

海洋環境シミュレーション技術の最先端

内山 雄介 正会員 神戸大学大学院工学研究科 市民工学専攻 教授

土木における数値解析の理論や事例を「数式を用いず」幅広く紹介する本連載の第23回は、広域な範囲を解析モデルとする海洋環境シミュレーションの最先端技術について、神戸大学の内山雄介先生に紹介いただきます。

土木工学に関わる海岸・海洋の諸問題に対する海洋環境シミュレーション技術が果たす役割はますます増大している。近年の計算機の能力向上や、シミュレーション技術の進展に伴い、その正確性は著しく向上し、応用範囲は拡大の一途をたどっている。以前は数値モデル中の各パラメータを実測にあうように調整して初めて実用的な結果が得られるという側面が強く、あくまで実験や観測を補うものと考えられていた。しかし現在では、さまざまな局面で数値モデルが他

を先行・圧倒し、数値モデルによって発見された現象を説明するために理論が後追いで構築されたり、現地観測によって改めて確認されることも多い。そもそも、複雑な外力や境界条件の影響を受けて形成される海洋の力学を最も厳密に考慮できるのは数値モデルであり、物理環境の表現能力と正確性に関しては、その信頼性は他の追従を許さない。

土木工学に統合したものを指す。海洋モデルとは、3次元回転成層流体の運動方程式と連続式、熱などの各種トリーサ保存式、状態方程式などをコンピュータで解く技術である。海洋をモデル化するためには、3次元的な広がりをもつ海域をなるべく小さな直方体の集合で近似し、各直方体に入力する運動量や質量や熱の収支を考慮し、その時間変化を解くことが基本となる。偏微分方程式で表現される流れの基礎方程式をコンピュータで解くために、テイラー展開などを用いて代数方程式に近似する。したがって直方体の大きさや計算中の時間進行の幅を小さくすることにより打ち切り誤差が小さくなり、計算精度は原理的に向上する。一方、海は開放系であるため、

地球規模の環境変動の影響を鋭敏に受ける。たとえば、瀬戸内海の平均流動は黒潮流路に強く支配されており、黒潮は北太平洋の環境変化の影響をも受けるため、マルチスケールでの検討が必要となる。

河川流入・混合粒径土砂輸送・生態系モデル、波・流れ相互作用モデルなどのオブションが用意されている。もちろん津波、高潮、潮流、海浜流などの基礎的なシミュレーションも可能である。筆者らが最近実施したROMSの適用例は、砂浜海域における離岸流の3次元解析、大阪湾での下

は、低解像度の領域モデルの内側に高解像度の小領域モデルを配置し、境界条件を通じて大領域の計算結果を小領域へと順次伝達する技術である。多段階のネスティングによって空間解像度を向上させることにより、地球規模の情報を考慮しながら、土木工学で取り扱う沿岸・海浜スケールの現象を正確に再現することが可能となった。図1は、福島第一原発事故の事後解析に用いた4段ネスティングモデル領域である（内山ら、2017）。日本列島を包含するJCOPE2海洋再解析値（水平解像度約10km）から出発し、ROMSによって水平解像度を3km→1km→250m→50mまで順

細密化している。海洋モデルに統合される各種サブモデルとは、土砂やプランクトンなどの物質濃度の保存式や、土砂再懸濁や酸化還元などの過程を表す数値モデルなどで構成される。過去十数年にわたって筆者が開発に関わっている領域海洋循環モデルROMS (Regional Ocean Modeling System) は、事実上の世界標準モデルと呼ぶべき3次元海洋流動モデルである。OpenMPとMPIという代表的な2つの並列計算技術、ネスティング技術、気象モデルや波浪推算モデルとのカップリング、観測データを与えてモデル予報値

も対応している。開発チームの断の努力により、およそ土木工学で必要となる各種サブモデルはすべてに包含されており、たとえば、

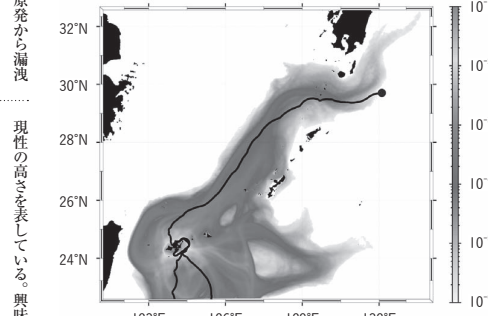


図2 八重山諸島を起源とする中立粒子ラグランジュ確率密度関数(濃淡)とGPS漂流パイの軌跡(実線)

現性の高さを表している。興味をもたれた読者諸氏は、ぜひ私たちのHP (<http://coastdec.kobe-u.ac.jp>) を訪問していただきたい。

参考文献

- (1) 内山雄介ほか7名、台風2017年3月26号出水に伴う新田川起源懸濁物放射性核種の沿岸域でのインベントリ解析、土木学会論文集B2(海岸工学)、第73巻、第2号、1685-1690頁、2017年。
- (2) 小谷雄千花ほか4名、琉球諸島周辺海域における生態系ネットワーク形成に対する黒潮の影響について、土木学会論文集B2(海岸工学)、第73巻、第2号、113-115頁、2017年。

(担当編集委員・佐久間文)

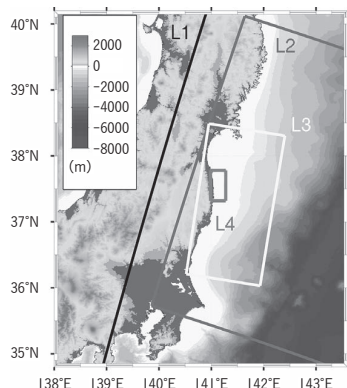


図1 福島沖4段ネストROMSモデルのL1-L4領域(実線枠)。濃淡は標高(陸上)および水深(海洋)