

超水滴法による雲形成と降水現象の連結階層シミュレーション

島 伸一郎, 草野 完也, 荒木 文明, 川原 慎太郎

独立行政法人海洋研究開発機構, 地球シミュレータセンター

s_shima@jamstec.go.jp

概要: 雲粒や雨粒の挙動を精密にシミュレーションする事が可能な全く新しい計算手法「超水滴法」を開発した。この手法は、精度の高い気象予測、人工降雨の事前評価、気候変動や温暖化予測の精度向上などに貢献する事が期待される。

1 背景

地球の気候システムにおいて雲は極めて重要な役割を果たしており、前線や台風の活動及び、温暖化予測の研究を進める上で、雲をどのように予測モデルに取り込むのかは大きな課題になっている。

雲の形成や降雨、降雪、落雷現象を支配する物理法則は、大きく2つの部分に分けることが出来る。1つは大気の流れなど、流体力学によって扱うことの出来る部分で、「雲の力学過程」と呼ばれている。もう1つは、雲や雨の構成要素である微小な水滴の、風や重力による運動、凝結成長、衝突併合、相変化、帯電などの複雑な物理過程であり、これらは「雲の微物理過程」と呼ばれている。この2つの過程は相互に影響を及ぼし合い、全体として複雑なシステムを作り上げていると考えられている。

「力学過程」のシミュレーションについては、地球シミュレータに代表されるスーパーコンピュータの劇的な進歩により、計算の精度が急速に向上しているのに対して、「微物理過程」の計算の信頼性はこれまで十分では無かった。雲は1立方メートルあたり10億個程度のおびただしい数の水滴より構成されており、その水滴の複雑な変化を厳密に計算することは、現存するいかなるコンピュータを用いても実現不可能であり、また今後もそうしたコンピュータが出来る見通しは無い。

このため、これまでのシミュレーションでは、雲の状態変化を経験的なパラメタによって表現する方法（パラメタリゼーション）が広く利用されてきた。しかし、特定の現象を最も良く再現できるようにパラメタを調整する従来の方法では、未知の現象に対する精度の高い予測を実現すること

は難しいと考えられており、内外の研究機関において新しい雲モデルを開発する努力が続けられている。

2 成果

上記のような背景のもと、我々は「超水滴法」と名付けた全く新しい雲微物理計算アルゴリズムの開発を独自に行なった。超水滴法は雲や雨を構成する水滴の運動と変化を、粒子法を使って統一的に計算する方法であり、経験的なパラメタを使わずに原理的な物理法則に基づいて水滴の状態変化を計算することができる。

また、超水滴法では水滴の大きさや雲凝結核などに関して性質の似た多数の水滴を1つの仮想粒子として取り扱うことにより、計算速度を大幅に高速化している。特に、衝突併合過程に関しては独自のMonte Carlo法を開発した。その結果、多種類の化学物質から成る凝結核が存在する場合など、より複雑な雲微物理過程のシミュレーションを行う際には、同等の精度を持つ既存の手法に比べ速く計算できる事が示唆された[1, 2]。この主張の妥当性については今後更なる検証が必要であるが、超水滴法の有用性と今後の発展を期待させる。

さらに、ミクロスケールの雲微物理を計算する超水滴モデルとマクロスケールの大気運動を計算する流体モデルを相互につなげた「連結階層シミュレーション」によって、雲の形成から降雨、雲の消失までを連続して計算することが可能になった。図1は超水滴法を使って地球シミュレータで計算された積雲の形成と降雨に関するシミュレーション結果である。空気塊の上昇運動に伴って雲が形成され、降雨をもたらす過程が、雲内部の複雑な乱流運動と共に再現されている。

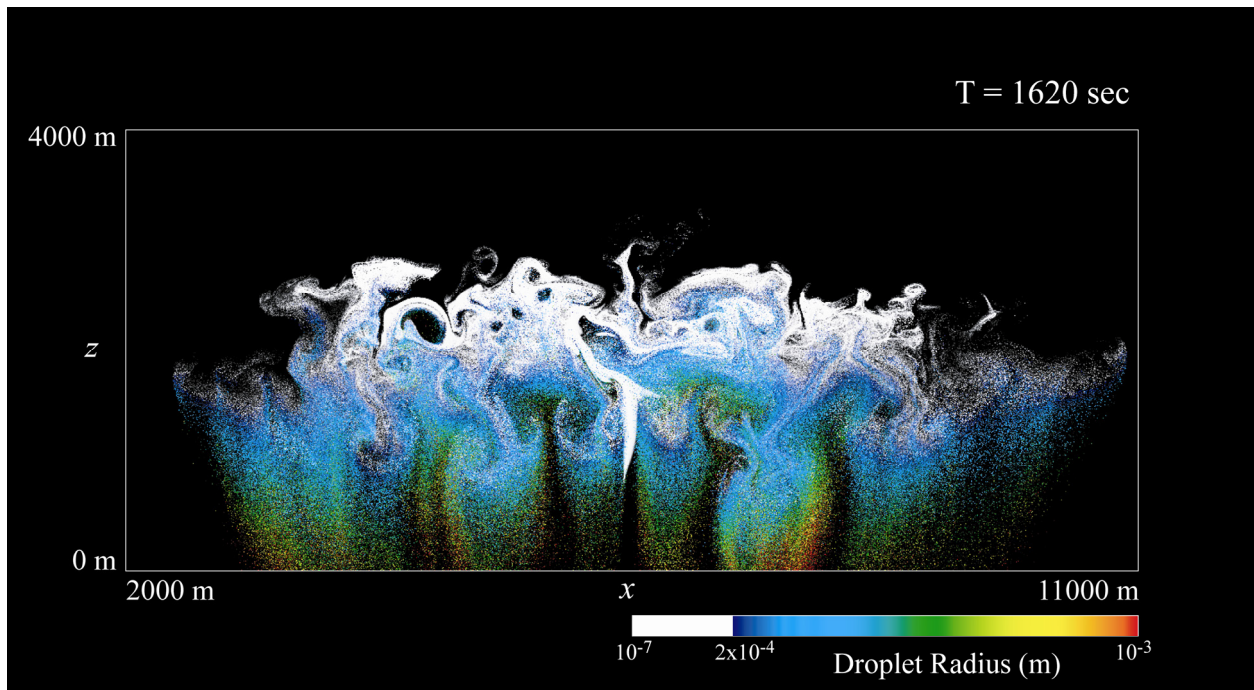


図 1: 超水滴法により、雲粒や雨粒を構成する大気中の微小な水滴運動や状態の変化を計算し、積雲の形成と降雨をシミュレーションした。横軸は水平距離を、縦軸は海拔を表す。雲は超水滴を表す点の集合として描画されており、雲粒を白で、雨粒を青～橙色で表わしている。

3 応用と発展

雲微物理を原理的な物理法則に基づいて計算することができる超水滴法は、エアロゾルと水滴の複雑な性質を容易に取り込むことができるため、降雨量などに関する精度の高い気象予測、雷雲成長のメカニズムを探る研究、人工降雨の事前評価、などを大きく発展させると考えられる。さらに、超水滴法と大気流体モデルとの連結階層シミュレーションをより長期的・広域的な現象へ拡張する事により、地球温暖化を初めとする長期的な気候変動の予測性が向上すると期待される(図 2)。

また、超水滴法は、分散粒子の衝突併合を伴う任意の現象に適用が可能である。例えば噴霧燃焼のシミュレーションにも応用できると考えられる。

参考文献

- [1] S. Shima et al., Super-Droplet Method for the Numerical Simulation of Clouds and Precipitation: a Particle Based Microphysics Model Coupled with Non-hydrostatic Model, e-print physics/0701103.
- [2] 特願 2006-117064, 島伸一郎 et al., 「シミュ

レーション方法、シミュレーションプログラムおよびシミュレーション装置」、独立行政法人海洋研究開発機構、平成 18 年 4 月 20 日。

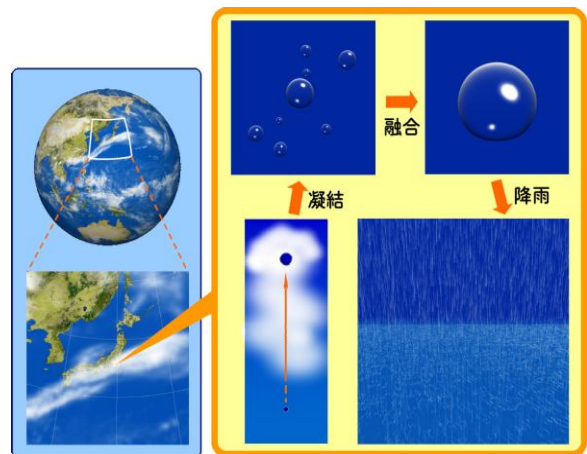


図 2: 地球規模の大気現象と局所的な現象を連結してシミュレーションすることを目指している。この図は連結階層シミュレーションの概念図である。左は AFES (Atmosphere for Earth Simulator) により得られた、日本近海における梅雨前線の様子を表す。超水滴法により、局所的に雲の中の精密な計算を行い、雲形成と降雨を正確に予測し、その結果を大きなスケールの計算にも反映させようと考えている。