

〈技術情報検討会資料〉
技術情報検討会は、新知見のふり分けや作業担当課の特定を目的とした事務的な会議体であり、その資料及び議事録は原子力規制委員会の判断を示すものではありません。

資料6 1-1-1

最新知見のスクリーニング状況の概要（自然ハザードに関するもの）（案）

令和5年9月28日 長官官房 技術基盤グループ

（期間：令和5年7月14日から令和5年9月13日まで）

最新知見等 情報シート番号	件名	スクリーニング結果 (対応の方向性(案))	資料ページ
23 地津-(D)-0002	SSHAC レベル3 ガイドラインに基づく伊方サイトにおける震源特性モデル及び地震動特性モデルの構築	vi)	2~6
23 地津-(D)-0003	大規模噴火を起こす可能性のある火山の判断に資する地球化学的指標について	v)	7~10
23 地津-(D)-0004	テフラの粒径、落下速度及び堆積速度のリアルタイム検出に関する新たな知見について	vi)	11~13

対応の方向性（案）： i）直ちに規制部等関係部署に連絡・調整し、規制庁幹部に報告する。 ii）対応方針を検討し、技術情報検討会へ諮問する。 iii）技術情報検討会に情報提供・共有する。 iv）情報収集活動を行い、十分な情報が得られてから再度判断する（必要な場合には安全研究を実施する）。 v）安全研究企画プロセスに反映する。 vi）終了案件とする。以下同じ。

最新知見のスクリーニング状況（自然ハザードに関するもの）（案）

令和5年9月28日 長官官房 技術基盤グループ

（期間：令和5年7月14日から令和5年9月13日まで）

最新知見等情報シート番号	件名	情報の概要	受理日	1次スクリーニング		2次スクリーニング		
				対応の方向性	理由	対応の方向性	理由	対応方針
23 地津 - (D)-0002	SSHAC レベル3ガイドラインに基づく伊方サイトにおける震源特性モデル及び地震動特性モデルの構築	<p>掲載日：令和4年5月31日 掲載誌：日本地震工学会論文集 題目：① SSHACレベル3ガイドラインに基づく伊方サイトでの震源特性モデルの構築 ② SSHACレベル3ガイドラインに基づく伊方サイトでの地震動特性モデルの構築 著者：① 隈元崇(岡山大学)、他11名 ② 藤原広行(防災科学技術研究所)、他12名</p> <p><背景> 米国をはじめとした諸外国では、原子力施設等のリスクの定量化に資する確率論的地震ハザード解析(Probabilistic Seismic Hazard Assessment、以下、「PSHA」という。)を行うに際して、米国で策定されたSSHAC(Senior Seismic Hazard Analysis Committee、以下、「SSHAC」という。)のガイドラインを適用することが多い。 伊方SSHACプロジェクト^{注1)}(以下「同PJ」という。)は、安全性向上に向けた取り組みの一環として、四国電力株式会社と一般財団法人電力中央研究所原子力リスク研究センターが伊方発電所において将来生じる可能性のある地震動を評価することを目的に、SSHACのレベル3(下表を参照)を厳格に適用して認識論的不確かさを評価し、</p>	2023/9/1	vi)	<p>・当該論文は、伊方SSHACプロジェクトの実施経験をもとに、SSHACレベル3ガイドラインの有効性や評価項目ごとの不確かさの範囲と地震ハザードへの影響度について考察し、そこから得られた技術的課題を報告している。</p> <p>・「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」及び「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」には、「震源モデル及び地震動伝播モデルにおけるハザードの寄与度が高い認識論的不確かさ要因に関しては、ロジックツリーを作成して考慮する。作成したロジックツリーにおける各分岐の設定及び重みの根拠を明確に記載する。」旨が既に記載されている。</p> <p>・したがって当該知見からは上記</p>			

最新見等情報シート番号	件名	情報の概要	受理日	1次スクリーニング		2次スクリーニング		
				対応の方向性	理由	対応の方向性	理由	対応方針
		<p>PSHA を実施した日本初の解析事例であり、その成果は同PJの最終報告書(以下「最終報告書」という。)にまとめられている。SSHAC では、認識論的不確かさの定量評価において「技術的に十分主張できる解釈の分布の中央値、分布形状、範囲」に基づくモデルの構築を目指す。同PJでは、ロジックツリーの分岐項目の設定について、収集したデータからあり得る分岐項目を網羅的に並べ議論が行われた。また、分岐項目に与える適切な重みの設定については専門家チームとして合意に至るまで徹底的に議論された。</p> <p><文献概要> 上記文献①と②の著者らは同 PJ に参加し、伊方発電所周辺で発生しうる地震に対し、地震規模や発生確率などの震源特性を評価するチームと、震源からの地震動の伝播や増幅を検討して評価地点で生じる地震動特性を評価するチームとに分かれ、専門家として評価結果を取りまとめた。その経験をもとに、事業者による安全性向上評価の後続の検討に活用できるよう、考察を加えて上記論文として公表した。</p> <p>文献①(震源特性モデル) 同 PJ から得られた知見やノウハウが後続の検討に活用されることを目的として、SSHAC プロジェクトレベル3ガイドラインの有効性や評価項目ごとの不確かさの範囲と地震ハザードへの影響度について考察された。</p>			<p>の審査ガイド及び運用ガイドに反映する事項はないと考える。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・また、伊方3号機第2回安全性向上評価届出書(2022年7月)において伊方SSHACプロジェクトの評価結果が既に報告されている。 ・ただし、当該論文では地震の発生様式によって、地震ハザード評価に対する震源特性モデルと地震動特性モデルの寄与に違いが見られたことが報告された。他プラントにおいて事業者が自主的に行うPSHAの評価結果を確認する際に、上記の傾向は参考情報となる。 ・当該論文にはPSHAの高度化に向けた課題が挙げられているものの、サイト補正に関する研究についてはすでにNRAの安全研究で扱っており、また、国内における同一のデータベースに基づく距離減衰式の構築、M9クラスの 			

最新知見等情報シート番号	件名	情報の概要	受理日	1次スクリーニング		2次スクリーニング		
				対応の方向性	理由	対応の方向性	理由	対応方針
		<p>同PJで重点的に議論された伊予灘の中央構造線断層帯の震源特性モデルについて地震調査研究推進本部(以下「地震本部」という。)のモデルと比較されている。両者のモデルで中央値が異なる項目として断層長さ、震源断層上端深さ、最新活動時期などを挙げている。その他の項目については、大局的には地震本部のモデルと整合しており、ロジックツリーにおける多くの分岐によって多様な不確かさを表現したモデルとなっている。</p> <p>また、中央構造線断層帯の地震及び南海トラフの大地震について、分岐項目毎に地震ハザードへの影響度合いを分析し考察を行った。その結果、中央構造線断層帯の場合、震源特性モデルの寄与が支配的(年超過確率 10^{-4} の地震ハザードで約 67%)、南海トラフの場合、地震動特性モデルの寄与が支配的(同 8 割程度)であるとした。これは、南海トラフの大地震では歴史史料等に基づき活動履歴が把握されており、地震発生確率の認識論的不確かさが小さいことが理由である。中央構造線断層帯では地震発生確率の算定の認識論的不確かさ(平均活動間隔、最新活動時期、活動間隔のばらつきなど)の影響が大きく、特に伊予灘の中央構造線断層帯での活動履歴の解明が地震ハザードの信頼性向上に大きく寄与するなどの解釈が示された。</p> <p>文献②(地震動特性モデル) 最終報告書のうち地震動特性評価に関し、ロジックツリーモデルの中核となる認識論的不確かさ^{注2)}に関する議論</p>		<p>大規模地震及びサイト近傍の震源に対する距離減衰式の適用性に関する課題については他機関によって検討が進められている。</p> <p>・以上のことから、当該論文に示された知見についてはvi)終了案件とする。なお、今後も上記の他機関の研究動向に注視し、情報収集活動を継続していく。</p>				

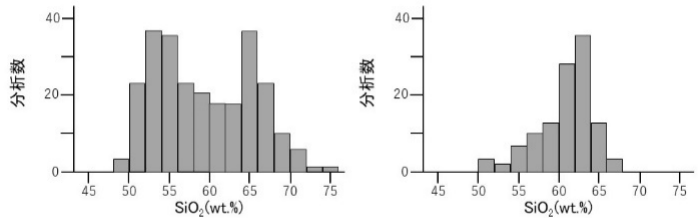
最新見 等情 報シ ート 番号	件名	情報の概要	受理日	1次スクリーニング		2次スクリーニング		
				対応 の方 向性	理由	対応 の方 向性	理由	対応 方 針
		<p>と当該議論の結果として浮き彫りになった技術的課題が要約された。同PJで実施した地震動特性モデル構築を踏まえ、今後のPSHAの高度化に向けた地震動評価における将来的課題として以下が挙げられている。</p> <p>(i) 国内における同一のデータベースに基づく距離減衰式の構築</p> <p>距離減衰式は、モデル化に起因する不確かさ以外にも、データベースごとに地震規模、震源距離、地盤条件などの整理基準が同一でないことに起因する不確かさがあり、推定値の不確かさがより大きくなっている。よって、国内における同一かつ高精度の地震動データベースに基づく距離減衰式の構築が望まれる。</p> <p>(ii) 距離減衰式のサイト補正による地震動評価の高度化</p> <p>硬岩地点に適用可能な距離減衰式の構築、硬岩地点における観測データの蓄積及びサイト補正(サイトの地盤特性を反映した地震動の補正方法)の改良により、地震動評価精度を向上することが望まれる。</p> <p>(iii) M9クラスの大規模地震及びサイト近傍の震源に対する距離減衰式の適用性</p> <p>南海トラフのような規模が大きい地震や、中央構造線断層帯のように震源がサイト近傍に位置する地震については距離減衰式構築の元となる観測記録が十分でない。そのため、データセットの範囲外の地震動評価に対して距離減衰式を用いるには課題が残る。</p> <p>注1) 四国電力株式会社 伊方 SSHAC プロジェクトの HP</p>						

最新見 等情 報シ ート 番号	件名	情報の概要	受理日	1次スクリーニング		2次スクリーニング																
				対応 の方 向性	理由	対応 の方 向性	理由	対応 方 針														
		<p>(https://www.yonden.co.jp/energy/atom/safety/sshac_project/index.html)</p> <p>注2)PRAでは不確実さをもたらす要因を、物理現象のランダム性に係わる偶然的な不確実さと知識及び認識の不足に係わる認識論的不確実さに大別する。偶然的な不確実さは、ばらつきをそれ以上減じることができなく、“不確実さ評価”における対象要因とはならない。認識論的不確実さは、評価に用いるデータの不足、モデルの詳細度、複数の専門家の解釈の相違などを要因とする。これは、将来、知識の増加又は科学の進展によってそのばらつきを減じることが期待できる。この要因を対象として“不確実さ評価”を行う。(一般社団法人日本原子力学会「原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準:2015」より抜粋。不確実さと不確かさは同義)</p> <p style="text-align: center;">表. SSHACガイドラインのレベル</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">レベル</th> <th style="width: 20%;">不確かさの程度、ハザード評価結果への影響</th> <th style="width: 70%;">実施内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>ハザード評価にさほど重要でなく、議論が分かれにくい。</td> <td>公表データに基づき、評価を行う専門家である Technical Integrator (以下、「TI」という。)自身がモデルを構築する。</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td>不確かさの程度が重要で多様な意見があり、評価が難しい。</td> <td>TIに加え関係者も参加してモデルを構築する。</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td>不確かさの程度が重要で議論が大きく分かれ、評価が非常に難しい。</td> <td>TIがチームとして技術的検討を実施することが要求されるとともに、少なくとも3回のオープン・ワークショップを開催して外部専門家と議論することが定められている。</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td></td> <td>TIチームを構成するメンバー各自が独自のモデルを提案することが要求事項となっているが、成果の品質としてはレベル3でも十分と考えられている。海外の原子力施設等を対象としたプロジェクトでは、主にSSHACレベル3が適用されている。</td> </tr> </tbody> </table> <p>文献②の藤原・他(2022)の本文を参考に規制庁で作成。</p>	レベル	不確かさの程度、ハザード評価結果への影響	実施内容	1	ハザード評価にさほど重要でなく、議論が分かれにくい。	公表データに基づき、評価を行う専門家である Technical Integrator (以下、「TI」という。)自身がモデルを構築する。	2	不確かさの程度が重要で多様な意見があり、評価が難しい。	TIに加え関係者も参加してモデルを構築する。	3	不確かさの程度が重要で議論が大きく分かれ、評価が非常に難しい。	TIがチームとして技術的検討を実施することが要求されるとともに、少なくとも3回のオープン・ワークショップを開催して外部専門家と議論することが定められている。	4		TIチームを構成するメンバー各自が独自のモデルを提案することが要求事項となっているが、成果の品質としてはレベル3でも十分と考えられている。海外の原子力施設等を対象としたプロジェクトでは、主にSSHACレベル3が適用されている。					
レベル	不確かさの程度、ハザード評価結果への影響	実施内容																				
1	ハザード評価にさほど重要でなく、議論が分かれにくい。	公表データに基づき、評価を行う専門家である Technical Integrator (以下、「TI」という。)自身がモデルを構築する。																				
2	不確かさの程度が重要で多様な意見があり、評価が難しい。	TIに加え関係者も参加してモデルを構築する。																				
3	不確かさの程度が重要で議論が大きく分かれ、評価が非常に難しい。	TIがチームとして技術的検討を実施することが要求されるとともに、少なくとも3回のオープン・ワークショップを開催して外部専門家と議論することが定められている。																				
4		TIチームを構成するメンバー各自が独自のモデルを提案することが要求事項となっているが、成果の品質としてはレベル3でも十分と考えられている。海外の原子力施設等を対象としたプロジェクトでは、主にSSHACレベル3が適用されている。																				

最新知見等情報シート番号	件名	情報の概要	受理日	1次スクリーニング		2次スクリーニング		
				対応の方向性	理由	対応の方向性	理由	対応方針
23 地 津 - (D)- 0003	大規模噴火を起こす可能性のある火山の判断に資する地球化学的指標について	<p>掲載日 : 令和 4 年 9 月 23 日 掲載誌: Scientific Reports 論文名: Geochemical variability as an indicator for large magnitude eruptions in volcanic arcs 著者: Gregor Weber (University of Oxford) and Tom E. Sheldrake (University of Geneva)</p> <p>著者らは、既報の火山岩の地球化学的データを収集・整理した結果、過去にカルデラ形成噴火を起こした火山は、そうでない成層火山と比べ、最初のカルデラ形成噴火の前までに形成した火山の段階から、地球化学的に多様なマグマを噴出していたことが明らかになったとした。このことから、カルデラのような大規模な噴火を引き起こす可能性が高いシステムを有している成層火山を地球化学的特徴から識別することができる」と述べている。当該論文の概要は以下のとおりである。</p> <p>・著者らは、Newhall et al.(2018)¹⁾が提唱した将来的に大規模な噴火を引き起こす可能性のある火山を予測するための 6 つの尺度*のひとつである「地殻下部から上部への高いマグマ供給速度」について、既報の地球化学的データと熱化学的な数値モデリングを用いて調査した。</p> <p>・地球化学的データを検討するために十分な情報を持つ 11 の火山弧に分布する 54 の火山についてデータを収集、整理した結果、カルデラ形成噴火を引き起こした火山では、多様なマグマを噴出(SiO_2 含有量の幅**が広い)し</p>	2023/9/1 3	v)	<p>・当該知見は、過去にカルデラ形成噴火を起こしていない火山の中から、地球化学的特徴を用いてカルデラを形成するような噴火を起こす可能性が高い火山を識別できる可能性を提案したものである。</p> <p>・「原子力発電所の火山影響評価ガイド」には、「検討対象火山の調査結果から噴火規模を推定する。調査結果から噴火の規模を推定できない場合は、検討対象火山の過去最大の噴火規模とする。」旨が記載されている。</p> <p>・当該知見は、Newhall et al.(2018)¹⁾が提唱した指標のひとつについて、地球化学的データを収集して整理した結果及び数値モデリングを用いて検証を試みた事例であり、検討対象火山の噴火規模推定のための情報のひとつとなり得るので、今後着目すべき知見である。しかしながら、現時点では、指標のひとつの</p>			

最新知見等情報シート番号	件名	情報の概要	受理日	1次スクリーニング		2次スクリーニング		
				対応の方向性	理由	対応の方向性	理由	対応方針
		<p>ているのに対し、ほとんどの成層火山では、そのような傾向がない(SiO₂含有量の幅が狭い)ことを示しているとした。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・さらに、カルデラ形成噴火を引き起こした火山の地球化学的データを詳細に整理したところ、最初のカルデラ形成噴火の前までに形成した火山の段階から多様なマグマを噴出している。この多様性の要因は、カルデラ形成に起因する地下の構造崩壊によるものではなく、マグマの供給系に主要因があることを示しているとした。 ・加えて、カルデラ形成噴火は、十分なマグマ量の蓄積を必要とする^{***}。そこで、熱化学的な数値モデリングから、それを蓄積するための空間的に広範なマグマの供給系を検討した。その結果、地球化学的データから認識された多様なマグマを生成するとともに、カルデラ形成噴火において噴出する主なマグマである珪長質メルトを大量に生成するための主な要因は、高いマグマ供給率にあることが示唆されるとした。 ・著者らは、既往の地球化学的データの収集と整理及び数値モデリングによって示されたマグマの多様性と供給系の大きさの関係から、大規模噴火を起こす可能性が高い火山の指標として地球化学的特徴を用いることができると提案した。これにより、大規模な噴火を引き起こす可能性を有する火山を識別することができるとした。 ・一方で、その指標の適用に当たっては、世界中のほとんどの火山は噴火履歴が明らかになっていないことから、噴出量データによるバイアスがかかることのないような、リス 		<p>検証を試みた段階のものであることから、上記評価ガイドへの反映については今後の研究進捗を踏まえて判断するのが適切である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当該知見では、国内火山のデータについてはカルデラ形成噴火を引き起こした火山として、阿蘇火山の地球化学的データを用いて整理されているが、その他の火山については整理されていない。そのため、過去の噴火履歴等に基づいた既審査の見直しは生じないが、今後の研究によって検証データが蓄積されれば、有用な知見となる可能性がある。 ・地震・津波研究部門では、評価ガイドへの反映を見据え、当該知見での検討事例も踏まえた、国内の火山のデータを用いた再整理が有効であると考えるとともに、火山岩の形成プロセスと多様性の関係を確認することを目 				

最新見 等情報シ ート番 号	件名	情報の概要	受理日	1次スクリーニング		2次スクリーニング		
				対応 の方 向性	理由	対応 の方 向性	理由	対応 方 針
		<p>クの高い火山を抽出するための基準についても策定したうえで、この指標による識別結果と比較し、その適用性を確認する必要があると述べており、火山岩の形成プロセスと多様性の関係を確立することを目的としたさらなる研究が必要であるとしている。</p> <p>【参考文献】 1) Newhall, C., Self, S. & Robock, A. Anticipating future Volcanic Explosivity Index (VEI) 7 eruptions and their chilling impacts. Geosphere 14, 572–603 (2018).</p> <p>* : Newhall et al.(2018)が提唱した6つの尺度 (a) 既に VEI7 以上の噴火を少なくとも 1 回発生し、その後数千年以上比較的静かな火山。 (b) 過去 10 万年間に複数の火口から珪長質マグマが噴出した火山。 (c) 成熟した大規模な成層火山または成層火山群で、その多くは珪長質ドームおよび/または過去に溶結凝灰岩および非溶結凝灰岩が生成されていたが、ここ数千年は比較的静かであったもの。 (d) 火山の系へのマグマの定期的な再供給の証拠があるにもかかわらず、現在のガス放出が少ない火山。 (e) 地殻下部から上部へのマグマ供給速度が異常に高い火山。 (f) 上記の尺度に加えて、近年に平常レベルから顕著な活動の活発化を示した火山。</p>		<p>的としたさらなる研究が必要であると考えている。</p> <p>・以上から、v)「安全研究企画プロセスに反映する」とする。</p>	/			

最新知見等情報シート番号	件名	情報の概要	受理日	1次スクリーニング		2次スクリーニング		
				対応の方向性	理由	対応の方向性	理由	対応方針
		<p>***: SiO₂含有量の幅について(イメージ図)</p>  <p>左図:カルデラ形成噴火を引き起こした火山の SiO₂ 含有量の範囲。 玄武岩(～53.5wt.%)、安山岩(53.5～62wt.%)、デイサイト(62～70wt.%)、流紋岩(70wt.%～)までの多様なマグマが噴出している。 右図:成層火山の SiO₂ 含有量の範囲。 安山岩～デイサイト質マグマが主で、左図のものほど多様でない。</p> <p>***:例として、VEI7 の噴火では 100km³ 以上のテフラが生成される。</p>						

最新知見等情報シート番号	件名	情報の概要	受理日	1次スクリーニング		2次スクリーニング																	
				対応の方向性	理由	対応の方向性	理由	対応方針															
23 地 津 - (D)- 0004	テフラの粒径、落下速度及び堆積速度のリアルタイム検出に関する新たな知見について	<p>掲載日： 令和 4 年 3 月 17 日 掲載誌： Scientific Reports 論文名： New insights into real-time detection of tephra grainsize, settling velocity and sedimentation rate 著 者： V. Freret-Lorgeril (University of Geneva), C. Bonadonna (University of Geneva), E. Rossi (University of Geneva), A. P. Poulidis (Kyoto University & University of Bremen) and M. Iguchi (Kyoto University)</p> <p>著者らは、桜島火山において、降灰時の火山灰の粒径と落下速度を測定できる光学式ディストロメーター^{*1} (LPM 及び PS2; 下表参照)を用いた降灰観測を行い、得られたデータに対して、粒子形状分析及び専用の抗力方程式を適用し、凝集体を判定した。凝集の有無を識別することで、凝集効果の見られる実際の降灰現象においても、リアルタイムに降下テフラの粒径分布^{*2}を推定できると述べている。当該論文の概要は以下のとおりである。</p> <p>表 当該論文で使用された光学式ディストロメーターの比較^{*3}</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>LPM (Thies Clima Laser Precipitation Monitor)</th> <th>PS2 (OTT Parsivel² disdrometer)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>レーザーシートの理論測定面積</td> <td>46.5 cm² (22.8 x 2 cm)</td> <td>54 cm² (18 x 3 cm)</td> </tr> <tr> <td>粒径</td> <td>0.15~8.00 mm</td> <td>0.25~26.00 mm</td> </tr> <tr> <td>落下速度</td> <td>0~10 m s⁻¹</td> <td>0.0~21.4 m s⁻¹</td> </tr> <tr> <td>主な特徴</td> <td>検出された各粒子に対して粒径と速度の観測値が得られる</td> <td>データはそれぞれ決まった範囲の粒径と速度のクラスに分類される</td> </tr> </tbody> </table>	項目	LPM (Thies Clima Laser Precipitation Monitor)	PS2 (OTT Parsivel ² disdrometer)	レーザーシートの理論測定面積	46.5 cm ² (22.8 x 2 cm)	54 cm ² (18 x 3 cm)	粒径	0.15~8.00 mm	0.25~26.00 mm	落下速度	0~10 m s ⁻¹	0.0~21.4 m s ⁻¹	主な特徴	検出された各粒子に対して粒径と速度の観測値が得られる	データはそれぞれ決まった範囲の粒径と速度のクラスに分類される	2023/9/1 3	vi)	<ul style="list-style-type: none"> ・当該知見は、光学式ディストロメーターによる観測データを基に、凝集体を除去するデータ処理を施すことで、テフラの粒径分布や堆積速度に関する情報をリアルタイムに提供する可能性を示唆するものである。 ・「原子力発電所の火山影響評価ガイド」では、外気取入口から侵入する火山灰の想定に当たって、添付 1「気中降下火砕物濃度の推定方法について」を参照して推定した気中降下火砕物濃度を用いる旨が記載されている。 ・当該知見について、現時点では、様々な噴火様式での検証が必要であり、観測の一事例であることから、現行の評価ガイドの記載に影響を与えるものではないと考えられるが、上記評価ガイドへの反映については、観測データが蓄積された段階で判断するのが適切である。また、当該知見は、既審査の評価対象となる 			
項目	LPM (Thies Clima Laser Precipitation Monitor)	PS2 (OTT Parsivel ² disdrometer)																					
レーザーシートの理論測定面積	46.5 cm ² (22.8 x 2 cm)	54 cm ² (18 x 3 cm)																					
粒径	0.15~8.00 mm	0.25~26.00 mm																					
落下速度	0~10 m s ⁻¹	0.0~21.4 m s ⁻¹																					
主な特徴	検出された各粒子に対して粒径と速度の観測値が得られる	データはそれぞれ決まった範囲の粒径と速度のクラスに分類される																					

最新見 等情 報シ ート 番号	件名	情報の概要	受理日	1次スクリーニング		2次スクリーニング		
				対応 の方 向性	理由	対応 の方 向性	理由	対応 方 針
		<p>・著者らは、14 のテフラ降下イベントにおいて、LPM 観測で得られた粒径分布データを地上で直接採取されたテフラサンプルのものと比較することで、LPM による粒径分布のリアルタイム観測のポテンシャルを調査した。その結果、10 イベントでは両者が類似していたが、4 イベントについては両者に大きな不一致が見られたとしている。当該 4 イベントにおいても、テフラサンプル分析時のサンプリングバイアスが疑われる 1 イベントを除き、LPM の検出下限の粒径や凝集体と推定される物体を除外するフィルタを適用することで両者が類似することが分かったとした。</p> <p>・堆積速度^{*4} に関しては、採取したサンプルから得られたものと LPM 記録から計算されたものとの関係を示した両対数プロットにおいて、堆積速度が遅い場合に LPM 記録側へやや大きくオフセット(過大評価)しているものの、良好な直線関係が得られたとした。さらに、LPM 記録から凝集体を除外した場合においても、凝集体の寄与が高い 1 イベントを除くと、両者は同じ範囲に入るとしている。</p> <p>・LPM と PS2 の両方で観測されたイベントにおいて、LPM 観測で得られた粒径分布は PS2 観測で得られたものよりも低い中央値を示したが、速度分布は同様な最頻値を示したとしている。また、PS2 記録から計算された堆積速度は LPM 記録から計算されたものに対して高い値を示したとしている。</p> <p>・著者らは、本研究とは異なる噴火/大気条件における LPM データと PS2 データとの比較等の検討の余地はあるものの、LPM によるデータの取得と凝集体を除去するた</p>		<p>降下火砕物濃度を示していないので、既審査結果にも影響を与えるものではないと考えられる。</p> <p>・当該知見は、火山噴火に伴う降灰現象の実態を容易に観測できる可能性を示唆するものであり、これまで困難であった火山灰濃度^{*5} の推定に資する観測データ取得に寄与すると考えられる。また、降灰中の細粒な火山灰粒子が凝集することで粒径の大きい粒子となり、効果的に気中から落下する等、その振る舞いを踏まえた当該知見のデータ処理手法は、その凝集体の割合を観測結果から定量的に見積もることができる可能性があり、安全研究においても活用できる。</p> <p><small>*5: 堆積速度を落下速度(終端速度)で除することで得られる。</small></p> <p>・以上のことから、安全研究における参考情報と整理し、vi) 終了案件とする。</p>				

最新見 等情報シ ート番号	件名	情報の概要	受理日	1次スクリーニング		2次スクリーニング		
				対応 の方向 性	理由	対応 の方向 性	理由	対応 方針
		<p>めのデータ処理によって、実際に採取したサンプルから得られたデータと類似することが確認されたことから、活火山におけるテフラの粒径分布や堆積速度に関する情報をリアルタイムに得られる可能性が示されたと結論づけている。</p> <p>*1: 降水粒子の粒径と落下速度をリアルタイムで計測する地上設置型の気象測器であり、得られた観測データに基づいて、雨や雪等の種々の降水粒子の種別判定ができる。</p> <p>*2: 粒径の度数分布。</p> <p>*3: 論文の内容に基づき、当庁が作成したものである。</p> <p>*4: 単位面積、単位時間当たりの降下テフラの総質量。</p>						

資料の構成

- (1) 当該論文と伊方SSHAC最終報告書の違い
- (2) 当該論文の概要
(論文で考察された事項と課題点)
- (3) SSHACガイドラインについて
- (4) ハザード解析の概要
- (5) 参考文献リスト

(1) 当該論文と伊方SSHAC最終報告書の違い

文献①

題目: SSHACレベル3ガイドラインに基づく伊方サイトでの震源特性モデルの構築

著者: 隈元崇(岡山大学)、他11名

掲載誌: 日本地震工学会論文集

掲載日: 令和4年5月31日

伊方SSHACプロジェクトから得られた知見やノウハウが後続の検討に活用されることを目的として、SSHACプロジェクトレベル3ガイドラインの有効性や評価項目ごとの不確かさの範囲と地震ハザードへの影響度について考察を加えて報告されている。

文献②

題目: SSHACレベル3ガイドラインに基づく伊方サイトでの地震動特性モデルの構築

著者: 藤原広行(防災科学技術研究所)、他12名

掲載誌: 日本地震工学会論文集

掲載日: 令和4年5月31日

最終報告書のうち地震動特性評価に関し、ロジックツリーモデルの中核となる認識論的不確かさに関する議論と当該議論の結果として浮き彫りになった技術的課題を要約して報告されている。

(2) 当該論文の概要 (論文で考察された事項と課題点)

文献①

○地震本部によるモデルとの比較 (伊予灘に位置する中央構造線断層帯)

- 両者のモデルで中央値が異なる項目として断層長さ、震源断層上端深さ、最新活動時期などが異なる。
- 伊方SSHACプロジェクトによるモデルは大局的には地震本部のモデルと整合しており、ロジックツリーにおける多くの分岐によって多様な不確かさを表現したモデルとなっている。

○地震ハザードに影響の大きい分岐項目に関する考察

- 中央構造線断層帯の場合、震源特性モデルの寄与が支配的(年超過確率 10^{-4} の地震ハザードで約67%)。
- 南海トラフの場合、地震動特性モデルの寄与が支配的(年超過確率 10^{-4} の地震ハザードで8割程度)。
- 南海トラフの大地震では歴史史料等に基づき活動履歴が把握されており、地震発生確率の認識論的不確かさが小さい。
- 中央構造線断層帯では地震発生確率の算定の認識論的不確かさ(平均活動間隔、最新活動時期、活動間隔のばらつきなど)の影響が大きい。

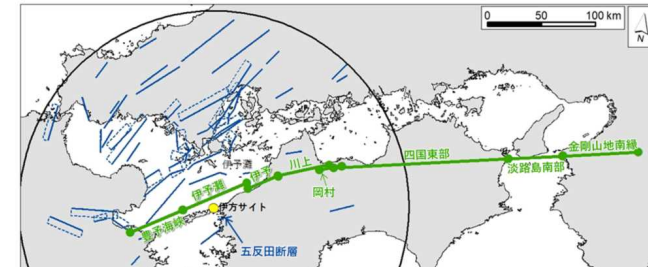


表6 SSHACモデルと地震本部モデルの比較

震源特性項目8		SSHACモデル	地震本部モデル
場所・形状	断層長さ	54 km (伊予灘セグメント)	88 km (伊予灘区間)
	震源断層上端	2 km(1), 3 km(0)	4 km
	震源断層下端	15 km(0.3), 18 km(0.7)	16 km
	断層傾斜角	鉛直(0.5), 北傾斜(40度)(0.5)	鉛直(1/3), 北傾斜(40度)(2/3)

「隈元他(2022), SSHAC レベル 3 ガイドラインに基づく伊方サイトでの震源特性モデルの構築, 日本地震工学会論文集」より引用・編集
<https://doi.org/10.5610/jaee.22.2.37>

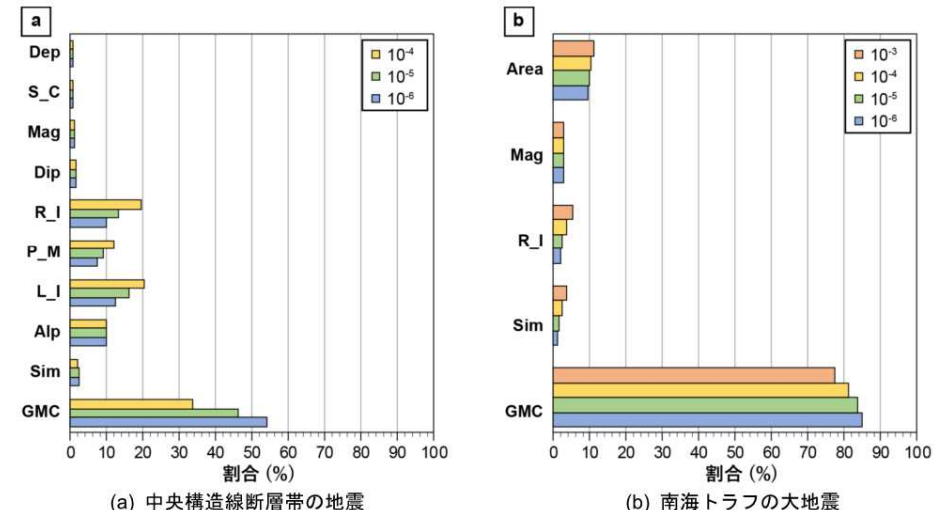


図9 Variance contribution plot. 周期0.02秒の水平動の結果を代表して示す。図中の項目の略称は、Depが断層下端深さ、S_Cが運動時の地震規模評価手法、Magが地震規模予測式、Dipが断層傾斜角、R_Iが平均活動間隔の算定方法、P_Mが地震発生の時系列モデル、L_Iが最新活動時期、Alpが活動間隔のばらつき、Simが運動性評価手法、GMCが地震動特性モデルの影響度の合計値、Areaが断層面積の設定を表す。(a)には伊予灘セグメントを含む中央構造線断層帯の地震のケースを示す。

「隈元他(2022), SSHAC レベル 3 ガイドラインに基づく伊方サイトでの震源特性モデルの構築, 日本地震工学会論文集」より引用
<https://doi.org/10.5610/jaee.22.2.37>

(2) 当該論文の概要 (論文で考察された事項と課題点)

文献②

○同一データベースに基づく 距離減衰式の構築

- 国内では複数の専門家が異なったデータベースに基づき距離減衰式を作成。
- 式のモデル化以外に地震規模・震源距離等の整理基準に起因する不確かさが加わり予測値の違いが大きい。
- 国内における同一かつ高精度の地震動データベースに基づく距離減衰式の構築が望まれる。

○距離減衰式のサイト補正の高度化

- 伊方サイトの地盤増幅特性の適切な評価を行うサイト補正を実施した結果、予測値が大きく乖離。
- 伊方サイトのような硬岩サイトの地震記録が不足。
- 適用した距離減衰式は硬岩サイトにおいて適用範囲外。
- 硬岩サイトに適用可能な距離減衰式の構築、硬岩サイトにおける観測記録の蓄積などが望まれる。

○M9クラスの大規模地震及びサイト近傍の震源への適用性

南海トラフの大地震のようなM9クラスの地震、中央構造線断層帯のような敷地近傍に震源が位置する地震に相当する、大規模、震源が近傍に位置する地震記録が少なく、距離減衰式構築の元となるデータセットの範囲外の地震動評価への適用に課題がある。

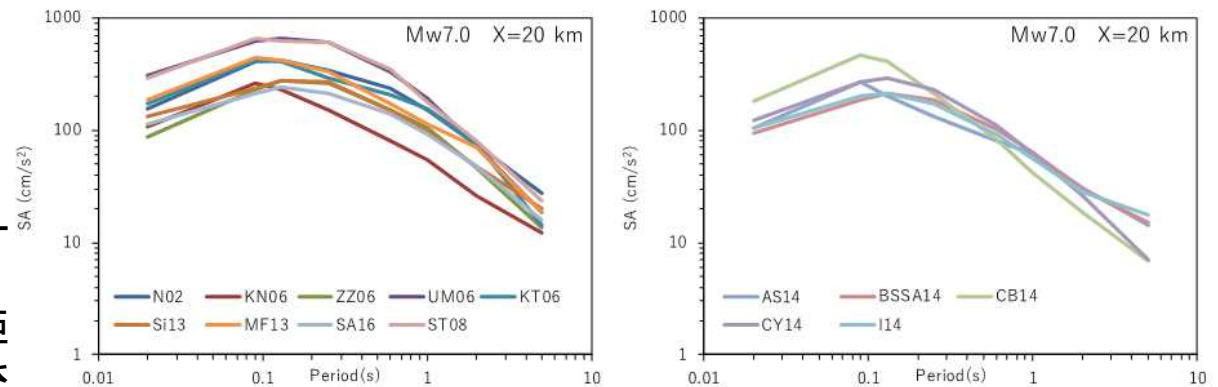
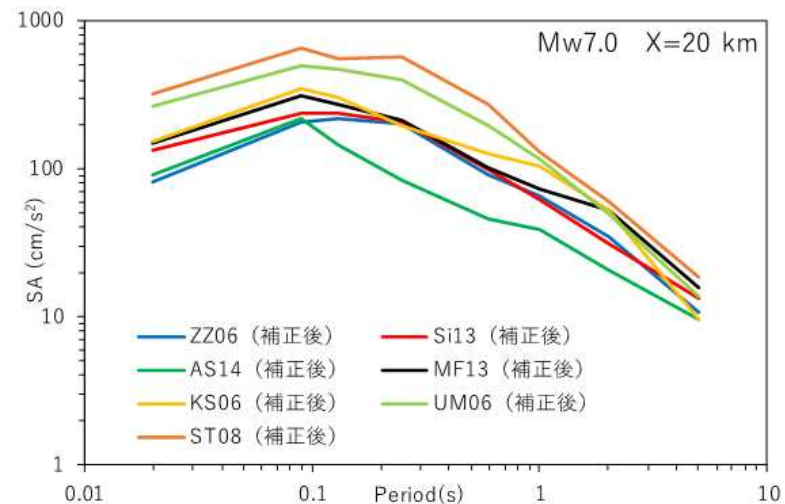


図20 国内のGMPE(左)とNGA-West2式(右)の予測値の比較 (水平方向)

「藤原他(2022), SSHAC レベル 3 ガイドラインに基づく伊方サイトでの地震動特性モデルの構築, 日本地震工学会論文集」より引用
<https://doi.org/10.5610/jaee.22.2.61>

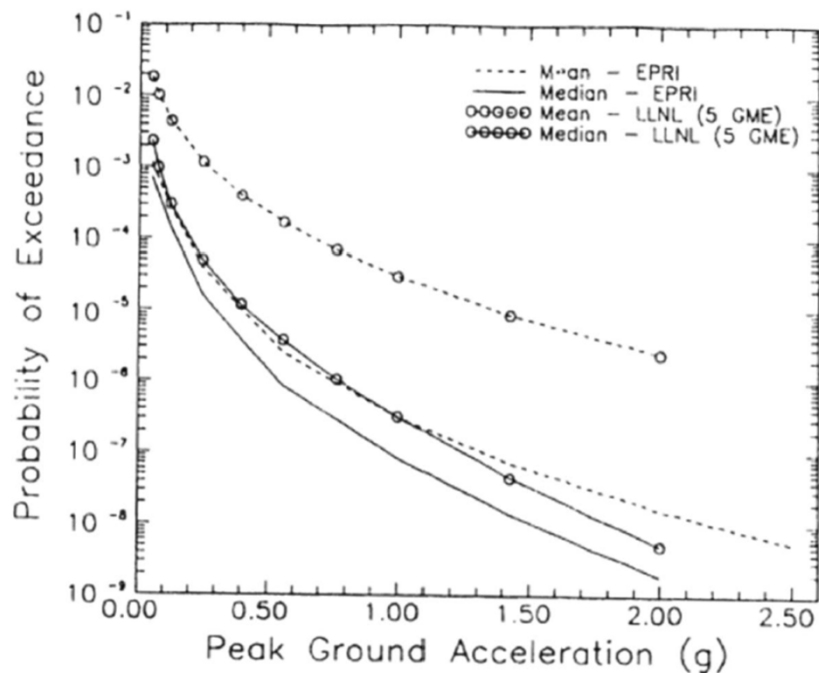


(b) 補正後のGMPEの地震動レベル

「藤原他(2022), SSHAC レベル 3 ガイドラインに基づく伊方サイトでの地震動特性モデルの構築, 日本地震工学会論文集」より引用
<https://doi.org/10.5610/jaee.22.2.61>

(3) SSHACガイドラインについて

- 米国をはじめとした諸外国では、原子力施設等のリスクの定量化に資する確率論的地震ハザード解析(以下「PSHA」という。)を行うに際して、米国NRCが策定したSSHAC(Senior Seismic Hazard Analysis Committee)のガイドライン(NRC, 2018)を適用することが多い。
- SSHACは、1980年代後半の米国で同じ震源・サイトに対して2つの機関が独立にPSHAを実施したところ、平均ハザード曲線に大きな差異(Bernreuter *et al.*, 1987)があり、その要因を検討するために設置された。要因分析の結果、認識論的不確かさと偶然的不確かさを定量評価してハザード曲線に反映する際、専門家間で意見が分かれる認識論的不確かさの取り扱いに差があることが分かった(Budnitz *et al.*, 1997)。
- この知見等を踏まえ、PSHAの認識論的不確かさの定量評価において「技術的に十分主張できる解釈の分布の中央値、分布形状、範囲」に基づいたモデルを構築することを重要な概念として、その具体的な検討手順を示したガイドラインが策定された。



平均ハザード
曲線の比較

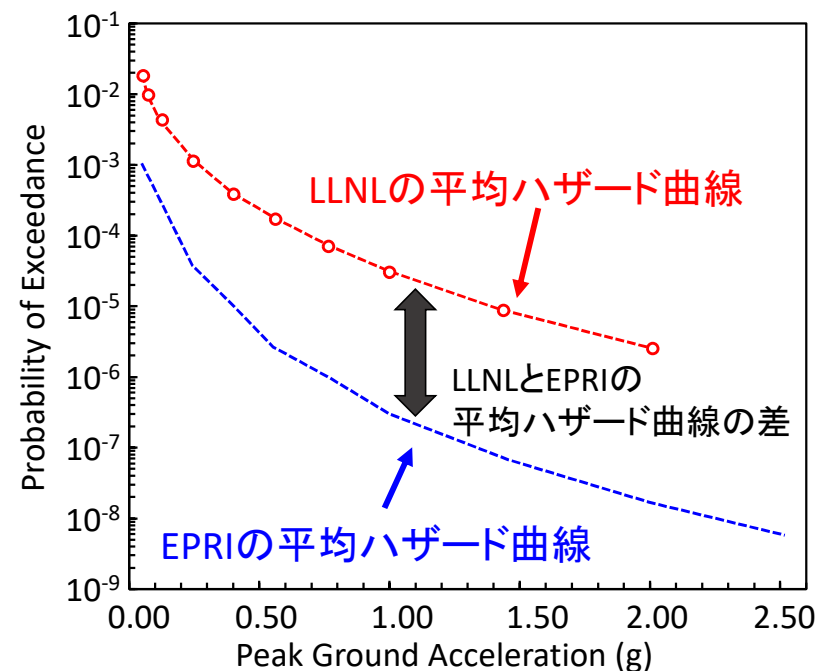
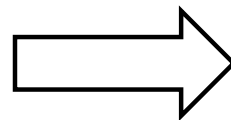
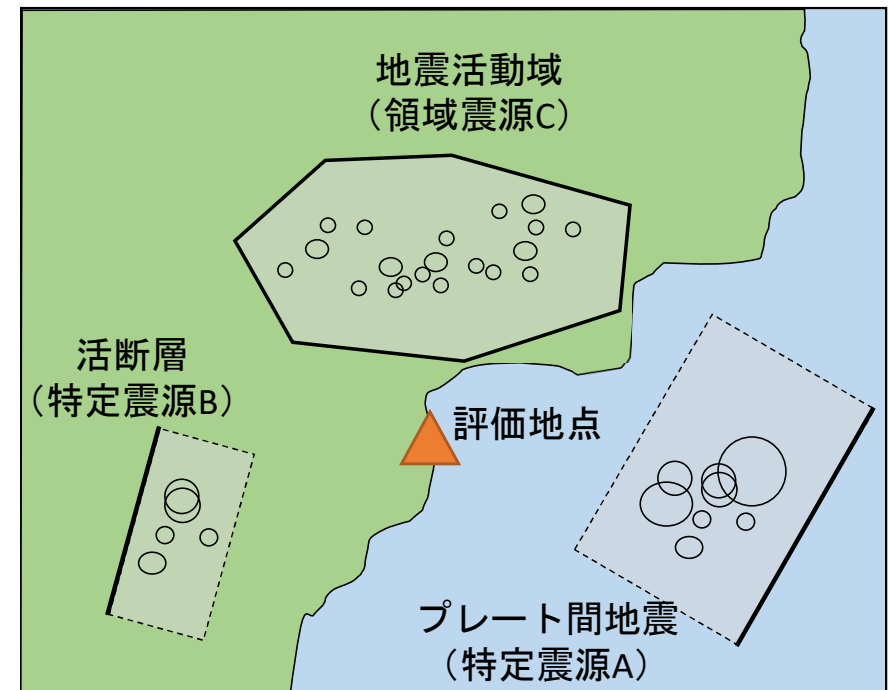
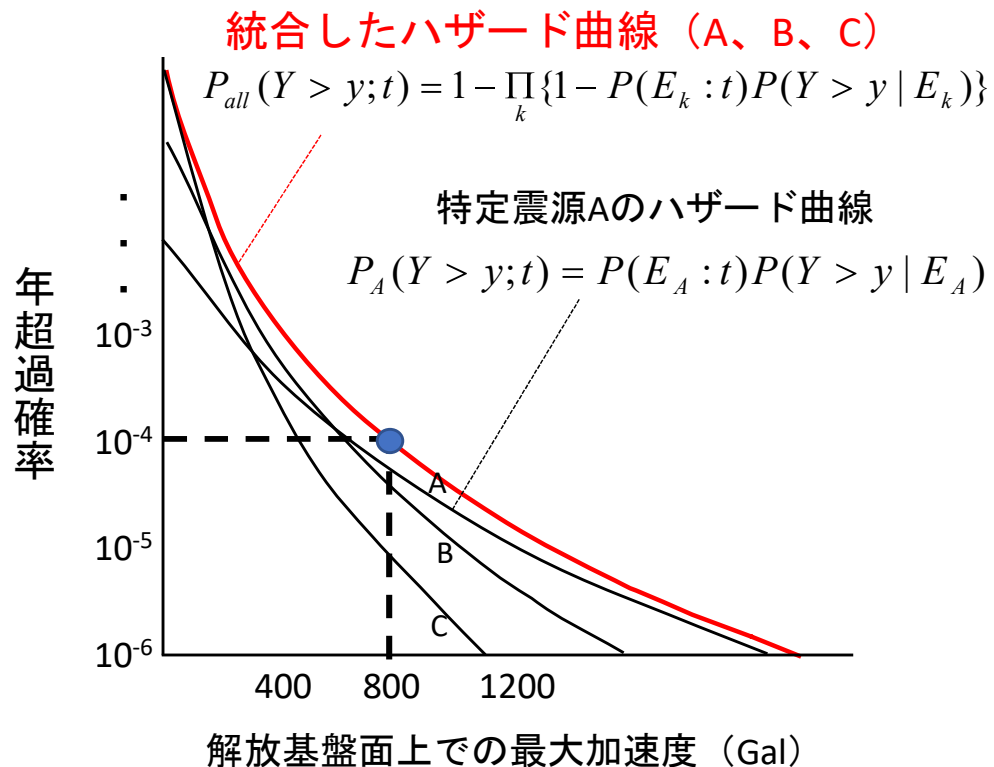


Fig. 65 Mean and median hazard curves for PGA at an NPP site in Central and Eastern United States obtained from the EPRI and LLNL PSHA studies (Bernreuter *et al.* 1987)

米国の電力研究所(EPRI)とローレンス・リバモア国立研究所(LLNL)の平均ハザード曲線の相違

(4) 確率論的地震ハザードの概要 (1/6)

- 確率論地震ハザード解析とは、解析地点に対して影響を及ぼす地震を考慮して、その地点に対して強震動に見舞われる危険度を評価すること（結果をハザード曲線で表現）
- 地震ハザード曲線とは、評価地点において、考慮した複数による地震動強さが着目期間内に任意の値を超える確率を示したもの（超過確率）
- 解析する上で、地震の発生及び揺れの予測に含まれる不確定性を考慮



(4) 確率論的地震ハザードの概要 (2/6)

地震ハザード曲線

着日期間内に地震 E_A が発生する確率
(地震の発生確率)

地震 E_A による地震動が任意の値を超える確率
(地震動の強さの平均値とばらつき)

着日期間内に地震 E_A による地震動が任意の値を超える確率

$$P(E_A : t) \times P(Y > y | E_A) = P_A(Y > y; t)$$

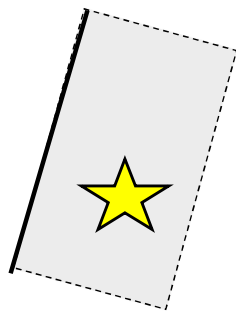
例

$$P(E_A : 1yr) = 1\%$$

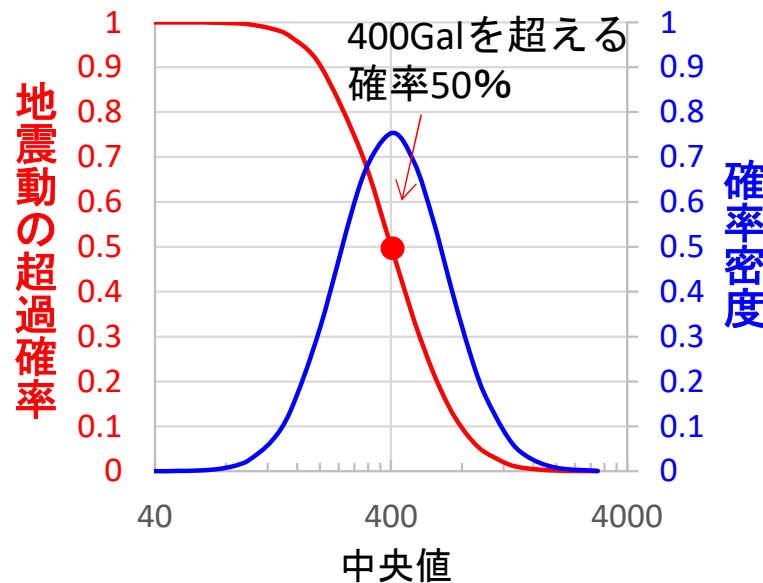
$$P(Y > 400 | E_A) = 50\%$$

$$P_A(Y > 400; 1yr) = 0.5\%$$

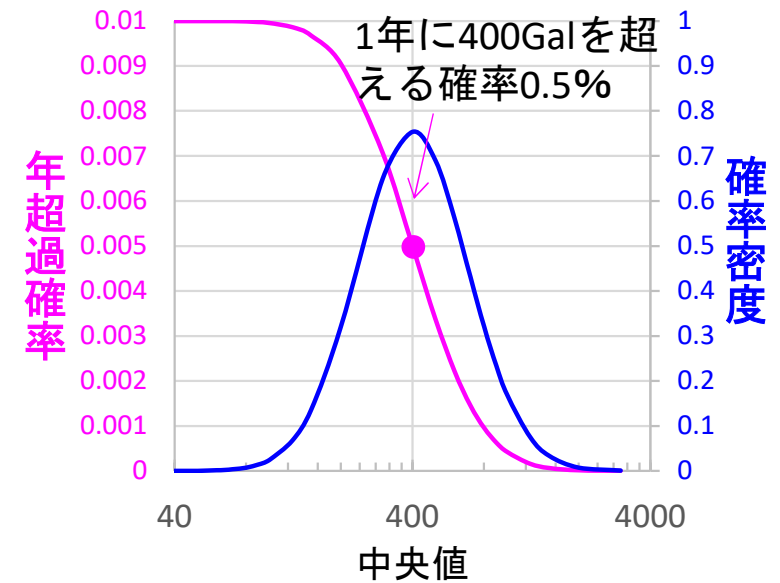
1年発生確率
1%



地震 E_A の
・発生位置
・地震規模



解放基盤面上での最大加速度 (Gal)

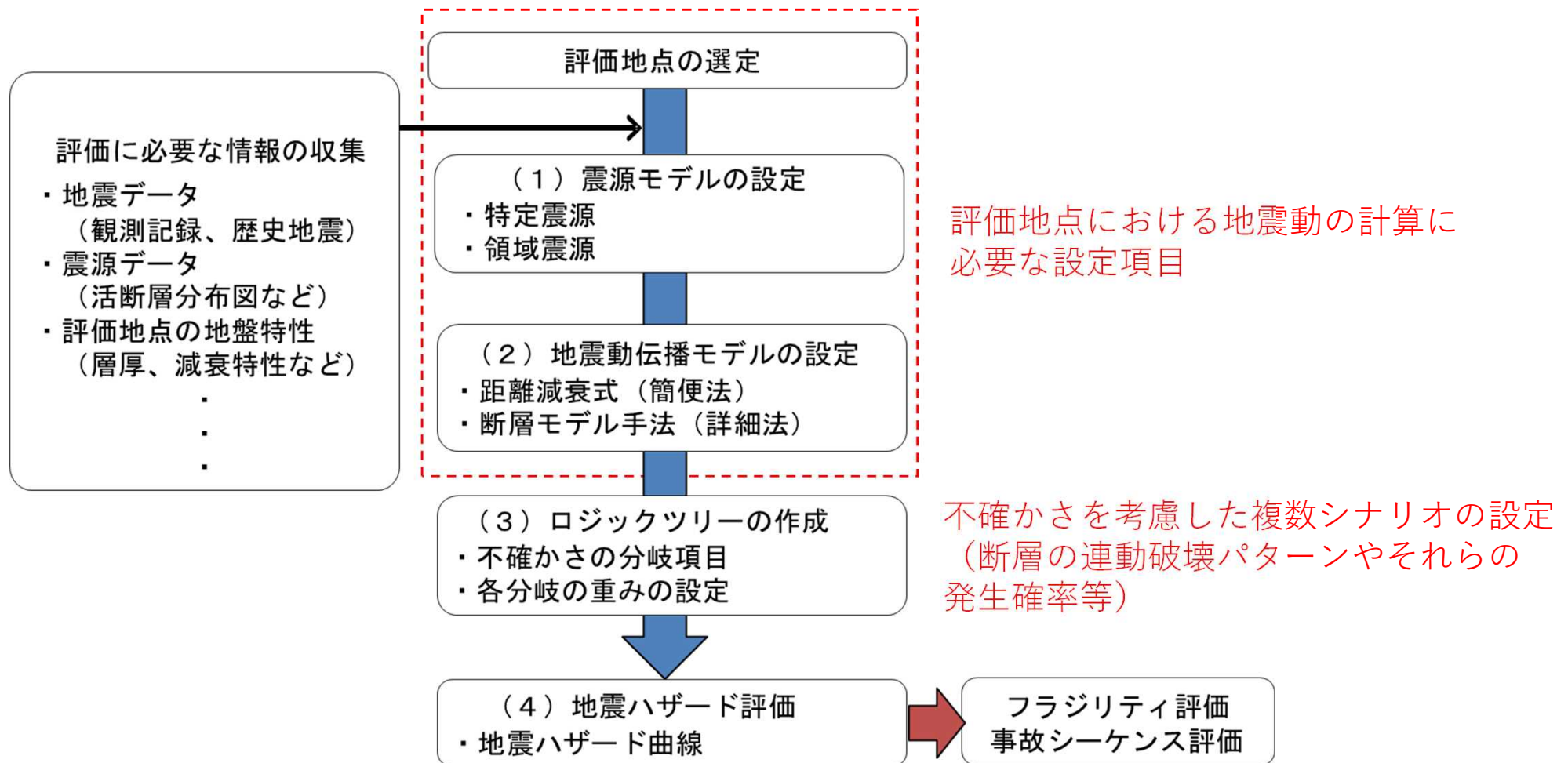


解放基盤面上での最大加速度 (Gal)

(4) 確率論的地震ハザードの概要 (3/6)

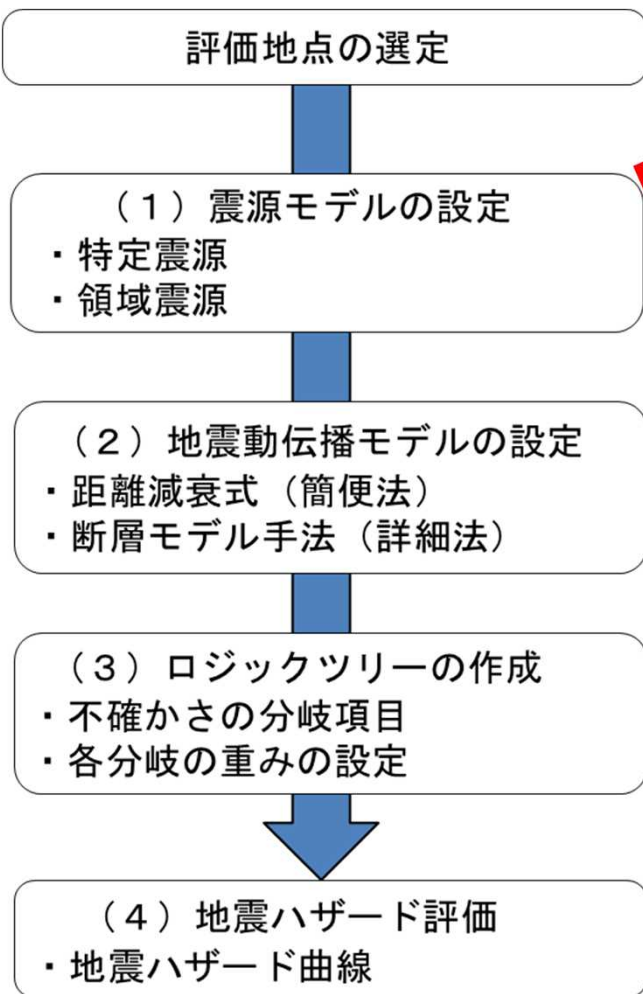
日本原子力学会 (2015) の「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準」における地震ハザード評価の実施手順

確率論的地震ハザード解析の流れ



(4) 確率論的地震ハザードの概要(4/6)

確率論的地震ハザード解析の流れ



(1) 震源モデルの設定

- 特定震源モデル
震源断層の位置・規模が予め特定できる地震を対象に、個別に震源モデルを設定
(内陸の活断層で発生する地震)
- 領域震源モデル
震源断層の位置・規模が予め特定しにくい地震を対象に、地震活動が類似している地域ごとに区分して地震群として震源モデルを設定

(2) 地震動伝播モデルの設定 (距離減衰式の例)

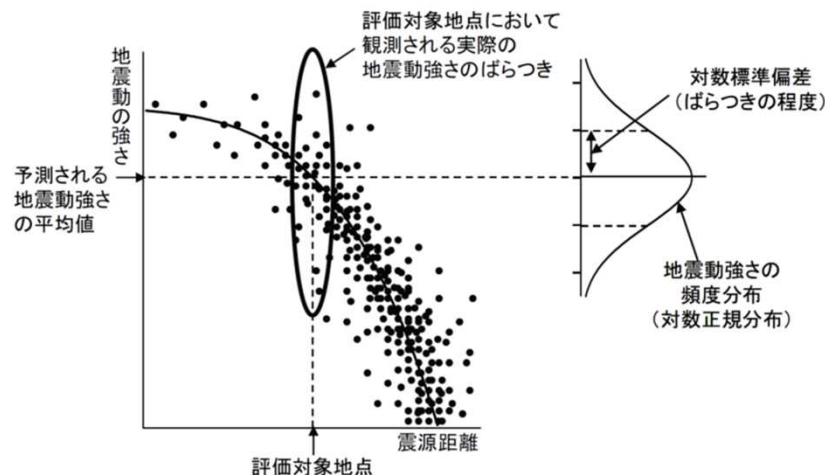
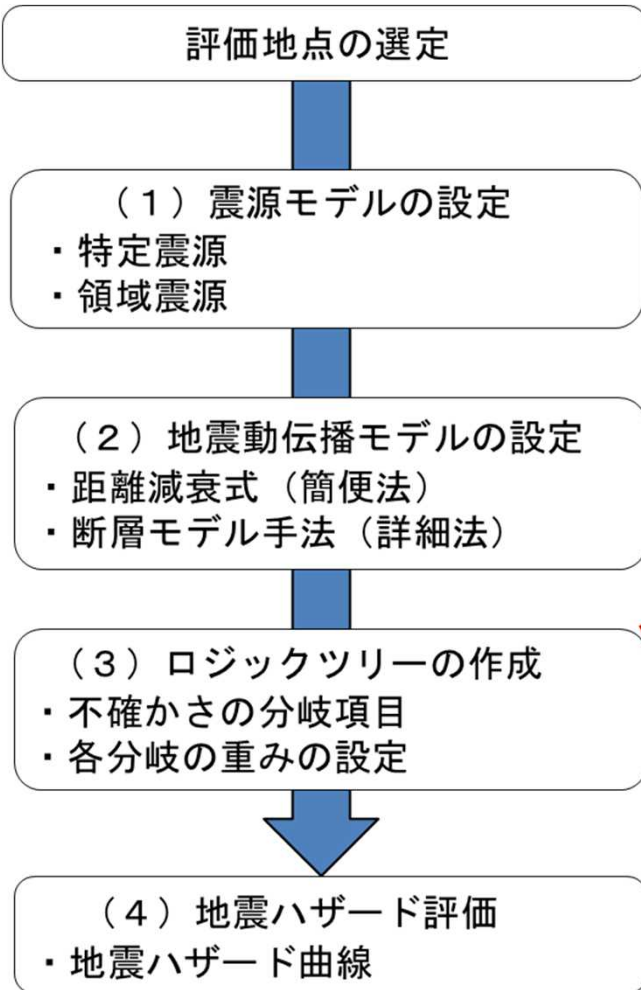


図 2.3.1-1 距離減衰式で予測される地震動強さの平均値とそのばらつき

地震調査研究推進本部地震調査委員会(2006)より引用

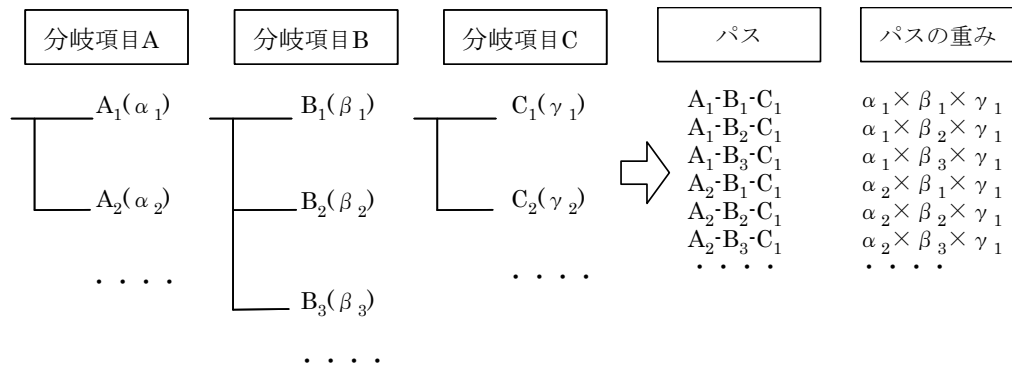
(4) 確率論的地震ハザードの概要 (5/6)

確率論的地震ハザード解析の流れ

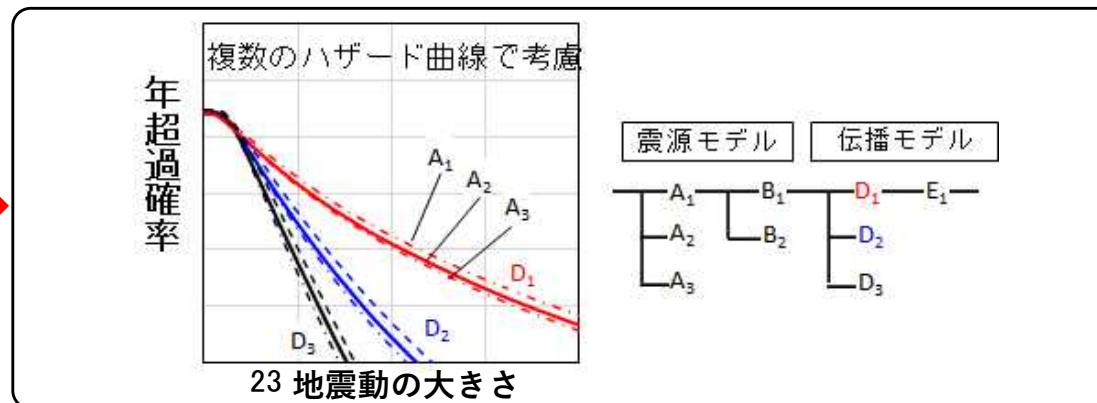


(3) ロジックツリーの作成

- 不確かさを偶然的、認識論的に分類
 - 偶然的：地震の発生や地震動のランダムな性質が原因となって生じる不確かさ
 - 認識論的：知識・認識不足による不確かさ
- 認識論的不確かさは、ロジックツリーで複数のシナリオを表し、それぞれについてハザード曲線を考慮**



(4) 地震ハザード曲線



(4) 確率論的地震ハザードの概要 (6/6)

地震発生及び地震動に含まれる不確かさの考慮

偶然的不確かさと認識論的不確かさに分類

偶然的不確かさとは、地震発生及び地震動に関するランダムな性質による不確実性であり、偶然的不確かさを積分して1本のハザード曲線として考慮

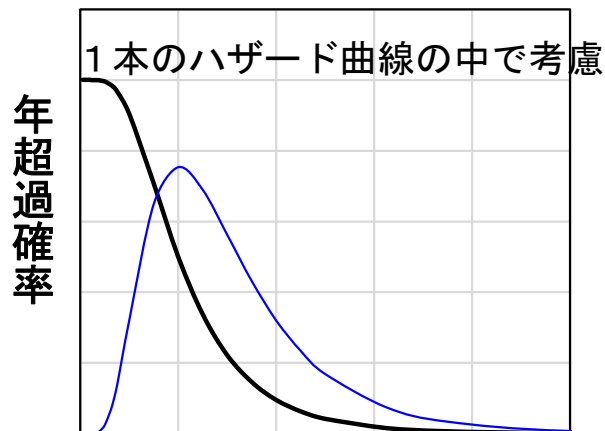
認識的不確かさは、知識・認識不足による不確実性であり、モデルや各パラメータに含まれる不確かさを対象に複数のハザード曲線群として考慮

⇒考慮する際にはロジックツリーを活用

日本原子力学会 (2015)を参考にした不確かさの分類の例

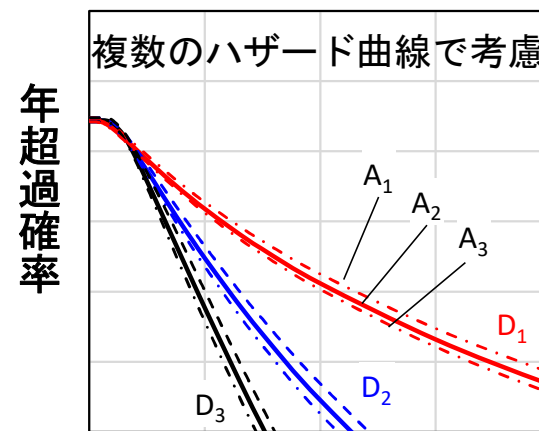
項目	偶然的要因	認識論的要因
震源モデル	<ul style="list-style-type: none"> 震源断層の位置のばらつき 規模のばらつき 発生確率のばらつき 破壊開始地点 など 	<ul style="list-style-type: none"> 断層位置及び形状の設定 (長さ、幅、傾斜角など) セグメンテーションの考慮の有無 規模推定式の選択 発生確率モデルの選択 (定常過程 / 更新過程) 活動間隔の値 最新活動時期 など
地震動伝播モデル	<ul style="list-style-type: none"> 地震動強さのばらつき など 	<ul style="list-style-type: none"> 使用する距離減衰式の種類 地震動予測手法の選択 (距離減衰式、断層モデル手法) 地震動強さのばらつきの値 地震動強さの上限値 (打ち切りの設定) など

偶然的不確かさ

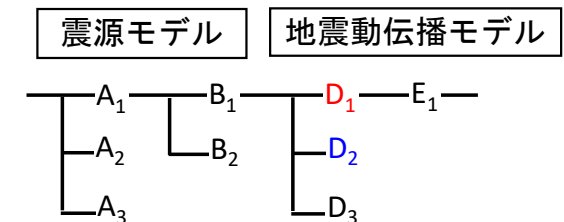


解放基盤面上での最大加速度 (Gal)

認識論的不確かさ



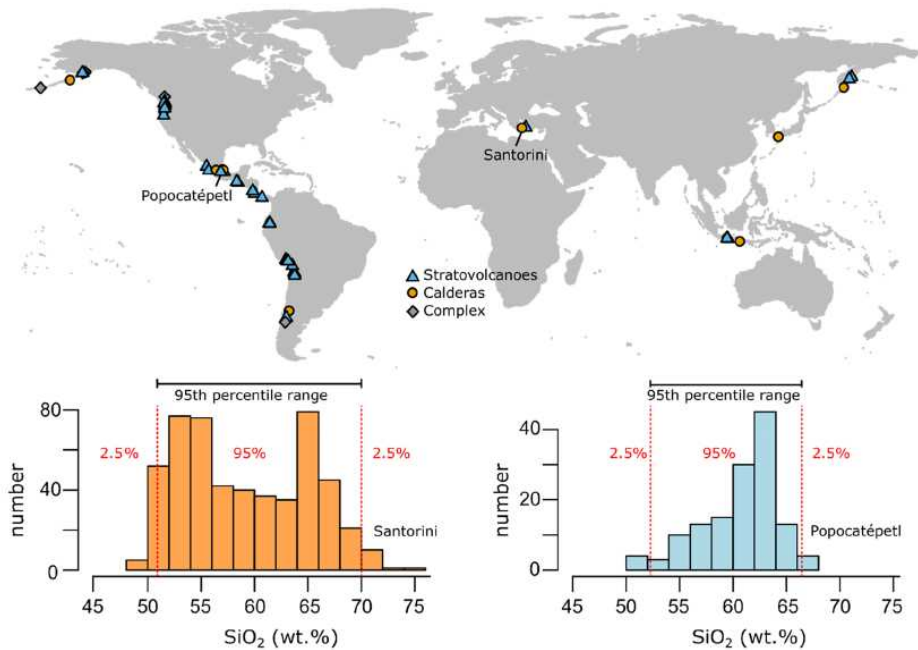
解放基盤面上での最大加速度 (Gal)



(5) 参考文献リスト

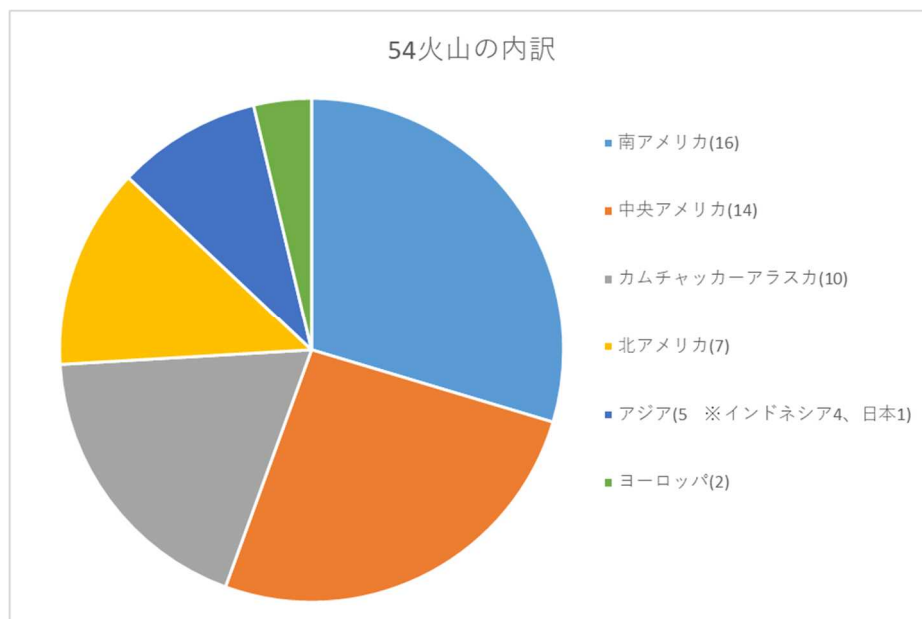
- 隈元崇, 奥村晃史, 佃栄吉, 堤英明, 堤浩之, 遠田晋次, 徳山英一, 大西耕造, 西坂直樹, 大野裕記, 酒井俊朗, 亀田弘行: SSHACレベル3ガイドラインに基づく伊方サイトでの震源特性モデルの構築, 日本地震工学会論文集, Vol. 22, No. 2, pp. 37–60, 2022.
- 藤原広行, 蛭沢勝三, 香川敬生, 司宏俊, 古村孝志, 三宅弘恵, 森川信之, 塩田哲生, 小川裕, 松崎伸一, 宮腰淳一, 酒井俊朗, 亀田弘行: SSHACレベル3ガイドラインに基づく伊方サイトでの地震動特性モデルの構築, 日本地震工学会論文集, Vol. 22, No. 2, pp. 61–87, 2022.
- The United States Nuclear Regulatory Commission: Updated Implementation Guidelines for SSHAC Hazard Studies, The United States Nuclear Regulatory Commission NUREG-2213, 145 pp., 2018.
- Bernreuter DL, Savy JB and Mensing RW: Seismic hazard characterization of the eastern United States: comparative evaluation of the LLNL and EPRI studies. NUREG/CR-4885, The United States Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C., 259 pp., 1987.
- Budnitz, R. J., Apostolakis, G., Boore, D. M., Cluff, L. S., Coppersmith, K. J., Cornell, C. A. and Morris, P. A.: Recommendations for Probabilistic Seismic Hazard Analysis: Guidance on Uncertainty and the Use of Experts, NUREG/CR-6372, two volumes, The United States Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C., 256 pp., 1997.
- Bommer JJ: Earthquake hazard and risk analysis for natural and induced seismicity: towards objective assessments in the face of uncertainty., Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 20, pp. 2825-3069, 2022.
- 日本原子力学会: 日本原子力学会標準 原子力発電所の地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準 (AESJ-SC-P006:2015), 1012 pp., 2015.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会: 「全国を概観した地震動予測地図」報告書2006年版 分冊1: 確率論的地震動予測地図の説明, 2006,
https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/shm_report_2006/ (参照2023-09-15).

「大規模噴火を起こす可能性のある火山の判断に資する地球化学的指標について」に係る補足資料



当該知見で収集及び分析された火山弧に**成層火山(54火山)**の分布する**54火山の位置**と全岩化学組成の例

成層火山(青い三角形)、カルデラ(オレンジ色の円)、および火山複合体(灰色の菱形)の位置を示す。全岩化学分析の結果の例は、左(オレンジ):カルデラ火山(サントリーニ島火山@ギリシャ)、右(水色):成層火山(ポポカテペトル島@メキシコ)。Weber & Sheldrake(2022), Scientific reports (<https://doi.org/10.1038/s41598-022-19902-1>)の Figure 1 より引用。



54火山の地域別内訳

上記 Weber & Sheldrake(2022)の Supplementary Information に記載された火山リストを基に作成したもの。

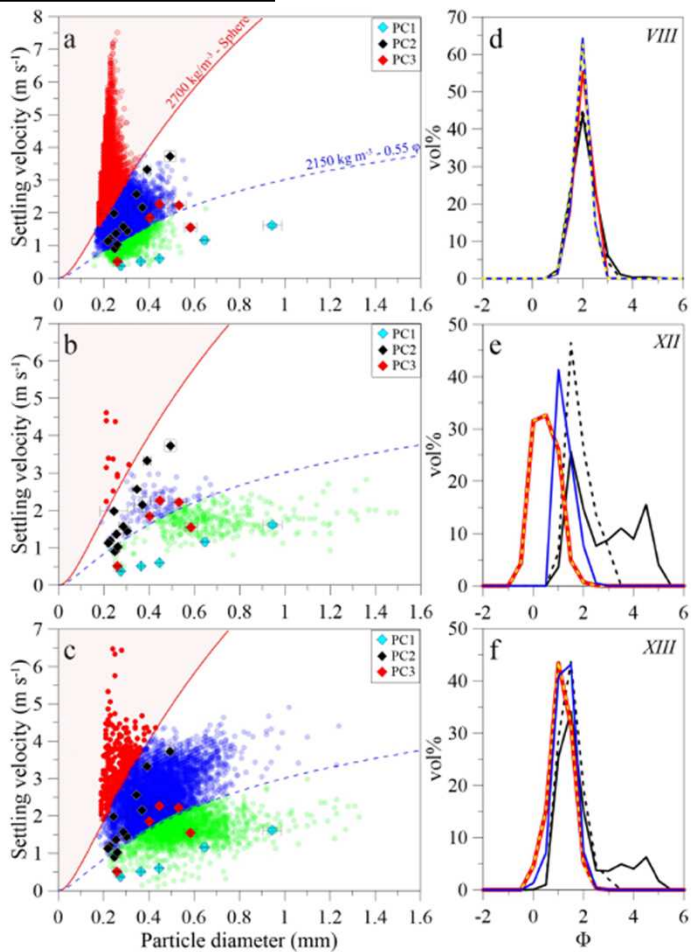
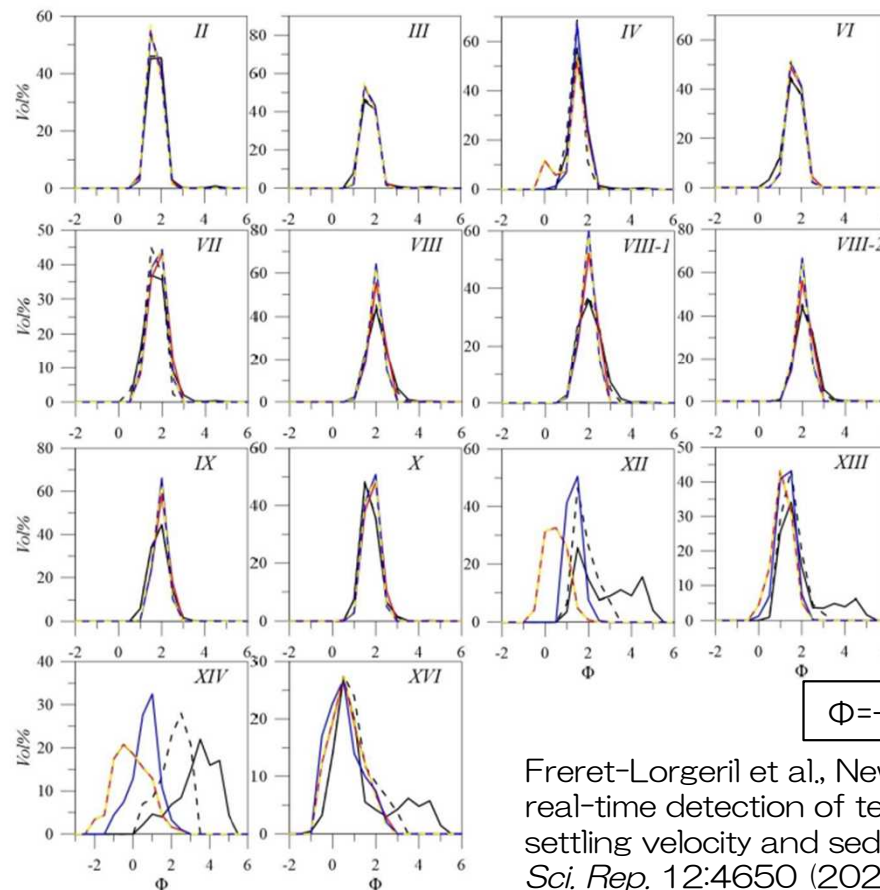


Figure 3. Particle size and velocity measured during the tephra-fallout events (a) VIII, (b) XII and (c) XIII. Red and blue dashed lines indicate the margin trend and the individual-particle trend, respectively. Diamonds indicate aggregate estimates retrieved based on high-speed camera analyses by Diaz-Vecino et al.³⁰ (Blue: Ash Cluster—PC1; black: Coated Particle—PC2; red: Cored Cluster—PC3). Vol% GSD of LPM records and obtained from BETTERSIZER analysis for events VIII, XII and XIII are shown in (d), (e) and (f), respectively. Red: raw LPM data; dashed yellow: LPM data without margin fallers; Blue: LPM filtered for single settling particles; Black: raw BETTERSIZER distributions; Dashed Black: GSD₅₀₇₅ of particles > 0.15 mm.

Figure S1. Grain-size distribution of all recorded and sampled tephra fallout during the measurement campaign. Red: raw LPM data; dashed yellow: LPM data without margin fallers; Blue: LPM for individual particles; Black: BETTERSIZER raw data; Dashed Black: BETTERSIZER without particles < 0.15 mm.



$$\Phi = -\log_2(D [\text{mm}])$$

Freret-Lorgeril et al., New insights into real-time detection of tephra grainsize, settling velocity and sedimentation rate, *Sci. Rep.* 12:4650 (2022).

- 14のテフラ降下イベントにおいて、4イベント (XII~XVI) ではLPM観測で得られた粒径分布と地上で直接採取されたテフラサンプルのもので大きな不一致。
- 当該4サンプルにおいても、LPMの検出下限の粒径を有する粒子を取り除き、凝集体を除去するフィルター (左図の青点線) を適用することで両者が類似 (テフラサンプル分析時のサンプリングバイアスが疑われるイベントXIVを除く)。

当該論文の主要な結果（2）：堆積速度

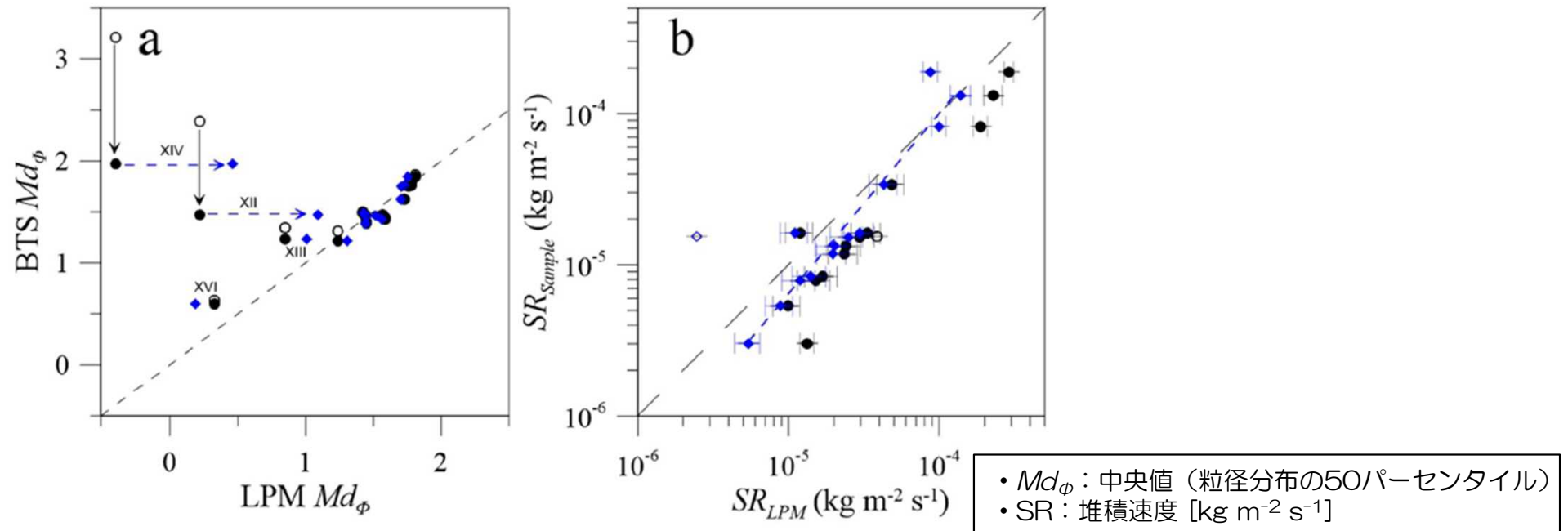


Figure 4. (a) Md_ϕ of the GSD_{LPM} from recorded tephra fallout as a function of Md_ϕ values of the GSD_{BTS} based on collected samples. Open circles: raw GSD_{LPM} (including margin fallers); Black dots: GSD_{BTS} for particles > 0.15 mm vs GSD_{LPM} with margin faller filter; Blue diamonds: GSD_{BTS} for particles > 0.15 mm vs GSD_{LPM} of individual particles (i.e., applying both the margin faller and the individual-particle lowest velocity filters); Black and blue arrows indicate the effect on Md_ϕ values of filtering particles below 0.15 mm in GSD_{BTS} and filtering the aggregates in GSD_{LPM}, respectively. The black dashed line is the one-to-one line. (b) Sedimentation Rate in $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ computed based on sampling in trays (SR_{Sample}) and from the LPM records (SR_{LPM}) of all fallout events. Black: LPM data without margin fallers; Blue diamonds: SR_{LPM} based on GSD_{LPM} with both margin fallers and individual-particle lowest velocity filter; The open symbol indicates event XII for which a large quantity of aggregates was observed in the LPM records (see Fig. 3b). The dashed blue line corresponds to a power-law between SR_{Sample} and SR_{LPM} for individual particles (see text for more details). Horizontal error bars of the mean differences of SR_{LPM} for size classes whose width dD is ± 0.05 mm (see the “Materials and methods” section).

Freret-Lorgeril et al., New insights into real-time detection of tephra grainsize, settling velocity and sedimentation rate, *Sci. Rep.* 12:4650 (2022).

- 採取したサンプルから得られた堆積速度とLPM記録から計算されたものとの関係を示した両対数プロット（右図）において、堆積速度が遅い場合にLPM記録側へやや大きくオフセット（過大評価）しているものの、良好な直線関係が得られた。
- LPM記録から凝集体を除外した場合でも、凝集体の寄与が高い1イベント（右図の白抜きの菱形）を除くと、両者は同じ範囲に入る。

当該論文の主要な結果 (3) : LPMとPS2で得られた観測データの比較

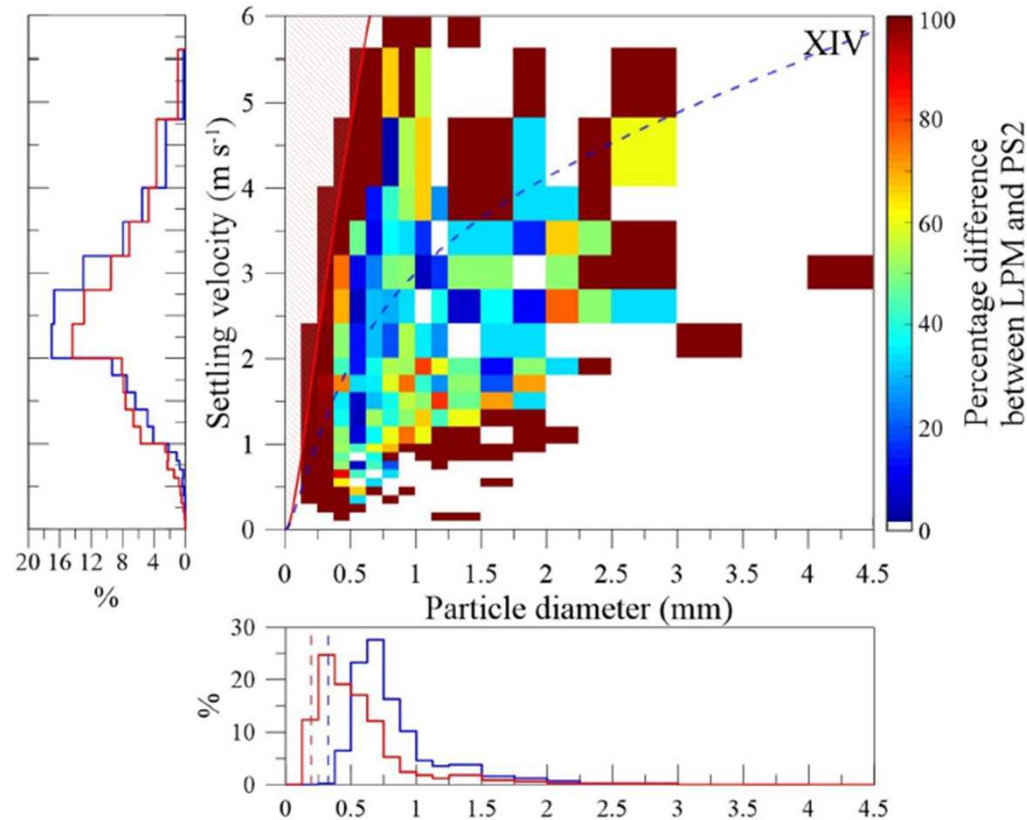


Figure 5. PSVD difference in percentage between LPM vs PS2 records of event XIV (station SVO in Fig. 1a). LPM data are reshaped following the size and velocity bins of PS2 data. Margin fallers have been corrected from LPM data. The red line indicates the trend used to filter margin fallers. The dashed blue line indicates the individual-particle trend. Left and down panels present the number percentage distributions of settling velocities and particle sizes using PS2 class widths, respectively (blue line: PS2; red line: LPM without margin fallers). All velocity and size distributions are in number frequency for a better comparison between both disdrometers. Vertical dashed blue and red lines in both down panels indicate the lower detection limits of the PS2 and the LPM, respectively.

Freret-Lorgeril et al., New insights into real-time detection of tephra grain size, settling velocity and sedimentation rate, *Sci. Rep.* 12:4650 (2022).

- LPM観測で得られた粒径分布（下図）はPS2観測で得られたものよりも低い中央値を示したが、速度分布（左図）は同様な最頻値を示した。
- PS2記録から計算された堆積速度 ($7.2 \pm 0.1 \times 10^{-4} \text{ [kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}]$) はLPM記録から計算されたもの ($2.9 \pm 0.2 \times 10^{-4} \text{ [kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}]$) に対して高い値を示した。