

機関番号：12601

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20710137

研究課題名 (和文) 火山噴煙の非定常3次元数値モデルの構築と  
防災利用に向けた簡易モデルの提案研究課題名 (英文) Developments of the 3-D numerical model and the simplified  
model of the eruption cloud dynamics

研究代表者

鈴木 雄治郎 (SUZUKI YUJIRO)

東京大学・地震研究所・特任助教

研究者番号：30392939

研究成果の概要 (和文)：爆発的な火山噴火では火山灰と火山ガスからなる噴煙が大気中へと放出される。本研究では、噴火の強さと噴煙高度の関係、及び、噴火の強さと火砕流の発生条件を3次元数値シミュレーションによって求めた。また、その結果を基に、大規模計算を行わなくても簡易に噴煙高度や火砕流発生条件を見積もれる1次元解析モデルを改良することに成功した。

研究成果の概要 (英文)：During explosive volcanic eruptions, a mixture of volcanic ash and gases is ejected from the volcanic vent into the atmosphere. In this study, I have developed a 3-D numerical model of the eruption cloud dynamics and estimated the relationship between the explosive intensity and the column height and the column collapse condition. On the basis of the 3-D simulation results, I have suggested a simplified model which predicts the column height and the column collapse condition.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：火山噴火

## 1. 研究開始当初の背景

爆発的な火山噴火では、噴煙柱や火砕流といった噴煙ダイナミクスが特徴的である。噴煙の最高高度や半径の拡大速度は噴火の強さの指標になるため、それらの関係を求めることは火山学上のみならず防災上も最重要課題として挙げられている。

噴煙ダイナミクスを理解するために、これまでには1次元モデルが提案されており、その定性的理解がされていた。また、最近では噴煙の3次元数値モデルが提案され、乱流混合

の3次元的構造が噴煙ダイナミクスを大きく支配することが明らかになってきた。しかし、まだ計算精度が低いため実際の噴煙の観測と計算結果を比較したり、噴火強度と噴煙高度の関係を定量的に議論するに至っていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、実際の噴煙挙動と定量的に比較可能な3次元数値モデルを構築することを目的とする。そのため、噴煙ダイナミクス

を主に支配すると考えられる乱流混合を正確に再現するため、空間分解能が高いモデルを構築し、大規模計算機で高速かつ効率的に計算できるプログラムの開発をする。

また、防災上の利用を想定し、大規模な数値シミュレーションを行わなくとも噴煙高度や火砕流の発生条件を推定することができる単純なモデルの構築を目指す。

### 3. 研究の方法

#### (1) 3次元モデルの開発

高精度かつ広い計算領域のシミュレーションを行うため、数値コードの改良を行う。具体的には、一般座標系を導入することで、火口付近の細かな乱流構造を再現するとともに、広範囲に広がる噴煙の挙動を再現できるようにする。また、並列計算のチューニングを行い、高速でシミュレーションが実行できるようにする。

#### (2) 3次元計算結果とピナツボ噴煙の比較

観測データが豊富なピナツボ火山の1991年噴火での噴煙高度・半径等を3次元シミュレーション結果と比較し、数値モデルの妥当性を検証する。

#### (3) 簡易モデルの構築

これまでに提案されている噴煙の定常1次元モデルにおいて、噴煙高度や火砕流発生条件を決定するには経験的に仮定しなければならない係数がある。そこで、3次元数値シミュレーションの結果を基に、その係数を決定する。

### 4. 研究成果

#### (1) 3次元モデルの開発

噴煙の3次元数値モデルに一般座標系を導入し、並列計算のチューニングを実施した。その結果、これまではグリッド格子数が10億個必要だった計算が1億個で実行可能となった。これは、計算量が単純に10分の1になるだけでなく、計算効率も上がるため、実行時間は数10分の1まで減少した。

噴火強度が大きい噴火では、流れの最小長さスケール(火口半径など)と最大長さスケール(噴煙高度など)の差が小さいため、これまで用いていた単一格子サイズで計算することができた。しかし、噴火強度が小さい噴火では、それらスケールの差が大きいため、これまでの計算コードでは再現することは計算量から実際上不可能だった。一般座標系を用いることで、噴火強度(噴出率)がこれまでの1000分の1の噴火まで再現できるようになった(図1)。

さらに、火山噴煙内における乱流構造を世界で初めて再現することができた(図2)。このように、噴煙ダイナミクスに最も重要な役

割を果たすと考えられている乱流について正しく再現できる唯一の数値コードと見え、近年増加している噴煙シミュレーションの中でも他の追随を許していない。

この数値モデルは火山灰が噴煙から分離する効果を見逃している。今後は、そのような効果をいれることで、降灰分布の推定・予測ができるモデルへと発展することが期待される。

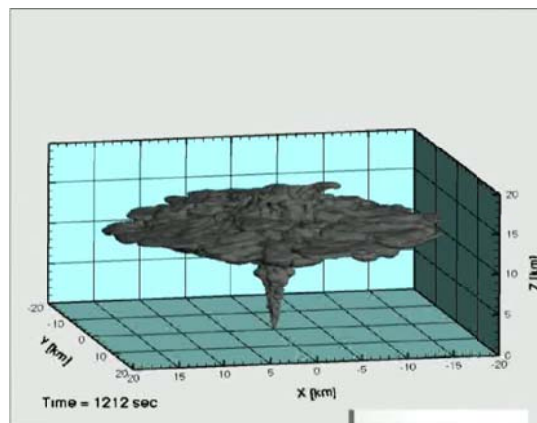


図1：小規模噴煙の3次元計算結果

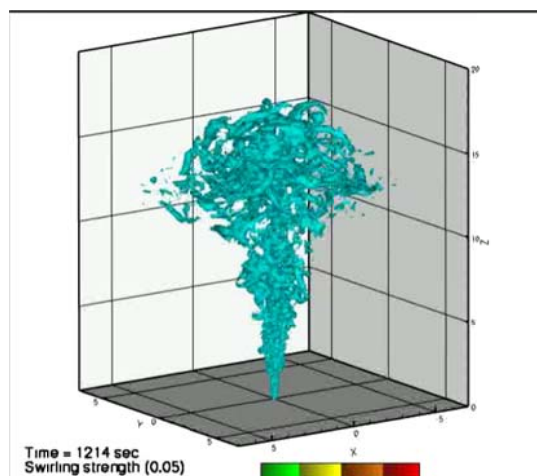


図2：3次元計算に基づく噴煙内部の渦構造

(2) 3次元計算結果とピナツボ噴煙の比較

1991年のピナツボ噴火で得られた噴煙高度・半径データを3次元計算結果と比較した。その結果、噴煙最高高度、水平に拡大する傘型噴煙の高度、半径拡大率など、3次元計算は観測データを定量的に非常に正しく再現することができた(図3)。これは、観測データを定量的に再現することができた世界で初めての噴煙シミュレーションであり、今後の噴煙モデルの基準になると位置づけられる。

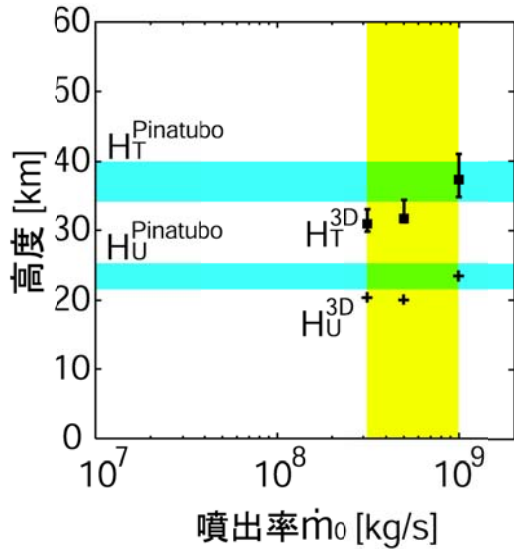


図3：ピナツボ噴煙の観測データ(水色と黄色の重複領域)と3次元計算結果(プロット)の比較。

(3) 簡易モデルの構築

3次元モデルでのパラメータスタディを行い、エントレインメント係数と呼ばれる噴煙の定常1次元モデルで経験的に仮定しなければならない係数を求めた。その結果、噴煙高度を求める場合には0.10、火砕流の発生条件を求める場合には0.07が適切な値であることを明らかにした(図4, 5)。これまでの簡易モデルでは、噴煙高度・火砕流発生条件ともに0.10という値を仮定していたが、3次元計算の結果は噴煙下部と上部のダイナミクスによってエントレインメント係数が変化することを初めて示唆した。

また、エントレインメント係数の高さによる変化を実証するために、高精度の噴煙柱大規模シミュレーションを行い、エントレインメント係数を高さの関数として求めることに世界で初めて成功した。計算の結果、一般的な乱流ジェットや乱流プルームとは異なり、噴煙内部ではエントレインメント係数が大きく変化することを明らかにした。特に、火口付近では非常に小さな値を取り、火口付近のダイナミクスが影響する火砕流発生条件から求めたエントレインメント係数が小

さいことと整合的である。

噴煙高度や火砕流発生条件に加え、傘型噴煙の拡大を予測することは、航空安全上で強く求められている。噴火から短時間のうちに予測できる簡易モデルが必須で、それに必要な係数(フルード数)の決定が次の発展として期待される。

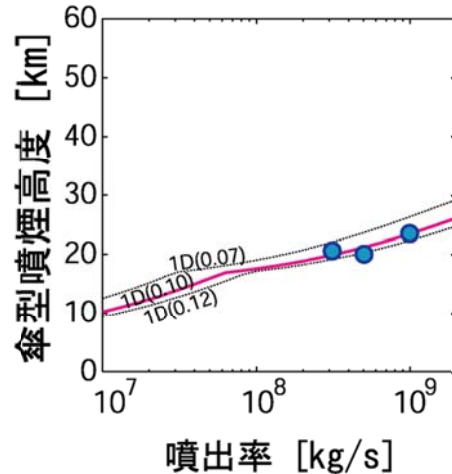


図4：噴出率と噴煙高度の関係から求めた実効的なエントレインメント係数の値。

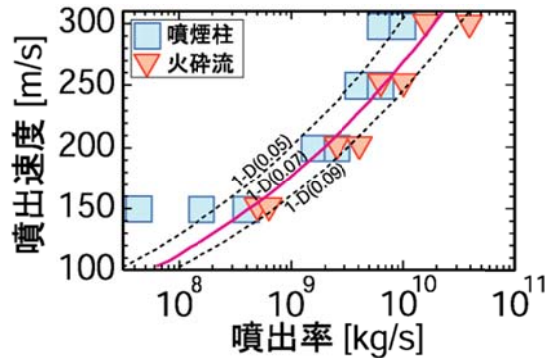


図5：火砕流の発生条件から求めた実効的なエントレインメント係数の値。

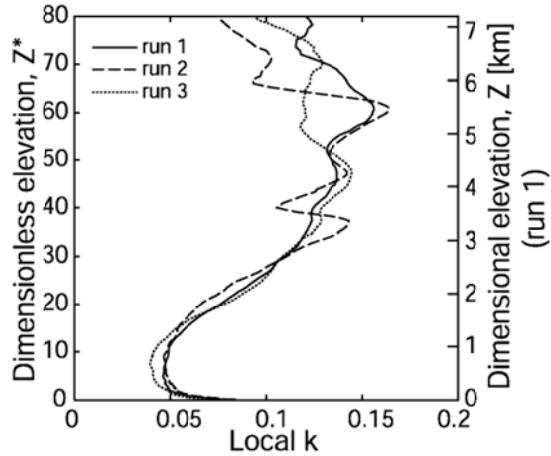


図6：3次元計算に基づき求めた、各高度における噴煙内部の局所的なエントレインメント係数のプロファイル。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① Yujiro Suzuki, Takehiro Koyaguchi, Numerical determination of the efficiency of entrainment in volcanic eruption columns, Geophysical Research Letter, 査読有, 37巻, 2010, L05302
- ② Takehiro Koyaguchi, Yujiro Suzuki, Tomofumi Kozono, Effects of the crater on eruption column dynamics, Journal of Geophysical Research, 査読有, 115巻, 2010, B07205
- ③ Yujiro Suzuki, Takehiro Koyaguchi, A three-dimensional numerical simulation of spreading umbrella clouds, Journal of Geophysical Research, 査読有, 37巻, 2009, B03209
- ④ Takehiro Koyaguchi, Kiyokatsu Ochiai, Yujiro Suzuki, The effect of intensity of turbulence in umbrella cloud on tephra dispersion during explosive volcanic eruptions: Experimental and numerical approaches, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 査読有, 186巻, 2009, 68-78
- ⑤ 鈴木雄治郎, 小屋口剛博, 爆発的噴火の非定常3次元噴煙シミュレーションに基づく火口周辺の堆積作用の検討, 月刊地球, 査読無, 31巻, 2009, 7-12

[学会発表] (計6件)

- ① Yujiro Suzuki, 3-D numerical simulations of eruption clouds: flow regimes at the column collapse condition, Cities on Volcanoes 6<sup>th</sup>, 2010年5月31日, スペイン・テネリフェ
- ② 鈴木雄治郎, 中規模火山噴煙の数値シミュレーション: 噴煙の内部構造と乱流混合, 日本地球惑星科学連合2009年大会, 2009年5月17日, 千葉・幕張メッセ
- ③ Yujiro Suzuki, Numerical determination of the efficiency of entrainment in volcanic eruption columns, AGU Fall Meeting, 2009年12月16日, サンフランシスコ・Moscone Convention Center
- ④ 鈴木雄治郎, 火山噴煙の3次元モデルによる数値実験: 噴煙柱の乱流混合効率, 日本地球惑星科学連合2008年大会, 2008年5月27日, 千葉・幕張メッセ
- ⑤ Yujiro Suzuki, Spatial variation of efficiency of turbulent mixing in eruption columns, IAVCEI 2008 General Assembly, 2008年8月19日, アイスラ

ンド・アイスランド大学

- ⑥ 鈴木雄治郎, 火山噴煙柱における物理量プロファイル変化とその乱流混合効率への影響, 日本火山学会2008年秋季大会, 2008年10月11日, 盛岡・岩手大学

[図書] (計2件)

- ① 井田喜明, 他, 東京大学出版会, 火山爆発に迫る, 2009, pp.142-150
- ② 小柳義夫, 他, 丸善, 計算力学シミュレーションハンドブック, 2009, pp.45-51

[その他]

ホームページ等

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/yujiro/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 雄治郎 (SUZUKI YUJIRO)  
東京大学・地震研究所・特任助教  
研究者番号: 30392939

(2) 研究分担者

( )  
研究者番号:

(3) 連携研究者

小屋口 剛博 (KOYAGUCHI TAKEHIRO)  
東京大学・地震研究所・教授  
研究者番号: 80178384