

わが国における火山噴火予知の現状と課題

藤井 敏嗣^{*,**}

(2016年11月16日受付, 2016年1月17日受理)

Present Situation and Issues to be Concerned on the Prediction of Volcanic Eruption in Japan

Toshitsugu FUJII^{*,**}

The main stream of the researches for prediction of volcanic eruption in Japan has been promoted through the national program which was established in 1974. The research has been advanced based on the development of basic volcanology and on the accumulation of practical knowledge obtained through the occasional volcanic eruptions. As it was shown in the review of the recent volcanic eruptions in Japan and the measures taken to mitigate the disasters caused by these eruptions, the prediction of volcanic eruptions in Japan is, however, on the stage of empirical pattern recognition. It is still far away from prediction based on the models of the underlying dynamics of volcano. Even in such situation, public society asks when and where eruption will occur, and how long the eruption will continue. It is difficult to answer these questions; however it is necessary to provide useful information based on the monitoring of eruption and the application of the available knowledge for the mitigation of volcanic disaster. In this context, several issues which might be concerned in the research of prediction of volcanic eruption and in developing the measures to mitigate volcanic disasters are described.

Key words: prediction of volcanic eruption, mitigation of volcanic disaster

1. はじめに

火山噴火予知は火山学の目標の一つという見方もできる (Sparks, 2003). 本来の意味での火山噴火予知は噴火の時期, 場所, 規模, 様式および推移を予測することであり, これは火山におけるマグマプロセスを理解できて, はじめて可能となるからである. しかし, 火山は複雑でダイナミックなシステムであり, 噴火は様々なプロセスの競合により発展し, これらのプロセスを支配する要因は常に多くの不確実性を包含している. このため, 真の火山噴火予知の実現は遠い道のりである.

ところが, 社会や行政の防災担当者は, いつ, どこで噴火がおこるのか, どのような噴火になるのか, いつまで続くのか, 噴火によってどの領域までが影響を受けるのかについて早急な解答を求める. 火山学あるいは科学技術はこれらの問題に解答を用意していると思ってい

る. 少なくとも一部では観測を行えばこれらの問題に解答が得られると誤解している. 特に, 気象庁が2007年12月に気象業務法を改正し, 噴火警戒レベルと噴火予報・警報を導入して以来, 社会は気象庁が, あるいは更なる誤解であるが, 火山噴火予知連絡会が火山噴火を予知してくれるものと思っていた場合も多い.

御嶽山2014年噴火で, 戦後最大の犠牲者を出した後は, このような一方的な期待が裏切られたことから, 逆に気象庁や火山噴火予知連絡会, さらには火山学に対する不信感が増大したことは想像に難くない. しかし, 火山防災を根付かせるためには, 火山噴火予知の現在の實力を社会に正しく認識してもらうことも重要である.

なお, 予知とは「予め知る」ことではなく, 「予め知らせる」ことであるという主張がある. 観測データなどから, 地域や住民に迫りくる脅威と事態を「予め知らせ」

* 〒403-0005 山梨県富士吉田市上吉田字剣丸尾 5597-1
山梨県富士山科学研究所
Mount Fuji Research Institute, Yamanashi Prefectural Government, 5597-1, Kenmarubi, Kamiyoshida, Fujiyoshida, Yamanashi 403-0005, Japan.

** 〒160-0011 東京都新宿区若葉 1-22, ローヤル若葉

505号
環境防災総合政策研究機構
Crisis & Environment Management Policy Institute (CeMI),
1-22-505 Wakaba, Shinjuku-ku, Tokyo 160-0011, Japan.

e-mail: fujii@eri.u-tokyo.ac.jp

災害を回避する行動を促すことだというのである(石原, 2012)。もちろん、「知らせる」ためには「知る」ことが必要であることはいうまでもなく、本論でも、「予め知らせる」に足る「知る」という観点を含めて、わが国の火山噴火予知の現状と今後の課題について述べる。

2. 火山噴火予知計画と火山噴火予知研究

わが国における火山噴火予知研究の主流は1973年に関係大臣に建議された測地学審議会の「火山噴火予知研究の推進について」に発する。この建議を受けて1974年から発足した第1次計画では、それぞれの火山の特性に応じた観測体制を順次整備し、火山研究と火山噴火予知の実用化に必要な観測データを得ることが目標に掲げられた。

1977年に設立された北海道大学の有珠山火山観測所はこの第1次計画の重要な柱であった。火山噴火予知計画の中で新たな観測所として設立されたものとしては、この他に1985年の東京大学地震研究所の伊豆大島火山観測所がある。既設の国立大学理学部付属の観測所は5年ごとに建議される火山噴火予知計画計画の下で改編・整備され、定員の増強などが行われた。

火山噴火予知計画は発足以来、地下のマグマの動きを捉え、火山噴火予知の実現をめざすという方策をとってきた。そのため、火山噴火予知研究は当初、火山の物理観測を中心に展開されてきた。しかし、計画の進行とともに参画機関を増やし、また、研究分野としても地球化学や地質学・岩石学などの物質科学分野も取り込んできた。

火山噴火予知連絡会が気象庁長官の私的諮問機関として設置され、気象庁が事務局を務めることになったのも、この第1次計画発足の時である。連絡会は先行する地震予知連絡会と異なり、大学の研究者を中心とする学識経験者だけでなく、当時の文部省、国土庁、科学技術庁等の関係機関の行政官なども含んでいた。火山噴火予知計画が設立当時から防災を意識したものであり、火山噴火予知が実用化する以前でも、火山観測による噴火推移把握等が火山災害軽減に有用であると考えられたからである。防災を意識し、噴火した火山の活動状況を検討することは任務のひとつではあったが、防災そのものを任務として掲げたことはなく、あくまでも火山噴火予知計画遂行のための連絡会であった¹。

しかし、一般社会はもちろんのこと、地球科学の研究

者の中にも、火山噴火予知連絡会をあたかも火山防災対応機関であるかのように誤解しているものも多い。この誤解の原因として、火山噴火予知連絡会での火山の活動評価が、火山噴火予知連絡会統一見解や会長コメントにまとめられ、気象庁の火山情報として公表されてきたという経緯が考えられる。本来ならば、火山防災のためには、米合衆国におけるUSGS、イタリアにおけるINGV、インドネシアにおけるCVGHM、あるいはフィリピンにおけるPHIVOLCSのように国の一元的な火山調査研究機関が必要なのはいうまでもない。しかしながら、現時点では、わが国には上記のような地質学、地球化学、地球物理学などの広範な分野の火山専門家を含む一元的な火山調査研究機関が存在しないことが、このような誤解を広めたものであると思われる。

ここでは火山噴火予知計画の下で展開された研究の進展については立ち入らない。火山噴火予知計画の歩みについての詳細は浜口(2003)、下鶴・石原(2005)、石原(2012)、藤井(2013)を参照されたい。また、火山噴火予知第2次計画からは、年次計画の終了2年前に測地学審議会火山部会が進捗状況のレビューを行っており、それぞれの時点での火山噴火予知研究の到達状況がまとめられているので、詳細はそれらのレビューも参照されたい。なお、第6次計画以降の進捗状況のレビューは文部科学省、科学技術・学術審議会測地学分科会のホームページから参照できる。

第6次の火山噴火予知計画の建議²では火山噴火予知の発展段階として、次のような整理を行っている。

段階1: 観測データの変化から、火山活動の異常を検出して、噴火の可能性を警告する

段階2: 観測データの解釈に基づいて火山の状態を評価し、過去の噴火事例も考慮して噴火の発生や推移を定性的に予測する

段階3: 火山の地下の状態を的確に把握し、噴火の物理化学モデルを用いて、噴火の開始や推移を定量的に予測する

その上で、常時監視観測が行われている活火山での現状の火山噴火予知は第1段階か第2段階にあるものと評価されるとし、いずれの場合も予測内容は定性的で、予測の確実さも明確でないことから、高度に発達した複雑な現代社会の要求には充分応えきれないとしている。

この整理から15年以上が経過したが、この状況に本質的な変化はない。部分的に噴火の物理モデルに基づいて

¹火山噴火予知連絡会運営要綱(気象庁)

<http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/CCPVE/youkou.pdf>

²測地学審議会(1998)第6次火山噴火予知計画の推進について(建議)

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/predict/kazan98.html>

噴火の推移を予測する試みも行われるようになってきているが、地下のマグマ供給系の状況を的確に把握できているとはいえない。第4次火山噴火予知計画(1989~1994)からは火山体の地下構造の解明を目指して、人工地震による構造探査が各地の火山で行われたが、解明された構造は地下数km程度に限られ、マグマ供給系の描像には成功していない。

3. 最近のおもな火山噴火と対応

火山噴火予知の現状については、この間の主要な噴火とその対応を概観することにより把握できる。2000年に発生した有珠山噴火と三宅島噴火については、浜口(2003)による総括があるが、火山噴火予知計画史上重要なイベントであるので、ここでも取り上げる。

3-1 2000年有珠山噴火と三宅島噴火

2000年有珠山噴火では3月27日からの地震活動の高まりを受けて、臨時火山情報、緊急火山情報が相次いで発信され、自治体の首長による避難勧告指示を受けて周辺住民約16,000人の避難が3月31日正午過ぎの噴火開始までに実現した。居住地近傍での噴火発生であったにも関わらず犠牲者はなかった。これによって、火山噴火予知が実用化したとしてメディアを中心に称賛する風潮が高まった。2000年有珠山噴火以来、火山噴火予知は地震予知とは異なり、研究レベルを脱し、実用化の域に達したと社会では誤解された。すなわち、噴火開始時期を事前に特定するという点では噴火予知に成功して当たり前との風潮となったのである。

しかし、有珠山2000年噴火の対応は、1974年以来、火山噴火予知計画として追究してきた、地下のマグマの動きを捉え、火山噴火予知を実現するという意味での成功ではなかった³。有感地震の多発、割れ目の出現などをもとに「噴火切迫」と判断され、2000年3月29日11時10分に緊急火山情報第1号が発令されたが、「数日以内に噴火が発生する」という情報のリードタイムに関する根拠は明らかでなく、あくまでも過去の事例に基づいての定性的判断であった(浜口, 2003)。

実際に噴火が発生した場所は当初想定された火口域とは異なり、住民避難についても一部に混乱が生じたが、全般的には適切な防災対応がとられたため、一人の犠牲者を出すこともなかった。火山防災の観点からは成功であった。

しかし、当時の観測体制が必ずしも十分でなかったため、次の火山噴火に備えて、噴火前のマグマの挙動を捉え、噴火切迫度を推定する手法を開発するという点では

必ずしも十分な科学的成果が得られたとはいえない。それでも、地震群発の開始以降、計測された地震活動のデータを利用して準リアルタイムで噴火時期を推定する試みも行われ、予知手法としての有効性が確認された(浜口, 2003)。基本はVoight(1988)の破壊基準モデルに基づく推定であり、噴火発生時刻との差が半日程度であったことは、同様の噴火についての防災対応に有望であることを示しているが、実際の避難行動のオペレーションには利用されていない。

一方、同年6月に発生した三宅島噴火では、島内に設置された傾斜計、地震計、GPSによって噴火前のマグマの上昇と移動を捉えることに成功し、6月27日早朝、マグマの動きに基づいて予想した西方海底でのマグマ噴出が確認された(第6次計画の進捗状況に関するレビュー)。

このような推移の中で、気象庁は6月26日に緊急火山情報を発表し、噴火の切迫を表明した。これを受けて三宅村は災害対策本部を設置するとともに、島の一部に避難勧告を発令した。東京都は6月27日未明に災害対策本部を設置し、副知事を現地に派遣して現地災害対策本部を設置している。

しかし、7月に入って発生し始めた山頂直下での地震発生とその後の山頂陥没、低温火砕流の発生という事態に至って以降は、噴火の展開を理解できなかった。1940年以降、ほぼ20年間隔で発生してきた、それまでの噴火とは異質の展開であったからである。2000年8月29日の低温火砕流発生を契機に全住民の島外避難が行われた。その前後から二酸化硫黄を含む火山ガスの大量放出が顕著となり、島外に避難した住民の帰島は4年半後まで実現しなかった。島外脱出は、火砕流発生を受けての噴火活発化の予想に基づくものであったが、9月以降は目立った噴火は発生せず、島民の帰島を阻んだのは、当初想定されなかった大量の火山ガス放出の長期間の継続であった。

噴火当初の火山活動の把握と対応は予知研究の成果と評価されたものの、総体的には、観測された結果を経験に基づき解釈して噴火を予知する段階にあり、未経験の現象に関しては対応が困難であることが明らかになった。噴火モデルに従って観測データを解釈し、予知に至るという段階には依然遠いことが改めて認識されたのである。

なお、三宅島噴火の際の火山噴火予知連絡会における議論が噴火メカニズム等の理学的な内容に偏り、利用可能な情報を防災に生かすための検討が不十分であったと

³ 科学技術・学術審議会測地学分科会(2002)第6次火山噴火予知計画の実施状況等のレビューについて(報告)
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu6/toushin/020302.htm

する批判がある(小山, 2002)。しかし、この批判は火山噴火予知連絡会の任務が火山防災にあるとみなすものであり、連絡会の運営要綱¹にないものを求めている点で適切ではない。また、2000年当時、政府機関の行政改革の中で防災官庁としての存在意義を主張し、独立行政法人化されずに政府機関にとどまることになった気象庁から、防災対応に関することは気象庁が行うので、火山噴火予知連絡会はあくまで火山噴火の科学的評価に徹することを要請されていたという事情の確認を行わずになされた議論である。

小山(2002)による批判はさておき、火山噴火予知連絡会が気象庁長官の私的諮問機関であり、防災を意識しながらも、防災組織として設計されていないことに、わが国の火山防災の限界があることは事実である。このような現実を受けて、雲仙普賢岳噴火、有珠山2000年噴火においては、現地の大学観測所に所属する研究者が火山噴火予知連絡会のメンバーとして、科学的評価に参加すると同時に、防災対応においては地域の防災会議あるいは防災協議会等のメンバーとして自治体にアドバイスをを行うという、いわば二重人格の行為により対処してきたのである。しかし、三宅島噴火の場合には、現地に大学の有人観測所が存在しないという、住民の避難が必要となるような噴火としては、初めてのケースであったことが、小山(2002)の議論につながったものと思われる。

しかし、一般社会でも多くの場合、火山噴火予知連絡会の機能と任務を明らかに誤解していることは事実であり、これまで誤解を解くための十分な説明を行ってこなかったことについて、気象庁および火山噴火予知連絡会は反省し、十分な説明を行う必要がある。

3-2 浅間山2004年噴火の経験と2009年噴火の対応

2004年8月31日に浅間山直下で地震が頻発したので、これを受けて気象庁は火山観測情報(現在の「火山の状況に関する解説情報」に相当)を発信したが、噴火が発生するとしても少量の火山灰を放出する、規模のごく小さい噴火の可能性を示唆するに留まり、当時運用していた火山活動度レベル(当時のレベルは2)を引き上げなかった。山頂から4km北の位置に設置された傾斜計の動きはその時点では解釈不能であった。9月1日の爆発的噴火に引き続き、9月半ばに山頂でストロンボリ式噴火が発生し、火口内にマグマが充填された。その後も間欠的にブルカノ式噴火を11月23日まで繰り返した。

東大地震研究所浅間観測所に置かれた絶対重力計で火道をマグマが上昇し、山頂に達しては噴火が発生する様

子が何度もとらえられた(大久保, 2005)。この期間は好天が続き、降雨による影響がなかったために、マグマの動きそのものを捉える、重力計ならではの特徴を生かした観測結果が得られ、火山噴火予知の新たな手法として注目された。

また、この間の爆発的噴火に先立ち、山頂の北に置かれた傾斜計が山体の膨らみを捉え、同時に地震の群発活動が生じることが、11月まで間欠的に続いたブルカノ式噴火に対する観測でほぼ毎回捉えられた。なお、その後の解析で、8月31日に見られていた傾斜計の理解不可能とされた動きは1週間ほど前の台風の影響が残っていたものと解釈され、その影響を補正すると山体のふくらみを示していることが判明した(中禮・湯山, 2006)。

その後、2009年2月1日に、2004年の間欠的な噴火に伴って観測されたのと同様に、傾斜変化と地震活動の高まりが観測された。後に述べるように、2007年12月の気象業務法の改定により噴火警戒レベルが浅間山にも導入されていたことから、13時に噴火警戒レベルがそれまでの2から3に引き上げられ、それに応じて周辺の道路閉鎖などの防災対応がとられた(Fujii and Yamasato, 2014)。警報の発令から13時間後、小規模ではあったが噴火が発生し、噴火の予兆との判断が適切であったことが示された。

伸縮計や傾斜計による山体膨張と地震活動の高まりによって噴火発生を予測する例は浅間山が初めてではなく、桜島では既に80年代から実用化されていたものである(Kamo and Ishihara, 1989)。しかし、桜島のように坑道内に設置された高精度の伸縮計や水管傾斜計ではなく、簡易型の傾斜計による観測で確実な前兆をとらえたことは、気象庁の監視観測網による実用的噴火予知に一歩近づいたことを示したのとして重要な進展であるといえる。

3-3 霧島山新燃岳2011年噴火

2011年の準プリニー式噴火に先行する現象としては、2006年ごろからやや活発化し始めた霧島周辺の地震活動やそれとはほぼ同期するGPSによる山体の僅かな膨張があげられる(科学技術・学術審議会測地学分科会, 2012⁴; Nakada *et al.*, 2013)が、あくまでも噴火後の認識であり、噴火前にこの微小な活動の高まりが2011年の準プリニー式噴火につながると考えられたわけではない。

2008年8月22日に新燃岳でごく小規模な水蒸気爆発が発生した。2010年3月から7月にかけての霧島山新

⁴ 科学技術・学術審議会測地学分科会(2012)「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」の実施状況等のレビューについて(報告)

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu6/toushin/1329068.htm

燃岳では山頂部でたびたび水蒸気噴火が発生したが、個々の噴火に先立つ前兆をとらえることはできなかった。2011年1月にも水蒸気噴火が発生、19日の噴火では噴出物中にマグマ物質の量が増加していることが確認されたが、採取された噴出物が産総研および東大地震研に送られ、解析が終わったのは1月26日の準プリニー式噴火が始まる直前であった。迅速な試料移送と解析が行われていれば、警戒の態勢も変わっていたかもしれない。監視業務にあたる気象庁に噴出物解析の機能が欠落していたことも一因であるが、噴火規模の急速な拡大の前には何らかの明確な前兆が物理観測によってとらえられることを期待していた、当時の火山学の限界でもある。

1月19日の噴火の半日ほど前から火山性の連続微動が発生しはじめていたが、1月26日8時頃から振幅がやや大きくなった。1月26日14時49分に最初の準プリニー式噴火が確認され、その後、27日1時頃と15時に噴火が続き、計3回の準プリニー式噴火が発生した。その直前には傾斜の顕著な動きや地震活動の高まりは認められない。

噴火後に地殻変動データを詳細に検討した結果、各準プリニー式噴火の約1時間前にごくわずかに火口方向が膨らむことが確認された(Yamazaki *et al.*, 2013)が、噴火前にはもちろん認識されていない。

先に述べたように、26日朝から連続微動の振幅が大きくなるのとはほぼ同期して連続的な有色噴煙が認められるなど、現地の防災関係者の証言によると、それ以前の活動とは明らかに異なる挙動があったにもかかわらず、気象庁からは9時30分にそれまでの噴火が継続していることを伝える解説情報第10号を発表しただけで、特段の警戒を求めているない。

準プリニー式噴火の開始から2時間近くたって発表された解説情報第11号には「15時30分頃から噴火の規模が拡大し、灰白色の噴煙が火口縁上1,500mまで上がり、南東方向に流れています」という記述があるのみで、噴火の様式が急変したことが認識されていない。

霧島山には東京大学地震研究所の観測所があったが、既に無人化しており、地元自治体との日常的なコミュニケーションは行われていなかった。気象庁から火山警報が発信されたのは最初の準プリニー式噴火発生から3時間以上経過した18時のことで、風下側の宮崎県高原町の非常対策本部設置から約2時間遅れの情報発信であった。

この噴火では3回の準プリニー式噴火と山頂火口への溶岩充填に同期して、新燃岳北東約7kmの地下10kmの深さに存在していた2009年12月以来の膨張源が、収縮に転じたことが注目すべき事項であり、この膨張源が

新燃岳噴火のマグマ供給源であったことが明らかになった。

この膨張源の存在は2010年5月頃から認識されていたが、新燃岳からは離れていた(北西7-8km)ことと、この膨張源の近傍のえびの高原付近で若干の地震活動の活発化が認められていたことから、噴火発生まで新燃岳との関連は気づかれていなかった。この膨張は1月26日の噴火まで一定速度で継続していた。このため、火山噴火予知連絡会、気象庁では新燃岳、御鉢の活動とは別に、霧島山の活動として区分して捉え、その旨を公表していた(気象庁, 2011)。

なお、この膨張源の収縮と準プリニー式噴火及び火口内への溶岩充填とが同期し、時間差がなかった(例えば、Kozono *et al.*, 2013)という事実は、準プリニー式噴火開始前にマグマだまりと山頂火口との間にマグマ移動による時間差を生じさせないだけの十分に大きなマグマ供給経路が確立していたことを意味するが、これがどの時点で、どのように成立したかは知られていない。

2月1日のプルカノ式噴火を皮切りに、6月中旬まで小規模な噴火が間欠的に発生した。これらの噴火の数時間から十数時間前には山体浅部の膨張を示す傾斜変動が観測され、火山性地震の発生回数が増加した。各噴火のあとには膨張した山体はもとに戻り、地震数も減少することが確認された(Kato and Yamasato, 2013)。

1月26、27日の準プリニー式噴火を経験した後では、2010年3月から7月にかけての新燃岳での複数回の水蒸気噴火は準プリニー式噴火の前兆現象であったとみなされる(Nakada *et al.*, 2013)が、進行時点では後のマグマ噴火の前兆現象だと指摘されることはなかった。このような「後知」ともいえる噴火後の前兆現象の認定は将来の噴火予測にとって重要であるが、火山地域で起こる異常現象が本格噴火の前兆現象であると事前に指摘することは容易ではない。

2009年2月の浅間山噴火のように、同様の噴火を過去に繰り返しており、設置された観測機器により異常現象を検知する経験が得られた場合には、同様の現象を前兆とみなすことは比較的容易であるが、一般的には困難といってもよい。

今後、観測機器整備が不十分であった数十年前以降噴火を経験していない火山や、観測装置そのものが存在しなかった100年前以前に噴火し、その後噴火をしていない火山においては、発生する異常現象を噴火の前兆と確信し、何らかの噴火予知情報を発信するに至ることは容易ではない。これは、火山噴火予知が経験則によっている限界である。

3-4 口永良部島 2014 年, 2015 年噴火

口永良部島では、1966年に爆発的噴火が発生して以降、顕著な地震活動は知られていないが、1999年ころから地震活動や噴気活動、地殻変動が活発化する事象が続いた。2007年の噴火警戒レベル導入以降もこのような活動の2~3年ごとの消長があり、噴火警戒レベルの引き上げ、引き下げが数度にわたって繰り返された。

しかし、2012年に噴火警戒レベルが1に引き下げられたのち、明確な直前の前兆が見られないまま、2014年8月3日の水蒸気噴火が発生した。この噴火によって、山頂周辺に展開されていた大学や気象庁などの恒常的な観測点は破壊され、24時間の監視体制に組み込まれた山頂付近の観測点は機能停止しているなかで、2015年5月29日の噴火を迎えることになる。なお、噴火の明瞭な前兆は火口から約100mの地点に置かれた傾斜計のシグナルで、噴火1時間前から山上がりの傾斜変動が認められた。しかし、噴火と同時に稼働を止めた。

2015年に入って再び熱活動や地震活動が活発化した中で、3月から気象庁職員が島内に常駐していた。5月23日に震度3を観測する地震が発生し、住民に対して噴火時の対応に関する説明会などが行われた。このような経緯の中で6日後の5月29日に火砕流を伴う噴火が発生したが、住民の沈着な対応によって、島外避難も順調に行われた。

2014年噴火によって山頂付近の観測装置が壊滅したが、周辺への立ち入りが規制されていたため、観測点の修復は行われなかった。このため、2015年噴火に先立って大学研究グループにより無人ヘリコプターを使用して山頂部へ地震計が設置され、観測が行われていた。この地震計では直接的な前兆現象と考えられる微小地震の急増を噴火の数日前に捉えていたが、山麓の気象庁観測点では、このような地震の急増は検知されなかった⁵。2014年、2015年噴火ともに山頂部の観測点のみが傾斜変化や地震の急増といった前兆をとらえていたが、これらは研究観測のための観測点であり、監視観測に活用されてはいなかった。水蒸気爆発による噴火を予知し火山防災に役立てるためには山頂部での監視観測が重要であることを示している。

3-5 御嶽山 2014 年噴火

御嶽山では2014年8月末頃から、地震が散発する現象が確認されていた。9月10日になって1日の地震回数が50回に達し、翌11日にも50回を超えることが予想されたため、気象庁は解説情報を発表して、地震の増加を関係自治体に伝えた。自治体の一部は所管する山小

屋に電話で地震増加を連絡するとともに、山の異常についても問い合わせている。しかし、山頂付近での異常の報告はなかったため、それ以上の対応はとられていない。NHKもローカルニュースで地震の増加を伝えたが、噴火警戒レベルが1(平常)に据え置かれていたこともあり、特に緊迫感を持って報道した訳ではない。

地震活動は12日以降減少し、時折増減はあったものの一日数回のレベルであった。地震の一時的な増加はあっても、2007年のごく小規模な噴火に先立って数月前からみられたような地殻変動の異常がGNSS観測で認められていなかったため、気象庁は噴火の可能性を意識せず、現地に機動観測班を送って臨時観測を行うこともなく、噴火警戒レベルも引き上げなかった。

9月27日午前11時41分、山頂の南3kmの田の原におかれた地震計が連続微動を感知し始めた。11時45分には同じ観測点の傾斜計が山上がりの変動を記録し始めたため、気象庁は噴火発生を予想して、噴火警戒レベル引き上げの準備に入った。しかし、傾斜変動開始から7分後の11時52分には山頂部での噴火が始まったのである。噴火警戒レベルを1から3に引き上げたのは噴火発生後であった。

噴火後、8月末からの地震活動の精密震源の再決定や地震の発生メカニズムの検討が行われ、噴火に至るまでに御嶽山の地下で起こっていた現象が明らかになりつつある(Kato *et al.*, 2015)。8月31日に開始した地震活動は9月6日頃から徐々に活動を高め9月10、11日にピークに達した。この間生じたやや大きめの地震の震源を精密に再決定すると、地震は海拔0m付近で発生しており、震央の分布は噴火時の火口の配列方向とはほぼ一致していた。これらの地震は通常の地震に比べ低周波成分が卓越することから、山頂の地下数km付近で熱水が多数の微小断層に浸透していく過程で発生したとみられている。その後、噴火の10分前から地震は急激にその深さを減じていることから、高圧の水蒸気が垂直な割れ目に沿って火口に向かって上昇していったと考えられ、噴火の約7分前からの山頂付近が膨らむことを示す山上がりの傾斜変動と整合的である。

御嶽山の火山噴火は地下にあった熱水だまりで不安定が発生し、一気に熱水から水蒸気への転換が行われた水蒸気爆発による噴火と見なすことができるが、現状では、このような解析が地震発生の進行時に監視機関である気象庁で実現できる状況ではない。

なお、戦後最悪の火山災害となった今回の噴火を受けて、火山噴火予知連絡会では2つの検討会において、情

⁵ 京大防災研究所・東京大学地震研究所 火山噴火予知連絡会拡大幹事会資料(平成27年5月30日開催)
http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/CCPVE/shiryo/kakudai150530/4_kyodai.pdf

報伝達のあり方、今後の観測体制のあり方を検討し、2015年3月にそれぞれ報告を行った^{6,7}。また、文部科学省でも観測研究や人材育成の問題を議論し、2014年11月に報告を行った⁸。中央防災会議では上記の検討結果も取り入れながら、わが国の火山防災対策を議論し、2015年3月に報告を行った⁹。これらの報告を受けて、気象庁では火山観測体制の強化と火山情報提供の改善を、内閣府では火山防災対策の強化策に取り組み、文部科学省では「次世代火山観測研究・人材育成プロジェクト」の実施を決めている。

3-6 箱根 2015 年噴火

2015年4月末からの箱根カルデラ内の地震活動と噴気活動の活発化を経て噴火に至った現象は、数年間隔で生じていた地下の熱水活動の活発化 (Yukutake *et al.*, 2011) が、今回はその勢いを増した現象であると考えられる。これまでの人工的に設置された蒸気井での噴気異常にとどまらず、新たに噴気孔を作成する際に経路の土砂を噴出し、噴火に至った現象と理解される。このような現象はおそらく1930年代の蒸気井による温泉水の生成が始まる前には何度も繰り返された可能性があるが、地層として保存される規模の噴火ではないことから検証は困難である。一部のマスコミ報道に800年ぶりの噴火とするものがあるが、800年前の噴火は地質調査に基づく噴火堆積物の年代同定により確認された (小林ほか, 2006) ものであり、それ以降に今回と同規模の噴火がなかったことを示すものではない。むしろ、1930年代からの蒸気採取井戸の設置により、結果的に大涌谷におけるこの種の噴火の制御に成功していたといえるかもしれない。今回の活動はごく小規模な水蒸気噴火で終わろうとしているが、今後の箱根山の火山活動を検討する上で、4月初めから7月にかけてGNSSにより確認された山体膨張¹⁰が地下のマグマだまりの活性化を示すのかどうかを確かめる必要がある。

今回の噴火では人工衛星の合成開口レーダを用いた干涉SAR解析が火山活動による地殻変動の観測に有効であることが改めて示された。噴火前に、直径200m程度

の範囲で数cm~数十cmの隆起を確認したのである¹⁰。次期噴火の火口位置を事前に特定できない富士火山のような場合に、噴火直前に噴出地点を限定できる可能性を示したと思われる。

この噴火にいたる過程において、神奈川県温泉地学研究所の存在は重要であった。即時的に地震データを解析し、震源や地震回数や地殻変動データをほぼリアルタイムで同研究所のHPで公開し、住民や行政担当者のニーズに応え続けた。気象庁からは定時に火山の状況に関する解説情報の中で地震の回数を発表するのみであったことと対照的であった。気象庁が全国の測候所を廃止した現在、現地に観測拠点を有する地方自治体の研究所が、火山監視と情報発信にあたるという図式は今後の火山監視の一つの方向を示すものである可能性がある。ただし、箱根火山は神奈川県という単一県内の火山であったという特異性も考える必要がある。わが国の多くの火山が複数の県にまたがっていることからすると、縦割り行政に関連して必ずしも成功するとは限らない。

4. 火山噴火予知の現状

先に述べた近年の噴火とその対応からわかることは、噴火経験を積んだ火山においては、観測データに基づいて噴火時期をある程度予測できるということである。少なくとも活動の高まりを認識して、噴火に至る可能性が高まっていることを把握できることが多い。しかし、霧島山新燃岳噴火のように、それまでの小規模な水蒸気噴火あるいはマグマ水蒸気噴火から、本格的な軽石を放出するマグマ噴火への移行を観測データからは把握できない場合があることも事実である。このような限界はあるものの、短期的火山噴火予知を目指して進められている火山噴火予知研究の成果が現実の火山防災にどのように適用されているかを考えてみたい。

4-1 火山噴火予知と噴火警戒レベル

これまでの噴火予知研究の成果が試されるものとして、2007年12月に気象庁が気象業務法を改正して導入した噴火予報・警報と噴火警戒レベルがある。これは

⁶火山情報の提供に関する検討会報告「火山情報の提供に関する報告」

http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/CCPVE/kentokai/yochiren_joho_houkoku150326.pdf

⁷火山観測体制等に関する検討会報告「御嶽山の噴火災害を踏まえた活火山の観測体制の強化に関する報告」

http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/CCPVE/kentokai/yochiren_kansoku_houkoku150326.pdf

⁸科学技術・学術審議会測地学分科会地震火山分科会(2014)「御嶽山の噴火を踏まえた火山観測研究の課題と対応について」(報告)

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu6/toushin/1353717.htm

⁹中央防災会議防災対策実行会議火山防災対策推進ワーキンググループ「御嶽山噴火を踏まえた今後の火山防災対策の推進について」(報告)

http://www.bousai.go.jp/kazan/suishinworking/pdf/20150326_hokoku.pdf

¹⁰例えば、神奈川県温泉地学研究所、第132回火山噴火予知連絡会資料(その3箱根山)

http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/CCPVE/shiryo/132/132_no03.pdf

2007年3月に内閣府の噴火情報等に対応した火山防災対策検討会が公表した、「噴火時等の避難に係る火山防災体制の指針(骨子)」と同検討会が6月の会議で5段階の警戒レベルを噴火警戒レベルと呼ぶことが望ましいとの提言を受けてのことである。

この時点では、レベル3以上が噴火警報であり、レベル2は注意報の扱いが提言されている。しかし、10月の火山噴火予知連絡会で報告された気象庁業務法改訂準備段階の噴火警戒レベル(案)ではレベル2以上が警報、レベル1が予報となっていた。レベル2が火口周辺規制という防災対応を要請する以上、注意報ではありえないという行政通念からの論理であったと思われる。実際、当時国会に上程されていた法案では警報の扱いになっており、2008年3月に公表された「噴火時等の避難に係る火山防災体制の指針」では気象業務法の内容でまとめられた。

この導入をめぐるのは、火山噴火予知連絡会内部、火山学会でも大きな議論があった。論議の基本は火山噴火予知が実用化していない現状では、警戒レベルを事前に上げることは困難で、噴火が発生してから警戒レベルを引き上げることになる場合が多いだろうというものであったが、運用に際して心理的な影響がレベル引き上げの判断を阻害しないかという問題への指摘もあった。防災対応を伴うため、空振りによる批判を恐れ、異常が発生しても確実に噴火が予測されるまでレベルの引き上げが行われず、結果として防災対応をとる時間がなくなるという意見や、一旦引き上げると、引き下げの根拠が見つからないまま、長時間防災対応を強いることになり、地元を経済的、人的負担を強いることになるという指摘もあった。気象庁が防災対応をキーワードにした警報を出すことから、地方自治体の役割を明確に定義している災害対策基本法の本質を阻害することになるという議論もあった。しかし、火山噴火予知が実用化していない現在、噴火警戒レベルが事前に引き上げられない場合は当然ありうるが、噴火発生後の避難等の防災行動の引き金としての意味は十分にあるという意見もあった。

火山研究者の多くは噴火警戒レベルの導入に批判的であったが、自治体の防災担当者には、おおむね好意的に受け止められた。それまでの火山活動度レベルで表現されても、どのような防災対応をとるべきかわからないというのがその理由であった。この問題はわが国における防災の重要な問題をはらんでいる。自治体の防災担当者はごく少数の例外を除いて2-3年で異動となり、経験が蓄積しないのである。

この噴火警戒レベルは、それまでの火山活動度レベルのように噴火現象の規模で区分するのではなく、影響範

囲と取るべき防災行動を指標とした災害情報に変更したものとみなすことができる。もちろん、火山噴火予知が実用化されていない現在、情報としては不確実性の高いものにならざるを得ない。そのため、導入の時点から、不確実性を前提に利用方法などが検討された。火山専門家を含めた火山防災協議会等で火山活動の状況に応じた避難計画や取るべき防災対応とその範囲が決められ、地域防災計画の見直しが行われていることが前提条件であった。

噴火警戒レベルは様々な欠点を包含するものの、導入にあたっては、地域防災計画を見直すことになっていることから、火山防災の観点からは現状を打開する役割が期待されたのである。しかし、現実には多くの火山地域においては気象庁が提示する噴火シナリオと防災計画がほとんど議論されることがなく受理されるという事態が生じた。先に述べた自治体の防災担当者の短期異動による経験の蓄積が行われないという状況を反映しているものと考えられる。噴火警戒レベルの導入などを提言した内閣府等の「火山情報等に対応した火山防災対策検討会」が提案した、火山専門家を含めた火山防災協議会での地域防災計画の検討が実現できなかった例が多いこともこのような結果につながったと考えられる。このことへの反省が、火山専門家を含めた火山防災協議会の設置を法律で定めることになる2015年7月の活動火山対策特別措置法の改正につながるのである。

噴火警報が導入されて間もなく発生した2009年の浅間山の噴火では、事前に警戒レベルを引き上げ、道路閉鎖などの防災対応を取ったことから、一応成功したといえる。しかし、2010年の新燃岳で断続的に起こった山頂部での水蒸気噴火では、前兆を捉えることができず、最初の噴火が発生した後にレベルを2に引き上げるようになった。さらに、一連の水蒸気噴火が終了した後も地震活動が継続したこともあり、レベルの引き下げを行わずにいたところ、2011年の1月26、27日の準プリニー式噴火が発生した。更なる活動の活発化を想定していたわけではなかったが、レベル2の警報が継続して、火口周辺への立ち入りが規制されていたことが功を奏して、被害者は発生しなかった。好天下での噴火であり、万一レベルが引き下げられていたとしたら、登山者が山頂付近にいたことが予想されることから、人的被害が生じてもおかしくない噴火であった。

御嶽山噴火による惨事を経験して、火山噴火予知連絡会のもとに設置された「火山情報の提供に関する検討会」や中央防災会議のもとに設置された「火山防災対策推進ワーキンググループ」の場でも、噴火警戒レベルに関しての議論が行われた。警戒レベル1と2の間に注意報に

あたるレベルを導入すべきだとか、レベル2は警報ではなく注意報にすべきなどの議論もあったが、自治体の防災関係者の多くは、地域防災の中によく根付き始めた警戒レベルを改変すると現場が混乱すると主張した。

以上の例にみられるように、噴火警戒レベルは本来防災対応として設定されたはずなのに、担当する気象庁職員の一部は噴火が切迫していると予測された時点で警戒レベルを引き上げると理解していたのかもしれない。別の表現をとれば、噴火は予知できるものであり、レベル引き上げの内部基準が満たされなければ噴火は生じないと錯覚していたという可能性がある。もし、そうだとすると、後に述べるように、現行の国家公務員制度のもとでは気象庁火山グループが専門家集団ではありえないことと関係する。

4-2 中・長期火山噴火予測

地下のマグマの動きを捉え、噴火発生時期を特定できるようにすることに主眼を置いてきた火山噴火予知研究の中では、比較的最近まで長期予測手法の研究が注目されることはなかった。予知計画の進行の過程で地質学的手法が導入され、噴火履歴の解明がうたわれたものの、火山噴火の長期予測については明確な手法は確立していない。

観測点の整備計画などでは、大学における概算要求との関係から、噴火間隔などに基づく中期的な予測をもとに予算計画が立てられたのであるが、比較的噴火間隔が規則的な火山においても、必ずしもこの意味での中・長期の予測には成功したとはいえない。

例えば2000年有珠山噴火では経験則によるとはいえ、短期的予知に成功して、住民に死傷者はでなかったが、中期的予測が必ずしも適切に行われたわけではない。噴火に先立つ数年前からの火山噴火予知連絡会の席上でも、1977年の噴火から20年以上経過することから、次の噴火に備えて地殻変動観測などの充実を図るべきだとの指摘がなされていた。しかし、それまでの最短噴火間隔は31年なので次期噴火までにはまだ余裕があり、地震活動の活発化などから、それ以前の噴火が予想される北海道駒ヶ岳や十勝岳の観測整備が優先されるべきという議論があり、有珠山における地殻変動観測の充実は行われなかった。結果として、有珠山の噴火休止期間はそれまでの最短期間を更新し23年という結果となった。

2000年噴火時の観測網はほぼ1977年の噴火終了時の状態であり、90年代から急速に全国で活用されるようになった火山近傍でのGPS観測網などは整備されていなかった。地震発生後の顕著な地殻変動は緊急観測により捉えられたものの、群発地震発生に至るまでの地殻変動などのデータは取得できないという結果になってしまっ

たのである。

同様の例が三宅島2000年噴火でも生じた。三宅島での噴火がほぼ20年間隔で生じてきた(宮崎, 1984)という理解から、次期噴火は2003年頃だと予測され、東京大学地震研究所などが2001年度概算要求に三宅島観測点整備を盛り込む予定で、学内調整を終えた段階で噴火が発生した。

このように、比較的規則正しく噴火を繰り返した火山ですら、噴火間隔の規則性に基づいて噴火時期の予測を過信することは禁物である。伊豆大島では川辺(2007)に基づいて、36-39年周期説が一部ではささやかれているが、前回の噴火から既に29年が経過する今、不確実な周期説にとらわれることなく次期噴火に向けて準備を整えておくことが重要である。

長期予測については階段ダイアグラムの活用が指摘される。原子力発電所の火山影響評価ガイド(原子力規制庁, 2013)においても、発電所に影響を及ぼすような噴火が発生する可能性が充分低いかどうかを階段ダイアグラムなどの使用により検討することが推奨されている。現実に九州電力は川内原発の再稼働に関して、階段ダイアグラムなどを使って、カルデラ噴火が原子力発電所の稼働期間内には生じないと主張し、規制委員会も結果としてそれを承認したことになっている。しかし、階段ダイアグラムを活用して噴火時期を予測するには、マグマ供給率もしくは噴火噴出物放出率が一定であることが必要条件であるが、これが長期的にわたって成立する保証はない。特に数千年から数万年という長期間においてはこのような前提が成立することは確かめられていない。

一方、海溝型の地震発生予測に階段ダイアグラムが活用されることがある(Shimazaki and Nakata, 1980)が、地震発生は地下の岩盤の岩石破壊現象であり、岩石強度という力学的性質により規定されているので、この種のダイアグラムを時期予測に活用することは一応合理的である。

さらに、階段ダイアグラムのもとになる噴出物量の推定そのものに大きな誤差が含まれていること、また噴火年代についても大きな誤差があることから、数万年レベルの噴火履歴から原子力発電所の稼働期間である数十年単位の噴火可能性を階段ダイアグラムで議論すること自体に無理がある。火山噴火の長期予測に関しては、その切迫度を測る有効な手法は開発されていない。

5. 火山噴火予知の課題

先に述べた主要な噴火に対する対応からしても、現在の火山学のレベルでは火山噴火予知の実現には程遠いことは確かであるが、より確実な火山防災のためには火山

噴火予知研究を推進することは重要である。また、火山噴火予知が実用化する以前であっても、火山観測に基づく現実的な噴火対応に関して改善すべき点は多い。火山噴火予知研究の課題については科学技術・学術審議会の地震火山部会による「災害軽減のための地震及び火山噴火観測研究計画」で言及されているので、ここでは、火山噴火予知研究に限らず、火山防災に関わる課題についても言及する。

5-1 水蒸気噴火の理解と予知

御嶽山 2014 年噴火で戦後最悪の火山災害が発生し、水蒸気爆発による噴火の予知の困難さが浮き彫りにされた。火山噴火予知計画のなかで、水蒸気爆発についてはマグマ噴火に関して追求してきた手法のみでは前兆をとらえることは困難であるとみなされ、最近までそのための研究が特に推進されることはなかった。しかし、火山噴火予知計画の後継計画に相当する、2014 年に始まる「災害軽減のための地震及び火山噴火観測研究計画」の中で、水蒸気噴火を起こしやすい熱水系の発達した火山の研究が取り上げられた。御嶽山噴火はまさにこのような状況の中で発生したのであった。その後、口永良部島の 2014 年、2015 年噴火で、火口近傍での地殻変動や地震の観測によって、このような水蒸気噴火の前兆とみなされる変化をとらえており、水蒸気噴火に関しても予知が実現できる可能性が示唆された。噴火と同時に観測機器が失われることは想定しつつも、火口近傍での観測を気象庁による監視観測に組み込むことが火山防災上重要である。

5-2 低頻度大規模噴火の研究

わが国において、数十 km³ 以上の噴出物を放出するような超巨大噴火が 6 千年から 1 万年に 1 度程度の頻度で発生してきたことはよく知られている（例えば、町田・新井、2003）。このような規模の爆発的噴火を過去に頻繁に繰り返してきた南九州でカルデラ噴火が発生した場合、周辺 100 km 程度が火砕流のために壊滅状態になり、更に国土の大半を 10 cm 以上の火山灰で覆うことが予測されている（Tatsumi and Suzuki, 2014）。この種の噴火の最終活動は鬼界カルデラ噴火であり、既に 7,300 年が経過している（町田・新井、2003）。このような国家としての存亡に関わる火山現象であるが、火山噴火予知や火山防災という観点からの調査研究は行われていない。2013 年 5 月に内閣府から公表された「大規模火山災害対策への提言」において、このようなカルデラ噴火がわが国においては発生しうることを国民に周知すること、またカルデラ噴火の実態を理解するための研究体制を早急に確立することが述べられたが、現時点では実現していない。

カルデラ噴火は原子力発電所の再稼働問題で社会的に

注目を集めたが、科学的な切迫度を求める手法は存在しない。原子力発電所の稼働期間中にカルデラ噴火の影響をこうむる可能性が高いか低いという判定そのものが不可能なはずである。このような判定を原子力発電所設置のガイドラインに含むこと自体が問題であろう。カルデラ噴火は原子力発電所問題だけでなく、国土保全にもかかわる問題であることから、低頻度大規模噴火の研究が火山噴火予知・火山防災の観点から行われるべきである。2014 年から開始された「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」においては、低頻度大規模噴火の研究が、噴火としての規模は小さいが突然発生するために発災の危険性が高い水蒸気噴火の研究とともに主要テーマとして掲げられており、その成果に期待したいが、少ない研究計画予算の中でどこまで解明できるか楽観はできない。

5-3 噴火時の規制区域への立ち入り調査

火山学あるいは火山噴火予知研究に限定してもよいが、これはイベントサイエンスの性格を有する。火山噴火が発生する際、その始まりから終結までを子細に観測・観察し、現象を正確に知ることによって本質的理解は格段の進歩を遂げる。これは観測科学だけにとどまらない。火山に関する物質科学の進展もこのような噴火現象に対応した噴出物の解析によって、大きな進展を遂げるのである。この意味で、噴火時の調査は重要である。

ある程度以上の規模の噴火の際には火山噴火予知連絡会のもとに総合観測班が組織され、噴火推移の予測のための観測を行うことが通例となっている。研究者の中にはこのような態勢に批判的な者もいる。個人による自由な研究を保証すべきというのがその主張である。しかし、現実にはこのような主張は噴火対応に忙殺されている自治体関係者からは受け入れられない。研究者が規制区域内で調査を行うことを目撃したマスコミ関係者等が立ち入りを要求して自治体との間で混乱を生じたこともしばしばあるからである。このような混乱を避けるために、総合観測班を組織し自治体等との調整を図ってきたのであるが、最近では別の問題も発生してきた。

このような仕組みがあっても、西之島噴火で明らかになったように、海域で火山噴火が発生して、気象庁による影響範囲の設定が行われると、これに基づいて海上保安庁による立ち入り規制が行われるため、推移予測に必要な現状把握のための現地調査や観測点の新たな展開が困難となる状況が生じる。海上保安庁による立ち入り規制範囲内は危険が予想される範囲であるとして、航行安全上立ち入りが規制されるという対応が行われるのである。このため、公的機関の調査船は規制区域内には決して立ち入ることはなく、また調査用に民間船舶をチャー

ターしようとしても、罰則あるいは指導を恐れるため、規制区域内での調査研究はできない。

陸上火山ならば、このような問題が生じないかというと、最近はそのでもない。以前は気象庁による厳重な監視観測体制のもと、緊急時の避難体制なども確保し、火口周辺などで滞在時間を制限した上で研究者による観測点設置などが行われていた。しかし、最近では火山噴火予知連絡会のものとの総合観測班においても、規制解除が行われるまで噴火後の火口周辺には立ち入らないという自主規制が行われる。事務局を務める気象庁が強く安全を主張することも一因ではあるが、研究者側にも自主規制をしてしまう傾向が強くなった。

近年の異常なまでの安全規制は、噴火推移の把握に多くの支障をもたらしており、イベントサイエンスの性格を有する火山学の進展を阻害し、ひいては将来の火山防災に有用な情報の獲得ができないことにもなりかねない。

5-4 噴火予知と火山監視

短期的火山噴火予知を実現するには、各種観測により地下のマグマの位置、状態を知ることが必要である。このためには微弱な火山性地震をも捉え、マグマの移動に伴う震源移動を把握することが重要で、各火山について適正に配置された低ノイズの地震観測点が最低でも4点は必要である。2009年の補正予算によって、47火山に原則100m深のボアホール式の気象庁の地震観測装置が確保され、また防災科学技術研究所により重点火山に200m深のボアホール観測点が整備されたことは、その方向に向けた第一歩であるが、気象庁のみが観測点を展開する火山ではほとんどの場合、量的にも、観測点配置に関しても十分であるとはいえない。大学や防災科学技術研究所などの観測点がある火山では、気象庁とのデータ活用も進んでいる。しかし、現時点では気象庁によるリアルタイムの監視作業において自動震源決定はルーチン化されておらず、震源移動を用いた予知には課題が残されている。この例にみられるように、火山噴火予知研究の成果の技術移転は必ずしも適切に行われていない。

また、イタリアのエトナ火山では、GPSの即時解析による地殻変動解析が逐次的変位ベクトルとして表現され(例えば、Cannavo *et al.*, 2015)、ルーチンでの監視に活用されているが、わが国では依然として研究レベルにとどまり、監視体制への技術移転は行われていない。諸外国と比べても予知手法の開発という点で遅れがあることは否定できない。

火山研究者の間には、気象庁は米国地質調査所のように科学的判断にとどまり、噴火警戒レベルに象徴されるような防災対応に関与すべきではないという議論も根強いが、この主張は気象庁の火山部署の構成を考えると明

らかに的外れである。そもそも、米国地質調査所のような火山専門家からなる集団と、理系であるとはいえ物理学、工学や地球科学の広い分野での国家公務員試験の合格者が、火山分野の研究経験を問われることなく採用され、火山部署に配属される気象庁とを同列に比較することはできない。さらに、気象業務法にあるように気象庁は火山防災に対しても関与が要請されているのであり、防災対応に関与することは任務でもある。制度改革を提示しないままで気象庁は防災対応を行うべきでないという議論は本来成立しない。

しばしば問題となる噴火進行時の現状認識の不備や現地調査に赴いても火山灰調査などは行わず、大学や産総研にゆだねていること自体は火山防災の責任機関としては問題である。この点においても、火山専門家不在という現状を早急に改善すべきである。大学で火山観測や火山地質学、火山化学の研究に従事してきた火山専門家を火山監視部門に採用し、日常的な火山監視にとどまらず、科学的根拠を持って判断する能力を向上させるよう、体制の改善を図ることが望まれる。

この問題は気象庁職員の採用方針の改善だけでは解決できない。採用した火山専門家が庁内において専門家として位置づけられ、処遇されなければ、その専門性は維持できないからである。公務員制度の下での気象庁の現状では火山関連のポストは多くないため、キャリアパスの中で他の業務の経験も積む必要がある。特に幹部候補となると、全く異なる分野の業務にも通じたジェネラリストが要求されるのである。このため、気象庁が火山専門家を採用し、庁内で専門家として処遇するという程度の改革すら現在の公務員制度の下で実現することは容易ではないであろう。

しかし、火山防災という観点からは火山に関わる専門家集団が火山監視にあたるのが当然であり、米国、イタリア、インドネシア、フィリピン等の諸外国においては実現している以上、わが国でも気象庁の火山監視の現状とそれを維持する行政組織に満足すべきではない。火山防災を念頭に置いた噴火予知研究と監視観測が必要であり、火山調査研究の広範な専門分野に対応するように気象庁の火山監視体制を大変革するか、諸外国のように調査研究能力と監視機能を備えた火山庁あるいは地震・火山庁のような新たな機構の創設が望まれる。なお、このような新規機構は、現在地方气象台が担当している自治体への防災支援機能を包含する必要があるが、本来ならば諸外国において実現しているような地方組織を持つ危機管理庁的な組織が社会対応のために別途存在し、火山庁もしくは地震・火山庁は科学技術に立脚した調査研究・監視機関であることが望ましい。

5-5 社会の中の科学としての火山学

御嶽山噴火を契機に行われた活動火山対策特別措置法の改訂は、学識者を含めた火山防災協議会の設置を義務付けた。好むと好まざるとに関わらず、火山研究者の火山防災への関与が期待されているのである。しかし、この掛け声が現実的な解決策として実現するためにはいくつかの点が解決される必要がある。

第1は火山防災協議会へ組み込まれる学識者に対しては、適切な火山観測データがリアルタイムで提供される環境が整備される必要がある。現状では、気象庁による観測データは火山噴火予知連絡会の構成員に対してもリアルタイムで提供されることはない。気象庁との相互データ交換協定を結んだ大学観測所や研究機関同士ではリアルタイムでデータ流通がなされるが、それ以外の機関では利用できない。今後、少なくとも50の常時観測火山においては火山防災協議会の設置が義務付けられることになり、観測所に所属する火山噴火予知連絡会の委員のみですべての火山防災協議会の学識者委員を務めることは不可能である。このため火山噴火予知連絡会委員以外の火山研究者が火山防災協議会のメンバーに取り込まれることが予想される。このようなメンバーが火山の状況を把握するためにも、火山観測データのリアルタイムでの流通が不可欠である。

第2に、火山噴火予知あるいは火山防災のための火山専門家の確保と人材育成である。純粋な学術研究としての火山学は研究者の好奇心に基づくべきという点では、研究者の好奇心を刺激するに足る学術的魅力を失った分野となった結果として、人材が枯渇し、分野の継続性が絶えたとしても、憂うる必要はないのかもしれない。しかし、専門性を生かす就職先の減少や奨学金制度の不備などのために大学院博士課程への進学者が減少し、人材が枯渇しつつある現状は大問題である。火山防災を支える火山噴火予知研究は、多くの活火山をかかえるわが国にとっては消滅させるわけにはいかない研究分野である。火山噴火予知の実現に向けて、また防災に役立てるための火山噴火現象の正確な把握に向けて、分野としての存続を図る必要がある。

5-6 火山観測情報の迅速伝達

御嶽山噴火の後で登山者への迅速な情報伝達を意識した噴火速報が新たに制定され、2015年8月から実施され、実際に9月14日の阿蘇山噴火に際して第1号が発せられた。この噴火速報については御嶽山噴火を契機に、火山噴火予知連絡会のもとに設置された「火山情報の提供に関する検討会」による報告⁶に基づいて、気象庁が採用したものである。しかし、この噴火速報では登山者を救えないという議論がある。

これは、2015年御嶽山噴火では噴火開始後数分でクライマックスに達して、多くの犠牲者を出したことを念頭に置いた議論である。しかし、すべての噴火に対応できないとしても、噴火が徐々に規模や激しさを増すような噴火の場合には噴火速報はそれなりの役割を果たすであろう。また、御嶽山噴火のように初期にクライマックスが来るような噴火であっても、後続の登山者に危険地域への立ち入りを抑制する効果も期待できる。

いずれにせよ、噴火速報は迅速性が要求されるとともに、登山者へ確実に伝わる必要がある。重要な点は伝達手法の多重化を図ることである。同時に、活火山への登山の拠点にその火山が活火山であることを短時間で認識・学習できるような仕組みも考える必要がある。御嶽山噴火の際の登山者の多くが、御嶽山が活火山であることを知らなかったというマスコミの調査結果を重視する必要があるからである。

これまでのわが国の火山防災は火山周辺の住民に対する避難対策を中心に設計されており、火山に接近する登山者や観光客に対する対応策を置き去りにしてきたきらいがある。御嶽山噴火を契機に、登山者、観光客にも注目した火山防災の仕組みが必要である。

6. おわりに

火山噴火予知が実用化以前で、経験則に基づくものであるとしても、噴火の発生を予測して登山客や住民に情報を伝達し、危機を回避させることが要請されている。これは狭い国土に数多くの活火山をかかえるわが国の宿命である。火山噴火予知を学問の目標の中に内在する火山学はその意味で社会の中の科学であることを認識する必要がある。

4枚のプレートが会合する収束境界に位置する日本列島に存在する国としては、安全な社会を確保するという意味で、火山学の振興が必要である。この点では、火山学については物理学や化学などの科学振興とは異なる次元で考慮する必要がある。また安全な社会を確保する観点からは、たとえ歩みが遅くとも、火山噴火予知研究を止めるべきではない。火山研究者が集う日本火山学会としては、純粋アカデミーとしての火山学の振興に努力すると共に、防災としての火山噴火予知の研究振興にもこれまで以上に貢献することが望まれる。

謝 辞

編集担当の橋本武志氏、査読者の山里平氏、寅丸敦志氏には多くの建設的なご指摘を頂いたことを感謝いたします。

引用文献

- Cannavo, F., Camacho, A. G., Gonzalez, P. J., Mattia, M., Puglisi, G. and Fernandez, J. (2015) Real time tracking of magmatic intrusions by means of ground deformation modeling during volcanic crises. *Scientific Reports*, **5**: 10970, doi: 10.1038/srep10970.
- 中禮正明・湯山弘明 (2006) 2004 年浅間山噴火活動に伴う傾斜変動について. 火山, **51**, 91-101.
- 藤井敏嗣 (2013) 火山噴火予知連絡会と火山防災. 防災科学技術研究所研究資料, **38**, 22-27.
- Fujii, T. and Yamasato, H. (2014) Integrated monitoring of Japanese Volcanoes. In *Volcanic Hazards, Risks and Disasters* (Papale, P. ed), 445-460, Elsevier, Amsterdam.
- 原子力規制庁 (2013) 原子力発電所の火山影響評価ガイド. 27p.
- 浜口博之 (2003) 第 6 次火山噴火予知計画で何が分かったか. 火山, **48**, 79-86.
- 井口正人・中道治久 (2015) 続発する日本の水蒸気噴火. 京都大学防災研究所年報, **58A**, 1-7.
- 石原和弘 (2012) 火山現象の理解と火山噴火予知. 京都大学防災研究所年報, **A55**, 107-115.
- Kamo, K. and Ishihara, K. (1989) A preliminary experiment on automated judgement of the stages of eruptive activity using tiltmeter records at Sakurajima, Japan. In *Volcanic Hazards* (Latter, J. H. ed), 585-598, *IAVCEI Proceedings Volcanology*, **1**, Springer-Verlag, Berlin; Tokyo.
- Kato, A., Terakawa, T., Yamanaka, Y., Maeda, Y., Horikawa, S., Matsuhira, K. and Okuda, T. (2015) Preparatory and precursory processes leading up to the 2014 phreatic eruption of Mount Ontake, Japan. *Earth Planets Space*, **67**: 111, doi: 10.1186/s40623-015-0288-x.
- Kato, K. and Yamasato, H. (2013) The 2011 eruptive activity of Shinmoedake volcano, Kirishimayama, Kyushu, Japan - Overview of activity and Volcanic Alert Level of the Japan Meteorological Agency-. *Earth Planets Space*, **65**, 489-504, doi: 10.5047/eps.2013.05.00.
- 川辺禎久 (2007) 伊豆大島つぎの噴火—噴火シナリオの作成とその意義—. 産総研資質センター第 9 回シンポジウム資料, 29-39.
- 気象庁 (2011) 第 117 回火山噴火予知連絡会資料 3 全国の火山活動の評価 (平成 22 年 10 月 13 日). 火山噴火予知連絡会報, **107**, 235-244.
- 小林 淳・萬年一剛・奥野 充・中村俊夫・袴田和夫 (2006) 箱根火山大涌谷テフラ群 —最新マグマ噴火後の水蒸気爆発堆積物. 火山, **51**, 245-256.
- 小山真人 (2002) 2000 年 8 月の三宅島に関する火山活動評価・情報伝達上の問題点. 火山噴火予知連絡会会報, **78**, 125-133.
- Kozono, T., Ueda, H., Ozawa, T., Koyaguchi, T., Fujita, E., Tomiya, A. and Suzuki, Y. J. (2013) Magma discharge variations during the 2011 eruptions of Shinmoe-dake volcano, Japan, revealed by geodetic and satellite observations. *Bull. Volcanol.*, **75**: 695, doi: 10.1007/s00445-013-0695-4.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) 新編 火山灰アトラス, 日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 東京, 360p.
- 宮崎 務 (1984) 歴史時代における三宅島噴火の特徴. 火山, **29**, S1-S15.
- Nakada, S., Nagai, M., Kaneko, T., Suzuki, Y. and Maeno, F. (2013) The outline of the 2011 eruption at Shinmoe-dake (Kirishima), Japan. *Earth Planets Space*, **65**, 475-488, doi: 10.5047/eps.2013.03.016.
- 大久保修平 (2005) 重力変化から火山活動を探る—観測・理論・解析. 火山, **50**, S49-S58.
- Shimazaki, K. and Nakata, T. (1980) Time-predictable recurrence model for large earthquakes. *Geophys. Res. Lett.*, **7**, 279-282.
- 下鶴大輔・石原和弘 (2005) 火山噴火予知計画の歩みと成果. 火山, **50**, S1-S6.
- Sparks, R. S. J. (2003) Forecasting volcanic eruptions, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **210**, 1-15.
- Tatsumi, Y. and Suzuki, K. (2014) Cause and risk of catastrophic eruptions in the Japanese Archipelago. *Proc. Jpn. Acad.*, Ser. B, **90**, 347-352. doi: 10.2183/pjab.90.347.
- Voight, B. (1988) A method for prediction of volcanic eruptions. *Nature*, **332**, 125-130.
- Yamazaki, K., Teraishi, M., Ishihara, K., Komatsu, S. and Kato, K. (2013) Subtle changes in strain prior to sub-Plinian eruptions recorded by vault-housed extensometers during the 2011 activity at Shinmoe-dake, Kirishima volcano, Japan. *Earth Planets Space*, **65**, 1491-1499.
- Yukutake, Y., H. Ito, R. Honda, M. Harada, T. Tanada and A. Yoshida (2011) Fluid-induced swarm earthquake sequence revealed by precisely determined hypocenters and focal mechanisms in the 2009 activity at Hakone volcano, Japan. *J. Geophys. Res.*, **116**, B04308, doi: 10.1029/2010JB008036.

(編集担当 橋本武志)