

2014年御嶽山噴火

山岡 耕春*

1. 噴火災害の概要

2014年9月27日午前11時52分頃、長野県・岐阜県境にそびえる標高3067メートルの御嶽山が噴火した。紅葉シーズン、週末、好天という登山にとっては絶好のコンディションであり、かつ昼食時であったため多くの登山者が山頂付近にいた。そのため、噴石等により死者57名(2014年末時点)という大惨事となり、いまだ6名が行方不明になっている。噴火に先立っては、9月10日から11日にかけて、山頂直下を震源とするやや活発な地震活動が観測されていたが、その後活動が落ち着いたことなどから噴火警戒レベルを1から2に上げることはせず、また火山の活動に関する情報を発表したものの防災行動に活かされることはなかった。噴火に直接関係する直前の変動としては、噴火の約10分前から火山性微動に加えて、山頂から約3 km離れた観測点で明瞭な傾斜変動を捉えていた。しかし、噴火開始までの時間的余裕がなく、この情報も山頂にいる登山者には伝えられることはなかった。

噴火の様子は、登山者が撮影した動画や写真に加え、生存者の証言によって明らかになってきた。噴火は大量の火山灰の噴出から始まった。噴出した火山灰は密度が大きかったため高く上昇することはできず、地形に沿って横に拡がった。火砕流の発生である。しかし、御嶽で発生した今回の火砕流は高温のマグマが粉碎してできた火山灰によるものではなく、水蒸気によって吹き飛ばさ

れた細粒の砂による火砕流であった。登山者の衣服や荷物への熱の影響は少なく、温度は比較的低かったと推測される。火砕流の一部は南西側斜面を約2.5 km 流れ下った(第130回噴火予知連絡会)。山頂側では剣が峰を越えて最も標高の高い火口である一の池をほぼ覆ってしまった。勢いよく噴出した水蒸気は多くの石も空中に放出した。破壊された岩盤のかけらあれば、噴出した水蒸気によって形成された火口に落ち込んでいった岩石が吹き飛ばされたものもある。報道された証言によると、山頂付近の登山者は火山灰密度の濃い火砕流に巻き込まれて視界を奪われ、真っ暗な中で落下してきた石で負傷したり亡くなった方が多かったようである。地形に沿って拡がっていった火砕流は、急速に火山灰を地面に降り積もらせると同時に、軽くなって上昇していった。御嶽上空に立ち上る噴煙として遠方から視認されたものは、このようにして上昇していった火山灰であろう。これらの火山灰や、その後も噴出を続けた火山灰は風に乗って下流に流されていった。

図1は、噴火の2日後にヘリコプターから撮影した写真である。噴気を出している火口列が左右の方向に並んでいることが分かる。噴気は白く、ほとんどが水蒸気であることが分かる。白い噴気は山頂のごく周辺のみを観察されているが、これは噴気が蒸発して見えなくなったためである。水蒸気が見えなくなった風下側には薄く噴煙が流れているが、これは火山灰であり、この段階でも火

* 名古屋大学大学院環境学研究所地震火山研究センター

本速報に対する討論は平成27年8月末日まで受け付ける。

山灰の噴出が少量であるが継続していたことを示している。写真では、火山灰の分布範囲が明瞭に分かる。特に手前の谷（地獄谷）に沿った火山灰は樹木の緑色とのコントラストが大きく、火砕流が流れ下った範囲や、特に先端を表す痕跡は非常に明瞭である。図2は火口列を拡大した写真である。正面の地獄谷の底や両側の側壁から活発に噴気を出していることがわかる。注意してみると谷の中央には水の流れた後らしきものがみられる。これは火口から熱水があふれたして流れ出したものと考えられる。

図3は、同日に山頂の北側から撮影した写真である。火山灰が広く堆積していることが分かる。写真には代表的な場所の地名を示した。このうち



図1 噴煙を上げる御嶽山（2014年9月29日14時13分頃、山頂の南西側から山岡撮影）。手前の火山灰分布範囲は火砕流が流下した領域。



図2 噴火口列の拡大写真（2014年9月29日14時17分頃、山頂の南西側から山岡撮影）。

噴火の犠牲者のほとんどは当時剣が峰、王滝山頂、八丁ダルミ、一の池にいた人たちである。TVで紹介された二の池本館から撮影された映像によると、火砕流は一の池の縁にまで拡がり、噴石は一の池の外側の二の池内斜面にも降っていた。

この噴火は、従来の火山災害対策の問題点をあきらかにした。ひとつは、研究が相対的に遅れている水蒸気噴火による災害であったことである。もうひとつは、噴火警戒レベルの過信である。

1979年以来の御嶽山の噴火は水蒸気噴火であった。1979年および2014年の噴火は水蒸気噴火としては規模が大きなものではあるがマグマ噴火に比べると規模は小さいものである。火山学の主要テーマは岩石が溶けたマグマの挙動としての火山活動を扱うことである。マグマと水との接触によって水蒸気爆発（マグマ水蒸気爆発と呼んでいる）を起こすことは知られており、防災上の重要な留意点となっていた。しかし、通常は、海底火山の成長過程における爆発、貫入したマグマが地下水と接触したことによる爆発、火口の陥没によって周囲から地下水が流入することによる爆発などが扱われることが多く、地下水がマグマから間接的に熱を受けて圧力が上昇して噴火する水蒸気噴火については余り研究が進んでいない。これは、事例が少ないことに加えて多くの水蒸気噴火は規模が小さく、精度の良い観測データを得にく



図3 御嶽山噴火後の山頂火口付近の様子（2014年9月29日14時4分頃、山頂の北川から山岡撮影）。主な地名を写真に示した。

いことも原因と考えられる。

噴火警戒レベルは火山活動に応じた防災行動を定めるものであり、レベルは1から5までの5段階となっている。レベル1は平常、レベル2は火口周辺の立ち入り規制、レベル3は入山規制、レベル4は周辺住民の避難準備、レベル5は周辺住民の避難に対応している。現在の火山監視は、このような防災行動をきちんと促すことができるほどの実力を持っているわけではない。しかしながら、情報のわかりやすさを求める声を受けてこの噴火警戒レベルが創設された。御嶽山においても、噴火警戒レベルに応じた防災対策が策定され、ハザードマップとともに公開されている。レベルの1-3に対応して規制される登山道も明記されていた。麓の役場から山小屋への連絡手段もあり、噴火警戒レベルが変更されれば山小屋を通じて登山者への周知も可能であった。山小屋にはいざという時に登山客への安全のためにヘルメットも用意されていた。しかし、今回のように火山活動が活発化していたものの、噴火警戒レベルが上がらなかった場合には、何も決まっていなかった。気象庁が火山活動に関する情報を出したとしても、レベルが変わらなければ防災行動につながりにくいという課題が明らかになった。

2. 1979年以降の火山活動と2014年噴火

ここで、1979年以降の御嶽山の火山活動について振り返ってみる。詳細は日本活火山総覧(気象庁, 2013)を参照して欲しい。御嶽山では、1979年に有史以来初めてとされる噴火が起き、その後1991年、2007年、2014年と噴火している。1979年噴火では、山頂剣が峰の南西側に約300m離れた斜面に北西-南東方向に約500mにわたる火口列が新たに形成された。噴出した火山灰は前野・他(2014)によると41-103万トンとされ、北東方向の広い範囲に火山灰を降らせている。噴火は2014年と同様の水蒸気噴火である。1991年と2007年噴火は、ごく小規模なものであり、いずれも1979年の第7火口から火山灰を噴出している。2014年以前で火山灰を噴出した噴火はこの3回であるが、水蒸気の噴出は1979年以来断続的に続いている。

水蒸気噴火をする火山の場合、噴気は重要な情報である。それは通常のマグマ噴火ではマグマが主役であるのに対し、水蒸気噴火では水蒸気が主役だからである。1979年噴火以降の噴気活動は気象庁が遠望観測によって記録している(図4)。この記録によると明らかに噴煙の高さは長期的に減衰している。とくに1990年代半ばからの噴気の減少は顕著であった。注目すべきは2007年噴火に先立つ3年ほどの間と、2014年噴火に先立つ3年ほどは噴気がほとんど観測されていないことである。噴煙の高さの長期的減衰と同期して火口の温度も長期的に減衰してきている。

2014年噴火は、1979年噴火と同様に新たな火口列を形成した噴火である。火口列は山頂剣が峰の南西側約500m離れた斜面に、やはり北西-南東方向に形成された。主要な火口列の分布は約500mに渡っているが、北西端から北西に300mほど離れた場所にも火口が形成された。噴出した火山灰の量は、中田・他(2014)の推定によると41-103万トンであり、1979年噴火と同程度である。

2014年噴火も含め4回の噴火は、いずれも山頂直下での地震活動が発生していた。木股(2014)によると1979年の噴火の前日には山頂の直下と考えられる地震が発生していたという。1991年にも噴火のひと月ほど前から山頂直下で地震が発生し、2007年にも噴火の3ヶ月前から山頂直下の地震活動が認められている。なお、2007年の噴火に際しては、地震活動が活発になった時期に山頂をはさんだ測線の1cm程度の伸びがGPSによって観測された。観測網の性能が向上していた中で発生した2007年の噴火では、通常の地震に加えて火山性微動や低周波地震も記録されている。地下水の加熱が進むとガスなどの流体の移動により低周波微動が発生したり、圧力の増加によって熱水が浅部の岩石の割れ目に入り込んで低周波の地震を発生させるのであろう。これらの現象は山頂直下の熱的活動が活発化していることを表していた。最終的に3月16日から山頂部で噴気が観測されるようになり、おそらくこの時期に噴火したものと考えられている。さらに噴火の数日前からBH型

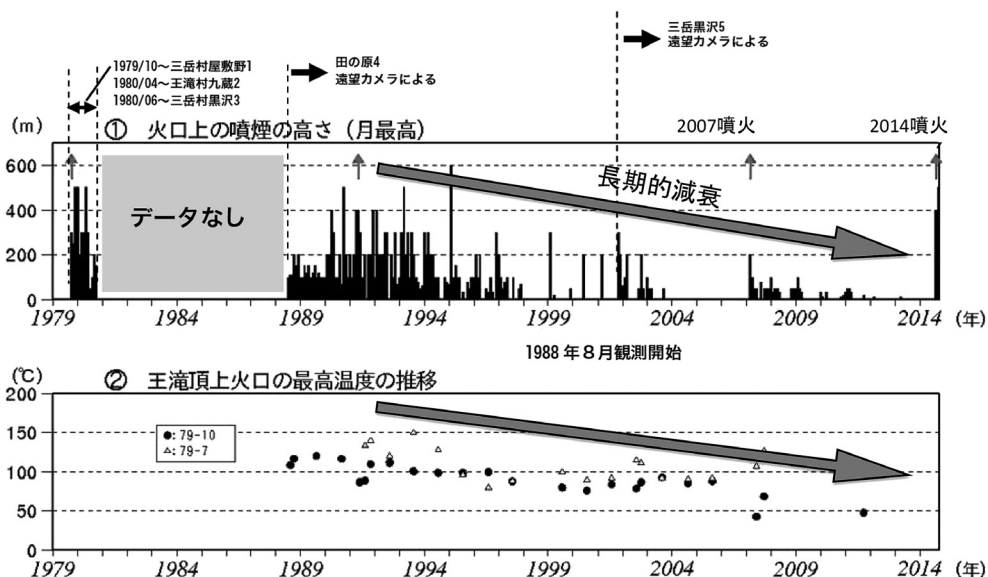


図4 山頂火口上の噴気の高さと温度変化。気象庁の資料に加筆した。

地震（通常の地震とは異なって始まりのはっきりしない地震）の増加が見られるなどの兆候もある。しかし、火山灰の噴出は微量であり、正確な日時を特定することはできていない。

2014年の噴火でも、噴火に先行する山頂直下の地震活動が噴火の2週間ほど前から観測されていた（図5）。しかし活動の推移は2007年とは異なり、噴火の直前まで超低周波地震や火山性微動は観測されず、通常の地震よりも低周波に卓越するB型地震の発生も少なかった。顕著な異常が現れたのは噴火直前である。気象庁の記録によると11時41分頃から火山性微動が観測され始めた。11時45分ころからは山頂から南東に3 km 離れた観測点で山頂方向が隆起する傾斜変動が観測され始めた。噴火に至る傾斜変動は約2マイクロラジアンである。噴火発生時刻は証言などによりその7分後の11時52分頃とされている。噴火の前に火山性微動が発生したのは2007年と同様であるが、噴火までの猶予が10分しかなかった。2007年には傾斜観測はされておらず、傾斜変動については比較できない。

3. 二つのタイプの水蒸気噴火

1979年の噴火は新たな火口列が開いたことに加え、火山灰の噴出量も同規模であったことから、2014年噴火と類似のメカニズムであったと想像できる。また1991年の噴火は2007年の噴火と同様に既存の火口を用いた噴火でごく少量の火山灰を噴出したものであったことから、1991年と2007年の噴火も類似のメカニズムと想像できる。それでは、2014年や1979年の噴火と2007年や1991年の噴火とは、何がどの様に違って、噴火規模が大きく異なったのだろうか。

山頂直下の地震活動が最初の兆候だったことは共通である。先に述べたようにこれは直下の圧力上昇による応力変化がもたらしたものであろう。熱水や蒸気圧の上昇によって間隙圧が上昇して地震が発生したのかも知れない。いずれにせよ、熱水が沸騰の条件に近づいていることを示している。引き続きB型と呼ばれる地震が発生しているのも共通である。B型地震とはP波とS波が不明瞭な地震であり、比較的浅い、不均質性の強い場所で発生したと考えられる。そのうち低周波成分の卓越する地震は実際の流体の動きを反映している可能性がある。経験的には噴火に至る過程で

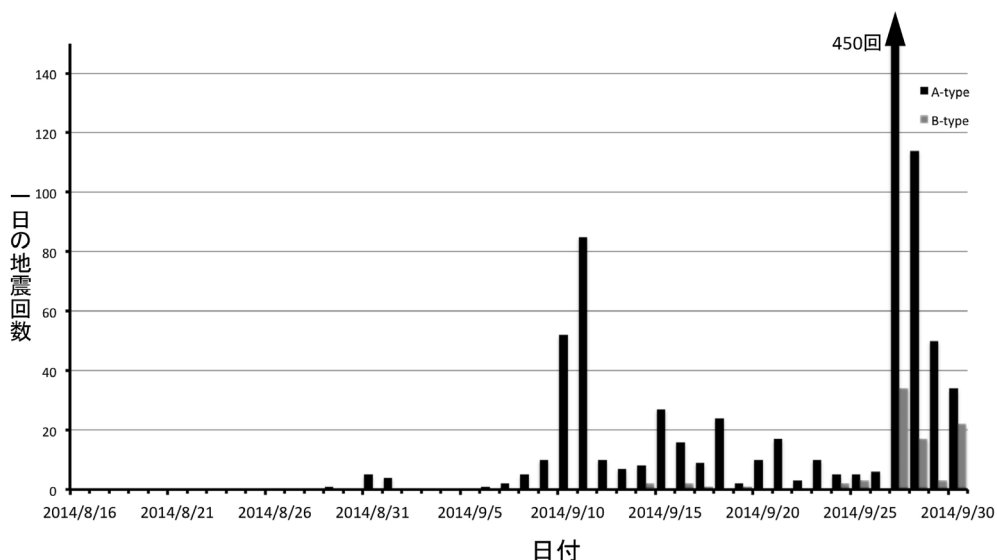


図5 気象庁が計測していた御嶽山の地震活動。A-type は通常の地震と同様にPとS波が明瞭な地震。B-type はP波やS波の区別が不明瞭な地震。A-typeにくらべて低周波に卓越するものが多い。

通常の地震とは異なったB型(あるいは低周波)地震が発生することが知られている。火山性微動が発生したことも同じである。2014年は火山性微動が発生した後にすぐに噴火が始まり、2007年噴火では微動が始まってから噴火まで約50日の猶予があった。

2007年噴火で観測されたが2014年噴火で観測されたかったもの(観測されても規模の小さかったものは)地殻変動と超長周期地震動である。2007年は地震活動に先だって御嶽山を挟んだ国土地理院のGPS観測網(GEONET)の観測点間約30kmが1cm延びる変化を記録している。2014年はGEONETの解析から非常に小さい変動があった可能性はある。2007年の変動はNakamichi et al. (2009)によると地下深部からのマグマ貫入と考えられているが、十分な観測点数がないため推測の域は出ていない。2007年噴火では周期60秒の超長周期地震が発生しており、これもNakamichi et al. (2009)によると加熱による地下水の蒸発が励起した震動と解釈されている。2014年には噴火開始時刻ころに周期5秒程度の長周期地震が発生しているものの、周期は異なっている。

水蒸気噴火には、熱源と地下水が必要である。

マグマが地下水に触れて水蒸気噴火をした場合にはマグマ水蒸気爆発と呼んで区別する。噴出物にマグマが急冷されてできた火山灰が混じることから判別が可能である。1979年以降の御嶽の噴火はいずれも水蒸気噴火であり、マグマの直接的な地下水への接触はなく、間接的な熱源となっているだけである。

2007年噴火前と2014年噴火前の共通性を見ると、いずれも地下水が熱せられて圧力が上昇し、周囲の岩盤で小さな破壊が発生し、さらに流体の岩盤への侵入がさらなる破壊を引き起こした現象のようである。GEONETで捉えられた2007年の変動は観測点が少ないためモデルを特定することは難しく、地下水の圧力上昇による地殻変動の可能性も否定はできない。もしそうだと、2014年噴火も地殻変動が確認できれば圧力上昇を反映した共通する特徴と見なすことは可能である。超長周期地震はNakamichi et al. (2009)のように地下水の沸騰による体積増加とみるのが最も自然であろう。この地震の後の火山性微動も地下水の沸騰による震動と思われる。また図4によると2007年の噴火前も2014年の噴火前も、ともに数年にわたって火口直上の噴煙がほとんど確認されてい

い。水蒸気が地表に逃げる通路がなくなり熱水が地下に閉ざされて圧力が上昇するための条件が整っていたのかも知れない。

このように2007年噴火と2014年噴火に先立つ現象はいずれも地下水の加熱による圧力上昇を表した現象と思われるにもかかわらず、地表で発生した水蒸気噴火の規模が大きく異なった。これは何が原因だろうか。それは、火口列を新たに作ったかどうかという違いに現れている。つまり、既存の火口から水蒸気を噴出することによって圧力上昇が緩和されたか、そのような圧力緩和がなされずに岩盤の大規模な破壊が起きたかである。流体による岩盤破壊は通常は割れ目を形成する。マグマ噴火でも火口列を作る側噴火は、地下で岩盤が破壊されて割れ目を形成してマグマが上昇したものである。このような破壊の予知は、地震予知が困難であると同程度に難しく、前兆現象から2007年型の噴火になるか2014年型の噴火になるかを判断することは非常に難しい。

4. 噴火後の対応

山頂に残された被災者の救出は、噴火の翌日から警察・消防・自衛隊によって開始された。噴火後に火口から4 km以内の立ち入りが制限されている中での作業で、当然再噴火による二次災害の可能性を押し退ける救出作業であった。そのため、火山活動の監視は気象庁が観測データに基づいて東京で行い、異常が認められる場合には現場のリーダーに携帯電話等で直接に知らせるといった体勢がとられた。

政府は、御嶽山噴火に関わる関係省庁災害対策会議を設置した。噴火翌日の9月28日の夕方には御嶽山噴火非常災害対策本部に切り替わり、救助・捜索の指示にあたった。現地災害対策本部は長野県庁に設置されテレビ会議システムによって霞ヶ関で行われた対策本部会議に接続された。筆者も、学識経験者として御嶽山噴火非常災害対策本部会議に加わり、連日名古屋大学からテレビ会議で参加した。しかし、よく考えてみると、この地理的關係は非常に奇妙である。現場は長野県・岐阜県境の御嶽山であり、捜索は主に長野県南部

の木曾町や王滝村を基地として活動している。しかし、火山活動データを見ることができるのは遠く離れた東京大手町の気象庁と名古屋大学である。対策本部は東京の霞ヶ関に置かれ、現地対策本部も木曾町から特急で1時間半の距離にある長野市である。名古屋も木曾町から特急で1時間半の距離にある。このように現地にいなくても情報共有による作業の進行が可能であるのは、通信技術の進歩とみることができる。しかし一方で現場から遠く離れた災害対策本部・現地対策本部でも臨場感を維持することや、火山活動等の情報を十分に現地に伝える努力も重要である。臨場感の維持と情報伝達の状況についての検証は今後の課題であろう。

噴火後間もない御嶽山頂の火口付近で活動をする捜索・救助隊の二次災害リスクを可能な限り軽減するため、筆者は非常災害対策本部事務局の依頼を受けて気象庁の監視業務のサポートをすることになった。そのため、国土交通省中部地方整備局から御嶽山の監視カメラ映像のリアルタイム提供を受け、名古屋大学で観測している地震計等の記録とともにデータの変化を監視していた。火山活動の変化を表す指標として、映像による噴気の変化と地震計の記録による火山性微動の変化を特に注意することにした。それに加え、地震活動変化、気象庁の機動観測班が報告する火山ガス（二酸化硫黄）の噴出量にも注意を払った。火山性微動は噴気の勢いを反映していると見なすことができ、噴気が視認できない場合や気象の影響で噴気の様子が変化しても、比較的正確に変動を監視する手段となる。地震計の記録には、火山性微動だけでなく、近くを通過する自動車によるノイズ、ヘリコプターのロータによるノイズ、降雨による水の流れによるノイズなど様々なノイズが重なってくる。それらを慎重に判断しながら火山性微動の変化を読み取った。筆者は、東京大学地震研究所伊豆大島火山観測所勤務時に、1986年の噴火から火山性微動がおさまる1990年までの火山性微動の活動を見ており、その経験に照らしながら作業にあたった。

筆者のサポート参加も最初は手探りであった

が、手順が固まったのは9月30日からである。前日の9月29日の夕方からそれまで順調に減少してきていた火山性微動の震幅が急に強まった。しかし高感度カメラで捉えられた噴気の状態には明瞭な変化が見られない。何か良く分からない現象が起き始めている可能性も排除できないと考えた筆者は、翌日の救助・捜索活動については慎重に判断すべきと考え非常災害対策本部事務局と相談した。その結果、山頂における活動の可否について行動開始前の早朝に、気象庁の現地対策本部駐在員と観測データの確認をすることにした。結局30日は火山性微動の震幅が不安定な増減を繰り返したことから火山活動が不安定な状況にあると判断し、捜索・救助作業を中止することとなった。気象庁との間の早朝の打ち合わせは、年内の山頂での活動が最終的に中断されることになった10月16日まで、台風などで予め中止が決まっている日をのぞいて継続された。その間、火山活動の様子については、ほぼ毎日夕刻に開催される非常災害対策本部会議で報告した。火山性微動の不安定な変動によって作業が中止された9月30日の会議では、とくに丁寧に説明をした。これは一刻も早く不明者を捜し出したい警察・消防・自衛隊の関係者や不明者の家族に納得していただくためであった。

5. 今後に向けて

本文章の執筆時点の2015年1月の段階では噴火後の御嶽の火山活動は順調に減衰してきている。これは、熱せられた水蒸気の出口が確保されているため、地下の熱エネルギーを安定に放出できているからであろう。何らかの原因で、噴気孔が詰まるようなことが起きると今後も爆発的な噴火が発生することはあるだろう。したがって、噴気活動の監視は非常に重要である。映像および噴気口付近に地震計を設置して監視することが重要である。長期的にはマグマ噴火の可能性を排除しない監視体制が必要である。なお、現時点では地殻変動などマグマの貫入を示唆する変動は観測されていない。

今回の御嶽山における災害を契機として、我が国の火山防災の不充分なところが点検され、各方

面で方策が打ち出されつつある。文部科学省では科学技術学術審議会測地学分科会地震火山部会が「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」として、御嶽山を含む今後の火山観測研究について方針を打ち出している。気象庁は、火山の監視については「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緊急提言について」を、情報発信については「火山情報の提供に関する緊急提言について」を公表し、御嶽山の噴火災害で明らかになった監視体制や情報提供に関する課題を明らかにするとともに改善策を打ち出している。さらに中央防災会議では火山防災対策ワーキンググループを組織して議論を始めるとともに、常時監視火山について火山防災協議会の設置を指示した。御嶽山の地元の長野県・岐阜県では火山防災対策の強化を急いでおり、岐阜県では火山防災対策検討会議を組織して議論を行っている。御嶽山については、かねてから懸案であった長野県・岐阜県合同の火山防災協議会が2014年末に発足した。

このように、火山噴火防災に関する課題の洗い出しと新たな施策が急速に打ち出されつつあるが、従来の組織の中での議論がほとんどであり、依然として縦割の弊害が解消されていない。大学や関連研究所は科学技術学術審議会測地学分科会で研究方針を議論し、基礎研究を通じた火山噴火予知・防災の向上をめざしている。気象庁は監視観測を通じて火山に関する情報や警報の発表をしている。国交省では各地方整備局を通じて砂防等防災対策を進めている。しかし、それぞれの組織は所掌の範囲があり、それぞれの内部の議論で所掌の境界線を超えることは難しい。それらをつなぎ連携させる組織として、本来は各火山の防災協議会が機能すべきであるが、予算的な裏付けが弱く、地域としての意欲的な防災対策を打ち出しにくい。自治体など地域でできることは地域で努力して実施した上で、必要な事業に対して国の支援が必要である。火山防災の主体はできるだけ地元が担うべきで、そのためには、防災をになう都道府県などの地元の職員に火山を良く理解する人材を育成し、大学・気象庁など関連組織と顔の見え

る関係を継続して築く努力をすることが必要であろう。

参考文献

- 前野 深・中田節也・金子隆之：御嶽山2014年噴火および1979年噴火の噴出量，日本火山学会2014年秋期大会 UP-07，2014.
- 中田節也・前野 深・金子隆之：御嶽山2014年9月27日噴火の推移と今後の展開，日本火山学会2014年秋期大会 UP-01，2014.
- 木股文昭：御嶽山：有史発の噴火から35年で再噴火－活火山と向かい合う研究者と地元，科学，85巻1229-1235，2014.
- 気象庁：日本活火山総覧（第4版），気象業務支援センター，1500ページ，2013.
- Nakamichi, H., H. Kumagai, M. Nakano, M. Okubo, F. Kimata, Y. Ito and K. Obara: Source mechanism of a very-long-period event at Mt. Ontake, central Japan: Response of a hydrothermal system to magma intrusion beneath the summit. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 187, 167-177, 2009.

(投稿受理：平成27年1月19日)