

〈第 56 回静岡県学生科学賞 県知事賞〉〈日本学生科学賞 入選 2 等〉

1 「富士火山溶岩流の推測と制御」

静岡県立富士高等学校
3 年 松井信太郎

1 要旨、概略

富士火山が将来噴火活動を開始し、溶岩流が発生した場合、その溶岩はどのように流下するのかを推測するため、でんぶん糊と水の混合液を溶岩流モデルとした溶岩流のシミュレーション手法を開発し、実効性を検証して将来起こりうる溶岩流の流下の傾向、動向を解析、推測することにより、その流下による被害予測をして、さらにその溶岩流の被害を最小限に抑えるための有効な制御方法を開発した。

2 研究目的

東日本大震災以降、富士火山噴火についての予測や減災に対する具体的な対策の必要性が高まっている、このような状況である現在、今私にできることを考えた時、私が 2006 年以降続けてきた富士火山溶岩流についての研究を応用発展させる事によって、富士火山溶岩流の具体的な予測、溶岩流の防御方法をさらに実効性のあるものにして、被害を少しでも減らすためこの研究を行った。

3 研究方法

本研究では下記の 3 つのセクションに分け研究を進めた。

研究Ⅰ：将来起こりうる富士火山溶岩流の発生状況推測 研究Ⅱ：モデル溶岩による流下シミュレーション 研究Ⅲ：富士火山における溶岩流の制御方法

4 研究結果及び考察

研究Ⅰ、将来起こりうる富士火山溶岩流の発生状況推測

I-1 過去の噴火活動から推測する将来起こりうる噴火活動

富士火山の過去の火山活動を調査した結果、現在（2012 年）は 2200 年前から西暦 1707 年宝永噴火の間の新富士火山新期活動期（ステージ 5）の休止期間と考えられ、今後火山活動を開始した場合、この新期噴火活動と同様の活動内容で推移する可能性が高い、したがって、新期（ステージ 5）の噴火活動を分析し活動の傾向を知ることで、将来起こりうる溶岩流の活動がどのような活動なのかを推測できることとなる、そこでこの研究では新期の火山活動内容を分析し、そこから将来起こりうる溶岩流の流下について推測をしていった。

I-2 噴火口位置の推測

新富士新期において活動した 41 の側火山の位置を、地形図上で特定し、その標高位置、山頂からの距離、山頂からの方向角度を計測、集計し、分散グラフによる集中度の解析結果から、新期側噴火口の位置は北北西～南南東方向のラインを中心とした扇状の範囲内に集中し、北北西方向一方向角度 $299^{\circ} \sim 354^{\circ}$ 火口中心からの距離 11,400m 標高 1210m 南南東方向一方向角度 $124^{\circ} \sim 187^{\circ}$ 火口中心からの距離 10,500m 標高 1020m の区域が側火山集中域で、この北北西から南南東ラインは、富士火山地下深部のプレートの沈み込みによる圧力の関係によって発生する脆弱部分に溶岩が侵入するため、このような傾向が表れたものであり、今後もこの傾向は続くと考えられ、将来起こりうる溶岩流の流出位置もこの集中域内である可能性が高いことから、この側火山集中域を推測される

溶岩流流出位置（噴火口推定域）として推定した。

I-3 溶岩の性質推測

将来起こりうる溶岩流はどのような性質を持つのか推測するため、新期溶岩流の性質を分析した。

新期溶岩流の大淵丸火溶岩流、青木ヶ原溶岩流について、162 地点の露頭調査を行い、溶岩の岩相、表面形態、について観察分析を行った結果、溶岩流の性質を示すパホイホイ形態、縄状溶岩、ローブ、トウ、ハンモッグパホイホイ、スラブ状パホイホイ、アア形態カリフラワーアア、ラブリーアア、アア断崖等 1356 の特徴的露頭を発見し分類する事が出来た、さらに、溶岩流の表面の殻であるクラストの状態について分類分析をすると、

A、平滑なクラストB、突起をもつクラストC、突起の小さなクリンカーD、明確なクリンカーに分類され、これらの4つのクラストに分類することによって、このクラストの持つ性質からA、明確なパホイホイB、パホイホイ～中間性質（亜パホイホイ）C、中間性質～アア（亜アア）D、アア性質にさらに分類する事が出来た。

以上の調査分類分析結果から青木ヶ原溶岩流の溶岩は、パホイホイ性質とアア性質の中間的な性質を持つ溶岩が中心で、特に亜パホイホイ性質が強く、大淵丸火溶岩流の溶岩はパホイホイ性質とアア性質の中間的な性質を持つ溶岩が中心で亜アア性質の溶岩性質が強く、中期旧期溶岩流の溶岩は典型的なパホイホイ性質で、新期溶岩の性質とは異なる事が分かった。

I-4 溶岩流流下動向の推測

溶岩流はどのような流下動向を示すのか推測するため、新期溶岩流の形状からカシミール3D を使い、流下距離、最大幅を計測しこの比を求め流下動向の分析を行った結果、新期溶岩流の流下形状は、川の流れのような、流下距離に比べ幅の狭いチャンネルフローと、扇状に広がった流下距離に比べ幅の広いシートフローの溶岩流がある事が分かった、このシートフローとチャンネルフローの流下形態に分かれる要因を探るため、各溶岩流の流下した方向を示す流下方向線を作成し、流下方向線上の標高100m 差ごとの傾斜角度を計測算出し流下形状と比較した。

その結果、チャンネルフローの溶岩流が流下した地形の傾斜角度は大きく、シートフローの溶岩流が流下した地形の傾斜角度は小さい、その境界となる傾斜角度は 4° であることが分かった、つまり傾斜角度 4° を超える地形では、チャンネルフローで流下し、 4° 未満の傾斜角度で流下した場合シートフローで流下することになり、富士火山の山体域ではそのほとんどが 4° 以上の傾斜角度の地形であり、チャンネルフローで流下すると推測される。

I-5 火口形態の分析及び推測

溶岩流が流下を開始した噴火口の形態や、溶岩流の流下傾向を分析する事により、将来起こりうる溶岩流が流出する噴火口がどのような形態であり、溶岩流はどのように流出するかを推測した。

新期活動中における各溶岩流の噴火口の形態は全て側火山での噴火であり、

A、列口2、B、割れ目噴火14 C、噴丘を伴う火口17 A、Bの列口、割れ目の複合タイプ8 あることが分類できた。

大淵丸火溶岩の地質図上の噴出地点周辺の地形実地観察調査を行い大淵丸火溶岩の噴出口を発見し、この馬蹄形のスコリア丘を持つ火口の形成のメカニズムを探るため大淵丸火溶岩火口周辺部の中央連続部、クラスト部、火口部噴丘堆積物（スコリア丘）の露頭からサンプルを採取して観察分析、比重計測を行い、解析を行った結果、中央連続部の比重が一番大きく平均 2.576、次にクラスト部が平均 2.278 で、火口部噴丘堆積物の平均が 1.685 で一番小さかった。

この結果から中央連続部、クラスト部は、溶岩流を構成する溶岩そのものであり、火口部噴丘堆積物は噴火時に空中に放出され生成された火山屑石物（スコリア）であると推測された、このことから、噴火頭初、気体を多く含む火山屑石物が空中に放出され、気泡を多く含む比重の軽い火山屑石物が噴火口の周囲に堆積し、その後、気体をあまり含まない比重の大きな溶岩流が噴出流下し、比重の軽い火山屑石物が堆積した噴丘の下に潜り込み流下を継続し、火山屑石物が溶岩流に浮いた状

態で最大傾斜方向に流下した状況がわかった、又溶岩流は噴丘の有無にかかわらず最大傾斜方向に向かい流下していくと推測できた。

研究Ⅱ、モデル溶岩による流下シミュレーション

Ⅱ-1 溶岩流モデルの選定

新期溶岩流が流下した地形の断面図から溶岩流の断面形状とその接触角、幅と高さの比を求め、混合液を混合率40%から30%の間1%刻みで変え、平板上に噴出させ、この断面形状と接触角、幅と高さの比を求め、比較分析し表面張力による、ぬれの状況を解析した結果。

新期溶岩流、モデル溶岩の断面形状共、扁平なレンズ状の浸漬ぬれで、その接触角度も新期溶岩の断面が平均 19.88° 、混合液が $26^\circ \sim 9^\circ$ の間であった、その中で38%の混合液が 20° と新期溶岩の接触角に一番近似した値となり、高さとの比も新期溶岩が平均 $1:17.80 \times 10^3$ であるのに対し38%の混合液が $1:17.79 \times 10^3$ と近似の値を出し、38%のでんぷん糊と水の混合液と新期溶岩流のぬれ状況が近似していることから、38%混合液を新期溶岩流のモデルとして選定した。

Ⅱ-2 モデル溶岩の溶岩流再現性の検証

38%の混合液が新期溶岩流のモデルとしての整合性があるのかを確認するため、2万5千分の1立体地形模型上で38%の混合液を富士山南麓域の6の新期溶岩流の過去の流下データから噴出位置、流下分布量を設定して、流下実験を行いこの結果を定量比較した。

その結果、カバー率は85%以上、オーバー率は20%以内の値であり、アンカバー率は16.5%以下の値になったことから、38%の混合液を立体地形模型上で流下させて新期溶岩流を再現した実験結果でも、新期溶岩流と近似の値を求められたという事は、この38%のでんぷん糊と水の混合液は、2万5千分の1立体地形模型上で流下させることにより新期溶岩流の流下状況を再現する事ができ、将来起こりうる溶岩流のモデルであることを検証できた。

Ⅱ-3 将来起こりうる溶岩流のシミュレーション

2万5千分の1立体地形模型上で、将来起こりうる溶岩流の流下状況を推測するため、ここまでの研究で推測した溶岩流の流下推測状況を基に実験条件を設定し、モデル溶岩を流下させ、シミュレーション実験を行い、この結果から流下状況及び分布を示す流下形状図、流下方向を示す流下方向線図、を作成し地形図上に重ね地形との相関性の分析を行った結果、噴出位置によってその流下の傾向に、A~Eのパターンがある事が分かった。

さらに、地形との関連性を明確にするため富士南麓域を1kmのメッシュで区切りこのメッシュ内での最大傾斜方向、傾斜角度分布図を作成し、モデル溶岩の流下実験の流下形状、方向線を重ねて分析を行った結果、モデル溶岩の流下方向は、その流下するメッシュ内の最大傾斜方向とはほぼ同方向であり、このことから溶岩流は流下する地形の傾斜方向に従って流下することを示して、地形の最も低い方向(最大傾斜方向)に向かって流下する事を繰り返して最終的な溶岩流の流下になっていく事が分かった、以上のことから、将来起こりうる溶岩流の流下推測パターンも、噴出地点以下の地形変化を読み取ることで推測できる事が分かった。

Ⅱ-4 シミュレーションシートによる流下方向予測法考察

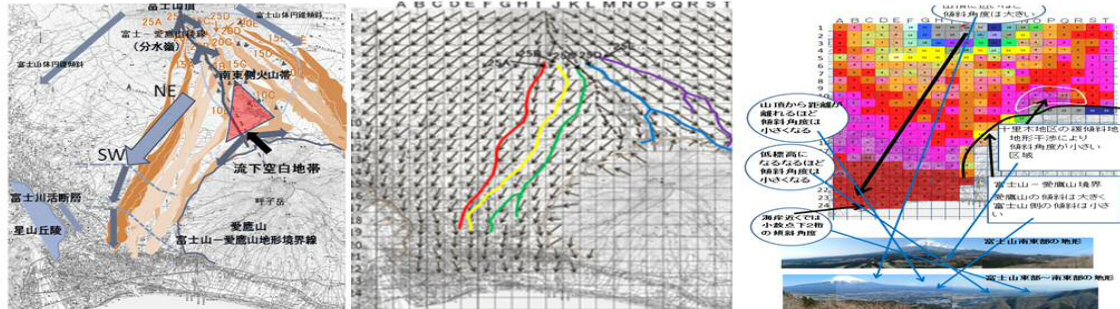
溶岩流と地形の最大傾斜方向の相関性を利用して、最大傾斜方向メッシュ図を溶岩流の流下方向を推測するためのシミュレーションシートとして利用できないか考え、このメッシュ図上で噴出口から最短距離のメッシュの最低標高点を結び、次にこの最低標高点から最短距離のメッシュの最低標高点を結び、以降順次この方法で最低標高点を標高順に結んでいった線を作成して、モデル溶岩シミュレーション結果の流下方向線と比較すると、シミュレーション結果の流下方向線と同様の流下方向を示すことが分かった、つまりこの線を描くことによって、溶岩流の流下方向及び経路を推測する事ができ溶岩流の流下挙動のシミュレーションをすることができる事が分かった。

II-5 シミュレーション結果から推測する被害想定

モデル溶岩シミュレーション結果から富士火山が活動を開始し溶岩流が発生した場合どのような被害が発生するのかを推測した、又推測される被害の具体的な内容を現地状況調査等からその分布、設置状況を地形図上に記入し、シミュレーション結果の流下分布形状図と重ね、比較検証を行った結果、溶岩流の流下によって重大な被害が推測されることが分かった。

さらに、被害の深刻度（防御の重要度）からA～Eの5ゾーンに区分けし、このゾーンを地形図上に描き防御ゾーン地図を作成した。

●シミュレーション結果と地形特性 ●流下方向メッシュ図と流下方向線 ●傾斜角度メッシュ図と地形の相関性



研究Ⅲ、富士火山における溶岩流の制御

Ⅲ-1 溶岩流の制御方法の考察

溶岩流の制御方法には、どのような方法があるのか、実際のプロジェクトの報告書を参照した結果、イタリア、エトナ山において実績があった流導堤による流路制御が富士火山において実行可能で有効な制御方法であると考察した結果、分岐制御と誘導制御の2つの制御方法が考えられ、この2つの制御方法について、溶岩流を制御するのに有効な設置方法を考察し、図上で設計を行い、その結果から、溶岩流がどれだけ制御できたかを流下到達距離、及び制御移動距離の推測値を算出して流導堤の有効性を確認した。

この結果、図上での設計上では分岐式が流下到達距離の短縮において最も有効な方法であるが制御移動距離では大きな効果がえられない事が分かり、誘導制御では溶岩流の流下方向に対しての接触角度が小さく、又設置流導堤数が多いほど、流下到達距離が短く、制御移動距離も大きく、流下制御に有効であると考察した。

Ⅲ-2 流導堤制御平面傾斜板上モデル溶岩流流下実験

実際の溶岩流が流下した場合でも、図上の設計上での有効性が整合性を持つのかを確認するため、モデル溶岩及びモデル流導堤を図上の設計と同条件の設定で、平面傾斜板上でモデル溶岩を流下させる実験を行い、その実験結果を解析し流下到達距離、流下到達点制御移動距離を計測算出した結果、傾斜開放型が図上設計における有効性とほぼ同様の結果を得られた事から、溶岩流の平面傾斜板上のモデル実験においても傾斜開放型流導堤の有効性を検証する事ができた。

Ⅲ-3 シートシミュレーションによる流導堤制御シミュレーション

流導堤による制御方法を使い、実際の地形上で溶岩流の流下距離を短縮するために有効な流導堤の設定条件を地形図上で考察し、その有効性を検証した。

富士南東麓十里木地区は富士山、愛鷹山の地形干渉によって緩傾斜地帯となっている、又溶岩流は傾斜の緩やかな地形上では幅が広がり流下距離が短くなる性質を持つ事から、この緩傾斜地帯へ溶岩流を誘導制御し溶岩流を滞留させる事で流下距離を短縮できると考察した。

そこで、溶岩流を緩傾斜地に誘導するには流導堤をどの位置に設置すればよいのかを、シートシミュレーション手法を用いて、地形図と合成したシミュレーションシート上で流導堤の設置条件を変え、その条件で流下した各溶岩流の流路をシミュレーションして、有効な流導堤の設置位置を

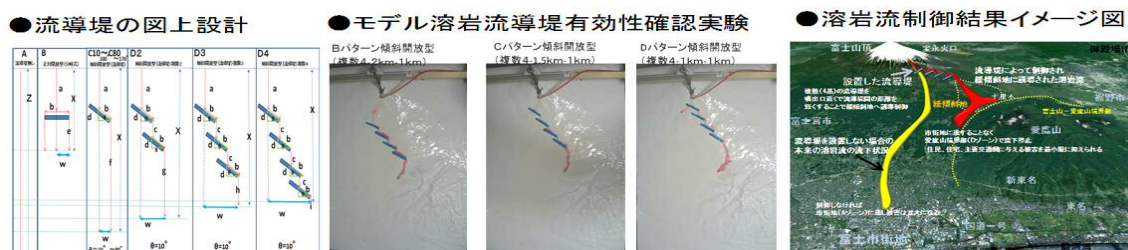
設計考察した。

この結果、流導堤を複数（4基）設置し、流導堤間、及び噴火口と流導堤間の距離を短くすることで溶岩流を緩傾斜地帯へ誘導できることが地形図上で確認できた。

又、流導堤を上記の条件で設置する事によって流下距離を短縮でき、到達標高を上げ、市街地への溶岩流の流入を阻止する事（Cゾーンでの停止）ができることが地形図上で検証できた。

III-4 立体模型上におけるモデル溶岩誘導制御実験

実際の地形においても流導堤による制御が有効なのか、富士南麓域の2万5千分の一立体地形模型上で流導堤のモデルをシートシミュレーションの設定に従って設置をし、モデル溶岩流下実験を行った結果から、流下する溶岩流に対して、複数の流導堤（4基）によって、流導堤間及び噴火口と流導堤間の距離を短く設置した流導堤での溶岩流の制御によって、緩傾斜地に誘導することにより、溶岩流を滞留させ幅を広げ、厚みを増しさらに流導堤上の滞留制御効果をプラスして、流下到達距離を短縮する事ができた結果、被害の少ない地点（Dゾーン）での流下停止ができる事が確認された、つまり、シートシミュレーション及びモデル溶岩による立体地形模型上での流下シミュレーションから、溶岩流の流下方向を推定して、この推定流下方向上で緩傾斜地への流導堤による誘導制御方法を用いて、設置設計を行い、さらに、その設置設計条件でシミュレーションを行い、その有効性を確認したうえで、流導堤を建設する事によって、溶岩流による被害を最小限に抑え、溶岩流を有効的に制御する方法であると結論付けられた。



5. 結論

この研究によって、溶岩流はその流下する地形によって流下方向や、流下動向が決定づけられ、溶岩流が流下する地形を分析、解析することによって、その流下方向、流下動向を推測できる事が分かった、この事を利用し、溶岩流を制御し被害を軽減する方法を開発できた、つまり地球上の物質は地球の引力により高い所から低い所へ移動するが、溶岩流においても例外ではなく、噴出流下した溶岩流もその流下する地形の低い方向つまり最大傾斜方向に流下し、流下幅は傾斜角度が小さければ地球の引力の及ぼす力が鉛直方向に強くなり、幅を広げる事となる、したがって溶岩流の流下推測を確実なものにする為には、地形の傾斜を正確かつ詳細にとらえる事が重要であることが分かった。

6. 謝辞及び所感

富士火山の自然災害の研究を始めて9年になり、その研究成果がここに実を結びました、この間多くの方に助言、ご指導をいただきました、そのおかげで、他では得られない経験をすることができました、また、この研究によって私自身大きく成長する事ができたと思います、これからも富士火山、及び自然災害からの減災についての研究を続けて、社会に貢献できる研究に仕上げたいと思います、学生科学賞にすべてをかけた9年間でした、ありがとうございました。

7. 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