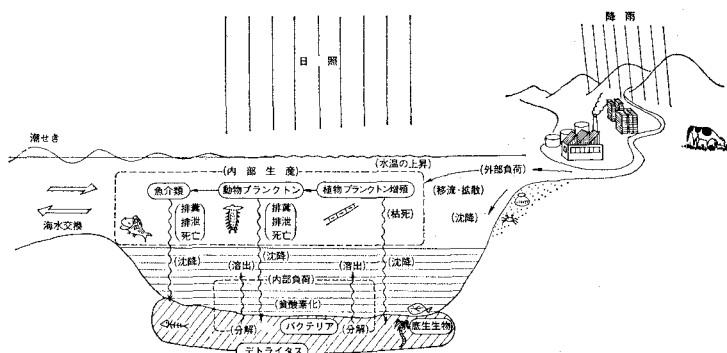


図-1 沿岸域における水質、底質、生物の関係

* 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所海洋水理部海水浄化研究室(長)

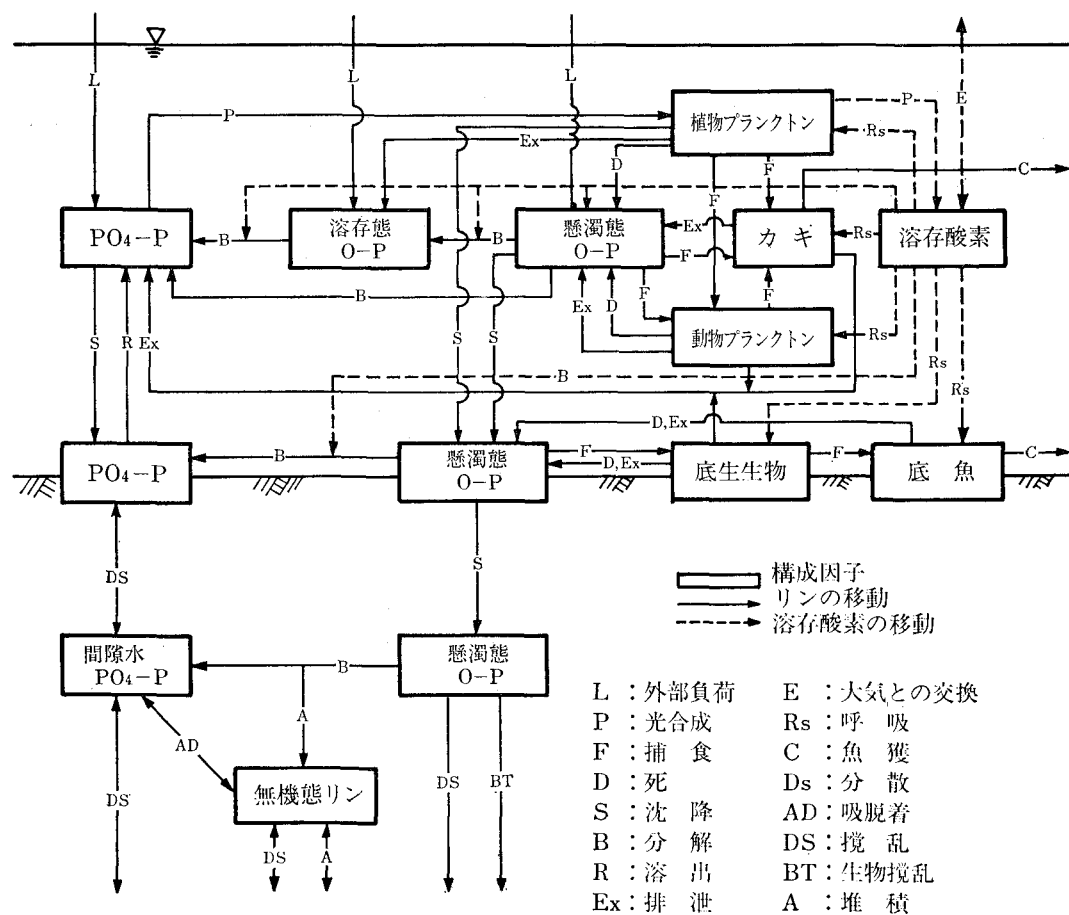


図-2 生物生態過程をとり入れた物質循環モデル

3. モデルの呉湾への適用

(1) 入力条件

本モデルの適用に当たり、図-3 に示す呉湾域 4,800 ha を計算領域に選んだ。

この計算領域を図-4 に示すように、全域を1ボックスとして取り扱い、海水系は11層、底泥系は7層とした。層厚は、海水系は2m、底泥系はデトライタスの沈降速度と分解速度とを考慮して同図のように表層は薄くした。

湾内の物質循環に対しては、潮汐、河川流入、風、地形、湾内流動の影響が大きい。しかし、1ボックスモデルにおいては、湾内への河川水流入、湾外への流出、および鉛直流れなどが支配要因となる。これらの値は、呉湾に対し、500m格子、3層で流れの数値モデル³⁾により事前に求められた計算結果を利用して算出した。

一方、温度は海域の力学的過程、生態学的な過程を支配する大きな要因である。さらに、温度・塩分の鉛直分布についても、海水の成層や物質の鉛直拡散と密接な関

係がある。海面の照度は内部生産に対して重要な要因である。このため、温度、塩分、海面照度については、既往のデータをもとに、滑らかな曲線近似による季節変化を与えた。

また、鉛直拡散係数については、海面表層(海面下0m)と下層(海面下20m)の海水密度差に逆比例する形で夏場の成層期(0.1 cm²/s)から冬場の混合期(1.6 cm²/s)の間を連続的に変化させた。

無機態リン、溶存態有機リン、デトライタスについては、計算領域内の負荷総量を求めて与えた。結果的に、これらの値は、リン酸態リン(PO₄-P)として0.129 t/日、O-Pとして0.039 t/日、および、デトライタスとして0.039 t/日となった。

計算の再現目標値として、呉湾における最近5か年間の観測データをもとに、図-5、図-6の●印で示すように設定した。これらのうち、PO₄-P、O-P、DO、T-P、およびクロロフィルaは、それぞれ海面下2mおよび同20mで、昭和58年から同61年の間に得られた実測値の平均である。

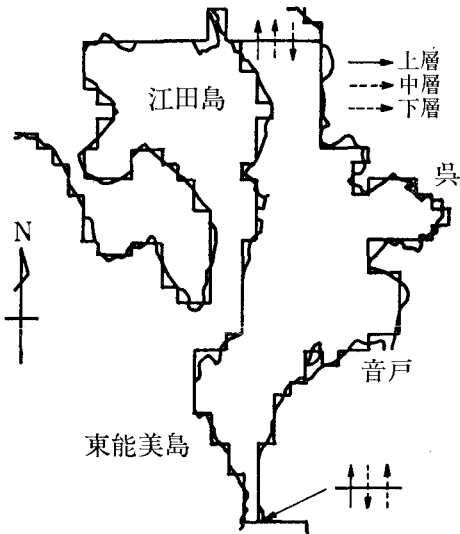


図-3 計算領域

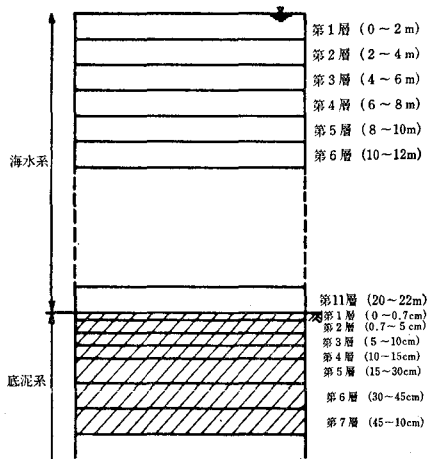


図-4 計算領域の鉛直分划

計算の開始に当たり、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 O-P 、 DO 、植物プランクトン、動物プランクトン、底生生物などの初期値は冬場の観測値をもとに設定した。一方、底質の O-P 、 I-P および間隙水 $\text{PO}_4\text{-P}$ は、別途行った底泥モデル⁴⁾による計算結果を用いた。

(2) モデルの再現性

上述のモデルおよび入力データをもとに、時間刻み 1 時間で呉湾の水質底質、生物量の現況再現計算を行った。5 か年分の計算でそれぞれの計算量はほぼ周期的な季節変化を繰り返すようになった。図-5、図-6 は、これらのうちから、海水系の $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 O-P 、 DO 、植物プランクトン（またはクロロフィル a）、動物プランクトンの各表層（0~2 m 層）と底層（20~22 m 層）、および底泥の底生生物について、実測値とともに示したものである。

これらの結果によると、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の計算値は実測値とよく一致し、特に底層では年間を通じよく合っている。しかし、表層では 9~10 月の間計算値は表・底層とも実測値の約 2 倍である。 DO の計算値は表・底層とも実測値とよく一致している。植物プランクトンについては、表層では 8 月から 12 月にかけては計算値は実測値の 2 倍またはそれ以上となる。6 月には逆に計算値は実測値の約 1/2 となり、実測では 9 月に最大となる。これはいわゆる“春のブルーミング”であり、内湾の物質循環に寄与するところが大きであるともいわれるが、この傾向は再現できていない。動物プランクトンについては、夏ではほぼ実測値に近いけれども、9 月~6 月の間では計算値は実測値の約 2 倍となっている。底生生物については、年間を通じてみれば計算値はほぼ平均的な実測値の範囲であるが、9 月から 5 月にかけては 2 倍以上となっており、植物プランクトンの場合と同様の傾向にある。

以上、呉湾の水質および動・植物プランクトン、底生生物、底魚等の濃度、現存量などについてそれらの再現性はほぼ妥当であることが確認できた。

(3) 堆積汚泥の被覆による溶出削減効果の予測

上述現況再現計算の各条件を用い、さらに呉湾全域に対して 50 cm 厚さの海砂による底泥の被覆を行った場合の効果予測計算を被覆後 45 年分について行った。図-7 はこのようにして求めた底生生物と底魚との初めの 20 年間の経年変化を示したものである。同図において、被覆直後では、底生生物は 4 倍程度現存量が増大し、以降 12~13 年間は約 3 倍、その後徐々に減少している。被覆後約 25 年以降ではほぼ元に戻る。底魚の現存量についてもほぼ同様の傾向である。被覆直後の効果については、運輸省第三港湾建設局が呉湾にて昭和 54 年 10~11 月（I 区 A、面積 1.92 ha、厚さ 50 cm）および同 55 年 7~8 月（I 区 B、面積 4.48 ha、厚さ 30 cm）の 2 回にわたり行った被覆試験工事および同工事の効果追跡調査結果の一部が図-8 に示されている。この結果によると、底生生物は夏には被覆領域内外とも少いけれども、秋期から冬期にかけては被覆領域内の底生生物量は同領域外のそれを明らかに上回っており、被覆の効果は明瞭である。ただし、これらの効果は試験工事区域が小さいため、時間の経過とともに漸減する。

4. ま と め

以上、汚染海域の底泥処理による水質底質および生物相の回復効果を予測できる数理モデルと、呉湾を対象としたモデルの現況再現性および底泥を海砂にて被覆した場合の効果のシミュレーションの概要について述べた。

これらの結果を要約するとつぎのとおりである。

i) 沿岸域の水質、底質および海洋生物に対し、植物プ

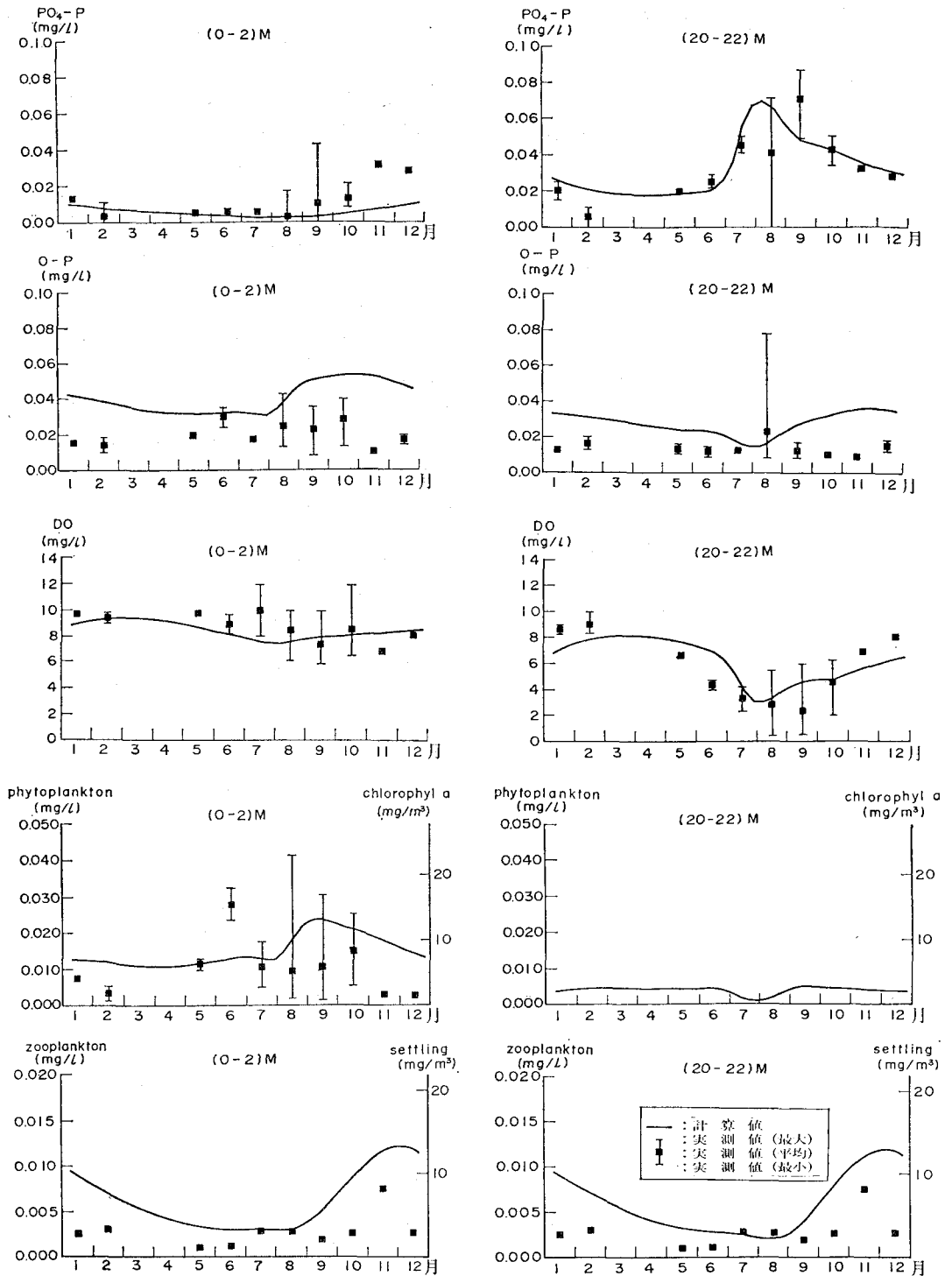


図-5 物質循環モデルによるシミュレーション結果(実測値との対応)

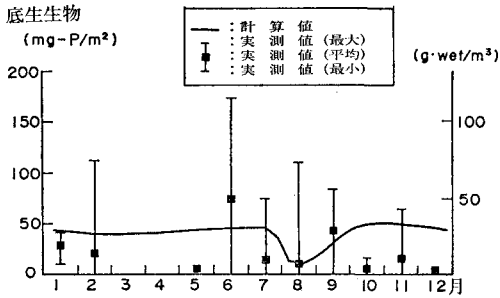


図 6 物質循環モデルによる底生生物の現存量再現シミュレーション結果 (実測との対応)

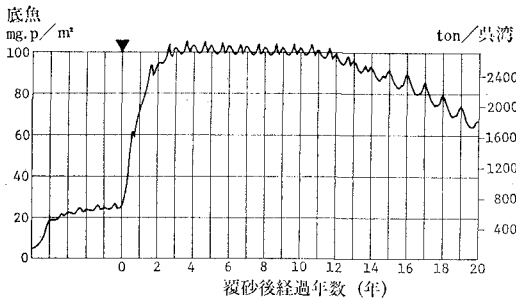
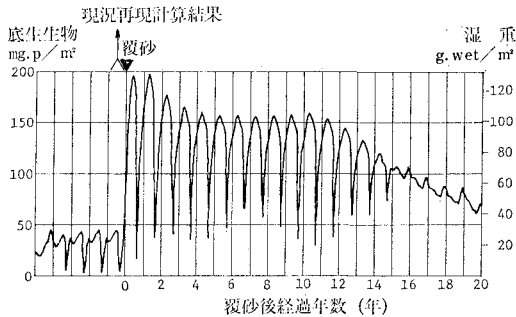


図-7 呉湾底泥 50 cm 被覆 (覆砂) による底生生物と底魚の増加効果 (シミュレーション)

ランクトン、動物プランクトン、底生生物、底魚の活動を取り入れた物質循環モデルを構築することができる。

- ii) 本モデルによって、呉湾全域を 1 ボックスとし、海水系 11 層、底泥系 7 層の領域を適用して現況再現計算を行った。この結果、全般的には年間の季節変化の傾向を再現することができた。
- iii) 本モデルを用いた海砂の被覆による底質処理の効果シミュレーションによると、被覆直後では底生生物や底魚の大幅な増加が予測される。これは、現地試験

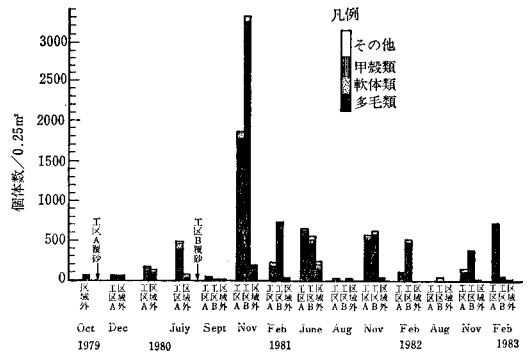


図-8 呉湾現地被覆試験工事の効果追跡調査結果による底生生物の経年変化

工事による底生生物の効果追跡調査結果の傾向とも一致し、本モデルの適用可能性が示された。

なお、上述の解析は呉湾をモデル海域とした試算であり、他海域への適用に当たっては検討すべき課題が残されている。今後さらに多ボックス多層についてより詳細な検討を行う予定である。

最後に、本研究は、運輸省港湾局、同港湾建設局による底質浄化調査の一環として実施したものである。また、モデルの開発およびシミュレーションにおいては、沿岸生態調査委員会委員長塚原博九州大学名誉教授以下各委員および広島湾底質浄化調査委員会委員長堀口孝男東京都立大学教授以下各委員より懇切な指導と助言を頂いた。ここに、これらの皆様に対して厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Horie, T.: Modeling for the prediction of the effect of sea bed sediment treatment on the improvement of ecological conditions and seawater quality, Report of Port and Harbour Research Institute, Vol. 26, No. 5, pp. 175~214, 1987.
- 2) 堀江 毅: 海域の物質循環過程のモデル化と浄化対策効果の予測手法について、港湾技術研究所報告, Vol. 26, No. 4, pp. 57~123, 1987.
- 3) 堀江 毅・細川恭史: 海域における物質循環モデルの水質支配要因について、港湾技術研究所報告, Vol. 22, No. 3, 1983.
- 4) Horie, T. and Y. Hosokawa: Mathematical model for the prediction of phosphorus release, Report of Port and Harbour Research Institute, Vol. 24, No. 1, pp. 43~68, 1985.