

研究計画（案）

1. プロジェクト (始期：R6年度 終期：R10年度)	1. 地震動評価の精度向上に関する研究	担当部署	技術基盤グループ 地震・津波研究部門
		担当責任者	内田淳一 統括技術研究調査官
2. カテゴリー・研究分野	【横断的原子力安全】 A) 外部事象（地震、津波、火山等）	主担当者	呉 長江 上席技術研究調査官 儘田 豊 主任技術研究調査官 田島礼子 主任技術研究調査官 藤田雅俊 副主任技術研究調査官
3. 背景	<p>「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の解釈」（以下「規則解釈」という。）では、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」をそれぞれ評価し、超過確率を参照した上で、基準地震動を策定することを求めており、最新の研究動向等を踏まえて地震動評価の精度向上を図り、規則解釈等の改正に資する知見を蓄積することが重要である。また、原子力規制検査においてはリスク情報の活用が進みつつあるため、確率論的リスク評価の構成要素の1つである確率論的地震ハザード評価（以下「PSHA」という。）の精度向上が重要となる。上記の「震源を特定せず策定する地震動」、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及びPSHAの3項目について、以下のとおり原子力規制に係る背景及び研究課題を述べる。</p> <p>(1) 震源を特定せず策定する地震動の評価</p> <p>規則解釈では、「震源を特定せず策定する地震動」について、「震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に、各種の不確かさを考慮して敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定し策定すること」とし、その中で「全国共通に考慮すべき地震動」（モーメントマグニチュード(Mw) 6.5程度未満)及び「地域性を考慮する地震動」（Mw6.5程度以上）の2種類を検討対象とすることを求めている。</p> <p>前者の「全国共通に考慮すべき地震動」については、原子力規制委員会が設置した「震源を特定せず策定する地震動に関する検討チーム」（以下「検討チーム」という。）において、震源近傍の内陸地殻内地震の観測記録に基づき標準応答スペクトルが策定され⁽¹⁾、⁽²⁾、令和3年に規制に取り入れられた。一方、検討チームでは、標準応答スペクトルに係る中長期課題として、新たな観測記録の蓄積並びに解放基盤面上の地震動算出（以下「はぎとり解析」という。）の手法及び補正処理等に用いる距離減衰式の精度向上について、技術基盤グループの安全研究として取り組むべきとの整理がなされた⁽¹⁾。安全研究プロジェクト「震源近傍の地震ハザード評価手法の高度化に関する研究」（令和2年度～令和5年度）では、新たに起きた地震の観測記録（5年間分）の収集・追加解析を行い標準応答スペクトルへの影響を確認するとともに、はぎとり解析手法及び距離減衰式に係る調査、試検討等を実施し、それらの結果と残された課題を整理した。今後、これらの検討を踏まえて継続的に最新知見の蓄積・反映を行うことが重要である。</p> <p>後者の「地域性を考慮する地震動」については、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」で、平成12年鳥取県西部地震及び平成20年岩手・宮城内陸地震を検討対象地震として例示している。ただし、これら2つの地震の一部の観測点において、特に地表の観測記録に地形、地盤の非線形等による影響が含まれているため、原子力施設の立地サイトのような硬質地盤の解放面における地震動の算定が困難である等の課題があり、事業者は課題の解決に時間を要している。</p> <p>(2) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の評価</p> <p>「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価に関して、断層モデルを用いた手法（以下「断層モデル法」という。）及び応答スペクトルに基づく手法の2つの手法がある。断層モデル法は、強震動を再現するために必要な震源の特性を主要なパラメータで表した震源モデルを「特性化震源モデル」として設定することにより、震源を特定して策定する地震動を詳細に評価できる手法である。規則解釈では、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」として策定する基準地震動に対し、内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震を検討用地震とした地震動評価について、「敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析した上で、必要に応じて不確かさを組み合わせるなどの適切な手法を用いて考慮すること」とされている。一方で、断層モデル法の方法論である地震調査研究推進本部の「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ）」⁽³⁾は、最新の知見に基づき最もあり得る地震と地震動を評価するためのものであり、上記のパラメータの不確かさの分析や組み合わせの考慮については定めていないため、技術基盤グループの安全研究として取り組むことが重要である。</p> <p>安全研究プロジェクト「震源近傍の地震ハザード評価手法の高度化に関する研究」（令和2年度～令和5年度）では、近年、国内で起きた内陸地殻内地震並びに海外で起きたプレート間地震及び海洋プレート内地震に係る地震動解析⁽⁴⁾、⁽⁵⁾を行い、震源断層パラメータの不確かさや震源断層パラメータの既往の経験式との整合性等に関する知見を蓄積してきた⁽⁶⁾、⁽⁷⁾。ただし、震源モデルの不確かさの取扱いについては、主要パラメータの不確かさを考慮したモデルを構築して地震動解析を行い現行手法の保守性を検証する決定論的な解析に留まっており、全体を俯瞰したモデル設定の合理的な説明が不足しているとの課題がある。そのため、確率論的な視点から、パラメータ間の相関性等を合理的に考慮することにより、観測地震動のばらつきと調和させた地震動評価を行うことが重要である⁽⁸⁾、⁽⁹⁾。また、断層極近傍の地震動評価において、地震調査研究推進本部で公表した2016年熊本地震の観測記録に基づく断層モデル法の検証の中間報告⁽¹⁰⁾では、浅部断層破壊のモデル化を含めて断層極近傍へ適用可能な地震動評価手法の検討が課題として挙げられており、関連の研究動向を反映した評価手法を適時に検討することが重要である。</p> <p>(3) 確率論的地震ハザード評価</p> <p>原子力規制庁が策定した「原子力規制検査において使用する事業者 PRA モデルの適切性確認ガイド」（以下「確認ガイド」という。）では、原子力規制検査で用いるリスク情報を取得する際、事業者が「発電用原子炉施設の安全性の向上のための評価」のために作成した確率論的リスク評価（以下「PRA」という。）モデルの適切性を確認することとしている。PRA から得られるリスク情報は、様々な内部事象及び外部事象（地震を含む）におけるリスクを考慮すべきであるものの、これら事象のPRA手法が実用に資するレベルに必ずしも到達していないことから、確認ガイドでは、これら事象を確認項目にせず、今後これら実施手法の成熟度の進捗に応じ、段階的に確認範囲を拡張していくこととしている。地震に対するPRA実施手法の構成要素であるPSHA手法について、特に他</p>		

	<p>機関や事業者が検討していないような原子力規制に係る観点に着目し、地震発生モデル、地震動特性等における不確かさを適切に評価して同手法の信頼性向上を図り、将来的に原子力規制検査の確認ガイドの改正、「発電用原子炉施設の安全性の向上のための評価」に係る事業者届出書の確認方法の向上等に資する知見を蓄積することが重要である。</p> <p>安全研究プロジェクト「震源近傍の地震ハザード評価手法の高度化に関する研究」（令和2年度～令和5年度）では、活断層による地震を対象に、従来の同じ規模の地震が繰り返し発生する固有地震モデルではなく、固有規模に不確かさを考慮した地震発生モデルについて調査・解析を実施した。その中で、活断層における固有の地震規模よりも一回り小さい地震のモデル化上の取扱い、震源を予め特定しにくい地震等のような領域震源として扱う地震のモデル化方法等についても課題があることが分かった⁽¹¹⁾。</p> <p>また、PSHA に影響を及ぼす各種不確かさの中では、地震動を推定する距離減衰式のばらつきが最も顕著であることが知られている⁽¹²⁾。特に現行の距離減衰式は広域かつ複数観測点のデータから回帰しており、単一サイトの地震動のばらつきが評価されていないため、原子力施設のような特定地点のPSHAへの適用性について課題がある。この課題は国際的に注目され、IAEAの個別安全指針「原子炉等施設の立地評価における地震ハザード」（SSG-9）⁽¹³⁾においても取り上げられている。令和5年度までは、既存の距離減衰式を対象に単一サイトのばらつき評価について調査、比較検討等を実施した。今後、原子力施設の立地サイトに適用する距離減衰式の精緻化の一環として、上記「震源を特定せず策定する地震動」で検討したはぎとり解析結果等の活用を含めて単一サイトのばらつき評価を実施することが重要である。</p>
4. 目的	<p>本プロジェクトでは、「震源を特定せず策定する地震動」及び「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価手法の調査を行って技術的知見を蓄積するとともに、確率論的地震ハザード評価手法の改善を行い、地震動評価の精度を向上することを目的とする。</p> <p>(1) 震源を特定せず策定する地震動評価の精度向上</p> <p>震源を特定せず策定する地震動のうち、全国共通に考慮すべき地震動（Mw6.5程度未満）の標準応答スペクトルに関する新たな観測記録の追加解析、最新知見を反映した手法に係る分析等を行うとともに、地域性を考慮する地震動（Mw6.5程度以上）の評価手法を調査・整備し、地震動評価の精度向上を図る。</p> <p>(2) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動評価の精度向上</p> <p>確率論的手法を用いた断層モデル法を調査し、震源パラメータの設定における不確かさの取扱いに係る知見を蓄積するとともに、地表に地震断層が現れた内陸地殻内地震の地震動検証解析等を実施することにより、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動評価の精度向上を図る。</p> <p>(3) 確率論的地震ハザード評価の精度向上</p> <p>活断層で発生する地震及び領域震源として扱うような地震の規模・発生頻度等のモデルの設定手法、及び地震動におけるサイト特性等の不確かさの適切な評価方法を調査・分析し、確率論的地震ハザード評価の精度向上を図る。</p>
5. 知見の活用先	<p>本プロジェクトの項目(1)、(2)及び(3)で得られた成果は、NRA技術ノート、論文等を作成することより、「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の解釈」別記2第4条第5項、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」及び「原子力規制検査において使用する事業者PRAモデルの適切性確認ガイド」の改正に資するとともに、「発電用原子炉施設の安全性の向上のための評価」（核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第43条の3の29）に対応した事業者届出書の確認に活用される。</p>
6. 安全研究概要 (始期：R6年度) (終期：R10年度)	<p>本プロジェクトの研究は、「原子力規制委員会における安全研究の基本方針」（令和元年5月29日原子力規制委員会決定）における安全研究の目的のうち以下の分類に基づき実施する。</p> <p>① 規制基準等の整備に活用するための知見の収集・整備（以下「分類①」という。）</p> <p>④ 技術基盤の構築・維持（以下「分類④」という。）</p> <p>(1) 震源を特定せず策定する地震動評価の精度向上【分類①】</p> <p>「震源を特定せず策定する地震動」のうち「全国共通に考慮すべき地震動」（Mw6.5程度未満）については、令和元年に検討チームにおいて、震源近傍の多数の記録の統計処理結果に基づいて地震基盤相当面における標準応答スペクトルを策定したが（図1）、新たな観測記録の蓄積及びはぎとり解析・補正処理手法の精度向上については中長期課題として整理された。令和5年度までに、新たな記録の収集・追加解析（5年間分）、最新知見等を考慮した手法の調査・試検討等を実施し、更なる観測記録の蓄積及び検討手法に係る残された課題の解決が重要であることが分かった。そこで、本研究では、これまでに対象とした平成12年から令和4年までの期間よりも後に起きた内陸地殻内地震の観測記録の収集・追加解析を継続的に実施して定期的に標準応答スペクトルへの影響確認を行うとともに、はぎとり解析手法及び距離減衰式（補正処理等に使用）に対して最新知見等を反映するための調査、分析、適用解析等を実施し、標準応答スペクトル評価の精度向上を図る（図2）。また、「地域性を考慮する地震動」（Mw6.5程度以上）については、対象地震の地震動観測記録を精査・解析するとともに、適切な観測記録のない地域にも適用可能な確率論的手法等に基づいた地震動評価結果と比較検討を行うことにより、地域性を考慮する地震動の評価手法の適用性を確認する。以上により、震源を特定せず策定する地震動の評価の精度向上を図る。</p> <p>(2) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動評価の精度向上【分類①】</p> <p>断層モデル法は、「特性化震源モデル」を用いて観測地震動を詳細に再現できる手法であり、各サイトの基準地震動を策定する際、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価に採用されている。令和5年度までは、近年、国内外で起きた地震の地震動解析を行い、震源断層パラメータの不確かさや既往の経験式との整合性等に関する知見を蓄積してきた。ただし、震源モデルの不確かさの取扱いについて、主要パラメータの不確かさを考慮したモデルを構築して地震動解析を行うことにより現行手法の保守性を検証する決定論的な解析に留まっている。そこで、本研究では、震源断層パラメータの設定における不確かさの取扱い等において、断層モデル法のPSHAへの適用手法を整備し、全体を俯瞰した上でモデル設定の合理的な方法の提示を図る（図3）。また、断層極近傍の地震動評価の精度向上のため、特に浅部断層破壊のモデル化について、地震調査研究推進本部の動向等を踏まえつつ、地表に震源断層が現れた内陸地殻内地震の地震動の検証解析等を実施する（図4）。</p>

(3) 確率論的地震ハザード評価の精度向上【分類①④】

PSHA は基準地震動策定において超過確率を参照するために実施され、対象サイトで生じる地震・地震動の不確かさが適切に考慮されていることが重要となる。従来は、活断層で発生する地震に対しては、想定される固有規模を主な対象としてその規模と発生確率がモデル化されてきたが、近年、固有規模よりも一回り小さい地震も発生しており、モデル化上の取扱いに課題がある。また、震源を予め特定しにくい地震等の領域震源のモデル化方法についても対象地震や規模の設定等について課題がある。一方、地震動を推定する距離減衰式については、原子力サイトのような硬質な地盤を対象としたサイト特性等に関する研究事例が十分とは言えず、更なる知見の蓄積が重要である。以上を踏まえ、本研究では、活断層で発生する地震及び領域震源として扱うような地震を対象に地震発生モデルや震源モデルの設定手法を整備するとともに、原子力サイトの地盤に適用可能な距離減衰式におけるサイト特性等の不確かさの分析を行う。また、本研究での分析結果を反映した PSHA を行い、その影響度合いを分析する (図 5)。

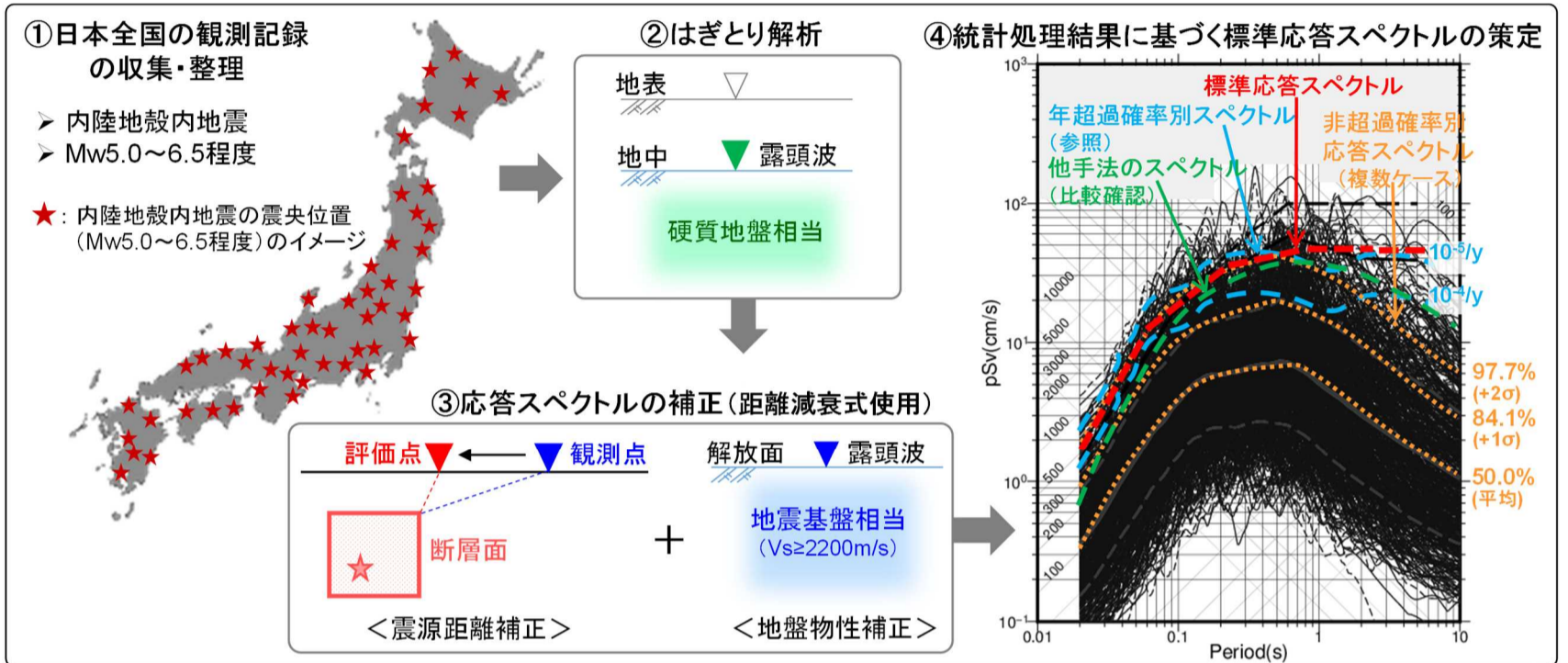


図 1 震源を特定せず策定する地震動の標準応答スペクトルの検討

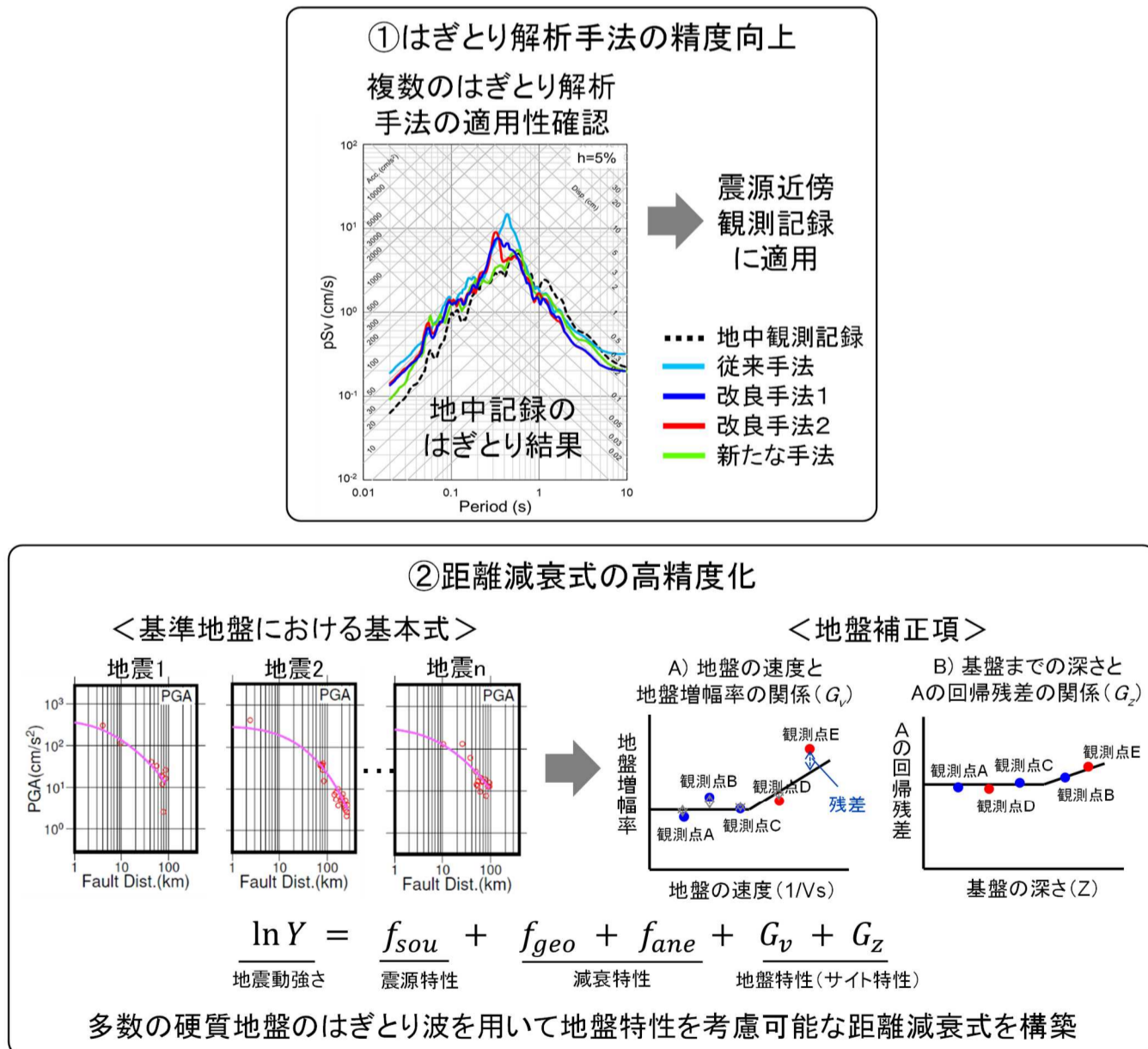


図 2 震源を特定せず策定する地震動評価の精度向上

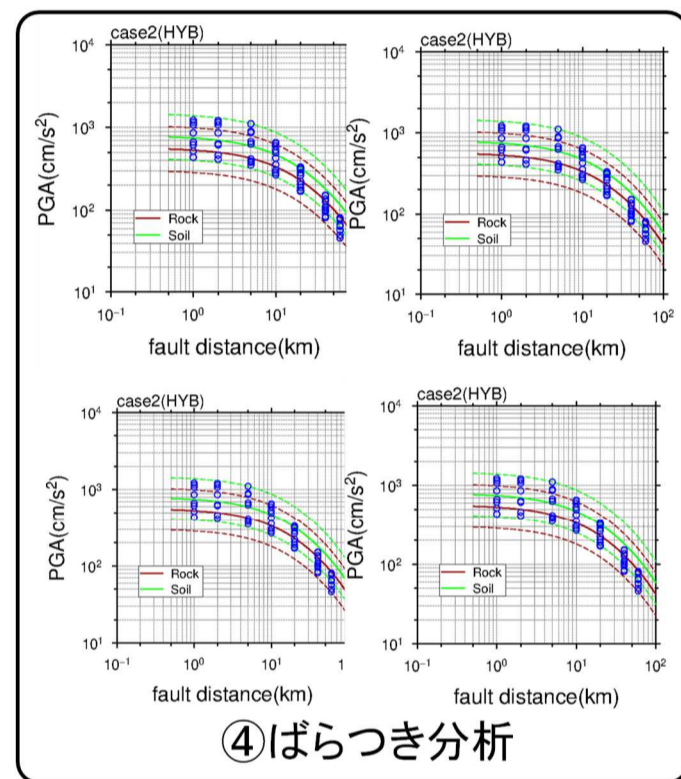
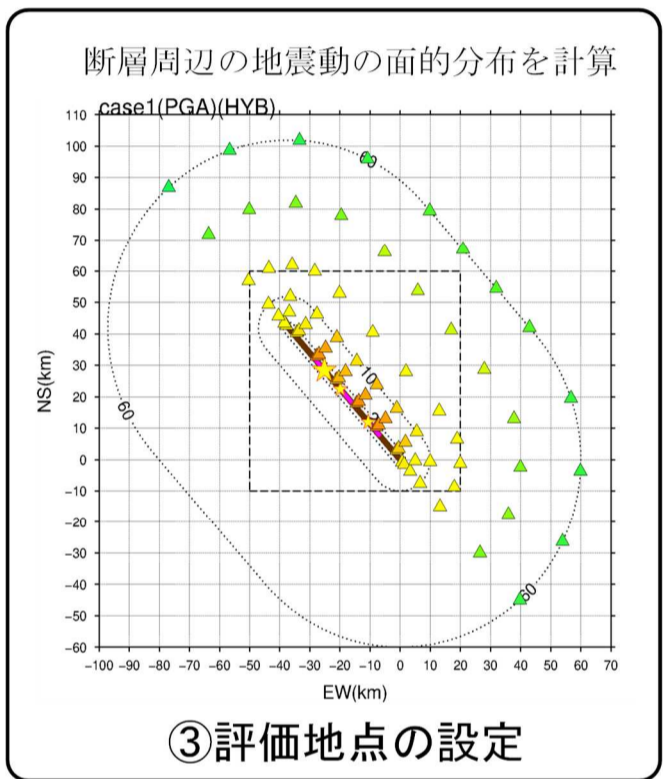
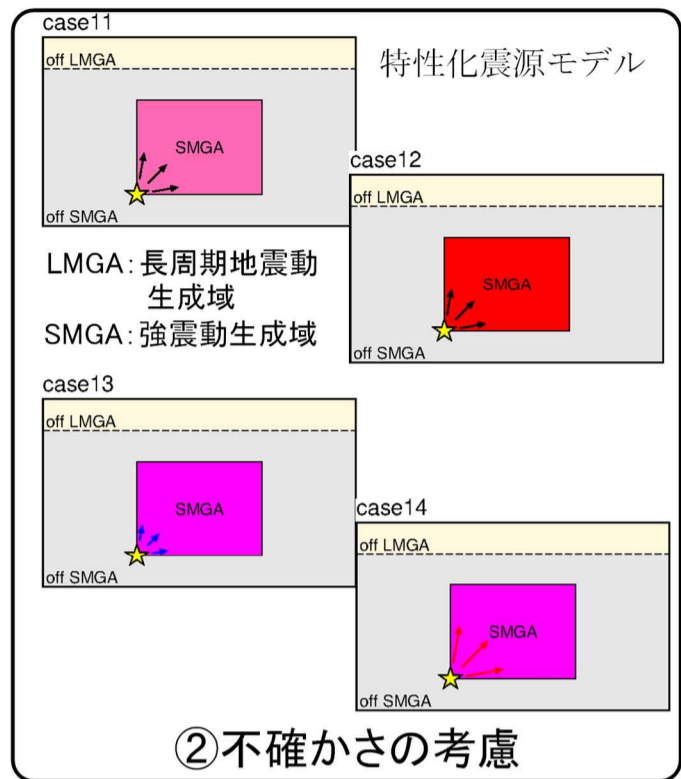
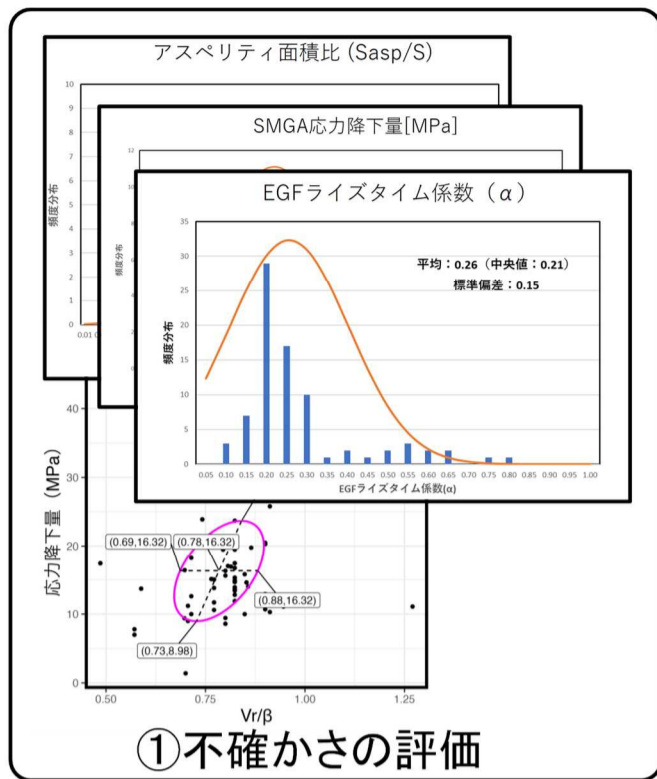


図3 震源パラメータの不確かさの取扱いに係る調査の流れ

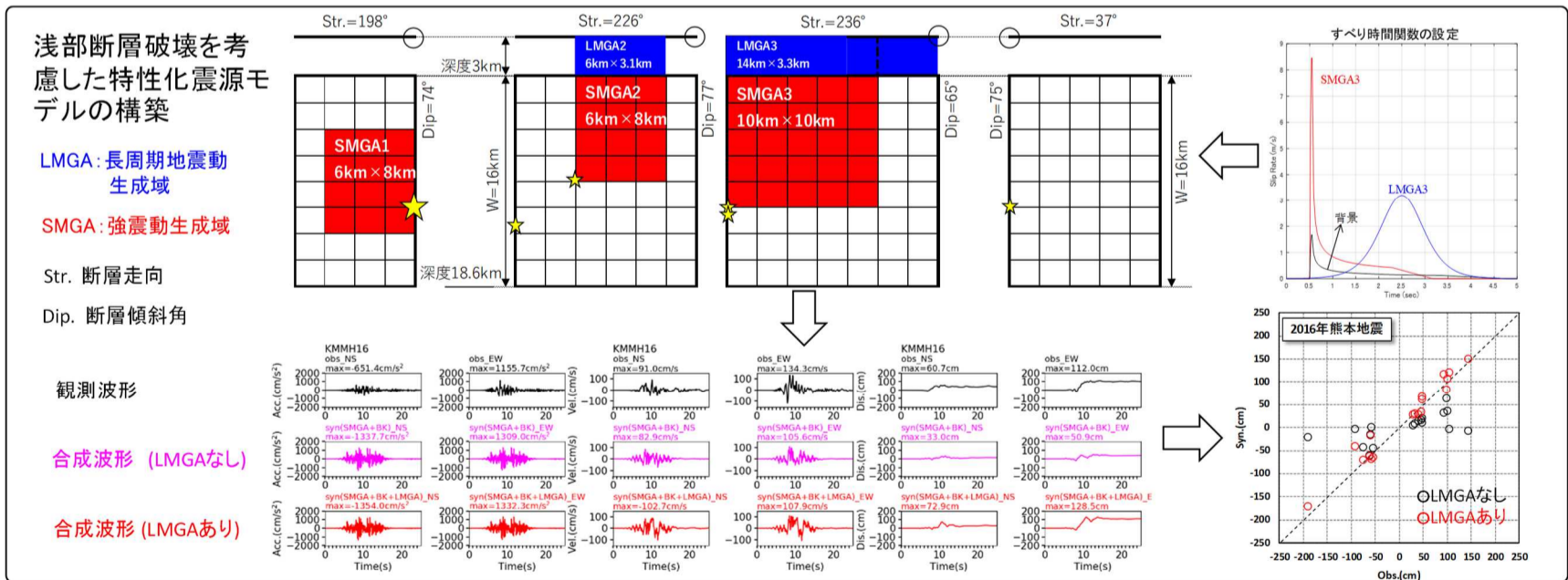


図4 震源極近傍の地震動評価のスキーム

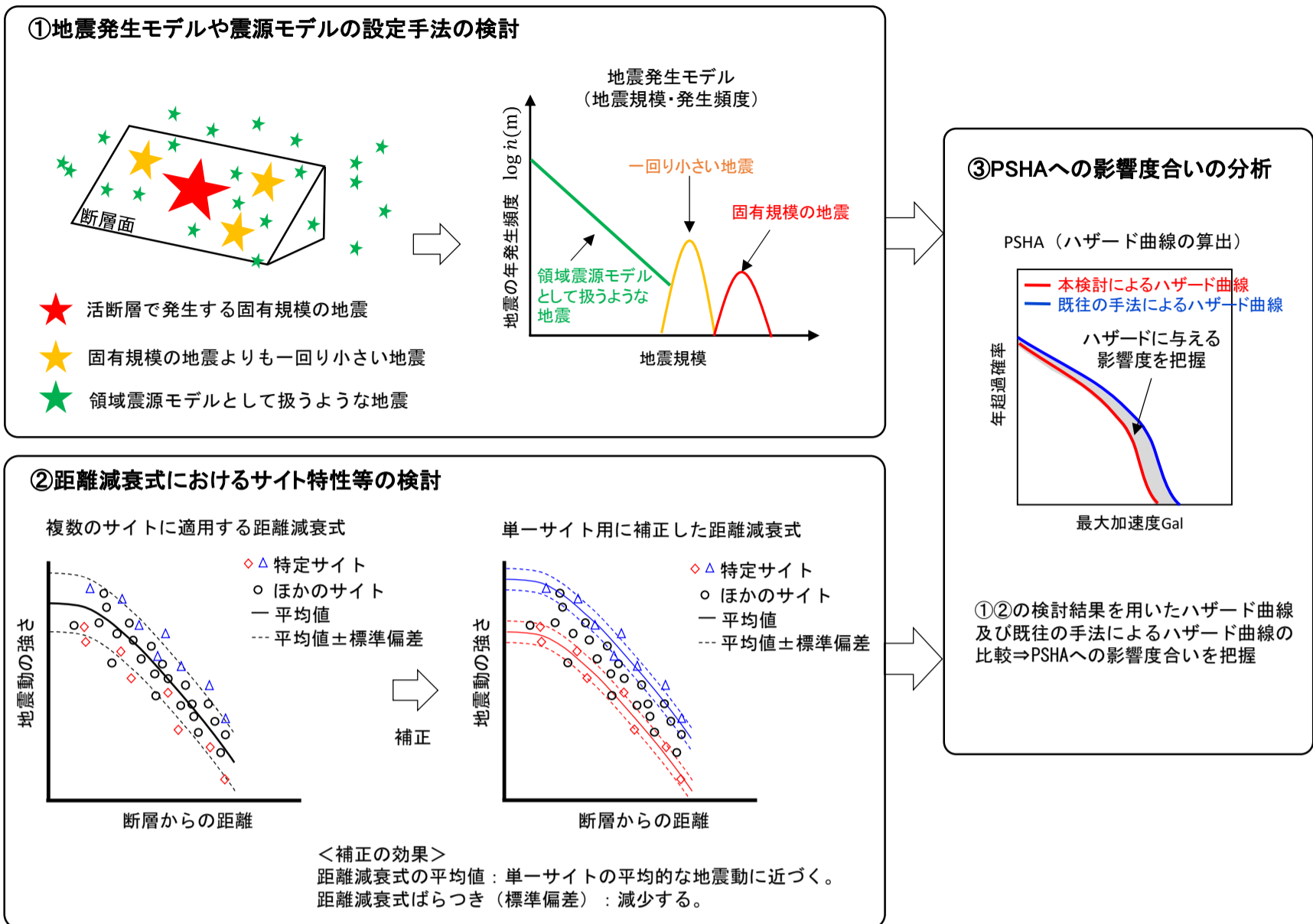


図5 確率論的地震ハザード評価の精度向上

7. 成果目標と実施計画

(1) 震源を特定せず策定する地震動評価の精度向上

成果目標：「震源を特定せず策定する地震動」のうち「全国共通に考慮すべき地震動」について、標準応答スペクトルに関する新たな観測記録の追加解析、最新知見を反映した手法等に係る知見を蓄積し、従来の評価結果への影響を確認するとともに評価手法の精度向上を図る。また、「地域性を考慮する地震動」の解析データ及び評価手法に係る知見を蓄積し、地震動評価の精度向上に資する。得られた成果は NRA 技術ノート、論文等として公表する。

実施計画：「全国共通に考慮すべき地震動」については、震源近傍の多数の記録の統計処理結果に基づいて策定した標準応答スペクトルについて、原則令和 5 年以降に起きた内陸地殻内地震の震源近傍の観測記録を収集して追加解析を毎年度実施し、従来結果と比較して新たな観測記録の影響を定期的に確認する。さらに、最新知見を反映したはざり解析手法を適用するための調査・分析等を令和 7 年度までに実施した上で、当該手法を令和 9 年度までに標準応答スペクトル策定に用いた観測記録に適用するとともに、令和 5 年度までに試作した地盤増幅特性を考慮可能な応答スペクトルの距離減衰式を高精度化するためのデータ追加・分析等を令和 9 年度までに実施し、令和 10 年度までに結果・課題を整理する。また、「地域性を考慮する地震動」については、対象地震の地震動観測記録を令和 8 年度までに精査・解析し、確率論的手法等に基づいた地震動評価結果との比較検討を令和 10 年度までに行うことにより、地域性を考慮する地震動の評価手法を整備し、課題を整理する。

(2) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動評価の精度向上

成果目標：震源パラメータの設定における不確かさの取扱い、浅部断層破壊のモデル化等に係る知見を蓄積し、全体を俯瞰した上で震源断層モデル設定の合理的な方法の提示を図る。得られた成果は論文等として公表する。

実施計画：断層モデルの震源パラメータの設定における不確かさの評価について調査・分析し、相関性を考慮した複数パラメータの不確かさの確率分布に基づき、不確かさを考慮した断層モデル法による地震動評価を行い、その結果を観測地震動のばらつきと比較・分析することにより、断層モデル法の確率論的地震動ハザード評価への適用手法を令和 10 年度までに整備する。また、断層極近傍の地震動評価について、特に浅部断層破壊のモデル化に関し、地震調査研究推進本部の動向等を踏まえつつ、地表に地震断層が現れた内陸地殻内地震の地震動検証解析等を令和 10 年度までに実施する。

(3) 確率論的地震ハザード評価の精度向上

成果目標：活断層で発生する地震及び領域震源として扱うような地震に関する地震発生モデル・震源モデルの設定手法、並びに距離減衰式におけるサイト特性等の不確かさに係る知見を蓄積し、それぞれの不確かさが確率論的地震ハザードの評価精度に与える影響度合いを把握することにより確率論的地震ハザード評価の精度向上に資する。得られた成果は論文等として公表する。

実施計画：活断層で発生する固有規模の地震及び一回り小さい地震並びに領域震源として扱うような地震を対象に、発生頻度等の地震発生モデルの設定方法並びに震源モデルを特定震源及び領域震源としてモデル化する場合の設定方法について令和7年度までに調査・分析を行い、令和9年度までに課題抽出、モデルの改善、試解析等を実施する。また、原子力サイトの地盤に適用可能な距離減衰式におけるサイト特性を把握するために、令和7年度までに最新知見を調査するとともに、令和9年度までに(1)におけるはざと解析結果、距離減衰式等を活用して単一サイトのばらつきを分析する。その上で、令和10年度までに本研究での分析結果を反映した地震発生モデル・震源モデルの設定手法及び距離減衰式におけるサイト特性等の不確かさを考慮してPSHAを行い、その影響度合いを分析し、結果・課題を整理する。

行程表

項目	R6年度	R7年度	R8年度	R9年度	R10年度
(1) 震源を特定せず策定する地震動評価の精度向上	<p><全国共通に考慮すべき地震動 (Mw6.5 程度未満)></p> <p>新記録追加解析、適用課題の調査、データ追加整理</p>	<p>新記録追加解析、適用課題の分析、データ整備・分析</p>	<p>新記録追加解析、適用解析、式の高精度化検討</p>	<p>新記録追加解析、影響確認、比較分析</p>	<p>新記録追加解析、まとめ、課題整理 ▽論文投稿、NRA 技術ノート作成</p>
	<p><地域性を考慮する地震動 (Mw6.5 程度以上)></p> <p>記録精査・課題抽出</p>	<p>観測記録解析</p>	<p>地震動評価</p>	<p>比較検討</p>	<p>手法まとめ、課題整理、 ▽論文投稿</p>
(2) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動評価の精度向上	<p><震源パラメータの不確かさ></p> <p>不確かさの分析</p>	<p>相関性の分析</p>	<p>地震動解析</p>	<p>ばらつき分析</p>	<p>手法まとめ、課題整理、 ▽論文投稿</p>
	<p><断層極近傍の地震動評価></p> <p>再現解析</p>	<p>再現解析</p>	<p>再現又は検証解析</p>	<p>検証解析</p>	
(3) 確率論的地震ハザード評価の精度向上	<p><地震発生モデルや震源モデルの設定手法の検討></p> <p>地震規模と発生頻度の不確かさ調査</p>	<p>初期モデルの設定、分析・課題抽出</p>	<p>モデルの設定、PSHA の試解析</p>	<p>モデルの改善、PSHA の解析</p>	<p>影響度合い分析、まとめ、課題整理 ▽論文投稿</p>
		<p><距離減衰式のサイト特性等の不確かさ検討></p> <p>最新知見の調査</p>	<p>手法適用</p>	<p>精度検討、適用</p>	

8. 実施体制

【地震・津波研究部門における実施者】

- 呉 長江 上席技術研究調査官 (実施項目 (1)Mw6.5 以上地震、(2)関係)
- 儘田 豊 主任技術研究調査官 (実施項目 (3)地震動不確かさ関係)
- 田島礼子 主任技術研究調査官 (実施項目 (1)Mw6.5 未満地震関係)
- 藤田雅俊 副主任技術研究調査官 (実施項目 (3)地震発生モデル関係)
- 森木ひかる 技術研究調査官 (実施項目 (3)地震発生モデル関係)

9. 備考

文 献

- (1) 震源を特定せず策定する地震動に関する検討チーム、「全国共通に考慮すべき「震源を特定せず策定する地震動」に関する検討報告書」、令和元年
- (2) Tajima, R., Tanaka, H., Wu, C., “An Empirical Method for Estimating Source Vicinity Ground-Motion Levels on Hard Bedrock and Annual Exceedance Probabilities for Inland Crustal Earthquakes with Sources Difficult to Identify in Advance”, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 111, No. 5, pp.2408-2425, 2021.
- (3) 地震調査研究推進本部地震調査委員会、「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)」、令和2年
- (4) 一般財団法人地域地盤環境研究所、「令和4年度原子力施設等防災対策等委託費(内陸型地震の特性化震源モデルに係る検討)事業成果報告書」、令和5年
- (5) 株式会社大崎総合研究所、「令和4年度原子力施設等防災対策等委託費(海溝型地震の特性化震源モデルに係る検討)事業成果報告書」、令和5年

- (6) Galvez, P., Petukhin, A., Somerville, P., Ampuero J. P., Miyakoshi, K., Peter, D., Irikura, K., "Multicycle Simulation of Strike-Slip Earthquake Rupture for Use in Near-Source Ground-Motion Simulations", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 111, No. 5, pp.2463-2485, 2021.
- (7) 入江紀嘉、宮腰研、ドルジャパラム・サロル、岡田康男、鳥田晴彦、佐藤俊明、田島礼子、「マルチスケール・アスペリティを考慮したM9クラスのプレート間地震の特性化震源モデル -2011年東北地方太平洋沖地震の既往震源モデルに基づいた検討-」、第16回日本地震工学シンポジウム発表論文、令和5年
- (8) Cotton, F., Archuleta, R., Causse, M., "What is Sigma of the Stress Drop?", Seismological Research Letters, Vol. 84, No. 1, pp.42-48, 2013.
- (9) 引田智樹、瀬藤一起、三宅弘恵、「震源特性の偶然的な不確かさに起因する地震動シミュレーションのばらつきに関する検討」、日本地震工学会論文集、20巻、3号、pp.21-34、令和2年
- (10) 地震調査研究推進本部地震調査委員会強震動評価部会、「2016年熊本地震(Mj7.3)の観測記録に基づく強震動評価手法の検証について(中間報告)」、令和4年
- (11) 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、22巻、2号、pp.37-60、令和4年
- (12) Atkinson, G. M., "Single-station sigma", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 96, No. 2, pp.446-455, 2006.
- (13) International Atomic Energy Agency, "Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations", Specific Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. SSG-9 (Rev. 1), 2022.