

連続講演会「東京で学ぶ 京大の知」シリーズ17
変動する社会と激変する自然災害 第3回

火山活動の予測

— できて当然の火山・ハードルの高い火山 —

京都大学が東京・品川の「京都大学東京オフィス」で開く連続講演会「東京で学ぶ 京大の知」のシリーズ17「変動する社会と激変する自然災害」。3月19日の第3回講演では、理学研究科の鍵山恒臣 教授が「火山活動の予測—できて当然の火山・ハードルの高い火山—」と題して、噴火予知研究の最前線を紹介し、火山災害の防災について考えた。

●予測が比較的容易な火山噴火



「危険を知らせることよりも、“安全”をいかに明言できるかに力点を置いた研究をすることが重要だ」と鍵山教授

であった。

しかし、そもそも有珠山の噴火予測は、火山学の進歩により可能になったわけではない。有珠山は、20～30年という短い間隔で噴火しており、有感地震が群発すると必ず噴火している。どこで噴火するかも直前の異常現象から予測できる。

火山列島・日本には110の活火山がひしめき、半数近い47は常時観測が必要な火山とされている。2014年9月の御嶽山噴火は戦後最悪の火山災害として、記憶に新しいところだ。この時、「水蒸気噴火は予測が難しい」とのコメントが数多く聞かれた。「水蒸気噴火の予測はなぜ難しいのでしょうか。逆に、予測が比較的容易な火山はあるのでしょうか」と話すのは、阿蘇にある、理学研究科附属地球熱学 研究施設火山研究センター施設長を務める鍵山恒臣教授である。

予測が比較的容易な例として挙げられるのは、北海道有珠山。2000年の噴火前に緊急火山情報が発表され、すばやく住民を避難させた。緊急火山情報は人命に関わるような噴火の発生が予想される場合に出されるもので、噴火前の発表は初めて

「むしろ画期的だったのは、火山学者の提言に、行政が初めて耳を傾けたことでした」

そう言い切る理由は、インドネシアにおいて 10 年以上も前の 1988 年に予知に成功しているからである。インドネシアのバンダ・アピ火山では、噴火の前日に約 5,000 人の全住民を島外避難させている。日本で博士を取得した担当官が、わずか 1 点の地震観測に基づいて避難させたものであった。日本と同じ火山国であるインドネシアは、火山防災に注力しており、実践的な防災体制が敷かれ、噴火履歴調査や防災教育にも努力している。

「火山学や噴火予知のための技術がいくら進歩しても、社会体制が整備されていなければ活かすことができない、ということを示す例でしょう」

火山噴火予知の技術そのものは、多くの火山で地震活動や地盤変動などの前兆現象を捉えることに成功しており、監視体制が整備された火山では、前兆現象をマグマの動きと関連づけて理解できるまでになっている。例えば桜島では、傾斜計やひずみ計で微小な山の膨らみを検知でき、小規模噴火を 80%以上の確率で予知できるとされている。

●噴火予知がうまくいかない局面

では、社会体制の問題はさておき、科学的理由で噴火予知がうまくいかないのは、どういう局面だろうか。

御嶽山のような水蒸気噴火は、マグマが地表まで上昇しなくても起こるため、前兆をつかむのが難しいとされる。2014 年の際も、噴火の 3 週間ほど前に地震が群発したもののすぐにおさまったため、前兆と判断することができなかった。

しかし、後の詳しい解析によれば、やや長周期の地震の発生や山体の膨張が確認されており、今後、予測が可能になる糸口が見出されている。

そのヒントは浅間山にある。浅間山は、活発に噴火を続ける火山で、1973 年までは、地震が明瞭に増加した後に噴火が引き続いて起きていた。しかし、1982 年には地震がわずかに増加した後、減少に転じ、その後、突然噴火している。この違いは、前者が地震を伴いながらマグマが地表近くまで上昇して噴火しているのに対して、後者は、マグマが途中で上昇を停止して地震活動が低下、マグマから分離した火山ガスによって噴火が発生したことによる。同じ山でも噴火のタイプが異なったのである。

つまり、御嶽山も浅間山も、マグマの上昇にともなって発生する地震の回数だけを見ては予測できない例である。「地震だけでなく、火山ガスの上昇や水蒸気圧の増圧などを検知できる GPS 観測による地盤変動、火山ガス観測など細かな異常を捉え総合的に判断す

ることが重要となります」

●噴火と噴火未遂のメカニズム

雲仙普賢岳や三宅島など、数千年ぶりの「想定外の噴火」も、予知がうまくいかない局面の1つだが、これらは過去の履歴を調査すれば解決できる問題である。もっともやっかいなのは、「異常は検知したが噴火しない」という局面である。異常を検知して、噴火する火山よりも、噴火しない火山の数のほうが圧倒的に多い。

「その理由を探るために、まずは噴火のメカニズムや、噴火と噴火未遂の概念についてご説明します」

マグマは、冷えて岩石となる固形成分と、火山ガスと呼ばれる揮発性成分から構成される。この2つの成分が一体となって地表近くに達し、揮発性成分の発泡で体積が増加、これがマグマ噴火である。

しかし、固形成分と火山ガスとは必ずしも一緒に移動しない、というのが最近の認識である。固形成分と火山ガスがどのように移動するかによって、噴火の種類は変わるのだ。

固形成分と火山ガスが一体となって上昇すると「マグマ噴火」となる。

固形成分が地下浅部で停止し、火山ガスだけが大量に上昇してくると、「マグマ水蒸気爆発」となる。これは固形成分の一部と火山ガスが地下水などと接触して、大量に水蒸気が発生して起こるもので、噴出物にはマグマ由来物質が含まれる。

固形成分が深部で停止し、火山ガスだけが大量に上昇してくると、「水蒸気噴火」となる。マグマの熱で付近の地下水が熱せられて水蒸気が発生、圧力が急速に上昇して起こるもので、噴出物にはマグマ由来物質は含まれず、既存の岩石や堆積物の破片だけを噴出する。

固形成分が深部で停止、火山ガスがわずかに上昇すれば「噴気異常」となり、「異常は検知したが噴火しない」ケースである。

●固形成分と火山ガスが一体で上昇しない例

「私が、固形成分と火山ガスと一緒に移動するわけではないことに最初に気づいたのは、雲仙普賢岳の活動でした」

雲仙普賢岳の活動は、1989 年末に西方の橘湾深部で地震群発、1990 年 7 月に山頂付近で火山性微動開始、同年 11 月に水蒸気噴火（熱泥噴出）、1991 年 1 月に火山性微動再開、同年 2 月に水蒸気噴火、同年 4 月にマグマ水蒸気爆発、同年 5 月溶岩ドーム出現と変わっていった。

雲仙普賢岳の地下に帯水層があるため、泥水を噴出したのではないかと考えた鍵山教授は地下構造を調査。地表付近は空隙の多い溶岩塊のために電気比抵抗が高く、海拔 4~500m より深い部分では海拔下 1km くらいまで 10~20Ωm の低比抵抗層（帯水層）が見出された。

この地下構造と火山活動の推移を検討したところ、次の結論に達した。

1989 年末から 1991 年 5 月までの 1 年半をかけて、深さ 10km 付近にあったマグマが 1 日に 20m の速さで上昇して、海拔 1200m の火口に溶岩ドームとして出現したとすると活動変化の節目節目をうまく説明できる。しかし、それでは、火山性微動が起き始めた 1990 年 7 月や、最初の熱泥噴火が発生した同年 11 月の時点には、マグマはまだずっと深いところまでしか上昇していないはずである。マグマが深いところでありながら、なぜ熱泥噴火が起きたのであろうか。これを説明するためには、マグマから分離した火山ガスが 1990 年 7 月に帯水層に到達している必要がある。実際、この時期に火山ガスの異常が観測されていた。

●マグマの上昇を抑制する要因

以上を見てくると、「マグマからの火山ガスの分離」や「マグマの上昇停止」が重要なポイントであることが分かる。マグマの上昇停止の要因としては、3 点ほどが考えられる。

1 つめは、密度の関係。マグマの密度が周囲の岩石の密度より小さい場合は、浮力が働いて上昇するが、低密度の地層などにぶつかると、密度障壁となりマグマの上昇が停止するという考えである。

2 つめは、マグマからの脱ガス。マグマ中の火山ガス成分が抜けるとマグマの発泡が阻害されてしまい、密度低下が起きにくくなるので、マグマの急激な上昇や体積膨張が起きない、というわけだ。

3 つめは、応力場。張力が働くような応力場では、マグマが地下に滞留して地表まで上昇しないという考え方である。

こうしたマグマの上昇と停止や火山ガスのマグマからの分離を正確に理解することができれば、異常を検知した後に、噴火するのかもしれないかを予測することに道が開けると思

われる。例えば、火山ガスがどれくらいマグマから抜けているかを知ることは、大変重要であり、通常は、直接火山ガスの観測が行われているが、火山ガスが帯水層に付加されると地下水の電気伝導度が高くなることを利用して脱ガス量を調査する試みも行われている。

●将来の低頻度大規模災害に備えて

火山災害の防災を考える上で、重要となるのは「低頻度大規模噴火」である。文字通り、休止期の長い大規模なマグマ噴火である。

よく問われることであるが、「富士山は噴火しないのか」。この問いに対する答えは、「現状では噴火につながるような異常現象は観測されていない」である。しかし、「いつ異常現象が起きそうか、起きたらどれくらいの時間でどれくらいの噴火になりそうか」については、今の段階では答えることは難しい。

こうした状況は、諸外国でも事情は同じであり、低頻度大規模噴火の研究はまだ始まったばかりである。最近の研究で、低頻度大規模噴火は頻繁に起きている小規模な噴火とは少し違った起き方をしていることが分かってきている。

低頻度大規模噴火の準備は、しばしば起きている噴火未遂や水蒸気噴火と密接に関わっている。実は、多くの火山で数年から数十年おきにマグマの地下深部からの供給が観測されている。多くの場合、マグマは地下に滞留して、噴火未遂や水蒸気噴火で終わっている。この噴火未遂や水蒸気噴火を繰り返すことで、地下に滞留しているマグマは増え続けていく。そして、新たに深部から供給されたマグマが、滞留しているマグマに衝突する確率はしだいに高くなっていく。衝突が起きて、滞留しているマグマが加熱され、発泡が起きると、過去に滞留したマグマをすべて放出する大規模噴火となる。

富士山の宝永噴火も、いずれ大規模噴火が起こるとされる桜島も、シナリオは同じだ。桜島の地殻変動の大きさは、噴火の規模と関係していることが分かり始めており、膨らむ速さがあるレベル以上になった場合は、大規模噴火になると予想されている。

低頻度大規模噴火の究極はカルデラ噴火である。破局噴火とも呼ばれる、地下のマグマが一気に噴出する壊滅的な噴火形式で、しばしば地球規模の環境変化や大量絶滅の原因ともなる。阿蘇山の9万年前のカルデラ噴火は、わが国最大級のもので、火砕流は九州の北半分を焼き尽くして山口県にまで達し、日本列島全体が火山灰で覆われた。

「カルデラ噴火の発生は、日本国存亡の危機と考えられます」

数千年、数万年に 1 度という噴火であり、日本社会はカルデラ噴火を経験した記憶を持たない。九州で発生すれば、九州は壊滅的な被害を受け、日本列島は（とりわけ関東から西日本は）生存の基盤が失われる。この問題は、火山学だけの問題ではなく日本国民の英知を結集すべき問題である。難民をどのように受け入れてもらうか、在外邦人にどう活躍してもらうか、日本の海外資産はどう役立てられるべきか、考えるべき問題は多い。

「破局噴火は将来、必ず起きる。その時、いかに生存者を増やし、日本国をどう再建するか。そのために、何ができるでしょうか」。鍵山教授は、最後にこう参加者に問いかけた。



「火山研究は、人類の時間軸と地球の時間軸のどちらで行っているのか」との質問に対し、「研究者によってさまざまだが、少なくとも私は“防災”と名の付く研究をしている以上、ここ数千年の人類のタイムスケールで考えている」と鍵山教授