

降下火山灰影響評価のための 噴煙柱の数値流体解析

電力中央研究所 地球工学研究所

○須藤 仁, 服部 康男, 土志田 潔

アドバンスソフト防災セミナー

2013.4.25

RI 電力中央研究所

© CRIEPI

1

RI 電力中央研究所

はじめに

電力中央研究所では、数値流体解析を用いた降下火山灰のハザード評価技術の開発を進めている。

本講演では、

- ◆ 数値流体解析を用いた降下火山灰のハザード評価技術の現状と課題
- ◆ 火山噴煙柱の数値流体解析(防災に係わる取組みの一例として)

について、その概要を紹介する。

© CRIEPI

2

電力中央研究所報告 研究報告N10028

<http://criepi.denken.or.jp/index.html>

数値流体解析を用いた降下火山灰のハザード評価技術の現状と課題

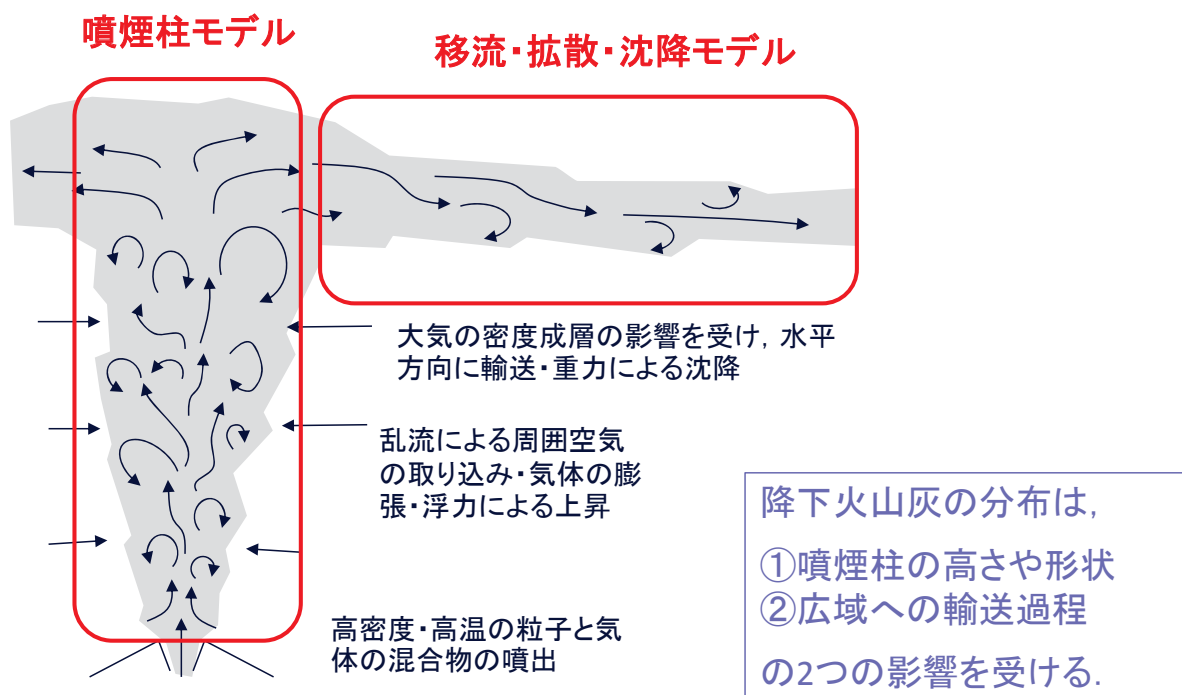
背景

- ◆ 火山噴火に伴い発生する降下火山灰(降灰)の影響の適切な評価と対策の実施は、電気事業における発電・流通設備の健全性確保のために重要である。
- ◆ 降下火山灰は広域に輸送され、電力施設に対して荷重、付着、侵入等を起因とする影響を及ぼすため、その量や頻度等に関するハザード評価が重要である。
- ◆ 降下火山灰の評価は、**地質調査等により降灰履歴を明らかにすることが基本**となるが、噴火規模・噴煙形状の多様性に起因して不足する情報を補うべく、近年、適用分野が広がりにつつある**数値流体解析等の新たな評価技術の開発**も望まれている。

目的

- ◆ 数値流体解析を用いた降下火山灰のハザード評価技術に関する調査結果を基に、その現状と今後取組みが望まれる課題を紹介する。

火山灰の輸送過程の概略と解析モデルの対象領域



既存の解析モデルの特徴

対象	噴煙柱		火山灰の移流・拡散・沈降	
モデル	一次元モデル	多次元・非定常モデル	オイラータイプ ^{注1)}	ラグランジアンタイプ ^{注2)}
主な仮定	<ul style="list-style-type: none"> 混合物の一流体近似 流れの軸対象性・自己相似性 	<ul style="list-style-type: none"> 混合物の一流体近似 混合物の多流体近似 	<ul style="list-style-type: none"> 水平方向移流 プラントル仮説 (渦拡散係数) 	<ul style="list-style-type: none"> 水平方向移流 プラントル仮説 (渦拡散係数)
評価可能な現象	<ul style="list-style-type: none"> 強制プルーム型の噴煙柱 	<ul style="list-style-type: none"> 強制プルーム型の噴煙柱 横風を受ける噴煙柱 噴煙柱の部分的な崩壊により発生する火砕流等 	<ul style="list-style-type: none"> 地表面での火山灰堆積 	<ul style="list-style-type: none"> 大気中の火山灰輸送

注1) オイラータイプ: 任意位置を通過する火山灰の量の変化を捉える手法を採用したもの。

注2) ラグランジアンタイプ: 火山灰粒子あるいはその集合体の運動を追跡する手法を採用したもの。

© CRIEPI

現状の解析モデルが抱える技術的課題(例)

— 噴煙柱モデル(多次元非定常モデル)に関する事項 —

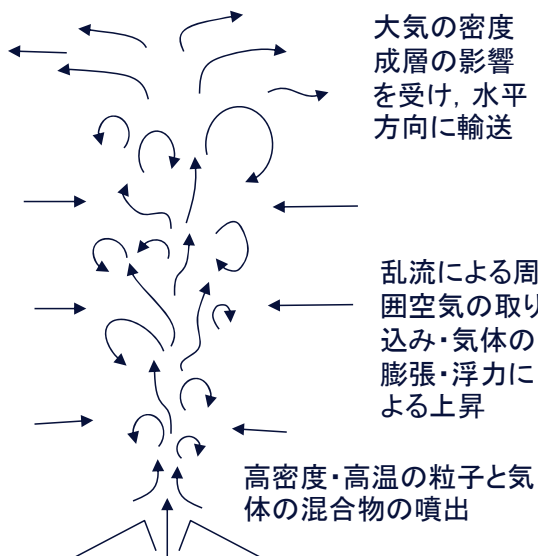


図 噴煙柱のイメージ

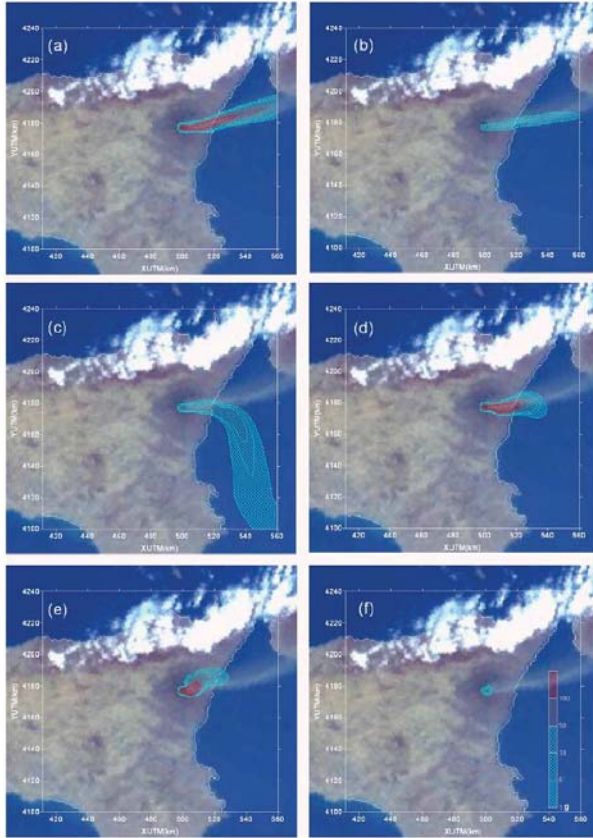
噴煙柱内部の運動における要素モデルの適用性の検証・高度化

例えば、噴煙柱内部の運動における素過程として

- ・気体の応力・熱拡散(乱流効果)
- ・粒子間の抗力・熱伝達
- ・気体-粒子間の抗力・熱伝達 など

現状の解析モデルが抱える技術的課題(例)

— 移流・拡散・沈降モデルに関する事項 —



境界条件の設定方法の精緻化
特に、噴煙柱パラメータ(噴出量・粒径分布)の鉛直分布の取り込み。

図 火山灰粒子直径別の降灰の移流・拡散挙動(衛星データ)(Barsotti et al. 2008)

粒子直径が降灰分布に強い影響を持つ。粒子直径の鉛直分布の正確な見積もりが必須であることがわかる。

© CRIEPI

既存の解析モデルの問題点

対象	噴煙柱		火山灰の移流・拡散・沈降	
モデル	一次元モデル	多次元・非定常モデル	オイラータイプ	ラグランジアンタイプ
問題点 (個別)		<ul style="list-style-type: none"> 要素モデルの適用性 	<ul style="list-style-type: none"> 複雑地形場での精度低下 普遍的な拡散係数の設定 噴煙柱モデルとの連携 	
問題点 (共通)	<ul style="list-style-type: none"> 火山灰の非球形効果 火山灰粒子の凝集 		<ul style="list-style-type: none"> 降雨による効果 気象場の再現性 	

電力中央研究所報告 研究報告N12003

<http://criepi.denken.or.jp/index.html>

火山噴煙柱の数値流体解析

-噴煙形状に及ぼす乱流モデルの影響評価-

背景

◆ 爆発的な噴火に伴う噴煙の運動

➤ 乱流

→ その運動様式(噴煙柱, 火砕流等)を決定づける重要な要素の一つ



(USGS Cascades Volcano Observatory, 1980)

◆ 近年における噴煙柱LES※コードの開発

(例えば, Neri et al. 2007, Suzuki and Koyaguchi 2010)

➤ 気体と火砕物に対するSGS(Sub-grid scale)乱流のモデリングについては不明な点も

※Large-eddy simulationの略. 非定常流動解析手法の一種で, 解析格子のスケールよりも小さい(サブグリッドスケール, SGS)乱流成分のみをモデル化するもの.

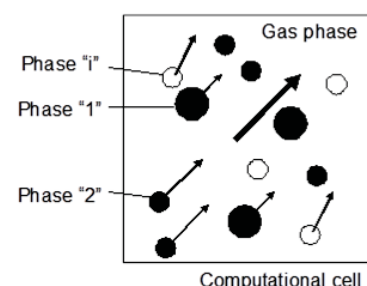
目的

- ◆ 多様な噴煙形状を再現するための噴煙柱のLES解析コードを構築
- ◆ 単純な流動場を対象とした解析と実験との対比
 - コードの妥当性の検証
- ◆ 二種類のSGS乱流モデルを用いた火山噴煙柱の解析結果
 - 噴煙柱形状に及ぼすSGS乱流モデルの影響を調査

計算手法

- Neri et al. (2007) のモデル概念の採用
 - ← 気体成分と様々な粒径の火砕物を複数の相に分類する多流体近似
 - ← SGS応力等をモデルにより表現するLES
 - ← その他, 相間の抗力・熱伝達および粒子相の応力等に関わるサブモデルを併用

- オープンソースコードの利用
 - ← FrontFlow/red (Ver.3.0)



計算手法

乱流の表現

← 気体相のSGSモデル:

Smagorinskyモデル (SM) ... 一般に広く利用

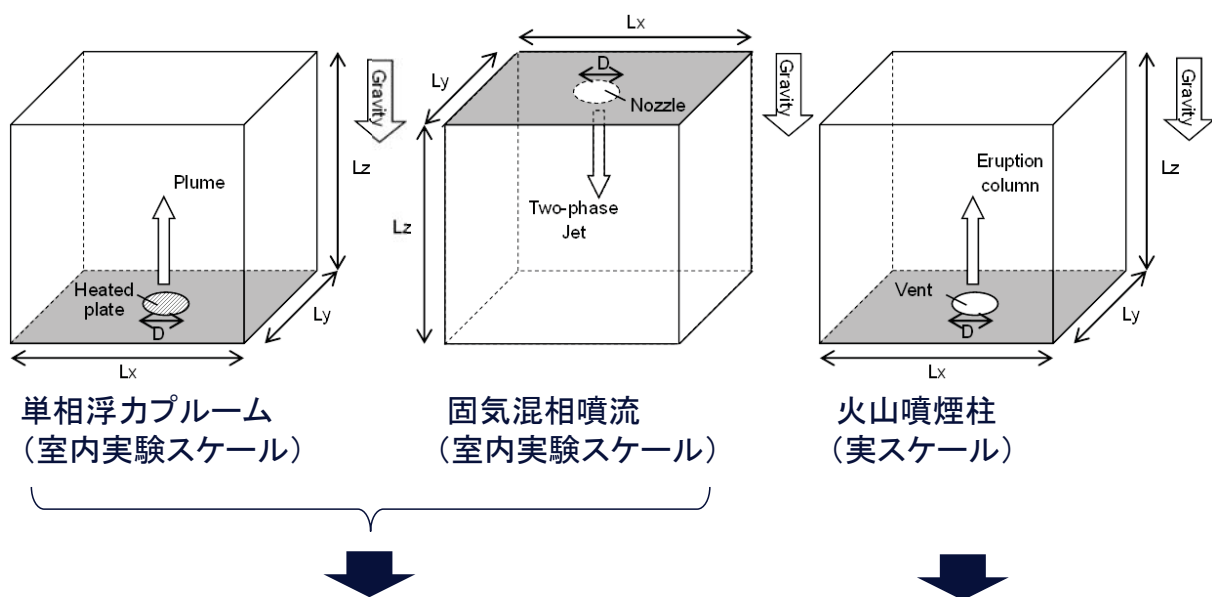
Yuuモデル (YM) ... SGS抗力の影響を加味

← 粒子相のSGSモデル:

Hinze の提案式 (HM)

... 粒子と気流の時間スケールを考慮

計算対象



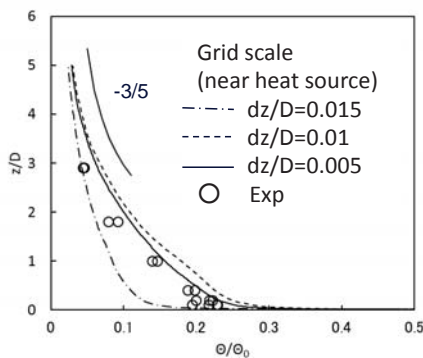
①コードの妥当性の検証

①コードの妥当性の検証
②SGSモデルの影響調査

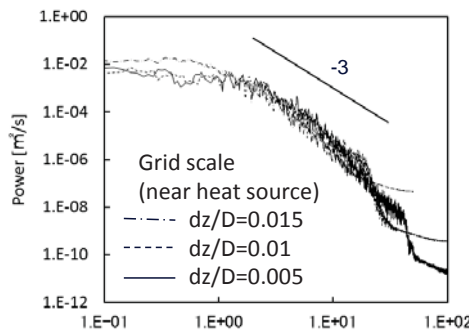
計算ケース

- 単相浮カプルーム
 - 格子サイズのみ変えた3ケース
 - $dz_{min}/D=0.05-0.15$ (鉛直)
 - $dx_{min}/D=0.033-0.067$ (水平)
 - その他条件を固定
 - 乱流モデル: SM
- 固気混相噴流
 - SGS乱流モデルを変えた2ケース
 - SMのみ, YM + HM
 - その他条件を固定
- 火山噴煙柱
 - 噴出速度とSGS乱流モデルを変えた4ケース
 - 噴出速度: 200, 100 and 50 m/s
 - SGS乱流モデル: SMのみ, YM + HM
 - その他条件を固定

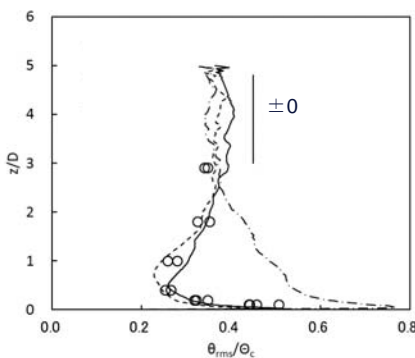
解析の妥当性(単相浮カプルーム)



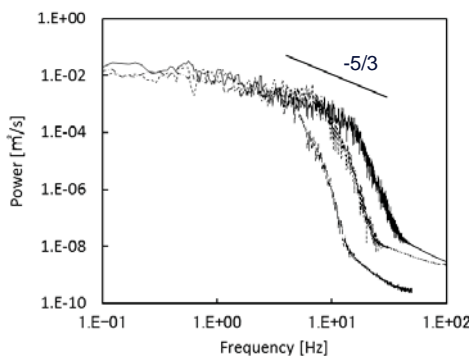
中心軸上の平均温度



(a) $z/D=0.5$



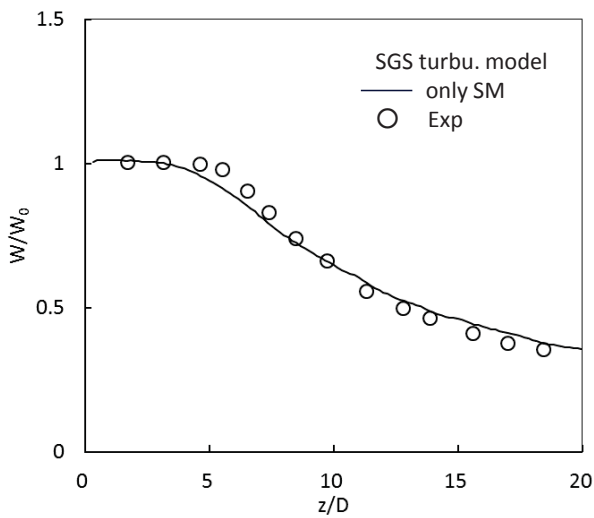
中心軸上の温度の変動強さ



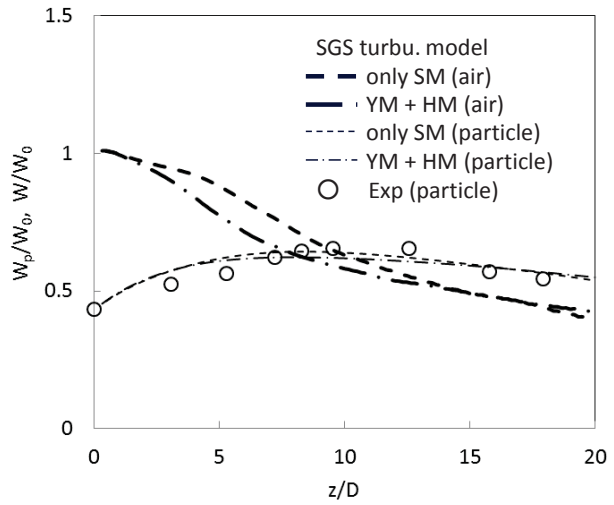
(b) $z/D=4.0$
中心軸上速度のパワースペクトル

主要なスペクトル帯域を捉えた格子系を用いれば、本コードにより浮カ上昇流を良好に再現できる。

解析の妥当性(固気混相/单相噴流)



(a) 单相噴流

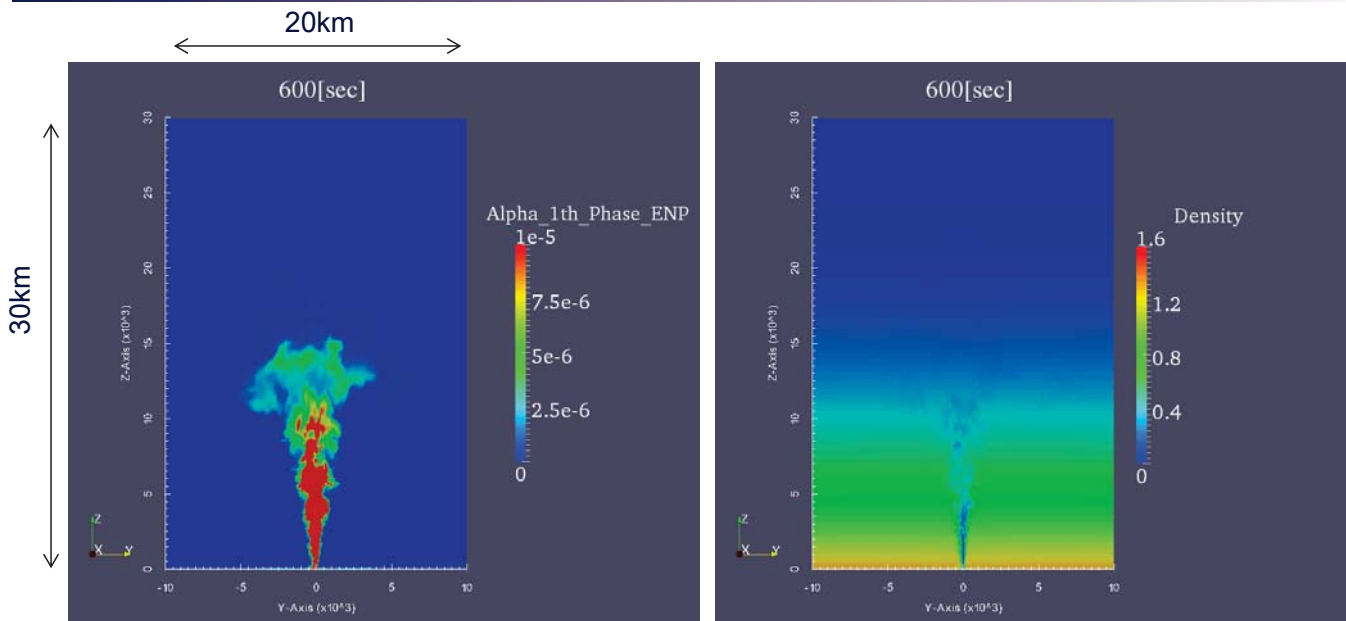


(b) 固気混相流

図 中心軸上の平均速度の鉛直分布

固気混相噴流の速度場も概ね再現可能.

解析の妥当性(噴煙柱)



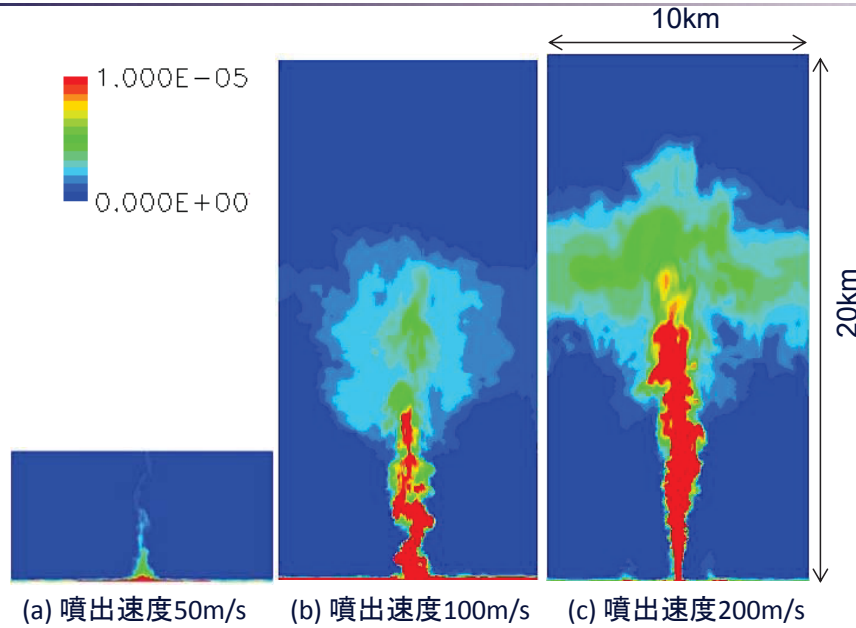
(a) 粒子濃度 (粒子相1)

(b) 密度 (気体相)

図 断面分布の時間変化 (噴出速度200m/s, Smagorinsky)
(噴出物の温度: 1000K, 噴出物における気体の質量分率0.03)

噴煙柱の構造を再現.

解析の妥当性(噴煙柱)



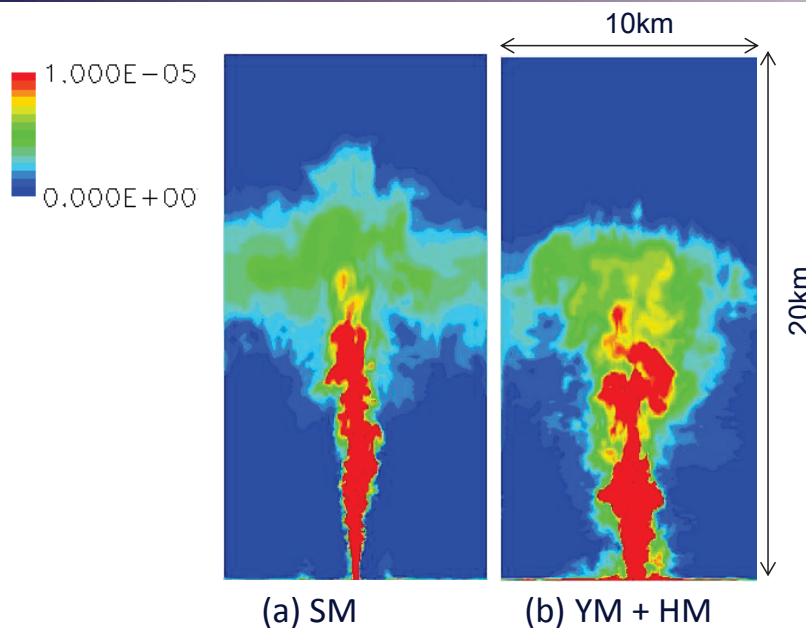
(a) 噴出速度50m/s (b) 噴出速度100m/s (c) 噴出速度200m/s

図 瞬時の粒子濃度の断面分布

(噴出物の温度: 1000K, SGS乱流モデル: SM)

- ・噴出速度が小さいほど, 噴煙柱の高度は低い.
- ・噴出速度50m/sでは, 噴煙形状が火砕流に変化.
- ・これらの変化は, 既存の他のモデル結果と整合.

SGS乱流モデルの影響



(a) SM

(b) YM + HM

図 瞬時の粒子濃度の断面分布

(噴出物の温度: 1000K, 噴出速度: 200m/s)

SGSモデルの選択によって噴煙柱の形状が変化.

SGS乱流モデルの影響

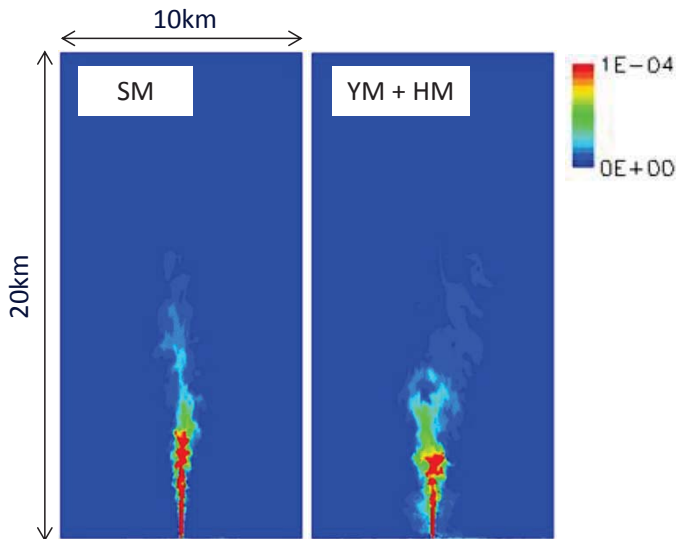


図 瞬時の粒子濃度の断面分布
(噴出物の温度：1000K, 噴出速度：200m/s)

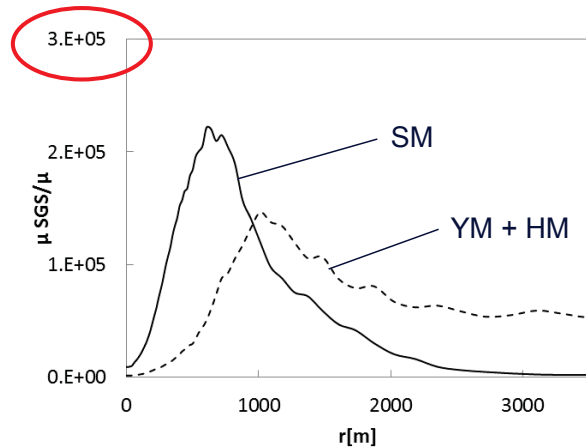


図 SGS/GS粘性係数比の半径方向分布
(気体相, $z=3,000[m]$)

粘性係数比が非常に大きい → 乱流中の粘性効果がSGS乱流モデルに強く依存
粘性係数の違いで構造変化 → 噴煙形状は乱流粘性に対して敏感

まとめ

- ◆ 一定の格子条件の下において、本解析は単純体系の実験、火山噴煙柱の構造や噴出条件に応じて変化する現象を捉えられる。
- ◆ SGS/GS粘性係数比が非常に大きくなる実規模の噴煙柱体系においては、SGS乱流モデルの選択が噴煙柱形状に影響を及ぼす。

噴煙柱に適したSGS乱流モデルの選定・開発等は、今後の課題である。

おわりに

本講演では、

- ◆ 数値流体解析を用いた降下火山灰のハザード評価技術の現状と課題
- ◆ (防災に係わる取組みの一例として) 火山噴煙柱の数値流体解析

について、その概要を紹介した。

火山噴煙柱の数値流体解析では、アドバンスソフト(株)の関係各位にご助言・ご助力を頂いた。

本研究では、文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発」プロジェクトによる成果を利用している。

ここに深謝致します。