

東京大学地震研究所共同利用研究集会「火山現象の数値計算研究」、2009.11.16

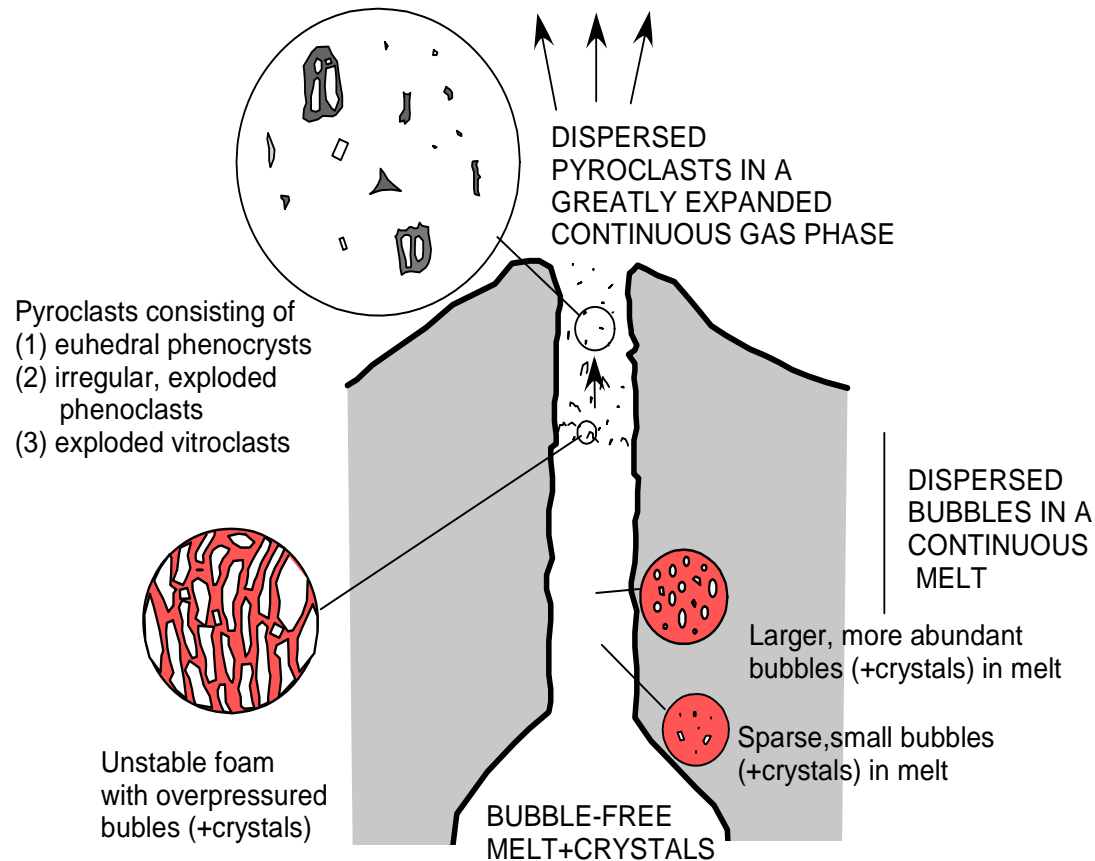
## 火道内の気液二相流のダイレクトシミュレーション

東北大学

学際科学国際高等研究センター・自然宇宙領域  
(兼) 流体科学研究所・学際衝撃波研究分野

孫 明宇 准教授

# 研究背景： 火山噴火は複雑な気液二相流である



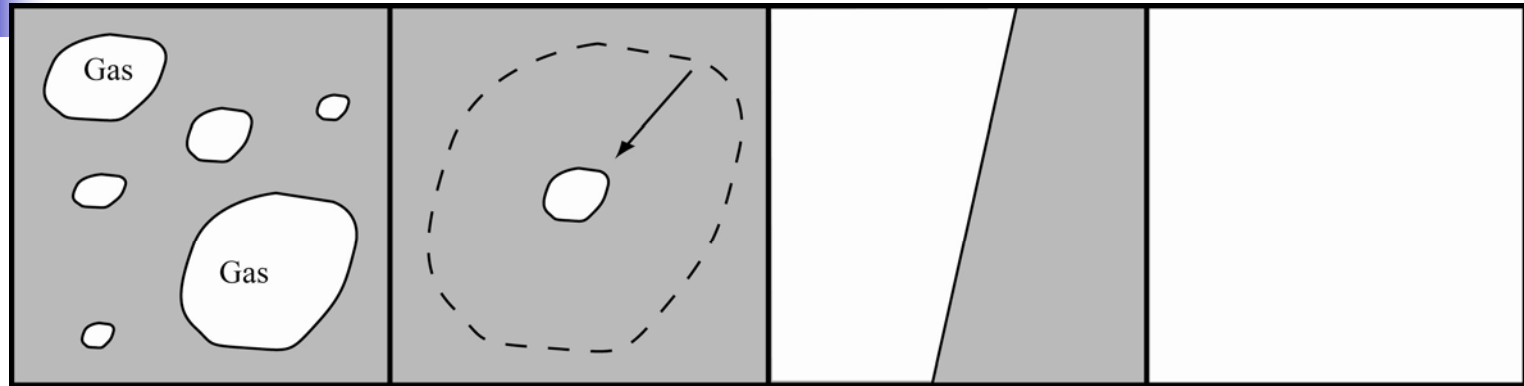
**Schematic cross section through the volcanic conduit of an exploding magma system:**

**A multiscale gas-liquid two phase flow**

**(広範囲) 多重スケールを持つ気泡** Best and Christiansen, 2001

# 研究背景:

多重スケールを扱える気液二相流モデル & 解析技術が必要



Unresolvable  
Interfaces

Resolvable  
Interface

Interface  
at grid line

No Interface  
(Single Phase)

Unresolved Methods

Resolved Methods

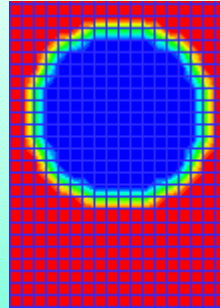
**One-Fluid Models**  
**Two-Fluid Models**

**Single Phase**  
**Lagrangian**  
CIP  
VOF  
Level Set

Large Bubble Simulation (LBS)

Modeled ←----- LBS -----> Resolved

# LBS法: Overview



**Two-phase flows with any length scales**  
*Example: bubble collapse by shock loading*

## External Interactions

*Interactions between control volumes*  
 $d > \Delta x$

+

## Internal Interactions

*Interactions within a control volume*  
 $d < \Delta x$

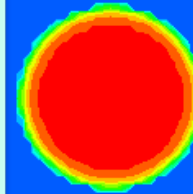
1. A two-fluid model that *accounts for external interactions only*
2. Master-Slave flow solver for solving the problem of small time step while preserving *conservation and positivity*.
3. Tracking technique for *subgrid* and *resolvable bubbles*

## 4. Subgrid Modeling

# LBS法: Overview

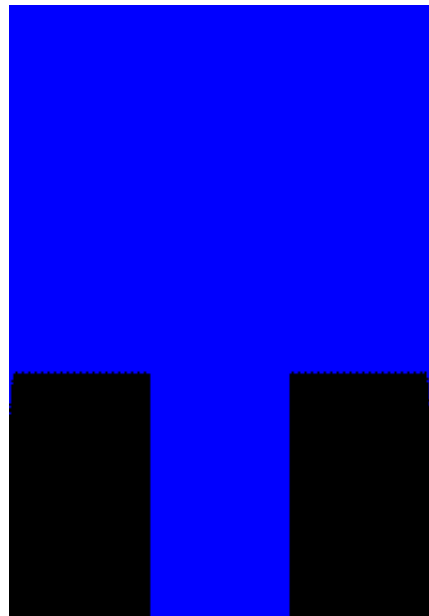
## Requirements / Properties

- ✓ **All length scales, (any sized particles)**
- ✓ **Exactly conservative**
- ✓ **Accuracy: one-grid representaiton**
- ✓ **Accuracy: using Riemann solver at interface**
- ✓ **Accuracy: oscillation-free near interface**
- ✓ **Generality: any EOS**
- ✓ **Generality: any grid**
- ✓ **Robustness: positivity**

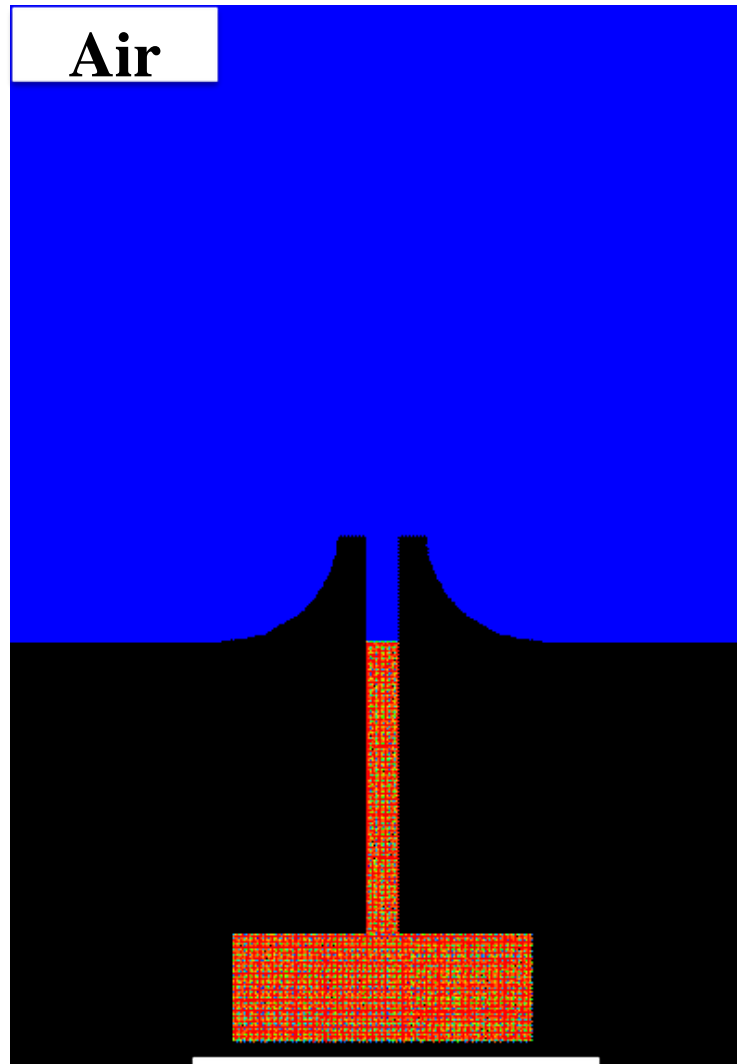


Aero-breakup of a water column by shock wave loading  $M=1.47$ ,  $t=1\text{ms}$

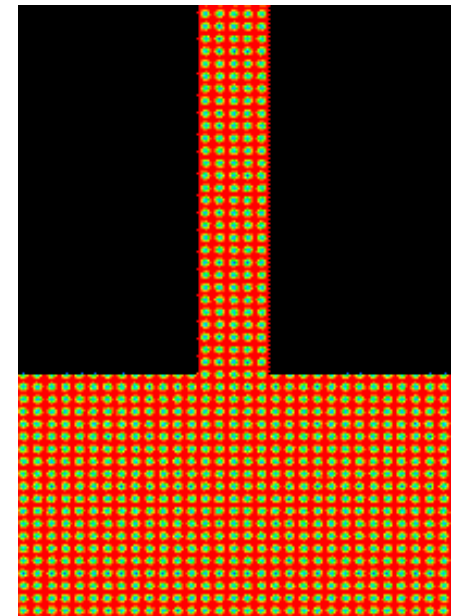
# 計算： 火山噴火のダイレクトシミュレーション



near the exit

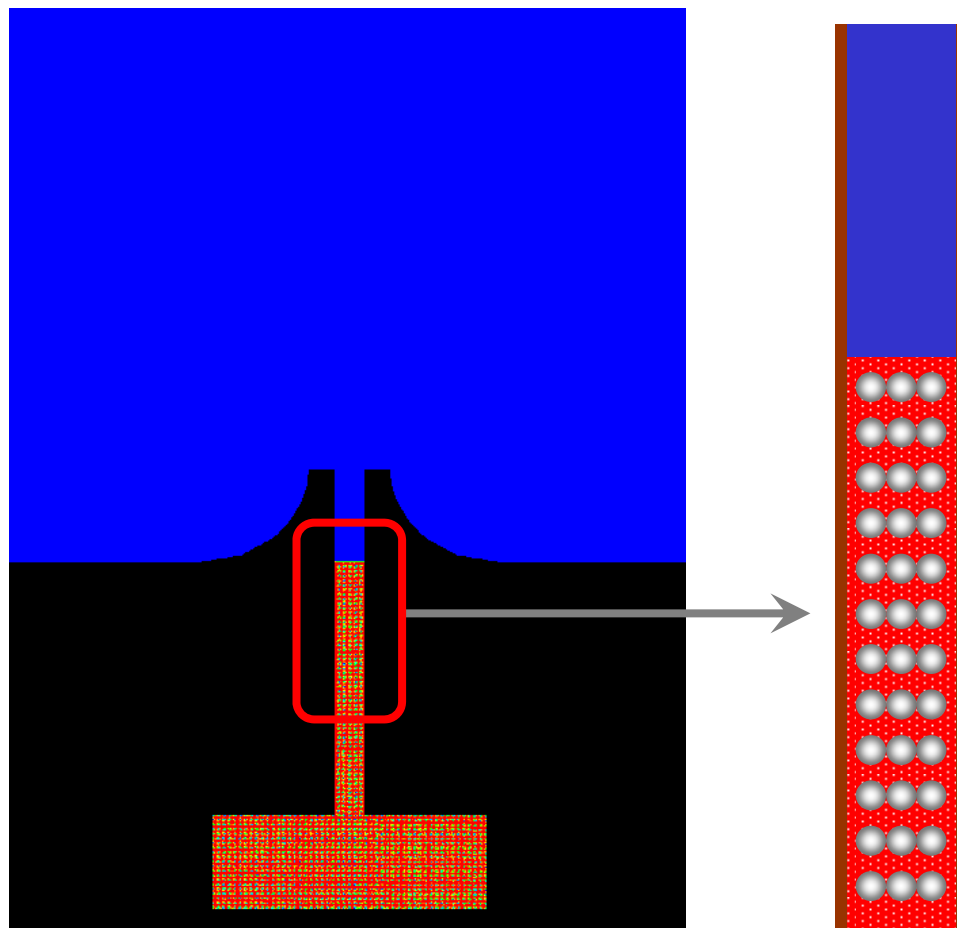


Magma Reservoir

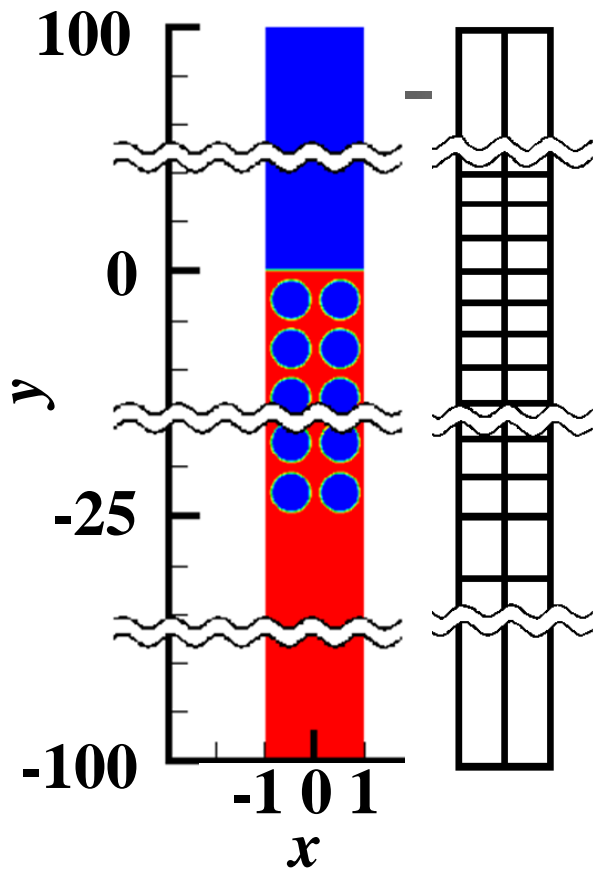


magma reservoir

# 本報： チャンネル内高圧液中気泡の破碎現象

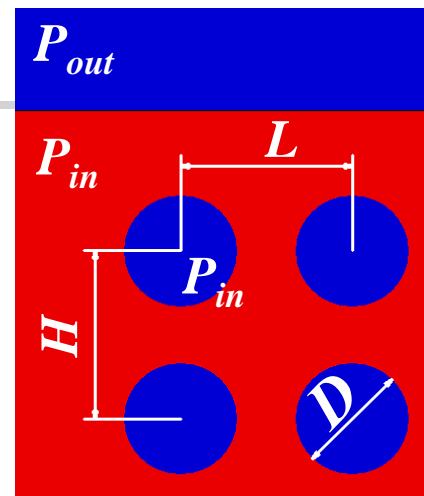


# 計算条件



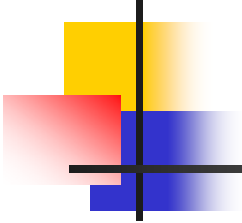
(a) Overall view

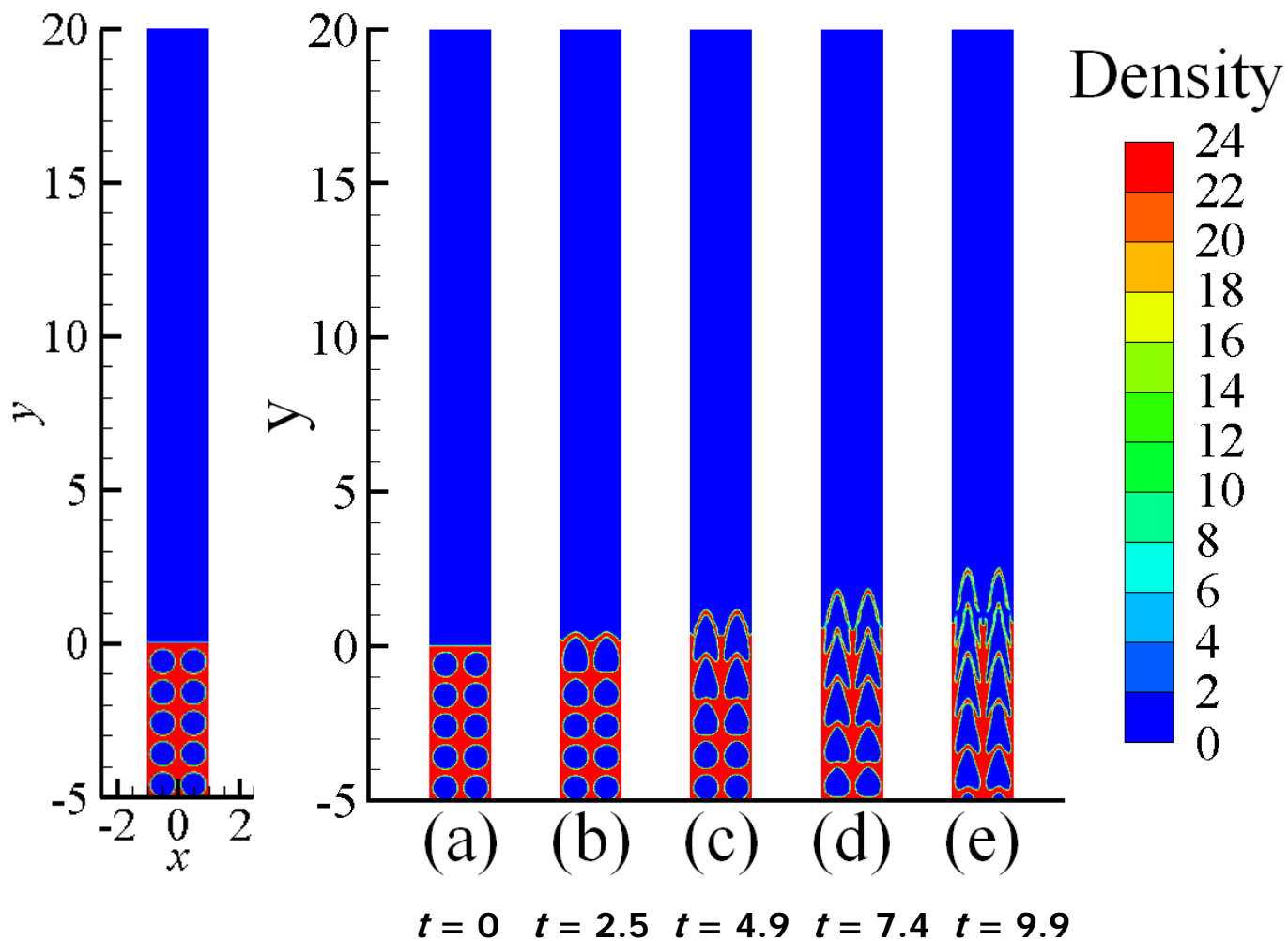
初期格子数  $2 \times 56$   
 解適合レベル1~6,  
 最大格子解像度  $128 \times 3584$

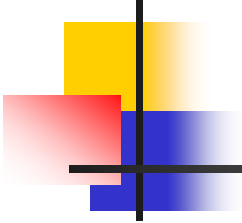


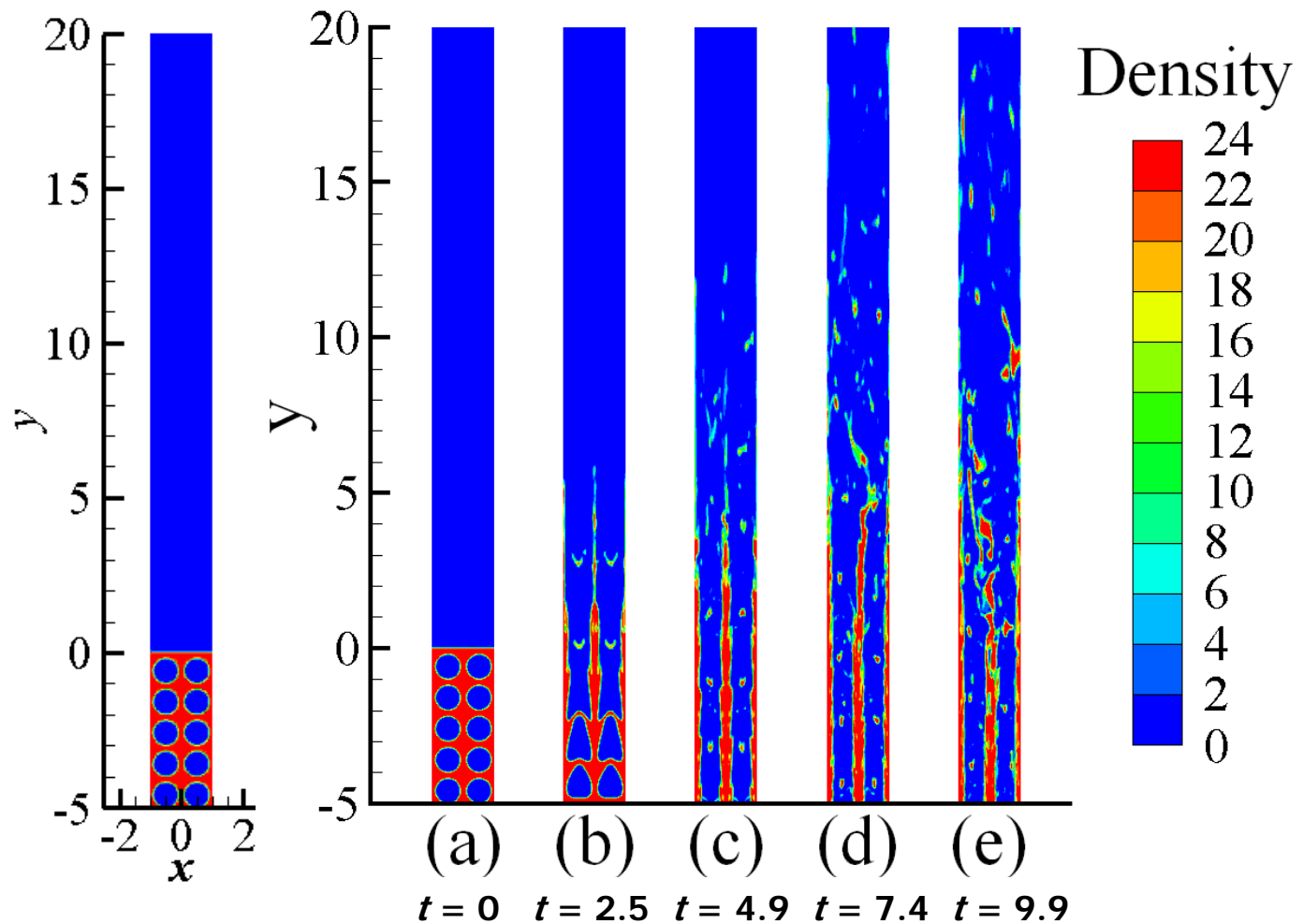
変数名	
$L$	横方向気泡中心間距離
$H$	縦方向気泡中心間距離
$D$	気泡直径
$P_{in}$	マグマおよび気泡圧力
$P_{out}$	大気圧力
$T_{in}$	気泡温度
$T_{out}$	大気温度



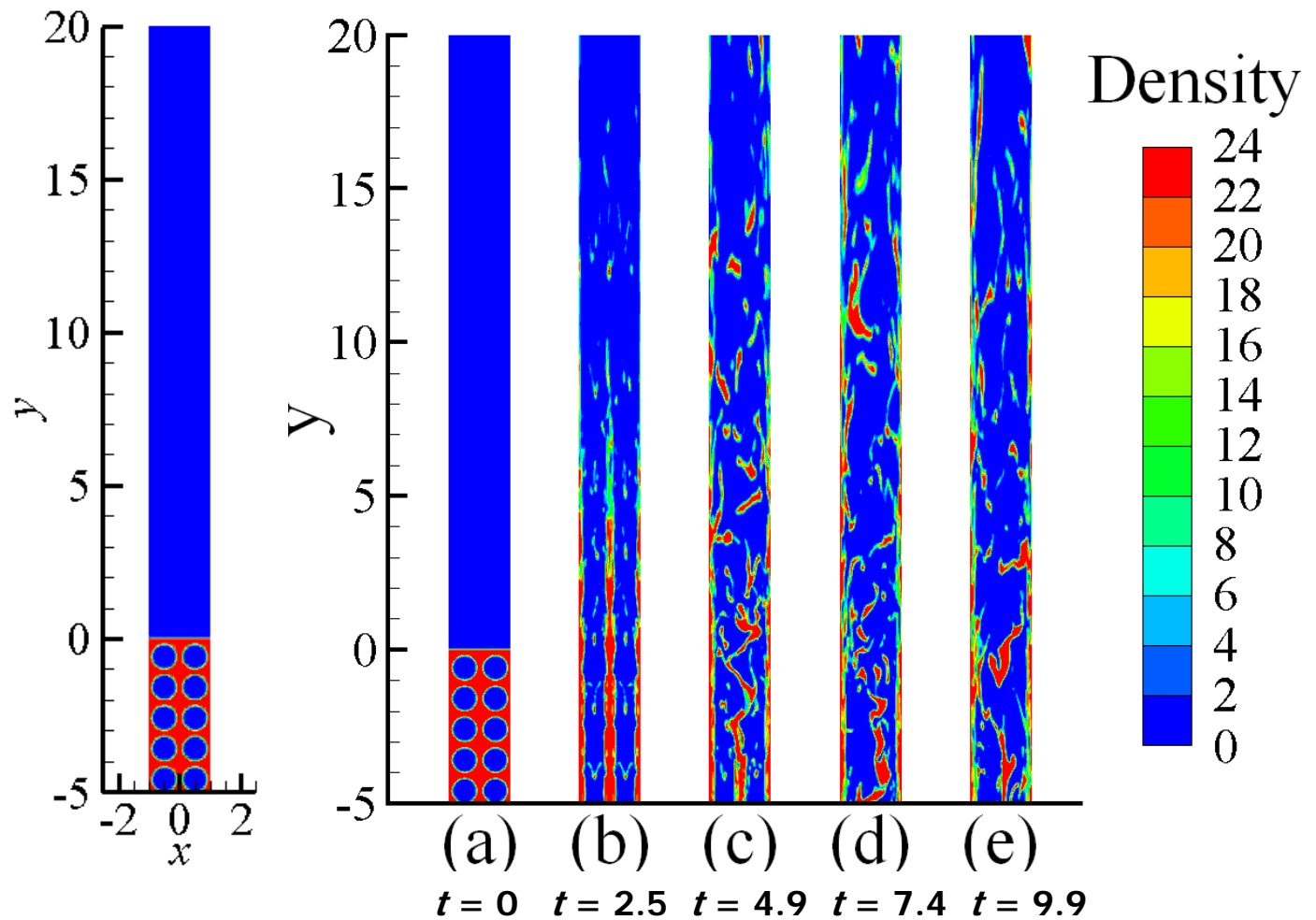

$$H/D = L/D = 1.25, P_{i0} = 2$$



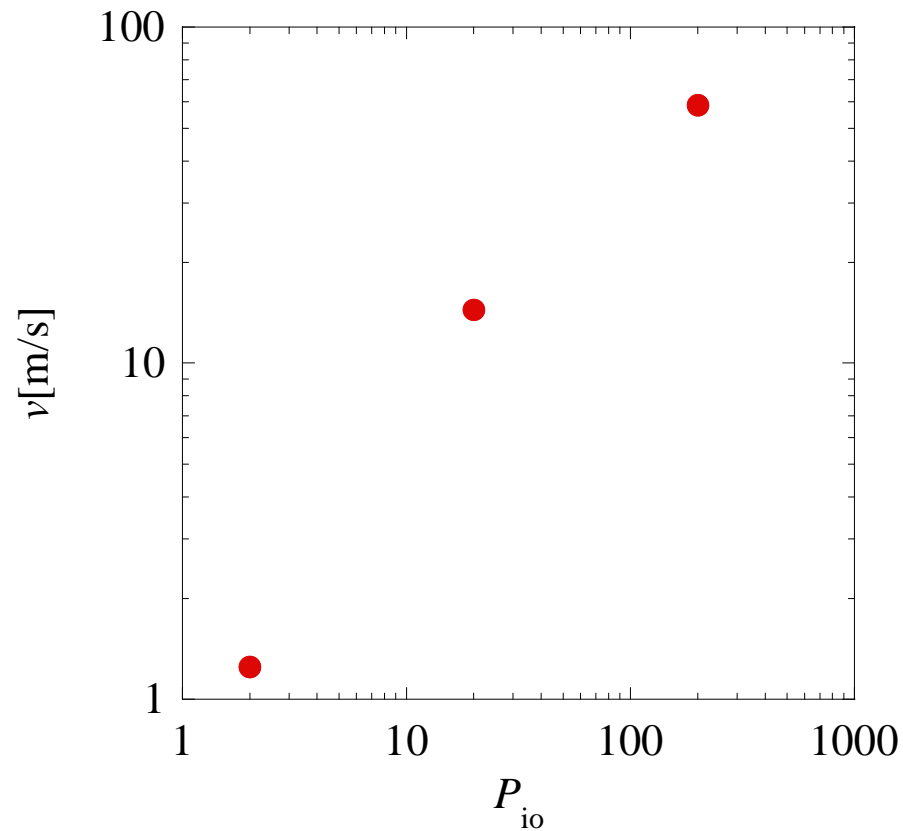
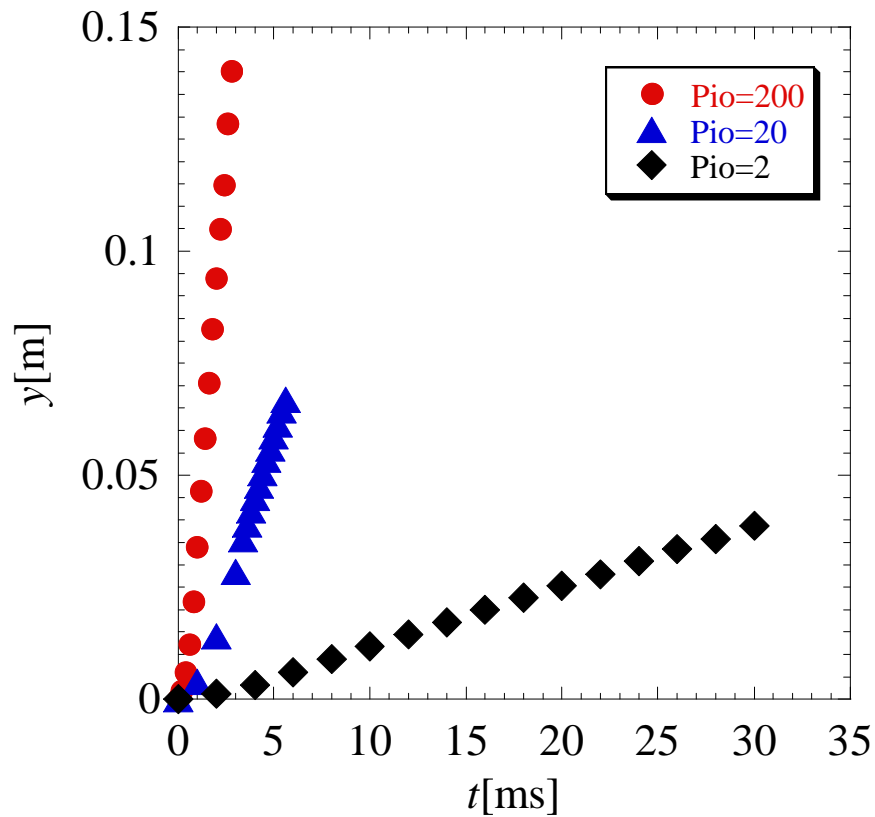

$$H/D = L/D = 1.25, P_{i0} = 20$$



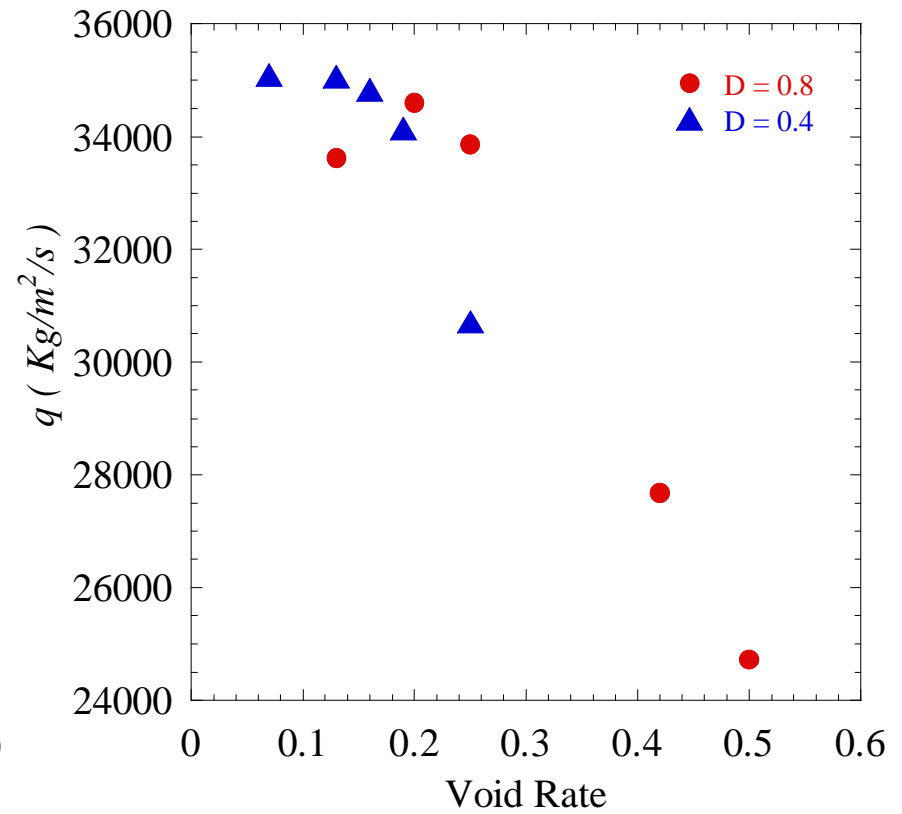
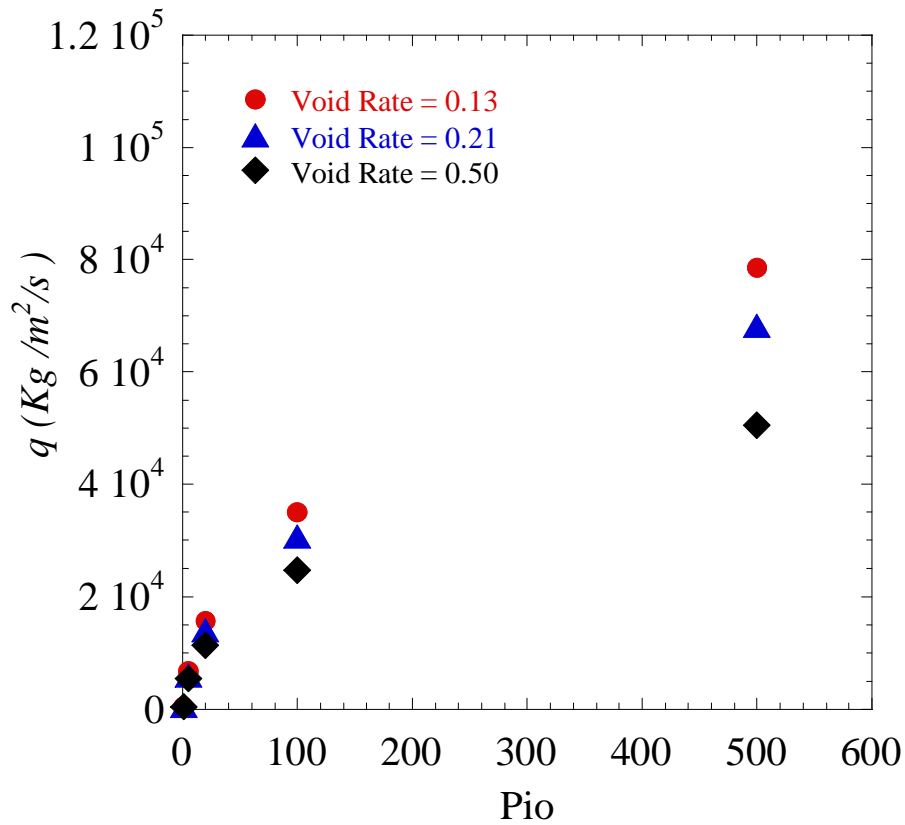

$$H/D = L/D = 1.25, P_{i0} = 200$$



# 界面(破片)先端の軌跡及び速度



# 液体噴出率と圧力比及びボイド率の関係





## まとめ

---

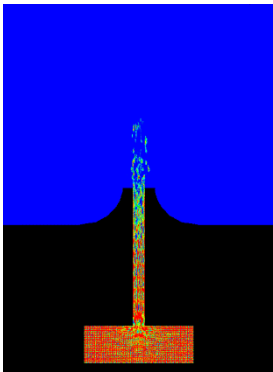
1. LBS法を用いて計算し、気液二相流上昇中の複雑な流動形態(気泡流、破碎流、噴霧流)のダイレクトシミュレーションができた。
2. 重力及び粘性を無視する場合、
  - 噴出流量が初期圧力増加に伴い増加することを確認した。
  - 噴出流量がボイド率増加に伴い減少する傾向を確認した。



## 進行中の研究

---

1. 圧縮・非圧縮（多重時間スケール） 統一ソルバーの導入
2. 粘性項の導入
3. 表面張力の導入
4. （キャビテーション） 相変化モデルの導入



（火山生涯シミュレーターの構築へ）