

# 火山噴煙の流れ

～数値計算による噴火の理解～

鈴木雄治郎

海洋研究開発機構 地球内部変動研究センター

# 研究の目的

爆発的な火山噴火で見られる噴煙の挙動の理解

- ・どうやって、どれくらい上昇するの？
- ・どうやって、どれくらい拡大するの？



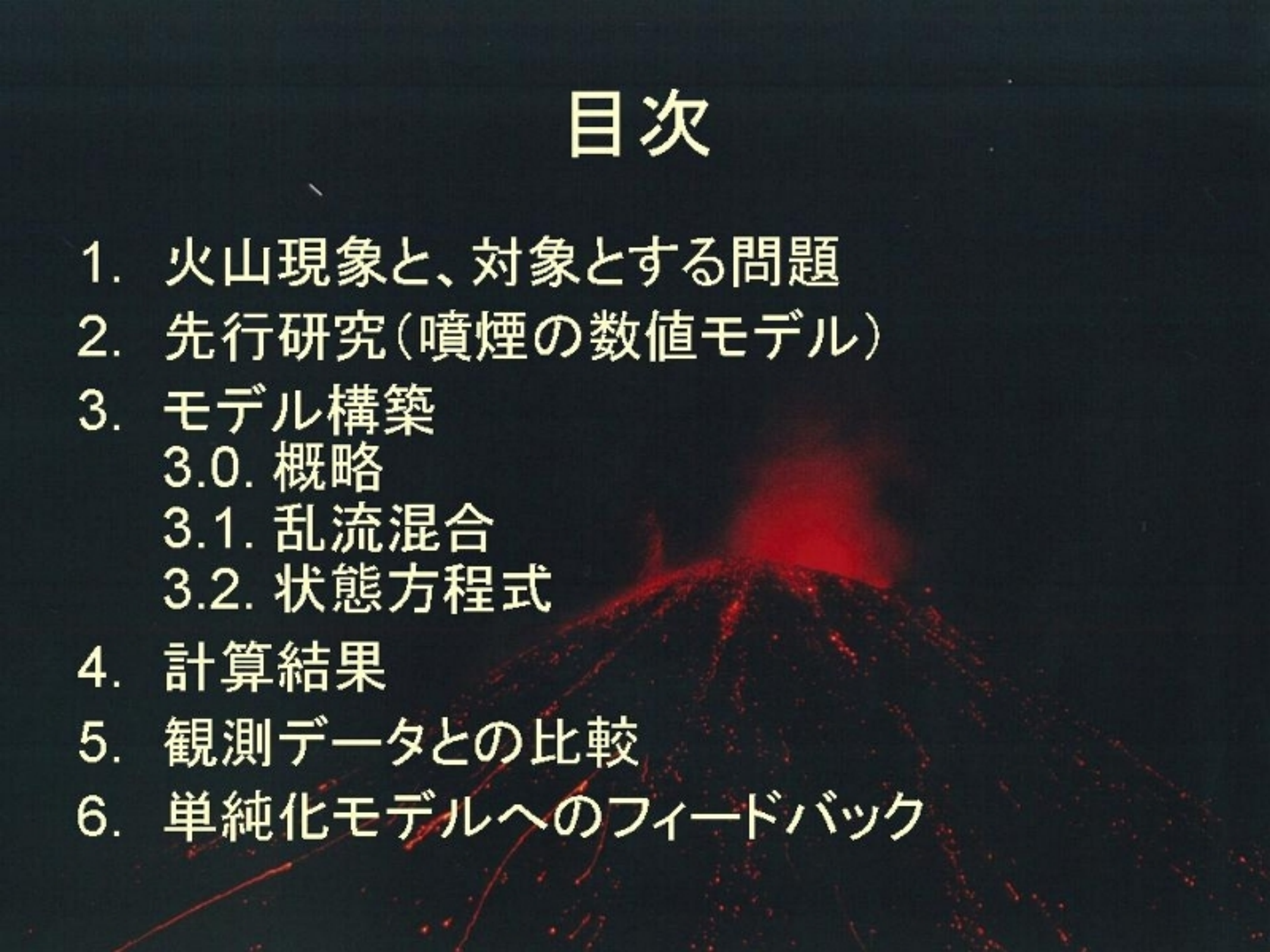
# 研究の目的

爆発的な火山噴火で見られる噴煙の挙動の理解

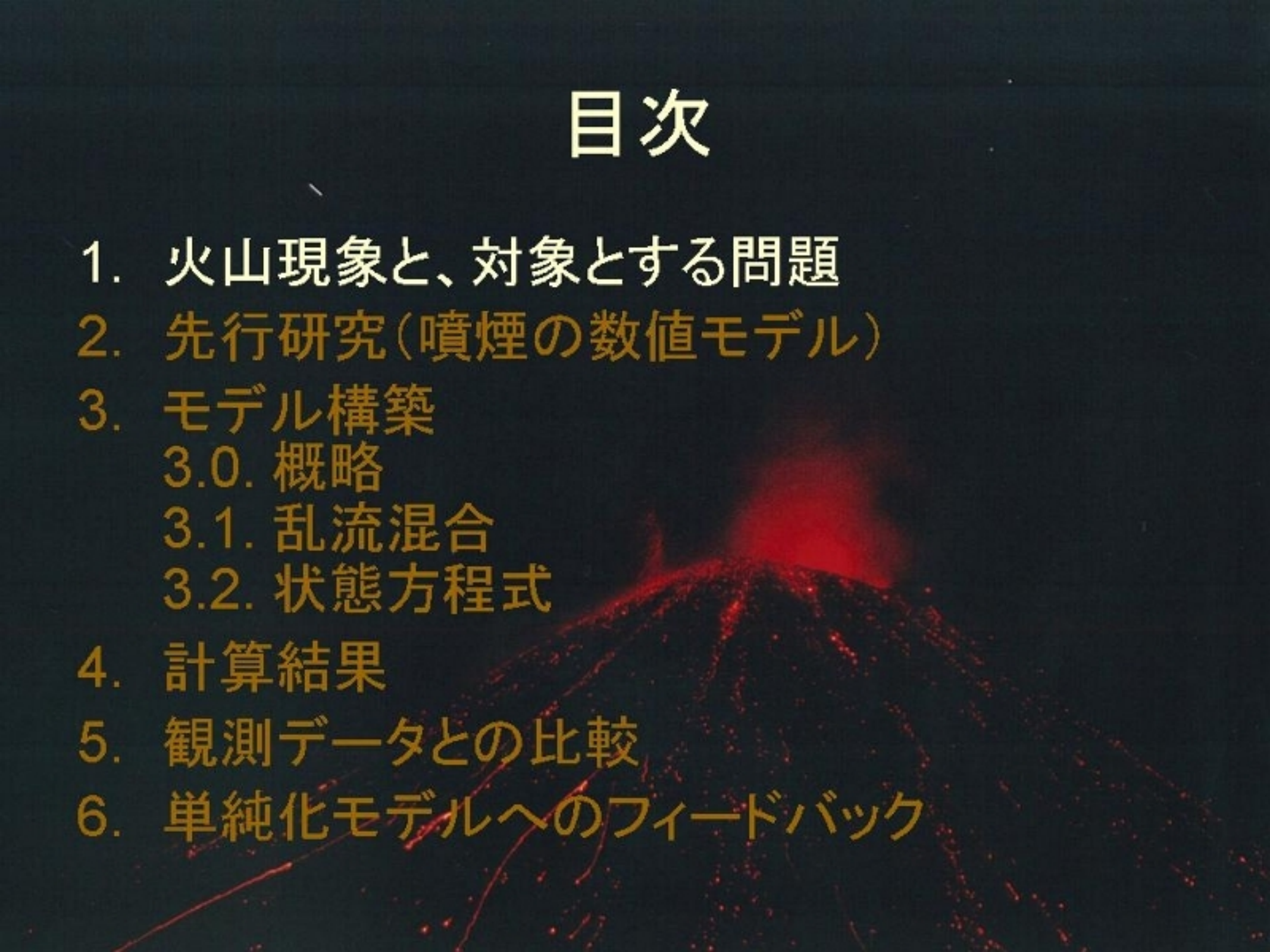
- ・どうやって、どれくらい上昇するの？
- ・どうやって、どれくらい拡大するの？



# 目次

1. 火山現象と、対象とする問題
  2. 先行研究(噴煙の数値モデル)
  3. モデル構築
    - 3.0. 概略
    - 3.1. 乱流混合
    - 3.2. 状態方程式
  4. 計算結果
  5. 観測データとの比較
  6. 単純化モデルへのフィードバック
- 

# 目次

1. 火山現象と、対象とする問題
  2. 先行研究(噴煙の数値モデル)
  3. モデル構築
    - 3.0. 概略
    - 3.1. 乱流混合
    - 3.2. 状態方程式
  4. 計算結果
  5. 観測データとの比較
  6. 単純化モデルへのフィードバック
- 

# いろいろな火山噴火

溶岩の粘性大



【©日本火山学会】



溶岩の粘性小



【©USGS】



【©Volcanic World (<http://volcano.und.nodak.edu>)】

非爆発的

爆発的

# いろいろな火山噴火

溶岩の粘性大



[©日本火山学会]



溶岩の粘性小



[©USGS]



[©Volcanic World (<http://volcano.und.nodak.edu>)]

非爆発的

爆発的

# いろいろな火山噴火

溶岩の粘性大



[©日本火山学会]



溶岩の粘性小



[©USGS]



[©Volcanic World (<http://volcano.und.nodak.edu>)]

非爆発的

爆発的



# 対象とする爆発的噴火現象：噴煙



噴煙柱



火砕流

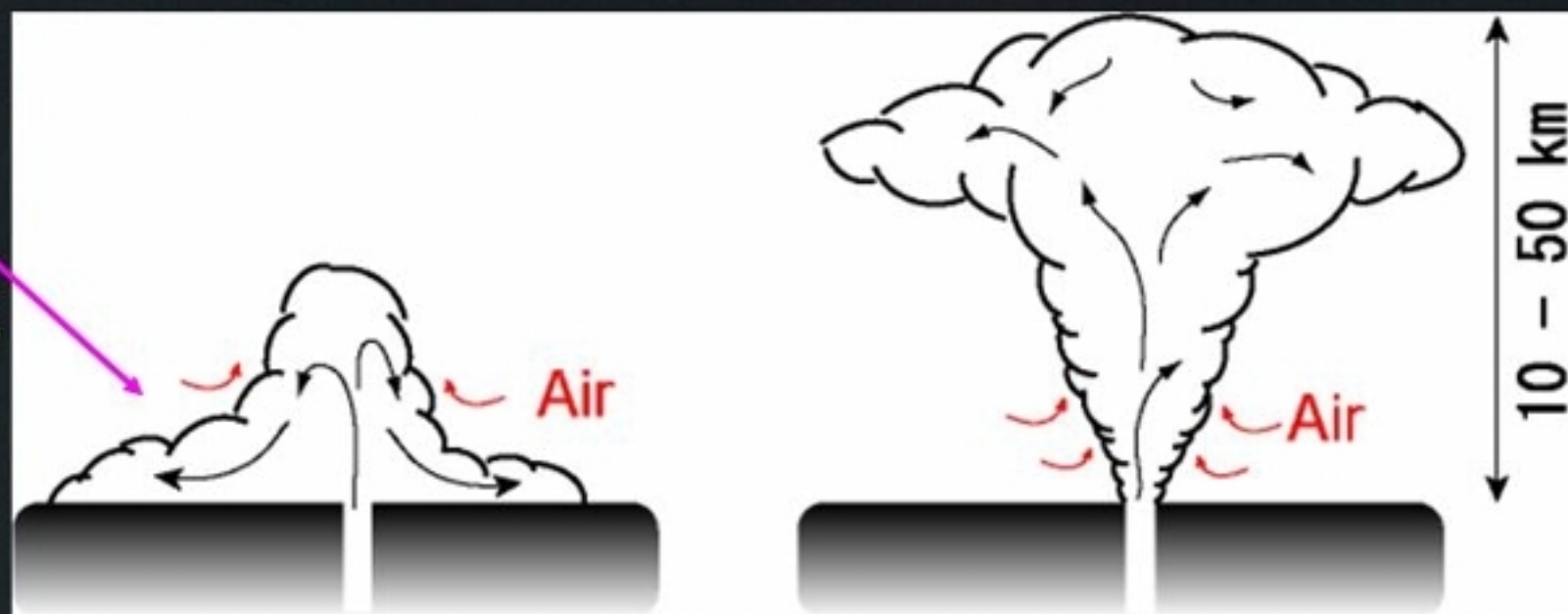
# 噴煙ダイナミクスの定性的理解

流れのパターン・噴煙の規模 ← 乱流混合効率・密度変化

火砕流（噴煙柱崩壊）

噴煙柱

噴煙：  
噴出物  
+  
取り込んだ大気



噴出物：火山ガス（主に水蒸気）+ 火砕物（火山灰、軽石）

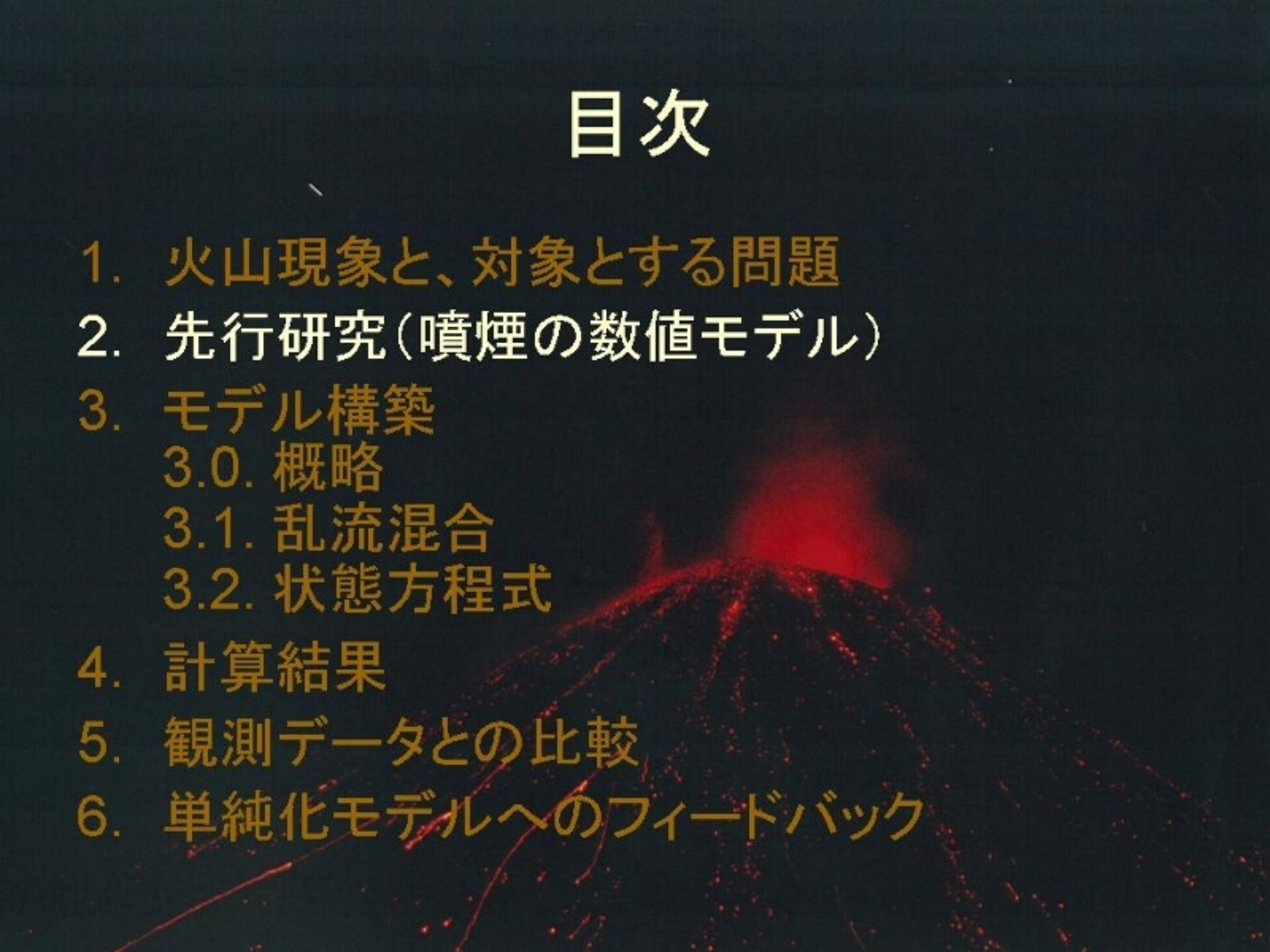
# 問題となるのは...

- a. 噴煙柱の高度
- b. 傘型噴煙の拡大速度
- c. 火砕流の発生条件

⇔噴出条件・大気条件との関係として

キーワード: 乱流混合・密度変化

# 目次

1. 火山現象と、対象とする問題
  2. 先行研究(噴煙の数値モデル)
  3. モデル構築
    - 3.0. 概略
    - 3.1. 乱流混合
    - 3.2. 状態方程式
  4. 計算結果
  5. 観測データとの比較
  6. 単純化モデルへのフィードバック
- 

# 噴煙の定常1次元モデル

◇噴煙を大気圧とバランスした定常的な乱流プルームとしてとらえ、保存則を使って、各高さの平均速度、密度、温度を求める

[e.g. Woods(1988)]

$$\frac{d}{dz}(\rho U \pi L^2) = 2\pi L U_e \rho_{air}$$

$$\frac{d}{dz}(\rho U^2 \pi L^2) = -(\rho - \rho_{air})g\pi L^2$$

$$\frac{d}{dz} \left( \rho U \pi L^2 \left( C_p T + gh + \frac{U^2}{2} \right) \right) = C_{p,air} T_{air} 2\pi L U_e \rho_{air}$$

$\rho$ :密度

$U$ :速度

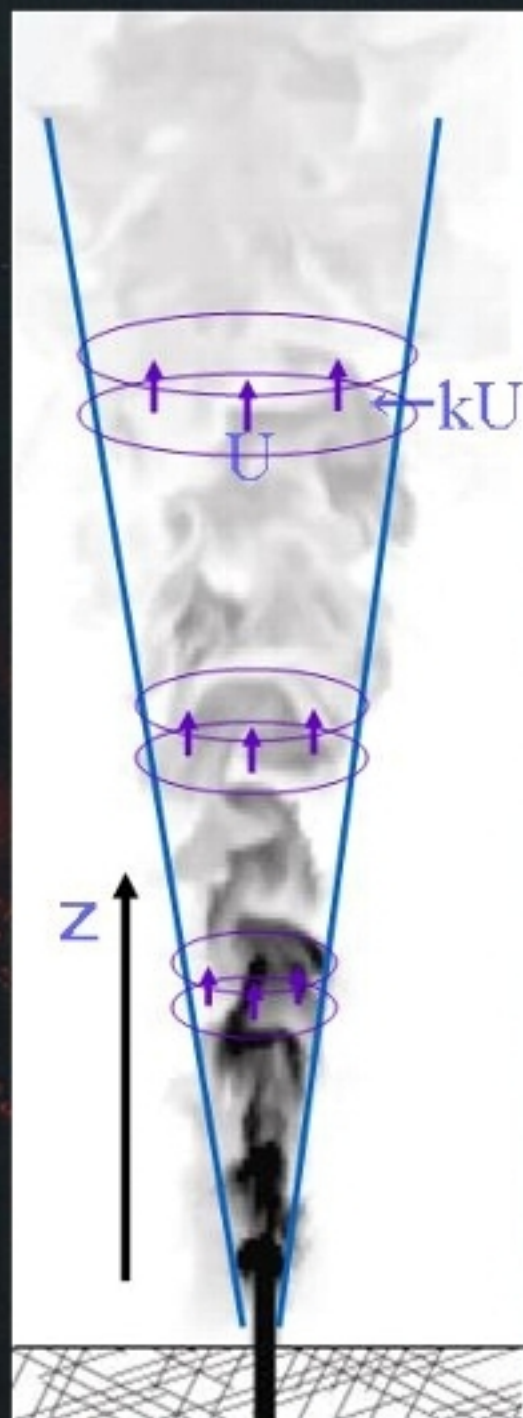
$L$ :半径

$U_e$ :大気の入込み速度

$g$ :重力加速度

$T$ :温度

$C$ :定圧比熱



取り込まれる流体

# 噴煙の定常1次元モデル

◇噴煙を大気圧とバランスした定常的な乱流プルームとしてとらえ、保存則を使って、各高さの平均速度、密度、温度を求める

[e.g. Woods(1988)]

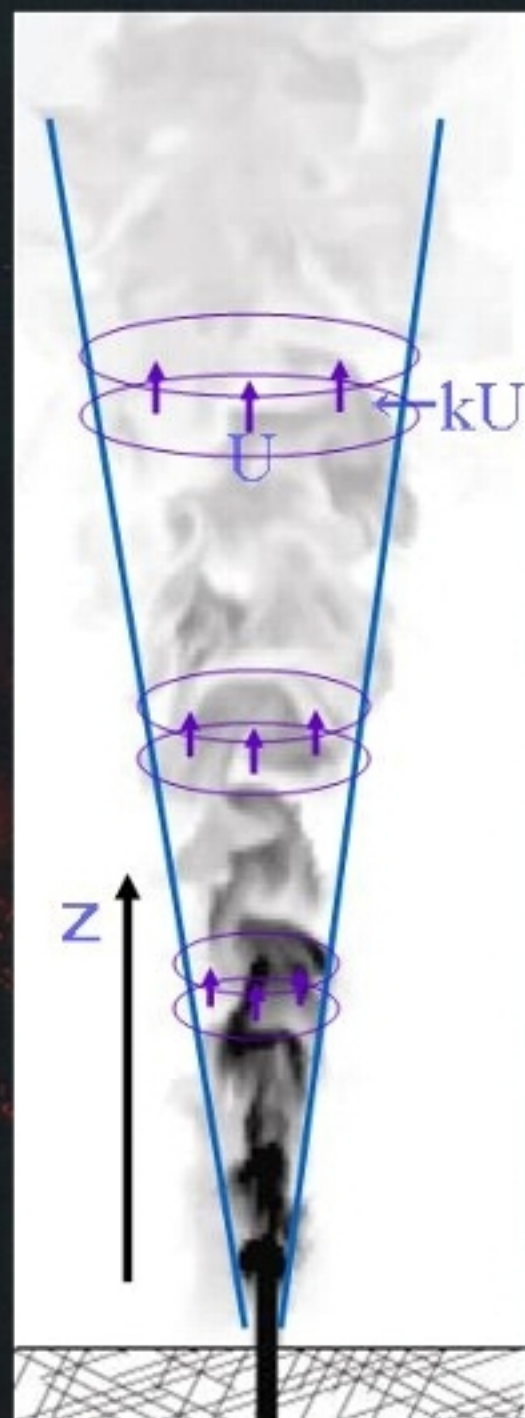
1) 密度変化: 気体と火山灰は一緒に運動

$$\frac{1}{\rho} = \frac{n_s}{\rho_s} + \frac{(n_g R_g + n_{air} R_{air}) T}{P} \quad (\text{説明は後ほど...})$$

2) 乱流混合: “エントレインメント仮説”に従う

- ・噴煙内の物理量は水平方向に均質
- ・上昇速度Uに比例して周囲の流体を取り込む

⇒定常噴煙の火砕流発生条件・噴煙高度



取り込まれる流体

# 定常噴流の混合効率

高 $Re$  + 定常 + 均質

□ 自己相似性

半径方向の拡大  $\propto$  出口からの距離



← 水槽実験

ロケットエンジン実験 →



[Dimotakis et al., 1983]

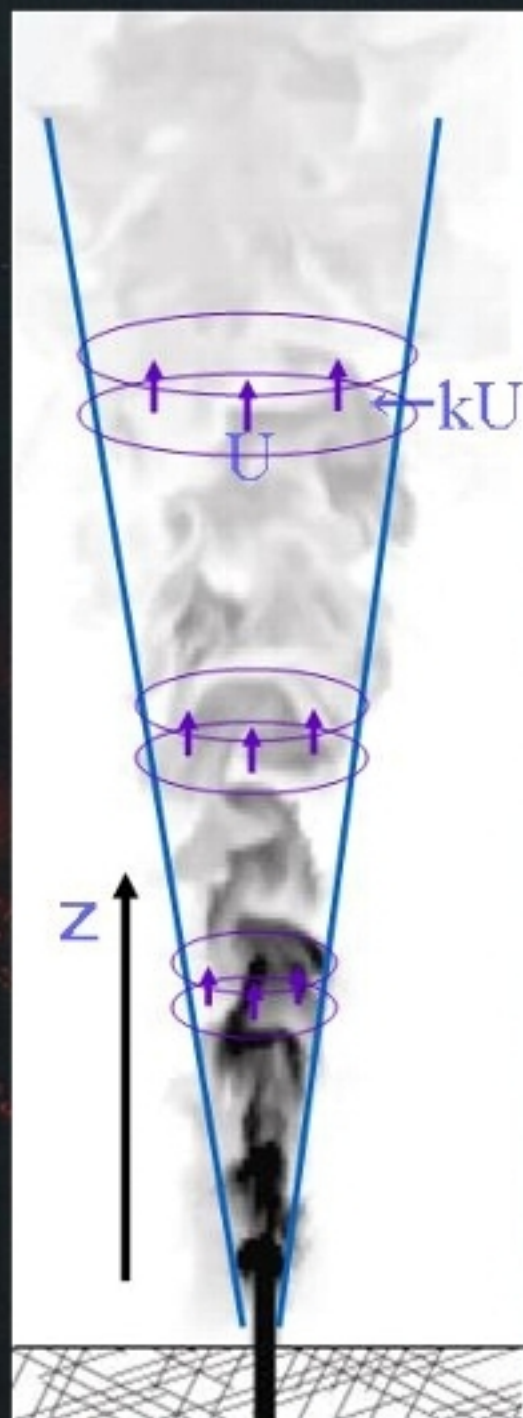


エントレインメント仮説

取り込み速度  $U_e = k \times U$

実験より  $k \sim 0.1$

$$\frac{d}{dz} (\rho U \pi L^2) = 2 \pi L U_e \rho_{air}$$



取り込まれる流体

# これまでの多次元モデル

Dobran and Neri [1993, 1994]

Neri et al. [1994, 2002, 2007] など

- ・非定常

- ・密度変化

気相と火山灰は別々に運動

熱拡散によって熱交換

- ・乱流混合

多くのモデルが軸対称2次元の座標系:

乱流混合の3次元性が再現できない

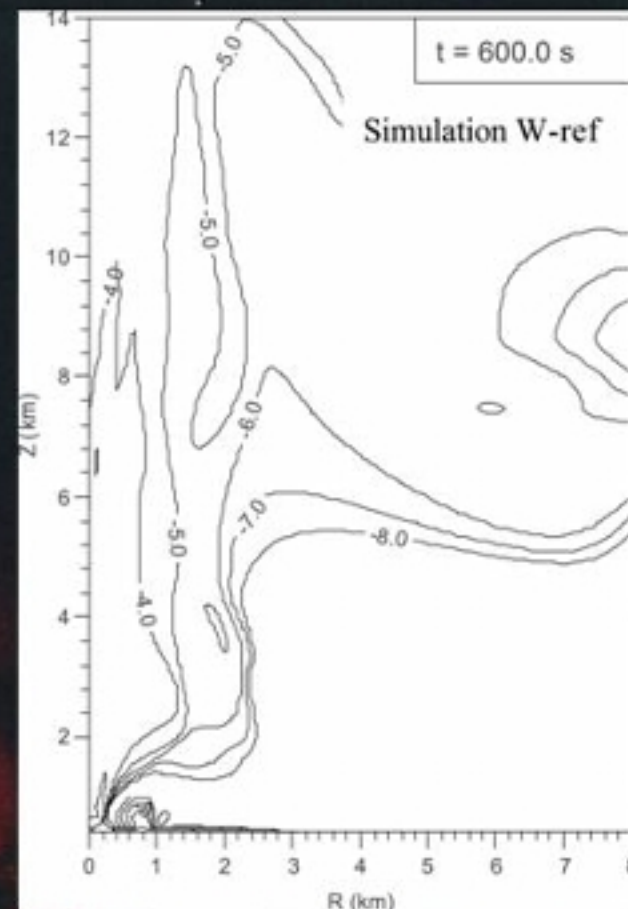
⇒そこで、

密度変化・乱流混合を正確に再現できる

非定常・多次元性に注目した数値モデルを作成

噴煙の流れのパターンや中間状態が

どのように変化するかを系統的に調べる

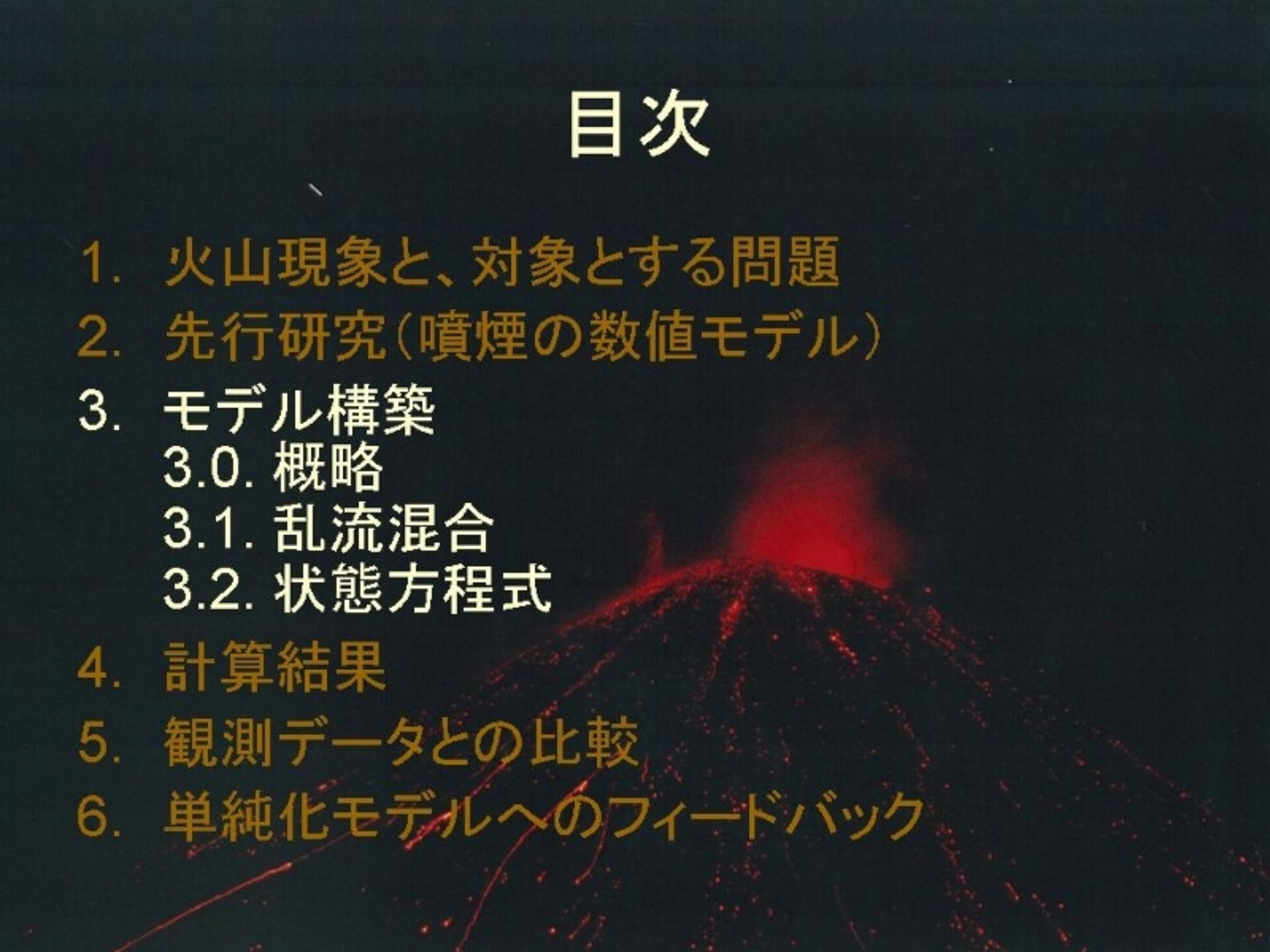


[Neri et al., 2002]





# 目次

1. 火山現象と、対象とする問題
  2. 先行研究(噴煙の数値モデル)
  3. モデル構築
    - 3.0. 概略
    - 3.1. 乱流混合
    - 3.2. 状態方程式
  4. 計算結果
  5. 観測データとの比較
  6. 単純化モデルへのフィードバック
- 

## 参考文献

- Dobran, F., Neri, A., Macedonio, G., 1993: Numerical simulation of collapsing volcanic columns. *J. Geophys. Res.*, **98**, B3, 4231-4259.
- Dobran, F., Neri, A., Todesco, M., 1994: Assessing the pyroclastic flow hazard at Vesuvius. *Nature*, **367**, 6463, 551-554.
- Neri, A., and Dobran, F., 1994: Influence of eruption parameters on the thermofluid dynamics of collapsing volcanic columns, *J. Geophys. Res.*, **99** (B6), 11,833-11,857, doi:10.1029/94JB00471.
- Neri, A., Muro, A. D., and Rosi, M., 2002: Mass partition during collapsing and transitional columns by using numerical simulations, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **115** (1), 1-18, doi:10.1016/S0377-0273(01)00304-3.
- Neri, A., Esposti Ongaro, T., Menconi, G., De' Michieli Vitturi, M., Cavazzoni, C., Erbacci, G., and Baxter, P. J., 2007: 4D simulation of explosive eruption dynamics at Vesuvius, *Geophys. Res. Lett.*, **34** (4), L04309, doi:10.1029/2006GL028597.
- Woods, A. W., 1988: The fluid dynamics and thermodynamics of eruption columns, *Bull. Volcanol.*, **50** (3), 169-193, doi:10.1007/BF01079681.