

〈県学生科学賞 県知事賞〉日本学生科学賞 環境大臣賞

# 1 「富士火山溶岩流シミュレーション」

## 新富士火山溶岩流の再現及びモデル溶岩による溶岩流シミュレーションとリアルタイムシミュレーションの研究

### 1 要旨、概略

地質図の分析、露頭調査、モデル溶岩による実験から新富士火山の溶岩流の再現を行いその結果を解析し、この結果を応用して将来起こりうる溶岩流をモデル溶岩流下実験によってシミュレーションした、さらに噴火状況のシナリオを作成して、リアルタイムシミュレーションを行った。今回の研究は、研究Ⅰ～研究Ⅶまで7つのセクションに分けて実施した

### 2 研究目的

東日本大震災をはじめとする災害において減災が重要視されている、富士火山においても、噴火活動に伴う溶岩流々出災害の可能性があり、減災に向け溶岩流の流下を迅速かつ明確にシミュレーションする方法を開発する。

### 3 研究方法

現状の溶岩流シミュレーションでは、その多くが数値シミュレーションによって行われている、この方法では、膨大な量の演算処理を必要とするため多くの時間を要してしまう、そこでより短時間にシミュレーションする方法として、溶岩流に代わる物質【でんぷん糊の水溶液＝モデル溶岩】を立体地形模型上で流下させることによって溶岩流を再現する方法を考え、シミュレーションした。

### 4 研究結果及び考察

#### (1) 研究Ⅰ 新富士火山期溶岩流の分布状況の分析

富士山溶岩流が過去どのような流下をしたかを地形図及び地質図から分析した。

この結果、富士市域では新富士火山旧期9、中期6、新期9の溶岩流があることが解ったが、地質図では溶岩流が重複している区域や火山性噴出物に覆われた部分が表れていない為、地質図上の分布域は溶岩流の全分布域ではなく、その多くが地質図上に表れていないことが解った。

#### (2) 研究Ⅱ 地図及び露頭調査による新富士溶岩流再現

地質図上に表れていない溶岩流の分布状況を A,溶岩流が重なり合っている区域、B,テフラに覆われた区域、C,噴出点が不明な区域に分け、山麓部から頂上部（火口部）に向けて順次再現した。

##### ア A 溶岩流が重なり合っている区域の再現

溶岩流の積層関係を調べる為に行った6ルート128カ所の露頭調査によって、地質図上に表れていない大淵溶岩と曾比奈Ⅰ溶岩が積層した露頭が発見できた、この事により地質図上の大淵溶岩の分布域以外の地点での大淵溶岩の存在が確認され、大淵溶岩の分布が地質図上の分布域よりも広範囲にわたることが発見できた。又地形的条件や分布状況からこの区域の旧期9中期4の溶岩流について再現を行った。

##### イ B,テフラに覆われた区域の再現

(ア)流下方向線設定及び流下傾向線からの再現

溶岩流が流下する方向を具体的に示すためでんぷん糊を傾斜板上で流下させた実験を行いその実験結果から、溶岩流の分布域の外縁線と、同標高の等高線の接点を結んだ線の中心点を結んだ線を「流下方向線」として、各溶岩流の再現図の流下方向線を作成し、この流下方向線の解析から、流下方向線にA~Eまでの連続した5つのパターン<sup>1</sup>の流下傾向を発見できた。

この線を「流下傾向線」として利用しテフラに覆われた区域の各溶岩流の流下方向を再現した。

(イ) でんぷん糊の水溶液(モデル溶岩)と溶岩流の共通性質の発見と分布幅と傾斜角度の関係式の発見から分布域の再現

溶岩流の流下幅と傾斜角度の関係を調べるため行った希釈率35%でんぷん糊水溶液を平面上で噴出させた実験の結果によるでんぷん糊水溶液の断面形状と、溶岩流の数値地図上の計測調査によって作成した溶岩流の断面形状が近似の形状を示した、このことからでんぷん糊の水溶液と計測調査した溶岩流のぬれ及び表面張力において同様の性質をもっていることが確認でき、でんぷん糊水溶液が溶岩流に代わるモデル溶岩として使用できると確認できた。

さらにこのモデル溶岩を傾斜をつけた板の上で流下させ、傾斜角度と溶岩流(モデル溶岩)の分布幅の規則性を求めた、その結果を解析し

$$wx = wa \times \frac{45.4 - 2.65 \cdot \theta x + 0.05 \cdot \theta x^2}{45.4 - 2.65 \cdot \theta a + 0.05 \cdot \theta a^2}$$

という傾斜角度の差から溶岩流の再現幅を求める式を導き出し、この式を用いて、各溶岩流のテフラに覆われた区域の各溶岩流の分布幅を算出し、旧期溶岩流9、中期溶岩流1の分布形状を再現した。

(ウ) C、噴出地点が不明な区域の再現

富士火山の山体成長の解析から下記の式を導き出し

$$hx = \sqrt{3375 \times 10^{-6} \left(1 - \frac{p}{100}\right) + 64 \times 10^{-6} + 1500}$$

この式を用いて各溶岩流のテフラに覆われた区域の再現図より各溶岩流の体積を求め、その体積の総量との各溶岩流の体積比から各溶岩流の溶岩噴出終了時の標高位置を算出し、各溶岩流の火口位置から標高2600メートルの位置までの分布形状を再現した。

A~Cの再現結果により、新富士火山旧期~中期の12の溶岩流についてその末端部から火口部までの分布域を完全再現することができた。

### (3)研究Ⅲ 富士市域溶岩流の流下形態及び性質の分類分析

各溶岩流の形態及び性質を、露頭調査、および再現分布図を分析することによって研究範囲の溶岩流の分類分析をした。

#### 岩相調査結果

A~Hの8ルート147地点257か所で特徴的な岩相を持つ露頭を発見し分類することができた、縄状溶岩63、トウ84、ローブ41、ブリストー31、ハンモック状パホイホイ2、スラブ状パホイホイ3、ラブリーアア27、カリフラワーアア6カ所であった。

このことから旧期および中期溶岩はパホイホイ溶岩、新期溶岩はアア溶岩に分類できた。

#### 積層関係調査結果

大淵溶岩、曾比奈溶岩I共に、同一溶岩による積層関係が確認できた、この積層関係の確認によって、「複層シートフロー」として流下したと分類できた。

又、他の溶岩流の流下形態についてはその流下状況及び形状から、「単層フロー」であったと推測することができた。

#### (4) 研究Ⅳ モデル溶岩による新富士火山溶岩流の再現

独自に作成した実験装置を使い、モデル溶岩を地形図から作製した5万分の1再現地形模型及び再現地形シート上で流下させ、新富士火山溶岩流の再現実験を行った。

##### 流下実験条件の設定

ここまでの研究結果から各溶岩流の性質及び形態別に条件設定し実験した。

複層シートフロー（大淵溶岩、曾比奈溶岩Ⅰ）単層フロー（旧期の曾比奈溶岩Ⅱ以降中期までの溶岩流）側火山単層フロー（新期溶岩流）

##### 各溶岩流のモデル溶岩噴出量の設定

モデル溶岩の再現実験の最初に行った大淵溶岩の噴出量を基に各溶岩の再現に必要なモデル溶岩の噴出量を設定。

$$\frac{\text{各溶岩流の推定体積}}{\text{大淵溶岩の推定体積}} \times \text{大淵溶岩再現に要したモデル溶岩量} = \text{各溶岩流 噴出設定量}$$

$$\frac{\text{各溶岩流の推定体積}}{2.7718 \text{ km}^3} \times 198 \text{ ml} = \text{各溶岩流 噴出設定量}$$

以上の設定で再現実験を行いその結果を解析した。

##### モデル溶岩による再現実験結果と図上再現の定量評価（再現実験結果解析）

モデル溶岩再現実験の分布状況と図上再現した分布状況を定量的に比較分析するため、図上の分布域の面積及びモデル溶岩実験の分布域の面積を計測し、分布域が重なり合っている部分、分布域から外れている部分、重なり合わなかった部分をそれぞれの面積を図上再現分布域の総面積で割り百分率にしたカバー率、オーバー率アンカバー率を求め、定量分析する方法を考案し、この方法によって解析した。

$$CV.R = \text{カバー率} \quad cv.r = \frac{c}{a} \times 10^2 \quad OV.R = \text{オーバー率} \quad ov.r = \frac{d}{a} \times 10^2$$

$$UN.R = \text{アンカバー率} \quad un.r = \frac{e}{a} \times 10^2$$

##### 複層シートフロー実験結果解析

大淵溶岩と、曾比奈溶岩の再現実験では（大淵溶岩W40°～E40°、曾比奈IW25°～E25°）このうち、W20°からE20°の間の9つの角度で流下させた分布域の合成域が図上再現図分布域とほぼ重なった、この分布域で大淵溶岩はカバー率90.31、オーバー率8.74、アンカバー率で9.84であり、曾比奈溶岩Ⅰでは、カバー率86.21、オーバー率8.97、アンカバー率で10.2という近似した結果となり、再現に成功した。

##### 複層フロー実験結果解析

曾比奈溶岩Ⅱ～中期溶岩の再現実験結果は、カバー率92.59%から70.45%、オーバー率4.83%から10.28%、アンカバー率が1.75%から11.41%と多少溶岩流によってばらつきがあるものの、7割から9割の精度で再現に成功した。

##### 側火山単層フロー実験結果解析

新期溶岩は側火山噴火によるものであるため、各溶岩流の噴出位置を再現地形立体模型上で特定し、モデル溶岩を流出させ実験を行った。

この結果、カバー率が60.46%から26.93%と6割から3割のカバー率でしかなく、正確に再現できなかった、再現できなかった理由としては旧期及び中期溶岩流の流下形態は流動性の大きなパホイホイ溶岩であることに対し新期溶岩流は流動性の乏しいアア溶岩の形態であったため、モデル溶岩の表面張力及びぬれの状況が異なっているため思うような再現結果が得られな

かったと考察される、

したがって、モデル溶岩流下実験はパホイホイ溶岩の再現において有効であり、アア溶岩については開発の余地がある。

#### (5) 研究V モデル溶岩による富士火山溶岩流のシミュレーション

モデル溶岩を地形図から作製した現在の地形の5万分の1立体地形模型上で頂上噴火口15の角度、標高2500m1500m1000mの43地点の側火山噴火口地点において流下させシミュレーション実験を実施しその結果を分析解析した結果、頂上噴火の実験結果ではA~Dの4つの流下パターンが発見でき、側火山噴火の実験結果ではA~Dのパターンの他にE~Gの3つのパターンが発見できた、このパターンは宝永火口や、富士山、愛鷹山山麓境界部の地形変化による流路変更などが要因であった。

溶岩流の流下到達時間の予測

モデル溶岩シミュレーション結果の動画を静止画処理して到達位置までの時間を計測しこの時間を5万倍に換算して到達時間の推測を行った。

#### (6) 研究VI シミュレーション結果から予測される災害の推測

モデル溶岩の流下シミュレーション結果の流下分布及び現地調査から、予測される災害の状況を、交通網の破壊による被害、送電施設の破壊による被害、森林火災延焼による被害について推測した。

その結果はいずれも、富士市域において溶岩流が流下した場合、国家レベルの甚大な被害が発生してしまうと推測された。

#### (7) 研究VII モデル溶岩による富士火山溶岩流リアルタイムシミュレーション

富士火山が実際に噴火した状況を想定して時系列のシナリオを作成し、シナリオに従ってモデル溶岩による流下実験（リアルタイムシミュレーション）を前兆期～溶岩流流下開始期までの間を6つのステージに分けシミュレーションした、このリアルタイムシミュレーションによって、溶岩流が実際に流下する前に、溶岩流の流下方向や流下域、到達時間について短時間で予測対応できる方法であると確認できた。

## 6 結論

新富士火山の溶岩流（旧期9中期3）の分布域を露頭調査、モデル溶岩実験によって、完全再現することができた、この再現過程において、でんぷん糊の水溶液（モデル溶岩）と溶岩流の性質（濡れと表面張力）について近似性があり、モデル溶岩の有効性が確認できた、又再現結果の解析及び溶岩相露頭調査によって、富士市域の溶岩流がパホイホイ複層シートフロー、単層フロー、アア単層フローの形態で流下したことが分類分析された。

モデル溶岩による溶岩流再現実験では、独自の定量比較評価において旧期及び中期溶岩流でカバー率92.59%~70.45%という結果が出た、この事から旧期及び中期溶岩流では再現に成功したといえるが、新期溶岩は60.46%~26.93%と、再現できるとは言えない結果となった、これはモデル溶岩実験がパホイホイ溶岩の性質で実験していることが要因であると推測される、したがって、このモデル溶岩による再現においては、液体の性質であるパホイホイ溶岩において再現性が大きく、アア溶岩については開発の余地がある、又モデル溶岩実験では、熱冷却、粘性などの要因が加味されていない為、これらの要因についてさらに研究を進める必要がある。

モデル溶岩によるシミュレーションでは、富士市域においてA~Gの流下パターンがあり、このパターンは宝永火山及び愛鷹山による地形干渉によってこのようなパターンで流下することが解っ

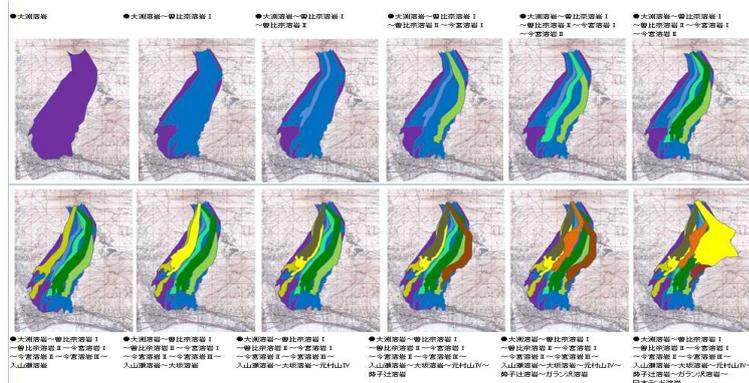
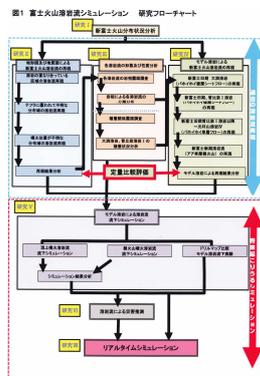
た、又溶岩流の到達時間の推測を行った、さらにこのシミュレーション結果及び現地調査によって、災害発生の予測を行った結果、溶岩流及びこれに伴う森林火災によってライフライン、道路網に国家レベルの被害が出ることが推測された。

溶岩流発生時のシナリオを作成し、このシナリオに従ってリアルタイムシミュレーションを実施した結果、モデル溶岩によるシミュレーションは短時間で結果が出せて有効であると結論付けられた。

### 5 参考文献

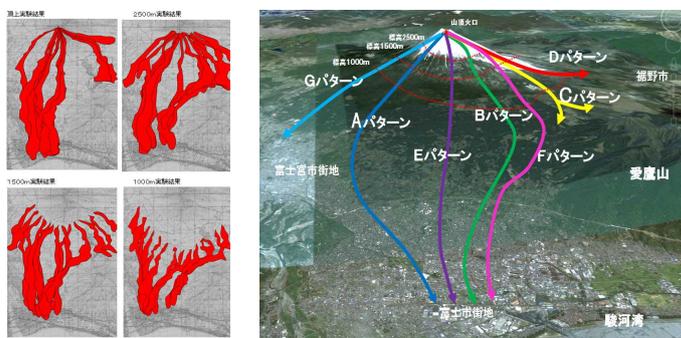
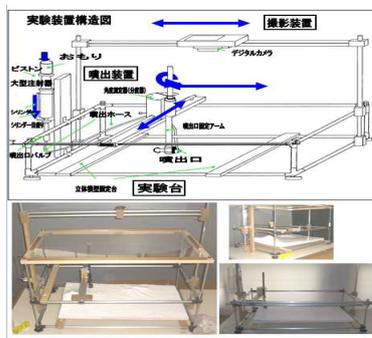
「富士山」津屋弘達 著、「富士山の自然と砂防」旧建設省発行、「富士火山地質図」津屋弘達著内閣府防災情報HP、国土交通省HP、静岡大学教育学部HP、関西大学工学部HPほか

### 研究結果図版



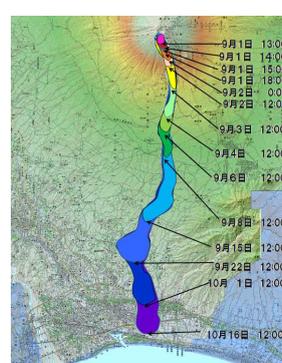
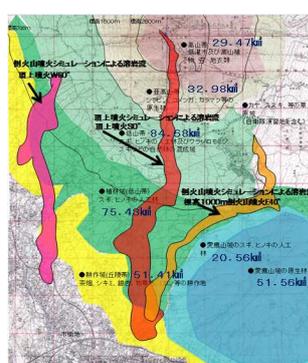
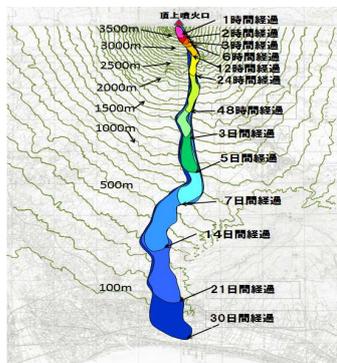
### 研究フローチャート

### 時系列新富士溶岩流完全再現図



### シミュレーション実験装置

### シミュレーション実験結果



### 到達経過時間シミュレーション

### 被害想定図

### 流下想定時間シミュレーション