

3. 3 シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発

目次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 10か年の年次実施計画
- (e) 平成28年度業務目的

(2) 平成28年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
 - サブテーマ①地下におけるマグマ移動シミュレーション
 - サブテーマ②噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成29年度の業務計画案

(1)業務の内容

(a) 業務題目

課題 C 火山噴火の予測技術の開発

サブテーマ 3 シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
国立研究開発法人 防災科学技術研究所 火山研究推進センター	副センター長	藤田英輔	fujita@bosai.go.jp
	主任研究員	三輪学央	miwao@bosai.go.jp
	契約研究員	黒川愛香	kurokawa@bosai.go.jp
	契約研究員	長井雅史	mnagai@bosai.go.jp
国立大学法人東北大学 大学院理学研究科	教授	西村太志	
	准教授	小園誠史	
	助教	奥村 聡	
国立大学法人東京大学 地震研究所数理系研究部門 気象庁気象研究所火山研究部	助教	鈴木雄治郎	
	部長	山里 平	
	室長	徳本哲男	
	室長	高木朗充	
	主任研究官	新堀敏基	
	主任研究官	鬼澤真也	
	研究官	佐藤英一	
	研究官	石井憲介	
	研究官	川口亮平	
	講師	石橋秀巳	
国立大学法人静岡大学 理学部地球科学科 山梨県富士山科学研究所 火山防災研究部	非常勤研究員	常松佳恵	

(c) 業務の目的

火山噴火とそれに伴う火山災害は、複雑な物理的・化学的な要素の組み合わせにより発生する現象であり、これらを総合的に評価することによって、火山噴火予知・推移予測、災害推定などについて精度の高い情報発信が可能となる。複雑な現象を総括的に解明するために、数値シミュレーションは有効な手段である。火山観測データや実験データから得られる帰納的情報と理論から導出する演繹的情報を相互にフィードバックさせて、より高度で精度の高いモデルを構築する。

本委託業務では、サブテーマ①火山噴火予知・推移予測に資する「地下におけるマグマ移動シミュレーション」及びサブテーマ②火山災害軽減のための「噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化」を実施する。

サブテーマ①では、地下におけるマグマの移動過程、気液二相系としての流動様式と噴火様式についての解釈を行い、噴火に至るまでの事象分岐の判断基準について体系的に整理する。特に火道流のモデル化、岩脈貫入現象のシミュレーションを開発し、噴火事象分岐判断のための基準を構築する。また、室内実験を実施し、マグマ移動過程に影響を与える物性についてのモデルを構築し、シミュレーション化する数値モデルの高度化を行う。

サブテーマ②では、噴火発生時における降灰・噴煙・火砕流・溶岩流・土石流・泥流・噴石などの多様な火山現象に対して一元的に定量化を行うとともに、現象を支配するパラメータを体系化し、噴火ハザードを高精度で評価可能なシステムを作成する。降灰ハザード予測モデルの開発においては、主に大都市圏などの広域における降灰シミュレーションと脆弱性データベースの融合によるリスクの定量評価が可能なものを目指す。これは本テーマ内の噴煙柱ダイナミクスモデルの開発から降灰シミュレーションの初期条件を取得することや、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの次世代火山研究推進事業課題 D サブテーマ 2 (リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発) による、より稠密な降灰評価との連携を行うことにより精度の向上を図る。噴煙柱ダイナミクスモデルの開発では、過去の事象の検証を踏まえた上で高度化を行う。溶岩流シミュレーションでは、既存モデル(LavaSIM)を発展させ、クラスト移動の解析が可能なものを開発する。土石流・泥流・火砕流・噴石については既往モデルの検証とこれをもとにした高度化を検討する。

サブテーマ①・②を踏まえ、火山活動から火山災害発生までの事象系統樹の分岐に定量的パラメータを与え、火山噴火発生確率の算定に寄与する。事象系統樹の分岐判断については「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について(建議)(平成25年11月8日科学技術・学術審議会決定)に基づく地震火山観測研究」で創出されている成果、特に火山ごとの分岐についての観測事例をベースにして、数値シミュレーションによる予測と定量的な比較を進めるとともに、議論を通して知見を共有する。

数値シミュレーションにより作成する判断基準は、現象を支配するパラメータの整理と現象分岐の閾値の抽出により実現する。数値シミュレーションによるパラメータと、観測・実験により得られる情報を体系化し、事象系統樹の各分岐ノードにおける判断基準として取り込むことにより実装化を図る。

(d) 10か年の年次実施計画(過去年度は、実施業務の要約)

1) 平成28年度:

サブテーマ①: 地下におけるマグマ移動シミュレーション

- ・噴火機構シミュレーション:
- ・マグマ移動過程シミュレーション: 岩脈貫入に伴う応力場把握(マクロ)
- ・物性モデルの構築: 結晶実験・レオロジー実験の環境整備

サブテーマ②: 噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

- ・降灰シミュレーション: 降灰ハザード予測モデル検討(首都圏影響対象)
- ・噴煙・火砕流シミュレーション: 噴煙柱ダイナミクスモデル検討
- ・ハザード評価システム: 噴煙評価システム検討(既往システム参照)

2) 平成29年度:

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

- ・噴火機構シミュレーション：
- ・マグマ移動過程シミュレーション：クラック進展シミュレーション（マイクロ）
- ・物性モデルの構築：実験の環境整備と、結晶化カインेटイクスと火山性流体レオロジーのモデル検討

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

- ・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル予備計算（プロトタイプ）
- ・噴煙・火砕流シミュレーション：噴煙柱ダイナミクスモデル高度化
- ・溶岩流シミュレーション：大規模・高速溶岩流技術設計
- ・噴石シミュレーション：噴石評価システム検討
- ・ハザード評価システム：首都圏降灰評価システム設計

3) 平成30年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

- ・噴火機構シミュレーション：
- ・マグマ移動過程シミュレーション：マイクロ・マクロモデルの統合
- ・物性モデルの構築：結晶化カインेटイクスモデル検討・火山性流体レオロジーモデル検討

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

- ・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル予備検証（プロトタイプ）
- ・噴煙・火砕流シミュレーション：降灰モデルとの連携開始
- ・溶岩流シミュレーション：大規模・高速溶岩流技術開発
- ・噴石シミュレーション：噴石評価システム設計
- ・ハザード評価システム：首都圏降灰評価システム開発

4) 平成31年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

- ・マグマ移動過程シミュレーション：観測データによる検証
- ・物性モデルの構築：結晶化カインेटイクスモデル検討・火山性流体レオロジーモデル検討

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

- ・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル改良（噴煙モデルとの連携）
- ・噴煙・火砕流シミュレーション：降灰モデルとの連携
- ・溶岩流シミュレーション：大規模・高速溶岩流技術設計
- ・噴石シミュレーション：噴石評価システム開発
- ・ハザード評価システム：首都圏降灰評価システム運用

5) 平成32年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

- ・マagma移動過程シミュレーション：空間分解能の高度化
- ・物性モデルの構築：観測データによる検証
- サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化
- ・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル本計算
- ・噴煙・火砕流シミュレーション：既往火砕流モデル検討
- ・土石流・泥流シミュレーション：既往土石流・泥流モデル検討
- ・ハザード評価システム：噴石・溶岩流評価システム運用

6) 平成33年度：

- サブテーマ①：地下におけるマagma移動シミュレーション
- ・マagma移動過程シミュレーション：パラメータ感度解析
- ・物性モデルの構築：観測データによる検証
- サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化
- ・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル本検証
- ・噴煙・火砕流シミュレーション：噴煙・火砕流モデル高度化・検証
- ・土石流・泥流シミュレーション：土石流・泥流モデル高度化・検証
- ・ハザード評価システム：火山ハザード評価システム運用・高度化（首都圏降灰・噴石・溶岩流）

7) 平成34年度：

- サブテーマ①：地下におけるマagma移動シミュレーション
- ・マagma移動過程シミュレーション：岩脈貫入・移動条件の定量化
- ・物性モデルの構築：システムへの組み込み
- サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化
- ・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル評価
- ・噴煙・火砕流シミュレーション：噴煙・火砕流評価システム
- ・ハザード評価システム：火山ハザード評価システム運用・高度化（降灰・噴石・溶岩流）

8) 平成35年度：

- ・火山ハザード評価システム運用・高度化（全事象）
- ・マagma移動過程評価システム開発および事象分岐評価手法の開発

9) 平成36年度：

- ・火山ハザード評価システム運用・機能評価
- ・マagma移動過程評価システム評価および事象分岐評価手法の開発

10) 平成37年度：

- ・一元化システム統合

- ・ 情報ツールでのコンテンツ提供

(e) 平成28年度業務目的

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

a. 噴火機構シミュレーション技術開発

噴火遷移に重要な役割を果たす火道内における気液固混相流マグマの上昇過程（火道流）に関する数値シミュレーションについて、既往研究のレビュー及び担当者が開発した数値モデルによるこれまでの解析結果の整理を実施する。これに基づき、噴火分岐を支配する本質的なマグマ物性や地質条件などのパラメータを抽出する。また、玄武岩質噴火を対象とした火道流モデル開発に向けて、その噴火現象に関する研究のレビュー及び情報収集を実施する。

b. マグマ移動過程シミュレーション技術開発

岩脈成長シミュレーションにて、腐食破壊・脆性破壊・粘性流動の関連について調べる。また、噴火未遂現象の観測データ事例を整理し、噴火・噴火未遂の分岐を支配する観測パラメータの抽出に着手する。さらに、気象庁気象研究所（以下「気象研」という。）の協力を得て火山性地殻変動モデル開発のための予備傾斜観測を伊豆大島において実施する。

c. マグマ物性モデルの構築

マグマ物性モデル構築に向けた環境整備と実験試料採取を行う。マグマ上昇に伴う発泡・結晶化過程を再現するための水熱合成減圧ユニットや、マグマ粘性測定に用いる高温電気炉と粘度計を設置し、実験環境を整える。また、発泡・結晶化実験については、環境整備に向けて、類似の装置を有する東北大学で予備実験を行う。さらに、マグマ粘性測定に用いる岩石の試料採取を伊豆大島にて行う。東北大学及び静岡大学の協力を得てこれらを実施する。

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

a. 降灰ハザード予測モデルの開発

大都市圏（特に首都圏）を対象とした降灰ハザード予測の評価のためのシステム設計を行う。具体的には、気象研で開発されている降灰シミュレーションのための領域移流拡散モデル（JMA-RATM）により首都圏への降灰評価を行うための設計を行う。また、この出力ファイルを防災科学技術研究所で開発している火山リスクマネジメントシステム（VRMS）へ適用するためのデータ変換プログラムの作成を行う。さらに、VRMSにおける脆弱性データベース作成に着手する。気象研の協力を得てこれらを実施する。

b. 噴煙柱ダイナミクスモデルの開発

本サブテーマで使用する火山噴煙の数値モデルにおける、実際の噴火事例の再現性を確認する。具体的には、大型計算機を用いた大規模数値シミュレーションを行い、それらの計算結果とこれまでに蓄積した数値シミュレーション結果で検証可能な計算セットを揃える。1991年ピナツポ噴火、2011年霧島山新燃岳噴火、2014年インドネシア・ケルト噴火、2015年チリ・カルブコ噴火の事例に関し、観測データと数値計算結果が比較可能な物理量について整理する。その上で、数値モデルの再現性について定量化する。

c. ハザード評価システムの検討

多様な火山ハザード現象を評価するシステムの設計について検討する。

具体的には、溶岩流・噴石等のシミュレーション技術開発とそのハザード評価についての情報収集・研究打合せを行う。山梨県富士山科学研究所の協力を得てこれを実施する。

(2)平成28年度の成果

(a) 業務の要約

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーションでは、噴火機構について、火道内における気液固混相流マグマの上昇過程（火道流）に関する数値シミュレーションを実施し、火山噴火様式の推移が生じる要因や噴火分岐の臨界条件についての解析結果を整理した。また、玄武岩質マグマによる噴火過程に関する情報収集を行った。マグマ移動過程については噴火未遂事例について観測データとシミュレーションから解釈を行うとともに、伊豆大島において予備傾斜観測を開始した。また、岩脈成長について、解の安定性に関する理論的・技術的検討を行った。また、大地震による応力変化と火山の誘発について調べた。

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化では、富士山宝永噴火ケースの降灰シミュレーションと富士山周辺（静岡県側）の建造物データベースと連携し、降灰リスク評価を行うシステム構築を開始した。噴煙柱のシミュレーションコードの高度化を開始するとともに、ハザード評価システム設計のため、溶岩流シミュレーションコード LavaSIM、噴石シミュレーションコード Ballista について検討を行った。

(b) 業務の成果

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

a. 噴火機構シミュレーション技術開発

火道内マグマ混相流・マグマ溜まりシステムのモデル (Kozono and Koyaguchi, 2012) に基づき、マグマ物性や地質条件をパラメータとし、噴火様式の指標となる火口からの噴出率や、噴火推移中の観測によって捉えられる可能性があるマグマ溜まり火道内の圧力変化を計算する解析を実施した。特に噴火分岐の臨界条件について、結晶化モデルの依存性から検討を開始した(図1)。また、玄武岩質マグマによる噴火を繰り返しているハワイのキラウエア火山の研究を推進しているハワイ大学を訪問し、玄武岩質マグマにおける噴火様式に関する情報をより多く収集した。

■ 爆発的噴火遷移への臨界マグマ供給率

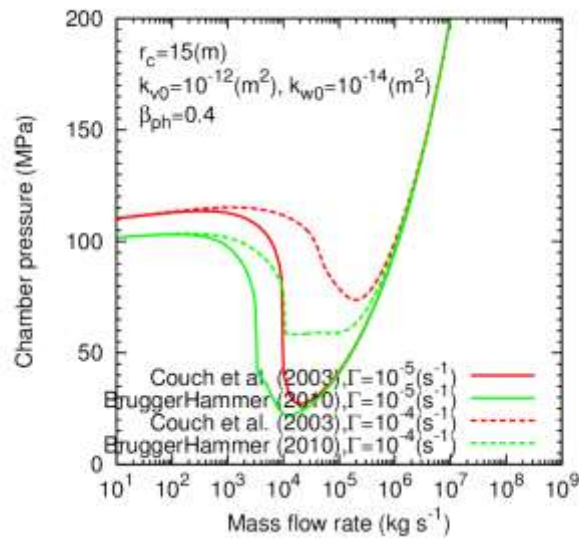


図1 噴火分岐の臨界条件の結晶化モデル依存性 (Γ：結晶成長率)

b. マグマ移動過程シミュレーション技術開発

岩脈貫入と噴火未遂の事例として 2000 年三宅島と 2015 年桜島について着目し、地震波データの解析を行い、マグマの上昇に伴う地震相関の時間変化についての知見を得た (図 2~4)。この結果は個別要素法による岩脈貫入シミュレーションによるマグマのダイアピル化とそれに伴う地震発生の特徴と整合的であることがわかった。世界の大地震の発生直後に発生した火山噴火事例を調べた結果、大地震から距離 200 km、発生から 5 年間に火山の噴火する確率が高まることがわかった。遠方の火山は影響を受けないことから、大地震の発生に伴う火山体の静的応力変化によりマグマが上昇を開始する可能性があることがわかった。また、フィレンツェ大学を訪問し、玄武岩質マグマ噴火の貫入現象に関する観測事実とモデル化についての情報を収集した。

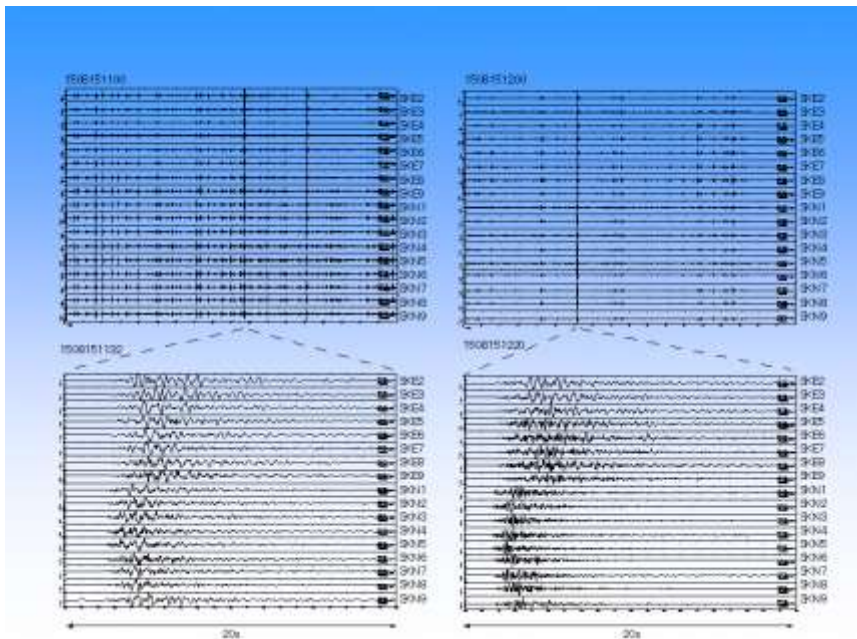


図2 2015年8月15日桜島の岩脈貫入に伴うアレイ地震観測波形例

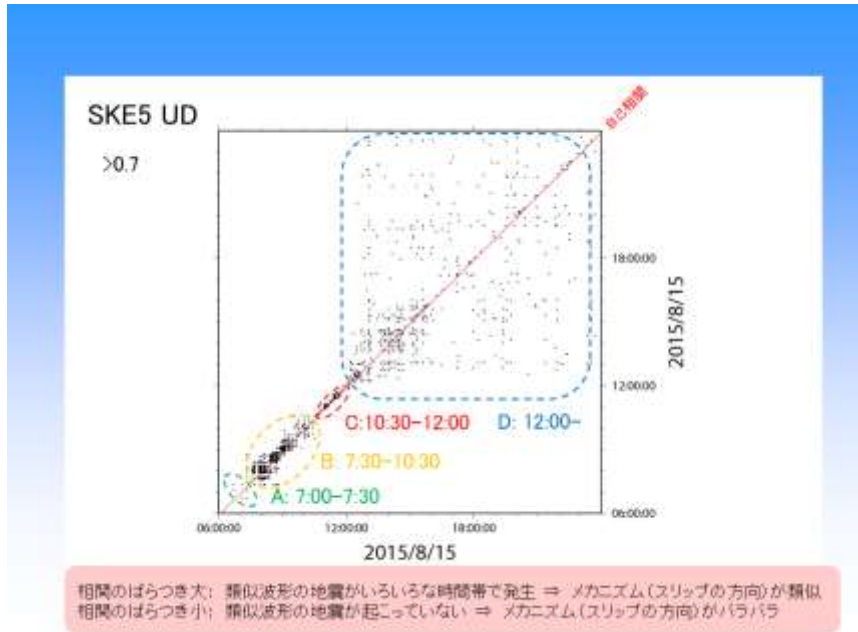


図3 相互相関係数の時間変化

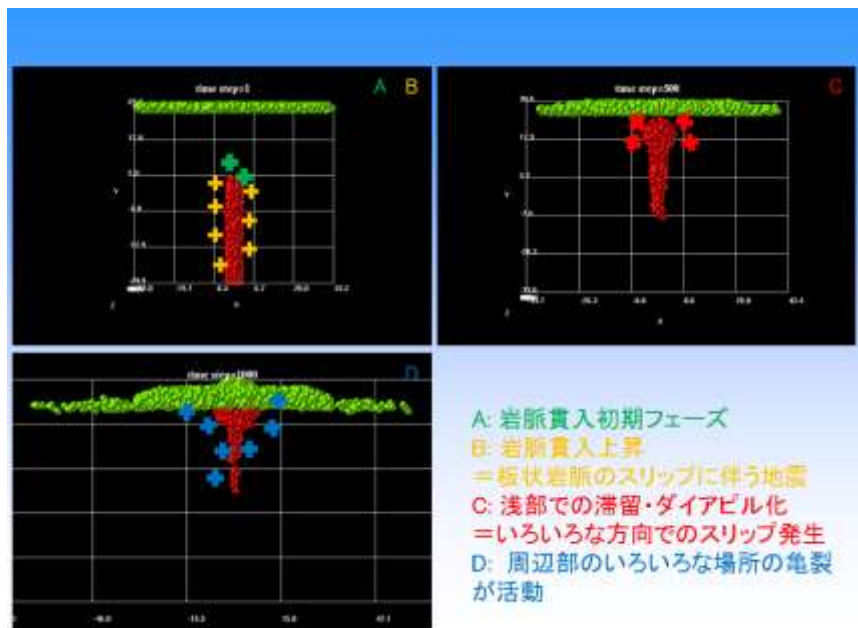


図4 岩脈貫入シミュレーションからの解釈

また、伊豆大島にて気象研の観測局舎に地表設置の気泡式傾斜計を設置して予備傾斜観測を開始した(図5~6)。同局舎内で観測されている温度データなどから観測環境変化に対する傾斜計の応答特性を調べる。得られた情報により同タイプの傾斜計によって観測されたイタリア・ストロンボリ火山の溶岩流出イベント前後の傾斜変動データの検討などに利用する。



図5 伊豆大島に設置した傾斜計

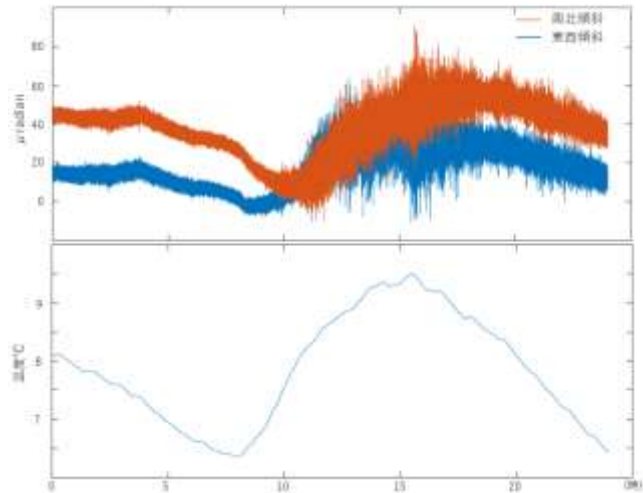


図6 伊豆大島で観測された傾斜計データ

岩脈成長シミュレーションについて、既に防災科学技術研究所（以下「防災科研」という。）で開発を進めている手法について改善策を検討した。解に不安定が生ずるのは、先端の破壊速度の急激な増加に岩石の弾性変形とマグマの粘性流動の計算が精度よく追従できないためと推測され、破壊に関する定数に現実的な値の制限をはずして破壊速度を可変にし、この仮説を確認した。また、解析の時間ステップを十分に短くして、岩脈の進行の幅を小さくする対策を検討した。現状のプログラムでは、岩脈の先端がメッシュの位置と一致する必要があるために、岩脈の進行の幅を任意に設定できない。この制約をなくすため、メッシュのつくり方に柔軟性を増す可能性や、岩脈の先端をメッシュの中間におく可能性などについて検討した。

岩脈内を流れるポアズイユ流を仮定し、簡略化して考察すると岩脈が上昇する解は、下記条件を満たす場合となる。

$$g\rho_r(H - y_m) < p_m < p_o - g\rho y_m \quad (1)$$

であり、この条件を満たす p_m が存在するためには

$$p_o > g\rho_r H + g(\rho - \rho_r)y_m \quad (2)$$

となる。ここで、 g は重力加速度、 p_o は岩脈の開始点（マグマだまりの位置） $y = 0$ でマグマに働く圧力、 ρ_r は地殻の密度、 H は岩脈が拡大を始める深さである。

解の存在性の確認のため適切な物性値を仮定し、マグマ圧力と岩石圧力、およびその差圧について検討を行った（図7）。式（2）を満たす範囲で、岩脈が上昇する解が存在するための必要条件は満たされており、いったんき裂が発生した場合にはき裂長さに応じて差圧が増加し、加速的に成長することが可能である。この定式を桜島について考察した（図8）。密度は深さ 10 km で 2600kg/m³、深さ 5 km で 2500kg/m³、地表付近で 2400kg/m³ 程度である。マグマが例えば深さ 20 km 以上にあり密度 2500kg/m³ であれば深部から上昇した後に深さ 5 km 付近で式（2）を満たさず上昇力を失い、それまでの進展速度が失われると思われる。

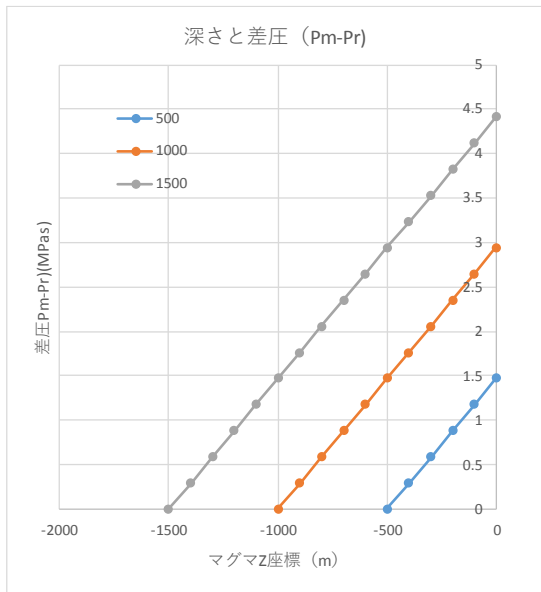


図7 マグマと岩石の差圧

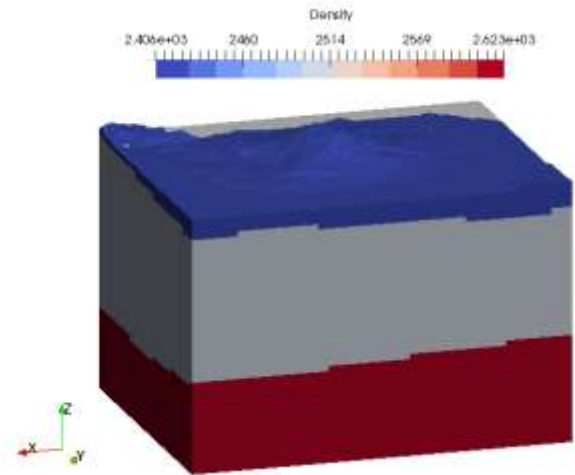


図8 地殻における密度分布
(桜島近傍深さ 10km)

従来開発してきた手法における解の不安定性は、上昇の必要条件的には問題がないため、粘性（動圧）や破壊形態を連成して解いていることによるものと考えられ、その確認を行った。岩脈進展長に対する岩脈成長速度の推移をみると、いくつかの問題点があることが分かった(図9)。動圧を考慮、1回の計算ループにおける進展速度の増分量設定が大きい時に、岩脈が閉塞し、計算停止した。この時、収束途中で岩脈幅が細くなった直後にき裂先端部が閉じてしまい以後の計算が停止した。岩脈幅が細くなったために動圧が過大になったためと思われる。動圧を導入したケースでは速度増分（時間増分も同様）が大きいと円滑な計算を行えないことがわかった。

岩脈成長速度の推移

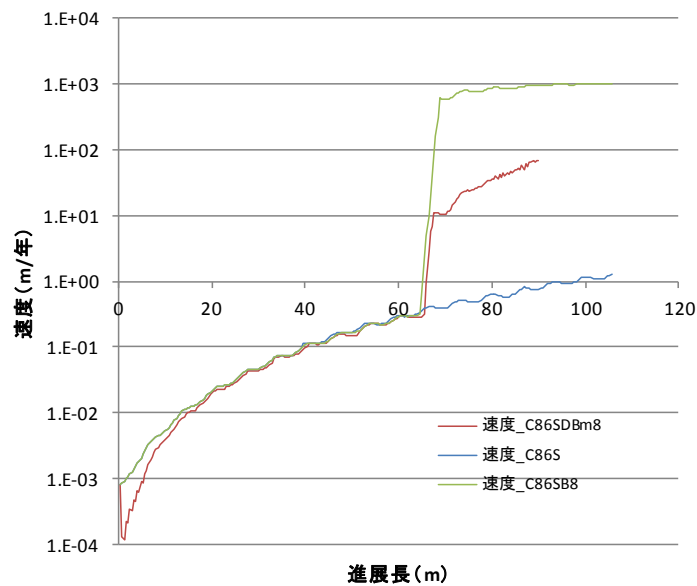


図9 脆性破壊、動圧が応力拡大係数と進展速度に与える影響

これらの考察の結果、下記の解不安定防止策を組み込む機能を今後加えることとした。

1. 動圧や破壊速度に応じて十分に小さい時間増分を設定する機能
2. 非線形荷重である動圧に対する変位を高精度に計算する機能

c. マグマ物性モデルの構築

水熱合成減圧実験装置およびマグマ粘性測定装置の導入を開始した。また、発泡・結晶化実験について東北大学で予備実験を行った。水熱合成減圧実験装置（図10）およびマグマ粘性測定装置（図11）を導入し、今後の実験方針について検討を行った。



図10 水熱合成減圧実験装置



図11 マグマ粘性測定装置

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

a. 降灰ハザード予測モデルの開発

領域移流拡散モデル(JMA-RATM)を用いて、富士山宝永噴火ケースの降灰シミュレーションを実施するとともに、出力結果を防災科研で開発しているVRMSへ入力するためのデータフォーマット変換を行った。富士山宝永噴火のシナリオを火山リスクマネジメントシステム(VRMS)に取りこみ、富士山周辺(静岡県側)の建造物データベースと連携し、降灰リスク評価を行うシステム構築を開始した(図12)。

降灰シミュレーションデータは OGS® Moving Feature Encoding Extension: Simple Comma Separated Values (CSV) 形式に変換され、防災科研の防災情報システム上の HADB(Hitachi Advanced Data Binder)にインポートし、建物形状データとの交差判定を行う機能を整備した。また、これにより被災建物数の時間変化を CSV 形式で出力できる機能を整備した。

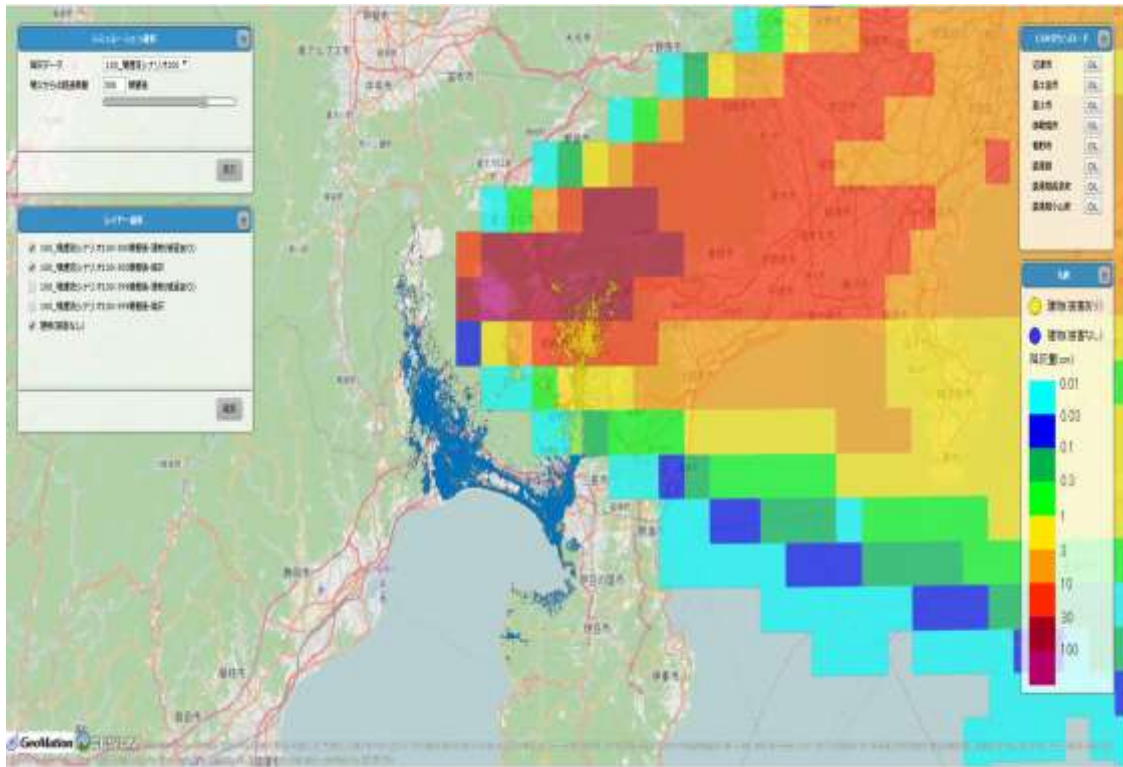


図 1 2 宝永噴火ケースの降灰シミュレーションの火山リスクマネジメントシステム（VRMS）導入

b. 噴煙柱ダイナミクスモデルの開発

研究計画に挙げた 3 つの噴火事例に関し、大規模計算を行って数値シミュレーション結果を揃えた。火口での噴出率や温度を与えた計算を行い、噴煙高度や噴煙の拡大速度・降灰分布を結果として得た。これらの結果は観測データとの予備的な比較を実施することで、検証可能であることを確認した。INGV-Pisa を訪問し、本サブテーマで作成している噴煙柱のシミュレーションコードと INGV が開発しているコードの比較・検証方法について詳細を決定した。具体的には、火口での噴火条件、大気条件、境界条件を厳密に一致させた計算を行い、時間・空間平均や噴煙内乱流のスペクトルを同一の操作で取得することで、計算手法の特性を調べることを同意した。また、INGV-Pisa が開発している火砕流のシミュレーションコード、実験による数値コードの検証状況についての情報収集を行った。

c. ハザード評価システムの検討

溶岩流シミュレーションについて、防災科研開発の LavaSIM による富士山剣丸尾溶岩流への適用事例をベースに方向性を検討した。シミュレーションの結果は、地形データと計算格子のメッシュサイズに依存するが、数値拡散と地形データのどちらが計算結果の相違に影響を及ぼしているか、また、どのくらいサイズのメッシュを使用すべきかについて、異なる地形メッシュと計算格子サイズのパターンを組み合わせることによって、地形メッシュサイズの影響を検討した。この結果、計算格子サイズによる数値拡散と地形データのメッシュサイズによる両方の効果が同じくらい溶岩流シミュレーションの精度に影響していることが分かった（図 1 3～1 4）。

24時間計算した場合の面積差分

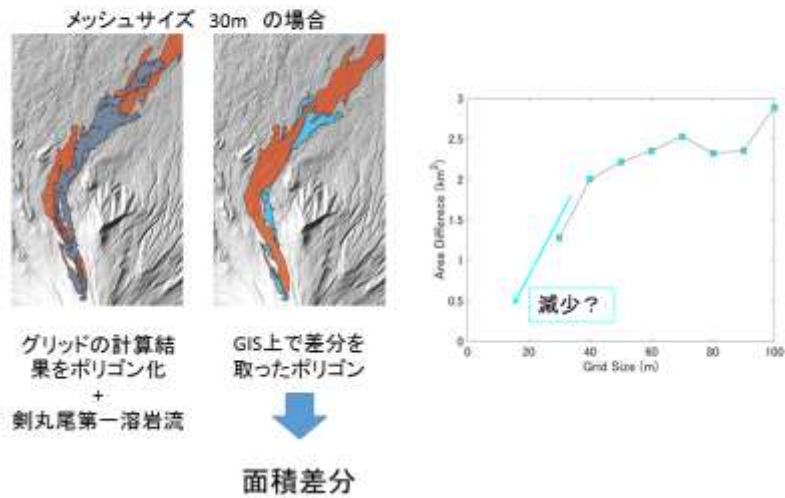


図 1 3 溶岩流シミュレーションコード LavaSIM による富士山剣丸尾溶岩流の再現による面積差分

数値拡散 vs 地形？

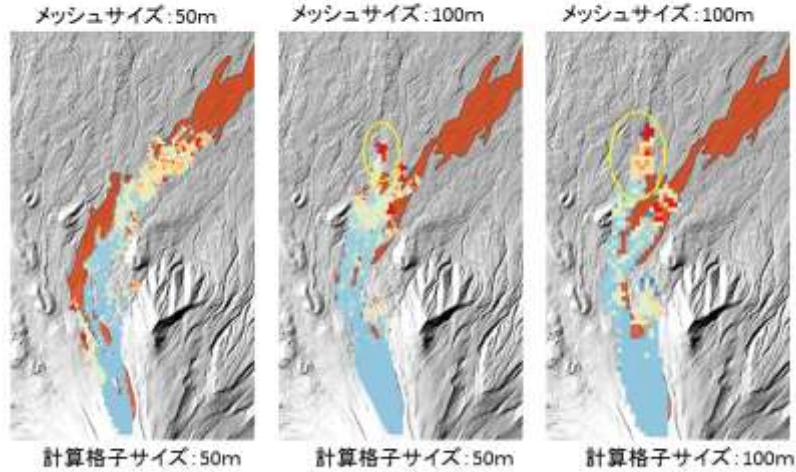


図 1 4 メッシュサイズ・計算格子サイズによる溶岩流シミュレーション結果の相違

また、噴石シミュレーションコード Ballista の導入を検討した。溶岩流シミュレーションコード LavaSIM の改造方針について方向性を検討する。噴石シミュレーションコード Ballista について改良方針およびインターフェース作成方針について検討を開始した。

(c) 結論ならびに今後の課題

事業開始の初年度にあたり、環境整備や予備調査を基本として実施した。地下におけるマグマ移動シミュレーションでは、噴火様式の遷移過程を再現する火道流モデルを開発し、数値計算を実施することにより、噴火様式推移の特徴や臨界条件を抽出することが可能となった。今後、このモデルをもとに、噴火様式の推移前後に現れる山体変形を計算するアルゴリズム開発を行う。また、素過程モデルの重要性が指摘されたことから、本課題における「マグマ物性モデルの構築」との連携を深め研究を推進していく。マグマ移動過程シミュレーション技術開発では、観測を進めるとともに、マイクロ・マクロスケールでの岩脈貫入に関するシミュレーションを行い、事象分岐の基準となるパラメータの抽出を行う。マグマ物性モデルの構築では、整備した装置を活用した実験研究を進め、モデル化を推進する。

噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化では、首都圏降灰ハザード予測の評価のためのシステム開発の目途が立った。噴煙柱ダイナミクスモデル化においては、基礎となる情報の収集や設計が実現された。これらを統合するハザード予測システムの検討についても、予備的な整理が実現できた。

(d) 引用文献

- 1) Hidaka, M., Goto A., Umino, S. Fuijta E., VTFS project: Development of the lava flow simulation code LavaSIM with a model for three-dimensional convection, spreading and solidification, *Geochem., Geophys. Geosystems*, Vol. 6: DOI: 10.1029/2004GC000869, 2014.
- 2) Kozono, T., Koyaguchi, T., Effects of gas escape and crystallization on the complexity of conduit flow dynamics during lava dome eruptions, *J. Geophys. Res.*, 117, B08204. doi: 10.1029/2012JB009343, 2012.
- 3) Suzuki, Y. J., T. Koyaguchi, 3-D numerical simulations of eruption column collapse: Effects of vent size on pressure-balanced jet/plumes, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 221-222, 1-13, doi:10.1016/j.jvolgeores.2012.01.013, 2012.
- 4) 新堀敏基, 火山灰輸送: モデルと予測, *火山*, 61, 399-427, doi:10.18940/kazan.61.2_399, 2016.
- 5) Tsunematsu, K., Chopard B., Falcone, J., Bonadonna, C., A numerical model of ballistic transport with collisions in a volcanic setting. *Comput Geosci* 63:62-69, 2014.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
藤田英輔	噴火未遂:2000年三宅島と2015年桜島の比較(口頭)	災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画桜島課題研究集会	2017/1/6
石井憲介	気象レーダー等を用いた桜島噴煙観測～観測データを利用したデータ同化手法の検討～(口頭)	災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画桜島課題研究集会	2017/1/7
常松佳恵	画像解析から得られる火山岩塊放出のダイナミクス(口頭)	研究集会「阿蘇山の噴火活動・マグマ水蒸気爆発を理解する」	2017/2/28
石井憲介	火山灰データ同化システムの開発状況(口頭)	「降水と噴火」研究会(鹿児島大学)	2017/3/10
佐藤英一	火山噴煙レーダー状況(口頭)	「降水と噴火」研究会(鹿児島大学)	2017/3/10

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

名称	機能
降灰に対する時空間データ検索システム	降灰シミュレーションによる計算結果を火山リスクマネジメントシステム(VRMS)上のHADDBにインポートし、建造物データとの交差判定を行い、GIS上に表示する。

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成29年度業務計画案

サブテーマ①: 地下におけるマグマ移動シミュレーション

a. 噴火機構シミュレーション技術開発

噴火形態を支配する火道内流のメカニズムから事象分岐を支配するパラメータの抽出に関する研究を進める。

具体的には、火道内における気液固混相流マグマの上昇過程(火道流)に関する数値シミュレーションについて、爆発的噴火への分岐開始条件が、マグマ物性モデルや玄武岩質マグマ噴火を対象としたモデルに依存してどのように変化するかを系統的に明らかにする。また、その分岐開始を地殻変動観測によって検知する方法を調べるために、火道流と地殻変動を統合した数値モデルのシミュレーションに着手する。

b. マグマ移動過程シミュレーション技術開発

地下におけるマグマの移動に伴う破壊の進展と火山性地震・地殻変動との関連性を引き続き調べる。

具体的には、岩脈成長シミュレーションにて、腐食破壊・脆性破壊・粘性流動のカップリングについて研究を進める。また、噴火・噴火未遂の分岐を支配する観測パラメータの抽出を行う。さらに、気象研の協力を得て火山性地殻変動モデル開発のための予備傾斜観測を伊豆大島において継続する。

c. マグマ物性モデルの構築

マグマ溜りから地表までの上昇過程における結晶化モデルの構築のための環境整備を引き続き行う。また、火山性流体のレオロジーモデル構築の予備実験を開始する。

具体的には、1) マグマ上昇に伴う発泡・結晶化過程を再現するための自動減圧シリンジポンプを整備し、国内火山(神津島等)を例に一部実験を開始する。2) マグマ粘性測定については、予備実験として標準溶液を用いた測定を行い、データの取得方法を確立する。また高温下における電気炉の長時間稼働試験と岩石の融解実験から実験装置の最適化を図る。東北大学及び静岡大学の協力を得てこれらを実施する。

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

a. 降灰ハザード予測モデルの開発

大都市圏(特に首都圏)を対象とした降灰ハザード予測の評価のためのシステム開発を継続する。

具体的には、VRMSにおける脆弱性データベース作成について首都圏のデータを取り込むとともに、気象研で開発されている降灰シミュレーションのための領域移流拡散モデル(JMA-RATM)により首都圏への降灰評価を進める。気象研の協力を得てこれらを実施する。

b. 噴煙柱ダイナミクスモデルの開発

火山近傍の火山灰大気拡散と降灰を対象とした噴煙柱ダイナミクスモデルの開発を続ける。具体的には、大型計算機を用いた大規模数値シミュレーションを行い、これまでに得られている人工衛星画像や野外調査データとの比較を行いモデルの検証を行う。特に、1991年フィリピン・ピナツボ噴火、2014年インドネシア・ケルト噴火、2015年チリ・カルブコ噴火事例に関し、前年度に整理した比較可能な物理量について精査する。特に、1991年ピナツボ噴火事例を対象に、数値シミュレーション結果を基にした噴煙拡大スケーリング則の抽出に着手する。また、噴煙柱・火砕流ダイナミクスモデルのモデルによる不確定性評価の研究を、イタリア地球物理学火山学研究所(INGV)の協力を得て実施する。

c. ハザード評価システムの検討

多様な火山ハザード現象を評価するシステムの設計について検討する。

具体的には、溶岩流・噴石等のシミュレーション技術開発とそのハザード評価についての情報収集・研究打合せを行う。山梨県富士山科学研究所の協力を得てこれを実施する。