

雲マイクロ物理解明のための大規模数値計算手法の開発

後藤俊幸（名古屋工業大学）

雲は、地球温暖化や気候変動の予測あるいは中長期気象予報や台風の進路予測などを行う上で極めて重要な要素でありながらいまだ多くの謎に包まれており、雲物理の解明と予測は重要な課題である。しかし、雲の発生、成長、移動、降雨、消滅などの基本的なふるまいの理解は十分ではない。本研究では、雲の成長過程における乱流と雲粒子の相互作用をはじめとする雲マイクロ物理過程の解明にむけて、将来のペタスケールコンピューティングによる解析を視野に入れた数値計算技術を開発することを目的とする。

層積雲 (stratocumulus cloud) 中の乱流により輸送される希薄な雲粒子の運動、成長、粒径分布、空間分布を考える、雨の降らない雲を考えるため、ミリメートル以上の水滴や氷の成長、降雨などは当面取り扱わない。基礎方程式はブシネスク近似による非圧縮流体の Navier-Stokes 方程式、連続の式、熱と水蒸気混合比のスカラ輸送方程式（以上、オイラー的記述）、雲粒子については位置と速度、粒子半径の変化率、凝縮率についての方程式および水蒸気の状態方程式（ラグランジュ的記述）で与えられる。

大規模シミュレーションの視点からは主に2つの要素がある。高レイノルズ数における乱流速度場とスカラ場の微細スケールの解像と、きわめて多数の粒子の追跡である。H22年度においては、主に流体とスカラ方程式の大規模並列計算機上での高効率並列化コードの開発を行った。雲中の小さい体積を取り出して考えるので、一様等方乱流により輸送される多数の雲粒子を想定し、3次元のスペクトル法による高精度計算、特に3次元FFTの高速化を行った。空間を2次元分割してMPIによる並列化を行い、各分割軸方向のプロセス数の最適配置を調べながら、スケラビリティのよい複素数型3次元FFTを開発した。これをスカラ場と乱流場のソルバーに実装し、ソルバー全体の高速化も行った。その結果、スカラ乱流場では世界最大の4096³の格子点での計算を512ノード2048プロセスで実行できるようになった。

温度、水蒸気混合比などのスカラ方程式は空間的に局所的であり、さらに雲粒子生成に伴う熱や水蒸気の発生源は温度などの非線形関数で空間的に局所的であることが多い。したがって、非圧縮性流体の速度場は高精度なスペクトル法で解く一方、スカラ場は高精度差分法などで解くというハイブリッド的アプローチが考えられる。結合コンパクトスキームのMPIによる並列化を行いその性能を評価すると、空間次元が高くなるほどその並列化性能は向上することが分かった。このスキームをスカラ乱流場のコードに実装し、完全スペクトル法と比較した。その結果、スカラ場の2次、3次モーメントまでは、きわめて高精度でスペクトル法の結果と一致し、かつ計算時間が大幅に短縮される結果を得た。