平成 15 年 5 月 13 日 火山噴火予知連絡会 富士山ワーキンググループ報告

富士山ワーキンググループ成果報告書

目次

- 1. はじめに
- 2. 宝永四年(1707年)富士山噴火の概要と活動経過 (火山噴火予知連絡会会報第82号に掲載)
- 3. 宝永四年(1707年)富士山噴火の火山活動プロセスの推定と火山情報発表タイミングの想定 (火山噴火予知連絡会会報第82号に掲載)
- 4. 富士山において発表する火山情報と火山現象との対応(想定)
- 5. 富士山における地震観測及び地殻変動観測の課題について
- 6. 国内火山における地殻変動を伴う群発地震活動について
- 7. 富士山を想定したシミュレーションによる震源決定能力調査
- 8. 富士山の地殻変動観測網・地震観測網の検知能力について
- 9. 富士山に類似した火山における噴火前兆現象の調査

1. はじめに

(1) 富士山ワーキンググループの設置と検討内容

富士山では、平成12年10月から12月、及び翌年4月から5月にかけて低周波地震が多発するなど、社会的にも注目を集めた。このような状況に鑑み、火山噴火予知連絡会は、富士山の火山活動の変化の現れ方や火山情報等に関する検討を行うため、平成13年5月28日の第89回連絡会において、富士山ワーキンググループ(以下富士山WG)を設置した。富士山WGでは、富士山の活動についての基礎データ収集整理、情報の発信に関する検討、及び監視観測についての検討を行った。なお、富士山における観測研究のあり方については、科学技術・学術審議会の測地学分科会火山部会から平成13年6月に報告がなされている。

富士山WGは、富士山における大規模噴火の一つである宝永四年(1707年)の噴火(以下宝永噴火)について、豊富な古記 録と詳細な地質調査結果を活用し、噴火の推移を明らかにするとともに、宝永噴火のマグマ供給系の考察を行い、宝永噴火 に伴う地殻変動量を推定するなどの成果を得た。また、富士山の噴火プロセスについてさらに検討するため、宝永噴火以外 の富士山の噴火事例や、海外の玄武岩質の火山で長い静穏期の後の噴火を近代的観測で捉えた事例について調査した。しか し、宝永噴火以外の富士山の噴火については、噴火に至る過程を示す資料はなかった。また、海外の玄武岩質の火山で長い 静穏期の後の噴火を近代的観測で捉えた事例はなかった。

さらに、監視観測に関する今後の検討に資するため、富士山を対象とした地殻変動と地震観測に関する検知能力の調査を 実施した。

本報告書はこれらの検討結果を取りまとめたものであり、本章ではそれぞれの成果の概要を、第2章以下には成果の全文 を収録した。

なお、富士山に関する防災対策の確立とそれらの基礎となるハザードマップや防災マップの作成等を行うため、平成 13 年7月に、国及び関係する県、市町村により富士山ハザードマップ作成協議会(平成14年6月に富士山火山防災協議会に名 称変更)が設置され、また、これらの内容を専門的見地から検討するため、学識委員と行政委員から構成される富士山ハザ ードマップ検討委員会が設けられた。富士山WGは、富士山ハザードマップ検討委員会からの要請を受け、検討結果を富士 山ハザードマップ検討委員会に提供しており、ハザードマップ作成等に活用されている。

(2) 宝永四年(1707年)富士山噴火の概要と活動経過(第2章)

古文書等の歴史資料や地質調査等の最近の研究成果に基づいて、宝永噴火前後の活動経過について整理し、噴火様式の変 化を含む時間経過を推定した。それによると、宝永噴火に際しては、噴火以前にかなり明瞭な前兆的現象が発生していたこ とが分かった。すなわち、噴火発生の1~2ヶ月前には、山腹のみで有感となるような地震活動があり、十数日前からは山 腹のみで有感となる地震が多発するようになり、ほぼ毎日鳴動もあった。1 日前には山麓でも有感となる地震が増加し、半 日前から噴火前にかけてはさらに活発となり、規模の大きい地震も数回発生した。噴火は微動や空振を伴う大量の軽石の噴 出で始まり、噴煙は成層圏に達したと見られる。半日後には、噴出物が軽石からスコリアに移行した。噴出率は噴火初日(1707 年 12月 16日)から翌朝までが最大で、その後は盛衰を繰り返しながら噴火が続いた。25日夕方から27日にかけて再び活 発化したが、その間の噴出率は噴火開始当初の約4割程度であった。31日夜から1月1日未明にかけて数度の噴火のあと、 一連の噴火は終息した。

(3) 宝永噴火の火山活動プロセスの推定と富士山における火山情報について(第3、4章)

(3-1) 宝永噴火のマグマ供給系のモデル

宝永噴火におけるマグマ供給系のモデル化を試み、宝永噴火に前駆した地殻変動を見積もるため、富士山の山頂直下に球 状のマグマ溜りと、山頂から宝永火口付近まで及ぶダイクを想定した。マグマ溜りは深さ15kmに存在し、ダイクは深さ10km から垂直に貫入すると仮定した。そして、宝永噴火の推移に対応するようにマグマを移動させた。具体的には、噴火の約2 ヶ月前から、マグマ溜りから既存の火道を通ってマグマが上昇し始め、約2週間前に深さ10km付近に達し、そこからダイク 状に貫入する。その後もダイクの貫入は継続し、噴火の数日前には深さ5km、噴火前日には深さ1kmに達する。噴火開始後 は、噴出物の放出に伴い、ダイクや深部マグマ溜りは次第に収縮するというものである。

このマグマ供給系とマグマ移動のモデルによると、期待される地殻変動の変化量は、現在の地殻変動観測網によると、噴 火十数日前から噴火前日までは傾斜計のみで検出し得る程度の微小な変化量であり、ダイク頭部が深さ1kmまで達する噴火 前日には、数点のGPS観測点で数 cm 程度の変化として観測されることになる。

(3-2) 富士山における火山情報

宝永噴火について、地震活動の経緯や上記モデルで推定された地殻変動量を基に、もし宝永噴火が現時点で発生したとして、時間的推移を含め、発表し得るであろう火山情報についての一つの考え方を示した。

しかしながら、これは、宝永噴火にのみ対応するものであって、将来の噴火に対する前駆現象の現れ方や噴火の推移は多様であると考えられる。このため、富士山において噴火前後に生起すると予想される地震活動や地殻変動、噴火の推移など とそれに応じてどのような種類の火山情報を発表していくかについて、宝永噴火の事例および他の火山での経験に基づいて 一般的な考え方を整理した。

(4) 富士山における観測網の検知能力の調査(第5、6,7,8章)

富士山の定常的な活動、あるいは噴火に至る過程でのマグマの貫入に伴う地殻変動や地震活動を検出し、変動源や震源を 特定しうる観測網たる要件を示すため、シミュレーションによって観測網の検知能力を評価した。

1) 地震観測網

富士山の現在の地震活動度を考慮すると、地震活動度の変化を検知するための観測網としては、マグニチュード(M)0 ~0.5の地震を観測できること、また山頂部を含めて山体内でM0.5程度以上の地震の震源を精度よく決定できることを目標 とするのが適当である。一方、マグマが新たな通路を形成しながら地殻変動と地震活動を伴いつつ貫入したと考えられる国 内の火山の事例について取りまとめたところ、発生した地震のモーメントの総和はモーメントマグニチュード(Mw)2.7か ら6程度、地殻変動はモーメントマグニチュード5.5から7に相当した。地震観測網がM0.5程度の地震の震源決定が可能 な仕様になっているならば、グーテンベルク・リヒター則から考えて、最大地震のマグニチュードが2.7程度という規模の 小さい地震活動であっても十分な数の震源を決定できることから、この目標設定は妥当であろう。

シミュレーション結果の一般的傾向としては、北西象限の震源決定精度は高いが、南側及び北東象限の端では観測点が限 られているために相対的に低い。計画段階のものまで含めて恒久観測点のデータを一元的に集約したとする模擬的な計算で は、深さ5km、MO.2、及び深さ10km、MO.5の場合は、ほぼ富士山全域にわたって震源位置を良好に再現できている。深さ15km、 MO.5 では、震源決定精度はやや落ちるが、震央位置を大きく誤ることはない。以上のことから、現在計画中の観測網でほ ぼ必要条件を満たしていると考えられる。今後、計画中の観測点の完成後に実際のデータで評価することが必要である。な お、富士山南麓の地震の震源決定精度をさらに向上させるためには、富士山南麓にノイズレベルの低い観測点を増設するこ とが望ましい。

2) 地殼変動観測

伊豆半島東方沖の群発地震活動や三宅島の噴火の初期に貫入したマグマが約1千万m³と考えられるので、富士山において

も、噴火前にこれと同程度の量のマグマがマグマ溜りに蓄積し、噴火時に山体内の不特定の場所からダイクとして貫入する ことを想定した。

マグマの深さが 10km 程度よりも浅ければ、1千万 m³のマグマ蓄積あるいはマグマ貫入によって、地表における変位は最 大で数 mm を超え、また傾斜変化も最大で1 µ rad を超える。概ね5 km 格子内に各1点GPS観測点があれば、マグマの蓄積 あるいはダイクの貫入が富士山の山体のどこで起こったとしても、そのおおよその位置と大きさが把握できる。また、即時 的にデータを評価できる傾斜計や歪計が適切に配置されていれば、速やかに異常を検出することができる。

なお、マグマ供給系やダイクの位置や形状をより詳細にモデル化するためには、マグマ活動による変位、傾斜、歪等をさ らに稠密に観測すること、また、火山活動の推移に応じた評価を行うため、準備過程を含めてから噴火過程の全体を連続的 に観測を実施できるような観測網にすることが重要である。なお、今後も各地殻変動観測点のデータの精度を評価しつつ、 地下のマグマの動きを評価するための観測網のあり方を検討し、構築を継続していくことが望ましい。

(5) 富士山に類似した火山における噴火前兆現象の調査(第9章)

富士山と類似した玄武岩質マグマを噴出する世界各地の大型成層火山の前兆現象に関する研究事例を調査したが、長い休 止期間後に噴火した火山の前兆が近代的な科学的観測により把握された噴火事例は見当たらなかった。しかし、富士山に類 似した火山であるエトナ火山や、マウナロア山などの多くの噴火では、地震活動の活発化と地殻変動の異常が噴火直前2, 3ヶ月前から1,2日前までに捕捉された事例が報告されている。これらの結果は、将来の富士山の噴火過程のモデルとし て直接利用できるものではないが、今後の富士山の監視を行う上では十分参考になるものと期待される。 宝永四年(1707年)富士山噴火の概要と活動経過

火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググループ

火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググループでは、宝永四年(1707年)の富士山の噴火 (以下、宝永噴火という)について、古文書等歴史資料、地質調査等の最近の研究成果を もとに、噴火活動の経過を検討し、以下のとおりとりまとめた。

噴火の概要

- ・1707 年(宝永四年)12 月 16 日(新暦、以下同様)10~12 時、山頂の南東側の斜面に新しい 火口(宝永火口)を開き、噴火を開始した。
- ・一連の噴火活動により、山頂の南東側の斜面に北西-南東方向に連なる3つの火口(宝永 第1、第2、第3火口)と宝永山を形成した。
- ・噴火の場所は、宝永第2・第3火口から第1火口へと南東から北西山頂方向に移動した。
- ・噴火の様式はプリニー式噴火で、大量の軽石・スコリア・火山灰等を放出した。
- ・噴火の始めは軽石噴火であったが、16日の夕方頃からマグマの成分が変化し、スコリア 噴火に移行した。噴出物は、全て、軽石・スコリア・火山灰等の降下火砕物として放出 された。
- ・噴火の激しさ(噴出率)は、噴火初日(12月16日)から翌朝までが最大であった。以後は、 何度かの小康状態をはさみつつ噴火を繰り返したが、25日夕方までの平均的な噴出率は 噴火開始当初の約1/7程度にとどまった。25日夕方以降に再び噴火が活発化し、27日ま での噴出率は噴火開始当初の4割ほどに達した。31日夜から1月1日未明にかけて、数 度の爆発があり火山弾を飛散させた後に、一連の噴火が終息した。
- ・噴出物の総量は約0.7km³(溶岩換算)に達した。総噴出量のうち約4分の1が最初の1 日間に噴出した。
- ・火口から放出された火山灰は、東に向かう分布軸をもって分布し、関東平野を越えて海にまで達した。火山灰は上空の西風で拡散された。噴煙は成層圏にまで達した。
- ・溶岩流は発生しなかった。火砕流は、史料および地質調査による限り、なかった。
- ・噴火の前兆現象として鳴動や有感地震があった。

活動経過

宝永噴火活動の経過を表1にまとめて示す。

参考にした文献は、以下の文献のほか、火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググループ のコア・メンバーらによる未公表の研究成果を加えて検討し、とりまとめた。

- ・気象庁(1996):「日本活火山総覧(第2版)」,500pp.
- ・国土庁(1991):火山噴火災害危険区域予測図試作に関わる作業 試作図集.
- ・小山真人(1998):歴史時代の富士山噴火史の再検討,火山,45,323-347.
- ・小山真人・宮地直道(2002A): 史料からみた宝永四年(1707 年) 富士山噴火の推移, 富士山 ハザードマップ検討委員会第1回基図部会委員提出資料, 11pp.
- ・小山真人・宮地直道(2002B): 史料からみた宝永四年(1707年) 富士山噴火の推移(改訂版), 富士山ハザードマップ検討委員会第3回基図部会委員提出資料, 5pp.
- ・宮地直道(1984):富士火山1707年火砕物の降下に及ぼした風の影響,火山,29,17-30.
- ・宮地直道(1988):新富士火山の活動史,地質雑誌,94,433-452.
- ・宮地直道(1993):富士火山 1707 年噴火の推移と噴出物の特徴,文部省科学研究費重点領 域研究「火山災害の規模と特性」(研究代表者 荒牧重雄),111-119.
- ・宮地直道・小山真人(2002):宝永四年(1707 年)噴火に伴う噴出物の堆積時間と噴出率の 推移(改訂版),富士山ハザードマップ検討委員会第4回基図部会委員提出資料,3pp.
- ・下鶴大輔(1981):富士山の活動史, Disaster Map と災害評価,文部省科学研究費自然災害
 特別研究「噴火災害の特質と Hazard Map の作製およびそれによる噴火災害の予測の
 研究」(研究代表者 下鶴大輔),88-97.
- Shimozuru, D(1983): Volcanic hazard assessment of Mount Fuji, National Disaster Science, 5, 15-31.
- ・損害保険料率算定会(1997):「火山災害の研究」, 地震保険調査研究, 42, 311pp.
- Tsukui, M. (1985): A magma reservoir and its evolution beneath a polygenetic volcano, Doctoral thesis of University of Tokyo, 118pp.

表1 宝永噴火の経過

年月日 ¹⁾ 時刻	噴火開始 時との時 間	史実 ²⁾	火山現象(推定)	噴出量 形成時間 噴出率 ³⁾			
1707 年 10~11 月	1~2 か月前	富士の山中で地震(10月時 分は毎日幾度も)	山中のみで有感となる地震活動が次第 に活発化				
12 月 3 日頃 ~14 日	十数日前~	富士の山中で地震(10〜20 回/日)、東麓で 3〜4 回/ 日鳴動	山中のみで有感となる地震活動が多発、 鳴動がほぼ毎日あった(火山性地震に伴って発生した可能性) ⁴⁾				
15 日昼	1日前	地震が数回(須山 7~10 回、吉原 14 時過ぎから 度々)	山麓で有感となる地震が増加				
15 日夜 ~16 日朝	半日前	地震多数(須山数知れず、 山之尻たえず揺れる、小田 原12回)、夜中~未明に東 京・名古屋・下伊那郡でも 地震が2回	 ・山麓で有感となる地震が急増し、一日 に数十回となった ・夜中~未明にかけて2回の規模の大き い地震 	_			
16日朝	数時間前	麓では大地震、下伊那郡・ 東京でも地震	規模の大きい有感地震が発生した				
午前	噴火直前	麓で再び大地震、東京でも 地震	再び規模の大きい有感地震が発生した				
10~12 時	噴火開始	鳴動とともに黒雲が上が る、東麓で降砂・降礫開始	噴火微動、空振を伴って、軽石の噴出が 宝永第2、第3火口で始まった	4 4 4 0L 3 D D D			
昼過ぎ	数時間後	江戸で白い砂が降る	上空の西風で火山灰が東京に達した、噴 煙は成層圏に達した	0.048km°DRE 約7時間 6.89×10 ⁻³ km ³ DRE/h			
タ方	半日後	須走で降礫による火災	噴石(軽石)が火口から東北東に約 8km 離れた集落に落下した				
夕 方 ~ 夜	半日後	火柱・空振・震動・雷の目 撃など、江戸の降砂が黒く なる	火柱・空振・地震・微動・火山雷が発生、 噴出物が軽石からスコリアに移行した	0.120km ³ DRE			
17 日午前	1日後	一時雷鳴がおさまる	宝永第2・第3火口の噴火活動は一時的 に小康状態になった	約 17 時間 7.06×10 ⁻³ km ³ DRE/h			
17 日午前 ~19日	1~3日後	 ・17 日夜頃地震頻発・大 地震 ・江戸で断続的に降砂や空 振 	 ・17 日夜に規模の大きい有感地震が発生 ・宝永第1火口から噴火開始。ただし、 噴火は一様でなく強弱有り。 	0.083km ³ DRE 約 68 時間 1.22×10 ⁻³ km ³ DRE/h			
20 ~25 日夕方	4~9日後	 ・江戸での空振や降砂の量 が減る ・21 日から東麓で連続的な 地震 	宝永第 1 火口からの噴火の規模が小さ くなり、強弱のある噴火を繰り返した	0.093km ³ DRE 約 129 時間 0.72×10 ⁻³ km ³ DRE/h			
25日夕方 ~ 1708年1月 1日未明	9~16 日後	東麓で空振や地震が激し くなる。江戸でも時折降砂 があるが、28 日以降はみ られなくなる。31 日夜~1 月 1 日にやや爆発的噴火 した後に噴火終息。	宝永第1火口からの噴火が活発化する。 31日夜までに第1火口内にスパター丘 が形成されるが、その後の噴火で中央部 が吹き飛ぶ。	0.332km ³ DRE 約 159 時間 2.09×10 ⁻³ km ³ DRE/h			
80 総噴出量、形成時間、平均噴出率 1							

1) 新暦に換算した年月日。

2) 史実は小山・宮地(2002)による噴火推移を抜粋・要約。

3) 噴出量および噴出率は 宮地(1993)に基づき岩石に換算したもの。ただし、テフラ層の堆積密度 1.0g/cm³、岩石密度 2.5g/cm³と仮定した。表3参照。

4) 一般に、震源の浅い局所的な群発地震などでは震央方向から鳴動が聞こえる例がある(気象庁の観測結果にも鳴動を伴って発生した地震が記録されている)。当時は鳴動の誤認原因となる人工ノイズもなく、また冬季であることから連日の雷鳴発生とも考えにくい。さらに、宝永噴火の直前の15日から16日午前の噴火まで徐々に地震の回数が多くなり、 規模も大きくなってきたことから、鳴動は、火山性地震に伴うものと推定した。



国土地理院発行地形図 1:25,000「富士山」「須走」「天母山」「印野」を使用。



図2 宝永火ロー帯の地形から見た火ロ形成順序

宝永第2,第3火口は、宝永山により変形し、宝永山は第1火口により一部破壊されている。第1火口 底には半壊したスパター丘が認められることから、

宝永第2,第3火口 → **宝永山** → **宝永第1火口** → **スパター丘** の順で、形成されたことが読み取れる。国土地理院撮影空中写真 CCB-75-17 を使用。

表2 宝永火口の主な活動時期と位置

形成順	火口等の名称	主な活動時期	位 置(標高) ²⁾
	空业等2ルロ	1707 年 19 日 16 日	剣ケ峰(富士山の最高点)の南東約 3~
1	玉小舟3八日		4km(約 2100~2300m)
	宝永第2火口		剣ケ峰の南東約 3km 付近(約 2300~2500m)
3	宝永山	17日以降、詳細不明	剣ケ峰の南東約 3km(2693m)
4	宝永第1火口	17日~1708年1月1日	剣ケ峰の南東約 1~3km(約 2500~3100m)
5	スパター丘	宝永第1火口活動末期	宝永第1火口の南端(約2430m)

1) 新暦に換算した年月日。

2) 宝永山及びスパター丘については現在の最高点の位置。



図3 宝永噴火の推移と噴出物の層序、物理・化学的性質の変化

宮地(1993)の図(Si02 質量比、酸化鉄・酸化マグネシウム比は、Tsukui(1985)を基に宮地(1993)が作成)による。

部層	噴出量 (km³DRE) ¹⁾	およその形成日時 ²⁾	およその 形成時間 ^(時間)	噴出萚 (×10 ⁻³ km³DRE/h) ¹⁾	<u>x</u> (×10 ⁴ t/h)
Ho-I (Ho-Ia) (Ho-Ib)	0. 048 (0. 032) (0. 016)	1707年12月 16日10時~16日夕方	7	6.89	1723
Ho-II	0.120	16日夕方~17日朝	17	7.06	1765
Ho-III	0.083	17日朝~19日 20日~25日夕古	68 129	1.22 0.72	305 180
Ho-IV	0. 332	25日夕方~ 1708年1月1日未明	159	2.09	523
Ho-I~IVの 合計・平均	0. 676	1707 年 12 月 16 日 10 時 ~1708 年 1 月 1 日未明	380	1. 78	445

表3 宝永スコリアの部層別噴出量、形成時間、噴出率の推移

1) 岩石に換算した噴出量および噴出率

2) 新暦に換算した年月日

宮地・小山(2002)により、噴出量および噴出率について岩石に換算して作成した。ただし、テフラ層の堆積密度は 1.0g/cm³、岩石密度は 2.5g/cm³と仮定して換算した。



図4 現時点での宝永噴火による堆積物の厚さ

損害保険料率算定会(1997)の図(国土地理院発行1:500,000地方図「関東甲信越」を基図として、宮地の資料により国土庁(1991)が編集した宝永スコリア全層の等厚線図上に、下鶴(1981)を基にした宝永噴火停止までの各地の状況を重ねた図)の記述を修正。等厚線図に示した層厚の単位は cm。

3. 宝永四年(1707年)富士山噴火の火山活動プロセスの推定と 火山情報発表タイミングの想定

火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググループ

火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググループでは、宝永四年(1707年)の富士山の噴火 (以下、宝永噴火という)について、最近の研究成果をもとにとりまとめた噴火の概要と 火山学的知見に基づいてマグマ貫入の様子を概念的にモデル化し、宝永噴火における火山 活動プロセス(地殻変動・地震活動等)を推定した。さらに、史実とマグマ貫入のモデル から、今、仮に宝永噴火と同じ火山活動が起きたとしたら、気象庁や火山噴火予知連絡会 はどのような対応を取り得るかについても検討した。

以下、検討した結果等について報告する。

火山活動のステージ

古文書等歴史資料、地質調査等の最近の研究成果をもとに当グループがとりまとめた宝 永噴火の経過から、宝永噴火前後の火山活動を、表1のとおり、噴火開始までを4つ、噴 火開始後終息までを5つのステージに分けた。

火山活動プロセスの推定

古文書等歴史資料、地質調査等の最近の研究成果をもとにした宝永噴火の経過に加え、 史料による宝永噴火前後の地震活動状況や現在の地震・火山学的知見をもとにマグマ溜り やマグマ貫入の様子を概念的にモデル化した。各ステージにおけるマグマの活動を、図1、 2 に示すダイク貫入モデルで表現することとして、このモデルを用いて宝永噴火の活動プ ロセスを推定した。地震活動については、ダイク貫入時にダイク周辺部で地震が発生した ものと考えて、震央距離・震度との経験式および歴史資料の記述から地震の規模(M:マグ ニチュード)を推定し、地殻変動量については、このダイク貫入モデルに基づいて、現在 観測が行われている GPS 観測点における変動量を推定した。

なお、マグマ溜りやダイク貫入の様式は、史実や地質調査等のデータだけではモデルを 限定することはできない。ここで用いたモデルは、できるだけ簡単化した仮想的なモデル であり、例えばマグマは山頂直下まで既存の中心火道を上昇し山頂直下でダイクを形成す るなど、他にもいくつかのモデルが考えられる。

モデルを限定することができないため、推定した火山活動プロセス、特に噴火前の地殻 変動の進行具合については違いがある。つまり、貫入するダイクが噴火のある程度前から ゆっくりと成長するか、噴火の直前に急速に成長するかによって、早い段階から地殻変動 が観測されるか、噴火の直前になって観測されるかの違いが生じる。

想定される気象庁・火山噴火予知連絡会の動き

宝永噴火と同じ火山活動が、今、仮に上述の想定したマグマ貫入モデルの通りに起きた としたら、気象庁や火山噴火予知連絡会はどのような対応を取りうるかについて検討した。 火山情報発表タイミングについては、宝永噴火前後の火山活動プロセスで発生すると推

定した諸現象(表 2、3)に対して、下表に基づいた種類の火山情報を発表すると仮定して 検討した。また、火山情報発表に伴う気象庁と火山噴火予知連絡会の対応を整理した(表 4、5)。

情報発表のもととなる地震活動と地殻変動	発表する火山情報の種類
震源が深い火山性地震の増加や多発	火山観測情報
火山性地震の震源が浅くなる	
火山性地震の規模が次第に大きくなる	臨時火山情報
膨張を示す地殻変動が観測され始める	
震源が浅く、体に感じる火山性地震の多発	
膨張を示す地殻変動が加速する	緊急火山情報
噴火が発生する	

表 地震活動・地殻変動とそれに対応して発表する火山情報(仮定)

参考文献

参考にした文献は、以下の文献のほか、火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググループ のコア・メンバーらによる未公表の研究成果を加えて検討し、とりまとめた。

- ・火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググループ(2002):「宝永四年(1707 年)富士山噴火の概要と活動経過」,7pp.
- · 気象庁(1994-1999):「火山観測指針(観測編)」.
- ・小山真人・宮地直道(2002):史料からみた宝永四年(1707年)富士山噴火の推移(改訂版), 富士山ハザードマップ検討委員会第3回基図部会委員提出資料,5pp.
- ・宮地直道(1993):富士火山 1707 年噴火の推移と噴出物の特徴,文部省科学研究費重点領 域研究「火山災害の規模と特性」(研究代表者 荒牧重雄),111-119.
- ・宮地直道・小山真人(2002):宝永四年(1707 年)噴火に伴う噴出物の堆積時間と噴出率の 推移(改訂版),富士山ハザードマップ検討委員会第4回基図部会委員提出資料,3pp.
- ・内藤宏人・吉川澄夫(1999):地殻変動解析支援プログラム MICAP-G の開発,地震第 2 輯,52,101-103.
- ・中村浩二(1999):GPS データ簡易表示プログラム(SEIS-GPS)の開発,情報地質,10,257-266.
- OKADA Yoshimitsu (1992):Internal Deformation Due to Shear and Tensile Faults in a Half-Space. Bulletin of the Seismological Society of America, 82, 1018-1040.
- ・損害保険料率算定会(1997):「火山災害の研究」, 地震保険調査研究, 42, 311pp.
- ・宇津徳治(1984):震度-震央距離-マグニチュードの関係 その1.東日本太平洋岸沖合を 除く日本の浅発地震, 59, 219-233.
- ・宇津徳治(1986):震度-震央距離-マグニチュードの関係 その2.東日本太平洋岸沖合を 除く日本のマントル最上部の地震,61,551-561.

表1 宝永噴火の経過に基づくステージ分け

ステ ージ	年月日 ¹⁾ 時刻	史実 ²⁾	火山現象(推定) ²⁾	噴出量 形成時間 噴出率 ²⁾	
Ι	1707年 10~11月 (12月2-3日)	富士の山中で地震(10 月時分は 毎日幾度も)	山中のみで有感となる地震活動が次第に 活発化		
П	12月3日頃~ 14日	富士の山中で地震(10~20回/ 日)、東麓で 3~4回/日鳴動	山中のみで有感となる地震活動が多発、 鳴動がほぼ毎日あった(火山性地震に伴って発生した可能性) ³⁾		
	15 日昼	地震が数回(須山 7~10 回、吉 原 14 時過ぎから度々)	山麓で有感となる地震が増加		
Ш	15 日夜 ~16 日朝 (05 時頃)	地震多数(須山数知れず、山之 尻たえず揺れる、小田原12回)、 夜中~未明に東京・名古屋・下 伊那郡でも地震が2回	・山麓で有感となる地震が急増し、一日に 数十回となった ・夜中~未明にかけて 2 回の規模の大き い地震		
IV	16日朝	麓では大地震、下伊那郡・東京 でも地震	規模の大きい有感地震が発生した		
IV	午前 (10 時頃)	麓で再び大地震、東京でも地震	再び規模の大きい有感地震が発生した		
	10~12 時	鳴動とともに黒雲が上がる、東麓 で降砂・降礫開始	噴火微動、空振を伴って、軽石の噴出が 宝永第2、第3火口で始まった	0.040L 3DDD	
V	昼過ぎ	江戸で白い砂が降る	上空の西風で火山灰が東京に達した、噴 煙は成層圏に達した	0.048km°DRE 約7時間 6.89×10 ⁻³ km ³ DRE/h	
	タ方 (18 時頃)	須走で降礫による火災	噴石(軽石)が火口から東北東に約 8km 離 れた集落に落下した	0.007 (0 Mil Ditt), i	
	夕 方 ~ 夜	火柱・空振・震動・雷の目撃な ど、江戸の降砂が黒くなる	火柱・空振・地震・微動・火山雷が発生、 噴出物が軽石からスコリアに移行した	0.1001 3DDE	
VI	17 日午前 (08 時頃)	一時雷鳴がおさまる	宝永第 2・第 3 火口の噴火活動は一時的 に小康状態になった	0.120km ³ DRE 約 17 時間 7.06×10 ⁻³ km ³ DRE/h	
VII	17 日午前 ~19日	・17日夜頃地震頻発・大地震 ・江戸で断続的に降砂や空振	・17日夜に規模の大きい有感地震が発生 ・宝永第1火口から噴火開始。ただし、噴 火は一様でなく強弱有り。	0.083km³DRE 約 68 時間 1.22×10 ⁻³ km³DRE/h	
VШ	20 ~25 日夕方 (18 時頃)	 ・江戸での空振や降砂の量が減る ・21日から東麓で連続的な地震 	宝永第1火口からの噴火の規模が小さく なり、強弱のある噴火を繰り返した	0.093km ³ DRE 約 129 時間 0.72×10 ⁻³ km ³ DRE/h	
IX	25日夕方 ~ 1708年1月 1日未明	東麓で空振や地震が激しくな る。江戸でも時折降砂があるが、 28 日以降はみられなくなる。31 日夜~1月1日にやや爆発的噴 火した後に噴火終息。	宝永第1 火口からの噴火が活発化する。 31 日夜までに第1火口内にスパター丘が 形成されるが、その後の噴火で中央部が 吹き飛ぶ。	0.332km ³ DRE 約 159 時間 2.09 ×10 ⁻³ km ³ DRE/h	

1) 新暦に換算した年月日。括弧内は、おおよそのステージ境界の日時。

2) 史実は小山・宮地(2002)による噴火推移を抜粋・要約、火山現象は史実と地質による解釈、噴出量および噴出率は宮地(1993)に基づき岩石に換算(テフラ層の堆積密度1.0g/cm³、岩石密度2.5g/cm³と仮定)により、それぞれ火山噴火予知 連絡会富士山ワーキンググループ(2002)がとりまとめた宝永噴火の経過による。

3) 一般に、震源の浅い局所的な群発地震などでは震央方向から鳴動が聞こえる例がある(気象庁の観測結果にも鳴動を伴って発生した地震が記録されている)。当時は鳴動の誤認原因となる人工ノイズもなく、また冬季であることから連日の雷鳴発生とも考えにくい。さらに、宝永噴火の直前の15日から16日午前の噴火まで徐々に地震の回数が多くなり、規模も大きくなってきたことから、鳴動は、火山性地震に伴うものと推定した。(火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググループ,2002)



図1 宝永噴火直前までのダイク貫入モデル模式図

宝永噴火直前までにマグマが次のとおりダイク状に貫入したとするモデル。

Stage I:1707年10月~12月2日

深さ 15km の深部マグマ溜りからマグマが上昇し、山頂直下の深さ 10km 付近から南南東方向にダ イク状にマグマが貫入し始める。

Stage Ⅱ:12月3日~14日

ダイクの貫入は続き、ダイクの頭部は火山体下の深さ 5km に達する。 Stage Ⅲ:12月15日~16日早朝(05時頃)

ダイクの貫入は続き、ダイクの頭部は火山体下の深さ 1km に達する。 Stage IV:12月16日早朝(05時頃)~同日10時頃(噴火開始時刻)

ダイクの頭部は火山体表面直下の深さ0kmに達する。



図2 宝永噴火過程のダイク貫入モデル模式図

宝永噴火後の噴火の過程でマグマが貫入したダイクが次のとおり収縮したとするモデル。

Stage V:16日10時頃~16日夕方(18時頃)

プリニー式の噴火を開始し、大量のスコリアや火山灰等噴出する。

=> 噴出物の総量:48×10⁶m³

Stage VI:16日夕方(18時頃)~17日朝(08時頃)

噴火が継続する。

- => 噴出物の総量:168×10⁶m³
- Stage Ⅶ:17日朝(08時頃)~19日

噴火活動が継続する。

- => 噴出物の総量:251×10⁶m³
- Stage VIII: 20 日~25 日夕方 (18 時頃)
 - 噴火は間欠的に継続する。21日に入って地震活動が再び活発化し始める。
 - => 噴出物の総量:344×10⁶m³
- Stage IX: 25日夕方(18時頃)~1708年1月1日未明

噴火活動は、1708年1月1日未明頃終息した。

=> 噴出物の総量(1708年1月1日まで):676×10⁶m³

表2 宝永噴火直前までのダイク貫入モデルに基づく地殻変動・地震活動の推定結果

ステ	年月日1)	噴火開		史実から解釈し	想定するダイ	想定するダイク貫入モデル 3		地震活動と地殻変動の状況(推定)		
ージ	時刻	始 時 と の時間		た火山現家(推 定) ²⁾	マグマの動き	地震発生要因と震源	マグマの動きに伴う地殻 変動 ⁴⁾	地震活動		
Ι	1707年 10~11月 (12月2-3 日)	1~2か月 前	富士の山中で地震(10 月時分は毎日幾度も)	山中のみで有感とな る地震活動が次第に 活発化	深さ約 15km の深部マグ マ溜りからマグマが上昇 し、山頂直下の深さ約 10km から南南東方向に ダイク状にマグマが貫入	ダイク先端部付近の地震、 震源は山頂直下周辺の深 さ約 10km 付近	・検出されない程度の地殻 変動	マグニチュード(M)2 級以下の地震活 動、次第にM3前後 の地震を含むように なる		
П	12 月 3 日 頃~14 日	+数日前 ~	富士の山中で地震(10 ~20回/日)、東麓で3 ~4回/日鳴動	山中のみで有感とな る地震活動が多発、 鳴動がほぼ毎日あっ た	ダイクの貫入が継続し、 ダイクの頭部は深さ約 5kmに達する	ダイク先端部付近の地震、 震源は山頂南東数 km(今 の宝永火口直下)周辺の 深さ約 5km 付近	・傾斜計にわずかな変化、 GPS による地殻変動検知さ れず	M3程度の地震を含 む地震活動		
Ш	15 日昼	1日前	地震が数回(須山 7~ 10回、吉原 14 時過ぎ から度々)	山麓で有感となる地 震が増加	ダイカの貫入が継続」	ダイク周辺での浅い地震、 雪酒は山頂南東教 km(合	 ・富士宮1-御殿場間が約3 cmの縮み、富士山U-小室 間は変化なし。吉原等で顕 著な傾斜変化。 	M2 級・M3 級の地 震を半日で数回含 む地震活動		
	15 日夜 ~16 日朝 (05 時頃)	半日前	地震多数(須山数知れ ず、山之尻たえず揺 れる、小田原 12 回)、 夜中~未明に東京・ 名古屋・下伊那郡でも 地震が2回	 ・山麓で有感となる 地震が急増し、一日 に数十回となった ・夜中~未明にかけ て2回の規模の大き い地震 	ダイクの頭部は深さ約 1km に達する	ダイクの頭部は深さ約 1km に達する	ダイクの頭部は深さ約 1kmに達する	ダイクの頭部は深さ約 1kmに達する	展標は田頂田東毅 All(の宝永火口直下)周辺の 深さ約 3km 付近、規模の 大きい地震も2回含む	 ・富士宮 1-御殿場間約4 cmの縮み、富士山U-小室 間は約2cmの伸びが観測さ れる。吉原等での傾斜変化 継続。
W/	16 日朝	数時間前	麓では大地震、下伊 那郡・東京でも地震	規模の大きい有感地 震が発生した	ダイクの貫入が継続し、 ダイクの頭部は地表直下 に達する	ダイク 用 地震で 西-南 たけ構	ダイク形成の最終段階の 地震で、断層面走行北北 西-南南東の正断層型ま たは横ずれ型などの規模	 ・富士宮1-御殿場間で約5 の cmの縮み、富士山U-小室 北 間は約4cmの伸びが観測される。吉原等での傾斜変化 塩 さらに継続。 	M5 程度の地震 2	
IV	午前 (10 時頃)	噴火直前	麓で再び大地震、東 京でも地震	再び規模の大きい有 感地震が発生した		の大きい地震2回を含む、 震源は山頂南東数 km(今 の宝永火口直下)周辺の 深さ約3km付近	 ・富士宮1-御殿場間で約5 cmの縮み、富士山U-小室 間は約7cmの伸びが観測さ れる。吉原等での傾斜変化 継続。 	凹を己む地展活 動		

1)新暦に換算した年月日。括弧内は、おおよそのステージ境界の日時。 2)火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググループ(2002)がとりまとめた噴火の経過。表1の注参照。 3)深さは標高1000mを基準。 4)地殻変動量は、期間I以前と比較した、変動量。

表3 宝永噴火過程のダイク貫入モデルに基づく地殻変動・地震活動の推定結果

ステ	年月日 1) 噴火	噴火開		史実と地質から	想定するダイク貫入モデル 3)		地震活動と地殻変動の状況(推定)	
ージ	時刻	始時と の時間 ²⁾	史実 2	解釈した火山現 象(推定) ²⁾	マグマの動き (噴出量合計)	地震発生要因と震源	マグマの動きに伴う地殻 変動 ⁴⁾	地震活動
v	1707年 12月16日 10-12時頃 ~ 16日夕方 (18時頃)	噴火開始 から半日 後まで	・鳴動とともに黒雲上 がる ・東麓で降砂、降礫、 江戸で白い砂が降る	・噴火微動、空振を 伴って、軽石の噴出 が宝永第2・3火口か ら噴火開始。 ・噴煙は成層圏に達 した。	プリニー式噴火開始。大 量のスコリア、火山灰等 噴出。深部マグマ溜りか ら急激なマグマ流出。 (0.048km ³ DRE)	マグマ活動に伴う地震頻	 ・噴火を境に富士山全体が 急速に収縮する地殻変動 ・17 日朝までに、富士吉田 -富士宮 2、富士宮 1-御 殿場間でほぼ 10cmの収縮 	
VI	16 日夕方 ~ 17日朝 (08時頃)	半日~1 日	 ・火柱・空振・震動・雷の目撃など、江戸の降砂が黒くなる ・17日朝雷鳴一時おさまる 	・火柱・空振・地震・ 微動・火山雷が発 生、噴出物が軽石か らスコリアに移行した ・宝永第2・第3火口 の噴火活動は17日 朝一時的に小康状 態	噴火継続。深部マグマ溜 りからのマグマの流出継 続。17 日マグマの流出量 低下。 (0.168km ³ DRE)	 2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.	 ・富士山全体が収縮する傾向は少しゆるやかになり継続 ・18 日朝までに、富士吉田 -富士宮 2、富士宮 1-御殿場間で10cm強の収縮 	比較的規模の大 きい(マグニチュ ード(M)5 程度の) 地震を含む地震 活動
VII	17日朝~ 19日	1~3日	 ・17 日夜頃地震頻発・ 大地震 ・江戸で断続的に降砂 や空振 	 ・17 日夜に規模の大 さい有感地震が発生 ・宝永第 1 火口から 噴火開始。ただし、 噴火は一様でなく強 弱有り。 	噴火再開。 深部マグマ溜 りからのマグマ 流 出 再 開。 (0.251km ³ DRE)	マグマ活動再開に伴う地 震頻発。規模の大きい北	 ・富士山全体が収縮する傾向はゆるやかに継続 ・20 日夜半までに、富士吉田-富士宮 2、富士宮 1- 御殿場間で約15cmの収縮 	
VIII	20 日~ 25 日夕方 (18 時頃)	4~9日	 ・江戸での空振や降砂の量が減る ・21日から東麓で連続的な地震 	宝永第1火口からの 噴火の規模が小さく なり、強弱の有る噴 火を繰り返した	深部マグマ溜りからのマ グマ流出継続。 (0.344km ³ DRE)	 北四一南南東走向のオー プンクラック型地震発生。 震源は山頂南東数 km(今の宝永火口直下)周辺の 深さ約 3km 付近。 	 ・富士山全体が収縮する傾向は継続 ・25 日昼までに、富士吉田 -富士宮 2、富士宮 1-御殿場間で約 20cmの収縮 	
IX	25 日夕方 ~ 1708 年 1 月 1 日未 明	9~16 日	東麓で空振や地震が 激しくなる。江戸でも 時折降砂があるが、28 日以降はみられなくな る。31日夜~1月1日 にやや爆発的噴火し た後に噴火終息。	宝永第1火口からの 噴出が活発化する。 31 日夜までにスパタ ー丘が形成される が、その後の噴火で 中央部が吹き飛ぶ。	深部マグマ溜りからのマ グマ流出1月1日未明ま で継続。 (0.676km ³ DRE)		 ・富士山全体が収縮する傾向は25日頃から再び拡大 ・30日夜半までに、富士吉田-富士宮2、富士宮1-御殿場間で30~40cmの収縮 	比較的規模の大 きい(M5 程度の) 地震を含む地震 活動

1)新暦に換算した年月日。括弧内は、おおよそのステージ境界の日時。 2)火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググループ(2002)がとりまとめた噴火の経過。表1の注参照。

3)深さは標高 1000m を基準。 4)地殻変動量は、期間 I 以前と比較した、変動量。

表4 ダイク貫入モデルによる宝永噴火プロセスに基づいて想定した

宝永噴火直前までの火山情報発表のタイミング及び気象庁と火山噴火予知連絡会の動き

Stage	年月日 ¹⁾ 時刻 (噴火開始時と の時間)	史実と地質から解 釈した火山現象(推 定) ²⁾	気象庁および火山噴火予知連 絡会の対応(想定)	想定する火山情報の種類と情報文の見出し・概要		
I	1707 年 10~11 月 (1~2 か月前)	山中のみで有感とな る地震活動が次第に 活発化	10~11月: 気象庁 火山機動観測班による観測強化 火山噴火予知連絡会 臨時幹事会を随時開催 ・総合観測班を立ち上げる ・活動評価を行う富士山部会設置	 10月: ・火山観測情報 火山性地震が多発した。地殻変動・表面現象には特段の変化がみられない。 10~11月随時: ・火山観測情報 (火山性地震の状況を発表) 		
П	12月3日頃~ 14日 (十数日前~)	山中のみで有感となる 地震活動が多発、鳴動 がほぼ毎日あった	十数日前~数日前: 火山噴火予知連絡会 富士山部会を随時開催	 十数日前~数日前随時: ・臨時火山情報 鳴動を伴う地震を観測した。地殻変動・表面現象には特段の変化がみられない。 ・火山観測情報 (火山性地震の状況、または富士山部会での検討結果) 数日前:臨時火山情報 有感地震が増加している。 		
	15 日昼 (1 日前)	山麓で有感となる地震 が増加	 1日前(緊急火山情報発表数時間後): 火山噴火予知連絡会 	 1日前: ・緊急火山情報 有感地震が急増している。震源は浅い。 ・火山観測情報(火山噴火予知連絡会の見解) 		
Ш	15 日夜~ 16 日朝 (半日前)	 ・山麓で有感となる地震が急増し、一日に数十回となった ・夜中~未明にかけて2回の規模の大きい地震 	富士山部会を開催 ・部会見解をとりまとめる	 半日前(夜中の大きい地震直後): ・緊急火山情報 富士山頂または南東側を中心に膨張していることを示す地殻変動が観測され、加速している。一連の活動の中で最大(マグニチュード5程度)の火山性地震が発生した。 ・火山観測情報 (火山性地震・地殻変動の状況) 		
IV	16 日朝~午前 (数時間前~直 前)	規模の大きい有感地震 が朝と噴火直前の2回 発生した		数時間前(朝1回目の大きい地震直後): ・火山観測情報 再びM5程度と規模の大きい火山性地震が発生。有感地震は引き続き多発している。山頂または南 東側を中心に膨張していることを示す地殻変動の加速が継続している。		
1) 新暦に)新暦に換算した年月日。 拮弧内は、おおよそのステージ境界の日時。 2)火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググルーブ(2002)がとりまとめた噴火の経過。 表1の注参照。					

表5 ダイク貫入モデルによる宝永噴火プロセスに基づいて想定した

宝永噴火過程での火山情報発表のタイミング及び気象庁と火山噴火予知連絡会の動き

Stage	年月日 ¹⁾ 時刻 (噴火開始時と の時間)	史実と地質から解 釈した火山現象(推 定) ²⁾	気象庁および火山噴火予知連 絡会の対応(想定)	想定する火山情報の種類と情報文の見出し・概要		
v	12月16日 10~12時頃~ 16日夕方 (噴火開始から 光日後まで)	 ・噴火微動、空振を伴って、軽石の噴出が宝永 第 2・3 火口から噴火開始。 ・噴煙は成層圏に達し 		噴火数分後: 緊急火山情報 12月16日10時xx分、富士山南東斜面で噴火した。 噴火約十分後:火山観測情報又は緊急火山情報 噴煙は10,000m以上に達し、大量の噴石、火山灰が放出されている。 数時間後:火山噴火予知連絡会の見解 以後、18日まで随時:火山観測情報		
	十日仮よい	た。		(噴火活動の消長、噴煙・降灰、地殻変動・地震活動の状況を発表) 以後、活動終息まで随時:火山噴火予知連絡会の見解		
VI	16日夕方~ 17日朝 (半日~1日後)	・火柱・空振・地震・微 動・火山雷が発生、噴 出物が軽石からスコリア に移行した ・宝永第2・第3火口の 噴火活動は17日朝一 時的に小康状態	噴火開始から数時間後: 気象庁 現地に職員を常駐開始 火山噴火予知連絡会 富士山部会を開催 ・部会見解をとりまとめる 以後、活動終息まで随時: 火山噴火予知連絡会 富士山部会または臨時連絡会を 開催	17日朝(降灰分布が確認された後):火山観測情報 泥流が発生する可能性があり警戒が必要。		
VII	17日朝~ 19日 (1~3日後)	 ・17 日夜に規模の大きい有感地震が発生 ・宝永第1火口から噴火 開始。ただし、噴火は一様でなく強弱有り。 		富士山部会を開催 ・部会見解をとりまとめる 以後、活動終息まで随時: 火山噴火予知連絡会 富士山部会または臨時連絡会を	 富士山部会を開催 ・部会見解をとりまとめる 以後、活動終息まで随時: 火山噴火予知連絡会 富士山部会または臨時連絡会を 	 17 日昼:火山観測情報 噴火活動は弱まっている。噴火後の山体が収縮する地殻変動は少しゆるやかになり継続している。 17 日夜:火山観測情報 再びM5 程度と規模の大きい火山性地震が発生。地震活動は活発化。 18 日朝(第1火口からの噴火直後):火山観測情報
VIII	20日~ 25日夕方 (4~9日後)	宝永第1火口からの噴 火の規模が小さくなり、 強弱の有る噴火を繰り 返した		噴火活動が再開した。 以後 25 日まで随時:火山観測情報 (間欠的に継続する噴火活動の推移、噴煙・降灰の状況、地殻変動・地震活動の状況を発表)		
IX	25日夕方~ 1708年1月1日 未明 (9~16日後)	宝永第1火口からの噴 出が活発化する。31日 夜までにスパター丘が 形成されるが、その後の 噴火で中央部が吹き飛 ぶ		 25日頃:火山観測情報 噴火活動が活発化した。富士山が収縮する傾向が拡大している。 以後30日まで随時:火山観測情報 (噴火活動の消長、噴煙・降灰、地殻変動・地震活動の状況を発表) 31日:火山観測情報 爆発的な噴火が発生した。地殻変動は、富士山が収縮する傾向がゆるやかに。 		
	1月1日以降 (16日後以降)	噴火は発生しない		以後当面の間定期的に:火山観測情報 (噴煙、地殻変動・地震活動の状況を発表)		

1)新暦に換算した年月日。括弧内は、おおよそのステージ境界の日時。

2)火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググループ(2002)がとりまとめた噴火の経過。表1の注参照。

4. 富士山において発表する火山情報と火山現象との対応(想定)

火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググループ

富士山ワーキンググループの成果の一つとして、宝永噴火の推移が明らかにされ、また宝永噴火におけるマグマ供 給系をモデル化し、宝永噴火に前駆する地殻変動を見積もることも行われた。これら宝永噴火に関する考察と、他の 火山における噴火事例を参考にして、富士山において噴火前後に生起すると予想される火山現象とそれに対応してど のような種類の火山情報を発表していくかについての考え方を表1のように整理した。

富士山の将来の噴火に対する前駆現象の現れ方や噴火の推移には様々な変化があると考えられるので、火山現象と 火山情報の時間的な推移を議論することはできないが、表1のように、前兆的な地震活動や地殻変動、あるいは噴火 現象とそれらに対応して発表する火山情報の関係をまとめておくことは有意義である。ただし、表1は噴火の前駆現 象としての激しさの順、あるいは噴火の過程の中での噴火現象の激しさの順に並べたものであるが、火山活動の推移 によっては、火山観測情報→臨時火山情報→緊急火山情報の順に発表できるとは限らないことに留意されたい。

情報発表の元となる火山現象	発表する火山情報の種類
浅部での火山性地震・微動の発生は少ないが、地殻変動の異常が観測 される、深部低周波地震活動が高まる、噴気活動が現れるなど 震源が深い火山性地震の増加 浅部で火山性地震・微動の発生が見られる 浅部低周波地震が観測される 噴気活動が活発化する	火山観測情報 (あるいは臨時火山情報)
火山性地震を伴いながら、浅部に変動源があると推定される地殻変動の異常が観測され始める 浅部で火山性地震・微動が頻発するようになる 火山性地震の規模が次第に大きくなる 小規模な噴火の発生	臨時火山情報 (あるいは緊急火山情報)
震源が浅く、体に感じるものも含めた火山性地震の多発 膨張を示す地殻変動が加速する 噴煙高度が高く広範囲に降灰 溶岩流噴火が発生し、山麓に達する恐れがある 火砕流が発生、あるいはその可能性大 顕著な噴煙活動の継続、またはその可能性大 顕著な溶岩流出が継続、またはその可能性大 積雪期において火砕流噴火が発生、あるいはその可能性大	緊急火山情報 (あるいは臨時火山情報)

表1 火山現象と火山情報

5. 富士山における地震観測及び地殻変動観測の課題について

火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググループ

1. 検討する内容について

富士山の監視観測について、

- (a) 必要な検知能力・観測精度、
- (b) 検知能力を達成するために必要な観測点配置、
- (c) 関係機関で実施しているデータの活用、

の観点から検討する。

2. 地震観測について

富士山の地震活動レベル変化を把握するための監視観測がどの程度の検知力を必要とするかについて、富士山で通常 見られる地震活動に基づいて考察する。防災科学技術研究所における 1995 年4月から 2002 年6月までの約7年間の震 源決定実績は、表1(図1)のようになる。このことから、富士山の通常の地震活動のゆらぎを把握するには、M0.5 程度以上の震源決定能力を目標にすることが適当と考えられる。

マグニチュードの閾値	震源決定数	
2以上	9	活動度の変化を見るのは困難
1以上	約 150	年 20-30 個程度、活動度の変化を見るには不十分
0.5 以上	約 550	年間約 100 個
0以上	約 1200	年間 100 個以上

表1 防災科学技術研究所による富士山の震源決定実績



展示力41 (M=0) 図1:防災科学技術研究所の震源決定結果 1995/4~2002/6

代表的なマグニチュードの地震から期待される地震波の振幅を見積もると、表2のようになる。ここでは、初動の検知限界は最大振幅の数分の1、またノイズレベルを0.00001cm/sと仮定した。表2の下線付きの範囲では初動が検知できない。

震源距離, km	2	10	11.2	15	20
深さ 10km に対応する震央距離, km	—	0	5	11	17
М2	0.05	0.003	0.0024	0.0015	0.0009
M1	0.007	0.0004	0.0034	0.0002	0.0001
МО	0.001	0.00006	0.00005	<u>0.00003</u>	0.00002

表2:各マグニチュードに対応する最大振幅(cm/s:)

渡辺(1971)の式: 0.85M-2.50=log Av + 1.73log R, R:震源距離=<200km

log Av = 0.85M-2.5-1.73log R

注)上の表の振幅は地震波の減衰を考慮していない。

山頂部を含めて富士山全域であるマグニチュードレベル以上の地震を均質に震源決定するための観測網を考える。M 2なら現状の観測網で充分であり、M1なら現状でも可能である。M0クラスの地震の震源決定には、山頂から5km以 内に数カ所の観測点が必要となる。また、震源決定精度については、少なくとも計算上は現在でも0.5kmの精度がある。 実際には、地震波速度構造の3次元的不均質の影響、低周波地震の初動検出の不確かさ等を考慮して、精度を評価する 必要がある。

現在の気象庁のみの観測点配置では不十分であるが、気象庁が計画している山腹での観測を実施することや、関係機関(大学、防災科学技術研究所など)が設置する観測点データを監視に活用するなどのデータ共有化を進めることにより、富士山でM0.5程度の地震を精度良く決定しうる観測網を実現することは可能である。

3. 地殼変動観測網

監視観測の目的は富士山の活動評価が可能なデータを取得することである。必要な検知能力・観測精度を考える手がかりとなる現象は、

(ア) 富士山直下 20km 以浅での岩脈貫入(岩脈の規模(幅、高さ、開口量を設定))

(イ) 富士山直下 20km 以浅でのマグマ溜りの膨張・収縮(噴火準備過程を捉える)

(ウ) 火道を上昇するマグマの検出

などが考えられる。なお、地下の変動源をモデル化するためには、変化の検出のための観測点配置よりさらに稠密な観 測点が必要となる。

一般に、地殻変動の検出限界は、傾斜計の場合、1日当たりの変化率0.1~0.2µrad 程度、GPS(1周波)の場合、 水平変位5mm、上下変動1cm程度である。次に、マグマの移動から期待される地表変動量、あるいは岩脈貫入や球状マ グマ溜りの圧力変動が与える地表の変形を見積もる。長さ5km、幅5kmのダイクが北西一南東方向に貫入し、1m開口 した場合の傾斜変動を断層の上端の関数として図2と図3に、球状マグマ溜りにマグマが蓄積した場合の傾斜変動の例 を図4に示す。

(3) 観測データの活用について

GPSが複数の観測点を持つ観測網として運用されて始めて変動が検知できるのに対し、傾斜計・体積歪計などは1 観測点におけるデータそれ自体が意味を持つ。従って、富士山に設置されている各機関のGPSデータを集中して実時 間解析するとともに、傾斜計・体積歪計などのデータも集中することでより有効な監視を行うことが望ましい。また、 解析結果は速やかにデータを提供した機関に配布され、研究に活用されることが必要である。干渉SARデータについ ても、速やかな解析結果の情報交換・公開が必要である。



参考文献

鵜川元雄・熊谷貞人(1994):富士鳴沢火山活動観測施設における傾斜変動観測、防災科学技術研究所研究報告、53、35-50.

火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググループ

1. 群発地震活動と地殻変動

宝永噴火では、 に噴火の2週間ほど前から目立った地震活動があり、噴火前日からはM5クラスの地震を含め、一 段と激しくなっていった。M5クラスの地震が4個程度、M4クラスでは10個あるいはそれ以上発生したことが想 され る(、小山(2003))。この地震活動に するような地震活動は、例えば1998年4月の伊豆半島東方沖の群発地震、 あるいはそれよりもやや規模の大きい活動を想定することができる(地震研究所・気象庁地震予知情報課(1998))。 マグマ活動に起因すると われる群発地震活動は、しばしば顕著な地殻変動を伴うことが知られているし、そのよう





な地殻変動はコ イスミックな変動量を し合わせただ けではほと ど 明できないことが多い。マグマの貫入 が、準静的に地殻変動を引き起こし、また地震活動を 発すると考え、上内他(2002)は、伊豆東方沖の活動 などについて、地殻変動から推定される Mw と群発地震活 動の総量から推定した Mw を比 し、地震活動 Mw は地殻 変動 Mw を越えないこと、地震活動 Mw は地殻変動 Mw より 1~3程度小さいこともあることを指している。第1 図はそれに三宅島噴火などの事例を 加したものである が、やはり地震活動 Mw は地殻変動 Mw を越えないようで ある。また、神津新島の場合を除くと、長方形の の中 にほと どが分布しているとも見られる。なお、宝永噴 火や桜島大正噴火については史料から震度分布を推定し、 さらにマグニチュードを推定する方 (・小山、2002) を適用した。宝永噴火の地殻変動については、それを推 定できるようなデータはないが、後述する アズイエ流 を仮定した考察により推定したものであり、他のデータ と同様にプロットするのは適切ではないかも知れない。 しかし、地震活動がかなり活発であったことは確かであ 地殻変動(Mw) り、仮に神津新島(2000)のような大規模なダイク貫

入があった としても、地殻変動 Mw と地震 Mw の は 1くらいとなる。

> 第1図の 形領域の底辺(BC)は検出できる群発 地震活動の下限を、辺(AB)は地殻変動源の推定 ができる地殻変動の下限付近を表していると見 られる。地殻変動 Mw が5というのは、例えば幅 2km 長さ2km のダイクが1m 開口した場合に相 当する。実際は、これより数 以上規模の大きい ダイク貫入でないと地殻変動の ースとして精 度良く まらないであろう。

2. 宝永噴火時のマグマ噴出率からの考察



第3因 玉水噴火のマクマ貝八モアル

宝永噴火時のマグマに換算した放出率は第2図 のように推定されている(宮地・小山,2002)。こ のような放出率を実現するためには、ある程度以上 の大きさの通路が必要となる(し噴火継続中は通 路の大きさは一定と仮定)。ここでは、第3図のよ うな開口断層を想定し、マグマが地下からアズイ エ流としてこの開口断層を通過して噴出すると考 えた。なお、最近の研究により、宝永噴火の前から デイイトのマグマがすでに地表近くに存在し、そ れが宝永噴火の最初期に噴出したことがわかって いる(小山・宮地,2002)。ここでは、デイイト のマグマがすでに地表近くに(0.5~1)×10⁸m³程度 存在し、それが宝永噴火の最初期に噴出したと仮定 した。このプリーニ式噴火の後、玄武岩質マグマの性



マグマ収支から考察した浅部マグマ量の推移

係数を(2~5)×10²Pa sec とし、地殻と10 程度密度 があると仮定すると、 力を受けてダイク中を上昇することに よって、宝永噴火全期間にわたる供給が可能である。第4図では、 積噴出量を時間微分したものがその時々の噴出量 になる。ただし、条件次第では、ダイク中のマグマ流量のゆらぎや、火口直下での一時的なマグマの 留を考える必要 はある。 性係数が 200Pa sec ならば、最初の 24 時間程度地下浅部に存在したマグマ溜りからの噴出を考えるだけでよ い。500Pa sec ならば、後半の噴出率の増加に対応するため、一時マグマを浅部の溜りに しておくことが必要にな る。なお、いずれの場合も噴出率の変化は第3図の深部での供給率の変化によると仮定している。

次に、このようなマグマ供給モデルから推定 される地殻変動のモーメントマグニチュード (Mw)と、前兆地震活動のモーメントマグニチ ュードを比 する。前兆地震活動はM5クラスの 地震4個を含むことから、Mwは6程度とする。 これと地殻変動のモーメントと同程度であった と仮定すると、幾何学的形状としてダイクを仮



第5図 宝永噴火のマグマ貫入モデル

定した場合、想定される貫入量は、(0.4-1)×10⁸m³程度となる。S波速度は1.4-2.3km/s、密度は2500kg/m³を仮定している。このうち最も体積増加の少ない場合は、10km×4km×1m(開口量)と見積もられる。最も大きい場合でもおよそ10km×8km×1m(開口量)である(第5図)。第1図は地震活動のMwが地殻変動のMwよりも0~3程度の範囲で下回っていることを示しているが、もし、地殻変動のMwが7であったとすると、体積増加量は30の10⁹-10¹⁰m³となり、開口量が変わらないとするならば、断層面積が10以上必要になるし、断層面積を変えないならば、開口量が10m必要となる。これだけの地殻変動があれば、何らかの形で記録にされるとか、地形にされるとわれる。宝永噴火の前兆的地震活動は、地殻変動の規模の割には効率的に地震を起したのかも知れない。

3. 前兆的地震活動 Mw がより小さい場合

第1図の関係を仮定すると、地震活動 Mw が4の場合、地殻変動の Mw は4から7程度、地震活動 Mw が3の場合、地殻 変動の Mw は3から6程度となる。 性率を1.3×10¹⁰とした場合、開口量を仮定した場合の断層面積は下表の様になる。

地殻変動の Mw	地殻変動の Mo(Nm)	V (m ³)	開口量(m)	断層面積(m²)
3	10 ^{13.6}	$3 \ 10^3$	0.5	$6 \ 10^{3}$
4	10 ^{15.1}	9.6 10^4	0.5	$1.9 \ 10^5$
5	10 ^{16.7}	$3.8 \ 10^6$	1.0	$3.8 \ 10^6$
6	10 ^{18. 1}	9.6 10 ⁷	1.0	9.6 10 ⁷

マグマが少なくとも地下数 km より深部から供給されると仮定すると、地殻変動の Mw が3や4の場合は、マグマの通路を確保するには特異的に 直方向に 長する開口断層を考える必要がある。仮に断層の 直方向の長さが数 km で開口量が1m とすれば、Mw が3で水平方向の長さ数 m、Mw が4で長さ数+m となり、 程と同様の流体力学的考察をすると、 深部からのマグマの供給率は宝永噴火を想定した上述の検討結果より3~6 小さくなる。上述の検討で用いた物理パラメータのうち、 力の原動力となる密度 、 性係数とも、マグマ供給率を2 以上増やすような値はとれない。ダイク貫入を想定したマグマ供給系による限り、地殻変動の Mw が3や4程度の場合には、少なくとも大規模な噴火は考え にくい。また、地殻変動源としては微弱過ぎて観測にかからないであろう。

地殻変動の Mw が 5~6の場合は、地震活動総 M が 2~3にとどまることも考えられる。一般的には地震活動が顕著で なくて検知力限界付近であっても、地殻変動が観測されるようになった場合は、地表に至る通路が確保されている可能 性もあり注意が必要である。

地殻変動のMwは多くの場合5.5程度から7程 度となっている。5.5程度の場合はマグマの供 給源が浅ければ可能かも知れない(第6図)。た だし、地震活動Mwは大きくても5程度で、最大 地震がM2程度にとどまることも考えられる。 また アズイエ流を仮定して考察すると、深部 からのマグマの供給率は宝永噴火を想定した上



第6図 Mwが4の場合のマグマ貫入モデル

述の検討結果より1 小さい程度になる。ここで検討したマグマ供給系によれば、地殻変動のMwが5.5程度の場合には、 中・小規模な噴火のほか、マグマの供給が継続すれば大規模噴火も考えうる。

参考文献

伊豆半島東方沖

多田 (1998) 信:地質調査所・気象庁(1998) 地震予知連絡会会報 vol60地震研究所・気象庁地震予知情報課(1998):地震予知連絡会会報 vol59

気象庁地震予知情報課(2002):地震予知連絡会資料

- ・有珠山
 - 村上 ・小沢 三 ・西村 ・多田 他(2001):2000 年有珠山噴火にともなうマグマモデル GPS 連続観測 を とする地殻変動データによる推定 国土地理院時報 No.95
- · 神津島新島
- Nishimura T, S. Ozawa, M. Murakami, T. Sagiya, T. Tada, M. Kaidzu and M. Ukawa(2000) : Crustal deformation caused by magma migration in the northern Izu islands Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 3745-3748, 2001
- ・箱根山

国土地理院(2001):第90回火山噴火予知連絡会資料

- ・桜島
 - 中央気象 (1914): 気象要覧第 169 号、第 170 号(臨時増)
- Hashimoto, M and Tada, T(1992): A model for crustal deformations associated with the 1914 great eruption of Sakurajima volcano, Kagoshima apan, Tectonophysics, 205, 427-436.
- ・三宅島
 - 宇平 一・永 順則・山本 二・ 山 文・荒 次(1983):1983 年三宅島噴火前後の地震活動、火山 三宅島噴火 特集号
 - 文 (2001):地域変動観測による三宅島における 1983 年噴火およびそれ以降のマグマ供給システムの検討、地球 科学関連合同大会予 集(2001)
 - 上田 ・藤田 輔・鵜川元雄・山本 二(2002): 傾斜およびGPSデータから推定された 2000 年 6 月 26 日~27 日の三宅島のマグマ貫入過程 日本地震学会 予 集 2002 年度 季大会
- ・ 富士山
 - 小山真人・宮地直道(2002): 史料からみた宝永四年(1707年) 富士山噴火の推移(改訂版), 富士山ハザードマップ検討委員会第3回基図部会委員提出資料, 5pp.
 - 宮地直道・小山真人(2002):宝永四年(1707年)噴火に伴う噴出物の堆積時間と噴出率の推移(改訂版),富士山ハザード マップ検討委員会第4回基図部会委員提出資料,3pp.
 - 小山真人・宮地直道(2002A): 史料からみた宝永四年(1707 年) 富士山噴火の推移, 富士山ハザードマップ検討委員会第 1回基図部会委員提出資料, 11pp.

豊・小山真人(2003): 宝永噴火に 立って発生した地震の規模の推定、歴史地震研究会

・岩手山

藤峰 ・ ロ 之(2001):1998~1999年の岩手山のマグマ貫入プロセスと地震活動、京 大学防災研究所研究集会 (一般:13K-2)「マグマ活動と火山性地震・微動」 7. 富士山を想定したシミュレーションによる震源決定能力調査

火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググループ

1. 計算方

富士山とその周辺を緯度経度とも2分 とのメッシュに区切り、各格子点に震源を置きマグニチュード(M)を与え、 各観測点におけるP波 達時刻、S波 達時刻、最大振幅(いずれも理論値)を算出する。算出された理論走時に誤 を加え検測値を作成し、震源計算を行う。マグニチュード式は渡辺の式を使用した。各震源について100通りの検測値 を作成し、震源計算を行い、元の震源とのずれを調べた。使用した速度構造は、半 限構造(Vp:2.5km/s, Vs:1.4km/s) である。

・震源を置いた格子点

東経 138 35 ~55 の 2 分刻み(11 通り) 北緯 35 10 ~30 の 2 分刻み(11 通り)

深さ 1、5、10km (3通り)

P波、S波走時に与える誤 (100 通り)

P波:擬似 数により、理論走時一誤 2 ~理論走時 誤 2 の間に分布させる

S波:擬似 数により、理論走時一誤 4 ~理論走時 誤 4 の間に分布させる

• P S 走時の震源計算での使用条件

P相については、渡辺式によって計算される最大振幅がノイズレベルの5 以上の場合に使用、S相については、ノ イズレベルの3 以上の場合に使用した(田・小原、2000による)。

なお、現実にはノイズレベル以下の場合でも周期等の違いから相が読める場合もあるので、この調査による結果より 小さいMについても決めることが可能な場合がある。なお、計算に用いた観測点リスト(括弧内はノイズレベル(単位は 10⁻⁶ cm/s)、 は測定値による、他は適当に仮定)は下記の通りである。

気象庁 : A 点(50)、富士山 8 合目(30)、C 点(30)、D 点(30)、山 下部(30)

東大震研:富士山(20)、小(20)、富士小山(20)、本(20)、富士桜(20)、細野(10)

大石(10)、 下(10)

防災科研:下部(5)、 留(13)、 留(6)、富士宮(47)、 津(20)、南 (20) 山北(5)、 野(76)、精進(18)、富士鳴沢(15)、富士吉原(15) 富士須走(15)、富士広見(15)、第5観測点(10)、第6観測点(10)

2. 結果の例

一般に、Mが大きいほど、あるいは震源深さが浅いほど、震源決定精度はよくなる。また、北西象限の震源決定精度 に比べて、南側及び北東象限の端では観測点が限られているために相対的に低い。深さ5km、M0.2(図2,3)、及び深 さ10km、M0.5(図4,5)の場合は、ほぼ富士山全域にわたって震源位置(水平面内および深さ)が良好に再現できて いる。深さ15kmでは、M0.2だと震源は決まるが、誤 は 1kmを越える(図6,7)。深さ15km、M0.5の場合は、 例えば富士山の北東象限に注目すると、北西一南東方向の誤 が 1km程度になる格子点が多く、震源が浅い場合に比 べて震源決定精度はやや るものの、震源を把握するには大きな支 とはならないと考えられる(図8,9)。現在の気 象庁震源では、富士山の低周波地震活動がM0.7程度までは把握できていることから考えて、これらのシミュレーショ ン結果は概ね妥当であろう。以上のことから、模擬的な計算では、現在計画中の観測網でほぼ必要条件を満たしている と考えられる。なお、結果の図では、震源が格子点上に密に分布していれば精度良く まっており、そうでなければ、 決定精度が落ちることを意味する。また、格子点付近に震源が全くプロットされていない場合は、震源が全く まって いないことを示している。

参考文献

岡田義光、小原一成(2000):関東・東海地域の高感度地震観測点における地動ノイズの特徴、防災科学技術研究所研究報告、 60、15-29



図1 震源決定能力のシミュレーションに用いた観測点





図3 深さ5km、M0.2の場合の震源決定シミュレーション結果(震源深さ)



図4 深さ10km、M0.5の場合の震源決定シミュレーション結果(震央分布) 等高線は200m間



図5 深さ10km、M0.5の場合の震源決定シミュレーション結果(震源深さ)



図6 深さ15km、M0.2の場合の震源決定シミュレーション結果(震央分布)



図7 深さ15km、M0.2の場合の震源決定シミュレーション結果(震源深さ)





図9 深さ15km、M0.5の場合の震源決定シミュレーション結果(震源深さ)

8. 富士山の地殻変動観測網・地震観測網の検知能力について

火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググループ

1. 地震観測網

(1) 富士山において観測・監視の対象とすべき地震活動

地震活動から火山活動の異常を評価するためには、噴火に至る過程でのマグマの移動に伴う地震活動を検出できるこ と、活動の評価に十分な震源精度を確保できること、さらに平常時においても地震活動度の変化を把握できることが必 要である(参考文献1)。

噴火に至る過程での地震活動の規模を推定するため、マグマが新たな通路を形成しながら地殻変動と地震活動を伴い つつ貫入したと考えられる事例を国内火山について取りまとめた。地震活動の場合、モーメントマグニチュード(Mw) に換算して2.7~6程度である。ちなみに宝永噴火の前兆的地震活動はMw6程度となる(参考文献2)。山頂部を含めて 山体内でM0.5程度以上の地震の震源を精度よく決定できる観測網が整備されているとすると、最大地震のMが2.7程 度の小規模な地震活動でも、グーテンベルク・リヒター則から考えて、少なくとも100個程度の地震は震源決定可能で ある。

また、 計的に有意な地震活動度の変化を把握するには、年間 100 個程度の地震を観測する必要がある。このため、 富士山での過 数年間の地震の発生回数をその規模 とに整理し、平常時の地震活動度を調査した。その結果、富士山 で低周波地震活動も含めて、地震活動度の変化を把握するためには、M0~0.5の地震を観測できること、また山頂部を 含めて山体内でM0.5程度以上の地震の震源を精度よく決定できる必要があることが分かった(参考文献1)。

(2) 地震観測網の考え方

(1)で評価したように、富士山の火山活動評価のためには富士山体下の地震について、M0.5程度の検知能力と噴火 に至る過程での震源の移動を検出できるだけの震源精度の確保が必要である。このことを考慮して、現在計画中の観測 点も含めた地震観測網の検知能力と震源決定精度の評価を行った。一般的傾向として、北西象限の震源決定精度は高い が、南側及び北東象限の端では観測点が限られているために相対的に低い(参考文献3)。ノイズレベルの設定にもよる が、計画段階のものまで含めて恒久観測点のデータを一元的に集約したとする模擬的な計算では、深さ 5km、M0.2、及 び深さ 10km、M0.5 の場合は、ほぼ富士山全域にわたって震源位置(水平面内および深さ)が良好に再現できている。深 さ 15km、M0.5 では、震源決定精度はやや落ちるが、震央位置を大きく誤ることはない。これにより、現在整備が進め られている観測網は、ほぼ必要条件を満たしていると考えられるが、富士山の震源決定精度をさらに向上させるために は、富士山南麓にノイズレベルの低い観測点を増設することが望ましい。また、今後、計画中の観測点の完成後に実際 のデータで検知力を評価することが望ましい。

2. 地殼変動観測

(1) 富士山において観測・監視の対象とすべき地殻変動

伊豆半島東方沖の群発地震活動や有珠山や三宅島の噴火の初期に貫入したマグマは約1千万m³程度と考えられる。ま た、現在富士山においてマグマの蓄積を示すような地殻変動が観測されているわけではないが、仮に、伊豆大島などで 観測されている一年あたり約 万m³程度の定常的なマグマ蓄積が存在し、10年間程度継続した場合も1千万m³となる。 そこで、マグマ溜りへの蓄積が1千万m³に達した、あるいは同体積のマグマがダイクに貫入した場合を想定し、これら の変動を検知するために必要な観測網について検討した。

(2) 地殻変動観測網の考え方

GPSの検出限界は水平方向約 0.5cm、上下方向約 1 cm、また傾斜計では地球 の振幅である 0.1~0.2 µ rad と設定し、1千万 m³程度のマグマが、ダイクとして貫入した場合を想定する。この場合、ダイクが深さ 25km にあると、変位量は検出限界以下であるが、10km よりも浅ければ地表における変位は数 mm を超え、また傾斜変化も深さ 25km では

0.1 μ rad 以下であるのに対し、10km よりも浅ければ1 μ rad を超える。また、マグマ溜りへの蓄積の場合、10km よりも 浅ければ地表におけるシグナルはやはり数 mm を超える。このような地殻変動は概ね5 km メッシュ内に各1点GPS観 測点があれば検知可能である(第1図)。また、上記傾斜変化は傾斜計が適切に配置されていれば検知することができる。

広域的変動はGPSで精度良く検知できることと、ダイク貫入のように局所的な変動に対しては、傾斜計の方が 感 であることを考慮して、GPS及び傾斜計(さらに歪計)を相 的に活用した観測網を構築することが望ましい。なおG PS観測点は2周波の受信 置を基本とし、さらに山頂部の稠密な観測網によって火山活動の推移を把握するために1 周波受信 置も活用する。またGPS観測データは、テレメータによる連続観測とすることは 論、周囲 100km 程度の 既存のGPS観測網と 合して、連続リアルタイム解析が行いうるようにしておくことが重要である。

なお、マグマ供給系やダイクの位置や形状をより詳細にモデル化するためには、マグマ活動による変位、傾斜、歪等 をさらに稠密に観測すること、また、火山活動の推移に応じた評価を行うため、準備過程を含めた噴火過程の全体を連 続的に観測を実施できるような観測網にすることが重要である。なお、今後も各地殻変動観測点のデータの精度を評価 しつつ、地下のマグマの動きを評価するための観測網のあり方を検討し、構築を継続していくことが望ましい。

3. その他の地球科学的観測

や 空機に 載された干渉合成開口レーダーによる観測は、広範囲の面的地殻変動を捉え、噴火発生地点を特定 しうる手 として期待される。一方、比 的 い領域にのみ観測値に変化が現れる 気的観測のような観測手 につ いては、他種目の観測成果をもとに調査対象とする場所を り む、あるいは繰り返し観測を実施するなどの工夫をし て、必要に応じた観測体 を検討していくことが必要である。

4. 関係機関の連携と速やかな情報の共有

地震観測、地殻変動観測 ともに、各機関が整備した 観測点のデータを共有でき るようにする。また、監視 を受け持つ機関においては、 理結果が速やかに関係機 関で共有できるようにする ことが必要である。



第1図 1千万 m³程度のマグマが、ダイクとして深さ 10km に貫入したこと を検知しうるGPS観測網の一例

参考文献

- 1 地震観測及び地殻変動観測の課題について(本報告書)
- 2 国内火山における地殻変動を伴う群発地震活動について(本報告書)
- 3 震源決定能力のシミュレーション調査(本報告書)

9. 富士山に類似した火山における噴火前兆現象の調査

火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググループ

宝永噴火については、豊富な古記録と詳細な地質調査結果を活用して、マグマ供給系の考察を含め、噴火シナリ と して取りまとめた。しかし、他の異なる規模・様式の噴火については、噴火推移に関する古記録が不十分なため、噴火 シナリ を検討することは困難であった。このため、長い静穏期の後に噴火した玄武岩質の他火山の例を参照して、シ ナリ を検討することにした。

しかし、長い休止期間後に噴火した事例を調査した結果、国の内外を わず、噴火前に近代的観測が行われた例はないことが 明した。たとえば 237 年目に噴火したカナリア諸島のラ・パルマ火山や 500 年以上の休止期間があるグアテマラの ンタマリア火山などである。

そのため、休止期間が長いという前提条件にこだわらず、大型の玄武岩質火山で長年科学観測がなされ、噴火の事例 が豊富という条件で再度調査を行った。それらの中から、特に地震活動と地殻変動についての噴火前前駆現象に 目し て事例を整理した。

- (1) アイスランドの クラ火山では、体積歪計の変化や微小な群発地震が、噴火の直前 0.5~1 時間前に見られる程度 で、ほと ど前兆現象がみられない。
- (2) レニン島のトンデラフルネイズ火山では、噴火の数ヶ月前から山頂火口付近でインフレーションが確認で きるが、噴火に行する地震の開始は、わずか半日程度のことが多い。1990年の噴火の際には、山頂付近に多数設置した傾斜計のデータをリアルタイムでモニター、マグマの位置と移動速度を測定することに成している。
- (3)ハワイ島のマウナロア火山では、1975年と1984年に山頂噴火とそれに引き続く割れ目噴火(北東および南西) が発生している。これら二つの噴火は類似した前兆を伴っていた。噴火の1年ほど前から山頂火口直下 8km 前後 の地震が徐々に増加をはじめ、噴火の半年前には、火口の北西側 5 m深さ 8 mの地点で群発地震が発生した。 また、北東と南西の2方向の割れ目火口 をまた 距離が噴火の半年前から びに じた。なお、山頂噴火から割 れ目噴火開始までのは平均2年、ながくても3年以内のことが多い。
- (4) イタリアのエトナ火山は、地形的にも富士山によく似た火山である。ほぼ定常的な活動をしている山頂噴火と、 山頂地下からのびる岩脈によってさま まな方向で数ヶ月から 20 年程の間 で発生する山腹割れ目噴火と、山頂 噴火とは岩石学的にも異なる 立噴火の、3 種類の噴火がある。最近 400 年間の活動は活発で、その間に約 5 立方 キロのマグマを噴出している。山頂噴火が発生してから山腹割れ目噴火が発生するケースも多いが、山腹割れ目噴 火だけがおこることもある。

1981 年噴火では、噴火の3ヶ月前から、傾斜計で山頂上がりの変動が観測されている。1988 年の噴火の際には、噴火の7-8ヶ月前から山頂のインフレーションがはじまっている。また、1989 年噴火の直前3ヶ月前から、山頂地下10km よりも深い地域の地震が減少、10 mより浅い地域での地震が増加している。1991 年の噴火では、噴火に 立ち1 年 ほど前から徐々に火山性微動の振幅が増加していた。なお、エトナ火山の場合、噴火が連続的に起こっているため、静穏期の認定が難しく、観測期間のわりに前兆と 断されたものは少ない。

このように噴火前駆現象は多様多様であり、富士山の噴火シナリ に直接結び付けることは難しいが、今後の富士山 の監視を行う上では十分参考になるものと期待される。この資料は火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググループ報告 書の別 にまとめて掲載した。