

乱流混合と内部自由度のあるマイクロ粒子巨大集団との相互作用



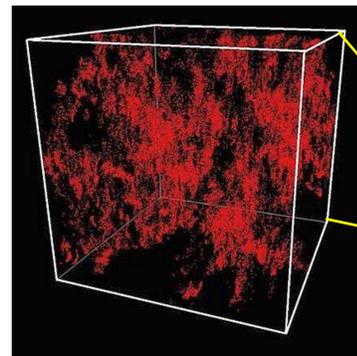
乱流中の内部自由度のあるマイクロ粒子

雲粒子:

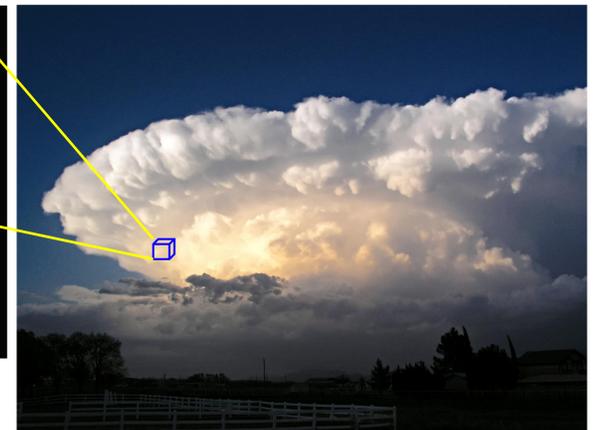
半径がサブ $\mu\text{m}$ の微細な結晶水、 $10\mu\text{m}$ から数 $100\mu\text{m}$ までの微小水滴  
融解・凝固・昇華、凝結・蒸発により、粒径が変化  
潜熱の出入による浮力と、粒子に働く抵抗を通して乱流場と結合

鎖状高分子

極めて多数のモノマーが鎖上に繋がった高分子  
熱平衡長が数 $\mu\text{m}$ 程度、流れ場による変形を受けて $100\mu\text{m}$ 程度まで伸長  
流体抵抗と高分子内の弾性力の相互作用を通して乱流場と結合



初期半径 $50\mu\text{m}$ の雲粒子の分散と沈降  
 $R_\lambda=252$ ,  $N=1024^3$ ,  $N_p=2^{27}$ ,  $2.4\Delta x=\eta=1\text{mm}$



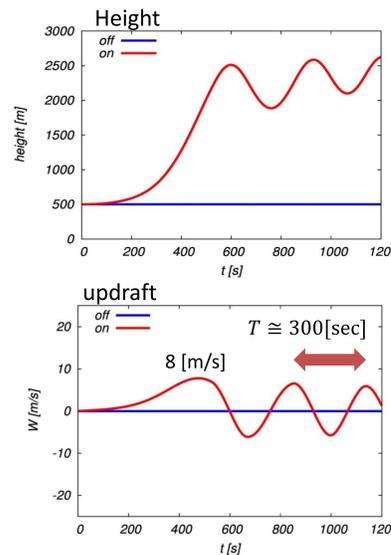
研究目的

1. 雲粒子はどのようにして生成され、成長し、輸送・混合され雨粒になるか?

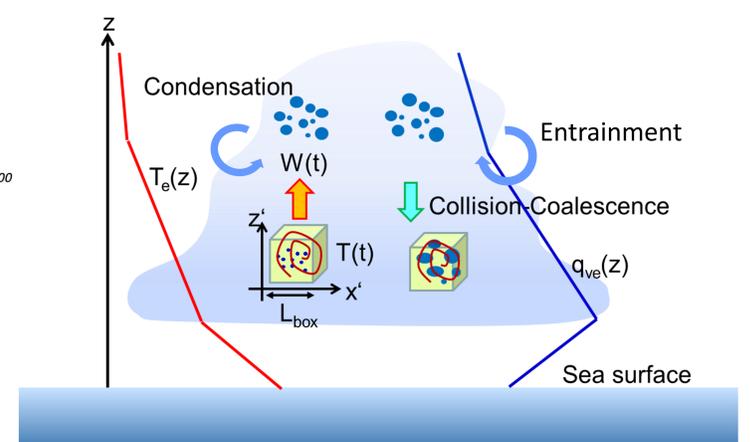
- ・ 上昇気流と共に移動する系を導入 (第2世代 クラウドマイクロ物理シミュレータ)
- ・ 1億を超える雲粒子と乱流による水蒸気や温度の混合・輸送との相互作用におけるミクロからセミマクロまでのプロセスを物理の基本原則にのっとり丸ごとシミュレーションできるプログラムを開発
- ・ 雲粒子形成のきっかけ、凝結成長、乱流による雲粒子の不均一な空間分布の形成、凝結と衝突・合併・分裂による粒径分布の変化、乱流強度へのフィードバックなどを調べて、雨粒形成までの全プロセスを長時間積分により解明
- ・ 雲乱流中の速度、温度、水蒸気の異常揺らぎの統計法則、特にモーメントのスケールリング指数の普遍性の解明
- ・ 乱流混合によるエアロゾル(雲粒子生成核)の空間分布の揺らぎや統計性の解明

2. 雲粒子コードを応用して、鎖状高分子と乱流との相互作用を調べる

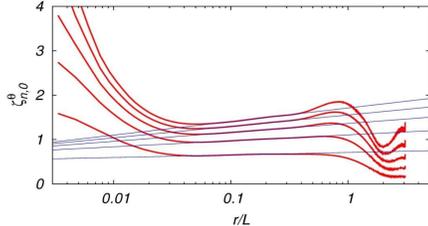
- ・ 高分子モデルの高度化と並列計算の効率化
- ・ 乱流抵抗低減のメカニズムの解明
- ・ 超低レイノルズ数でも乱流となる弾性乱流現象を解明
- ・ マイクロミキサーなどへの応用



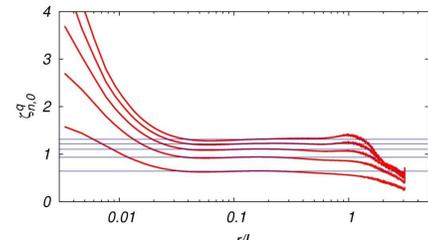
上昇気流と共に移動する  
第2世代クラウドマイクロ物理シミュレータ



水蒸気と温度揺らぎのモーメントの局所スケールリング指数

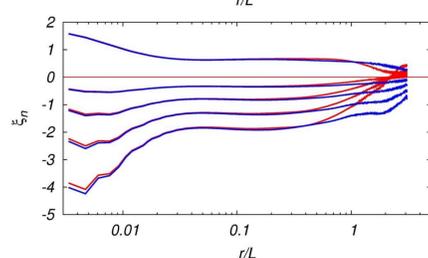


水蒸気  
 $S_n^q(r) = \langle (q(x+r) - q(r))^n \rangle$   
 $\zeta_n^\alpha(r) = \frac{d \log S_n^\alpha(r)}{d \log r}, \alpha = q, \theta$



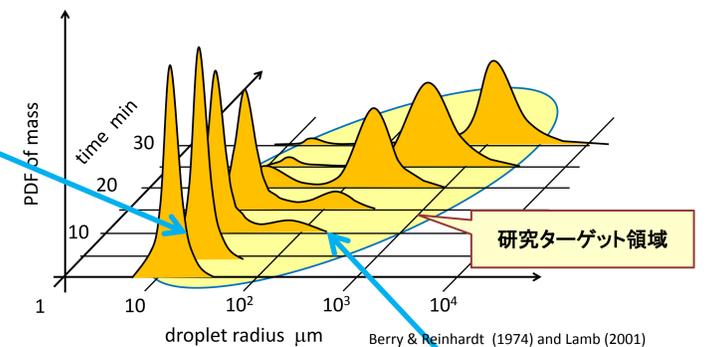
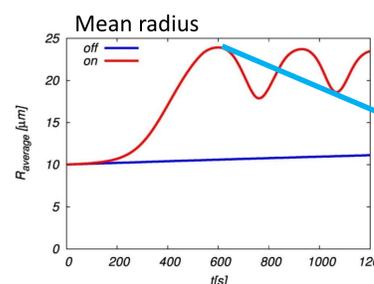
温度  
 $S_n^\theta(r) = \langle (\theta(x+r) - \theta(r))^n \rangle$

両者は一致しない  
非普遍的



規格化されたモーメント  
 $F_n^\alpha(r) = \frac{S_n^\alpha(r)}{[S_2^\alpha(r)]^{n/2}}$

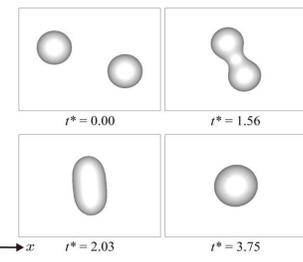
両者は一致  
普遍的



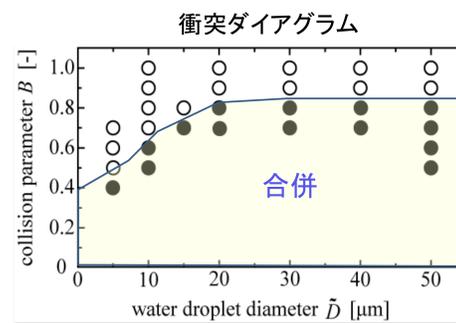
研究ターゲット領域

Berry & Reinhardt (1974) and Lamb (2001)

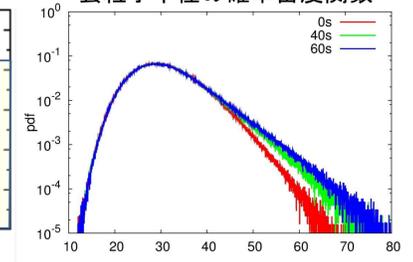
LBMIによる衝突・合併の計算



$D = 10\mu\text{m}$ ,  $B = 0.7$ , 密度比828  
( $t^* = tV/D$ )

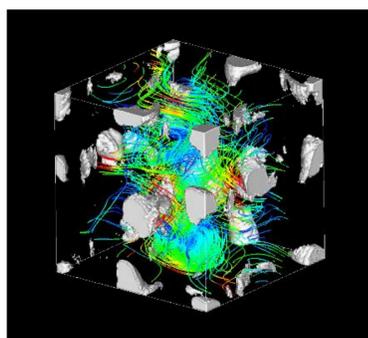


雲粒子半径の確率密度関数

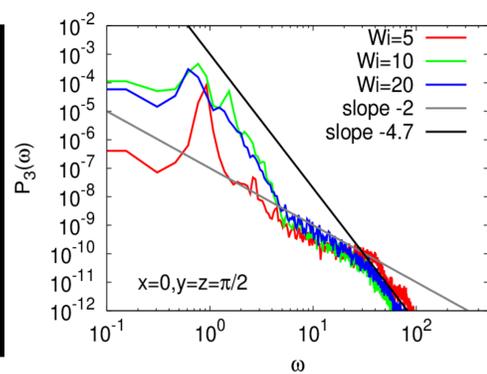


初期に対数正規分布を仮定

弾性乱流



渦構造の等値面図と流線( $R_\lambda=2$ )



速度変動のパワースペクトル. 冪的減衰に注目( $R_\lambda=2$ )

2015年 研究計画

- ・ 第2世代クラウドマイクロ物理シミュレータによる、雲粒子の衝突・合併・分裂過程を導入した雲粒子の連続的成長の長時間計算
- ・ 雲粒子衝突の統計解析(衝突係数、相対速度、動径分布関数の評価)
- ・ 雲粒子の衝突・合併・分裂過程のLBMIによる詳細な解析を行い衝突ダイアグラムをより詳細に作成(レイノルズ数、ウェーバー数、オフセット、異なる粒子径)
- ・ 乱流スカラー(水蒸気、温度など)の微小スケールでの揺らぎの統計法則の解明(スケールリング指数の(非)普遍性、揺らぎの確率密度関数、シュミット数依存性)
- ・ 微細氷結晶の表面における、融点直下でのナノスケール厚の液体層形成現象に関する100万分子規模のシミュレーション
- ・ 鎖状高分子と乱流との相互作用の高速化、大規模化
- ・ マイクロミキサーなどへの応用