

オブジェクト指向型環境流体モデルの開発

首都大学東京 都市環境学部 都市基盤環境コース
新谷哲也

1. 目的

陸水、海洋における水質や生態系の評価手法として数値流体モデルが活用されてきた。数値モデルでは、現地観測で困難な広範囲・高解像度の現象把握、また仮想的な解析が可能であるため、今後もその重要性が減じることはない。数値モデルは、高精度化と実用性向上を目的に現在も各研究機関で開発が進んでいるが、近年では、機能の増加に伴ってモデルは大規模化し、コードは複雑化する傾向にある。

現在まで、一般的な環境流体モデルのコードは、主に FORTRAN77 等の手続き型言語で記述されてきた。これらのコードでは、構造がプログラムの自身の記憶に依存することが多く、また大規模になるに従って、コードの再利用が困難となり、修正・拡張を進めていく上で大きな障害となる。一方、Java や C++ 言語を代表とするオブジェクト指向型言語では、クラスという概念によって現実世界の事象をコンピュータ上に抽象化し、データおよび関連する動作をモデル化することで、コードの再利用や拡張が容易になる。近年では、このオブジェクト指向に基づいて流体計算モデルの開発を行う試みが始まっており、太田・白山(1999)、猪瀬・石黒(2000)の研究、OpenFOAM 等はその代表例である。

本研究では、河川、湖沼、閉鎖性湾の解析を目的とした環境流体モデルのオブジェクト指向化を行い、その設計概念を説明するとともに有効性を検証する。

2. オブジェクト指向化について

オブジェクト指向プログラミングでは、オブジェクト自身及びオブジェクト間の通信を設計することが基本となる。人によって現実世界の理解に違いがあることと同様に、クラス(オブジェクト)を設計する際にも無限のパターンがある。本研究では図-1 に示すように、単一もしくは複数の Domain (領域)クラスが解析対象(貯水池、河川、湾)を構成する基本要素として考える。Domain クラスは、格子情報クラス、複数の物理量クラス等を有するものと定義する(図-2)。各物理量クラスは、その値と空間微分値に加え境界条件クラスを有する。一度 Domain クラスを定義すれば、類似した Domain オブジェクトを自由に生成することができる。作成したクラスに機能を追加して新たなクラスを作成したい場合には、継承等の機能により追加部分のみ記述することで拡張できる。また、オブジェクトを配列に格納することが可能なため、全オブジェクトに対し共通な処理を繰り返し文(For 文等)によって集約化することができる。

3. 数値モデルの概要

本モデル(Fantom3D)は、オブジェクト指向言語の中で最も柔軟性が高いと言われている C++言語で記述した。数値スキームについては、新谷・梅山(2004)で開発したコードが基となっている。座標系には一般座標を採用し、物理量をスタッガード状に配置した非静水圧 3 次元モデルとなっている。詳細は、<http://www.comp.metro-u.ac.jp/~shintani/fantom.html> を参照されたい。

4. 領域分割と並列化

オブジェクト指向化のメリットとして、複雑形状領域の解析や並列化を目的とした領域分割法の適用が容易であることが挙げられる。各領域をオブジェクトとして扱うことによって、領域の追加や役割の変更等をより容易かつ柔軟に行うことができる。領域分割を行う際には領域間の物理量の受け渡しが問題となる。本モデルでは、各 Domain オブジェクトに接続用の境界条件オブジェクトを生成・取得する機能を持たせており、その授受関係を Domain マネージャークラス(図-1 参照)に一括管理させているため、一度接続関係を定義すれば、それ以後は新たなスキームへの変更や物理量の追加を行っても接続に関して修正は生じない。図-3(a)には、領域分割法を用いた交換密度流計算結果のスナップショットを示し、図-3(b)には、OpenMP による並列化効率を示されている。計算に用いた PC は、CPU が Intel Core2Quad 2.4GHz、4GB のメモリーを搭載している。計算領域は 8 個の Domain オブジェクトで構成した。コア数の増加に従って計算速度がほぼ線形に増加していることがわかる。

5. 現地スケールへの展望とまとめ

湖や閉鎖性湾を解析する場合、その境界条件として、河川の流入や外洋への接続が考えられる。多くのモデルでは、河口部で流量を与え、外洋接続部では潮位を与えてその影響を考慮する。しかしながら、感潮河川と接続する湖沼、外洋と接続する閉鎖性湾の解析では、計算領域外に一度持ち出された水塊が領域に戻ってくること（水域間の相互作用）を考慮しなければならない。このような場合、当然従来型のモデルでも解析することができるが、オブジェクト指向で設計されたコードはより容易かつ柔軟に対応できる。

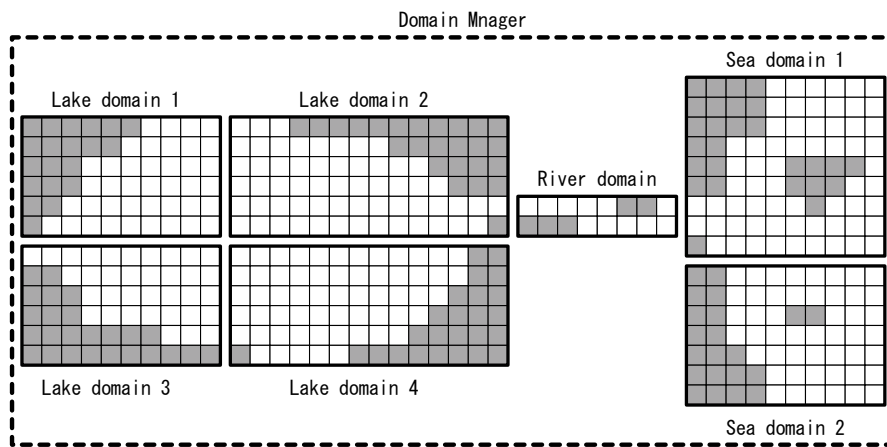


図-1 解析対象とオブジェクト(domain)による分割

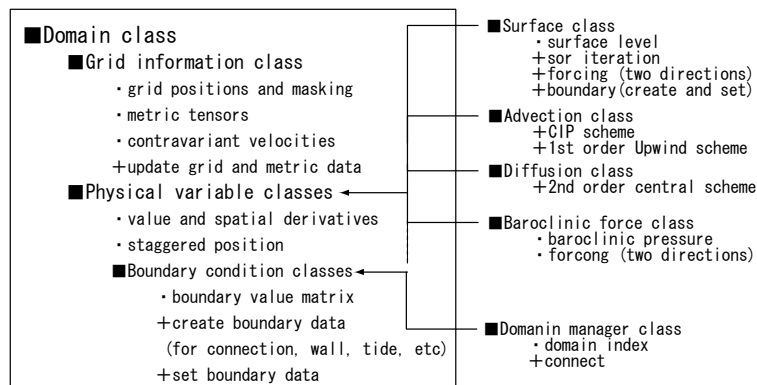
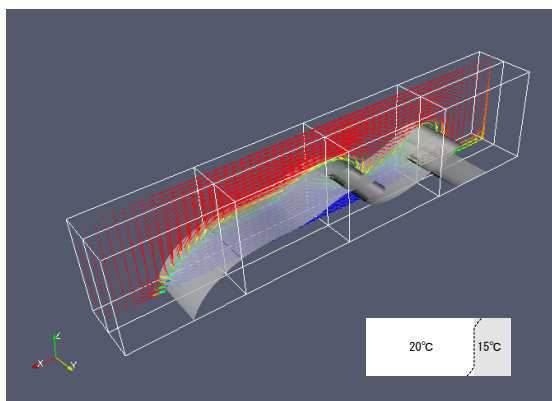
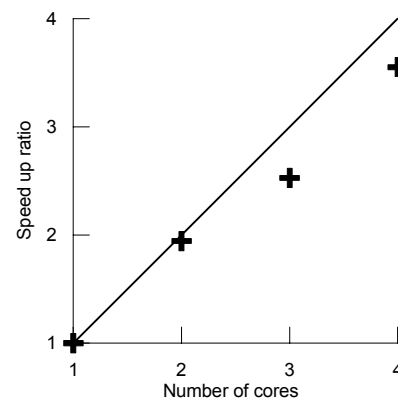


図-2 Domain クラスの定義と概要



(a) 計算結果のスナップショット(8 domains)



(b) 並列化効率

図-3 交換密度流の領域分割・並列計算

参考文献

- 太田・白山, “オブジェクト指向フレームワークによる流体計算統合環境”, 日本計算工学会論文集, 1, 27-33, 1999
- 猪瀬・石黒, “オブジェクト指向の数値流体力学への応用”, 第14回数値流体力学シンポジウム, C04-2, 2000
- The open source computational fluid dynamics (CFD) toolbox (<http://www.openfoam.jp>)
- 新谷・梅山, “斜面を遡上する内部波の数値計算と可視化実験”, 土木学会論文集, No.768/II-68, 79-88, 2004