

# 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



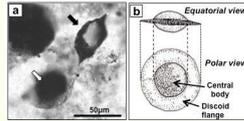
## 乱流中の内部自由度のあるマイクロ粒子

### 雲粒子とエアロゾル

エアロゾル(半径 $1 \mu\text{m}$ 以下)から雲粒子が生成され数 $100 \mu\text{m}$ まで成長  
凝結・蒸発・衝突・併合・分裂により粒径が変化  
潜熱による浮力と粒子に働く抵抗を通して乱流場と結合

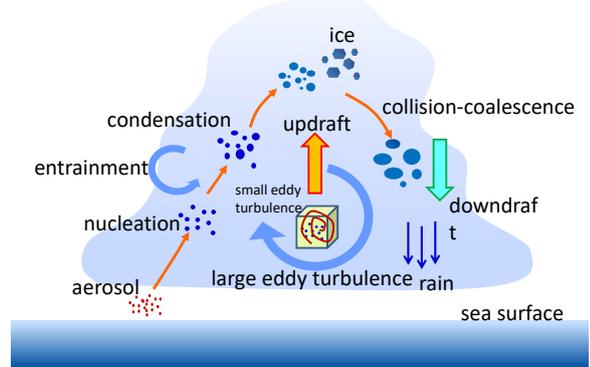
### 固体粒子

火山灰などの微小固体粒子(直径 $2\text{mm}$ 以下)  
微化石 (34億年前の約 $50 \mu\text{m}$ の古生物)



34億年前の地層から採取された約 $50 \mu\text{m}$ の古生物の化石  
Sugitani et al. Precambrian Research 173, 50-59 (2019)

## Growth of cloud droplets



## 研究目的

### 雲粒子は如何にして雨粒子になるか?

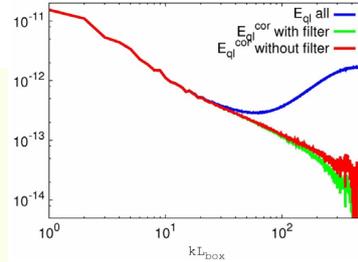
- 第2世代雲マイクロ物理シミュレータにより水蒸気や温度の乱流混合・輸送と雲粒子の活性化から雨粒子までの成長プロセスを物理の基本原則にのっとり丸ごとシミュレーション
- 雲粒子活性化・凝結・衝突・併合・分裂による粒径分布の変化, 乱流による雲粒子の不均一な空間分布, 乱流へのフィードバックを解析し雨粒形成までの全プロセスを解明[1]
- 雲乱流中の速度, 温度, 水蒸気, エアロゾルの異常揺らぎの統計法則, モーメントのスケリング指数の普遍性の解明[2]
- 乱流速度場とスカラー(温度・水蒸気)乱流の間欠性の解明[2]

### 微小粒子と乱流との相互作用の解明

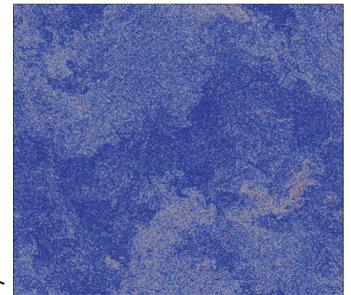
- 乱流抵抗低減メカニズムの解明
- 非球形微小粒子集団の乱流輸送と乱流変調の解明

## 2019 研究計画

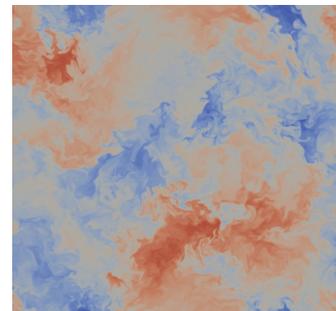
- 雲粒子活性化から雨粒子形成までの連続的成長計算をより大規模かつ高レイノルズ数で行ない、雲粒子衝突の統計解析(衝突係数, 相対速度, 動径分布関数)を行う[1]
- 高レイノルズ数での乱流スカラー(水蒸気, 温度, エアロゾル)の微小スケールでの揺らぎの統計法則の解明(スケリング指数, 揺らぎの確率密度関数, 確率密度関数, シュミット数依存性)[2].
- 新たにパッシブベクターを導入しその統計特性から, 速度場とスカラー場の間欠性の違いを解析する[2].
- 雲中を移動するセル内の乱流のより物理的な駆動方法の開発(SER)
- 非球形粒子が流体から受ける力やトルクを計算するための粒子形状解像を含んだ乱流のコードを作成する
- 乱流スペクトルの遠散逸領域における固体粒変子の影響を解析し速度揺らぎスペクトルなどの変調を明らかにする
- 種々の粒径比やウェーバー数, レイノルズ数に対する雲粒子の衝突併合解析とその結果をもとにした衝突ダイアグラムの作成



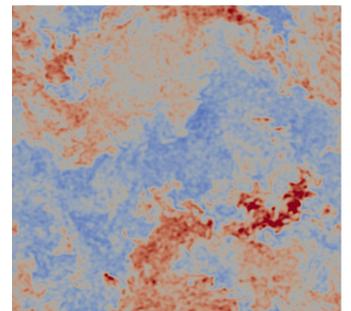
雲水混合比揺らぎのスペクトル. 青: ショットノイズ成分を含む, 緑: ショットノイズを差し引いたもの, 赤: ショットノイズを差し引きさらにフィルター補正を行ったもの



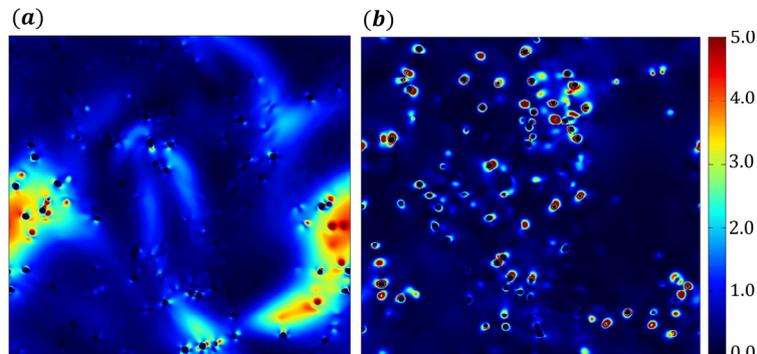
雲水混合比揺らぎの空間分布  
ショットノイズを含む



ショットノイズを除去した雲水混合比揺らぎの空間分布



過飽和度揺らぎの空間分布. 左図の雲水混合比揺らぎとの相関が見られる



粒子解像DNSによる乱流の局所エネルギー散逸の可視化図.  $N=1024^3$  粒子は球形で直径を20格子点で解像. Immersed Boundary Methodによる  
(a): 粒子の比重256,  $R_f=6$ ,  $St=8.51$ , (b) 比重2,  $R_f=19$ ,  $St=0.0765$ .

[1] I. Saito, T. Gotoh, T. Watanabe, "Broadening of cloud droplet size distributions by condensation, J. Meteor. Soc. Jpn, May, (2019) DOI:10.2151/jmsj.2019-049

[2] J. Ynag, T. Gotoh, H. Miura, and T. Watanabe, Statistical properties of an incompressible passive vector convected by isotropic turbulence, Phys. Rev. Fluids, 4, 064601 (2019)