

1 (2) (2 - 2) 火山噴火予測システム

「火山噴火予測システム」計画推進部会長 鍵山恒臣
(京都大学大学院理学研究科)
同部会委員 中田節也
(東京大学地震研究所)

火山が、「いつ」、「どこで」、「どのような噴火を」、「どれくらいの規模で」、「どのような時間的推移で行うか」を火山噴火予知の5要素という。この5要素のうち、時期や場所については、十分に観測体制が整備されていればある程度可能になっている。しかし、一旦開始した噴火の規模や様式、推移を予測することは現在の知見だけでは困難である。現建議では、「より高度な火山噴火予知を目指して、噴火規模、様式、推移の予測を行うには、噴火シナリオ（予想される噴火前駆現象や噴火活動推移を網羅した噴火事象系統樹）を作成することが有用である。」と述べられている。すなわち、対象火山の過去の噴火の履歴の発現頻度やパターンを利用し、噴火事象の変化を支配する機構を科学的に理解することで、噴火の規模や様式を含む推移予測をある程度絞り込むことを目指している。そのため、「地震・火山現象に関するデータベースを活用するとともに、地質調査・解析によって明らかにされた噴火履歴を参照して、噴火シナリオを我が国の主要な活火山について順次作成する」こと、噴火現象の分岐に「過去の噴火時の観測データの再検証や研究成果を取り入れて噴火シナリオを高度化する」ことが求められている。さらには「活動的な火山について、観測データと噴火シナリオに基づき、火山活動の現状を評価し推移予測を試行する」ことが本研究計画のゴールのひとつであり、この研究での成果をマニュアル化し、火山専門家が他の活火山に適応できる道筋をつけることが重要である。

平成22年度は、本計画の細目「ア.噴火シナリオの作成」について、初年度の三宅島火山に続き桜島火山について噴火シナリオの作成を試みた。「イ.噴火シナリオに基づく噴火予測」については、霧島山新燃岳の噴火災害と防災対策の必要性に対応するため、急遽試作した噴火シナリオと実際の噴火の推移とを比較して問題点を洗い出す作業を行った。

ア. 噴火シナリオの作成

桜島火山シナリオ作成の作業は、噴火履歴に関する資料を収集した後に、11月に噴火履歴に関する認識をグループ全体で共有、課題を明らかにした後、1月にシナリオのたたき台の提案し、議論した上で修正案を作成し、詳しい検討を加えて成案を作成した。

桜島のシナリオは、下記の点で伊豆大島や三宅島と異なっており、シナリオを作成する上で新たに検討すべき課題が明らかとなった。第1に、桜島では日常的に小規模な噴火が発生しており、それぞれの噴火にいたるシナリオは既存の手法で作成可能と思われるが、小規模噴火が発生している中で大規模な噴火が発生する可能性があり、大規模噴火にいたるシナリオをどのように組み立てるかが問題である（図1～3）。第2に、明らかとなっている大規模な噴火の事例は4例しかなく、大規模噴火にいたる推移を十分に記載することが難しい。このような問題点はあったが、過去100年間におよび観測研究から得られる知見をもとに、下記のような枠組みを設定した。

・桜島で発生する噴火は以下の4つに分けられる。

極大規模噴火：噴出物量が1 km³を超える、大正、安永、文明の噴火に相当する。

大規模噴火：噴出物量が0.1 km³程度、昭和の噴火に相当する。

小規模噴火：噴出物量が数10万 m^3 程度、1975年～1993年の南岳噴火（後期南岳噴火期と呼ぶ）。
極小規模噴火：噴出物量が10万 m^3 以下の噴火。

また、既往研究から以下のことがわかっている。

- ・桜島では年間1000万 m^3 のマグマが地下から供給されている。
- ・静穏期、あるいは極小規模噴火を繰り返している状態で始良カルデラ地下においてマグマ蓄積が進行する。
- ・マグマ蓄積が開始しておよそ30年で、大規模噴火、あるいは小規模噴火の繰り返しで同等のマグマを噴出する。
- ・マグマ蓄積が開始しておよそ100年以上経過して極大規模噴火が発生する。噴火後はマグマ蓄積がリセットされる。
- ・極大規模噴火に先行する異常現象としては、広域地震活動の活発化（数か月～数年）、広域地盤隆起、桜島島内での二酸化炭素噴出や火山性地震活動の活発化（有感地震を含む）、井戸水の水位異常などが考えられ、火山体内部圧力の急激な上昇が起きると考えられる。
- ・大規模噴火に先行する異常現象は極大規模噴火の場合よりも小規模だが、異常現象が検知されられると思われる。
- ・極大規模噴火と大規模噴火の切り分けは、たとえば下記の式であらわされるかもしれない（図4）。

マグマ蓄積開始後の年数を n 年として、 $Y = (n+5)/30$ を定義し、 $Y = 1$ になると大規模噴火に移行しうる。 Y が3を超えると大規模噴火に移行する確率が低下し、極大規模噴火に移行する確率が高くなる。

上記に示したシナリオでは、噴火事象系統樹の分岐をマグマ蓄積開始からの年数と観測される異常現象の規模によるとしており、確率的な数値を明示的には入れていない。この是非は平成23年度以降に検討する予定である。

イ．噴火シナリオに基づく噴火予測

霧島（新燃岳）において約300年ぶりの本格的なマグマ噴火が発生し、防災のための推移予測が社会的に重要となった。このような局面で、霧島山新燃岳についても噴火シナリオを急遽作成し、そのシナリオに基づき活動状況の評価と推移予測、シナリオの逐次的な修正作業を行った。その過程は「噴火シナリオに基づく推移予測の試行」（東京大学〔課題番号：1408〕）において、報告されている。

霧島火山群新燃岳は、2011年1月26日から本格的な噴火を開始した。これは新燃岳としては約300年ぶりのマグマ噴火であった。この噴火に先立って、水蒸気爆発が2008年8月に開始し、2010年までに複数回繰り返した。特に、2010年の噴火はコックステール・ジェットを伴う噴火であった。また約1年前の2009年12月末から山体が膨張する現象が起こっていたことが国土地理院のGPS観測網で捉えられていた。さらに、2011年1月19日の小噴火で噴出物に約8%の軽石が含まれていることが認められ、マグマ物質の関与が確実となった。このように、多くの点でマグマ噴火を示唆する前兆現象が認められていた。この噴火の開始直後、リアルタイムで噴火の推移予測を行うために、過去の新燃岳の地質学的研究（主に井村・小林，1991）を基に噴火シナリオを急遽作成し、実際の噴火の推移に合わせて変更を重ねた。第1版は1月27日に作成し、2月2日に改訂を加えた。その後、鹿児島大学の最近の地質学的研究の成果を反映させると同時に、国内外の類似火山の噴火様式を参考に第2版を2月14日に作成した。

噴火シナリオ第1版は、井村・小林（1991）の新燃岳の過去の噴火に基づき作成し（図5）、地質学的には読み取られていなかった進行中の噴火現象に対応し変更を加えたものである。1716 - 1717年噴火の研究によると、水蒸気爆発の後、数ヶ月の休止期間を挟んで、火砕流噴火を伴う中規模の軽石噴火が約3ヶ月間継続し、その後、再び休止期間を数ヶ月挟んで、より大きなマグマ噴火が最終に起きたとされる。しかし、活動の最後に最大規模の噴火が発生し、そのまま活動が停止することは通常のマグマ噴火の推移では考えにくい。そのため、最後の噴火後に、火口内に溶岩が流出したものとした。これは噴火前に一旦火口を埋めドレインバックした形状を示す溶岩が存在していたことを反映させている。ここでの欠点は、マグマ噴火のイベントを一つのボックスにおさめてしまっているために、この中での噴火推移やマグマ供給との関係が上手く表現できていないことである。これは実績重視型といえるかもしれない。

第2版は、筒井ほか（2005）や小林（2011，私信）による研究結果を加味し、さらに、火口に溶岩蓄積が起こり、ブルカノ式噴火を繰り返したことのある安山岩火山（類似火山）を考慮しながら作成したものである（図6）。すなわち、浅間山の1973年、および2004年噴火、コロンビア・ガレラス火山の1991年以降の噴火、および北マリアナ諸島のアナタハン火山との共通点を抽出して作成した。小林（2011，私信）では、約300年前の噴火について、井村・小林（1991）では、古文書と地質学的情報との擦り合わせに一部違いがあり、最後の活動を規模の大きなマグマ噴火としていたが、水蒸気爆発と考えられることを指摘している。この考えは、類似火山等に見られる噴火の推移や、新燃岳が電磁気学的にも帯水層が発達した火山であることから妥当な考え方と思われる。

準プリニー式噴火後の展開はマグマ中の揮発性成分が減少する方向であり、噴火の1輪廻に対応する。報告書作成時点（2月20日）では、噴火状態は図6の赤枠で囲んだ位置にあり、火口溶岩や火道上部に溜まった火山ガスが時折爆発を起こすブルカノ式噴火を繰り返している。地殻変動の解析では噴火に先立って山体が膨張した量の2/3～3/4は噴火によって収縮した。大学の観測研究の結果からは噴出量（溶岩換算量）と収縮量がほぼ一致している。今後このような噴火を数ヶ月程度繰り返して活動が一旦はおさまると考えられる。その後、新たなマグマの上昇があれば次の輪廻の活動に移行する。すなわち図6では上のスイッチャーの場所から「yes」の経路をたどる。アナタハン場合は1輪廻の活動の末期にマグマ水蒸気～水蒸気爆発が繰り返された。そこでは火口が海水面以下の高さにあったことや、火口と海との距離がわずか1 km 程度の至近距離であったことが大きな要因かもしれない。新燃岳ではアナタハンほどではないにしても、マグマ供給が途絶えた場合でも最後に水蒸気爆発を起こす可能性がありうることは過去の噴火事例からも示される。この噴火事象系統樹の分岐に確率的な数値を入れることができなかった。ここではスフリエールヒルズ火山で噴火中に行った系統樹のように、専門家の投票による数値化も可能であっただろう。

課題と展望

本研究で作成するシナリオに、噴火準備過程（2.(2)(2-2)）や噴火過程（2.(2)(3-3)）の観測研究とそれに基づく物理モデルを反映することや、逆に、この噴火シナリオの成果を両観測研究にフィードバックすることが重要である。さらには、これまで作成した噴火シナリオで検討されたように、噴火シナリオの分岐の判断を観測結果に基づいて行うために、観測体制の整備を考慮すること（1.(1)の「地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化」へのフィードバック）も必要である。桜島火山は近年活発な噴火活動を続けており、作成した噴火シナリオをリアルタイムに使用してその精度や問題点を確認することで完成度を高めていくことが重要であろう。霧島山新燃岳へのシナリオの試用は、未完成のシナリオであったが、系統樹を目の前において観測された資料を検討

することで、現象の分岐を明確に意識した議論が行われ、また不足している情報が何であるか洗い出す効果があった。加えて、防災関係者・報道関係者とも意識を共有する効果があったと思われる。この計画研究の間に噴火シナリオが作成可能な火山は複数存在する。そのため、我々研究者レベルが要求する噴火シナリオを作成するためのマニュアル的なものをこの計画研究の間で準備することが重要である。そのようなマニュアルを用いて、本研究の担当者以外の火山専門家が、対象火山について噴火シナリオを作成できる状況を作ることが好ましい。

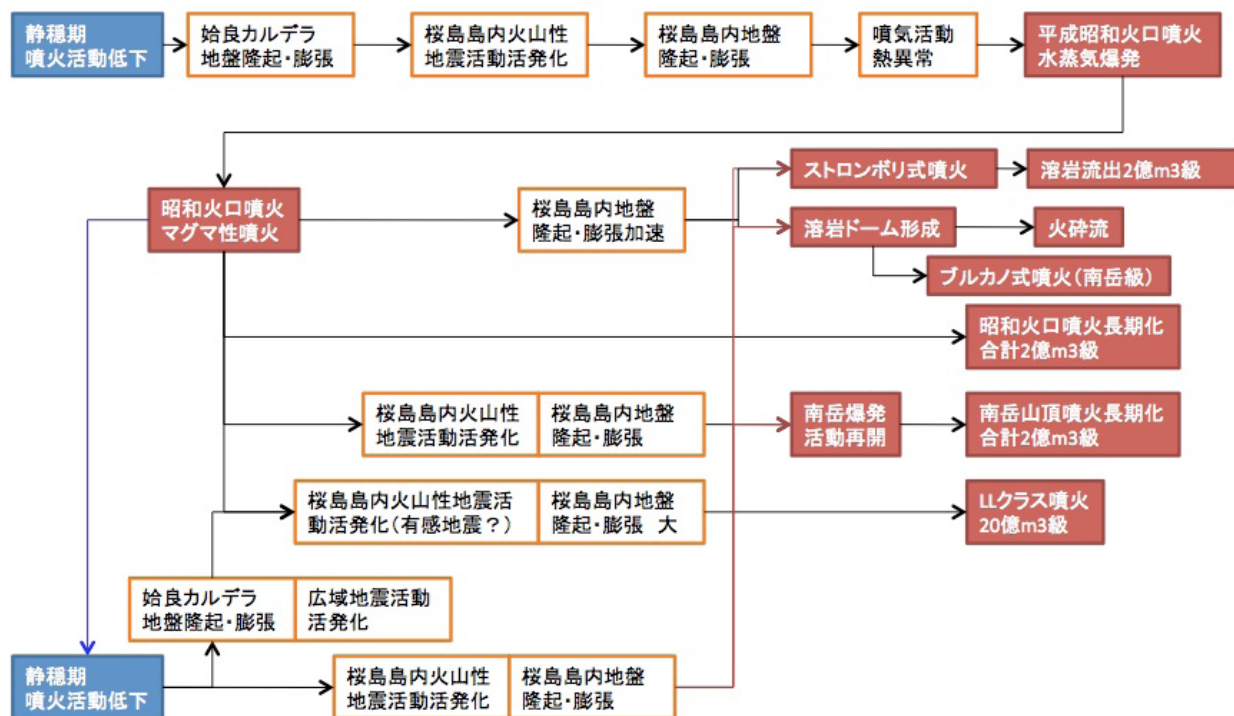


図3 . 桜島火山1993 年以降の火山活動推移と2011 年以降の予測(東京大学地震研究所 [課題番号 : 1807])

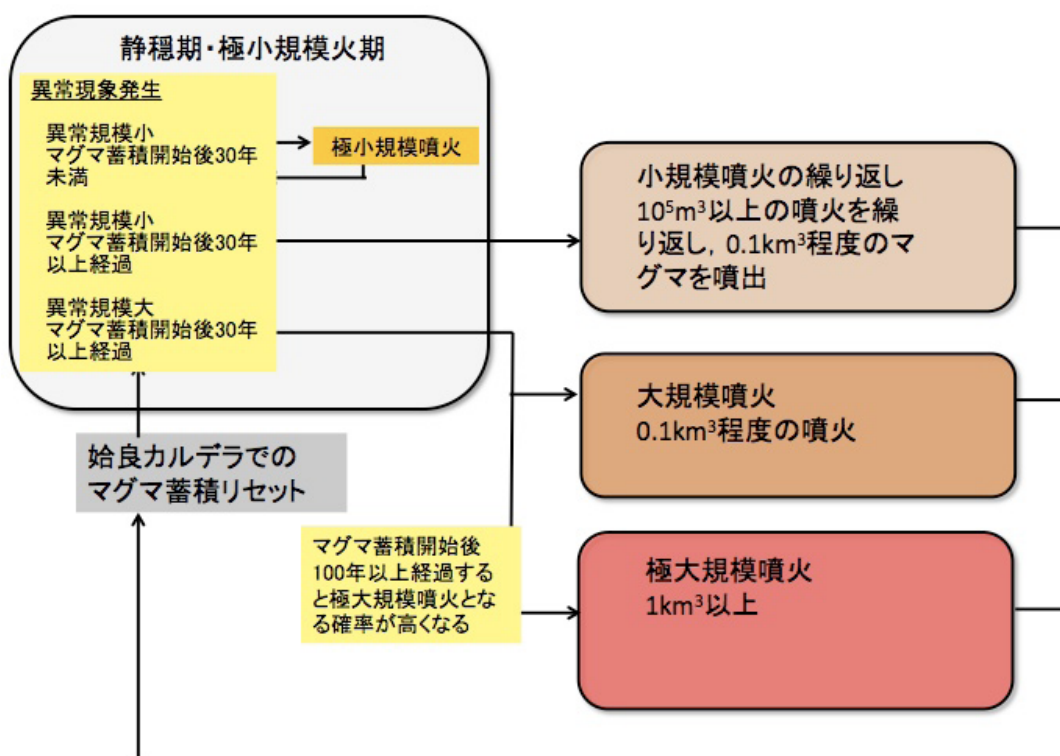


図4. 桜島火山の噴火シナリオと極大噴火と大規模噴火の切り分けの考え方(東京大学地震研究所 [課題番号 : 1807])

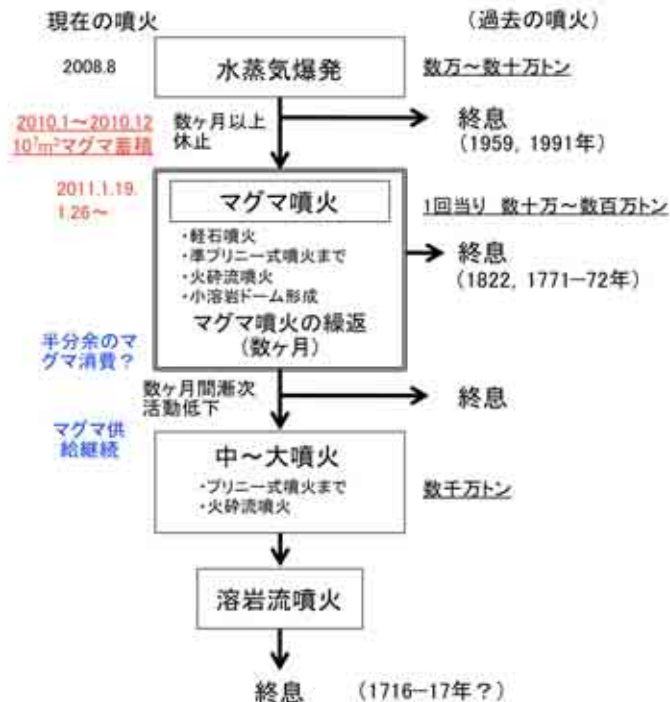


図 5. 霧島火山群新燃岳の噴火シナリオ第 1 版 (2011 年 1 月 27 日作成 . 2 月 2 日改訂)
1716 - 17 年噴火に関する地質学的研究を重視したもの (東京大学地震研究所 [課題番号 :
1808])。

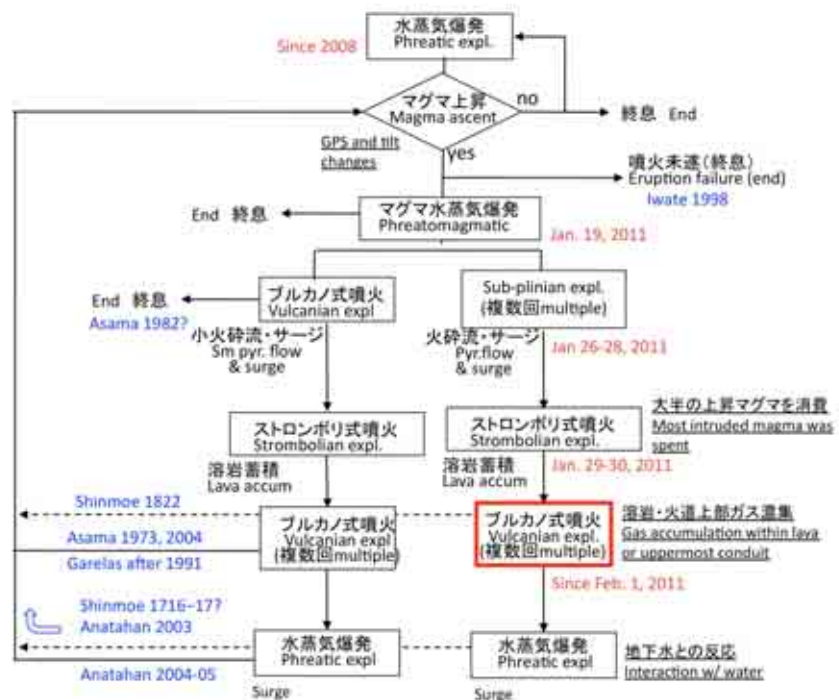


図 6. 霧島火山群新燃岳の噴火シナリオ第 2 版 (2011 年 2 月 14 日作成) (東京大学地震研究所 [課
題番号 : 1808])