

知の統合に向けて

火山噴火予知と原子力施設への火山活動影響評価

(特非)日本火山学会 原子力問題対応委員会 委員長 石原 和弘

はじめに

東日本大震災および福島第一原子力発電所の事故発生、さらに全国の原子力発電所の再稼働の判断にあたり、自然災害による原子力施設への影響評価を行うことが様々な角度から改めて要求されている。このなかで、従来取り組みがされていなかった火山活動による敷地への影響評価についても必要性が認識され、火山学による知見が求められている。

火山活動は地下のマグマの動きに起因し、地表に到達することにより噴火となる。火山噴火による災害は多岐にわたり、火山性地震、地殻変動、溶岩流、火砕流、火砕サージ、岩屑なだれ、土石流、泥流、降灰、火山ガスなどの現象などがあげられる。また、噴火の規模により、これらの災害がおおむね距離的・時間的影響も様々である。火山災害のリスク評価を行うにあたり、これらの現象のそれぞれについて検討するとともに、脆弱性も鑑み、定量的判断を行うことが必要である。

火山噴火予知とは

火山噴火予知の最大の目的は、火山の監視と火山学的知見をもとに噴火の発生を予想し、事前に警告を発して人的被害を最小限に食い止めることである。噴火予知においては、時期(いつ)、場所(どこから)、規模(どのくらいの量・激しさ)、様式(どのような)の予測に加え、噴火が始まったら推移・終息(いつまで)の予測が重要である。

火山噴火予知は、過去の噴火や災害の履歴の調査、噴出物の分析、火山周辺における種々の観測による火山活動の監視を駆使して実現が目指されている。噴火予知の出発点は、将来噴火する可能性のある火山、即ち活火山の選定であり、「概ね過去1万年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山」と定義し、数百年ごとに見直しが行なわれ、現在は北方領土を含めその数は110である。気象庁はそのうち47火山を常時監視対象としている。

噴火に先行する地下でのマグマの挙動や熱水の動き及び噴火活動の推移を把握するための観測手法として、地震、地殻変動、地磁気変化など捉える物理学的手法、火山ガス、地下水・温泉などを対象とした化学的手法や、噴火開始後の噴出物を対象とした地質・岩石学的手法が

ある。わが国で近代的な火山観測が開始されたのは約100年前であり、気象庁が19火山を対象に火山情報発表を目的とした常時火山監視を開始して僅か50年である。数10年～数100年の噴火の発生間隔に比べて短い。1974年に開始された火山噴火予知計画により、事前に多項目の観測を実施していれば、顕著な噴火については、数時間～数日前に噴火に先立つ現象が捕捉できる可能性が高く、他の多くの火山でも観測データに何らかの異常が現れる事例が多いことが分かった。そこで、完全な噴火予知は困難であるが、国民の生命の安全確保の観点から、異変を検知した時に切迫度や予想される影響範囲に応じた段階的警告を発する噴火警報の業務を2007年12月に開始した。しかし、警報を発しても噴火に至るとは限らない。多くの火山では、数年間隔で地震や噴気の異常を数10年にわたり繰り返した後に噴火に至る。小噴火でも直前数分～10数分前に地盤の傾斜変化が観測される例も多いが、余裕をもって避難できるよう警告を発するのは困難である。噴火活動が始まってからの推移の予測は更に困難である。その理由の一つとして、現在の火山観測で把握できる対象が最大でも地下約10kmまでであり、噴火に寄与するマグマの総量を把握できないことがあげられる。噴火が始まった後に10kmより深い場所からのマグマの上昇率が急増して大噴火に移行、あるいは活動が長期化した例もある。また、カルデラ地域で顕著な地震活動と地殻変動を繰り返しながら、噴火に至らない例もある。地震予知に比べれば火山噴火予知は容易であるという議論もあるが、ここに示したような火山噴火予知の可能性・限界・曖昧さを理解することなく、火山噴火予知や噴火警報に過大な期待を抱くことは避けられなければならない。

巨大噴火とその予知

噴火の規模を表す指標としては、火山爆発指数(Volcanic Explosivity Index: VEI)が広く用いられている。放出されるマグマの量が 10km^3 (VEI 6)を超える噴火は巨大噴火やカルデラ噴火と呼ばれ、噴火の発生場所にカルデラと呼ばれる巨大な陥没地形を生じることが多い。噴出マグマが数10～数100 km^3 の巨大噴火(VEI 6以上)はひとたび発生すると、特に火砕流や大量の降灰により広域に被害が及ぶ。約7万年前に発生した阿蘇4

噴火では、現在の山口県や愛媛県まで火砕流が到達している。直近では7300年前に鬼界カルデラの噴火が発生し、九州南部は火砕流で埋没した。さらに、日本全土への降灰が確認されている。

我が国では過去10数万年間に少なくとも12個の巨大噴火が発生し、発生場所は北海道～東北と九州に偏在しているが、その原因について不明な点も多い。また、巨大噴火発生のプロセスやメカニズムについても火山学的には未解決の問題である。巨大噴火に関与するマグマは地下約10kmから数10kmに付近に蓄えられていると推定されるが、前述のように現在の火山観測では地下10km付近より深いマグマの挙動は捉えられていない。また、巨大噴火のどれくらい前に、どのような範囲に、どのような兆候が現れるか、また、それらの兆候に巨大噴火の前兆と識別できるものか、巨大噴火の経験は世界的に少なく、地質学、岩石学、地球化学及び地球物理学を総合した本格的な調査研究は端緒に着いたばかりであり、残念ながら判断する材料を持ち合わせていない。

世界での火山影響評価

原子力施設など、設置後には避難がほぼ不可能な対象では、事前に噴火の影響を「評価」することが必要である。国際原子力機関(IAEA)では、原子力防災の観点から、原子力施設の設置において火山影響評価のガイドラインとして、2012年にSafety Standards "Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations" (No. SSG-21)を策定した。SSG-21では、火山噴火の影響評価において、ケーパビリティ(capability)という概念を導入し、地質学的に得られた噴火実績に基づいて、噴火の潜在能力を有するケーパブル火山(capable volcano)を抽出し、噴火リスクを評価することになっている。評価の段階が上位に進むほど、判断には明確な「論拠」を要求する仕組みとなっており、これにより評価結果の透明性を担保している。また、地質学的情報の不確実性を補完するために確率的手法を併用することや、ケーパブル火山においてモニタリング体制を導入し、施設の全運用期間を通じて、その体制の維持と精度向上に努めること等が推奨されている。しかしSSG-21では、モニタリング手法や実施体制について、具体的な言及はなされていない。

巨大噴火の予測と監視に関する提言

日本火山学会では、原子力施設への立地・保全に対する火山活動の影響評価が必要となっている現在の状況を踏まえ、学術的な立場から意見交換・情報共有を行う必

要性を認識し、2013年秋に臨時組織として原子力問題対応委員会を設置した。原子力問題に限らず、我が国ではカルデラ生成を伴うような巨大噴火(VEI 6以上)への対策指針が存在しない。このような巨大噴火の予測や火山の監視は、内閣府の大規模火山災害対策への提言(平成25年5月16日)や、原子力発電所の火山評価ガイド(平成25年6月19日)等により、重要な社会問題となっている。このため当委員会では、「巨大噴火の予測と監視に関する提言」を取りまとめ、公開した(平成26年11月2日)。内容は下記の通りである。

- ・巨大噴火(≧ VEI 6)の監視体制や噴火予測のあり方について
 - ▶日本火山学会として取り組むべき重要な課題の一つと考えられる。
 - ▶巨大噴火については、国(全体)としての対策を講じる必要があるため、関係省庁を含めた協議の場が設けられるべきである。
 - ▶協議の結果については、原子力施設の安全対策の向上等において活用されることが望ましい。
- ・巨大噴火の予測に必要となる調査・研究について
 - ▶応用と基礎の両面から推進することが重要である。
 - ▶成果は、噴火警報に関わる判断基準の見直しや、精度の向上に活用されることが重要である。
- ・火山の監視態勢や噴火警報等の全般に関して
 - ▶近年の噴火事例において表出した課題や、火山の調査・観測研究の将来(技術・人材育成)を鑑み、国として組織的に検討し、維持・発展させることが重要である。
 - ▶噴火警報を有効に機能させるためには、噴火予測の可能性、限界、曖昧さの理解が不可欠である。火山影響評価ガイド等の規格・基準類においては、このような噴火予測の特性を十分に考慮し、慎重に検討すべきである。

巨大噴火を含めて、火山噴火のリスクに対処するには、理学だけでなく社会的・工学的にも数多くのハードルを超える必要がある。より確かなリスク評価に基づき火山のモニタリングを実施するために、精度の高い情報を得る努力を続けていくこと、並びに、実効的な調査・観測手法の開発・維持とそれらの更新が急務である。