

# 固気液多相連成現象のマルチフェイズ並列解法： 熱連成・柔軟物体・礫群輸送の計算例

柳博文・榊原幸星  
鳥生大祐\*・牛島省\*

(\* 京都大学学術情報メディアセンター)

お問い合わせ先：京都大学学術情報メディアセンター・牛島省 [ushijima@media.kyoto-u.ac.jp](mailto:ushijima@media.kyoto-u.ac.jp)

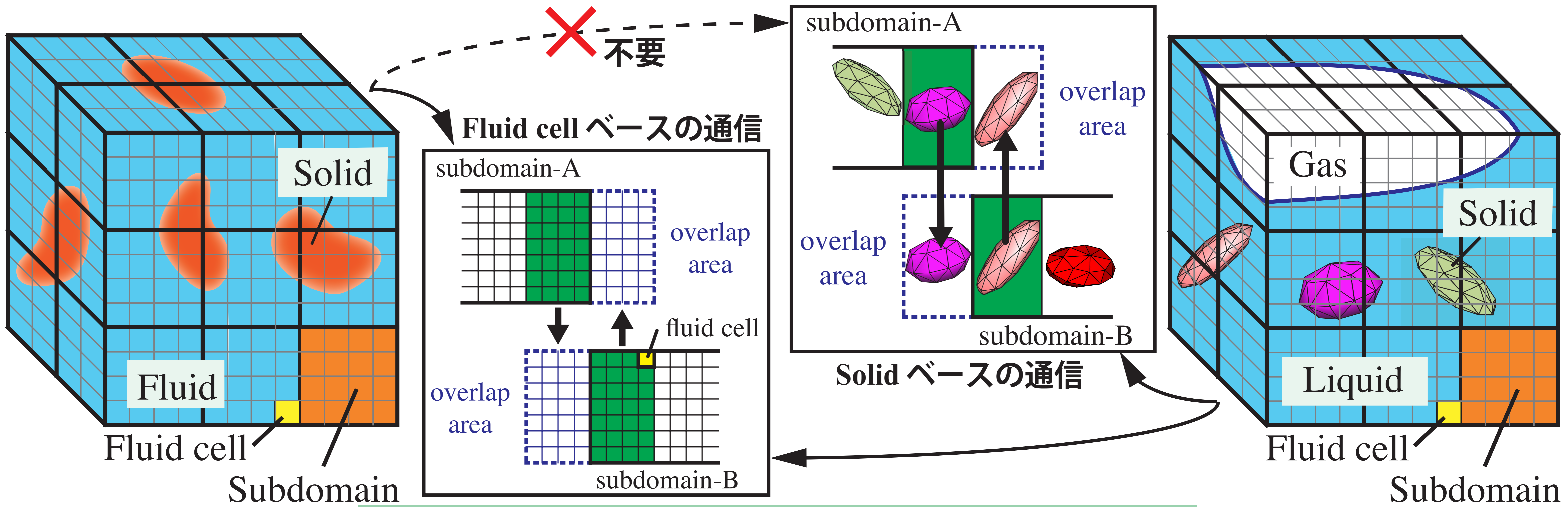
## 3次元多相場の数値解法

### Euler (流体) - Euler (固体)

- 各計算セル内に含まれる固体の体積割合を定義し、Euler的に計算
- 大変形する問題でも格子が破綻しない

### Euler (流体) - Lagrange (固体)

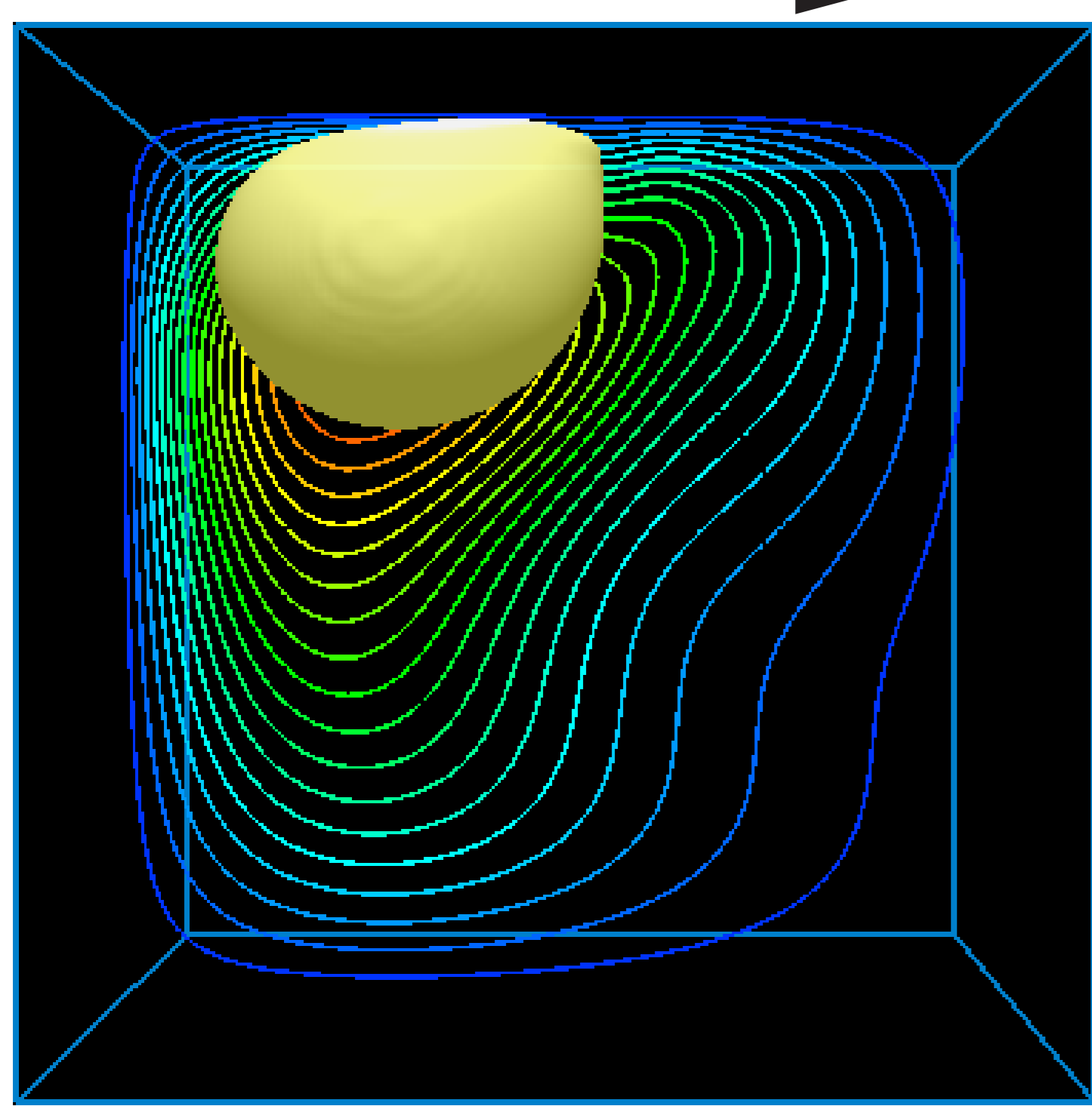
- 固体は四面体要素群で表され、Lagrange的に計算
- 流体と固体の力学的連成は多相場の運動方程式より計算 (抗力係数などの経験定数は不要)



京都大学のスーパーコンピュータを用いて並列計算

## Euler-Euler の計算例 温度依存性のある柔軟物体を含む流れ

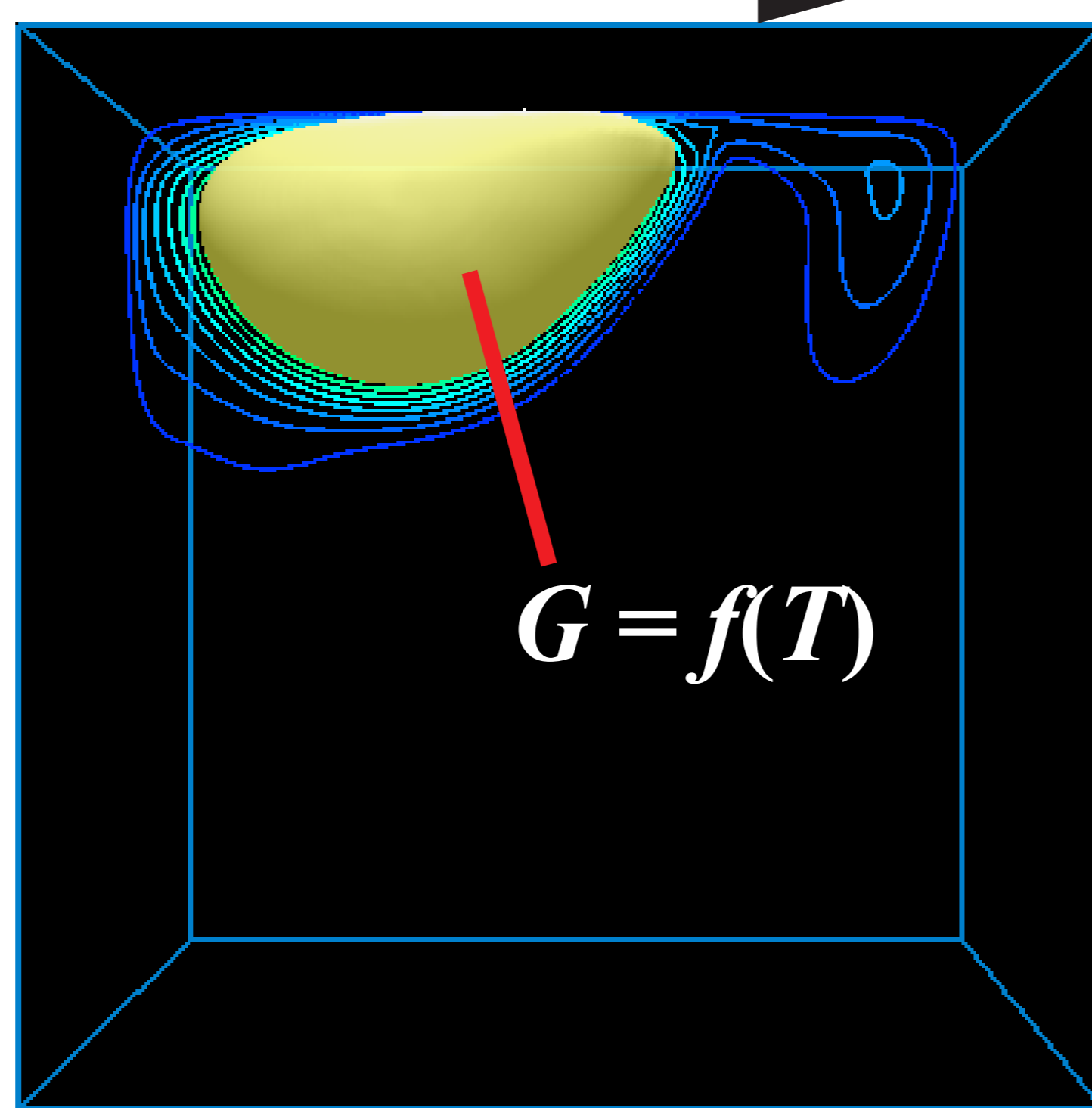
$$U = \sin(\pi x_1)$$



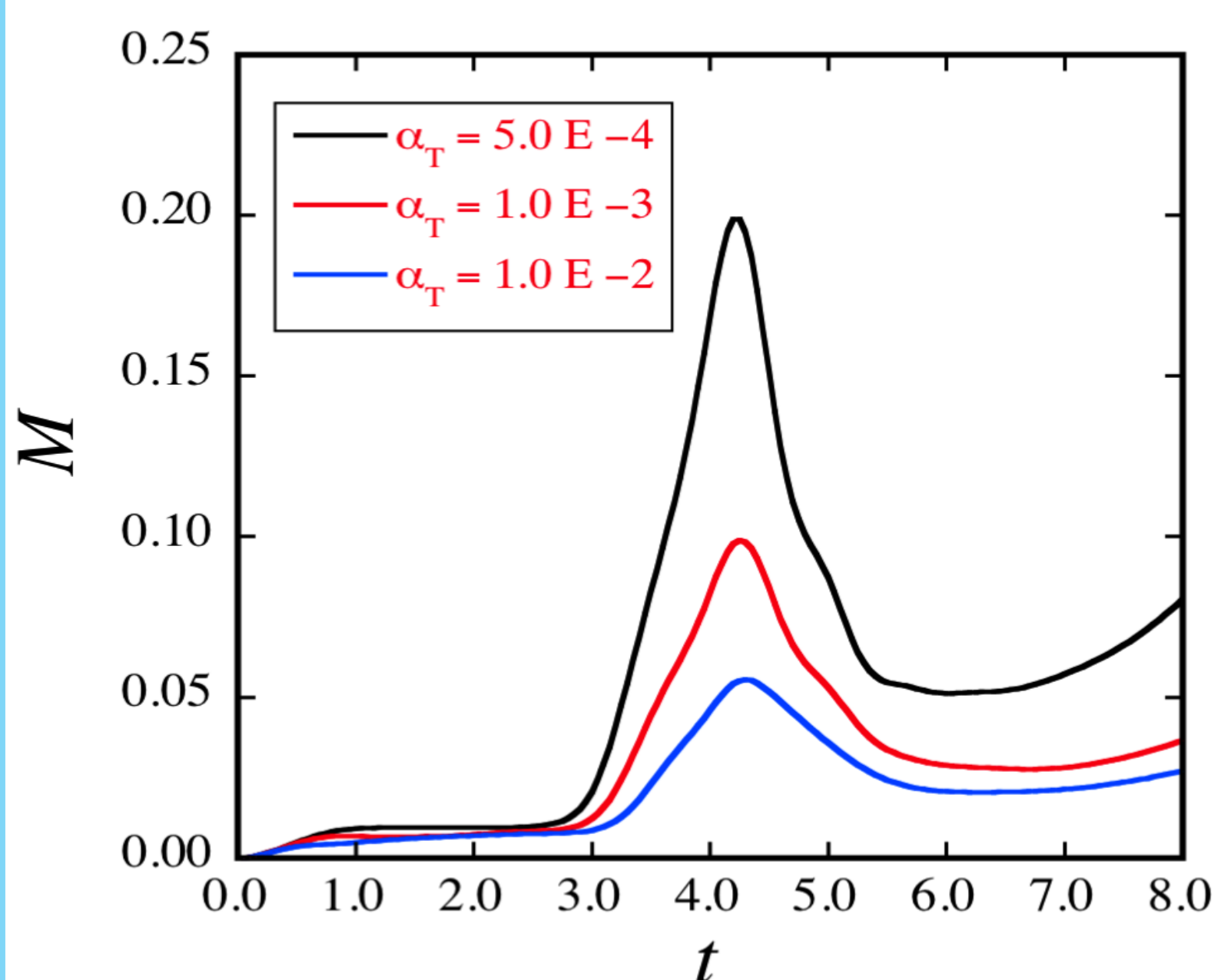
$$\alpha_T = 1.0 \times 10^{-2}$$

同時刻における柔軟物体の形状と温度の等値線  
(柔軟物体は流体より高温)

$$U = \sin(\pi x_1)$$

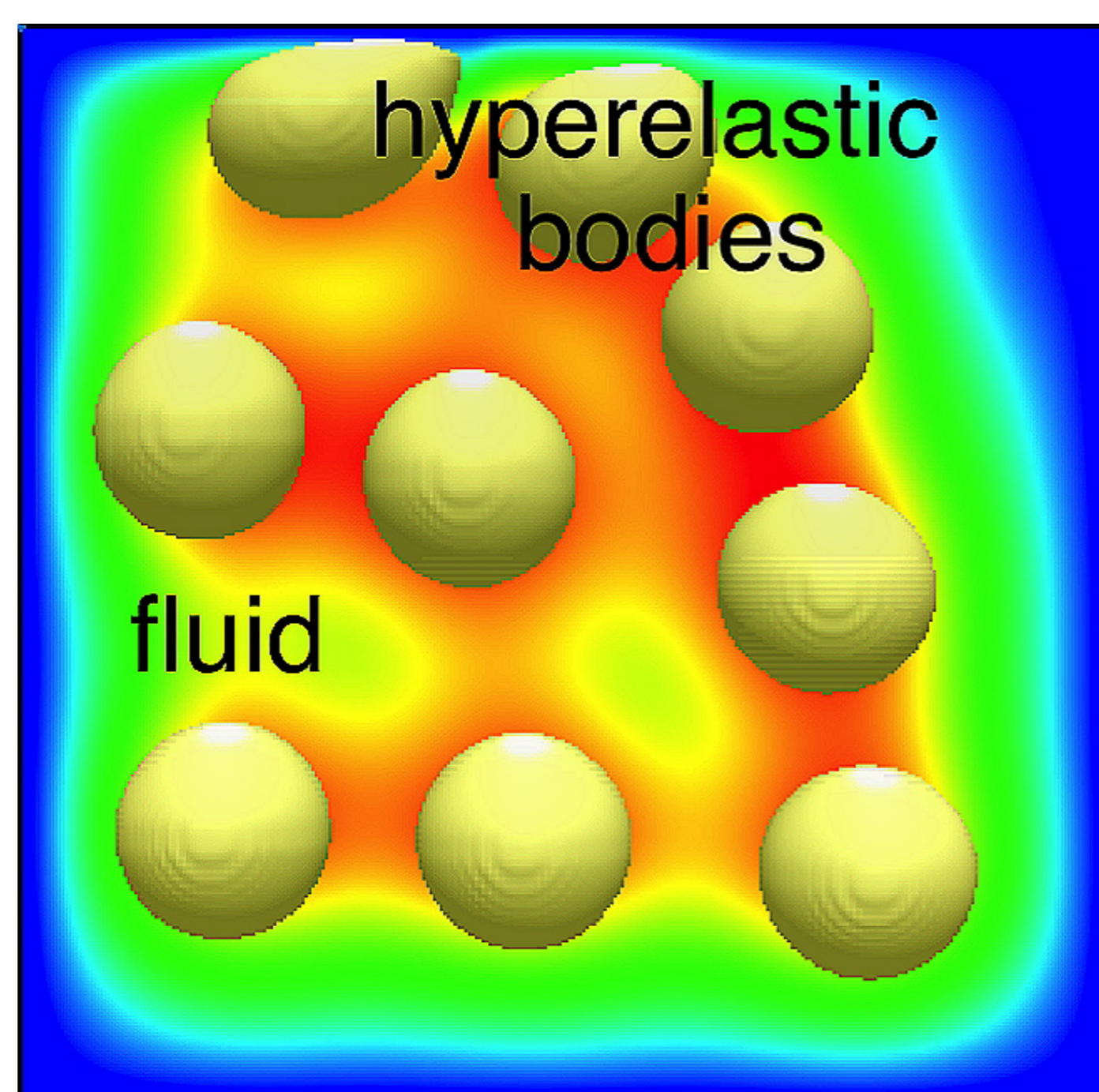


$$\alpha_T = 5.0 \times 10^{-4}$$



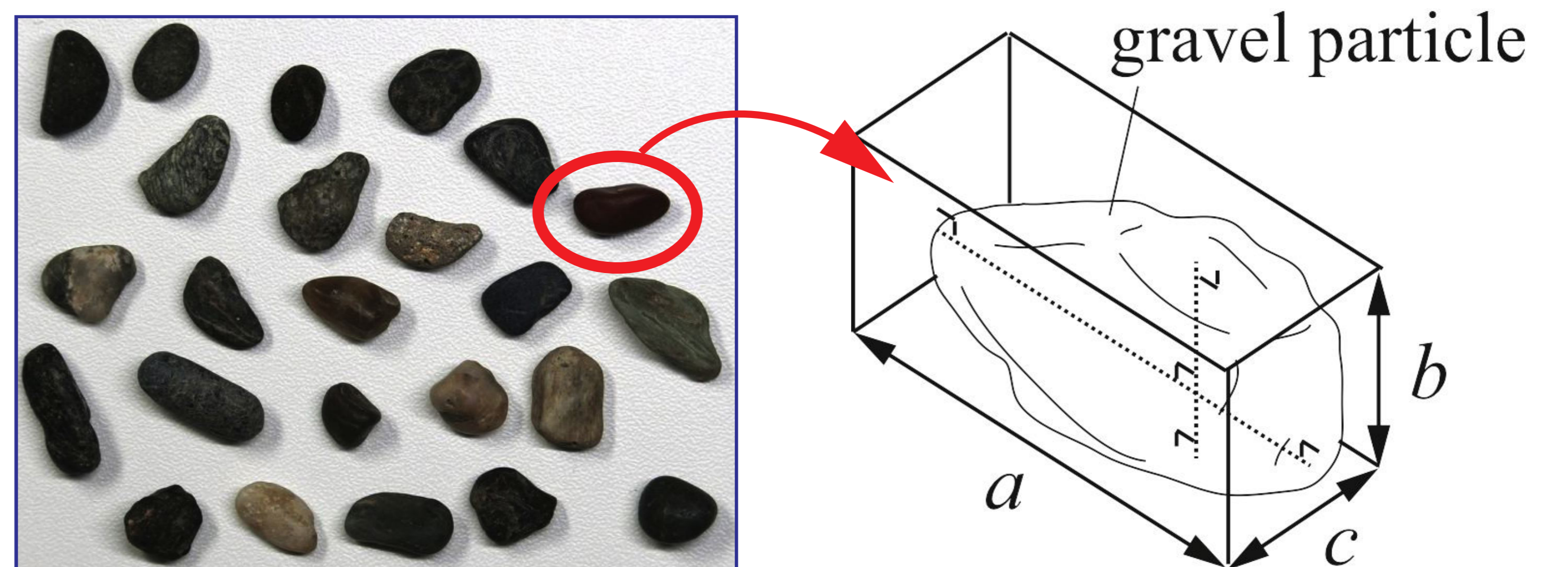
柔軟物体の2次モーメント

→ 温度拡散率が小さいほど大きく変形



多数の柔軟物体を含む条件でも計算可能

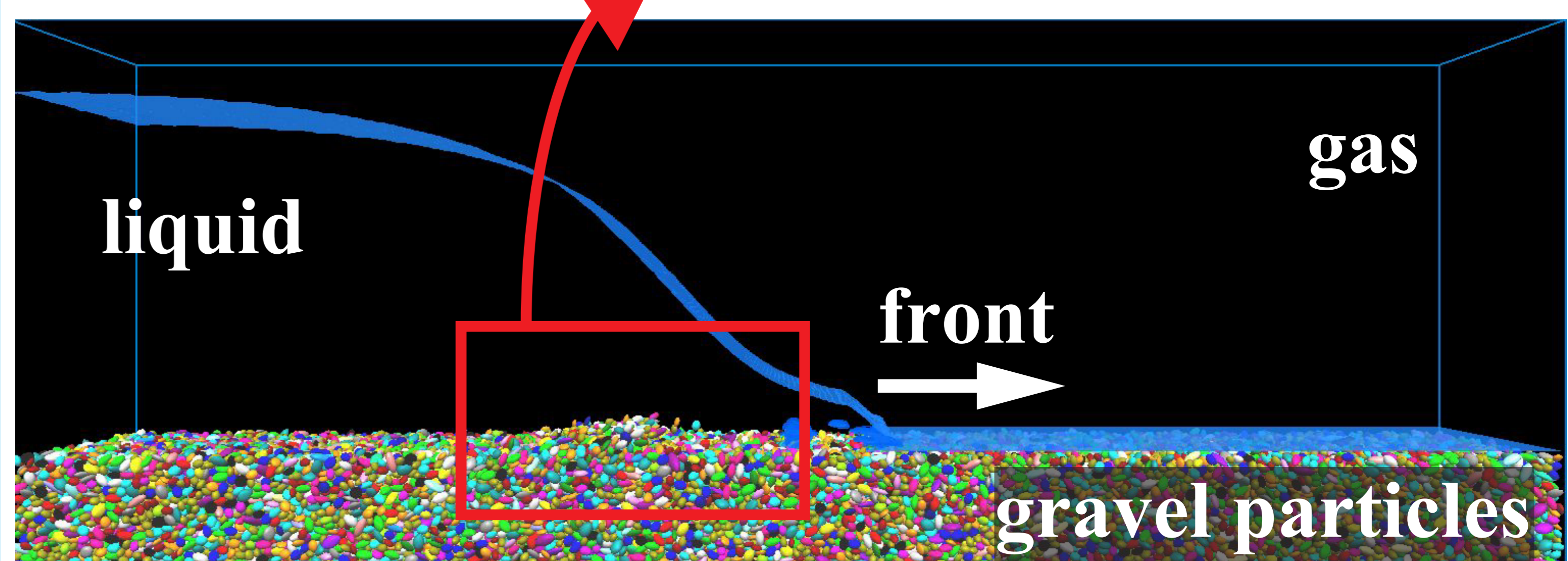
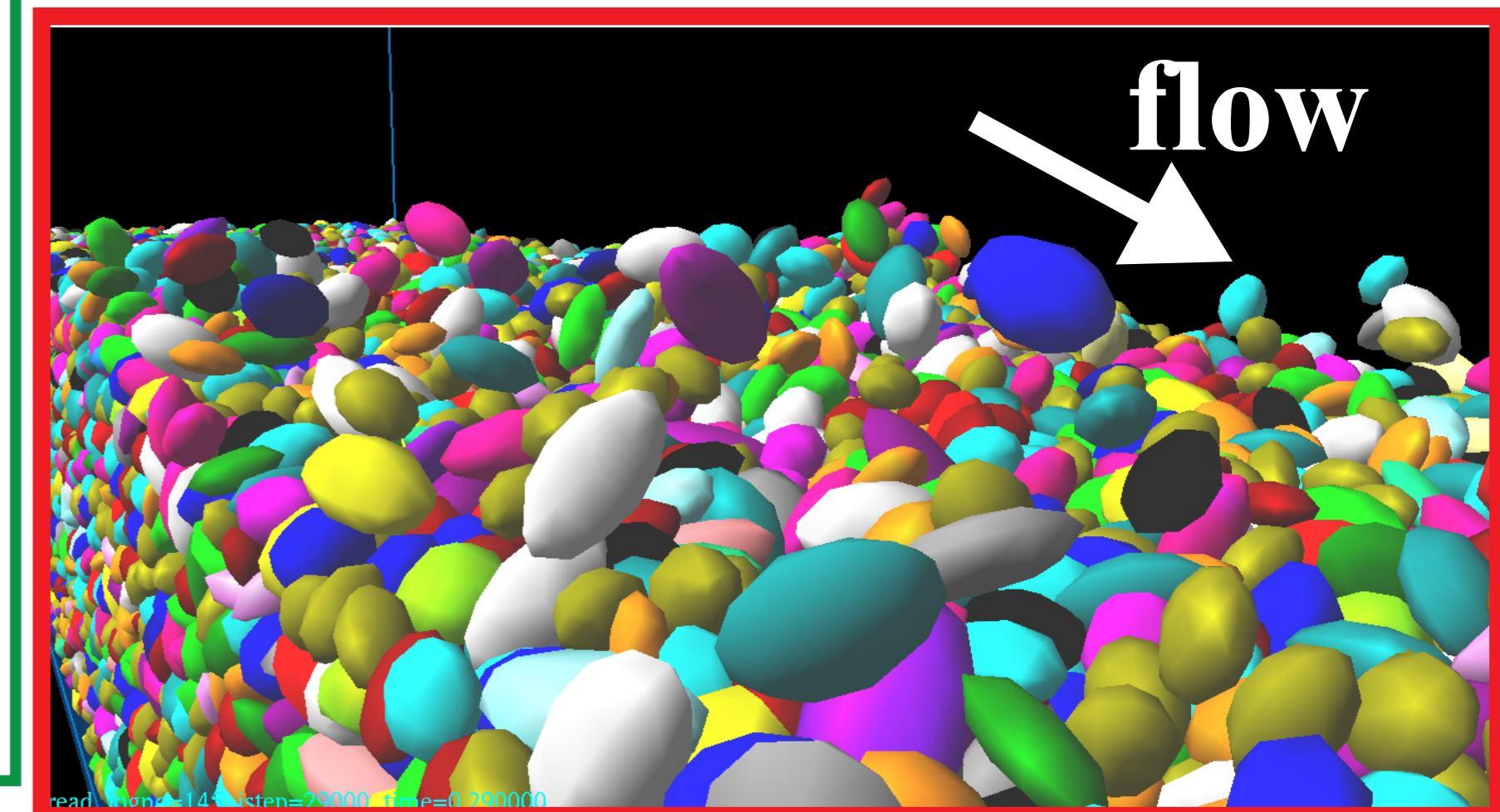
## Euler-Lagrange の計算例 水柱崩壊流れによる礫群輸送



実際の礫を計測し、26種類(非球形)の代表形状を作成

### MPI と OpenMP のハイブリッド並列計算

礫モデル数：53,485  
MPI プロセス並列数：34×4×8 (= 1,088)  
OpenMP スレッド並列数：3  
総使用コア数：3,264



礫群が輸送される様子 (上図は視点が流下方向側)