

# 地球シミュレータ利用プロジェクト 「火山ダイナミクスの数値シミュレーション」

プロジェクト責任者

小屋口剛博（東京大学 地震研究所）

# プロジェクトの目的

「地球内部のマグマ発生から地表におけるマグマ噴出までの火山現象を流体力学問題としてコード開発し、その物理過程を理解する」  
特に、マグマ溜りの条件と噴火様式の間係を明らかにすることを中心的課題とする。



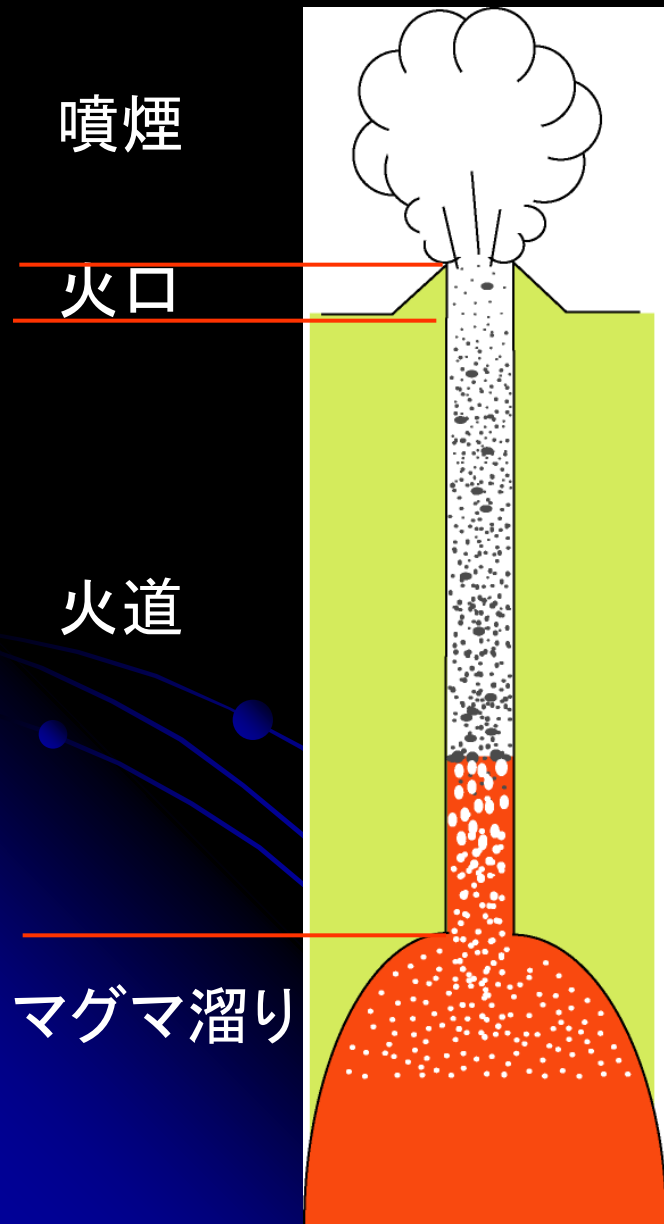
噴煙柱 (St. Helens 1980, USGS)

or



火砕流

# 火山噴火様式を支配する要因



乱流による噴煙・大気の混合効率  
固体粒子(火山灰)の分離

火口の形状

圧縮性(衝撃波の有無など)

マグマの破碎

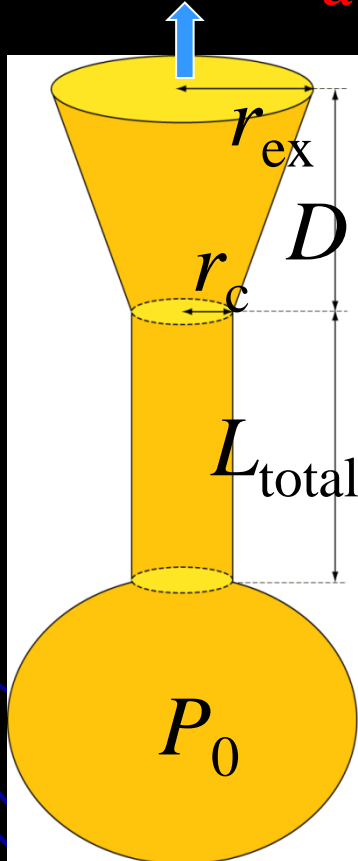
気泡の生成・成長

気泡とマグマの相対運動

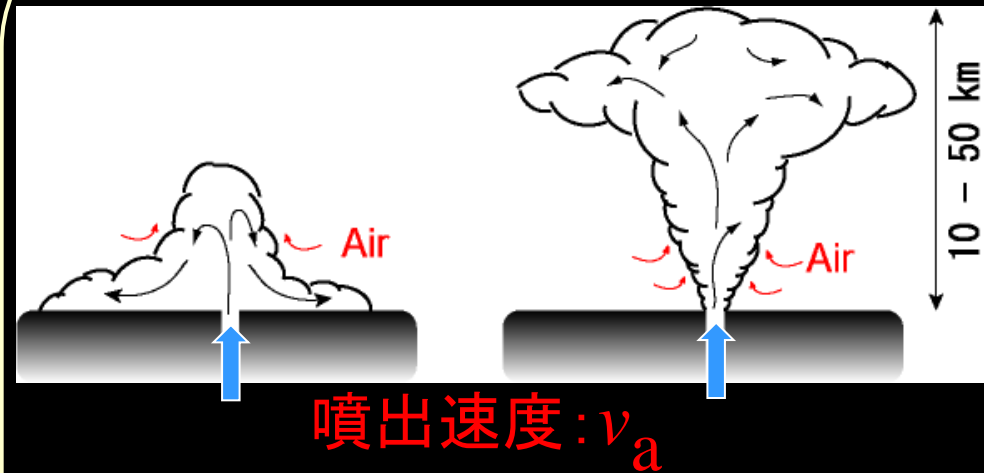
マグマ溜りからの噴出条件⇔噴煙の流動様式  
の関係を定量的に明らかにする。  
同時に、物理素過程の理解を目指す。

# “マグマ溜り～噴煙”の問題設定

噴出速度： $v_a$



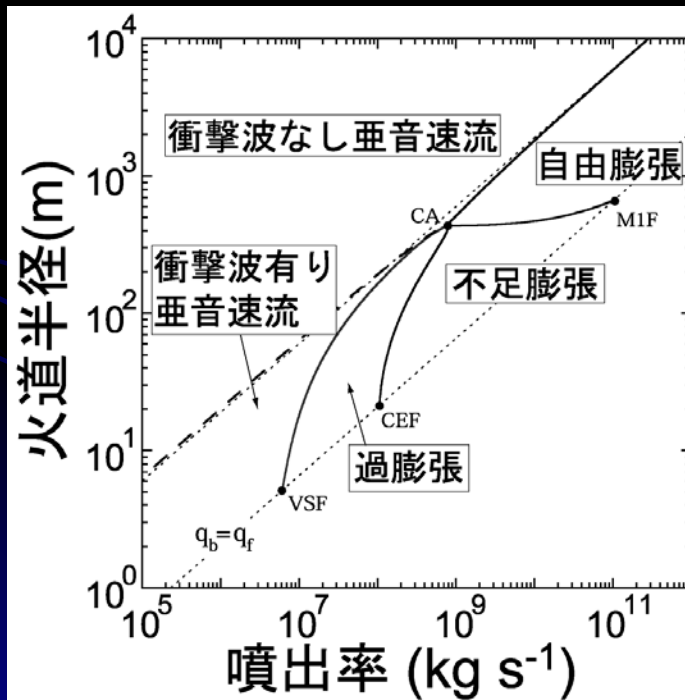
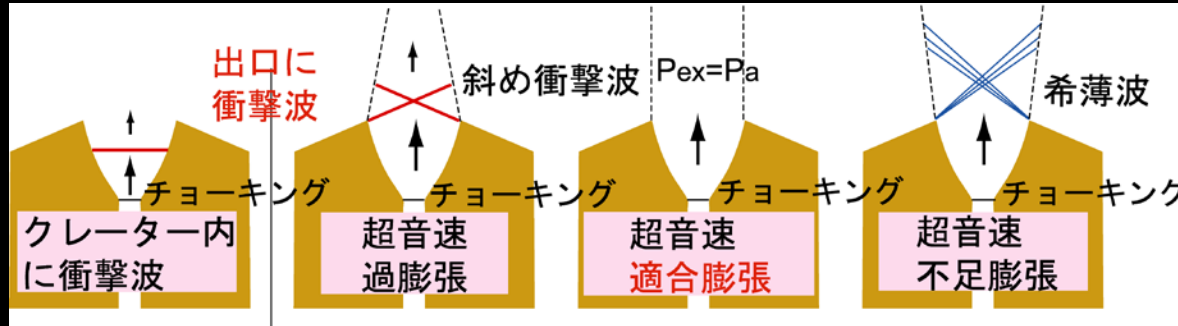
解析モデルと大規模計算を組み合わせることで、噴出条件から噴煙の流動様式を推定するレジームマップを作成する



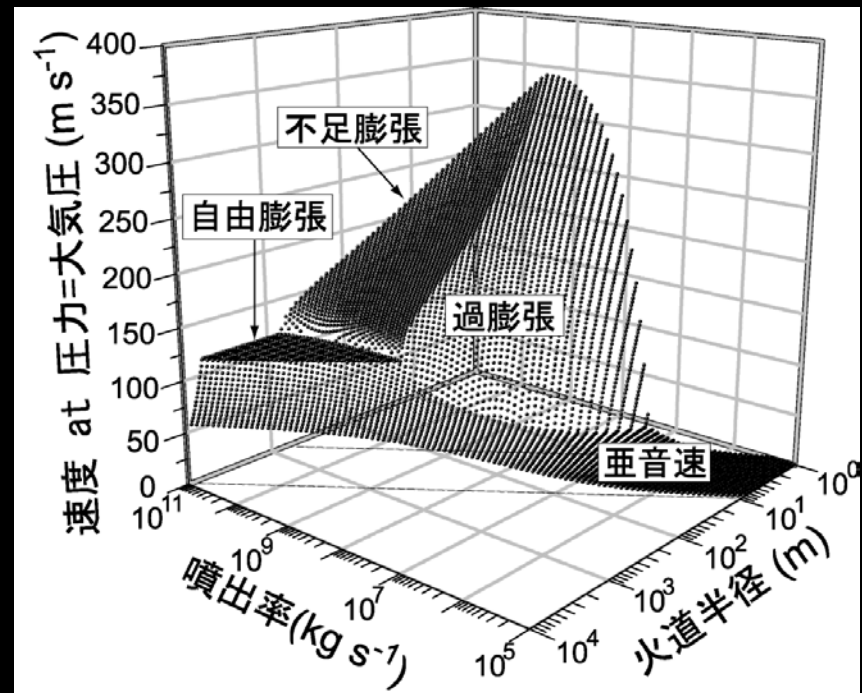
マグマ溜りからの噴出条件を与え  
マグマ上昇の圧縮性流体モデルで  
→ 噴出速度を求める

噴出速度を与え、3次元シミュレーションで  
→ 噴煙の流動様式を求める

# マグマ上昇の圧縮性流体モデル



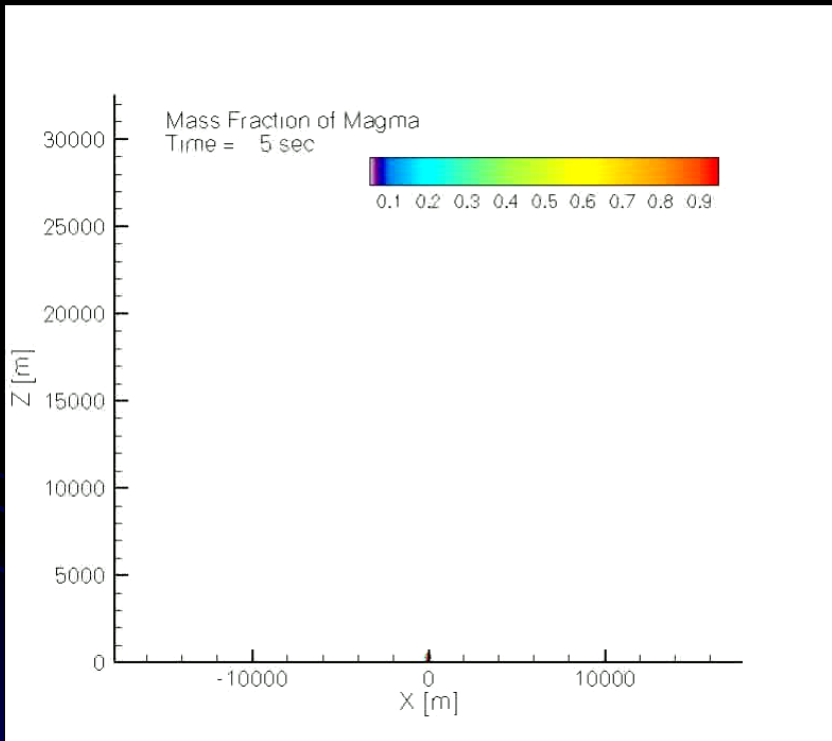
火口流れのレジームマップ



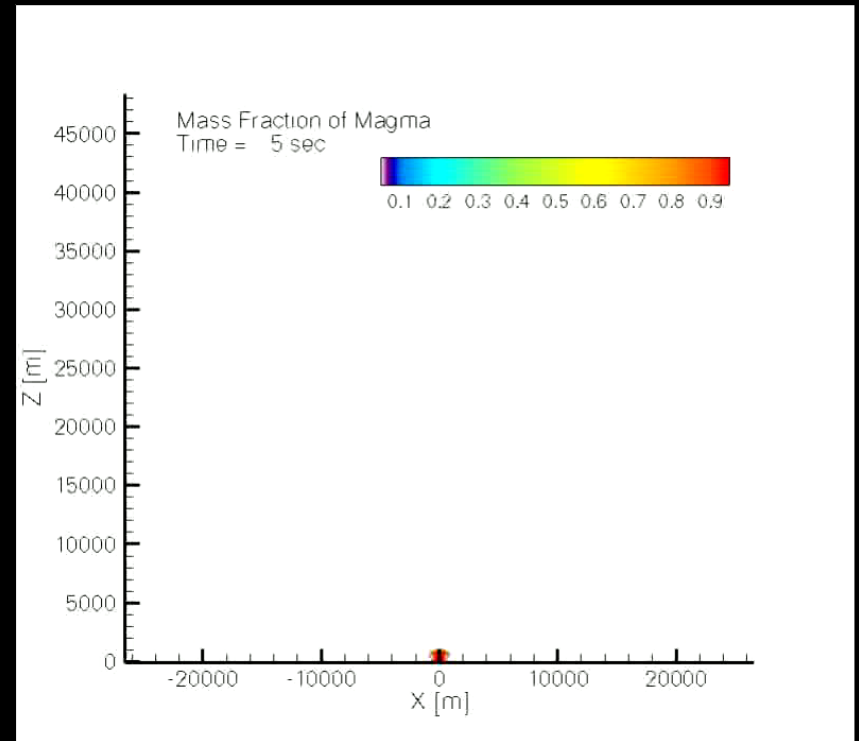
噴出速度

# 噴煙の大規模3次元計算

## 噴煙柱



## 火砕流

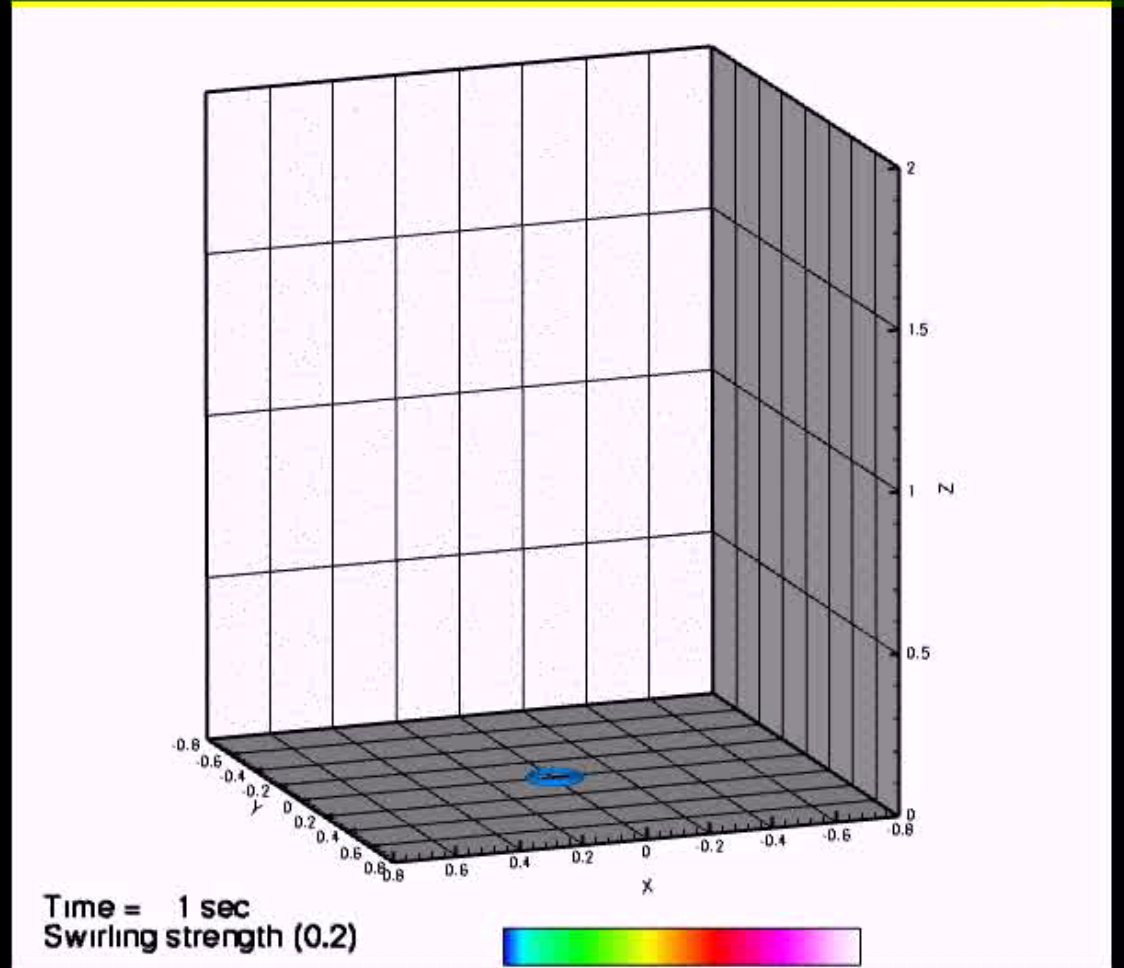
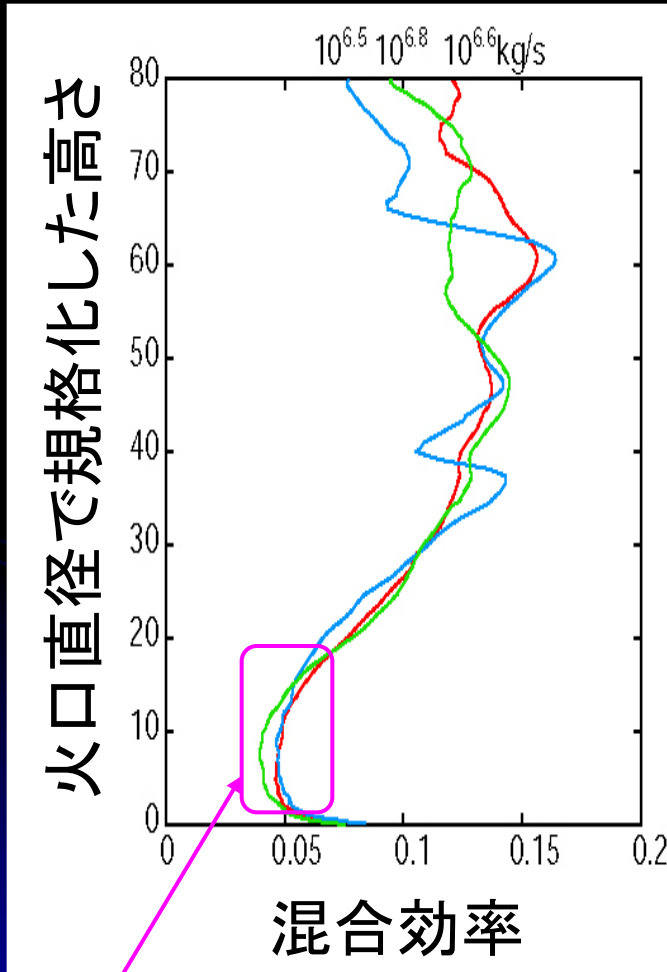


噴出物の質量分率分布(火口を含む断面)

高分解能で噴煙の流動様式を再現

# 噴煙・大気の混合効率

Swirling Strength (渦の回転強さを示す) の等値面



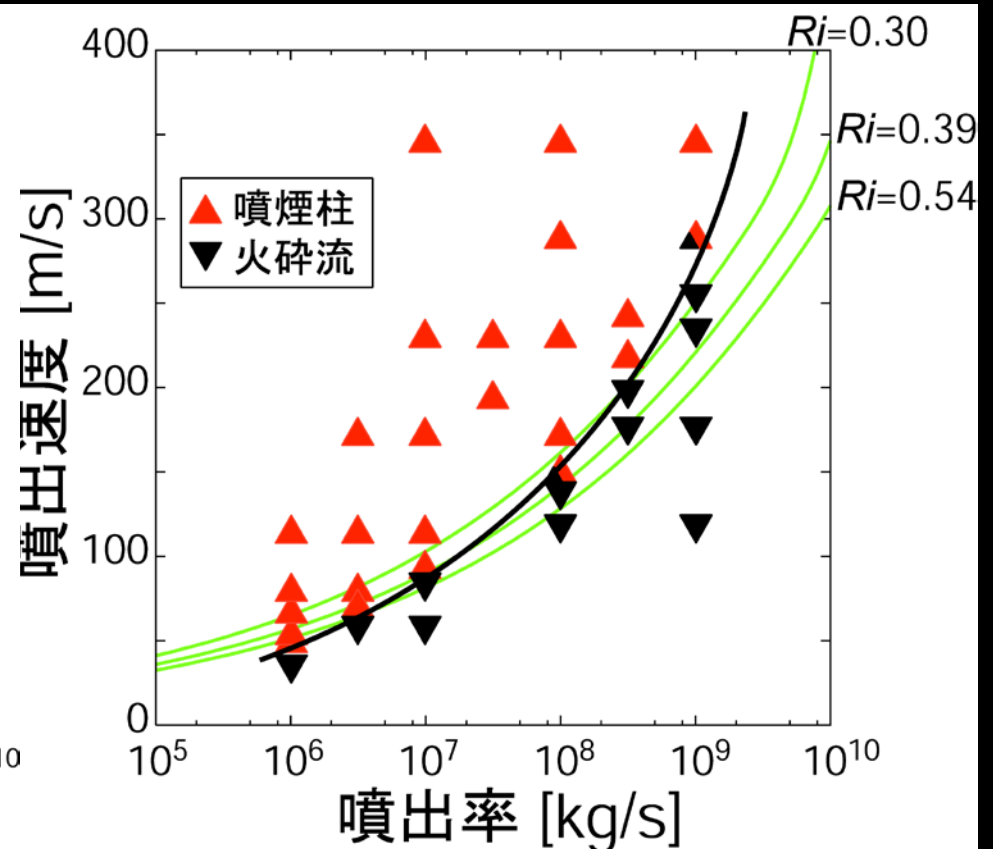
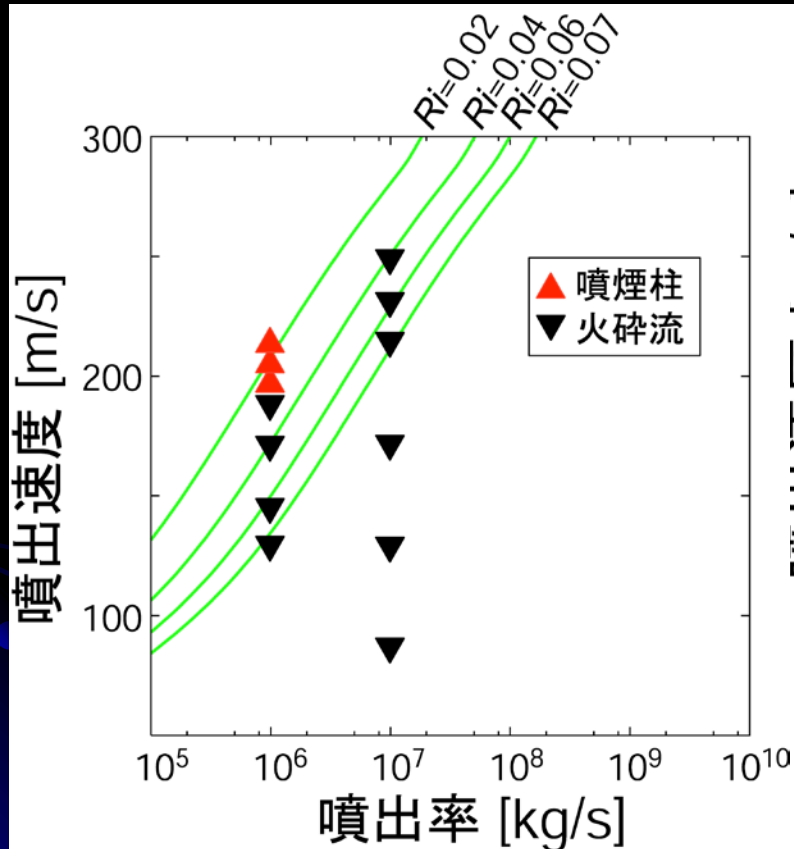
混合効率が小さくなる

渦構造の変化と混合効率の変化がほぼ対応

# 火口での噴出条件 → 噴煙挙動

550K

1000K

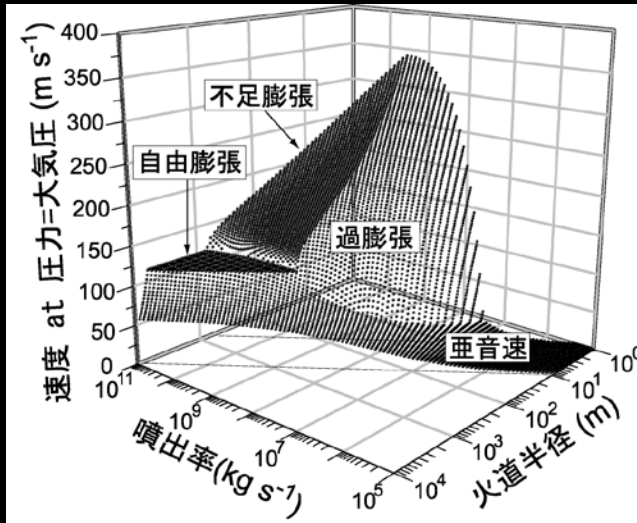


$Ri$ : リチャードソン数

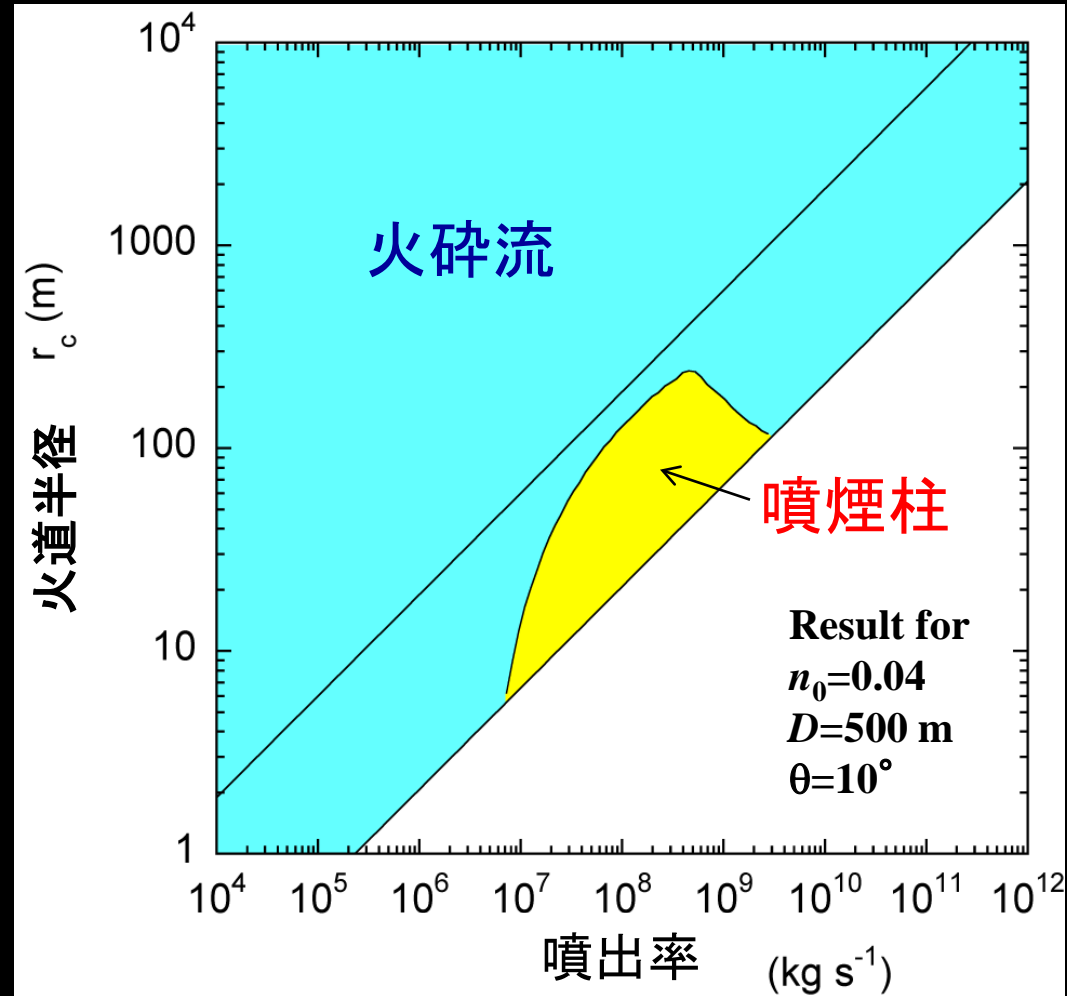
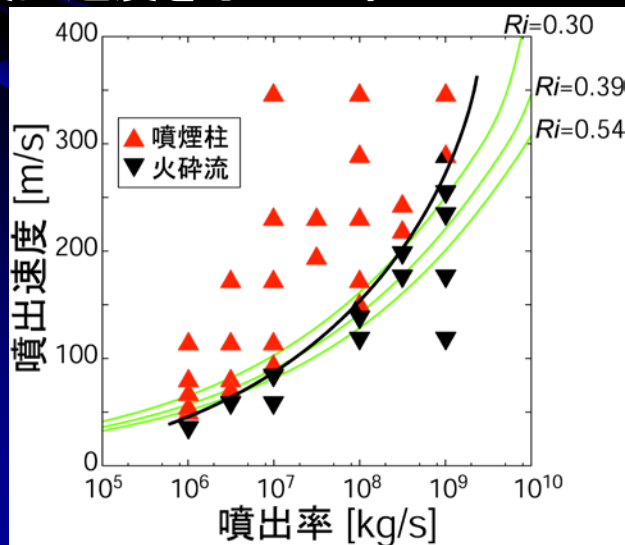
約50のシミュレーションを行い、詳細なレジームマップを作成した。  
火砕流発生条件は $Ri$ に加え速度にも依存するという新たな結果。

# 噴煙柱・火砕流のレジームマップ

マグマ溜りからの噴出条件を与えた時の噴出速度

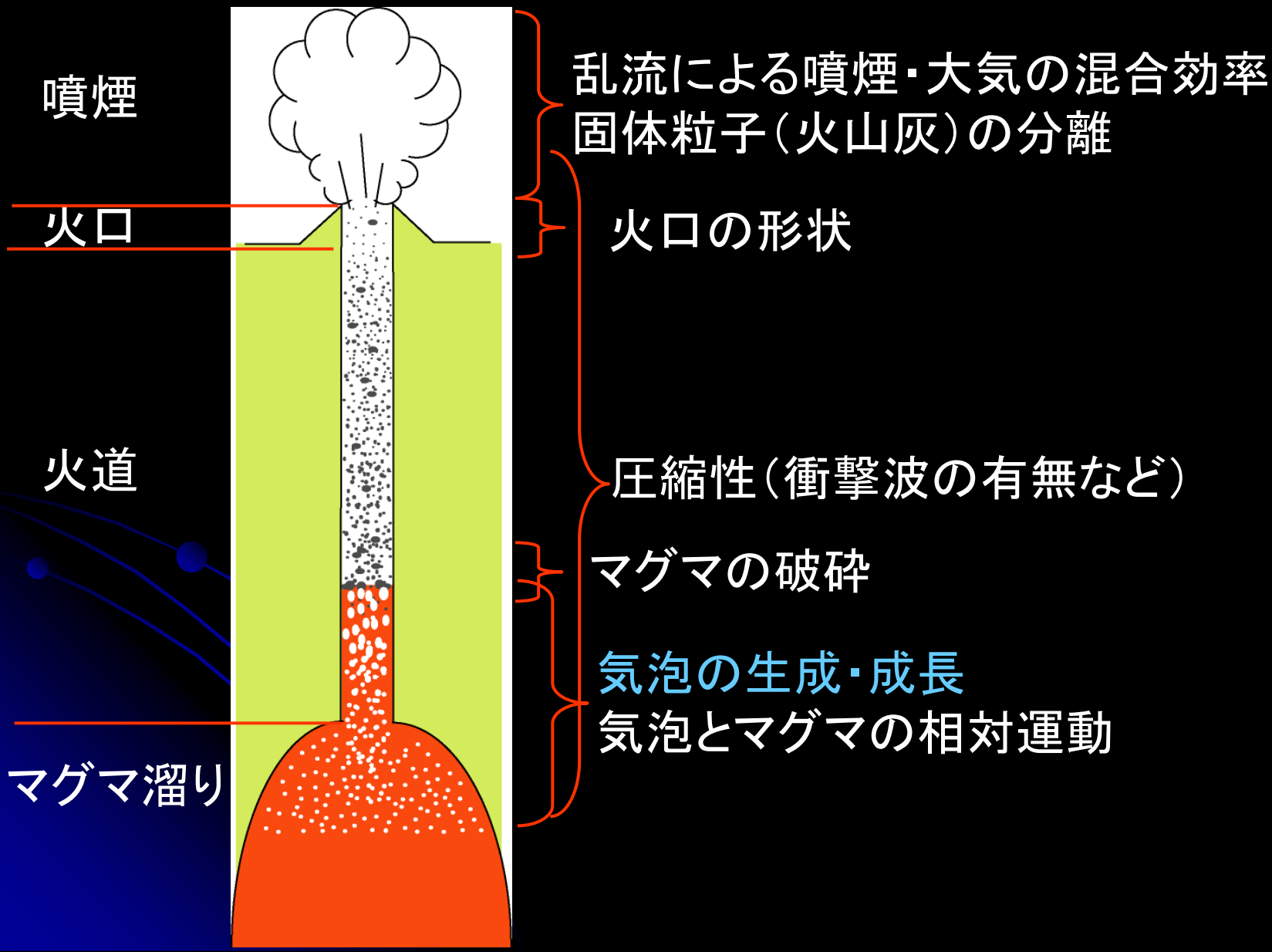


噴出速度を与えた時のレジームマップ



マグマ溜りの条件と噴火推移の関係を議論できる

# 火山における物理素過程の理解



# 気泡生成過程の全粒子計算

火道内でマグマ減圧にともなう気泡の生成や成長が噴火様式を支配する



気泡生成過程の基礎的な理解を目指す

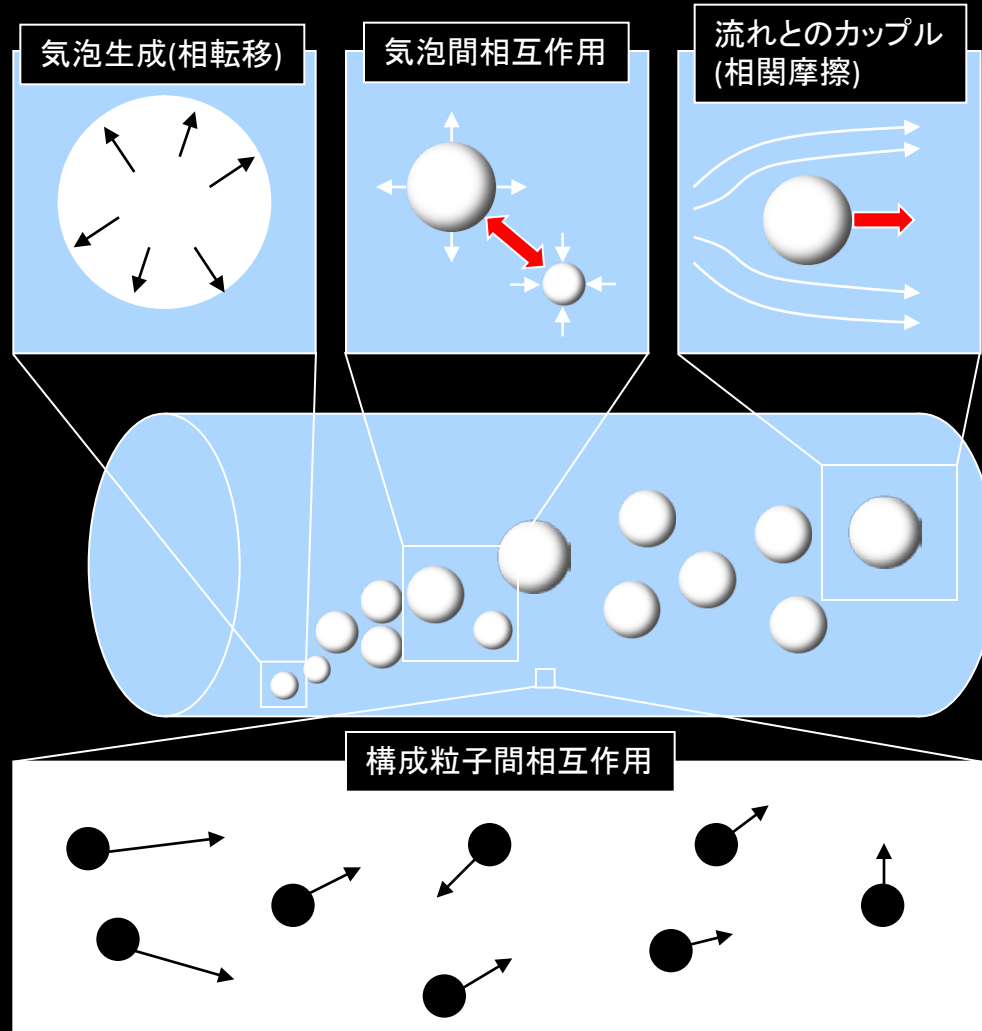
## 手法: MDによる全粒子計算

ミクロナ相転移からマクロナ流れまでを単一の原理のみから構成、計算する。  
→階層的モデリングから全粒子計算へ

## 目的: 大規模計算法の確立と解析

- 1) 沸騰と流れがカップルするスケールまで計算可能な並列化コードの開発。
- 2) 気泡生成ダイナミクスにおける古典核生成論の検証
- 3) 相間摩擦、相間輸送現象の解析

## 階層的モデリング



ダイレクトシミュレーション(全粒子計算)

# 気泡生成過程の全粒子計算

## 計算の詳細

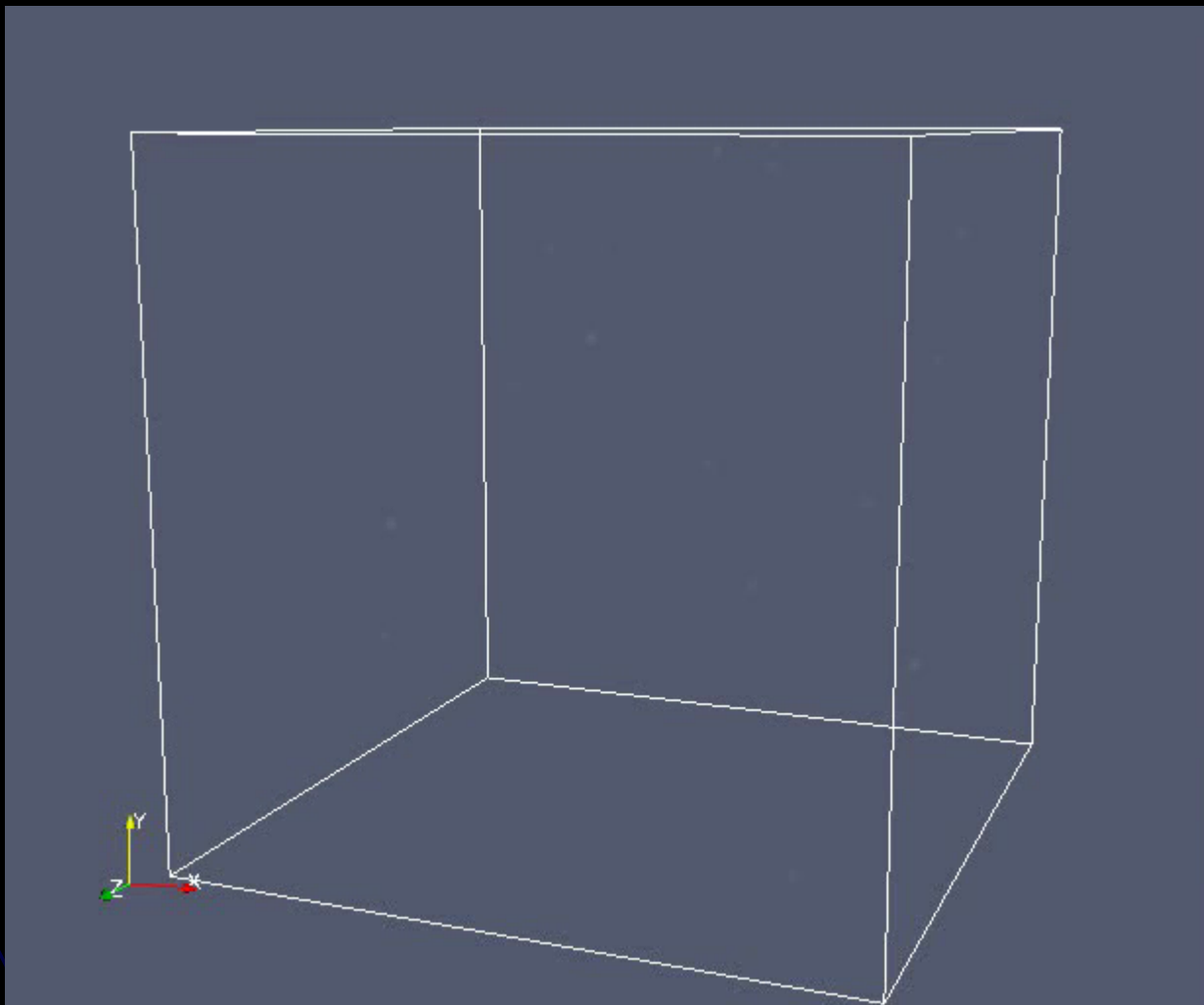
急減圧による気泡生成過程を調べる  
一様な液相から共存相へ

## 粒子間相互作用

12-6型の LJ ポテンシャル  
カットオフ  $3.0\sigma$   
粒子数  $\sim 1000$ 万  
時間刻み 0.005  
50万ステップ

## 急減圧プロセス

$T=0.9$ に制御後、粒子の半径を  
変化: 半径  $1 \rightarrow 0.97 \sim 0.99$   
密度  $0.7 \rightarrow 0.65 \sim 0.68$   
気泡の時間発展を追う



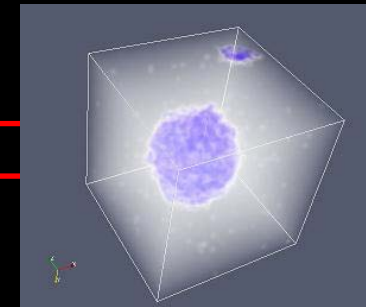
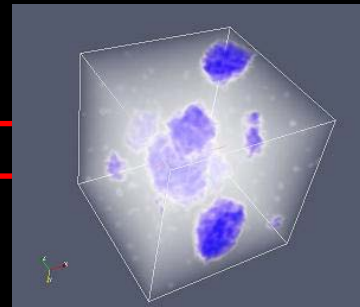
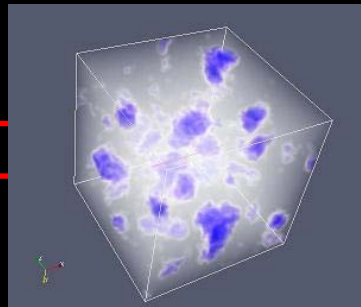
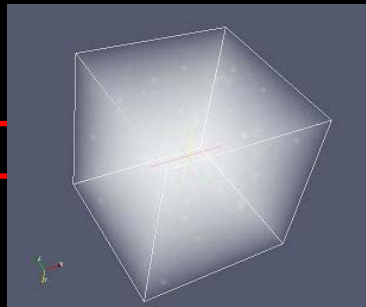
# 気泡生成過程の全粒子計算

減圧直後

多重核生成

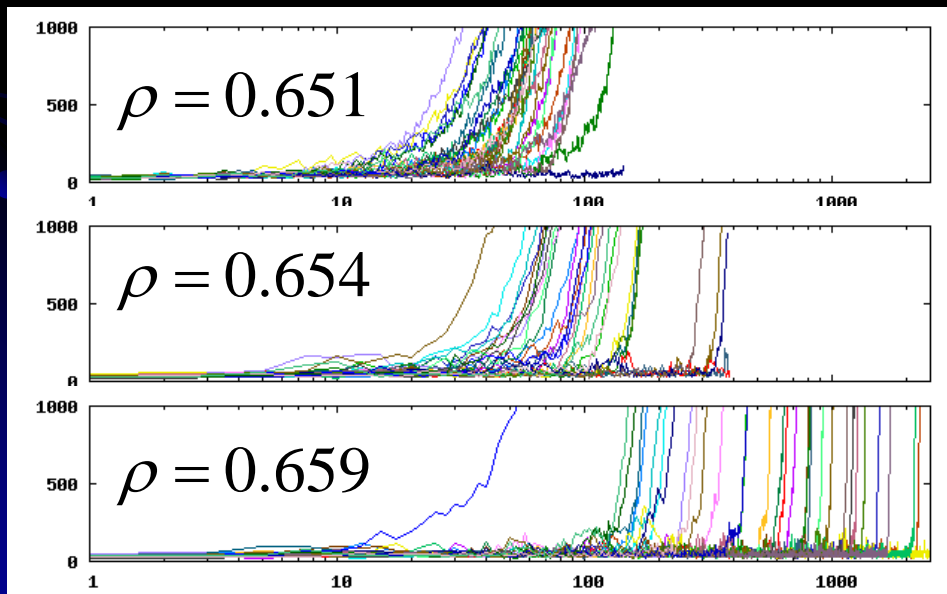
気泡間相互作用

単一気泡形成



時間

最大気泡サイズの時間発展



気泡生成にかかる時間の密度(圧力)依存性などを定量的に議論できる段階に達した

# まとめ

## 噴煙挙動とマグマ上昇の結合モデル

マグマ溜りから火口までの解析モデルによって得られる噴出速度と、噴出速度を与えた時の噴煙挙動の3次元シミュレーションを結びつけることで、噴煙柱・火砕流のレジームマップを作成できた(達成度95%)。

固気混相流モデルの開発も進めた(固気混相モデルについては、達成度70%)。

## 噴火様式を支配する物理素過程の理解

衝撃波を伴う高速噴流の乱流混合を支配する渦の可視化、および、MDによる気泡生成過程の再現を行った。

今後、噴火様式の推移予測に向けて、気液2相流の流動様式の遷移(例えば「マグマ破砕」)を含む計算が必要。