

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

噴火推移および事象に関する発生予測の数値的検討

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-3) 火山噴火過程

イ. 噴火の推移と多様性の把握

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(2) 地震・火山現象に関する予測システムの構築

(2-2) 火山噴火予測システム

ア. 噴火シナリオの作成

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

観測データ解析、物質科学的分析結果に加えて、過去の火山活動の推移や噴火履歴を精査することにより、火山噴火規模や様式、推移を支配する要因の理解を深めることが可能となる。過去の噴火事象の推移を定量的に調べ、噴火のモデルと噴火のシミュレーション結果を考慮しながら、国内の代表的な火山についての噴火シナリオの確率的検討をすることを目的とする。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21, 22 年度は、国内外の火山噴火例を参考に、過去の複数の噴火について、噴火タイプにより、その発生から終息までの噴火推移をまとめ、今後、想定される標準的な噴火推移タイプ（イベントツリー）を作成する。その際、長期的な火山の噴火履歴をどう考慮するかについても検討する。

平成 23, 24 年度は、イベントツリーの分岐（噴火推移のタイプにおける各噴火現象への推移）における確率評価の手法について、物理観測データに基づくモデルを考慮して検討する。その際に、国内外で試みられている確率評価技術のレビューを行うとともに、溶岩流・火砕流・泥流等の噴火現象の数値シミュレーションを参考にし、それぞれの分岐の数値的判断に必要な物理パラメーターの抽出を行う。

平成 25 年度は、イベントツリーの数値的評価および予測シミュレーションによる結果を踏まえ、1. (1-2) (2-2) 「シナリオ予測」で実施している火山など、具体的な火山のイベントツリーについて、その分岐現象の確率的な評価を行うこと試みる。

(7) 平成 23 年度成果の概要：

1. はじめに

平成 21 年度は三宅島の過去の噴火履歴をまとめあげ、噴火事象のイベントツリーに対して発生頻度の確率を付けた。そこでは噴火のサイクルを仮定し、噴火未遂についても確率を与えた。平成 22 年度

は地質情報だけから数値的検討がどれだけ可能かを確認するために、インドネシア、北スマトラにあるシナブン火山の地質調査を行うとともに、その結果に基づいてイベントツリーの作成を試みた。シナブン山の研究では、噴火記録が存在しない中で地質情報だけを用いてイベントツリーを作ることの困難さが浮き彫りになった。

そこで、本年の研究として、まず噴火推移の発生予測をする上でどのようなデータがあれば噴火事象の分岐の確度を与えることができるかについて検討した。続いて、火山毎の噴火の規模と発生頻度について調査し、どのような規則性があるかを検討した。

2. 数値的考察のためのデータソース

年～数百年の期間を対象とする噴火の長期的予測を数値的に考えるデータとして、地質学的データが主に考えられる。そこでは地質情報に基づく階段ダイアグラム、噴火の規模と頻度の関係から、噴火の間隔と噴出量の確率が得られると考えられる。例えば、火口の配置や応力場は噴火場所の確率を出す場合の重要な因子となる。また、岩石学的なマグマの時間的变化が盛り込まれる可能性がある。地質情報の少ない火山にあっては、岩石学や地質学の初期情報から類似火山のデータを使用することがありうる。

月～年の期間を対象にする噴火の中期的予測を数値的に考えるデータとしては、過去のイベントの地質、古文書解析結果に加えて、マグマ移動や貫入に関するモデルの利用が考えられる。古文書による井戸水位の変化、火山ガス被害、鳴動の発生、地震の活動などが具体的に考慮されるデータであろう。

分～週の期間を対象とする噴火の短期的予測を数値的に考えるデータとしては、過去の噴火の観測データを経験的用いることや爆発や脱ガスなどの物理モデルの利用が考えられる。噴火の観測記録がない火山においては類似火山の噴火の観測データが有効である。そこでは地震活動の急増、傾斜計の変化、連続微動の発生、噴出物（火山ガス、マグマ成分）の変化などが利用できる。

3. 噴火の輪廻

一方で、噴火の進行は闇雲にさまざま様式のものが起こる訳ではなく、「噴火の輪廻」に従っていることがほとんどである。1950年代末から、一般に噴火は、降下火山灰（軽石噴火）→火砕流噴火→溶岩流噴火の順番で発生することが多く、これは、噴出率が時間とともに減少する現象であり、噴出するマグマの脱ガス度合いが時間とともに高くなる（あるいはマグマの揮発性成分量が時間とともに減少する）ことを反映していると提案されている。新燃岳噴火はひとつの単純な噴火の輪廻で解釈できる。すなわち、準プリニー式噴火（軽石噴火）で開始し、小規模な火砕流噴火を挟んで、火口に溶岩蓄積が起こった。また、溶岩蓄積後にブルカノ式噴火が繰り返し発生したが、これは火口や火道上部に溜まった溶岩からの不十分なガス抜きによって起こったと考えられる。

噴出率がある閾値より大きい場合には噴煙柱が立つ軽石噴火となり、小さい場合には溶岩噴出となる事実がある。また、軽石噴火や溶岩噴出それぞれにおいて、噴出率とその規模に正の相関がある。火砕流が軽石噴火から発生するかどうかは噴出率と火口径との関係で別に決まるので、火砕流噴火があるかどうかは、マグマの爆発度や噴出率より2次的な問題である。

火道形状が一定であるとすれば、噴出率はマグマの上昇速度を与えることになり、マグマの上昇速度が噴出様式や規模を左右していると言い換えることができる。

4. 噴火の規模と頻度

世界の噴火の規模と頻度には、地震のグーテンベルグリヒター則と同じように、それぞれを対数で取った場合に負の相関があることが知られている。この負の直線関係がいくつかの火山という単位でもなりたっていることが明らかになった（図1）。そこでは縦軸に1000年に基準化した頻度を横軸にVEI（火山爆発指数）を取っている。規模の大きい噴火は長い時間スパンのデータを対象とし、小さい噴火は最近の短い時間スパンのデータを対象にし、1000年で規格化している。

個々の火山が作る規模と頻度の関係（直線）は、世界中の火山のそれから3桁ほど小さい。日本やインドネシアに世界の火山の10分の1程度が存在し、さらにそれぞれの国に100個以上の火山が存在することを考慮すると、それぞれの火山が作る直線関係が世界平均より3桁程度が低いことが理解できる。その中でも、富士山やメラピ山は、今回調べた他の日本の火山に比べて頻度が高く、両火山の

噴出率がより高いことを反映していると考えられる。また、その直線の勾配は火山によって微妙に異なるが、世界の噴火が作る直線の勾配と、あまり大きな違わない。ただし、南九州を対象として検討した巨大噴火がつくる直線はほかに比べて緩い勾配を持っている。阿蘇地域だけをとりあげても大きな噴火については緩い勾配を示しているように見える。勾配が緩いほど、大きな噴火が多いということを示しているので、巨大噴火は、成層火山を作る噴火とは異なるシステムが支配している可能性を示しているのかもしれない。

霧島山の場合は霧島火山群全体を対象としており、化学組成上、マグマ溜まりが明らかに異なると考えられる新燃岳で代表される火山群と高千穂峰で代表される火山群も一緒に扱っている。しかし、きれいな直線関係が認められるので、この関係は一火山地域の平均的な熱量放出として火山噴火が扱えることを示しているのかもしれない。さらに霧島山では、VEI 3の中規模噴火が1000年に数回起こることをデータは示しており、2011年噴火も約300年前の1716-17年噴火も共にVEI 3の噴火であり、その噴火間隔はこの関係通りである。この関係から、霧島山においてVEI 2, 3, 4のそれぞれの噴火の確率は90%, 9%, <2%などのように算出される。

5. 今後の課題

噴火履歴の少ない火山や地質情報が少ない火山においては、対象となる火山だけからは十分な情報が得られず、国内外の類似火山の噴火や地質データがなくては噴火の発生や推移予測に関する数値的な検討は不可能である。そのためには噴火に関するデータアーカイブが不可欠であり、本計画では十分に研究対象とはなっていない。WOVOdatのような、世界中の様々な噴火に関する地球物理学、地球化学、地質学、岩石学を含むデータベースの活用や、それらのアーカイブを構築する研究に参加することが今後重要である。

短期的な噴火予測の観点からは、マグマの上昇速度を如何に観測で捉えるかが重要になってくると思われる。桜島では北岳の直下にマグマが蓄積する量によって噴火規模が異なることが、噴火準備過程の井口らの研究によって提案されている。マグマ溜まりに供給されたマグマ量が火道を上昇する速度まで決めているとは単純には信じ難いが、仮にそうであれば、地下のマグマ溜まりにどれだけマグマが供給されるかは観測しやすい対象であり、それによって噴火の規模や様式が推定できるという流れとなる。2011年の新燃岳噴火に先行して1年以上かけてマグマ溜まりへのマグマ供給が進行し、噴火後も供給が進行した。しかし、この供給量だけでは、新燃岳でいつ噴火が再開するのか、どれくらいの規模で、どのような噴火になるのかについては、噴火経験の少ない新燃岳ではとても予測できない。

規模の大きな噴火が起こる可能性は確率が低くても十分にあることが規模と頻度の図から明らかである。

(8) 平成23年度の成果に関連の深いもので、平成23年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Iguchi,M., Surono, Nishimura,T., Hendrasto,M., Rosadi,U., Ohkura,T., Triastuty, H., Basuki,A., Loeqman,A., Maryanto,S., Ishihara,K., Yoshimoto,M., Nakada,S., Hokanishi,N. (2012) Methods for Eruption Prediction and Hazards Evaluation at Indonesian Volcanoes. Journal of Disaster Research, 7, no. 1, 26-36.
長井雅史・中田節也・高橋正樹・安井真也・鶴川元雄・小園誠史・金丸龍夫・金子隆之・武尾 実(2011) 浅間山鬼押出火山観測井コア試料の岩相と層序. 防災科学技術研究所研究所資料, No.375, 1-32.

(9) 平成24年度実施計画の概要 :

他の活動的火山においても噴火規模と頻度の関係を確認するとともに、巨大噴火について、存在するデータの均質性を含めて検討する。さらに、ここで扱った規模と頻度の関係以外の噴火事象の分岐に確率を付けるための数値的検討を行う。

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

中田節也・森田裕一・前野 深(東京大学地震研究所)

他機関との共同研究の有無 : 有

中川光弘・村上 亮（北海道大学理学研究院），藤田英輔（防災科学技術研究所火山防災研究部），
三浦大助（電力中央研究所）

（11）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所火山噴火予知研究センター

電話：03-5841-5695

e-mail：nakada@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/vrc/

（12）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中田節也

所属：東京大学地震研究所

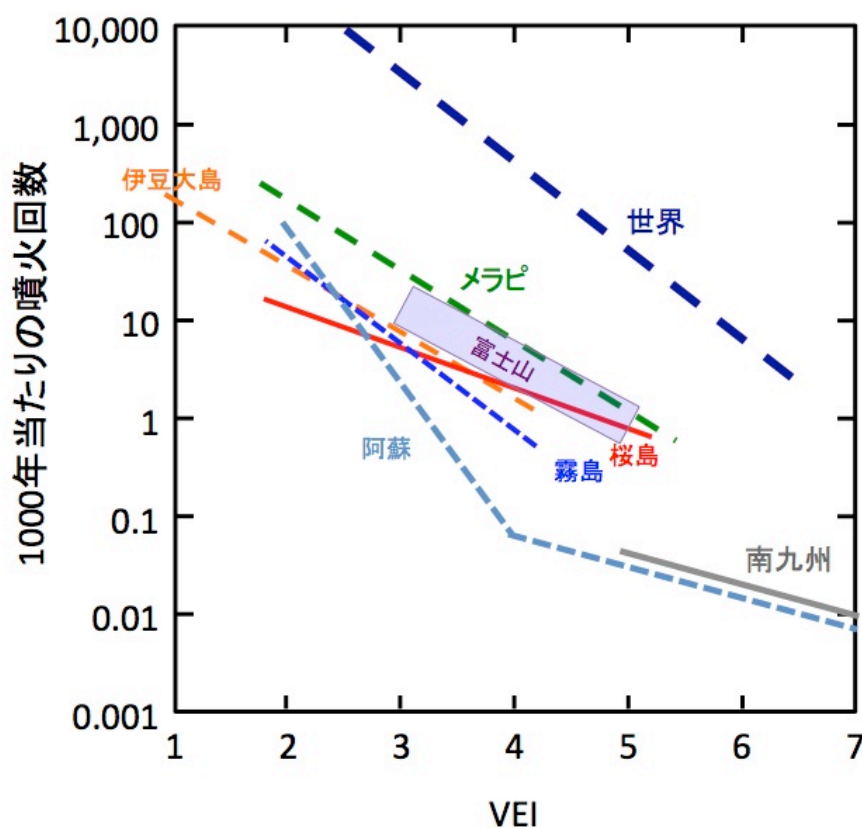


図1 噴火の規模と頻度関係。

世界のデータは Simkin and Siebert (1994) に，メラピは Newhall (2011) の発表資料に基づく。富士山については富士山ハザードマップ委員会がまとめた頻度と体積の頻度資料から解読したため，若干のずれがありうる。