

地震動予測地図工学利用検討委員会名簿

(委員長)

亀 田 弘 行	京都大学名誉教授／ 独立行政法人防災科学技術研究所客員研究員
---------	-----------------------------------

(委員長代理)

当 麻 純 一	財団法人電力中央研究所地球工学研究所副所長
---------	-----------------------

(委員)

新 井 洋	独立行政法人防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター 破壊・脆弱性評価チーム副チームリーダー
-------	--

井 合 進	京都大学防災研究所地盤災害研究部門教授
-------	---------------------

石 川 裕	清水建設株式会社技術研究所施設基盤技術センター 計画技術グループ長
-------	--------------------------------------

蛭 沢 勝 三	独立行政法人原子力安全基盤機構解析評価部 構造物解析グループ長
---------	------------------------------------

高 田 毅 士	東京大学大学院工学系研究科建築学専攻教授
---------	----------------------

能 島 暢 呂	岐阜大学工学部社会基盤工学科助教授
---------	-------------------

福 和 伸 夫	名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻教授
---------	-------------------------

藤 田 聡	東京電機大学工学部機械工学科教授
-------	------------------

藤 原 広 行	独立行政法人防災科学技術研究所 特定プロジェクトセンタープロジェクトディレクター
---------	---

翠 川 三 郎	東京工業大学大学院総合理工学研究科 人間環境システム専攻教授
---------	-----------------------------------

(アドバイザー)

前 田 豊	文部科学省研究開発局地震調査研究課課長補佐 (～平成15年5月19日)
岡 本 拓 也	文部科学省研究開発局地震・防災研究課課長補佐 (平成15年5月20日～平成16年4月14日)
竹 田 健 児	文部科学省研究開発局地震・防災研究課課長補佐 (平成16年4月1日～)
佐 藤 清 隆	文部科学省研究開発局地震調査研究課調査員 (～平成15年3月31日)
東 貞 成	文部科学省研究開発局地震・防災研究課調査員 (平成15年4月1日～)

(オブザーバ)

松 野 元 徳	内閣府原子力安全委員会事務局審査指針課総括係長
松 田 耕 作	内閣府原子力安全委員会事務局技術参与 (～平成16年3月31日)
名 倉 繁 樹	内閣府原子力安全委員会事務局技術参与

(協力者)

久 保 哲 夫	東京大学大学院工学系研究科建築学専攻教授
島 崎 邦 彦	東京大学地震研究所教授
長 沼 敏 彦	阪神高速道路公団公務部設計課設計課長
土 岐 憲 三	立命館大学理工学部教授
森 川 信 之	独立行政法人防災科学技術研究所特別研究員

(事務局)

河 合 伸 一	独立行政法人防災科学技術研究所主任研究員
石 井 透	独立行政法人防災科学技術研究所客員研究員
早 川 讓	独立行政法人防災科学技術研究所客員研究員
奥 村 俊 彦	独立行政法人防災科学技術研究所客員研究員
原 温 子	独立行政法人防災科学技術研究所技術補助員
奥 村 直 子	独立行政法人防災科学技術研究所技術補助員

委員会開催及び関連活動記録

(平成16年9月まで)

平成14年度

会合名	開催日	主な議題・話題提供 (話題提供者:敬称略)
準備会	5月27日	委員会設置に関する討議
成果を社会に活かす部会	6月27日	委員会設置についての報告
第1回委員会	8月6日	委員会の活動方針および今後のスケジュール策定
第2回委員会	10月4日	地震調査研究推進本部の概要と活動状況 (前田補佐)
		地震動予測地図の概要について (藤原委員)
		地震動予測地図の周辺一建築サイドの利用の立場から (福和委員)
第3回委員会	11月14日	地震動予測地図の利用法、災害ポテンシャル評価のための震度曝露人口指標の提案、ライフライン機能障害のリスク評価事例 (能島委員)
		確率論的地震ハザード評価の利用ー主として地震リスク評価への展開ー (石川委員)
		米国における地震動予測地図プロジェクト (翠川委員)
第4回委員会	12月19日	I S O関連での設計地震動の考え方 (井合委員)
		ライフライン災害リスクマネジメントから見た地震動予測の課題 (当麻委員)
第5回委員会	1月22日	日本建築学会の新しい地震荷重について (高田委員)
		台湾集集地震記録に基づく地震動のマクロ空間相関特性 (高田委員)
		地震を対象とした原子力施設の確率論的安全性評価手法と評価例 (蛭沢委員)
		地震動予測地図ワークショップについて
第6回委員会	2月24日	地震動予測地図ワークショップに向けての検討
		学校の耐震化に関する動向
		来年度の委員会活動方針
地震動予測地図ワークショップ	3月26日	地震動予測地図工学利用委員会の活動報告

平成15年度

会合名	開催日	主な議題・話題提供
第1回幹事会	4月3日	地震動予測地図ワークショップの報告
		今年度の委員会活動方針
第7回委員会	5月12日	昨年度の議論の整理
		学校の耐震化推進における地震動予測地図の役割 (名工大・久保教授)
		今年度の委員会概略スケジュールの検討

平成15年度(続き)

会合名	開催日	主な議題・話題提供
第8回委員会	6月26日	地震発生の長期評価および地震危険度評価における確率論的方法の意義と問題点(蛭沢委員)
		確率モデルと活断層の長期評価(長期評価部会長・島崎教授)
		距離減衰式の改良(森川研究員)
		地震動予測地図工学利用ワークショップの計画概要
第2回幹事会	7月23日	地震動予測地図工学利用ワークショップの詳細計画
第3回幹事会	8月7日	地震動予測地図工学利用ワークショップの詳細計画
		委員会報告書について
成果を社会に活かす部会	8月19日	委員会活動状況の報告
第9回委員会	9月29日	地震動予測地図の公開システムについて
		地震動予測地図工学利用ワークショップの詳細計画
		委員会報告書の構成案
		成果を社会に活かす部会の検討状況
第4回幹事会	9月29日	地震動予測地図工学利用ワークショップの詳細運営および当日の討議方針
		委員会報告書の構成案
地震動予測地図工学利用ワークショップ	10月29日	地震動予測地図の作成方法および利用方法に関する討論(参加者157名)
第10回委員会	11月25日	土木学会における設計地震動の動向(当麻委員)
		シナリオ型地震動評価の工学的適用事例紹介(阪神高速道路公団・長沼課長)
		地震動予測地図工学利用ワークショップの報告
第11回委員会	12月17日	地震動予測地図工学利用ワークショップのまとめ
		委員会報告書の構成
第12回委員会	1月20日	地震動予測地図の融合
		委員会報告書について
		意見交換会の開催について
第13回委員会	2月17日	委員会報告書について
		意見交換会について
		地震動予測地図ワークショップについて
第14回委員会	3月12日	委員会報告書についての討議
		提言とりまとめ
		意見交換会について
		地震動予測地図ワークショップでの報告について
意見交換会	3月12日	地震動予測地図の社会的影響に関する討論(立命館大・土岐教授と意見交換)
第5回幹事会	3月12日	委員会報告書についての討議
		地震動予測地図ワークショップでの報告について
地震動予測地図ワークショップ	3月26日	地震動予測地図工学利用委員会の成果報告

平成16年度

会合名	開催日	主な議題・話題提供
第15回委員会	4月20日	成果を社会に活かす部会への提言
		地震動予測地図ワークショップの報告
		委員会報告書についての討議
第16回委員会	5月18日	委員会報告書についての討議
		成果を社会に活かす部会への対応
		地震動予測地図の公開システムについて
成果を社会に 活かす部会	6月3日	委員会活動状況の報告および提言の説明
第17回委員会	6月17日	成果を社会に活かす部会の報告
		委員会報告書についての討議
第18回委員会	7月23日	委員会報告書についての討議
第19回委員会	9月17～18日	委員会報告書原稿読み合わせ

話題提供に関する議論のまとめ

本委員会では、十数回にわたって、各委員および外部の専門家の方々に地震動予測地図の工学利用に関する話題提供をして頂き、関連する議論を積み重ねて来た。これらの議論の詳細は、事務局により毎回作成された「論点メモ」に、全員の発言をできるだけ正確に記録する形で残されている。ただし、この「論点メモ」は膨大な量であり、行われた議論を全体的に把握するためには、より簡潔にまとめられた資料が必要とされた。そこで、この「論点メモ」から本報告書の提言の作成に関連する話題・発言・内容等を抽出し、各回の話題提供に関する議論のまとめに相当する資料を作成した。これを付録の一部として以下に掲載する。なお、各話題(1)-(24)の末尾にある () 内は話題提供者である。また、その下の項目(a), (b), (c)... について、それが話題提供者以外の委員または専門家の方による発言である場合は、発言者を末尾の () 内に示している。

(1) 第1回委員会

- (a) 委員会発足の背景：確率論的地震動予測地図の活用に関して、地震工学分野における議論を十分に行う場が無かった。実際には地図をどうやって使うのか。
- (b) 委員会の役割：地震学（理学）からの知見を工学において活用していく働きかけ。
- (c) 工学の定義：地震工学である。利用者に良い素材（地図や規準など）を渡すだけでは不十分で、その調理法と調理例をメニューとして示すことが大事である。社会に受け入れてもらうには、誰に何をどうやって説明すれば良いか。
- (d) 利用についての議論は、社会が何を求めているか、現場からどういう問題が提起されるか、ということである。
- (e) 議論のテーマ：
 - ・不確定性の下での意思決定、リスク評価。
 - ・確率的見方（不確定性の評価手法）。
 - ・地震動と地震荷重。
 - ・地震調査研究推進本部の事業。
 - ・地震動予測地図、工学と理学のインターフェース。
 - ・エンドユーザー、世の中の実態：市民、自治体、普通の設計者技術者がどう考えているか。
 - ・USGS と ISO の事例。
 - ・確率論的地図とシナリオ地震地図の関係。

(2) 地震動予測地図の概要（藤原委員／第2回委員会）

- (a) 作成される地図が、利用に必要な信頼性を持つものになるかどうか気がかりである。と

くに確率論的地図で用いる確率モデルとパラメータの値をどうするか。

- (b) 工学利用という点では、シナリオ地震と確率論的地図の両方が対象となる。
- (c) シナリオ地震地図と確率論的地図の融合をどうするか。確率論的地図は、シナリオ地震地図を取り込める形にする。
- (d) シナリオ地震地図における不確定性の扱いをどうするか。工学的利用に耐えられるようにする。

(3) 地震動予測地図の利用で想定できるユーザーの実態（福和委員／第2回委員会）

- (a) 地震動予測地図の利用を促進するには、建物の耐震性の評価能力の向上が不可欠である。
- (b) 海溝型地震、活断層型地震、震源を特定出来ないタイプの地震など、様々なバリエーションに分けた地図も必要である。海溝型地震は個別にシナリオ地震として想定し、それ以外の地震による確率論的地図など。
- (c) インターネット GIS の使用が便利であろう。ユーザーの要望に応じた情報の伝達システムが必要である。
- (d) 市民への地図（情報）伝達／普及には、媒介者が重要である。NPO、学校の先生、マスコミ。間に入る人を育てる必要がある。
- (e) most probable か maximum のいずれで考えるか。

(4) 震災ポテンシャル評価のための曝露人口指標（能島委員／第3回委員会）

- (a) 確率論的地図を応用すれば、既存の自治体によるシナリオ地図も再評価して防災対策上の合理的判断が可能である。確率論的地図は、シナリオ地図の補完情報になる。
- (b) 震度暴露人口の計算（集計）の仕方。地域分散によるリスクの軽減効果を入れる。ハザードマップから簡単な計算で評価できることが大事である。
- (c) イベントが全く見えない出し方は工学的には望ましくない。集計していくのも、どこまでやるかは考えないといけない。確率論的地図も、貢献している各地震動が見えるような形で示しておく、利用価値が高まる。
- (d) イベント毎にマップを出す場合、発生頻度も情報として示すべきである。幅（不確定性）があるものはそれも示すべきである。
- (e) 情報を活用する人：実際のライフライン事業者。電力会社。自治体の防災担当者。地方整備局。不動産。国自身。いろいろ考えられるが、ここでは勝手に決められない。
- (f) 地震動予測地図は、全体の中で相対的なことが分かることと、集計の方法によっていろいろな使い方ができることが大事である。

(5) 地震リスク評価への展開（石川委員／第3回委員会）

- (a) ハザード評価の利用形態の表：委員会としてのまとめをして整理したい。ユーザーの欄

も必要か。

- (b) ハザードモデルに種々の被害関数を畳み込んだ確率論的地震リスク評価への展開事例が多い。リスクの定量化に対するニーズは今後も高まる。
- (c) 地震リスクマネジメントにおいて、ハザードの部分はコントロールが難しい。その意味で、地震動予測地図の意義は大きい。
- (d) 地震債権、建物の証券化：地震が起きると損をする、という意識が必要である。証券化には不確定性の評価が不可欠である。

(6) 米国における地震動予測地図プロジェクト（翠川委員／第3回委員会）

- (a) インターネット上で計算結果だけでなくプログラムも公開されている。ユーザーが条件を変えて再計算できる。
- (b) 公表後、ワークショップでの議論に基づいて地図が部分的に見直され、更新された。
- (c) このハザードマップに工学的判断を加えて、耐震設計用のマップが作成された。
- (d) USGS の計算例は、日本にはそのまま置き換えられない。再現期間の設定。距離減衰式を扱う上での技術的問題。しかし、プロセスをはっきりさせており、ドキュメントもしっかりしている。
- (e) 日本の場合は、1枚の地図ではなく、地図の利用方法の可能性やメニューについて多くの選択肢を用意するのが良い。その分わかりやすい見せ方をどうするか。

(7) ISO 関連での設計地震動の考え方（井合委員／第4回委員会）

- (a) 施設の耐震要求性能を、地震時および地震後の使用性および安全性について設定する。設計地震動は、使用性照査においては確率論的解析によって、安全性照査においては確率論的または決定論的解析によって評価する。決定論はいろいろなやり方がある。
- (b) 活断層を地点近傍に想定する場合には決定論的解析を適用することができる。世界で地震活動度が低い地域の場合にも、シナリオ地震的解析を用いてもよい。
- (c) 確率論、決定論、2つの方法による結果を性能設計に使うと、それぞれどのようなメリットがあるかを議論するのが良いと考えられる。前向きな議論になる。防災計画に使うとしても同じ。（高田委員）
- (d) 建築の場合は、耐力が正しく評価できていない。今までは、被害から逆に地震動を決めていた。地図を工学的に利用するには、建物の耐力とセットにする必要がある。（福和委員）

(8) ライフライン災害リスクマネジメントから見た地震動予測の課題（当麻委員／第4回委員会）

- (a) サイトによらず、レベル1地震動は確率論的に、レベル2地震動は確率論と決定論を考

慮して決める。レベル2の決め方は、現時点では、客観的な方法がなかなか無いが、一つの考え方を提示した。

- (b) サイトで有り得る地震動レベルと施設の要求性能レベルとの両方の組み合わせで設計地震動（荷重）レベルを決めるべきである。地震動と要求性能、どちらが先にありきか。
- (c) 地震発生確率が考慮されており、マップの情報から供用期間中のコストパフォーマンスを評価できる。意思決定に使える。他のシナリオ地震を考えて、その発生頻度を考慮して計算し足し合わせれば、発生頻度の概念も含まれる。事業者はアクションを起こしやすくなり、確率論の有用性が言える。
- (d) 間接被害は相当見込む必要があり、これを入れると最適解は大きく変わってしまう。地震発生確率をどうとるかも、結果に大きな影響を与える。間接費は、産業メインか一般メインかで大きく変わる。
- (e) 地震時だけでなく、常時メンテナンスや台風や水害時などの様々のマップやリスクを並べて、何が重要なイベントかを比較することが必要である。相対的に地震のリスクはどうなのかの議論が必要である。

(9) 日本建築学会の新しい地震荷重、台湾集集地震記録に基づく地震動のマクロ空間 相関特性（高田委員／第5回委員会）

- (a) 都市を構成する多様な要素の耐震設計・改修において、都市全体の防災の視点からそれらのもつ機能の相互関連性・重要度を定量的に表現可能な確率論の導入が最も有効である。
- (b) 構造物技術者の社会への説明責任や地震危険性に関する情報公開などの動きの中、確率論的地図の果たす役割は極めて大きい。
- (c) 確率論的地図は超過確率何%（再現期間何年）にするかが問題である。日本の状況にマッチした（活断層も考慮した）値が必要である。推本のマップが出れば、それを使う。このとき、一般に見せるマップの再現期間は100年、500年、1000年固定ではなく、いろんな出力ができると良い。ユーザーに任せる。
- (d) マップに貢献している各地震が見えるような形で確率論的地震動を示しておく、利用価値が高まると考えられる。

(10) 地震を対象とした原子力施設の確率論的安全性評価手法と評価例（蛭沢委員／ 第5回委員会）

- (a) 耐震安全性評価手法の一つとして、地震動予測地図作成における地震ハザード評価手法及び評価結果を活用している。原子力施設を構成する構造物、機器の損傷確率、システムの損傷確率と合わせて用いている。
- (b) 確率論的予測地図の表示は、ばらつきとセットで表示・説明される必要がある。

- (c) ロジックツリーは、評価プロセスと意志決定プロセスを明示するので、予測地図の信頼性を明確にできる。また、不確実さの主な要因の明示とその低減が必要な場合の一助になる。
- (d) どれだけ安全なのかを答えるために、確率論的評価が出てきた。安全性に関して、火山、地滑り、地震など、どのリスクが高いかを求めるために、各ハザードマップを並べて比較することができる。この枠組みの中で、どのように使われるかを考える。
- (e) シナリオ地震による評価では、アスペリティ位置や破壊開始点などをいくつか変えたケーススタディによって、不確実性を示すことができる。**most probable** か **maximum** か。示されるものに対して、その使い方はユーザーが責任を持って決める部分が必要である。
- (f) 不確実性の評価において、自然現象によるところが大きいのか、構造物によるところが大きいのかで、結果の表現の仕方を考える必要がある。要因や見せる目的にもよる。構造物には対策を出来ることから、対応策とセットで考える。
- (g) シナリオ地震一つ一つは決定論的である。それぞれに地震の発生確率／頻度を入れて、その結果を後で集計／統計処理すれば確率論的となる。どう組み合わせるかには不確実性がある。

(11) 公共施設の耐震化の動向（一例として学校耐震／第 6 回委員会）

- (a) 学校の耐震化は意外と進んでおらず、全部の学校の約半分という状況である。
- (b) 今の耐震診断は昭和 56 年以降の新しい設計法に対応している。耐震化は、それ以前のものを新しいものに合うように、ということである。その耐震化作業をどこからやるべきかという優先度を決めるために予測地図を使う。
- (c) 一般の建物で $IS=0.6$ 、学校で 0.7 として差を付けている。 $IS=0.7$ を超えるよう補強する。ただし、その際的设计荷重は現行のものを使っている。将来のことも考えて、荷重のことも議論を整理しておく必要がある。

(12) 成果を社会に生かす部会の検討状況（第 6 回委員会）

- (a) 教育現場の声も必要。子供に対しては、災害弱者としてだけでなく、日本の将来を担う人材との観点もある。

(13) 地震動予測地図ワークショップに向けて（第 6 回委員会）

- (a) ワークショップの参加者：啓蒙することが目的なら、専門家だけでなく、地方自治体、NPO、一般市民を集めてはどうか。専門家同士でも意見が合わない。自治体か、NPO か。今の段階で一般市民に理解して貰えるよう説明できるか。
- (b) 工学（の人）と理学（の人）のインターフェースが大事である。理学の人は物理的現象から地震を見ている。地震は必然現象との見方。偶然現象を扱うイメージのある工学的

な確率表現（ロジック／メカニズムとの対応が見えない式）を使うことへの抵抗感がある。

- (c) 地震動予測地図：理学からのメッセージ。しかし、確率論的地図をとおしてのラインは細い。理学では、現状では情報不足なまま（工学的な）確率論的手法を用いることへの懸念がある。しかし、何もしないよりも、今ある枠組みで決めた確率論的地図で判断する方が社会のニーズに対して良い、ということを説明できれば問題は無い。
- (d) 決定論（理）と確率論（工）。確率（不確定性）の世界では、最後は相対評価しかできない。シナリオ型の地震動評価の議論と確率論のつながりが上手くできればよい。

（14）中央防災会議「防災情報の共有化に関する専門調査会（第6回）議事概要」

- (a) 活断層型地震は一万年に数回程度の発生頻度であり、このようなデータから今後百年間の活動の可能性を確率表現することにはほとんど意味がない。
- (b) 受け手の立場からすれば、同じ確率を聞いて違うことを考えることが問題である。日常生活に根付いた表現方法で、誰もが同じように情報の内容を理解できるような情報の提供方法が必要である。
- (c) 地震調査研究推進本部の公表する確率には時間の概念はなく、確率が低くとも後から起こるわけではない。行政の防災は、それがどれほど小さな確率であっても、無視しえないものとして災害に備えるべき。

（15）平成14年度議論のまとめ（新井委員／第7回委員会）

- (a) 建物の耐震性や耐力の評価能力について、地震動と地震荷重は同じではないことを理解した上での議論が必要である。（福和委員）
- (b) 建物の性能はある程度分かっていると思う。性能評価は地震動評価と同程度に分かっている。耐震診断という手法である程度の性能は分かる。建物の性能は、耐力×変形能力で評価しようとしている。（久保教授）
- (c) 地震動予測地図は、全体の中での相対的なことが分かるということと、集計の方法によっていろいろ使えることが大事だと思う。情報を活用する人として国自身も考えられる。（能島委員）
- (d) 平成15年の夏ぐらいに地震動予測地図の公開システムのプロトタイプを作成する。公開する内容とどのような公開の仕方をするかという議論も進められている。（藤原委員）
- (e) ISOと地震動予測地図の関連については、世界の流れの中でこういう位置付けになるというのを示すことが出来れば、世界との結びつきが分かると思う。（井合委員）
- (f) 地震動よりも要求性能が先にある。地震動がやって来るから対応しないといけないというのは当然だが、どう対応するかは要求性能による。（亀田委員長）

(16) 学校建築の耐震化（久保教授／第7回委員会）

- (a) 学校施設の60%が昭和56年以前の建物で、さらにその中で耐震診断されたものは30%しかない。つまり全体の18%しか診断していない。残りは耐震性がどうなのか分からない。耐震診断をすべき建物の中で、9割は何もしていない状況になっている。
- (b) 耐震化の緊急性／優先度については、緊急度ランクとして表現しており、ランクの修正も可能である。重要度と構造形式で優先順位を判定している。強震動の判定パラメータは震度を用いている。耐震性能は精神項目としか書いていない。IS=0.7でやっている。
- (c) 震度情報に基づいて学校耐震化をやっているが、どのように使っていくかというプロセスは工学的である。全体としては工学利用の一例である。確率論的地図も評価されているものは使いたい、無くても困らない。一律IS=0.7でやっても構わない。
- (d) 耐震化において地震動が指標に入っているのは消防庁だけ。消防庁のものは現行基準法の枠内である。用途係数を今後の新設建物に取り入れることは可能である。あくまでも耐震補強で狙っているのは、既存の新しい建築基準法のレベルを満たすことである。
- (e) 建物の残存期間をどう考えるか。地震発生確率の評価の仕方と関係する。
- (f) 活断層で1000年というのがどういう意味づけ／イメージなのか、はっきりさせることが大事である。1000年というのはインパクトがあり、1人歩きする可能性がある。

(17) 地震発生の長期評価および確率論的方法の意義と問題点（蛭沢委員／第8回委員会）

- (a) 不確定性の確率論的定量評価手法として、ロジックツリーを用いた手法が提案されている。この手法では、不確定性の要因を現象固有のランダム性に起因するものと、知識や認識に起因するものに大別し、後者の要因に対して評価を行う。評価のプロセスを陽に示すのに対し、決定論的手法ではプロセスが不明瞭であるので、透明性や説明性が低い。
- (b) 確率論という言葉の範囲をどこまで設定するか。例えば、シナリオ地震に発生確率モデルを入れると全体として確率論的となるのか。入れないものが決定論なのか。断層パラメータ等のばらつきを考えるのは確率論的な評価となるのか。時間の概念の有無など。（当麻委員）
- (c) 低頻度の意味。今のハザード評価では、地震の発生確率と地震動の超過確率を掛けてハザードを求めているが、地震の発生確率が1に近い東海地震のようなものと、内陸活断層のように発生確率が1%というような低いものが一緒に入っている。全部混在したものでハザードが出されている。（石川委員）
- (d) 低頻度の話で、人命の安全とか人間に対する評価という観点と、直せば使える物に対する評価は質が違ふ。人命に対しては低頻度で考えるという感じになって、色々な手法でばらつきが出てくる上限の辺りの話になる。（井合委員）
- (e) 強震動の問題と地震の発生頻度の問題の分離。確率論の手法の委員会でも2つ問題があ

って、1つは距離減衰式の裾野の上限値の設定をどうすれば良いか決められなかったことと、もう1つは長期評価に幅があって、それから何らかの取り決めをしないと計算出来ないことがある。そこを分けて議論しないといけない。(藤原委員)

(18) 確率モデルと活断層の長期評価 (島崎教授/第8回委員会)

- (a) パラメータのばらつきはデータが少ないのである値を与えている。個々の断層のばらつきは共通として考えたばらつきと有意な差はないと判断し、他の断層でも外挿して適用している。個々の断層では平均の繰り返し間隔を求めてこのばらつきを与えている。実際ばらつきは小さく、求めた値は概ね平均値に近いと考えて良い。
- (b) 確率の幅が出るのは最後のイベントと平均活動間隔が決まらないからである。非常にデータが少ない時は平均変位速度で求めている。いずれのパラメータにも幅があって、それがそのまま確率の幅に効いてくる。また、複数のデータがある場合や複数の研究者が数値を出している場合もそれらを幅として出している。
- (c) パラメータには信頼度も付けている。断層の各項目と全体についてランク付けをしている。実測のデータがある場合と計算によって求めた場合で信頼度は違う。確率で幅があるものは高い方の値でグループ分けしているが、これはサイエンスというよりも防災的な意味合いを付けて評価している。
- (d) 確率が評価出来ないという評価結果が出ている。これは、平均変位速度や年代が分からず、だいたい調査が出来ていない所に当たる。しかし、評価出来ない理由は明確に示されるべきである。評価出来ないから公表しないというのは止めるべき。(石川委員、亀田委員長)
- (e) 利用する側が決定プロセスを承知した上で、利用する側の責任で判断する部分がたくさんある。確率や値の幅という数字だけの接点ではなく、プロセスという接点が重要である。理学としての直感が判断として入っていると思うが、それを基にした工学的な決定プロセスを作らないといけない。(亀田委員長)
- (f) 地図を作成するに当たって一番の懸案は幅の取り扱いである。幅を持った値の与え方如何によって地図の結果が変わってしまう。一応の取り決めの下に地図を作り始めたがもう一度議論したい。(藤原委員)

(19) 北日本の距離減衰式の改良 (森川特別研究員/第8回委員会)

- (a) 東北日本の異常震域の現象に対応するため、距離減衰式自体の改良について検討した。
- (b) 不確定性評価も加味できないか。ゾーンをどう取るか、ゾーンを跨ぐ時はどうかということと、サイト特性の問題も視野に入れて、中間的な位置付けとしてこれを取り込めないか。
- (c) 西日本の地図でも、沖縄の辺りには異常震域があると議論された。関東も含め、こうい

う方法で進めて行くことも意義がある。

- (d) 現状では、シナリオ地震よりも経験式の方が先行している。異常震域が出るような地震でシナリオ地震の詳細法をするような対象が未だ無い。
- (e) この距離減衰式は現在の予測地図に反映されているし、これからも発展が期待できる。

(20) 地震動予測地図の公開システム（藤原委員／第9回委員会）

- (a) シナリオ地震地図の方は具体的に進んでいるが、確率論的地図をどう出すか、シナリオ地震と整合するものを出せば良いがすべてのデータとなると膨大になる。どういうまとめ方をしてどう準備するかという、基本的な議論をしないとイケない。
- (b) WEB での提供は、ダウンロード出来る範囲で考えないとイケない。WEB 上でのダウンロードは、望ましいのは1つのハザードカーブや1枚の絵としての地図が現実的である。
- (c) 配布するデータ量が膨大なので、そのサーバは K-NET 等クラスでも厳しい。さらに、データアクセスのためのガイダンスも必要で丁寧にすると大変である。基本的な方針を決めないといけない。モニターしながら意見を言うような別のグループが必要である。具体的に何がプライオリティが高いのかを助言して欲しい。意見を言い合うようなワークショップが必要である。
- (d) ユーザーのニーズも考えないとイケない。ユーザーは恐らく3種類ぐらいあって、一般市民（個人）－自治体－会社くらい。自治体だと面の情報が欲しくなる。一般の人は点のデータが欲しい。もう1つの軸として一般と専門家というものもある。（高田委員）
- (e) すべての人がフルセットのデータを必要とする訳ではないので、メニューから選べるようにすれば良い。すべてのデータが WEB で取れるのが良いのかどうか、何がデータとしてあるか、どうすれば取り寄せられるかを WEB に示せば良い。ただし、防災科学技術研究所がそこまでサービスするのは難しい。（当麻委員、亀田委員長）
- (f) 設計という立場としては、応答スペクトルは必須である。一般建物の設計を考えるならハザードカーブは2点あれば良い。ハザードカーブを 55 ポイントを出すよりも、応答スペクトルのいくつかの周期のデータの方が良い。（高田委員）
- (g) 3000 点くらいに限定すれば、個々の分解したハザードを検索することが可能である。3000 地点とするとその選定基準も問題となる。データ量の制約もある。そういう範囲で全メッシュで必要なデータと、限定された地点で必要なデータという観点で議論して欲しい。（藤原委員）
- (h) シナリオ地震地図の波形データが設計用地震動に使われてしまう危険性がある。一方で、シナリオ地震地図では、1地震で3～4ケースくらい検討しており、その幅が示されている。確率論的地図とシナリオ地震地図の工学的基盤での値の対応が分かれば良い。両者の違う所をきちんと説明する機能がセットされていれば、理解が深まる。（高田委員）

(21) 2003 年十勝沖地震の地震動速報（藤原委員／第 9 回委員会）

- (a) 2003 年十勝沖地震は北日本の確率論的地図に含まれており、ほぼ当たっているという状況である。これは、地図自体意義のあるものだったことを示している。

(22) 土木学会地震工学委員会における設計用地震動に関する最近の議論動向（当麻委員／第 10 回委員会）

- (a) 土木構造物の耐震設計に対する、レベル 1 地震動およびレベル 2 地震動の考え方。ハザードの設計への利用可能性。
- (b) レベル 1 地震動を考える上では、レベル 2 地震動の位置付けを明確にしないといけない。土木構造物はどのようなものを対象としているのか、例えば橋梁でレベル 2 を考える時には人命のことはどのように考えるのか。（高田委員）
- (c) 人命はお金に換算出来ないという議論があつて、実際上は換算しているのではないかという意見もあつて、特別扱いしないといけない。土木構造物が人命に関わる部分と、建物が人命に関わる所はあり方が違う。（井合委員）
- (d) フラジリティカーブの作り方。統計的なやり方でなく、材料の強度や形状など色々な不確定性を考慮して、断面が決まればその構造物のフラジリティが算出できるようにしないといけない。そうでないと、その建物を見ていないことになる。信頼性理論は発達しているが、現実の要請にはまだ対応出来ていない。（亀田委員長）
- (e) レベル 1 地震動は、地点毎で違うし、同じ地点でも構造物によって変わる。このとき対象とする地震の設定も地点によって変わる。レベル 1 と言われているものをどう位置付けるかについて、メスを入れて議論するのが重要。（当麻委員、亀田委員長）
- (f) 地震動予測地図が設計の中で直接的にハザードとして使われたり、決定論的地図も比較検討として使われる可能性が高いと思うが、その場合計測震度だけではだめで、やはり設計する側では応答スペクトルや波形が必要となる。今の地震動予測地図では、波形はシナリオ地震の方は出すが確率論的地図の方は無い。（当麻委員、藤原委員）
- (g) 実際に設計する現場で、どこがどこへアプローチするかの問題である。すべてのことを予測地図から情報を貰うよりは、設計する側からアクセスして情報が得られるようになっていけば良くて、その後のことは設計者側で考える。NUPEC でも確率論的地震動群というのを考えている。（当麻委員、亀田委員長）

(23) シナリオ型地震動評価の工学的適用事例（長沼課長／第 10 回委員会）

- (a) シナリオ地震を想定した地震動評価の工学への利用例として、阪神高速道路における京都地域での地震動評価例、長大橋梁の耐震補強例。
- (b) 性能設計において性能評価をどうするかが課題で、どこにどんな断層があるか分からないと、いくら捜して考えても未だ漏れがあるのではないかという議論になる。評価に使

う断層の位置やモデルが明らかになると使い易い。

- (c) 活断層の評価について、色々な理由があって完璧な議論は出来ないが、専門家としてこれがベストだとしたことを開示すれば良くて、それを使うか使わないかはユーザー側の話になる。(亀田委員長)
- (d) 手法の普及という点ではこの事例を公開しないといけない。特定の所で隠れたままだと普及しない。(石川委員)
- (e) 工学から期待すべきこととして、少し大きめのものを出して下さいと言うのは筋違い。理学的な活動に対しては、最もあり得るいくつかのケースを示してもらうのが一番信頼感のある形であり、もっと用心したいも場合はユーザーの方で考えれば良い。理学の専門家としてありそうなパターンをセットとして出すとユーザーが使える。使う時どう意思決定するかは使う側の課題で、基本的な情報が示されれば良い。(亀田委員長)

(24) 地震動予測地図の公開システム (続) (藤原委員／第 16 回委員会)

- (a) 実際に使っていくと色々要望が出てくる。それを今後どういうタイミングで活かせるのか、その仕組みが重要である。経験上でも 1 回では上手くいかない。1 回作って意見を聞いて、何回か繰り返して要望に応えたより良いものにして行きたい。(井合委員、藤原委員)
- (b) 平成 17 年度早々にでも最低限のものでも何か出すことが重要である。次に更新して出す機会を与えてもらえれば、もっと機能を入れれば良い。(藤原委員)

以上

「地震動予測地図工学利用ワークショップ」討議録

主催 : 独立行政法人 防災科学技術研究所
日時 : 平成 15 年 10 月 29 日 (水) 10:00~18:00
場所 : 防災科学技術研究所 研究交流棟和達記念ホール

<プログラム>

- 10:00~10:10 挨拶 (早山徹: 防災科研理事)
- 10:10~10:30 趣旨説明 (亀田弘行: 防災科研地震防災フロンティア研究センター長)
- 10:30~12:30 地震動予測地図の作成手法について
(コーディネーター 藤原広行: 防災科研)
話題提供 1 : 島崎邦彦: 東京大学
話題提供 2 : 石川 裕: 清水建設
討論者 : 川瀬 博: 九州大学
隈元 崇: 岡山大学
- 13:30~15:30 地震動予測地図の工学利用について
(コーディネーター 当麻純一: 電力中央研)
話題提供 1 : 翠川三郎: 東京工業大学
話題提供 2 : 能島暢呂: 岐阜大学
討論者 : 永島伊知郎: 損害保険料率算出機構
片山幾夫: 東電設計株式会社顧問
- 15:40~16:30 特別講演 柴田碧: 防災科研客員研究員
「地震動予測: 1960 年代のプラント耐震設計から現在へ;
振動実験、非線形解析における地震動予測地図の解釈と意義」
- 16:40~18:00 まとめ
(蛭沢勝三: 原子力安全基盤機構 藤原広行、新井 洋: 防災科研)

挨拶

進行（藤原氏）：

時間になりましたので、地震動予測地図工学利用ワークショップを始めさせていただきますと思います。

本日は防災科学技術研究所まで、朝早くから多数の方にご出席いただき、どうもありがとうございます。私は本日午前中の進行役を務めさせていただきます、防災科学技術研究所の藤原と申します。よろしくお願いいたします。

最初に当研究所の早山理事よりあいさつをお願いいたします。

早山理事：

ただいまご紹介いただきました理事の早山です。防災科学技術研究所の中に「特定プロジェクトセンター」というのがあり、地震動予測地図の研究を含む重要なプロジェクトを、その中でやっております。私はそのセンター長を兼務しております関係で、きょうは冒頭にごあいさつをさせていただきます。

最初に、本日、皆様大変お忙しい中を遠路防災科研までお越しいただきまして、まことにありがとうございました。

地震動予測地図の研究は、地震調査研究推進本部が中心になって進めている地震動予測地図作成の一環といたしまして、防災科学技術研究所では地震動予測地図作成手法の研究として進めております。

防災科研にとって、この研究は非常に重要であると位置づけております。と申しますのは、私どもの防災科学技術研究所の中期目標にもきちんと書いてありますが、究極の目標は「災害に強い社会の実現」を挙げております。その中で、地震動予測地図は非常に中核的な役割を果たすと考えております。従いまして、テーマは地震動予測地図作成手法の研究ですが、作成手法から少しはみ出しまして、地図の作成あるいは応用も含め、非常に積極的に取り組んでいるところです。

きょう、このワークショップを主催していただいている地震動予測地図工学利用検討委員会も、防災科研の中に設置いたしまして、利用も含めて推進したいという心意気をご理解いただきたいと思います。地震動予測地図作成のために、防災科研でも非常に多岐にわたる研究を行っておりますし、世の中にも非常に多くの研究が推進されております。

地震動予測地図の作成のためには、まず地震のメカニズムを解明する、あるいは観測を進める、あるいは予測をすることも大事です。また、地殻構造の中での地震動の伝搬の予測をする、あるいは地盤の上での地震動を予測する、そういったことが必要です。それに関連して、地殻構造や地盤に関するデータの収集なども必要になります。こういったいろいろなアクティビティが集大成して予測地図ができ上がるわけです。地震学と地震工学にとって、非常に総合的な研究の一つであると考えております。

また、応用に関してはいろいろ考えられるのですが、防災科研の中でもこれに関連したプロジェクトを既に進めております。まず、地震動予測地図作成手法に関する研究の成果として、ハザードマップとしての予測地図を作成することがあります。そのほかに、地震の被害予測の研究や地震防災フロンティア研究センター、特に川崎ラボラトリで進めております震災のシミュレーションの研究、あるいはそれをベースにした震災の情報システムの構築、あるいは意思決定支援システムの構築、このようなシステムのベースになる研究だと考えております。

私どもはリアルタイム、気象庁さんではナウキャストと呼んでいますが、文部科学省からの委託をいただいて、高度即時的地震情報伝達網実用化プロジェクトを国家プロジェクトとして進めております。今、気象庁や防災科研が協力して進めているところですが、この中でも地震動予測地図そのもの、あるいはその手法、知識、データといったようなものが、非常に重要な役割を果たすと考えております。

今、防災科研の中の応用のことについて多少触れましたが、この中にも応用範囲は非常に広いと思います。皆様に地図のみならず、その手法やデータ等々をぜひ活用していただきたいと考えております。応用といっても簡単ではありません。応用のために新しい知恵も必要ですし、新しい技術の開発も、場合によっては必要です。そのために、人もお金もつぎ込まねばならないということもあると思います。

また、応用が進んでまいりますと、その中で生まれた知恵がフィードバックされて、地震動予測地図の改良につながり、両方相まってより社会に役立つシステムが構築されていくのではないかと考えております。

きょうもそのような目的でこのワークショップが開催されたと理解しておりますが、ぜひ、皆様の活発なご討論で新しい知恵、新しい方向が生まれることを期待いたしまして、私のごあいさつとさせていただきます。きょうは本当にご参加ありがとうございます。(拍手)

趣旨説明

進行（藤原氏）：

引き続きまして、今回のワークショップを企画いたしましたのは地震動予測地図工学利用委員会です。この委員会は防災科学技術研究所に設置して今回のプロジェクトの一つの検討を行っています。その委員長である亀田先生より、今回のワークショップの趣旨説明をお願いいたします。

亀田委員長：

ご紹介いただきました、本日主催させていただいている地震動予測地図工学利用検討委員会の委員長を務めております亀田です。職は防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センターのセンター長を務めております。

本日は、このワークショップを企画いたしましたところ、かくも多くの方々にご参加いただきまして、まことにありがとうございます。この後のプログラムでは、委員以外からも話題提供や討論、特別講演をお願いしている方々がおいでです。お引き受けいただきまして、まことにありがとうございました。

本格討議に入る前に、若干の趣旨説明をさせていただきます。今、理事からご紹介がありましたように、地震調査研究推進本部の地震調査委員会のもとで、地震動予測地図の作成プロジェクトが進んでおります。これにはいろいろな機関がかかわっておりますが、防災科学技術研究所はいろいろな形で、大きな方法論の開発や実際に地震動予測地図を作成するなどの実質を伴う作業もたくさん行っております。それが、防災科学技術研究所の中の特定プロジェクト研究である「地震動予測地図作成手法の研究」というタイトルのもとで、進められているわけです。

このような背景がありまして、1年半ぐらい前になるかと思いますが、文部科学省と地震調査研究推進本部の方々とお話ししているときに、工学利用について少し入念な議論ができないだろうかということになりました。この地震動予測地図の作成体制の中には、政策委員会の中に「成果を社会に活かす部会」があります。そこは社会科学的な検討が中心で、工学的に専門的に深めていく議論はなかなかそこだけではしづらいということが趣旨であったと思います。

それをどういう形でやるかといろいろと議論の末、地震動予測地図工学利用検討委員会という形で、防災科学技術研究所の内部に理事長達という形で、昨年6月にこの委員会が設置され、私が委員長としてお世話をするようになったといういきさつがあります。目的は、地震動予測地図を工学目的に活用できる分野とその方法を具体的に検討することです。余り工学を狭くとらえず、できるだけ広く考えて、制約を設けない自由な討議をしようという前提でスタートしております。

この委員会での結果をどう生かしていくかですが、先ほど申し上げました「成果を社会

に活かす部会」にこれを提言として提出し、同部会の検討事項として討議していただくという体制を取っております。一応こういう枠組みの中で検討しておりますので、例えば、耐震設計の具体的な基準をどうするかとか、行政に直接結びつくようなところまではあえて踏み込まず、その基礎となるような議論をしようとして整理しております。しかし、これがきっかけになって、そういうところまでつながるような、広いユーザー側の討議へのきっかけになることを期待しております。

この段階で、地震動予測地図の工学利用を討議する意義はどういうところにあるのかについてお話しします。これは今年の3月に文部科学省が主催されました地震動予測地図ワークショップでも申したことで重複いたします。しかし、重要ですのでここでももう一度申し上げさせていただきます。

まず地震動予測地図の作成側では、でき上がった成果の情報や表現を、1つは地震発生の不確定性を反映した地震動分布、すなわち確率論的地震動予測地図、もう一つは特定の震源メカニズムを想定した場合の地震動分布（シナリオ地震）による地震動予測地図という2つにまとめようという方向で進んでおります。

一方、工学側の状況を見てみます。従来、工学分野では、実際の工学目的のために地震動予測を行うことはいろいろな形で試みられてきておりますし、膨大なノウハウも蓄積されてきております。もちろん、その場合には工学目的だとはっきりしておりますので、目的別に手法が検討されて、応用されることが多いわけです。このことは工学という実用的な目的行為においては当然のことです。しかし、個々にいろいろ工夫されて高度に錬磨された手法の間がどういう関係になっているのか、それらが持つ普遍性という点については必ずしも明確ではないと言ってよろしいかと思います。

そういう状況の中で、今回の地震動予測地図作成の意義は、私なりにこのようにとらえております。この活動は、地震学の最新成果に基づく知見を共通基盤として生かそうとする理学分野からの働きかけです。私のような工学の人間にとっては、そのような受け止め方をすべきであろうと思います。このことが、工学的活動とどう結びつくかを議論することは、地震ハザード評価の分野に新たな展開をもたらす可能性が十分あると思います。そういう意味で、工学分野からもこの議論を真剣に受け止めることが重要であろうと考える次第です。そういう姿勢のもとで、地震動予測地図が工学的に持ちうる意味と活用の可能性を検討するのが、工学利用委員会の目的であります。

ただし、地震動予測地図は、これだと出された、いわば既製品をどう使うかという問題ではなく、工学利用のためにはこういう情報が必要だという、作成方法に注文をつけるような内容も含めて討議をしよう。それによって初めて両者の有機的な関係が生まれてくるという立場で議論を進めております。

工学利用に関する討議を行う場合に、幾つか忘れてはならない論点があると思います。それを4点にまとめておりますが、これは3月のワークショップで詳しくお話ししましたし、これをいちいち詳しく論ずる時間がないので、項目だけを並べておきました。

まず、(1) 工学利用に必要な地震動情報の多様性を重視すべきであるということ、(2) 地震動と地震力は違うことを明確に認識すること、そこからいろいろな情報ニーズが出てくるといことであります。それから、(3) 確率論と確定論という、私の目から見ますと不毛の議論ではないかという確執があります。それをどのように克服するかも重要な討議の課題であること。多様な工学的実践をサポートするものであること。(4) 特に、阪神・淡路大震災以来、地震動をどのようにとらえるかということは、工学の分野でも非常に大きな反省と、それに基づく発展がありまして、ある意味では地震工学の自由化の時代と言ってよろしいような時代が続いております。そういう柔軟な方向をサポートするものであってほしいということが、重要な点として挙げられると思います。

工学利用委員会の活動経過をかいつままで申し上げます。私のレジュメの付録1に、開催経過等を載せてあります。まず、工学利用の可能性を持つ事例の掘り起こしを、たくさんの事例に基づいて行いました。その中で工学的ニーズの明確化、地震動予測地図作成手法への要請、不確定性評価のために確率論を用いることの意義の討議、結果の発信方法、いかにすればユーザー指向の内容にできるかについて討議を行ってまいりました。

それから、委員会外とのかかわりとして、成果を社会に活かす部会へ2度報告をいたしました。さらに、文部科学省主催の地震動予測地図ワークショップで今年の3月に報告を行いました。これは来年の3月にもまたあるのだらうと思います。それから、地震動予測地図工学利用ワークショップの開催、これは本日です。最後は、平成15年度中に報告書を作成し、委員会としての提言をまとめるということで作業が進んでおります。

これまで検討してきた課題を、タイトルだけ駆け足で申し上げます。まず、地震動予測地図作成に関する課題としては、地震調査研究推進本部の概要と活動状況、地震動予測地図作成プロジェクトの概要、活断層での地震発生確率の評価法、距離減衰式の問題、地震動予測地図の公開システムの問題。

工学利用に関する課題はたくさんをいろいろな面から見ましたが、建築サイドの利用、震災ポテンシャルの評価のための利用、地震リスク評価への展開、ライフラインの災害リスクマネジメントなど。それから、原子力施設への確率論的安全性評価(地震PSA)。学校の耐震化推進における地震動予測地図の役割。そして、このあと11月にはシナリオ型地震動予測の工学的応用の事例等々を討議することになっております。

学会活動、あるいは国際的な視点としては、建築学会、土木学会における活動、米国における同様の活動、ISO 関連での設計地震動の考え方。このようなことをまな板に乗せて討議を重ねてまいりました。

結果は、左のカラムに理学から工学への働きかけ、工学的利用、シナリオ地震と確率論的地震の融合、不確定性評価、地震荷重リスク評価といったようなキーワードに仕分けしつつ、各会の討議内容を、このようにまとめていくというような資料も作成しつつ、討議を重ねております。

これまでの討議の流れですが、結論はこれからまとめる段階ですから、これは私見とい

うことになります。全体の流れとしては、4項目ぐらいが重要な課題として挙げられているかと思います。

まず、地震動予測地図作成そのものは、地震ハザード評価の共通情報基盤として重要な意義を持っているという受けとめ方をしております。そういう意味では、地震及び基盤地震動までは、理学的に最高のものをつくっていただきたいということです。

つぎに、評価項目の多様性を、工学サイドでは重視しております。工学サイドでは非常に多様な技術活動ができるようなインターフェイスをつくってほしいと考えています。最大地動だけではなく、応答スペクトルであったり地震波形であったり、非定常スペクトルまでいくかどうかはわかりませんが、そういった多様な情報が、工学活動では必要ですので、そういうインターフェイスをぜひとも実現していただきたいと思います。

さらに、結果のみではなく、プロセスを開示していただきたい。例えば、工学では全システムの中で不確定性評価を行う必要があります。その中で、地震ハザードでは不確定性に関してどういう評価が行われたかというプロセスを知っておくことが、全体評価にとって不可欠です。設定条件に関する吟味をして、自分でいろいろ試行してみることも可能なようにしていただきたい。そういう意味では、設定条件に関するプロセスも開示していただきたい。

最後に、公開システムはこれから作っていかれるようですが、これは非常に重要で、委員会としてもその作成には協力を惜しまない姿勢でおります。

以上の経過を踏まえまして、本ワークショップの趣旨です。委員会としては、いろいろな事例を検討して積み重ねていくことは、ことしの11月で終わりにし、残りの期間は取りまとめに入ります。すなわち、課題の討議から取りまとめに移るこの段階で、委員会活動の内容を報告させていただいて、それに対して広く意見を得る討議の場を持ちたいというのが、本日のワークショップの趣旨です。

プログラムは4部構成です。第1部が「地震動予測地図の作成手法について」、第2部が「地震動予測地図の工学利用について」です。ここでは、それぞれの課題を推進するリーダーの位置にある方及び工学利用委員会のメンバーから、それぞれ話題提供をいただきます。そして、あらかじめお願いしております討論者の方からご意見をいただきます。それをベースにして、フロアからの討議、意見交換を行いたいという構成になっております。

次に、特別講演があります。講師をお願いした柴田碧先生のことは皆さんよくご存じのことと思いますが、先生の長年のご経験に基づく地震動、地震荷重にかかわる見解を、必ずしもこのワークショップのテーマに縛られることなく、自由な視点から披瀝していただくことをお願いしております。

最後にまとめを行います。担当の方々に、本日提出されるいろいろな内容、あるいはキーワードをできるだけ網羅的に抽出して、それを体系的に並べるという離れわざをやっていただこうと考えております。内容を体系的に理解する方針です。それに対して、ぜひご意見をいただきたい。それらの結果は、すべてこの後で取りまとめます委員会の報告に反

映していく方針です。

終了後、懇親会がありますので、できる限り多くの方々に、意見交換の場としていただければ幸いです。

このようにして見てまいりますと、工学利用委員会における討議は、理学と工学の討議をかみ合わせることが可能だと証明している場であると、私自身思っております。委員会には理学、工学の両方から専門家が参加しておりまして、これが重要な場を形成していると思います。

プラス思考の討議をしたい。ともすれば安楽なるがゆえに陥りやすい、自分の専門領域に対しての独善性、排他性からも脱却したいという方針で進めております。このワークショップもそのような機会にしたいと考えておりますので、皆様のご協力をお願いいたします。それでは、これで私からの趣旨説明を終わらせていただきます。この後、よろしくお願いします。どうもありがとうございました。(拍手)

地震動予測地図の作成手法について

進行（藤原氏）：

それでは、これから2時間ぐらいにわたりまして、地震動予測地図の作成手法について、実際に地震動予測地図を作成している側に立つ先生方に、さまざまな話題提供やそれに関する討論を実施していきたいと考えております。

まず、この話題提供及び討論に参加していただける先生をご紹介します。あちらから、島崎先生、清水建設の石川さん、九州大学の川瀬先生、岡山大学の隈元先生です。まず島崎先生には、現在行われている地震調査研究推進本部地震調査委員会での長期評価の現状などを、石川さんには実際の確率論的なハザード評価の現状について、いろいろな問題点を指摘していただきます。それに対しまして、川瀬先生からは強震動の研究者という立場から、隈元先生からは活断層の研究者という立場からいろいろなコメントをいただくように予定しております。最初に島崎先生と石川さんからの話題提供をいただいた後、討論に入ります。その場合、川瀬先生と隈元先生には、皮切りに10分ぐらいの討論のネタを出していただき、その後は会場の人も含めての討論を実施していきたいと考えております。

まず、島崎先生からの話題提供をいただく前に、本日、午前・午後にわたってさまざまな討議を行う上で、地震動予測地図がどういうもので、それがどういう言葉で何が示されているのかについて、私から簡単にご説明しておきたいと考えております。

地震動予測地図作成プロジェクトの概要ですが、これは時間がありませんので細かいことは申し上げません。地震調査研究推進本部の地震調査委員会が実施している地震動予測地図作成を支援する形で、我々防災科学技術研究所が、水色の四角で囲んであるような確率論的な地震動予測地図及びシナリオ型地震動予測地図の作成手法の研究、及びその作業を実施しているという立場です。そのために、委員会が2つ立ち上がっております。1つは確率論的予測地図作成手法検討委員会、これは翠川先生に委員長をお願いしております。ここで手法の検討を行っております。もう一つは、先ほど亀田先生からご紹介がありましたが、地震動予測地図工学利用検討委員会で、今回のワークショップの企画を担当している委員会です。

今、我々が作業している地震動予測地図ですが、これは2種類の地震動予測地図から構成されています。ここがポイントで、1つは確率論的な地震動予測地図、もう一つがシナリオ型地震動予測地図です。地震動予測地図の全体計画も、簡単に背景をご説明します。プロジェクトの期間は平成16年度末を目標とし、全国を概観する地震動予測地図を作成することを実施しております。確率論的な地震動予測地図につきましては、昨年度北日本を中心とした地図をつくり、今年度は西日本を中心とした地域での地図を作成しております。来年度は中日本を作成し、全体をまとめた日本全体を概観するような地図を作成するという段取りで進んでおります。その中でも、特に発生確率が高いとされるような地震については、個別の地震についてシナリオ地震を毎年幾つかつくっております。これで強震動評

価、そこで使われるレシピの高度化などを議論しております。最終年度の16年度に向けて、こういった2種類の違うタイプの予測地図をまとめ上げる形で、最終的には地震動予測地図を作成していくよう予定されております。

確率論的な地震動予測地図は、今後発生する地震をすべて想定いたしまして、それらの発生確率及び地震が発生したときの地震動の発生確率をすべて込みにして、各地点で今後見舞われるであろう地震動を、確率を用いて表現するという地図です。

震源断層を特定した予測地図は、1つ1つの地震をはっきりさせ、それが起きたときの地震動分布を計算します。これは1つの地震を相手にしておりますので、さまざまな詳細な情報を取り込み、できるだけ詳細な、例えば工学的基盤での時刻歴波形などまで計算できる形での準備が進んでおります。

理想的な地震動予測地図にはどういうものがあるのか、これは私の独断で書きました。前提といたしまして、地震の発生は確率論的にしか記述できないという制限があります。その中で、理想的な地震動予測地図をつくるとしたらどういうものができるかということです。仮に起こり得るすべての地震に、発生確率を割り振ることができ、個々の地震についてはすべての情報を合わせたような詳細な強震動評価が行えれば、それを重ね合わせることによって理想的な地震動予測地図ができるのではないかと思います。こうした場合に、1つ1つシナリオ地震地図は、確率論的なハザード評価全体の中の1つの事象として位置づけられます。先ほど亀田先生のお話にもありましたが、確定論的なものと確率論的なもの、そこでの言葉の行き違いのようなものは生じなくなるのではないかと考えております。しかし、現状ではこのような地震ハザード評価を行うことは非常に技術的に難しいのです。なぜならば、確率を与えるにしても詳細な計算を行うにしても、情報がなければ計算能力もないという状況です。そういう中で、今進められている地震動予測地図は、簡便な強震動評価による確率論的な地震動予測地図の作成と、詳細な強震動評価によるシナリオ地震地図の作成という2つの道に分かれることになっております。この間で、どちらの地図を重視するか、研究者の中でさまざまな議論があるということが現状ですが、元を正せばそういったものは1つにまとまっていくはずであるというのが、今、私が考えているところです。

簡便法は距離減衰式に基づいた強震動評価です。詳細な計算法は、例えば、入倉先生がつくられている強震動評価のレシピに基づいた、さまざまな物理的モデルに基づいて強震動を評価する手法を、我々は詳細法と呼んでおります。これは詳細法の1つであるハイブリッド法の例です。

きょうは、これから討論をいただく前に、ここの4人の方には、私から、今、地図のプロジェクトを進める上で、大変重要であると思われる課題についてお示しし、そういったものについてできるだけ焦点を絞った討論をということをお願いしてあります。

1つは、確率論的な地震動予測地図を作成するときの課題として、地震発生の長期評価で示された地震発生確率の幅の扱いがあります。これはかなり専門的といいますか、今、

島崎先生が中心となってなさっている長期評価から出てくる地震動評価です。これは1つの値にすべてが定まっているわけではありません。確率論を用いながらも、結果が幅を持って示されるという状況にあります。なぜそういったことが起こるのかというと、幅を持って評価された活断層や海溝型の地震でも、平均活動間隔、最新活動時期といったものが、幅を持って示されてしまっております。そういうものに基づいて確率評価をすると、その結果も幅が出てきてしまいます。そういったものをどうすればよいのかということです。また、確率論的手法による評価に期待される利用者の立場に立った情報とは何か。理学と工学の間で、いろいろな先生からいろいろなことを伺いながら、それぞれの立場でそれぞれどうにもならない状況にはあるにしても、立場の違いがどうしても溝を生みやすいということがあります。このような幅の扱いをどうすればいいのかが、大きなポイントだと思っています。

2番目が、低確率の強震動評価についてということです。つまり、確率論的な地震動予測地図を作成するときには、詳細法ではなくて簡便な距離減衰式に基づく方法という強震動評価法が取られております。そのときに、非常に発生確率が高い地震などについて、それに対する低確率（起こりにくい）の強震動評価を行った場合、距離減衰式のばらつきのすそで評価されることになります。我々が持っている強震動評価手法の限界をつくような問題が発生しております。このあたりも作成手法上大きな問題になっております。このような低確率の強震動評価については、最終的な地図での見せ方も問題になります。強震動評価手法自体をもっと高度化して、そういうところを今後なくしていくことが、本質的には重要だと考えております。

もう一つは、確率論的な地震動予測地図と震源断層を特定した地震動予測地図（シナリオ型地震動予測地図）をどういう形で融合させていくのか、これが大きな問題になると思います。特に、確率論的な地震動予測地図だけでは記述できないようなさまざまな地震動に関する情報を補うものとして、シナリオ地震地図が位置づけられると思います。これをどう位置づけるのか。シナリオ地震地図は確率論的な地図の中の、一つの事象に過ぎないと考えますと、では、どういうものを選び出せばよいのか。現状、それらが2つに別れてしまっておりますが、そういうものをどうやって2つを使い分ければいいのか。こういったことを課題といたしまして、4人の先生方に議論いただければと考えております。以上です。

では、島崎先生から、長期評価の現状ということで、お願いいたします。

東京大学地震研究所 島崎氏：

地震研究所の島崎です。長期予測の現状について、藤原さんからなるべく基本的な話をするように言われたと思っておりますので、そういうお話をしたいと思っております。

話は3つに分かれます。最初に、ごく基本的な地震の性質をお話しします。これは、皆さんご存じかと思いますが、復習です。それから、実際に長期評価に使っている確率モデ

ルの話をさせていただいて、最後に信頼度についても触れてみたいと思っています。そういった説明の端々に現状がにじみ出てわかっただけであればありがたいと考えております。

最初に、これは東北日本の地震活動を累積度数とマグニチュードでまとめたもので、よく知られておりますグーテンベルク・リヒター式です。これは地震活動が最もよく知られている統計的な性質だと思います。特にご説明することはありませんが、同じ地域の地震活動 100 年分ぐらいのものです。1 年ごとの数ですが、こんな形になります。地震活動の一番の特徴は、群れをなすということです。上の方は前震で、これが余震です。前震は少ないのですが、群発地震等が含まれています。これをそのまま、例えばポアソン過程への適合度検定などをすると、必ず外れてしまいます。そういうわけで、地震活動は群れをなすというのは基本です。しかし、今、気象庁でやっていますように、余震は確率予報ができる時代ですので、一応そういった付随的な、独立ではない事象を取り除いて、下のようなグラフをつくります。そうすると、多少変動しているようですが、ポアソン過程に適合するような結果になります。

時間的には群れている地震を除くことによって、ほとんど一定の割合で起きていて、マグニチュード別頻度はグーテンベルク・リヒターに近いものです。これが、従来長く使われていた地震危険度マップの基本になっています。ですが、これはあくまでも地震を集団的に見た場合です。もう少し細かく見てみると、必ずしもこのようになってはいないというのが、最近の結論です。そこで出てくる言葉が「固有地震モデル」です。上と下が違うモデルですが、上はいわゆるグーテンベルク・リヒター則で、右と左はあるマグニチュード以上の数で書くか、あるいはそれぞれのマグニチュードの数で書くかの違いです。特に下の固有地震モデルは、必ずしもグーテンベルク・リヒターに従わず、最大の地震でもよいのです。それ以外の地震もグーテンベルク・リヒターには従うのですが、その間に大きなギャップがあります。マグニチュード 1 程度以上というわけです。

従来は、小さい地震を使って大きな地震をこの式で予測していました。しかし、小さい地震を使って大きな地震を予測すると、予測できないという結果があります。このようなことは、どういった形で成り立つかということなのですが、以下はやや推測が混じります。実際に、非常に地球内部は複雑で、断層にしても古くから引きずっているいろいろな傷があります。そういったものがある一定の力で、ある一定の方向に普通は押ししていくわけです。そうすると、段々この中で層構造的な力に応じた系がずれやすくなってきて、ある意味で秩序ができてきます。非常に無秩序な場合には最大値がありますが、場合によっては最大値がないかもしれないといった形の起こり方をします。要するに、スケールがないような起こり方をします。それが、ある時間たってくると進化をしてまとまった形になり、断層の形状でいうと分岐や飛びが少なくなって、一種摩耗してくるということが考えられます。

観測事実としては、ある震源域、ある領域の中で最大規模の地震の起こり方は、これです。それ以外は、必ずしもグーテンベルク・リヒターの通りではなく、マグニチュード 1

あるいはそれ以上離れたところからグーテンベルク・リヒターが成り立つといった形で起こることです。このような系がある場合、いったんここで最大規模の地震が起きてしまうと、またすぐに続けて最大規模の地震は起こらずに、ある時間が必要になります。それが、多分物理的な背景だと思います。実際に皆様がよくご存じのように、南海地震は歴史的には9回知られておりますが、それは、決してでたらめに起きているわけではなく、かなりの規則性を持っています。最近の考古地震学の研究なども入れますと、100~150年ぐらいの間隔で、かなり規則的に起きているのではないかと思います。私は「個別的な性質」と呼んでいますが、ある限られた領域は、必ずしも周辺の領域とは無関係ではあり得ません。その相互作用が大変な問題になります。その限られた領域で最大の地震は、特別な起こり方をするということになります。歴史的な資料がある場合にはそれを使うことができますが、日本の陸域で起こる地震は、同じ断層で繰り返す間隔が少なくとも1,000年、あるいは数千年、数万年と非常に長いのです。そういうことから、実際は、こういう形になりまして、歴史時代で起きたものは、必ずしも近い将来に起きるとは限らないということになります。実際に、これまで経験したことがないということの評価するのは非常に難しいし、そういうことは信じない方もいらっしゃると思います。しかし、少なくとも日本の陸の中に関しては、そういうことを信じないわけには絶対にいきません。何を信じるかは別ですが、何らかのことをしない限り、将来のことが予測できません。経験したことだけでは予測できないということになるわけです。どうしても先史時代までさかのぼらないなりません。それで、活断層の調査が必要になってくるのです。

地震発生の長期予測は、大きく3つに分かれます。1つは海溝型地震と呼んでおりますが、これは必ずしもプレート境界の地震だけではなく、プレート内の地震も含めています。それから、先ほど言いましたように日本の陸域の浅いところ、活断層で起こる地震です。これらはいずれも繰り返しの間隔が相対的に短いので、よく目立ちます。しかし、それよりも長くなってくると、必ずしも我々の知識は十分ではありません。また、活断層として十分認められるように、地表にあらわれてこないということもあります。それは、ここではあらかじめ震源を特定しにくい地震という形で評価しております。

先ほど申し上げましたが、こういった海溝型あるいは活断層で起こる地震は、どういう地震であるかが特定できます。もちろん、場所や震源、震源域も特定できています。これは、先ほど言ったような形で、固有地震として評価できます。繰り返しの間隔がある程度の規則性を持っていて、規模もほぼ一定であれば、そういう評価になります。

しかし、あらかじめ震源を特定しにくい地震、あるいは海溝型でも一部どこで起こるか分からないという評価があります。そういった場合は、先ほどのような個別的な性質ではなく、むしろ地震の集団的な性質を使って、グーテンベルク・リヒターと発生はポアソン過程という形の評価となります。

先ほど申し上げましたが、これは漫画ですが、プレートが沈み込みます。これが陸のプレートですが、この境界で起こる地震だけではなく、実は三陸の方で正断層の地震や逆断

層の地震が起きたり、プレートが沈み込むことによって変形したりするのが主な原因です。そういった地震も含めて海溝型と呼んでおります。

さらにもう少し深いところで、1993年の釧路沖地震のようなものもありますので、これもそれなりに含めた評価をしています。こちらは大体活断層で起こる地震として評価しており、それ以外は震源を特定しにくい地震として評価することになります。

以上が基本的な地震活動の性質から見た評価の仕方です。実際の評価に当たっては、先ほど言った個別的な性質を利用した場合には、何らかの確率モデルを使うことになります。ここに幾つかのモデルを出しましたが、ものによっては非常にはっきりした物理的な仮定があります。一番下の二重指数分布は岩石破壊実験に基づいている部分がありますので、物理的な対応をした仮定が存在します。中には、単に統計的な意味しかないものもあります。

これらのどれが一番よく当てはまるかを検討した結果です。一例ですが、先ほどお示した南海道地震の例では、9回の地震の中で余計なものが1つあります。これはポアソンで絶対当てはまりません。それ以外の当てはめ方が見えるかと思えます。ここでは二重指数とBPT、この2つは、実はこういったあてはめをすると、微妙に端の方で違いますが、形としてはほとんど重なってしまいます。ガンマがよくて、それ以外はあまりよくないという形になります。これは幾つかの日本で繰り返しが知られている地震系列についてやりましたところ、とりわけほかより非常にすぐれている例はないというのが結論になりました。その意味では、どれを取ってもいいようなものなのですが、一番はっきりしているのは、物理的な仮定として、ある程度直感的ではありますが、BPT分布が発生過程として使えます。それから、多少変な数値が入っていても安定していて非常に大きくずれたりしないという安定的な性質。それから、ささいなことですが、これはすその形から出てくるのですが、対数正規ですと発生しないまま長い期間が過ぎると、条件つきに確率が減っていくという奇妙な現象が起きます。こちらは、我々が使っている範囲ではそういう現象が起きないということがあり、現在ではBPT分布を使って評価しています。どれもパラメーターが2つありまして、あらわし方によっては、平均的な繰り返し間隔とそのばらつきの2つとして考えることができます。

たくさんの地震が繰り返している場合は、このばらつきまで評価できます。しかし、陸の地震の場合には、必ずしも活断層調査からたくさんの繰り返しがわかるということはありませんので、何らかの工夫が必要です。ここでは比較的多くの繰り返しが知られている4つの活断層を例として、それらの活断層に対して、それぞればらつきが違うのか、そうではないのかという設問を設けました。4つの活断層がありまして、今のところは簡単のために、平均繰り返し間隔を1でノーマライズしてありますが、これがそれぞれの繰り返しです。0.6から1.2まで、ばらついています。

4つの活断層の繰り返しのばらつきが、それぞれ違うというモデルがこちら、同じというモデルがこちらです。その場合の、ここはAICが書いてあって、かっこの内がばらつきの

パラメーターです。共通したばらつきであるとする 0.24 になるのですが、個々に求めると 0.165 から 0.250 で、それぞれ違った値が求められます。全体のAICを計算しますと、どれも同じであると考えた方がいい値を示しておりますし、特にこの差はかなり大きいので、これらは個々に計算すれば違う値が出ますが、どれも同じばらつきを持つと考えて、統計的に問題がないということになります。これは、それまでなので、これから先は、ある意味では外挿してしまいます。活断層に関しては、今の値を全部使って評価をしています。計算しているのは条件つき確率で、これが前の地震が起きた時間で、横軸が時間です。これは確率密度関数ですが、ある一定の時間がたつと、発生の確率が大きくなります。実際に計算しているのが現在(T)の段階で、今後、 $T + \Delta t$ の間に発生する確率を、全体の青い面積分の斜線の面積で計算する形です。

先ほど申し上げましたが、日本の陸で起こる浅い地震というのは、非常に間隔が長いものです。それで問題が出てきます。これは共同通信が配信した新聞記事のコピーです。脱線しますが、これを外国の方にお見せしたら、日本の新聞はこんなに進んでいるのかと驚かれました。それはともかく、海溝型の地震は、例えば100年ぐらいの間隔、陸の地震は1,000年ぐらいの間隔というわけで、今の条件つき確率を計算しますと、30年だと結構大きな値になります。しかし1,000年に対して30年は非常に細く、大きな値にならないという問題が生じます。実際、兵庫県南部地震が起きている野島断層で30年確率を計算しますと、 $0.4 \sim 8\%$ という非常に小さな値になってしまいます。そういうことがありますので、実際の評価に当たっては、建設的な表現が必要なので、2つに分けました。これは、全体の半分だと考えました。しかし、それは全部の評価が終わっていない時点で考えたので、決して最終的にはそうならないと思います。これは30年以内の発生確率ですが、それで 0.1% 以上がかつては半分ぐらいだろうと思われましたので、それについて 3% 以上か未満かで2つに分け、特に 3% 以上のものについては30年間に発生する可能性が高いという評価で、ここはやや高い、それより下は特にコメントしないという評価をしています。

今のところ、 40% ぐらいの活断層の評価が終わった状況です。だいたい色で書いてあるのは、さきほどお示した高い評価です。黄色がやや高い、緑がコメントしない。青は活断層ではないとわかったものです。こうやって見てみると、何らかの分布があるようにも見えますが、こういった形で評価されております。高いものの数が幾つくらいになるかはわかりませんが、最終的には20~30カ所だろうと予想しております。全体で98カ所です。これが、地震調査研究推進本部で調査が必要な主要活断層帯として認められた98カ所で、現在、ほとんど調査が終わっており、評価が4割方終わった状況です。この赤いものは、先ほど言ったように余り大きくない数値のように見えます。しかし実際、この中のどれかが地震を起こす確率を計算すると、結構高くなります。恐らく30年以内には、この中のどこかで地震が起きるのではないかと考えています。

先ほど申し上げましたように、BPT分布で確率を求めています、幾つか例外があります。それはもう少し物理的なモデルを使った方がいいのではないかと、南海道

地震に関しては、横軸が時間で、縦軸が応力のレベルで、これはずれの量の累積量です。真ん中の時間予測モデルは、実際に固有地震が起きて、その系のエネルギーが起きると、次の地震までの時間が長くなるだろうというモデルです。南海地震に関しては幾つかの証拠があり、実際にこれが成り立っているのではないかとされています。この地震と東南海地震に関しては、それを考慮する形で評価が行われました。

値がどういう関数系であらわされるかという議論がありますが、それは別として、簡単に応力レベルが一定のところで地震が起こるとします。BPT モデルはある一定のスレッショールドがあって、そこに達すると地震が起こります。横軸は時間です。実際には、時間的には一様に、例えば応力とすれば応力が蓄積しますが、そこに、一次元ですが、ブラウン運動が入っているモデルです。ですから、場合によっては長くなるし、短くもなります。ブラウン運動は、実際には恐らく周辺の地震、要するに考えている系は孤立しておらず、相互作用を持っています。ですから、周りで地震が起きたりプレートの運動でゆっくり地震が起きたりすると、場合によってはそこはかなり応力が増加したり、減少したりします。そういう影響を、ここではブラウン運動という確率的な仮定であらわしたと解釈しております。

しかし、先ほどの時間予測モデルで、前の地震が大きいと次までが長いということで、この量を、ここではいつも一定だと考えていますが、これを前の地震の大きさによって変えてやれば、この2つはうまく結合します。実際にそういった形で評価を行っています。

実際、これが南海地震の今後 30 年以内の発生確率です。評価したのは 2001 年 1 月現在で、40%程度という評価になっています。2004 年 1 月というところの辺ですから、現在は 50% 近いところに来ているのではないかと思います。東南海地震はこれより 10%ほど高い値になっております。

ばらつきに関しては、物理的なモデルを入れましたので、実際のばらつきは 0.2 ですが、それより小さなばらつきであるべきだというのが本当かもしれません。その場合は、もっと立ったものになります。しかし、余り事例が多くないときにそこまで判断するのは、場合によってはやりすぎではないかということで、ここではそれはせずに、ばらつきそのもの (0.20) より小さい値にはせずそのままにしています。参考として、活断層の 0.24 を横に加えるという形で評価しております。ちなみに、南海地震は過去たくさん地震例がありますので、信頼度は規模に関しても、震源域の形態や発生確率に関してもすべて A (信頼度が高い) という評価をしております。

一方、十勝沖の地震ですが、ことしの 3 月 24 日に千島海溝沿いの地震の長期評価を行い、こういった絵を公表しております。十勝沖では 1952 年の余震分布ですが、将来こういった地震でマグニチュード 8.1 前後、実際 30 年間の発生確率はほぼ 60%という評価結果であります。評価するに当たってはなかなか難しい点が多かったので、信頼度もすべて B という評価です。

特に難しかったのは、最後の 1952 年、1973 年、1969 年、1963 年の地震が書いてありま

すが、1つ前の1843年ではないか、これは1894年ではないかと、1つ前の地震があります。しかし、それに関する情報が非常に少なく、例えば、1843年の地震はここではなくて、この辺であるという人すらいるぐらい、なかなか評価が定まりませんでした。実際には、これ全体で共通の繰り返し間隔を考えて、現在見られているばらつきは、そのばらつきであると解釈して評価を行いました。やや苦し紛れの評価になっています。もし、これが1952年の地震で、1つ前が1843年の地震だったとすると、その繰り返し間隔は110年であります。もし、それが平均的な繰り返し間隔であると判断されたなら、ここではしばらくは地震が起きないという形になったと思われます。

信頼度に関しては、活断層の評価から出てきました。長期評価を続けてきておりましたところ、防災関係の、これは内閣府の防災担当ですが、2年前、信濃川断層帯と養老一桑名一四日市断層帯の評価をしたときに、このような記者発表資料を、内閣府が出しております。防災機関の対応というところがあります。「活断層による地震については、現在確認されている活断層だけで発生するわけではなく、(実際そうなのですが、)昨年10月に発生した鳥取県西部地震のように、確認できていなかった活断層で発生するものなどがあるというわけで、防災対策上は全国どこでも起こり得るものとして、対策を行っている」ということが書いてあります。それに伴って、私どもの評価にはこういう文言がつけ加えられました。一生懸命に最新の知見を用いて最善と思ってやっけてはいるのですが、データとして用いる過去地震に関する資料が十分でないなどの限界があるので、誤差を含んでいる、防災対策の検討などには、この点に留意する必要があるといった形で評価を出すことになりました。これは1年ほど続きました。これが最後に出たもので、同じ文章です。特に変わったことはありませんが、現在は、これは出なくなっています。それは、信頼度をつけたことによります。実は、信頼度は前からつけておまして、これは、中央構造線の例です。文章としてやや日本語的ではないのですが、「である」は信頼度が高いとされています。「あったと推定される」は信頼度が中程度だと思われます。「可能性がある」は日本語として意味のあいまいなところがありますが、これが信頼度がやや低い、あるいは低いと思われる評価であります。この場合、50%以上でこうなるだろうという形の評価です。

基本的に、評価が最もあり得そうな、Most Probable なものを出すということを基本としております。最終的には、確かにデータ、量、質が一樣ではないということで、信頼度をつけます。活断層の場合には既についていたのですが、発生確率にもつけようということで、高い、中程度、やや低い、低いという評価であります。先程申し上げましたように、南海地震などはA A Aですが、十勝沖地震はB B B、海溝型の評価ですと、日本海東縁部はCやDなどが混じっているという評価です。

これは「NATIONAL GEOGRAPHIC」の絵ですが、最近は、いろいろところでこの評価結果を利用して書いていただいています。ちなみに、新聞の例をお示します。これは「赤旗」の日曜版です。左が十勝沖地震の前、右が十勝沖地震後です。以上です。(拍手)

進行（藤原氏）：

どうもありがとうございました。討論の時間は後でまとめて取りたいと思いますので、引き続きまして、石川さんから2番目の話題提供をお願いいたします。

清水建設 石川氏：

ただいまご紹介いただきました石川です。私は、地震ハザード評価に関して、最初に藤原さんからご指摘いただいた論点を少しかみ砕いて、特にマップの作成手法についてお話ししたいと思います。

最初に、地震動予測地図が2種類あるという話がありました。きょうの私の話は、そのうちの確率論的地震動予測地図ということで、ここではハザードマップという呼び方をいたします。

藤原さんのお話の中で、理想的な地震動予測地図は、最後はハザードマップ一つになるというご指摘がありました。私は多少異議があります。2つの地図は性格が違うので、これから先も併存するのではないかと個人的には思っています。

これは最後にも出てくるスライドですが、ハザードマップのこれからということです。多分基本的には、ベースにサイエンスに基づくマップというのがあり、それにいろいろな工学利用の目的に応じて、設計用地震動マップや補強用のマップ、あるいは被害を重ねたリスクマップ、そのほかにもいろいろあると思いますが、そういったものが、多分これからつくられていくことになると思います。

今行われている地震動予測地図が、どの辺の目的をねらっているのかは私にもちょっとよくわかっていません。しかし、私自身のきょうのこれからの問題提起の意識としては、上の方の工学利用を意識した形での問題提起だにご理解いただきたいと思います。

最初に、ハザードマップの特徴として2点ほど指摘いたします。そのために、1年ほど前に地震ハザード評価の検証をいたしました。これは3月の予測地図ワークショップと、先般土木学会でも発表しましたので、詳細はお話ししませんが、基本的には過去にさかのぼったハザード評価の結果と、その後実際に震度5や震度6が来たのかどうかというものを比較し、何が言えるかということを行いました。

そこからの結論として、1番目の特徴として、震度5、震度6に関しても、事前の確率が高かった地点は、実際にその後震度5、震度6を受けているということがはっきり見えます。ハザードマップの特徴として、確率が高い地域は、それなりに注意すべき地域であるという指摘ができると思います。

これに関しては、3月に出た北日本のハザードマップで、ことし発生した地震です。震度6弱以上を記録したものが6回あったのでしょうか。その6回の震度6弱以上の地点は、

事前のハザードが非常に高く、その特徴がことしの地震でも実証されたと言えます。これは、震度6弱以上を30年以内に受ける確率の地図です。宮城のこの辺と道東地域は赤い色になっておりまして、その辺が30年たたないうちにそういうことが起こったと言えます。

2番目の特徴です。この辺が、確率論と確定論の確執というあたりのポイントになっていると私自身は思っています。震度6に関しては、事前の確率が低かったにもかかわらず、何点かで震度6を実際に経験しています。福井や神戸がそれに該当します。そういうことで、仮に100点あったときに、20点も30点も震度6を受けているわけではないのですが、3〜4点が震度6を受けるところがあるというのが事実としてあると思います。

ですから、こういった問題に関しては、どこかで強い揺れを受けるという低確率の問題に対して、確率論がどう使えるのかという、ある意味では利用サイドの問題かもしれません。そういう意味で、作成手法の面から言うと、活断層での地震予測がどこまでいけるのかというあたりと、利用サイドの面では、いわゆる低頻度の問題に対して、確率がどう使えるのかというあたりを、多分きょうも議論されるのではないかと思います。

先ほど藤原さんがご指摘いただいた論点ですが、私は2つほど背景を説明したいと思います。1番目は、今申しました活断層における地震発生確率の問題です。特に、長期評価では幅を持って確率が出ていますので、その取り扱いの問題にちょっと焦点を当てます。

2つ目は、震源域における地震動の強さのばらつきです。今は距離減衰式で対数正規分布でばらつきをモデル化しますと、場所によっては非常に強い地震動がマップとして出てきます。先ほどの赤い色がついているマップで、赤がどんどん強い色になっていくのではないかと思います。本当にそれでいいのかという点について、少し指摘したいと思います。

ハザード評価についてちょっとおさらいをします。地震のハザードというのは、 t 年間に y という地震動強さを受ける確率を、こういった式で計算します。これを大ざっぱに言いますと、左側のタームが地震の発生確率を計算する部分で、島崎先生のお話でもありましたように、BPT 分布が地震によっては使われます。またポアソンの場合は指数分布が使われます。

それから、右側のタームは地震動強さの超過確率で、現状では距離減衰式に、最大速度ですと対数正規分布のばらつきでモデル化していきます。このあたりは、将来的には距離減衰式ではなくなっていくのではないかと期待されています。粗っぽく言うと、地震の発生確率とその地震が起こったときの地震動強さの超過確率のかけ算という形になります。

ハザード評価の結果は、地点ごとにこういうハザードカーブで表現されます。ハザードカーブは横軸が地震動強さで縦軸が超過確率です。カーブが右に上がるほどハザードが高くなります。ハザードカーブとハザードマップの関係ですが、このような地点ごとのハザードカーブを地域の広さに応じて集めます。日本全国を1キロメッシュで見ますと、40万本ぐらいのハザードカーブを集めてこられます。これから、2種類のハザードマップをつ

ることができます。

1つは、ハザードカーブを横に切って、確率レベルをそろえたときに、地震動強さが地点によって変わりますので、それを示した地震動強さの分布図がつくれます。もう一つはこれを縦に切って、地震動強さをそろえたときには超過確率が変わりますので、確率の分布図という、2種類の地図が示されています。

もう一つ、評価は、貢献度、地震調査研究推進本部の評価では影響度という指標が出ています。これは、地点ごとのハザードカーブを地震ごとのカーブに分解します。地震ごとのカーブをつくれますので、これである確率を指定した場合に、このカーブを縦に切ります。そのときに超過確率に、それぞれの地震がどれだけ寄与しているかという割合を示したのが貢献度です。

ハザードカーブの特徴を理解するために、地震が仮に1つだけであったとしますと、ここに1本カーブが出ます。この左端の点が地震の発生確率です。カーブの形状がばらつきの超過確率になります。これは確率の分布関数を1から引いたものです。分布関数は非超過確率ですから、これを1から引いた形状になります。ですから、対数正規分布ですとその形状になります。これはあくまで地震が1つの場合です。

ということは、この地震の発生確率の2分のpのポイントが地震動強さの中央値です。ですから、仮にすぐそばに活断層があるところ、または海溝型地震がある場合に、もし起これば非常に強い揺れが来るというケースでは、この中央値をずっと右に追っていきますから、カーブとしては寝たような形になります。こういう性質を持っています。実際には、いろいろな地震の影響がありますので、ハザードの立ち上がりは1に近いところから落ちてきますが、1つの地震にばらしてみると、こういう特徴を持っています。

先ほど言いました2つの論点を少しかみ砕きます。最初は活断層での地震発生確率の問題です。先ほどのカーブでは、活断層の影響が非常に強い地点を取り上げました。先ほど、このカーブがぐっと寝てくると申し上げましたが、確率が変われば、カーブ全体が上下します。

活断層の確率は、例えば50年間あたりを取りますと5%とか10%とか、最大でそのぐらいのレベルのものが多いです。しかし、今は割と設計の地震動のレベルを議論するときにも、50年で5%や10%という点が議論されますので、この活断層の確率がどれぐらいのところに来るのかは、場所によっては非常に大きな影響を持つケースがあります。

その辺の具体例を少しお話ししたいと思います。今、長期評価で活断層の地震発生確率は幅を持って出ています。幅をどう評価するかということではいろいろな視点があると思いますが、ここでは2つ、最大ケースと平均ケースを比較したいと思います。

最大ケースというのは、活断層で地震が起こっている平均活動間隔の最小値を取ります。その最も短い間隔で地震が起こると考えます。それから、最新活動時期です。これは前回の地震から現在までにどれくらい時間がたっているのか。この幅があった場合には、この

最大値を取るということで、確率としては最も高いものになるというケースです。

先ほど島崎先生のお話の中で、今長期評価されているもので、発生の可能性が高い、やや高いという評価がされて、高いものというのは30年で3%以上というお話がありました。その数字を出すときには、最大ケースの値が使われているのではないかと思います。

もう一つ、平均活動間隔と最新活動時期の両方の値の真ん中を取って、確率を計算しています。これが平均かどうかというのは疑わしいところがありますが、これを平均ケースと呼びます。今の地震動予測地図は、平均ケースが使われていると理解しております。

実際に、これがどのくらい違うのかを、長期評価が出ている確率で比較したのがこの図です。これは30年間での地震の発生確率で、45本ぐらいの長期評価が出ております。丸で2つつないでいる線の上が最大ケース、下が平均ケースです。1本の断層で、最大と平均を線でつないでいます。

この並びは、最大ケースの確率が高い順に左から並べています。こちらが糸静線で、幅がありませんので1つの点として両方が重なって出ています。2つ目が富士川河口断層帯で、このぐらいの幅があります。多分、平均ケースでやるとかなり小さくなってきて、先ほどの3%で見てやると、3%を超えるものは4~5つになってしまいます。このぐらいの差があります。

45本のうち、工学利用という面で見えていいのかはわかりませんが、問題になりそうなのは全部というわけではないと思います。恐らくこのあたりの断層の確率をどう入れるかというあたりが、結構悩ましい点かと個人的には思っています。

具体例として、この確率がハザードにどのくらい効くかという話です。金沢の例を取り上げます。金沢はすぐ側に森本・富樫断層帯があり、その確率も幅があります。最大ケースと平均ケースで、30年で5%と0.3%、50年になると9%と0.5%ぐらいの幅があります。50年のハザードの値を使って、どれぐらい違うかを計算してみました。これが最大ケースです。50年10%で、工学的基盤の最大速度で35カインぐらいです。平均ケースを使うと、粗っぽくいうと半分近く小さくなります。

実際に、この断層が動いたときの平均的な最大速度は、距離減衰式の中央値は40カインぐらいだと思いますので、それと比べてこのぐらい開きがあるという結果になりました。設計などの面で使うときには、無視できない差ではないかと考えております。

もう一つ、最大ケースと平均ケースの比較ということで、今出ている確率を使って、将来の30年もしくは200年に、どれぐらいの地震数が期待値として出てくるか、防災科研で計算された結果です。それを比較したものです。左側が30年間での期待値、右側が200年間での期待値です。評価が終わっていない断層では暫定値を使っていますので、これから評価が出てくると、この値は変わってくる可能性があります。これぐらい最大ケースと平均ケースでは違います。

過去 200 年をさかのぼりますと、98 断層で 11 の地震が起こっております。11 の中にはあやしいものもあるようですが、粗っぽく言って 20 年間に 1 回として、10 ぐらい地震が起きているわけです。30 年で平均すると 1.7 ぐらいになりますが、これで見ると、平均ケースは少し低い評価になっているという気がしないでもありません。このあたりは、また後で討論していただければと思っております。

この辺の話をまとめますと、特に活断層での地震発生確率は、場所によっては非常に大きな影響を及ぼすということと、平均ケースは多少低い評価ではないかと言えなくもありません。ただ、幅の原因は断層ごとに事情が異なりますので、こういう機械的な取り扱いがいいのか悪いのかは、私にはよくわかりません。そのあたりはもう少し、断層ごとに見ていける可能性があるのではないかとということが指摘されます。

以上が活断層の問題で、次に、震源域の地震動強さの超過確率の話をしてします。これは、先ほど見せた 1 つだけの地震のときのハザードカーブです。仮にこれが、非常に発生確率が高い地震がすぐそばにあった場合、例えば、東海地震や南海地震のケースになります。その場合には、中央値がずっと右に寄っていくのもそうですが、発生確率がほとんど 1 に近づいてきますので、 p がほとんど 1 になってしまいます。そうすると、2 分の p は 50% ですので、非常に高いレベルで強い地震動が起こるという形になります。

ということは、設計等で議論されている 50 年 10%とか 5%になると、分布のすその方の地震動を、実は出しているという形になるということで、その辺を何か配慮する必要はないのかという形になります。これも、実際の例をお見せします。

今、予測地図で使われているばらつきの大きさは、対数標準偏差で見ると 0.53 という値が使われています。この場合、超過確率 10%、5%が中央値からどのぐらい離れていくかを数字で出しますと、超過確率 10%は中央値の約 2 倍の値になります。5%だと 2.4 倍ぐらいになります。ということで、分布形そのものは是非ということもあるかもしれませんが、この辺が、実際の数字には結構効いているという形になってきます。

具体例として、今度、南海地震の影響が強い高知県のハザードを計算してみました、こういう形になります。この工学的基盤の最大速度は、先ほどとちょっと軸のスケールが変わっています。先ほどの金沢の結果はこちらの細い線ですが、50 年 10%で 120 カインという計算になってしまいます。5%で 150 カインぐらいというレベルです。これらは、単に高知 1 点だけの問題ではありません。東海地震や南海地震は適当な確率モデルを使っていますが、実際にどれぐらいのレベルになるかを地図で書いてみますと、50 年 10%で、これも工学的基盤の最大速度ですが、ここに 100 カイン、こちらに 150 カインぐらいのレベルがあります。かなり広い地域にわたって、ハザードとしては高い数値が出てきます。

最近、翠川先生などは、振幅が大きくなると、距離減衰式のばらつきが少し小さくなってくるのではないかという論文を發表されています。これは架空の話として、ばらつきを無理やり 0.3 と、これは振幅依存ではなくて一律に 0.3 ぐらいに下げてみました。ここが

100 カインぐらいです。これはさっきの地図で、ばらつきを小さくした地図ですが、大分レベルが変わってきます。この辺のモデル化は、結果には結構敏感に効いてくる話ではないかと考えられます。

2つ目の論点をまとめますと、今使っている標準偏差 0.53 の対数正規分布を、震源域までずっとそのまま同じように適用していいのかどうかという問題があります。

それから、今のは工学的基盤での議論でしたが、仮に地表の地震動強さに持っていく場合に、表層地盤の非線形応答の話という問題もあります。また、これはずっと昔からいろいろ議論はされていますが、地震動強さにそもそも上限値があるのかないのか。こういった観点で、強震動予測をいろいろされている方の常識が、恐らくあるのではないかと思いますので、そのあたりのところから、今のモデルに注文があればということで、この後議論できればと思っております。

最後に、ハザードマップのこれからということで、最近ちょっと私がやっている、新しい取り組みについてお話ししたいと思います。これからのハザードマップの方向性として、私は2つの方向性を考えています。1つは高精度化ということで、計算単位をもう少し細分化していく必要があるだろうと思います。今は1キロメッシュですが、もう少し細かい、特に地盤の評価が重要ですが、その辺の方向性があるでしょう。もう一つは、ずっと指摘されていますが、強震動予測としてももう少し詳細法を取り込んでいく必要があるという話があります。

2つ目は、多様化というか、これが工学利用になるのだと思いますが、1つはハザードマップとシナリオ型マップの関係の理解を助ける目的の地図があるのではないかと。もう一つは、被害情報等を重ねたマップなどが恐らくつくられていくのでしょうかということで、具体的に岐阜大学の能島先生のグループと一緒に、岐阜県を対象としてハザードマップをスタディしています。

そこでは、メッシュを細かくして 500 メートルにしています。それから、先ほどの活断層の確率の幅に関しては、最大ケースを使っています。地盤の応答に関して、線形の増幅率ではなく、いわゆる等価線形解析の変形版である FDEL を使って、非線形応答を入れています。

また、東海地震、東南海地震は、距離減衰式ではなくて、シミュレーションモデルを少し入れています。ただ、ばらつきのモデル化は、パラメーターをいじるとばらつきがどんどん大きくなっていくという現状がありますので、距離減衰式のばらつきに対して整合するようなモデルをということで、今は抑えています。

地図の種類として、通常ハザードマップだけではなく、先ほど申しました貢献度という指標を地図であらわしたものと、先ほど言ったシナリオとハザードの関係を理解する目的で、試行的に低頻度のハザードが高くなる地域のマップに少しトライしています。左側が通常ハザードマップで、これは 50 年 39% で、地表の震度階で色分けしています。黄

緑が震度 5 弱、黄色が震度 5 強です。

右側がべったり色を塗っている地図ですが、これがいわゆる最大貢献度マップです。下に 3 つ凡例がありますが、活断層と海溝型地震と、震源が特定できないその他の地震という 3 つのタイプに分け、その地点で、この確率レベルに対して、この 3 つの中でどれが一番寄与しているのかを色で塗ったものです。高い確率レベルですと、南の地域はほとんどが海溝型ですから、東海地震や東南海地震の影響が強いと言っていると思います。また、北側では活断層の影響が強いと見られます。

確率レベルを下げていくと、これは 50 年 10% ですが、このあたりで震源を特定しにくい地震が少し出てきています。5% です。左はどんどん地震動強さのレベルが上がっていきます。この辺の特徴が変わっていきます。2% になるとこうなると、活断層の影響が多少見えるというような形になっています。この詳細は、12 月に大阪で行われる土木学会の地震工学研究発表会で発表しますので、その辺でまたご説明したいと思います。

最後に、低頻度のハザードが相対的に高くなる地域のマップです。これはハザードカーブを書いたときに、先ほども言いましたが、活断層の影響が強く出る地点は、50 年でいうと 5% とか 2% とか、10% 以下のところなど、下の方のレベルでカーブが寝てくるという性質があります。これは先ほど言った理由によります。こういうことがありますから、2% の地震動強さと 5% の地震動強さの差を取って、それを色分けするとどうなるかというのを書いてみました。

その地図がこういう形になります。これは岐阜県の例です。ここに高山・大原断層帯があります。県境で切れているのですが、このあたりも相対的に発生頻度の高い活断層があります。その辺がかなり浮き彫りになっています。

それから根尾谷断層や阿寺断層は、歴史時代に動いたので、確率はほぼ 0 という評価をしていますので、その辺は見えてきません。例えば、50 年 5% でものごとを考えるだけだと、ひょっとすると不十分かもしれないという地域をあぶり出すときには、こういった観点が使えるかと考えています。

最後にまとめます。最初に申しましたように、サイエンスに基づくマップがベースにあるとしても、今後は多分工学利用を目的とした地図がその上に重ねてつくられていくことになると考えられます。そのために一つ重要なのは、利用目的と作成条件ときちんと明示しなければいけないというのが、必須であると思います。そのためには、つくる側と使う側がうまくキャッチボールできる仕組みがつけられなければ、すれ違いになってしまいます。その辺の仕組みをどうつくっていけるかが、非常に重要な視点になるのではないかと考えられます。

ちょっと焦点の定まらない発表になりましたが、私からの話題提供は以上です。どうもありがとうございました。(拍手)

進行（藤原氏）：

どうもありがとうございました。それでは、今の2つの話題提供を受けまして討論に入っていきたいと思います。最初に、隈元さんから確率論を受けて、特に活断層の研究者の立場からのコメントをいただければと思います。

岡山大学 隈元氏：

岡山大学の隈元です。藤原さんから依頼を受け、特に活断層研究の立場から確率を評価するときの最新活動時期や平均活動間隔のばらつきについて、若干の図をつくってまいりました。

最新活動時期は、活断層の評価報告書の中には、例えば、4,000年前以後1,000年前以前とか、そういう表現であらわされることが多いわけです。この範囲の中でイベントが、本当はどこであったのかというようなことを尋ねられますが、それはなかなか、トレンチを実際に掘った人でなければわからないという話を前半にさせていただきたいと思います。後半は、島崎先生からお話があったような活動間隔のばらつきについて、少しだけ私も話させていただければと思います。

古地震のトレンチ調査などで求めた地震の年代は、年代測定（炭素14法が主）によって得られます。もし、地震が起こったときにある試料が偶然に地表に堆積したとして後の時代にサンプリングされると、その地震の年代の見積もり幅を狭くすることは、これも資料の安定性からいろいろと難しいところもありますが、上に書いてある年代測定装置の観測時間を長く取ることによって小さくすることができます。2時間ぐらいの測定で±80年ぐらいですが、頑張って36時間ぐらい取ると、20年、10年といった幅になります。これは努力によってできることかもしれません。

しかし、トレンチ調査で実際には地震の年代を示す試料は、人が立っているところが地震が起こったときのイベントを示す相準ですが、それよりも古い時代の堆積物や、地震よりも新しい時代の堆積物で挟み込むことが事例として多く、ちょうど地震のときに年代試料が落ちているということは余り多くはありません。そうすると、それぞれの年代測定、試料が示す年代値の間に、さらに堆積速度一定を仮定したりすることで、地震発生の時期を読みとります。この幅の中央値を取るときには、堆積速度一定を仮定していることになります。

ところが、例えば、これはある日山から土石流堆積物が流れてきて、一瞬に1メートル、2メートル堆積したという状況の写真です。これとは逆に、非常にゆっくりとしか堆積しない場合もあります。個々の活断層のトレンチ調査によって、先ほどの堆積速度一定という仮定が正しいときもあれば、そうではないときもあります。それを実際に読みとるのは、調査後の報告書だけではなかなか難しいところがあり、実際にトレンチの壁面を見ながら堆積学的なものも十分に加味して見なくてははいけないので、第三者ではなかなか難しいのです。

お話ししている要点は、例えば、3,000 年前から 200 年前といった最新活動時期が示されたときに、今、藤原さんたちの考えでは、最初に一様分布を仮定し、その後重みづけをしようということを検討されていらっしゃるのだと思います。それは、2,000 年間の活動間隔で、3,000 年前に地震が起こるようなことは少ないだろうといったようなことを想定されていらっしゃるというお話でした。

しかし、今のこの図だけで見ると、時間軸で現在に近づくに従って確率密度が大きくなるようなものが想定されていると思います。現在に近づくとも歴史資料なども多くなってきます。ですから、ここに点線でかきましたが、何も試料がなければ、あるいは堆積速度などを見て粗いものがたまっているようなときには、平均活動間隔いっぱい値を取るのが確率評価の安全側に取っても有用なのではないかと考えます。そこまで言わなくても、最初に年代幅について一様分布を仮定していいですかという問いにも、きちんとトレンチの相準を見た人でないと、イエス・ノーを答えられないということを指摘させていただきたいと思います。

一方、平均活動間隔については、2つの求め方があります。1つはトレンチ調査結果で壁面を見て、何年おきに地震が起こっているかを見る手法です。もう一つは、左上に書いてあるように、地震の長さから地震のモーメントを求めるような経験式と、地形調査によって得られる平均変位速度を使った値で割ることで、活動間隔を出すものです。トレンチが掘られた断層について、この2つの値を比べてみると、それほど大きくは変わりません。また、写真で示しているような阿寺断層の古い段丘、新しい段丘の変位が、階段状になっておらず、割と滑らかな直線で結ばれるということは、活断層の活動間隔に平均値があるということを示しているのだと思っています。

先ほど島崎先生から、推本では0.24という共通のばらつきを与えて計算しているというお話がありました。しかし、推本で採用した以外のトレンチの情報のデータを幾つか用いて計算すると、ばらつきはもう少し大きくなるような、表は活断層帯の幾つかのトレンチについて、そのトレンチ掘削調査の報告書の年代です。この欄は幾つイベントがあったかを示していますが、個々の記録についてBPTを求めると、0.24より小さいものもあれば大きなものもあり、平均0.4ぐらいだと求められます。BPTモデルを提唱したマッシュューズが、データがノイズに支配されているかの否かの判断の基準にした0.70を超えるようなトレンチ調査結果も見受けられます。長い時間の活断層履歴がわかっているトレンチの地震は、ひよっとしたら周辺の地震の影響によって、励起されたイベントを含むかもしれないから、そういうことがあるのかもしれませんが。この点は大事なことなのですが、最近のトレンチでは、3~4つよりたくさんのイベントを含んだ報告書が少なくなっているのは、ひよっとしたら業務として行われていることの弊害かなとも思います。しかし、こうしたデータを集める必要があるとも思っています。

駆け足で話していますが、経過時間について、例えば、平均活動間隔は2,000年、最新活動時期が200年前より古く3,000年前より新しいというときに、今はひよっとしたら中

中央値の1600年を取って2.9%という値を計算されているかもしれません。しかし、ひょっとしたらばらつきは大きいかもしれないし、先ほど申し上げたような理由で、2,000年や3,000年前に最新の地震があったと読む方がいいことがあるかもしれません。そうすると、4.3%といったような値になり、推本の3%を閾値とするとき、またちょっと言葉の評価も変わるかもしれないという感想を持っております。

実際には、それ以外にも活断層には問題があります。詳細は省きますが、規模予測というところで地震のスケーリング則や固有地震モデル、すべり予測モデル、カスケードモデルといったような言葉であらわせるようなモデルがたくさんあり、ひょっとしたら、皆さんが活断層研究の方に話を聞いたとき、それぞれ違うモデルで話をされることがあるかもしれません。むしろ、日本の活断層が1つのモデルであらわされるというのではなく、発達状況云々によって、幾つかの地震発生モデルが並列に成り立っているのだと考えた方が無難かもしれません。

そういうわけで、石川さんの図の中に、サイエンスなマップというのがありましたが、パラメーターは決まっていないところがまだ多く、いろいろな図がかけそうな気がします。パラメーターの違いを理解していただいて、あるいは確率論的な地図作成というシステムの中で、こうしたことを私たちも使えて、感度が私たちにもわかるようなものができれば、それは工学だけではなくて理学にも有用だと考え、コメントとさせていただきます。

進行（藤原氏）：

どうもありがとうございます。活断層評価に伴ってばらつきが生じ、その取り扱い等についてのコメントと理解いたしました。実際にこの評価を行っている島崎先生から、それに対して何か。

東京大学地震研究所 島崎氏：

いろいろなことがあると思うので、最後のところだけちょっと申し上げます。隈元さんが言われたように、活断層の研究者の中で幾つかのモデルが現在並行して存在しており、必ずしも一致した見解がないという部分があります。

活断層の評価は、そういった意味で非常に経験主義的と言いましょうか、イギリスの判例主義のような形で、個別の現象を1つ1つ評価していく中でいつの間にかルールがつくられていくという形で、実際は評価されているのだと思っています。

活断層研究者の中には、そういうまどろっこしいことはやめて、もっと1つのモデルですばっとわかるような評価をしたらどうかと提案される方もいらっしゃいます。しかし、残念ながら、それでまとまるような状況ではないというのが、私の見解です。実際、出てきたデータが一番重視されるべきであるという形での評価が、現在行われています。

多少関係した話になったかどうかはわかりませんが。

進行（藤原氏）：

では、この会場の皆様方からも、こうした隈元先生からもご指摘いただいたような観点から、何かご質問、御討議がありましたら、ぜひ積極的なご意見をお願いしたいと思います。何かございますでしょうか。ご所属とお名前を最初をお願いいたします。

京都大学防災研 井合氏：

今も話題に出ていた活断層における想定地震でシナリオ型地震の場合の地震動を予測すると、割と固有地震モデルに近いようなイメージの地震を想定し、その後の地震動を評価する場合が多いのではないかと思います。

それで質問ですが、石川さんか島崎先生か、どなたに伺ったらいいかはちょっとあやしいのですが、確率に幅がある場合の最大値と平均値という話と、固有地震モデルの発生確率のようなものが、どこかでリンクしているのではないかと思います。短絡して考えると、固有地震モデルで、本当に固有地震の発生確率がすごく大きいとすると、それが活断層の発生確率の中では、最大値に近いというようなことがないかとちょっと思いました。そのあたりを教えていただければと思います。

東京大学地震研究所 島崎氏：

固有地震というのは、考えている震源域内で、一応最大規模という形であります。実際に、活断層は十分に調査がされているとは限りません。例えば、一連のセグメントという連続しているところでトレンチ調査ができていて、過去の履歴が2～3つわかっているというのは、かなりいい方だと思います。

必ずしも、すべてのセグメントに関して、そういった調査は行われていません。ある活断層帯の中で、1～2のトレンチ調査しかなく、それから全体を一種類推しているというような状況が非常に多いわけです。その場合は、経験式といいましょうか、どこまでが1つの地震で割れるかということを、松田の起震断層というルールに従って決めています。

私の個人的な偏見かもしれませんが、地震を大きくするセンス、逆に繰り返し間隔を長くするセンス、確率を低くするセンスになっていると私は思っています。ですから、井合さんが考えているのとは逆ではないかという気がします。

清水建設 石川氏：

私から追加することは特にありませんが、多分、地球物理的には規模と発生間隔に相関がある可能性は、あるのではないかと思います。今、私が議論したモデルの中では、両者は独立なものとして、時間間隔のパラメーターの推定幅で出てくる最大と平均という議論をさせていただいたということです。

進行（藤原氏）：

ほかに何かございませんでしょうか。

鹿島建設 武村氏：

島崎さんにお伺いします。陸上の活断層で地震を起こす確率は小さい、3%という話がありましたが、小さいのは小さくていいのではないか、小さいのだから小さいのですよね。それを何か文言に変えて、余り小さく見せないようにしようとかには聞こえるのです。

それは既に社会的ないしは工学的と言えるかどうかはわかりませんが、そういうバックグラウンドを考えられて、そういうことをやっているわけですよね。そのあたりは何か、地震調査研究推進本部の中で議論があったのでしょうか。

東京大学地震研究所 島崎氏：

ありました。地震調査研究推進本部の中で、先ほどご紹介があったかと思いますが、成果を社会に生かす部会があります。そこで確率という無機質なものではなく、そこにコメントをつけるようにという議論がありました。それで、我々はそれを受けて、そのような評価にしております。確率は小さいので、確かに小さいものでよろしいというのはその通りだと思います。しかし、小さいことイコール起こらないということではないというだけの注意点だと、ぼくは思っています。

要するに、一般の人が、小さいというのは起こらないのだと短絡してしまいがちなので、そうではないことを、当たり前なので今さらこういうことを話していても仕方がないのですが。

鹿島建設 武村氏：

その点に関してもう少し議論を深める必要があると思います。というのは、確率が低いことは低いわけだから、逆に言うと確率で示すことが、もしそれで非常に大地震対策なり何なりをするときの障害になるのであれば、そのときには確率評価をもう一度考え直さなければいけないということになるかもしれません。

東京大学地震研究所 島崎氏：

別に、障害になるとは私は思っていない。だから、専門家が受け取る場合には全然問題ないのですが、一般の人が、例えば3%の活断層というのは、地震が起きないと短絡されることを防ぎたいというだけだと思います。

鹿島建設 武村氏：

わかりました。一般の方に何を伝えていくかについてこれからも議論が必要だと思います。

進行（藤原氏）：

ほかには。お願いします。

防災科研 片山氏：

私は、今の武村さんの意見に非常に近いです。確率が高いところは要注意という命題が真だと思います。普通の人、確率が低いところには注意がいらなと思うのは、当然のことではないかと思ひます。これは、どうやって確率が低いところでも大切なのだとか、そういう議論に結びつけていくのか、どうやったらいいのでしょうか。そこが、私は一番大きな問題ではないかと思ひます。

清水建設 石川氏：

そういう意味では、恐らくハザードマップだけで十分かどうかという議論が必要です。これは、ある意味では利用側の問題かもしれませんが、例えば、確率の低いイベントが海の中で起こっても、おそらくそんなに騒ぐ必要はないでしょう。

神戸のように非常に大都市の近傍で起これば、これは非常に重要な問題です。これは運が悪かったでは済まされない問題だと思われます。

ということは、ハザードマップの次のフェーズとして、それに被害を重ねたリスクマップ的なものを準備し、被害を見たときの確率の大小、インパクトの大小という形のものをつくっていかなければ、ハザードマップを見る限りではそこで危険かどうかという差は、恐らく見えてこないと思ひます。ですから、そういった方向性のスタディというか、議論をしていかないといけないと私個人としては思ひています。

進行（藤原氏）：

低確率の部分はどう扱うとか、それはいろいろ問題があると思ひます。今までの議論は、確率論的なハザードマップを中心にやってまいりましたが、地震動予測地図はそれだけではなく、個々の地震に注目したシナリオ型地震動評価も行っています。こういうこともありまして、川瀬先生から強震動評価についてコメントをいただければと思ひます。

九州大学 川瀬氏：

私の立場からすると、別にシナリオ型でなければならない、シナリオ型で、確率と同じレベルで対抗しようというつもりはありません。

そもそも、強震動予測地図や被害想定、リスクマップを何のためにつくるのかを考えると、当然、被害を抑えて人的損害を最小限にすることが最終目的だと思ひます。

兵庫県南部地震から、我々は何を学んだか。それに対して二度とああいう災害を起こさないためにはどういふアクションを取るべきかという観点から、予測地図や被害想定を、私は思ひてきております。皆さんは専門家なので、今さらのことですが、まとめますと、

ここに書いてあるように、兵庫県南部地震であれだけの被害が起こった要因は、基本的に震源の特性としては放射特性と破壊方位性（ディレクティビティ）、アスペリティの存在とサイズです。やや短周期パルスが震源で形成されています。これは、レベルとしては 50 センチメートル/sec レベルで、決して大きなものではありません。それが深部地盤で増幅され、エッジ効果と呼ばれていますが、やや短周期パルスが増幅され、キラーパルスといわれるものが形成されます。やや短周期パルス、つまり 1 秒を中心とする大振幅速度パルスと呼んでいますが、このキラーパルスが被害の原因だったということがはっきりしています。本当にそのパルスが建物を壊しうるかが問題になりますが、実際に、それはシミュレーションで確認されています。

それをまとめると、木造家屋で 30% 以上倒壊を生成するような震度 7 の領域を生成するためには、震源近傍であるということと、サイズが余り大きくないアスペリティがあり、しかもそれが我々の計算では最大速度が 800 センチメートル/sec ぐらいで壊れると、大振幅速度パルスが発生します。深い盆地があるということと、それが適度にやわらかくなくてはいけないことがあります。それを両方とも考慮すると、このように震災の帯が計算できます。

そして、建物に対して本当にそれが壊せるのかということについて、実際にこれが観測されている被害率ですが、新耐震と旧耐震に分かれています。建物群モデルをつくって、こういう非線形特性を考え、耐力分布を与えて耐力比を観測に合うように決めると、3 階建てモデルや 6 階建てモデルは建物の被害率が低いですから、相対的に非常に丈夫だったということがわかります。しかし 9 階建てモデルや 12 階建てモデルは、旧耐震では設計レベルとほぼ同じぐらいの耐力しかありません。それで 20% が壊れるわけです。確かに、モデルをきちんと設定すれば壊れます。これが被害の再現ですが、上が計算で、下が観測です。こういうことで、兵庫県南部地震から、やや短周期パルスこそが、震災の帯に匹敵する大被害の原因であって、それに対してちゃんと対応できるようなモデリングをする必要があるとはっきりしているわけです。

では、海溝性の巨大地震はどうかということになります。この間の十勝沖が示していますように、マグニチュードが大きいので、スケーリング則がわかっています。アスペリティも大きくなります。アスペリティが大きくなると、それから生成されるパルスは長周期パルスになり、必ずしも短周期パルスは生成されません。それから、震源が海寄りの場合、すべての海溝型地震の震源が海寄りというわけではなくて、もちろん、関東地震のように例外もありますが、ほとんどの震源は海寄りで、その結果ディレクティビティの生ずる領域が陸地にとっては小さなものから生じず、パルスとしてはランダムなものが生成されます。このように、長周期パルスやランダムパルスとして生成されますから、盆地の増幅がエッジ効果のように最大値を増幅させるようなコヒーレントな増幅が生じないということで、実際に 9 月の地震では大きな被害が出ませんでした。もちろん、1952 年のときには大きな被害が出ているので、その間に建物の耐力が上がっていることは紛れもない事実

ですが、私のパラダイムからすると被害が出なかったのは当然の結末だったと思います。

先ほども低頻度、大被害のイベントを、工学的にどうとらえたらいいかという議論がありました。島崎先生も少しおふれになりましたが、こちらが110年間の震源域で、これを見ていただきますと、面積的にマグニチュードの大きな地震は、圧倒的に日本海東縁部と太平洋プレート、フィリピン海プレートの海溝型で発生しており、一体どこに内陸地震が起こっているのかという程度にしか見られません。過去1,000年間の被害地震の分布を見ますと、これとは全然予想が違っていて、圧倒的にたくさんの内陸地震によって被害が発生しています。そういうことを考えると、個々の地震の発生頻度は低くても考えなくてはならないのは、内陸の活断層ではないかというのが、私の基本的なポジションです。概要集にも書きましたが、基本的に震度6弱、6強も含め、今の耐震設計された建物ではほとんど壊れません。それは大破以上にはならないということで、被害がないという意味ではありません。ですので、マンションを買ったばかりの方が中破以上の被害が出て、補修費が建設費と同じぐらいかかるというのは、ここでは壊れないという方に入っていますので、ご注意ください。それをどうするかという問題はきわめて建築的な問題で、この主題とは少し外れると思います。

しかし、内陸地震の震源域のディレクティビティ・パルス（やや短周期のパルス）に関しては、壊れることが明らかになっています。新耐震だと1%程度でしかありませんが、それはあくまでも総数であって、震災の帯の中で見ると、必ずしも1%では済んでいないと私は思っています。

計測震度でいいのかという議論があります。これについては、我々はちゃんと検討しています。基本的に被害を予測する意味での地震動強度の単位の統一尺度として、計測震度あるいは速度×加速度という、やや短周期で大きくなるような単一尺度が妥当だと思っています。耐震性の向上に伴い、今テーブルになっている震度6強と考えられる被害レベルが、対応していないだけに過ぎないというのが問題です。計測震度を変えるべきであるという提案ではなく、対応表を変えるべきだと私は思います。その結果として、震度7弱、震度7強を導入したらいいのではないかと思います。それを考えると、恐らく海溝性地震で震度6強が予測されても、ここで言う大破以上の被害は、ほとんど出ないという結果になり、つじつまが合うのではないかと思います。重要なことは、我々の計算でわかっているのは、被害予測は最大値だけではなく、波形の特性に依存するということです。波形による被害予測をする必要があるというのが、私の申し上げたいところです。

これは、福岡にある警固断層というB級あるいはC級の活断層で被害予測をしました。これが最大速度分布ですが、4つのシナリオでこのぐらい違います。最大速度で見ると、シナリオ1よりもシナリオ4の方が大きいのですが、実際の被害で見るとシナリオ1の方が大きいのです。それは木造家屋と鉄骨造の建物とは被害の発生の仕方が違うからです。

ばらつきの話がありましたが、今お見せしましたように、震源についてはどこで発生させるかで、シナリオにかなりばらつきがあります。しかし、それがあつた認識のもとで設定

されているということであれば、それはばらつきとして評価すべきではないかと思います。パラメータの範囲が設定されている範囲内でのばらつきは、考慮すべきです。

サイト特性については、調べればわかります。赤線がちゃんとチューニングしたもので、深い地盤構造も含めるとこのぐらいの増幅があります。薄墨の線が観測です。ブルーのラインが初期モデルで、初期モデルのままでは増幅不足ですが、ちゃんとチューニングするということで、詳細法、シナリオ型の予測の精度は、震源については現時点でのレシピで予測されるのは、妥当な結果が得られると思います。ただ大振幅速度パルスの評価に若干の問題が残っていると思います。

このようにちゃんと地盤構造を設定した地点についてはサイト特性をちゃんと評価できるのですが、広域の評価においては（そのようにちゃんと評価はしていないけれども）、課題はありますがおおむね妥当だと思っています。

最後に、確率評価とシナリオ評価は、基本的に車の両輪だと思っています。確率評価は全体を見て平均や相対的な違いとか、総計値を評価するのは、石川さんがお示しした通りです。シナリオ評価は立体的に評価し、被害シナリオを作成するということです。

私はシナリオ派なので言うのですが、重要なのは被害の確率予測であって、地震動の確率予測ではないということです。最初に申し上げましたように、予測は被害低減のためにするわけで、重要なのは被害の予測であって、地震動強度の予測そのものではありません。平成 16 年に作成されるものは、石川さんもおっしゃっていますが、一つの間中プロダクトではないかと思います。

被害予測をするのに必要なのは、特に大破・倒壊ということを考えたときの被害は、何で決まるかということを考えてときには、やや短周期パルス、つまり波形が必要であるということは、シナリオが必要であると思います。ですから、藤原さんが最初に言われたようなすべてを詳細法で計算し、最後に被害予測までして確率評価に持っていくというのが、あるべき姿ではないかと私は思います。以上です。長くなってすみませんでした。

進行（藤原氏）：

どうもありがとうございました。シナリオ評価による波形計算などの重要性など、川瀬さんからコメントがありました。こういったものに関して、会場の方から何か、コメント、ご質問、ご討議、ありませんでしょうか。翠川先生。

東京工業大学 翠川氏：

今の川瀬先生のお話は、木造建物や中層ビルといった、比較的短周期の建物が倒壊するかもしれないといった、非常に大きな被害の問題を考えたときには、内陸直下地震が怖いのであって、海溝型地震はそれほど恐くないというようなお話だったかと思います。

誤解がないように 1 つだけ補足させていただければ、そういう問題を限定したときに、今のお話をしておられるわけで、川瀬先生もおっしゃっていましたが、例えば建物の建て

直しが必要かどうかという程度の被害であれば、また少し話は違ってきます。また、長周期構造物、今回の十勝沖地震でも苫小牧でオイルタンクのスロッシングが起きましたが、そのような長周期の問題は、地震のサイズが大きくなると非常に恐くなります。

人が死ぬというのは、地震火災でもたくさんの方が亡くなる可能性があるのです、そういう意味で、もし誤解があるといけないので発言させていただきました。

それから、川瀬先生に1つ質問です。きょうのご発表とは直接関係がなくて恐縮なのですが、先ほど石川さんがおっしゃっていましたが、ハザードカーブの低確率の値が非常に大きくなって、かなり現実的ではないような値が出てきます。それを考える上でばらつきを考えると、どうなっているのかという話と、地震動の極値があるのではないかという話です。

例えば、地震動の極値をこういった詳細シミュレーションである程度抑えられるような状況になるのか、その辺をちょっと教えていただければと思います。

九州大学 川瀬氏：

最初にコメントされたものは、全くその通りです。重要なコメントをありがとうございました。

ご質問に関してですが、基本的には最終的にはどこかに物理的な限界があるというのは間違いないと思います。ただ、石川さんがおっしゃったようなレベルのところに限界があるとはとても思えません。ですから、いわゆる地震動のモデリングの側からすると、例えば、最終的にレベルを決定するのは地盤の非線形性と震源の最大すべり速度が最も重要なパラメーターになると思います。

例えば、鳥取県西部の震源を神戸の地盤に入れますと、最大 400 カインぐらいになります。それは神戸の地盤が 400 メートル/sec ぐらいまで地盤が全部線形だったという前提の下ですが、レベルとしてはそういうレベルが最大値ではないかと、私としては現時点では言わざるを得ません。

それでもよければ、そこでランケート（打ち切り）されるのは一向に構いません。しかし、「120cm/sec では大きすぎる」などと言っているレベルでは、とても意味がないところでしかランケートできないのではないかと私は思います。

進行（藤原氏）：

会場の方から、何かコメントなど。片山理事長。

防災科研 片山氏：

島崎先生に1つお伺いします。前回の十勝沖地震は 30 年 60%の確率の地震で、それが起きました。島崎先生のお考えで何か変わったことがありますか。30 年 60%というのが事実起きたというのは、今までやってこられた全体の流れの中で、何か変わったことはあり

ますか。

東京大学地震研究所 島崎氏：

ないと思います。評価には全然関係のないことです。それこそ、あらかじめ震源が特定しにくい地震が起きたとしても全然不思議はありません。だから、たまたまそれが起きたというだけであって、評価とは別個の現象であると思います。どれが起きても構いません。どういう質問だったのか、意図がよくわからなかったのですが。

防災科研 片山氏：

今、何年何%という地震が幾つも予測されていますね。そういう中で、いろいろな数値が何%というのは我々にとってもわかりにくいのですが、やはり 60%だから起こったのだとか、3%は起こらないとか、そういうものはありませんか。

東京大学地震研究所 島崎氏：

いや、ぼくはないと思っています。ただ、社会的にどう受け取られるかということでは非常に重要だと思いますが、それは3%で起こっても不思議はありません。たまたま大きい数値で起きたので、私はだれからも今のところ怒られていないというだけの違いではないかと思います。

進行（藤原氏）：

武村さん。

鹿島建設 武村氏：

今のにちょっと関連するのですが、確率論的な表示をした場合は、基本的に検証するのは不可能です。だから、逆に言えば何が起こっても怒られることは全くありません。でもそれだけに使えることと使えないことがあるように思います。

建設業で言えば、建てた人を納得させられないのです。例えば、低確率で大きな被害が出た場合、許してもらえないと石川さんが図らずもおっしゃいました。それは多分、被害の確率を計算しても、結果は同じです。

起きてしまったら許してもらえないとすれば、耐震設計に直接使っていくのは非常に難しいような気がします。そういう意味では、シナリオ型の評価の方が、多分耐震設計に何かを使っていくという意味ではいいのではないかという気がします。

では、確率的なものが使えないのかというと、そうでもありません。日本全体として、被害をどのぐらい減らしていくとか、何年先にどのぐらい投資をしたらどのぐらい耐震的になっていくかというような目標を定めるには、いいのかなという気がします。

今度は確率的な評価ですから、検証はできません。だから何が起こってもいいのですが、

とにかく、目標を立てるときの動機づけには非常になるような気がします。だから、そういう使い方をするといいいのではないかと思います。

確率論的な表示をしてしまった途端に、使えるものと使えないものが出てくるのではないかと、お話を聞いていて非常に思いました。

進行（藤原氏）：

どうもありがとうございました。石川さん。

清水建設 石川氏：

今の武村さんのお話の最初に、確率的な評価は何をやっても怒られないという話がありました。しかし、それは多分そうではありません。例えば、今 30 年で 3 % と評価されている地震が、これから 30 年間で 100 のうち 50 も起きてしまったら、これは島崎先生はごめんなさいをするしかありません。

そういう意味では、時間がある程度たつ必要があるかもしれませんが、よかったか悪かったかはそれなりにきちんと出てくると、私自身は考えています。

東電設計 片山氏：

確率的表現という場合に、日常雨の降る確率があります。最近やっとなじんできたように思います。降らなくても別に文句は言わない。ただし、そのレベルで、きょう午後雨になる、洗濯物に注意、60 % ぐらいが目安だというのは、皆さんは日常でわかりました。

しかし、先ほどの話は 3 % という確率でした。十勝沖では 30 年間に 60 % の地震が起こるという報告がありました。しかし、それを計算した人たちは、自分たちをどう評価しているのか、一言もなかったのが残念でした。

3 % の確率でも起こって当たり前だから、逆に 3 % を注意しましょうと呼びかけたときに、一般の人たちには天気予報とのギャップが大きすぎるので、何か別の表現を考えるべきではないかという気がします。

小さな確率のとても大きな現象というのは、昔から言われていますように、うんと起こりにくいことでも、一旦それが起こったときには大きな被害になると、例えば、金額にしてこういう損害が生じるから気をつけましょうと。確率的には 10 年間に 1 度起これば 10 分の 1 の確率が、あした起こってもあさって起こってもそうなのです。ですから、確率の単なる数値でやる何かの現象が、あすにでも起こるか 10 年後に起こるのか、そう簡単に言えないというのは、わかっている人の間ではわかるのですが、一般の人に対して言うときには非常に難しいので、もう少し表現に工夫が必要ではないかと思います。以上です。

進行（藤原氏）：

低確率の表現等について、これは何年間もずっと議論してきたことだとは思います。島

崎先生。

東京大学地震研究所 島崎氏：

言葉が足りなかったかもしれません。皆さんが言われていることにはそれぞれ一理あると思います。非常に個人的に見て、低い確率をどう見るか。実際日常で無視している確率は、結構決まっています。10のマイナス5～6乗レベルで、それなりの社会的コンセンサスがあります。

今話している確率は、恐らくそれよりみんな高いと思います。ですから、十分にそれなりに対策が必要な確率の範囲内でお話をしていると思います。

活断層の評価の中には、ほとんど考えなくてもいい場合も、中には出てくるというのが、ある意味では違っていることのひとつだと思っています。

「一般の方にとってみると、3%だろうが0.5%であろうが、とにかく起こってしまえば100%になってしまうので、意味がない」と言われる場合もあります。非常に重要な構造物で、どうしても被害を起こしてはいけないようなものは、ある意味では確率とは余り関係がない場合も出てくると思います。

もう一つ、予算が無限で何でもできるという場合なら、確率などは見ないでやっても全然問題ないという、幾つかの極端な場合があると思います。結局、現実的にはそういった極端な場合は別として、多くの場合はどこかで判断しなければならないということが出てきます。だから、確率が出てくるのだと思っています。

ですから、個人的にどう判断されるかは人によっていろいろあると思いますが、社会的な意思決定の場合、例えば、毎年平均して家が日本全国で何軒倒れてもいいのか、1万軒なのか1,000軒なのか、10万軒なのか、どのレベルで設定するのかを議論するときには、どうしてもこういう話になると思います。後でいろいろ議論が出てくると思います。保険の話なども出てくると思います。そういうときは、どうしても必要な数値になってくると思っています。

60%が当たるべくして当たったと開き直ってもいいのですが、ぼくは必ずしもそうだとは思っていません。それは確率の高いところから起きる方が自然ではあるけれども、必ずしもそうはなりません。私は世の中は、必ずしもそうならないことの方が多いのではないかと考えているものですから、そういうところもあります。

例えば、長い期間を取るなり、たくさんのサンプルを取るなりすれば、ちゃんと実証されるし、正否が分かれるものだと思います。

我々はそんなにおかしいことはやっておりません。確率が低いと言われていますが、もっと低い評価があります。それは余り話題になっていませんが。ですから、ある地域でどの活断層に、これはある意味ではシナリオ地震に関係してくるのかもしれませんが、どれを注意してどれを注意しなくていいかという判断ぐらいまではできるようになっていると思います。

進行（藤原氏）：

では、川瀬さん。

九州大学 川瀬氏：

関連してですが、武村さんから耐震設計には確率評価が使いづらいという話がありました。片山さんからも関連した話がありました。

これは午後の話題につながるべき話かもしれませんが、自分が工学にいながらこういうことを言うと、非常に敵をふやしてよくないのですが、私が思うには、工学の世界で確率評価が使われないのは、基本的に工学の世界がサイエンスではないからというか、経験工学でしかないので、それが確率評価にマッチするだけの材料を持っていないからだと思います。

本来は、耐震設計も確率評価でできるはずなので、そういう動きもされていますが、なかなか受け入れられません。それは基本的に、彼らのつくっているものがどのくらいの確率で壊れるのかということを考えたことがないからです。とにかく地震が起こるたびに、被害が出るたびに強くしましろうとパッチワークをしてきて、結果的に兵庫県南部で新耐震が1%しか壊れませんでした、OK という話になっているわけです。

しかし、ではなぜ1%しか壊れなかったのか。元々ねらいの品質はどこにあって、それが結果としてどういうものができていて、だから結果としてこうなったのだということが、何もスタディされていません。だから、いつまでたっても利用されないのだと私は解釈しています。

ですから、確率評価がむだだということでは決してなく、今、片山さんがちょっとおっしゃったように、例えば、100 棟持っている保険会社がどこに建てるべきか、ある生命保険会社が100 棟のプロパティ（財産）を持っていたときに、活断層がわかった1棟は早急に売却してしまっ、活断層のないところに新たに1棟買うということには、当然役に立ちます。

本来は耐震設計も、活断層がわかった時点で補強しようということになるべき話で、補強したことによって、今後60年間のライフスパンの間に投下した資本が回収できるだけ破壊確率が下がるなら、それは投下する意味があるという判断に使えます。

ですから、それが100億円の高層ビルを10億円かけて補強したことによって、10億円が60年間で回収できるかどうかを判断できるだけの構造的な定量化されたインフォメーションが、現時点で提供されていないと私は思います。そこに大きな問題があると私は思います。

進行（藤原氏）：

井合さん。

京都大学防災研 井合氏：

今のに関連して、一般の方というよりはむしろ工学利用ということで、設計の話になるのではないかと思います。今の流れを考えてみると、ISO や国際的な動きもあって、信頼性設計というのでしょうか、限界状態設計法でなおかつ構造物の抵抗側のばらつきも合わせて、荷重側というか地震動の確率の話と絡めて、抵抗側のばらつきを評価するなら、確率を幾つにするのかという話が、割と出てきています。

恐らく、数年後ぐらいの国内基準は、かなり少なくとも形式上だけは限界状態設計法のような形にすりかわる可能性があります。その中でも、きょう問題になっていたような、確率分布でいうとすその部分で、確率の値そのものに幅があるという中での確率が幾つになるかという話が、どうも求められている節があります。

そういう意味では今までよりはもう少し、恐らくシナリオ地震を想定するにしても、その確率は大体幾つですかという話が、かなり求められるのではないかと思います。

進行（藤原氏）：

どうもありがとうございました。大変ご活発にご議論をいただいているのですが、時間になってしまいましたので、午前の部はここで締めさせていただきます。午後は工学利用の話をし、その後もう一度まとめの時間を取っておりますので、そのときに引き続きご議論いただければと思います。どうもありがとうございました。（拍手）

地震動予測地図の工学利用について

進行（当麻氏）：

それでは、時間ですので午後のセッションに移らせていただきたいと思います。午後は、ご案内の通り2つ目のセッション「地震動予測地図の工学利用について」です。私は、このセッションの進行を務めます電力中央研究所の当麻です。よろしくお願いいたします。

工学利用は、きょうのワークショップのテーマそのものでもあります。既に午前中の段階から工学利用に踏み込んだ議論がなされてきておりますが、特に、午後のセッションでは工学利用に的を絞り、さらに突っ込んだ議論ができればと考えております。

それでは、きょうの話題提供と討論をあらかじめお願いしております先生方をご紹介します。話題提供1を東京工業大学の翠川先生にお願いしております。翠川先生、どうぞ。それから、話題提供2としまして岐阜大学の能島先生にお願いしております。能島先生、どうぞ。

冒頭ありましたように、翠川先生と能島先生は予測地図の工学利用に関する検討委員会のメンバーで、これまで工学の利用について議論を重ねてきております。そのような経緯を踏まえて話題提供をいただけるとお聞きしております。

続きまして、討論をあらかじめお願いしている方がいらっしゃいます。まず、損害保険料率算出機構の永島さんです。永島さん、どうぞ。永島さんには、特に社会のリスクや保険への転嫁の問題を扱っている立場から、確率論的なマップについてのコメントや質問がいただけるものと思います。

次に、東電設計顧問でいらっしゃいます片山さんをご紹介します。片山さんは、電力関係をはじめ、いろいろな社会基盤施設の耐震設計の実務に長くかかわられていらしたというお立場から、地震動予測地図の利用の仕方、あるいは表示の仕方についての質問やコメントがいただけるものとお聞きしております。

では、最初の話題提供をお願いする前に、これまでの工学利用検討委員会の中での議論を踏まえまして、きょうの議論のきっかけを整理したスライドが数枚あります。それで数分の時間をいただきまして、私からご紹介したいと思います。

まず、工学利用といった場合には、当然利用する対象者がおります。これは、皆さんはそれぞれ想定して研究しているわけです。利用対象はどのようなエリアがあるのか、あるいはどのようなエリアにかかわっている方々がいるのかと整理しますと、最初に出てきそうなのが、午前中にもありましたが、建物の耐震設計や耐震補強の分野に携わっている方々、あるいはその構造物です。

それから、建物以外のさまざまな社会インフラ、特に地盤や基礎構造物といった土木関係の構造物も、当然忘れてはならないと思います。こういったものの耐震設計の基準の策定や設計の実務そのものといった分野が、予測地図の利用対象の候補として当然考えられると思います。

それから、ライフラインの地震対策に関しましても、設計だけではなく、それらの弱点をどのように補強していくかという問題が非常に、現在大きな課題と考えられます。そういった分野での利用の仕方も想定されます。

それから、より広くある地域の防災計画をどのように立てるか。特に、自治体の防災関係担当者の方々を念頭に置いた地図の利用のされ方も、当然考えなければなりません。その中には市民の方々も当然入ると思います。

それから、地震のリスクマネジメントと申しましょうか、今ある膨大な社会基盤の施設をどのように地震のリスクから守り、かつライフタイムにわたってメンテナンスしていくか、それにどれだけの費用を投じるのが全体として合理的なのかといった議論が、非常に最近、いろいろなところでなされております。そういった問題においても、予測地図が活用できるのではないかと考えられます。ほかにもあるかもしれませんが、こういった利用対象が頭に浮かびます。

1 番目ですが、建物あるいは地盤基礎構造物の耐震設計という分野に限ってみた場合、どんなことが現在議論されているのかをレビューいたします。地震動に関しましては、使用性を照査するための地震動をどのように決めるか、安全性を照査するための地震動をどのように決めるかという2段階設計です。そのレベルや周波数特性などいろいろあるでしょうが、こういった2つのレベルの地震動をどう決めるかというときに、予測地図がどう使われるのか。それはシナリオ型のものもあるでしょうし、確率的な情報が必要なものもあるかと思います。こういった議論が、きょうなされればと思います。

それから、全国のマップがどのように使われるかを考えます。地域係数をどのように設定するかはかなり大きな問題ですが、このベースとなるデータとして、当然使えるでしょう。地震動が、仮に標準応答スペクトルのような簡易な方法で決められている場合、その割り増しや低減の根拠となる係数をどのように決めるかという場合、全国のマップが使われる可能性が高いと考えられます。

4 行目は少しニュアンスが違います。午前中にも少しありましたが、地震動の予測だけを議論してもなかなか議論が進展しないのではないかと思います。すなわち、その地震動を使って構造物なり施設をどのように照査するのかという手法の整備状況、その手法に基づいてどのように施工するかという技術、あるいはそれに必要なコストが、すべて体系として整合していないと、地震動だけが突出して精度の高いものができても、全体としての社会インフラの整備は進まないのではないかと思います。これは私の思いです。設計・施工全体の体系の中で予測地図がどのように生かされるか議論されていくのが、工学利用の本質ではないかと思います。

ライフラインにつきましても同じです。特に広域にわたりますので、言うまでもありません。ライフラインの場合には同時にどこがやられるのかという情報が一番大事ですが、そういう場合に、どういう地震動情報があらかじめ必要なのかといったものに、予測地図がどのようにこたえられるのか、あるいはどのようにすれば利用できるのかという議論が

なされると、興味深いかと思います。

その場合に、単一の地震シナリオだけではなく、複数の地震シナリオの必要があれば、それをいかに合理的に選び出すかという場面で予測地図の情報が使えると、非常に価値があるのではないかと思います。そのような作業を通じて事前対策の範囲や順位が決定できれば、工学利用の価値が非常に高いと思います。

繰り返しになりますが、リスクマネジメントに関しても、いろいろな損失に対しての予測をするときに必要になると思われます。特に、設計地震動を超えるようなレベルがそうです。設計というのはある約束事だと私は思っていますので、そういった約束事を上回るような地震現象が発生するだろうと考えられる場合、どのように説明するのかというときに、確率論的な情報が役に立つ可能性が高いと考えています。

また、施設の維持管理におきまして、当然時間軸という概念を入れないと、合理的な投資ができないと考えられます。そういう中で時間軸の概念を入れた予測地図が、何とか使える場面がないだろうかと思う次第です。

保険につきましては、後ほどご専門の話がありますので、飛ばします。

地域防災計画につきましても、危険箇所の提示や広報、自助努力への啓発面で使われることは、言うまでもありません。この中で、確率的な情報がどのように受け入れられ、使われていくのかという議論が必要かと思います。

以上を踏まえまして、きょうの午後、特に一層の活用に向けた議論がなされればと思います。その中で、キーワードとして挙げたような幾つかの言葉が、恐らく話題提供の方々や討論者の方々から触れられると思います。このような不確定性の問題や情報の多様性の問題等を、いかに整理して発信していくのが、地震動予測地図を実際に活用するために重要なことだという議論が、利用検討委員会の中で幾度もなされてきております。また、きょうこの場でご議論いただければと思う次第です。

以上、私の導入は切り上げまして、早速次に話題提供をお願いしたいと思います。それでは、1 番目に翠川先生から話題提供をいただきます。先生、よろしくお願いいたします。

東京工業大学 翠川氏：

ただいまご紹介いただきました東京工業大学の翠川です。「地震動予測地図の問題点と工学的利用例」ということでお話をさせていただきたいと思います。ちょっと宣伝させていただきますが、私どもはことしの9月1日、ちょうど関東地震の80周年の日に都市地震工学センターを設立し、一応私の肩書きとしてはこういうものもありますので、ご報告させていただきます。

きょうお話ししたいことは、まず地震ハザードマップについては、米国で既に先行事例があります。この先行事例からどういう課題が学べるかをまずお話しします。2 番目に、利用例について2 例ほどご紹介させていただきます。

ご存じの方も多いと思いますが、米国では NEHRP（米国地震危険度軽減計画）という大

きなプロジェクトがあります。その一環として USGS (米国地質調査所) が担当して National Seismic Hazard Mapping Project (全米地震ハザード地図プロジェクト) が、1990 年代に開始されております。1996 年には米国本土の地図、1997 年にはアラスカ、ハワイの地図が公表されております。

これは要するにハザードマップということで、確率論的地図です。基本的には、地震調査研究推進本部で行っているものとほとんど同じです。細かいところは多少違いますが、歴史地震データや震源を特定できない地震、活断層という 3 つのデータを重ね合わせてマップをつくります。

ただ、ここではポアソン過程を仮定しており、タイム・ディペンデントのモデルは考えていません。また、アメリカは広いので、距離減衰式としては、カリフォルニアと東部では減衰特性が違おうだろう、地震によっても距離減衰式が変わるのではないかということで、複数の距離減衰式が提案されています。複数の考え方があるということで、簡単なロジックツリーなども導入されているところが、やや違います。こういった情報は、インターネット上で公開されておりまして、こういった Web ページをごらんになっている方は多いかと思います。

公表されている作成された地図は、今後 50 年間での超過確率が 2 %、5 %、10 % です。再現期間に直しますと 2,500 年、1,000 年、500 年に対する地震動強さということで、硬質地盤での最大加速度値や、周期 0.2 秒、0.5 秒、1 秒といったようなところの応答スペクトル値が、マップとして公開されております。例えば、この図が 2 % 超過確率、5 %、10 % と段々値が大きくなっているわけです。

結果だけではなく、結果の解説もかなり丁寧に示されています。これは先ほど石川さんがおっしゃったハザードの再分解ということで、これはワシントン D.C. のハザードの値が、どこの地震で決まっているかをあらわしています。ワシントン D.C. の位置がどこにあるのかはあれですが、こういうところにある地震で、ワシントン D.C. のハザードが決まっていることを示しているわけです。こういったものを表現することで、確率論と確定論の融合がある程度図られているというようなことも言っています。

それから、計算されるハザード曲線には、当然不確定性があり、提案されているモデルは 1 つの標準的なモデルであって、いろいろな考え方を変えればかなり値にはばらつきが出ます。それで、地震活動モデルや、これは地震活動を空間スムージングしていますが、その係数を変えるとか、最大マグニチュード、b 値を変動させて、モンテカルロ・シミュレーションでたくさんのケースを計算し、平均プラスマイナス標準偏差や中央値、ここで推奨しているモデルによる値はこの辺に入っていて、こういったものが計算結果としては出ています。このぐらゐの変動するようなものなのだというようなことも解説されております。

また、こういうハザードを計算するプログラムも公開されています。これも Web で取れるようになっております。例えば、条件を変えてユーザーが計算し直すというような環境

も整備されております。

1996年に最初の地図が出ましたが、その6年後の2002年に地図が見直されております。一応意見を求められた後、2003年4月にバージョン2として新しい地図が出されています。地図を定期的に更新するというメカニズムもできています。アメリカの研究者にお伺いしたところ、最初は3年くらいの間隔で更新するという話もあったそうです。しかし、作業をする側にはたまったものではないということで、倍の6年くらいということで、今後更新されていくとおっしゃっていました。

さっきのWebページには、質問と回答というようなところも出ております。まさにこのワークショップのテーマの大きなものですが、「この地図を私はどう使ったらいいのか」がよく質問されるということで、既に出ております。この回答は、ここにあるように、マップというのはアメリカ全国のいろいろなところでの地震動の、あるレベルの相対的なプロバビリティを決定するときに使われます。だから、相対評価をするときにいいのではないとか、構造物に要求されるような要求性能の相対的評価をするのに使うことができます。さらに、こういったマップを使って、耐震設計をスペクトルなどもつくることができます。ここでの表現から見ると、相対的な地震危険度を評価するには非常に役立ちますということが、回答として出ております。

3番目に、耐震設計のデザイン、設計用のデザインに使えるということで、このマップをベースにして耐震設計用の地震動マップが作成されています。すなわち、先ほどの地図はそのままの形で耐震設計用には用いられていません。これらの地図の成果を取り入れて、耐震設計用マップの作成が、Building Seismic Safety Council、それから USGS、FEMA (NEHRP のスポンサー) の協力で行われたということですから、基本的に USGS の研究者には理学系の方が多くと思います。Building Seismic Safety Council は、構造設計など工学の方が多く組織かと思います。ですから、理学と工学の組織の協力で、耐震設計用マップに変換が行われています。

これは Maximum Considered earthquake Ground Motion Map (考慮すべき最大地震動の地図) と呼ばれるものです。こういったものは、2000年の International Building Code に採用されております。これは、確率論的地震動地図の結果をそのまま使わずに、地震活動の高い地域ではシナリオ地震地図の結果を、工学的判断で取り入れて修正しています。基本的には、50年超過確率2%の地震動強さを用いるというのが基本です。2,500年に1度来るような地震動を Maximum Considerable earthquake だと考えています。

ただし、50年超過確率2%の地震動ですと、カリフォルニアなどの地震活動度の高い地域ではかなり大きくなります。先ほど、石川さんがご説明なさったのと同じで、かなり大きな値になります。これはちょっと見にくいのですが、1Gや2Gぐらいの最大加速度が出てしまいます。

こういう結果に対して、こんなに高い値が出るはずがないという反論も幾つかあります。これはバランスロックといって、こういう非常に不安定な石がネバダの砂漠地帯にはあり

ます。活断層のすぐ側でこういった石が存在しています。この石は過去何千年もこういう格好をしていて、大きな地震動を受けたのならこんなものが残っているはずがない。こういったものから考えると、少なくともこの地点の地震動の強さはこの形状から、この線よりも下にあるはずだ。これは震源断層からの距離と最大加速度が縦軸になっていますが、こういったものからすると、ここで過去何千年かで受けた地震動は、この線よりも下のはずだという反論です。一方、先ほどの USGS のマップだと、2,500 年期待値はこんなところにあって、大きすぎるのではないかとわれております。

こういったこともあって、この辺がおかしいのではないかとということで修正されています。活断層の位置がここにあって、こちらが活断層からの距離になりますが、ハザードの大きさは活断層に近いほど大きく、離れば小さくなるわけです。

2,500 年の期待値はかなり大きいので、これをどういうふうにして小さくするかというのですが、ここで考えている最大級の地震が発生したときの、地震動強さの 1.5 倍の値で置きかえることにしています。例えば、ここでマグニチュード 7 の地震が起こるとすると、M 7 の震源直上で、距離減衰式から計算される値の 1.5 倍の値に置きかえてしまって、この点線をこういう線に置きかえてしまいます。そういうことです。

なぜ 1.5 倍なのかということは、なかなか微妙なところですが、とりあえずそういう形で置きかえると、結果的には 50 年超過確率 10% の地震動強さと同等レベルになるということが、レポートに書いてあります。ですから、部分的には 500 年期待値、基本的には 2,500 年期待値で地図を置きかえてつくったというのが、耐震設計用の地震動マップです。上が USGS がつくった地震ハザード地図ですが、これに対して耐震設計でお勧めする設計用の地震動レベルは、このように置きかえます。この辺の値が小さくなっていて、この辺はほとんど変わっていないと思います。そういうものが提案されております。

今までこういった米国の事例をご紹介しましたが、これからどんなことが感じられるか、私なりにまとめさせていただきます。結果というのは不確定性を有していて、これはどうしても避けられません。いろいろな考え方があって、知見がふえると共に改良すべき問題は必ず出てきます。ですから、地図の更新も必ず考えておかないと、すぐに陳腐化してしまうでしょう。

ただ、地図の更新もアメリカでは 6 年に 1 度ですから、作業量から考えて、毎年更新はとてもできません。そうすると、例えば 1 つの地震が起こって確率が低くなっているから、それを計算したいという人も出てくると思いますが、それに対してすぐには対応できません。ですから、やはりプログラムやデータを公開して、そういうニーズに対して個別にやってくださいというような環境をつくっておくことが、重要ではないかと思います。

それから、不確定性の問題は、短期間では解決できないだろうと思います。本質的な問題も当然含まれます。これは、石川さんが先ほどおっしゃった低頻度での地震動強さや、もしロジックツリーのようなものを採用したら、その決め方などは長い期間議論していかなければいけません。このようなところも、今後、基礎的な研究を地道に続けなければい

けないと思います。

利用の際の問題としては、米国の場合には結果の解説がかなり丁寧に書かれていて、質問に対する答えなどもあり、ユーザー側にいかに理解してもらうかという姿勢がかなり感じられます。こういうところも学ばなければいけないのではないかと思います。

これを工学に使う場合には、多分ここで計算されるものは、サイエンティフィックにリーズナブルなものをつくるという姿勢でつくっていると思います。だから、利用するときには工学の利用する側も、どう利用したらいいか考える必要があります。むやみやたらとそのままの形で使えばいいかどうかは、工学で議論しなければなりません。そのときに、つくった側と使う側で、会話しながらつくっていきます。それはアメリカでもそういうようなことでやられています。このようなところが重要な点ではないかと、今の米国の例を見ると感じられます。

研究面で、個人的に興味があるのは、石川さんから先ほどご紹介いただいたのですが、距離減衰式のばらつきの問題があります。これが振幅が大きい、すなわち距離が近くてマグニチュードが大きい場合には、ばらつきがどうも小さくなるような結果があります。こういうものを取り入れれば、多分ハザードカーブは従来のものがこうだったのが、こういったような格好に、定性的にはなるだろうと思います。これは蛭沢さんがつくった絵をお借りしておりますが、こういうことになって、低確率ではこういうものを考えれば、ハザードの値はやや小さくなると思います。どのくらい小さくなるかはわかりませんが、その可能性はあります。

地震動の極値に関連する問題としては、強震観測記録は限られていますから、例えば、過去に震源直上で物体が移動したとか跳躍した、石が動いたとか山門が移動したという現象があります。震源直上での地震動強さがどのくらいなのかということも手がかりにして、何とか地震動の極値を決められないとか、先ほどの強震動シミュレーションの結果から、先ほど川瀬先生から「400 カインぐらいだから、余り役に立たないでしょう」というお話もありましたが、実際にうまくまとまるかどうかはわかりませんが、これがうまく利用できれば、シナリオ地震地図と確率論的地震動地図の融合の一つの形にはなるかと思っています。

がらっと変わりまして、地震動予測地図の利用例をお話ししたいと思います。これからお話しすることは、確率論的地図に限らず、シナリオ地震地図も対象とした利用例です。利用の対象としては、技術者や行政、市民、教育者、研究者などがあります。ここで2つの例のお話をするのは、耐震設計の利用と、市民防災への利用をご紹介します。

建築主と設計者の共通認識に基づいて安全レベルを設定し、それに基づいた建築物の合理的な耐震設計を実現しましょうという性能設計があります。建築主が考える安全レベルは、大地震に対して、例えば使用可能な程度の被害に抑えたいとか、かなり概念的なことです。これを設計レベルにするには、耐震設計に必要な定量的な値に変換しなければいけないので、建築主が考える大地震とは何か、何ををもって使用可能と思っているのか、そう

いうことをひもといてあげなければ、建築主が考えるものが設計に実現されないことがあるかと思います。

建築主が考える大地震の概念は、それを明確にして、それに基づいて入力地震動の大きさを適切に設定することが必要です。そのためには、地震動予測地図が重要な資料となります。ですから、地震動予測地図の目標としては、これを利用して安全な社会をつくってもらいたいというのがあり、1つはこのような耐震設計を通じてという目標があります。

その1つの具体例として、建築主と設計者の合意に基づく合理的な性能設計という形で、この目標を具体化するということが考えられます。これを結びつけるために、耐震メニューというようなツールが必要で、地震動予測地図があれば、そのままこれに結びつくというわけではありません。ですから、こういう耐震メニューを整備したらいいのではないかと、そうすれば、地震動予測地図がより利用されやすいのではないかとということで、実は日本建築学会の地震防災特別委員会で、性能設計を実現できるような耐震メニューを考えております。

今までも、アメリカで性能設計はロマップリータ地震以降にはやりました。これがVision2000 ということでSEAO Cが出した耐震メニューの例です。しばしば起こる地震に対しては完全に機能が保持されて、非常にまれな地震に対しては倒壊しないとか、安全レベルをイメージしている絵があります。こういった絵は、技術者にとっては非常にわかりやすいです。

しかし、これを建築主である一般の人に見せても余りわからずに、結局、こういう絵は構造設計者が自分たちが考えているものを建築主に押しつけるためのツールのように、私には思えてしまいます。これはもうちょっと建築主にもきちんと説明できるような、もう少しわかりやすいものがあつた方がいいのではないかと思います。

そういうことで、現在考えているのは、耐震メニューというのを三次元的表現をして、わかりやすく建築主に提示し、性能設計のプロセスを見せながら合意を取って、合理的な耐震設計に結びつけたいということで、こういう絵をつくっております。

例えば建築主は、ここで考えている地震は地震動のことで、ごくまれに起こるとか、まれに起こる地震に対して機能を保持したいとか、そういうようなことです。それが、具体的には地震ハザードカーブのようなもので設計用地震動のレベルが決まり、施主が考えている被害のレベルを定量化して中損、重損というレベルに置きかえ、地震の入力と被害ランクを決めます。そうすると、耐震等級としてはBコースぐらいで設計すれば、この人が考えていることは実現します。こういうようなことを示そうという考えです。

もう一つは確定論的な地震です。地震像として、直下地震に対してどうかとか、海溝型地震に対してどういう性能を考えているかということになれば、確定論的に考えて、この地域で直下地震はどういうものがあるかを活断層調査などから拾って、震源モデルを入倉先生のレシピなどで決めます。そして地下構造を考えて地震動シミュレーションをすれば、入力が決まるという流れをわかりやすく示すといいのではないかと思います。耐震メニュ

一があると、こういう地震動予測地図が性能設計に使われやすくなるのではないかと思います。

もう一つは、市民に対してどういうふうなことができるかということです。例えば、市民に地震動予測地図を見せたら、こんな地震が本当に起こるのか、私の家は大丈夫なのか、どうすればいいのかという話になってきます。特に、私の家は大丈夫なのか、この地図を無理やり拡大して見るわけです。

ですが、今、地震調査研究推進本部でやっているものは、1 キロメッシュのベーシックマップですから、幾ら拡大してもそんなものはわかりません。ですから、より細かい地盤情報を使って、より細かいリゾリューションが必要です。これは石川さんもおっしゃっていましたが。

実は横浜市で地震マップをつくっていきまして、ボーリングデータをいろいろと整理して、50 メートルメッシュの地震マップをつくりました。これはシナリオ地震で、南関東地震が起こったときのものです。これを拡大すると、これが横浜スタジアムで、この1 つが 50 メートルメッシュですから、自分の家がどうなるかはこれで見えてきます。

横浜市がこういうことをやった理由は、耐震補強を推進したいからです。無料耐震診断制度というのがあって、今まで1 万軒ぐらいやっていて、その中の 36% ぐらいは大地震で危険ありと判断されました。しかし、耐震補強まではなかなか進んでいません。

そういうことで、1999 年から工事費の助成として工事費の 3 分の 1 まで、2001 年には上限を 10 分の 9 にして助成しました。収入の少ない方にはここまでやるということですが、年間の応募件数が、3 カ月で 26 軒ですから、年間で 100 軒ぐらいです。地震マップを公表していろいろとおどかしをかけたら、それが 1.5～2 倍になりました。まだ数は少ないのですが、それなりの効果が出ているようです。

今後の課題としては、これはハザードしか出ていませんが、さっき石川さんがおっしゃったように、リスクマップというか、地域情報でいろいろ危険なものなど、リスクの情報も重ね合わせることによって、耐震改修だけではなく、救出・消火活動や適切な避難行動などにも結びつくのではないかとということで、ことしから横浜市では地震防災マップ作成検討委員会が始まりました。2 年計画で、まずは市民が適切に避難行動できるような防災マップをつくらうということもやっております。

こういったようなことで、いろいろと地震動予測地図の利用例はふえていくのではないかと考えております。以上で、私の話題提供は終わります。ありがとうございました。(拍手)

進行（当麻氏）：

翠川先生、どうもありがとうございます。後ほどまとめて質問、コメントの時間を取りたいと思います。

続きまして話題提供 2 番目、能島先生から地震動予測地図の工学利用について、話題提

供いただきます。お願いします。

岐阜大学 能島氏：

ただいまご紹介いただきました、岐阜大学の能島です。きょうの話題提供の内容の一つは、当委員会で中心的な話題でありました確率論的な地震動予測地図の工学利用についてです。ほとんどの話題は、午前あるいは翠川先生の話題提供で出てきたものの復習になるかと思います。

もう一つは、利用者サイドから見た地震動予測地図へのニーズの多様化ということで、そういうものにどう答えていくか、作成側に関してもこの観点が重要になってくると申し上げたいと思います。

それから、ちょっとローカルな話題になりますが、石川さんから少しご紹介がありました、岐阜県を対象とした地震動予測マップのケーススタディについて紹介させていただきたいと思います。

確率論的な地震動予測地図の活用の背景としては、これに触れなければいけないだろうということでこの1枚目のスライドをつくりました。耐震設計あるいは地震防災対策の合理化に関する近年のトレンドということで、設計体系としては性能規定型の設計に移行しつつあります。要求性能を定めて、その性能が満たされるように照査を行います。これに付随して、地震動のレベルの設定やさまざまなことに関する自由度が拡大するという背景があります。

一方で、地震防災対策一般の面では、地震リスクマネジメント、すなわち意思決定支援を行う体系の一環という意味でのマネジメントの体系があります。これは性能規定型の設計と非常に密接な関係にあり、要求性能を定めるということは、どの程度のリスクであれば許容できるのか、あるいは回避したいのかということ、構造物のライフサイクルの中でどのようなコストを占めるのかという評価が必要になるでしょう。

それから、性能照査に関しては、限界状態設計法が奨励されております。ですから、部分安全係数の評価などの面で信頼性設計やリスク評価が重要になってまいります。

さらに、入力を自由に定められることに関しては、定めたものに対する責任リスクを負うという意味では、リスクマネジメントアイテムの中に組み込まれる余地があり、あるいは同列で比較し、実行していかなければならないという背景があります。

次のスライドは、以上の2つの中で、まず、左側に書いてありました性能設計型の設計の枠組みです。これは「土木建築にかかる設計の基本」で昨年国土交通省から出されたものです。地震動のレベルの設定がある程度頻度と結びつけられて書かれています。供用期間中に数度経験する、あるいはまれ、ごくまれである、最大級と数段階に分かれて書かれています。これが、ある程度集約されて2段階の設計法になる場合もありますが、基本的

な思想としては多段階です。要求される耐震性能としては、重要度に応じて使用限界状態か、修復限界状態か、あるいは終局限界状態まで許すかということを、施主との合意の元で定めようという枠組みです。

2つめのリスク分析の枠組みについてですが、荷重レベルに対する被害の出方、被害関数やフラジリティの評価で出てくるとすれば、その荷重が生じるような非超過確率の形でハザードカーブが与えられ、そういうものの確率情報と重ね合わせながらリスクがどういうふうに分布するか、あるいは損失がどう分布するかを元にして、期待損失やPMLといった指標を元にして、意思決定を行うという枠組みになっています。

確率論的な地震動予測地図の典型的な利用法の一つとしては、一旦面的に出された情報から、そのうちの1点を点的情報として抽出し、それをハザード曲線そのものの形で使っていくことができます。例えば、50年超過確率5%に対応する地震動強度のレベルが、2%ではどうかという強度レベルを定め、あるいはそれをさらに発展させてそういったハザードレベルに対応した設計用の地震動を規定していきます。レベル1の地震動であったり、ISOが中心となって進められている安全性、使用性の照査、地震動の策定に用いられているのが、基本的な使われ方だと思います。

また、地震リスクマネジメントと関連する面では、ハザード曲線を損失関数と組み合わせれば、特定の耐震化レベルに対する地震リスク、すなわち言い換えれば、初期コストと損失コストの総和を評価して、これを最小化する耐震化レベルを模索するという利用が可能です。最小化だけが基準ではありませんが、例えば、こういう方式でリスク評価を行い、意思決定を行うことも、基本的な使われ方だと思います。

2つ目に、面的な情報としてのマップは、対象地域内における地震ハザードが面的な広がりで見視化され、ビジュアル的に見やすくなっており、確率レベルをそろえておりますので、地震ハザードの相対的な地域比較を行うことができます。そういうものを用いれば、新設構造物の立地計画をたてる際に参考にしたり、配置計画の参考にしたり、あるいは既存構造物の改修計画で、どういうものを優先していくかという判断に活用されると思います。例えば文部科学省では、学校施設や防災拠点となる公共施設の耐震化推進に、実際に利用されつつあります。

翠川先生のお話にもありましたように、ハザードマップそのものを用いるのではなく、実情に応じてマップ情報をカスタマイズし、地域係数のゾーニングに利用したりということもあります。このあとお話があらうかと思いますが、地震保険料率のゾーニングに用いられるのが、典型的な利用形態だと思います。

工学利用について、幅を広げて考えてみます。ここでは主としてシナリオ型地震動予測

を行った上で、地域地震防災や広域地震防災の対策を推進していくという形になります。後から詳しく述べますが、このようなシナリオに入らなかったものに対して、どういうふうに対応していくのかということに関しては、震源を特定しない地震域であったり、こういう典型的な主要活断層から漏れたものに対するハザードを考えていかなければいけません。そういうことで、シナリオ型地震動予測地図の補完的な情報としての活用形態が考えられます。

こういったマップ情報を利用する上での注意点ですが、これはいろいろなところで話題になっております。そもそも地震ハザードマップは、点的な情報を面的に広げたものであるということで、着目地点に対するさまざまな地震源の影響を、確率論的にハザードを統合したものであるということです。ですから当然ながら、特定の地震で同時に発生する地震の広がりや強度をあらわすものではありません。

確率レベルをそろえて地域のハザードを比較すると申し上げましたが、石川さんの話にもありましたように、この図に示すようなハザードカーブでいえば、仮に地震源が3つあるとすれば、複数地震の地震発生確率、このレベルが発生確率に当たります。

それから、その地震源から発せられる地震動強さは、着目地点と地震源との関係で、距離減衰で評価され、その不確実性で与えられます。しかし、たまたま確率レベルをたまたま5%にそろえて、その強度レベルを見ていきますと、その強度レベルに対応するのは、各地震源によって、あるものは距離減衰の高い方のすそのを見ている場合もありますし、低い方を見ている場合もあります。このように実はまちまちの不確実性を重畳しているということになります。

ですので、複数建物の建物群のマネジメントや、ライフラインのように面的に広がっている施設のリスク評価は、単にハザードで評価された値を確率情報として損失にかけ、期待損失を求めるわけにはいかないことが要注意です。

次に、地震動予測地図へのニーズの多様化という話題です。ここに書いたものは、確率論的な地震動予測地図だけではなく、シナリオ型地震動予測にもいろいろなニーズがあります。両方へのニーズを考えていったときには、実は両地図の融合に対するあるヒントが隠されているのではないかと思います。

ここに書きましたのは、必ずしも委員会だけで議論されたことではなく、いろいろなところで話題になっていることや、私の耳に入ったものをいろいろ書いたものです。例えば、シナリオ型地震動予測地図に関して、シナリオを1つ選定したとします。場合によっては1つで十分な場合もありますが、それだけでは当然不安ですので、複数を選んで考慮したいということもあります。

それから、対象を絞るためにシナリオを幾つか選んだとしても、その地震の切迫度を把握しておきたい。ここに確率情報が入り込む余地が出てくるのではないかと思います。ま

た同じようなことですが、リスク評価のためにシナリオ地震の発生確率を考慮したいということもあります。

パラメーターの設定方法によっては、シナリオ型地震動予測地図をつくる時のシミュレーションのパラメーターをどういうふうに振ったらどのくらい変わるか。それは感度分析等にかかわることですが、その地震動のばらつきを考慮したいというニーズもあります。仮にいろいろやってみて、複数のマップが出てきたときにそれをどう使えばいいのか、ある種の判断でそれを統合化したり選択したりということが行われる必要が生じます。それから、先ほど申しましたように、想定外とされた地震の影響も押さえておきたいというニーズもあるでしょう。

一方で、これはよく言われることですが、確率論的な地震動予測地図に関しては、背景にある個別の地震それぞれの顔が見えてこないという苦情めいたこともあります。また、土木分野で、今、議論されているのは、L2 地震を確定的に定めるとして、L1 地震動が確率論的な評価を行いたいということです。これは言い過ぎかもしれませんが、高確率のハザードは統計的にも明らかとなることが多く、ある程度信頼できる一方で、低確率のものについては多少疑問が残るという理由もあるからです。

それから、地域防災計画のようなところだと、例えば、東海、東南海、南海地震への対策は法律でやることになっており、シナリオ型でかたをつけることができるが、そのほかのハザードについて知っておきたいというニーズもありましょう。実際にはこれほど簡単に割り切れるものではないにしても、現実問題、別個の問題として捉えられる趨勢はあります。

また、きょうの午前中にもたくさん議論されましたが、距離減衰式のモデル選択によるばらつきがありますし、発生確率そのものの評価にも幅があたえられています。このようにいろいろなニーズがあって、それぞれ予測地図が2枚出てきて、どれかを選ぶという問題ではありません。ある程度、両方をにらんでバラエティに富んだものをつくっていく必要があるのかもしれません。

ちょっと細かい図ですが、お手元の資料に、シナリオ型地震動予測地図と確率論的な地震動予測地図のそれぞれにおいて、不確実性がどう処理されているのかということをもとめてみました。

確率論的な地図の方は、地震の発生確率そのものには幅があったりして、もっと確率論的な方向に行く面もあります。しかし、シナリオ型にしてもいろいろな段階で、何らかの不確実性の処理を行っているわけです。一番上に書きましたのは、「地震の発生時間や可能性」に関するものです。それから順に、「地震の規模・断層パラメーター」に関するもの、「距離」に関するもの、「距離減衰特性」に関するものがあります。

発生や可能性については、シナリオ型ですと、そのシナリオ地震を選択するかどうか。0 か 1 かという判断を下してしまいます。それから、地震規模、このようなパラメーター

については、シミュレーションをする以上は1つに決めなければいけないということで、アスペリティをどう置くとか、破壊開始点はここに決めますなどと判断をします。距離はシナリオを決めれば決まってきます。距離減衰特性は、簡便法であれば距離減衰式、詳細法であれば地震動予測シミュレーションということで、1枚のシナリオ型地震動予測地図ができ上がります。

これに対して確率論的な地図に関しては、震源を特定できるようなものに関しては、多くの場合にはノン・ポアソン型で、固有地震、固有距離という処理がなされます。特定できないものに関しては、多くの場合にはポアソン型、b 値モデル、域内ランダムです。基本的には、確率論的な地図では距離減衰式を用いるということで、最大速度、最大加速度であれば対数正規分布のばらつきを見込んだうえで、ハザードの統合処理を行い、1枚の地図ができ上がります。

さらに、こういうパラメーターの幅や信頼度、モデルの選択などの不確定性を処理するために、たくさんのハザード曲線を書いてみてその中の1本を選んだり、先ほどの翠川先生の話で言うと1本のハザード曲線を“preferred”として推奨するとか、ロジックツリーなどでの処理が考えられるというわけです。

一方で、シナリオ型地震動予測地図に関しても、シナリオの取捨選択については、パラメーターの幅など複数のシナリオを考え、発生確率を与えて、ある程度リスク評価にも使えるような形になっています。それから、破壊に関してはどうか、アスペリティの分布をどうするかなど、いろいろなモデル選択があります。ここでも、モデル選択やパラメーターの幅などを考えると、たくさんのシナリオ地図が出てきてしまいます。そういうものを何らかの形で総合評価、統合化、あるいは選択を行うことが求められると考えられます。

また確率論的な地震動予測地図に関しても、相手がはっきりしている地震であれば、最新の知見を生かしたシミュレーションを行って、シナリオ型のものを取り入れて地震動予測を行い、それを取り込んでゆくことができます。あるいは、さまざまな種類のハザードが一緒になっていてわかりにくいので、相手が非常にはっきりしている海溝型によるもの、確率が低いとされている内陸活断層によるもの、非特定震源によるもの、とかいった形でマップを分解する、あるいはそれぞれの貢献度を相対的に評価してやることが、工夫として考えられます。

そうすると、例えば、非特定震源のものは、シナリオ地震として選択されなかったものに関するハザードとして、補完的な情報になりうるでしょう。非特定震源はいわば「顔の見えない地震」ですから、「確率論的想定地震」としてその地震像をあぶり出し、逆に複数のシナリオ地震を考慮するときの参考情報にすることも可能となります。

ということで、融合領域ではシナリオ型と確率論的な地図はお互いに歩みよりをしつつある、というのが、私の考えです。先ほどの多様化するニーズに応じてマップを作成することが、さまざまな分野でのいろいろな活用方法につながっていくのではないかと考えております。

部分的には重複しますが、次のスライドには、いろいろな評価項目でシナリオ型アプローチと確率論的アプローチを対比させました。「地震発生源の扱い」や「不確定性の処理方法」、シナリオ型では個別的に処理する、確率論的なら包括的に処理していくということと、「ユーザーとしての自由度」や「解釈の容易性」を3つ挙げております。「確率レベル選択の自由度」ということでは、ハザードカーブのどこで確率を考えるかということであれば、確率論的なものならば連続的に対処できます。シナリオ型であれば起きるものだと解釈して考慮しない、あるいは個別的に与えることになるでしょう。

また、午前中や翠川先生のお話にもありましたが、「解釈の容易性」は、作成プロセスがはっきり明示されているかどうか、使ったデータがちゃんと根拠も示されていて、どういう判断の元でどういうパラメーターが採用されたのか、明確に出すか出さないかということです。どちらがどうだとは言えません。そういう意味では、利用者側の自由度も、作成プロセスが明確であれば高くなると言えると思います。

対象施設は「点的なもの・面的なもの・建物群」、目的は再三出てきますが、「耐震設計・診断・補修・補強計画・ライフサイクルコストの評価・マネジメント利用・被害想定・地域防災・広域防災・ゾーニング」についても、それぞれ与えられたものの利用法によっては適切な使い方もできるし、向かないものもあります。ここは私もちょっと書きかけたのですが、かなり主観的なものになってしまうおそれがありましたので、最終的には抜いてしまいました。それで、会場の皆様のご判断にお任せしたい、あるいはきょうの議論のネタにしたいと思っております。

こういうことを考えますと、既に議論されていることですが、前提条件やデータ処理のプロセスの明確化が必須であろうと思います。何らかの形でWebで公開していくなどさまざまな形態が考えられますが、いずれにしても明確化することが必須です。

それから、つくった人しかその内容がわからないということではだめです。特にプロフェッショナルな方が多く使うとすれば、それぞれ自分の専門分野での意見をお持ちでしょうし、この部分はこうしたいなどの判断がされるかもしれません。そういう判断を下せるような材料が、少なくとも与えられなければなりません。それを踏まえた上で、もし必要であれば追加計算、あるいは再計算というようなカスタマイズできるシステムが、理想を言えば望ましく、アメリカではこういうことが実現されているということです。

次に、話題がローカルになりますが、今までの論点に多少かかわることが出てまいりますので、我々が石川さんらのグループと一緒に進めております、岐阜県を対象とした地震動予測地図の検討事例の結果を、幾つかごらんに入れたいと思います。

1つはシナリオ型地震動予測地図です。岐阜県の地域防災計画被害想定では、平成10年に阿寺断層、跡津川断層、関ヶ原断層と養老のほぼ同時発生を考慮して、内陸型の4パターンでマップが出されております。その後、1～2年たったところで東海地震の震源域

が見直されたという事情もあり、すぐにこちらに目が移っていった東海地震、東南海地震と連動型の地震でシナリオ型地震動予測を行い、一応これらを地域防災計画に生かしているという計画です。

では、前にやった内陸型の被害想定は一体何なのということになりますが、岐阜県北部や中東部、西部それぞれがある程度の高い震度レベルになるように選択されたシナリオとなっています。もし阿寺断層が天正地震で活動したとすると、近い将来の発生確率はほぼ0となります。しかし、いずれにしてもこのときにはシナリオの一つとして採用されました。これらの内陸型地震による地震動予測地図は、率直に言うと余り活用されていません。目がこちらに移ったということもありますが、発生確率がどうか、実際に起きるのかどうかという現実面に立ち返ったときに、現状では地震防災を強く推進していく力にはまだなっていません。一方で、東海・東南海連動型は、あす起きるかもしれないとか30年で50%といわれており、ある程度切迫さが理解できるという事情もあって活用されつつある状況です。

現実面でこういう状況にありますが、ここでの論点として、例えば、シナリオ型地震動予測を行うときに、いろいろな不確定要因があると先ほど申しました。その1つとして、断層の破壊開始点をどこに置くかによって震度分布が大きく変わってくる可能性があります。そういうばらつきをどう評価するのか、評価した上でどのマップを選ぶのかを検討してみた事例があります。

ここで用いるのは震動曝露人口という評価指標で、地震動強度を受ける人たちがどれくらいの割合でいるのかを比較するものです。これはその説明図ですが、自然条件としての地震動強度分布と社会的条件としての人口の分布とを重ね合わせて、「震度幾つに何人が曝される」という、非常に単純な指標です。

これはちょっと脱線しますが、2000年から2003年に震度6弱以上の地震が頻発しまして、先ほどの震度曝露人口という指標で見たときに、6弱あるいは6強の地震は、どういうふうに違いが明らかになるかを検討してみました。気象庁と震度情報ネットワークとK-NET観測点のデータを使わせていただいております。左側が震度5弱以上です。2000年の鳥取県西部地震、芸予地震、宮城県沖（三陸南）地震、宮城県北部の前震・本震・余震と先だって発生した十勝沖地震です。芸予地震は5弱のエリアに広島市が入っておりますので、このように400数十万人の規模でした。鳥取県西部地震ではその半分ぐらいです。三陸南では300万人、十勝沖地震は意外と少なく、百数十万人です。内陸の宮城県北部地震は、それをはるかに下回っています。

6弱以上に注目しますと、見え方が相当違ってまいります。十勝沖地震は意外と多く、芸予地震はそれほどでもありません。鳥取県西部地震と三陸南地震が結構大きな分布になっています。特に、6強に注目しますと、宮城県北部地震が5万人、鳥取県西部地震が2

万人ぐらいです。全壊家屋が宮城県北部地震で1,200棟ぐらいだったと思います。鳥取県西部地震が400数十棟ということで見ると、6強以上はある程度支配的な要因になっているのではないかとということもわかります。

脱線ついでに、これらの地震による震度ごとの面積を比較してみました。これは震度5弱以上のエリアに入った面積です。マグニチュードと非常に密接な関係があることがわかります。かつての震度と今の計測震度の違いや、横軸にモーメントマグニチュードを取るか気象庁マグニチュードを取るかという違いはあろうと思います。モーメントマグニチュードを横軸にとると、村松先生による経験式と絶対値としては相当のずれがありますが、直線の勾配などの傾向そのものは、自然現象ですので比較的素直に現れているといえます。反面、先ほどの人口分布と合わせて考えると、相当違った様相を呈しています。

このような震度曝露人口という指標を、将来のシナリオ型地震が及ぼす地域への影響の評価に役立ててはどうかということで、想定東海地震の震度予測マップと人口分布を重ねてみました。

シナリオの相違としてはここでは、断層面上の破壊開始点を10種類変えてみました。ケース1は、平成14年の被害想定で採択された震源域の南端付近に震源を置いたパターンで、岐阜県内ではこのように5強ぐらいが支配的で、あとは5弱が少しという分布です。それに対して、破壊開始点を北端に置いたケース6の場合には、フォワード・ディレクティビティが海の方に出ますので、地震動強度としては相当弱くなります。最後にケース9のパターンですが、大きなアスペリティがあるところを、ちょうどフォワード・ディレクティビティの影響で、岐阜市の人口の多いところを襲うようなパターンですので、震度6弱が相当広がっていきます。このようなシナリオ型地震動予測の不確定性評価に、ある程度役立てることができます。

このように例えば10種類のマップが出てきたとすると、それをどう処理するのか。1つの考え方は、その中の一番大きいものを選ぶとか、中間のものを選ぶとかという処理が可能です。こう並べて串刺し処理をして、例えばこの場合には、10個のうちで一番低いものを取ってマップをつくる、2番目のものをつくる、そして一番大きなものだけを採用したものをつくるというふうに並べてみますと、これだけの差が出てきます。最小のものは震度5弱が、最大のものは5強が支配的です。震度でいえば「弱」と「強」ぐらいの差が出てきます。

以上が、震源位置をさまざまに変えた場合のシナリオ型地震動予測マップの不確定性の検討事例です。石川さんらと実施しております確率論的な予測地図の不確定性評価においては、こうしたばらつきを、中央値とプラスマイナス σ という形でメッシュごとに評価し

て、距離減衰として採用しています。中央防災会議による想定東海地震の震度マップにおきましては、破壊開始点2種類と応力降下量が一定かすべり量が一定かという2種類あわせて4ケースでの最大値をとったという判断がなされました。

次に、確率論的地震動予測マップへの適用例について述べます。先に石川さんにご紹介いただきましたように「多様化・高度化」を狙いとしたハザードマップを、岐阜県を対象にして作成しました。これについては表示方法を含めた活用方法を検討しておりまして、地震ハザード曝露人口といった指標を使って、その地域へのハザード評価を行っております。

これは、さまざまな確率レベルで出されたハザードマップを連続的に表示しているものです。50年の超過確率が79%のものから徐々に1%まで、連続して表示しております。震度階ごとの表示ですので、多少マップの表示がぎくしゃくしておりますが、この岐阜のエリアに対して、ハザードがどう広がっていくのかをあらわしています。南東から高まっていくような変動も見られますし、高山・大原断層帯が顔を出してきたり、牛首断層や関ヶ原断層が、徐々に影響を及ぼしてくることがわかります。震度階の表示ですので、もうちょっと連続性を持たせたマップの表示に改変しないと、なかなかわかりづらい面もあるかと思います。

こうしたマップすべてを先ほどの人口マップと重ね合わせて、79%から1%まで、地震ハザード曝露人口を比較したものがこの図です。非常に確率が高いレベルではこのような分布となります。1%のものは確率のすそのを見過ぎているところもあるかと思いますが、例えば、5%になるところでは、岐阜のほとんどが6弱のハザードに曝されていることがわかります。地域間ごとの地震ハザードマップを用いて、こうした集計を行った結果を添付しておけば、視覚的に明示されたハザードレベルの総合的判断に役立つのではないかと考えております。

これが最後のスライドです。ローカルな話題の後になりましたが、平成16年度をめどに全国の概観マップがつくられることになっています。その意義というか、期待めいたものを書いてみました。

一つ目は、「概観する」ことの意義です。全国を見通したうえで、例えば、岐阜でさらに詳細な検討が必要である、といった判断を下すための基礎的な情報として、生かされるだろうということです。さらに、これは翠川先生もおっしゃっていましたが、平成16年度の概観で終わりにすることなく、最新の知見を導入した継続的な改訂を、できればやっていただきたいと思います。更新間隔は、2年、4年、5年といった期間になるかも知れませんが、いずれにせよマップの継続的な更新を期待したいと思います。

それから、もう一つは「網羅すること」すなわち全国的にやることの意義です。いたる

ところの地域で、あらゆる分野で活用されるには、全国的な網羅が必須だろうと思います。また、どの活断層が活動するのか特定するのは非常に難しいことですが、どこかでどれかの内陸活断層が起きる可能性という意味では確率は高いわけですから、地震リスクを我々国民が、全国でシェアしている状況にあるということです。ですから、低頻度巨大災害がどこで起きるのか特定できないにせよ、薄く広く分散している高いハザード、リスクを総合的に評価する有力な基礎情報として、全国概観マップが生かされるのではないかと思います。以上です。(拍手)

進行（当麻氏）：

能島先生、どうもありがとうございました。それでは、残りの時間を活用しまして、討論者の方々とフロアの方々も含めまして、ディスカッションを進めたいと思います。

議論を誘導するつもりはさらさらありませんが、午前中からの皆様のご発表やご議論を聞いておりますと、シナリオ型の地震動予測地図に関する有用性は、不確定性の処理の問題などがいろいろあるにせよ、有用だというある程度共通の認識があるかと思います。

それに対して、確率論的な地震動予測地図が今後できてくるわけですが、それをどのように役立てられるか、どこを工夫すればより役立つのか、あるいはそのための技術的な課題は何かというあたりの議論が、恐らくこれから必要ではないかと思いますので、その辺に言及もしていただければ大変ありがたいと思います。

それでは、最初に討論者にご議論いただきたいと思います。永島さん、よろしくお願いいたします。

損害保険算出機構 永島氏：

損害保険料率算出機構の永島と申します。確率論的な地震動予測地図の利用という観点から、私どもの状況を簡単にご説明させていただいて、利用に際しての課題などについて先生方にお伺いしていきたいと思っております。

実際に私どもで計算しております保険は、家計用の保険です。これは公共性が高く、地震保険法も制定されていまして、加入できるレベルの保険料でなければいけないという前提があります。そういうことも含めて、いろいろ考えなければなりません。

そのために、特にご存じのように、日本は非常に、世界的に地震危険が高いということで、ある程度の量の危険を外国に出すと、非常に再保険の値段が高くなるということもあります。ですから、政府が半分近くを保険会社から再保険しております。そういうこともありまして、この値段の設定につきましては、普通の会社ですとその会社の事情などを考えればいいのですが、いろいろな方のご意見を総合して考えなければいけません。地域区分はいらないのではないかという方から細かくしろという方までいろいろおりまして、そこをどう考えていくかが非常にポイントになってきております。

そういう中で、現在では基本的に 500 年間ぐらいの歴史地震をシミュレーションし、その結果をベースにしております。構造は木造と非木造だけです。地域は 4 種類ですが、このぐらいの種類で料率を決めております。決め方といっても 4 種類ですので、イベントの影響がほとんどで、震源の位置から頻度、地震動の強さもありますが、そういうところの影響が多く、こういう状況の区分けにしております。平成 13 年に改定いたしましたときから、阪神での結果を踏まえまして、現行基準法以降の建築物については 10%割引、耐震等級 1～3 について、それぞれ 10～30%の割引をしております。

このような状況で、この地震動予測地図がどうかかわってくるかをお話しします。前提として、保険ということがあります。設計等をやられる場合には一つの指標としていいのですが、どのぐらいの耐震力を考えるかによって、結局建築される建物のコストもかなり影響してくると思います。それと同じように、これも金融商品ですので、1 年あたりの予想支払い保険金（期待値）に基づいてレイティングしている状況です。

一番地震動が影響するのは損壊危険です。また、一緒に火事も出ますので焼損、津波もあります。これらの危険を勘案しまして、全部シミュレーションで算出しています。1 軒だけの建物ではありませんので、実際には多くの建物を短期間に判断しなければいけません。ですから、全損、半損、一部損の 3 種類の損害形態で、どのくらい出るかで支払い保険金を算出しております。

ただ、1 つの建物の危険性を見るならハザードでもいいのですが、1 つの建物だけではなく、結局 1 回のイベント（地震）でどれだけの量の保険金を必要とするのか、それだけの量の保険金を必要とする場合にどう再保険がかかるのか、そういうことも考えますと、1 地震ごとの評価が必要になってきます。

そういうことで、ハザードは地域区分（ゾーニング）にかかわってきます。それ以降の支払い状況等を具体的に評価するために、地震ごとのハザード曲線といいますか、イベントベースのリスクカーブを考えていかざるを得ません。

確率論的な地震動予測地図を利用する場合、1 つは地震データベースを共通にします。ただ、損壊、延焼、津波というような、ここには個別と書いてありますが、1 つ 1 つのメッシュでの罹災を考えて、これをある程度の固まりにしていけます。これを別の地震でもやっていくという形で、1 地震ごとに考えていかなければいけません。そうすると、1 地震ごとの確率、ハザード曲線も考えていかなければなりません。そういうことで、多少アレンジをしていかなければいけないのかと思っております。

確率論的な地震動予測地図でいきますと、震源を特定できる地震とか、幾つか特定できない地震などがあります。これは大ざっぱに、地点ごと、サイトごとのハザードカーブを出すことになります。これを、私どもの方では保険の純率を算出するにあたり、フローのように各地点の前に地震が 1 つありますので、その時点で各地点を全部計算することが必要になってきます。ちょっとループが逆になりますので、地震と地点が逆になってくるといことが、私どもの事情です。

これも、考え方を覚えてうまくやればできないこともないかと思います。しかし、現状ではこのようにやっておりますので、例えば全体のベースとしましては、ハザードがこのような形で出てきます。ハザードは地震の大きさそのものをあらわしておりますので、基本的には地震動、被害の大きさと確率の積が保険料のベースになっております。ですから、その確率をどのように取るかが非常に問題があります。この辺を地震のデータの整合性と地域区分で、ゾーニングの整合性等を考えて、今後地震動予測地図を利用していこうと考えております。

これでは同じ図を使っておりますが、最終的には、同じような感じになるものをつくれるかと思っております。結局、背景としましては、国のプロジェクトですので、これと国も大きくかかわっております地震保険との整合を図ることはごく自然かと考えております。

ただ、もう一つは、先ほどもありましたが、私どもは毎年水準を検証して、金融庁に届け出て報告するということをしております。実際に危険のレベルがどうかをチェックしております。そういうこともありますので、毎年見直されても困りますが、ある程度短い期間で見直していただけたらいいかと思っております。

先ほども申しましたが、契約の締結が可能な水準であることが必要条件です。東海地震を例に取りますと、もしそのまま単に確率と予想される被害をかけ算して保険料を出しますと、えらく高い値段になってしまいます。大ざっぱに言っても数十円、数百円の料率になるか、あるいは1000万円の契約金額で補填費用をまかなうために保険料で100万円のお金を出さざるを得ないとなるとほとんど契約できません。それは、保険の趣旨に反しますので、今後どう考えるかということと、このPGV分布で評価された震源近傍では、建物によっては3割ぐらい全損の確率があるということも考えられますし、建物によっては、ほぼ100%全損の可能性のある物件もあるかと思いますので、非常に高い保険料になります。

現実的には震源モデルも非常に数が多く、当然そのシナリオで使うようなプレート境界の地震につきましては、当然全部入れていかないといけません。しかしランダム地震域のような地震については、それだけ全部が必要かということも考えつつ、今後検討を進めていくという方向で考えております。

きょう先生方の話の中でよく出てまいりましたのが、不確定性をどう入れるかということです。ここがある意味で一番私どもも問題の部分です。例えば、これはシナリオ地震とはまた違うのですが、それまでいろいろな地震でキャリブレーションした被害関数で設定してやるとちょっと違う結果になってしまうことがあります。

その辺が、今後どう対応して考えていけば、考え方なのですが、その辺もいろいろ考えて、どのように取り組んでいくかを考えていかなければいけないと思っております。この辺は、それは確率論ということでよろしいのかをお伺いしたいと思います。不確定性を入れて積分していきますと、元々定量的にキャリブレーションしたような被害関数で計算した値、これは平均値ですが、それと変わっていつてしまうようなこともありますし、その

辺の考え方を、もしお教えいただければと思います。

進行（当麻氏）：

永島さん、どうもありがとうございます。保険料率算定の立場からご紹介いただきまして、最後に問題提起をいただきました。ここで、今ちょうど問題提起をいただきましたので、このあたりから少し議論を進めたいと思います。

今の永島さんの不確定性の問題への問いかけに関し、コメントなりご意見がおありの方、いただければと思います。はい、どうぞ。

東京大学 東原氏：

金融庁はどのようなルールで評価といいますか、機構の活動を判断されているのかを伺いたいです。と申しますのは、例えば料率の条件を厳しくすると、お客さんが減るはずで、お客さんが減ってしまうと、元々この制度がなぜ発足したかということになってしまい、それで金融庁が困ると思います。ですから、それをどのように判断しているのでしょうか。

第2の問題意識は、実質は確率論がかぎとなる加入率などを決めているのではなく、結局はお客様の反応が効いているはずなので、確率論が効いていないのではないかという感じを受けています。このあたりについて、お考えを伺いたいです。

進行（当麻氏）：

永島さん、お願いします。

地震保険算出機構 永島氏：

確かにそうです。また、この金融庁の判断の1つは、単に政策的にそのレベルを判断するというものではありません。論理的、合理的に考えていった結果の水準がちゃんとしているかどうか、それでいいかどうかで判断されている数理的な部分がかなり強いです。発足したときには全損しか保障せずに、先ほどお見せしました料率の一番高いところよりもっと高い値段で出しておりました。昭和41年スタートですので、家自身が弱いということもありました。

それだけではなくて、いろいろな事情もあるかと思いますが、そういう段階を経て現在に至ってきた現状があります。そういう意味では、今の水準は高いというご批判も多々ありますが、とりあえず認められているレベルであります。ある意味では非常に検討課題は多々ありますが、そこを基準として、今後確率論的な地震の危険をベースとした保険料の設定を今後していかなければいけないと思っております。ちょっと焦点のぼけたご返事になってしまつてすみません。

進行（当麻氏）：

どうもありがとうございます。ほか、いかがでしょうか。どうぞ。

東京大学 高田氏：

先ほど、不確定性をどう処理したらいいのかと、問題提起であったと思います。わからないものに対して、どう科学的に処理するかというのはいろいろな方法があります。確定論も、ある意味では一つの処理方法かもしれません。しかし、もう少しわからなさを定量的に表現する方法としては、やはり確率論が今までのところでは、一番使いやすく説明しやすいということがあろうかと思います。

例えば、ファジーなどということもあるかもしれませんが、確率論がまだ十分普及はしていませんが、海外の事例などを見ても相当普及してきています。それを使っていろいろなビジネスもやっているところもあります。それは人に説明しやすい、根拠が示しやすいというところだと思います。

もちろん、確定論にも確率論にも弱点はありますが、それが今のベストかと思っております。

進行（当麻氏）：

どうもありがとうございます。午前中の議論では、むしろそうではなくて、そのように示されたデータなり地震動は、設計ではなかなか使いにくいというご議論もあったと思いますが、川瀬先生からでしたか。そのあたり、見解が分かれているところでしょうか。もしコメントがありましたら。

九州大学 川瀬氏：

高田さんを前にしてなかなかそういうことは言いにくいのですが、もちろんばらつきが大きいものを確率で表現するのは全うな方法だと思います。

しかし、問題は現実の設計や建物が壊れる、壊れないという話をしたときに、現実の我々がモデルに入れられる情報が、果たして本当に現実を反映したものであるかということに大きな疑問があります。詰まるところ、モデルの信頼性そのものが全然確立していないのだと思います。

今の保険料率の話で言うと、例えば、既に建っているものの評価制度ができました。あれで1級、2級で割り引いてくださるというのは、それはそれでいいのです。本当に地震が起こったときに、1級と2級と3級で、余分なお金をかけて等級をもらって、机上では1.5にしたことになっていますが、果たして確率で考えられているような差が担保されているかどうかというと、現時点のレベルとしては決して担保されていないと私は思います。

クライアント側は1.5を取ったマンションに住んだというのに、隣のマンションは無認定のマンションなのに、自分のマンションが壊れたということに、今の状態ではなりかね

ないのではないかと私は思っております。それは確率がどうこうという問題ではなく、現実のつくり込みの技術や補償の技術そのものが、今の時点では担保されていないからだと思ひます。そこが大きな問題です。

あと、1つ質問があります。私としてはシナリオ型ということで申し上げましたが、例えば、今どのくらいのお金を料率算定に年間投資されているのか。例えば、それを全部個別の地震で評価されるとおっしゃいましたので、それを全部シナリオ型に変えると、莫大な数のシナリオ計算をすることになります。それを賄えるほどの料率計算にコストをかけておられるのでしょうか。

進行（当麻氏）：

これは、永島さんへのご質問ですね。

地震保険算出機構 永島氏：

今は500年ぐらいの被害地震の、375地震を使って計算しています。もう少し簡単なシミュレーションではあります。被害関数はそこそこ複雑ではあります、土木系のマグニチュードと周期との関連の距離減衰式のようなものを使っています。また、建物については、固有周期や非木造では I_s 値との比較、それと実際の損害とのキャリブレーションで、一応シミュレーション上で375地震の被害を算出し、それで今の料率水準を計算しております。もちろん、それに延焼、津波も考慮した上で、保険全体の水準を決めております。

それにつぎ込んでいるものとして、実際に従事している私どもの中ではどのくらいになるかはわかりません。でも、これに直接かかわっているのは5人ぐらいですので、それほど量ではないと思います。以上です。

進行（当麻氏）：

どうもありがとうございます。ほかにもあろうかと思いますが、討論としてもう1件、片山さんをお願いしております。片山さんのご討論をしていただいた後、またご質疑をいただきたいと思ひます。それでは、片山さんお願いします。

東電設計 片山氏：

利用側から見てどういう方面に利用されるかという話は、もう朝の部から既に出ておりますし、翠川先生や能島先生、永島さんから、非常に詳細な検討を必要とする分野への適用というところでお話しされております。

それを踏まえまして、私は個人的に感じるのは、今の確率論的な地震動予測地図が、なぜ計測震度のみであらわされているのだろうかということです。亀田先生のイントロダクションによれば、いろいろな形であらわされてもいいのではないかというお話がありました。ですから、私は従来のある一定年数における非超過確率と地震動の強さ、これは単純

に最大速度でもいいですし、加速度でもいいです。そういう形で、工学的基盤と地表地盤という表現であらわしていただければ、過去のいろいろな工学的な慣行、実績との連続性がいいと思っております。そういうふうな表現でもあらわしていただけることを希望しております。

それから、この種のものは、ある特定の地点にいろいろなところのソースエリアからの影響を含んでおります。ですから、簡単にこれはいろいろなソースがありまして、ここに例えば送電線が走っている場合に、この付近に入ってくる地震動はいろいろなところから入ってきます。こういう場合には、合成された地震動予測地図そのままでは使えません。むしろシナリオ地震ベースで検討していかなければいけません。

これ以上、私は余り時間をつぶしたくありません。皆さん、いろいろな利用者がおられますが、そのご意見も述べていただきたいと思います。ただ、幸いにして今までいろいろな利用方面の話はなさいましたが、では具体的に利用する側では何が欲しいのかという話がありませんでしたので、よかったなと思ひまして、これだけ用意してきました。

繰り返しになりますが、せっかく最新の地震学的アプローチ、特にシナリオ地震があります。それとは別に、最新のアッテネーション・カーブ（地震動の減衰式）や地盤の工学的分類、経験工学的な翠川さんの式を使い、考慮する地震を全体として合成するという、それらのベースとなる最新の技術が発揮されているわけです。ですから、それらの技術を使って図面をつくる基本として、既に与えられているはずのデータをお出しいただきたいと思います。

そうすれば、我々は現代的要請であります保険金額の算定や性能ベースの設計、あるいはライフサイクルコストなどの面から見た、ユーザーフレンドリーな耐震ニーズに対するコンサルタントとしての能力の発揮に活用できます。

そのためには、このようなマップができる以前に用意されている性能設計のようなこと、あるいは検討を行いたいというときに、確率的地震動予測地図の元になった地震ソースや、10キロあたりメッシュでもいいのですが、大きな影響を及ぼしている地震の中身、先ほど再分解という話を翠川先生がなさいましたが、断層、位置などの諸元、断層の動的パラメーター、再現期間、地下構造及びそれらについては、ここでは変動係数は無理かもしれませんが、バイアス部分と本当の変動の部分がありますが、断層を設定したときの（変動）幅、あるいはアスペリティの幅を示してもらいたいと思います。

それから、地震活動領域の諸元です。ここでは定量的な地震活動でしたら、M-N カーブのタイプとパラメーター及びそれらの変動係数が欲しいのです。

次は地点への影響ですが、最大地動または地震応答スペクトルという表現があります。その場合に減衰曲線式はどうしてつくられたのか、係数に与えたばらつきはどうかというのを明らかにしていただきたいと思います。

それから、用いられた地震動の継続時間を規定する方程式は何か、そのばらつきが欲しいのです。地震基盤から工学的基盤及び表層地盤へ至る動的地盤物性とそのばらつきが欲

しいのです。それだけ、何らかの形で使えるように与えていただければ、それぞれ素養のある耐震屋は、現状の技術で活用できます。以上です。

進行（当麻氏）：

片山さん、どうもありがとうございました。実際に設計をされるコンサルタントの立場からいろいろご注文がありました。これも最初のキーワードの中にありましたが、情報の多様性にも関連するご注文かと思います。

今の片山さんのご発言も踏まえまして、きょう午後のセッション全体を通しまして、ご質問あるいはご意見がありましたら、ちょうだいしたいと思います。はい、どうぞ。

東京大学 高田氏：

防災科研の藤原さんが答えられたらいいと思うのですが、基本的に、今片山さんが言われた情報は、恐らく公開されることになるはずです。だから、全く問題ないと思います。インターネットかCD-ROMか、どういう形で公開されるのかはわかりません。それも委員会でディスカッションしております。

もう一つ私が言いたいのは、先ほど、ライフライン系のような地域に非常に広域にわたるような構造物については、シナリオ型がいいだろうと。それは確かにその通りです。

しかし、能島先生も言われたように、確率論的ハザードマップは点の集まりですから、1つの地震からの影響は同時の性能の考慮がされていません。それは何が一番原因しているのか。それは、今使っている距離減衰式が1つの点しか評価していないからです。だから、今の距離減衰式をもうちょっと改良して、例えばある地震が起きたときに、A点とB点でどういう地震動がどういう相関をもって評価できるかをやれば、それは確率論的ハザード評価の中にもそのまま取り入れられます。

シナリオ地震でも、距離減衰式を使ったシナリオ型地図の場合、距離減衰式のばらつきをどう考えているかが非常に気になります。恐らく、それを考慮せずに、平均的な距離減衰式（確定式）を使って評価していると思います。それも距離減衰式のごく一部しか使っていないので、それはちょっとおかしいかなという感じがしております。以上です。

進行（当麻氏）：

ありがとうございます。はい、どうぞ。

東電設計 片山氏：

一言、お願いなのですが、言い忘れました。現在、幅広く使われている地震、いろいろな地震諸元でも結構ですが、結局、これは after shock と fore shock を除いたものです。メインイベントだけです。そこから集められるハザードは最小値であろうと。

ところが、台湾の集集地震を初め、いろいろな地震で既にご経験があるように、6.5 を

超えるような地震があったときには、その地震がもっている確率はどうであれ、直後の4～5日間、我々が何の手当てもできない状態の建物に、さらに余震がばんばんと重なります。ですから、実際に建物に対するハザードを及ぼす、スレット（threat;脅威）となる地震活動の中に余震分布をぜひ考慮したいのです。直後の4～5日間、どういう確率でこういう余震が来るだろうという情報を、ぜひ与えていただきたいと思います。また1つプラスでお願いします。

進行（当麻氏）：

今、片山さんからのご指摘に関しまして、予測地図をつくられている立場の方から何かコメントがありましたら。はい。

東京工業大学 翠川氏：

最初のご発言で、要するに結果だけを出すだけではなく、どういうものが使われているかというような情報の透明性というか公開性のようなものが重要だというご指摘でした。まさに私の話題提供でも少しご紹介させていただきましたが、その通りだと思います。

最後に、地盤のことも重要だということで、これは今まで全然話が出ていませんでした。私自身も、地震動の特性を決める50%以上のファクターは地盤の影響が大きいのではないかと思います。ですから、こういう地震動予測地図をつくるに伴って、当然地盤データが必要です。やはり地盤のデータベースをきちんと整備して、それが公開できるような形にするのが非常に望ましいわけです。

それに関しては、防災科研で「地下構造データベース検討ワーキンググループ」ができており、そういう動きもあります。多分、それをつくるにはデータを持っている方や、既にデータベースを持っている方のご協力がないと、こういうことはできないと思います。この場を借りて、そういったところにご協力いただいて、さらに情報の公開性を高めていくのがいいのではないかと思います。大変貴重なご指摘をどうもありがとうございました。

進行（当麻氏）：

どうもありがとうございます。ほかに、はい、どうぞ。

東京大学 島崎氏：

余震の話です。余震に関しては、今確率的に予報を、気象庁等が出しております。ただ、余震域というか震源域という形ではっきり言わずに出ているのが現状です。

空間分布を与えればそれでいいのではないかと思います。しかし、最近の研究ではいわゆるアスペリティという大きくすべったところではなく、その周辺で余震が多いことが分かっています。ですから、そういうことを考慮すれば、要するに地震が起きた後にあの地震はどのようなものだったかを数時間かかりますが調べて、その後より正確に出せば、少し

いいものができるのではないかと思います。しかし、現状はそこまで行っておりません。

進行（当麻氏）：

どうもありがとうございます。そのほかに、フロアの方あるいは壇上の方からご意見、ご質問ありましたらお願いいたします。はい、どうぞ。

鹿島建設 武村氏：

翠川さんが耐震メニューの話をされましたが、とても重要なことだと思います。アメリカ的に言えば耐震設計マップです。私はそのイメージがもう一つわかりません。どういう要素を加えて今の地震動予測地図から耐震設計マップになるのか、もう少し具体的に、事例でもいいですし翠川さんが耐震メニューに関して描いておられることでもいいので、教えていただきたいと思います。

進行（当麻氏）：

先生、お願いいたします。

東京工業大学 翠川氏：

アメリカの事例に関しますと、これはかなり工学的判断が下されています。まず、アメリカでは50年超過確率2%が基本的に採用されています。なぜなら、そのぐらいのものを使わないと、東部では地震荷重がほとんど0になってしまって、意味がなくなってしまうということです。

ただ、それをやると、今度西部ではかなり大きくなってしまい、多分実務設計者としては、今までは500年期待値でアメリカではやっていますから、それを大幅に変える必要を、過去の経験から感じていないのだと思います。その辺で、どういうふうに説明をしていくかということで、いろいろな理屈を考え、ああいうことになっているのではないかと私は思っています。

耐震メニューですが、今までは性能設計というのは建築主と設計者の合意の元でやりますというきれいごとを言っています。しかし、現実の性能設計は、建築の構造設計者が、おれはこれがいいと思うからこうしなさいと言って、建築主に説明してもどうせわからないんだからというようなところが多かったのではないかと思います。

ですから、それをきちんと建築主に説明し、建築主にも考えていただいて、建築主が思っているようなイメージもできるだけ取り込むような形で話を進めるためのツールです。ですから、具体的にハザードカーブを、何を使ったらいいのかとか、確定論的なシナリオ地震を考えたときに、どういう方法を使ったらいいかを規定するつもりはありません。その性能設計の流れをきちんと建築主に伝えて、こういうプロセスで私たちは決めました、いいですねと示せるようなフローをつくりたいのです。

例えば、地震調査研究推進本部からこのようなやり方でこういうものがありますから、これを使ってみるというのが一つの代表的なやり方ですから、とりあえずこれでやってみるとこうなりますよとか、そういうことで、地震動予測地図の結果をどんな形で使うかというところまでには、まだ踏み込んでいません。しかし、そういうものが使いやすいような環境をつくりたいと、そういうことが趣旨です。

進行（当麻氏）：

ありがとうございます。まだご意見、ご質問があろうかと思いますが、時間ですので、このセッションはここで終了しまして、また最後に 50 分間にまとめのセッションを用意しております。そちらできょうのご議論全体を通じてご意見、コメントをちょうだいできればと思います。

それでは、ご発表をいただいた方々、どうも大変ありがとうございました。また、フロアからご質問いただいた方、どうもありがとうございました。（拍手）

まとめ

進行（蛭沢氏）：

では、時間ですので、本日最後のセッション、まとめに入りたいと思います。私は原子力安全基盤機構の蛭沢と申します。作成手法委員会と工学利用委員会の両方の委員を務めております。

最初に、本日のまとめの目的について、簡単にご説明いたします。言いつばなしにしないで今後の建設的な議論につなげることを大きな目的としております。そこで、共通認識できたものと不十分なものを認識し合い、その解決の方向性を見出し、今後の不毛な議論を回避し、そもそも論に戻らないで共通認識としたものは是として、建設的な議論の土壌とします。

このような議論の内容を、一般市民にわかりやすく説明する一助としたいと考えております。

具体的なまとめの仕方ですが、先ほど柴田先生の特別講演も含めました各セッションでの討議内容を、できるだけ網羅的に抽出し、それらを体系的に理解するのに役立つ方で、いろいろと箇条書きにしたものを、ここで整理いたします。また、それが違った場合にはコメントして頂きたいと思っております。

さらに、残った時間で追加討議をしたいと思っております。先ほど整理しました内容について、会場の方、または今日のスピーカーの方から確認、修正コメントをいただきたいと思っております。

今後、議論を深めるために必要な重要項目の抽出と方向性についても検討したいと考えております。これにつきましては、会場から手を挙げていただきまして、今後こういうことを検討すればいいのではないかとという項目と方向性を、5～6個挙げたいと思っております。

最後に、本日、もう少し討議すれば方向性を出せそうな項目を、追加討議として挙げます。7つぐらい挙げておりますので、それについて簡単に討議していただきたいと思っております。

それでは、スピーカーの皆様、壇上をお願いいたします。

本日3つのセッションで討議された内容を整理したものをお示しする前に、亀田先生からの趣旨説明にありました4つの主な討議内容について確認したいと思います。

きょうの趣旨説明にありましたように、まとめに当たりましても、工学利用に必要な地震動情報の多様性、地震動と地震力の相違、確率論と確定論の確執の克服、多様な工学的実践をサポートするものであること、に留意したいと思います。このような観点でできるだけまとめ、報告書に反映していきたいと思っております。

翠川先生のご講演では、米国の地震動予測地図における利用上の注意点として、計算結

果は平均像を示すものであって唯一のものではなく、ある程度の不確定性を有していること、研究の進展に伴って地図の更新が必要なこと、利用の際には目的に応じて修正が必要とされることが、指摘されました。

OHP を写させてもらいましたが、特に不確実性の問題については、知見がふえると共に解決される問題として、地図の更新の仕組み、プログラムやデータの公開が挙げられました。

それから、短期間には解決されないであろう問題として、低頻度での地震動強さ、ばらつきや上限値をどうするかという点が挙げられました。

それから、不確実さを取り扱う1つの道具として、ロジックツリーが提案されております。このようなロジックツリーの決め方については長い期間討議が必要であろうというのが翠川先生のコメントでした。

利用の際の問題として、結果の解説とユーザー側の理解、理学と工学間の会話というようなことが挙げられました。特に後から50年超過確率2%をアメリカで使用しているということと、不確実さの表示が挙げられておりました。このような題材に基づきまして、まとめた結果が次です。

ここからは時間軸で羅列していき、今日の発表順で並べております。震源をあらかじめ特定しにくい地震については、地震発生の性質、島崎先生の言葉では「群れをなす」と言うしかないこと、それから、海溝型地震、活断層による地震は固有地震として扱えるということ、最新知見を用いて、最善と思われる処方を用いて評価しているということが指摘されました。また、評価結果の利用においては、これらに注意する必要があるということでした。

信頼度については、「である」という表現は確率でいうと100%、「であったと推定される」が80%、「であった可能性がある」が大体50%だと個人的には思っているというご意見でした。

また、50年さかのぼった発生記録と発生確率の比較において、石川さんから、（発生確率が）高い地域での発生はほぼ実証できるが、発生確率の低い地域でも地震が発生しており、結果と合わず、検証ができないことが指摘されました。

利用目的と作成条件の明示については、作成サイドと利用サイドがキャッチボールできる仕組みの構築が必要だというご意見を頂きましたので、次の追加討議の議題として考えております。

活断層からの地震モデルの発生については、いろいろ提案されているので、1つのものだけを用いるようなことをしない方がいいのではないかというご意見がありました。

活断層の評価に関しては、活断層研究者で一致した見解がない、とのご指摘がありました。俗っぽい言葉ですが、経験主義者が多く、これに対して判例主義の考え方は少ないというご発言がありました。両者の当面の融合はなかなか難しく、対応策として1つ1つのデータを大切に扱うようなことが考えられ、このような取り扱いを通じて両者の融合

の解決策を見つけていってはどうか、という趣旨だったと解釈しております。

地震発生の評価方法は、松田の起震断層ルールを用いている、とのお話がありました。地震規模が大きくなると、発生間隔は長く、発生確率は低くなる傾向になっております。

会場から、どうしてこのような傾向になっているのかという質問に対して、このような方針は、成果を活かす部会の方針であり、それに従いましたという答えがありました。ここは解釈がなかなかできなかったのですが、理由は、市民が確率が小さいことを発生しないことだと短絡的に考えますので、そのようなことがないようにするためだということでした。これについては、後で補足していただければと思います。それに対して、そのような考え自体が短絡ではないかというような発言がありました。

海底断層の発生確率は小さいが、海岸そばの都市への影響は大きいので、ハザードマップを発生頻度と影響の両方を考慮したリスクとして考える必要があることが指摘されました。発生確率と頻度に対しての討議でした。

兵庫県南部地震における被害の主要因はエッジ効果とやや短周期パルスだというお話が川瀬先生からありました。その他に、内陸地域の発生頻度が低い地域においても被害が高くなっており、事実関係と一致していないということについて、OHP 図を使ってご指摘いただいております。

それから、計測震度は被害予測パラメータとしては良い、とのお話でした。ただし、震度7弱、7強の設定をしてはどうかというご提案がありました。6強が被害と一致していない理由は、6強の震度の推定がおかしいのではなく、6強の被害データが少ないからである、とのご説明でした。

それから、先ほど柴田先生からもありましたが、被害推定には波形データが必要であるというお話が川瀬先生から出ておりました。重要なのは被害の確率予測であって地震動ではない、とのご意見が川瀬先生より出されましたが、そうではないというような発言もありました。これについては追加討議の議題としたいと思っております。

先ほどの川瀬先生の発言に対して、確率は被害をどの程度減らすのか、あるいは、投資の判断に役立つ、目標を定めるのに役立つ、動機づけに有用だとの発言がありました。

低確率の解釈の仕方や表現方法を考える必要があるという発言がありました。50年超過発生確率3%は低いと思わない、他の分野ではもっと低い確率(10のマイナス5~6乗)に関するコンセンサスがあり、それに比べると3%は低くはなく意味が十分ある、との島崎先生からのご発言でした。社会的に、レベルがリスクとして起用できるかというコンセンサスが必要というご発言がありました。

それから、工学者は確率を使わない、理由はサイエンスではないからだ、設計者は確率を認識していないという大胆なご発言がありました。理由は、構造物がどの程度損傷するかという確率のデータを持っておらず、構造物の耐力のデータがない、損傷確率評価をしていないからだというご発言でした。これに対し、国際的には限界設計の流れがあり、我が国でも数年以内にその流れになる可能性があるという、井合先生からのご発言がありま

した。

それから、このような流れを受けて、確率の低い領域、地震動レベルの解釈が求められると思うとのご発言もありました。特に、裾の方をどう解釈するかということが重要になってくるだろうという発言と、これに伴い、シナリオ地震も発生確率が実際には幾らなのか、現在はシナリオ地震に発生確率の情報が入っておりませんが、相場としてはシナリオ地震の発生確率は幾らかが求められるだろうという発言がありました。

工学利用のセッションについては追加討議に回してあります。工学利用でいろいろな討議がなかったというわけではなく、私にまとめる時間がありませんでした。以上が整理した内容です。

今、整理した内容につきまして、もしこれは違うとか、修正コメントがありましたら、お願いします。スピーカーの方とフロアからご発言された方、ここは解釈が違っているなどということがありましたら、挙手をお願いいたします。

最初の、1)、2) について、島崎先生。

東京大学 島崎氏：

群れをなすという性質ですが、それを除いた場合にランダムになるというのが性質です。群れをなすという性質しか書いていないのですが。

進行（蛭沢氏）：

そうですね。ポアソン過程を使うという。

東京大学 島崎氏：

群れを除くとランダムになるということを言いたかったのですが。

進行（蛭沢氏）：

次の海溝型地震はいかがでしょうか。

東京大学 島崎氏：

それは結構です。2) ですが、ぼくははっきりそうとは申し上げていません。50%以上というのは申し上げましたが。

進行（蛭沢氏）：

では、100%と 80%は削除します。今の感覚でどの程度というのが、もし追加であれば、いかがでしょうか。

東京大学 島崎氏：

いろいろ誤解を生じるといけないのでやめておきます。最後のところだけ、50%以上であると書いていただければ。

進行（蛭沢氏）：

わかりました。では、3）について、石川さんお願いします。

清水建設 石川氏：

最後の文章が全然誤解されております。発生確率の低い地域でも震度6弱が発生しているというのは正しいです。これは検証した結果、評価としてはできています。

ですから、3%と評価されているものが、仮に100地点あったら、実際に残っているのは3～4カ所です。ですから、全体的な評価としてはできているのだけれども、低い確率でどこで地震が起きるかわからない。だから、そういう問題に対して、確率をどう使うべきかという点に、コンセンサスが得られていないという理解をしていただきたいと思います。

進行（蛭沢氏）：

はい。次、お願いします。先生、どうぞ。

九州大学 川瀬氏：

飛行機に乗らなくてはならないので、先に私の分だけコメントさせてください。

進行（蛭沢氏）：

わかりました。

九州大学 川瀬氏：

一つは、震度6強の被害が過大評価になっているのは、震度6強に付随して生ずる現象のテーブルが過大評価になっているという意味です。別にデータが少ないからそうなっているという意味ではありません。それは、歴史的に震度6だったらこのぐらいの被害があるということを、6強、6弱にマッピングされたときにそうなっているということで、現実の計測震度の6強が、必ずしもそういう現象を発生させると、今まで証明されていたわけではありません。ですから、見直す必要があるのではないかと思います。

進行（蛭沢氏）：

趣旨を全員に聞いておりますので、訂正させてください。

九州大学 川瀬氏：

工学がサイエンスではないというのは、確かに言いました。しかし、意味としてはものをつくる側は、つくったということは、自分たちがつくったと思っていて、それを自然現象や自然の物質と同じようには扱ってきていないわけです。ですから、つくってしまった以上は、つくったものがつくった通りにできているものだというのが工学の前提ですが、現実にはそうはなっていません。それをもっと謙虚につくっているものをちゃんとモデル化していかないと、地震動側の出してくるものと合っていません。

そこにギャップがあるから、工学側としては経験に基づいて OK だということで話を進めています。そのギャップを埋める必要があると申し上げたので、それがもう少し趣旨として伝わるように文章にしていただければと思います。

進行（蛭沢氏）：

すみません。先生の言われたことを、また確認のメールをお送りいたしますので。今のご発言は反映したいと思います。

井合先生は、これでよろしいでしょうか。

京都大学防災研 井合氏：

細かい点は後で。

進行（蛭沢氏）：

わかりました。では次お願いします。キャッチボールについては、石川さんからのもので、次の討議でこれを使わせていただきます。それでよろしいですか。

清水建設 石川氏：

はい。

進行（蛭沢氏）：

5) が隈元先生からのだと思うのですが。

岡山大学 隈元氏：

1つのモデルだけを用いるようなことをしない方がよいというよりは、例えば長さと頻度と大きさの間にトレードオフの関係があったりするので、今のところは矛盾したモデルを使わない方がよいということです。

活断層の調査がいつ終わるのかというのは、1つのモデルで日本の断層が記述できるとは思いませんが、そういうことも含めたもう少しまとまった意見ができたときであって、決して1つの断層で1つの数字が出てきたから、それは終了ではないと思います。

進行（蛭沢氏）：

わかりました。6）は島崎先生、お願いします。

東京大学 島崎氏：

活断層の評価と大きく出てしまったので、ちょっと言い過ぎになっています。

進行（蛭沢氏）：

活断層の取り扱い、しょうか？

東京大学 島崎氏：

活断層のモデルとしましょうか。それから、経験主義であり、判例主義の考え方で評価されていると入れてください。

進行（蛭沢氏）：

あと、今後の見通しは先生にお願いしたいのですが、これはいかがでしょうか。

東京大学 島崎氏：

これは間違いです。

進行（蛭沢氏）：

じゃ、こちらは消してよろしいですか。2つ、こちらも。

では、次、7）お願いします。いかがでしょうか、先生。これは。

東京大学 島崎氏：

それは必ずそうではなく、そういう傾向があるかもしれないという私の個人的な意見でした。後とはちょっと違うのではないかと思います。後は、一般的に3%が低いか低くないかとか、そういう話になってしまっています。

進行（蛭沢氏）：

では、個人的な見解としては、このような傾向になるということをつけ加えていただきたいと思います。「傾向がある」です。

7）の1に関しまして、島崎先生と武村さんのご発言の意味がちょっと取れなかったのですが。

東京大学 島崎氏：

これは武村さんが「3%というのを、わざわざ分ける理由がないのではないか、元々低

いので、それをあたかも高く読み替えるようにしているのではないか」というご意見でした。

そういう定性的な表現を加えるのは、成果を社会に活かす部会の方針ですから、そこはいいです。しかし、このような方針のこのような意味が、その文章ではわからないのですが。定性的な表現を加えるという。

後は、それで結構だと思います。

進行（蛭沢氏）：

武村さん、これでいかがでしょうか。

鹿島建設 武村氏：

舌足らずで申しわけありませんでした。下の短絡的という意味はどういうことかという、要するに、最終的には建物被害なり、影響力なり、そういうものと結びつけた上で、3%が大きい、小さいという議論をすべきです。だから、それがそのままここで言っている工学的利用と直結していなければいけません。

そうしないで、単に兵庫県南部地震は大きい災害だったからという印象だけでそういうものの言い方に変えてしまうのは、短絡的ではないかということです。

多分、川瀬さんがそれを受けて、私はそういう説得の仕方だったら耐震設計には使いにくいと言ったのです。

そうしたら、川瀬さんが、さっきの話があって、要は工学では確率的なものを受け取るような準備がなっていないのではないかという話でした。ちょっとそこは別に分かれていていいのですが、そこでのシチュエーションでの短絡的という意味は、先ほど申しましたような意味です。

進行（蛭沢氏）：

災害との関連で議論すべきだと。

鹿島建設 武村氏：

そういうことです。だから、終点まで行っていないのに、何となくという感覚で、兵庫県南部地震は考慮しなければいけないということが前提にあって、そういう言い回しに変えてしまうのはおかしいのではないかと。そういうやり方をするのなら、確率論ではない方がいいのではないかということです。

進行（蛭沢氏）：

わかりました。では、すみませんが次に進ませていただきます。石川さん。

清水建設 石川氏：

これはちょっと、海底というのはたとえが悪かったのですが、人が住んでいないという意味でした。最初の2つの文章は消していただいた方がいいと思います。

結局、いわゆる低頻度の問題は、ハザードマップを見ているだけでは区別がつかないので、それが起こったときの被害というか、インパクトとセットで考える必要があるという主張です。後はこれでいいと思います。

進行（蛭沢氏）：

では、前のものは消して。

これは川瀬先生がご発言した、それで震度はパラメータとしていいのではないかという提案でした。9)、10)。これは島崎先生がご発言されたものをまとめたのですが、いかがでしょうか。

東京大学 島崎氏：

10万年ということをいいたかったので、結構です。

進行（蛭沢氏）：

10万年の発生頻度の地震。他の分野というのは、そうすると全然違いますね。

東京大学 島崎氏：

他の分野でも、要するに10万年に1度ぐらい起こるよりも頻度が低いものは、大体無視しています。そういう意味で、一般的なコンセンサスがあるのではないかと。

進行（蛭沢氏）：

わかりました。では、11)ですが、これは川瀬先生のお話ですので、次お願いします。

では、今のところを反映しまして、コメントをいただいた方に確認をしたいと思っております。一応、内容につきましては、亀田先生と話をしまして、当委員会の責任の元にまとめたいと思っております。

京都大学 入倉氏：

地震動が重要ではなくて、被害が重要だということがどこかに書かれていました。私は聞いていなかったのですが、その意味をもう一度ご説明お願いしたい。

鹿島建設 武村氏：

趣旨が違うのです。要するに、地震動が重要だからシナリオ地震の評価が必要だと言

たいのではないですか。地震波形の情報（そのもの）が必要なのではなく、被害の評価には地震波形が必要だから、シナリオ地震の方がいいという趣旨だと理解していたのですが。

進行（蛭沢氏）：

そうです。シナリオ地震の方を、私はいいと思っているという発言でした。

鹿島建設 武村氏：

だから、確率論的には波形が評価されないとおっしゃっていました。

京都大学 入倉氏：

ちょっとだけ。前に武村さんが言われたことについて。例えば、古い地震の被害と神戸の被害などを研究されて、共通性があるのは地震動だと思います。被害自体は、時代によっても構造物によっても変わります。ですから、そういった意味では地震動をベースに考えないと、単に被害の大小だけで考えると、工学的利用の仕方につながらないのではないかと私は思いました。それで、今のはそれとは……

鹿島建設 武村氏：

趣旨が違いますね。

進行（蛭沢氏）：

どうでしょうか。今、入倉先生のご発言を会場からの討議だとして、今の先生の発言を反映した形にしたいと思っています。先生、よろしいでしょうか。会場から討議が上がったということで。

京都大学 入倉氏：

はい。

進行（亀田委員長）：

この後のやり方なのですが、発言されたことをいきなりこのようにまとめるというのは、我々も初めての試みで、そう思った通りにいかないというのが実感です。

しかし、一応ここで、第1弾の確認をいただくことは重要ですのでこれをやらせていただきます。その後、我々なりの解釈を加筆して発言者の方全体にもう一度メールで確認して、それをフィードバックしていただいて、それを取りまとめると。

取りまとめ方は、どうすればいいのかはわかりませんが、基本的には委員会が責任を持ってまとめをしなければならないと思っております。細かくどういうふうにするかは、もう一度フィードバックが必要で、再々度ご連絡させていただきたいと思います。

この場合は、まずはこういうことを確認いただければと思います。

鹿島建設 武村氏：

もし送っていただけるなら、全体が見えるように。

進行（蛭沢氏）：

分かりました。次に進ませていただきたいと思います。

まず、今日は、重要な話をしていただいたのですが、再度、今後このような地震動予測地図について、このようなことを検討すればということを、手を挙げて（ご発言お願いいたします）。

重要項目としてこういうことも検討してほしいということがありましたら、挙手をお願いしたいと思います。全部委員会で検討するかどうかは別として、このような要望があったという形で取りまとめたいと思います。

鹿島建設 武村氏：

もう出ている話かもしれませんが、ぼくが特に要望したいのは、予測地図そのものを、翠川さんのお話のように10年に1度とか数年に1度、例えば変えていくこと。それも非常に重要です。そのときに、例えば地下構造のデータベースやある場合には強震動のデータベースもいるかもしれないし、そういうものを永続的にきちんと蓄積していくきちんとしたシステムをつくらないと、多分、テンポラリーにこのようなプロジェクトを立ち上げて何かをやると、終わった時点でそれが終わってしまいます。

ここには役所の方もおられると思いますので、プロジェクトの中でそういうものの端緒をつくるというか、そういうシステムづくりのようなことを、ぜひやってほしいのです。そうでないと、次の世代には絶対つながらないので、それを非常に私は思っております。よろしくお願いします。

進行（蛭沢氏）：

ほかの方、どなたか。日ごろ感じていること、思っていること。東原先生、どうぞ。

東京大学 東原氏：

私が申し上げたいのは、例えば、設計などに使う地震動やその他、いわば地震の影響をどう考えるかということについて、これまで現実にはどういう意思決定がなされているのか、このあたりを踏まえる必要があると思っています。というのは、我々は明治以来といいますか、関東大震災以後80年間、現実には意思決定をして設計水準も決めて、恐らく国民から見ればそれなりに進歩していると判断していると思います。しかし、こういう実情があります。

先ほど私が永島さんに質問したのは、例えば、損保のレートの決め方が設計地震動云々ではなく、例えばこれぐらいの予算があるからこれぐらい消化したい、あるいはこのぐらいの加入者が欲しいとか、そういったものが、むしろ政治や行政からすれば、第一義的な要望であることが多いのではないかと思います。

例えば、設計でも重要な構造物を耐震補強するとなりますと、最初に予算ありきというのが非常に多いです。この範囲内で最善を尽くすという判断になりますので、そのときには、設計地震動だけではなくて種々の政治的状況、社会的なニーズを全部判断して、その枠内で最善を決めるという意味決定が、現実にはなされているのではないかと思います。そのようなメカニズムを考えまないと、せっかく予測地図をつくってもなかなか実用化されないのではないかと思います。

先ほど島崎先生が判例法的なアプローチをしたいとおっしゃっていました。私はこれには大賛成です。どういうことかと申しますと、地震対策は明らかにリスクマネジメントの典型的な例です。まさに、近年のリスクマネジメント学の成果の一つは、リスクコミュニケーションであります。最終的なエンドユーザーが理解しなければ、全然意味がありません。

それから、そのためには、重要なステイクホルダーは、最初から含んでおく必要があるというのが大鉄則です。例えば、耐震設計でも現在の我が国で一番厳しい状況に置かれているのは原子力関係だと思います。これなどは、例えば原子炉などはここのところ新設していませんから、そういう問題が出ていません。しかし、私の感じでは、とても国民に受け入れられるような説明がなされていないと思います。

ですから、リスクマネジメントの原則に立ち戻って、特にこれはないものねだりかもしれませんが、今回は理学と工学の融合というのが第一歩だということで理解しております。しかし、これだけではまだ足りないのであって、最終的な意思決定者あるいは自治体の首長やしかるべき政治家が、どういう判断で意思決定をしていくのか。彼らの意思決定を決定している制約条件は何か。それに対してエンジニアはどうサポートできるのか。その辺の視点を出さないと、なかなか使われないのではないかと。あるいは、ここを攻めれば活路を開けるのではないかとというのが、私の感想です。

進行（蛭沢氏）：

今の趣旨を生かしまして、エンドユーザーをちゃんと認識し、リスクコミュニケーションを大切にして、地震の情報をどのように活用していくか、またそのプロセスを明確にするという意味合いのものを、今反映したいと思っております。

どうぞ。

東京電力 植竹氏：

東原先生のお話とは関係ないのですが、先ほど、地図の更新というお話がありました。

元々、地震発生のメカニズムに更新過程を入れていくと、地震が起きた、起きないで自動的に確率を変えなければいけません。

例えば、先日の十勝沖地震で、既に試作版をつくり直すという話もあるようですが、要は、何かが起きるたびに新しい地図をつくっていかなければいけないということが、自動的に入ってくる可能性もあると思います。

逆に、そういう確率論的な地図ができた場合、工学的にそれを意識していくか。例えば、ライフサイクルコストを考えるに当たっても、時々刻々と変わっていくわけですね。常に評価をし直していかなければならないという事態になると思います。設計などにかかわっている人に、そういうことに対してどう思うのかを聞きたいと思っています。

先ほど、原子力の話もありましたが、例えば、発電所のある場所で一度地震が起きてしまえばしばらく安全だから、何も気にせずにつくっていいのかとか、それは言い過ぎですが、そういうことの議論も成り立つようなこともありますので、地震の更新過程をどう考えるかというのを、実は確率地図で結構重要なのではないかと思います。

進行（蛭沢氏）：

翠川先生の発言にもありましたように、アメリカではポアソン過程を用いているという前提で、更新過程をどうするかということですが、例えば、非ポアソンにした場合に、いつの時点でという問題があります。更新（の言葉）には2つの意味があると解釈し、そのようなものを反映したいと思います。後、何かありませんか。はい。

東京大学 高田氏：

先ほどの東原先生と同じような意見を持っておりますので、ちょっとお話ししたいと思います。

このワークショップで、どなたかが確率論的地図はなかなか耐震設計では使いづらいというお話があったように思います。全国を概観するというのが確率論的地図の特徴です。ある地域を見るのではなくて、全国を見るというものです。全国を見ることによって、同じ手法で同じような考え方で地図を見ますと、どこ地震危険度が高いか低いかというのがわかります。全国レベルでマイクロゾーネーションですか、そういう形に使っていくのが使いやすいという話がありました。

1つの地点での建物の耐震設計には使いづらいというご意見があったと思いますが、それは私はちょっと違うと思います。これは、地震だけを考えているからだと思います。自治体でも個人でもいいのですが、限られた予算の中でのものをつくったり補強したりしていくわけですが、地震だけではなくて台風なども当然出てきます。保険の方は、当然台風などもリスクとして考えられていると思います。

自然災害以外も出てきますが、そういういろいろなリスクを横目ににらんでみる、あるいは相対的にどこにどれくらいお金を使えばいいのかというような先ほどの東原先生の意

思決定ですが、そういうふうなときには、うまく使えるのではないかと考えております。

建物の耐震設計は地震に対してですが、それ以外のいろいろな荷重に対しても設計しなければなりません。風に対してはどれぐらいのリスクレベルで、地震に対してはどのくらいなのかということを、横目ににらみながら、相対的な判断でバランスよく資源配分していくということができるという意味では、非常にいい使い道があるのではないかと考えておりまして、ご意見いたしました。以上です。

進行（蛭沢氏）：

時間があと3分しかありません。初めての試みで最初の整理の出来がいいとすらすら行ったのですが、出来が悪くてまことに申しわけありません。追加討議として何件かありますので、10分ほど時間をいただきたいのですが、よろしいでしょうか。

それでは、追加討議に入らせていただきたいと思います。

柴田先生からいろいろなご発言をいただいて書いたのですが、その前に次お願いします。

東電設計の片山さんから、手法に関していろいろなご注文をいただいております。翠川先生から、手法委員会としてどのような形で対応するか、何かありましたらお願いいたします。

東京工業大学 翠川氏：

片山さんからご指摘いただいたことをすべて覚えていなくて恐縮ですが、1つは震度だけでいいのかとのご指摘だったと思います。工学にはもっと必要なパラメータがたくさんあるというご指摘はもっともなことで、これについては、今は試作版ということで、わかりやすい表現として震度を出しているに過ぎません。少なくとも、いわゆる工学的基盤での応答スペクトルなり、最大加速度などは、当然必要とされるだろうと考えております。

継続時間というお話がありました。これについてはなかなか難しいと思います。1つには、石川さんたちがご提案しているような貢献度の高い地震を考えて、それに対して適合型の模擬地震動をつくるとか、そういったような格好もあり得るかと思います。これについては、また委員会で議論を深めていきたいと考えております。

進行（蛭沢氏）：

手法委員会と工学利用委員会はちょっと関連しますので、その辺は連携を取って、今の翠川先生のご発言の内容を反映していきたいと考えております。

あと6つぐらいの議題を次に用意しているのですが、それを皆様にお見せして、その中で2つほど意見が多い項目について追加討議したいと思います。ハザードマップとシナリオの融合に関して、藤原さん、石川さん、能島先生からコメントをいただきました。三者三様の意見が出まして、これについて議論を深めたいと思います。これが議題の1つ目です。

50年超過確率2%、3%は低頻度かということに関して、先ほど島崎先生からお話がありましたが、10のマイナス4〜5乗という話が、次の議題です。

被害推定において、確率マップとシナリオ型マップの有用性について、いろいろな方々から意見がありました。川瀬さんからはシナリオ型の方が有用ではないかという話、確率マップと構造の脆弱性をセットで用いる必要があるというのが、能島先生の話でした。料率算定においてハザードと構造の破壊をセットで取り扱うというのが永島さんの話でした。これについて、もう少し深めようというのが、候補の議題です。

理学分野と工学分野における確実と不確実の認識に関して、今日、亀田先生からの大きな命題でもあります、不確実性をどう取り扱うかについてももう少し議論できればというのが案です。

地震発生が切迫している地域の地震ハザードの考え方について、BPTモデルを用いると切迫している地域の発生確率が高くなるので、料率が非常に高くなるというお話が永島さんからありました。それから、石川さんから、発生確率が高い地域でのハザードの傾きがフラットになってきて、それに伴って地震動の大きな領域の影響がある、これをどう考えるかというのが1つです。

設計用地震動とシナリオ型地震による地震動との関係について、先ほど柴田碧先生からコメントをいただいた内容です。利用目的と作成条件のキャッチボールの話。成果を活かす部会の更新は先ほどわかったので、今日は取り下げます。重要なのが被害の予測であって地震動ではないというのも先ほど出ました。

鹿島建設 武村氏：

川瀬さんが、建物側のモデルの信頼性が、きちんとできていないから、だから使いづらいのだと、つまり、確率的にものを全部通してやることはいいことだが、建物側の信頼モデルができていないではないかという話があったでしょう。

ぼくは、ある意味では非常に設計に使いづらいと言っていることが、非常にあります。というのは、先ほども言いましたように、地震の場合は、基本的に検証できないのです。だから、石川さんに怒られますが、何が起こっても社会的責任を問われないわけです。

ところが、建物の場合には、1つ地震が起こると、建物Aと建物Bがきちんと確率評価されていたら、どっちが強いかはすぐわかってしまうから、検証しなければいけません。そういうことなので、むしろ耐震設計でこういう確率的な評価をしていこうとするのであれば、よほど工学の人が腹を決めてやらなければいけないし、既に性能設計に踏み出しているわけですから、そういう腹を決めてやらなければいけない。それは本当にやらなければいけません。

高田さんなどは、多分性能設計に踏み出しているのだからそういうふうになるのは当たり前だと思っているのかもしれませんが、性能設計そのものの問題かもしれませんが、今、その部分が非常に足りないのです。それを工学の方に認識してもらわないと、こ

の予測地図の使い方も、その部分については非常に使われない可能性があるのではないかと思います。

進行（蛭沢氏）：

この問題について、構造側の情報が少ない、またモデルについての認識が少ないのではないかと思います。実際に、当然震動台試験など、構造側で限界を調べるというような形で話が進んでいくと思います。

現在、柴田先生が三木市で大型震動台をやられておりますので、構造側からこうあるべきだとか、現状についてご発言いただければと思います。お願いします。

防災科学技術研究所 柴田氏：

大して申し上げることもありません。むしろ、多度津で現在やっている実験で、 fragility・カーブをつくろうということとも関連するのですが、三木の現実の問題として、多度津の震動台を改造して、6G ぐらいまで加速度が出るようにして、実験をやっている最中です。一体、6G が何を意味するかという問題が、現実としてあります。

6G でもものが壊れるとしたとして、このような現実の地震の問題とどうつながるのかということになります。ところが、そういう議論をしていると、この間の7月の地震のように2G だったとかいうような話になります。そういうことで、きょうここでの議論とは直接関係ないかもしれません。

先ほどの私の話で、破壊のパラメータに結びつくものが非常に多く、その辺がはっきりしていません。私は、ある程度ははっきりしている部分もあるとは思いますが、それがなかなか世の中の設計に使われない以上、現実の被害とこういうものとの間に、常にギャップができてしまっているということもあるのではないかと思います。

ここで議論されるのは、大体土木構造物や建築構造物ですが、それ以外のものが現実の社会の安全を左右することもあります。そういうことで、さっき私の名前が書いてあったようなところへ行ってしまうということです。

だから、構造物の性能評価が確実にされていないということもそうなのですが、私は、構造物については性能評価されているし、確率でも大体できているのではないかと理解しています。武村さんのご発言がこうだというのは、私などの立場だと割にわかりにくい話なので、謙虚に受けとめてということで。武村さんは工学者だから謙虚に受けとめて。答えにはなっていませんが。

進行（蛭沢氏）：

片山さん、どうぞ。

東電設計 片山氏：

ぜひ、川瀬先生の「だから工学屋は確率を無視している」というのは、余りにも極端な表現ではないかと。武村さんがおっしゃいましたが、一般の建築の世界では、普通に設計したものをつくります。耐震基準通りというのが多いのです。

ただし、鹿島建設はCURIE(Canadian Universities Reciprocal Insurance Exchange)の略で、Risk Management に力点を置き、重要施設に掛ける保険料の合理性を追求する会員組織)を通じて神戸の被害地震で、いわゆるRCの耐震壁込みのタイプのものについて、実際につぶれたもののモデル化を通して解析しました。これは、Y. K. Wen イリノイ大学教授達の、彼らのフラジリティ・カーブとマッチングさせて、いわゆるコスト・ファンクションとありますが、どの程度の地震動でどういうエネルギー消費をした場合に、どれぐらいのダメージ・インデックスがあるかという部分と、それ全体をどうコスト評価するかというようなことを、おやりになっています。

私たちはSRCについてそれをやろうとしましたが、過去の被害地震を説明するということは、お金もうけにはなりません。お金は出してもらえないのですが、何とかやりたかった。でも、やれなかったという現実があります。ただし、部材レベルでは、鋼構造だったら、いろんな方がいろいろフラジリティを出しておられます。

全体の施工まで含めてでき上がったものは、実態としてある地震のときにこういう被害を出したと。いわゆるグロスで、アパレントな（見掛けの）フラジリティはこうだというデータが、現在はまだ不足しております。しかし、世間によくある、簡単にやってしまう設計事務所の設計屋でなければ、今の性能設計の時代的要求に答えようとしています。決して確率的な取り扱いを無視している方ばかりではないと思います。余りにも極端なご意見だと思ったので、私はぜひ、言う機会があったら言いたかったのです。以上です。

進行（蛭沢氏）：

今、2つの議題をこなしたかなと思っています。時間が来まして、そういう意味では、今までは地震動は地震動だけ、構造側は地震動を与えられているので、どうしても地震動側と構造側が余りセットで有機的には議論されてきていなかったというのも事実だと思います。また、それが今のいろいろな発言だったと思います。できるだけ、今後は地震動と構造をセットで考えるという議論を深めていければと思って聞いておりました。

防災科学技術研究所 柴田氏：

時間もないのに申しわけありませんが、さっき幾つか私の名前が書いてあって並べてあったものがありましたね。

この辺の話は、大体既に議論されているのですが、私としては、大体取っちゃっていた方がいいと思います。波形と発生過程のシナリオ地震を、シナリオ地震に絡んだ発生過程をなるべく将来の地震に対して客観的に決められるようにしていただきたいと思います。

パラメータ云々は先ほどのようなことで、考えるかではなく、考える必要があるので。

基本的にはそうです。

先ほど、余りはっきりとは言いませんでした、天気予報のように、素人のエンジニアが使えるマップにしてほしいということもあります。以上です。

進行（蛭沢氏）：

ありがとうございました。もう少し追加討議をしたいのですが、今回初めての試みですので、こういう形で何とか定着したいとは思っていたのですが、やはり初めてだとなかなかうまくいきませんでした。また、進行が下手で申しわけありませんでした。15分オーバーしています。

先ほど、亀田先生が皆様にお話ししたように、きょうのまとめの内容につきましては、ご発言者には全部セットでお送りし、そのコメントを聞いた上で報告書に反映したいと思っております。

最後に、亀田先生からお願いします。

亀田委員長：

本日は、長時間最後までご熱心に会場に残っていただきご討議いただき、ありがとうございました。冒頭にちょっと申し上げましたが、理学と工学がうまくかみ合っていく可能性を持つ場としては、非常にユニークで、恐らく画期的な事業だととらえております。何とかこれを建設的な方向に持っていくよう、工学は利用側になりますが、利用側も努力すべきだと思っております。

そのためには、建設的にいこうとするとお互いに注文を出し合うということもあろうと思います。そういうこともごつくばらんに、今後も討議できればと思います。

きょうは十分な時間がなく、重要な討議事項も残りました。これにつきましては、改めて委員会で整理して何らかの方法で皆さんのところにフィードバックすることを考えたいと思います。

では、今日はこれでワークショップは閉じさせていただきます。長時間、本当にどうもありがとうございました。（拍手）

地震動予測地図ワークショップ（文部科学省・防災科研主催）資料

平成14年度分

地震動予測地図の活用—工学利用について（亀田弘行） 265

防災科研における地震動予測地図作成手法の研究について（藤原広行） 269

平成15年度分

地震動予測地図の工学利用について—工学利用検討委員会の提言へ向けて
（亀田弘行） 283

防災科研における地震動予測地図作成プロジェクトについて（藤原広行） 293

地震動予測地図の活用—工学利用について

防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター
(防災科学技術研究所 地震動予測地図工学利用検討委員会 委員長)

亀 田 弘 行

1. 地震動予測地図の工学利用討議の意義

地震調査研究の一環として開発が進められている地震動予測地図を有効に活用するための討議の一環として、防災科学技術研究所に地震動予測地図工学利用検討委員会（以下、工学利用委員会と略称）が平成14年6月に設置され、活動を行ってきた。同委員会の目的は、地震動予測地図を工学目的に活用できる分野とその方法を具体的に検討することである。防災科学技術研究所内に設置された委員会であるが、その成果は、政策委員会の「成果を社会に活かす部会」（部会長：廣井 脩）に提言され、同部会の検討事項として討議される。

「地震動予測地図の作成」においては、（1）地震発生の不確定性を反映した地震動分布（確率論的地震動予測地図）、および（2）特定の震源メカニズムを想定した場合の地震動分布（シナリオ地震による地震動予測地図）の2種類の表現形式を取ることとして作業が進められている。両者とも、従来工学分野で多数の試みがなされ、ノウハウが蓄積されてきているが、工学目的の開発では、それぞれ目的別に手法が検討され、応用されることが多い。それは工学という実用的な目的行為においては当然のことであるが、個別に開発された手法が持つ普遍性は必ずしも明確ではない。

こうした状況のもとで、地震調査研究の一環として進む地震動予測地図は、地震学の最新成果に基づく知見を共通基盤として生かそうとする、理学分野からの働きかけの意味を持つもので、これが工学的活動とどう結びつくかを議論することは、地震ハザード評価の分野に新たな展開をもたらす可能性がある。工学分野からも、この議論を真剣に受け止めることが重要と考えるものである。このような観点から、地震動予測地図が工学的に持ちうる意義と活用可能性を検討するのが工学利用委員会の目的である。

地震防災において、理学の役割は災害の誘因としての自然現象の発生とそのメカニズムに関する科学的な予測情報を提供すること、工学の役割は災害における自然現象からエンドユーザーまでの一連の現象を客観的に解析・整理・予測し、それに基づき対策の方法を見出すことにある。これらは防災における物理的課題であるが、災害自体は社会現象である。人文・社会科学の役割は災害の社会的過程を明確にし、災害対応の枠組みを構築することにあると言えよう。そして、これらの領域間の協力が極めて重要であり、それは物理的課題と社会的課題のインターフェースとしての情報課題と位置づけることができる。成果を社会に活かす部会はその試金石と位置づけられようし、工学利用委員会の討議もこうした位置づけをふまえて推進するべきと考えている。

以下本文では、工学利用委員会の活動経過と討議の要点を述べる。

2. 工学利用に関する討議の要点

地震動予測地図の工学利用を検討するに当たり、討議のポイントを以下のように整理した。

(1) 工学利用に必要な地震動情報の多様性

地震防災対策における工学の役割は多様であり、それに従って、必要な地震動情報の内容が異なる。すなわち、リスク評価に必要な発生確率情報を含む地震動分布、特定の重要施設の地震防災扱うサイトスペシフィックな問題に必要な詳細な地震動情報、地域の被害予測やライフラインのような広がりを持つシステムの防災課題に必要なシナリオ型地震動など、多岐にわたる。そこで必要な地震動情報は、最大加速度／速度／震度、応答スペクトル、卓越周期、継続時間、(非定常スペクトル) など多様である。

(2) 地震動と地震力の相違

自然現象としての地震動(地表面、工学的基盤、地震基盤)と、工学システムに作用する地震力(地盤—構造物基礎の相互作用、表層地盤の変形、液状化、地震荷重など)は同一ではない。地震動から地震力への変換の過程が不可欠であり、それが上記(1)に述べたような目的に応じた工学的活動への入力として意味を持つ。理学的に生成される地震動情報(地震動予測地図)が、工学的実践における地震力の評価に必要な情報を提供するか否かが地震動予測地図の工学利用の決め手となる。

(3) 確率論と確定論の確執の克服

地震防災は将来発生する地震への対策である。地球物理学的時間スケールでは定常的に発生する地震も、人間社会の時間スケールではきわめて不規則である。従って、地震防災の工学的実践は、常に「不確定性のもとでの意思決定」である。このことから、不確定性を評価する手法が必要となる。不確定性を組織的に評価する手法には、確率論、ロジックツリー、ファジー理論などがあるが、その中で確率論は最も基本的な道具である。この意味で、地震動予測地図プロジェクトにおいて確率的に不確定性評価が行われることの意味は大きい。

工学の世界でも理学の世界でも、確率論を用いることへの抵抗が必ずある。それは、確率論という理論体系と現実に利用可能なデータ量のギャップに起因することが多い。しかしながら、不確定性の評価を恣意的でなく組織的に行うことの必要性を考えると、その道具としての確率論を忌避する理由はないと考える。ただし、「確率～%」という結果のみをトップダウン的に示すだけでは工学的意義は薄く、確率的評価のプロセスを明確に示すことがきわめて重要である。これにより、工学で避けて通れない不確定性のもとでの意思決定に組織的な評価方法を与えることになる。

(4) 多様な工学的実践をサポートするものであること

地震工学において、阪神・淡路大震災の教訓から、固定的に定められた地震荷重で工学システムの耐震性評価を縛る時代から、自然をありのままに再現して地震動シミュレーションを行い、これと構造特性との関係を厳密に解析して、これに基づき建物や社会基盤施設に作用する地震力を推定する努力が行われている。その手法は多岐にわたり、それは「地震工学の自由化の時代」といってよい。地震動予測地図プロジェクトは、こうした動きを制約するのではなくサポートする情報を提供することが強く望まれる。

3. 工学利用委員会の活動経過

以上に述べた概念のもとに、工学利用委員会では、まず具体的な工学ニーズを検証し、地震動予測地図が持つ意義、地震動予測地図作成への要請事項を明確にすることを目的として、以下のような活動を行った。

- (1) 準備会（平成14年5月27日）
- (2) 成果を社会に活かす部会への報告（平成14年6月27日）
- (3) 第1回委員会（平成14年8月6日）
 - ・委員会の活動方針・予定策定
- (4) 第2回委員会（平成14年10月4日）
 - ・地震調査研究推進本部の概要及び活動状況（前田補佐）
 - ・地震動予測地図の概要について（藤原委員）
 - ・地震動予測地図の周辺～建築サイドの利用の立場から～（福和委員）
- (5) 第3回委員会（平成14年11月14日）
 - ・地震動予測地図の利用法, 震災ポテンシャル評価のための曝露人口指標の提案, ライフライン機能障害のリスク評価に関する事例（能島委員）
 - ・確率論的地震ハザード評価の利用について ―主として地震リスク評価への展開―（石川委員）
 - ・米国における地震動予測地図プロジェクト（翠川委員）
- (6) 第4回委員会（平成14年12月19日）
 - ・ISO 関連での設計地震動の考え方（井合委員）
 - ・ライフライン災害リスクマネジメントから見た地震動予測の課題（当麻委員）
- (7) 第5回委員会（平成15年1月22日）
 - ・日本建築学会の新しい地震荷重について（高田委員）
 - ・台湾集集地震記録に基づく地震動のマクロ空間相関特性（高田委員）
 - ・地震を対象とした原子力施設の確率論的安全性評価手法と評価例（蛭沢委員）
- (8) 第6回委員会（平成15年2月24日）
 - ・震動予測地図WS（3月26日）へ向けての討議、来年度計画

4. むすび

工学利用委員会はまず最初の半年で基本的な問題整理を行った段階で、結論的なことを述べる段階にはない。ただ、これまでの討議の結果から、地震動予測地図の工学利用可能性は種々の面で多いことは確実と考えている。この問題を深く掘り下げて説得性ある結論に導くためにはさらに検討が必要で、あと1年をかけて、平成15年度末には委員会としての提言をまとめる予定である。

今後の予定として、工学利用の可能性を持つ事例の掘り起こしを継続するとともに、工学的ニーズを明確にし、そこから地震動予測地図作成手法への要請をとりまとめることとしたい。また、不確定性評価のため確率論を用いることの意義、結果の発信法についても討議を深めたい。

かつて地震防災は国が基準を定め、それに従うという時代がつづいた。現在は、こうした単一

的な体制では地震災害を克服できないことが認識されるようになり、これより、行政の施策については説明責任が、被災当事者については自己責任が問われる時代となっている。工学利用委員会の討議もこうした認識を共有しながら進めることとしたい。

(付録) 参考として、工学利用委員会の構成を以下に示す。

地震動予測地図工学利用検討委員会名簿

(委員長) 亀田弘行 (防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター センター長)

(委員長代理) 当麻純一 (電力中央研究所我孫子研究所地盤耐震部部長)

(委 員)

新井 洋 (防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター副チームリーダー)

井合 進 (京都大学防災研究所教授)

石川 裕 (清水建設株式会社和泉研究室主席研究員)

蛭沢勝三 (原子力発電技術機構原子力安全解析所耐震解析室室長)

高田毅士 (東京大学大学院工学系研究科助教授)

能島暢呂 (岐阜大学工学部社会基盤工学科助教授)

福和伸夫 (名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻教授)

藤田 聡 (東京電機大学工学部機械工学科教授)

藤原広行 (独立行政法人防災科学技術研究所特定プロジェクトセンター・プロジェクトディレクター)

翠川三郎 (東京工業大学大学院総合理工学研究科教授)

(文部科学省)

前田 豊 (研究開発局地震調査研究課課長補佐)

佐藤清隆 (研究開発局地震調査研究課調査員)

(事務局)

河合伸一 (防災科学技術研究所主任研究員)

石井 透・早川 譲・奥村俊彦 (防災科学技術研究所客員研究員)

原 温子 (防災科学技術研究所技術補助員)

(オブザーバー)

松田耕作 (原子力安全委員会事務局審査指針課技術参与)

竹田順子 (原子力安全委員会事務局審査指針課総括係長)

防災科研における地震動予測地図作成手法の研究について

藤原 広行（防災科学技術研究所）

1. はじめに

防災科学技術研究所では、地震調査研究推進本部地震調査委員会が進めている「全国を概観する地震動予測地図」の作成（地震調査研究推進本部 1999）に資するため、平成 13 年 4 月より、特定プロジェクト研究「地震動予測地図作成手法の研究」を実施している（<http://www.j-map.bosai.go.jp/>）。地震動予測地図は、「確率論的地震動予測地図」と「震源断層を特定した地震動予測地図」の 2 種類の異なった地図から構成されることとなっており、本プロジェクトでは、これら 2 種類の地図の作成手法の検討を行っている。

2. 不確定性の確率論的評価

地震の発生及びそれに伴う地震動の評価（地震ハザード評価）は、現状では数多くの不確定要素を含んでいる。現状の地震学・地震工学のレベルでは、将来発生する可能性のある地震について、地震がいつ起きるのか、どこで起きるのか、どのくらいの大きさなのか、どのような地震動が発生するのか等について、決定論的に 1 つの答えを準備することは不可能である。こうした不確定性を定量的に評価するための技術的枠組みとして有力と考えられているのが、確率論的手法である。不確定性には、

- ① 自然現象として本質的な不確定性
- ② 情報不足による不確定性

の 2 種類の性質の異なるものが存在する。①に属する不確定性は、自然現象を説明するための物理モデルがある程度解明されていても、そのモデル自体が不確定性を持つもの、あるいは、自然現象として未解明なもの。例えば、地震発生日時や震源での微視的な破壊挙動などが考えられる。一方、②に属する不確定性は、自然現象自身は決定論的なモデルにより説明されているにもかかわらず、モデルを使った予測を行うための初期条件・境界条件として与えるべき情報が不足しているために予測結果が 1 つに定まらないもの、例えば、複雑な地下構造が地震動に及ぼす影響等が考えられる。ただし、不確定性を①と②に分類すること自体が、自然現象の解明を目指す立場からは研究課題でもありえる。例えば、物理モデルに基づいた地震予知が可能になったり、震源の微視的な破壊挙動の原理が解明されれば、こうしたものも②のレベルの不確定性として分類される可能性もある。

こうした不確定性に対して確率論的手法を用いた評価を行う場合、不確定性を取り扱うための確率モデルが適切に与えられ、しかもパラメータ設定に必要な情報が十分あれば、確率論的評価が十分に機能する。例えば、あるサイコロのそれぞれの目の出方などは、自然現象としては、本質的に不確定であっても、実験により確率モデルが正しく与えられ、

その結果に基づいた目の出方の予測に確率論的手法を用いることに問題はないであろう。一方で、情報不足による不確定性の扱いには注意が必要である。1つの思考実験として、形の歪んだ不均質なサイコロを考えよう。この場合、1から6までのそれぞれの目の出る確率は、6分の1になるとは限らない。もしも、必要なだけの回数サイコロを振って実験することが許されていれば、それぞれの目の出る確率を実験的に十分な精度をもって推定することが可能となる。しかし、十分な回数の実験ができない場合、どのようにすればよいだろうか？例えば、出る目の値の期待値を推定することを考えた場合、確率論的な評価の枠組みはできても、パラメータ設定に対する信頼度が低い場合には、どのようなことになるのだろうか？また、確率論的な手法を使わずに、何か別の方法で期待値を設定することはできるのか？そうした場合、確率論的な手法を使った場合とどちらが確からしい答えを得ることができるのか？おそらくこれらに対する答えは、1つではなく、不確定性の程度とそこで使用する「確率論的手法」の枠組みに依存したものとなるであろう。

確率論的手法を用いた地震ハザード評価では、上記に述べた思考実験のような、情報不足による不確定性の扱いが問題となる。情報量がまだまだ不足している現状では、評価の信頼度が低い部分も残っている。しかし、長期的展望の下では、地震に関する調査研究が進み、より正しい確率モデルとそのパラメータ設定に必要な情報が十分に蓄積されてゆくとすると、何れは、確率論的な地震ハザード評価が十分な信頼度を持つことになることを期待される。確率論的地震動予測地図作成は、こうした目標に向けての取り組みと考えられる。一方で、不確定性を扱うために必要な確率論的手法を含めた手法、および、その信頼性の評価についてさらなる検討が必要とされている。

3. 確率論的地震動予測地図作成手法の検討

確率論的地震動予測地図を作成するためには、地震ハザード評価が必要となる。地震ハザード評価とは、ある地点において将来発生する「地震動の強さ」、「対象とする期間」、「対象とする確率」の3つの関係性を評価するものである。本研究で用いた地震ハザード評価の大まかな手順は、以下に示す通りである。

- ① 地震調査委員会による地震の分類に従い、震源を特定した地震 [98 断層帯で発生する固有地震、海溝型の大地震、98 断層帯以外の活断層で発生する地震 (グループ1の地震)]、及び、震源を予め特定しにくい地震 [98 断層帯に発生する固有地震以外の地震 (グループ2の地震)、海溝型のプレート境界で発生する大地震以外の地震 (グループ3の地震)、沈み込むプレート内地震 (グループ4の地震)、陸域の地殻内で発生する地震のうち震源を予め特定しにくい地震 (グループ5の地震)] に分けて、対象地点周辺の地震活動をモデル化する。
- ② モデル化したそれぞれの地震について、地震規模の確率、対象地点からの距離の確率、地震の発生確率を評価する。
- ③ 地震の規模と距離が与えられた場合の地震動強さを推定する確率モデルを設定する。

- ④ モデル化された各地震について、対象期間内にその地震により生じる地震動の強さが、ある値を超える確率を評価する。強震動評価手法としては、簡便法と呼ばれる手法を採用している。具体的には、対象地点から断層面までの最短距離を用いた距離減衰式に基づき、工学的基盤における最大速度を求め、これに表層地盤の速度増幅率を乗じることにより地表における最大速度を求め、最大速度と計測震度との関係式を用いて地表の震度を評価している。
- ⑤ 以上の操作をモデル化した地震の数だけ繰り返し、それらの結果を足し合わせることで、全ての地震を考慮した場合に、対象期間内に生じる地震動の強さが、ある値を少なくとも1度を超える確率を計算する。

このようにして、地点毎に地震ハザード評価を実施し、地震動の強さ・期間・確率のうち2つを固定して残る1つの値を求めた上で、それらの値の分布を示したものが「確率論的地震動予測地図」である。

糸魚川－静岡構造線断層帯を含む領域について、上記手順に従って、対象地域周辺で発生する全ての地震をモデル化して、確率論的手法により地震動予測地図を作成する手法を検討した。図1に計算領域及び松岡・翠川(1994)の手法により推定された工学的基盤（S波速度 400m/s）から表層での地盤増幅率を示す。また、図2に全地震によるハザード及びそれぞれの地震グループ毎に分解されたハザードの計算結果を示す。なお、地図は、国土数値情報の3次メッシュで表示されている。

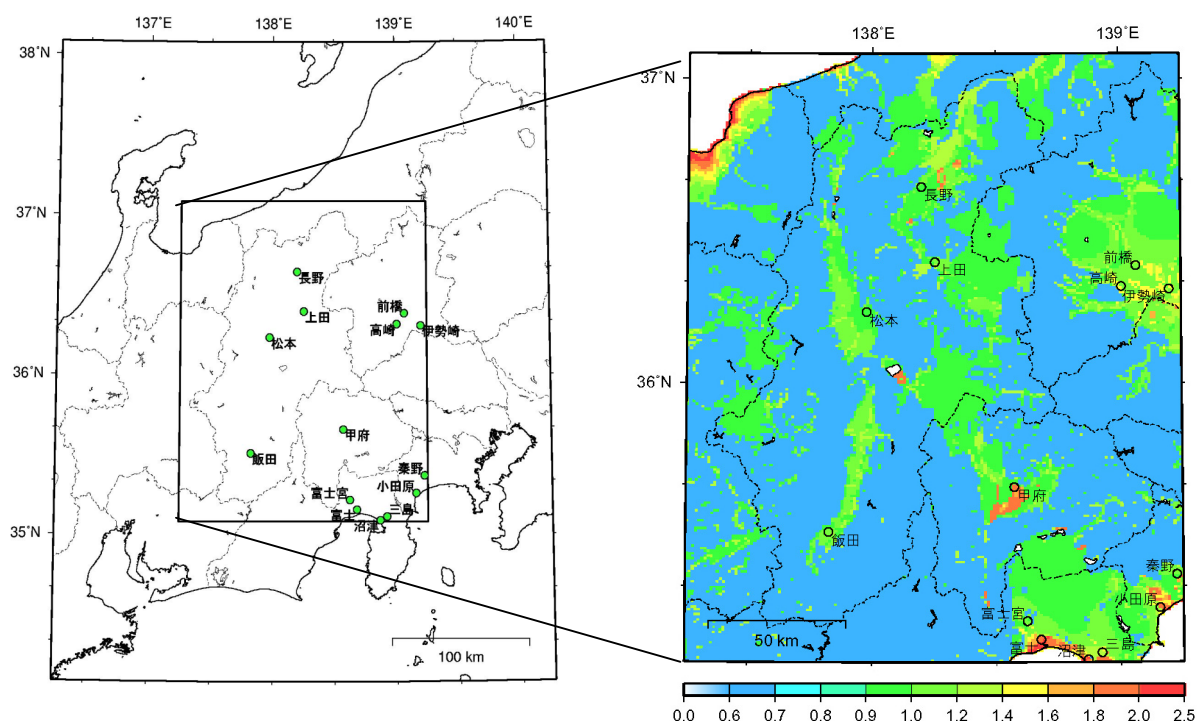


図1 確率論的地震動予測地図の検討領域及びその領域での工学的基盤（S波速度 400m/s）から地表への地盤増幅率。

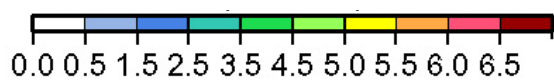
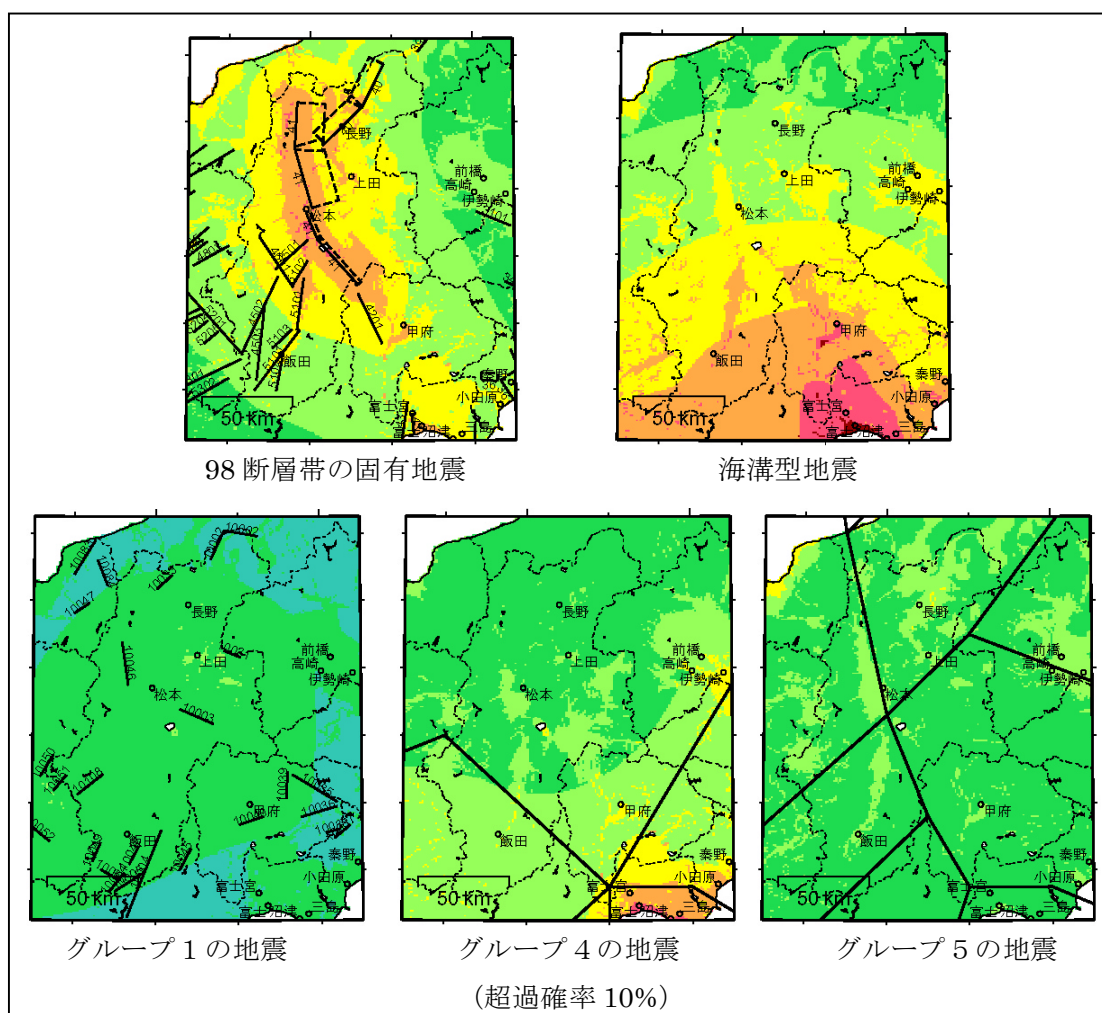
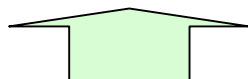
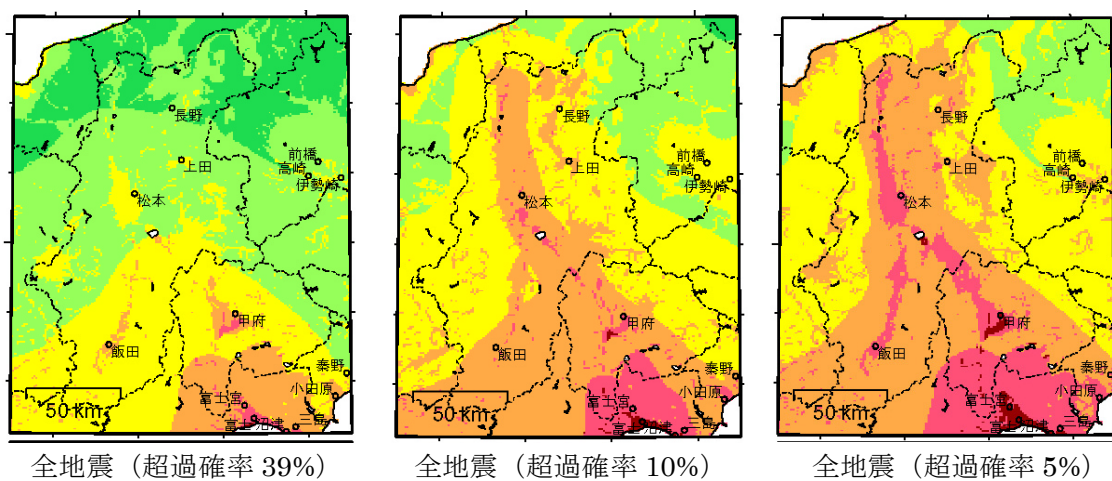


図2 確率論的地震動予測地図の例 (地表計測震度、期間50年の場合)

4. 震源を特定した地震動予測地図の作成手法の検討

震源を特定した地震動予測地図とは、特定の震源断層を想定し、それが活動した場合に、震源断層周辺域で生じる地面の揺れの分布を示すものである。特定の地震発生シナリオに基づくことからシナリオ地震による地震動予測地図、あるいは短縮して、シナリオ地震地図とも呼ばれている。シナリオ地震地図は、ある地震を想定したときの地震動分布を面的に表現した地図であり、直感的にも理解しやすいこともあり、地方自治体等による地域防災計画の策定等で数多く用いられてきた実績がある。また、シナリオ地震地図は、個別の地震発生シナリオに対する計算により作成されるため、計算手法として、震源断層、地球内部構造及び表層地盤増幅特性等の地震学・地震工学の幅広い分野にわたる詳細な研究成果を取り込んだ複雑な計算を必要とする手法が適用可能となっている。

シナリオ地震地図の作成にあたっては、簡便法及び詳細法と呼ばれる強震動評価手法を用いている。

(1) 簡便法

簡便法とは、地震規模（マグニチュード）や震源からの距離、地盤増幅率等のごく少数のパラメータを用いて経験的に表現された地震動指標（最大加速度、最大速度等）の距離減衰式を用いる手法である。入力パラメータの数が限られているために、震源や地下構造の固有の性質を十分反映することができず、地震動の時刻歴波形も得られないが、震源や地下構造に関する詳細な情報がない場合でも、平均的な広範囲の地震動分布を容易に評価できるという特徴を持つ。

地震動予測地図の作成において使用している簡便法は、以下に述べるようなものである。工学的基盤での地震動強度の指標として、最大加速度及び最大速度を計算する。これらを計算するための経験的な距離減衰式として司・翠川（1999）の式を用いる。地表での地震動強度を計算するために、松岡・翠川（1993, 1994）の手法により、国土数値情報を用いて地盤の増幅率を求め、工学的基盤における地震動強度（最大速度）にこの増幅率をかけることにより、地表での最大速度を計算する。さらに、翠川・他（1999）による最大速度と計測震度との経験式を用いて、地表における最大速度から計測震度を算定している。

(2) 詳細法

詳細法は、断層破壊過程や地下構造の固有の性質を、数多くのパラメータを用いて詳細にモデル化でき、かつ地震動の時刻歴波形が計算できる地震動予測手法である。その特徴をまとめると以下のようになる。

- ① 震源での詳細かつ複雑な断層パラメータの影響を表現できる
- ② 地震波伝播経路での詳細かつ複雑な地下構造の影響を表現できる
- ③ 表層地盤での詳細かつ複雑な地震時挙動の影響を評価できる
- ④ 時刻歴波形が計算できる

地震動予測地図の作成において使用している詳細法としては、具体的には、次に述べるハイブリッド法と呼ばれる手法が、主に用いられている。

ハイブリッド法とは、低周波域では有限差分法等による弾性波動論に基づいた理論的な波形計算の手法を用い、高周波域では統計的グリーン関数法と呼ばれる半経験的な手法を用い、最後にそれらをマッチングフィルターを用いて重ね合わせることで、全周波数帯域での計算を行う手法である。

地震動の特性は、低周波域では決定論的な物理モデルに基づいた理論的な考察によりある程度説明可能であることが、過去に起きた地震に対する地震動の記録を解析することによって明らかにされてきている。一方で、高周波域では、理論的な予測に必要とされる物理モデルのパラメータに対する不確定性が急速に大きくなるため、事実上決定論的な予測が困難となり、統計的手法の導入が必要となっている。また、決定論的に扱える帯域から統計的な扱いが必要となるような周波数帯域への遷移領域では、物理モデル構築の困難さのみならず、地震動予測計算を行うために必要な計算量が膨大なものとなるために、計算技術的な観点からも解決すべき課題が山積している。

こうした状況の中、高周波数域での地震動計算手法として、理論的手法と簡便法のような経験的手法の中間に位置付けられる半経験的な手法として統計的グリーン関数法と呼ばれる手法が用いられている。統計的グリーン関数法とは、経験的グリーン関数法と呼ばれる予測手法をもとにして作り出された手法である。経験的グリーン関数法とは、大地震による地震動を予測するために、大地震が発生する領域内で発生した中小規模の地震記録を経験的に得られたグリーン関数として、大地震に対する波形を合成する手法であり、伝播経路や表層地盤の不均質構造の影響を強く受ける短周期地震動の予測に非常に有効な手法と考えられている。しかしながら、現実には、地震動の予測を行う場合、予測すべき大地震に対して予測する領域内で、適切な中小地震の記録が得られているとは限らない。このような場合に、中小地震記録の代わりに統計的に評価された模擬地震動をグリーン関数として用いることがある。この手法を統計的グリーン関数法と呼ぶ。統計的グリーン関数法は、グリーン関数が統計的に処理され平均化されたものであるため、対象地域固有の特性を十分に反映しきれない反面、事前に得られる情報が不十分な場合でも比較的安定した地震動評価が可能という特徴を持っている。

地震動の予測を行うために必要な断層モデルとしては、地震規模（マグニチュード等）や断層面全体の形状のような巨視的な断層パラメータだけでなく、断層面内での滑りの不均質性に関する情報が必要となる。これは、被害に直結するような周波数帯域の地震波は、巨視的な断層運動によって生ずるものではなく、断層面内に局所的に分布するアスペリティと呼ばれる領域から励起されることが明らかになってきたためである。これは、近年の地震観測網の整備により得られた地震記録を用いて、震源インバージョンと呼ばれる解析手法により、大地震の震源破壊過程の詳細な研究が行われた結果である。一方で、こうした知見を地震動予測に取り込もうとした場合、断層破壊過程の不均質性を忠実に再現するような断層モデルを設定すると、そのような断層モデル構築に必要なパラメータの自由度が大きくなりすぎて、結果として予測結果の不安定の原因となったり、パラメータ設定に

必要な情報量の不足から断層モデルの構築そのものが不可能になったりすることが考えられる。こうした問題を解決し、できるだけ地震学的な知見に基づいた地震動予測を可能にするために、アスペリティ等の地震動予測に必要な不可欠な情報を単純化してモデル化を行う考え方が提案されている。このような手法を、震源の特性化と呼び、このような考え方のもとに構築されたモデルを、特性化震源モデルと呼んでいる。地震動予測地図の作成においては、特性化震源モデルのパラメータの設定を、「特性化震源モデル設定のためのレシピ」に基づいて特性化された断層パラメータ設定の手続きを行っている（地震調査研究推進本部地震調査委員会 2002）。

（3）計算例（地震調査研究推進本部地震調査委員会 2002 より）

糸魚川－静岡構造線断層帯（北部・中部）の地震について、簡便法及び詳細法により計算を行った例を図3、図4に示す。特に詳細法の計算では、北部セグメントにおけるアスペリティの位置を変化させた場合について地震動分布がどのように変化するかを調べるために、3つのケースを想定して計算を行っている。詳細法による計算では、工学的基盤での時刻歴波形の計算も行われており、約1kmの各メッシュで波形記録が計算されている。

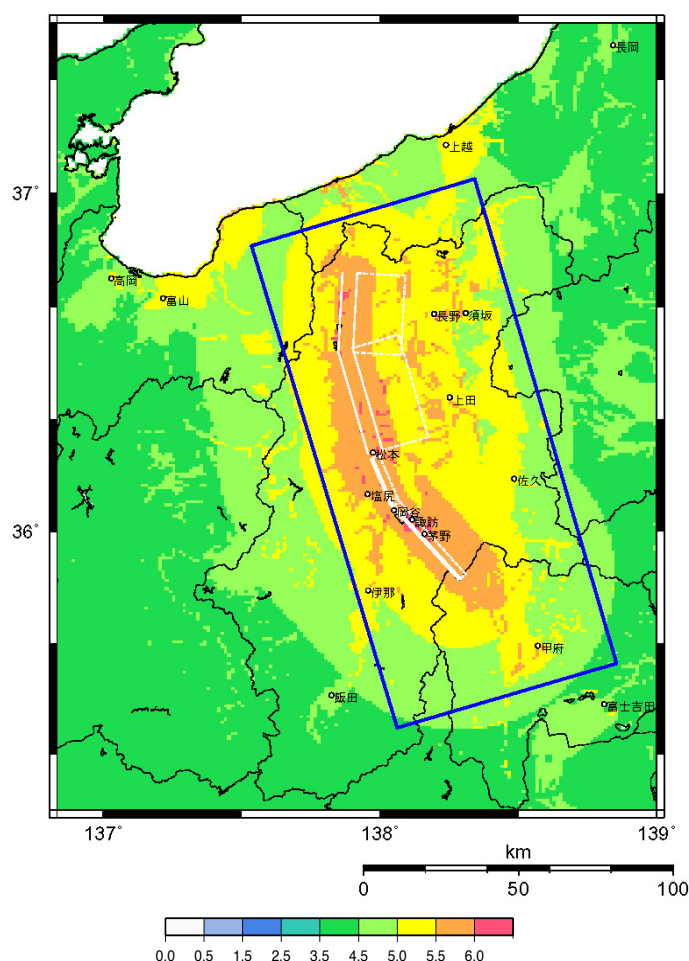


図3 簡便法による地表計測震度の計算例。地図内の矩形領域は、詳細法計算領域

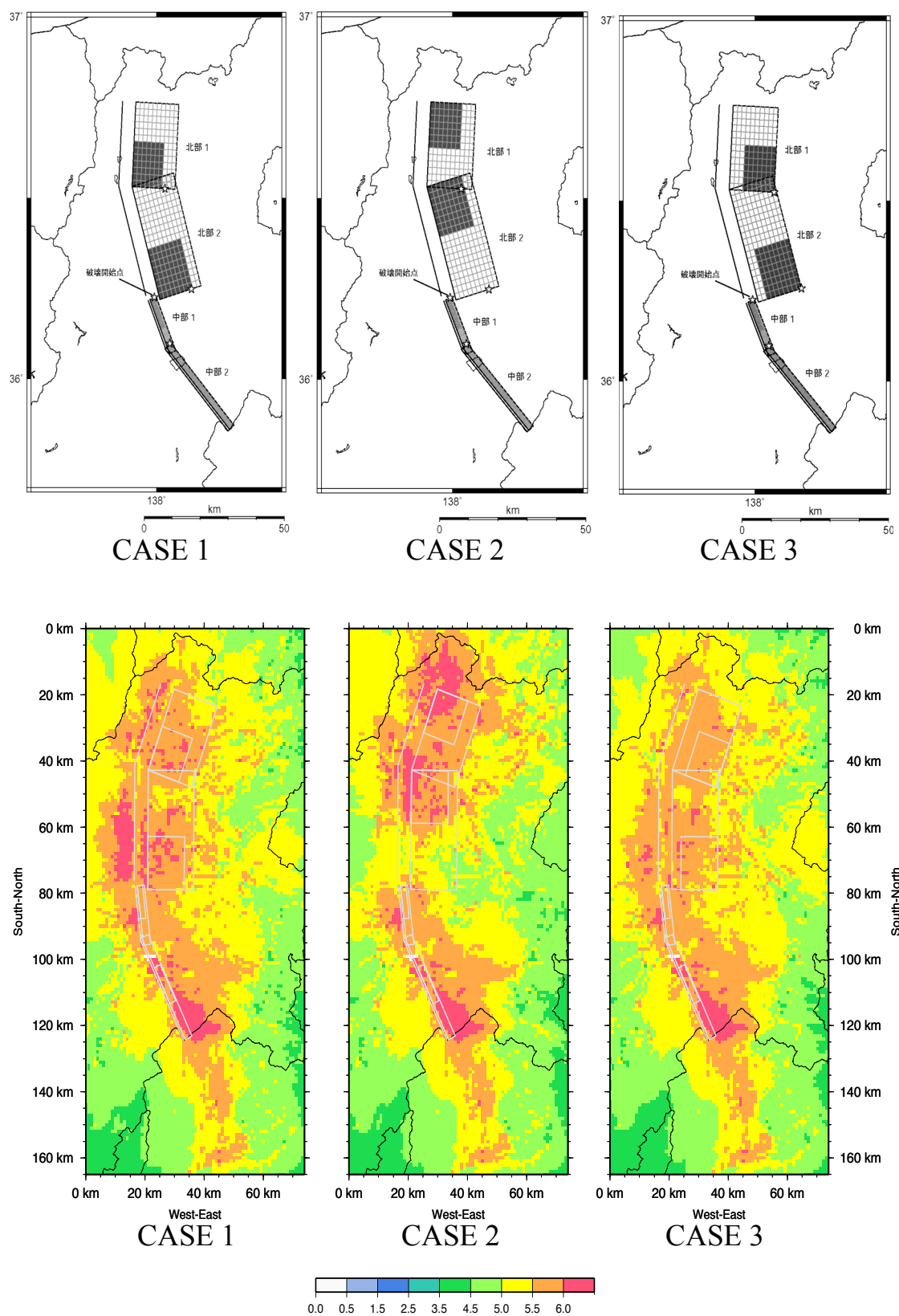


図4 詳細法による地表計測震度の計算例（アスペリティの位置の違う3つのケース）

5. 地震動予測地図の融合についての検討

地震動予測地図は、「確率論的地震動予測地図」と「震源断層を特定した地震動予測地図」の2種類の性質の違う地図を一式としたものとされており、両地図の関連を明確にすること、あるいは「震源断層を特定した地震動予測地図」を「確率論的地震動予測地図」に取り込むことを「融合」と呼んでいる。地震動予測地図の融合については、以下に示す2つの考え方が検討されている。

- ① 2種類の地図は独立に作成されるが、それぞれの位置づけを解説し、相互に関連づける。2種類の地図を関連づけるために、確率論的想定地震（亀田他 1997）の概念を用いる。
- ② 「震源断層を特定した地震動予測地図」において用いられる詳細法による地震動評価を用いて、確率論的地震ハザード評価を行う。

考え方①に示されている「確率論的地震動予測地図」における「震源断層を特定した地震動予測地図」の位置づけとは、対象地点における地震ハザードに影響が大きい地震は何か、及び震源断層を特定した地震動評価が対象地点の地震ハザードにおいてどのような位置づけにあるかを明確にすることである。確率論的想定地震とは、対象とする確率レベルに対応するような強さの地震動を起こし得る可能性が高い地震を想定地震として選定するための方法論であり、そのような地震動をもたらし得るような地震の相対的な出現可能性を表す指標としての各地震の「貢献度」を定義している。「貢献度」は、対象とするハザードレベルに応じて変化する指標であり、貢献度が大きい地震ほど想定地震を選定するにあたって重要視すべきものとなる。

考え方②で述べられている詳細法による地震動評価は、現状では、計算作業量及び計算に必要な情報量の不足のために確率論的地震ハザード評価全体に対しては用いられておらず、経験的な距離減衰式を用いた簡便法が採用されている。よりきめ細かな強震動評価を行うためには、詳細法による強震動評価を地震ハザード評価に取り込むことが必要と考えられており、今後の重要な課題となっている。そのためには、詳細な強震動評価に必要な情報についての不確定性を考慮した詳細法による地震動予測のばらつき評価が必要となり、そのための検討を現在実施中である。

6. 強震動評価手法の検討

6. 1 距離減衰式の改良

確率論的地震動予測地図及び震源を特定した地震動予測地図における簡便法では、強震動評価手法として、経験的な距離減衰式が用いられている。平成14年度には、地震調査委員会により、北日本を対象とした確率論的地震動予測地図の作成が行われた。東北日本では、やや深発地震に対して異常震域が現れることが古くから知られている。東北日本で見られる異常震域の要因は、定性的にはプレートの沈み込み帯における上部マントルの特異な減衰構造によって説明されている。相対的に減衰が大きい領域である陸域の上部マントルに対して、沈み込む太平洋プレート（スラブ）は減衰が比較的小さい領域となっており、

スラブ内を伝播する距離が長くなる太平洋側の地域と比べて、日本海側の地域に伝播する地震波のエネルギーが大幅に減衰し、日本海側で観測される地震動が小さくなるというものである。

こうしたスラブ内で発生する地震に対する強震動評価の精度を向上させるため、東北日本において顕著な異常震域が現れる太平洋プレート内で発生するやや深発地震を主に対象とした、距離減衰式の改良について検討した（森川他 2002）。具体的には、司・翠川(1999)による最大加速度、最大速度の距離減衰式を基準に、①太平洋側と日本海側の地震動強さの違いに対応する係数 V_1 、②遠方の地域まで地震波が減衰せずに伝わることに対応する係数 V_2 、の2種類の補正係数を求めた。最大速度に対する補正項は次式で与えられる。

$$\text{Log } V_1 = (-4.021 \times 10^{-5} \times R_{tr} + 9.905 \times 10^{-3}) \times (H - 30)$$

$$V_2 = \max \{ 1.0, (R/300)^{2.064} \times 10^{-0.012} \}$$

ただし、 R_{tr} は海溝軸から観測点までの距離、 R は震源距離、 H は震源深さ。この補正項は、司・翠川の式で推定にされる値に乘じられる。適用例を図5に示す。

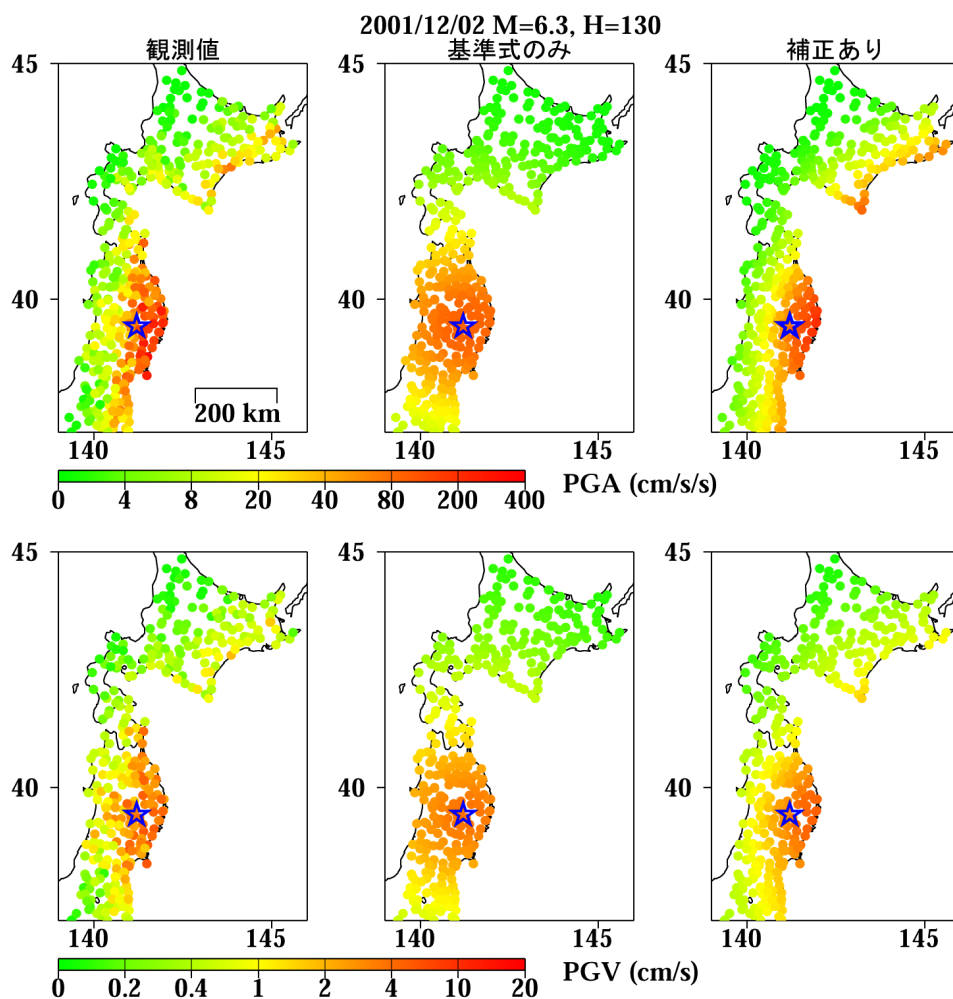


図5 観測値及び予測値による最大震幅分布の比較例。上が最大加速度、下が最大速度。
☆は震央位置を示す。

6. 2 地震動のシミュレーションツールの開発

詳細法による強震動評価においては、与えられた地下構造モデルと震源モデルに対して、3次元弾性波動方程式を解いて地震動を理論的に計算するための作業量が膨大なものとなる。計算機の性能が向上し、大規模な計算が可能になりつつあるとは言え、計算を如何に効率的に行うかが、より進んだ強震動評価手法を検討するための重要なポイントとなっている。このため、理論的な手法による地震動シミュレーション手法の高度化が不可欠となっており、各種の計算手法の開発を実施している。

(1) 3次元動弾性解析のためのボクセル有限要素法の開発

有限要素法(FEM)は、不整形地盤における地震波動場の3次元動弾性解析のための有力な手法と考えられるが、有限差分法(FDM)(Pitarka1999, Aoi and Fujiwara 1999)と比較すると、実際の地震動数値シミュレーションに用いられた実績が少ない。この理由として、FDMで容易にモデリングできるような媒質中での地震波動伝播のシミュレーションについては、FDMと比較してFEMの方が、地表面の凹凸が容易に取り込める等の地下構造モデリングに対する汎用性を有する代償として、同程度の精度を得るために必要な計算量・メモリー容量が大きく、計算効率が悪いと考えられているためである。非構造メッシュ有限要素法(Bao et al. 1998)は、汎用性に富み、最適なメッシュ分割による計算を実現できる可能性を秘めているが、メッシュ生成そのものに大きな労力が必要であるだけでなく、非構造メッシュに対する剛性マトリックス成分を全て記憶するために膨大なメモリー容量を必要とする。このため、現時点では、大量のメモリー容量が使用可能な大規模なスパコンを除いては、複雑なモデルに対する大規模な3次元動弾性解析を、非構造メッシュ有限要素法を用いて行うことは困難となっている。本研究では、こうした問題を解決するため、より簡便で効率的なFEMコードの開発を目指し、3次元動弾性解析のためのボクセル有限要素法(VFEM)の開発及び性能の検討を実施している(藤原・藤枝 2002)。

(2) GMS(Ground Motion Simulator)の開発

強震動予測を行う場合によく用いられるハイブリッド法では、地震動の長周期成分を理論的手法により計算す必要があり、この際3次元構造を考慮した決定論的波動合成法として有限差分法(FDM)を用いることが現状では一般的である。

3次元計算波動伝播シミュレーションを行うためには、地下構造モデルや震源モデルなど煩雑なパラメータ設定が必要となり、また計算結果の出力も膨大なものとなる。このため、従来の手作りのプログラムでは、手法やプログラムの詳細を知らないと実用的な計算を行うことは困難である。これらの不便を解消するため、ユーザーフレンドリーなGUI(Graphical User Interface)を採用し、直感的に作業の出来るシステム、GMS(Ground Motion Simulator)の開発を行った。また、本システムは、PCやワークステーション等の安価で汎用的なプラットフォーム上で使用できるため、容易に3次元有限差分法による地震波伝播のシミュレーションを行うことが出来るように設計されている。GMSは、実際の予測地図作成作業にも使用されている。

7. 地下構造モデル作成とデータベース整備

強震動評価においては、詳細な断層モデルだけでなく、地下構造のモデル化も重要な課題である。地震動は地盤の影響を受けて増幅する。特に S 波振幅の増幅は大きく、構造物の被害に大きな影響を及ぼすため、S 波速度構造を把握することは地震防災を考える上で極めて重要である。さらに 1995 年兵庫県南部地震では、地震被害に大きな影響を及ぼすような地震動の生成にごく表層だけでなく、やや深い 2 次元、3 次元的な地盤構造が大きく関与していることが指摘された。より高精度な強震動評価のためには、地震基盤までの 3 次元的な S 波速度構造の把握が必要不可欠である。一方、地震予測地図作成には、S 波速度だけでなく、P 波速度、密度、減衰定数などの情報も 3 次元的なモデル化が必要となる。このような情報を得るための手法としては、人工地震を用いた反射法、屈折法やボーリング孔を用いた PS 検層、さらに微動アレー観測や重力探査など様々な手法が存在し、それぞれ得られる情報は異なる。つまり、様々な手法によって得られた情報を適切に組み合わせることによって地下構造モデルは作成されることが望ましい。しかし、これらの情報は地域によってその量に大きなばらつきが存在する。従って、現実的な地下構造モデルを作成するにはこれらの情報を適切に組み合わせるだけでなく、それぞれの対象領域の情報量に応じた作成手法が必要となる。そのため、それぞれの計算対象領域における地下構造に関する情報量に合わせた地下構造のモデル化手法について検討を行っている。

作成された地下構造モデル及びそのために収集したデータは、今後のモデルの改良に不可欠なものであり、それらをいつでも使用可能な状態に整理しデータベース化する事が必要である。さらに、現在、地震動予測地図作成に資するために行われている、平野部地下構造調査で得られたデータ等についても、データの散逸を防ぎ、調査結果を有効に利用するためにも、データベース化が望まれており、検討が開始されている。

8. 地震動予測地図に関するデータの公開に関する検討

地震動予測地図は、単に地表での震度値のみを公表するだけでなく、確率論的地震動予測地図においては、様々な形態で表現された地図や、ハザード曲線のデータ等、また、シナリオ地震地図においては、工学的基盤における最大速度、さらには時刻歴波形のデータ等についても W E B 等を用いた公開手法の技術的な検討を実施している。

謝辞

防災科学技術研究所に設置された確率論的予測地図作成手法検討委員会（翠川三郎委員長）、及び、地震動予測地図工学利用検討委員会（亀田弘行委員長）からは、貴重なご意見を頂きました。また、検討作業を担当いただいているプロジェクト関係者の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 亀田弘行・石川裕・奥村俊彦・中島正人(1997) 確率論的想定地震の概念と応用、土木学会論文集、第 577 号、75-87.
- 司宏俊・翠川三郎(1999) 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式、日本建築学会構造系論文集、第 523 号、63-70.
- 地震調査研究推進本部(1999) 地震調査研究の推進について―地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策―.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2002) 糸魚川―静岡構造線断層帯(北部、中部)の地震を想定した強震動評価.
- 松岡昌志・翠川三郎(1993) 国土数値情報を利用した地盤の平均 S 波速度の推定、日本建築学会構造系論文集、第 443 号、65-71。
- 松岡昌志・翠川三郎(1994) 国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング、第 22 回地盤震動シンポジウム論文集、23-34.
- 翠川三郎・藤本一雄・村松郁栄(1999) 計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係、地域安全学会論文集、Vol. 1、51-56.
- 森川信之・神野達夫・成田章・藤原広行・福島美光(2002) 東北日本の異常震域に対応した距離減衰式の補正項、日本地震学会秋季大会予稿集.
- 藤原広行・藤枝忠臣(2002) 3次元動弾性解析のためのボクセル有限要素法、第 11 回日本地震工学シンポジウム論文集.
- Aoi, S. and H. Fujiwara (1999). 3D Finite-Difference Method using discontinuous grids, Bull. Seism. Soc. Am. 89, 918-930.
- Pitarka, A.(1999). 3D elastic Finite-Difference modeling of seismic motion using staggered grids with nonuniform spacing, Bull. Seism. Soc. Am. 89, 54-68.
- Bao, H., J. Bielak et al. (1998). Large-scale simulation of elastic wave propagation in heterogeneous media on parallel computers, Computer Methods Appl. Mech. Eng., 152, 85-102.

地震動予測地図の工学利用について —工学利用検討委員会の提言へ向けて—

防災科学技術研究所 地震動予測地図工学利用検討委員会
委員長・亀田弘行（地震防災フロンティア研究センター）

1. 地震動予測地図工学利用委員会の目的

独立行政法人防災科学技術研究所では、地震調査研究推進本部地震調査委員会が進めている地震動予測地図の作成に資するため、特定プロジェクト「地震動予測地図作成手法の研究」を平成13年度より行っている。これと並行して、地震動予測地図を有効に活用するための討議の一環として、所内に地震動予測地図工学利用検討委員会（以下、工学利用委員会と略称）を平成14年6月に設置した。同委員会の目的は、地震動予測地図を工学目的に活用できる分野とその方法を具体的に検討することである。防災科学技術研究所内に設置された委員会であるが、その結果は、政策委員会の「成果を社会に活かす部会」（部会長：廣井 脩）に提言され、同部会の検討事項として討議される。

2. 地震動予測地図の工学利用討議の意義

「地震動予測地図の作成」においては、（1）地震発生の不確定性を反映した地震動分布（確率論的地震動予測地図）、および（2）特定の震源メカニズムを想定した場合の地震動分布（シナリオ地震による地震動予測地図）の2種類の表現形式を取ることとして作業が進められている。両者とも、従来工学分野で多数の試みがなされ、ノウハウが蓄積されてきているが、工学目的の開発では、それぞれ目的別に手法が検討され、応用されることが多い。それは工学という実用的な目的行為においては当然のことであるが、個別に開発された手法が持つ普遍性は必ずしも明確ではない。

こうした状況のもとで、地震調査研究の一環として進む地震動予測地図は、地震学の最新成果に基づく知見を共通基盤として生かそうとする、理学分野からの働きかけの意味を持つもので、これが工学的活動とどう結びつくかを議論することは、地震ハザード評価の分野に新たな展開をもたらす可能性がある。工学分野からも、この議論を真剣に受け止めることが重要と考えるものである。

このような観点から、工学利用委員会は、地震動予測地図が工学的に持ちうる意義と活用可能性を検討し、そこから導かれる提言をとりまとめることを目標に活動を行ってきた。ただ、提言は、既製品として提供される地震動予測地図をそのままどう使うかということではなく、工学的活用というエンドユーザーの需要を満たすために、地震動予測地図の作成法やそこから提供されるべき情報の内容に対する提言と、それらが達成されればこういう活用が可能というユーザーへの提言からなる。

昨年の地震動予測地図ワークショップにおいては、工学利用委員会における検討の途中

経過を報告した。その後1年間の活動から、提言の内容を整理し、現在報告書を作成中である。

以下本文では、工学利用委員会の最終結果に至る内容の骨子を解説する。

3. 工学利用に関する討議の要点

地震動予測地図の工学利用の検討開始に当たり、討議の要点を以下のように整理した。

- a. 工学利用に必要な地震動情報の多様性
- b. 地震動と地震力の相違
- c. 確率論と確定論の確執の克服
- d. 多様な工学的実践をサポートするものであること

それぞれが意味するところについては参考文献をご覧頂きたい。こうした観点を浮き彫りにできるような討議を計画し、検討を重ねてきた。

4. 工学利用委員会の活動経過

4.1 委員会討議の概要

工学利用委員会が発足した平成14年6月から平成15年11月までは、地震動予測地図が持つ意義と地震動予測地図作成への要請事項を明確にすることを目的として、工学利用の可能性を持つ事例の掘り起こし、工学的ニーズの明確化、地震動予測地図作成手法への要請、不確定性評価のため確率論を用いることの意義、結果の発信法、いかにすればユーザー指向の内容とできるか、などの観点から討議を行った。その後はまとめに入り、委員会としての提言をまとめるべく、現在報告書の作成作業中である。

工学利用委員会の討議でこれまで取り上げた課題を整理すると以下のようである。
これまで検討した課題

- a. 地震動予測地図作製に関する課題
 - ・ 地震調査研究推進本部の概要及び活動状況（推本・前田補佐）
 - ・ 地震動予測地図作成プロジェクトの概要（藤原委員）
 - ・ 活断層での地震発生確率の評価法（東大・島崎教授）
 - ・ 距離減衰式（藤原委員）
 - ・ 地震動予測地図の公開システム（藤原委員）
- b. 地震動予測地図の工学利用に関する課題
 - ・ 建築サイドの利用の立場から（福和委員）
 - ・ 震災ポテンシャル評価のための曝露人口指標（能島委員）
 - ・ 地震リスク評価への展開（石川委員）
 - ・ ライフライン災害リスクマネジメントから見た地震動予測（当麻委員）
 - ・ 原子力施設の確率論的安全性評価手法—地震 PSA（蛭沢委員）
 - ・ 学校の耐震化推進における地震動予測地図の役割（東大・久保教授）

- ・シナリオ型地震動予測の工学的応用事例（阪神高速道路公団・長沼課長）
- c. 学会の活動・国際的視点
 - ・日本建築学会における地震荷重検討（高田委員）
 - ・土木学会における設計地震動・地震荷重評価の動向（当麻委員）
 - ・米国における地震動予測地図プロジェクト（翠川委員）
 - ・ISO 関連での設計地震動の考え方（井合委員）

4.2 外部からの意見を吸収するための活動

4.2.1 地震動予測地図工学利用ワークショップ（平成15年10月29日：防災科学技術研究所研究交流棟にて／参加者157名）

工学利用委員会では、できる限り多くの人々に委員会活動の内容を報告し、意見を得る討議の場を持つことが重要と考え、以下のような4部構成からなる公開ワークショップを実施した（プログラムは付録2参照）。

- i) 地震動予測地図の作製手法について
- ii) 地震動予測地図の工学利用について
- iii) 特別講演（東京大学名誉教授・柴田 碧博士）
- iv) まとめ

このうち、i)、ii)では、それぞれの課題推進のリーダーの位置にある研究者と工学利用委員会のメンバーのそれぞれからの話題提供と、お願いした討議者からの発言をきっかけとして、フロアからの活発な意見を得て、有意義な意見交換が行われた。

iii) の特別講演では、柴田 碧先生の長年にわたる地震工学のご経歴で培われた地震動・地震荷重に関わる見解を、本ワークショップのテーマに縛られない自由な視点から披瀝して頂いた。

最後に iv) のまとめでは、i)、ii) で討議された内容をできる限り網羅的に抽出し、それを体系的に理解することを試みた。こうして集約されるワークショップでの記録をもとに、発言者全員へのフィードバックを行ったうえで討議録を作成した。その内容を出来る限り委員会報告に反映すべく作業中である。

ワークショップにおいて提出された多岐にわたる論点は、それぞれについて具体的な理学的知見の現実、工学的実践、それらに基づく社会的対応の認識に立脚するものであり、きわめて包括的かつ現実的であった。以下のリストに、討議された課題の範囲を示す。それは、地震動予測地図の工学利用という専門性の高い領域に関する討議にあって、その内容はこれほどの広がりを持つことを確認させるものである。

- a. 地震動予測地図の工学利用に係わる発信の相手
 - ・詳細な解析担当者（高度システム—建物・ライフライン・プラント etc.）
 - ・一般エンジニア（設計・診断）
 - ・防災担当者（主として行政）

- ・ 非専門家（政策決定者・地域リーダー・市民）
- b. 地震動予測地図工学利用の領域
 - ・ 個別対象（設計・検証）
 - ・ 群としての評価（防災目標の設定・保険）
- c. 地震動予測地図の工学利用における評価基準
 - ・ 絶対評価（確定論的＞確率論的）
 - ・ 相対評価（確率論的＞確定論的）
- d. 地震動予測地図工学利用のための発信内容
 - ・ 詳細情報（設定条件、基本データ、プロセス、不確定性情報、多様な地震動パラメータ）
 - ・ 簡潔な情報（たとえば、基盤における速度の分布地図）
 - ・ 定性的表現（ランクづけ etc）

討議の詳細については、追って刊行される工学利用委員会報告書によらねたい。

地震動予測値図は、国が行うプロジェクトとしての影響力を持つ。地震調査研究推進本部が進める科学技術としての地震調査研究の成果を広く発信するのがプロジェクトの趣旨であるが、それはこの分野の専門家だけでなく、広く国民全体に対する情報開示を趣旨としている。

理学にせよ工学にせよ、専門家が自己の領域のみにしか関心を持たず、専門性を持つ社会的意味を認識しないまま事業を進めると、巨費を投じたプロジェクトも徒労に終わりがねないことが多々ある。地震動予測地図もこのようなプロジェクトのひとつと考えられる。この観点において、専門性と社会性の両立を積極的に模索し、その具体的な解決点を求める熱意に満ちたワークショップ討議であった。

4.2.2 地震動予測値図の社会的影響に関する意見交換会

当委員会は地震動予測地図の工学利用という専門性の高い課題を検討することを役割としているのであるが、上記ワークショップでの討議からも明らかなように、工学利用もその幅は広く、地震工学的に詳細な検討を行う専門的立場から防災行政に関わる担当技術者まで多くの立場がある。これらの立場によって一般社会との関わりの広さ、深さが異なる。このような視点に立てば、工学利用委員会においても、社会への発信法という視点をないがしろにすべきでないことが明らかである。例えば数%という地震発生確率が安心情報として社会に伝わってしまうなどの問題は、当委員会においても、社会に向かう責任として明確な視点を持つべき課題である。

この点に関し、地震工学の専門家として国・自治体の防災行政に関わる幅広い活動を展開される立命館大学・土岐憲三教授が明確な意見を多くの機会に率直に表明されていること、それは地震動予測地図の意義に大に関わるものであることを、かねてから認識していた。そこで、この問題に関する当委員会の視点形成に資するため、土岐教授との直接討

議を企画し、幸い先生のご賛同を得て、平成16年3月12日に、2時間余にわたり意見交換の機会を持った。

討議の焦点は、せっかくの調査研究の成果が、発信の方法が不適切なために、本来の目的である地震防災力向上への貢献とは逆の方向に安全情報として国民から受け止められる不合理さを防ぐことにあった。討議は具体的課題を俎上に乗せて進行し、その結果、i) 内陸の活断層における地震発生長期予測評価の確率は地震動予測地図における超過確率に直接影響するから、地震動予測地図においても、一般国民向けの資料において、安心情報と受け取られる結果とならぬよう、その表現には細心の注意を払うことが必要である、ii) 発生頻度が高く広域的影響を持つ海溝型地震と低頻度で影響範囲が限られている内陸型（活断層）地震の影響を単純に重ね合わせて後者の影響を消去してしまうことのないよう工夫が必要である、という2点において、土岐教授と工学利用委員会の間の合意が確認された。

この結果は、今後の工学利用委員会での検討だけでなく、成果を社会に活かす部会への提起などの活動に反映していく方針である。

5. 提言の骨子

以上に述べてきた活動をふまえて、委員会の提言をとりまとめ中であり、その骨子は以下のような枠組みとなる見込みである。

- a. 地震ハザード評価の共通情報基盤としての意義—地震および基盤地震動について理学的に最高のものを。
- b. 表示項目の多様性—工学サイドで多様な技術的活動ができる（活用の自由度ある）インターフェースを。
- c. 結果のみでなく、プロセスの開示—不確定性評価のプロセスがわかるように／条件設定に関する吟味が可能なように。
- d. 公表システムの作成—ユーザーインターフェース形成への協力
- e. 適切な更新の重要性—学術・技術の進歩を反映できるように。

この枠組みに従って、これまでの委員会討議と外部からの意見吸収により明確になった事項を提言の具体的項目として体系的に示すべく、作業中である。

提言の相手としては、地震動予測地図作製者への提言、社会との係わりに関して成果を社会に活かす部会への提言、そしてこれらをふまえて地震動予測地図の工学的利用者への提言からなる。

地震動予測地図プロジェクトが平成16年度で終了するのであるから、当委員会の提言があまり遅いと意味をなさないが、これについては、成果を社会に活かす部会への報告、外部専門家との討議、当地震動予測地図ワークショップでの討議、などの活動を行う一方、こうした活動の中から間違いないと判断される内容については地震動予測地図の作成過程に直接反映する（作成担当者が委員会に参加しているので可能）、という方針をとっている。

6. 報告書の構成

工学利用委員会報告書は以下のような構成となる見込みである。

- ・地震動予測地図工学利用検討委員会報告書（基本構成）
 1. 総説
 2. 地震動予測地図作成の意義
 3. 地震ハザード評価の現状と問題点
 4. 地震動予測地図における工学的ニーズと利用例
 5. 地震動予測地図の工学利用の今後
 6. 提言
- 付録

現在は付録3に詳細を示した **ver.2.0** の枠組みに従って執筆が進められている。

報告書では、地震動予測地図の工学利用に係わる諸課題につき、その現状・具体的ニーズ・今後の展望を体系的に整理したうえで、提言をとりまとめる。

7. むすび

以上、防災科学技術研究所地震動予測地図工学利用検討委員会の活動経過と今後の方針を述べた。作業はまとめの段階に入ったが、地震動予測地図作成のプロジェクトと同時に進行で進んだ当委員会は、時間との競争という側面を強く持っている。この認識のもとに、今後の活動を鋭意進める方針である。

参考文献

- ・亀田弘行：地震動予測地図の活用—工学利用について、平成 14 年度・地震動予測地図ワークショップ予稿集、平成 15 年 3 月 26 日、pp.85-88.

（付録1）地震動予測地図工学利用委員会の活動経過（平成15年度末まで）

●平成14年度：

- （1）準備会（5月27日）
- （2）成果を社会に活かす部会への報告（6月27日）
- （3）第1回委員会（8月6日）
 - ・委員会の活動方針・予定策定
- （4）第2回委員会（10月4日）
 - ・地震調査研究推進本部の概要及び活動状況（前田補佐）
 - ・地震動予測地図の概要について（藤原委員）
 - ・地震動予測地図の周辺～建築サイドの利用の立場から～（福和委員）
- （5）第3回委員会（11月14日）
 - ・地震動予測地図の利用法、震災ポテンシャル評価のための曝露人口指標の提案、ライフライン機能障害のリスク評価に関する事例（能島委員）
 - ・確率論的地震ハザード評価の利用について —主として地震リスク評価への展開—（石川委員）

- ・ 米国における地震動予測地図プロジェクト（翠川委員）
- (6) 第4回委員会（12月19日）
 - ・ ISO 関連での設計地震動の考え方（井合委員）
 - ・ ライフライン災害リスクマネジメントから見た地震動予測の課題（当麻委員）
- (7) 第5回委員会（1月22日）
 - ・ 日本建築学会の新しい地震荷重について（高田委員）
 - ・ 台湾集集地震記録に基づく地震動のマクロ空間相関特性（高田委員）
 - ・ 地震を対象とした原子力施設の確率論的安全性評価手法と評価例（蛭沢委員）
- (8) 第6回委員会（2月24日）
 - ・ 震動予測地図WSへ向けての討議、来年度計画
- (9) 平成14年度 地震動予測地図ワークショップ（平成15年3月26日／文部科学省・防災科学技術研究所）
 - ・ 地震動予測地図工学利用委員会活動報告

●平成15年度

- (1) 第7回委員会（5月12日）
 - ・ 昨年度の議論の整理
 - ・ 学校の耐震化推進における地震動予測地図の役割（名古屋工業大学・久保教授）
 - ・ 今年度の概略スケジュール
- (2) 第8回委員会（6月26日）—確率論的地震動予測地図の意義と問題点の討議
 - ・ 活断層での地震発生確率の評価法（長期評価部会長・島崎教授）
 - ・ 距離減衰式（藤原委員）
 - ・ 地震動予測地図ワークショップの計画概要
- (3) 成果を社会に活かす部会への報告（8月19日）
- (4) 第9回委員会（9月29日）
 - ・ 地震動予測地図ワークショップの詳細計画
 - ・ 地震動予測地図の公開システム（藤原委員）
 - ・ 報告書の構成案
- (5) 地震動予測地図工学利用ワークショップ（10月29日）
- (6) 第10回委員会（11月25日）
 - ・ 土木学会における設計地震動・地震荷重の動向
- (7) 第11回委員会（12月17日）
 - ・ 提言・最終報告にむけてのまとめ（第14回まで同様）
- (8) 第12回委員会（1月20日）
- (9) 第13回委員会（2月17日）
- (10) 第14回委員会（3月12日）
- (11) 土岐憲三教授との意見交換会（3月12日）
- (12) 平成15年度 地震動予測地図ワークショップ（3月26日）
 - ・ 地震動予測地図工学利用委員会の成果報告

（付録2）地震動予測地図工学利用ワークショップ＜プログラム＞

- 主催 : 防災科学技術研究所
- 日時 : 平成15年10月29日（水） 10:00～17:30
- 場所 : 防災科学技術研究所 研究交流棟和達記念ホール
- 10:00～10:10 挨拶（早山徹：防災科研理事）
- 10:10～10:30 趣旨説明（亀田弘行：防災科研地震防災フロンティア研究センター）
- 10:30～12:30 地震動予測地図の作成手法について（コーディネーター 藤原広行：防災科研）
- 話題提供1：島崎邦彦：東京大学
- 話題提供2：石川 裕：清水建設
- 討論者 : 川瀬 博：九州大学
- 隈元 崇：岡山大学
- 13:30～15:30 地震動予測地図の工学利用について（コーディネーター 当麻純一：電力中央研）
- 話題提供1：翠川三郎：東京工業大学
- 話題提供2：能島暢呂：岐阜大学
- 討論者 : 永島伊知郎：損害保険料率算出機構

片山幾夫：東電設計株式会社顧問
15:40～16:30 特別講演 柴田碧：東京大学名誉教授
「地震動予測：1960年代のプラント耐震設計から現在へ；
振動実験、非線形解析における地震動予測地図の解釈と意義」
16:40～17:30 まとめ（蛭沢勝三：原子力安全基盤機構、藤原広行、新井 洋：防災科研）

（付録3）地震動予測地図工学利用検討委員会 報告書構成（案）ver.2.0

1. 総説
 1. 1 地震動予測地図工学利用委員会設立の経緯
 1. 2 委員会の方針
 1. 3 工学利用に関する討議の要点
 1. 4 工学利用委員会の活動経過
 1. 5 提言の概要
2. 地震動予測地図作成の意義
 2. 1 背景と概要
 2. 2 諸外国の地震動ハザード評価
 2. 3 地震動予測地図に期待されるもの
3. 地震ハザード評価の現状と問題点
 3. 1 地震ハザード評価の現状
 3. 2 地震ハザード評価の問題点
4. 地震動予測地図における工学的ニーズと利用例
 4. 1 地震動予測地図に関する工学的ニーズ
 4. 2 学校の耐震化推進への利用
 4. 3 建物・橋梁等の耐震設計への利用
 4. 4 ライフライン等の地震対策への利用
 4. 5 地域防災計画への利用
 4. 6 地震リスクマネジメントへの利用
 4. 7 原子力施設の PSA への利用
 4. 8 推本の事業とその成果の利用と活用
5. 地震動予測地図の工学利用の今後
 5. 1 地震動予測地図に関する新たなニーズ
 5. 2 確率論的評価とシナリオ型評価の融合に向けて
 5. 3 確率論的地震ハザードとシナリオ型地震動評価を統合した「地震ハザードステーション（仮称）」の開発構想

6. 提言

付録

- ・ロジックツリーの概要
- ・シナリオ地震による地震動の超過確率評価手法及び評価の例
- ・委員名簿
- ・委員会開催及び関連活動記録
- ・主な話題提供資料
- ・地震動予測地図工学利用ワークショップ記録
- ・地震動予測地図ワークショップ資料
- ・その他

（付録4）地震動予測地図工学利用検討委員会名簿

（委員長） 亀田弘行（防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター センター長）

（委員長代理） 当麻純一（電力中央研究所我孫子研究所地盤耐震部長）

（委員）

新井 洋（防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター副チーフリーダー）

井合 進（京都大学防災研究所教授）

石川 裕（清水建設株式会社技術研究所主席研究員）

蛭沢勝三（原子力発電技術機構原子力安全解析所耐震解析室室長）
高田毅士（東京大学大学院工学系研究科教授）
能島暢呂（岐阜大学工学部社会基盤工学科助教授）
福和伸夫（名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻教授）
藤田 聡（東京電機大学工学部機械工学科教授）
藤原広行（独立行政法人防災科学技術研究所特定プロジェクトセンター・プロジェクトディレクター）
翠川三郎（東京工業大学大学院総合理工学研究科教授）
（事務局）
河合伸一（防災科学技術研究所主任研究員）
石井 透・早川 譲・奥村俊彦（防災科学技術研究所客員研究員）
奥村直子（防災科学技術研究所技術補助員）
（オブザーバー）
文部科学省研究開発局地震・防災研究課と原子力安全委員会事務局からオブザーバー参加

防災科研における地震動予測地図作成プロジェクトについて

独立行政法人 防災科学技術研究所
藤原 広行

1. はじめに

「全国を概観する地震動予測地図」の作成が、平成 16 年度末の完成を目指して、地震調査研究推進本部地震調査委員会において進められている。「全国を概観する地震動予測地図」は、地震発生 of 長期的な確率評価と、地震が発生した時に生じる強震動の評価を組み合わせた「確率論的地震動予測地図」と、特定の地震に対して、ある想定されたシナリオに対する詳細な強震動評価に基づく「震源断層を特定した地震動予測地図」の 2 種類の性質の異なる地図を組み合わせた形で公表される予定とされている。防災科学技術研究所では、平成 13 年 4 月より特定プロジェクト「地震動予測地図作成手法の研究」を開始し、地震動予測地図の作成に必要な技術的な検討及び地図の作成作業を行ってきた。以下では、2 種類の予測地図作成に関して行ってきた検討内容の一部について紹介する。

2. 確率論的地震動予測地図作成に関する検討

2.1 地震発生確率の数値の扱いについて

活断層で発生する地震の長期評価では、平均活動間隔と最新活動時期が幅を持って評価され、結果として地震発生確率が幅をもって示されているものが多数あり、確率論的地震動予測地図の作成に当たっては、幅をもって示された地震発生確率の数値の扱いが問題となる。

地震調査研究推進本部事務局の調査によれば、最近の約 200 年間では、98 活断層帯に関連する被害地震は 11 あり、約 20 年 (18.4 年) に一度の間隔で発生していると試算している。こうした過去の地震活動と比較した場合、予測地図作成に用いる確率の数値が、日本全体としてみたときに、妥当なものとなっているかどうかについての検討を行った。

2.1.1. 検討内容と条件

主要 98 活断層帯における地震発生確率の値に基づき、今後 30 年間および 200 年間に発生する地震数ごとの確率を評価する。この際、平均活動間隔と最新活動時期に幅があるものについては、

- (1) 最大値を採用する場合 (以下、最大ケース)
- (2) 中央値の組み合わせを採用する場合 (以下、平均ケース)、
- (3) 平均活動間隔と最新活動時期の幅を平均化する場合 (以下、積分平均ケース)
- (4) 確率の最大値と最小値の算術平均値を採用する場合 (以下、確率平均ケース)

の 4 ケースを検討する。なお、時間軸の原点は、2004 年 1 月とする。

本検討に使用するデータは、以下の通りである。

- ・長期評価が公表済みで地震発生確率が記載されている 34 活断層帯（45 活断層、9 月 10 日公表の菊川断層帯、長尾断層帯まで反映）については、公表された数値に基づいて時間軸原点を 2004 年 1 月とした確率を評価する。
- ・長期評価が未評価の活断層帯のうち、平成 13 年 3 月時点で作成された文部科学省事務局資料（参考資料）に試算値として確率が記載されている 31 活断層は、その根拠となる平均活動間隔と最新活動時期に基づいて、2004 年 1 月を時間軸原点とする確率を評価する。
- ・上記のいずれにも該当しない 28 活断層は、暫定値として損害保険料率算定会(2000)で用いられている数値に基づき確率を評価する¹。

2.1.2. 結果

1) 今後 30 年間の地震発生確率および地震数に関する結果配下の通りである。

104 の活断層のうち、30 年間の地震発生確率が 3%以上、0.1-3%、0.1%未満となる活断層の数は、それぞれ表 1 のようになる。また、今後 30 年間に発生する地震数ごとの確率は表 2 となる。

表 1 今後 30 年間の地震発生確率の範囲ごとの活断層数（全体=104）

条 件		3%以上	0.1-3%	0.1%未満
最大 ケース	全体	20（19%）	50（48%）	34（33%）
	うち長期評価に基づくもの	16	18	11
平均 ケース	全体	9（9%）	47（45%）	48（46%）
	うち長期評価に基づくもの	6	16	23
積分平均 ケース	全体	7（7%）	56（54%）	41（39%）
	うち長期評価に基づくもの	4	24	17
確率平均 ケース	全体	13（13%）	56（54%）	35（34%）
	うち長期評価に基づくもの	10	23	12

¹ 損害保険料率算定会では、平均活動間隔に幅が生じる場合には活動間隔が最も短くなるようにパラメータが選定されており、最新活動時期の幅は平均化した上で確率が評価されている。

表 2 30 年間に発生する地震数とその確率

回数 ケース	0 回	1 回	2 回	3 回	4 回	5 回	6 回	7 回以上
最大	12.1	26.6	28.2%	19.1%	9.3	3.5%	1.0	0.3%
平均	34.9%	38.0%	19.3%	6.2%	1.4%	0.2%	0.03%	0%
積分平均	38.3%	37.9%	17.5	5.1%	1.0	0.2%	0.02%	0%
確率平均	25.7	35.9%	24.0	10.3%	3.2%	0.8%	0.1%	0.03%

また、30 年間に発生する地震数の期待値は、

- (1) 最大ケース： 2.03
- (2) 平均ケース： 1.02
- (3) 積分平均ケース： 0.93
- (4) 確率平均ケース： 1.32

となる。平均的に 18.4 年に 1 回であれば、30 年間には 1.63 回となり、最大ケースと確率平均ケースの間となる。また、「積分平均ケース」は、「平均ケース」よりもやや小さい結果となった。

2) 今後 200 年間の地震発生数に関する検討は以下の通りである。

今後 200 年間の地震発生数の確率分布を、10 万回のシミュレーションにより推定した結果は図 1 となる。また、200 年間に発生する地震数の期待値は、

- (1) 最大ケース： 11.6
- (2) 平均ケース： 6.1
- (3) 積分平均ケース： 5.7
- (4) 確率平均ケース： 7.7

となる。

なお、地震発生確率が小さい場合、今後 30 年間の確率と 200 年間の確率の間には概ね期間の長さに比例した関係が成立するが、確率が大きい場合にはその関係が成立しない。例えば、

糸魚川－静岡構造線断層帯 P30=14%, P200=67%

富士川河口断層帯 P30=11%, P200=56%

などは、期間が 6.7 倍になっても確率は 5 倍程度にしか上がっていない。最大ケースが、今後 30 年では過去の平均より大きく、今後 200 年では過去の平均と整合するのは、このためと推測される。

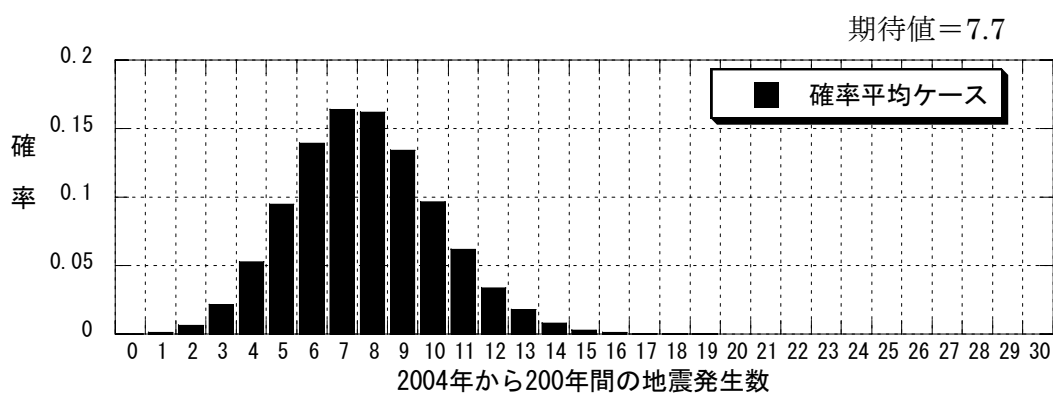
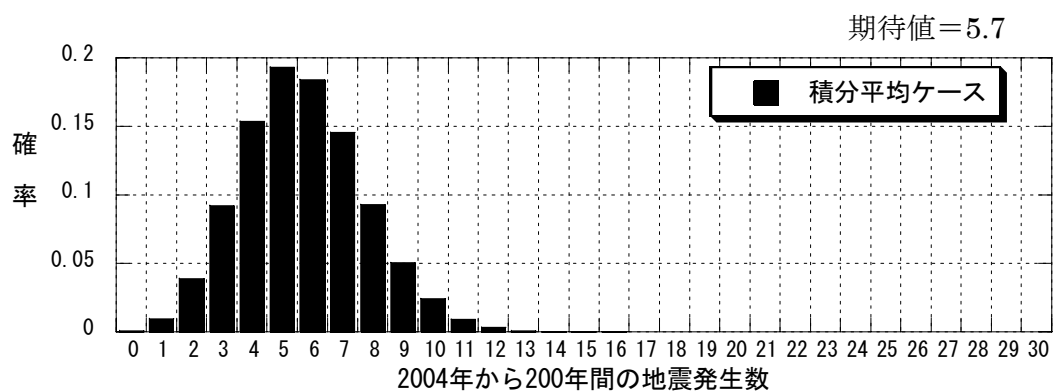
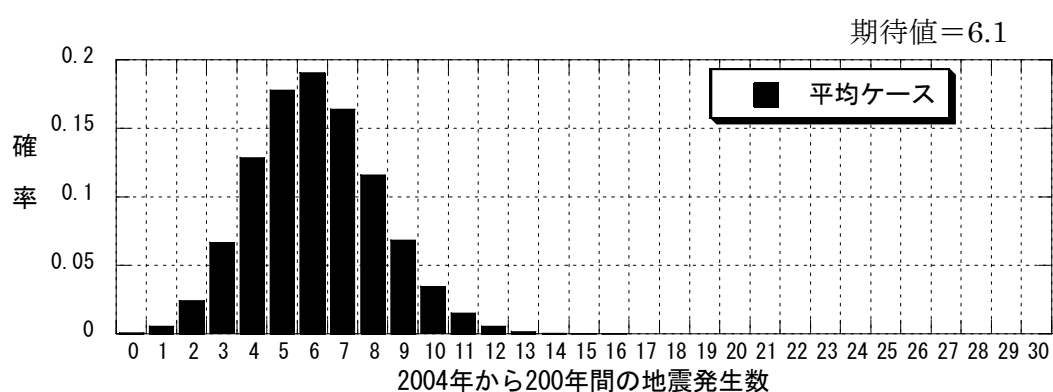
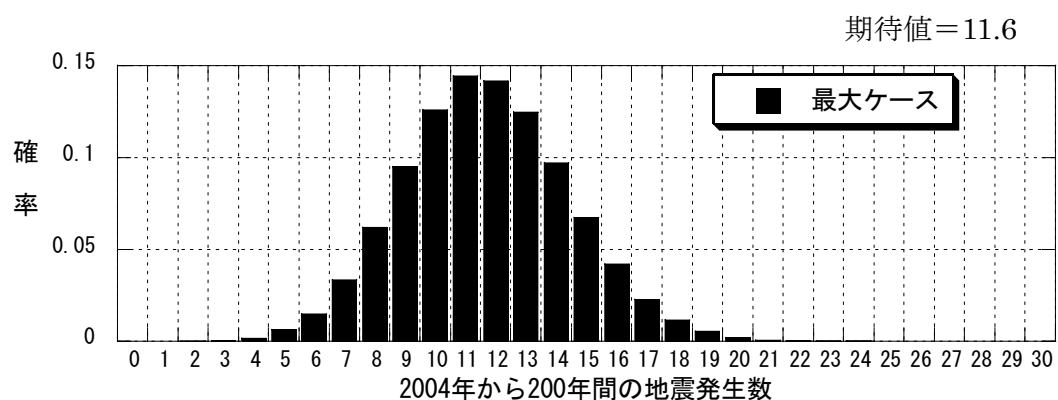


図1 200年間の地震発生数の確率分布

3) 考察

- ・ 上記のように、暫定評価の数値を多く含む検討結果ではあるが、過去 200 年間に発生した被害地震数との比較から、確率論的地震動予測地図の作成で用いてきた「平均ケース」では、98 断層帯全体としては確率が小さめの評価となる。
- ・ 「積分平均ケース」は、「平均ケース」よりもさらに若干小さめの評価となる。
- ・ 「確率平均ケース」は、「平均ケース」よりも大きめの結果となるが、過去年間の地震活動よりは小さ目の評価となる。
- ・ 一方、「最大ケース」とした場合には、今後 30 年間で見ると過去 200 年間の地震活動よりは大き目、今後 200 年間ではほぼ同等の結果を与える。
- ・ 地震発生数の期待値は、主として地震発生確率の絶対値が大きい活断層で決まることから、ケースによる地震発生数の期待値の変化は、最大ケースと平均ケースで確率の値に大きな違いのある、比較的少数の活断層によりもたらされていると考えられる。
- ・ ここで用いた過去の地震活動の評価は暫定的なものであり、さらなる検討が必要である。
- ・ 図 2 に(a)平均ケース及び(b)最大ケースの確率を用いて作成した 30 年超過確率 3 %の 98 活断層帯の固有地震に対する確率論的地震動予測地図を示す。

表 3 各ケースの比較

ケース名	特 徴
最大ケース	○長期評価における発生確率のランク分け等で用いている数値と整合する ○過去 200 年間の地震数と最も整合 ▲確率論的地図では、「Most Probable」でモデル化することが基本となっている
平均ケース	○「Most Probable」の考えには合致 ○これまでの試作版で使用 ▲過去 200 年間の地震数よりは明らかに小さい
積分平均ケース	○「Most Probable」の考えに合致 ○最新活動時期に大きな幅がある場合に、確率の値がポアソン過程と整合するなど、平均ケースでの疑問点にはある程度答えられる ▲過去 200 年間の地震数よりは明らかに小さい ▲確立の計算手法とデータの取り扱いとがアンバランス（活動間隔や最新活動時期の幅の分布形状、相関性等も考慮すべき（現状では困難））
確率平均ケース	○「Most Probable」の考えに合致 ○将来 30 年間の地震発生確率は、過去 200 年間の結果にやや近い ▲算出された確率の値を、活動間隔と最新活動時期とに立ち戻って見ることができない

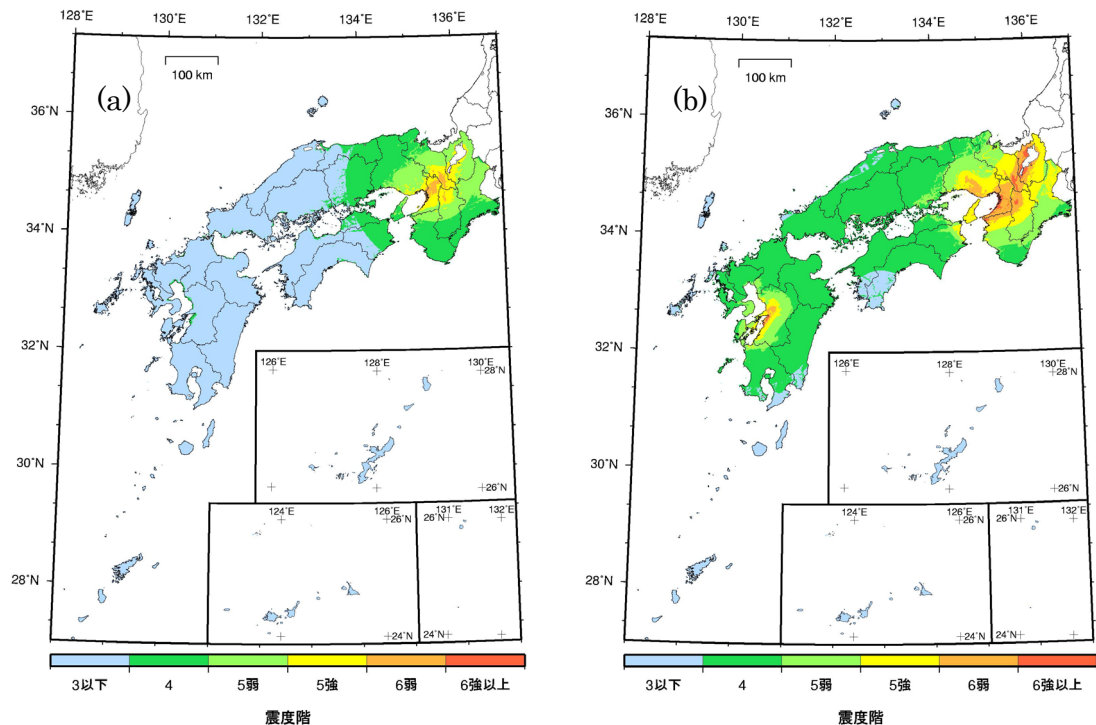


図2 (a) 平均ケース、及び(b) 最大ケースの確率を用いて作成した30年超過確率3%の98活断層帯の固有地震に対する確率論的地震動予測地図。

2.2 低確率の強震動評価について

現在用いられている確率論的地震ハザード解析手法においては、発生確率の高い地震に対して、超過確率が低確率となる地震動の強さは、解析に用いる地震動指標の経験的な距離減衰式のばらつきの程度に支配されることがある。距離減衰式のばらつきは、対数正規分布で評価されており、超過確率が小さい場合には、分布の裾部分に当たる地震動が評価されるため、距離減衰式のばらつきの程度が予測結果に大きく影響することになる。

本来、確率論的地震ハザード評価においては、対象地点において、震源断層が特定された1つの地震に対するハザードを評価する場合、震源に関わる不確定性と伝播経路及びサイト特性の不確定性は分離して評価すべきものである。しかしながら、現状では、各地震ごとに、各観測点において震源特性と伝播経路・サイト特性を分離して評価するためのデータは得られていない。このため、現在用いている距離減衰式は、様々な地震と観測点を区別せずまとめたデータセットを用いて回帰されているため、そのばらつきには、震源特性、伝播経路特性、及び各観測点のサイト特性のばらつきが含まれている。このため、超過確率の計算に用いる地震動のばらつきの程度を大きめに評価している可能性がある。ばらつきの大きなモデルで計算された低確率の地震動レベルは、過大評価される可能性があることに注意が必要である。確率論的地震動予測地図の試作版では、最大速度の距離減衰式のばらつきは、司・翠川(1999)に従って、対数標準偏差0.53（常用対数で0.23）を用いている。発生確率の高い地震に対して、距離減衰式のばらつきがどの程度の影響を及ぼす

か試算するため、東南海・南海地震・想定東海地震に対して、翠川・大竹(2003)で示された値（対数標準偏差 0.35、常用対数で 0.15）を用いた場合の計算を合わせて行い、両者を比較した（図 3）。

震源モデルを仮定し、地震動を物理的なモデルに基づいて評価する詳細法（例えば、ハイブリッド法）による地震動評価は、現状では、想定するモデルが限定されたシナリオ地震地図作成にのみ用いられており、計算作業量及び計算に必要な情報量の不足のために地震動予測地図作成のための確率論的地震ハザード評価においては用いられていない。しかし、よりきめ細かな強震動評価を行うためには、将来的には、詳細法による地震ハザード評価を確率論的地震ハザード評価に取り込むことが必要と考えられる。これが可能になれば、理論的には、震源特性に対する不確定性と、伝播経路特性及びサイト特性に関する不確定性を完全に分離して扱うことが可能となり、より物理的解釈の明確な地震ハザード評価が可能となると期待される。

なお、詳細法を用い震源特性による不確定性の要因のみを分離した、各地点ごとの地震動のばらつき評価についての検討は、現在実施中である。

また、距離減衰式のばらつきの裾野で評価される低確率の地震動強度については、その値の信頼性について疑問視される場合があり、強震動指標の上限値の導入や表現方法について検討がなされており、その取り扱いは今後の課題となっている。なお、本年度作成された試作版においては、上限値は設定されていない。

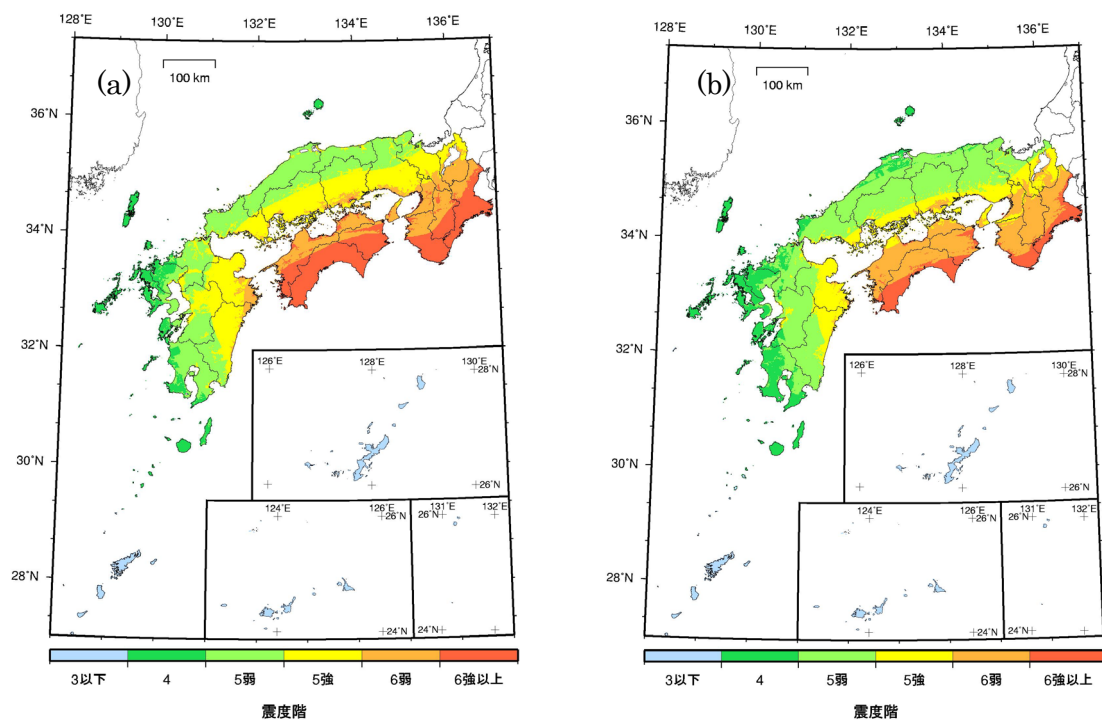


図 3 南海・東南海・想定東海地震に対する、30年超過確率3%の地震動レベル。(a)ばらつきを対数標準偏差 0.53 とした場合。(b)ばらつきを対数標準偏差 0.35 とした場合。

3. 強震動評価手法に関する検討

3.1 強震動評価手法の検証—2003 年十勝沖地震

シナリオ地震に対する詳細な強震動評価手法として、内陸の活断層で発生する地震については、ハイブリッド法と呼ばれる計算手法が採用されている。ハイブリッド法では、決定論的な取り扱いが有効な低周波数帯域に対しては、有限差分法や有限要素法により弾性波動論に基づいた理論的なモデルに対して波形計算を行い、統計的な取り扱いが必要な高周波数帯域に対しては、統計的グリーン関数法と呼ばれる半経験的な手法を用いて波形合成を行う。最後に遷移周波数領域においてそれぞれに対してマッチングフィルター処理を施して重ね合わせることで、全周波数帯域での計算を行う。ハイブリッド法は、複数の要素技術の組み合わせからなる複雑な波形合成法であるが、この手法をできるだけ標準化し、誰が計算を実施しても同じ結果が得られることを目標とした手法の検討が行われている。しかし、宮城県沖地震等の海溝型の地震に対しては、ハイブリッド法による強震動評価が十分に成功していない。このため、大量の強震動の記録が使用可能な2003年十勝沖地震に対して、強震動評価手法の検証を行い、手法の改良を目指している。

3.1.1 2003 年十勝沖地震の震源過程解析

K-NETおよびKiK-netの観測点15点の強震動記録を用いた逆解析を行い(Honda 他 2004)、断層面上での滑り分布と破壊の伝播の様子を再現した(図4、☆印は震央、△は観測点)。震源はJMAの一元化震源で得られた震央と沈み込むプレートの深さを基に(41.779N 144.0795E 29km)とした。断層は140km x 160km、走行246°、傾斜18°と仮定した。得られたモーメントは 2.9×10^{21} Nm (Mw8.2)で、もっとも大きなアスペリティは十勝平野の東方沖にあり、最大滑り量は5.9m。震央付近にもやや大きな滑りがある。北東部のアスペリティはややばやけているが、道東の主要動の走時、振幅を説明するために必要である。

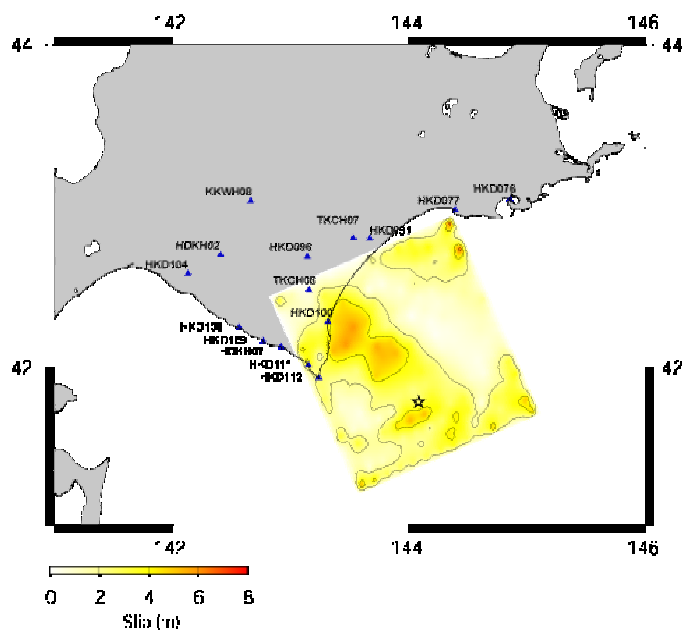


図4 インバージョンによって得られた断層面上での滑り分布

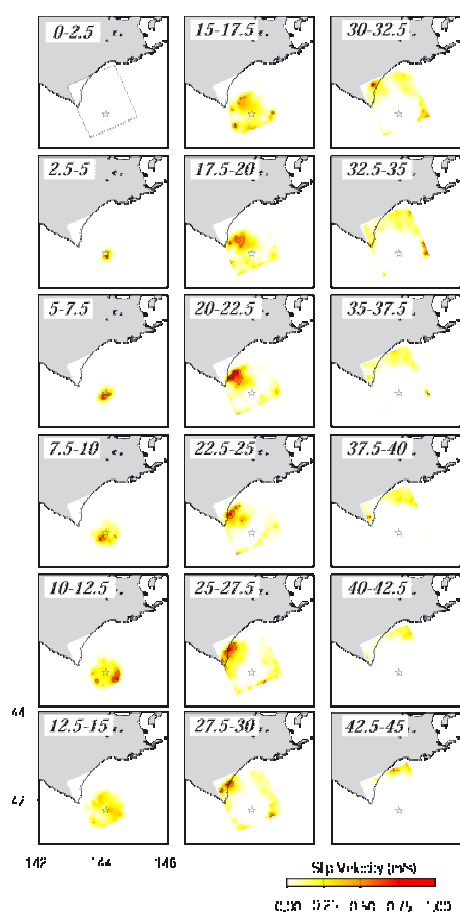


図5 破壊伝播のスナップショット

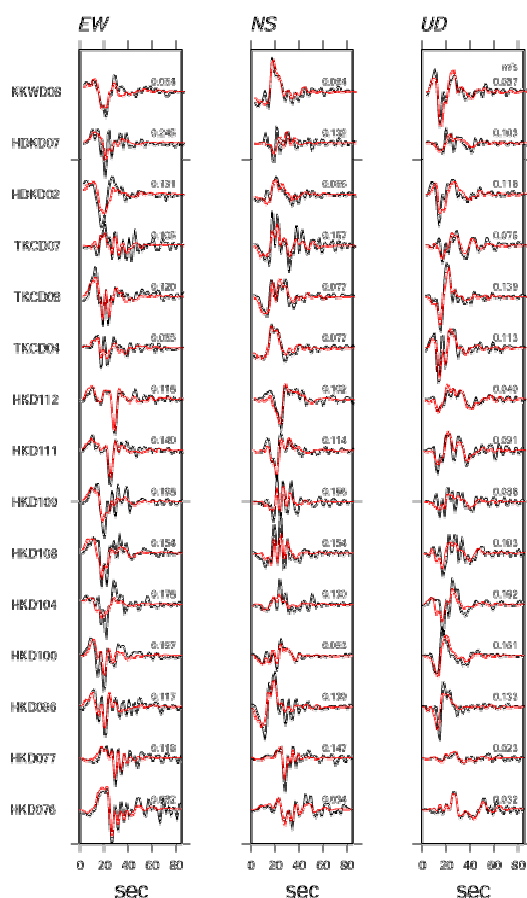


図6 観測波形(黒)と理論波形(赤)の比較

図5に2.5秒毎のスナップショットを示す。大きな破壊は震源から北西に向かって伝播しているように見える。図4の最大アスペリティの深い部分で1m/s近い大きな滑り速度が見積もられている。図6に観測波形と理論波形の比較を示す。観測された加速度波形を積分した速度波形に5秒から50秒のフィルターをかけ、S波の到着時刻の5秒前から80秒後までを切り出しデータとした。ほとんどの観測点で波形の最大振幅をとる波は最大アスペリティからくるものであるが、道東のHKD076とHKD077の記録では、それより10秒ほど遅れてくる断層面北東部のアスペリティからの波がもっとも大きい。

3.1.2 特性化震源モデルによる強震動評価（暫定版）

2003年十勝沖地震は、K-NET・KiK-net等の全国的な強震観測網が整備されて以降始めて発生したM8クラスの海溝型地震である。これらの観測網で得られた貴重な強震記録を用いて、経験的グリーン関数法による観測波形の再現、及び震源インバージョンの結果を参考にして、海溝型地震に対する震源モデル作成のレシピに従って特性化震源モデルを設定し、観測記録との比較により、現在採用している強震動予測手法の検証を実施中である。

検証の第一段階として行った簡便法及び統計的グリーン関数法による強震動評価、特に面的な最大速度分布及び計測震度分布について、検討状況を報告する。なお、今回の報告は最終的なものではなく、低周波帯域に対する理論的計算は、現時点での検討には含まれていない。今後、差分法による理論計算を実施し、最終的にはハイブリッド法での波形合成結果について検討する予定である。本検証に用いた観測記録は、気象庁、防災科学技術研究所（K-NET、KiK-net）、北海道開発土木研究所（WISE）によるものである。

検討結果

1) 最大速度

簡便法（司・翠川 1999、森川他 2003）による評価結果と観測記録との比較を図 7 に、詳細法（統計的グリーン関数法）による評価結果と観測記録との比較を図 8 に示す。

2) 計測震度

簡便法による評価結果と観測記録との比較を図 9 に、詳細法（統計的グリーン関数法）による評価結果と観測記録との比較を図 10 に示す。簡便法による結果では震度 6 弱が最大であるが、詳細法による結果では震度 6 強となる地域が現れている。

3) 波形

詳細法工学的基盤（ $V_s=700\text{m/s}$ ）までのボーリングデータが存在する K-NET、KiK-net 観測点に関して、一次元重複反射理論による計算を行って「詳細法」による地表の波形を求め 2003 年十勝沖地震の観測記録との比較を行った。その結果を図 11 に示す。

4) 遠方の観測点における計測震度の過大評価について

遠方の観測点における計測震度値が過大評価となっている原因としては、最大速度において特に過大評価が顕著には見られないことから（図 7, 8）、計測震度の評価に用いている翠川・他（1999）による計測震度と最大速度の関係式

$$I = 2.68 + 1.72 \cdot \log PGV \pm 0.21 \quad (I = 4 \sim 7)$$

I : 計測震度 PGV : 地表最大速度 (cm/s)

の観測記録からのかい離が主要因であると考えられる（図 12）。そこで、より詳細な検討を行うため、詳細法評価結果に基づいた合成波形と観測記録の比較、及び最大速度及び計測震度について波形記録より求めた値と増幅率を用いた値を計算し、観測記録との比較を行った（表 4、図 13、14）。計測震度が過大評価となっている観測点（SRCH05、HKD033）の観測記録は、周期 2 秒程度よりも短い成分が著しく欠如しており、その結果として計測震度が最大速度と比べて小さくなっている。一方、詳細法による評価結果では観測記録よりも短周期成分が過大評価となっている。この要因として、評価に用いている Q 値（ $100 \times f^{1.0}$ ）がこれら遠方の地域に対しては、過大評価となっており、高周波成分の減衰が十分考慮されていないことが考えられる。

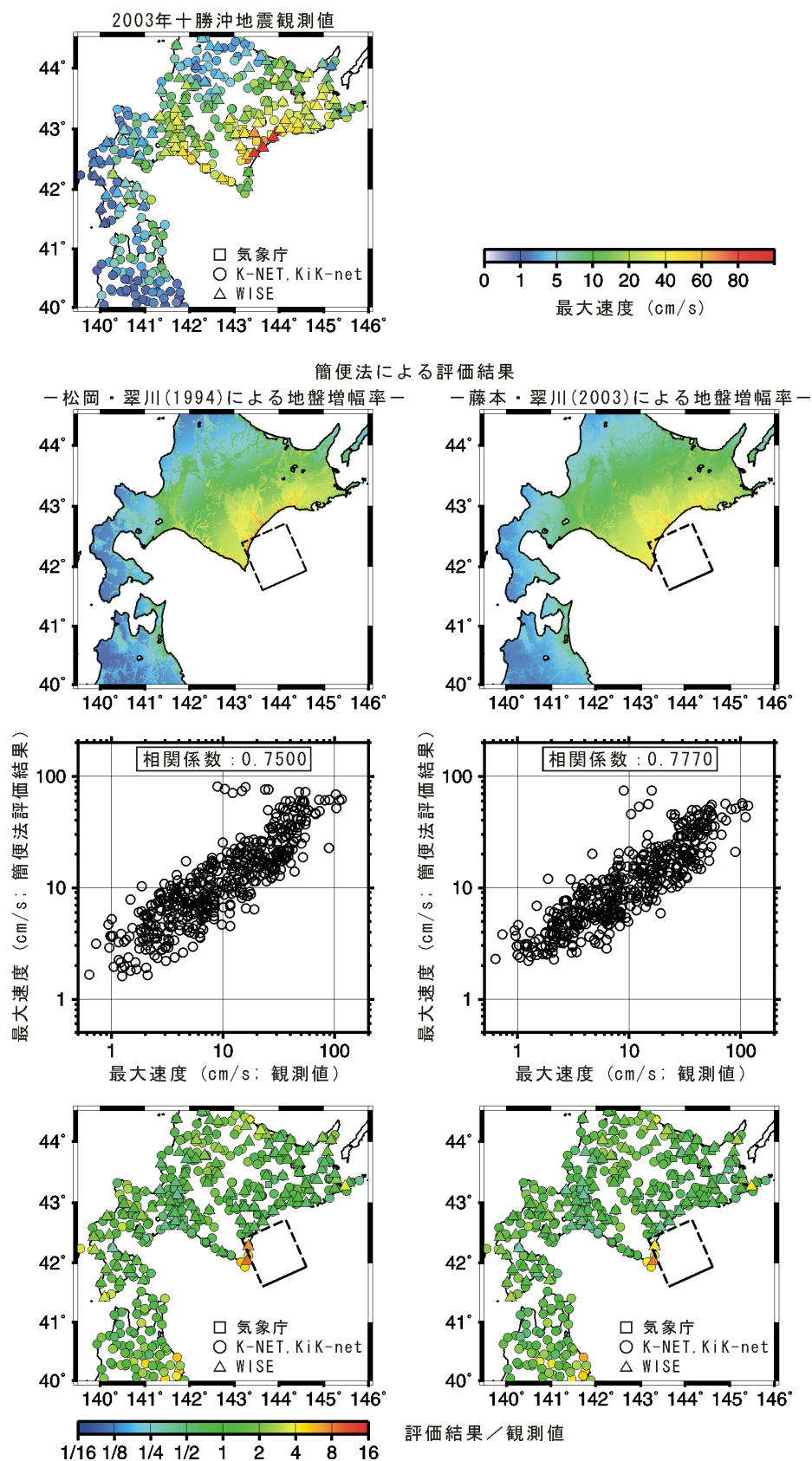


図7 簡便法による評価結果と2003年十勝沖地震における観測記録との比較(最大速度)

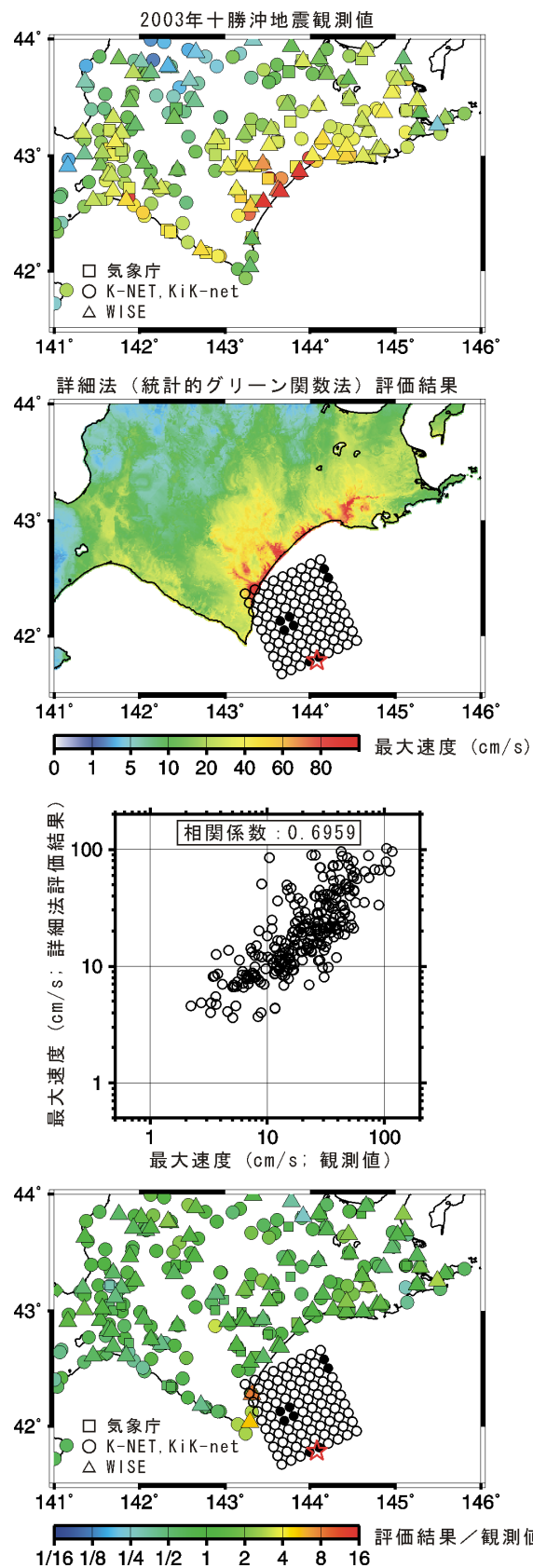


図8 詳細法による評価結果と2003年十勝沖地震における観測記録との比較（最大速度）

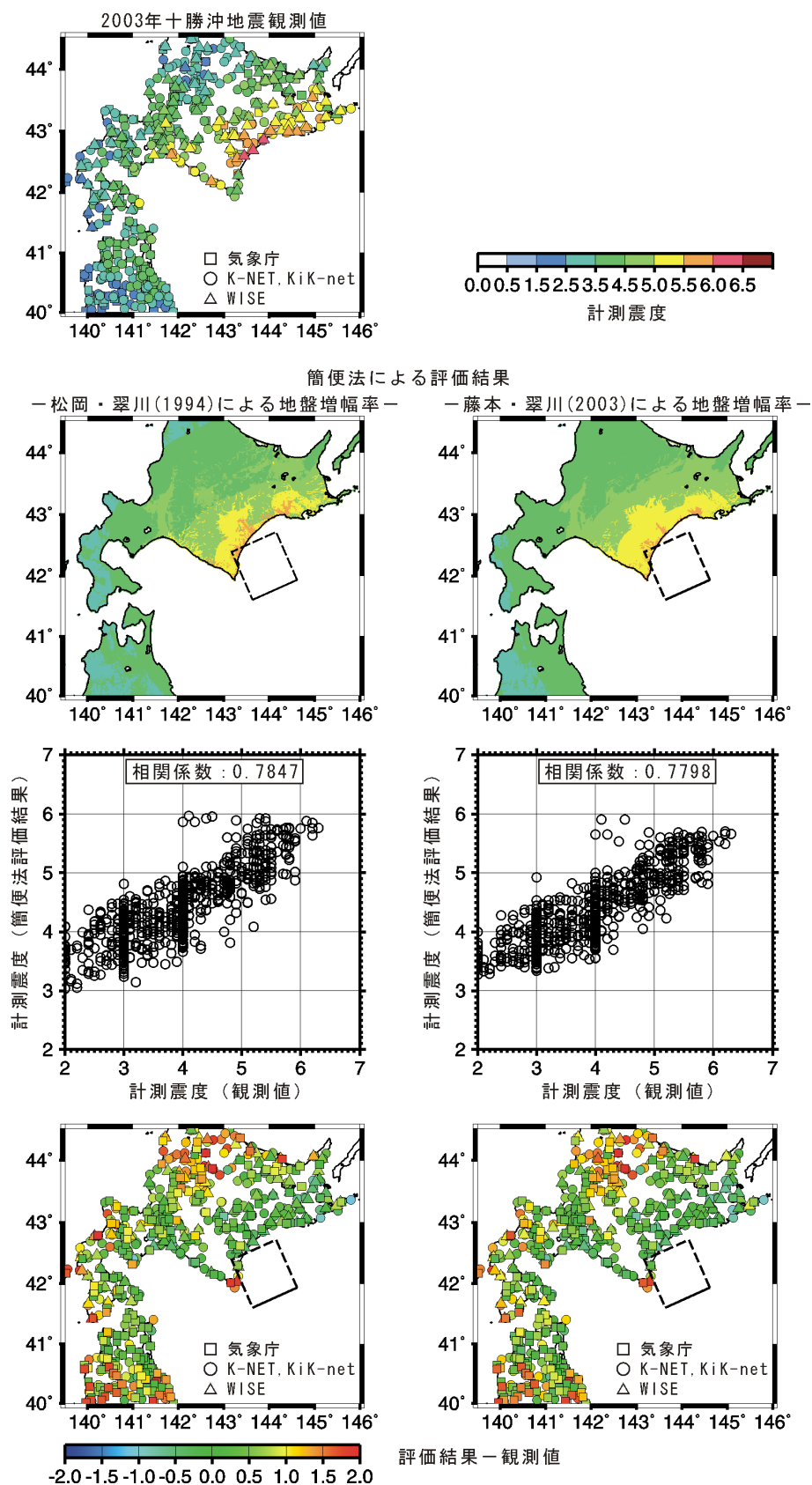


図9 簡便法による評価結果と2003年十勝沖地震における観測記録との比較(計測震度)

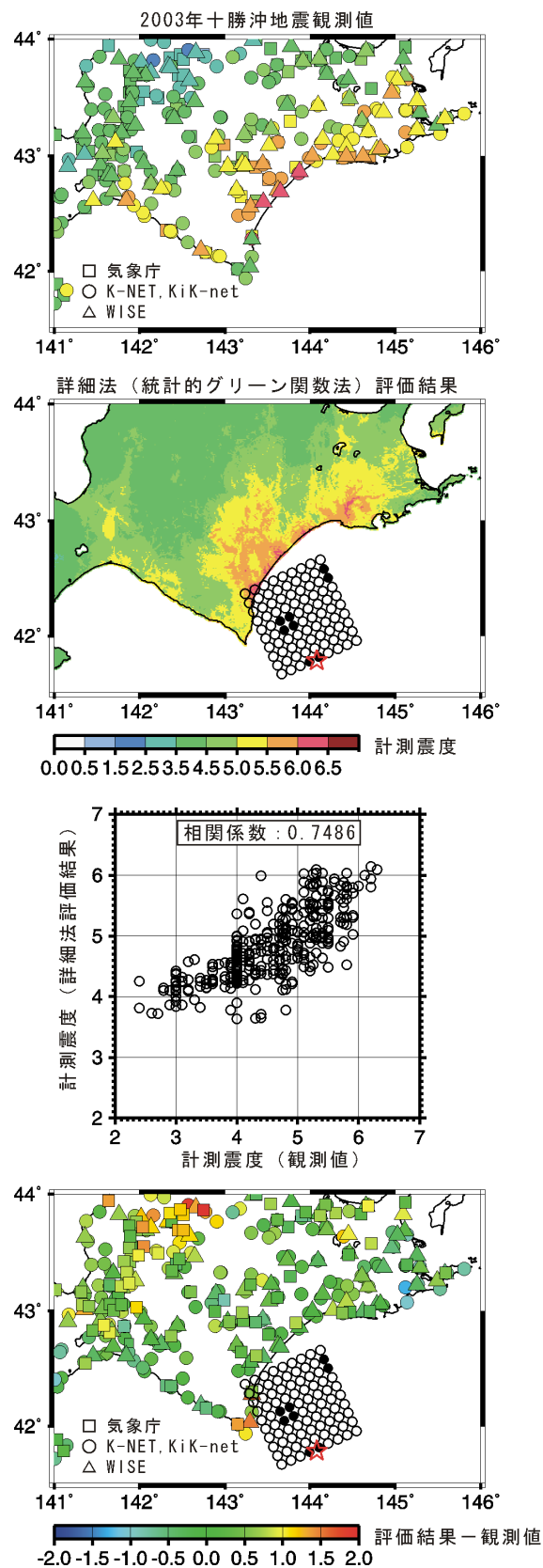


図 10 詳細法による評価結果と 2003 年十勝沖地震における観測記録との比較（計測震度）

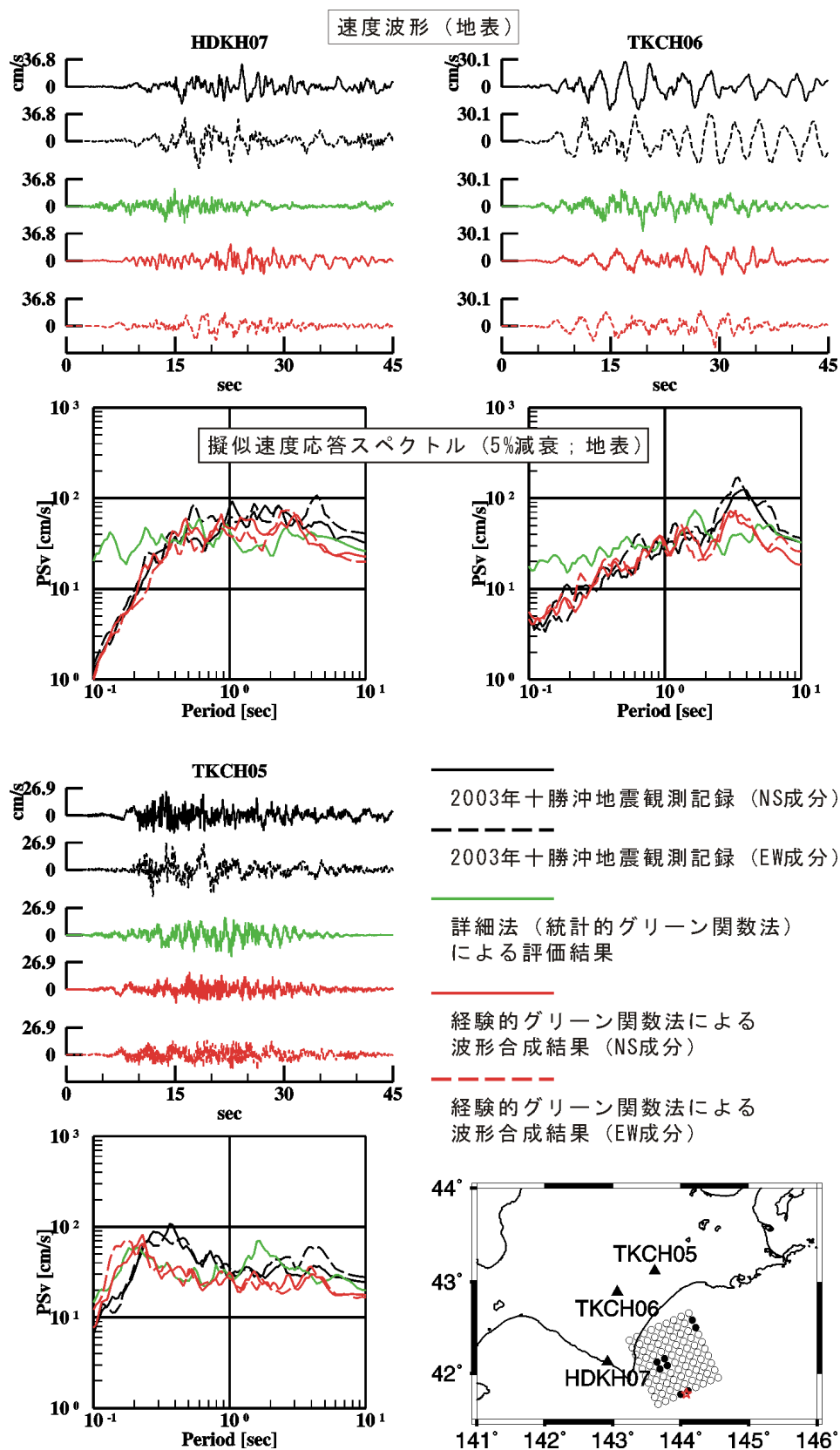


図 11 2003 年十勝沖地震における観測記録と詳細法による評価結果の波形比較の例

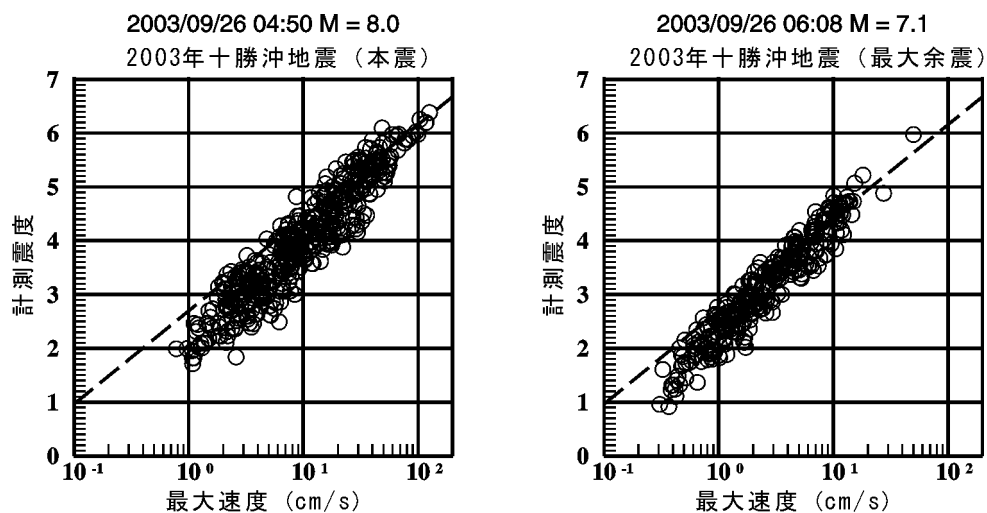


図 12 2003 年十勝沖地震における計測震度と最大速度の関係および翠川・他（1999）による経験式との比較

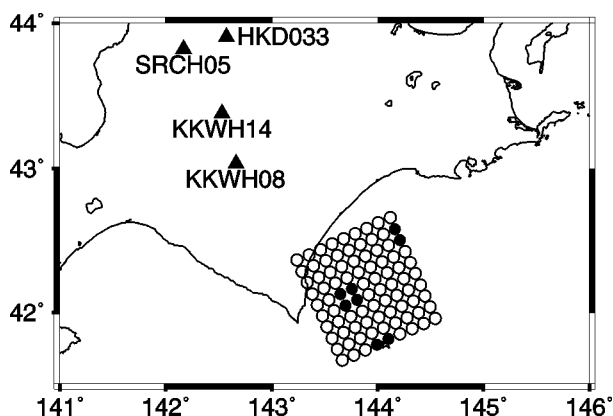


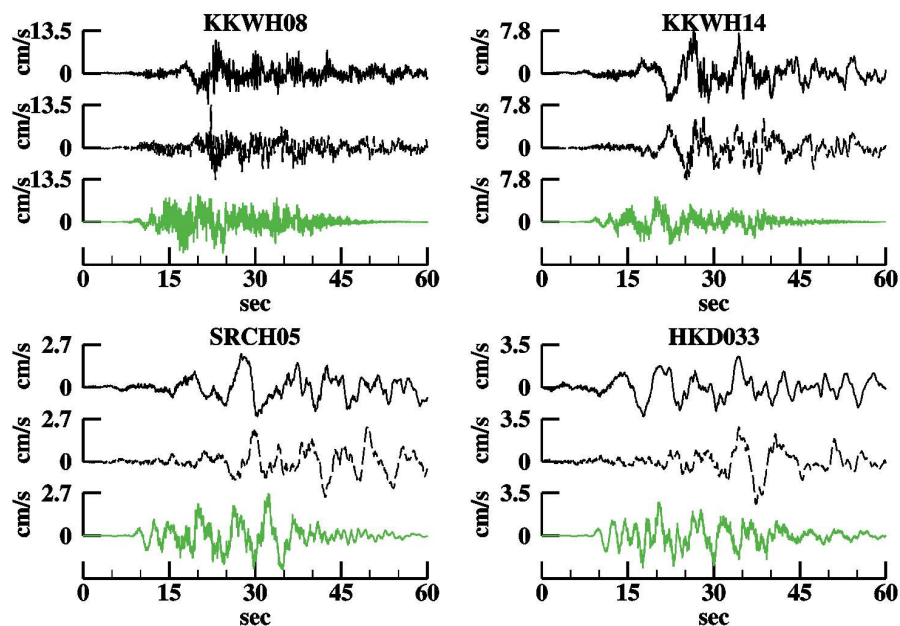
図 13 図 14 に波形例を示す観測点位置

表 4 最大速度および計測震度の一覧

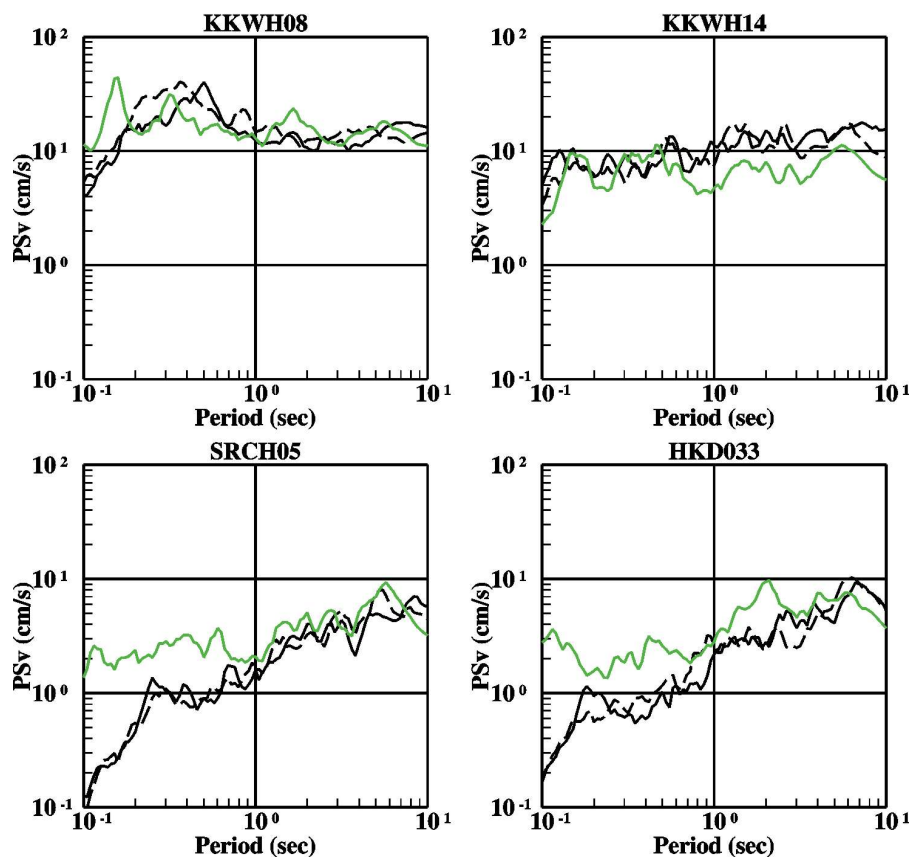
	最大速度 (cm/s；二成分合成)			計測震度		
	観測	詳細法		観測*	詳細法	
		波形	増幅率		波形*	増幅率
KKWH08	13.44	12.21	12.80	4.7(4.6)	5.0(4.5)	4.6
KKWH14	7.73	6.40	7.95	4.0(4.2)	4.0(4.1)	4.2
SRCH05	2.21	3.77	4.55	2.3(3.3)	3.1(3.7)	3.8
HKD033	3.42	3.93	8.13	2.4(3.6)	3.2(3.7)	4.3

*カッコ内は翠川・他（1999）による関係式より求められる計測震度

速度波形（地表）



擬似速度応答スペクトル（5%減衰；地表）



— 2003年十勝沖地震観測記録（NS成分）
 - - - 2003年十勝沖地震観測記録（EW成分）
 — 詳細法（統計的グリーン関数法）評価結果

図 14 2003 年十勝沖地震の観測記録と詳細法による評価結果の例

3.2 強震動シミュレーションツールの開発

詳細法による強震動評価においては、与えられた地下構造モデルと震源モデルに対して、3次元弾性波動方程式を解いて地震動を理論的に計算するための作業量が膨大なものとなる。計算機の性能が向上し、大規模な計算が可能になりつつあるとは言え、計算の効率化は、より進んだ強震動評価手法を検討するための重要なポイントとなっている。このため、理論的な手法による地震動シミュレーション手法の高度化が不可欠となっており、各種の計算手法の開発（Aoi and Fujiwara 1999、藤原・藤枝 2002）及び計算補助ツールの開発を実施している。

3次元波動伝播シミュレーションを行うためには、地下構造モデルや震源モデルなど煩雑なパラメータ設定が必要となり、また計算結果の出力も膨大なものとなる。このため、従来の手作的なプログラムでは、手法やプログラムの詳細を知らないと実用的な計算を行うことは困難である。これらの不便を解消するため、操作性の高い GUI (Graphical User Interface) を採用し、直感的に作業の出来る、3次元差分法による地震動計算ツール GMS (Ground Motion Simulator) の開発・改良を行った。また、本システムは、PC やワークステーション等の安価で汎用的なプラットフォーム上で使用できるため、容易に3次元有限差分法による地震波伝播のシミュレーションを行うことが出来るように設計されている。GMS は、実際の予測地図作成作業にも使用されている（図 15）。

なお、この地震動計算ツール GMS は、地震動予測地図プロジェクトのホームページ (<http://www.j-map.bosai.go.jp>) より公開されており、インターネットを介して、誰でも利用可能となっている。

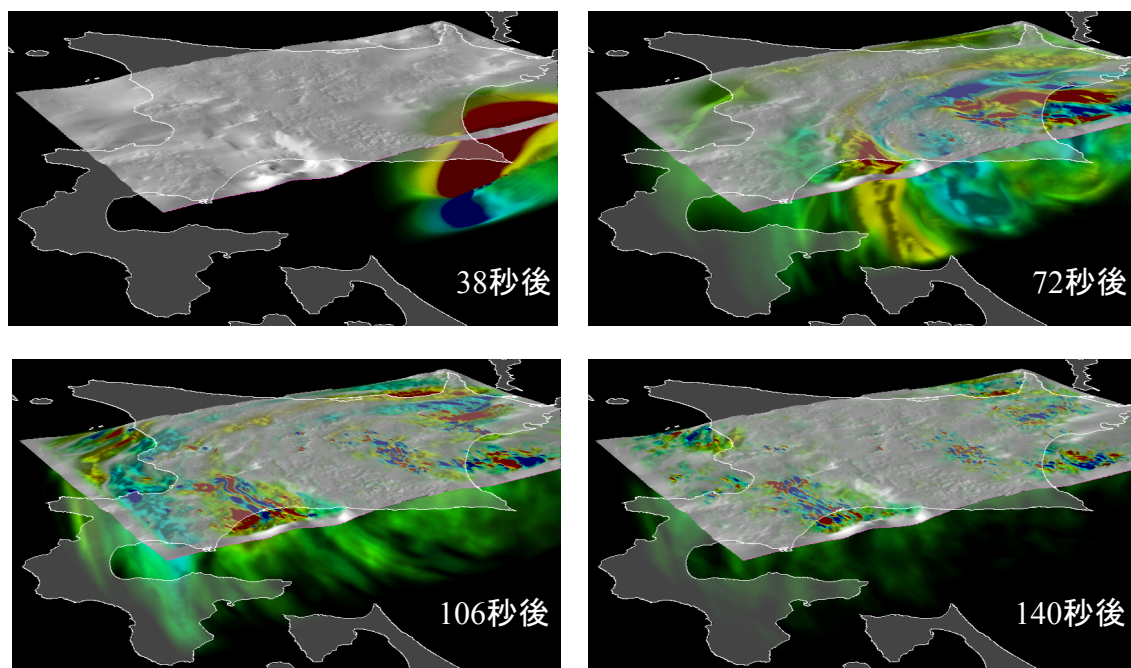


図 15 有限差分法により計算された地震波伝播のようす。勇払平野では、厚い堆積層の影響により長時間揺れが続いている。

4. 統合化地下構造データベースの構築に向けて

強震動評価の精度向上のためには、より正確な地下構造のモデル化が不可欠である。地震動予測地図のうち、震源断層を特定した地震動予測地図の作成のために用いられている詳細な強震動評価では、ハイブリッド法と呼ばれる手法が採用されている。ハイブリッド法のための地下構造のモデル化では、上部マントルから地震基盤（S波速度3km/s相当層）までの地殻構造、地震基盤から工学的基盤（S波速度400m/s～700m/s相当層）までの深部地盤構造、工学的基盤から地表までの浅部地盤構造に分けてモデル化を行う必要がある（図16）。しかし、現状では、精度の高い強震動評価に必要な地下構造のモデル化が実施できない場合がある。この原因は、モデリング手法そのものの限界ではなく、モデル化に必要とされる地下構造に関する情報の不足による場合が圧倒的に多い。こうした問題の解決のためには、新たな地下構造調査の推進は言うまでもないが、今後の調査により得られるデータだけでなく、既に取得されているデータについても、データの散逸を防ぎ、将来的にはデータの共有化を視野に入れたデータベース化が不可欠と考えられる。

防災科研では、地震防災、特に強震動評価を軸として、地震動予測地図の作成をはじめとして、地震工学、地震学、地球科学等の研究に活用できる、様々な地下構造に関するデータを整理した統合化地下構造データベース作成に向けての取り組みを平成15年度より開始している。関連するプロジェクトの連携を図り、地震動予測地図作成のために収集した地下構造に関する各種データ、防災科研がこれまでに実施した研究により収集されている深層ボーリングや反射法等による地下構造データ、Hi-net、F-net、K-NET、KiK-net等の地震観測網により得られたデータの解析により求められた地下構造に関するデータに加え、文部科学省の地震関係基礎調査交付金によりこれまでに実施されてきた活断層調査及び地下構造調査で得られた地下構造に関するデータ等を統合し、表層地盤から深部地盤、地殻、プレート構造に及ぶ広範囲の地下構造に関するデータを網羅したデータベースの作成に着手している。さらに、「地下構造データベース検討ワーキンググループ（座長：翠川三郎）」を設置し、将来のデータベースのあり方等についても議論を開始すると同時に、協力が得られる関係機関との連携を図り、データベース構築に関する具体的な問題点を抽出・検討を実施している。さらに、データベースの利用について検討するために、関東地域を対象としたデータ収集・データベース化を行っている。

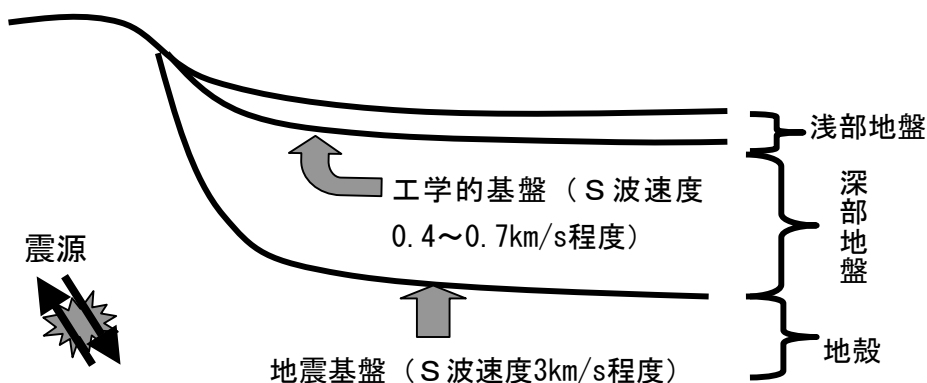


図16 地下構造のモデル化のイメージ図

図 17 防災科学技術研究所の地下構造データベース

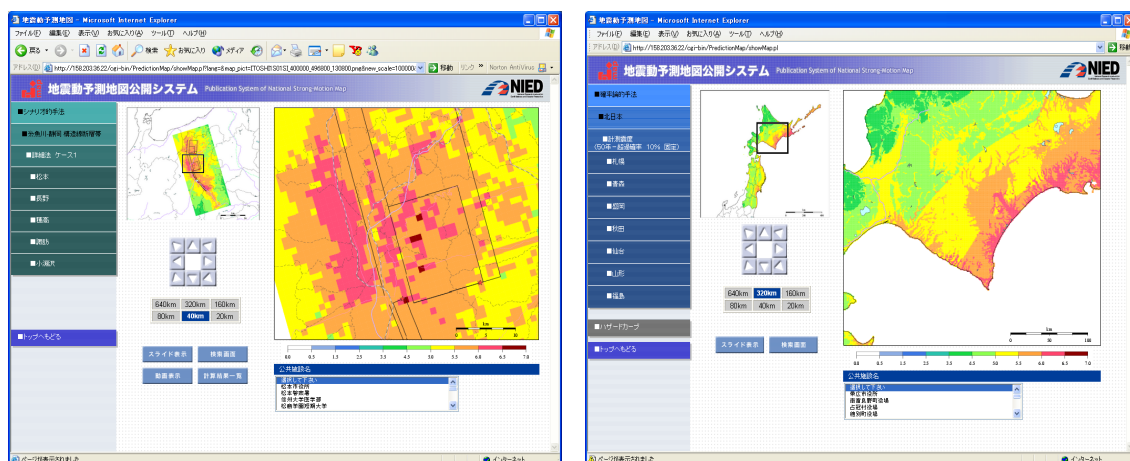


図 18 地震動予測地図公開システムのイメージ図

5. 地震動予測地図公開システムに関する検討

地震動予測地図は、単に地表での震度値のみを公表するだけでなく、確率論的地震動予測地図においては、様々な形態で表現された地図や、ハザード曲線のデータ、計算に用いた震源に関するデータ等、また、シナリオ地震地図においては、工学的基盤における最大速度、さらには時刻歴波形のデータ等についてもWEBやCD-ROM等を用いた公開手法の技術的な検討を実施している。

謝辞

本研究は、地震調査研究推進本部地震調査委員会、長期評価部会、強震動評価部会及び関連する分科会の指導の下に実施されました。防災科学技術研究所に設置された確率論的予測地図作成手法検討委員会（翠川三郎委員長）、及び、地震動予測地図工学利用検討委員会（亀田弘行委員長）からは、貴重なご意見を頂きました。また、検討作業を担当いただいているプロジェクト関係者の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 損害保険料率算定会（2000） 活断層と歴史地震とを考慮した地震危険度評価の研究—地震ハザードマップの提案—、地震保険調査研究 47.
- 司宏俊・翠川三郎（1999） 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式、日本建築学会構造系論文集、第 523 号、63-70.
- 翠川三郎・大竹雄（2003） 地震動強さの距離減衰式に見られるバラツキに関する基礎的分析、日本地震工学会論文集、第 3 巻、第 1 号、59-70.
- Honda, R., S. Aoi, N. Morikawa, H. Sekiguchi, T. Kunugi and H. Fujiwara. (2004) Ground Motion and Rupture Process of the 2003 Tokachi-oki Earthquake Obtained from Strong Motion Data of K-NET and KiK-net. EPS (submitted)

森川信之・神野達夫・成田章・藤原広行・福島美光(2003) 東北日本の異常震域に対応するための距離減衰式の補正係数、日本地震工学会論文集、第3巻、第4号、14-26.

翠川三郎・藤本一雄・村松郁栄(1999) 計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係、地域安全学会論文集、Vol. 1、51-56.

松岡昌志・翠川三郎(1994) 国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング、第22回地盤震動シンポジウム論文集、23-34.

藤本一雄・翠川三郎(2003) 日本全国を対象とした国土数値情報に基づく地盤の平均S波速度分布の推定、日本地震工学会論文集、第3巻、第3号、13-27.

藤原広行・藤枝忠臣(2002) 3次元動弾性解析のためのボクセル有限要素法、第11回日本地震工学シンポジウム論文集.

Aoi, S. and H. Fujiwara (1999). 3D Finite-Difference Method using discontinuous grids, Bull. Seism. Soc. Am. 89, 918-930.

付録

平成15年度 地震動予測地図作成プロジェクトスタッフ

藤原広行 (プロジェクトディレクター)

河合伸一 (サブディレクター)

青井 真 (主任研究員)

功刀 卓 (研究員)

石井 透 (客員研究員)

早川 譲 (客員研究員)

奥村俊彦 (客員研究員)

渡辺基史 (客員研究員)

福島美光 (客員研究員)

神野達夫 (客員研究員)

森川信之 (特別研究員)

本多 亮 (特別研究員)

大井昌弘 (特別技術員)

小澤京子 (特別技術員)

先名重樹 (特別技術員)

八十島裕 (特別技術員)

奥村直子 (技術補助員)