

研究課題名

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



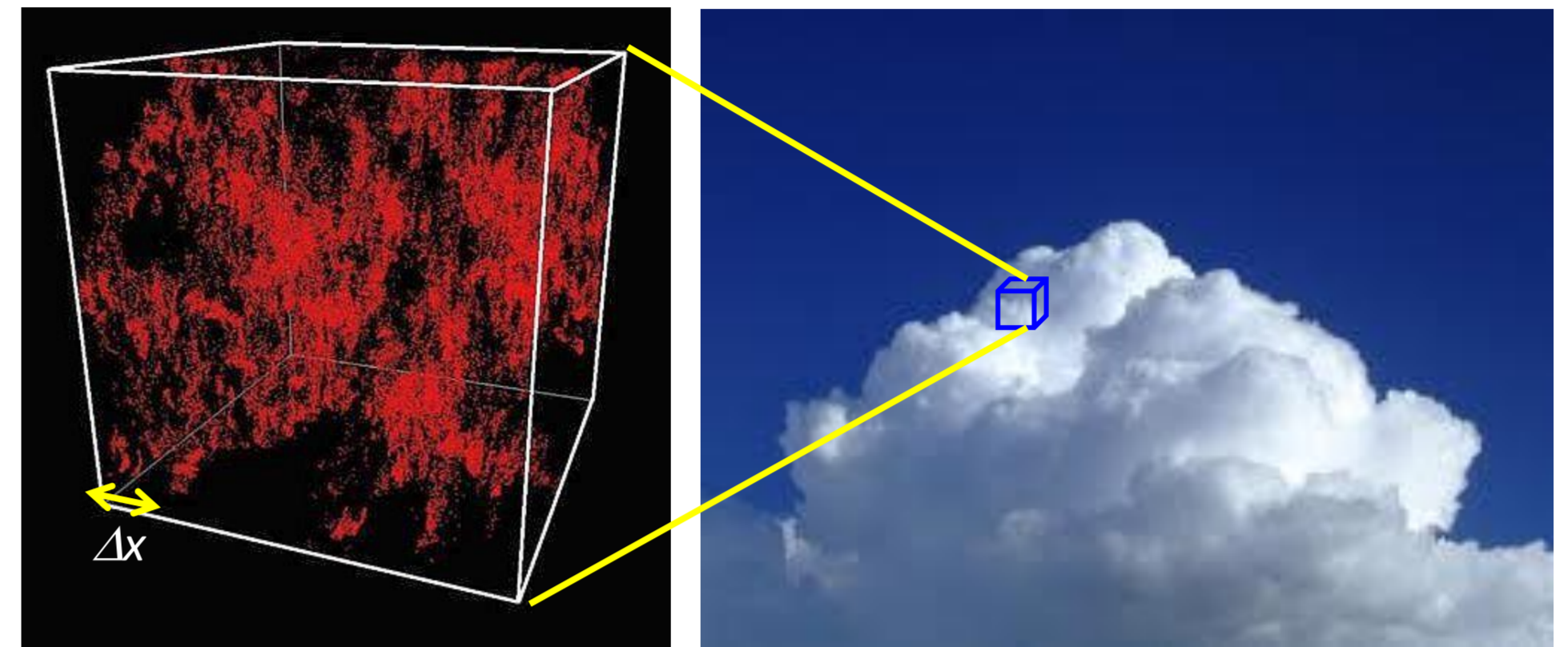
乱流中の部自由度のあるマイクロ粒子

雲粒子:

半径がサブμ mの微細な結晶氷、10μ mから数100μ 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

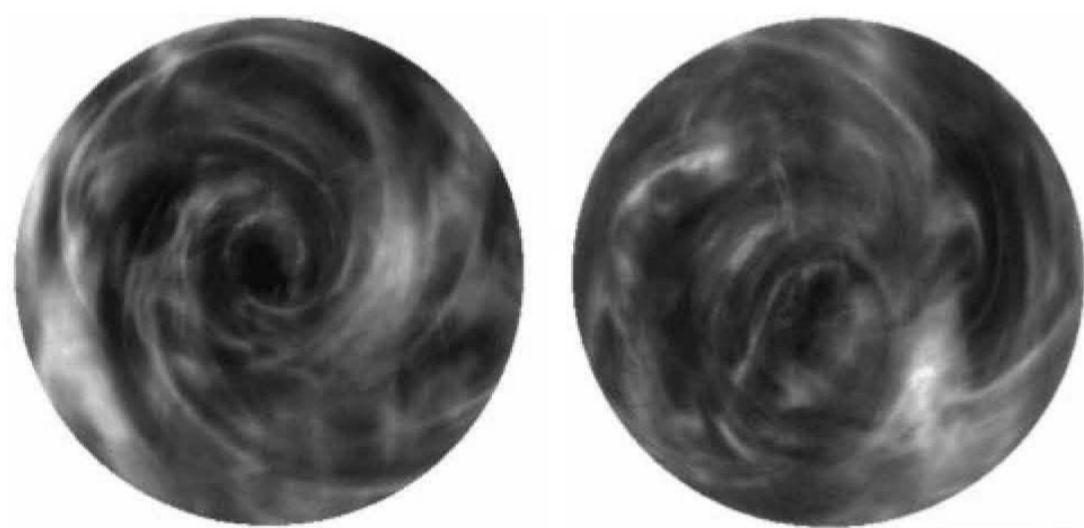
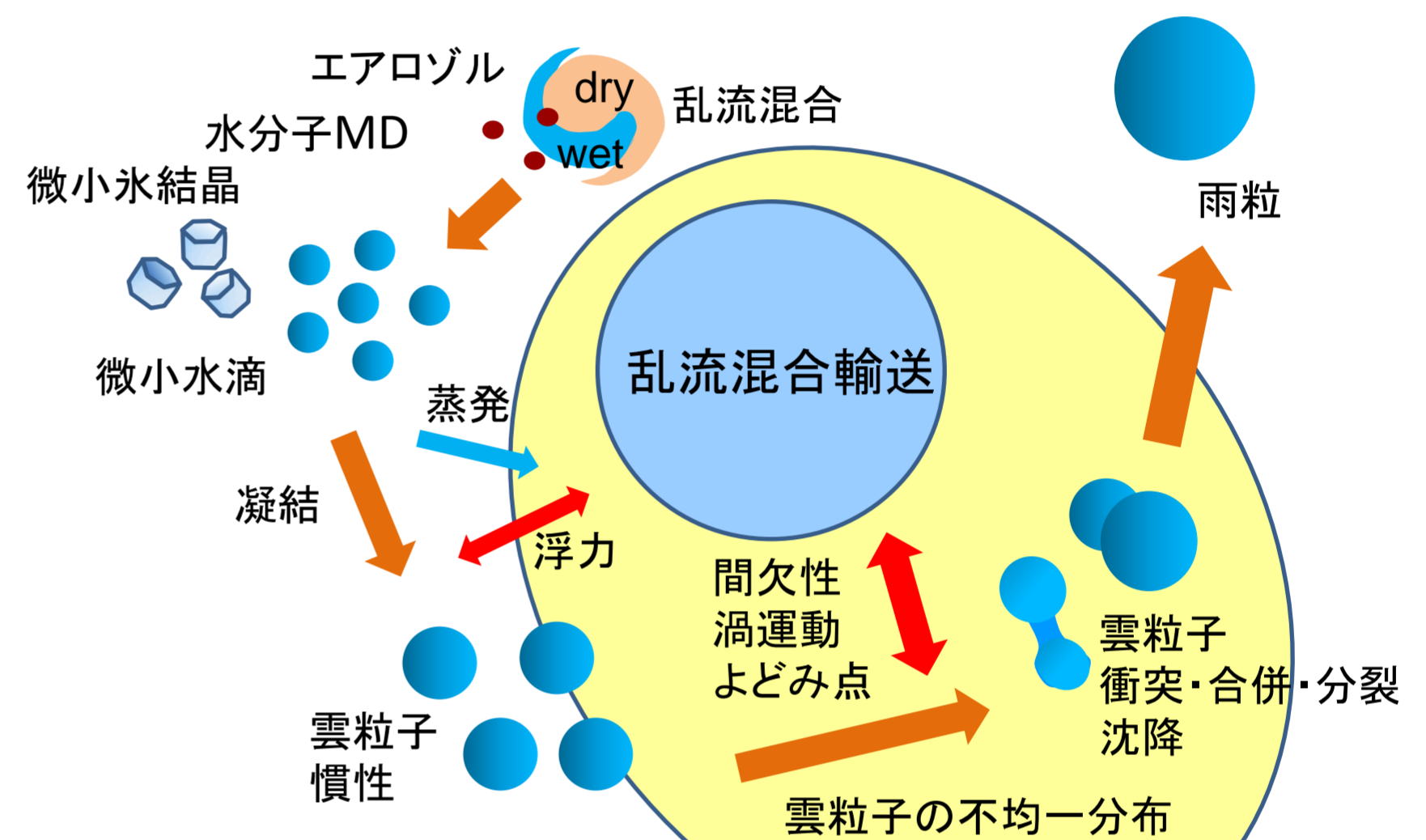
極めて多数のモノマーが鎖上に繋がった高分子
熱平衡長が数μ m程度、流れ場による変形を受けて100μ m程度まで伸長
流体抵抗と高分子内の弾性力の相互作用を通して乱流場と結合



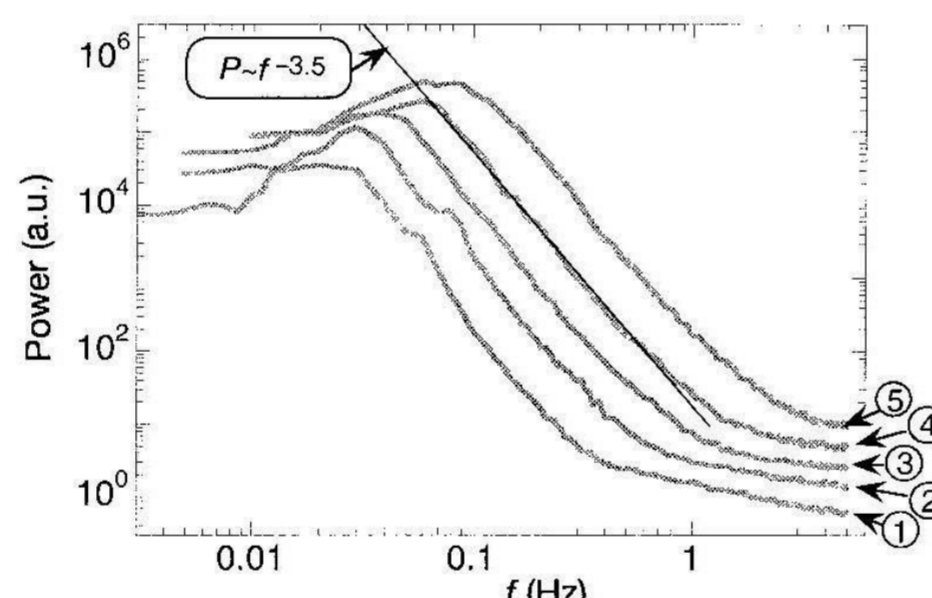
初期半径50μmの雲粒子の分散と沈降
 $R_\lambda=252, N=1024^3, N_p=2^{27}, 2\Delta x=\eta=1mm$

研究目的

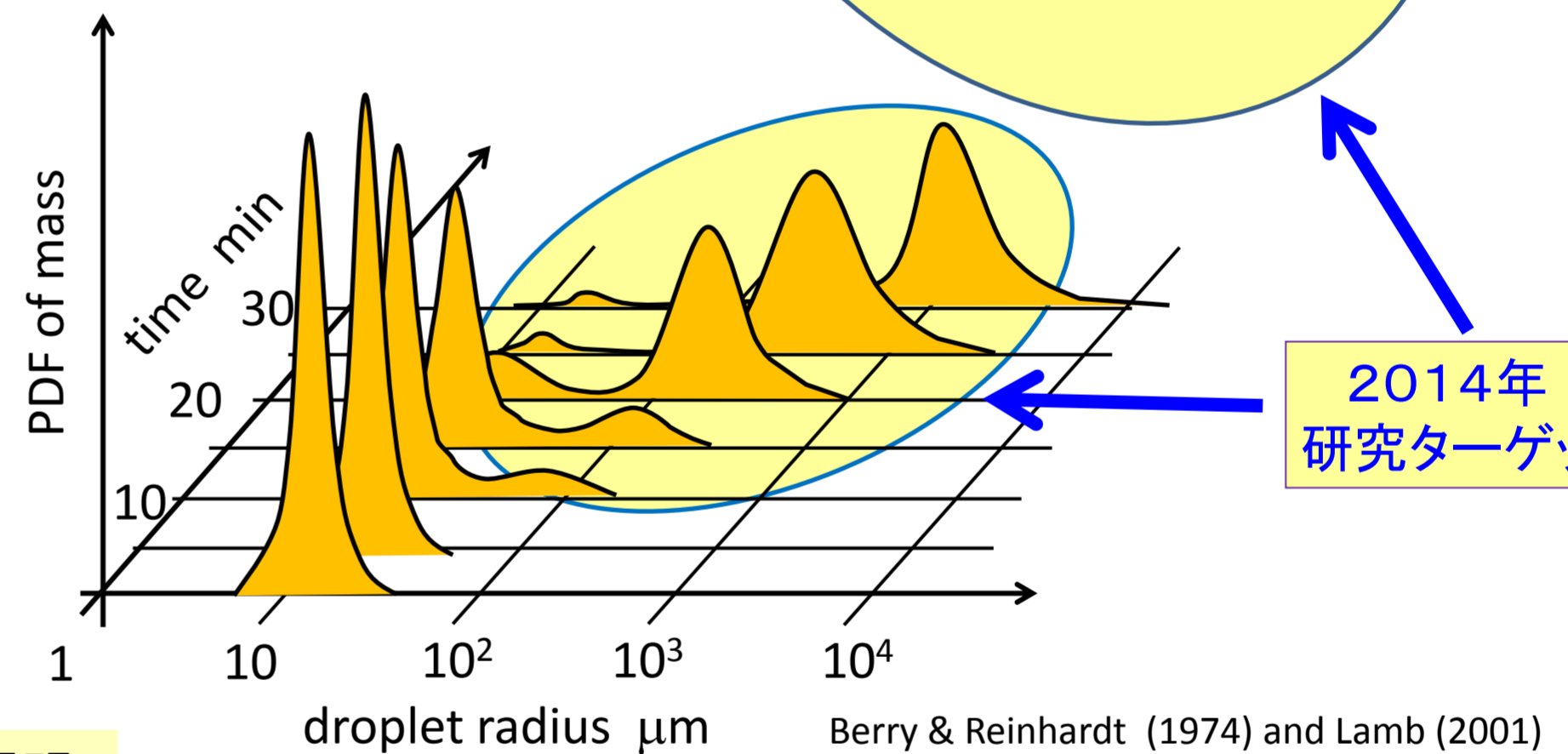
- 雲粒子はどのようにして生成され、成長し、輸送・混合され雨粒になるか？
 - 1億を超える雲粒子と乱流による水蒸気や温度の混合・輸送との相互作用におけるマイクロからセミマクロまでのプロセスを物理の基本原則ののちで丸ごとシミュレーションできるプログラムを開発
 - 雲粒子形成のきっかけ、凝結成長、乱流による雲粒子の不均一な空間分布の形成、凝結と衝突・合併・分裂による粒径分布の変化、乱流強度へのフィードバックなどを調べて、雨粒形成までのプロセスを解明
 - 雲乱流中の速度、温度、水蒸気の異常揺らぎの統計法則の解明
- 雲粒子コードを応用して、鎖状高分子と乱流との相互作用を調べる
 - 高分子モデ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



鎖状高分子溶液の乱流パターン $Wi=13, Re=0.7!$
A. Groisman & V. Steinberg. Nature (2000) 405, 53-55



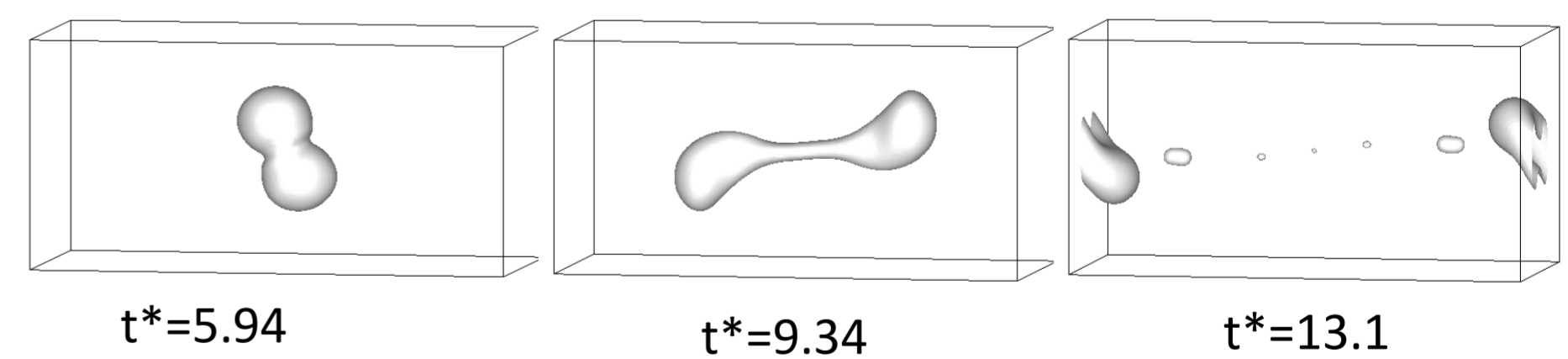
乱流場のパワースペクトル



2014年 研究ターゲット

2013年 研究計画

- 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(スケーリング指数の(非)普遍性、揺らぎの確率密度関数)
- 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・分裂過程のより詳細な解析とレイノルズ数、ウェーバー数空間における相関として作成(LBMによる計算)
- 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
- 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



LBM (Lattice Boltzmann Method)による液滴の伸縮分離衝突
 $B = 0.5, We = 79.6$ における($t^*=tv/D$)

Polymer dumbbell model

$$0 = u(x_i^{(n)}, t) - \frac{d}{dt} x_i^{(n)} - \frac{1}{4\tau_s} f \left(\frac{|x_i^{(n)} - x_j^{(n)}|}{L_{max}} \right) (x_i^{(n)} - x_j^{(n)}) + \frac{r_{eq}}{\sqrt{2}\tau_s} W_i^{(n)}$$

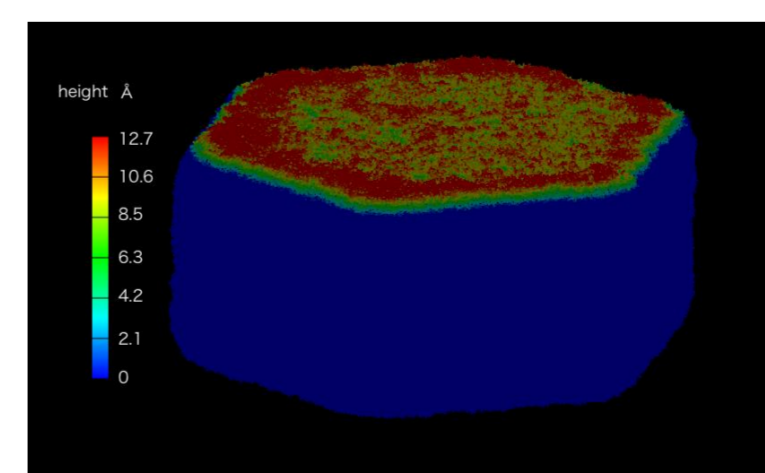
$$f(z) = (1 - z^2)^{-1} \quad \text{Finitely Extendable Nonlinear Elastic (FENE) model: } x_1^{(n)}(t), x_2^{(n)}(t)$$

$$\langle W_i^{(n)}(t) \rangle = 0 \quad \langle W_{\alpha,i}^{(m)}(t) W_{\beta,j}^{(n)}(s) \rangle = \delta_{mn} \delta_{\alpha\beta} \delta_{ij} \delta(t-s) \quad \text{Thermal agitation}$$

Solvent fluid: Navier-Stokes + polymer stress tensor dumbbell model

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} + \frac{\partial T_{ij}^p}{\partial x_j} + f_i \quad \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0, \quad T_{ij}^p(x, t) = \sum_{n=1}^{N_s} t_{ij}^p(r_g^{(n)}) \delta(x - r_g^{(n)})$$

$$t_{ij}^p(r_g^{(n)}) = \frac{L_{box}^3 \nu \eta}{N_s \tau_s} \left[\frac{R_i^{(n)} R_j^{(n)}}{r_{eq}^2} f(|R^{(n)}|/L_{max}) - \delta_{ij} \right] \quad \text{Polymer stress tensor}$$



MDシミュレーションによるバルク融解温度より1K低い温度での微小氷表面の融解の様子