

第 18 回 CFD シンポ報告 – 計算スキームセッション –

白崎 実

横浜国立大学 教育人間科学部 マルチメディア文化課程

Minoru Shirazaki

Course of Multimedia Studies, Faculty of Education and Human Sciences,
Yokohama National University

E-mail: shirazak@ynu.ac.jp

1 はじめに

「計算スキーム」に関するセッションについて報告するように仰せつかったものの、今回の数値流体力学シンポジウム（以下、CFD シンポ）では事務局を担当していた関係で、聴講できた講演が少なかった。このため、本報告はシンポジウム会場の雰囲気や報告するというよりは、講演論文をもとに計算スキームに関するセッションの動向、傾向を概観するという形になることをあらかじめご了承ください。

2 セッション全体について

今回、「計算スキーム（移動境界）」が 8 件、「計算スキーム（渦法・粒子法）」が 8 件、「計算スキーム（高精度解法）」が 15 件、「計算スキーム（一般・HPC・可視化）」が 9 件であり、計算スキーム関連のセッションの発表としては合計 40 件あったことになる。件数そのものは、どのセッションに論文を分類するかに依存するところが大きいため、例年との単純な比較はあまり意味がないと思われる。ただ、一般に CFD の成熟にともない最近では CFD をツールとして利用した、現象解明を主とする研究が増えつつあると言われるなかで、本セッションだけでこれだけの件数になるのは、CFD シンポならではと言えるのかもしれない。

さて、以下で各サブセッションについて概観する。なお、引用は論文番号で行っている。

2.1 計算スキーム（移動境界）

2つの時間枠（D室の第1枠、第2枠）、8件のうち、前半4件は主に自由界面に関するものであり、後半4件は、有限要素法、あるいは有限体積法にもとづく移動境界問題に関するものであった。

自由界面に関するものは、界面を正確に追跡することがメインテーマであるが、そのためいろいろな手法が提案、利用されている。本間ら（D1-1）は、双曲型正接関数を補間関数として用いた簡易的な界面追跡手法を提案し、田中ら（D1-2）は、移動メッシュとバックグラウンドメッシュを用いたメッシュ再構築の組み合わせを利用している（Fig. 1）。齊藤ら

(D1-3) は、サブセルの解像度を考慮した界面捕獲スキームを提案、奥村ら (D1-4) は、Level Set 法にもとづく有限要素解について、その妥当性を流速フラックス量の数値実験で検証、議論した。

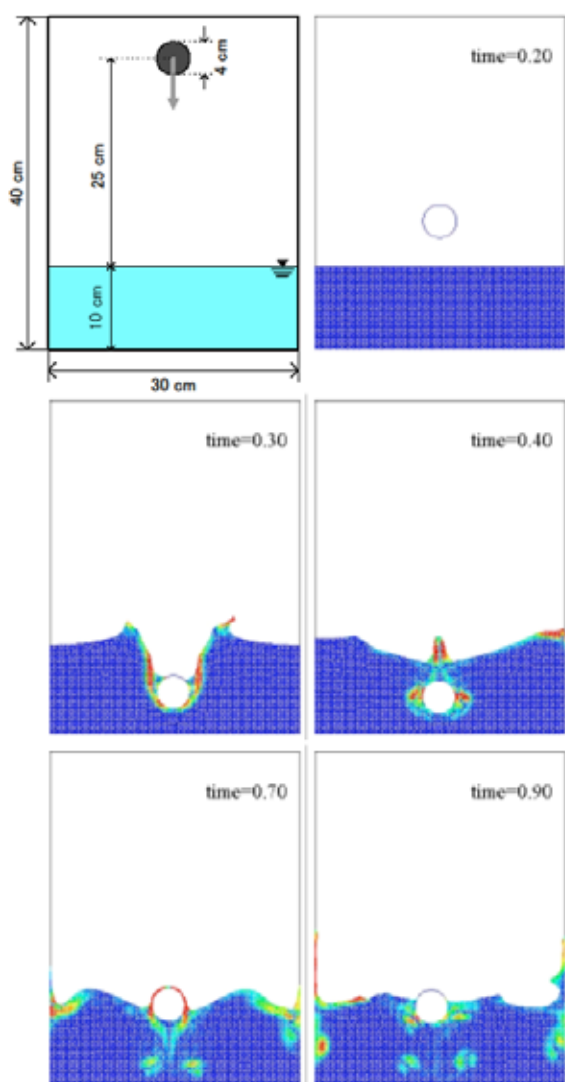


Fig1. Computational model and computed fluid domain (田中ら)

唐木田ら (D2-1) は、浅水長波方程式を移流段階と非移流段階とに分離し、前者には CIVA 法を後者には SUPG 法を適用した安定化有限要素法解析を行った。卵野ら (D2-2) は、流体流れと物体の運動の連成問題を仮想境界法の一つである Fictitious Domain Method を用い、物体表面で課される拘束条件の計算精度の向上をはかった有限要素法解析を行った。井ノ本ら (D2-3) は、当初圧縮性流れに対して開発された移動格子有限体積法を、非圧縮性流れへ拡張するにあたって、Fractional Step 法を適用したアプローチを提案した。岡田ら (D2-4) は、矩形造波水槽内の水際線移動問題に対して、Euler 的移動境界手法にもとづく有限要素解析に、水際近傍を細分化するアダプティブメッシュ法を組み合わせることで、少ない節点自由度で水際線の挙動を正確に評価する手法の構築を行った。

2.2 計算スキーム（渦法・粒子法）

2つの時間枠（D室の第4枠，第4枠），8件のうち，渦法に関するもの3件，MPS法およびSPH法に関するもの1件，そして格子ボルツマン法に関するもの4件であった。

佐藤ら（D3-1）は，渦法を用いて，時間的に変形する二次元物体まわりの流れに対して渦法を用いて数値解析を行い，その流れや推力に関して検討を行った．今村ら（D3-2）は，渦法を用いて物体周りの流れを取り扱う場合，速度境界条件を如何に渦生成と結びつけるかが問題となることを念頭において，高精度の渦導入方法を提案し二次元円柱周りの解析により手法の検証を行った．山田ら（D3-3）は，球が静止流体中を急発進と同時に急回転した場合の過渡的流れを渦法によって計算し，回転している場合としていない場合の流れを比較検討した．亀井ら（D3-4）は，既存の粒子法の問題点を挙げたうえで，固定粒子要素を導入によるこれらの問題の解決の試みた（Fig.2）．本手法も Navier-Stokes 流れに対しては課題が残っていそうではあるが，粒子法系の手法にはまだまだいろいろなアイディアを試してみる余地があるように感じられた．今後の展開，発展に期待したい．

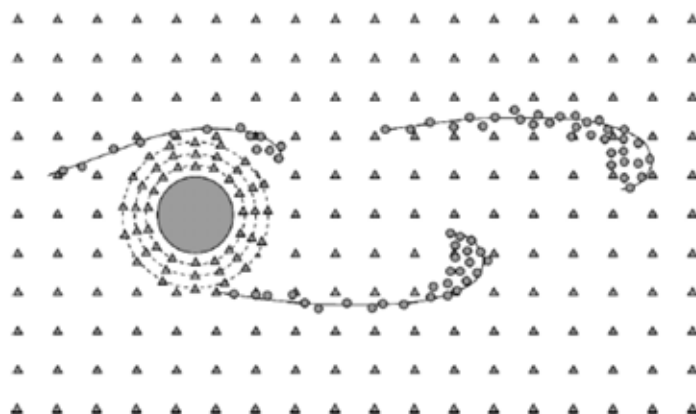


Fig. 2. Concept of the free/fixed particle element coupling mode（亀井ら）

立石ら（D4-1）は，CIVA法を用いて格子ボルツマン法を非構造格子に拡張した手法の精度について検証を，高田ら（D4-2）フェーズフィールドモデルと格子ボルツマンスキームにもとづく二相流界面追跡法を用い，界面移流問題のベンチマーク計算結果よりその精度の検証を行った．藤岡ら（D4-3）は，レイノルズ応力を考慮した格子ボルツマン法を用いた乱流解析を試み，石川ら（D4-4）は，格子ボルツマン法を用いて浅水長波流れ解析を行い，有限要素法との比較を行った．

2.3 計算スキーム（高精度解法）

4つの時間枠（D室の第5枠から第8枠），15件の論文があった．本稿で紹介している「計算スキーム」のセッションは，突き詰めれば，いずれの論文も高精度な解析手法を確立することを目標として言える．しかし，とりわけこのサブセッションは，典型的な高精度，高解像度，高

効率解析手法の模索ともいえるものが多く、スキームの改良、検証を含めて様々なアプローチが提案された。

藤田ら (D5-1) は、陰的解法(C-ISMALC 法)を非構造コロケート格子上で用いる手法を提案し、弘崎ら (D5-2) は、VOF 法による自由表面流れ解析について CIVA 法を導入した安定化有限要素解析を提案、検証した。今井ら (D5-3) は、IDO 法の時間積分に陰的 Runge-Kutta 法を用いた高次精度かつ安定な陰的スキームの開発を行った。宮野ら (D5-4) は、並列環境において多重格子法を用いた場合の並列化効率の低下改善を試みた。

木村ら (D6-1) は、圧縮性流体に対する非定常線形・非線形移流拡散方程式の解にもとづいた数値計算法を衝撃波干渉問題に適用し、山本ら (D6-2) は、高精度・高解像度な結合コンパクト差分法と衝撃波捕獲法である WENO スキームを用いたハイブリッドスキームを提案した。

個人的には、藤原ら (D6-3) の論文が興味深かった。コンパクトで非等間隔格子においても精度の低下がほとんど無いという IDO 法の利点を用いて、IDO 法ベース空間 3 次精度 AMR 法の構築を行った。Rayleigh-Taylor 不安定性 (Fig.3)、2 次元衝撃波の計算などにより、高精度な解析を可能とする一方で、等間隔直交格子の計算と比較しておよそ百分の一の格子点数で計算が可能となっているとのことである。実装は大変かもしれないが、3 次元問題への適用に期待したい。

水谷ら (D6-4) は、軸上の特異点を考慮した高精度な結合コンパクト差分スキームを圧縮性軸対称流れに適用した。

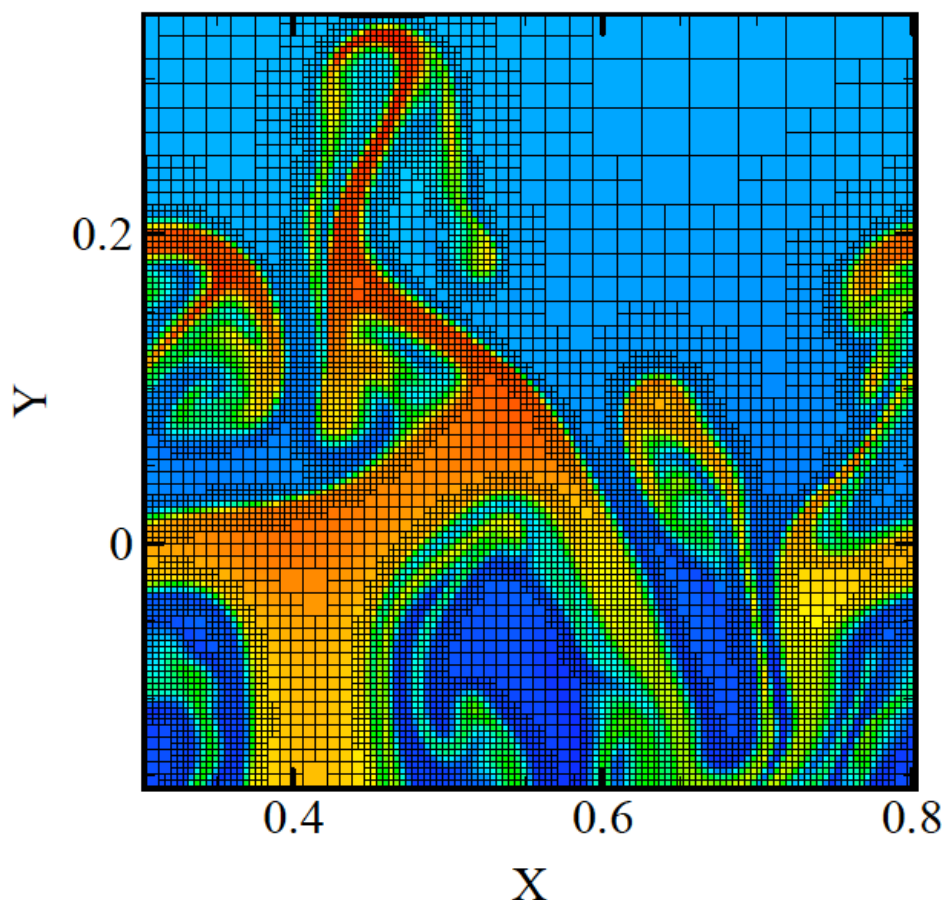


Fig.3 Density profiles of Rayleigh-Taylor instability (藤原ら)

高倉 (D7-1) は、本人らが開発した直接展開 ADER 法を凸流束問題と非凸流束問題へ適用・検証し、三好ら (D7-2) は、MHD 方程式に対する正值性及び正值性保存スキームを提案した。藤田ら (D7-3) は、移流項に対する差分形式によって導入される人工散逸効果を検証し、野津ら (D7-4) は、移流拡散方程式に対する時間刻み 2 次精度特性差分法の提案を行った。

伊井ら (D8-1) は、セル積分平均値とポイント値の二種類のモーメントを用いた非構造格子での高精度有限体積法を提案し、三浦ら (D8-2) は、球面をほぼ一様に覆う 6 角形と 5 角形で構成された格子上で非負を保証し保存を満たすような移流スキームの開発を行った。三宅ら (D8-3) は、ウェーブレット分解法を用いた粗面設計法を提案した。

2.4 計算スキーム (一般・HPC・可視化)

2 つの時間枠 (E 室の第 8 枠, 第 9 枠), 9 件の論文があった。他のサブセッションとはやや異なり、タイトルにあるように、CFD 解析, システム構築, 教育など, CFD に関連した様々な試みについて発表されている。

白崎ら (E8-1) は、直交格子系の流体解析ソルバーに対して、境界形状表現手法として陰関数による表現方法を採用、解析を行った。浅野ら (E8-2) は、Jini 技術とグリッドミドルウェアを用いて、計算途中の経過を可視化するシステムを構築した。塩谷ら (E8-3) は、熱輻射による伝熱問題を解析する際に必要となる形態係数を、CG 技術を用いて作成した透視図から求める手法の開発と検証を行った。岩津 (E8-4) は、円筒容器内の軸対称回転流において、2 次流れのトポロジーを少数個のデータに要約して、フローパターンの変化を自動的に検出する方法について考察した。

住ら (E9-1) は、構造格子による高精度計算手法をマルチブロックへ適用する場合について、特性理論を用いて単点で接合可能なインターフェイス条件の一般化が試みた。

小野ら (E9-2) による流体解析ソルバーの汎用フレームワークは、複数のソルバーをユーザーから見て統一性のあるシステムとして取り扱うことを可能とする (Fig.4)。ユーザー利便性が向上することに加え、ソルバー開発の効率化とシステム維持管理の低コスト化が期待できる。この種のツールの重要性は今後も高まっていくと予想されるが、一般には利用者が増加すれば質が向上し、さらに利用が増えるという構図がある。これから、多くのユーザーやソルバーの開発者に実際に利用してもらうことが重要であろう。

荒木ら (E9-3) は、FPGA を用いて 3 次元 FFT 専用回路の開発を行った。小谷ら (E9-4) は、Moto GP クラスのレースで使用されているマシン周りの流れ解析を三次元圧縮性方程式にマルチブロック法により行った。

柴田ら (E9-5) の Windows 上で動作する教育用流体解析システムも興味深かった。形状入力から計算格子の自動生成、流れの解析、解析結果の自動表示までを統合した、誰もが簡単に扱うことのできる教育用対話型 2 次元流体解析システムが構築された。2 次元解析であり機能も絞り込んであるが、プリ、メイン、そしてポストまですべてプロセスが一つのアプリケーションであり、リアルタイムでの解析、可視化が可能となっている。適切な指導のもとで利用すれば、工学部をはじめとする理系低学年の学生に対する教育的な効果は非常に大きいのではないかと思われる。

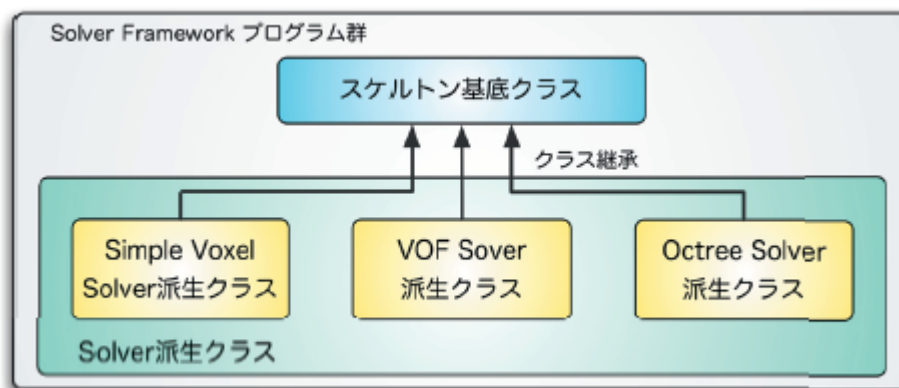


Fig.4 Concept of Implementation of Solver Framework (小野ら)

3 おわりに

Web 会誌の第 12 巻第 1 号でも「WEB 座談会：数値流体力学シンポジウムを考えるーこのままで良いのか数値シンポー」というタイトルで、今後の CFD シンポの方向性が議論されている。詳細は座談会のページを見ていただくとして、CFD 技術や計算機の大きな進歩の中で 18 回目を迎えたシンポジウム自身も変革が求められていたのは間違いない。

伝統的に CFD シンポではオーガナイズドセッションを設けず、一般講演だけを募集して、講演内容によって実行委員会がセッション分けを行っている。今回の CFD シンポでは、一つの試みとして、講演申し込み時、著者本人に『講演内容は「計算法」か「現象解明」かのいずれが主か』を選んでもらい、この自己申告をプログラム編成の際に考慮した（蛇足ながら、本報告の計算スキームのセッションの論文では、ほぼすべて「計算法」が選択されていた）。

Web 座談会では広く深い議論がなされたものの、限られた時間およびスタッフのなかで、残念ながら未対応の課題も多い。この点については、事務局担当者の一人として反省するとともに、次回以降のシンポジウムに期待する次第である。