

# 最近の火山活動の態様と教訓

## —津波・山体崩壊を中心に—

専門研究員 渡部 英洋

### 目次

- |                    |                |
|--------------------|----------------|
| 1. はじめに            | 5. 日本近海等の状況    |
| 2. トンガ火山噴火の現象と調査結果 | 6. 情報発信の整理と留意点 |
| 3. 世界の火山活動による津波    | 7. おわりに        |
| 4. 山体崩壊による津波の脅威    |                |

## 1. はじめに

津波による甚大な災害は、巨大地震に起因して生じるものに限らず、噴火等の火山活動によってもたらされる。

とりわけ昨年1月15日に発生したフンガ・トンガ・フンガ・ハアパイ火山の噴火（以下「トンガ火山噴火」という。）は、その規模の大きさとともに、通常地震津波の到達予想時刻より数時間早く潮位変化が観測されるなど、これまでの概念と異なる性質を有していたため、そのメカニズムの解明や警報等の情報発信のあり方が議論されることとなった。

我が国においては東日本大震災で未曾有の被害を経験し、発生が懸念される南海トラフ地震等の津波の脅威が差し迫っている現状にあり、巨大地震の被害規模や事前の防災対策、避難行動指針等が開示されてきている。一方で、火山噴火においては予測困難な面が多く、特に遠地の場合は増幅されて波高が高まることや地震の揺れ等の体感無しで来襲することから避難が遅れがちとなるなどの課題がある。

日本は世界の活火山約1500のうち111火山、およそ7%を占める火山国であり、そのうち約3分の1が海域に分布しており、今後、トンガ火山噴火に匹敵する規模の噴火が日本近海を含めて発生する可能性も否定できない。今回浮き彫りになった課題と対策に向けた議

論経過を踏まえ、火山活動の現状とそれに伴って生じる津波に関する留意点を以下概観する。

## 2. トンガ火山噴火の現象と調査結果

### (1) 観測状況

トンガ火山噴火の発生直後には、津波が仮に日本に到達する場合の予想について、通常の津波（地震津波）のパターンであれば、奄美の場合で噴火後11～12時間後に到達すると予想されたが、実際は約8時間後に最初の潮位変化が見られた（図表1）。また、通常の津波を想定した到達予想時刻には、奄美や久慈港（岩手）などで1mを超える津波が観測され、その後に警報等を発表したこともあり、漁業施設の被害、船の転覆等の被害が生じた。

警報等の遅れは日本沿岸に至るまでに観測された波高がそれほど高くなかったことも一因であったが、太平洋の各国沿岸でもところによって1mを超える高さの潮位変化が観測され、地球の裏側の地中海でも潮位変化が確認されている。このように通常の津波プロセスとは異なる態様であったことから、その発生メカニズムについて各方面で検討が行われた。

### (2) 津波の形態

通常より3～4時間も早く津波が到来したのはラム波（300m/s）と呼ばれる音速（340m/s）に近い速度の大気の波が噴火に

よって発生し、これによって海水が持ち上げられ伝播したためであることが明らかになった(図表2)。これが地球規模で高速伝播する津波を発生させたのであり、海底の地震ではこのような現象は発生せず、巨大噴火特有のものとなる<sup>1</sup>。

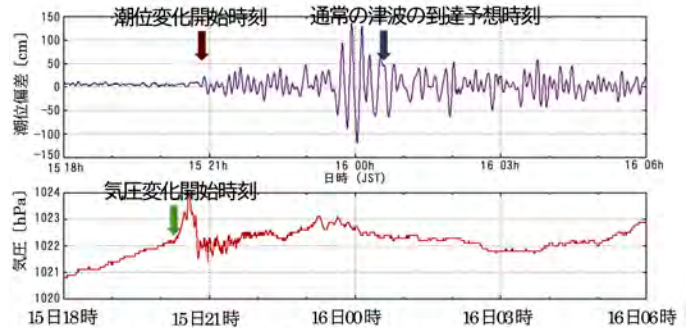
また、通常の津波の速度で伝播する海洋波(200~220m/s)についても多くの被害をもたらした。噴火での海底の急激な地形変化により生じる津波だけでなく、大気の波と海洋波の共振によって増幅され、伝播する途中での海底の複雑な地形が及ぼす影響も相まって、太平洋沿岸各地を中心に高い津波が到来したとされている。未解明な部分も多く、巨大噴火での津波メカニズムの研究が今後必要とされた<sup>1</sup>。

### (3) 調査結果

今後、トンガ火山噴火と同様の巨大規模の海底噴火が生じた場合のリスクを解明する目的から、NIWA(ニュージーランド国立水大気研究所)と日本財団によるこの噴火の実態調査(2022年4~10月実施)が行われるなど、複数の調査・分析により、海底火山特有の爆発的な噴火と津波のメカニズムが明らかとなってきた。

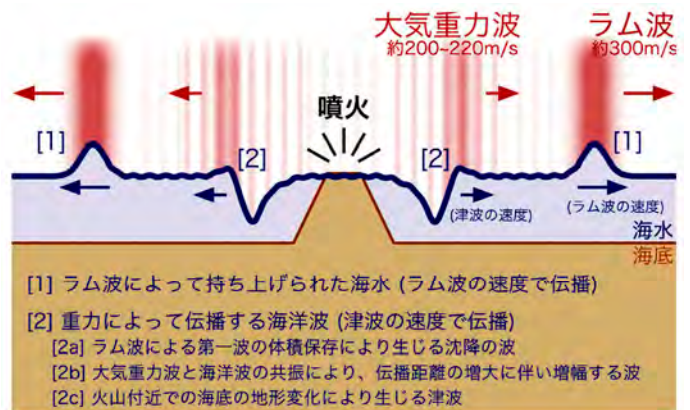
まず、この噴火は噴出物量が約10km<sup>3</sup>に達し、20世紀最大といわれる1991年のフィリピン・ピナツボ山の噴火を上回る規模であった(図表3)。また、噴煙は観測史上最高の57kmの高さまで上昇し、成層圏の先の中間圏に達した<sup>2</sup>。高温の噴出物によって海水が瞬時に蒸発し、膨大な量の水蒸気によって爆発的な噴火を引き起こし、高い熱量を保持したまま噴煙を上空に押し上げたとされる。

(図表1) トンガ火山噴火後の奄美での気圧変化と潮位変化



(出典) 気象庁・津波予測技術に関する勉強会「フンガ・トンガ―フンガ・ハアパイ火山の噴火により発生した潮位変化に関する報告書 図7」(令和4年4月)

(図表2) 噴火に伴う大気



(出典) 脚注1資料(別添資料)図4「噴火に伴う大気

の伝播、および津波の発生・伝播メカニズムの模式図」

この規模にも拘らず大気中に放出・確認された火山灰等の量は少なかったが、海底噴火のために、海底を大量の噴出物が火砕流となって勢いよく流出したことがNIWAの海底調査でも確認された。さらに噴火口(カルデラ)は大量の噴出により沈降し、噴火前よりも約700m深くなっていることも確認されている。

このように爆発的な噴火と海底の地形変

1 防災科学技術研究所・東京大学地震研究所「2022年1月トンガ噴火に伴う地球規模の津波発生と伝播メカニズムを解明―火山噴火による新しい津波研究が必要に―」(2022年5月13日 プレス発表資料)  
 2 Proud S.R. et. al. (2022) The January 2022 eruption of Hunga Tonga–Hunga Ha’apai volcano reached the mesosphere. Science, 378, 554–557.

化・火砕流の動きが大気圧と海水に急激な変化をもたらし、大きな津波を引き起こす要因となった。大気圧の変化と共振して増幅し、遠地ほど波高が増す結果ともなる。

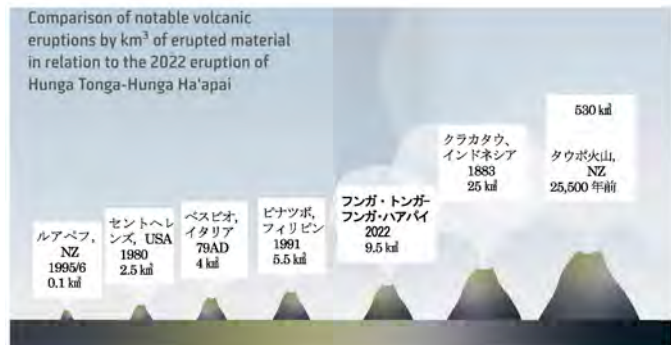
過去には他にも噴出量で同等あるいはそれ以上の規模の噴火が発生しているが、陸上の火山噴火にみられない海底の巨大噴火に特徴的な現象として、今回の噴火は教訓を残すものとなった。

### 3. 世界の火山活動による津波

有史以来の世界の巨大噴火を見ると、今回のトンガ火山噴火のような詳細な調査記録が残されていないものの、爆発による直接的な被害や溶岩流・火砕流や土石流による大規模被害以外に、海底火山や火山島の活動によって甚大な津波被害が生じている。

図表4に、津波によって大きな被害をもたらした主なものを掲げたが、なかでも1883年クラカタウ火山の噴火は地球全体に大気衝撃波が伝わり、大津波を引き起こしたという点で今回のトンガ火山噴火と性質が似ており、さらに大規模なものであった。

(図表3) 2022年トンガ火山噴火と主な火山噴火との比較(噴出量による)



(注) タウポ火山の噴火が地球上で確認されている過去7千年で最大規模の噴火と推定されているが、人間社会への影響の大きさという点では図表4のミノア噴火、1815年のタンボラ山、1883年のクラカタウ火山の噴火等が代表的なものである。

(出典) NIWA「Tonga eruption confirmed as largest ever recorded」(21 November 2022)

### 4. 山体崩壊による津波の脅威

噴火に伴う直接的な衝撃による津波以外にも、噴火・地震等を原因として生じる山体崩壊も大津波を引き起こす要因となる。我が国の例では図表4における1741年「寛保津波」、1792年「島原大変肥後迷惑」などが挙げられ、特に後者は記録に残る我が国最大の火山災害となっている。

(図表4) 主な火山活動(山体崩壊含む)による津波被害

発生年	火山(津波名称)	概要
約3600年前	ギリシャ・エーゲ海のサントリーニ二海底火山(ミノア噴火津波)	史上最大級の火山被害と推定される。高さ30m超の大津波により犠牲者は数万人と推定。アトランティス伝説の元ともいわれる。
西暦1741年	日本・北海道西南沖の渡島大島(寛保津波)	渡島大島の噴火に伴う山体崩壊による津波。最大波高推定15m。死者2千人超。日本海側での津波としては史上最大級。
" 1792年	日本・雲仙岳(島原大変肥後迷惑)	雲仙岳噴火・眉山の崩壊によって最大波高10mの大津波が発生、島原や対岸の肥後国を襲い、死者約1万5千人。
" 1815年	インドネシア・タンボラ山	人類史上最も激しい噴火。火砕流・大津波・飢饉・疫病を含め、最大の犠牲者数(7万1千人~12万1千人)と推定。
" 1883年	インドネシア・クラカタウ火山	高さ30mの巨大津波が発生、犠牲者数3万6千人以上。噴火による衝撃波は地球全体に広がる。火山学の大きな前進等膨大な知見をもたらす。
" 1888年	パプアニューギニア・リッター島	岩屑なだれ・火山性津波により3千人の死者。
" 2018年	インドネシア・アナク・クラカタウ山(スンダ海峡津波)	噴火に伴う山体崩壊による海底地すべりで大規模な津波が発生、死者426人。

(出典) 気象庁HP「過去に発生した火山災害」、石弘之「噴火と寒冷化の災害史」(角川新書・2022年8月10日) 他より筆者作成

山体崩壊は岩手山や富士山のような成層火山で新旧の堆積層の境目が滑り面となって生じる場合等にみられる。内陸での事例を含めると約2900年前に発生したと見られる富士山の御殿場岩なだれや1888年の磐梯山の水蒸気爆発、1980年のセントヘレンズ山噴火に伴うものが山体崩壊の典型例であり、これらと同規模の崩壊による岩屑なだれが海域に達する場合には巨大な津波災害を引き起こす可能性がある。

最近では前述の1883年に巨大津波を引き起こしたクラカタウ火山において、その後の噴火で形成された山体が崩壊したことにより、2018年に大規模な津波が発生した。

## 5. 日本近海等の状況

トンガ火山噴火は巨大噴火であったが、注意すべき海底火山や火山島は日本近海にも数多く存在する。

距離的に近い例では1989年7月にも噴火した伊豆東部火山群があり、海面下の爆発によって高さ数m程度の津波が発生する可能性がある<sup>3</sup>と指摘されている。最近では東京湾入り口から南方約60kmの「大室ダシ」という浅瀬の過去の火山活動歴が明らかになり<sup>4</sup>、噴火により首都圏に火山灰と津波をもたらす危険性が指摘されている。

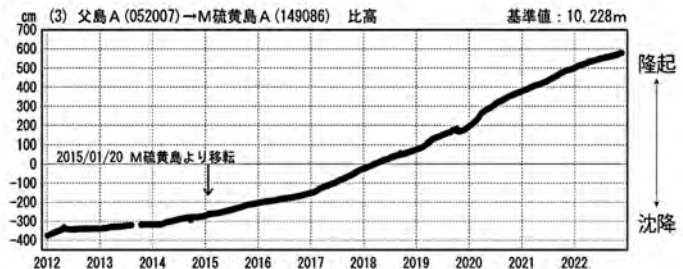
また、特に近年、海底火山を含めて活発化が顕著で警戒されているのが、小笠原諸島に属し、硫黄列島とも呼ばれる火山列島地域(西之島から福岡ノ場付近まで)である。

「西之島」では2013年11月の大噴火・新島形成から噴火が継続し、昨年(2022年)10月にも噴火が確認されており、約2.9km<sup>2</sup>と噴火前の10倍の面積に拡大した。

また、海底火山の「福岡ノ場」では、2021

(図表5) 硫黄島中心部の隆起状況

(2012. 01. 01~2022. 11. 22)



(出典) 国土地理院「硫黄島周辺の地殻変動」(2022年12月8日発表)

○ 上のグラフは硫黄島の観測点のうち最も隆起量の高い地点について、父島を基準とした隆起量を示したものである。最近数年間は年平均1mを超える隆起量となっている。



気象庁「日本活火山総覧(第4版)」から抜粋

年8月に噴煙高度17km、桜島大正噴火(1914~1915年)以来の国内戦後最大級規模の大噴火が発生、沖縄・奄美などの全国各地の海岸に大量の軽石が漂着した。さらに2022年8月には「海徳海山」周辺で変色水が確認され、変色の範囲は広がっており、噴火の恐れが指摘されている。

このような硫黄列島において、地盤隆起の状況等から特に警戒されているのが硫黄島である。近年大きな噴火はないものの、図表5のように、硫黄島中央部は年平均1m程度の隆起が続いていることから、マグマの上昇が

3 静岡大学小山真人研究室HP「伊豆東部火山群の海底噴火」(静岡新聞「時評」(2022年3月3日)掲載)

4 海洋研究開発機構・国立科学博物館「東京湾から60kmの大室ダシ海底火山の活動履歴を解明」(2022年6月29日プレスリリース)(海洋研究開発機構ウェブサイト [https://www.jamstec.go.jp/j/about/press\\_release/20220629/](https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20220629/))



続いていると考えられている。仮に噴火が起これば日本では津波の高さが25mになる可能性がある<sup>5</sup>と推定し、地域にもたらす脅威の大きさという点で、地球上で最も危険な火山とランクづけるレポート<sup>5</sup>もある。

これらの火山群には、海底を含め、今後噴火の可能性をはらむ火山が数多く存在する。海水との接触により激しい噴火となったトンガ火山噴火のように、爆発的噴火と巨大津波を引き起こすリスクが国内の火山にも存在するのである。

海底や島部以外の火山についても、海岸に近く大噴火から年数が経過し、マグマが蓄積されている可能性から言えば、富士山・桜島も警戒が必要となる。

なかでも富士山は確認されているものだけでも過去に4回の山体崩壊が発生しており、前述のとおり典型的な成層火山であるこ

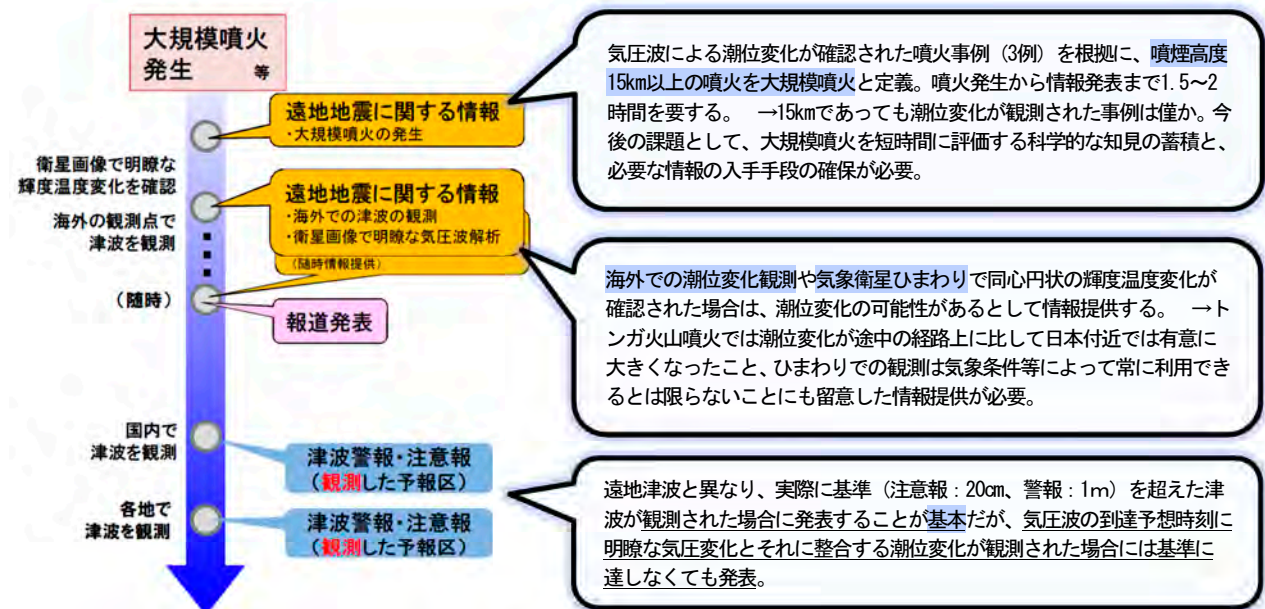
とから、地震やマグマの上昇等を引き金にして崩壊する可能性が指摘されている（後記〈参考〉参照）。御殿場・富士宮・富士吉田市等に大きな被害を及ぼす可能性とともに、規模によっては相模湾・駿河湾に流れ込み、津波を発生させるおそれがある<sup>6</sup>。

## 6. 情報発信の整理と留意点

以上のような火山活動の現状を踏まえ、主として情報発信のあり方に関して、気象庁において「火山噴火等による潮位変化に関する情報のあり方検討会」が開催され、昨年7月に報告書がとりまとめられた。

その内容について総括的に言えることは、火山活動による潮位変化は頻度の少なさもあって、地震津波と異なり未解明な点が多く、到達時刻や津波高の予想が立て難いという制約の元で整理されているということである。

（図表6）遠地での噴火発生によって発生した気圧波・津波に関する情報発信の流れ



（出典）気象庁「火山噴火等による潮位変化に関する情報のあり方（報告書）」図表集（令和4年7月）資料16-2より抜粋の図に筆者加筆。

5 Zijlstra, Albert. “World’s 10 most dangerous volcanoes identified” University of Manchester News 13 Nov.2015 (<https://www.manchester.ac.uk/discover/news/worlds-10-most-dangerous-volcanoes-identified/>)  
 6 脚注3HP「富士山の山体崩壊」（東京新聞コラム「談論誘発」（2012年10月31日）掲載）

## (1) 気圧波による潮位変化

まず、遠地での巨大噴火に伴う情報発信の整理(図表6)であるが、現在、地震により生じる津波の場合はシミュレーションによって到達時刻・津波高を予想し、注意報・警報を事前に発表している。これに対し火山噴火は気圧波が関連するため、前述のとおり津波高の予測ができない。

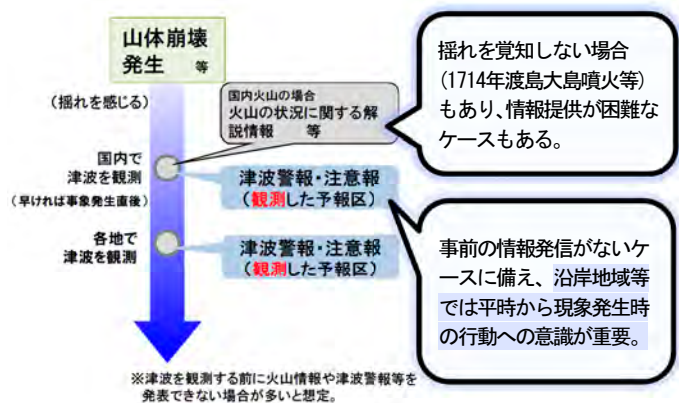
避難等の行動を求める津波警報・注意報はしっかりとした根拠に基づいて発表されるべきであることから、予測ができない以上、観測される津波高が実際に基準を超えた場合(=津波高が注意報は20cm以上、警報は1m以上)のみ発表することが基本と報告書は整理している。ただし、今回確認された最も速いラム波等のように、気圧波の伝播速度は明瞭で、その到達時刻は計算できるのであるから、その時刻に「明瞭な気圧変化が観測され、それに整合するタイミングで明瞭な潮位変化が観測された場合等には、基準に達しなくても津波注意報を発表。津波警報は、基準を超えたタイミングで発表。」とし、現時点で想定できる最悪の状況を考慮しての事前の情報発信を提言している。

## (2) 山体崩壊等の火山現象による潮位変化

検討会報告書では気圧波以外の要因、特に山体崩壊等の火山現象による津波の場合における情報発信のあり方と防災面の留意事項についてもとりまとめられている。

リードタイム<sup>7</sup>が短い場合と長い場合とで区分し、前者はさらに揺れを感じる場合と揺れを感じない場合に区分して整理している。図表7はリードタイムが短い場合の流れであり、近海や沿岸に立地する火山のケースが該当するが、津波到達までの時間が極めて短い

(図表7) リードタイムが短い場合の情報発信の流れ



(出典) 図表6に同じ図表集・資料16-1より抜粋の図に筆者加筆。

国内の火山では潮位変化の発生前の情報提供が困難なことが多い。

しかしながら、海や湖等の地理的条件や海外を含めた類似火山での発生事例などを参考に、火山現象による津波発生の可能性について、事前に評価することが可能な場合もある。したがって、このような火山周辺の地域では、津波発生の可能性についての平時からの普及啓発等が特に重要であり、現象発生時にとるべき行動を事前に検討しておくことが望ましいと整理している。

今後、この提言を踏まえ、それぞれの火山周辺での普及啓発とともに現象発生時の行動指針が整理されていくと考えられる。海に囲まれた我が国において、富士山・桜島をはじめとして沿岸に近い火山や島嶼部・海底火山等、多くの火山が該当するが、噴火や地震の揺れを住民が感じることなく、短時間で津波が到来する可能性がある前述の硫黄列島・渡島大島等は、途中経過にかかる情報発信が不十分なまま注意報・警報が発信されるというケースも想定される。

したがって、沿岸地域等の住民は地震によ

7 リードタイム：潮位変化の成因となる現象、又はそれに起因する潮位変化が検知されてから、日本沿岸に潮位変化が到達するまでの時間を指す。

る津波だけでなく、前例のないような火山活動とそれに伴って生じる想定外の巨大津波にも備え、最大限の警戒・注意をはらう意識が重要である。

## 7. おわりに

巨大津波を引き起こすような大規模噴火等の火山活動の発生確率は非常に低いことは明らかである。その低さゆえに人間社会はそのリスクを殆ど考慮する必要性に迫られることなく、近代化を進めてきた。その結果が、大規模噴火に対するインフラの脆弱化と津波リスクに晒される沿岸地域への居住の密集化につながった。

これまで述べたように、火山活動は過去に

においても地球規模で被害が生じているが、未解明の部分が非常に多く、高度に発達した現代社会においては巨大噴火の経験がなく、同じ規模の火山活動でもさらに甚大な被害になり得る。発生確率の低い災害ほど被害規模が巨大となるのは阪神淡路大震災・東日本大震災で経験したところである。

20世紀の火山活動が異常に少なかった我が国で、東日本大震災以降、各地で海底火山を含め、火山活動や火山直下地震が頻発している。情報発信のあり方の整理にあるように、沿岸地域等では事由発生時に備えた一人ひとりの平時からの避難行動への心掛けが一層重要となろう。

(2023年1月5日 記)

### <参考>

#### ◎富士山宝永火口の現状－低い森林限界と崩壊リスク

富士山は有史以来何度も噴火を繰り返し、現在の姿を形成した成層火山であるが、1707年の宝永大噴火の際には、山体の盛り上がりにより、噴火がより長く続いていけば山体崩壊の危険性があったとされる。

大規模な山体崩壊ほどではないものの、富士山では小規模な土砂の動きが頻繁に発生しているとされ、森林等の植生が、ある程度その動きをくい止めている現状にある。

宝永火口付近は、大噴火の発生前には森林が形成されていたため、そのような斜面の崩壊を防ぐ役割を担っていたが、噴火により、溶岩・噴出物に覆われ、植生が失われた状態となった。現在でも、富士山では宝永火口とその周辺（南東側斜面）は、他の方角の斜面に比して森林限界地点が低いままとなっている。

次頁の写真は宝永火口周辺を撮影したものであるが、少しずつ森林限界の上昇がみられるものの、噴火から300年以上経過したにも拘わらず、多年草等が点在的に生育するレベルにとどまっている。

噴火により、保水力が欠如し貧栄養土で移動しやすい性質の砂礫が広がる土壤条件となったため、たびたび流出が起き、植生が根付くのを拒むという悪循環に陥っている状況にある。

そのような中で、富士山で見られる代表的な多年草であるオンタデはたく長い根で水分を吸収する能力に長け、根付くことにより、移動する砂や小石をある程度ならば押さえ込んでいる。そして、**写真3**のようにバッチと呼ばれる集合体をつくり、それが点々と広がっている様子が見られる。

バッチの中で、その保水力等の環境を利用してかろうじてカラマツなどが生育しつつあるのが確認できる（**写真5**）という状況にとどまっている。

これが**写真6**のように回復するには何年かかるのであろうか。おそらく噴火前のように回復するには100年単位あるいはそれ以上の年月を要すると思われる。それまで山体崩壊とまではいかないまでも（現在も小規模のものが時折発生しているが）被害を及ぼすような規模の土砂崩れが発生しないことを祈るばかりである。

噴火によって植生が損なわれ、崩壊が起きやすい環境が作り出されてしまうというのが火山活動の常なのである。





(写真1) 宝永山第2火口縁から宝永山頂（中央右）を仰ぎ見る。宝永噴火の際は崩壊寸前まで至った。左上は第1火口縁。



(写真4) 第2火口縁から第3火口方向を望む。左にはバッチが点在している。生長が進み、バッチの面積が拡大すれば砂礫の移動をある程度抑えるようになる。



(写真2) オンタデ…富士山の高山帯に多く分布する代表的な多年草。太く1mを超える長さの根による保水力により、透水性の高い土壌でも越冬できる。



(写真5) オンタデ等の生育面積が広がった場所では、風も弱く栄養条件も良いため、カラマツなどが徐々に生長を始める。



(写真3) 生育したオンタデの同一の地下茎から地上部に茎が何本か生長し、バッチと呼ばれる集合体の体裁をとる。宝永山第2火口底にこのようなバッチが点々と広がって分布している。



(写真6) 第2火口の西側に隣接する森林。宝永火口周辺一帯は噴火前はこのような森林が生い茂っていたと考えられている。倒木が無数にあり、厳しい風雪に耐えながらも土砂流出をくい止めている。

(写真：筆者撮影)