

研究計画（案）

研究計画（案）

1. プロジェクト	1. 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	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	飯島 亨 首席技術研究調査官
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 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」では、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」に基づき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。昨年度までの「地震ハザード評価の信頼性向上に関する研究」プロジェクトでは、これまでに近年国内で起きた内陸地殻内地震（以下「内陸型地震」という。）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（以下「海溝型地震」という。）に係る地震動解析を行い、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。今後、平成 28 年熊本地震を踏まえて、震源近傍の地震動評価の高度化を図るため、断層浅部破壊を考慮した特性化震源モデルの設定手法を検討するとともに、国内外の地震に対して、断層モデルを用いた手法（以下「断層モデル法」という。）に基づき検証解析等を行い、震源近傍の地震動評価に係る知見を拡充することが重要である。また、上記の規則の解釈で述べられている震源断層パラメータの不確かさの組み合わせを合理的に考慮するため、物理的モデル等に基づいた震源断層パラメータ同士の相関性に関する知見を蓄積することが重要である。</p> <p>上記の規則の解釈では、さらに、「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、「震源を特定せず策定する地震動」として設定することを求めている。原子力規制委員会は、外部専門家を交えた、「震源を特定せず策定する地震動検討チーム」を設け、当検討チームとして震源近傍の多数の地震動記録について統計的な処理を行い、「標準応答スペクトル」を策定し報告書にまとめた（令和元年 8 月）。本報告書では、将来的な課題として統計処理を用いた解放基盤面上の波形解析の精度向上、新たな地震動記録の収集・分析による標準応答スペクトルへの影響確認を挙げており、これらの課題について、継続的に検討することが重要である。</p> <p>平成 25 年に改正された「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」により、事業者に対する「安全性の向上のための評価」（以下「安全性向上評価」という。）の実施が規定された。安全性向上評価においては、地震に対する確率論的リスク評価（以下「地震 PRA」という。）手法の活用が見込まれる。地震 PRA を実施するに当たっては、地震 PRA 手法の構成要素である確率論的地震ハザード評価手法について、地震の規模や発生頻度とその不確かさを適切に評価し同評価手法の信頼性向上を図り、将来的な安全性向上評価等のガイドの改定等による安全性に係る評価の高度化に資することが重要である。本安全研究では、これまでに断層モデル法を用いた確率論的地震ハザード評価を試行し、震源断層パラメータの不確かさの取り扱いに関する知見を得た。今後は、震源近傍の地震ハザード評価に着目し、海外の最新動向を踏まえて複数セグメントを有する活断層による地震の規模と発生頻度のモデル化等を検討するとともに、単一地点での地震動の不確かさの評価手法を調査し、確率論的地震ハザード評価の精度を向上させることが重要である。</p> <p>地震ハザード評価の観点からは、地震動に加え、地震による地盤の変位（ずれ）の評価も重要である。規制基準では、耐震重要施設を変位が生ずるおそれがない地盤に設けることを要求している。また、同基準では、地盤に変位を与える要因として、「震源として考慮する活断層のほか、地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え、支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面を含む」としており、これまで、国内外の断層変位データを収集・分析し、断層変位に係る知見を得てきた。震源が敷地に近い場合に地震活動に伴う地盤の永久変位の有無を適切に評価する必要がある。しかしながら、断層変位のデータは限られているため、引き続き、知見を蓄積していくことが重要である。</p>		
4. 目的	<p>本プロジェクトでは、関連評価ガイドの策定及び安全性に係る評価の高度化に資するため、また、将来の規制活動への反映に向けた科学的・技術的知見を蓄積するため以下の地震ハザード評価に係る研究を行う。</p> <p>(1) 断層モデル法の精度向上に係る検討 熊本地震の知見を踏まえ、断層浅部破壊を考慮した特性化震源モデルの設定手法を検討するとともに、検証解析やパラメータ分析を行い、特性化震源モデルの不確かさに係る知見を蓄積することにより、断層モデル法の精度向上を図る。</p> <p>(2) 震源を特定せず策定する地震動の検討 震源を特定せず策定する地震動に関して新たな観測記録による追加解析や知見の蓄積に基づく分析・検討を行い、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に係る不確かさの検討 活断層による地震の規模と発生頻度及び地震動不確かさの取扱い方法を検討し、確率論的地震ハザード評価の高度化を図る。</p> <p>(4) 断層変位評価に係る知見の蓄積 断層変位として特に識別可能な副断層に着目し、室内模擬実験及び数値解析を実施するとともに、断層変位の観測データの分析や断層変位評価のためのモデル化を行うことにより、断層変位評価における不確かさの低減を図る。</p>		
5. 知見の活用先	<p>本プロジェクトの項目(1)断層モデル法の精度向上に係る検討、項目(2)震源を特定せず策定する地震動に関する検討及び項目(3)確率論的地震ハザード評価に係る不確かさの検討で得られた成果は、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」に関連する NRA 技術報告の作成及び安全性に係る評価の高度化に資するとともに、審査への活用を検討する。項目(4)断層変位評価に係る知見の蓄積は、研究の進展に応じて技術的知見をまとめて公表していく。</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。

- 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。）
- ④ 技術基盤の構築・維持（以下「分類④」という。）

(1) 断層モデル法の精度向上に係る検討【分類①】

a. 内陸型地震の特性化震源モデルに係る知見の蓄積

内陸型地震に関して、これまでは、熊本地震を含め国内地震を対象に地震動解析を行い、震源断層パラメータの既往の経験式との整合性や震源断層パラメータの不確かさ等に関する知見を蓄積してきた（図1①）。今後は、熊本地震の知見を踏まえて、地震発生層以浅の断層破壊を考慮した特性化震源モデルの設定手法を検討するとともに、地震動検証解析等により特性化震源モデルの不確かさに係る知見を蓄積することが重要である。本研究では、内陸型地震を対象として断層モデル法の精度向上を図ることを目的に関係機関と協力して以下を行う。

- (a) 令和元年度までの国内の内陸型地震に関する分析結果、特に平成28年熊本地震の知見を踏まえて、国内外の内陸型地震における地震動の検証解析を行い、地震発生層以浅の断層破壊を考慮した特性化震源モデルの構築手法について検討する（図1②）。（令和2年度～令和3年度）
- (b) 国内外の内陸型地震における地震動の検証解析や断層パラメータ相関性の分析を行い、特性化震源モデルにおける経験式の検証及びそれらの不確かさの取り扱いの精緻化について検討する。（令和2年度～令和5年度）

b. 海溝型地震の特性化震源モデルに係る知見の蓄積

海溝型地震に関しては、「国内のみならず世界で起きた大規模な地震を踏まえ、地震の発生機構及びテクトニクス的背景の類似性を考慮した上で震源領域の設定を行うこと」が規制基準で規定されており、世界で起きた海溝型地震に関する研究で得られた知見を反映することが必要である。令和元年度までは、海溝型地震を対象に調査解析を行い、震源断層パラメータの既往の経験式の妥当性に関する知見を蓄積した（図1③）。今後、断層モデル法による地震動評価の検討事例を増やしつつ、海洋プレートの沈み込み傾斜角や沈み込み速度等の物理的特性の観点から、地域ごとの震源特性と地震動特性を明確にすることが重要である。本研究では、海溝型地震を対象とした地震動評価の精度向上を目的に、関係機関と協力して以下を行う。

- (a) 国内外で発生した海溝型地震を対象に、震源及び地震動特性に関する調査、解析及び分析を行い、地域性を考慮した特性化震源モデルの設定について検討する。（令和2年度～令和4年度）
- (b) プレート間巨大地震に対して、強震動と津波の統一モデルの設定手法を調査し、検証解析を行った上で、強震動及び津波の予測解析を行う。（令和3年度～令和5年度）

6. 安全研究概要
(始期：R2年度)
(終期：R5年度)

(2) 震源を特定せず策定する地震動の検討【分類①】

「震源を特定せず策定する地震動」のうち「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」（Mw6.5程度未満の地震）については、震源の位置も規模もわからない地震として地震学的検討から全国共通に考慮すべき地震と位置づけられているが、事業者による中長期課題の解決に時間を要していたため、原子力規制委員会として「震源を特定せず策定する地震動に関する検討チーム」を設け、過去の内陸地殻内地震（Mw5.0～6.5程度）の地震動観測記録を収集・分析し、震源近傍での地震基盤相当面における多数の地震動記録について統計的な処理を行い「標準応答スペクトル」を策定した（図2）。本研究では、この標準応答スペクトルについて、検討チームで対象とした期間よりも後に起きた地震の地震動記録の収集・分析を定期的に行い、標準応答スペクトルの妥当性を確認するとともに、硬質地盤面上の地震動（露頭波）算出（はぎ取り解析）、地震動の補正処理等に関する最新知見を反映した評価手法の高度化について検討し、震源を特定せず策定する地震動の精度向上を図る。

(3) 確率論的地震ハザード評価に係る不確かさの検討【分類①】

確率論的地震ハザード評価手法（以下「PSHA」という。）について、令和元年度までは、複数セグメントを有する活断層の連動性について、認識論的不確かさの観点から解析を行い、地震ハザードを適切に評価するための破壊シナリオ等の取り扱いに関する知見を得た（図3①）。また、断層モデル法を用いたPSHAを試行し、震源断層パラメータの不確かさの取り扱いに関する知見を得てきた。本研究では、より合理的な活断層の地震活動モデルの検討や観測データに基づいた地震動の不確かさ等を考慮したPSHA評価を行うことにより、震源近傍のPSHAの精度を向上させることを目的とし、下記の内容を検討する。

a. 地震規模等の不確かさを考慮した確率論的地震ハザード評価手法の検討

国内の確率論的地震ハザード評価、例えば、地震調査研究推進本部の確率論的地震動予測地図における活断層の地震活動モデルは、海外の事例に比べて地震規模及び発生頻度を単純化したモデル（所謂「固有地震モデル」）を採用する傾向が見られる。本研究は、PSHAの国際的動向を踏まえつつ、地震規模及び発生頻度の不確かさを考慮したPSHAの手法を検討する（図3②）。

- (a) 日本の活断層を対象に海外の手法等を適用し、固有地震の地震規模及び発生頻度の不確かさについて検討する。
- (b) 地震規模等の不確かさを考慮したPSHAを実施し、地震調査研究推進本部の結果等と比較してハザードに与える影響度を確認するとともに、日本の活断層で適用する際の条件及び課題を整理する。

b. 確率論的地震ハザード評価における地震動の不確かさの検討

上記の地震動活動モデルにおける不確かさの考慮によるPSHA結果への影響と同様に、地盤構造の異なる複数の観測点で得られた地震動の不確かさは大きく、PSHAへより大きな影響を与える、との既往研究成果が報告されている。本研究は、日本の原子力施設の立地環境を踏まえて、距離減衰式（以下「GMPE」という。）について、特に内陸型地震を対象に、各種要因による地震動不確かさの分類や分離について検討する。これに基づき、単一評価地点における地震動の不確かさ等を考慮したPSHAを行うため、複数地点の地震動記録を既往の距離減衰式等と比較して地点ごとの地震動の不確かさを把握し、原子力施設のPSHA精度向上について検討する。

(4) 断層変位評価に係る知見の蓄積【分類④】

主断層による地震活動に伴って地盤に生じる副断層に着目し、室内模擬実験及び数値解析を実施するとともに、断層変位の観測データの分析やモデル化を行うことにより、断層変位評価における不確かさの低減を図ることを目的とする(図4)。令和元年度までは、熊本地震など断層変位に関する観測記録が多い地震を中心にデータ収集を行い、断層変位評価のための基礎的な数値解析手法及び確率論的な断層変位評価式に係る知見を得た。本研究では、断層変位評価における不確かさを低減するため、関係機関と協力して国内外の横ずれ断層及び逆断層地震を対象に以下を行い、断層変位評価に係る知見を蓄積する。

- (a) 室内模擬実験及び数値解析により断層変位データを取得し、断層変位の生成状況を分析する(令和2年度～令和5年度)。
- (b) 断層変位の観測データの整理、分析及びモデル化を行い、断層変位評価における不確かさの取り扱いについて検討する(令和2年度～令和4年度)。

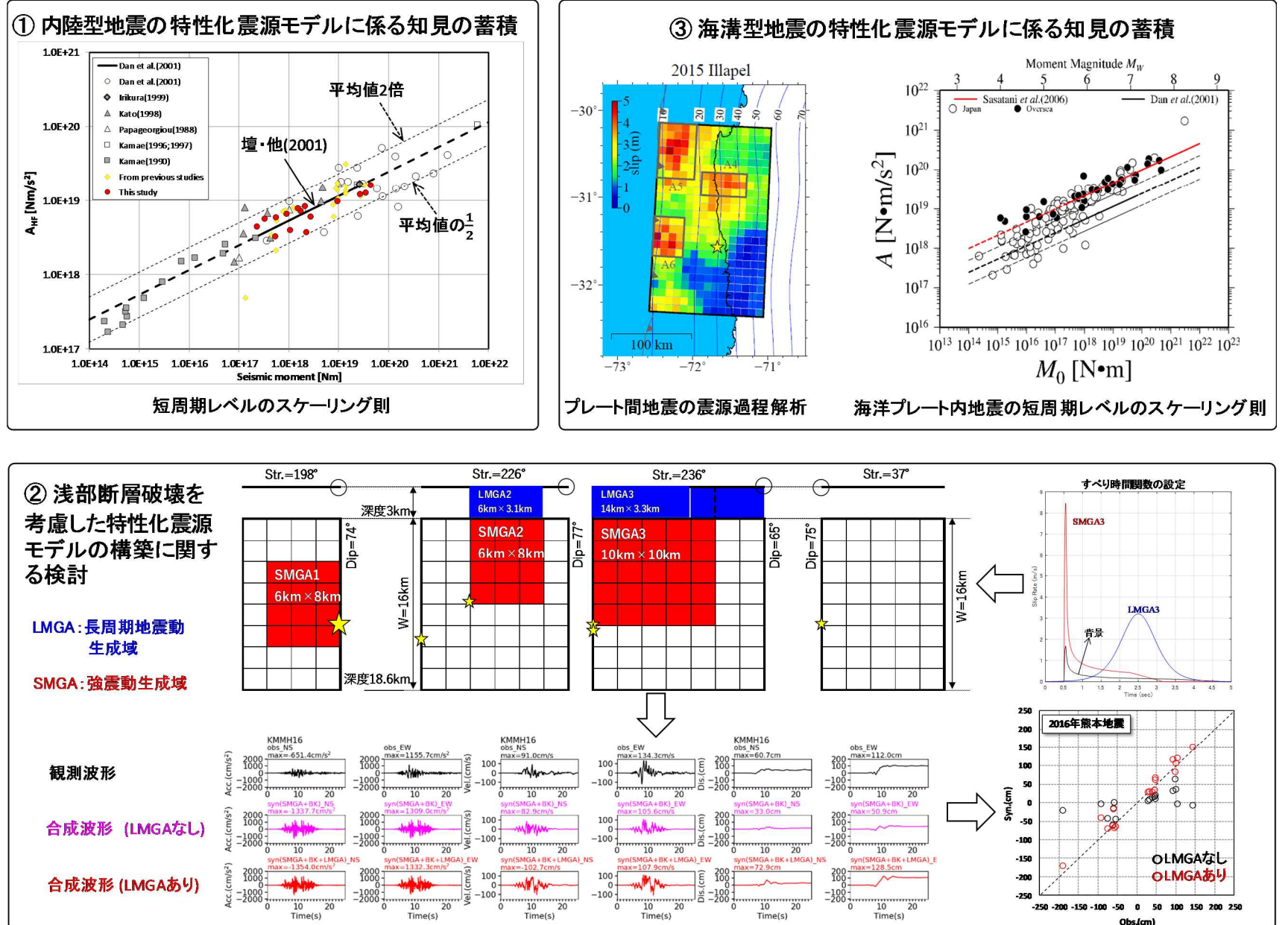


図1 断層モデル法の精度向上に係る検討

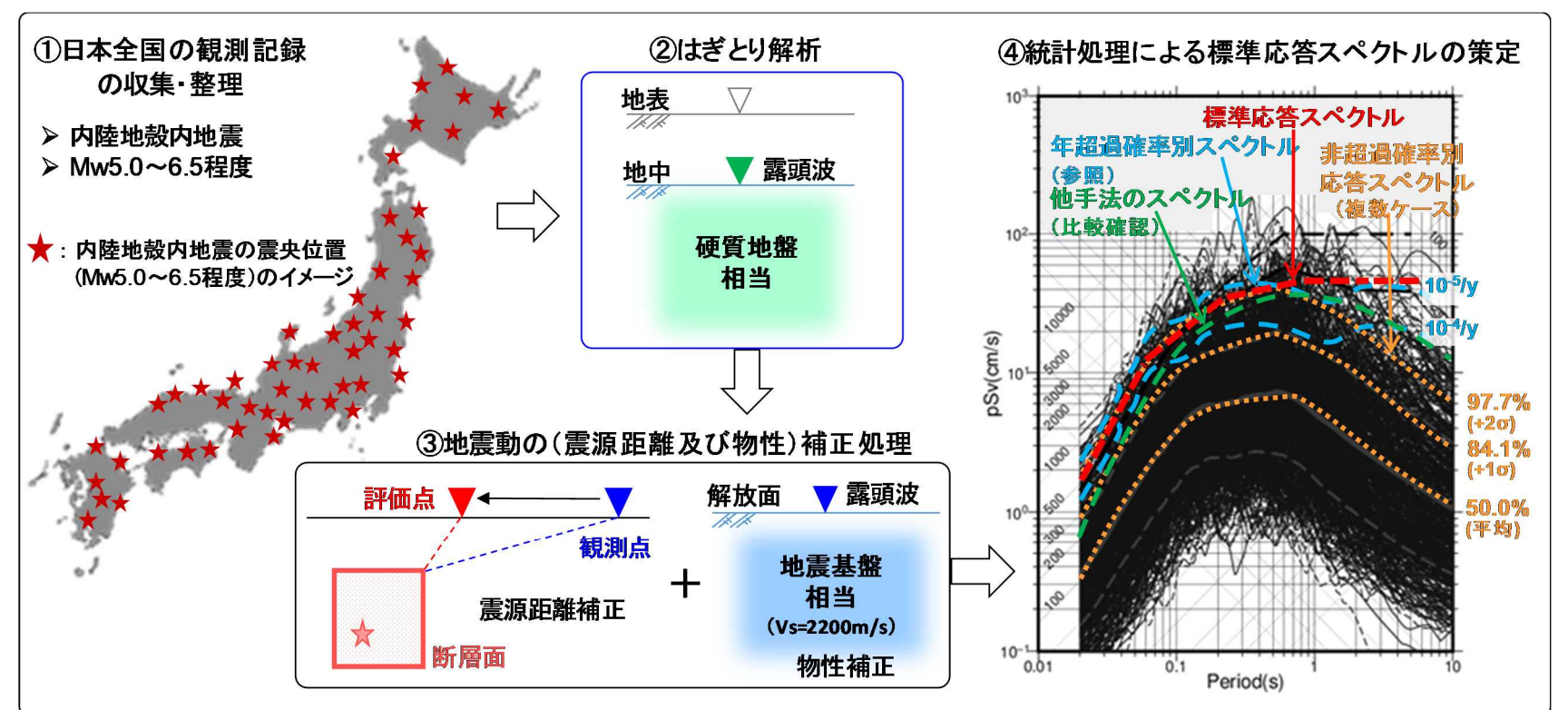
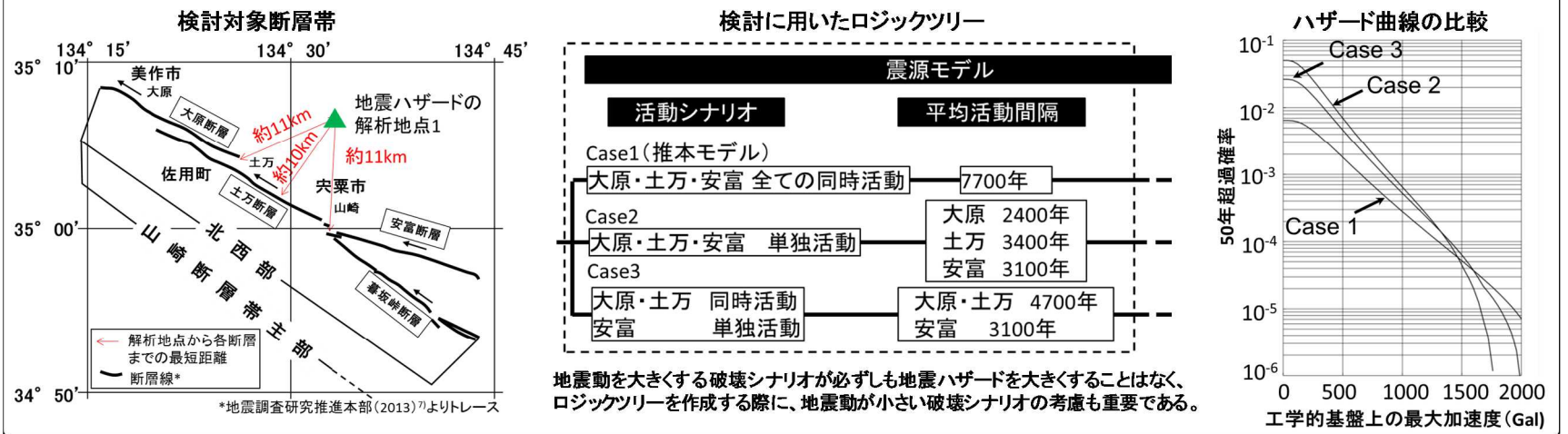


図2 震源を特定せず策定する地震動の検討

① 複数セグメントを有する活断層の連動性の検討



② 地震規模等の不確かさを考慮したPSHAの検討

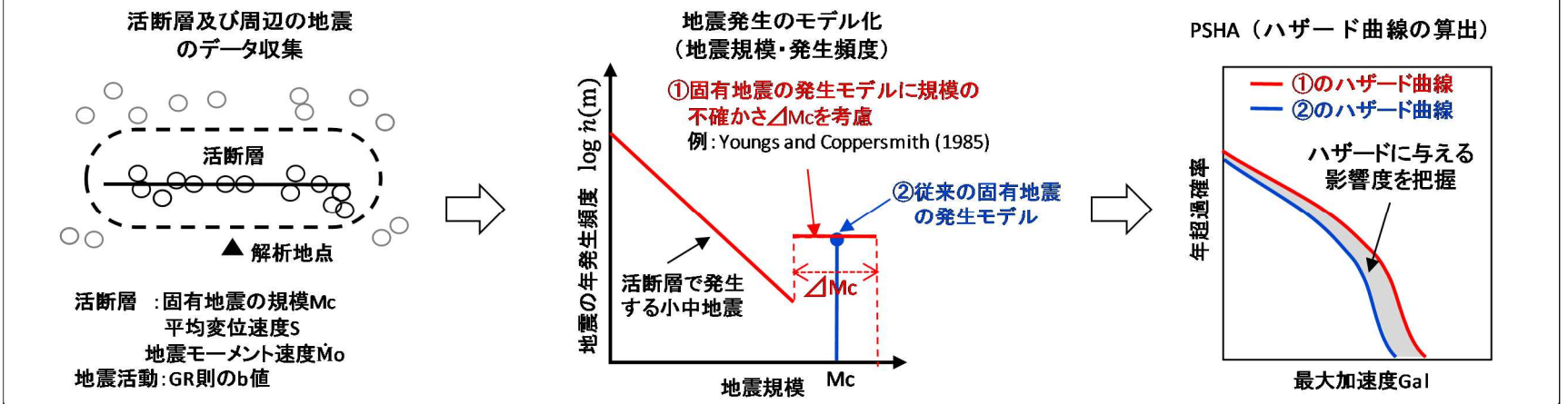


図3 確率論的地震ハザード評価に係る不確かさの検討

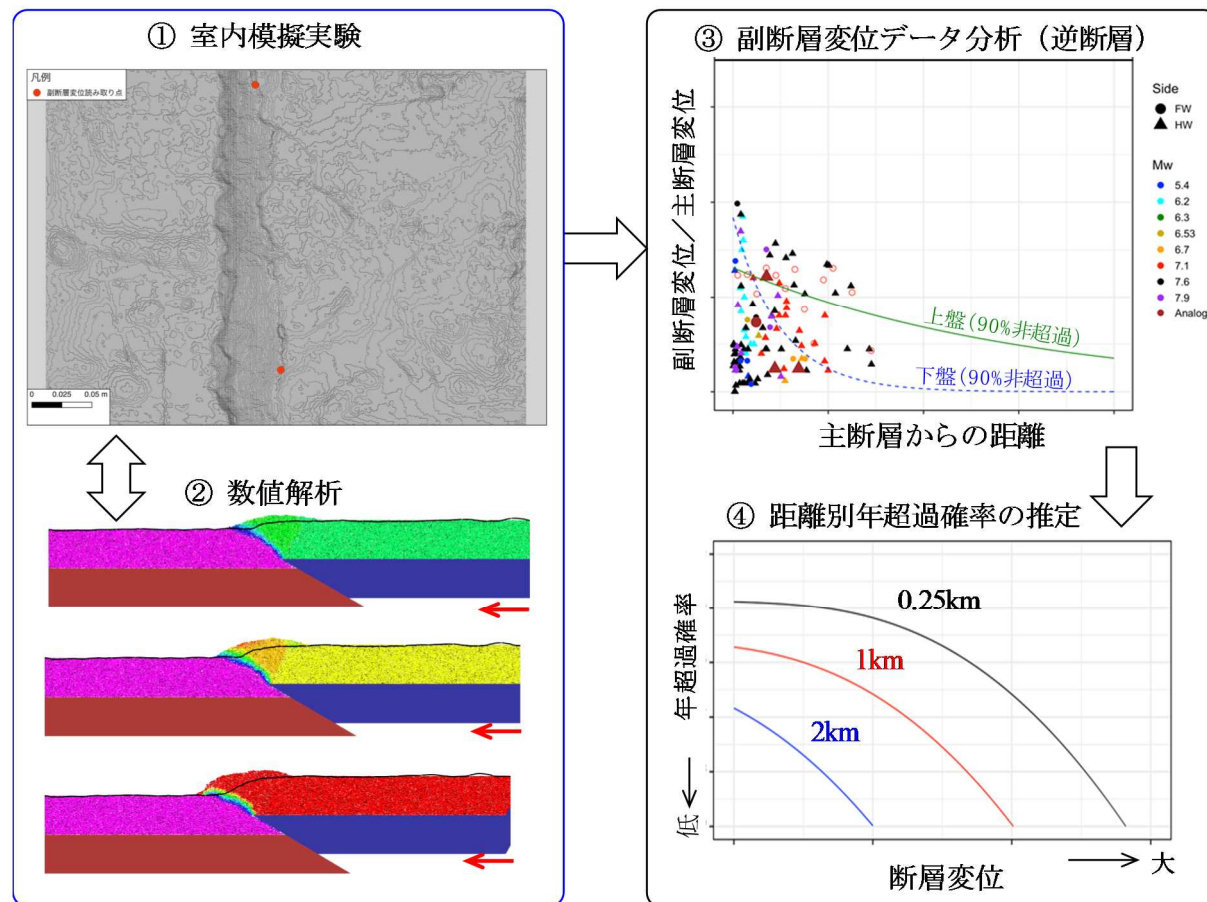


図4 断層変位評価に係る知見の蓄積

実行程表

項目	R 2 年度	R 3 年度	R 4 年度	R 5 年度
(1)a. 内陸型地震の特性化震源モデルに係る知見の蓄積	浅部断層破壊の考慮 ← パラメータ相関性分析	浅部断層破壊の考慮 → パラメータ相関性の考慮	相関性を考慮した地震動解析	検証解析・手法まとめ NRA 技報作成
(1)b. 海溝型地震の特性化震源モデルに係る知見の蓄積	地域性調査・再現解析	検証解析・距離減衰式との比較	不確かさの考慮 巨大地震への適用検討	検証解析・手法まとめ ▽論文投稿
(2) 震源を特定せず策定する地震動の検討	地震動追加解析 課題調査	地震動追加解析・ 手法向上の調査解析	地震動追加解析 手法向上結果の分析	検証解析・手法まとめ ▽論文投稿
(3)a. 地震規模等の不確かさを考慮した確率論的地震ハザード評価手法の検討	地震規模と発生頻度の不確かさの調査	PSHA 試解析 課題抽出	不確かさ評価の向上 PSHA 解析・影響度分析	適用条件・課題の整理・ 手法まとめ ▽論文投稿

(3)b. 確率論的地震ハザード評価における地震動の不確かさの検討	不確かさ評価手法の調査・試解析	地点ごとの不確かさの評価・GMPEと比較	PSHA解析、従来手法による結果と比較 ▽論文投稿	不確かさの取り扱いの整理・手法まとめ
(4) 断層変位評価に係る知見の蓄積	断層変位データ整理	断層変位のモデル化	実験データ等の活用	ハザード解析・まとめ ▽論文投稿
	数値解析・実験調査	模擬実験・数値解析	模擬実験・数値解析	

(注1) 有用な研究成果は、研究期間中においても適宜論文として公表する。

7. 実施計画

<p>【R2年度の実施内容】</p> <p>(1)a. : 内陸型地震の特性化震源モデルに係る知見の蓄積【分類①】 内陸型地震を対象とし、浅部断層破壊を考慮した特性化震源モデルを構築し、地震動再現解析を行う。また、海外で起きた地震を含め運動学的・動力学的震源モデルから、震源モデルパラメータの相関性等について検討する。</p> <p>b. : 海溝型地震の特性化震源モデルに係る知見の蓄積【分類①】 国内外で発生した海溝型地震を対象に、震源及び地震動の地域性を調査するとともに、断層モデル法による地震動再現解析を行う。</p> <p>(2) 震源を特定せず策定する地震動の検討【分類①】 震源を特定せず策定する地震動に関連する観測記録の追加解析、「震源を特定せず策定する地震動検討チーム」で整理した技術課題の調査を行う。</p> <p>(3)a. : 地震規模等の不確かさを考慮した確率論的地震ハザード評価手法の検討【分類①】 日本の活断層を対象に海外の手法等を適用し、地震規模及び発生頻度の推定とその不確かさについて検討を行う。</p> <p>b. : 確率論的地震ハザード評価における地震動の不確かさの検討【分類①】 単一地点における地震動不確かさの評価手法を調査し、ある任意地点の地震動不確かさの試評価を行う。</p> <p>(4) 断層変位評価に係る知見の蓄積【分類④】 国内外の活断層で起きた地震から観測された断層変位データセットを整理するとともに、個別要素法等による数値解析を行い、断層変位に係る室内模擬実験の既往研究を調査する。</p>
<p>【R3年度の実施内容】</p> <p>(1)a. : 内陸型地震の特性化震源モデルに係る知見の蓄積【分類①】 内陸型地震を対象とし、浅部断層破壊を考慮した特性化震源モデルを構築し、地震動検証解析を行う。また、海外で起きた地震を含め運動学的・動力学的震源モデルから、震源モデルパラメータの相関性等について検討するとともに、相関性を考慮した地震動評価を行う。</p> <p>b. : 海溝型地震の特性化震源モデルに係る知見の蓄積【分類①】 国内外で発生した海溝型地震を対象に、断層モデル法による地震動検証解析を実施する。また、プレート間巨大地震を対象に、地震動と津波評価の統一モデルの構築に検討する。</p> <p>(2) 震源を特定せず策定する地震動の検討【分類①】 震源を特定せず策定する地震動に関連する観測記録の追加解析、最新知見を反映した評価手法の高度化に関する調査及び試解析を実施する。</p> <p>(3)a. : 地震規模等の不確かさを考慮した確率論的地震ハザード評価手法の検討【分類①】 PSHAの試解析を実施し、日本の活断層で適用する際の条件を整理して課題を抽出する。</p> <p>b. : 確率論的地震ハザード評価における地震動の不確かさの検討【分類①】 既往の地震基盤上の距離減衰式に加えて、近年に起きた地震を対象に（解放）地震基盤上の地震動解析を実施するとともに、複数任意地点の地震動不確かさを評価し比較を行う。</p> <p>(4) 断層変位評価に係る知見の蓄積【分類④】 国内外の活断層で起きた地震から観測された断層変位データの分析・モデル化について検討するとともに、断層変位（逆断層タイプ）に係る室内模擬実験を行い、個別要素法等を用いて実験結果の再現するための数値解析を実施する。</p>
<p>【R4年度の実施内容】</p> <p>(1)a. : 内陸型地震の特性化震源モデルに係る知見の蓄積【分類①】 海外で起きた地震を含め運動学的・動力学的震源モデルから、震源モデルパラメータの相関性やスケーリング則等について検討するとともに、相関性を考慮した地震動再現解析を行う。</p> <p>b. : 海溝型地震の特性化震源モデルに係る知見の蓄積【分類①】 国内外で発生した海溝型地震を対象に、断層モデル法による地震動再現解析を実施する。また、プレート間巨大地震に対して、地震動と津波評価の統一モデルの構築について調査を行う。</p> <p>(2) 震源を特定せず策定する地震動の検討【分類①】 震源を特定せず策定する地震動に関連する観測記録の追加解析、最新知見を反映した評価手法による解析及び分析を行う。</p> <p>(3)a. : 地震規模等の不確かさを考慮した確率論的地震ハザード評価手法の検討【分類①】 前年度までの検討結果を踏まえ、地震規模と発生頻度の推定方法とPSHAでの不確かさの扱い方の改善を図る。</p> <p>b. : 確率論的地震ハザード評価における地震動の不確かさの検討【分類①】 単一地点の地震動不確かさを考慮したPSHAを実施し、既往のGMPEによる結果との比較を行う。</p> <p>(4) 断層変位評価に係る知見の蓄積【分類④】 前年度の実験及び解析データを用いて断層変位モデル化への活用について検討するとともに、断層変位（横ずれ断層タイプ）に係る室内模擬実験を行い、個別要素法等を用いて実験結果の再現するための数値解析を実施する。</p>
<p>【R5年度の実施内容】</p> <p>(1)a. : 内陸型地震の特性化震源モデルに係る知見の蓄積【分類①】 相関性を考慮した地震動再現解析を実施し、とりまとめを行う。</p> <p>b. : 海溝型地震の特性化震源モデルに係る知見の蓄積【分類①】 国内外で発生した海溝型地震を対象に、断層モデル法による地震動又は（プレート間巨大地震における）津波の検証解析を実施し、解析結果のとりまとめを行う。</p> <p>(2) 震源を特定せず策定する地震動の検討【分類①】 震源を特定せず策定する地震動に関連する観測記録の追加解析、最新知見を反映した評価手法による検証解析を実施し、解析結果のとりまとめを行う。</p> <p>(3)a. : 地震規模等の不確かさを考慮した確率論的地震ハザード評価手法の検討【分類①】 地震本部の結果等と比較してハザードに与える影響度を確認するとともに、日本の活断層で適用する際の具体的な条件及</p>

	<p>び課題を整理しとりまとめる。</p> <p>b. : 確率論的地震ハザード評価における地震動の不確かさの検討【分類①】 PSHAにおける地震動不確かさの取り扱いに関して知見及び課題を整理しとりまとめる。</p> <p>(4) 断層変位評価に係る知見の蓄積【分類④】 前年度の実験及び解析データを用いて断層変位モデル化への活用について検討し、断層変位ハザード解析を行い、断層変位評価における不確かさの取り扱いについてとりまとめる。</p>
8. 実施体制	<p>【地震・津波研究部門における実施者】</p> <p>○呉 長江 主任技術研究調査官</p> <p>儘田 豊 主任技術研究調査官</p> <p>小林源裕 主任技術研究調査官</p> <p>藤田雅俊 技術研究調査官</p> <p>田島礼子 技術研究調査官</p>
9. 備考	

技術評価検討会での評価の観点

- 国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。
- 解析実施手法、データ取得手法が適切か。
- 解析評価手法、データ評価手法が適切か。
- 重大な見落とし（観点の欠落）がないか。