

乱流によるスカラーと極微粒子の混合輸送現象の大規模数値シミュレーション

名古屋工業大学大学院 創成シミュレーション工学専攻

後藤俊幸

運動量、熱エネルギー、物質を効率よく輸送するうえで流体輸送は欠かせない手段である。ほとんどの場合、流体運動は乱流となっておりその現象の理解と定量的予測は天気予報や環境評価において重要であるだけでなく工学上でも必要な課題である。本研究では、連続体としてのスカラーおよび粒子集団の乱流輸送現象を大規模数値計算を駆使して解析を行った。

まず、昨年度に引き続き雲マイクロ物理プロセスを適切に取り込んだ雲マイクロ物理シミュレータによる解析を進めた。初期に $20\ \mu\text{m}$ の雲粒子が周囲の過飽和度に比例して成長する場合、初期与えた水蒸気分量だけではすぐに成長が止まる問題が生じていた。これを解決する一つのやり方として、系が一定の上昇気流によって鉛直上方に移動し気温が低下するとして、過飽和水蒸気圧の温度依存性を通して過飽和状態を維持する機構を取り入れた。試験的な計算では、1分あたり約 $2\ \mu\text{m}$ 程度の成長速度が見いだされた。今後、長時間積分を実行しどこまでこの成長が続くかを調べる予定である。次に、雲成長に欠かせない雲粒子同士の衝突機構の高速化を行った。これまでは、各プロセス内の粒子について総当たりで2体衝突判定を行っていたため、非常に時間がかかっていた。各プロセスが担当する空間領域内を多数のセルに分割して、同じセル内の雲粒子についてのみ衝突判定を行うようにした。粒子番号のラベリングも導入して、全体で約100倍程度の高速化を達成することができた。今後、衝突数の算定に入る予定である。

高分子をごくわずかに添加された流体は、低レイノルズ数にもかかわらず乱流状態となることが知られている。この現象を調べるために、乱流により輸送される鎖状高分子と乱流場との相互作用の解析を行った。雲物理で開発した粒子追跡とPIC法を導入してコード開発がすすめられた。巨視的なスケールでテイラー・グリーン渦に相当するやり方で流れを駆動し、低レイノルズ数での速度揺らぎや圧力揺らぎのスペクトルを計算した。その結果、運動エネルギースペクトルでは $E(k) \propto k^{-4.5}$ 、圧力スペクトルでは $E_p(k) \propto k^{-3.3}$ というべき法則を見出した。高分子を添加した場合とそうでない場合の渦構造は大きく異なり、前者では細かい渦構造は見いだされず、全体としてなめらかな渦度場を持つことが見いだされた。