

7. 単独モデルからカップリングモデルへ

技術発展のあゆみ

当社では、沿岸の波浪・流動・水質の数値シミュレーションを、1970年代初めから行ってきました。このうち流動と水質は結合（カップリング＝相互作用）モデルではありませんでしたが、不可分のものでした。つまり、流動シミュレーションから得られる流動場に負荷量をのせて水質シミュレーションを行うことが通常業務の流れでした。

環境アセスメント等にかかわる水質予測分野において、当社はリーディングカンパニーの位置にあったと自負しています。その技術的要因は、(1)多層モデル、(2)ネステッドモデル、(3)低次生態系モデルの3つを業界のなかで早期に開発し、業務に適用してきたことによると考えています。

多層モデルは、東京湾、伊勢湾、大阪湾をはじめとする閉鎖性内湾の水質汚濁機構をモデル表現するうえで不可欠の要素であり、当社では1980年に東京湾での業務をはじめとして多層レベルモデルを適用していきました。

ネステッドモデルは広域に適用する粗格子と狭域に適用する細格子を同時に双方向に影響し合うものとして計算するモデルで、もともと津波高潮計算の分野では広く用いられていました。当社でも最初は高潮計算モデルとして開発しましたが、これを多層モデルに拡張し、水質予測分野で利用できるようにしたことによって業績に大きく貢献しました。

低次生態系モデルは、海洋・湖沼の水質予測手法として、閉鎖性水域における主要な水質汚濁機構をモデル化するもので、1971年に始まった富栄養化モデルの開発を最初のステップとして、関連物質や分画の多様化、青潮予測への応用、泥質干潟・浅海域の生態系や物質循環の特徴を反映した干潟生態系モデルの開発、すなわち浮遊系(水中)・底生系(底泥)の結合といった方向に進展し、現在も当社のモデル分野における最も有用なものの一つとなっています。

沿岸の波浪・漂砂関連の業務では、1980～1990年代にかけて、波浪解析はエネルギー平衡方程式に基づく浅海変形計算及び高山法(回折計算法)が主流であり、漂砂解析においては、海岸変形ではワンラインモデル、干潟上の地形変形では3次元地形変化モデル(バイカー公式使用)が主流でした。

現状と今後の展望

流動・水質モデルの現状は、多層ネステッドによる流動及び低次生態系モデルの適用がなお主流ですが、通年計算といった長期間シミュレーションが多用されるようになってきました。従来のアセスメントでは、M₂分潮を対象とする潮流シミュレーションなど平均場を扱うことが普通でしたが、風況等の変動要因が水環境に及ぼす影響が大きいとの認識が高まったこと、現地観測においてDOやクロロフィル濃度の長期連続測定が行われるようになったことによって、不規則に変動する外力への水環境の応答をモデルで表現することへのニーズが高まり、通年計算を含む時系列的シミュレーションが行われるようになりました。

この代表的なものが2000年に起きた有明海のノリ不作の問題に関連した、国土調整費による7省庁合同調査です。この調査では、二枚貝による水中懸濁物の除去や、ノリによる栄養塩の吸収ならびに施肥効果を低次生態系モデルに組み込んだうえで、2000年及び2001年を対象とする通年計算を行いました。

この調査で指摘された問題点は、レベルモデルでは海面は第1層(最上層)の範囲内になければならないというモデル上の制約で、有明海のように潮汐変動の大きい海域では第1層を5m以上と厚く設定する必要があるため、水質問題で重要な表層の塩分・水質成層を再現できないというものでした。

残念ながらこの調査期間中には問題を解決できなかったものの、この後これを解決するため、当社では鉛直座標にシグマ座標を採用するモデルの開発に集中的に取り組み、2005年度までには、海洋流動モデルの世界標準となっているPOM(Princeton Ocean Model)を元に、鉛直座標を一般化したGCS(Generalized Coordinate System)を開発しました。このモデルは、やはり有明海を対象とした文部科学省の「有明海生物生息環境の俯瞰的再生と実証実験」(2006～2008年)に適用され、特に河川から流出する淡水ブルームの再現等に優れた成果を上げ、指摘されていた多層レベルモデルの問題点を解決しました。

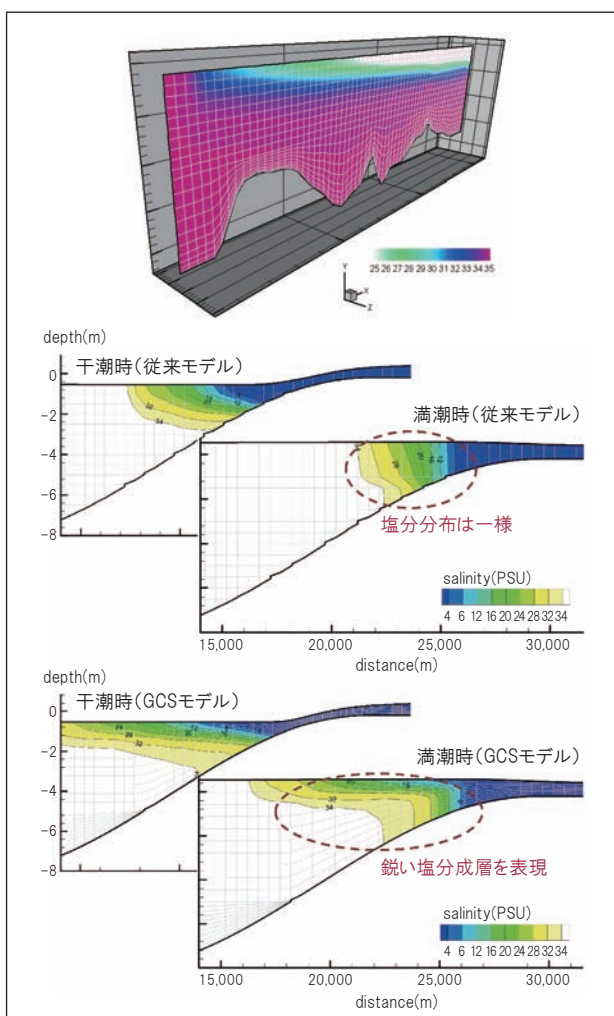


図1 GCSモデルによる塩分計算例

一方、低次生態系モデルにおいては、モデルの枠組み(フレーム)の点で大きな進展がみられました。これまでの水質モデルはそれに先立つ流動モデルの構造から枠組み上の影響を受けてきました。つまり、流動モデルがレベルモデルからGCSモデルへ変更になったとき、物質循環の概念に変更がなくとも流動モデルの変更に対応するため、水質モデルも大きく変える必要がありました。

このような効率低下を改善するため次のような方法を取りました。水質計算の側から流動をみると、流動モデルの内容がどんなものであれ、連続の式を満たしたものであればよいといえます。すなわち水質計算の1つのセルが6面体から成るとして、1タイムステップの間に6面を通した水の収支が、そのタイムステップ前後のセルの容積の変化と矛盾がなければよく、当社ではこのことに着目し、流動の受入に関して一般的な枠組みを持つ水質モデルを作成して、CAMBAS(Coastal Area Model for Biogeochemical Analysis)と名付けました。これによって、どのような流動モデルを用いたとしても水質モデルは変更する必要がなく、モデルの本質部である浮遊系や底生系の物質循環のモデル化に専念できるようになりました。こうして浮遊系と底生系の結合解析(相互作用モデル)が一段と進展しています。

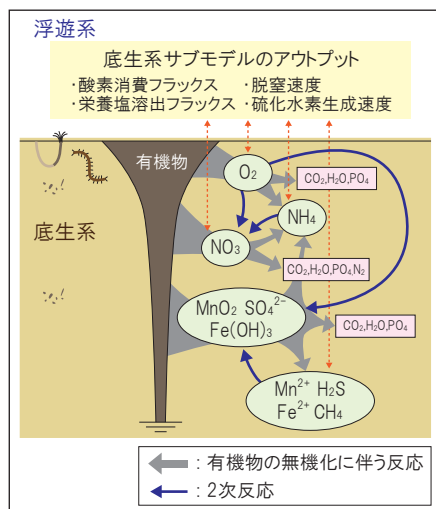


図2 CMBASにおける底生系モデル概念図

波浪モデルについては、従来のエネルギー平衡方程式に基づく浅海変形計算に加えて、ブシネスク方程式に基づく浅海変形計算が行われるようになりました。波浪の変形現象には屈折・回折等多くの要因があり、従来は変形現象毎に適切なモデルを適用して、総合的には各結果をつなぎ合わせる必要が

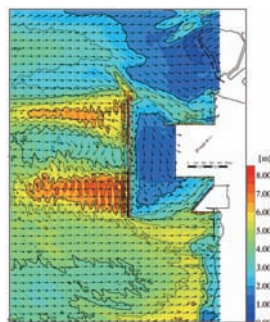


図3 ブシネスクモデルによる波高の計算

ありました。ブシネスク方程式に基づく方法は、変形現象のほぼ全要素を同時に扱うことが可能であり、相互に矛盾のない結果を得ることができるようになりました。しかしブシネスクモデルはその本質上数mオーダーの小さい格子間隔を用いる必要があり、広い計算範囲をカバーすることは実用的に困難です。このため沖合からブシネスクモデルの境界までの変形にはやはり従来のモデルを適用する必要があり、適用範囲の違いからブシネスクモデルが従来のモデルに取って代わることなく、両モデルは今後とも共存することになります。

一方、エネルギー平衡方程式に基づく波浪推算モデルでは、インターネットで公開されている第3世代モデルの利用が進んでいます。波浪推算モデルは、風による波エネルギーの発達や風域を抜け出た波の減衰を考慮するモデルであり、特に周波数成分波間でのエネルギー授受を精緻にモデル化したものは第3世代モデルと呼ばれます。このうち砕波まで含めて浅海変形を考慮できるモデルにSWAN(デルフト大学開発)があり、当社でもこのモデルを2004年に駿河湾の波浪推算業務に適用しました。

ブシネスクモデルもSWANも膨大なコンピュータの演算時間を必要とします。また流動水質モデルも通年計算等では多くのコンピュータパワーを要します。ユーザの要求に応えるために計算は大型化する傾向にあり、多くの計算パワーを要する主要なモデルについて、並列計算機に最適なプログラムに改変する必要性が高まっており、これに対応すべく鋭意努力しているところです。

大気圏、地圏、水圏それぞれの分野で流れと物質循環を扱う高度なモデルがインターネットで公開されるようになり、十分な計算機パワーを持ち、ものごとに習熟する能力があれば、誰でもモデルを利用できるような環境になりつつあります。そしてこれらのモデルを相互に結合させた総合モデルとしての利用がみられるようになりました。最近の流域一貫の考え方、森・川・海を俯瞰する総合的な観点を量的に裏付けるために、大気圏、地圏、水圏を結合させたモデルへのニーズは高まっています。

当社ではこのようなニーズに流域単位で応えるだけのハード、ソフト面の環境が整っており、気象モデルWRFから計算される気象をインプットとしてSWANによる波浪推算やGCSによる沿岸流動シミュレーションの構築を行っており、今後多くの業務に適用していく予定です。

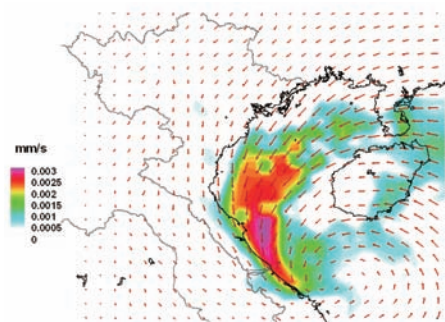


図4 WRFモデルによるトンキン湾(ベトナム)でのサイクロンのシミュレーション
(色は降雨強度、ベクトルは地上10m風)