



新しいシミュレーション手法により 雲のふるまいを明らかにする

研究・開発機関 : 兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科、
理化学研究所計算科学研究機構 (AICS)、
名古屋大学宇宙地球環境研究所 (ISEE)
利用施設 : スーパーコンピュータ「京」、九州大学FX10、兵庫県立大学スパコン
計算規模 : 200億粒子 (CPU10万コア) ~ 100万粒子 (CPU10コア)
利用ソフトウェア : SCALE-SDM, CReSS-SDM

Before

- 雲の生成や成長などを正確にシミュレートすることは困難であり、今でも気象・気候予測に大きな不確実性をもたらしています。
- エアロゾル・雲・降水粒子が従う複雑な物理法則を高精度でシミュレーションするとコストがかかりすぎるため、過度に簡略化された数学モデルに頼らざるを得なく、十分な精度を確保できないのが現状でした。

After

- 超水滴法 (Super-Droplet Method) という独自に開発した手法を使うことで、雲のふるまいを原理に従って高精度かつ比較的少ない計算コストで計算できるようになりました。
- 本シミュレーション手法により、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できるようになりました。

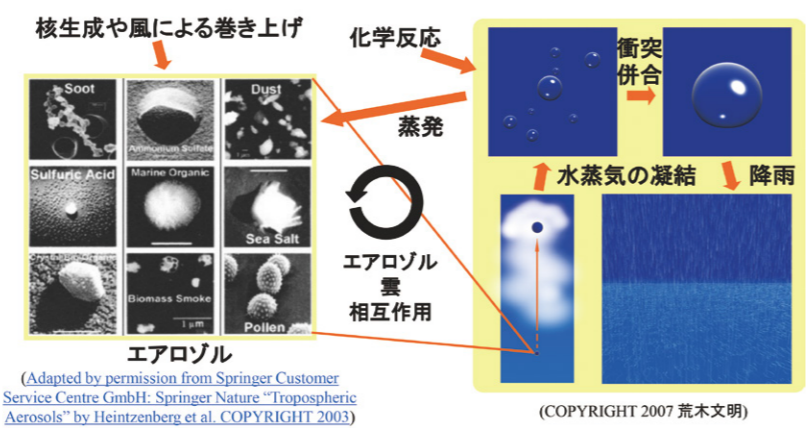
背景と目的

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、それ自体が降水を引き起こすだけでなく、放射を介して地球のエネルギーバランスに大きな影響を与えます。

近年は数値シミュレーションにより、台風や前線活動などの気象現象の予測および地球温暖化といった気候変動の予測が行われています。

しかしながら、図1に示す通り、エアロゾルが核となって雲を作り、雨が降るといった微視的物理過程は大変複雑で、計算コストの制約からほとんどの場合は非常に簡略化された半経験的な手法に基づいた雲微物理モデルが使われているのが現状であり、気象・気候予測に大きな不確実性をもたらしています。

このように、雲をどのように数学モデルに取り込むのかは大きな課題であり、国内外の研究機関において雲微物理モデルの改良や新規開発の取り組みが続けられていました。



利用成果

このような背景の下、「超水滴法」(Super-Droplet Method, SDM) という名の全く新しい雲微物理モデルを独自に開発しました^[1]。超水滴法はエアロゾル粒子・雲粒・降水粒子の運動と状態変化を、確率的な粒子法を使って統一的に計算する数値計算手法で、従来の手法と異なり、雲のふるまいを原理的な物理法則に基づいて高速に計算することができます。この手法を氷を含まない暖かい雲に適用し、観測との比較等を通して超水滴法の有効性を実証しました^[2-4]。

図2に湿潤大気のLarge-Eddy Simulation (LES) モデルと超水滴法を連成させることにより、海洋性の積雲の生成・成長のシミュレーションを行った結果を示します。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ます。

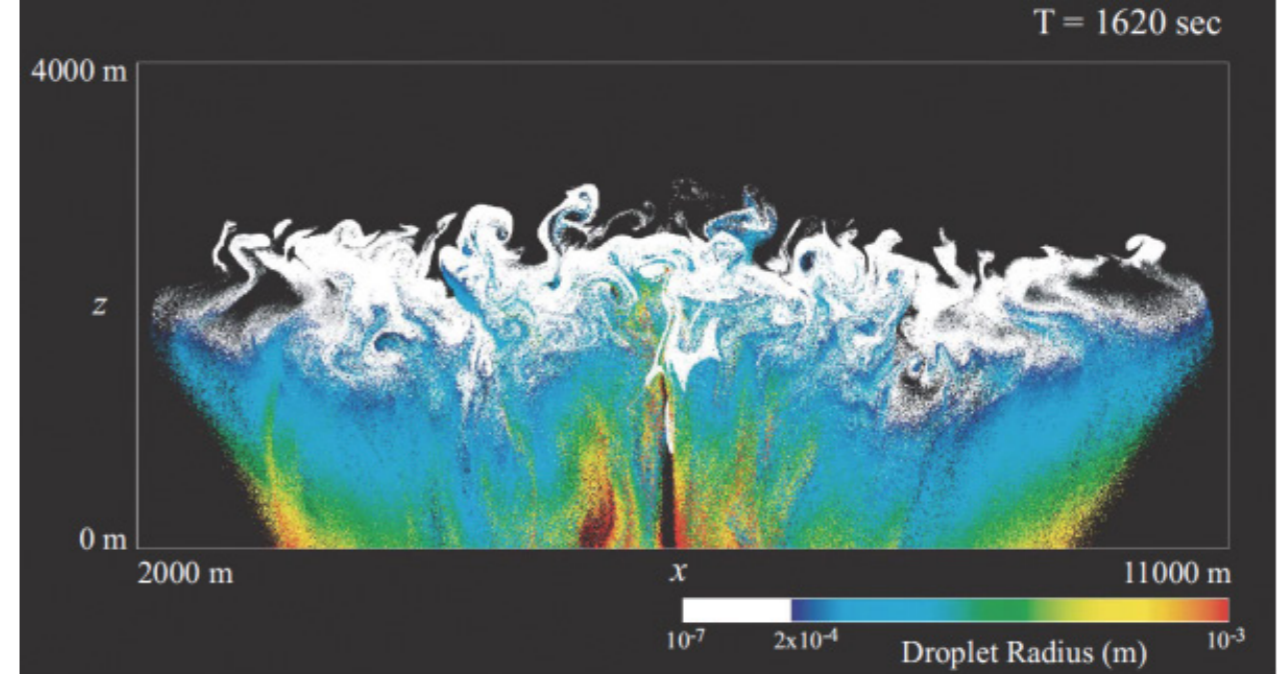


図2 海洋上の積雲から雨が降る様子を超水滴法によりシミュレーションした結果。([1] の図3より転載)

現在、雪・あられ・ひょうなどの氷粒子の生成と成長、さらには粒子の帯電についても取り扱えるように超水滴法の拡張を進めているところです。これにより、豪雨をもたらす積乱雲のふるまいとそれに伴う雷の発生を高精度かつ高速に計算できるようになり、将来的には2020年頃に完成が予定されている次世代エクサ級スパコンを活用し、ゲリラ豪雨などの気象現象の予測精度向上に役立てたいと考えています。

また、超水滴法は雲に限らず粒子が霧状になっている現象に適用が可能です。例えば噴霧や惑星形成のシミュレーションにも応用したいと考えています。

出典: [1] Shima, S. et al., Q. J. R. Meteorol. Soc., 135, 1307-1320 (2009).
 [2] Arabas, S. and S. Shima, J. Atmos. Sci., 70, 2768-2777 (2013).
 [3] 島伸一郎, 長谷川晃一, 草野完也, 低温科学=Low Temperature Science, 72, 249-264 (2014).
 [4] Sato, Y., Shima, S.-i. and Tomita, H., Atmosph. Sci. Lett., 18: 359-365 (2017).