

地震研共同利用研究集会「火山現象の数値計算研究」
2009年11月16日，東京大学地震研究所 第二会議室

雲過程を考慮した噴煙モデルの開発

Sarychev Peak

2009年6月12日噴火事例への適用

橋本 明弘¹・新堀敏基²・福井敬一²

¹気象研究所 予報研究部

²気象研究所 地震火山研究部

ISS020E009052



気象研究所における研究計画

研究課題「気象観測技術等を活用した火山監視・データ解析手法の高度化に関する研究」平成21年度から5ヵ年

サブ課題1『噴火現象の定量的監視技術の開発』

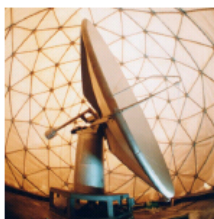
サブ課題2『火山観測データ処理技術の高度化に関する研究』

山里 平（気象研究所 地震火山研究部）

新たな火山監視技術に関する研究



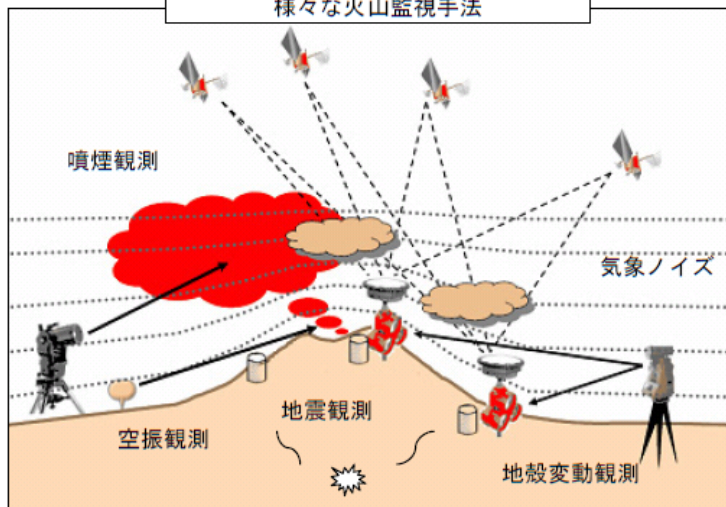
干渉 SAR による
地殻変動観測



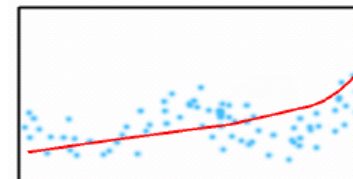
気象ドップラー
レーダーによる
噴煙観測

噴煙に関する
モデリング

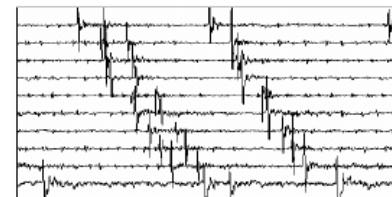
様々な火山監視手法



火山監視手法及びデータ処理手法の
改良に関する研究



空振アレイによるノイズ軽減等
気象の影響によるノイズの除去手法



火山性震動・空振の定量的処理手法

噴煙の動力学的
研究

火山活動評価手法に関する研究

降灰予測の高度化

火山活動予測の高度化



噴煙モデルを用いたアプローチ

レーダー観測に対して

1. 時空間的に稠密なデータ解析
2. メカニズム解明

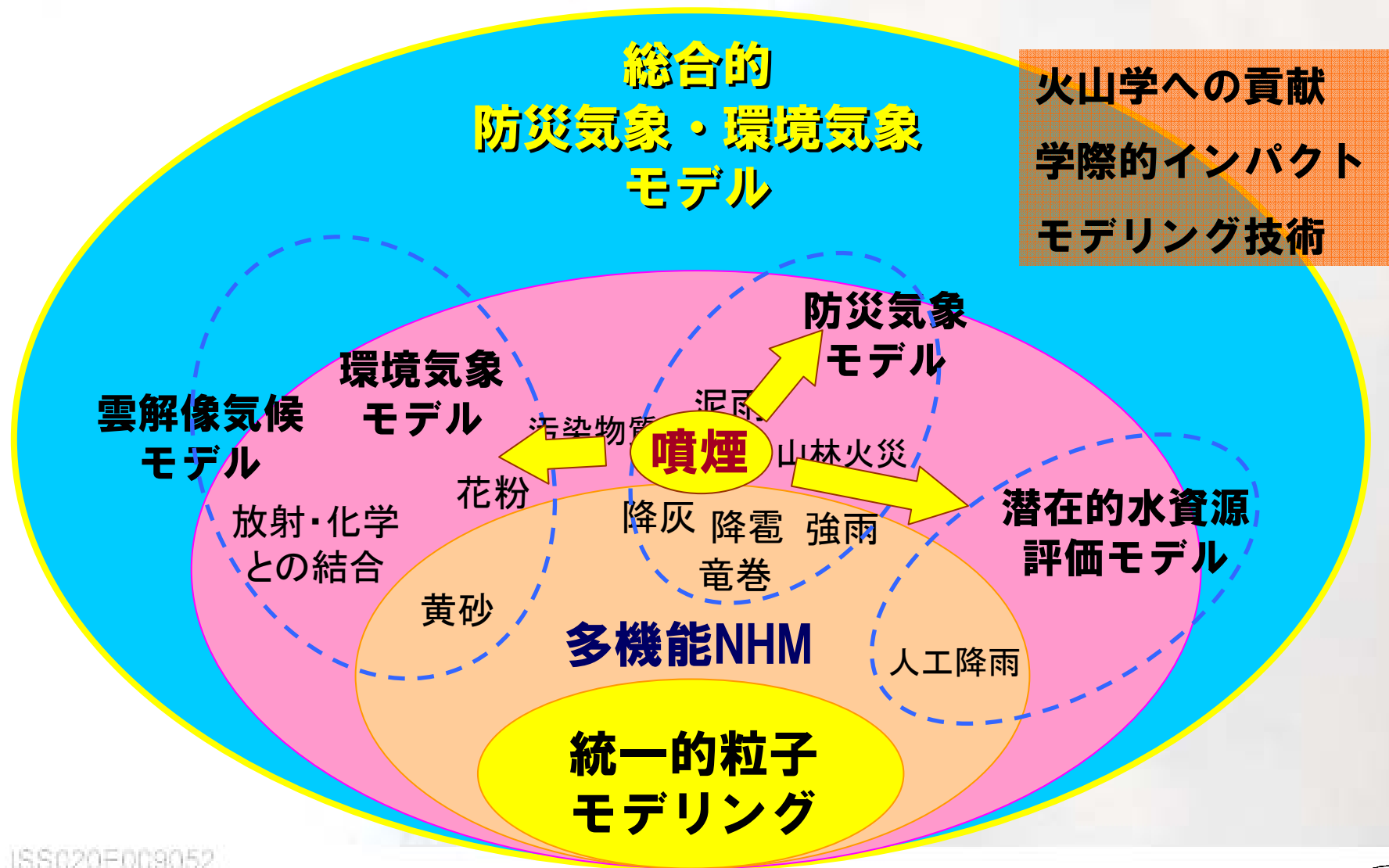
降灰予測モデルに対して

1. レファレンスモデルとして利用
2. 有用なパラメータの探索

噴煙モデル開発

気象庁非静力学モデルを基礎とする

大気中浮遊粒子（火山灰・雲・雨）の統一的モデリング

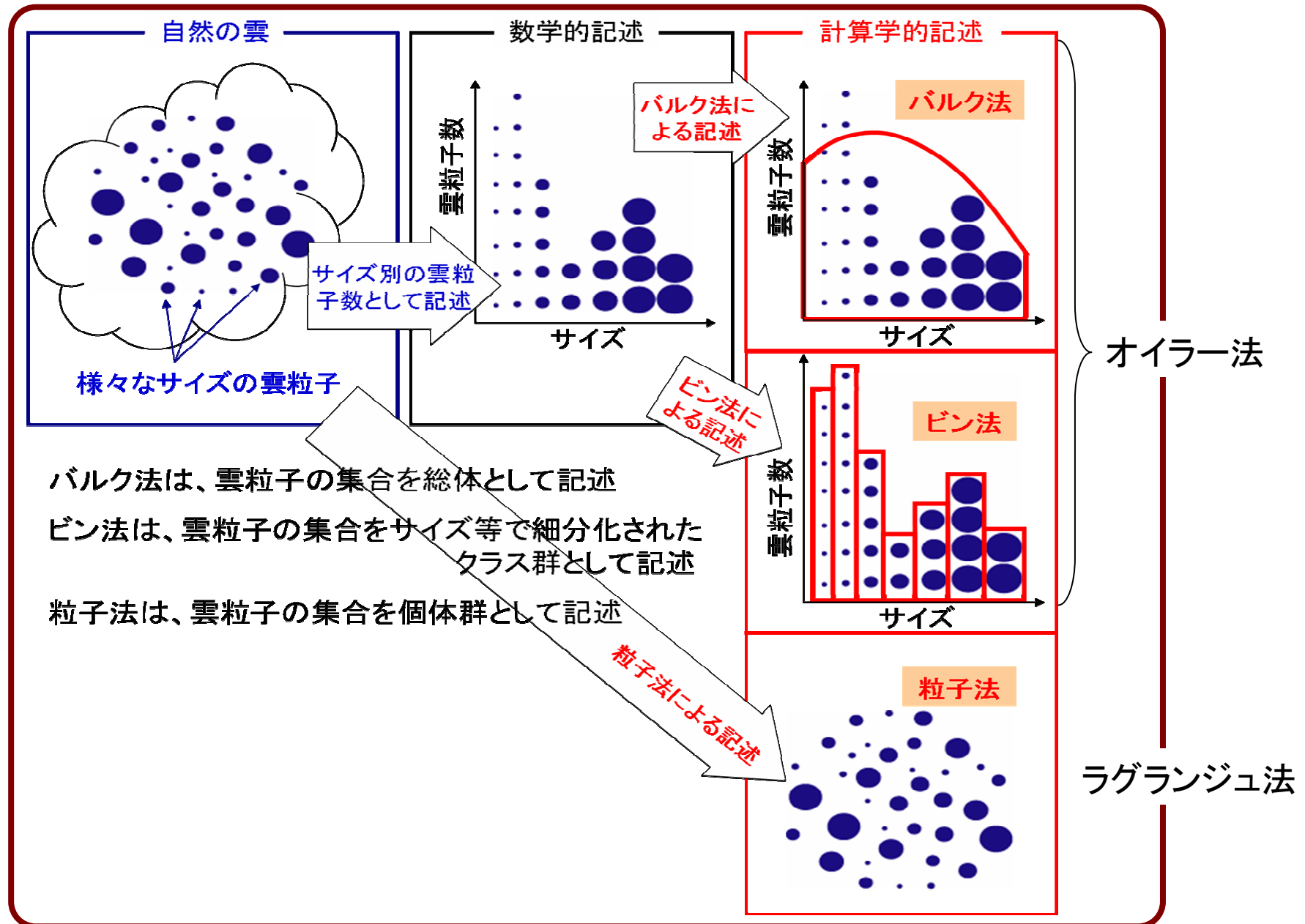


ISS020E009052

気象庁非静力学モデル

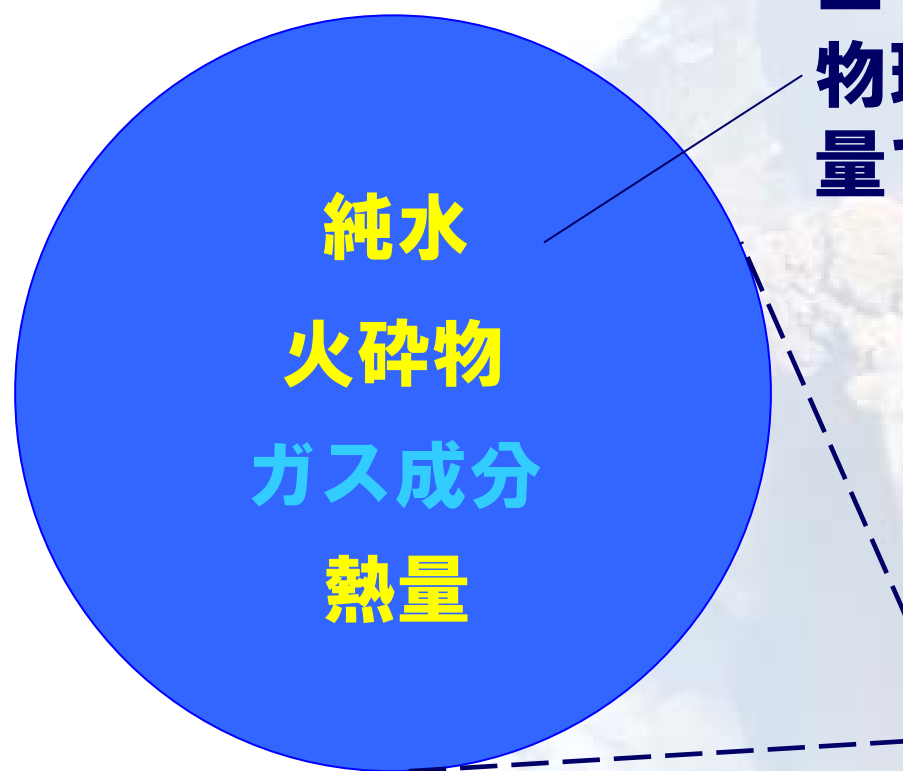


浮遊粒子のモデリングの基礎



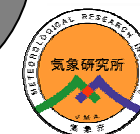
浮遊粒子の物理特性の記述

エアロゾル・雲・降水粒子の
物理特性を純水・火砕物・熱
量で記述



ISS020E009052

様々な問題にシームレスな応用



力学・熱力学に関する方程式

$$\frac{\partial(\rho u^i)}{\partial t} + \nabla_j(\rho u^i u^j) - u^i PRC + (\nabla p')^i + \left(\sigma \cdot g \frac{p'}{C_m^2} \right) \delta^i + 2\rho \varepsilon^{ijk} \Omega_j u_k = \rho DIF(u^i) \quad \text{運動量}$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = C_m^2 \left\{ -\nabla_i(\rho u^i) + PRC + \frac{\rho}{\theta_m} \frac{\partial \theta_m}{\partial t} \right\} \quad \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla_i(\rho u^i) = PRC \right) \quad \text{圧力}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \left\{ \nabla_i(\rho u^i \theta) - \theta (\nabla_i(\rho u^i)) \right\} = \frac{1}{C_p \pi} \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right)_{prd} + DIF(\theta) \quad \text{温位}$$

$$p = \rho R_d T_m$$

混合気体の状態方程式

$$T_m = T \left\{ 1 + \left(\frac{M_d}{M_{H_2O}} - 1 \right) Q_v + \left(\frac{M_d}{M_{SO_2}} - 1 \right) Q_{SO_2} + \left(\frac{M_d}{M_{H_2S}} - 1 \right) Q_{H_2S} \right\} \times \left(1 + \sum Q_n \right)^{-1}$$

$n = \text{Tephra}, H_2O, CO_2, SO_2, \text{Cloud}, \text{Rain}, \text{Ice crystal}, \text{Snow}, \text{Graupel}$

物質

浮遊粒子に関する方程式

$$\frac{\partial Q_n}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \left\{ \nabla_i (\rho u^i Q_n) - Q_n (\nabla_i (\rho u^i) - PRC) \right\} = \left(\frac{\partial Q_n}{\partial t} \right)_{prd} + DIF(Q_n) \quad \text{気体・液体・固体の混合比}$$
$$\frac{\partial N_n}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \left\{ \nabla_i (\rho u^i N_n) - N_n (\nabla_i (\rho u^i) - PRC) \right\} = \left(\frac{\partial N_n}{\partial t} \right)_{prd} + DIF(N_n) \quad \text{液体・固体粒子の数濃度}$$
$$\frac{\partial H_n}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \left\{ \nabla_i (\rho u^i H_n) - H_n (\nabla_i (\rho u^i) - PRC) \right\} = \left(\frac{\partial H_n}{\partial t} \right)_{prd} + DIF(H_n) \quad \text{火砕物の熱量}$$

$$H_n = C_n Q_n T_n$$

大氣物理過程

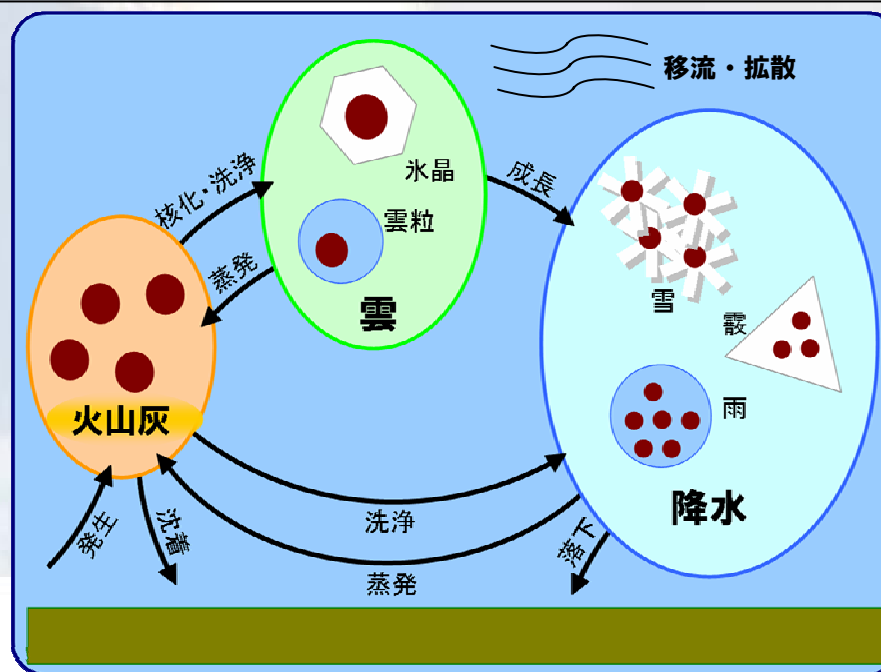
氣體 空氣 + 水蒸氣 + 二氧化碳 + 二硫化硫

液體 水滴：雲粒 ($\sim 10\mu\text{m}$) + 雨滴 ($\sim 1\text{mm}$)

固體 { 火山灰 (1.769gcm^{-3} , $\sim 200\mu\text{m}$)
冰粒子：冰晶 (0.15gcm^{-3} , $\sim 100\mu\text{m}$)
+ 雪片 (0.08gcm^{-3} , $\sim 1\text{mm}$)
+ 霰 (0.30gcm^{-3} , $\sim 1\text{mm}$)

相變化 { 水蒸氣 $\leftrightarrow$ 水滴
水蒸氣 $\leftrightarrow$ 冰粒子
水滴 $\leftrightarrow$ 冰粒子

相互作用 { 水滴 $\leftrightarrow$ 水滴
冰粒子 $\leftrightarrow$ 冰粒子
水滴 $\leftrightarrow$ 冰粒子
火山灰 $\leftrightarrow$ 水滴
火山灰 $\leftrightarrow$ 冰粒子



気象研究所噴煙モデルの概要

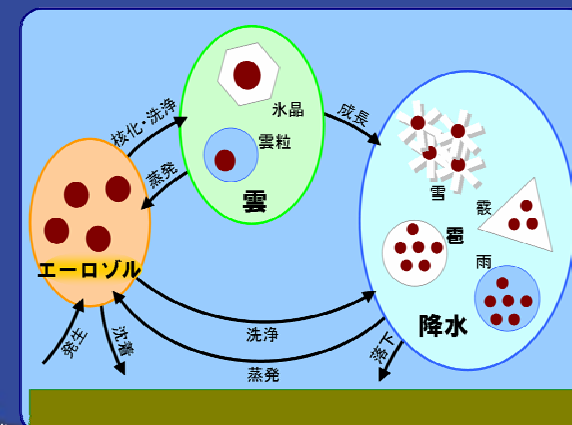
噴煙動態の力学的予測

大気と混合・加熱
浮力生成



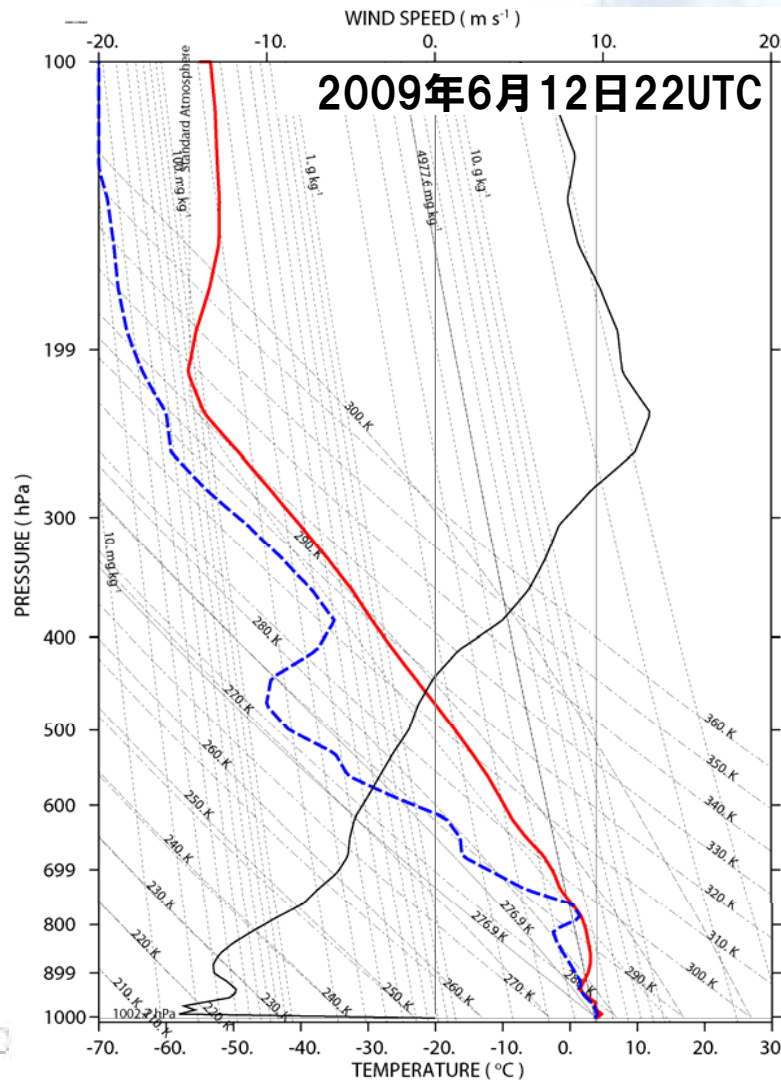
放出された水蒸気による
潜熱加熱

雲・降水と結合した
輸送・降灰過程

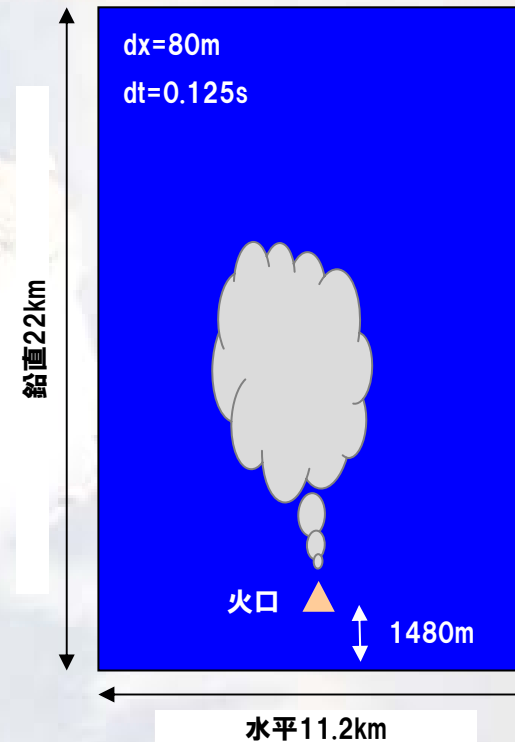


2次元噴煙シミュレーション Sarychev Peak

初期大気プロファイル



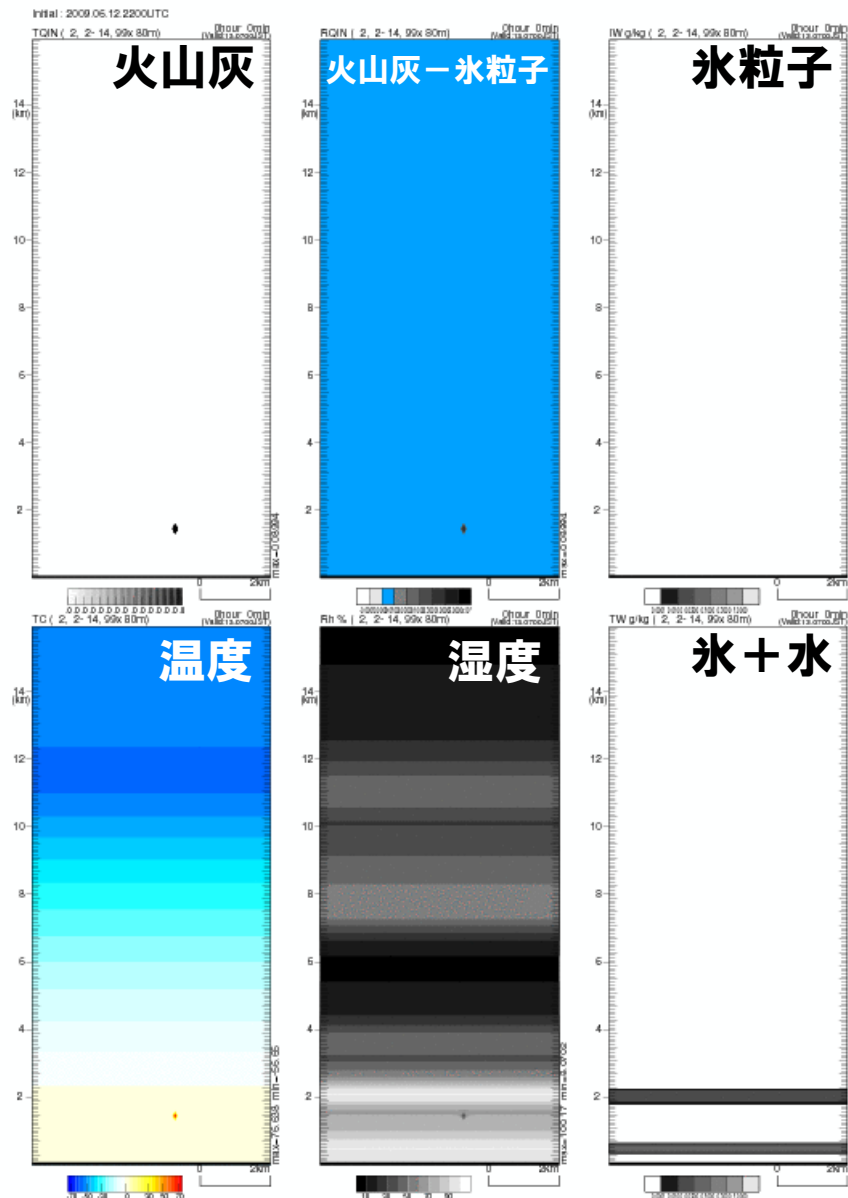
計算領域



噴出率：約 $7 \times 10^5 \text{ kg s}^{-1}$
 組成比：火山灰 100
 水蒸気 10
 二酸化炭素 1
 二酸化硫黄 1
 初期温度：1000K
 噴出速度：200 m s⁻¹

2次元噴煙シミュレーション Sarychev Peak

2009年6月12日221621UTC



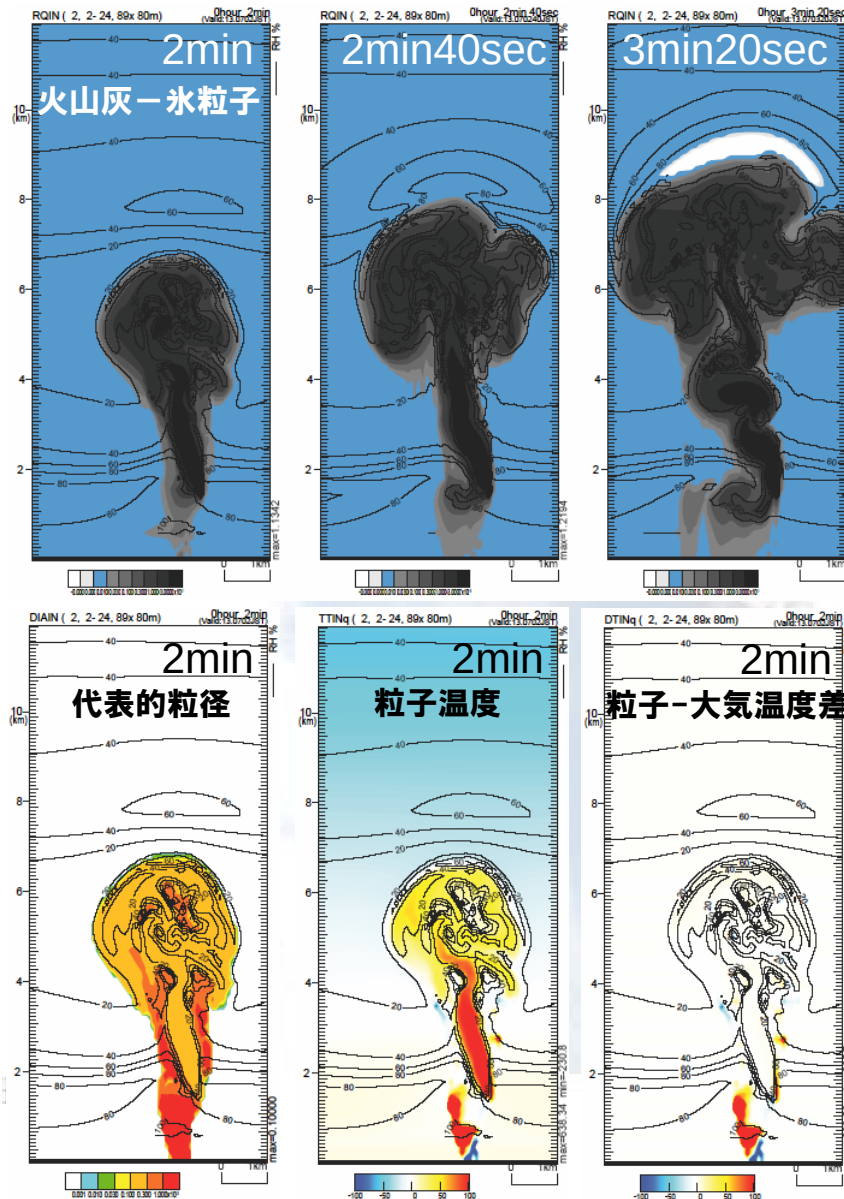
ISS020-E-9052

Image courtesy of the Image Science & Analysis Laboratory, NASA Johnson Space Center.



2次元噴煙シミュレーション Sarychev Peak

2009年6月12日221621UTC



ISS020-E-9052

Image courtesy of the Image Science & Analysis Laboratory, NASA Johnson Space Center.

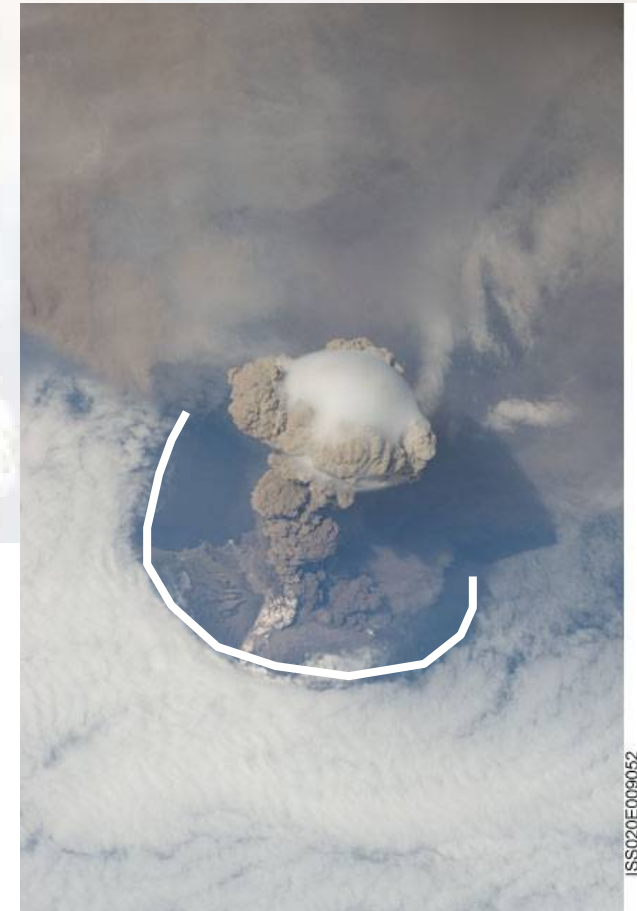
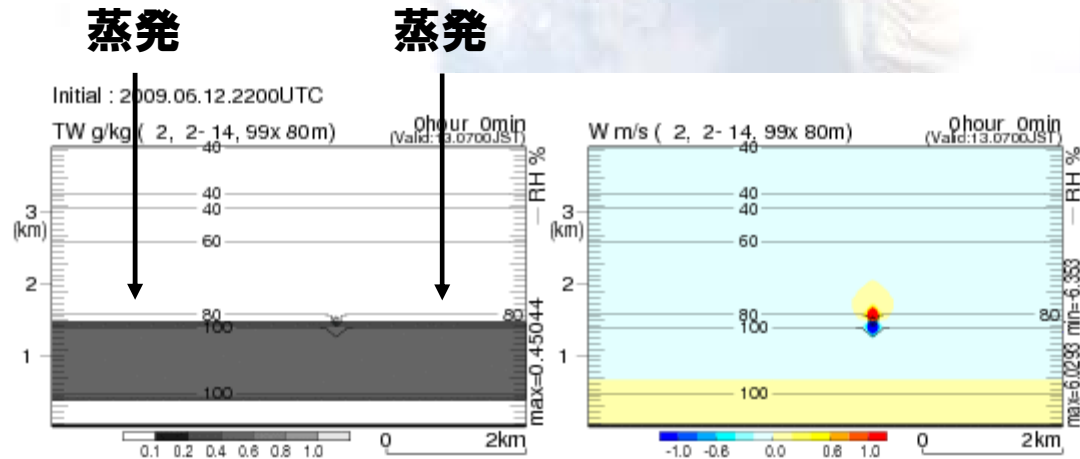


2次元噴煙シミュレーション Sarychev Peak

2009年6月12日221621UTC

噴煙周辺の晴天域の成因について

補償下降流による層状雲の消散



ISS020E0009052

まとめ

1. 噴煙モデル開発

噴煙動態の力学的予測

水の相変化・粒子の熱力学を含む噴煙動態の総合的理解

曇天・雨天時

2. 頭巾雲の成因

噴煙上部大気の強制上昇による雲粒子生成

3. 噴煙周辺の晴天域の可能な成因として

補償下降流による層状雲の消散