

複雑流に関する発表を概観して

高木 周

東京大学 工学系研究科 機械工学専攻

Shu Takagi

Dept. of Mechanical Engineering, The University of Tokyo

E-mail: takagi@mech.t.u-tokyo.ac.jp

第 16 回数値流体力学シンポジウムでの複雑流に関する発表を概観して、ということであるが、一口に複雑流と言っても実に様々な形態がある。実は、複雑流の定義すらよくわかっていないのですが、「OS の混相流、分子、プラズマ、燃焼」について書いて欲しいとの依頼を受けましたので、主に出席していた混相流のセッションを中心に報告したいと思います。

混相流の数値計算に関する最近の主なトピックスは、分散混相流の直接数値計算である。分散混相流とは、流れの中に多数の粒子・気泡・液滴を含む系で、個々の分散相の運動に関するミクروسケールの現象から、流れ場全体のマクロな流動構造まで、スケールが非常に多岐にわたるのが特徴である。この分野は、レベルセット法や界面追跡法、VOF 法、CIP 法など固定矩形格子を用いた移動境界問題の手法の開発ブームにも関連して、特に多くの計算が行われている。今回のシンポジウムでも、原研の吉田啓之氏らによる「界面追跡法によるボイドドリフト現象の解析」(D11-1)や、九州大学の真田俊之氏らによる「自由界面近傍における単一上昇気泡の合体・反発」(D13-1)をレベルセット法で解いた計算など、複雑な流れに対して興味深い結果が示されている。

気液二相流の直接計算手法として新しい手法が開発されると、上昇気泡の計算がベンチマークテストのように行われる。これは、気液界面を閉曲面として有する気泡の計算は、重力による静圧勾配の存在下で、界面が数値的に不安定になりやすいこと、計算手法の良し悪しにより、気泡の上昇速度に大きな誤差を生み得ることなどによる。このことに関連して、今回のシンポジウムでは、京大の稲室隆二氏らによる「二相系格子ボルツマン法による 3 次元気泡流の数値解析」(D12-1)が、非常に興味深い内容であった。格子ボルツマン法で

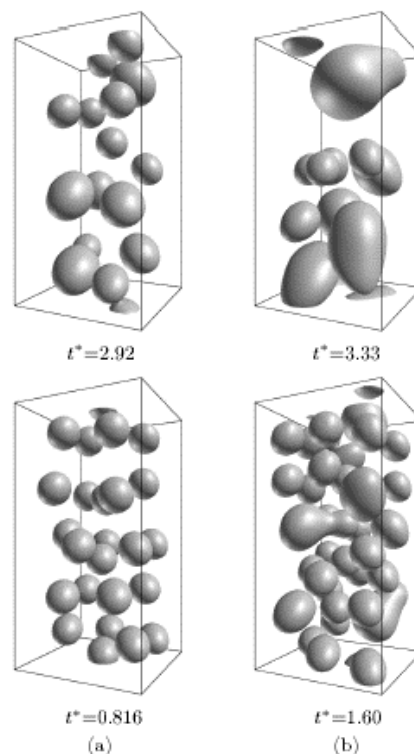


図 1 二相系格子ボルツマン法による
上昇気泡群の計算 (京大・稲室らによる)

気液二相流を扱った計算はこれまでもあったが、気液間の密度比を実際の空気・水系(密度比 1000 倍)のように大きくとれないことが本質的な問題としてあった。今回示された計算結果は、新たな手法の開発によりその問題を克服し、さらに単一気泡の上昇運動に関しては実験結果とも定量的な一致を示している。また、彼らは図 1 に示すような 3 次元上昇気泡流に対しても計算を行い、複雑な流動構造のシミュレーションにも成功している。ただし、現実の系では、気泡の合体は、シミュレーションで示されているほど容易には起こらず、この点は、他の手法によるシミュレーションにおいても問題となっている。この手法に限らず、今後、より多くの研究者により、多くの手法で気泡の合体・分裂に関して計算が行われ、実験との比較を通して、より現実に近いシミュレーションが行なわれることが期待される。

気液二相流の平均化方程式を用いた数値シミュレーションのうち、非常に難易度が高いのが急激な相変化を伴う流れのシミュレーションである。特にキャビテーション流れの計算は難しく、利用者側からの期待は高いが、数値計算が著しく不安定なため、世界的に見ても十分な信頼性を持った手法が開発されていない。今回のシンポジウムでは、東北大の申柄録氏(D14-2)、東大の沖田浩平氏ら(D14-3)が、キャビテーション流れの数値解析を行なっているが、それぞれに異なる手法で、安定に解くための工夫を施している。なお、平均化方程式に関連する話として、東理大の荒川氏ら(D14-4)により、気液二相応力方程式モデルによる実船周りのマイクロバブル流に関する抵抗低減のシミュレーションが示されているが、これもホットな話題である。昨年 9 月に Maxey らにより世界で始めて気泡流の抵抗低減の直接数値計算結果が示されたが、現在得られている結果は、まだ実験における抵抗低減とは定量的に異なっており、今後の進展が期待されている。

本シンポジウムにおけるプラズマ・分子セッションにおける発表内容は、基本的に希薄気体力学の分野に属するものであった。主な論点は、希薄気体力学を記述するボルツマン方程式あるいはそれに類似した分布関数を用いた方程式を、数値的に如何にして解くかである。東大の鈴木宏二郎氏も講演論文集中で指摘しているが、従来は、ボルツマン方程式のように分布関数を扱った計算は、3次元の際に必要とされる計算時間とメモリの大きさより避けられてきた感があるが、昨今の計算機の演算能力の向上により、この手の計算が十分現実味を帯びてきた。DSMC と分布関数を用いた直接計算、それぞれが有利となる領域が、計算機の性能向上とともに変わっていくと考えられるが、この辺りの議論も興味深い。なお、私たちの研究室からの発表になってしまうが、東大の崎山幸紀氏(A311-3)による、シリコンの成膜プロセスに関連した、分子動力学法と

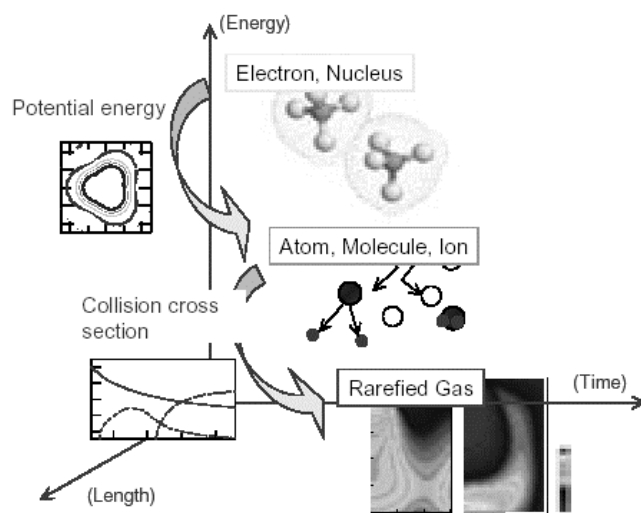


図 2 希薄気体流れの多重スケール解析
(東大・崎山らによる)

DSMC 法を用いた多重スケール解析 (図 2 の概念図参照) のような内容は, 今後, 希薄気体力学の分野では特に有効になっていくと考えている.

最後に燃焼であるが, テーマが私の専門に遠く, またセッションにも出席していなかったため, 詳細を把握していない. 講演論文集を概観した限り, 乱流構造と化学反応の関係に着目し, 必要とされる精度で正確に扱おうとする方向に向かっているようである. 東工大の店橋護氏ら (C29-3) による数値計算 (図 3 参照) など, 乱流の微細構造と熱輸送の関係が詳細に調べられており, 個人的にはこのような解析が興味深い.

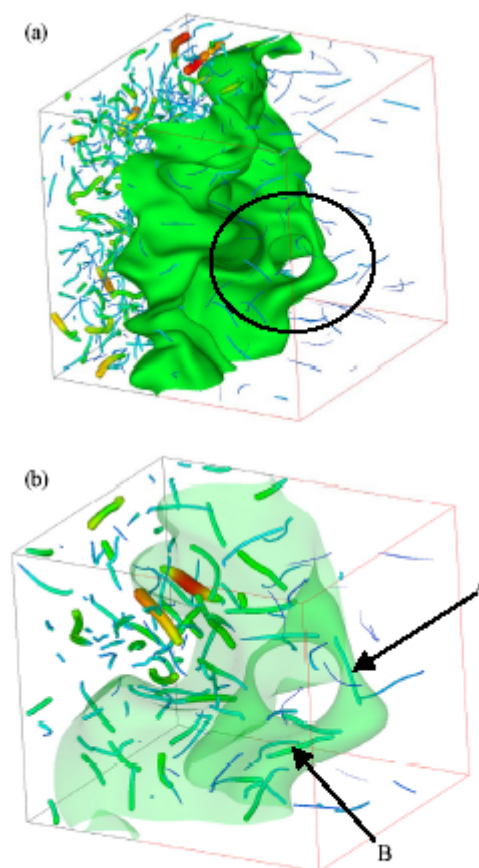


図 3 水素・空気乱流予混合火炎の計算
(東工大・名田らによる)