

研究代表者氏名(所属) 後藤俊幸 (名古屋工業大学)

研究課題名 ペタスケールコンピューティングによる雲マイクロ物理
解明のための計算科学的基盤構築

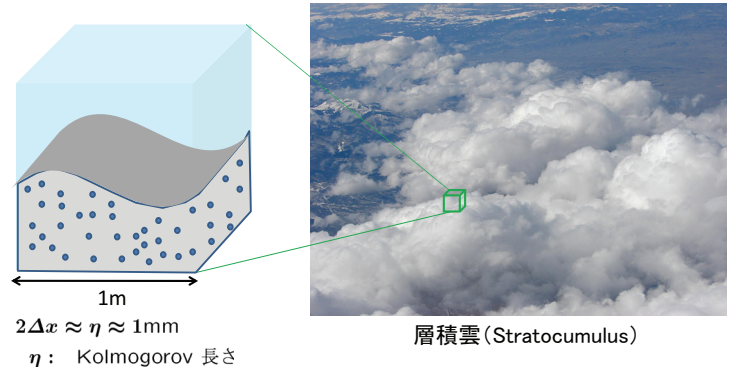
雲マイクロ物理

雲: 水蒸気、雲粒、水滴、氷などからなる

対象

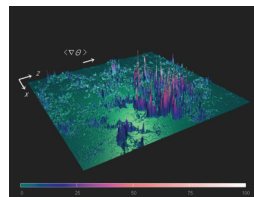
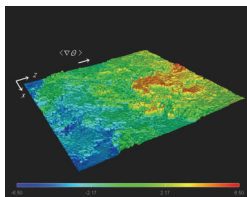
層積雲(Stratocumulus) 内部および雲の境目における
乾燥空気、湿潤空気の乱流混合、雲粒子の生成、消滅、動力学、統計

研究目的

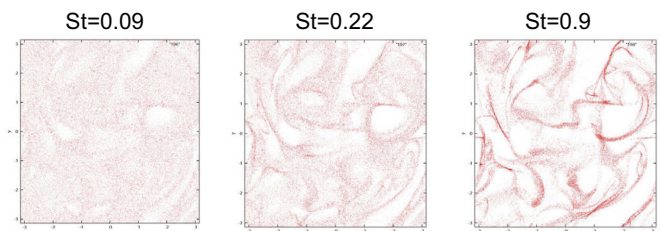
乱流と雲粒子の相互作用解明に向けて高精度、高速な
大規模計算シミュレーションコードを開発

系の特徴

高レイノルズ数乱流

高い輸送・混合能力 運動量、スカラー(温度場、水蒸気混合)
強い間欠性(エネルギー散逸、スカラー散逸の時空間的局在、界面)
雲粒子の輸送、乾燥空気と湿潤空気の混合(空間的に非一様)
雲粒子の蒸発による冷却不安定性Kolmogorov 長さ(最小の乱流渦の直径) $\sim 1\text{mm}$
高解像度の乱流場のシミュレーションが必要

雲粒子

生成(凝結)と消滅(蒸発)、熱収支、衝突、合体
粒径分布 $1\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m} \ll \text{Kolmogorov長さ}$
空間分布 粒子密度 $n \approx 1\text{個}/\eta^3$ 雲粒子数 $N \approx 10^{10}\text{個}/\text{m}^3$
衝突確率分布定常乱流中の粒子分布 $R_\lambda = 50$, $N = 128^3$, $N_p = 128^3$
Two way coupling Watanabe (2007)

空気に対する粒子の密度比が大きくなるほど、粒子の空間密度は局在する

方程式と計算スキーム

乱流場(オイラー的) Boussinesq 近似

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} = -\nabla \pi + \nu \nabla^2 \theta + e_z B + \mathbf{f}, \quad \nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

浮力 外力

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla T = \kappa \nabla^2 T + \frac{L}{c_p} C_d$$

$$\frac{\partial q_v}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla q_v = \kappa \nabla^2 q_v - C_d$$

凝結、蒸発

$$B = g \left(\frac{T - T_0}{T_0} + \epsilon(q_v - q_{v0}) - q_c \right)$$

高レイノルズ数乱流 スペクトル法(乱流計算に特化)
スカラー輸送 スペクトル法またはコンパクトスキーム

雲粒子(ラグランジュ的)

$$\frac{dX_j}{dt} = V_j(t)$$

$$\frac{dV_j}{dt} = \frac{1}{\tau_j(t)} (u(X_j(t), t) - V_j(t)) + g e_3$$

ストークス近似

$$R_j(t) \frac{dR_j(t)}{dt} = K S(X_j(t), t)$$

雲粒子の成長、変化

$$C_d(x, t) \equiv \frac{1}{m_{air}} \frac{dm_l(x, t)}{dt} = \frac{4\pi r_l D}{\rho_0 a^3} \sum_{k=1}^{N_\Delta} R(X_j, t) S(X_j(t), t)$$

凝結率

 R_j = 雲粒半径, S = 過飽和度, K = const.格子点から粒子位置における場の補間(2次補間)
粒子位置から格子点への粒子特性量の分配

大規模プロセッサでの3DFFT 領域分割: Slab から Grid へ

