

人工干潟造成技術開発支援のための 新しいシミュレーション技術の開発に関する研究

独立行政法人 港湾空港技術研究所 海洋・水工部
主任研究官 内山 雄介

1. はじめに

沿岸海洋環境に対する干潟海域の海水浄化機能および生態系保全機能に大きな注目が集まっている。沿岸域開発に伴って消失した自然海浜，特に干潟をミチゲーション的アプローチにより修復・保全すること，あるいは人工干潟を整備することが，開発行為に対する社会的要請となっている。しかしながら，干潟造成・修復に関連する技術開発は立ち遅れており，干潟海域の流動，各種輸送プロセス（底質，化学物質，生物等），および地形変動を定量的に評価するツールの開発が強く求められている。本研究は，これらの課題をクリアするべく，3次元海洋流動モデルをベースとした新しい干潟の底質輸送・地形変動シミュレーション技術を開発し，その適用性について検討するものである。

2. シミュレーションモデルの開発

干潟域を含む内湾海域の流動シミュレーションを行う際には，干潟特有の現象である「冠水・干出」を合理的にモデル化することがポイントとなる。本研究では，著者によって開発された，拡張対数則に基づく3次元冠水・干出スキームを導入した3次元地形適合座標系海洋流動モデル（WD-POM；Blumberg and Mellor, 1983; Uchiyama, 2004）をベースとして，底質輸送，地形変動モデリングを行う。多くの干潟における底質は，粒径が細かく凝集性を有する泥やシルト分が卓越している。そこで本研究では，これらの細粒土砂に対する底質輸送モデルを構築し，WD-POMに組み込むこととする。ここで，3次元デカルト座標（鉛直 σ 座標）上での土砂の輸送方程式は，以下の式(1)のように表現される。

$$\frac{\partial CD}{\partial t} + \frac{\partial UCD}{\partial x} + \frac{\partial VCD}{\partial y} + \frac{\partial(\omega - W_s)C}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial C}{\partial \sigma} \right] + F_C \quad (1)$$

ここに， x, y ：水平座標， σ ：鉛直座標， t ：時間， C ：土砂濃度， D ：水深， U, V, ω ：3次元流速， W_s ：沈降速度， K_H ：鉛直渦拡散係数， F_C ：水平拡散項，である。底質のソース（供給源）・シンク（吸入源）となる海底面における境界条件は式(2)，底質の再懸濁をコントロールする底面せん断応力 τ_b は，拡張対数則にもとづき式(3)のように定式化する。

$$\frac{K_H}{D} \left(\frac{\partial C}{\partial \sigma} \right) = Er - Dp, \quad \sigma \rightarrow -1 \quad (2)$$

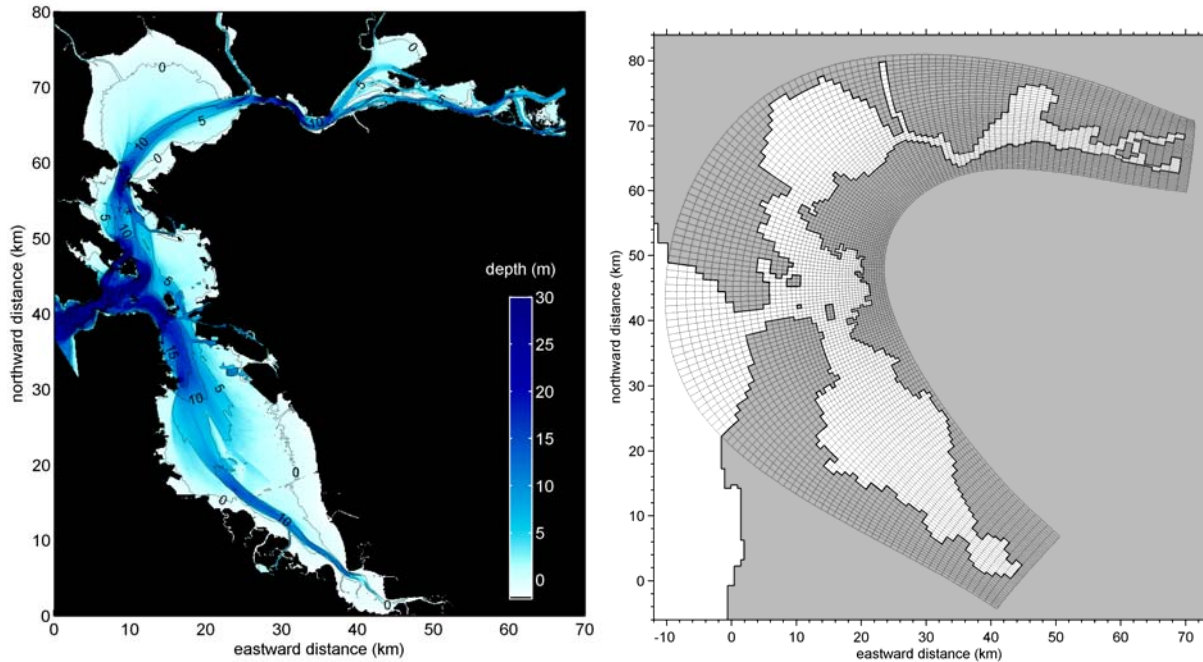


図-1: サンフランシスコ湾の MLLW 基準の水深分布 (左), 計算グリッド (右)

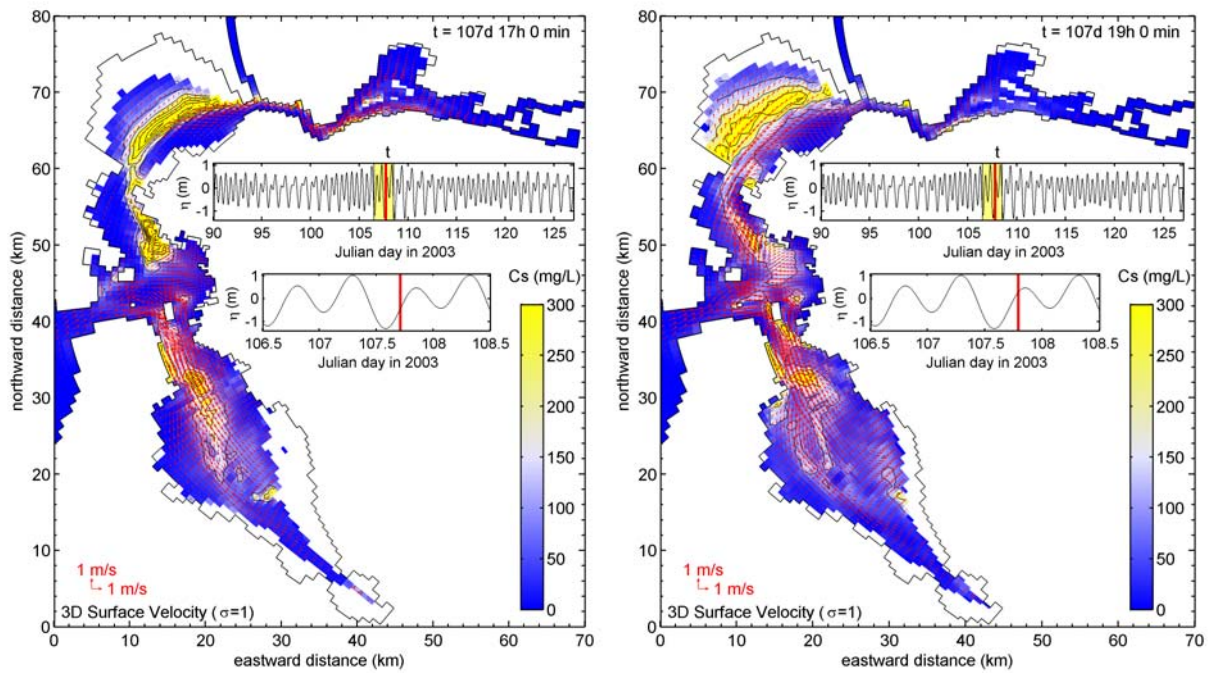
$$\tau_b = \rho u_*^2 = \rho [\kappa u / \ln(z/z_0 + 1)]^2 \quad (3)$$

ここに, Er , Dp : 侵食および堆積速度, ρ : 海水密度, u_* : 摩擦速度, κ : カルマン定数, z : 最下層流速定義点高さ, z_0 : 粗度高さである. このうち, 土砂の沈降速度 W_s は, 局所的な濃度および水塊のシアによる凝集効果を考慮した *Burban et al.* (1990) によるモデルを, 海底面における土砂の再懸濁フラックス Er は限界せん断力による *Krone* (1962) の式を, また沈降フラックス Dp は低シア時の沈降を考慮した *Partheniades* (1992) の式を用いる.

これらの方程式を直交曲線座標系上に座標変換した上で **WD-POM** に組み込んだ. なお, 鉛直拡散項および沈降フラックス項については陰解法を用い, その他の項については **Leap-frog** 法により解くこととする.

3. ケーススタディ

一般に凝集性細粒土砂は沈降速度が小さいため, 浮遊した状態を保持する傾向があり, 沿岸域に限定されずに内湾全域を移動する. そのため, 従来のような対象海域 (干潟等) 周辺の小領域ではなく, 湾全域をカバーするように計算格子を設定することが本質的に重要となる. 本研究では米国サンフランシスコ湾 (図-1) をケーススタディ対象としたが, これは, 潮位, 潮流速, 地形データなどが米国海洋大気局 (NOAA) により潤沢に公開されており, 広大な干潟域を



(a) 上げ潮最強時

(b) 満潮時

図-2: 浮遊底質 (青-白-黄色) および水平流速 (赤矢印) の空間分布.

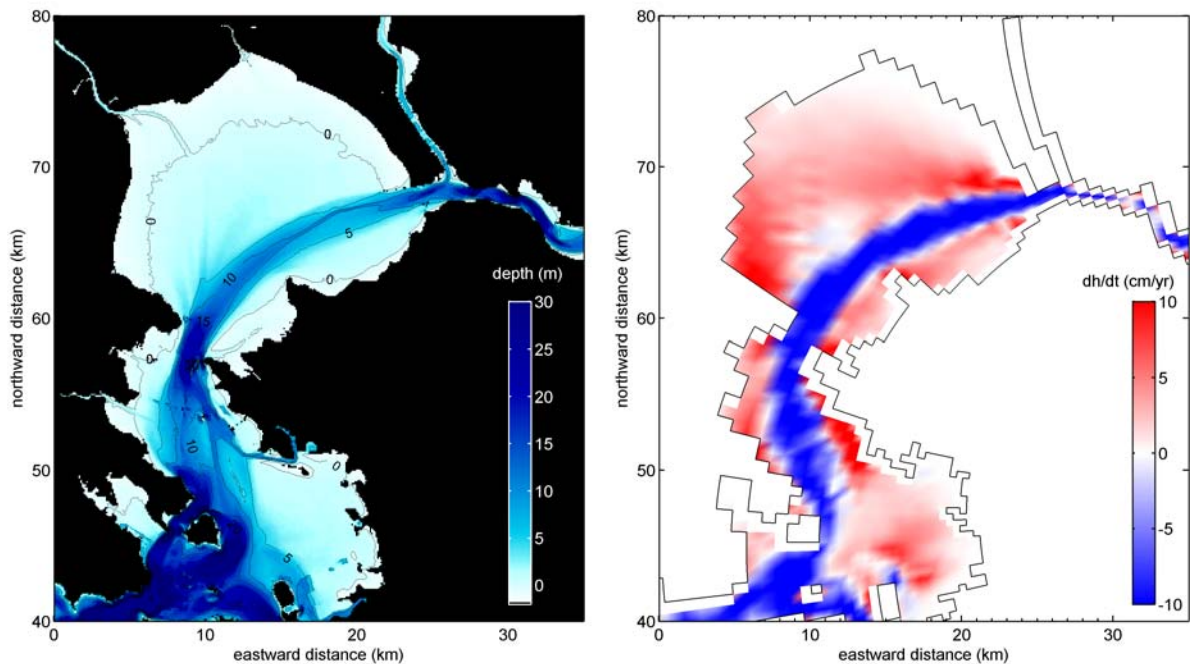


図-3: 湾北部における, (左) MLLW 基準の水深分布 (左) および地形変化速度 (右).

有するためである. なお, 本シミュレーションモデルは地域性を有するパラメータ等を一切排除した形で定式化されているため, 有明海などに代表される我

が国内湾海域にそのまま適用することが可能である。

サンフランシスコ湾は閉鎖性が極めて強く、潮流が卓越する湾であるため、湾西部の開境界において天文潮のみを与えた潮流計算を実施した。図-2 に示すように、潮流速が大きい水路部で顕著な底質の再懸濁が生じ、時間の経過とともにそれが沿岸の浅海干潟域に移流・分散している様子が見て取れる。この傾向は2朔望周期（28日間）にわたる潮汐の作用による湾北部（San Pablo 湾）における地形変化に対する直接的な原因となっている（図-3）。すなわち、水深の深い水路部においては再懸濁が卓越するため侵食が、反対に干潟域では深海部から輸送されてきた浮遊底質の沈降が卓越するため堆積傾向にある。この結果は、干潟域が湾内全域の土砂収支に対して重要な役割を果たしていることを明確に示しており、つまり潮流が卓越する状況下では、干潟域は土砂のシンクとなっていることが明らかになった。

4. おわりに

本研究では内湾全域に適用可能な3次元底質輸送・地形変化モデルを開発し、干潟域を含む湾内全域での土砂輸送過程と地形変化について数値計算を行った。米国サンフランシスコ湾を対象としたケーススタディによると、干潟を含む沿岸部浅海域は土砂のシンク（吸入源）となっており、逆に湾中央部に発達した水深の深い水路部は土砂のソース（供給源）となっていることが明らかになった。今後、人工干潟の造成や自然干潟の保全・修復を行う際には、河川からの土砂供給に加え、湾内全域での流動特性および土砂の輸送特性を検討する必要があることが具体的に示された。本研究で構築された3次元輸送モデルにより、我が国内湾海域における干潟の水理環境シミュレーション、土砂輸送計算および地形変動予測が可能となった。

参 考 文 献

- Blumberg, A.F. and Mellor, G.L., 1983: Diagnostic and prognostic numerical circulation studies of the South Atlantic Bight, *J. Geophys. Res.*, 88: 4579-4593.
- Burban, P.Y., Xu, Y., McNeil, J. and Lick, W., 1990: Settling speeds of flocs in fresh and sea waters, *J. Geophys. Res.*, 95, 18213-18220.
- Krone, R.B., 1962 : Flume study of the transport of sediment in estuarial processes, *Final Report, Hydraulic Eng. Lab. and Sanitary Eng. Res. Lab., Univ. Calif., Berkeley, California, USA.*
- Partheniades, E., 1992: Estuarine sediment dynamics and shoaling processes, In Herbick, J. (ed), *Handbook of Coastal and Ocean Engineering*, 3, 985-1071
- Uchiyama, Y., 2004: Modeling wetting and drying scheme based on an extended logarithmic law for a three-dimensional sigma-coordinate coastal ocean model), *Rep. Port and Airport Res. Inst.*, Vol. 43, No. 4: 3-21.