

噴火からどう学ぶか： 予測の現状とすすめ方

藤井敏嗣

ふじい としつぐ
山梨県富士山科学研究所所長、東京大学名誉教授

水蒸気噴火の本質的な違い

——小規模な噴火はわからないのが現状、ということになるでしょうか。

藤井 まったくわからないわけではありません。桜島での長年の観測がこの分野のさきがけとなっています。地殻変動と地震活動を見ていけば、小規模といってもマグマが動いてくるような噴火は、ほぼわかるでしょう。たまには外すこともあるでしょうが、大部分はわかると思います。

地殻変動・地震活動が増え始めてからどのくらい時間が経てば噴火するかは、火山ごとに個性があります。桜島では数時間から十数時間ぐらい、ほかの火山ではもうすこし幅があったりします。

きちんと予報にまでつなげられていないのは事実ですが、地殻変動・地震活動の増加から噴火が接近していることはある程度はわかります。

わからないのは水蒸気噴火です。水蒸気噴火はマグマ噴火とは本質的に違うので難しいですね。

——水蒸気噴火は、本質的に何が違うのでしょうか。

藤井 マグマ噴火は地下深くにあった高温で、ある体積をもったマグマが地表まで移動して、噴出する。一方、水蒸気噴火は地下数百m～1km程度の浅所にある、高温の液体状態の熱水とよばれるものが水蒸気になろうと相転移を起こすことで生じます。

100℃の水が100℃の水蒸気になるだけで、体積は1700倍に膨らみます。熱水の場合は地下の圧力のために温度が100℃を超えた液体状態な

ので、体積は数千倍に膨らむわけです。一挙に膨れて爆発を起こす、それが水蒸気爆発です。その時に周りの岩石を飛ばすので、水蒸気噴火を起こします。水蒸気だけを放出する場合はいくら勢いが激しくても水蒸気噴火とは呼びません。通常、規模はあまり大きくありませんが、近くに人がいれば飛んできた岩石にあたって、負傷したり、亡くなることになります。

水蒸気噴火のなかには、マグマの移動に伴うものもありますが、マグマが移動せずに、水蒸気噴火だけが起こることのほうが多いのです。例えば、箱根山の噴火(2015年)、御嶽山(2014年)、今年1月の草津本白根山の噴火もそうです。

マグマの移動に伴う水蒸気噴火は、マグマが上がってきて、その熱で温められた熱水地下水が急激に水蒸気になって膨張することによって発生します。マグマの移動があれば、噴火に至る前に地殻変動・地震活動が見られるでしょう。

一方、マグマの移動を伴わない水蒸気噴火は、もともと浅いところに安定に存在していた熱水が、突然不安定になって、急激に水蒸気になることで発生するために、前兆がつかまえない。

このような熱水がつくられるのは、根源的にはマグマの影響です。火山の深いところにじっとしているマグマが少しずつ冷えてくると、マグマの中に溶け込んでいる水を主体とする揮発性成分が分離してくる。その水はマグマと同様に1000℃ぐらいの温度があり、圧力の高い、深いところにあるので、実は、液体でも気体でもない、超臨界流体と呼ばれるものです。そういうものが、隙間

を通過して上がってくることがあります。

火山の500 mないし1 kmの深さには、たいてい地下水があって、そこに高温の流体が上がってきて混入すると、熱水が作られます。圧力がかかっているのです、300℃ぐらいになっても、まだ液体状態です。普通は安定に存在しています。そこから浸み出してきているものをわれわれは温泉として活用しているわけです。あるいは、そこからチョロチョロ定常的に出てくると、箱根・大涌谷のように、蒸気になって常時勢いよく出るものの、通常は爆発しないという状態になります。

しかし、上がってくる超臨界流体の量が増えて熱水溜まりの温度が上がるとか、浅いところに溜まっている熱水溜まりにヒビが入って圧力が下がるなどの変化が生じると、熱水が不安定になり、水蒸気噴火に至るのです。

地下深くから高温の流体が大量に上がってくる場合には、通路に沿って地震が群発することがあって、あらかじめ噴火が予測できることがあります。箱根山の噴火(2015年)などはこの例です。一方、地下深くからの超臨界流体の供給が途絶えて、浅所で安定に存在していた熱水が不安定になるのは、地震が起こるのと同様で、突然ですから予測は困難です。草津本白根山の噴火はこの例だと思われます。いずれの場合も、マグマが下からジワジワと上がってくるマグマ噴火とは、まったく性質が違います。

熱水が水蒸気に変化して膨らむ時に岩石がまだしっかり頑張っているという状態にあると、爆発直前には、非常に狭い範囲ですが、山が膨らみまします。小さなヒビ割れが周囲で起こると、地震も起こります。しかし、その後一気に噴火に至るので、山の膨張や地震という前兆現象が現れるのは、せいぜい数分前ということになります。

御嶽山噴火の時に流体が移動したと思われるのは、火山性微動が出始めた、噴火の11分前で、山が膨らみ始めたのは7分前です。それがもっと前から現れるかという、難しい。草津本白根山でも、気象庁は最初は、微動が起こった時に噴火だと考えたけれども、実際にはそうではなくて、

そのあとでもっと激しい振動になった時に噴火は起こっています。だから、数分前には前兆が現れていましたが、数分前にしか前兆が現れないというべきかもしれない。

——最近の水蒸気噴火の場合には、山が膨らむとか、微動が起こるという前兆は、数分前だったのですね。

藤井 ただし、そういう前兆も、観測装置が噴火地点からすこし離れた場所に置かれていると、わからない可能性があります。500 mとかせいぜい1 kmぐらいの浅いところにソースがあるので、離れたところでは何も検出できないのです。

——観測点の問題があると。

藤井 観測点が、爆発点の近くにあればあるほど検知しやすいですが、そういう場所にはなかなか観測点を置けないですね。

水蒸気爆発の予測が難しいことは、火山噴火予知計画が1974年に始まった時から認識されてきました。それで、まずは地下のマグマの動きを捉えることでマグマ噴火の予知を実現しようとして計画は始まったのです。桜島で代表されるように、地下でマグマが移動し始めたら、地震を起こしたり、山を膨らませたりするのが捕まえられるので、予知ができるようになったわけです。

5年前に、当時の火山噴火予知計画(現在はかつての地震予知計画と合体して「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」)で「そろそろ水蒸気噴火を起こしやすい、熱水の発達した火山のこともきちんとやるべきだ」と言っていたら、御嶽山の噴火が起こってしまいました。

噴火経験の蓄積がすすんだ桜島

——マグマを捉えることが一番よく観測されているのが桜島ですね。

藤井 桜島は1年間に何百回も噴火しています。桜島の観測所(京都大学桜島火山観測所)がつくられた1960年から、近代的な観測装置で噴火を経験してきたわけです。

その経験則が活かってくるので、桜島の場合には、9割がた予測が実現していると思います。時に、

だらだらと長い時間をかけて山が膨らんだように見えてポンと噴火することがあり、そういう噴火の場合は、いつ発生するかはなかなかいえないですが、たいていの噴火はいつ頃噴火しそうかわかります。

——桜島では、天気予報にかなり近づいているといえるでしょうか。

藤井 桜島に関しては、天気予報に近いですね。

——それは、たくさん回数を経験しているからですね。

藤井 同じような噴火を繰り返している限りにおいては。しかし、噴火の様式は、突然変わることもあります。

われわれが、物理観測で火山を捉えているのは、最近の100年ぐらいです。桜島の大正噴火の時(1914年)には、鹿児島の気象台に地震計は1台しかありませんでした。1911年の有珠山噴火の時に、大森房吉が地震計を持って行って地震観測をしてから、近代的な観測が始まりました。

有珠山もそうですが、たいていの火山は30～60年ぐらいの間隔でしか噴火しないので、経験がなかなか積みません。桜島だけが例外的に1955年から連続的に噴火しているので、蓄積があるわけです。

経験のない大噴火の前兆は 桜島でもわからない

——桜島での大正噴火級の噴火への警戒については。

藤井 大正噴火は、別のスケールになります。これまで経験してきた噴火は、1回の爆発でせいぜい10万トンぐらいしか出ませんが、大正噴火はスケールがまったく違います。マグマ換算で20億立米、トン数になおすと50億トンぐらいのものを出して、桁が違うわけです。

それがどういう前兆で起こるかは、本当はよくわかりません。大正噴火の経験では、少なくとも数十時間前に地震が起こり始めて、しかも有感の地震を伴って、今まで何もなく山頂付近から水蒸気が上がり始めるとか、その程度の前兆は起こるだろうと思いますが、それよりもっと前に何

が起こるかに関しては、近代的な測定装置で測定されていないので、わからないのです。

おそらく、現在使用しているような精密な装置で測れば、もっと前に山が膨らみ始めるのが見えるのではないかと考えています。しかし、それがどのくらい前から見えるのかは、わかりません。

——現在、膨らんでいるということは？

藤井 水準測量は大正噴火直後から続けられてきました。それをもとに、あるモデルに従えば、下に溜まっているマグマの量が推定できます。1914年の噴火で地下のマグマ溜まりからマグマを出したので、その分、地表の錦江湾の高さがガクンと下がりました。その標高が今、ほとんど1914年の噴火直前ぐらいのレベルまで、戻っています。

ということは、前回の噴火で出した分は再びマグマで埋めてしまったことになるので、いつ大正噴火級の噴火が起こっても不思議はないと思っています。

ただ、正確にいうと、われわれは1914年以降の増し分しか知らないのです。1914年の時に、マグマ溜まりが空っぽになったという保証はありません。例えばその何十倍ものマグマが、その時に残っていたという可能性だってあるわけです。そういう意味で、規模の上限まではわからないのです。1914年に出した分の量まで戻ったから次も1914年と同じかと思いがちですが、その保証はない。あるいはまた、1914年と同じ量を全部使うとも限らないわけです。というのは、1946年に昭和の噴火がありましたが、この時はそれまでに溜まった分の1/10ぐらいしか出していません。1914年以来の増し分を全部出したわけでもないのです。

だから、次に起こる噴火も、昭和の噴火のように小さいということもあり得るし、大正噴火並みということもあり得るし、大正噴火よりはるかに大きいものが来てもおかしくはない。われわれは、増し分しか知らないからです。

大正噴火の時も、もしかすると、もともとあったマグマ溜まりの1/10、あるいは半分しか出し

ていないかもしれない。もっと巨大な噴火が起こらないともいえないのです。

—マグマ溜まりの大きさの推定は、どのくらい進んでいるのですか。

藤井 日本では正確にわかっているものはまだほとんどありません*。かなりよくわかっているのは、アメリカのイエローストーンです。25年間、自然地震を観測しつづけた蓄積によって、地震波トモグラフィーという手法で、マグマ溜まりの状態を三次元的にマッピングしているのです。巨大なマグマが、イエローストーンの下にあるということにはわかっています。ただし、次の噴火がどうなるかは、本当は誰もわかりません。

—前回のイエローストーンの噴火は、そのマグマ溜まりに比べてずいぶん小さいものだったということですか。

藤井 その通りです。サイズがわかっている、次にどのくらいの量が噴出するのかは、本当は予想がつきません。完全に大きさがわかってしまえば、最大限の噴火の規模はおそらくわかりますが、少なくとも日本のマグマ溜まりで、そこまでわかっているものはありません。伊豆大島でも、三宅島でも、桜島でも、前の噴火からマグマ溜まりにどのくらいのマグマの増し分があるかというのはわかるのです。しかし、それはあくまでも増し分でしかないのです。最大限どこまでいくかというのは、いえないのです。

—増し分は、GPSで測量すればわかるわけですね。

藤井 そうです。

—イエローストーンの場合は地震観測だから、地震計をたくさん置いて、トモグラフィーを得たと。

藤井 地震計をたくさん置いて、いろいろな方向を通ってくる地震波を蓄積して、それを解析します。精密な像を得ようとすれば、たくさんの地震波が必要で、25年かかったわけです。人工地震ではエネルギーが小さすぎて、マグマの深さになかなか届かないので。

富士山でも2年間、自然地震を測定し続けて

*—最近では、地中の様々な振動を地表で観測し、その記録の相互相関をとる地震波干渉法と呼ばれる手法を使って、浅間山や霧島山のマグマ溜まりを検出する研究が行われている。

マグマ溜まりを捉えようとしたことがあるのですが、大きさがわかるころまではぜんぜんいかなかった。

—マグマ溜まりが深いから届かないのですね。

藤井 人工地震では数kmぐらいの深さまでしかわかりません。最近の反射法だと、ある程度深いところまで読めるようになるかもしれませんが。

—地震計を置いたとしても、なかなか見えにくいのですね。

藤井 それに、日本ではノイズが多すぎて無理なのです。人がたくさんいて、電車も走りますから。イエローストーンのようなところでは、ノイズレベルもずっと低い。日本は観測場所を確保しても、ノイズが多くて使いものにならないということもある。昼間のデータは全部ダメで、夜中の皆が寝静まった時のデータだけは使えるとか。理想的にいかないのです。

—5月号・6月号の座談会(「地震予測と「第4の科学」」)で微小地震のデータは宝の山だという話がされていたのですが、火山では解析は簡単ではないと。

藤井 地震でいう微小地震は、火山よりはるかにきれいな波なのです。地震屋さんが「火山で見ているのは雑音ばかりじゃないか」というぐらい波形が汚い。火山は、もともと何もないところに、いろいろなものをガサガサ積み上げてできています。だから、減衰が激しいし、木が風で揺れるだけで大きなノイズが入ってしまう。地震屋にとっては、ゴミ箱みたいなものですから、火山地域での地震を見ないのです。火山屋は仕方がないから、読み取れそうなところを読むのです。

だから、Hi-net(高感度地震観測網)は、火山地域をできるだけ外して設定してあります。日本には活火山が111あって、気象庁は、そのうち50の活火山は常時観測火山として、自分たちや大学の火山観測のネットで監視していて、残りの火山はHi-netなど、地震調査研究の地震計で見えていますといいますが、そういう地震計は火山から10km以上離れています。それでは微動が見えるはずがない。だから、気象庁もいい加減なことをいっているのですが。

——それでもできることとしては、火山の近くに地震計を置いて……。

藤井 もちろん、それがないと始まりません。水蒸気噴火を捉えようと思うと、爆発地点に近いほうがいいから、できるだけ火口に近い所に置こうとするわけです。そうすると、電源はないから太陽光発電に頼ることになりますが、東日本では1年の半分は雪のために観測できなくなってしまう。燃料電池が、もっと安く、小さくなってくれとできるのですが。

富士山宝永噴火級の影響

——富士山噴火による降灰の影響予測や対策を政府で検討するようですね。

藤井 これから検討するようです。

東京の場合にどう想定するとよいのか、具体的なところはまだないのです。家畜に対する影響や、電線に対する影響は、アイスランドやニュージーランド、南米の例がありますが、これらは人口の少ないところで、都市部のデータがまったくないのです。

最近の噴火で都市に近いところで起こったものとしては、1980年のアメリカのセントヘレンズ山ですが、あのときの火山灰は、いったん北上して偏西風に乗り、移動した先はカナダとアメリカの国境地帯の原生林がたくさんあるところでした。だから、被害が小さかった。人が住んでいた場所は、人口2万人ぐらいのヤキマという町だけでした。鉄道も通っていない、道路だけの集落です。だから、電車がどうなるかといった影響はわからないのです。

もう1つはフィリピンのピナトゥボ山(1991年)でしたが、幸か不幸か、最盛期の噴火時に台風が真上を通りました。そのため、マニラにはほとんど降灰がなく、その代わり、アメリカのクラーク空軍基地には大量の火山灰が降って、修復不可能になり、彼らはそれを機会にスービック海軍基地も含めて全面撤退しました。米軍基地は、小さな町といえば町ですが、電車もないし、近代都市と

いうわけではない。そういう経験しかないのです。

アイスランドのエイヤフィヤトラヨークトル火山の噴火時(2010年)に、ヨーロッパじゅうの飛行機がとまりましたが、あれもヨーロッパに火山灰が降ってきたわけではなくて、上空に火山灰が漂っているというシミュレーション結果を恐れて、航空会社が飛行機を飛ばさなかったわけです。ヨーロッパの空港で、火山灰がほんのわずかに降ったのは、イギリス北部の空港だけでした。

——すると、かなり手探りな状態にあると。

藤井 そうです。それで以前に、火山灰の交通への影響を知るための実験をやるべきだといいました。首都高のランプのスロープを念頭に、あのぐらいの傾斜のところに火山灰がどのくらい積もったらスリップが起こって、後続で渋滞が起こるのか、どのくらいになったら四輪駆動でも動けなくなるか。この種のことは実験をやってみるしかありません。例えば国交省所管の国総研(国土技術政策総合研究所)は、つくば市に立派なサーキットをもっています。そこで火山灰を降らせて車を走らせればいいと、具体的なことまで提案したのですが、お金がないのか一向に進まない。

——富士山が噴火すると首都圏への影響が大きいと思われませんが、都市生活への影響は予測しかねるところもあるということですか。

藤井 きちんとしたことはわからないとしても、もし宝永噴火規模の噴火が起これば何が考えられるかは、ある程度はわかります。電車はほとんど動けないし、火山灰がつもる首都圏の空港ではまったく離発着ができないので、飛行機は飛ばない。人が動けないのはともかくとして、貨物も動かないから、いろいろな物資が不足するでしょう。

日本の場合はどうしても、物流が首都圏経由で地方に分散していくので、日本全体の経済機能がおかしくなってしまう。だから、宝永の時のように16日間にわたって噴火がつづいたら、とんでもないことになります。長引くほど影響は大きい。どういうタイプの噴火になるかによって違います。

宝永噴火のようなプリニー式の噴火では、クライマックスは数時間から数日というのが普通なの

ですが、宝永噴火の時は例外的に16日間も続きました。しかも、噴煙の高さが成層圏以上に達したのが2週間もあったわけですから、東京はかなり被害を受けます。

火山灰が大量になると人命にもかかわります。短時間のプリニー式噴火の時には、たいいてい火砕流を伴います。宝永噴火はプリニー式噴火をしたけれど、火砕流がまったく出ませんでした。そのため、噴火による死者はゼロなのです。でも、次のプリニー式噴火でもそうなるという保証はないので、もし火砕流が出れば、東京には届くことはありませんが、周辺の人たちは大変な人的損害を被ることになります。

もう1つは、火砕流が出るような噴火だと火山灰も非常に細粒になるので、それが高空にまで立ち上って、風に乗って東京に降ると被害がひどくなります。それは、被害の程度も粒径分布によって変わるからです。細粒になるといろいろなところに入り込みます。火山灰の粒径分布と災害の関係は、あまりきちんと調べられていないのですが、防災上、問題なのです。政府で検討する時には、粒径に応じた対策を考えてもらわないといけないでしょう。

考えなくてはいけないカルデラ噴火

——日本でこれから備えるには、桜島の大正噴火級、富士山の宝永噴火級、そしてカルデラ噴火についても備えておくべきだとなるでしょうか。

藤井 カルデラ噴火は考えなくてはいけない。以前に内閣府で報告書(「大規模火山災害対策への提言」2013年)をまとめた時にも、考えなくてはいけないといいました。しかし、当時はまだデータすらきちんとしたものがないから、せめて日本国民にはそういう危険性があるということを周知すべきだ、それと同時にカルデラ噴火の研究も早急に開始すべきだ、という提言で当時は留めたのです。

当時はカルデラ噴火までは議論できないので、大正噴火級の大規模噴火を定義してそこまでの議論としました。VEI(Volcanic Explosivity Index)で5ぐ

らいまでで、VEI6以上の噴火も日本では頻度が高いのですが、それは今の時点では議論できない、といっていたら、原子力発電所の問題が起こって、カルデラ研究が少し進展しました。

といっても地質データを読み解くのは時間がかかる問題ですし、日本の例だけでなく外国の例も見なくてはいけないので、さらに時間がかかります。

——本誌で以前に「私たちは本当の巨大噴火を経験していない——噴火予知の現状と課題」(2014年1月号)を書いていただきました。

藤井 わかってきたところではありますが、やはり噴火の時間経過がよくわかりません。

われわれが知りたいのは、われわれが生存している期間内で、しかも1日、2日、1週間というタイムスケールで知りたいわけですが、地質学的な眼では、そこまでまだ見えません。

堆積物だと、「雨で浸食されていないから1週間以内だろう」といった程度の推測ができることはあっても、限られた露頭でしか見ていないから、それ以上はわかりません。カルデラ噴火の前に、ある特殊な溶岩が流れたということを見つけても、その溶岩が流れてからカルデラ噴火に至るまでは500年や1000年が経過しているという話なので、それを現実の予測に使えるかということ、それも難しい。

それぞれの調査から因果関係をきちんと導いて、それで大雑把でもモデルをつくって、シミュレーションするしかないだろうと思います。実証できない以上はね。しかし、シミュレーションにもっていくまでの技術が、なかなか集積できていないのです。

——どのように進めていくとよいでしょうか。

藤井 地質データを集めるしかないのです。カルデラ噴火の特徴としては、最盛期にはとにかく大量の火砕流が出てくるので、初期の噴火のデータはみんな火砕流に埋もれてしまっています。ですから、火砕流台地の火口に近いところでボーリングをたくさんやって、火砕流を出す前に何が起こったのかをきちんと調べなくてはいけない。です

が、それを調べても、その年代をどうやって求めるかというところが、また難しい。

前兆に相当するような現象が起こってから、本体の噴火が来るまでにどういうことが起こったのか。最初の数十年でも、何か別のタイプの火山活動が起こってくれるのであれば、まだやりようがあるかもしれない。大正噴火並みのことが、あちこちで起こったとか。それがわかれば、大正噴火並みの噴火が起こったら、次はもっと危ないことを考えなくてはいけない、そのあいだに町の集団移転を考えなくてはいけないということになるかもしれない。そういうことを考えるためにも、本体の火砕流が出る前に何が起こったのかという情報をきちんと集めないといけない。しかし、それが一番難しいのです。

火口から離れて、火砕流堆積物が薄くなる遠くのほうまで行けば、それなりに露頭がありますが、遠くでは火口近くで起こった現象がわからない。近傍で何が起こったのかをつかまえないと難しいでしょう。そういう情報をできるだけたくさん集めて、ほかの国の例、特にインドネシアなどの火山をきちんと調査したうえで、それにもとづいてモデルをつくるしかないでしょうね。

小さな噴火ですら、きちんとしたモデルがないのです。粗削りでもいいから、モデルでシミュレーションをやって、それをさらに改善するという形でやっていく以外に、防災につなげる方法はないでしょう。カルデラ噴火については経験則を積み上げるわけにはいかないのです。

しかし、噴火・火砕流のモデルとシミュレーションの分野は、本当に少数の人間しかいない。カルデラ噴火に関しては、それに頼るしかないから、何とかその分野が成長してほしい。

——現実のフィードバックの難しいシミュレーションだと、何が本当かわかりにくくなりませんか。

藤井 今起きていることでは検証できないから、過去のデータで整合的かどうかを検証してみるしかないですね。シミュレーションの結果としての堆積構造を、過去の堆積物と比べてみるなどのやり方しかないでしょう。気象のシミュレーション

のように、オンゴーイングのデータと比較してモデルがどうかということは、やりようがないので。

シミュレーションとデータ同化の方法そのものも検証しなくてははいけないですね。どこもやっていないことなので、大変な作業だと思いますが。——カルデラ噴火のリスクを抱えていることはわかっていても、その前兆が数年前に捉えられるかどうかは、まったく保証がないということですね。

藤井 ないですね。だから、原子力発電所の再稼働に関わる審査で、カルデラ噴火の前兆を捉えたら、運転を停止して燃料を安全なところまで運び出すなんて、そんなことができるのか？ というのも問題なのです。

噴火から学ぶ新たな体制を

——噴火ごとに新しい発見があるので、それに学ぶことが大切です。

藤井 そうです。1980年にセントヘレンズ山が噴火した時に、アメリカの地質調査所(USGS: United States Geological Survey)のなかで火山をよく知る研究者でも、ハワイの経験しかなかった。彼らは、せいぜいマグマのしぶきが上がって溶岩流を流すような噴火しか知らなくて、セントヘレンズのように爆発的な噴火で、火砕流を起こして、爆風による影響が遠方にまで生じるということは、わからなかったのです。

しかし、それで自分たちの実力が足りないということを理解して、彼らは次には、コンテナいっぱい最新鋭の機械を積み込んでおいて、世界のどこかで噴火が起こったら、そのコンテナを飛行機に積んで、観測に出かけて行きました。相手国への技術援助と称して自分たちも火山噴火の勉強をするのです。そうやって、南米や中米のいろいろなところの噴火を経験して、彼らは爆発的噴火についても世界のトップになったわけです。

それで1991年のピナトゥボのときにも飛んで行ったのですが、爆発的噴火の予知にも成功して、被災者軽減にも大きく貢献したわけです。あらかじめ何万人も避難させた。結局、800人ぐらいの

人が亡くなっていますが、あれだけの規模の噴火で、火砕流が全方位に 20 km 以上も流れた噴火で、犠牲者 800 人というのは、大変少ない。また、死者の大部分は、避難先の体育館のようなところの屋根が、火山灰の重みでつぶれて亡くなったという建物の問題によるものでした。もし、あそこで避難に結びつけなかったら、何万人という人が亡くなったでしょう。

そういうグループに成長したわけです。それはやはり、新しいことを発見して、何を学ぶべきかをきちんと追究していった、研究者だからできたのです。

——寺田寅彦は「天災と国防」のなかで、軍事的問題と同等以上に日本では天災が大変だから、天災に対して軍備と同じような備えをすべきではないかという趣旨のことを言っていました。

藤井 いまだにできていないですね。地震に関しては地震本部(地震調査研究推進本部)ができたので、ある程度政府が真剣に取り組んでいます。火山に関しては本部体制などはまったくありません。

火山の監視にあたっている気象庁が研究者をきちんと抱えないといけない。以前からいっているのですが実現しません。公務員試験に通った工学や物理や天文の出身者を、特別の訓練もせずに火山観測にあてるわけです。それでは、マニュアル通りに見ることはできるかもしれないけれども、判断はできません。

ハワイで噴火が起こっていますが、ハワイには HVO (Hawaii Volcano Observatory) という USGS の分所があって、研究者が 30 人近くいます。所長のクリスティナ・ニールをはじめ研究員は、連日の変化に対応して、「溶岩流はなぜこちら側に流れているのか」「出ている溶岩流の量はどのくらいで、これから何時間以内にどこまで到達するか」「溶岩流が脇から出たので、山頂火口のマグマのレベルは下がっている。それが地下水よりも低くなったら、地下水と接触して爆発を起こすかもしれない。それはいつ頃になるだろう」といったことを、住民に丁寧に説明しています。そして、「ここまではわかるけれども、これ以上のことはわからな

くて、いくつかの可能性はある」ということを、きちんと説明する。対面での説明だけでなく、フェイスブックやツイッターも使って、頻繁に調査結果を公表するのです。

それをやるのが、本当の火山防災なのです。しかし気象庁は、基本的に素人なのでそんなことはできなくて、観測データを説明するだけ。御嶽山の時も、当初、火砕流が発生したということの認識もできませんでした。1 日遅れて予知連を開いた時に、「これは間違いなく火砕流だ」と聞いてから、火砕流だと発表するようになったこともありました。

USGS とはつくりが違うので、つくりを変えない限り無理なのです。気象庁の職員は優秀ですが、訓練も教育も受けていない。内部にしっかりとした研修システムがあればいいのですが、それがありません。

1 年前に、内閣府の職員をイタリア、アメリカ、インドネシアに派遣してもらい、自分たちの目で見ようの火山監視や火山防災の仕組みを見てもらいました。それで、他国と日本との違いを彼らも明確に理解したのですが、その違いを報告する時に、やはり各省庁から抵抗があったようです。日本のシステムだけが遅れているということを認めたくないのでしょう。

他国では火山の監視・調査研究を行う専任の政府機関があって、大学はほとんど関与していない。日本の場合、大学が大きな比率を占めています。大学の研究者が片手間で火山防災に協力しているわけですが、それを専任の研究者が政府機関でやっている外国と同じように見せかけるのはよくない。メディアもこの問題にまったく気がつかなかったのですよ。

——アメリカの USGS や、イタリアの INGV (Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia) に相当する地震火山庁があってしかるべきだと。

藤井 私は、それを言い続けていて、国会でもそういう話をしましたが、実現していません(巻頭エッセイ参照)。イタリア・アメリカだけでなく、インドネシアやフィリピンでも、国の機関で研究者

が地震と火山を観測しています。

PhDをもつ多数の専門家が火山の調査研究を行うとともに監視をしていて、リスク評価をしますが、危機になると、リスク管理は防災の専門機関にバトンタッチします。気象庁のように、素人が観測をして、素人が防災に関わることはしません。防災機関にもPhDをもった地震屋・火山屋がいるのです。だから専門家同士で話ができます。日本だけが、こうした体制になっていないのです。

もう1つの違いは、外国の観測機関では、地震や地殻変動といった物理観測だけでなく、地質学や地球化学の分野の調査研究や観測を行っているということです。例えば火山ガスは、地物(地球物理学)屋が地震計をいくら見てもわからない。だから、USGSでもINGVでも、基本的に火山の観測所には地質屋と地物屋と地球化(地球化学)屋の3つの分野の人が全部います。ところが日本の観測所は、基本的には地物屋だけです。例外が草津白根(東京工業大学草津白根火山観測所)で、地球化学の観測所としてもととつくれた。しかし、基本的には地質学の研究者を抱える観測所はありません。この点でも、日本は特殊です。

その伝統を気象庁も引き継いでいるために、少し極端な言い方をすると、物理データしかみないで、地質・地球化学データは大学の研究者か、産総研(産業技術総合研究所)のかつての地質調査所の人たちの協力を仰いでいます。どちらにしてもそれはパートタイマーだから、24時間365日、噴火予知・火山監視に関わっているわけではありません。ほかの国では、火山監視のために研究者が3つの分野の手法で調査研究・監視を行っています。

ハザードマップも、他国では火山を監視している政府機関がつくるのですが、日本では気象庁がつくることはできないから、国交省の砂防部局がコンサルタントに発注してつくる、などというやり方しかとれないのです。

——日本は、実は人口比でみた公務員数が少ないといわれますけれども、制約があらわれているということですか。

藤井 公務員が少ないといっても、(大学の)13万5000人は法人化によって減らしたから。

——そうでした。行政改革のしわ寄せで、大学が切り離された。

藤井 あれがボディブローのように今の火山観測に影響しています。法人化したことによって、文科省が観測などの資金を直接大学に出さなくなった、観測機器の更新ができなくなりました。

仕方がないから、法人化の直後に、大学がそれまで観測していた34の火山を16に絞り込む代わりに、その16火山に関しては観測機器を文科省として整備することにした。その予算は、大学には付けられないから直轄の独立行政法人である防災科研(防災科学技術研究所)に観測点をつくらせて、そのデータは大学に流通させる、ということにしたのです。

34から16に重点火山を絞り込んだ時に御嶽山が外れてしまった。そのあと、噴火が起こってしまったわけです。

橋本行革の時に、組織数をとにかく減らすことを最大目標とした。無理をやったものだから、もうこれ以上増やしてはいけないと官僚も政治家も思い込んでいるのです。富士山が噴火するまで、地震火山庁ができないようでは困るのですが。

——富士山の噴火で想定する宝永噴火の噴出物の量は。

藤井 火山灰そのものだと14億立米ぐらい、マグマに換算すると7億立米ぐらいの量になります。

VEIは、火山灰体積で密度が1か、それ以下のものの体積にもとづいて表現しています。噴火の仕方によって、ずいぶん密度が変わるので、最近ではマグマに換算したDRE=溶岩換算体積で表現するようになってきました。換算すれば、溶岩流が卓越するような噴火も、爆発的な噴火で火山灰が卓越するような噴火も、共通に議論できるようになるので、マグマ換算体積にするか、あるいは重量に換算するやり方が主流になりつつあります。

ただし、最近の噴火だと、噴出物量を正確に重量で測ることができますが、昔の噴火噴出物を重量で測るのはおよそ不可能で、地質調査でもとめた体積に密度をかけて求めることになるので、結

局、誤差が膨らみます。

原発審査に見られる理解の齟齬

藤井 誤差ということでは、原子力発電所の再稼働に関わる審査時に階段ダイアグラムというものを使って、発電所の稼働期間である40年以内に噴火があるかないかを議論したでしょう。あの階段ダイアグラムの縦軸に取るのが噴出物の体積なのです。過去の噴火噴出物の体積の推定は地質屋が野外調査にもとづいて行いますが、厳密にやろうとしても、せいぜい倍／半分の世界で、たぶんもっと誤差があります。しかも、横軸の年代は、歴史時代ならば古文書の記録から日単位でもわかることがあります。日本では7世紀よりも前には文献がないので、炭素14年代で求めるわけですね。その誤差は何十年、昔に遡れば数百年ということもありえます。

横軸にも縦軸にも誤差があるのを延長していったら、「この先40年間には何もないということを証明せよ」というのは、中学の数学でも成り立たないことがわかるでしょう。誤差を考えれば大本が間違っていることになるのに、平然とものをいうから不思議です。

——3月7日に原子力規制庁が「原子力発電所の火山影響評価ガイドにおける「設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価」に関する基本的な考え方について」という文書を出しました。

藤井 これは広島高裁の判決文を逆に使っただけ。何も説得してないから意味がない。

——巨大噴火がほかで規制されていないから原子力規制もやらなくていいというのは、自らの存在意義を否定しています。原子力の事故はとりわけ重大な影響を及ぼすから通常よりも厳しく規制するというのは、地震でもやっていることです。

藤井 地震は13万年でやっているのに、1万年ぐらいいくらくらと確実に起こるような噴火ではどうしてこうなるのか。

どうしても原発がないと日本経済が立ちいかなくて困るからと説得して、国民がそれに納得して

からつくるならわかりますが。いざとなったら諦めてくれ、ということになるけれども、それも知らせないで、ごまかしてつくるのは、一番イカンですね。

——規制委員会は、自ら定めた安全目標（「事故時のCs137の放出量が100TBqを超えるような事故の発生頻度は、100万炉年に1回程度を超えないように抑制されるべきである」）の確認にも留保をつけたしました。

藤井 工学的な意味でのチェックはある程度統計近似できるでしょうが、自然災害の場合には無理です。800℃の火砕流の中に原子炉が閉じ込められたら何が起こるかは、誰も知らないのだから。いずれにしても、冷却はしなくなるし、常温のコンクリートで固めるわけではないので、とんでもないことが起こるでしょうね。

火砕流が谷を埋めると下に川があるので、その水が火砕流の熱で水蒸気にかわるため、二次爆発があちこちで起こります。ピナトゥボの噴火のときにも、川沿いにクレーターがいくつもできました。

そのシミュレーションを原子力屋がやるべきですが、同じようなことが原発で起こりえて、放射性物質が大気中にまき散らされることになると思います。放射性物質は世界中にばら撒かれるし、火山灰被害から生き延びた人たちも黒い雨にさらされることになりかねない。そういうことが絶対に起こらないというのなら、そういう計算を示してくれればいいけれど、かつて川があったところに火砕流が流れ込むだけで二次爆発のクレーターがあちこちにできているのだから、原発でも起こると思います。

100万炉年だとすると、火砕流到達地域に原子炉をつくると、そのあいだに100回ぐらいいくらくらと火砕流がくるので、完全に目標を超過してしまうでしょう。

——審査では火砕流は到達しないというシミュレーションになっていますが、信用できません。

藤井 カルデラ噴火に伴う火砕流のシミュレーションは、まだきちんとできていません。九州電力など、いろいろなところが使っているのは、TI-

TAN-2Dという火砕流のモデルです。これは基本的には雲仙のような、溶岩ドームなどが崩壊して発生する火砕流を念頭に置いて、それを拡大解釈した仕様になっています。それを噴煙柱崩壊型の火砕流にも適用するのですが、実際に起こることはすこし違う物理現象なのです。ですから、火砕流が100 km以上も走るようなケースでは、TITAN-2Dでは本当は無理なのです。せいぜい浅間の天明噴火の火砕流ぐらいが関の山で、浅間

クラスでもけっこう厳しいところがあるくらいです。

本当に大きなカルデラ噴火に伴うような火砕流のシミュレーションは、まだ成功しているとはいえません。そもそも検証のしようがない。フィールドでの調査がもっと進んで、照らし合わせられるところまでいけばいいですが、フィールド調査そのものも、まだ進んでいないわけですから。

(2018年5月15日収録後加筆修正)

火砕流の危険性

編集部

6月3日に中米グアテマラのフエゴ山が噴火し、多数の死者・行方不明者がでている。火砕流にみまわれた被害も報じられている。

火砕流は、火砕物(溶岩片・火山灰など)と火山ガスや空気の混合体で、極めて高温(800度以上にも達する)・高速度(時速100 kmにも達する)で流動し、周囲に高温熱風(火砕サージ)をとまなう。高温で大きな運動エネルギーをもつので、直接みまわれると生存は見込めない。アメリカ地質調査所(USGS)の解説には、火砕流を目撃したら可能な限り早く反対方向に逃げるように、と書かれている。

日本では、雲仙火山での火砕流による死亡が記憶される。1991年6月3日に発生した火砕流により、報道関係者・消防団員・地元住民・警察官・火山学者ら43人が死亡・行方不明となった。被害の状況や生存者の聞き取りによる生々しい報告が、文献1にまとめられている。後年現場から報道カメラが発見され、その記録が復元された番組²をもとに文献1では、「火砕流に襲われる瞬間まで、不思議なことに緊張感も危機感も感じられない」と所感を述べている。灰で視界がきかなくなった以外に、危険を感じさせる前触れのようなものを死亡した報道関係者は感じておらず、突然に画面は白くなる。文献1では、「火砕流の被害から逃れるためには、事前に避難するしか方法がないと考える」とまとめている。

1991年の雲仙では、同年5月24日に火砕流

が観察されてから、被害当日まで複数回の火砕流が発生していた。そのような中で、迫力ある映像を撮ろうと、高台で比較的安全だと考えられた撮影ポイントに報道関係者が集まっていた。タクシー運転手や警察官・消防団員らはそれに巻き込まれる形になった。

噴火と火砕流の発生の察知には困難さがある。事前避難が最善である所以である。

過去の例では、1902年にカリブ海のプレー火山で発生した火砕流により、近郊の市が火災サージ域に入ってほぼ全滅の被害に遭い、3万人近い人が亡くなった。

巨大噴火にともなう火砕流は、到達距離が100 kmにも及ぶ。7300年前の鬼界カルデラや7万年前の阿蘇カルデラの噴火にその例がみられる。

文献

- 1—杉本伸一・長井大輔「雲仙火山1991年6月3日の火砕流による人的被害」九州大学大学院理学研究院研究報告、地球惑星科学、22(3)、pp. 9-22、2009年3月
- 2—「解かれた封印—雲仙大火砕流378秒の遺言—」NNNドキュメント、2005年10月27日放映

参考サイト

防災科学技術研究所：防災基礎講座 災害はどこでどのように起きているか「18. 巨大噴火による火砕流は自然災害中で最大の被害を引き起こす可能性がある—1991年雲仙岳火砕流、1991年ピナツポ火山噴火、1902年プレー火山噴火など」https://dil.bosai.go.jp/workshop/02kouza_jirei/s18kasairyu/kasairyu.htm
アメリカ地質調査所(USGS)：Pyroclastic flows move fast and destroy everything in their path. https://volcanoes.usgs.gov/vhp/pyroclastic_flows.html