

原子力発電所の火山影響評価基準が抱える課題

Sidelined Issues in the Current Framework of the Nuclear Power Plant Safety Rules for Volcanic Risk Evaluation

村上 亮¹

1, 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

Makoto Murakami¹

1, Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University

Abstract

The nuclear disaster at Fukushima in 2011 gave rise to a large scale reformation of entire framework of Japanese nuclear plant safety rules and regulations. Being part of this total restructuring of nuclear plant safety rulings, a regulatory suite to take care of the volcanic risks on plants was newly compiled and put into operation. This was the first time that such regulations dealing with volcanic risk on nuclear plants were enacted in Japan. Although it is a certain progress that a fair treatment for volcanic risks is authorized, the new regulatory suite still leaves some important issues sidelined. Among those, this article pays particular attentions to necessities of fair treatment of floating pumice raft posing threats on cooling water intake system and of introduction of probabilistic risk assessment (PRA) methodology into volcanic risk evaluation.

Key Words: Nuclear Power Plant Risk Assessment, Volcanic hazard, Probabilistic Risk Assessment (PRA), Pumice Raft

キーワード：原子力発電所安全評価，火山災害，確率論的リスク評価，漂流軽石

1. はじめに

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震（M9）の強烈な地震動と津波は、東北地方のみならず、わが国の広い範囲に到達し、各地に甚大な被害を与えた。強震動と津波による直接的なダメージだけでも、国家の基盤を揺るがしかねない規模であったが、津波は、太平洋沿岸に設置されていた原子力発電所にも次々と押し寄せ、稼動中であった東京電力福島第一原子力発電所の敷地内について侵入して、地震動には辛うじて耐えた防御機能を麻痺させ、最終的に

炉心溶融と核物質の外部への大量の放出を惹起した。現場で懸命に事態に対処した関係者の超人的な奮闘に加え、おそらくは、奇跡的に幸運側に傾いたいくつかの偶然の連鎖のおかげで、東日本全体が汚染されて居住が不可能になるような最悪の事態への進展は避けられたものの、一時的には、そのような状況が現実性を帯びて懸念された時期もあったとされている。この事故を契機として、わが国の原子力発電所の自然災害に対する対策のあり方について、抜本的な見直しがなされることとなった。

詳細は、次章以下で見てゆくこととするが、福島事故以前は、火山災害は基本的には安全評価の対象外とされ、事実上放置されていた。新規制基準の導入に伴い、それに対応した改修や補強が終了した原子力発電所については、事業者から再稼働の申請がなされ、審査を経て許可が下り、準備が整った施設については、運転が再開されている。

火山災害が新たに安全評価の対象とされたこと自体は、一定の前進であると考えられるものの、新規制基準は短時間に制定されたため、客観的に見て、未だ「走りながら考える」状況であり、改善の余地が多分にあるというのが、筆者が個人として抱いている印象である。本小論では、より安全な原子力発電所の実現に向けて、現行の火山対策の仕組みについて、改善が必要と筆者が考える事柄について概観する。

具体的な議論に入る前に、念のため、原子力発電に対する筆者の立ち位置に関して記しておきたい。原子力発電所や核物質保管施設において、万一、大規模な事故が発生すれば、放出された多量の放射性物質は国土の広範囲を汚染し、国民の健康な生活や社会活動を完全に破壊する。重大事故発生時には、人間の制御力を完全に超越した過酷な事態を招く危険性のある施設は、できれば廃止するべきであると基本的には考える。他にエネルギーの安定供給の代替手段があるのであれば、このように危険な手法に執着する理由は一切ないと思う。しかしながら、その一方で、エネルギー資源をほぼ国外からの輸入に依存するわが国において、性急な原子力発電からの脱却の現実性や是非については、確信が持てない。国家としてのエネルギー戦略を議論するにあたっては、その前提として、原子力発電所の大規模事故発生リスクが論点となるのは当然であるが、その一方で、化石燃料の輸入の安定性が国際情勢によって影響されるリスクや、国家安全保障上の理由など、様々な要素も同時に考慮されることが必要である。原子力発電の継続については、国民の広範な議論によって、各種のリスクや要因を総合的に比較・検討したうえで、最終的に、その可否が決定されるべきであると考え。実際には、社会全体の広汎な議論が不活発であることは残念なことであり、仮に、将来、何らかの結論に至ることがあるとしても、かなり先のことになると思われる。

以上が基本的な認識であるが、現実には、原子力発電所の再稼働を国家が既に意思決定し、火山災害のリスクが実際に存在する原子力発電所の運用が現に再開されている。このような状況においては、筆者が専門とする火山災害の分野においても、原子力の安全性が少しでも向上するための一助になればという思いで、本小論を執筆している。

2. 福島第一原子力発電所事故以前の火山安全対策

原子力発電所の安全審査手順に関しては、福島第一原子力発電所事故以前と以後で、その内

容が大きく異なっている。事故以前は、当時の原子力安全委員会の定めた「安全設計審査指針」と「安全評価指針」に基づいて安全審査が行われていた。それらは、自然現象に対する設計が満たすべき条件として、「安全上重要な構築物、系統および機器は地震や津波、洪水、台風などの自然事象によって生ずる荷重に十分に耐えること」を要求していた。特に、耐震性については、「耐震設計審査指針」に基づく厳重な耐震設計が要求された (ATOMICA, 2019) ¹。これを受けて、耐震設計と地震に付随する津波については、非常に詳細な審査が行われていた。その一方で、その他の自然現象は、一括して極めて淡泊に扱われており、審査における優先度は低かった。特に火山については、考慮の対象とすべき自然現象の例示の中にすら含まれておらず、かろうじて「など」の中で扱われていたと考えられる。当時の立地審査では、火山活動の影響が検討されることはほとんどなかったのが実態と考えられる。

このことについては、筆者が鮮明に記憶する経験を披露したい。ある原子炉の耐震性審査の一環として実施される活断層活動履歴調査のために、当該施設から数kmの地点でトレンチが掘削され、その現地調査に立ち会う機会があった。地下から現れた地層断面には、近傍第四紀火山から飛来して堆積した数 10 cm以上の厚さの火山性降下物の層が、幾つも折り重なるように明瞭に出現していた。ところが、ほぼすべての関係者の関心は、断層の過去の活動時期を特定するための単なる目印として、火山灰層を利用することのみに注がれ、将来同規模の火山灰や軽石の降下が発生して、発電所の安全性に重大な脅威を及ぼす可能性については全く無頓着な様子であった。担当していた当時の原子力保安院の担当官に、火砕物降下による重大な脅威の存在が明らかであるにもかかわらず、その検討が全くなされていないことに対する意見を求めたところ、「基準の中に該当項目が無いから、規則上問題がない」というそっけない回答であり、何らの問題意識も感じられなかったことが強く印象に残っている。

3. 火山影響評価ガイドの特徴

福島第一原子力発電所事故後、それを発生させた大きな要因の一つが、自然の脅威に対する原子炉施設の安全性を評価する仕組に内在する根本的な欠陥にあったことが、社会全体の広い認識となった。それを受けて、原子力安全規制を司る国の機関の抜本的な改革が行われ、並行して、自然災害に対する安全対策を定める基準の大幅な改訂が進められたことは、先述の通りである。その一環として、従来は、事実上無視されていた火山現象についても、審査対象項目として、新規に基準に取り入れられた (例えば、小山真人, 2015)。ただし、火山対策の必要性自体については、この事故の発生以前から認識されており、2005年頃に始まった国際原子力機関 (IAEA) の火山影響評価ガイダンスの作成に呼応して、わが国でも民間指針として JEAG4625 「原子力発電所火山影響評価技術指針」が 2009年に作成されるなど、改善に向けての活動が始まっていた (中村他, 2014) ことは、記憶されるべきである。

¹ 旧基準を参照するため、internet 上の資料をかなり丹念に検索したが、規制機関が公開する原資料は見いだせなかった。ただし、上に引用した資料が、公的な機関である一般財団法人高度情報科学技術研究機構 (RIST) が運営する ATOMICA 上で公開されており、信頼性が高いと考えられることから、その url を出典として文献リストに記す。

現行の法体系のもとでは、電力会社等の事業者が原子力発電所を設置しようとした場合、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和三十二年法律第百六十六号）」第四十三条の三の五に基づいた設置申請を提出し、同法第四十三条の三の六に基づく原子力規制委員会の許可を受ける必要がある。再稼働の場合も、これに準ずる。規制委員会が実施する審査は、同法第四十三条の三の六第一項第四号の規定に基づいて定められた「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」に則って進められる。同規則第6条第2項では、「重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象（地震・津波は他の条項で個別に取り扱われるためそれら以外の現象）により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない」とされており、ここで想定されている自然現象の中には、火山現象も含まれており、その審査基準として「原子力発電所の火山影響評価ガイド」が定められている（原子力規制委員会、2017a）。なお、このガイドについては、小山真人静岡大学教授による詳細な批判がある（小山真人、2015）。このガイドの特徴は、小山（2015）の要約が簡潔で正確であるので、それを随時引用しながら論を進める（以下、引用した場所は太字で示す）。

火山影響評価ガイドにおいては、個々の原発の評価が、立地評価と影響評価の2段階に分けて行われることが大きな特徴になっている（図1）。立地評価では、まず原発に影響を及ぼし得る火山の抽出を行い、抽出された火山に対する個別評価、すなわち「設計対応不可能な火山事象」（火砕流、溶岩流、岩屑なだれ、新しい火口の開口など）が原発の運用期間中に影響を及ぼす可能性を評価する。影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価された場合は、「火山活動のモニタリング」と火山活動の兆候把握時の対応を適切に行うことを条件として、個々の火山事象に対する影響評価、すなわち個々の火山事象への設計対応・運転対応の妥当性検討に進む。一方、上記可能性が十分小さいと評価されない場合は、原子力発電所は立地不適とされる。立地不適とされた発電所の新設や再稼働が認められることはない。

以下、図1に従って、ガイドが求める評価の流れの全体を具体的に追うことにする。第一段階の立地評価は以下の手順をとる。まず原発から160 km 圏内にある第四紀火山を抽出した上で（図1の①）、すべての完新世火山を次の個別評価の対象として選ぶ（図1の②）。それ以外の火山については、積算噴出量の時間変化を示す階段図（火山評価ガイドでは「階段ダイヤグラム」^{II}）を作成して活動可能性を評価する（図1の③）。その結果、火山活動が終息する傾向が顕著であり、最新の休止期間がそれまでの最大休止期間より長いなどの火山があれば、将来の活動可能性がないと判断して除き、残った火山を個別評価の対象とする。除外できなかった火山の個別評価においては、原発の運用期間中において、上述の「設計対応が不可能な火山事象」をとまなう火山活動の発生可能性を評価する（図1の④）。その際、過去の活動履歴調査に加え、必要に応じて地球物理学・地球化学的調査（マグマだまりの規模や位置、マグマ供給系の地下構造等、火山噴出物等）を行い、現在の活動状況も併せて総合的に評価する。なお、「設計対応が不可能な火山事象」に関しては、火山と原発間の距離が大きい場合（例えば火砕流の場合は160 km 以上、火山泥流の場合は120 km 以上、岩屑なだれ・溶岩流の場合は50 km 以上など）、評価対象外とすることができる。以上の検討の結果、「設計対応が不可能な火山事

^{II} その火山のマグマの放出量の累積値を時間経過とともにプロットした図。

象」が原発に到達する可能性が十分小さいと評価できない場合は、原発は立地不適とされる。可能性が十分小さいと評価した火山であっても、「設計対応が不可能な火山事象」が過去に原発に到達したと考えられる火山に対しては、噴火可能性が十分小さいことを継続的に確認することを目的として運用期間中のモニタリング（必要に応じて地球物理学及び地球化学的調査も実施）を行い、噴火可能性につながる結果が観測された場合には、必要な判断・対応（原子炉の停止、適切な核燃料の搬出等）をとる（図1の⑤）。

前段階の検討で、立地不適ではないと判定された場合は、第二段階の影響評価に進み、それらの火山や他の遠方の火山が噴火した場合に備え、原発の安全性に影響を与える可能性のある（設計対応可能な）火山事象の影響評価を行い、設計対応・運転対応が妥当かどうかを確認することとされている（図1の⑥）。

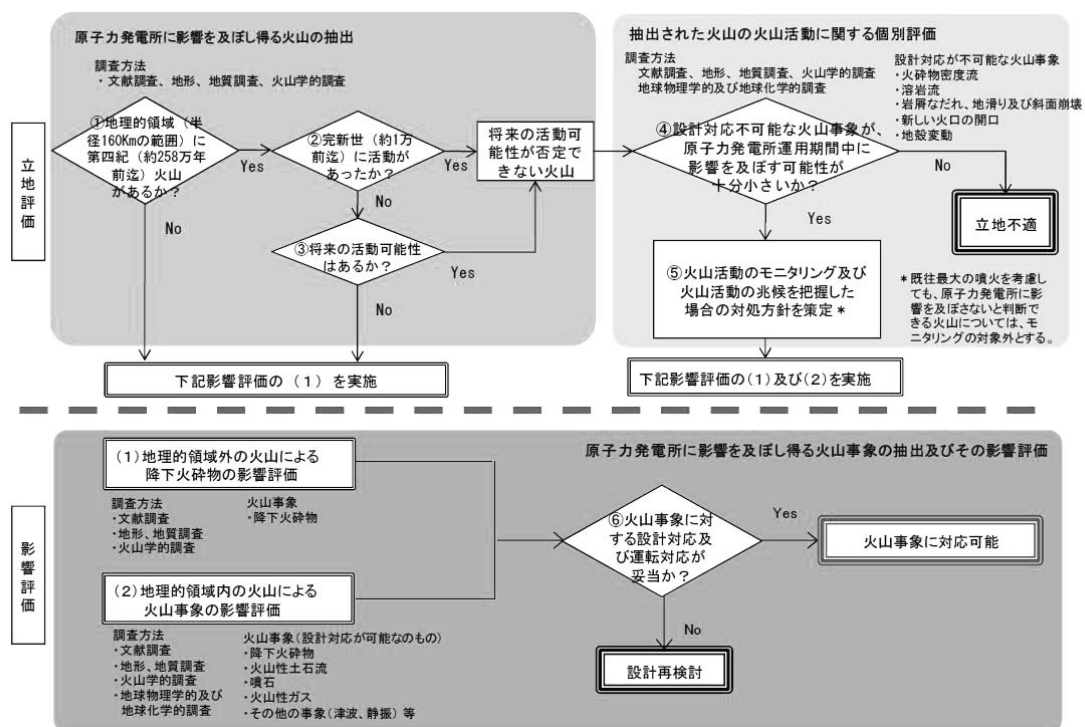


図1 火山影響評価ガイドによる原子力発電所の適合審査のフローチャート
(原子力規制委員会, 2017a)

以上のように、本ガイドによる個別原子力発電所の認可審査は、まず、設計対応が不可である現象の発生可能性が評価され、それが十分小さいと判定される場合のみ、次の段階に進み、設計対応事象が個別に検討され、最終的にその可否が判断される。

先に一部紹介したが、このガイドについては、その内容に関する批判や、それに基づいて実施された個別発電所の審査結果に対する反対意見がある。その多くが、設計上対応不可能な現象の主要な原因である巨大カルデラ噴火に関するものである。例えば、小山（2015）は、カルデラ噴火の発生可能性の検討手順が、恣意的であるとして強く批判している。また、すでになされた審査結果の妥当性に異を唱え、許可の差し止めを求める裁判も、いくつかの発電所を対象に進行中である。本小論では、カルデラ噴火の扱いに関する批判は、それらにゆだね、より

発生確率が高く、実際に原子力発電所の稼動中に発生する可能性の高い火山灰の降下など、火山影響評価ガイドによって設計対応が可能とされている現象への対策の審査基準についても、改善の余地があると筆者は考えるので、その部分に関して意見を述べることにする。

4. 新規制基準における火山の設計対応可能事象への対応の課題

ガイドで設計対応可能とされる火山現象は、降下火砕物、火山性土石流、噴石、火山性ガス、その他の事象（津波、静振）である。ここでは、既設発電所の立地や現象としての発生頻度を考慮した場合、原発への脅威として、最も優先順位が高いと考えられる降下火砕物に関する取扱いを例にとり、確率論的リスク評価手法（詳細は後述）の未導入の弊害と、浮遊軽石現象の看過の問題点に焦点を絞って議論したい。

4-1 確率論的リスク評価手法の未適用

福島の事故を受けて、全体としての新規制基準に新たに取り入れられた安全評価手法に、確率論的リスク評価（PRA: Probabilistic Risk Assessment）がある。PRAとは、「原子力施設等で発生するあらゆる事故を対象として、その発生頻度と発生時の影響を定量評価し、それらの積として「リスク」ととらえ、それがどれほど小さいかで安全性の度合いを表現する方法」とされている（阿部・村松，1990）。原子力事故のように膨大な事象が複雑に絡み合って状況が進展する場合は、典型的な特定の事故シークエンスのみを抽出して想定し、それらに対する対策だけを考慮しても、全体的な安全性が確保されるとは限らない。考慮すべき事象の内、リスクがある程度絞り込まれ、それに関する知識もそれなりに蓄積されている場合は、典型的な事故シークエンスを包含する代表的な事故シナリオを幾つか抽出しそれに対応した安全対策を講じることができる。しかし予期していた以上の規模の津波が襲来する場合など、事象としては認識されているが、想定を超えた規模の自然力が襲来した場合の施設の応答に関する知識が不足している場合がある。このような状況が、特に深刻なリスクを発生させる可能性のある場合は、設計想定内に留まらない安全裕度や対策を講じる必要がある。PRAは、設計を超えるこれらの事象に対応するため、考えうる限りのあらゆる事故シークエンスを対象に評価を実施することで、不確実さに対して明示的に取り組み、問題点・脆弱点を洗い出し、効果的な安全対策等へ近づけることができるとされている（桐本・田邊，2015）。

繰り返しになるが、PRAの特徴は、ハザードの発生頻度とそれによる損傷確率をハザードの強度の関数として捉え、強度毎のリスクはそれらの関数の積であると定義し、強度分布全体にわたって積分することで、その事象のリスクの大きさを数値的に評価する点にある。また、損傷確率の関数形がある閾値で急に増大する場合は、ハザードがこの値を超えると、システムが一気に破局に向かうことを意味し、このような解析から、システムに潜む脆弱性を明らかできる点が、PARの特筆すべき長所である。以上のような背景から、原子力の新規制基準では、自然現象に対する安全評価の手法として、「実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイド」にお

いて、PRAによる評価が一部義務付けられている（原子力規制委員会，2017b）。しかし、義務化の対象は、現時点では地震と津波に限定されており、それら以外は、「考慮すべきものの有無について検討された上で適切な外部事象が選定されていることを確認する」ことのみが要求されている。

火山影響ガイドが求める火山に関するリスク評価は、PRAの対象外であり、降下火砕物などの各事象に関して、観測記録や地質学的証拠からそのサイトが過去に経験したハザードの最大値を確定し、その固定された値に対してのみ影響評価が検討されている。従って、PRAのように、ハザードの値がある閾値を超えた場合に、システムの耐力が急激に低下するような可能性は考慮されていない。

以下においては、降下火砕物の評価を例にとり、PRAが実施されていない場合の評価の脆弱性について具体的に検討する。降下火砕物は、火山灰や軽石など、噴火に伴って大気中に放出されたマグマが破砕して生成された様々な大きさの粒子が、火山の周囲に広範囲に堆積した物質である。噴火の規模によっては数100 km以上離れた場合でも、多量の火砕物が降下することも稀ではない。火山影響ガイドでは、3.で紹介したように、降下火砕物に関しては、設計対応可能な事象と分類されており、過去において、当該施設に堆積した降下火砕物の最大層厚を調査し、それと同量の降下が発生した場合でも、施設の運転の安全性が確保されるかどうかを審査することになっている。

ガイドは、検討項目の例として、原子力発電所の構造物への静的負荷、粒子の衝突、水循環系の閉塞及びその内部における磨耗、換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的及び化学的影響、並びに原子力発電所周辺の大気汚染等を挙げている。火砕物の降下現象は、火山からの総放出量と噴出率、火砕物の種類、風向き、風の強さなど多くのパラメータに支配されており、そもそも単一の推定値に集約するには不適切な現象であり、将来発生する現象が想定内に留まる保証は全くない。ところが、損傷確率の関数形が未知であるので、閾値の位置も不明である。過去の履歴から設定した想定値のすぐ近くに、損傷確率の閾値がある場合には、実際の降下量が何らかの理由で想定値を僅かに超えただけで、発電所が想定を超えた深刻な状況に陥る危険性があるが、現状の評価手法ではこのような脆弱性を明らかにすることはできない。

加えて、影響を定量的に数値化するために必要な基礎的な科学データが決定的に不足している点も深刻である。例えば、降下火砕物の一つである火山灰が、非常電源設備装置のエンジンの給気系に取り込まれ、発動機の駆動部品を摩耗させて、発電機能を阻害する可能性についての検討は、安全性の判定に必須の項目と考えられるが、そのエビデンスとなるような実際の火山灰を用いた実験結果は現状ではほとんど存在せず、事業者の影響評価やそれに対する国の審査は、現時点では表層的な段階に止まっているといわざるを得ない。ましてや、PRAを導入しようとしても、その前提になる、ハザードを独立変数にとった損傷確率の算定は、現時点では、残念ながらデータの不足から全く不可能である。このように、降下火砕物の影響の判定ひとつをとっても、現時点では、いまだ不十分であり、今後、火山灰吸入量と摩耗率の関係などの科学的基礎データの取得を体系的に行い、最終的には、それらをエビデンスとしたPRAの導入に向けての地道な作業を続ける必要がある。

4-2 漂流軽石の脅威の軽視

漂流軽石は、火山から噴出した軽石が海面や湖面に浮揚して、漂流する現象である。供給源の火口は陸上の場合も海底など水面下の場合もある。火山活動に伴って軽石が海面や湖面を漂流する現象はそれほど珍しいものではなく、多くの報告例がある。最近の大規模なものとしては、南西太平洋の海底火山である Havre カルデラで発生した 2012 年 7 月の海底噴火によって生成された大量の軽石が長期にわたって漂流した現象が、衛星画像によって時間経過とともに克明に捉えられている (Jutzeler et al., 2014)。また、1883 年のインドネシア・クラカタウ火山の巨大噴火によって発生した多量の軽石がインド洋を 10 か月にわたって浮遊したとの記録も残されている (Simkin and Fiske, 1983)。

わが国周辺でも、漂流軽石の報告例がある。その 1 つは、1924 年の西表海底火山の海底噴火によって生成された軽石が、日本列島の広域の海岸に漂着した事例であり、その漂流の様子が当時神戸海洋気象台の関和男によって地図上にまとめられている (図 2^{III})。

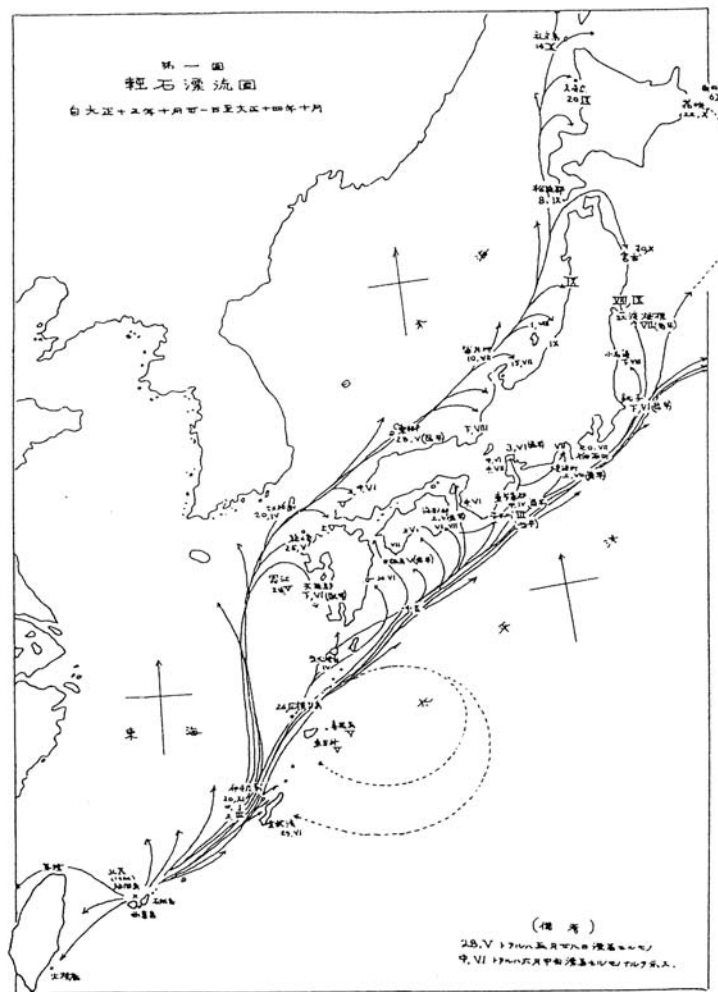


図 2 西表海底火山噴火 (1924) による軽石の漂流経路 (原図：関, 1927)

^{III} 関の原論文 (関, 1927) から加藤祐三の著者 (加藤祐三, 2009) に転載された図を引用した。

また、関は、1929年北海道駒ヶ岳の噴火によって発生し海面に落下した軽石が、その後、海流に乗って漂流し、関東以北の海岸の各所に到達した現象についても報告している（図 3^{IV}）。ここで、特に注目されるのは、青森県下北半島東岸の泊港では、軽石の厚さが約 90 cmに達し、漁船の出入りができなくなったとの記録が残されていることである。現時点においては泊港という名称の港湾施設がないため正確な位置は不明であるものの、地名から判断して、東通原子力発電所から最大でもおよそ 10 km以内の場所と考えられ、同様の現象が発生すれば、原子炉の冷却水の取り入れ口への影響が懸念される。

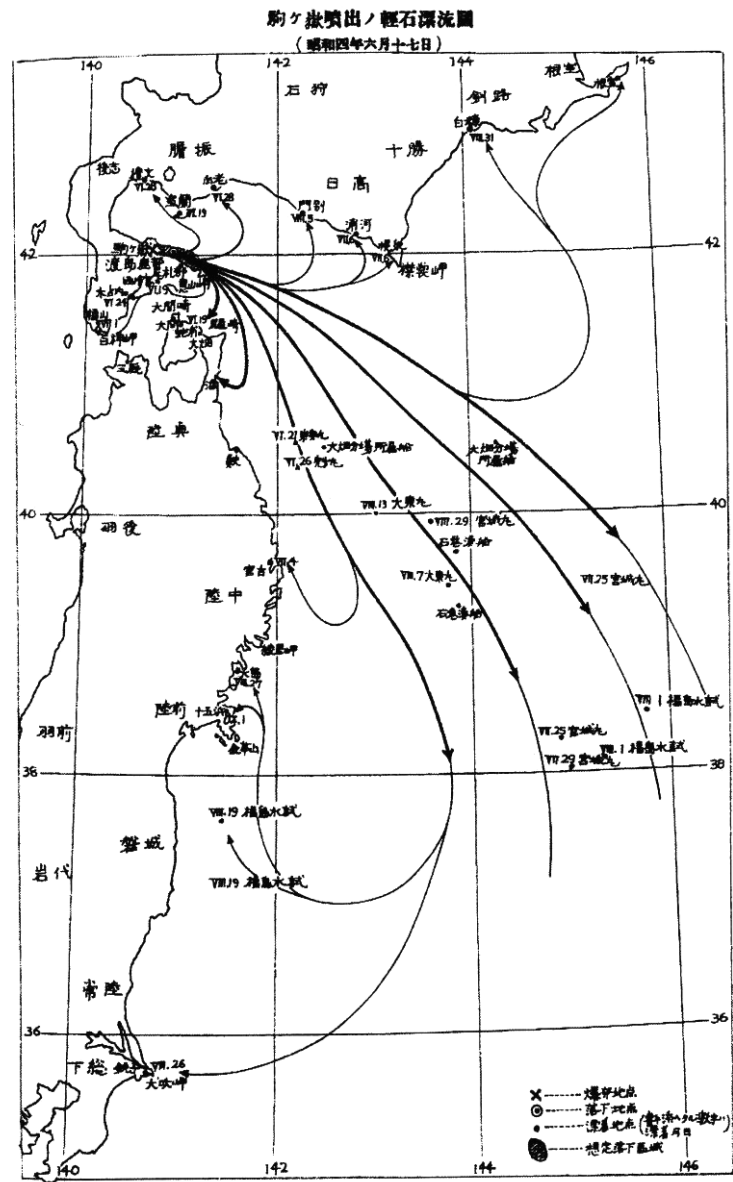


図 3 北海道駒ヶ岳噴火（1929）による軽石の漂流経路（原図：関，1930）

現行の火山影響評価ガイドでは、降下火砕物の直接的影響評価として、施設の水循環系の閉塞や摩耗などを発生させないことの確認を求めているが、浮遊軽石現象についての例示は無い。

^{IV} 関の原論文（関，1930）から加藤祐三の著者（前掲）に転載された図を引用した。

あえて推測すれば、降下火砕物の中に含まれているのかもしれない。しかし、海底火山の噴火で直接軽石が噴出した後、大量の軽石が海面を長期にわたって長距離を浮遊する場合もあり、降下火砕物の中に一括して含むには大きな問題がある。実際、申請や審査においては、ここで紹介した事例のような規模で発生する浮遊軽石現象の対策の検討はなされた様子はない。その意味において、同様の事態が将来発生する可能性は全く見過ごされており、現時点では、原子力発電所への影響がどのくらい深刻なものか全く検討されていない。これは、今後早急に改善が必要な重大な欠陥であると考えられる。

なお、浮遊軽石が原子力発電所の安全性に影響を及ぼす可能性については、日本電気協会「原子力企画委員会」が制定した「原子力発電所火山影響評価技術指針（JEAG4625）」の2015年版（日本電気協会，2015）では、3.4.2 取水設備。および原子炉補機冷却海水系の項に、「軽石等の浮遊物による取水口の閉塞」が安全上の脅威とされない設計とすることが求められている。少なくとも、安全を阻害する可能性のある現象として浮遊軽石を明示している点においては、国の火山影響評価ガイドより一歩先んじている。ただし、この現象については、軽石の総量、海面浮遊時の層厚、個々の軽石の粒径や力学的強度、化学的成分など、安全評価には多くのパラメータが関係すると思われるが、JEAG4625においても、それらを独立変数とした損傷確率の検討などは全く示されていないので、確率論的リスク評価（PRA）的な視点での基準化は、いずれにしても今後の課題である。

5. 改善への展望

火山影響評価ガイドの冒頭には、その目的などを記した総則に「近年、火山学は基本的記述科学から、以前は不可能であった火山システムの観察と複雑な火山プロセスの数値モデルの使用に依存する定量的科学へと発展しており、これらの知見を基に、原子力発電所への火山影響を適切に評価する一例を示すため、本評価ガイドを作成した。本評価ガイドは、新規規制基準が求める火山の影響により原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であることの評価方法の一例である。また、本評価ガイドは、火山影響評価の妥当性を審査官が判断する際に、参考とするものである」とあり、事実上、事業者の申請と規制側の火山に関する安全審査は、このガイドに則って実施されている。

しかし、このように重要な規則でありながら、前章まででみたように、浮遊軽石に関する影響評価が看過または軽視されているなど、規制基準として十分とはいえない面がある。個別に、詳細に検討してゆけば、さらに多くの改善を必要とする箇所を指摘することができるであろう。

個別の問題点に加え、筆者は、このガイドの位置づけと性格にも大きな問題が潜んでいると考えている。一般に、このような基準の根本的な性格として、同様の JEAG4625（日本電気協会，2015）の「はじめに」にもあるように、「新たに得られた知見を踏まえてその改定を行う」べきであると考えているが、現状ではそうっていない。最新の知識が得られた段階で、それを反映した改訂を随時施す姿勢が重要であると考えている。「総則」においてその姿勢を明確にし、改正のプロセス（その時期や着手への契機）についても具体的に明示しておくことが重要と考える。また、定期的に、パブリックコメントを求めるなど、ガイドの品質を向上させるために、様々な観

点から広く意見を集約する仕組みを構築する必要があると考える。

なお、公平を期すために述べておくが、この火山ガイドは2013年の制定の後、2017年に一度改正された実績があり、外気取入口からの火山灰の侵入が換気空調システムのフィルタに発生させる目詰まりに関しての評価手法が修正されている。しかし、この改正に至った発端などの経緯は必ずしも明らかにされておらず、今後改正がなされるにしてもその時期や修正の範囲は恣意的に行われる懸念を抱かせる。透明性を確保するためには、どのような場合に修正が施されるかの方針について、より具体的に事前に定めておくべきであることは、前述の通りである。

また、できるだけ速やかにPRAをめざすべきであり、その目標も明示的に掲げておくべきである。しかしながら、現実には、短期間での実現は困難であろうが、実験データを着実に蓄積するなど、継続的な準備を進める必要があると考える。先述したとおり、PRAは、総合的なリスクを、ハザード（自然力）発生確率に、施設の損傷確率を乗じた積として捉えるものである。施設に影響を与える可能性のある個別の自然現象の洗い出しと、それらの発生確率の算定・関数化は、自然科学者（理学系）の得意とする分野である一方、施設の損傷確率の算定・関数化は、工学者の専門分野である。総合的にバランスのとれたリスク評価に繋げるためには、両者の密接な連携が、極めて重要であると考えられる。しかし残念ながら、火山のリスク評価に関しての理学・工学の連携は、先行する地震や津波分野に比べて、現時点では大きく立ち遅れている。

国内に多量の核物質が存在し、少なくとも今後しばらくは原子力発電所が稼働し続ける今の状況下では、これまで経験したことのない規模の苛酷な火山災害が原子力発電所に向って牙を剥き、万一、対応を誤ると重大事故に進展する可能性が決して低くない。火山災害に対する原子力施設の安全性を少しでも向上させることは社会の要請であり、理学と工学の連携について、例えば、自然災害科学コミュニティが拠点となって、戦略的にその推進を図るのも一案かもしれない。

6. まとめと結論

本小論では、原子力発電所の火山災害に対する安全性確保を目的として、福島第一原子力発電所事故後に制定された火山の新規制基準が抱える幾つかの問題点について概観した。従来、放置されてきた火山のリスクに対して、対策の一步が踏み出されたこと自体は、一定の評価が与えられるべきであるが、現時点の火山の規制基準は、短期間にやや性急に整備されたために、改善を要する部分が多く残っていると考えられる。より万全な安全対策のためには、現行基準の修正や改訂が不可欠であるが、理学・工学コミュニティの連携を進めることも、その進展に大きく貢献すると考える。

7. 参考文献

- 1) ATOMICA, http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=02-02-05-01 (参照日：2019/01/23)。
- 2) 阿部清治, 村松健 (1990)：解説：原子力発電所における確率論的安全評価の最近のあゆみ,

- 日本原子力学会誌, 32 (3).
- 3) 小山真人(2015) : 原子力発電所の「新規制基準」とその適合性審査における火山影響評価の問題点, 科学, 85(2) 182-193.
 - 4) 中村隆夫・中田節也・岩田吉左・小野勤・濱崎史生 (2014) : 火山現象に対する原子力発電所の安全確保について, JEAG4625 改定版の背景とその技術的根拠, 日本原子力学会和文論文誌, Vol. 13, No. 3, pp. 75-86 (2014), doi:10.3327/taesj.J14.004.
 - 5) 原子力規制委員会(2017a) : 原子力発電所の火山影響評価ガイド,
<http://www.nsr.go.jp/data/000213308.pdf> (参照日 : 2019/01/23).
 - 6) 桐本順広・田邊朋行(2015), 電気新聞, 2015年2月9日掲載記事
.https://criepi.denken.or.jp/jp/serc/denki/pdf/20150209.pdf (参照日 : 2019/01/23).
 - 7) 原子力規制委員会(2017b) : 実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイド,
<http://www.nsr.go.jp/data/000183879.pdf> (参照日 : 2019/01/23)
 - 8) M. Jutzeler, R. Marsh, R.J. Carey, J.D. White, P.J. Talling, L. Karlstrom (2014): On the fate of pumice rafts formed during the 2012 Havre submarine eruption, Nat. Commun., 5 (2014),
10.1038/ncomms4660
 - 9) T. Simkin and R. S. Fiske (1983), Krakatau 1883 : the volcanic eruption and its effects, Smithsonian Institution press, p292.
 - 10) 加藤祐三 (2009) : 軽石 海底火山からのメッセージ, 八坂書房.
 - 11) 関和男(1927) : 軽石の漂流について, 海洋気象台彙報, 10, pp1-42.
 - 12) 関和男(1930) : 駒ヶ岳噴出の軽石の漂流について, 海洋時報, 2, pp105-112.
 - 13) 日本電気協会 (2015) : 原子力発電所火山影響評価技術指針 (JEAG4625).