

(59) 海藻の窒素吸収作用に着目した湾内窒素容量の数値計算

NUMERICAL SIMULATION ON NUTRIENT CAPACITY IN THE BAY

細川恭史*・古川恵太*

Yasushi HOSOKAWA*, Keita FURUKAWA*

ABSTRACT; An numerical model was applied to assess the effect of an existence of a seaweed to the nutrient capacity in the bay. The result of the model showed a non-linear response between the mass of seaweed and the nutrient capacity. By an alysis of a remnant function, we conclude that conditions for the improvements of the nutrient capacity by seaweed were listed below. 1) The area has high concentration of nutrient. 2) The area has a long residual time for nutrient and/or water mass.

KEYWORDS; Nutrient, Seaweed, Numerical simulation, remnant function, Tokyo Bay

1 はじめに

湾域の開発を持続可能なものにするためには、環境との調和のための方策を検討する必要がある。特に、栄養塩や生態系のモニタリング・アセスメント手法の開発は、具体的な方策検討のために不可欠である。本論文では、窒素循環に着目した物質循環モデルを構築し、数値計算により浅瀬域に繁茂する海藻による窒素の吸収作用が湾内の窒素容量に与える影響を検討した。

物質循環モデルは、東京湾での条件を用いて1ボックスモデルとメッシュモデルに適用し、窒素存在量の変化や空間的な分布を調べた。空間的な分布を考えたメッシュモデルによる検討では、海藻の繁茂量と湾内窒素存在量が、非線形的な応答を示した。そこで、水塊と窒素の空間的な滞留時間の分布を調べる方法により非線形性の原因を検討した。

2 物質循環モデルの概要と計算条件

2.1 1ボックスモデル

湾域を1つのボックスとして、0次元の物質収支計算を行った。考慮したコンパートメントは、図-1に示すように、植物プランクトン(PHY)、動物プランクトン(ZOO)、懸濁態有機物(POC)、溶存態有機物(DOC)、リン酸塩(DIP)、全無機態窒素(DIN)、溶存酸素(DO)、化学的酸素要求量(COD)の8個である。流入負荷は、懸濁態有機物、溶存態有機物、全無機窒

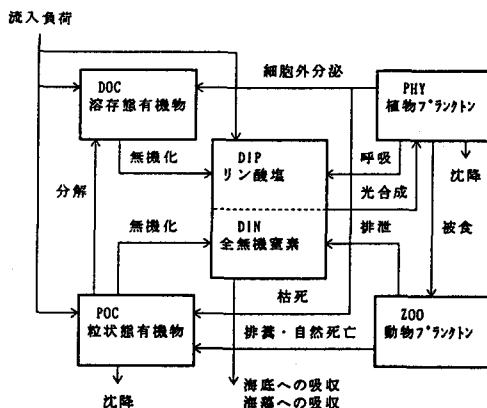


図-1 物質循環概要

*運輸省 港湾技術研究所 Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport

素、リン酸塩として沿岸部より与え、植物プランクトンと動物プランクトンを媒介として循環が行われるものとした。

反応項におけるパラメータは、表-1の様に設定している(中田, 1993)。DINの吸収は、海底への吸収と、海藻への吸収のみ考慮している。また、湾内水は、流入河川水と潮汐による海水交換により、一様に希釈されるものとした。

2.2 メッシュモデル

空間的な分布の影響を考慮するために、水平に1 km、鉛直に3層の3次元メッシュを用意し、海水流動を考慮した物質循環モデルを構築した。図-2は、作成したメッシュモデルにおける等水深線図である。図中には、後の解析で、内湾域を7つの領域に分けて議論するための領域番号も示されている。

物質の反応項は、1ボックスモデルと共通である。

海水流動は、潮汐を外力とし、3層に拡張されたADI法による潮流計算により求めた(村上, 1990)

表-1 反応項のパラメータ

パラメータ	単位	設定値
PHYに関して		
最大可能成長速度	1/day	$0.85 \exp(0.063T)$
呼吸速度	1/day	$0.03 \exp(0.052T)$
DIP摂取の半飽和値	$\mu\text{g-at/l}$	0.15
DIN摂取の半飽和値	$\mu\text{g-at/l}$	1.5
沈降速度	m/day	0.173
枯死速度	1/day	$0.0001 \exp(0.069T)$ PHY
光合成の最適光強度	$\text{cal/cm}^2/\text{day}$	200
ZOOに関して		
最大摂食速度	1/day	$0.18 \exp(0.069T)$
自然死亡速度	1/day	$0.0005 \exp(0.069T)$ ZOO
同化効率	%	70
総成長効率	%	50
POCに関して		
無機化速度	1/day	$0.1 \exp(0.069T)$
DOの半飽和値	mg/l	1.0
分解余剰生成速度	1/day	$0.025 \exp(0.069T)$
沈降速度	m/day	0.432
DOCに関して		
無機化速度	1/day	$0.02 \exp(0.069T)$
DOの半飽和値	mg/l	1.0
DINに関して		
海底への吸収(0-10m)	mg-at/day/m^2	$0.063(DIN/2)1.13$
海底への吸収(10m-)	mg-at/day/m^2	$0.021(DIN/2)1.13$
アマモへの吸収(0-5m)	mg-at/day/m^2	17.9
アラメへの吸収(5-10m)	mg-at/day/m^2	29.2
DOに関して		
海底での消費	$\mu\text{g/day/m}^2$	1.5
再ばつき係数	1/day	0.15
飽和濃度	mg/l	$9.3/(1-T/213)$

3 窒素容量の推定

3.1 1ボックスモデルによる

定常解析

(A) 計算ケース・条件

計算は、表-2に示すように、4つのケースについて行った。ケースはDINの吸収過程の違いにより分けられている。ケース50~56は、DINの海藻への吸収のみを考慮し、海域に繁茂する海藻の量を変化させた。ただし、計算上では、領域の広さが同じで、吸収速度を変化させる操作を行っている。海藻の密度を変化させていることに対応する。ケース57では、海藻の他に海底への吸収も考慮した。河川水量、負荷量は、昭和62年夏期のデータを各ケース共通で用いた。ただし、負荷量は、COD・TP・TNのデータで与えられていたので、換算係数を用いて、DOC・POC・DIN・DIPの負荷量に変換した。

(B) DIN存在量

定常的に負荷を与え、各コンパートメントの濃度が一定値に収束した時点の濃度を定常解とした。その結果より、DINの内湾存在量を各ケース毎に比

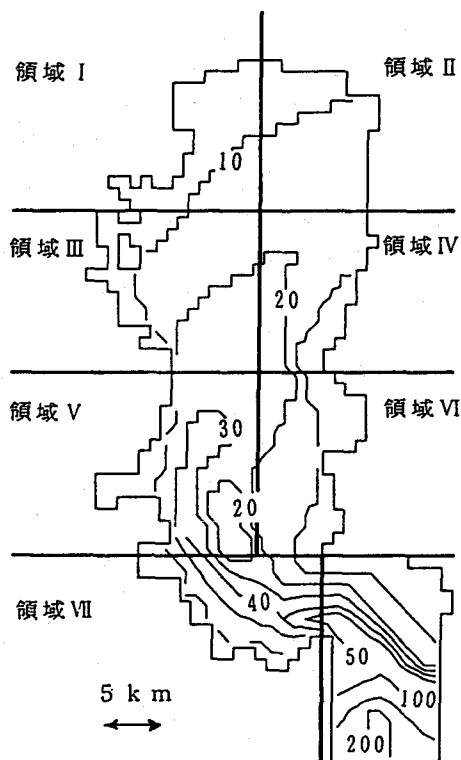


図-2 計算メッシュと領域区分

較すると、図-3の様になった。

ケース50～56まで、一様にDIN存在量が減少しており、海藻の窒素吸収効果が線形的に作用していることが判る。また、ケース56と57を比較すると、海底での窒素吸収効果によるDIN存在量の減少は、海藻による窒素吸収効果のその約半分であることが判る。

3.2 メッシュモデルによる

定常解析

(A) 計算ケース・条件

メッシュモデルにおける境界条件は、図-2に示した通りで、計算条件とケース番号は、表-2と共通である。ただし、海藻は、水深が10m以浅の領域に分布している。

潮流は、湾口部で振幅36cm、周期12時間の潮汐を外力として計算した。物質循環計算に必要な流速データは、5潮汐目の潮流計算結果を繰り返し利用した。

(B) DIN存在量

図-4は、定常的に負荷を与え続けた場合の、60潮汐目のDIN濃度分布を内湾域において積分し、図-3と対応する様に表示したものである。

ケース50～56を比較すると、海藻量が一様に増えているにもかかわらず、DINの存在量は、非線形的に減少している。また、ケース56と57を比較すると、海底での窒素吸収効果が1ボックスモデルで示されたほど顕著でないことが判る。

(C) ブロック毎の検討

ケース50～56の比較で示された海藻量とDIN存在量の非線形的な対応は、空間的な分布から生じていると考えられるの。そこで、これら3つのケースについて、図-2で示した7つのブロック毎に分解して、検討する。

図-5は、各ブロックの特性を、①水面積、②海藻の繁茂する面積、③沿岸からのT-N負荷量により示している。海藻の繁茂する面積は、領域Iが多い。また、領域I・IIIには、河川流入が多く、領域Vには、工場排水が集中しているため、これらの3つの領域でT-N負荷量が多くなっている。

図-4を、これらの領域毎に示して書き直したものが図-6である。これから、領域を2つのグルー

表-2 計算ケース

ケース番号	吸収 ¹⁾	吸収 ²⁾	共通諸元
50	なし	0	内湾の水体积: 1.2×10^{10} km ³ 内湾の水面積: 900 km ²
55	なし	0.5	海藻の繁茂する面積 : 181 km ²
56	なし	1.0	淡水流入量 : 2.3×10^7 t/d 海水交換量 : 3.1×10^7 t/d
57	あり	1.0	

1) 海底への窒素吸収

2) 海藻への窒素吸収 (ケース56を1.0とした比率で表示)

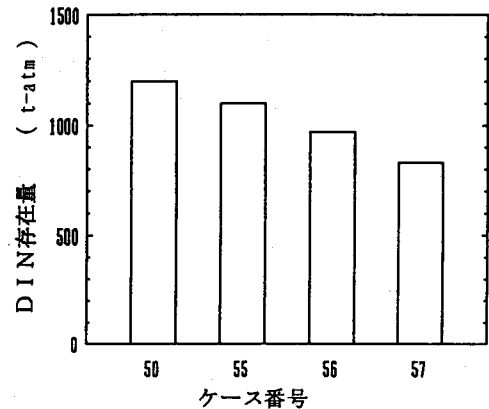


図-3 1ボックスモデル計算結果

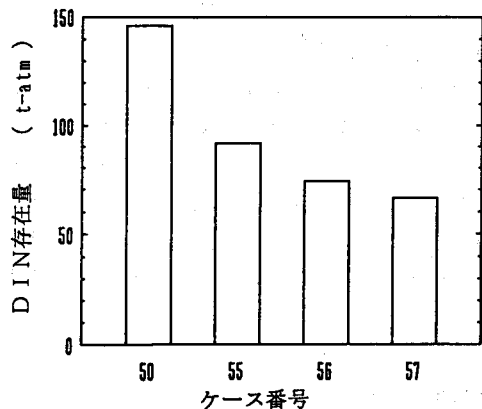


図-4 メッシュモデル計算結果

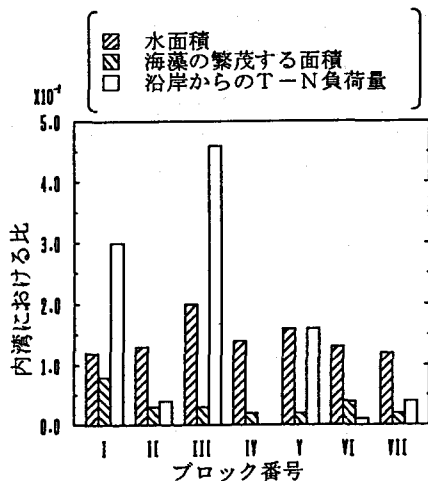


図-5 ブロック毎の特性

ブに分けることができる。ひとつは、領域ⅢとⅤの様に、DINの存在量が多くかつ、ケース55と56を比較して、DIN存在量が顕著に減っているグループである（グループA）。もうひとつは、残りのグループで、DIN存在量が少なく、ケース55と56でDIN存在量の減少が顕著でなくっているグループである（グループB）。

つまり、2番目のグループが存在することによって、海藻の量が増えたにも関わらずDINの存在量が線形的に減少しないのである。

3.3 メッシュモデルによる 非定常解析

前節で示されたブロック毎の海域の特性の違いを明らかにするために、水塊とDINの残余関数 $r(t)$ を比較した。

残余関数とは、ある領域にある物質を瞬間投入して、その物質の存在量の時間変化をしめす関数である。これを積分すると、その物質の平均滞留時間 τ_r が、

$$\tau_r = \int_0^{\infty} r(t) dt \quad (1)$$

の様に得られる（武岡，1984）。

残余関数の空間的な分布を確認するため、領域Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・Ⅴの存在量の変化を水塊とDINに分けて図-7、8に示す。なお、初期条件は、各コンパートメントについて、定常解の濃度を瞬間投入する事により設定した。

水塊の滞留時間は領域Ⅰ・Ⅱ・Ⅲで長く、領域Ⅴで短くなっている。一方、DINの滞留時間は、領域Ⅴでいちばん長く、領域Ⅱ・Ⅲがそれに続き、領域Ⅰで短くなっている。領域ⅠとⅡを比較すると、水塊

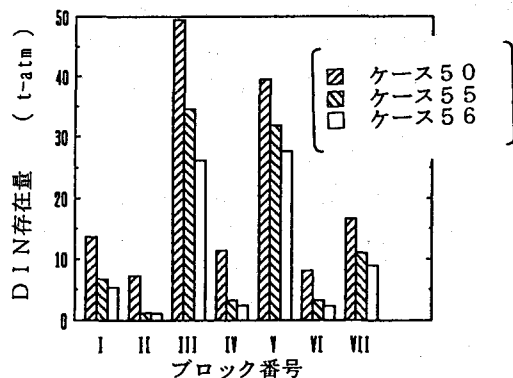


図-6 ブロック毎のDIN存在量

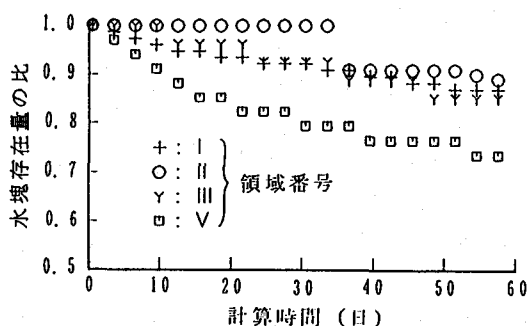


図-7 水塊の残余関数の分布

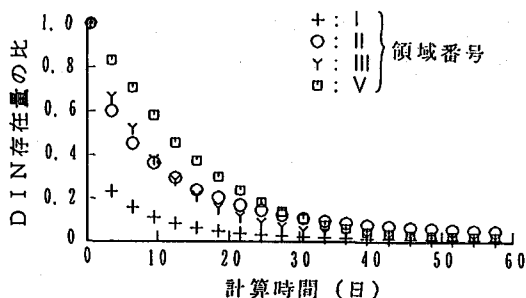


図-8 DINの残余関数の分布

の滞留時間がほぼ同じであるので、領域ⅠでDINが速やかに減少しているのは、海藻の繁茂する領域が多いことが原因であることが推測される。また、領域Ⅴでは、海藻の繁茂する領域と、水塊の滞留時間が共に少ないことが、他に比べてDINの減少が緩やかに起こっている原因と考えられる。

従って、グループAに属する条件として、①その物質が多く存在する、②水塊の滞留時間が長い、③DINの滞留時間が長いことなどがあげられる。このような領域に浅場を作り、海藻を増やすならば、効果的なDIN存在量の減少が期待できる。

これまでの議論は、ある特定の条件についてのみの比較であるので、より一般的な傾向を確認するためには、さらなる検討が必要である。

4 おわりに

本論文で提示した、物質循環モデルを用いて、定性的に東京湾の物質循環を再現し、海藻の量を変化させ比較計算を行った。得られた結果を以下に列挙する。

①1ボックスモデルでは線形の関係を持っていたDIN存在量が、メッシュモデルでは非線形の関係を持つ。②海藻の窒素吸収効果は、海底での窒素吸着の効果より卓越する。③海藻量とDIN存在量の関係をブロック毎に整理すると2つのグループに分けられる。④海藻の窒素吸収効果が窒素容量の向上に寄与するためには、その物質が多く存在し、水塊やDINの滞留時間が長い領域である程有利である。

参考文献

武岡英隆(1984)：沿岸海域の海水交換、沿岸海洋研究ノート、20巻、2号、pp.169-182。

中田喜三郎(1993)：物理過程の変動と沿岸と外洋の物質フラックスの推定、沿岸海洋研究ノート、30巻、2号、pp.139-152。

村上和男(1990)：海水密度の分布を考慮した流れの数値計算法、港湾技研資料、665号、pp.1-33。

細川恭史ら(1993)：海藻の窒素吸収作用に着目した東京湾内の物質循環計算、第39回海岸工学論文集、(投稿中)