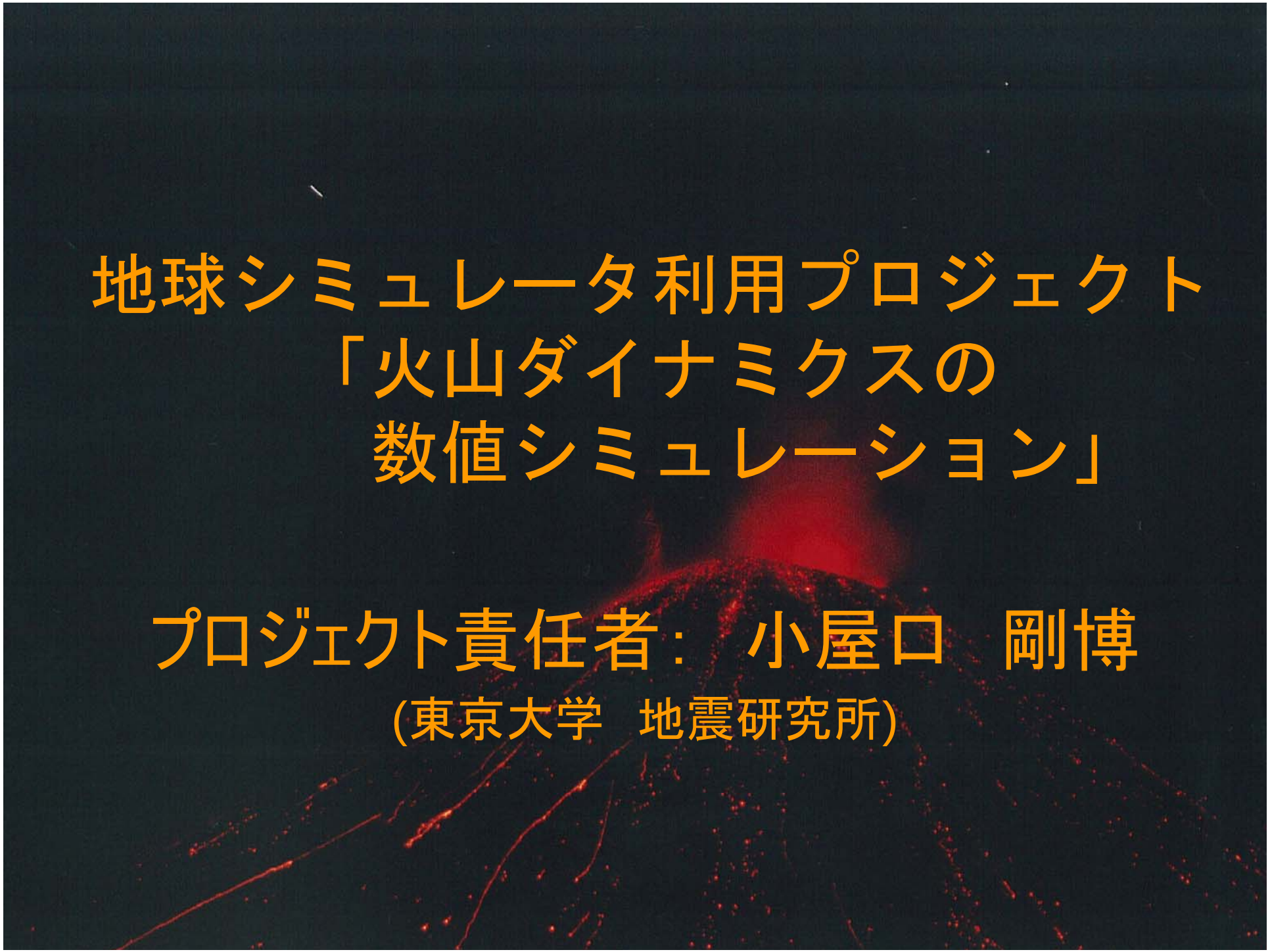


地球シミュレータ利用プロジェクト
「火山ダイナミクスの数値シミュレーション」

プロジェクト責任者：小屋口　剛博
(東京大学　地震研究所)

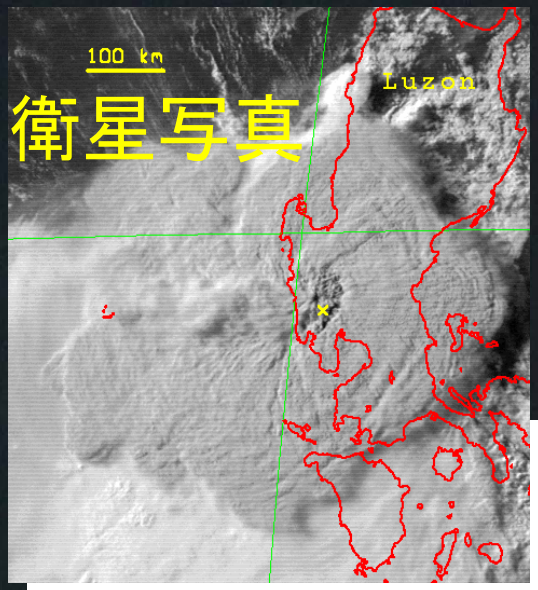
プロジェクトの目的

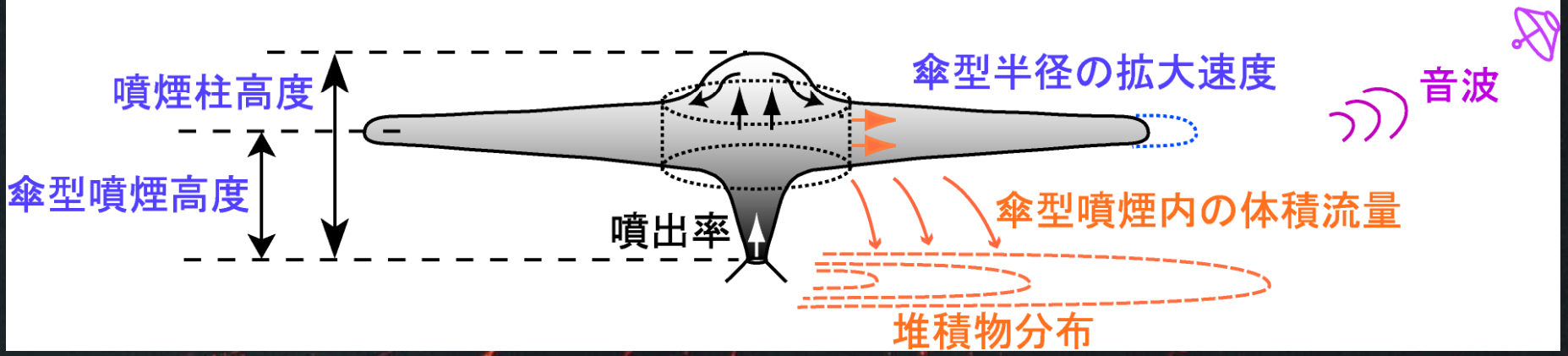
「地球内部のマグマ発生から地表におけるマグマ噴出までの火山現象を流体力学問題としてコード開発し,その物理過程を理解する」

今年度の目標

1. 火山噴煙の3次元数値コードによる大規模噴煙の再現とピナツボ1991年噴火の観測データとの比較
2. 自由噴流における乱流のシミュレーション
3. 地形を考慮した火砕流3次元コードの開発
4. 火山現象に伴う相分離や衝撃波に関する基礎的研究

観測量と噴出条件





3次元シミュレーションによって　観測量⇔噴出条件関係を求める

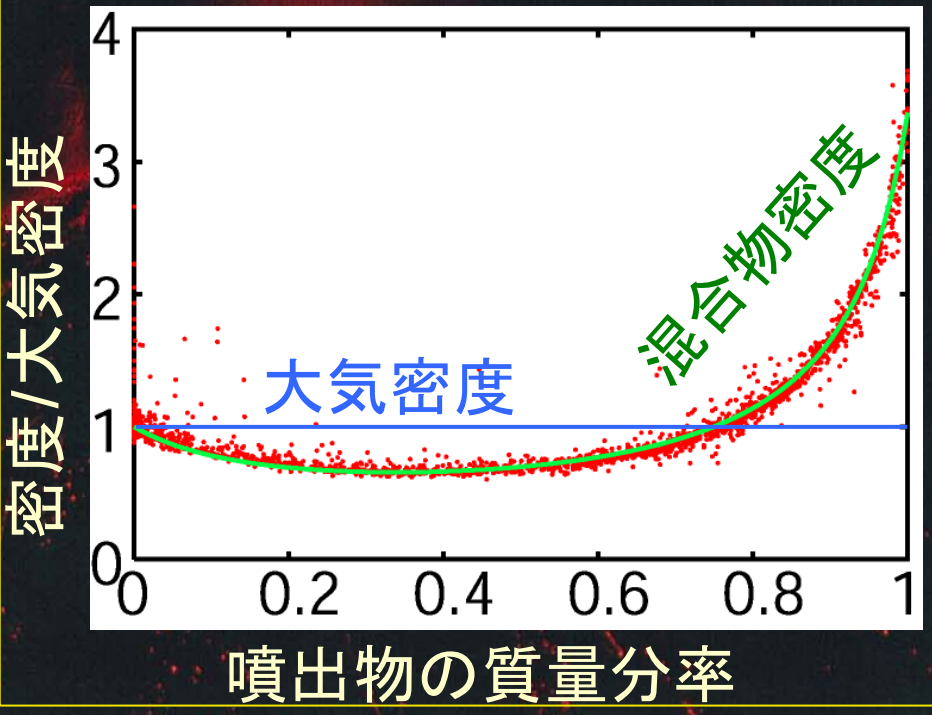
3次元モデル [Suzuki et al., 2005]

・円形の火口から
　火山灰＋火山ガス
の混合物が高速噴出
・火山灰と火山ガスは
　同速度で運動
・質量，運動量，
エネルギー保存式

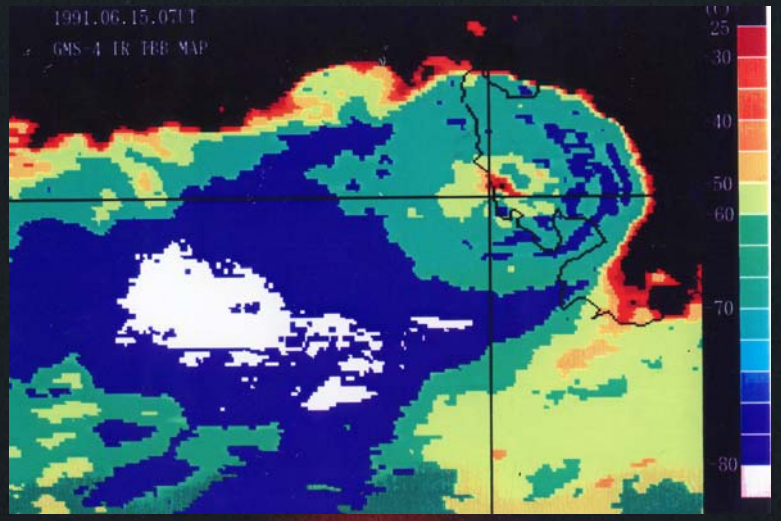
◎乱流混合効率の再現
3次元座標系
空間3次精度スキーム
　Roe法＋MUSCLE法
細かなグリッドサイズ
　(グリッド数：$10^{8\text{-}9}$)

◎密度の非線形変化の再現

$$P \sim \rho_c (n_q R_q + n_a R_a) T$$
$$\equiv \rho R_{eff} T$$



ピナツボ火山1991年噴火



GMS (Himawari) IR data 1540LT

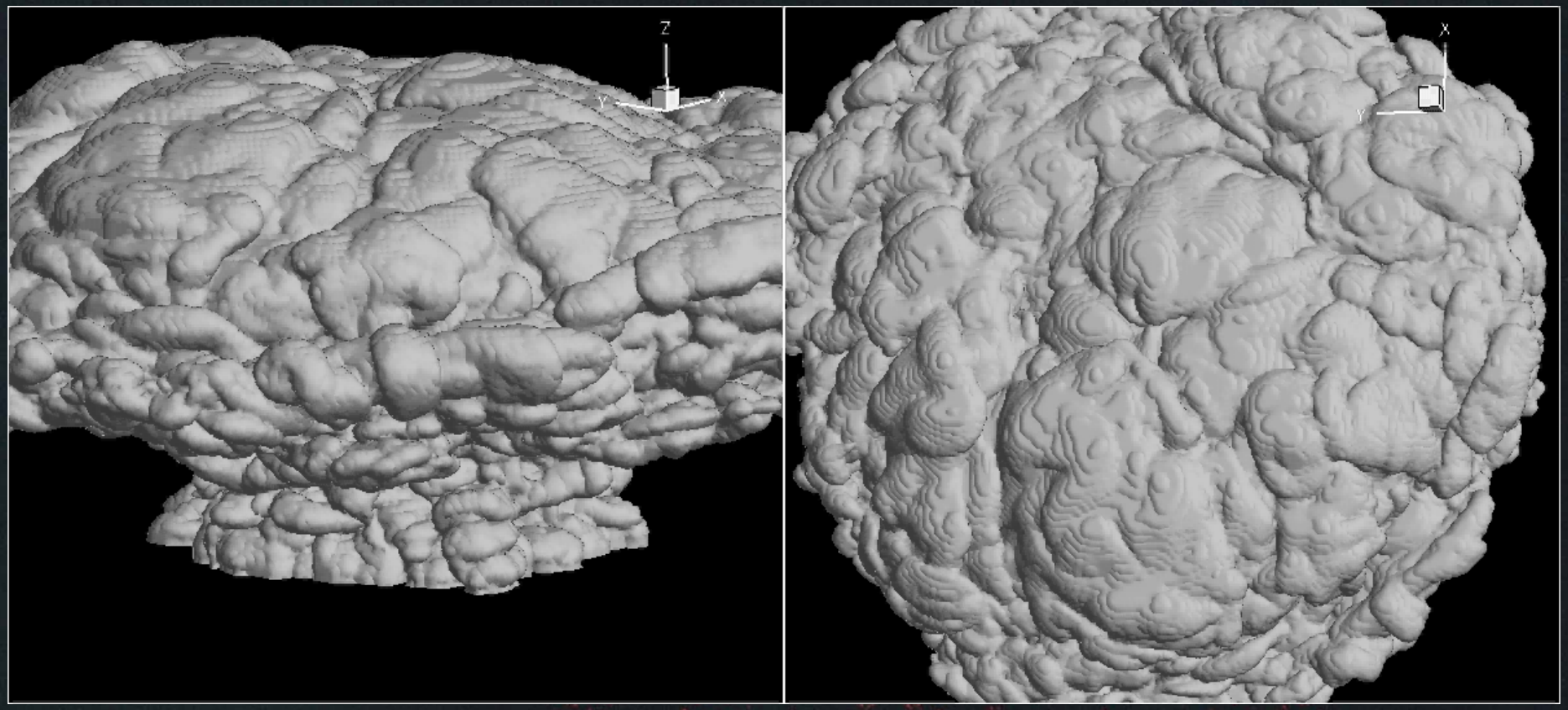
・温度　：1053 K
・火山ガス：6 wt%
・熱帯の大気構造

火山降下物の総質量：11-14 x 10^{12} kg　(Wiesner et al. 2004)

噴火継続時間：3.5-9 hr (Koyaguchi and Tokuno, 1993;
Tahira et al., 1996;　Holask et al., 1996)

・平均噴出率：$10^{9\text{-}8.5}$ kg/s

計算例：等値面（噴出物の質量分率）

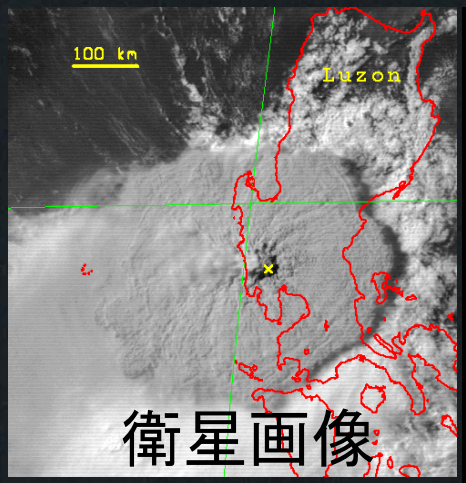


横から　　上から

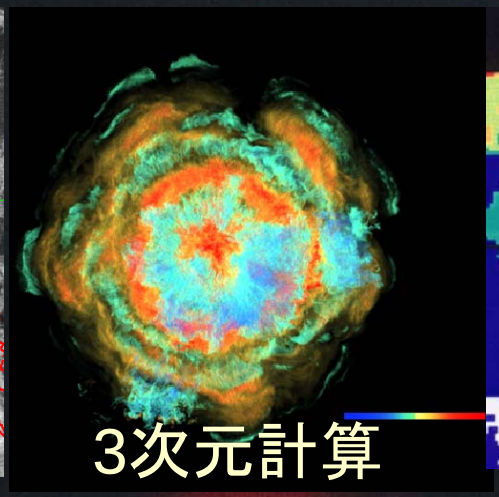
EARTH
SIMULATOR

ピナツボ噴火の再現：噴出率=10^9kg/s

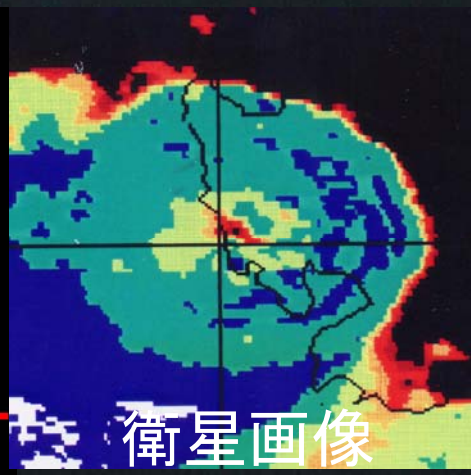
3次元計算
（噴出物の質量分率）



衛星画像
（可視光）

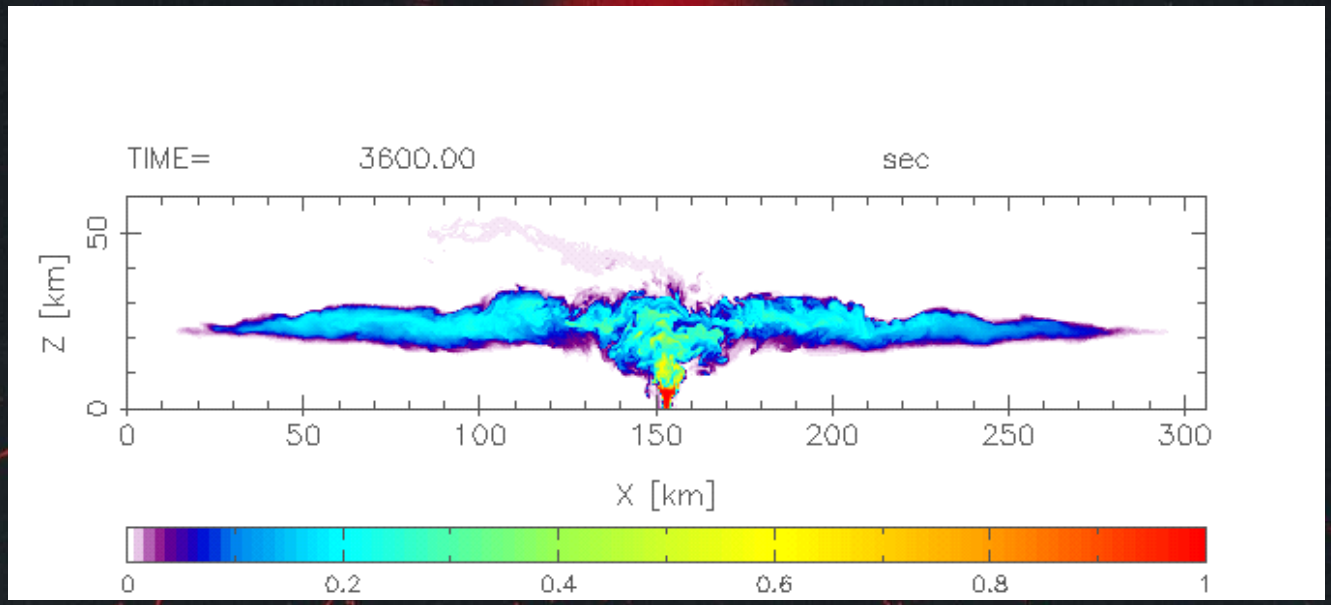


3次元計算
（温度）



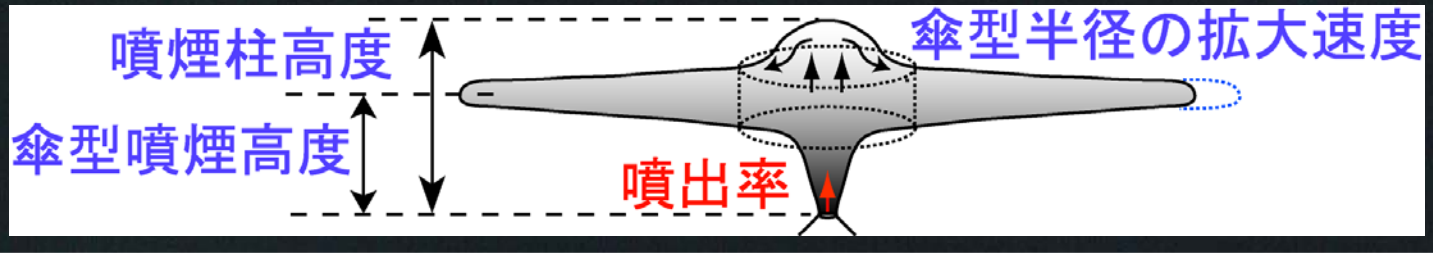
衛星画像
（赤外光）

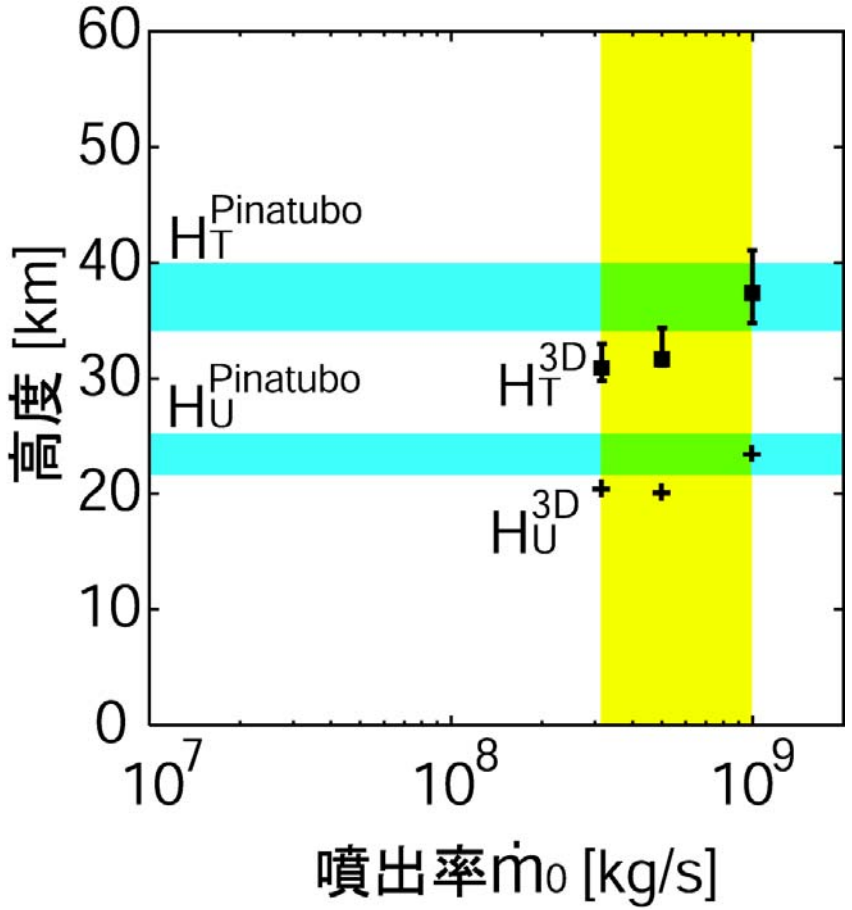
○噴出物質量分率
の断面分布

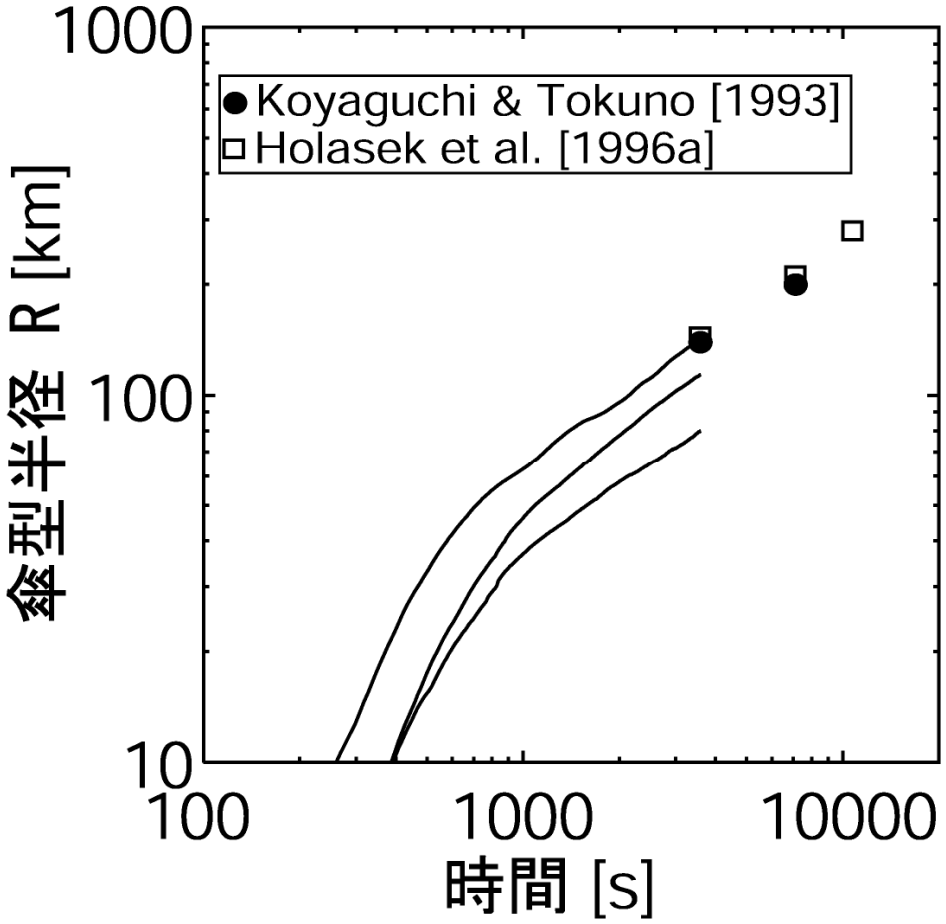


EARTH
SIMULATOR

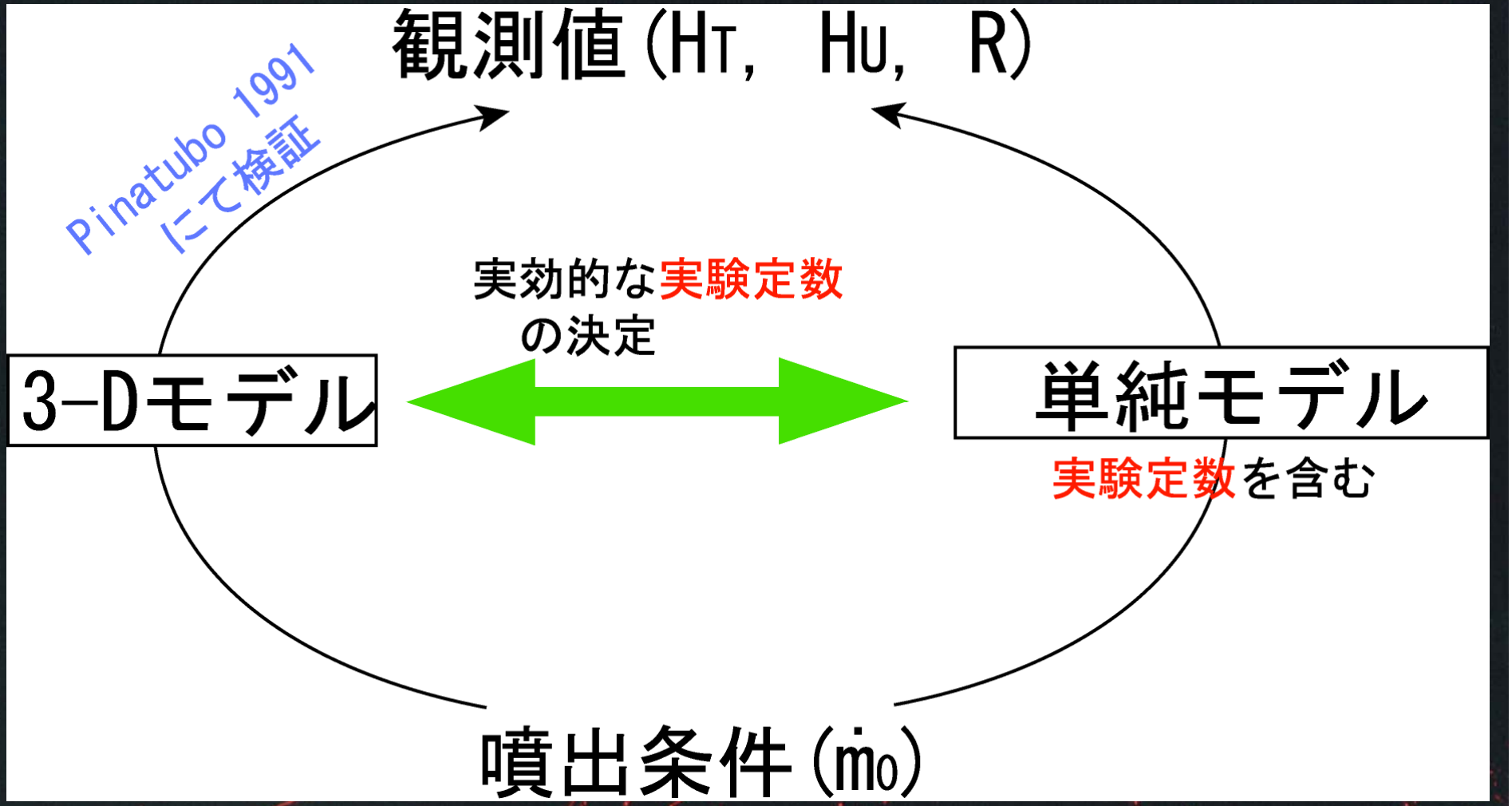
観測データとの比較


噴煙柱高度
傘型噴煙高度
傘型半径の拡大速度
噴出率

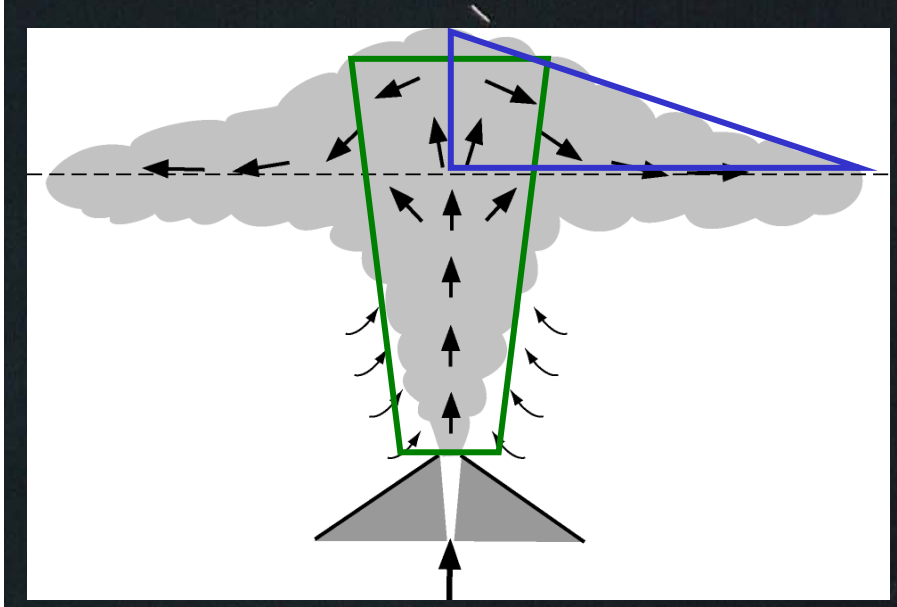

60
50
40
30
20
10
0
高度 [km]
$H_T^{Pinatubo}$
$H_U^{Pinatubo}$
H_T^{3D}
H_U^{3D}
10^7
10^8
10^9
噴出率 $\dot{m}_0$ [kg/s]

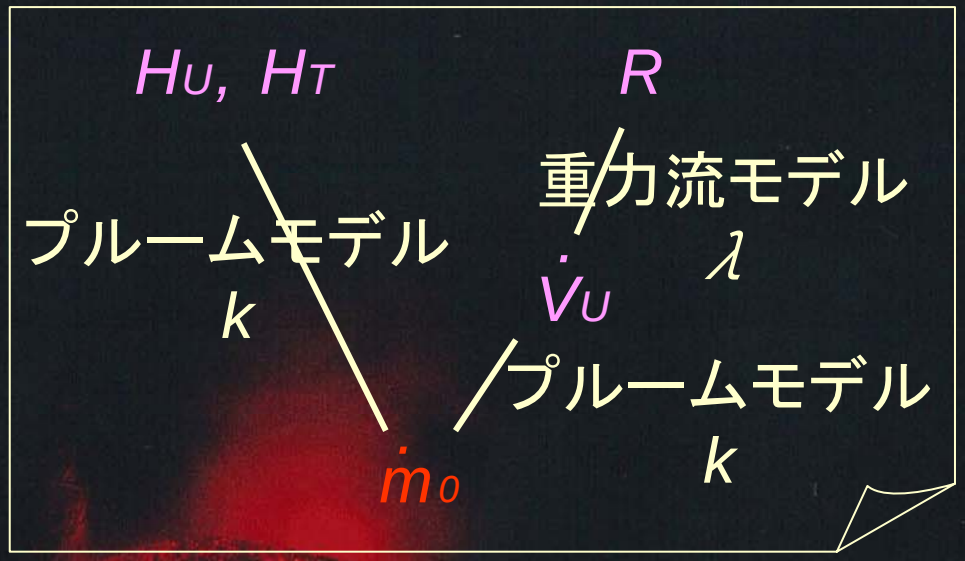

1000
100
10
傘型半径 R [km]
Koyaguchi & Tokuno [1993]
Holasek et al. [1996a]
100
1000
10000
時間 [s]

利用可能な単純モデルの構築1



利用可能な単純モデルの構築2





◎噴煙柱の単純モデル
プルームモデル[Woods,1988]

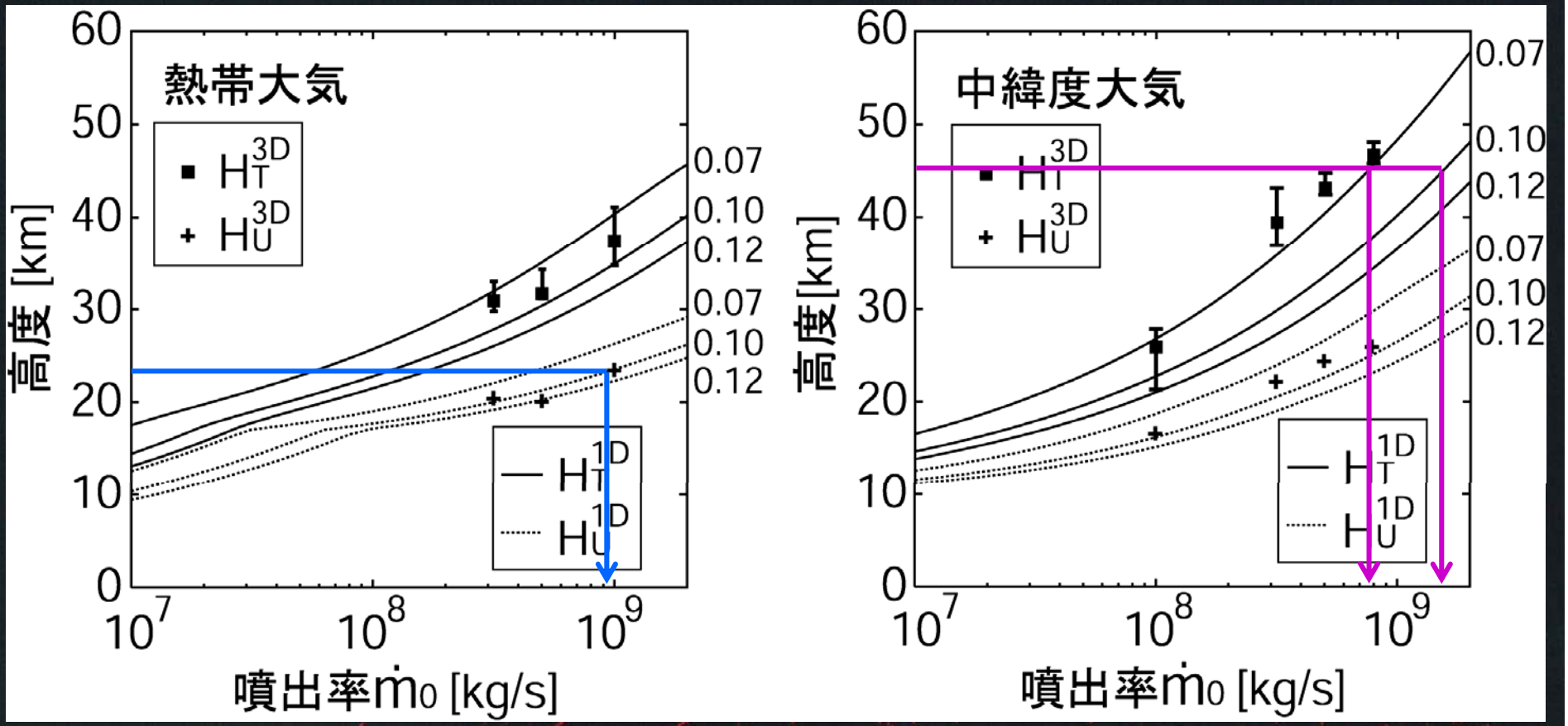
$$\frac{d}{dz}(\text{質量flux}) = k \times (\text{大気密度})$$

◎傘型噴煙の単純モデル:
重力流モデル [Sparks et al., 1998]

$$R = \left[\frac{3\lambda N \dot{V}_U}{2\pi}\right]^{\frac{1}{3}} t^{\frac{2}{3}}$$

R: 半径
$\dot{V}_U$: 体積流量
t : 時間
N: Brant-Vaisala振動数

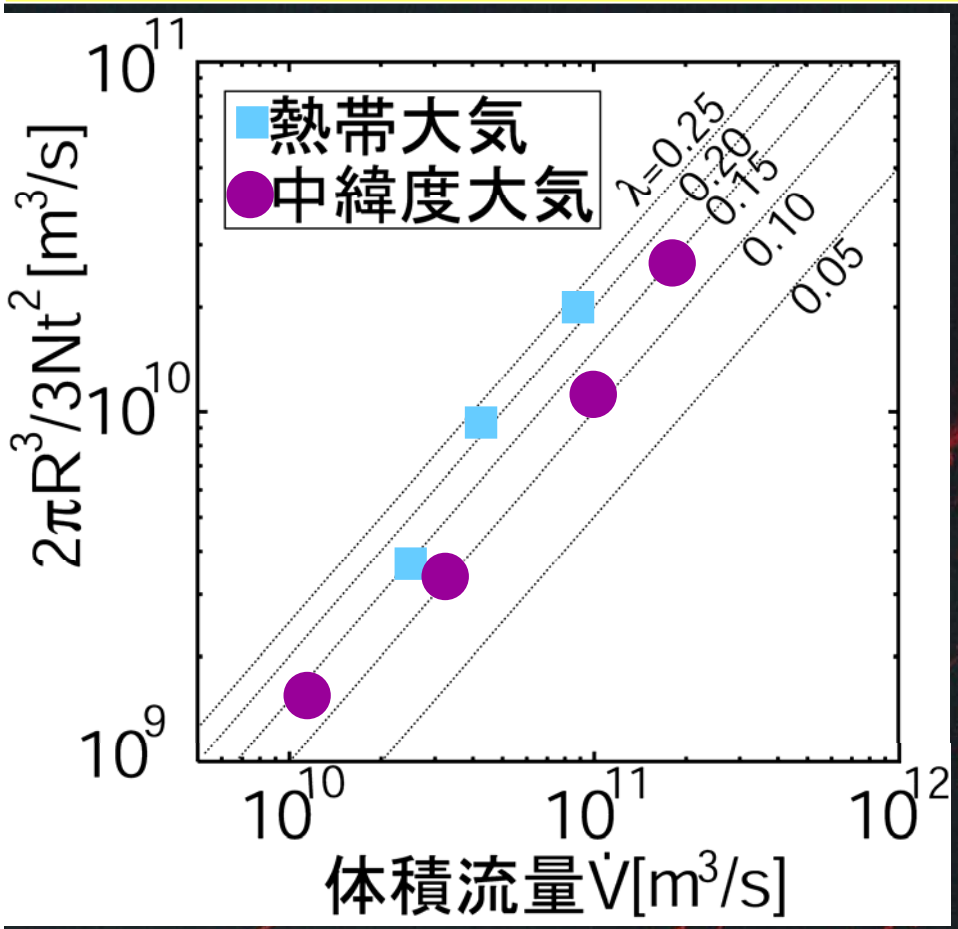
実効的なkの決定
～噴出率と高さの関係から～



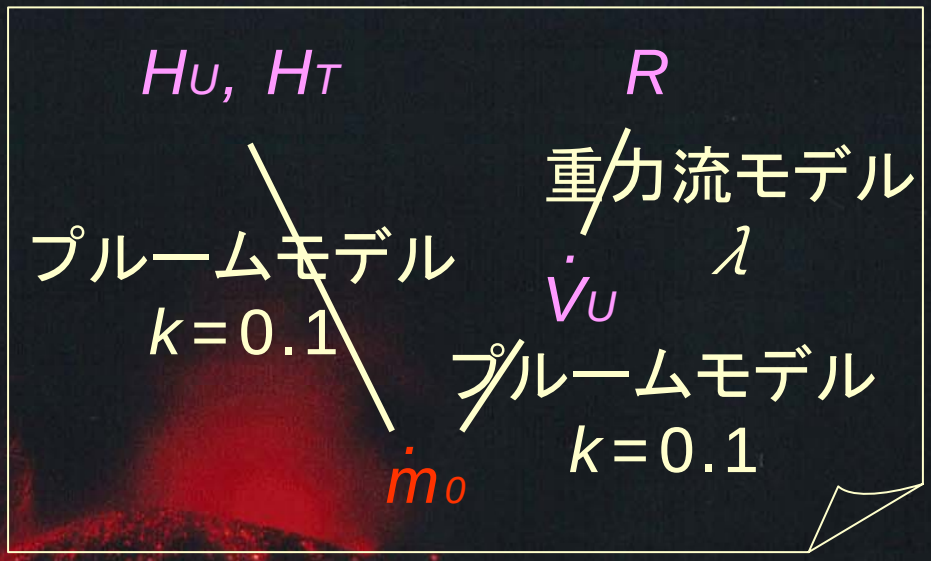
噴煙柱高度　H_T: k～0.07-0.1
傘型噴煙高度H_U: k～0.1

実効的なλの決定
～体積流量と半径拡大率の関係から～

$$R=\left[\frac{3\lambda N\dot{V}_U}{2\pi}\right]^{\frac{1}{3}}t^{\frac{2}{3}} \Rightarrow \left(\frac{2\pi}{3N}\right)\frac{R^3}{t^2}=\lambda\dot{V}_U$$



単純モデル



λ～0.2（熱帯）
λ～0.1（中緯度）

まとめ・今年度の成果

1. 大規模噴煙の3次元シミュレーション
   ・ピナツボ1991年の観測データと一致
   ・災害予測に利用可能な単純モデルを構築
2. 自由噴流のシミュレーション
   2x108グリッドまでの高精度計算にて実験を再現
3. 火砕流のシミュレーション
   一般座標系にて地形の効果を含めた火砕流の基本コードの作成・ESへの実装に成功
4. 火山噴火に伴う相分離・衝撃波の基礎的研究
   爆風伝播・固気二相流のコード開発