

泥質干潟生態系モデルの開発と適用

芳川 忍、畑 恭子（国土環境株）

キーワード：生態系モデル，泥質干潟，環境修復・創造

1. はじめに

干潟・藻場が水質浄化機能を有し、沿岸域の水質に対して重要な役割を担っていることが近年の研究から明らかになりつつある。しかし、わが国においては、1945～1990年の45年間に全国の干潟域の38%以上が埋め立て等によって消失している。また、こうした海域は、陸域からの流入負荷等の人為的な変化の影響を受けやすく、赤潮や貧酸素化、その他の水質変化等に伴う環境の変化が起こりやすいことから、近年、水質、底質、生物の実態把握や環境保全対策等が求められている。

しかしながら、干潟域等が沿岸域の物質循環において果たしている役割については、科学的に十分解明されているとは言いがたく、干潟生態系の有する機能の科学的理解及びその維持や回復のための効果的な施策検討の必要が生じている。

2. 生態系モデル

生態系モデルは、沿岸域での物質循環の定量化および水質浄化機能の評価に対して有効な手法である。

例えば、二枚貝による有機物の取り込み速度等の物質循環の素過程から水質浄化機能を評価する方法に比べて、生態系モデルでは生態系全体の浄化機能および個々の物質循環過程について定量的に検討することが可能である。また、季節変化を表現することができることから、年間を通じた浄化機能の評価が可能である。さらに、様々な想定実験が可能であり、環境改善対策を講じた場合の影響の検討等を行うためのツールとして利用することができる。

沿岸域の水質の再現や予測に用いられる生態系モデルとしては、浮遊系のみを生態系モデル（浮遊生態系モデル）を指すことが一般的である。この浮遊生態系モデルにおいては、底生系は境界条件として取り扱われており、懸濁態有機物の沈降（水中から底生系へのフラックス）や、栄養塩の溶出と底泥のD₀消費（底生系から水中へのフラックス）がそれぞれ独立して与えられることが多い。この中で栄養塩の溶出は、水温の関数として表されることが多く、水中からの沈降物の量や質、直上水の濃度、底泥間隙水の濃度の変化には関係付けられていない。また、底泥の巻上げや底生生物による水中懸濁物の濾過と栄養塩摂取についても、考慮されていないのが現状である。

しかしながら、沿岸域における物質循環の解析には、このような浮遊生態系モデルの利用では十分とはいえない。湖沼や内湾のような水深の浅い水域はもちろん、人間活動の影響を受けやすい沿岸域、特に、干潟や藻場に代表されるような生物現存量が大きく、浮遊系と底生系の相互作用がその場の成立ちそのものに影響している海域では、この浮遊系と底生系の相互作用こそが物質循環の中核を成しており、底生系の挙動を考慮することが必要不可欠である。この具体例として、三河湾を挙げることができる。三河湾では干潟・浅場の埋立てにより、浮遊生態系に重大な変化が現れている（青山(1996)）。

このように、沿岸域の水質の再現や予測には、浮遊系と底生系の相互作用を考慮した海洋生態系モデル（底生生態系モデル、Baretta and Ruardij (1988)）が必要である。しかし、

それにも関わらず、これまで殆ど取り扱われてこなかった。その大きな理由の一つとして、底生生態系モデルは、従来の浮遊系のみを考慮したモデルと比較してサンプリングや生物・化学的パラメータの測定が困難であることが挙げられる。モデル構築に必要なパラメータや検証データが得にくいことから、浮遊系のみを考慮したモデルで得られた結果と比べて精度の面で有意な成果が得られず、底生系を考慮することの意義が発揮され難い状況があった。

3. 底生生態系モデル

しかし、日本においても15年ほど前から、この底生生態系モデルの開発の取り組みがなされており、様々な条件下の海域に適用され、サンプリングや各種パラメータの取得が精力的に実施されるとともに、現地調査結果と解析結果との比較検討を通じて、モデルの精度向上が図られてきた(中田・畑(1994)、Hata *et al.*(1995)、畑ら(1997)、鈴木ら(1997)、畑・中田(1998)、Hata *et al.*(2004))。最近では、メソコスムを用いた高頻度の連続観測結果の入手に伴い、底生生態系モデルの精度は飛躍的に向上している(畑・芳川(2004))。

これまでの日本における底生生態系モデルの調査・研究は、アサリ等の二枚貝が優占する砂質域を対象としたモデルが多く、泥質域において生態系や物質循環等を再現するような試みはほとんどない。また、泥質干潟域は特異な底生生態系と物理、化学的特徴をもつ海域であることから、砂質干潟を対象とした従来のモデルをそのまま適用することが出来なかったことも要因の一つである。

近年、泥質干潟についても、その有している機能や役割の解明が求められている。その試みの一つとして、泥質域の生態系や物質循環の特徴を反映し、物質収支等の解析を通じて泥質の干潟・浅海域の水質浄化機能について検討することのできる底生生態系モデル

(泥質干潟生態系モデル)を開発し、実海域に適用して窒素循環に基づいた干潟や浅海域の物質循環の定量的な評価を行ったので、ここに紹介する。

4. 泥質干潟生態系モデル

砂質干潟とは異なる底生生態系と物理、化学的特徴を持つ泥質干潟の特徴を可能な限り再現できるように、現地調査を行った上で、例えば、カニや特徴的な底棲性魚類を独立した構成要素とするとともに、リン循環において重要な役割を果たしていると考えられる懸濁態無機リンについても新たに考慮するなどして、モデルに組み込む生物や循環過程を決め、図1に示す生態系モデルを構築した。

このモデルは、図1に示すように浮遊系(水中)と底生系(底泥)を結合したもので、生態系を構築する様々な生物、非生物を機能等でグループ化するとともに、それらの相互作用を数式化し、主要な生体元素である炭素、窒素、リンにより生物の現存量や物質循環量を計算するものである。モデルでは、浮遊系、底生系ともに、対象領域を正方メッシュに分割したレベルモデルを用いている。

流速の変化に伴う底泥の巻上げ・沈降現象に関するモデル式を追加し、透明度に影響するSS濃度の再現性向上を試みた。また、現地調査結果で、底質の表層付近と30cm深付近で間隙水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が大きく異なり、底質表層付近の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が低かったことを踏まえ、間隙水中の DO 濃度の挙動を再現することを試み、 DO 濃度に依存する分解、硝化、脱窒、吸脱着のモデル化を検討した。

このような泥質の河口海域でみられる現象についての定式化を通じて、泥質の干潟・浅海域における物質循環の特性を再現できるようなモデルとした。モデルを動かす際には、対象とする海域で現地調査を行い、再現性の確認をするための検証値やパラメータを取得するとともに、二枚貝の濾水速度など生物の

代謝過程について既存の知見がない場合には、室内実験を行った。

5. モデル計算結果

計算結果は、生物等の年間計算結果を現地調査結果と比較を行うほか、脱室速度や底質からの溶出速度等の室内試験結果と比較して再現性の確認を行った。水質・底生生物は年4回、底質・間隙水は年2回の1ヶ年の再現値に対して、赤潮等のイベントを除き、岸-沖方向の分布や季節変動傾向、間隙水中の鉛直分布傾向を表現することができた。

一定の再現性を確保していることが確認さ

れた上で物質収支を算定し、泥質域における物質循環の特性等を解析した。干潟部と浅海域、二枚貝の漁場等特徴的な場所における浮遊系と底生系の窒素収支の違いや、月毎の窒素収支の変化について解析を行い、海域の有する浄化機能は、物質循環の結果として評価を行った。

6. モデルの利用可能性

今回開発したモデルは、前述のように、生態系を構築する様々な生物、非生物を構成要素としており、それらの相互作用である物質循環過程を再現できるものである。この特徴

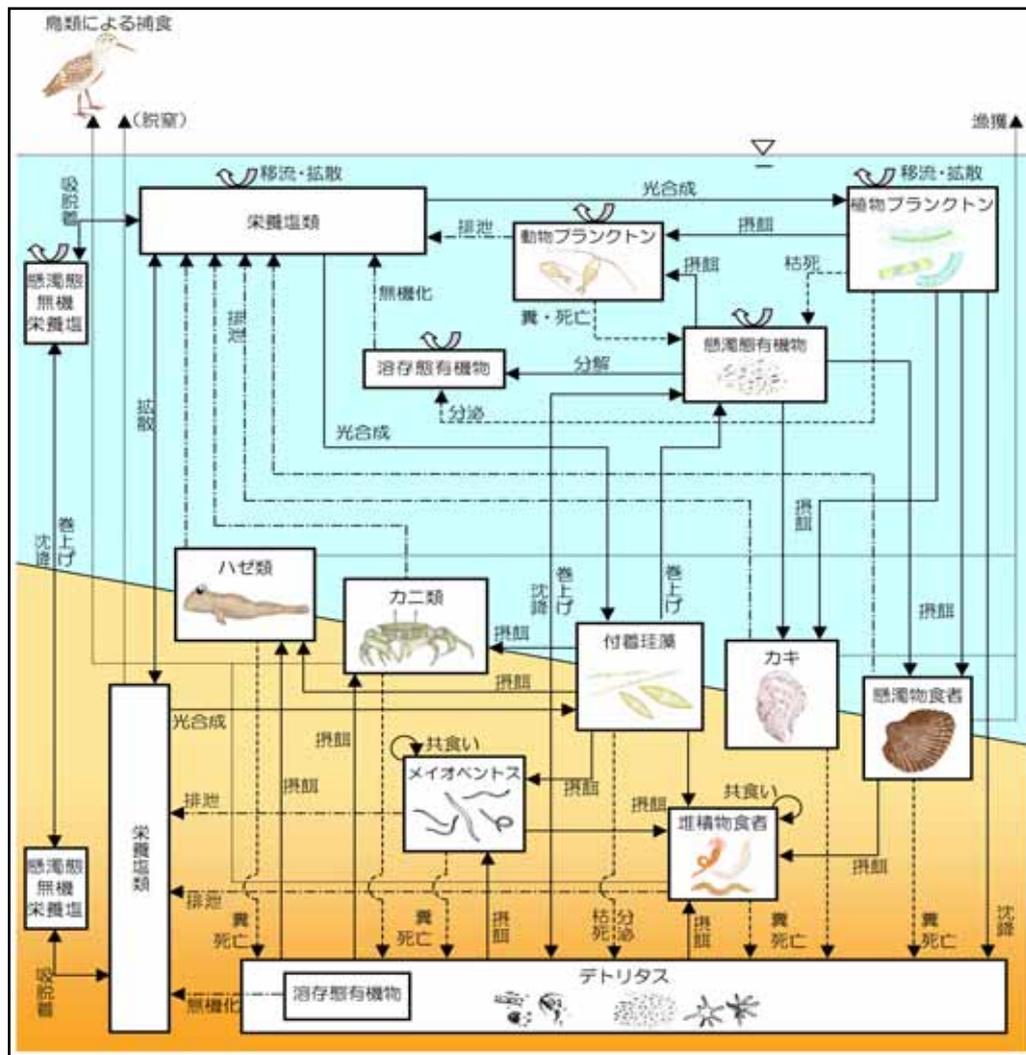


図1 泥質干潟生態系モデルの概念図

から、環境改善対策を検討する場合に、対策の実施に先立ち、実施した場合の影響の把握とその評価等を行うことが可能である。

例えば、水質浄化機能を担っている物質循環過程の一つである脱窒速度の向上を検討する場合には、底泥の酸化層をいかに拡大するかが課題となる。これには、海底耕耘などの人為的物理的手法の他、堆積物食者等のベントス現存量の増加法を検討し生物攪乱の効果を上げるなどの生物的手法も想定される。

また、水質浄化機能に大きな影響を有すると考えられる懸濁物食者の摂餌速度の向上を検討する場合には、二枚貝類の漁場を整備して懸濁物食者現存量を増加させること等が想定される。

実際に、環境改善措置を行うに当たっては、単に水質浄化機能といった観点だけでなく、海域環境、物質循環等にいかなる影響を及ぼすかを十分検討したうえで取り組みを進めることが重要である。本モデルは、環境改善措置を検討する上で有用なツールになるものと考えられ、ひいては、効果的な海域の管理に活かされることが期待される。

7. 今後の課題

砂質干潟を対象とした底生生態系モデルは、場所や生態系、年次等が異なる様々な条件に適用されてきており、それらの結果を用いて他の干潟の計算結果等との比較が可能な状況である。

泥質干潟生態系モデルは、この砂質干潟を対象とした底生生態系モデルをベースに開発されたモデルであり、今回の適用事例でも一定の再現性を確保していることが確認されたが、今後、モデルの適用事例を重ね、データと知見の蓄積を行うことにより、底生生態系モデルの信頼度をさらに増すことができると考えられる。

8. 引用文献

Baretta J.W. and P. Ruardij (1988) : Tidal Flat Estuaries. Simulation and Analysis of the Ems Estuary. Ecological Studies 71. Springer-Verlag, 353 PP.

Hata K., I. Oshima and K. Nakata (1995) : Evaluation of the Nitrogen Cycle in a Tidal Flat. Estuarine and Coastal Modeling, American Soc. of Civil Eng. 542-554.

Hata K., and K. Nakata (1998) : Evaluation of eelgrass bed nitrogen cycle using an ecosystem model. Environmental Modeling & Software. 13, 491-502.

Hata K., K. Nakata and T. Suzuki (2004) : The nitrogen cycle in tidal flats and eelgrass beds of Ise Bay. Journal of Marine Systems, 45, 237-253.

青山裕晃(1996): 三河湾における海岸線の変遷と漁場環境. 愛知県水産試験場研究報告, 7, 7-12.

畑 恭子, 大島 巖, 中田喜三郎(1997): 底生生態系モデルを用いた海岸生態系の物質循環の評価. 海洋理工学会誌, 3(1), 31-50.

畑 恭子, 芳川 忍(2004): メソコスム(人工生態系)における生物群集データを用いた底生生態系モデルの精度向上について. HEDORO, 90(5), 43-48.

中田喜三郎, 畑 恭子(1994): 沿岸干潟における浄化機能の評価. 水環境学会誌, 17(3), 158-166.

鈴木輝明, 青山裕晃, 畑 恭子(1997): 干潟生態系モデルによる窒素循環の定量化, - 三河湾一色干潟における事例 - . 海洋理工学会誌, 3(1), 63-80.

安岡澄人, 畑 恭子, 芳川 忍, 中野拓治, 白谷栄作, 中田 喜三郎(投稿中): 有明海の泥質干潟・浅海域での窒素循環の定量化 - 泥質干潟域の浮遊系-底生系結合生態系モデルの開発 . 海洋理工学会誌 .