

状態方程式＋エネルギー式

状態方程式

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\phi_s}{\rho_s} + \frac{(\phi_g R_g + \phi_a R_a) T_3}{P}$$

固体の体積＋気体の体積
(気体定数は火山ガスと空気を
平均したもの)

$$\phi_s : \phi_g : \phi_a = 0.95 : 0.05 : 0.0$$

$$\rho_s = 2500 \text{ [kg/s]}$$

$$T_3 = 10^3 \text{ [K]}$$

$$R_g = 460 \text{ [J/K kg]}$$

$$P = 10^5 \text{ [Pa]}$$

$$\text{右辺第一項} = 4 \times 10^{-4} \text{ [1/kg]}$$

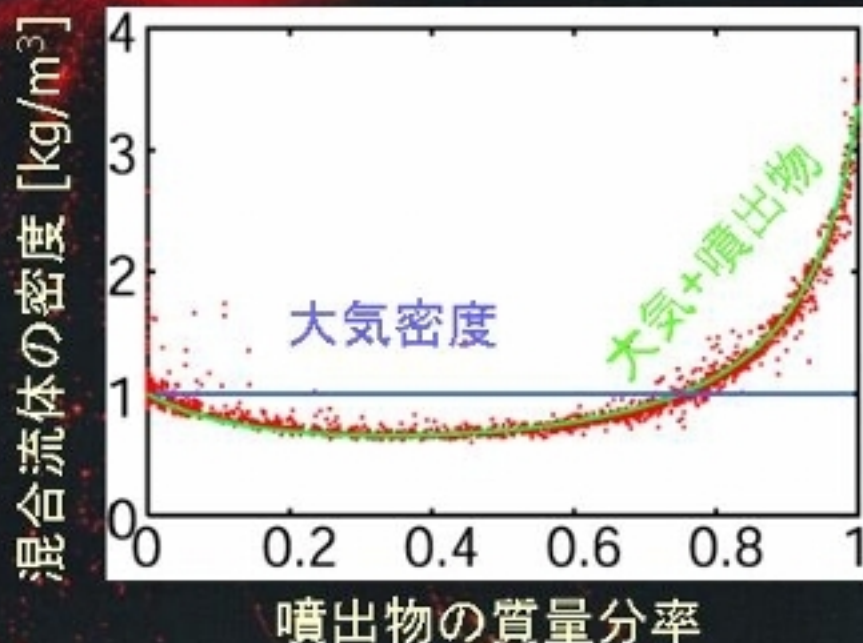
$$\text{右辺第二項} = 2 \times 10^{-2} \text{ [1/kg]}$$

エネルギー式

$$T_3 = \frac{(\phi_s C_{p,s} + \phi_g C_{p,g}) T_1 + \phi_a C_{p,a} T_2}{(\phi_s C_{p,s} + \phi_g C_{p,g}) + \phi_a C_{p,a}}$$

混合前のtotalの内部エネルギー
平均した比熱

平均比熱：火山灰＋火山ガス＋空気



状態方程式 + エネルギー式

状態方程式

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\cancel{\phi_s}}{\cancel{\rho_s}} + \frac{(\phi_g R_g + \phi_a R_a) T_3}{P}$$

固体の体積 + 気体の体積
(気体定数は火山ガスと空気を
平均したもの)



$$p = \rho (\phi_g R_g + \phi_a R_a) T_3$$

平均気体定数: 火山ガス + 空気

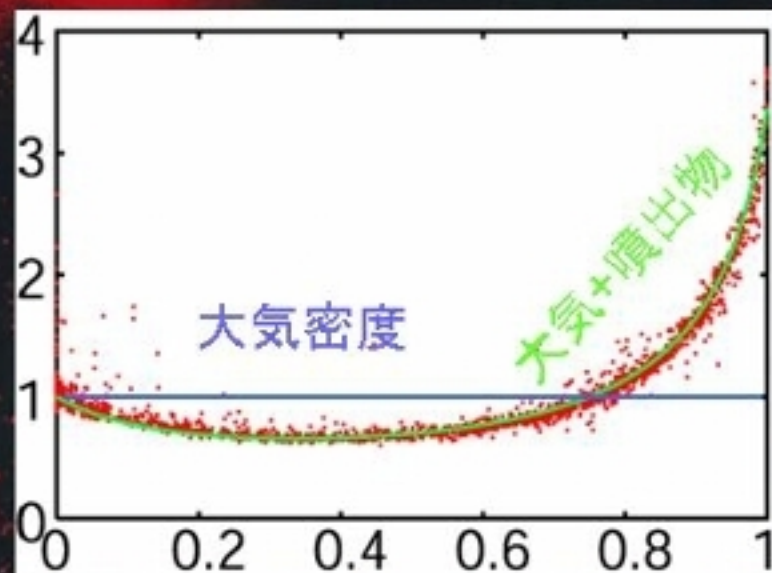
エネルギー式

$$T_3 = \frac{(\phi_s C_{p,s} + \phi_g C_{p,g}) T_1 + \phi_a C_{p,a} T_2}{(\phi_s C_{p,s} + \phi_g C_{p,g}) + \phi_a C_{p,a}}$$

混合前のtotalの内部エネルギー
平均した比熱

平均比熱: 火山灰 + 火山ガス + 空気

混合流体の密度 [kg/m³]



噴出物の質量分率

近似状態方程式のメリット(1)

噴出流体＝周囲流体(理想気体)

状態方程式

$$P = \rho R T_3$$

エネルギー式

$$T_3 = \frac{\phi_1 C_p T_1 + \phi_2 C_p T_2}{\phi_1 C_p + \phi_2 C_p} = \phi_1 T_1 + \phi_2 T_2$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \begin{bmatrix} \rho \\ \rho \mathbf{u} \\ \rho e \end{bmatrix} + \nabla \cdot \begin{bmatrix} \rho \mathbf{u} \\ \rho \mathbf{u} \mathbf{u} + p \mathbf{I} \\ (\rho e + p) \mathbf{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\rho \mathbf{g} \\ -\rho \mathbf{g} \cdot \mathbf{u} \end{bmatrix}$$
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} = S$$
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial Q} \frac{\partial Q}{\partial x} = S$$

$$Q^{t+\Delta t} = Q^t - \frac{\partial F}{\partial Q} \frac{\Delta Q}{\Delta x} \Delta t + S \Delta t$$

$$\frac{\partial F}{\partial x} = f(\rho, \rho \mathbf{u}, \rho e, p)$$

$$p = (\gamma - 1) \rho e$$

近似状態方程式のメリット(1)

噴出流体＝周囲流体(理想気体)

状態方程式

$$P = \rho RT_3$$

エネルギー式

$$T_3 = \frac{\phi_1 C_p T_1 + \phi_2 C_p T_2}{\phi_1 C_p + \phi_2 C_p} = \phi_1 T_1 + \phi_2 T_2$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \begin{bmatrix} \rho \\ \rho \mathbf{u} \\ \rho e \end{bmatrix} + \nabla \cdot \begin{bmatrix} \rho \mathbf{u} \\ \rho \mathbf{u} \mathbf{u} + p \mathbf{I} \\ (\rho e + p) \mathbf{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\rho \mathbf{g} \\ -\rho \mathbf{g} \cdot \mathbf{u} \end{bmatrix}$$
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} = S$$
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial Q} \frac{\partial Q}{\partial x} = S$$

$$Q^{t+\Delta t} = Q^t - \frac{\partial F}{\partial Q} \frac{\Delta Q}{\Delta x} \Delta t + S \Delta t$$

$$\frac{\partial F}{\partial x} = f(\rho, \rho u, \rho e, p)$$

$$p = (\gamma - 1) \rho e$$

近似状態方程式のメリット(2)

噴出流体＝噴煙

状態方程式

$$p = \rho(\phi_g R_g + \phi_a R_a) T_3$$

エネルギー式

$$T_3 = \frac{(\phi_s C_{p,s} + \phi_g C_{p,g}) T_1 + \phi_a C_{p,a} T_2}{(\phi_s C_{p,s} + \phi_g C_{p,g}) + \phi_a C_{p,a}}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \begin{bmatrix} \rho \\ \rho \mathbf{u} \\ \rho e \\ \rho \xi \end{bmatrix} + \nabla \cdot \begin{bmatrix} \rho \mathbf{u} \\ \rho \mathbf{u} \mathbf{u} + p \mathbf{I} \\ (\rho e + p) \mathbf{u} \\ \rho \xi \mathbf{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\rho \mathbf{g} \\ -\rho \mathbf{g} \cdot \mathbf{u} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\xi = \phi_s + \phi_g$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} = S$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial Q} \frac{\partial Q}{\partial x} = S$$

$$Q^{t+\Delta t} = Q^t - \frac{\partial F}{\partial Q} \frac{\Delta Q}{\Delta x} \Delta t + S \Delta t$$

$$\frac{\partial F}{\partial x} = f(\rho, \rho u, \rho e, \rho \xi, p)$$

$$p = (\gamma(\xi) - 1) \rho e$$

一般的な圧縮性流体スキームを使える

近似状態方程式のメリット(2)

噴出流体＝噴煙

状態方程式

$$p = \rho(\phi_g R_g + \phi_a R_a) T_3$$

エネルギー式

$$T_3 = \frac{(\phi_s C_{p,s} + \phi_g C_{p,g}) T_1 + \phi_a C_{p,a} T_2}{(\phi_s C_{p,s} + \phi_g C_{p,g}) + \phi_a C_{p,a}}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \begin{bmatrix} \rho \\ \rho \mathbf{u} \\ \rho e \\ \rho \xi \end{bmatrix} + \nabla \cdot \begin{bmatrix} \rho \mathbf{u} \\ \rho \mathbf{u} \mathbf{u} + p \mathbf{I} \\ (\rho e + p) \mathbf{u} \\ \rho \xi \mathbf{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\rho \mathbf{g} \\ -\rho \mathbf{g} \cdot \mathbf{u} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\xi = \phi_s + \phi_g$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} = S$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial Q} \frac{\partial Q}{\partial x} = S$$

$$Q^{t+\Delta t} = Q^t - \frac{\partial F}{\partial Q} \frac{\Delta Q}{\Delta x} \Delta t + S \Delta t$$

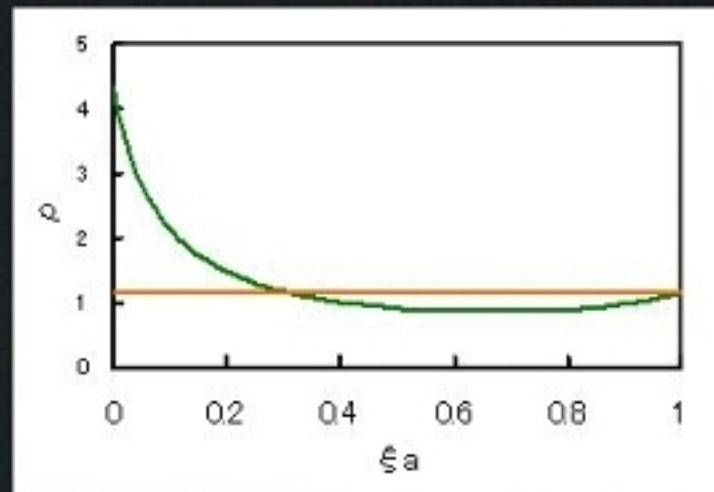
$$\frac{\partial F}{\partial x} = f(\rho, \rho \mathbf{u}, \rho e, \rho \xi, p)$$

$$p = (\gamma(\xi) - 1) \rho e$$

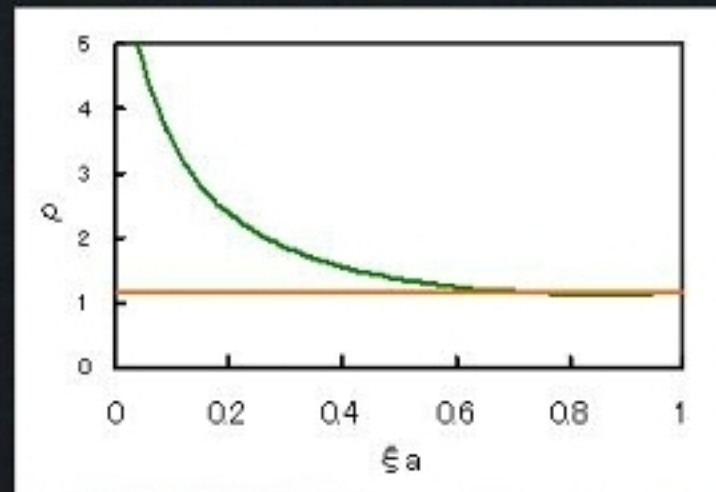
一般的な圧縮性流体スキームを使える

密度変化から分かる噴煙挙動

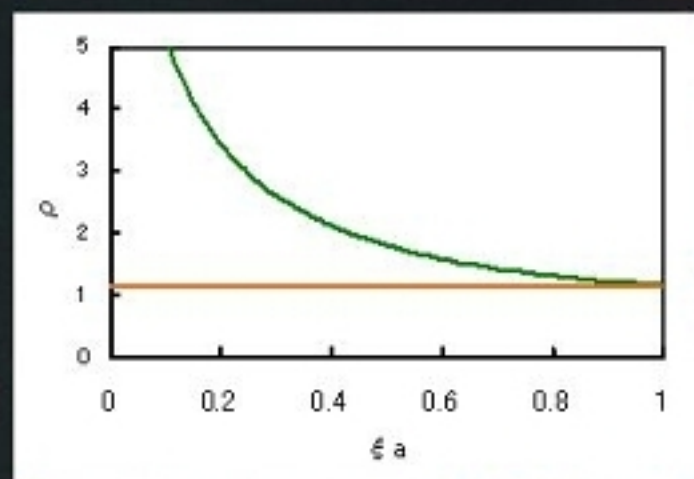
$T_1 = 1000 \text{ K}, n_s = 0.95$



$T_1 = 600 \text{ K}, n_s = 0.95$

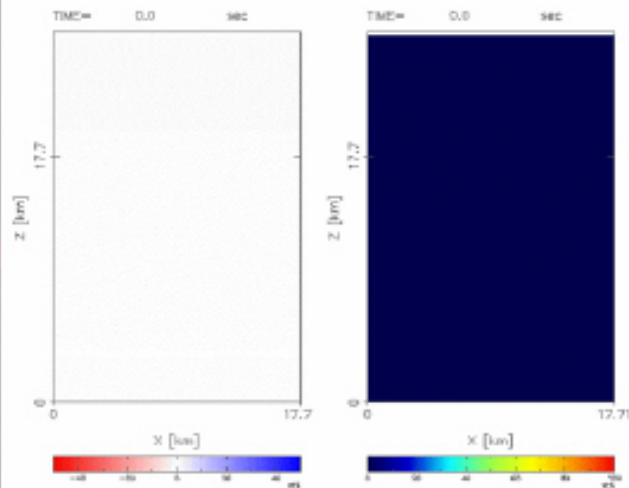
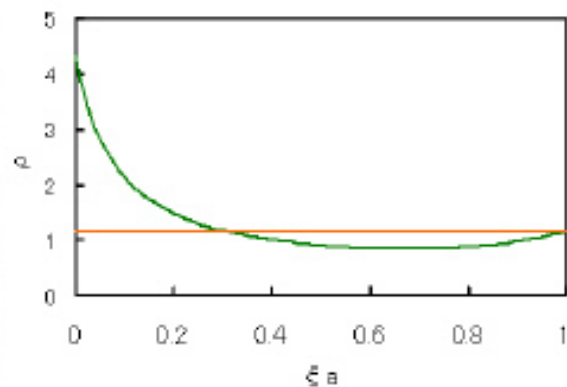


$T_1 = 400 \text{ K}, n_s = 0.95$



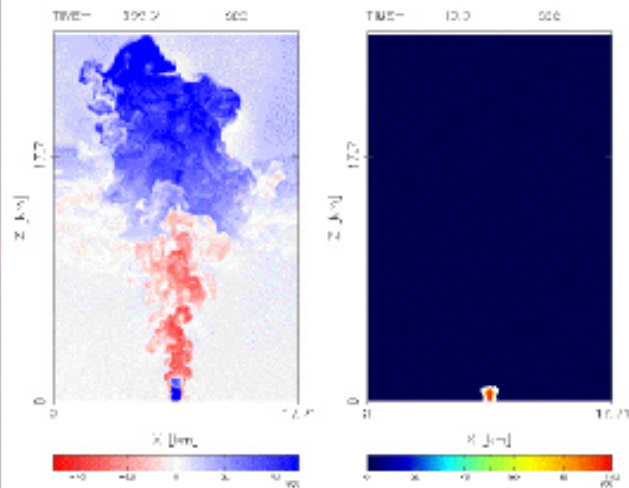
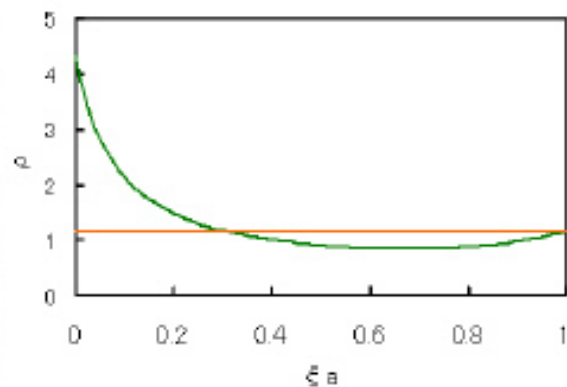
密度変化との対応1

$$T_1 = 1000 \text{ K}, n_s = 0.95$$



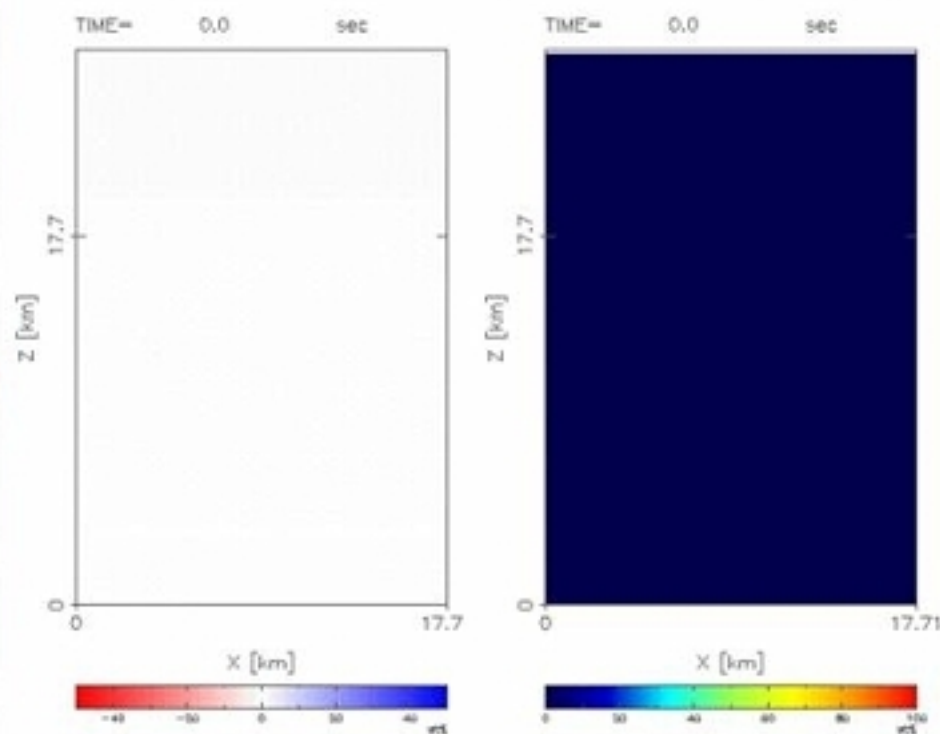
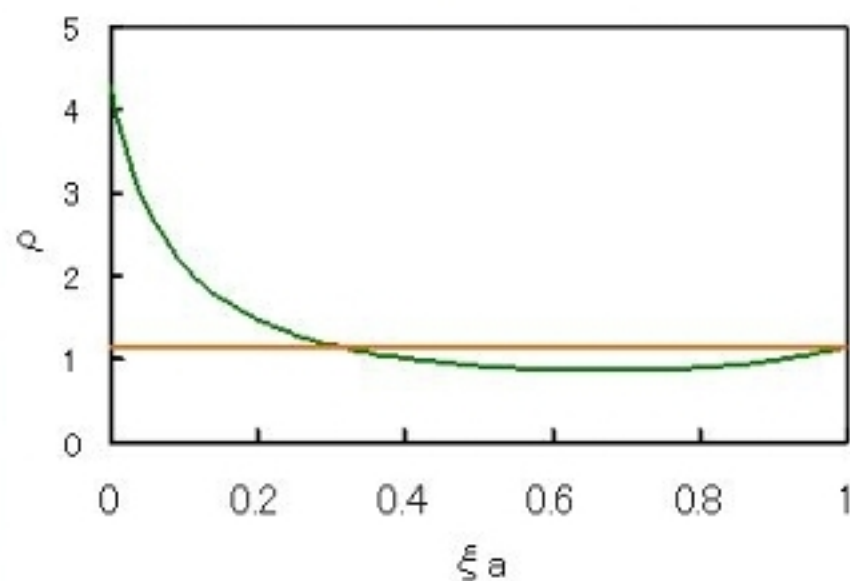
密度変化との対応1

$$T_1 = 1000 \text{ K}, n_5 = 0.95$$



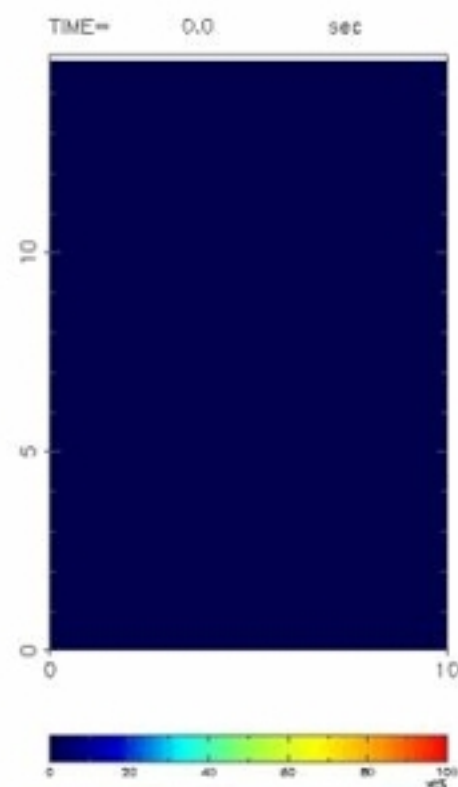
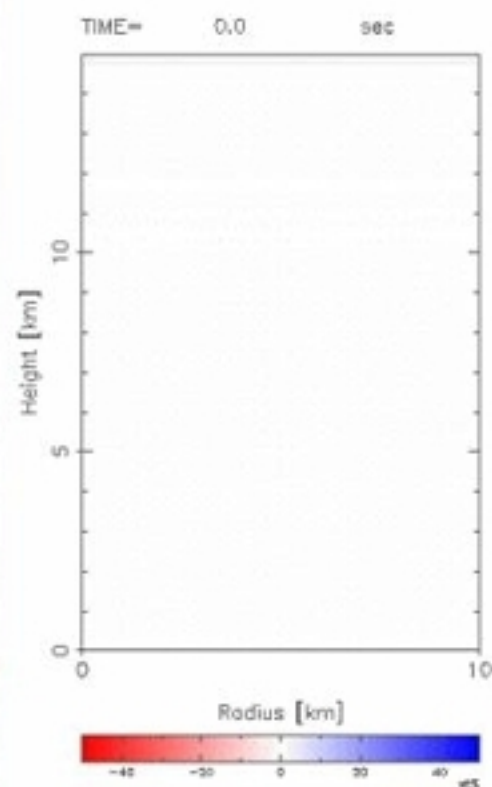
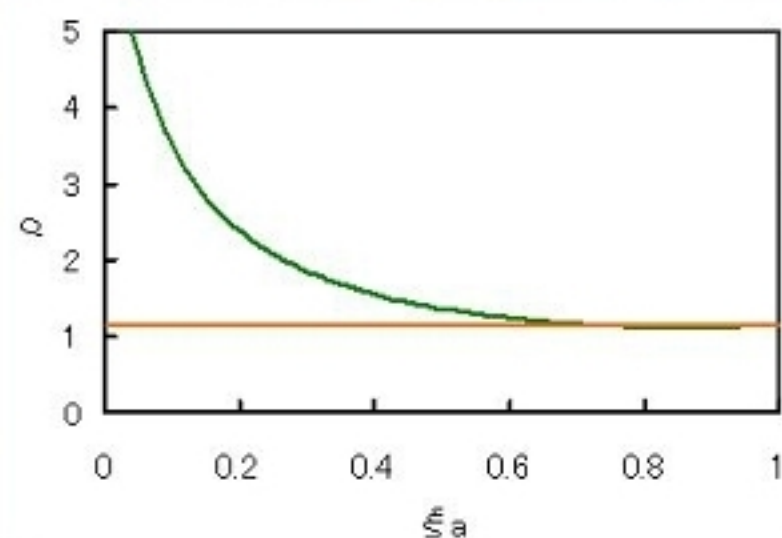
密度変化との対応1

$$T_1 = 1000 \text{ K}, n_s = 0.95$$



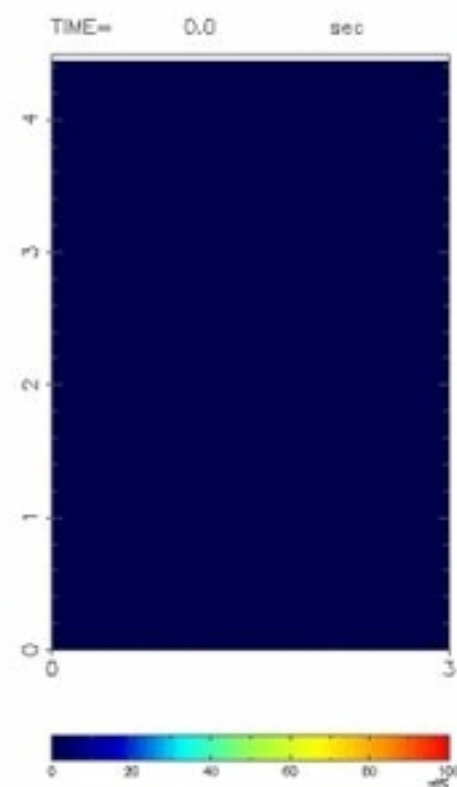
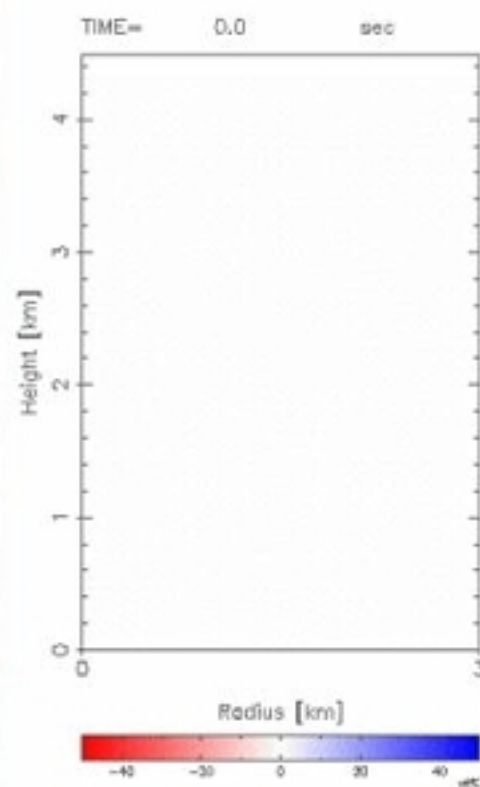
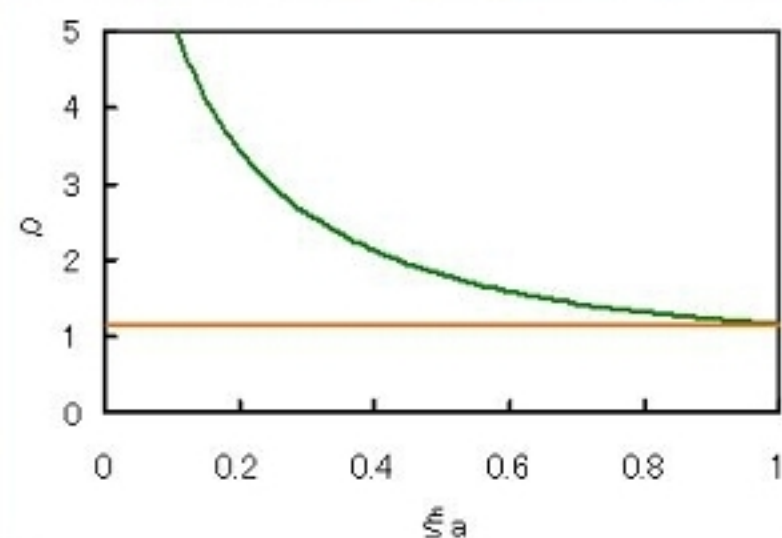
密度変化との対応2

$$T_1 = 600 \text{ K}, n_s = 0.95$$



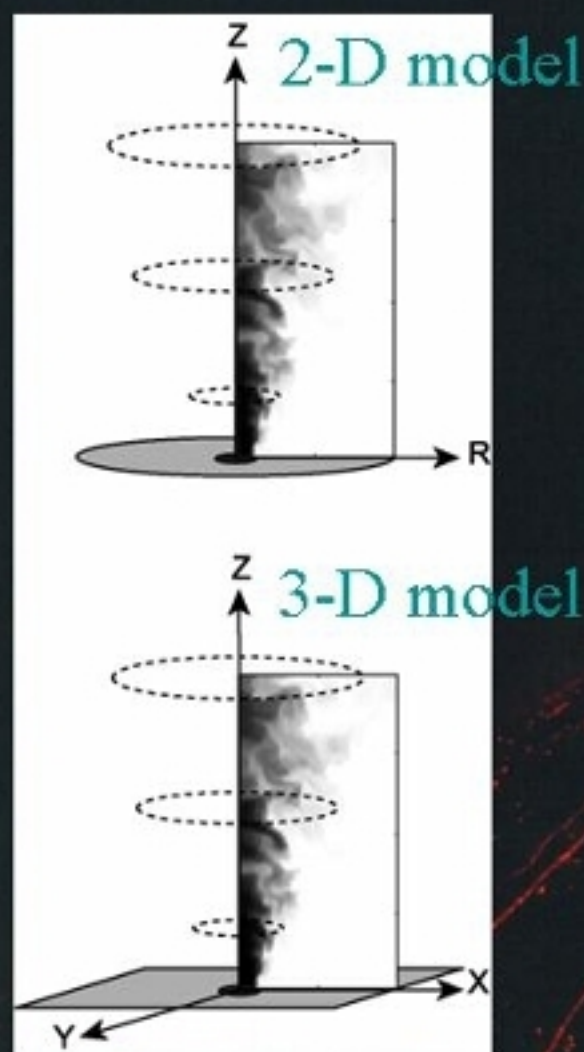
密度変化との対応3

$$T_1 = 400 \text{ K}, n_s = 0.95$$



非定常噴煙モデルの構築

非定常噴煙モデル (高 Re)



定常噴煙 (高 Re + 定常)

噴煙高度
火砕流の発生条件

密度変化

定常ジェット (高 Re + 定常 + 均質)

A. 自己相似性

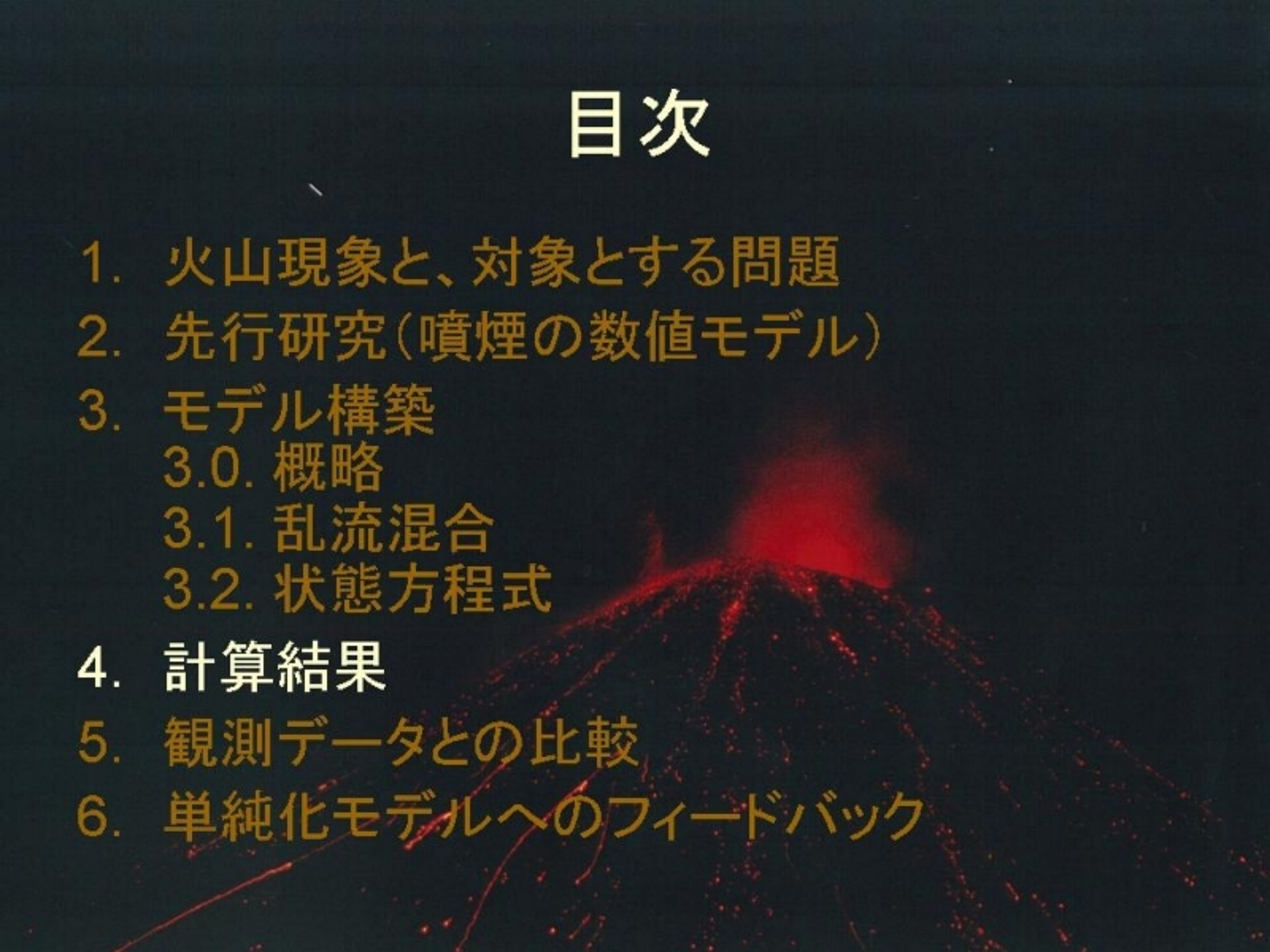
A1) 3次元性

A2) 空間分解能

乱流混合

B. 混合効率の Re 非依存性

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
- 

計算例1(噴煙柱・白黒)

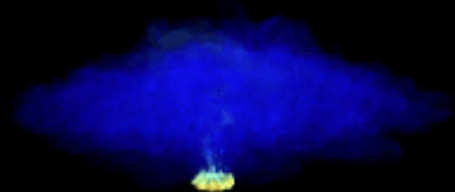
計算例1(噴煙柱・白黒)



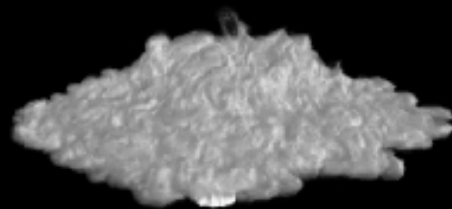
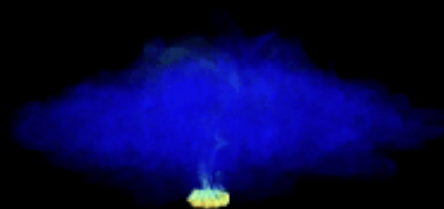
計算例2(火砕流・灰かぐら)



計算例2(火砕流・灰かぐら)

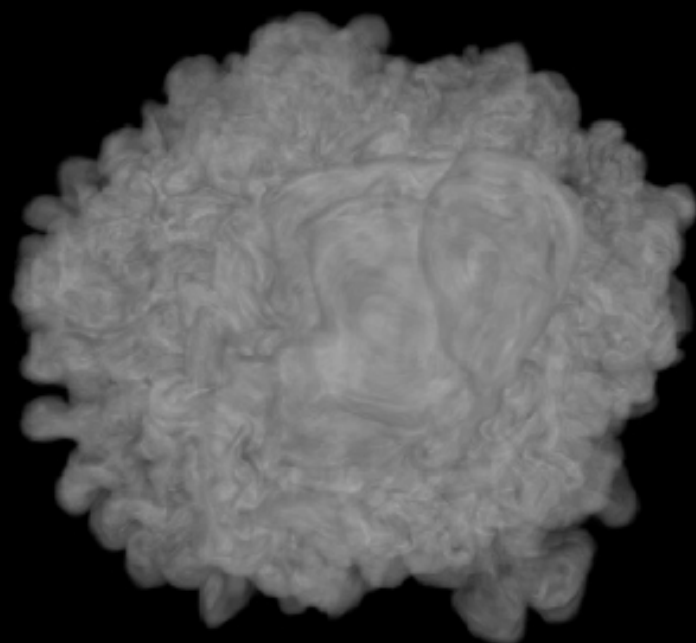


計算例2(火砕流・灰かぐら)



計算例(上から見ると)

計算例(上から見ると)



計算例(計算条件を変えた場合)

T600M2F75

T600M2F90

T800M1F70

T800M1F75

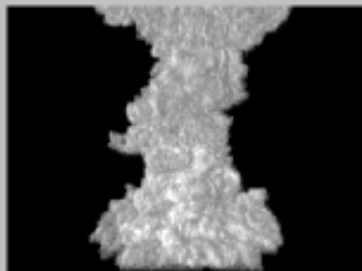
T800M1F80

T800M2F80

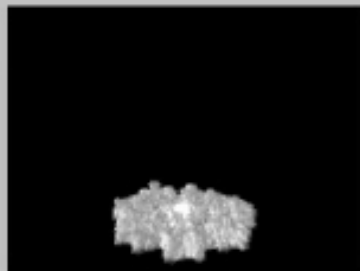
T800M2F90

T800M2F95

T800M2F100



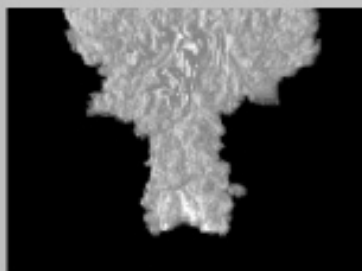
T600M2F75



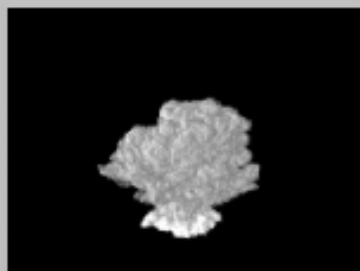
T600M2F90



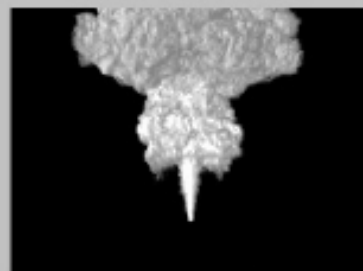
T800M1F70



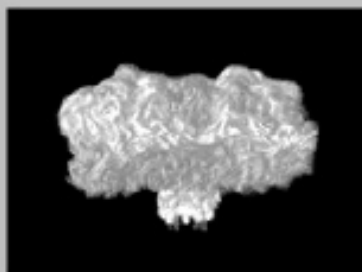
T800M1F75



T800M1F80



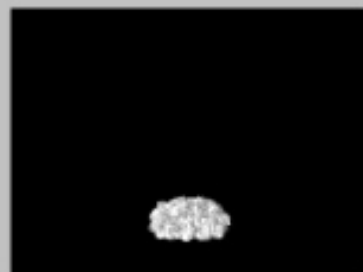
T800M2F80



T800M2F90

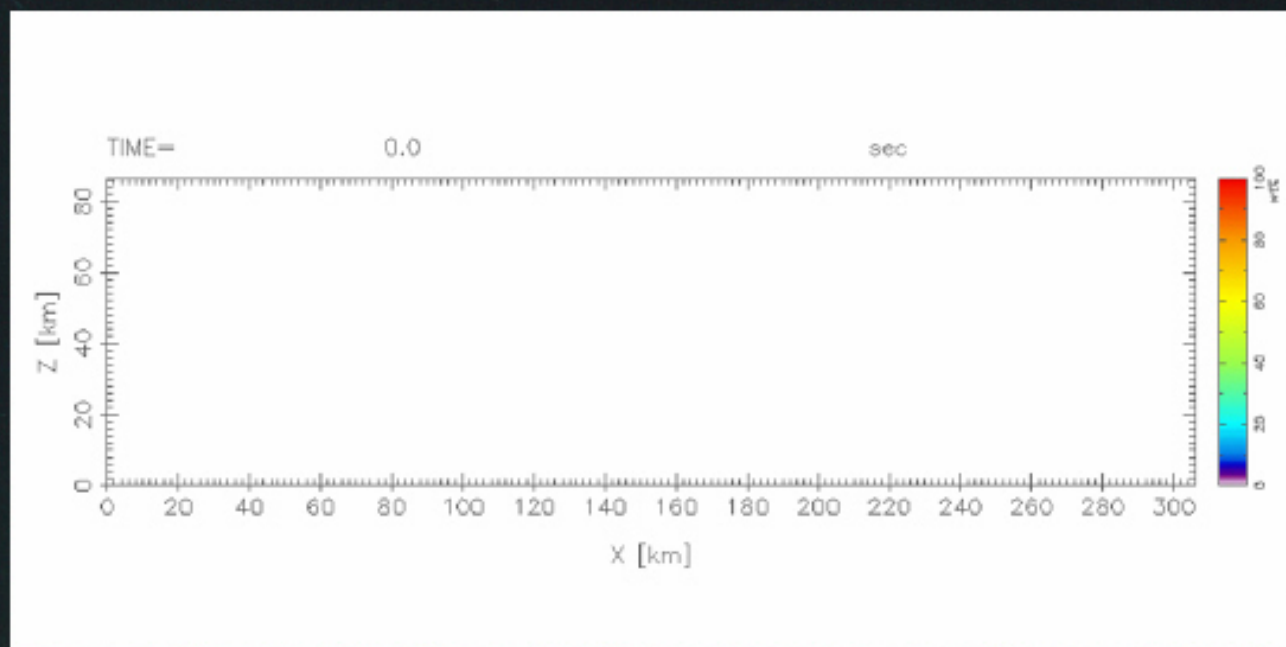


T800M2F95

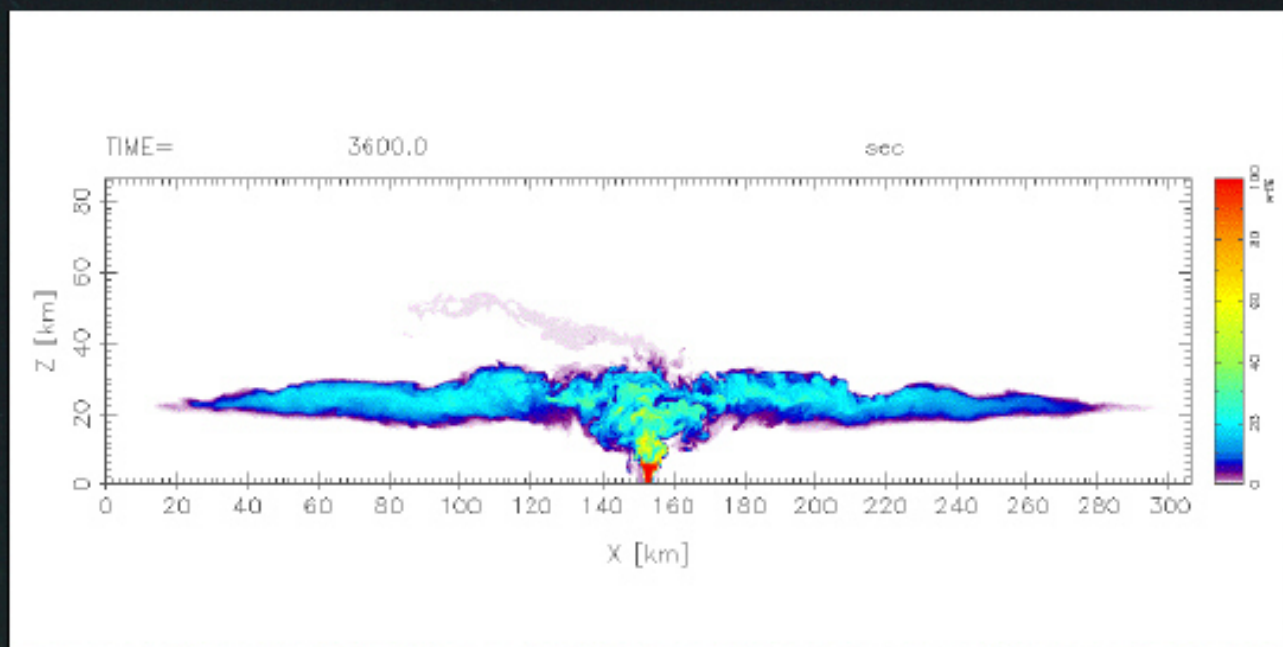


T800M2F100

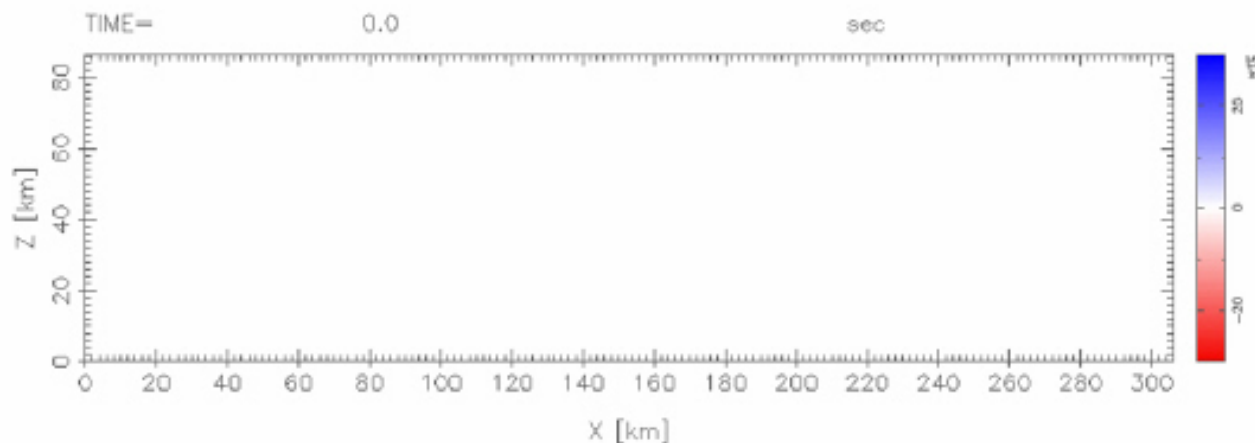
3D計算結果アニメーション(質量分率)



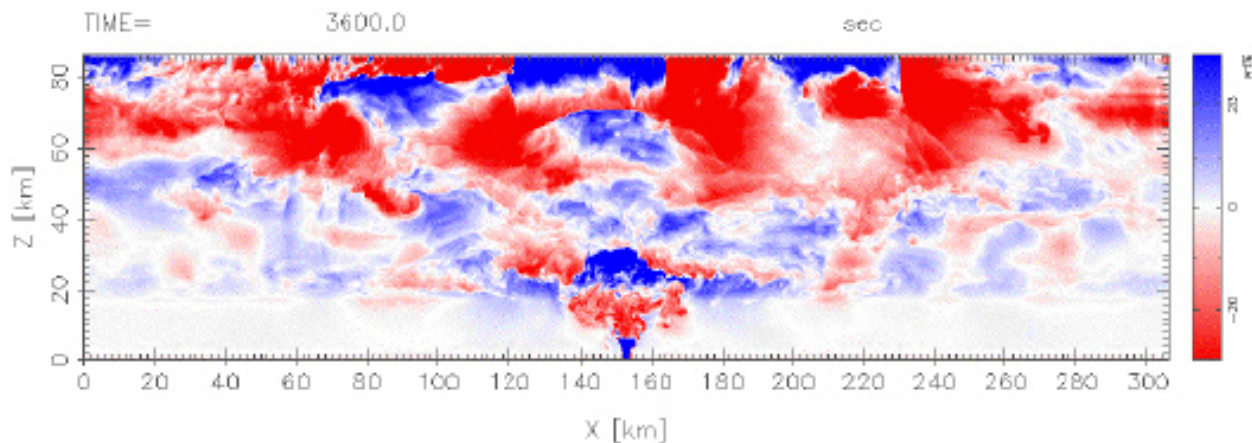
3D計算結果アニメーション(質量分率)



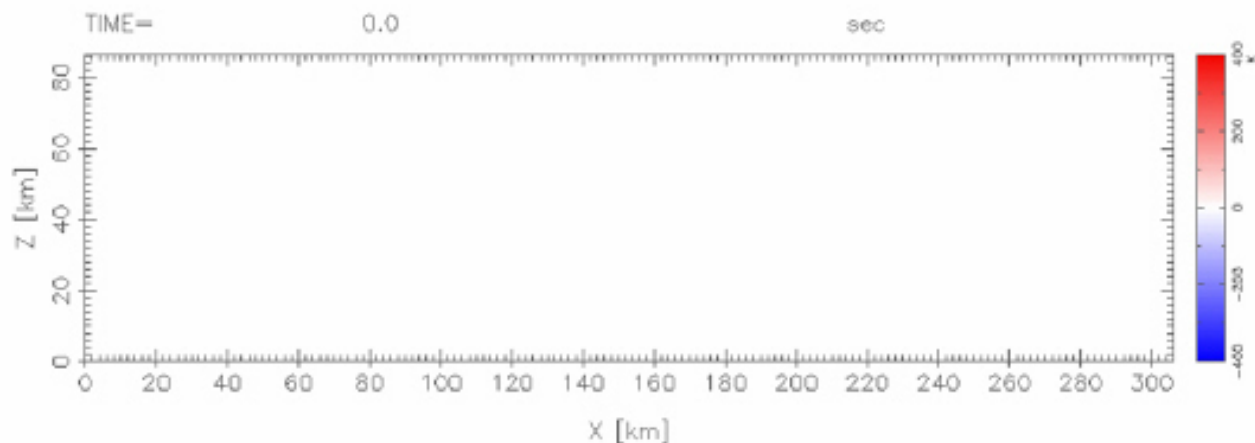
3D計算結果アニメーション(密度)



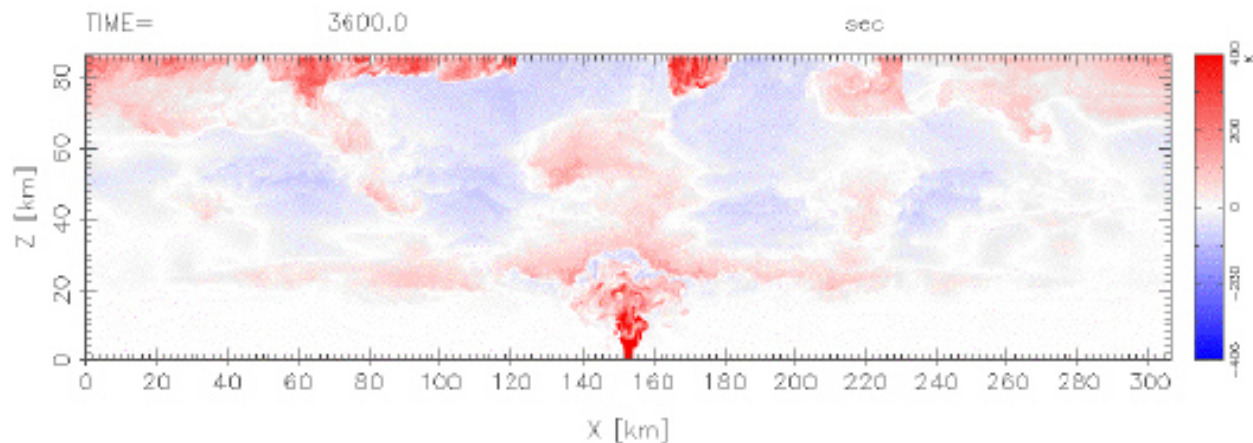
3D計算結果アニメーション(密度)



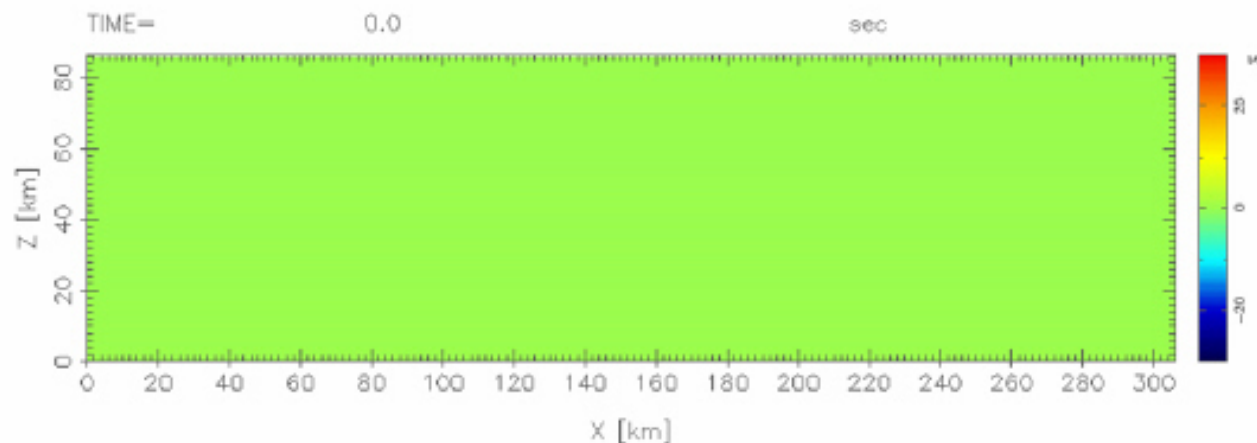
3D計算結果アニメーション(温度)



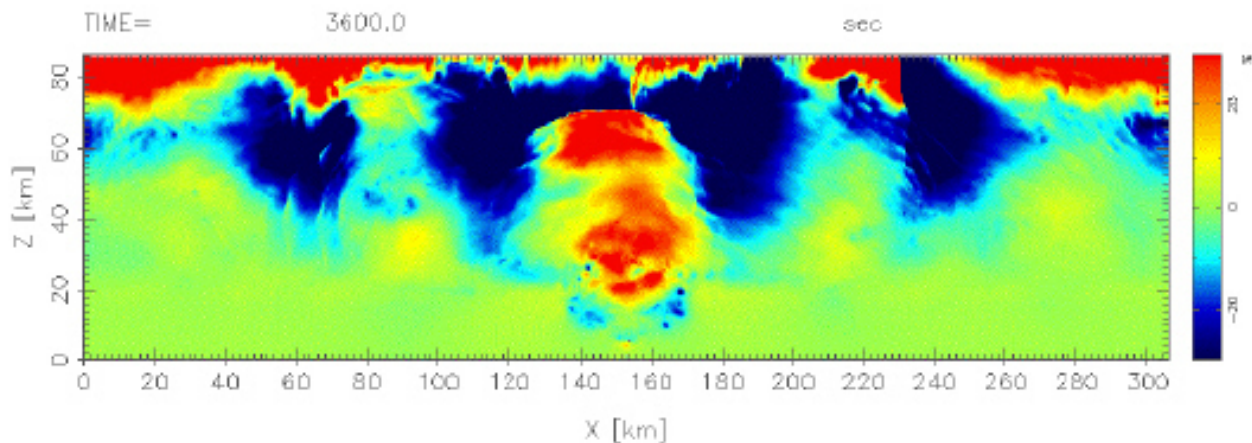
3D計算結果アニメーション(温度)



3D計算結果アニメーション(圧力)

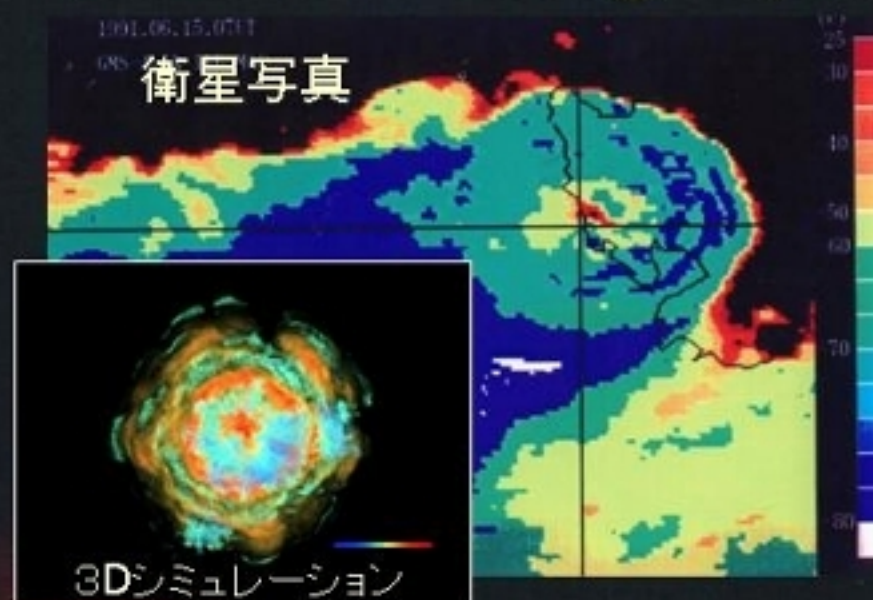
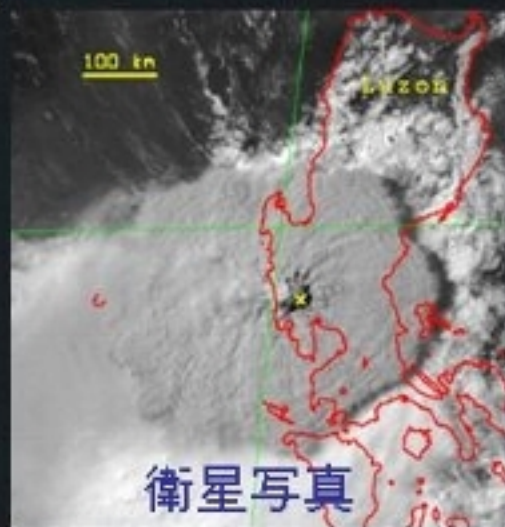


3D計算結果アニメーション(圧力)

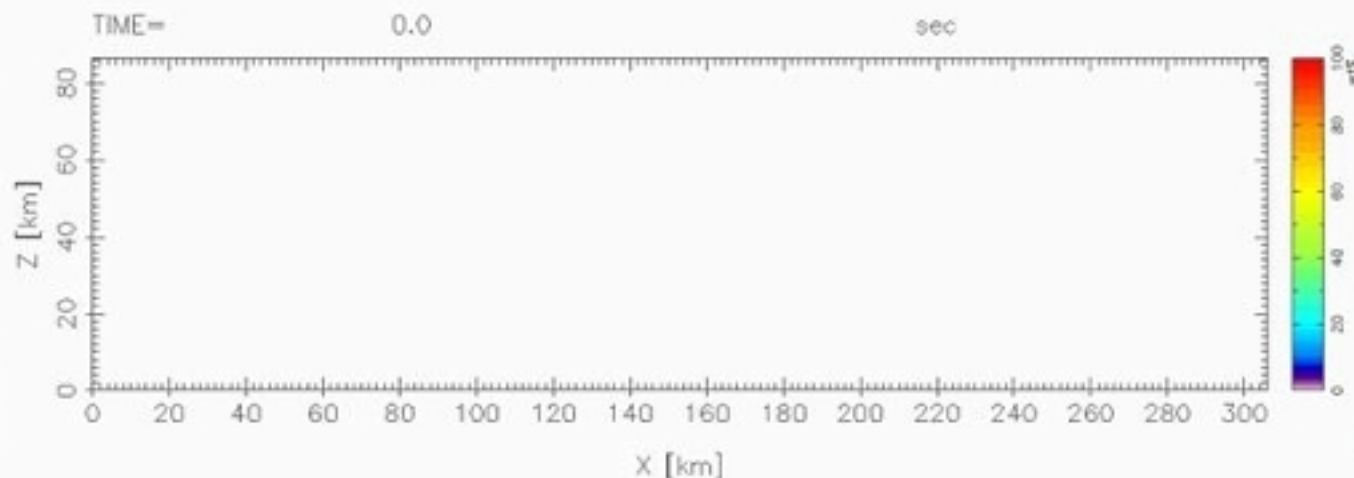


3Dシミュレーションの計算例 (10^9kg/s)

○上面からみた噴煙

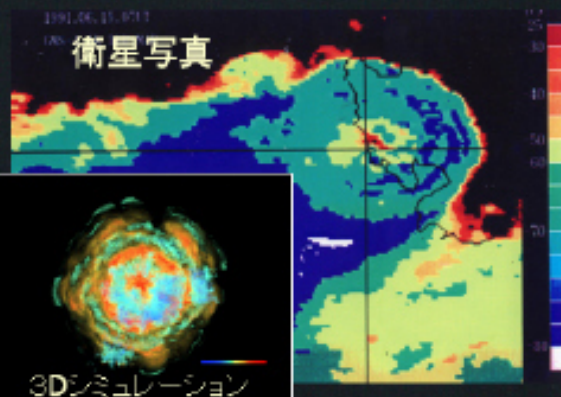
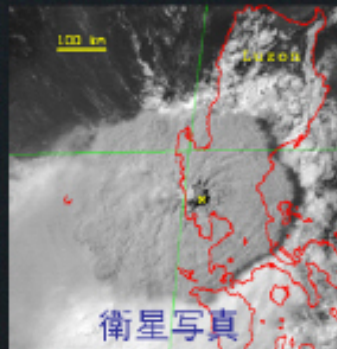


○噴出物濃度の断面分布

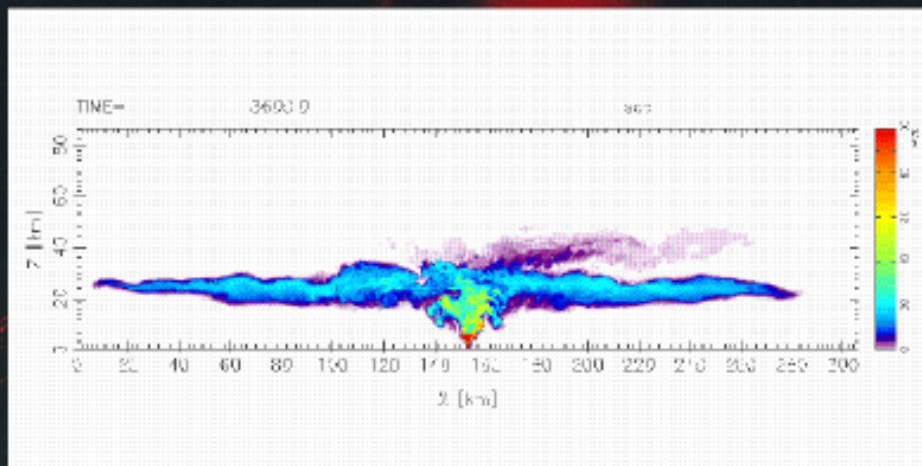


3Dシミュレーションの計算例 (10^9kg/s)

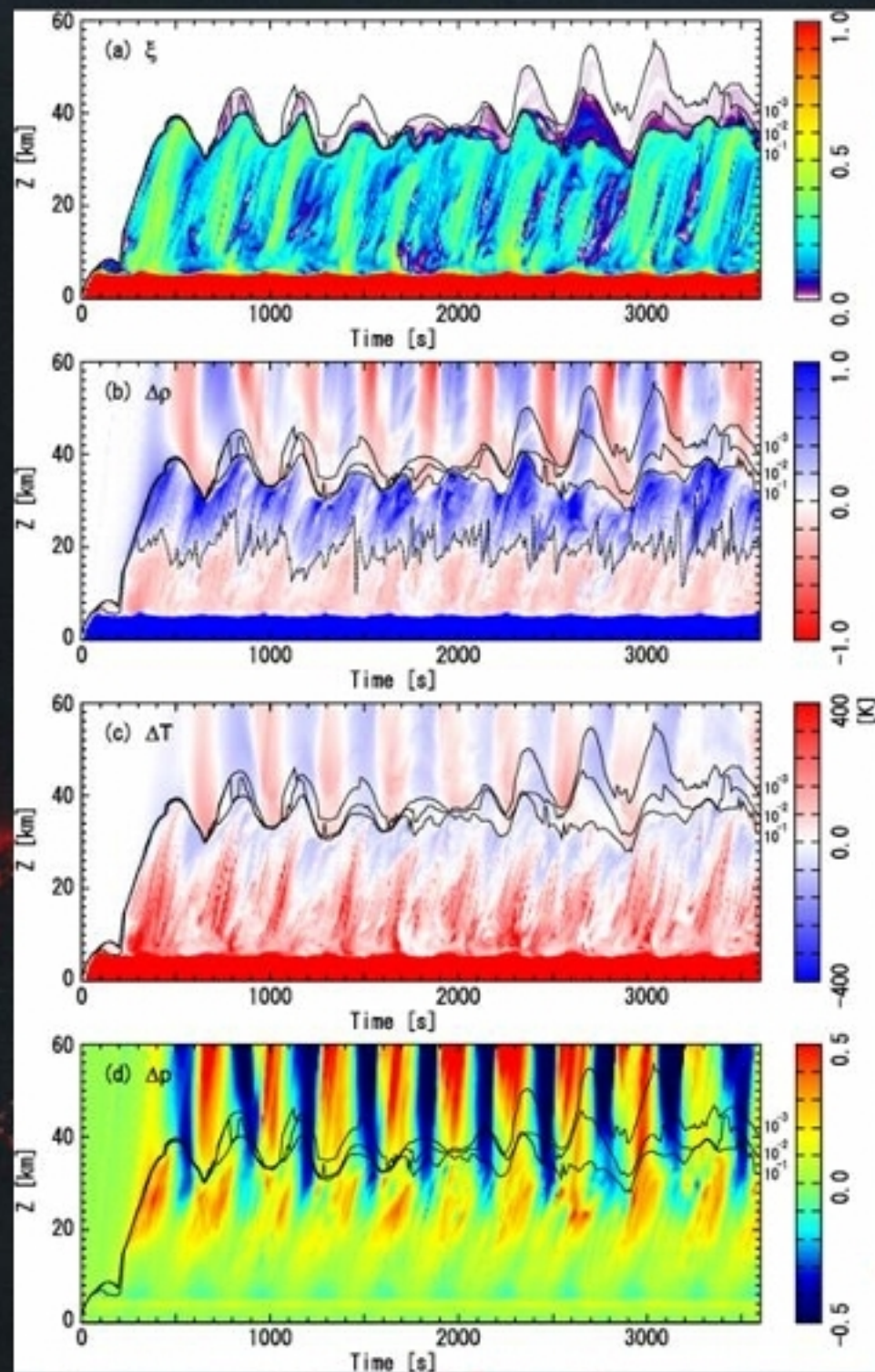
○上面からみた噴煙



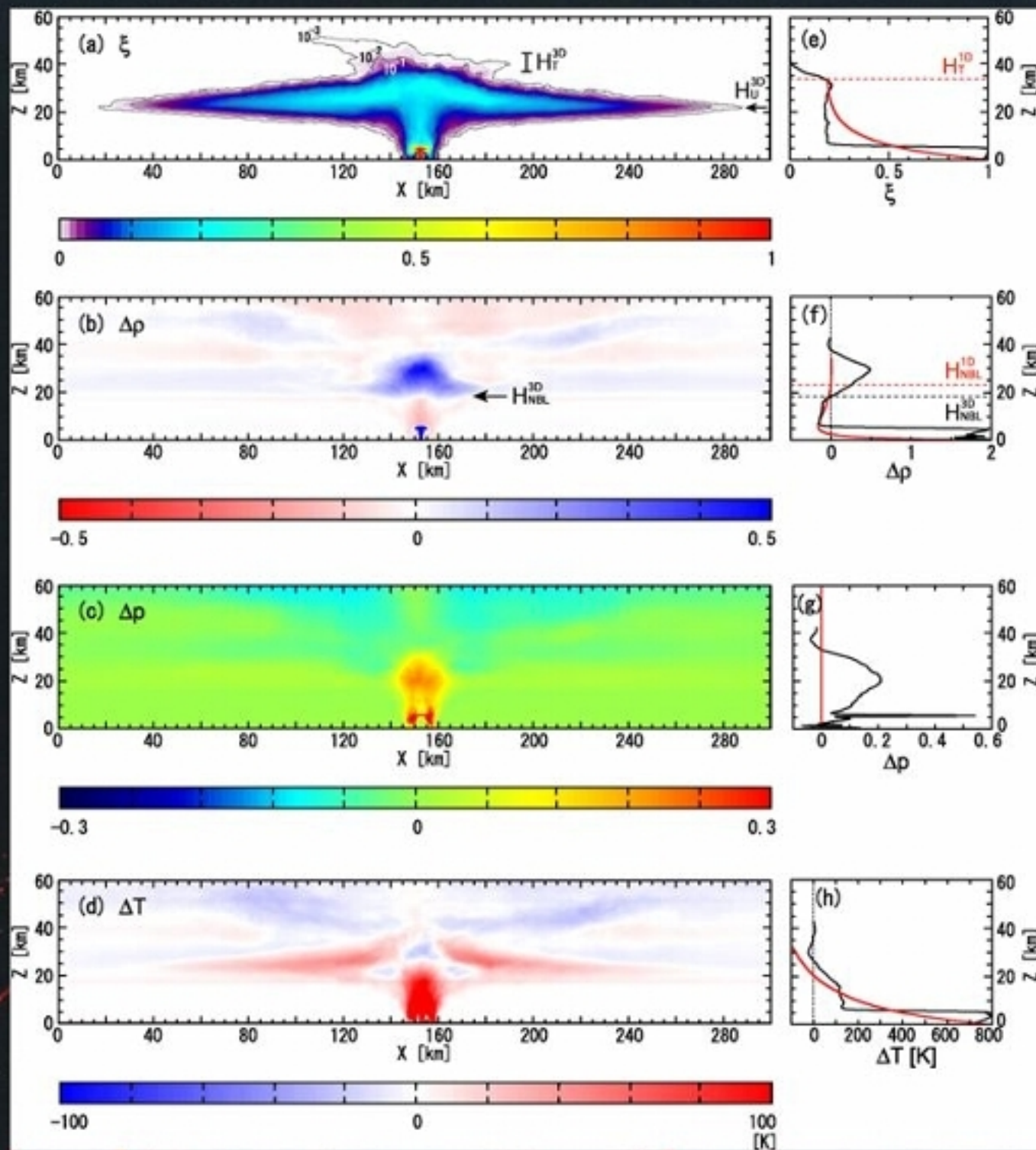
○噴出物濃度の断面分布



中心軸付近の 物理量時間変化



平均図



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
- 