

3. 3 海域における断層モデルの構築

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 海域における断層モデルの構築

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人防災科学技術研究所	部門長	藤原 広行
	総括主任研究員	平田 賢治
	総括主任研究員	高橋 成実
	主任研究員	中村 洋光
	主幹研究員	大角 恒雄
	主任研究員	森川 信之
	主任研究員	前田 宜浩
	主任研究員	河合 伸一
	特別研究員	土肥 裕史

(c) 業務の目的

サブテーマ(2)で再解析・解釈して求めた日本周辺海域の三次元断層分布から、断層面の広がり大きい主断層を抽出し、断層モデルを構築する。M7程度以上であると推定されるもので、かつ、津波や地震動の記録が存在する地震の震源断層と考えられるものについては、地震動と津波のシミュレーションを行うことにより、構築した断層モデルの妥当性を検証する。モデル構築及びシミュレーションについては、必要に応じて地震本部地震調査委員会の下に設置された評価部会等に報告し、その議論も踏まえて進める。また、断層分布と地殻内の変形構造との整合性を確認する。

(d) 7ヵ年の年次実施業務の要約

1) 平成25年度：

サブテーマ(1)でのデータベース構築と平行して、断層モデルの構築手法を検討した。

2) 平成26年度：

解釈を終えた日本海の断層分布から主断層を抽出、津波や地震動の記録が存在するM7程度以上の断層モデルについて、強震動や津波のハザード評価に資する検討を行った。

3) 平成27年度：

解釈を終えた日本海の断層分布から主断層を抽出、津波や地震動の記録が存在するM7程度以上の断層モデルについて、強震動や津波のハザード評価に資する検討を行った。

た。

4) 平成 28 年度：

解釈を終えた南西諸島海域の断層分布から主断層を抽出、津波や地震動の記録が存在するM7程度以上の断層モデルについて、強震動や津波のハザード評価に資する検討を行った。断層モデル例を公開システムの仕様検討担当のサブテーマ(1)に提供を行った。

5) 平成 29 年度：

解釈を終えた南西諸島海域の断層分布から主断層を抽出、津波や地震動の記録が存在するM7程度以上の断層モデルについて、強震動や津波のハザード評価に資する検討を行った。

6) 平成 30 年度：

解釈を終えた伊豆・小笠原海域の断層分布から主断層を抽出、津波や地震動の記録が存在するM7程度以上の断層モデルについて、強震動や津波のハザード評価に資する検討を行った。

7) 令和元年度：

解釈を終えた南海トラフ域の断層分布から主断層を抽出、津波や地震動の記録が存在するM7以上の断層モデルについて、強震動や津波のハザード評価に資する検討を行う。評価した断層モデル全体をとりまとめ、データ公開システム上での検索・表示内容の確認を行う。

(2) 令和元年度の成果

(a) 業務の要約

平成 30 年度及び今年度にサブテーマ 2 で探査データ及び地形の解析・解釈が行われた南海トラフ周辺の断層データを整理し、断層モデルの構築を行った。断層モデルの構築に必要なパラメータは、基本的にはこれまで本業務で検討した設定方法を参照し設定したが、以下の点については、南海トラフ周辺海域特有の条件を考慮した。

- ・島弧から離れたコンラッド面が存在しない海域の断層については、フィリピン海プレート上面を平均的な断層下端として設定した。
- ・トラフ軸付近で確認されているプレート境界面に収れんする逆断層については、サブテーマ 2 で得られた断面イメージを用いて、認識論的不確定性を考慮して深さにより傾きが異なる断層面形状を検討したモデルを設定した。

本検討で設定した断層モデルは、断層パラメータを平均的な値に設定した基本モデルが 381 個、断層下端深度及び断層面形状について認識論的不確定性を考慮して設定したモデルが 191 個である。

設定した断層モデルの一部を用いて津波予測計算の概略計算を行ったところ、特に熊野灘沖の断層において本州沿岸に与える影響が大きく、沿岸に最大約 2.6 m の津波が到達することが予測された。トラフ軸周辺に分布する逆断層については、基本モデルと認識論的不確定性を考慮した深さにより傾きが異なるモデルのそれぞれを用いて津波・地震動の予測計算を行い、断層面形状の認識論的不確定性を考慮することによる影響を見積もった。その結果、認識論的不確定性を考慮したモデルの方が沿岸の最大の津波高は 1.5～4 倍程度、陸域の地震動の強さ（PGV、PGA）は 1.5～3 倍程度、計測震度の値だと 0.3～1 程度大きくなることが分かった。また、横ずれ断層モデルにおける縦ずれ成分の影響の評価を行い、今後の津波ハザード評価への影響を示唆した。

(b) 業務の成果（断層モデルの設定）

本業務において断層モデルは、サブテーマ 2 における調査結果に基づいて設定する。今回は、サブテーマ 2 で示された南海トラフ周辺海域の断層についてモデルを設定した。図 1 にサブテーマ 2 により整理された南海トラフ周辺海域における断層分布を示す。

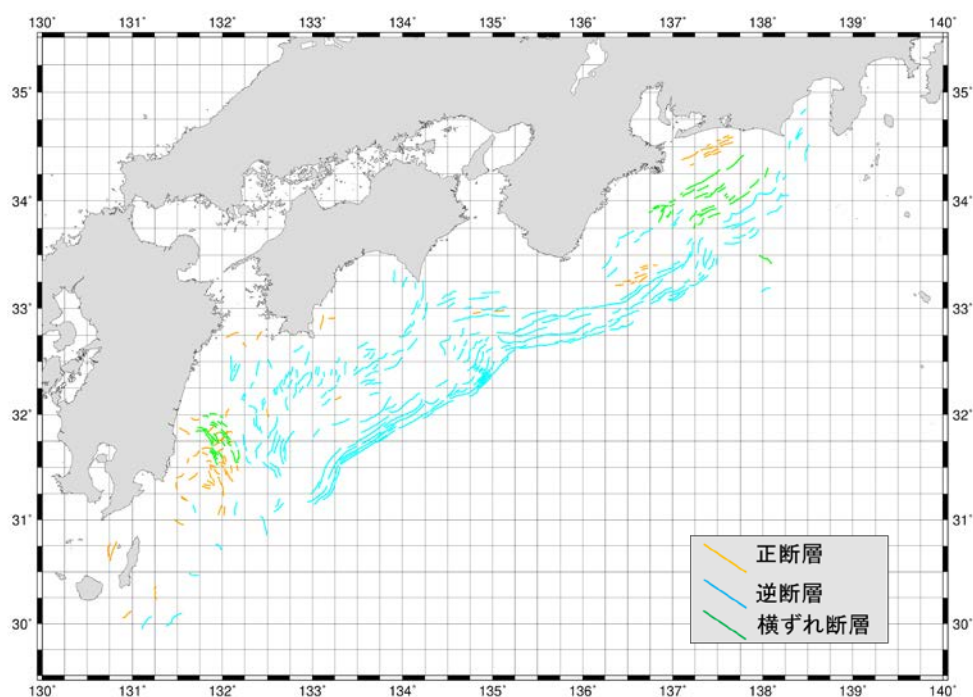


図1 サブテーマ2で整理された南海トラフ周辺海域における断層分布

1) 津波波源断層モデルの設定

波源断層モデルの設定として、断層の巨視的特性をあらわすパラメータと設定方法について検討した。サブテーマ2の地質学的・地球物理学的知見によるデータに基づいて断層パラメータを設定する際には、データをもとに設定することができるパラメータ（断層の位置、長さ、走向）と、データのみでは確定することができないパラメータ（断層の傾斜、上端深度、下端深度）がある。そのため、データが得られていないパラメータについては、先行研究や既往の断層モデルの設定方針も参照して設定した。ここでは主に「震源断層を特定した地震の強震動評価手法（「レシピ」）」（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2009）（以下、強震動レシピ）を参照し設定している。また、3）及び 4）で述べるような断層情報の不完全さやパラメータのばらつきの観点から、不確定性を考慮した断層モデルも設定した。断層パラメータを平均的な値にパラメータを設定したモデルを「基本モデル」、不確定性を考慮した値に設定したモデルを「認識論的不確定性を考慮したモデル」とした。

以下にそれぞれの断層パラメータの設定方法について記す。なお、基本的にはこれまで本業務で検討してきた設定に準じている。

断層の位置、長さ、走向

断層モデルの上端の位置はサブテーマ2において整理された音波探査で得られた断

層と海底面との交点の位置で設定する。音波探査断面による断層と海底面との交点のデータをつないで表現したものを断層トレースとし、これを1枚ないし複数枚の矩形で近似したものを断層モデルの断層面とする。断層トレースが途中で大きく向きを変える場合には複数枚の断層面を設定することとする。ただし、ここでの断層面の分割は地質学的・地形学的な境界としての意味を持つものではなく、断層トレースの形状を近似する上での表現上の分割であり、断層としては1本の断層として扱うものである。よって、断層の長さは矩形の上端部の長さの合計とする。走向は矩形の上端部の方向を走向とする。断層面を自分の方向に傾斜する（下がる）ように置いた場合に左上にくる点を断層の起点とする（佐藤・他，1989）。起点から終点をつなぐ線と真北に向かう線とが成す角度を北から測ったものを走向の角度とする。これら、断層の位置や長さの情報は、堆積層内部での断層の分岐や消滅などから断層の連続性や不連続性が不確かである可能性もある。特に断層端部の位置については判断が難しく、不確定性の大きな要因となる。サブテーマ2のデータにおける断層の連続性及び端部の位置については、海底地形のデータから判断されており、ある程度の連続性が考慮されたものであると言える。

ただし、長さが18 km未満の「短い断層」については、18 kmになるように断層の両端部を延長し検討することとした。「活断層の長期評価手法」報告書（暫定版）（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2010）では「地表に変位が現れている活断層については、最低限考慮すべき地震規模としてM6.8を設定する」としており、「短い活断層」と判断する「起震断層」の長さは15～18 km程度を目安とする」としている。この考え方を踏まえ、音波探査断面に変位が確認された断層は、確認された長さが18 km未満であっても、18 kmになるように両端を延長した。

断層上端深度の設定

断層上端深度は基本的に海底面（0 km）として設定する。以下、深度に関する表記はすべて海底面からの深さとして記述する。

本プロジェクト平成29年度報告書（文部科学省研究開発局・国立研究開発法人海洋研究開発機構，2018）で公開されているサブテーマ2の反射断面では、多くの断層で海底面付近にまで変位が達している。一部では、変位の上端が2～3 km程度とやや深い場所で確認されている断層もあるが、本プロジェクトで過去に実施した不確定性の評価の検討で、断層上端深度は0～3 kmの範囲では沿岸の津波高さに大きく影響しないことが示されている。

断層傾斜角の設定

断層傾斜角の設定は、本プロジェクトで過去に他海域で実施した設定方法と同様に、標準的な設定として、強震動レシピの方法に基づき、正断層を60°、逆断層を45°、横ずれ断層を90°として設定する。

ただし、南海トラフのトラフ軸周辺においては、沈み込んだプレートの上面から海底面に向かって伸びる逆断層の存在が確認されている（例えば、Park et al., 2002、Park

and Kodaira, 2012)。サブテーマ 2 でも 3) で詳しく述べるように熊野灘沖で上記と同様の特徴を持つ逆断層の断層面が確認されている。これらの断層では、断層の上部と下部で傾斜角が異なっている。今回の検討では、このような観測事実をふまえ、トラフ軸周辺の逆断層については、深度により異なる断層面形状を持つ断層モデルを設定した。具体的な設定方法は、3) で述べる。

断層下端深度の設定

断層下端深度は、サブテーマ 2 で得られた 3 次元速度構造データを参照し設定する。これまで日本海海域、南西諸島海域及び伊豆小笠原海域（アウターライズ領域を除く）では平均的な断層下端深度としてコンラッド面深度を参照してきた。南海トラフ周辺海域においてもこの考え方を踏襲し、コンラッド面深度を平均的な断層下端深度とする。しかし、南海トラフ周辺海域においては、南西諸島海域や伊豆小笠原海域に比べて、海側プレート（フィリピン海プレート）が陸側プレート（ユーラシアプレート）に緩やかに沈み込むため、島弧側に近い領域を除き大陸下部地殻（コンラッド面）が存在しない（図 2）。図 2 のサブテーマ 2 によるコンラッド面深度の値から、コンラッド面を下端とするモデルとした。本プロジェクトの構造探査の対象が深部断面を対象としているため、陸域のコンラッドについては、限られた測線情報に基づいたものであり、鳥取県西部直下は限定的な境界面情報を補間した結果、浅い構造となっている。なお、サブテーマ 2 で取り扱う対象領域は海域のみであるが、三次元速度構造を立体的に作成する都合上、モデル領域に陸域が含まれている。このような場合もあることを想定し、過年度以来、断層下端深度については認識論的不確定性を考慮した設定も検討した。このような南海トラフのトラフ軸周辺にある断層が単独で地震を生じた事例は少なく、またサブテーマ 2 による反射断面においても明瞭な断層下端位置を読み取ることができないため、断層下端深度の平均的な値を特定することが難しい。従って本検討では、コンラッド面が存在しない海域では、海底からプレート境界面までを地震発生層として考え、フィリピン海プレート上面（図 3）を断層下端とする基本モデルを設定した。また、この考えをコンラッド面が存在する海域においても適用し、認識論的不確定性を考慮した設定としてフィリピン海プレート上面を断層下端とした場合の断層モデルも設定した。一方、フィリピン海プレート上面を貫通するような断層は存在しないものと考え、コンラッド面が存在しない海域において、認識論的不確定性を考慮して断層下端深度を深くする場合は設定しないことにした。

サブテーマ 2 でも 3) で詳しく述べるように熊野灘沖で上記と同様の特徴を持つ逆断層の断層面が確認されている。これらの断層では、断層の上部と下部で傾斜角が異なっている。今回の検討では、このような観測事実をふまえ、トラフ軸周辺の逆断層については、深度により異なる断層面形状を持つ断層モデルを設定した。具体的な設定方法は、3) で述べる。まとめると下記及び図のようになる。

○コンラッド面が存在する島弧側領域（図 4 の I）

- ・平均的な断層下端深度の設定（基本モデル）：

サブテーマ 2 で得られた 3 次元速度構造データを参照し、コンラッド面深度を断層下端として設定した。

- ・ 認識論的不確定性を考慮した設定：

サブテーマ 2 で得られた 3 次元速度構造データを参照し、フィリピン海プレート上面深度を断層下端として設定した。

○コンラッド面が存在しないトラフ軸側領域（図 4 のⅡ）

- ・ 平均的な断層下端深度の設定（基本モデル）：

サブテーマ 2 で得られた 3 次元速度構造データを参照し、フィリピン海プレート上面深度を断層下端として設定した。

- ・ 認識論的不確定性を考慮した設定：

基本的には設定しない。ただし、後述のトラフ軸周辺の逆断層に関しては、断層傾斜角が基本モデルとは異なるため、フィリピン海プレートの沈み込み傾斜角を考慮して基本モデルよりも 2 km 深い深度を断層下端として設定した。

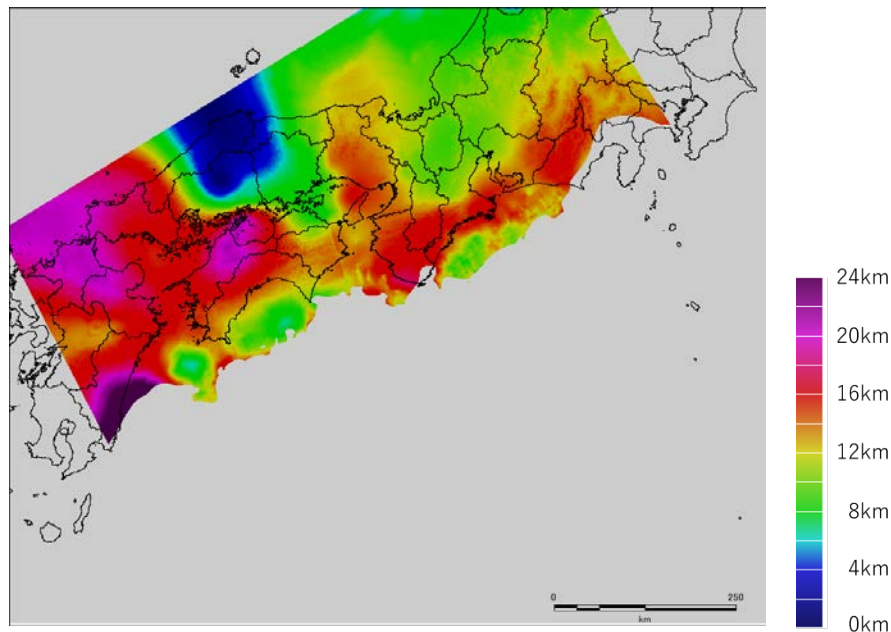


図 2 サブテーマ 2 によるコンラッド面深度の値

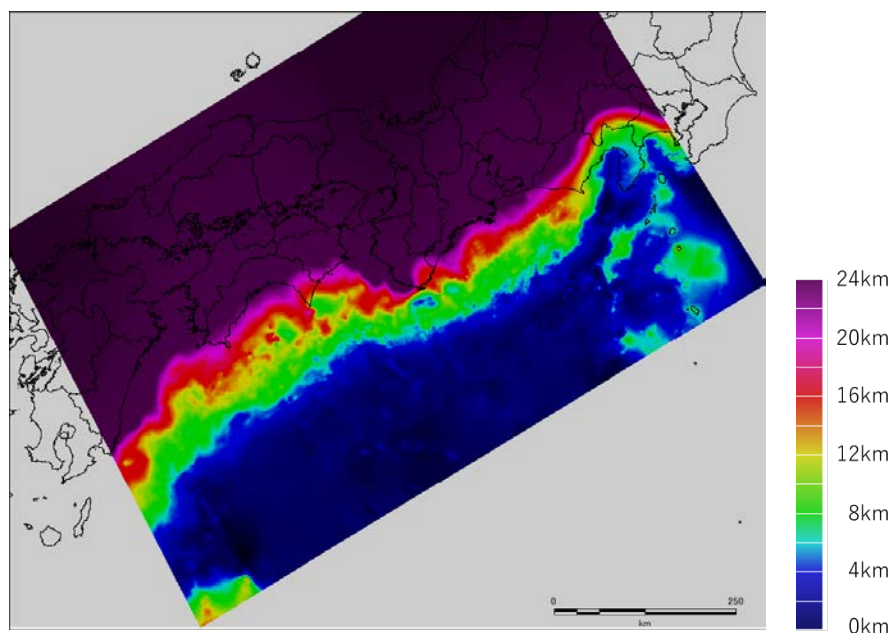


図3 サブテーマ2によるフィリピン海プレート上面深度の値

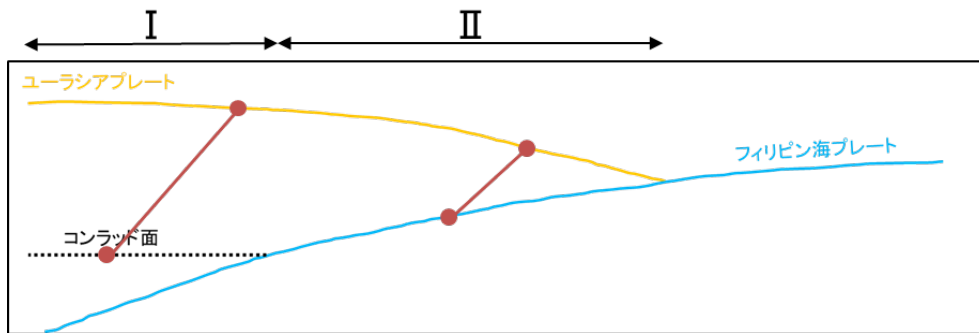


図4 南海トラフ周辺海域における基本モデルの断層上端・下端深度の設定概要図。Ⅰの領域ではコンラッド面深度を断層下端とし、Ⅱの領域ではフィリピン海プレート上面深度を断層下端とする。

基本モデルにおいて断層下端深度の参照値とした、サブテーマ2の3次元速度構造データの値を図5に示す。また今回、南海トラフ周辺海域を以下の5領域に領域区分した。

①島弧側海域

コンラッド面が存在する領域。宮崎県沖東部から遠州灘まで東西方向に広い範囲で延びる領域であるが、この領域に位置する海域断層は少なく、断層の位置するコンラッド面深度の値は10 km～14 km程度のため、断層下端深度14 kmの領域とした。

②宮崎・鹿児島県沖

コンラッド面が存在しない領域。宮崎県沖から鹿児島県沖にかけての領域で、他の海域に比べるとフィリピン海プレート上面深度が深い。この領域における断層下端深度を18 kmとした。なお、鹿児島県沖についてはサブテーマ2の3次元速度構造データが作成されていない領域であるが、宮崎県沖の範囲をそのまま延長して考えた。

③プレート上面12 kmの領域

コンラッド面が存在しない領域。鹿児島県沖東部から御前崎周辺までの、海岸から沖合に30 km～70 km程度離れた領域。断層の位置するフィリピン海プレート上面深度の値は8 km～12 km程度のため、断層下端深度12 kmの領域とした。

④トラフ軸周辺海域

コンラッド面が存在しない領域。トラフ軸から島弧側に 50 km 程度の範囲の領域。プレート境界に収れんするような逆断層の存在が想定される領域。領域内のプレート上面深度は浅く、断層下端深度 6 km とした。

⑤トラフ軸外洋の領域

サブテーマ 2 で整理された断層群のうち、上記の 4 領域の範囲外となる断層として、トラフ軸より外洋側に横ずれ断層が 2 本、逆断層が 1 本確認されている。この断層は、伊豆小笠原海域で対象とした銭洲海嶺の断層群から連続する領域に位置している。従って、この領域の断層に関しては、伊豆小笠原海域の断層設定方法を適用し、基本モデルは海洋地殻のコンラッド面深度を参照して 12 km、認識論的不確定性を考慮した設定として基本モデルの断層幅に 5 km 加えたパラメータを設定した。

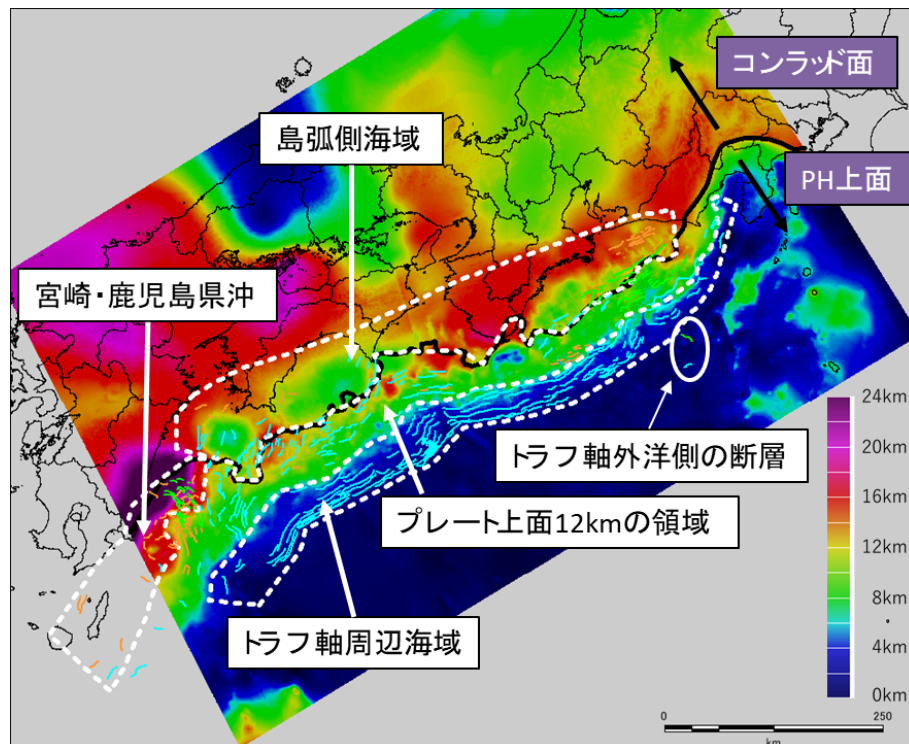


図5 南海トラフ周辺海域で基本モデルの断層下端深度として参照した 3 次元速度構造データ（黒線より北西側はコンラッド面、南東側はフィリピン海プレート上面深度）及び、領域区分

断層幅の設定

断層幅は、断層上端深度及び断層下端深度と傾斜角の関係から設定する。断層幅が合計断層長さを上回る場合には、断層幅と合計断層長さが等しくなるように断層下端深度を浅く設定する。

すべり角の設定

サブテーマ2において、すべり角を推定できるようなデータが得られていないため、強震動レシピの考え方から、正断層 270° 、逆断層 90° 、右横ずれ断層 180° 、左横ずれ断層 0° として設定する。

なお、本検討の設定方法で横ずれ断層の断層モデルを設定する場合、縦ずれ成分を全く含まない完全な横ずれ断層となり、そのような断層モデルから想定される津波高さは非常に小さいものとなる。ただし、現実には、縦ずれ成分を含まない横ずれ断層の存在は、稀なものであり、横ずれ断層における縦ずれ成分の扱いは課題である。今回は、後述の4)において、横ずれ断層に縦ずれ成分を考慮した場合の津波計算事例を示す。

すべり量の設定

断層面上の平均すべり量は、断層面積とモーメント量の経験的關係を示すスケーリング則から設定し、偶然的ばらつきを考慮する。断層面積をもとに、入倉・三宅(2001)のスケーリング則の平均的な値として設定し、 $+1\sigma$ 程度のばらつきの範囲を考慮することで観測データ及び実際の断層のジオメトリや断層運動、物理量等に含まれるばらつきを包含することとする。

スケーリング則で推定されたモーメント量から平均すべり量を算出する際に用いる剛性率の設定については、対象となる断層が、トラフ軸外洋の断層を除き、陸側プレート上の断層であるため、日本海及び南西諸島海域で採用した値、 3.43×10^{10} (N/m²)を用いることとする(トラフ軸外洋の断層については、伊豆小笠原海域と同じ 5.0×10^{10} N/m²を用いる)。

以上の方法により設定した断層モデル群のうち基本モデルのみを図6に示す。これらの詳しい位置とパラメータは付録1に記載した。合計381本の断層データをモデル化した。うち、逆断層は242本、正断層は78本、横ずれ断層は61本である。認識論的不確定性を考慮したモデルの分布及び特徴については、3)で述べる。

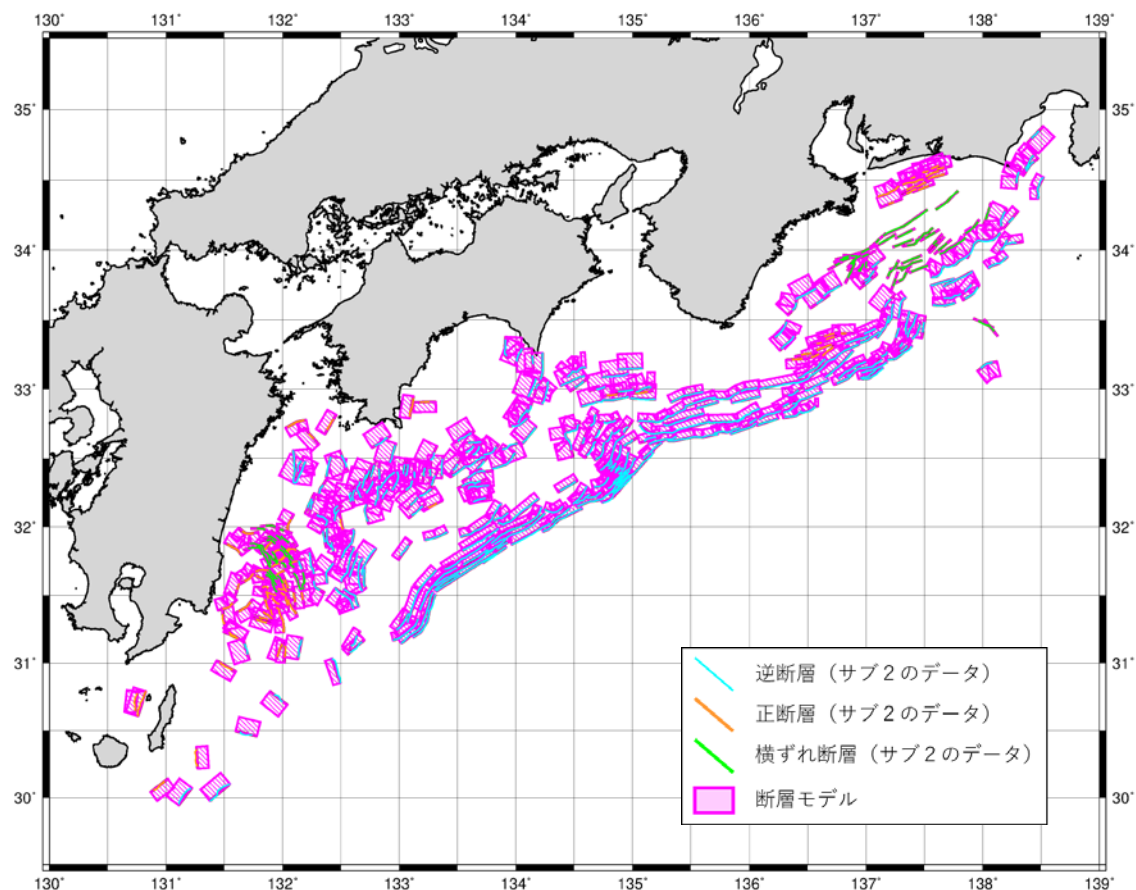


図6 本検討により設定した南海トラフ周辺海域の断層モデル群の分布（基本モデル）

・設定した断層モデル群の特徴

設定した断層モデル群の特徴について、断層長さ別の頻度分布と、断層モデルの面積から推定される地震規模（ M_w ）の頻度分布の観点から整理した。

図7は、設定した基本モデルの断層モデル群についての断層長さレンジ別の個数分布（a）とその累積個数分布（b）、サブテーマ2の断層データについての断層長さレンジ別の本数分布（c）とその累積本数分布（d）である。断層モデルでは18 kmより短い断層は両端を延長して18 kmとしてモデル化しているため、サブテーマ2のデータにみられる10 kmより短い断層は、断層モデルでは10～20 kmのレンジでカウントされている。また、全体の約80%が長さ20 km以下の断層であり、南海トラフ周辺海域では、短い断層が多いと言える。ただし、逆断層型の断層については、最大で長さ89 kmと比較的長いものも存在している。

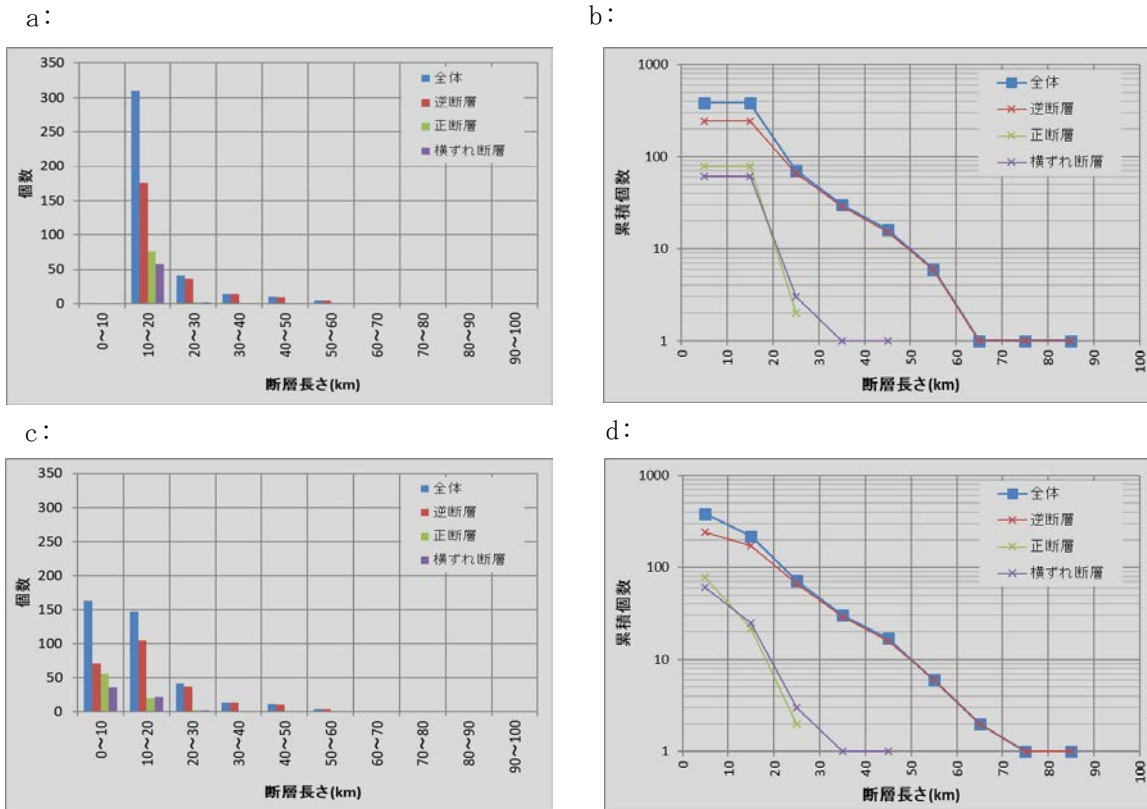


図7 設定した断層モデル群の長さ及び想定される地震規模の特徴。a:設定した断層モデル群について断層長さレンジ別の個数分布、b:設定した断層モデル群について断層長さレンジ別の累積個数分布、c:サブテーマ2断層のデータについての断層長さレンジ別の本数分布、d:サブテーマ2の断層データについて断層長さレンジ別の累積本数分布。

断層モデルから想定される地震規模(Mw)別の個数分布と累積個数分布を図8に示す。南海トラフ周辺海域で設定した基本モデルは全てが Mw7.0 よりも小さい断層であるが、断層タイプ別で見ると、逆断層タイプは Mw6.1~6.2 及び Mw6.3~6.5 のモデル、正断層タイプは Mw6.3~6.5 のモデル、横ずれ断層タイプは Mw6.2~6.5 のモデルが大部分を占める。また、規模別累積度数分布は、通常、直線的な分布を示す G-R 則的な分布には、厳密には従っていないように見える。断層モデルの設定方法として、長さ 18 km 未満の断層は 18 km になるように断層の両端部を延長しているため、短い断層については他の断層と同等の条件よりも地震規模が大きく見積もられている可能性もある。

断層活動から考えると、設定した断層の一部のみの活動で発生する地震がある可能性もしくは、断層の一部が活動したときの痕跡が累積して見かけは現在のような断層の連続(断層長さ)の形になった可能性もある。一方、通常、G-R 則は「ある一定の期間内に発生した地震」に対しておおむねこれにしたがうとされる法則であり、マグニチュードと頻度の分布から「その期間」内に発生する可能性があった地震の上限を推定できるものである。これを活断層にあてはめた場合には、「期間」の設定は難しいことに留意する必要がある。

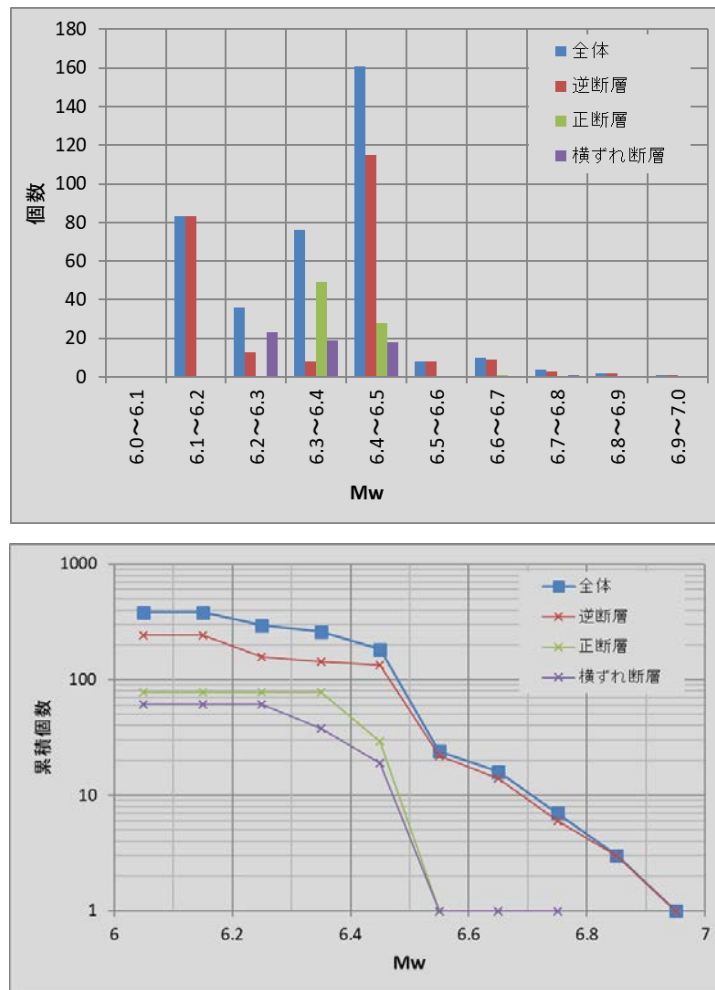


図8 断層モデル（基本モデル）の面積から想定される地震規模（Mw）別個数分布（上図）と累積個数分布（下図）

また本プロジェクトにおいて他の海域で作成した断層モデルの最大地震規模は、基本モデルのみに限定すると、日本海海域では Mw7.6、南西諸島海域では Mw7.6、伊豆小笠原海域では Mw8.3 であったのに対して、今回の南海トラフ周辺海域では Mw6.9 である。南海トラフ周辺海域では他の海域に比べると地震規模の大きくなる断層モデルが存在しないといえる。この理由として次の2点が考えられる。

- ・南海トラフ周辺海域における断層長さが 50 kmを超える長い断層は、トラフ軸周辺の海域に存在する断層である。トラフ軸周辺ではフィリピン海プレート上面深度が浅いために断層下端深度も浅く、断層幅・断層面積が小さくなり、結果として地震規模が大きくならなかった。
- ・フィリピン海プレート上面深度が深い宮崎・鹿児島県沖やコンラッド面深度を参照する島弧側海域では、断層下端深度が深いために断層幅が大きく設定されるが、一つ一つの断層長さが短いため、結果として地震規模が大きくならなかった。

- ・ 設定した断層モデルを用いた津波予測計算

設定した断層モデル群においてどの程度の津波が予測されるのかを確認するため、一部の断層モデルを用いた津波予測計算（1350m メッシュ、450m メッシュ、150m メッシュ領域における概略計算、以下同じ）を実施した。ここで計算の対象は、陸域に近い断層、または断層長さが長い断層を抽出し、図 9 の 12 モデルとした。12 モデルの断層パラメータを表 1 に示す。なお、今回は 150m メッシュの概略的な地形モデルを使用しているが、より詳細な地形モデルを用いることで、入り江や海岸の形状の影響等により、これよりも高くなる可能性があることに留意する必要がある。

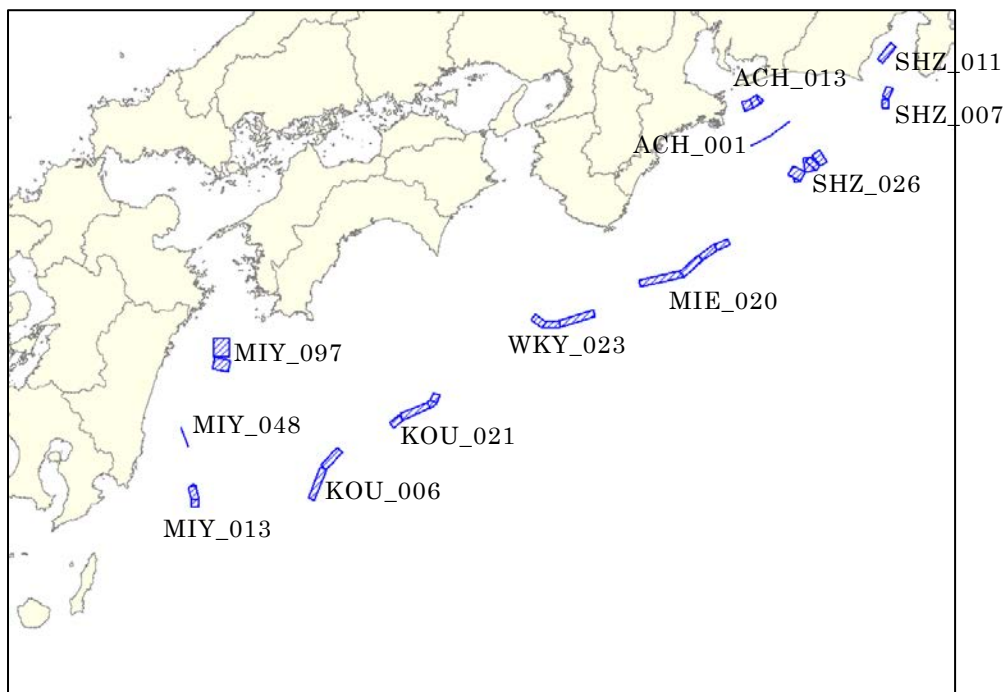


図 9 本検討で津波予測計算を実施した断層モデル

表 1 本検討で津波予測計算を実施した断層モデルパラメータ

緯度(°)	経度(°)	上端深さ(m)	走向(°)	傾斜(°)	すべり角(°)	長さ(m)	幅(m)	すべり量(m)	Mw	断層名
34.763	138.382	0	415	45	90	18000	16970	0.484	6.40	SHZ_011
34.519	138.520	0	205.6	45	90	9830	8490	0.343	6.10	SHZ_007
34.441	138.470	0	177.2	45	90	8270	8490	0.343		
33.815	137.612	0	257.1	45	90	4830	16970	0.992	6.81	SHZ_026
33.885	137.662	0	209	45	90	9020	16970	0.992		
33.895	137.762	0	261.5	45	90	9380	16970	0.992		
33.928	137.802	0	223.9	45	90	5210	16970	0.992		
33.963	137.873	0	237.7	45	90	7600	16970	0.992		
34.290	137.525	0	233.6	90	0	23100	14000	0.925	6.77	ACH_001
34.171	137.320	0	244.2	90	0	17640	14000	0.925		
34.457	137.280	0	220.9	60	270	3940	16170	0.487	6.41	ACH_013
34.431	137.251	0	241.5	60	270	7420	16170	0.487		
34.400	137.180	0	250.7	60	270	7750	16170	0.487		
33.075	136.501	0	257.5	45	90	39510	8490	1.226	6.93	MIE_020
33.203	136.677	0	228.4	45	90	21630	8490	1.226		
33.279	136.815	0	235.6	45	90	15410	8490	1.226		
33.323	136.938	0	246	45	90	12460	8490	1.226		
32.767	135.662	0	252.9	45	90	31850	8490	0.823	6.70	WKY_023
32.684	135.336	0	267.4	45	90	16020	8490	0.823		
32.678	135.166	0	306.3	45	90	11890	8490	0.823		
31.945	133.875	0	230.1	45	90	11000	8490	0.713	6.62	KOU_021
32.043	134.133	0	246.6	45	90	26640	8490	0.713		
32.082	134.186	0	229.5	45	90	6600	8490	0.713		
32.145	134.215	0	201.6	45	90	7540	8490	0.713		
31.541	133.171	0	200.6	45	90	28650	8490	0.683	6.60	KOU_006
31.683	133.317	0	222.4	45	90	20950	8490	0.683		
32.413	132.107	0	356.3	45	90	16120	19800	0.852	6.72	MIY_097
32.320	132.093	0	8.7	45	90	10420	19800	0.852		
31.702	131.893	0	335.7	90	0	18450	18000	0.505	6.44	MIY_048
31.412	131.948	0	130.1	60	270	2540	13860	0.483	6.40	MIY_013
31.398	131.969	0	165.4	60	270	12780	13860	0.483		
31.287	132.006	0	178.7	60	270	6650	13860	0.483		

12 モデル全ての津波計算結果（最大水位分布及び沿岸の最大水位上昇量の値）は付録3にまとめている。図10～図21には、各計算結果について沿岸の最大水位上昇量の値をグラフ化したものを示す。

以下、津波計算結果について述べる。なお、ここでは、基本モデルによる計算結果について述べている。SHZ_007、MIE_020、WKY_023、KOU_021、KOU_006の各断層については、認識論的不確定性を考慮した設定として傾きの異なる断層面形状を持つモデルについても検討しているが、その結果は「3) 断層パラメータの不確実性の影響度評価」(p. 3-34～p. 3-38) にまとめて記述した。

○SHZ_011 (図10)

駿河湾内の南東傾斜の逆断層であり、中部電力が浜岡原子力発電所の安全審査のために検討している石花海盆内西部の断層帯(図22の②)の一部に相当する。特に断層の正面に当たる静岡市沿岸において比較的大きな津波が到達した。ただし、断層モデルのすべり量は0.5 m未満であるため、最大でも0.75 m程度の津波高しか予想されず、駿河湾内東側沿岸にもあまり高い津波が到達しなかった。

○SHZ_007 (図11)

駿河湾の湾口に位置する西傾斜の逆断層で、中部電力の検討における御前崎海脚東部の断層帯・牧ノ原南陵の断層(図22の④)の一部に相当する。断層西側では御前崎周辺、東側では石廊崎周辺でピークとなる津波高分布となったが、断層モデルのすべり量が0.4 m未満であり、到達した津波高も0.4 m未満となった。サブテーマ2の断層分類では、この断層は付加体内の断層には分類されていないが、本検討では下記に示すMIE_020、WKY_023、KOU_006、KOU_021等と同じトラフ軸周辺の逆断層と同じグループとして扱った。そのため、認識論的不確定性を考慮した設定として傾きの異なる断層面形状を持つモデルも設定し、SHZ_007(図11) 基本モデルと津波への影響評価を比較した。その結果、御前崎、石廊崎で0.4 mの沿岸の最大水位上昇量が得られた。

○SHZ_026 (図12)

遠州灘沖のトラフ軸に近い北西傾斜の逆断層で、中部電力の検討における東海断層系(図22の⑦)の一部に相当する。遠州灘の沿岸において比較的大きな津波が予想され、特に伊良湖岬周辺では最大1.6 mの津波が到達している。三重県の志摩半島沿岸でも局所的に1 m程度の津波が到達した。

○ACH_001 (図13)

愛知県南部沖の横ずれ断層で、中部電力の検討における遠州断層系(図22の⑮)の一部に相当する。断層長さは約41 kmと長く、地震規模も大きい(Mw6.77)が、横ずれ断層であるためにほぼ津波が生じなかった。

○ACH_013 (図14)

愛知県南部の北傾斜の正断層で、中部電力の検討における渥美半島沖の断層(図22の⑰)の一部に相当する。SHZ_011の基本モデルと同程度のすべり量(0.5 m

未満) であり、断層正面に当たる伊良湖岬周辺において局所的な津波高のピークが得られ、最大 1.2 m 程度の津波高が予測された。

○MIE_020 (図 15)

熊野灘沖のトラフ軸周辺の北傾斜の逆断層。今回サブテーマ 2 で確認された断層のうち最も長い断層(長さ約 89 km) であり、地震規模も最大(Mw6.93) である。断層の正面の新宮市～熊野市周辺で大きな津波が予測され、最大で熊野川河口周辺で 2.6 m の津波が到達した。断層から遠いところだと、御前崎周辺においても 0.6 m 程度の津波が到達している。またこの断層はサブテーマ 2 で明瞭な断面イメージが得られており、認識論的不確定性を考慮した設定として傾きの異なる断層面形状を持つモデルも設定し、MIE_020 (図 15) に基本モデルと津波への影響評価を比較した。その結果、紀伊水道西側で 0.85 m、紀伊水道東側で 1.3 m の沿岸の最大水位上昇量が得られた。

○WKY_023 (図 16)

和歌山県南部沖のトラフ軸周辺の北傾斜の逆断層。紀伊水道の東部沿岸において高い津波が到達し、最大で 1.3 m 程度の津波高であった。また紀伊水道の西側沿岸にも最大 0.8 m 程度の津波が到達した。MIE_020 のようにサブテーマ 2 で断層の断面イメージが得られているわけではないが、トラフ軸周辺に位置する逆断層であることから、認識論的不確定性を考慮した設定として傾きの異なる断層面形状を持つモデルも設定し、WKY_023 (図 16) に基本モデルと津波への影響評価を比較した。その結果、御前崎、石廊崎で 0.4 m の沿岸の最大水位上昇量が得られた。

○KOU_021 (図 17)

土佐沖のトラフ軸周辺の北西傾斜の逆断層。断層正面の高知県黒潮町周辺において高い津波が到達し、最大で 1.6 m 程度の津波が予測された。WKY_023 と比較すると、地震規模としては WKY_023 の方が大きい、沿岸に到達する最大の津波高という点では KOU_021 の方が大きな結果が得られた。この断層についても、トラフ軸周辺に位置する逆断層であることから、認識論的不確定性を考慮した設定として傾きの異なる断層面形状を持つモデルも設定し、KOU_021 (図 17) に基本モデルと津波への影響評価を比較した。その結果、黒潮町で 1.6 m の沿岸の最大水位上昇量が得られた。

○KOU_006 (図 18)

足摺岬の南方沖にある北西傾斜の逆断層。宮崎県から足摺岬周辺にかけての沿岸部で比較的大きな津波が到達した。また、KOU_021 と比べて地震規模の小さな断層モデルで、すべり量は KOU_021 の 87% 程度であるが、沿岸に到達する津波高では最大 0.9 m (宮崎市沿岸) と KOU_021 と比べると小さな津波が予測された。この断層についても、KOU_021 同様に、認識論的不確定性を考慮した設定として傾きの異なる断層面形状を持つモデルも設定した。

○MIY_097 (図 19)

日向灘北部に位置する東傾斜の逆断層。断層の正面に当たる延岡港周辺で高い津波が到達し、最大で 1.9 m 程度の津波が予測された。また、高知県側でも足摺岬の東側に津波が回り込み、1.5 m と比較的大きな津波が予測された。

○MIY_048 (図 20)

宮崎県東部の横ずれ断層。宮崎県沖にはこのような横ずれ断層と正断層とが入り混じっている。ACH_001 と同じく横ずれ断層であるために、津波予測計算の結果ではほぼ津波が生じなかった。

○MIY_013 (図 21)

日向灘沖に位置する西傾斜の正断層。SHZ_011 及び ACH_013 の基本モデルと同程度のすべり量 (0.5 m 未満) であり、都井岬周辺で津波高のピークが現れ、最大で 1.2 m 程度の津波が予測された。また、高知県側にもある程度の高さの津波が到達し、足摺岬周辺では最大 0.6 m 程度の津波が予測された。

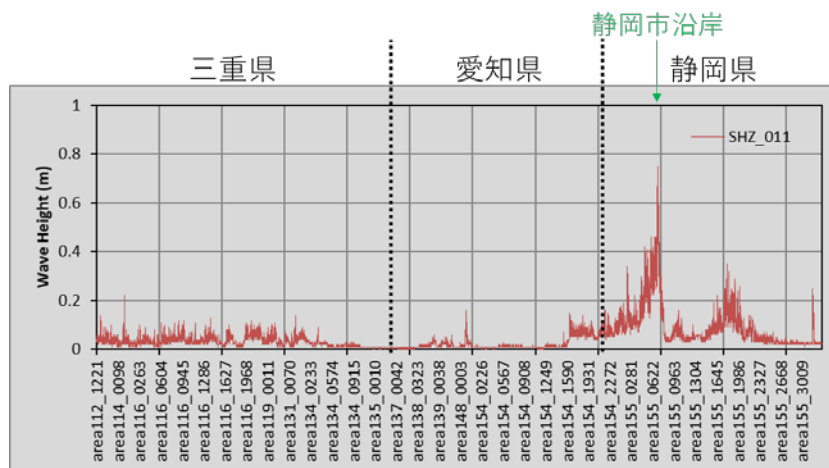


図 10 SHZ_011 の基本モデルを用いた津波予測計算結果 (沿岸の最大水位上昇量)

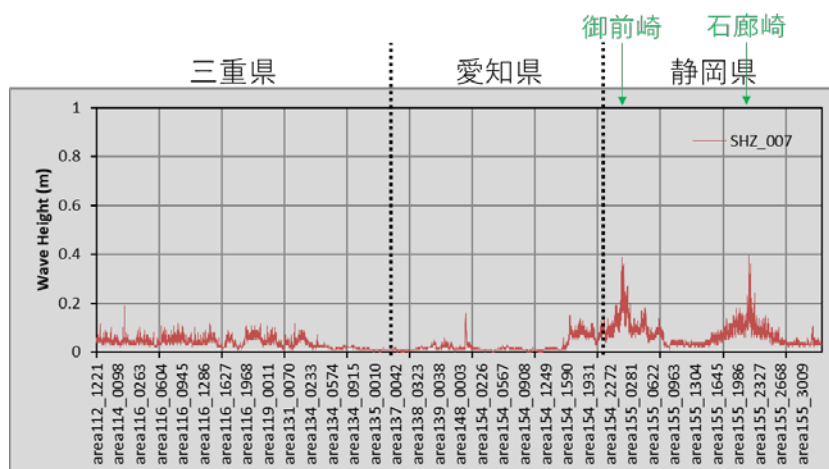


図 11 SHZ_007 の基本モデルを用いた津波予測計算結果 (沿岸の最大水位上昇量)

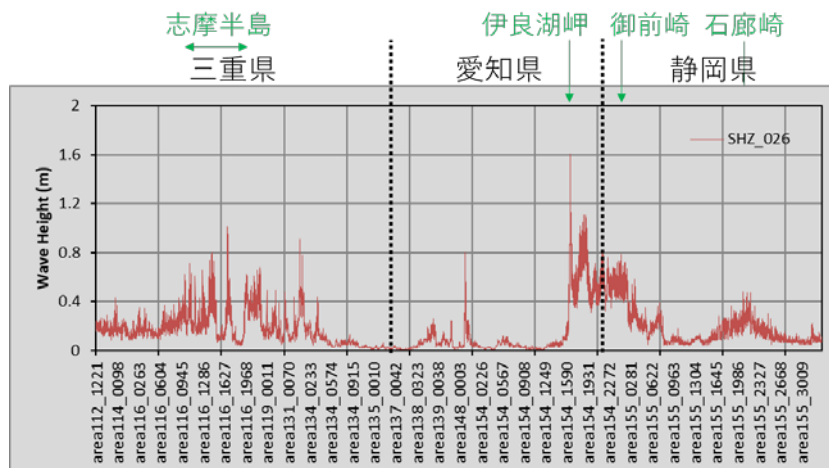


図 12 SHZ_026 の基本モデルを用いた津波予測計算結果（沿岸の最大水位上昇量）

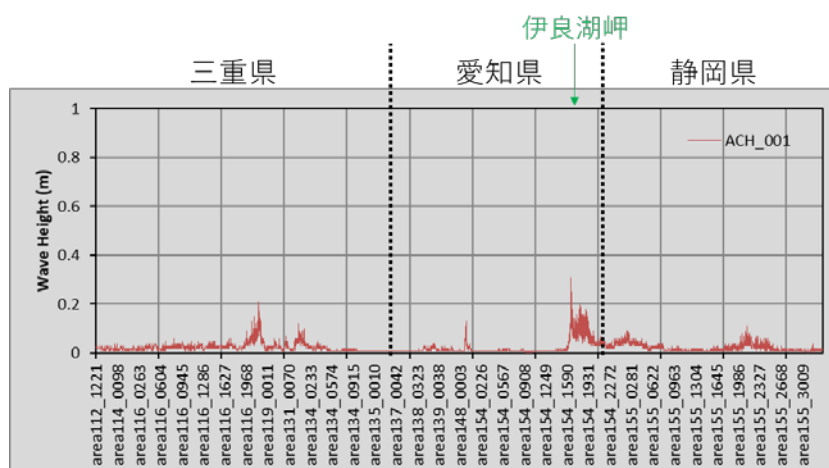


図 13 ACH_001 の基本モデルを用いた津波予測計算結果（沿岸の最大水位上昇量）

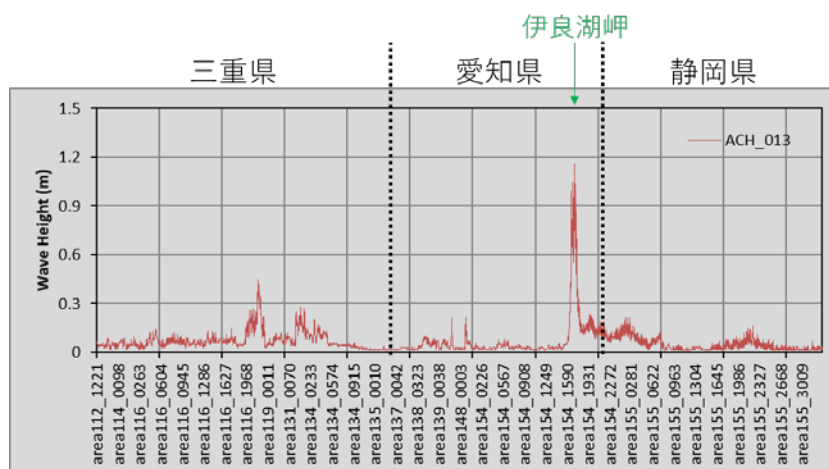


図 14 ACH_013 の基本モデルを用いた津波予測計算結果（沿岸の最大水位上昇量）

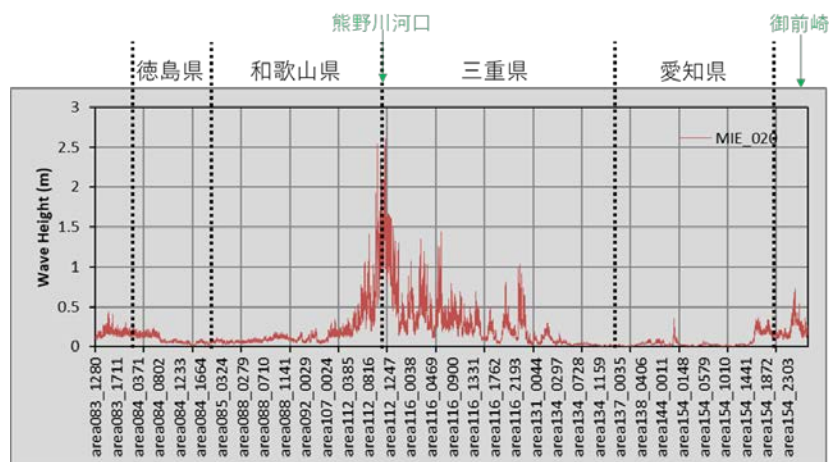


図 15 MIE_020 の基本モデルを用いた津波予測計算結果（沿岸の最大水位上昇量）

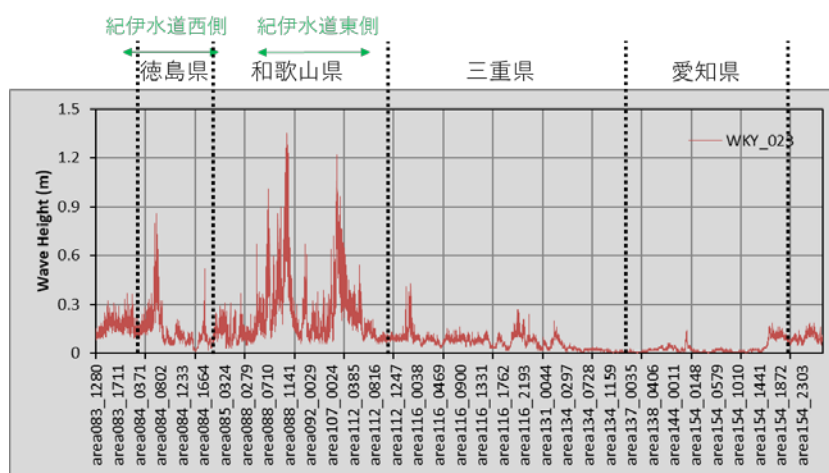


図 16 WKY_023 の基本モデルを用いた津波予測計算結果（沿岸の最大水位上昇量）

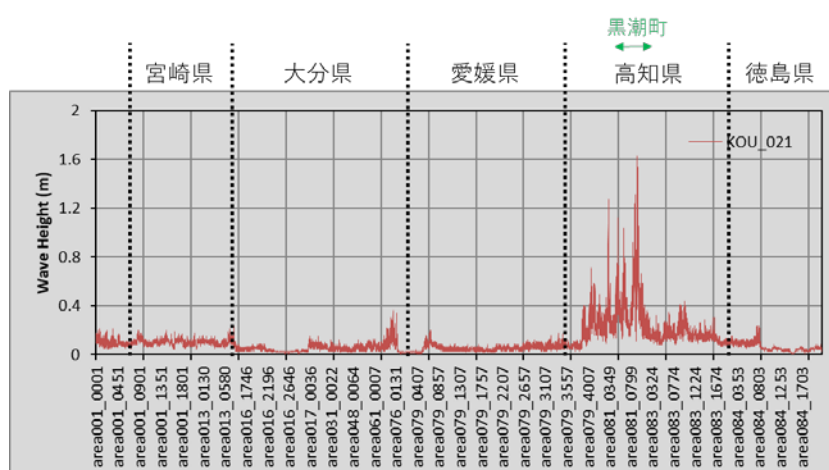


図 17 KOU_021 の基本モデルを用いた津波予測計算結果（沿岸の最大水位上昇量）

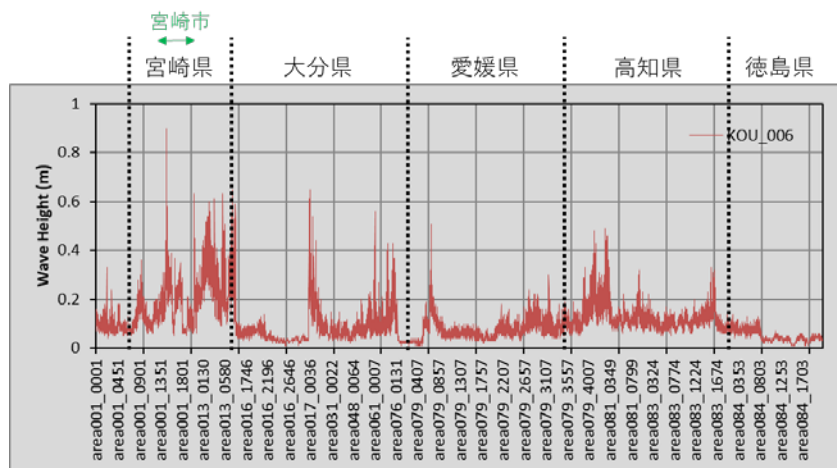


図 18 KOU_006 の基本モデルを用いた津波予測計算結果（沿岸の最大水位上昇量）

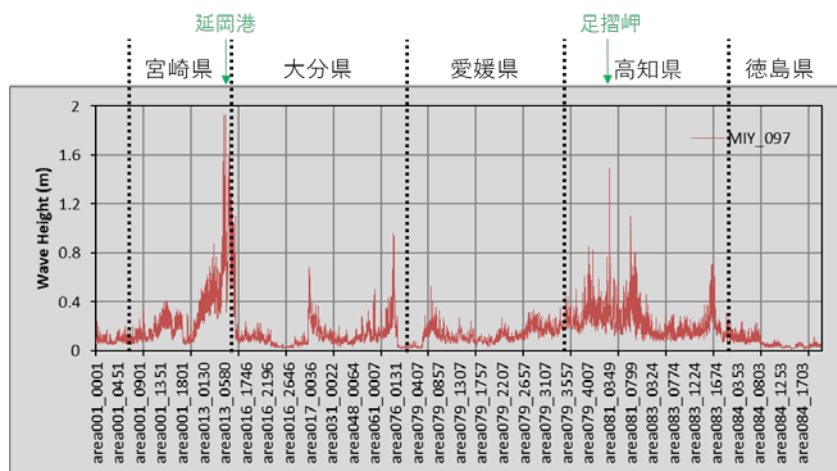


図 19 MIY_097 の基本モデルを用いた津波予測計算結果（沿岸の最大水位上昇量）

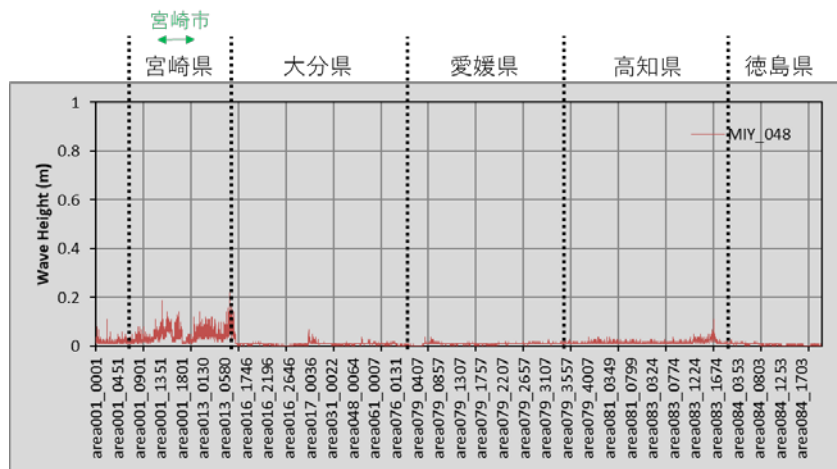


図 20 MIY_048 の基本モデルを用いた津波予測計算結果（沿岸の最大水位上昇量）

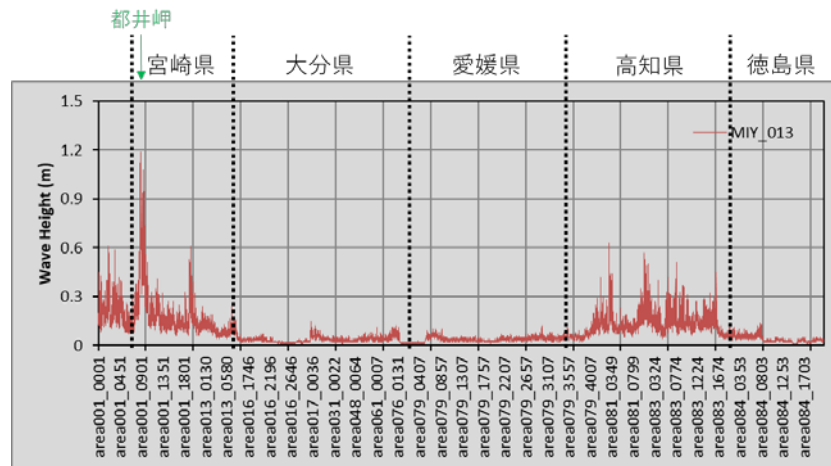
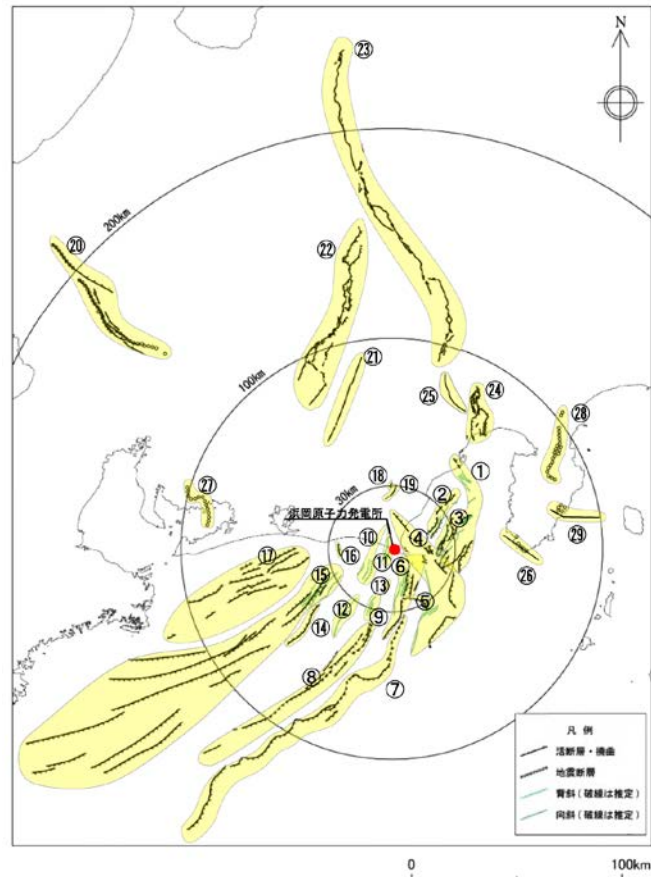


図 21 MIY_013 の基本モデルを用いた津波予測計算結果（沿岸の最大水位上昇量）



No	活断層の名称	活断層長さ (km)	対応する断層の名称
①	根古屋海部東縁・石花海堆東縁の断層帯	62.6	根古屋海部東縁の断層帯 (A-31,A-26,S-18,A-27), 石花海堆東縁の断層帯 (北部セグメント) (F-35,A-28,A-29,S-17,A-10), 石花海堆東縁の断層帯 (南部セグメント) (F-28,A-1,F-19,F-27)
②	石花海海盆内西部の断層帯	26.4	F-17,F-26,F-32,F-33,A-9,S-1,S-16
③	石花海海盆内東部の断層帯	23.4(21.7)	F-1,F-2,F-3,F-4,F-18,F-34,A-11,A-12,F-36,F-37,S-22
④	御前崎海部東部の断層帯・牧ノ原南縁の断層	86.3 (72.6)	御前崎海部東部の断層帯 (北部セグメント) (F-6,F-7,F-8,F-5,F-39,F-40,F-41,F-44,A-32,A-33,A-30,A-38), 南部セグメント (F-29,F-30,A-21,A-22,A-34,A-35,S-9), 牧ノ原南縁の断層
⑤	F-12断層	16.0	F-12,F-24
⑥	御前崎海部西部の断層帯	46.9(40.2)	A-13,A-19,A-3,F-9,A-20,S-3,F-14,F-23,F-22,F-21,活断層研究会(1991)の断層, F-20,F-43,F-45,F-46,F-47,A-36,S-21,及び御前崎台地〜御前崎南方沖の褶曲群
⑦	東海断層系	156.9	東海断層系
⑧	小台場断層系	109.5	小台場断層系
⑨	A-4断層	12.1	A-4,S-12,活断層研究会(1991)の背斜構造
⑩	A-5・A-18断層	31.0(11.5)	A-5,S-11,S-10,A-18グループ
⑪	A-17断層	15.7	A-17グループ
⑫	A-6断層	22.4	A-6,活断層研究会(1991)の背斜構造
⑬	A-41断層	7.0	A-41
⑭	天竜海底部に沿う断層	26.1	天竜海底部に沿う断層
⑮	遠州断層系	173.7	遠州断層系, A-7,A-8,S-4,S-13,S-14,S-15
⑯	F-16断層	7.1	F-16
⑰	渥美半島沖の断層	76.8	荒井・他(2006)の渥美半島沖断層群に関連する断層, 鈴木(2010)等の遠州灘褶曲帯
⑱	杉沢付近のリニアメント・変位地形	2.6	杉沢付近のリニアメント・変位地形
⑲	大島付近のリニアメント・変位地形	8.7	大島付近のリニアメント・変位地形
⑳	濃尾断層帯	約76 ^{※1}	濃尾断層帯
㉑	中央構造線北端部	54	中央構造線北端部
㉒	伊那谷断層帯	約79 ^{※1}	伊那谷断層帯
㉓	糸魚川ー静岡構造線活断層帯	約158 ^{※1}	糸魚川ー静岡構造線活断層帯
㉔	富士川河口断層帯	約26以上 ^{※1}	富士川河口断層帯
㉕	身延断層 ^{※1}	約20 ^{※1}	身延断層
㉖	石廊崎断層	約20 ^{※1}	石廊崎断層
㉗	深溝断層	約22 ^{※2}	深溝断層
㉘	北伊豆断層帯	約32 ^{※1}	北伊豆断層帯
㉙	稲取断層帯	約23 ^{※1}	稲取断層帯

赤字: これまでの活断層評価に係る審査内容を反映し、当初申請から追加・変更した箇所 (断層の長さにおける括弧内の数値は当初申請時の数値)

□: プレート間地震に伴う分岐断層として評価
 ※1: 地震調査委員会の長期評価に基づく
 ※2: 産業技術総合研究所活断層データベースに基づく
 ※3: 地震調査委員会長期評価(2015)をもとに身延断層を追加し、神縄・国府津ー松田断層帯を削除した。

図 22 浜岡原子力発電所内陸地殻内地震の地震動評価について (中部電力, 2017) で検討された断層の分類

2) 断層情報が不完全な場合の断層モデルの設定

今回、基本モデルとして設定したトラフ軸前面における逆断層の断層モデルは、傾斜角 45° でフィリピン海プレート上面を断層下端とした。一方、サブテーマ2では、構造探査にもとづき、熊野灘沖の逆断層（図 23）について、海底面からプレート境界へと収れんする断面イメージが得られている。得られた各測線上の読み取り断層面を図 24～図 26 に示す。これらの断層面では、断層面の傾斜角が断層の下部と上部で異なっており、上記のような傾斜 45° での一律の設定は観測事実と整合しない。以下では、このような断層面の深度方向での傾斜の変化を考慮したモデル化方法を検討した。

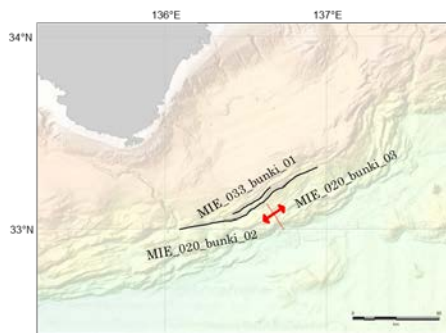


図 23 サブテーマ2でプレート境界へと収れんするような断層面のイメージが得られている熊野灘沖の断層。MIE_020 と MIE_033 が特定されている。MIE_020 は東西で特徴が分かれており、西部の方が断層下端が浅く読み取られている。

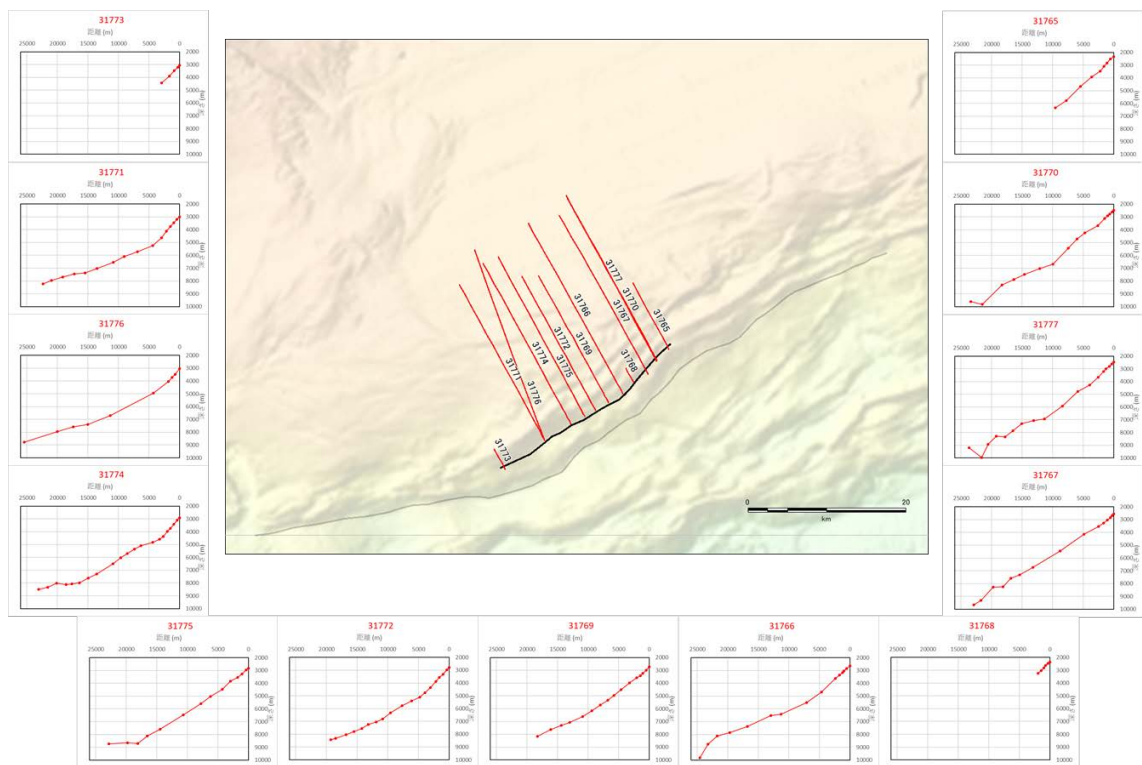


図 24 サブテーマ 2 による MIE_033_bunki_01 の読み取り断面。各グラフは図中の番号の測線における、右端を断層上端とした読み取り深度を示している。

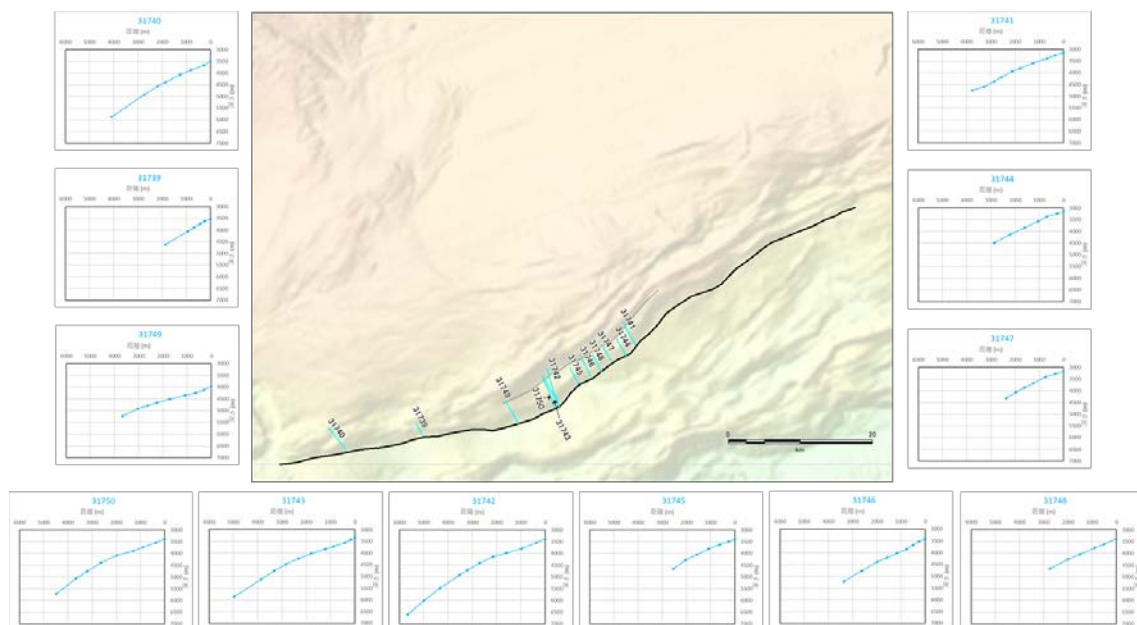


図 25 サブテーマ 2 による MIE_020_bunki_02 の断層についての読み取り断面。各グラフは図中の番号の測線における、右端を断層上端とした読み取り深さを示している。

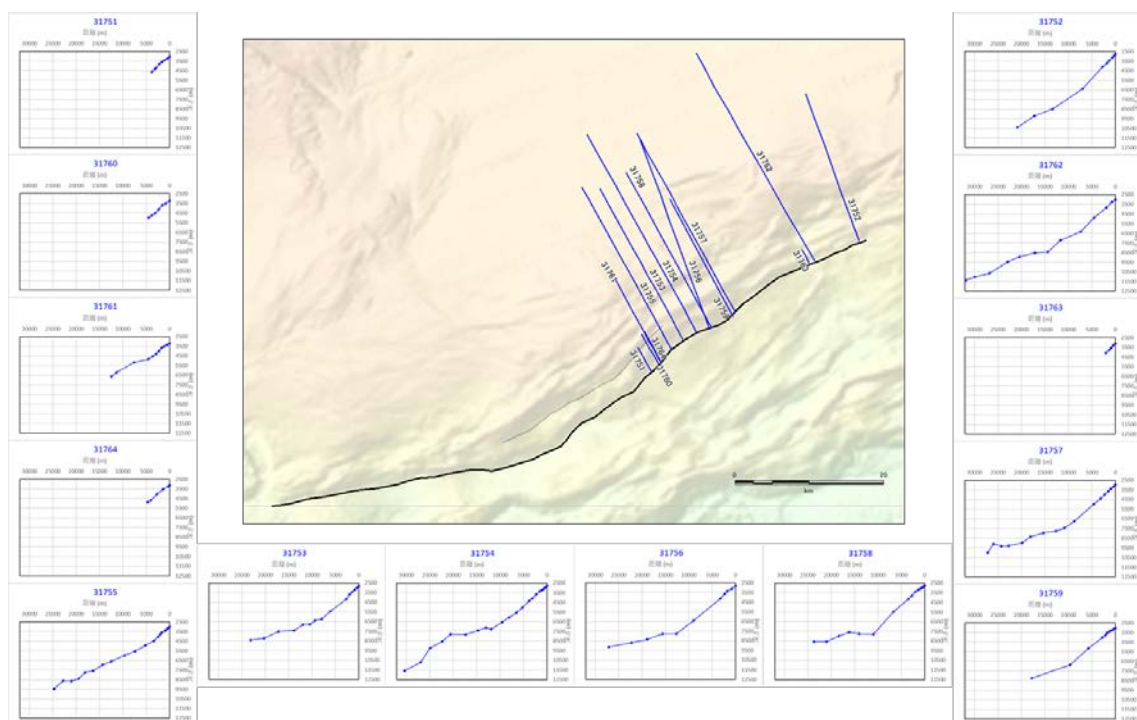


図 26 サブテーマ 2 による MIE_020_bunki_03 の断層についての読み取り断面。各グラフは図中の番号の測線における、右端を断層上端とした読み取り深さを示している。

参考として、Park et al. (2002)における測線の断面図に、図 24～図 26 の中で該当する測線における読み取り断面深度を重ね合わせたものを図 27 に示す。図 27 を見ると、サブテーマ 2 の読み取り断層面は、Park et al. (2002)と概ね整合的であると言える。

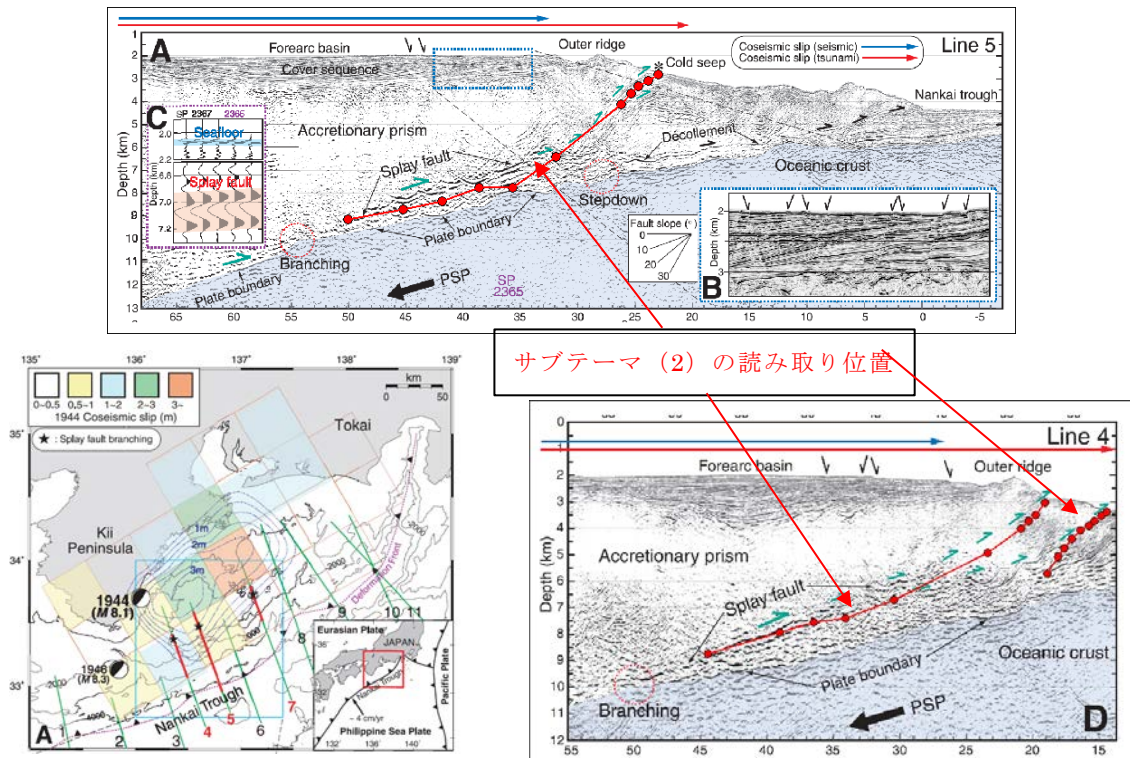


図 27 サブテーマ 2 の読み取り断面深度と Park et al. (2002) の比較

本検討では、上記のような断層面形状について、モデル設定における認識論的不確定性として扱うこととした。しかしながら、プレート境界へと収れんするような断面イメージが得られているのは、サブテーマ 2 では熊野灘沖の二条の断層についてのみであるので、図 24～図 26 のデータから平均的な断層面形状を推定することとした。図 26 は図 24～図 26 の全断面図について断層上端の水平位置と鉛直位置を 0 km に合わせ、重ね合わせたものである。この図を見ると、比較的高角で傾斜する断層上部と、低角でプレート境界へと収れんしていく断層下部に大別できる。従って、図 26 の全データについて、残差二乗和が最小になるように二本の線分で近似することにした。その結果、図 29 の緑色点線のようになり、断層上端からの深さが 3.3 km のところを境に、断層上部では傾斜角 22.4° 、断層下部では傾斜角 11.3° となる断面が得られた。

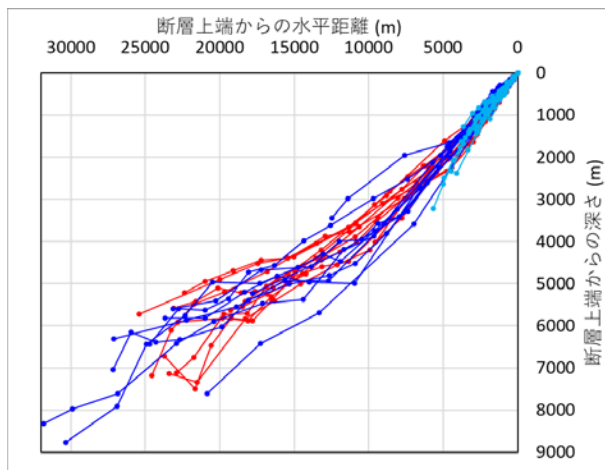


図 28 サブテーマ 2 で読み取られた図 24（赤色）、図 25（水色）、図 26（青色）の全断面を、断層上端の水平位置と鉛直位置を 0 km に合わせ重ね合わせた図

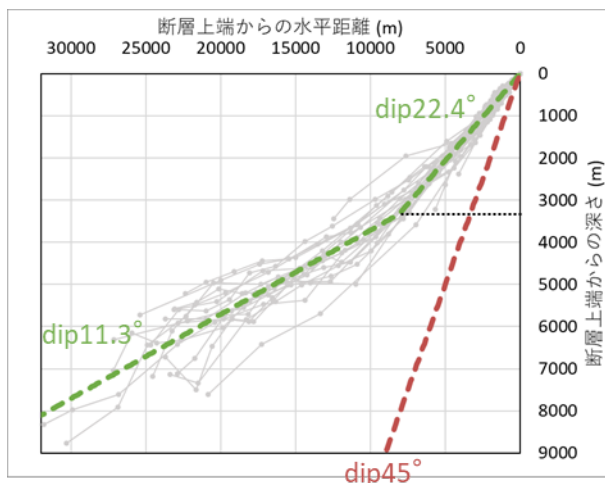


図 29 サブテーマ 2 による全読み取り断面（灰色線）の近似直線（緑色点線；上部の傾斜角 22.4° 、下部の傾斜角 11.3° 、上部と下部の境界 3.3 km）。赤色点線は比較のため、基本モデルで使用した傾斜角 45° の線を示している。

図 29 のような断面形状が、熊野灘沖以外の海域におけるトラフ軸前面の逆断層に当てはまるかどうかは不明であるが、プレート境界に収れんする断層面の平均的な形状であると仮定した。すなわち、認識論的不確定性を考慮した断層面形状の設定として、図 29 緑色点線の断面形状を図 5 のトラフ軸周辺海域における全ての逆断層に適用し、モデル化を行った。なお、基本モデルの傾斜角 (45°) よりも低角であることと、プレートの沈み込み傾斜を考慮して、フィリピン海プレート上面が断層下端となるように、断層下端深度を 8 km とした。

上記の条件により設定した、トラフ軸周辺海域の認識論的不確定性を考慮したモデルの一覧図を図 30 に示す。これらの形状を考慮した効果を見るために、基本モデルと

認識論的不確定性を考慮したモデルのそれぞれにおける、トラフ軸周辺海域の断層についての M_w の個数分布を図 31 に示す。該当する断層は、逆断層 121 個であり、認識論的不確定性を考慮したモデルの方が、低角な断層面を仮定していることから断層幅、そして断層面積が大きく設定され、結果として地震規模も大きくなっている（最大 $M_w7.7$ ）。

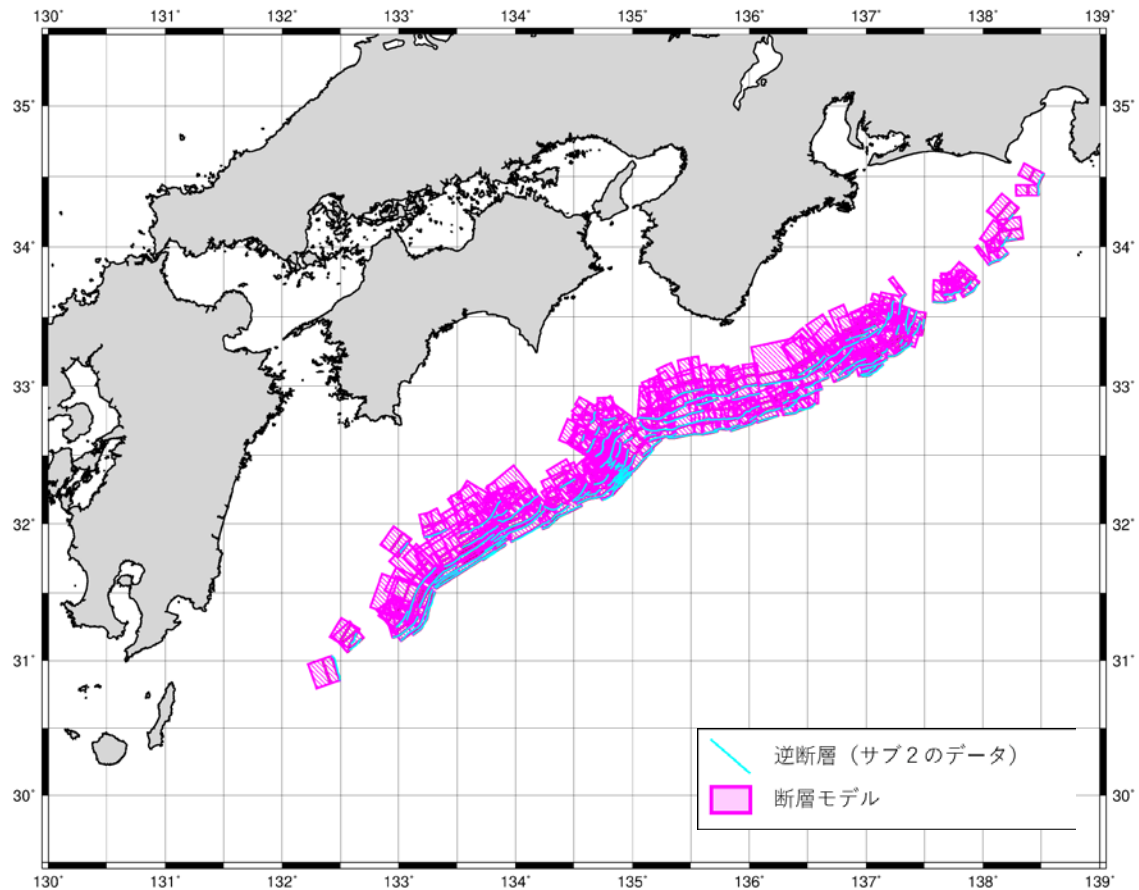


図 30 本検討により設定した南海トラフ周辺海域の断層モデル群の分布（トラフ軸周辺海域における認識論的不確定性を考慮したモデル）

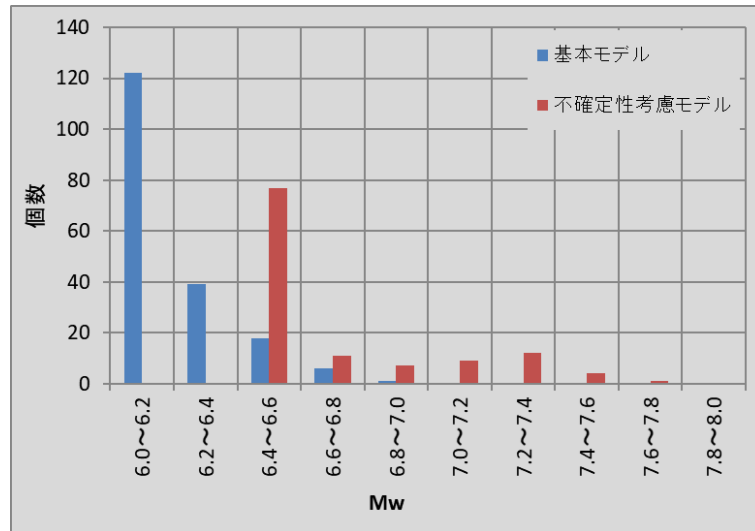


図 31 トラフ軸周辺海域の断層モデル（青色：基本モデル、赤色：認識論的不確定性を考慮したモデル）についての Mw の個数分布

さらに、1)では記載しなかった、島弧側海域における認識論的不確定性を考慮したモデルの全体図を図 32 に示す。島弧側海域については、図 3 のフィリピン海プレート上面深度分布を参照し、認識論的不確定性を考慮したモデルの断層下端深度を 20 km とした。基本モデルと認識論的不確定性を考慮したモデルの M_w の個数分布を図 33 に示す。島弧側海域では、逆断層が 29 個、正断層が 18 個、横ずれ断層が 20 個存在し、断層長さが 18 km 未満の短い断層を除き、認識論的不確定性を考慮したモデルでは断層下端深度が深く設定されるため、断層面積が大きく、結果として地震規模も大きくなっている（最大 $M_w 7.0$ ）。

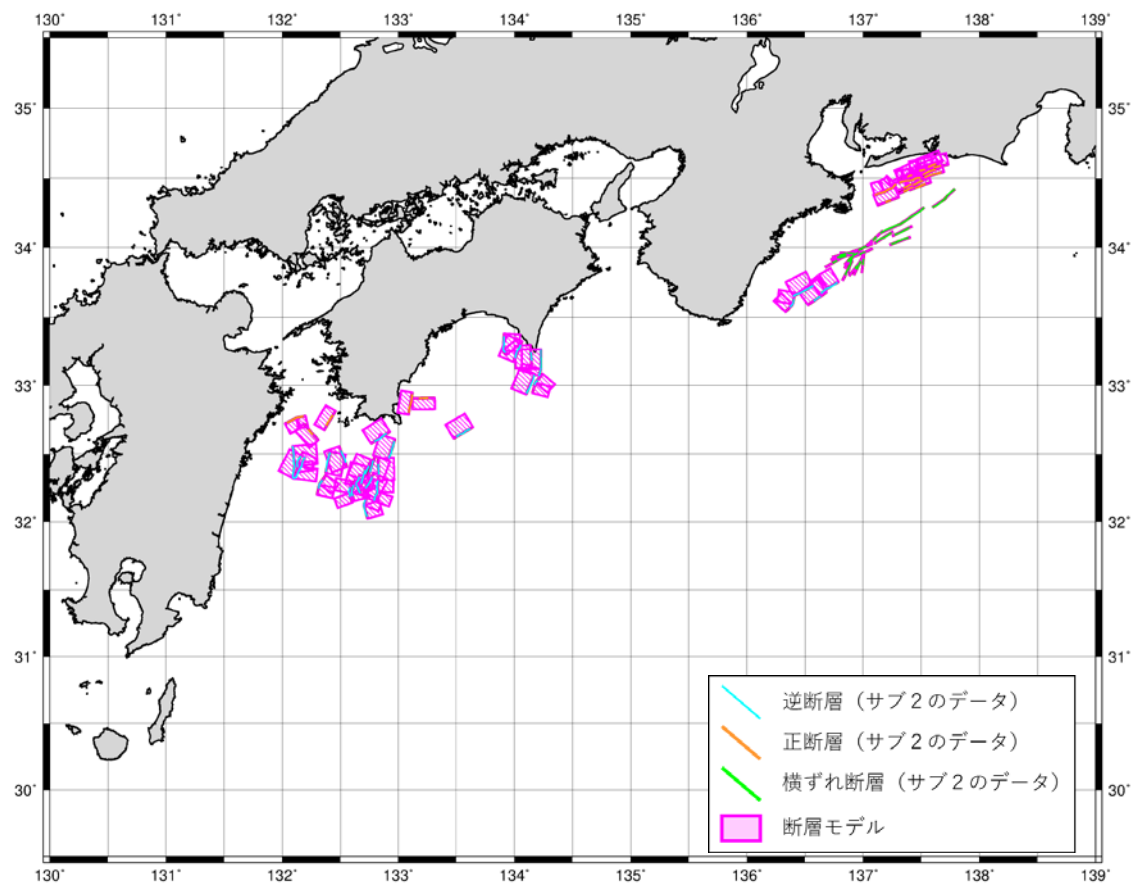


図 32 本検討により設定した南海トラフ周辺海域の断層モデル群の分布（島弧側海域における認識論的不確定性を考慮したモデル）

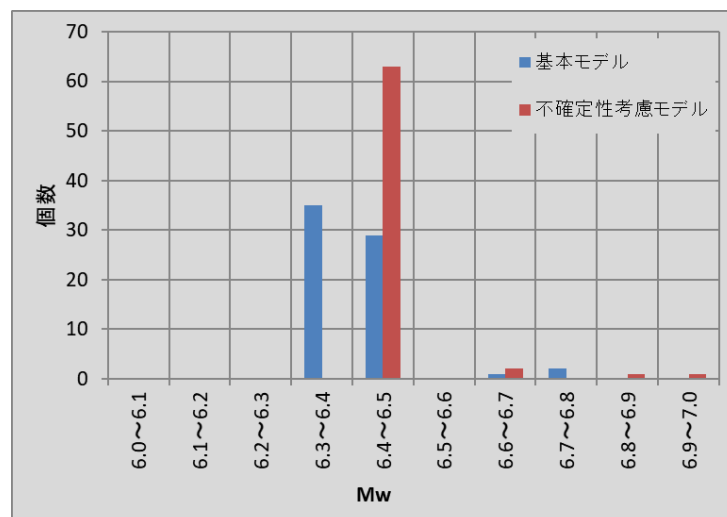


図 33 島弧側海域の断層モデル（青色：基本モデル、赤色：認識論的不確定性を考慮したモデル）についての Mw の個数分布

認識論的不確定性を考慮したモデルの詳しい位置とパラメータは付録 2 に記載した。
全ての認識論的不確定性を考慮したモデルについて、Mw 別の個数分布と累積個数分布

を図 34 に示す。認識論的不確定性を考慮したモデルのうち、多くがトラフ軸周辺における逆断層の断層モデルであることから、図 34 を見ると、逆断層の比重が大きくなっている。また、島弧側海域で設定した認識論的不確定性を考慮したモデルは、断層長さが短い断層が多くを占めており、モデルの地震規模に換算した場合 Mw6.4~Mw6.5 のものが多かった。図 34 にもその影響が現れている。

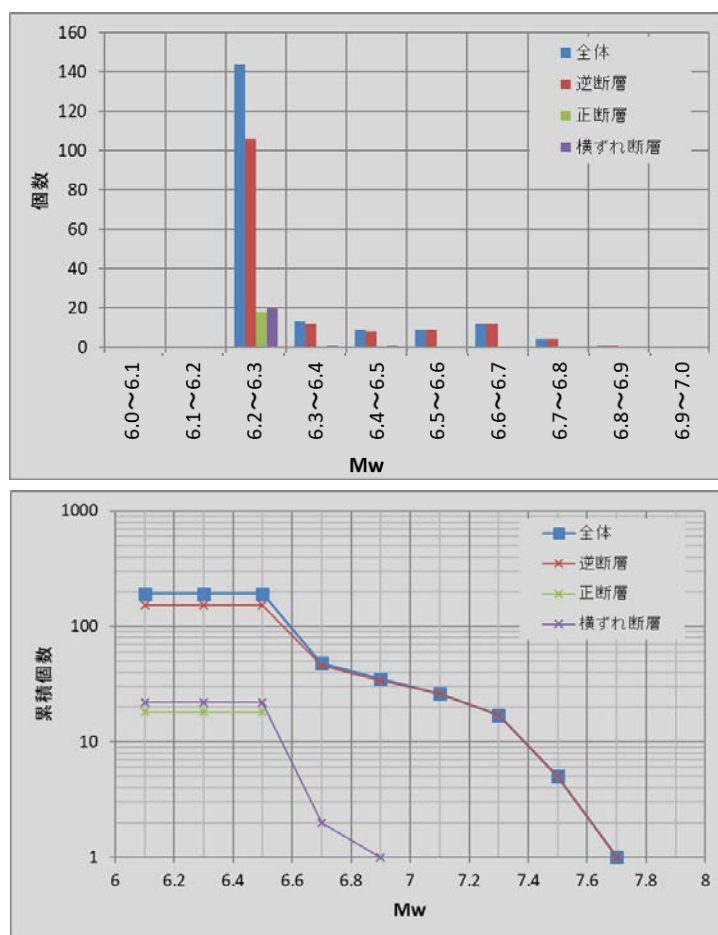


図 34 断層モデル（認識論的不確定性を考慮したモデル）の面積から想定される地震規模（Mw）別個数分布（上図）と累積個数分布（下図）

3) 断層パラメータの不確実性の影響度評価

○トラフ軸前面における逆断層の断層面形状に対する不確実性の影響評価（津波）

本検討における断層モデルのパラメータの設定方法では、逆断層タイプについては平均的な値として基本モデルの傾斜角を 45° とした。しかし、2) 及び 3) で述べた通り、南海トラフのトラフ軸前面において確認される逆断層については、より低角でプレートに収れんするような複雑な断層面形状が考えられ、認識論的不確定性を考慮したモデルとして、深さによって傾斜角の異なる断層面形状も設定した。ここでは、トラフ軸前面の逆断層について、1) で設定した基本モデルと認識論的不確定性を考慮したモデルのそれぞれを用いた津波予測計算を実施し、断層面形状の不確実性によるモデル設定の影響が津波高にどの程度現れるのかを確認する。津波予測計算の対象とした断層は、地域性による影響を併せて確認するために、図 35 の 4 つの断層とした。4 断層×2 モデルパターンの断層パラメータを表 2 に示す。

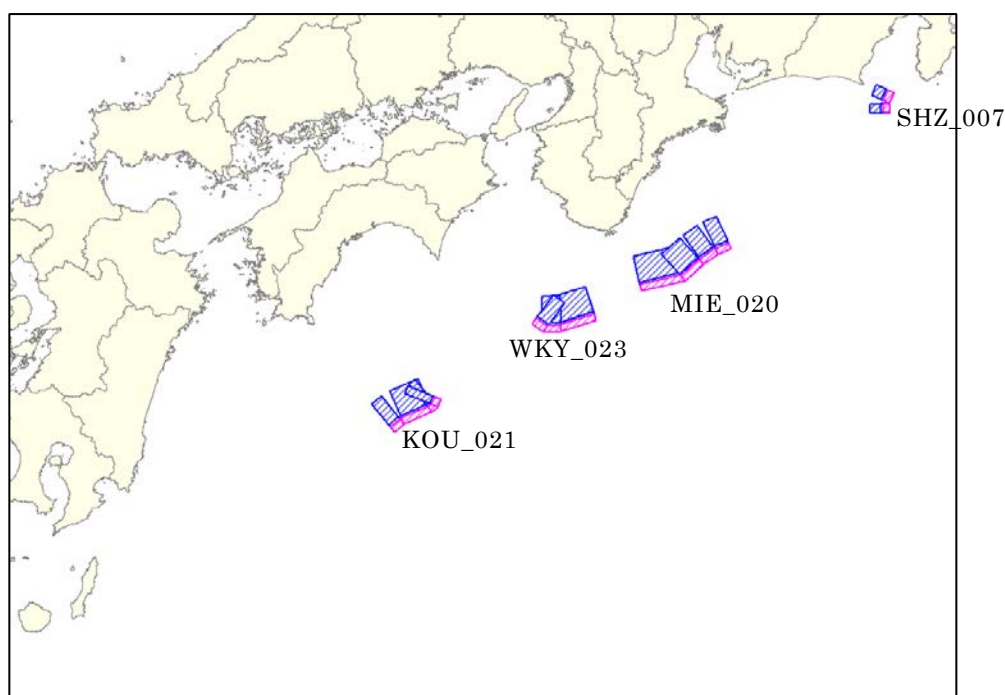


図 35 断層面形状の不確実性の影響評価に使用した断層モデル（紫色枠：基本モデル、青色枠：認識論的不確定性を考慮したモデル）

表 2 断層面形状の不確実性の影響評価に使用した断層モデルパラメータ

緯度(°)	経度(°)	上端深さ(m)	走向(°)	傾斜(°)	すべり角(°)	長さ(m)	幅(m)	すべり量(m)	Mw	断層名
34.519	138.520	0	205.6	45	90	9830	8490	0.343	6.10	SHZ_007
34.441	138.470	0	177.2	45	90	8270	8490	0.343		_基本
34.519	138.520	0	205.6	22.4	90	9830	8660	0.501	6.43	SHZ_007
34.553	138.442	3300	205.6	11.3	90	9830	9440	0.501		_不確定性
34.441	138.470	0	177.2	22.4	90	8270	8660	0.501		
34.440	138.383	3300	177.2	11.3	90	8270	9440	0.501		
33.075	136.501	0	257.5	45	90	39510	8490	1.226	6.93	MIE_020
33.203	136.677	0	228.4	45	90	21630	8490	1.226		_基本
33.279	136.815	0	235.6	45	90	15410	8490	1.226		
33.323	136.938	0	246	45	90	12460	8490	1.226		
33.075	136.501	0	257.5	22.4	90	39510	8660	4.713	7.71	MIE_020
33.146	136.484	3300	257.5	11.3	90	39510	23990	4.713		_不確定性
33.203	136.677	0	228.4	22.4	90	21630	8660	4.713		
33.257	136.621	3300	228.4	11.3	90	21630	23990	4.713		
33.279	136.815	0	235.6	22.4	90	15410	8660	4.713		
33.340	136.767	3300	235.6	11.3	90	15410	23990	4.713		
33.323	136.938	0	246	22.4	90	12460	8660	4.713		
33.390	136.904	3300	246	11.3	90	12460	23990	4.713		
32.767	135.662	0	252.9	45	90	31850	8490	0.823	6.70	WKY_023
32.684	135.336	0	267.4	45	90	16020	8490	0.823		_基本
32.678	135.166	0	306.3	45	90	11890	8490	0.823		
32.767	135.662	0	252.9	22.4	90	31850	8660	3.164	7.48	WKY_023
32.837	135.637	3300	252.9	11.3	90	31850	23990	3.164		_不確定性
32.684	135.336	0	267.4	22.4	90	16020	8660	3.164		
32.757	135.333	3300	267.4	11.3	90	16020	23990	3.164		
32.678	135.166	0	306.3	22.4	90	11890	8660	3.164		
32.736	135.216	3300	306.3	11.3	90	11890	23990	3.164		
31.945	133.875	0	230.1	45	90	11000	8490	0.713	6.62	KOU_021
32.043	134.133	0	246.6	45	90	26640	8490	0.713		_基本
32.082	134.186	0	229.5	45	90	6600	8490	0.713		
32.145	134.215	0	2016	45	90	7540	8490	0.713		
31.945	133.875	0	230.1	22.4	90	11000	8660	2.742	7.36	KOU_021
32.000	133.820	3300	230.1	11.3	90	11000	23990	2.742		_不確定性
32.043	134.133	0	246.6	22.4	90	26640	8660	2.742		
32.109	134.099	3300	246.6	11.3	90	26640	23990	2.742		
32.082	134.186	0	229.5	22.4	90	6600	8660	2.742		
32.136	134.131	3300	229.5	11.3	90	6600	23990	2.742		
32.145	134.215	0	2016	22.4	90	7540	8660	2.742		
32.171	134.136	3300	2016	11.3	90	7540	23990	2.742		

津波予測計算結果

各断層モデルを用いた津波予測計算の結果は付録 3 に整理した。図 36～図 39 に、各断層について基本モデルと認識論的不確定性を考慮したモデルの津波予測結果（沿岸の最大水位上昇量）の比較図を示す。これらの図から次のことが言える。

- ・御前崎沖の断層（SHZ_007、図 36）では、断層長さが短く（2 つの断層面を合わせて約 18km、認識論的不確定性を考慮したモデルも、断層幅が断層長さを超えないように設定している。このため、他の断層と比べると、基本モデル、不確定性を考慮したモデルともに地震規模は小さく、不確定性を考慮した 4 つの断層の中でも予測される津波高が最も小さい。沿岸に到達する津波高で基本モデルと認識論的不確定性を考慮したモデルの結果を比較すると、基本モデルは最大 0.4 m であるのに対し、認識論的不確定性を考慮したモデルでは最大 0.6 m であった（約 1.5 倍）。どちらの結果でも、断層の陸側正面に当たる御前崎で最大の津波高が予測され、また伊豆半島南部の石廊崎周辺でも大きな津波高が予測された。他の 3 断層と比べると、基本モデルと認識論的不確定性を考慮したモデルとの計算結果の差は小さく、断層面形状の認識論的不確定性による影響は小さいと言える。
- ・熊野灘沖の断層（MIE_020、図 37）では、南海トラフ周辺海域において最も断層長さが長い断層であり、今回津波予測計算を実施した断層の中で最も高い津波高が予測された。沿岸に到達した津波高の最大値は、基本モデルは 2.5 m に対し、認識論的不確定性を考慮したモデルでは 6.6 m となった（約 2.6 倍）。また、断層の正面とは離れた室戸岬周辺や、遠州灘の沿岸でも認識論的不確定性を考慮したモデルでは 1 m を超える津波が到達するという結果が予測された。
- ・紀伊水道沖の断層（WKY_023、図 38）では、紀伊水道内における東西の沿岸で津波高が高く予想された。基本モデルの計算結果では、東側で最大 1.3 m 程度、西側で最大 0.8 m 程度であったが、不確定性を考慮したモデルでは、東側で最大 4.8 m 程度、西側で最大 5.2 m 程度と、沿岸に到達する最大水位上昇量の値が 3 倍以上であり、今回計算した断層の中では最も断層面形状の不確定性の影響が大きく表れる結果となった。また、遠州灘の沿岸でも認識論的不確定性を考慮したモデルでは 1 m に近い津波が到達するという結果が予測された。
- ・土佐沖の断層（KOU_021、図 39）では、断層正面にあたる高知県の沿岸において高い津波が予測される。特に黒潮町の沿岸で、基本モデルでは最大 1.5 m、認識論的不確定性を考慮したモデルでは最大 4.8 m の津波高が予測された（約 3.2 倍）。また宮崎県沿岸では、基本モデルではごく小さい津波しか到達しなかったのに対し、認識論的不確定性を考慮したモデルでは平均で見ても 0.5 m 程度、最大で 1 m を超える津波が到達することが予想された。

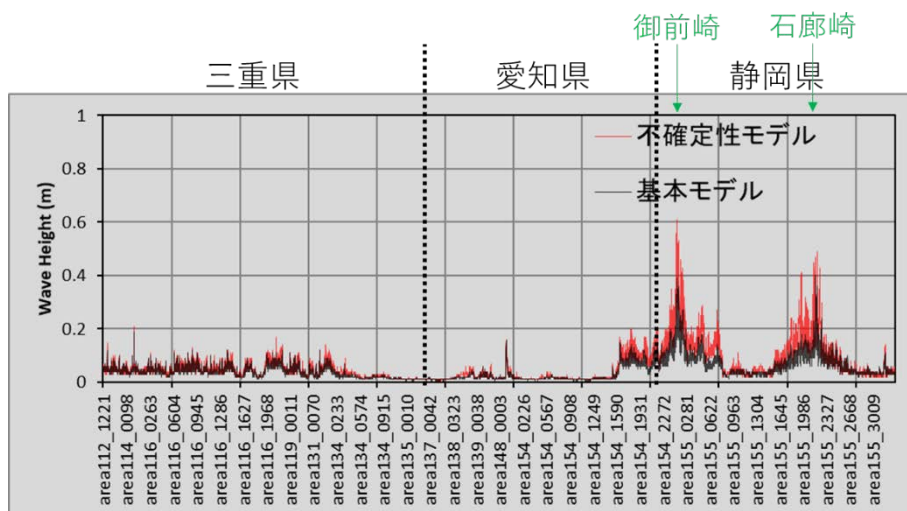


図 36 御前崎沖の断層 (SHZ_007) について、基本モデルと認識論的不確定性を考慮したモデルを用いた津波予測計算結果 (沿岸の最大水位上昇量分布)

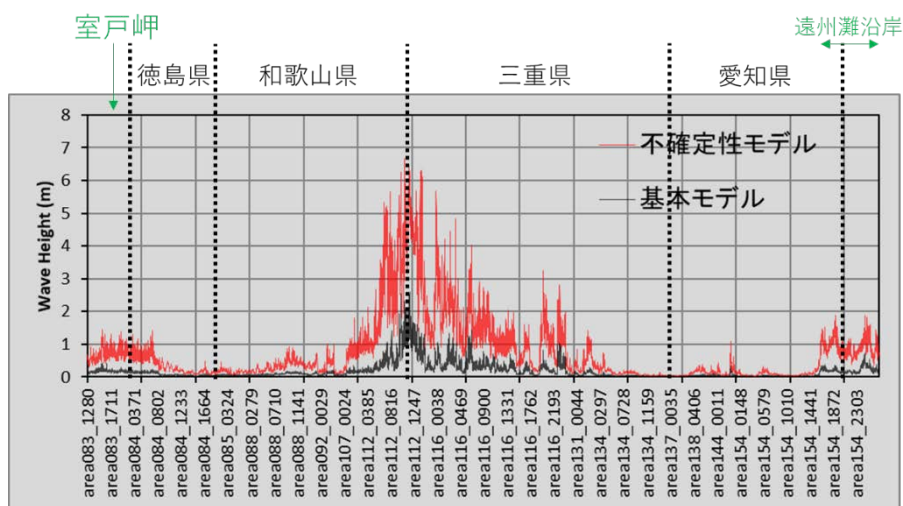


図 37 熊野灘沖の断層 (MIE_020) について、基本モデルと認識論的不確定性を考慮したモデルを用いた津波予測計算結果 (沿岸の最大水位上昇量分布)

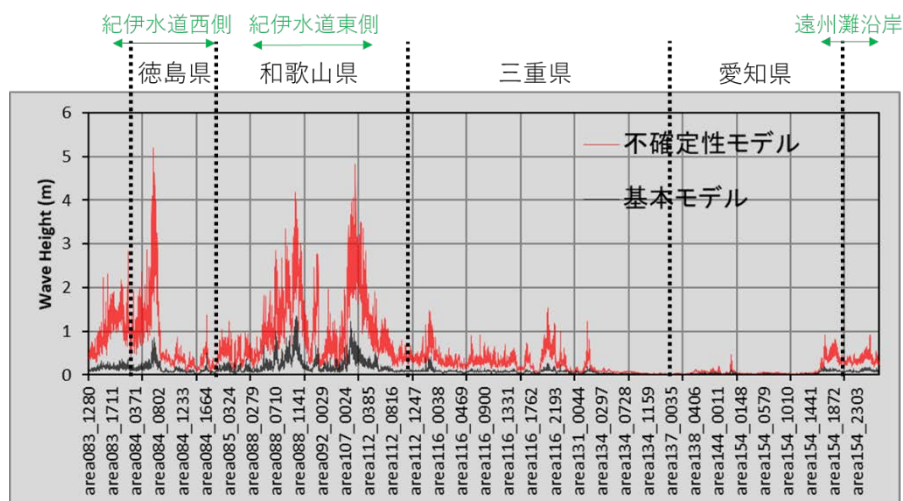


図 38 紀伊水道沖の断層（WKY_023）について、基本モデルと認識論的不確定性を考慮したモデルを用いた津波予測計算結果（沿岸の最大水位上昇量分布）

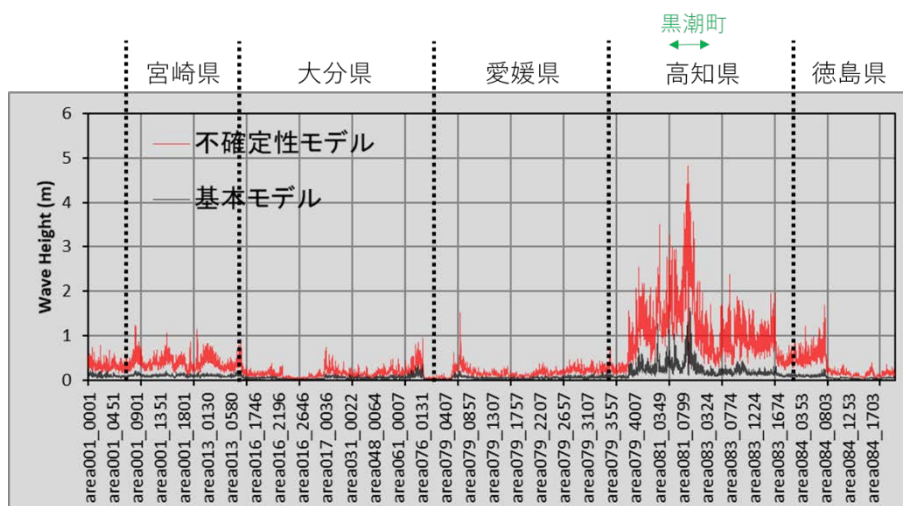


図 39 土佐沖の断層（KOU_021）について、基本モデルと認識論的不確定性を考慮したモデルを用いた津波予測計算結果（沿岸の最大水位上昇量分布）

○トラフ軸前面における逆断層の断層面形状に対する不確実性の影響評価（地震動）

上記で実施した津波への影響評価に加えて、ここでは地震動に対して断層面形状の不確実性が与える影響について評価する。今回、地震動の強さを推定する計算手法として、Morikawa and Fujiwara (2013)の距離減衰式及び係数値を用いた。今回、推定する地震動の強さは次の3つである。

- ・計測震度
- ・表層における最大速度（PGV）
- ・表層における最大加速度（PGA）

地震動予測計算手法

Morikawa and Fujiwara (2013)の距離減衰式は以下の通り。

$$\begin{aligned}\log A &= a \cdot (Mw' - 16)^2 + b_k \cdot X + c_k - \log(X + d \cdot 10^{0.5Mw'}) + G_d + G_s \\ I &= 2 \cdot \{a \cdot (Mw' - 16)^2 + b_k \cdot X + c_k - \log(X + d \cdot 10^{0.5Mw'}) + G_d + G_s\} \\ ※Mw' &= \min(Mw, 8.2)\end{aligned}$$

ここで、 A はPGVまたはPGA、 I は計測震度、 X は断層最短距離、 Mw は計算を実施する断層モデルのマグニチュード、 G_d 、 G_s はそれぞれ以下の式による深部地盤、浅部地盤による増幅の補正項を示す。また、 a 、 b 、 c 及び d はそれぞれ論文で求められた回帰係数を示し、地震のタイプ（ k ）によって異なる。深部地盤による増幅の補正項（ G_d ）は以下の式による。

$$G_d = p_d \cdot \log\{\max(D_{lmin}, D_{1400})/250\}$$

ここで、 D_{1400} は評価地点のVs=1400 m/s層上面までの深さ、 p_d 及び D_{lmin} はそれぞれ論文で求められた回帰係数を示す。浅部地盤による増幅の補正項は以下の式による。

$$G_s = p_s \cdot \log\{\min(Vs_{max}, AVS30)/350\}$$

ここで、 $AVS30$ は評価地点の深さ30 mまでの平均S波速度、 p_s 及び Vs_{max} はそれぞれ論文で求められた回帰係数を示す。 D_{1400} 及び $AVS30$ の分布データは、J-SHISで公表されている250 mメッシュの分布データ（Wakamatsu and Matsuoka, 2013）を用いる。 D_{1400} の分布図を図40に示す。 $AVS30$ の分布図を図41に示す。

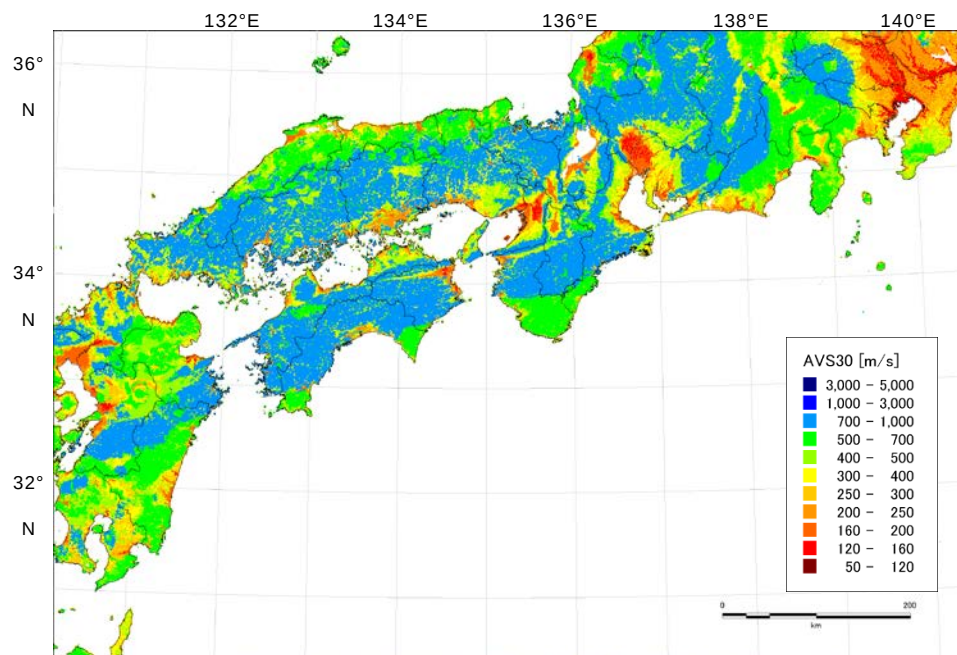


図 40 J-SHIS における AVS30（深さ 30 m までの平均 S 波速度）分布データ

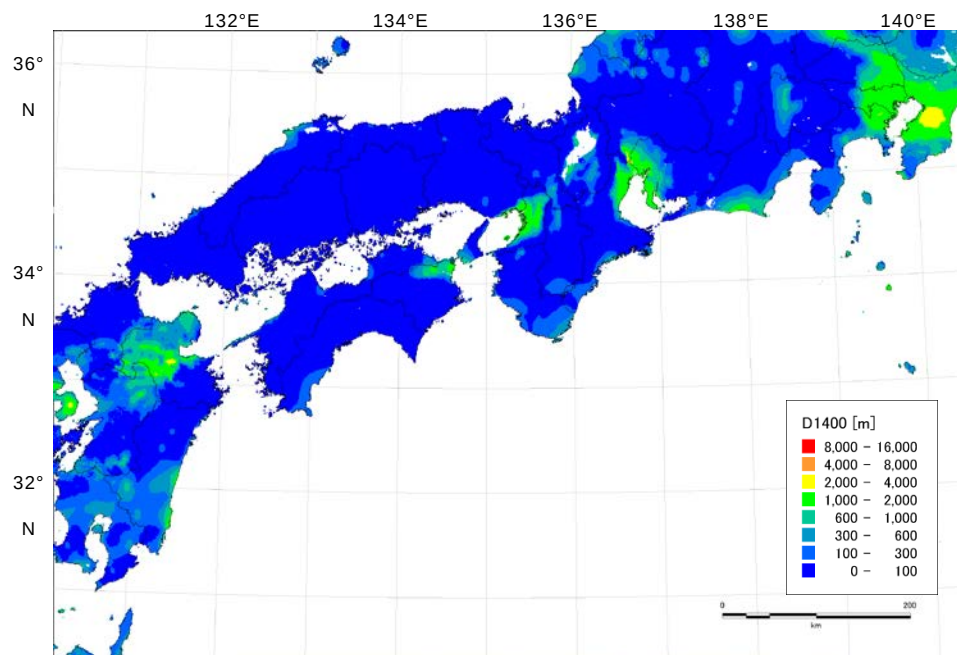


図 41 J-SHIS における D_{1400} ($V_s=1400$ m/s 層上面までの深さ) 分布データ

地震動予測計算結果

地震動の計算は、南海トラフ周辺の陸域において1 km間隔で実施した。断層モデルは、津波予測計算を実施した図 42 の4断層について、基本モデルと認識論的不確定性を考慮したモデルの2パターンを使用し、地震動計算を実施した。各モデルの計算結果(PGV 分布、PGA 分布、計測震度分布)を図 42～図 49 に示す。

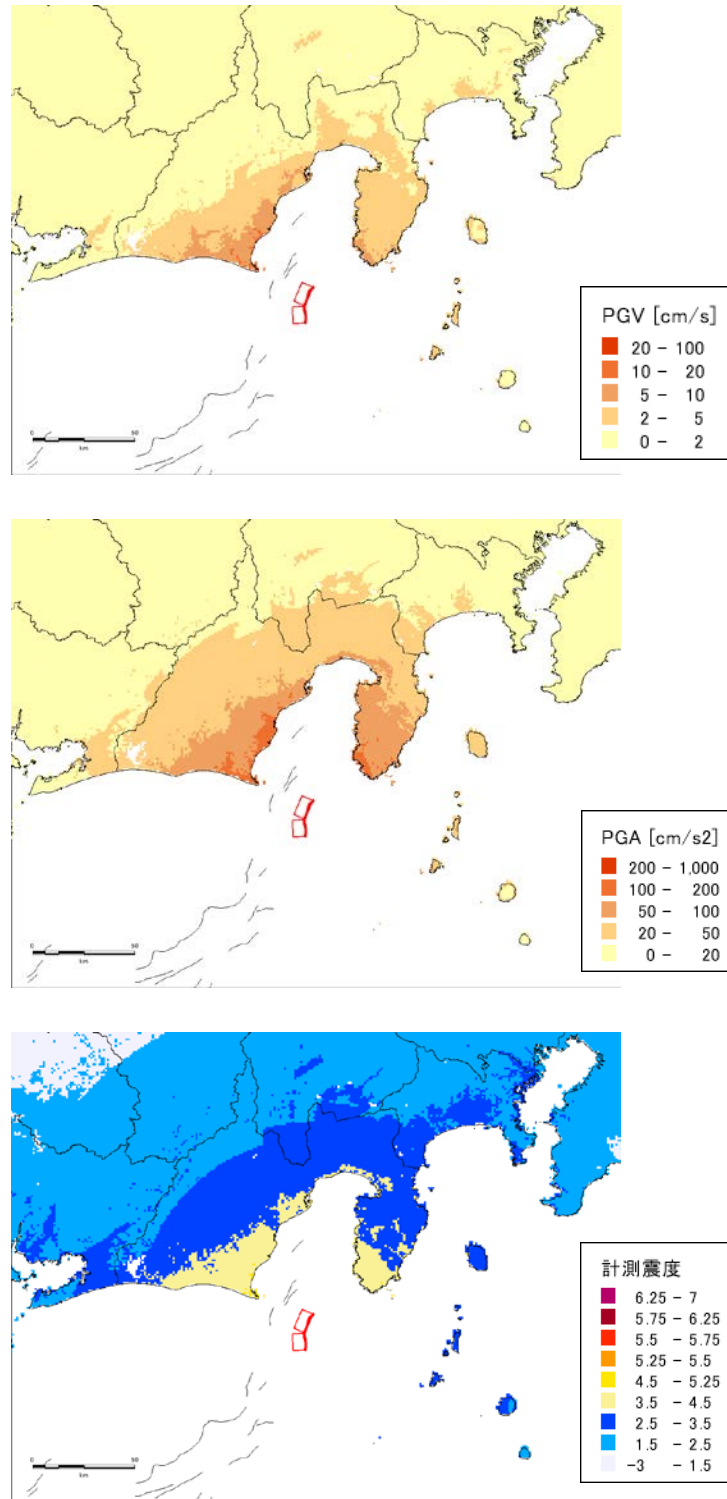


図 42 SHZ_007 の基本モデルを用いた地震動予測計算結果（上図：PGV 分布、中図：PGA 分布、下図：計測震度分布）

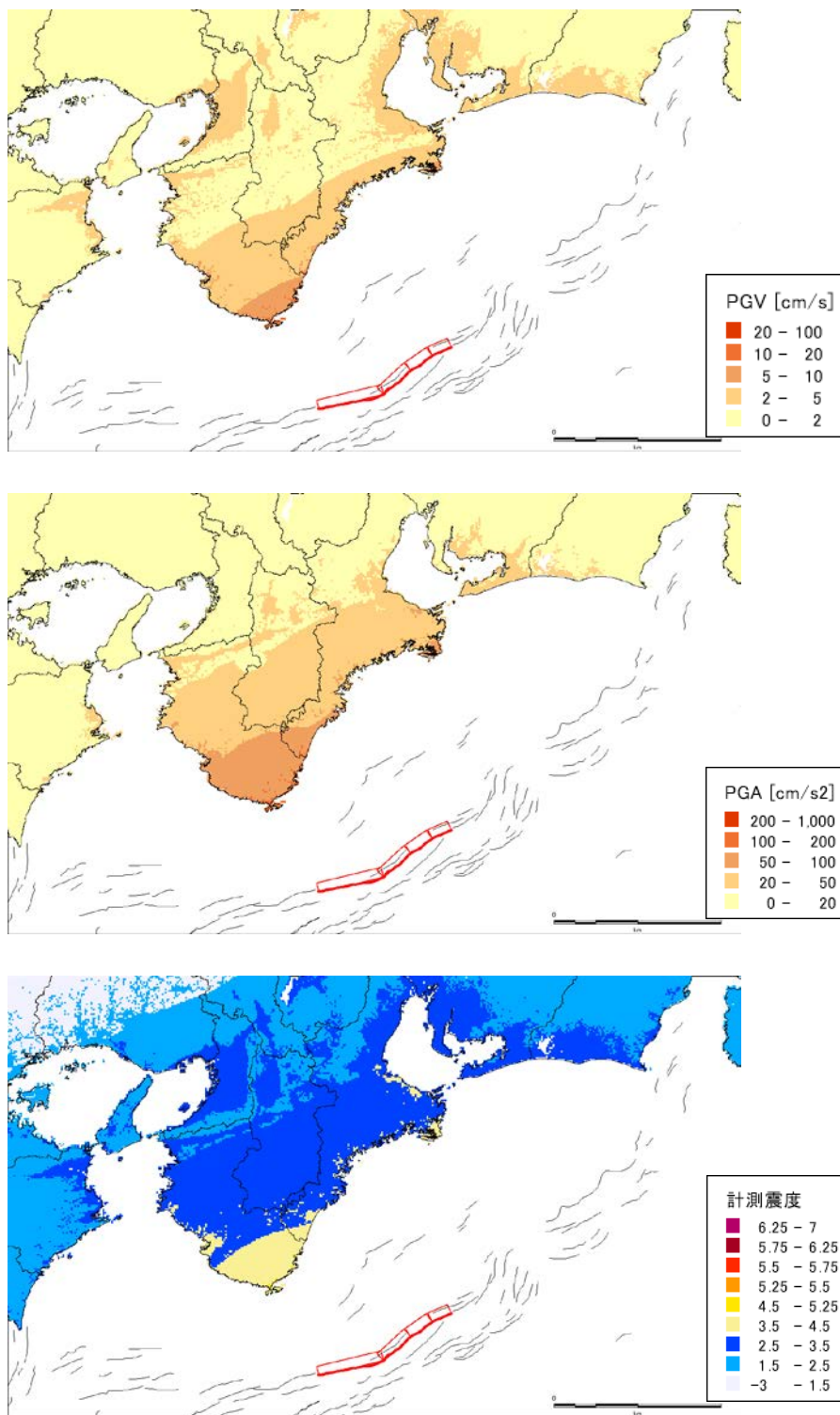


図 43 MIE_020 の基本モデルを用いた地震動予測計算結果（上図：PGV 分布、中図：PGA 分布、下図：計測震度分布）

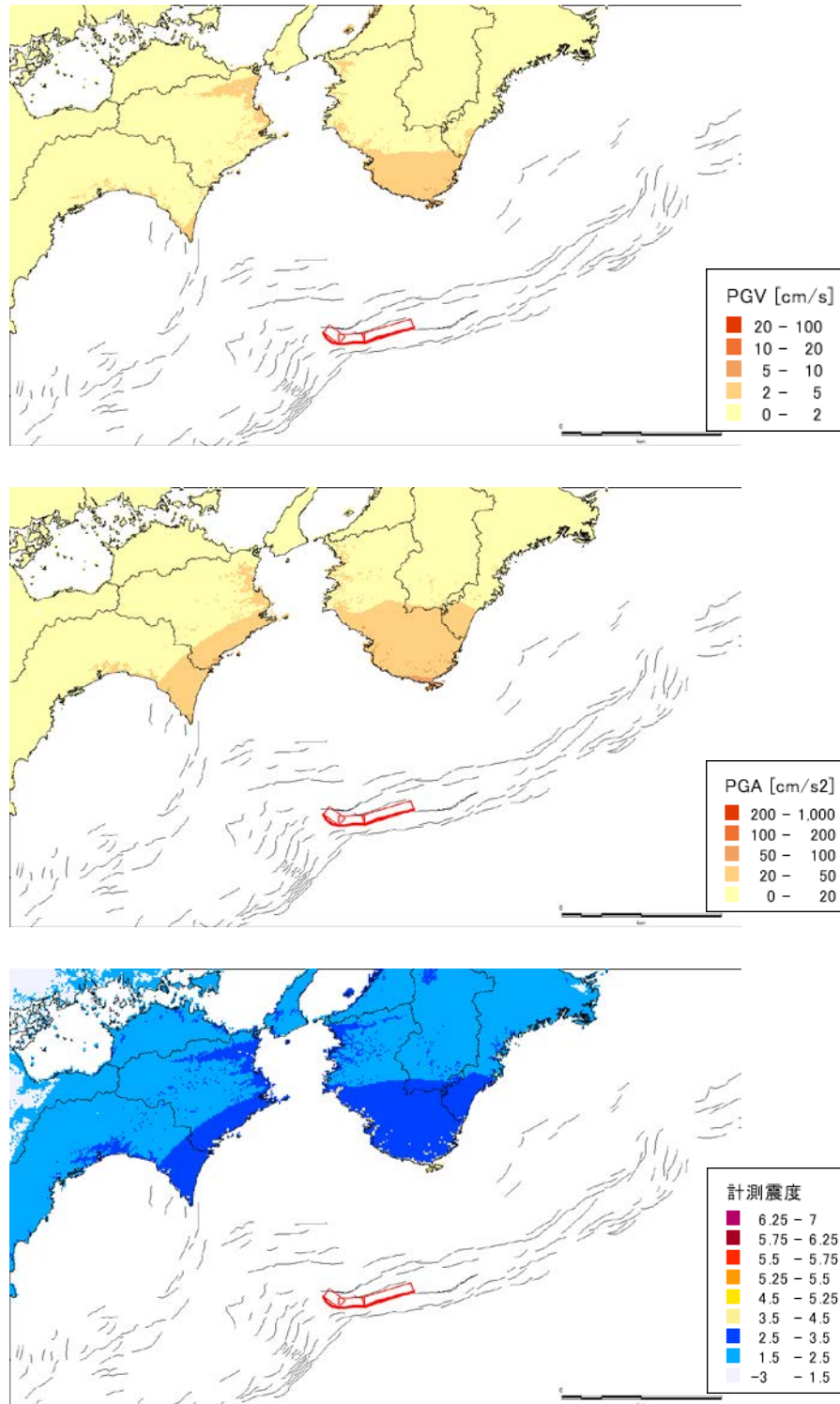


図 44 WKY_023 の基本モデルを用いた地震動予測計算結果（上図：PGV 分布、中図：PGA 分布、下図：計測震度分布）

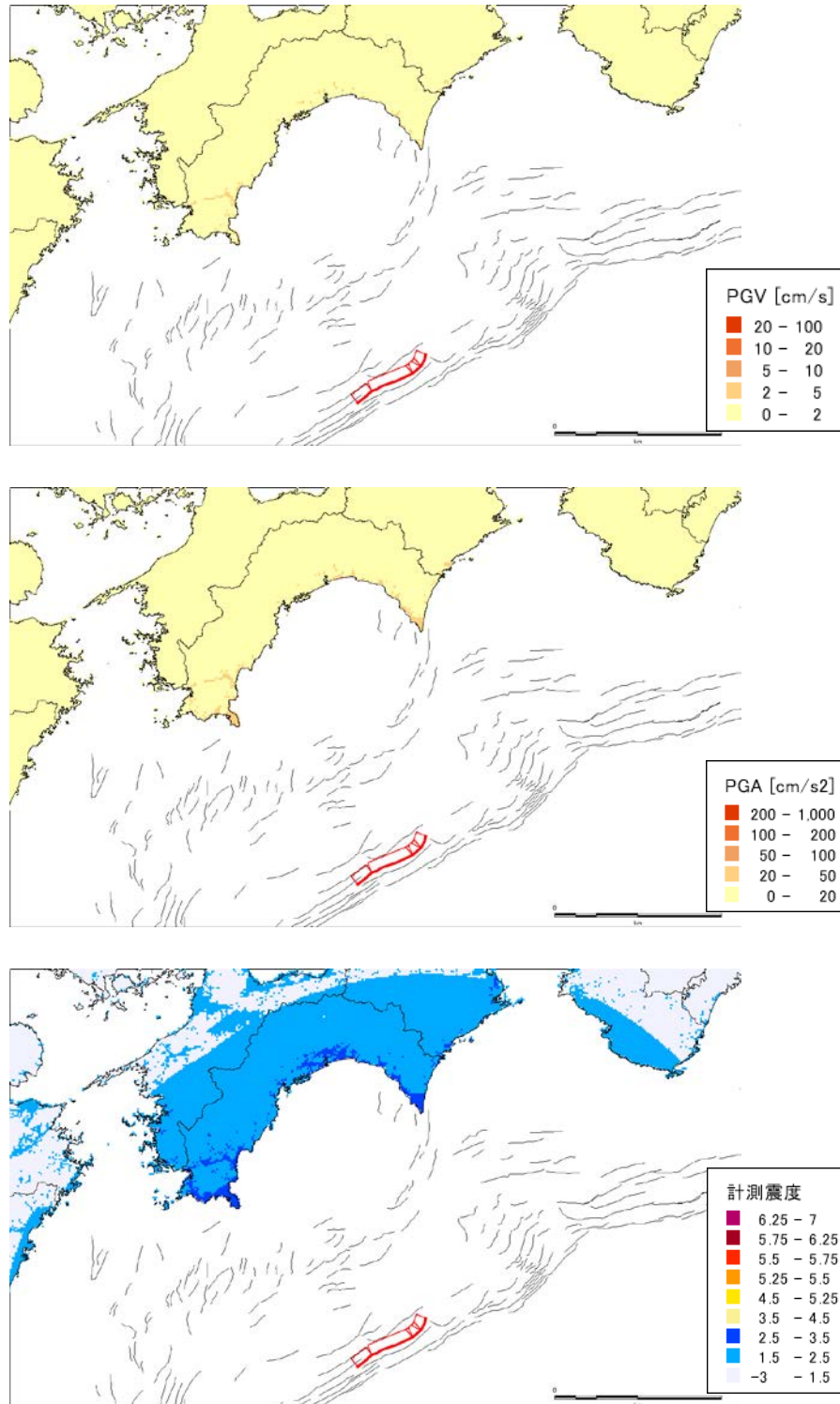


図 45 KOU_021 の基本モデルを用いた地震動予測計算結果（上図：PGV 分布、中図：PGA 分布、下図：計測震度分布）

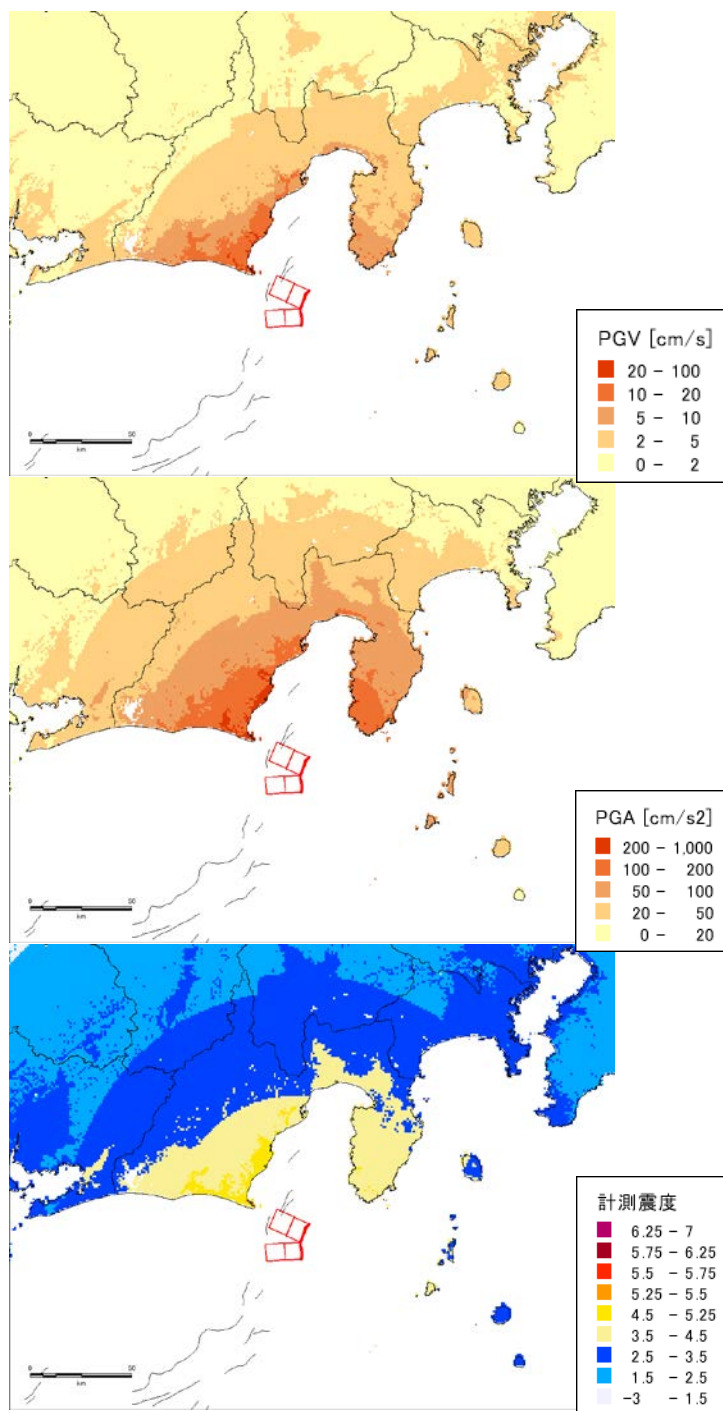


図 46 SHZ_007 の認識論的不確定性を考慮したモデルを用いた地震動予測計算結果(上図：PGV 分布、中図：PGA 分布、下図：計測震度分布)

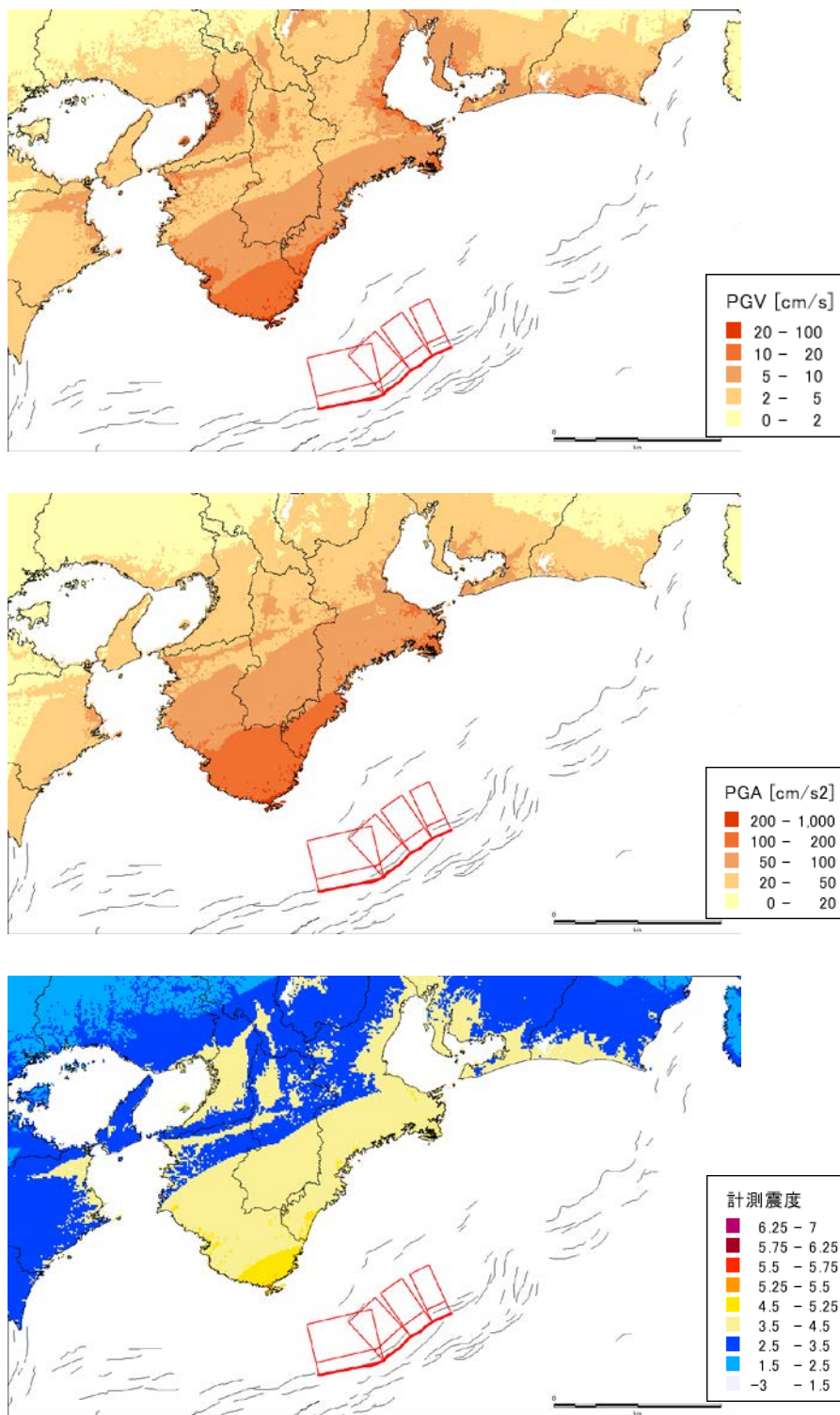


図 47 MIE_020 の認識論的不確定性を考慮したモデルを用いた地震動予測計算結果(上図：PGV 分布、中図：PGA 分布、下図：計測震度分布)

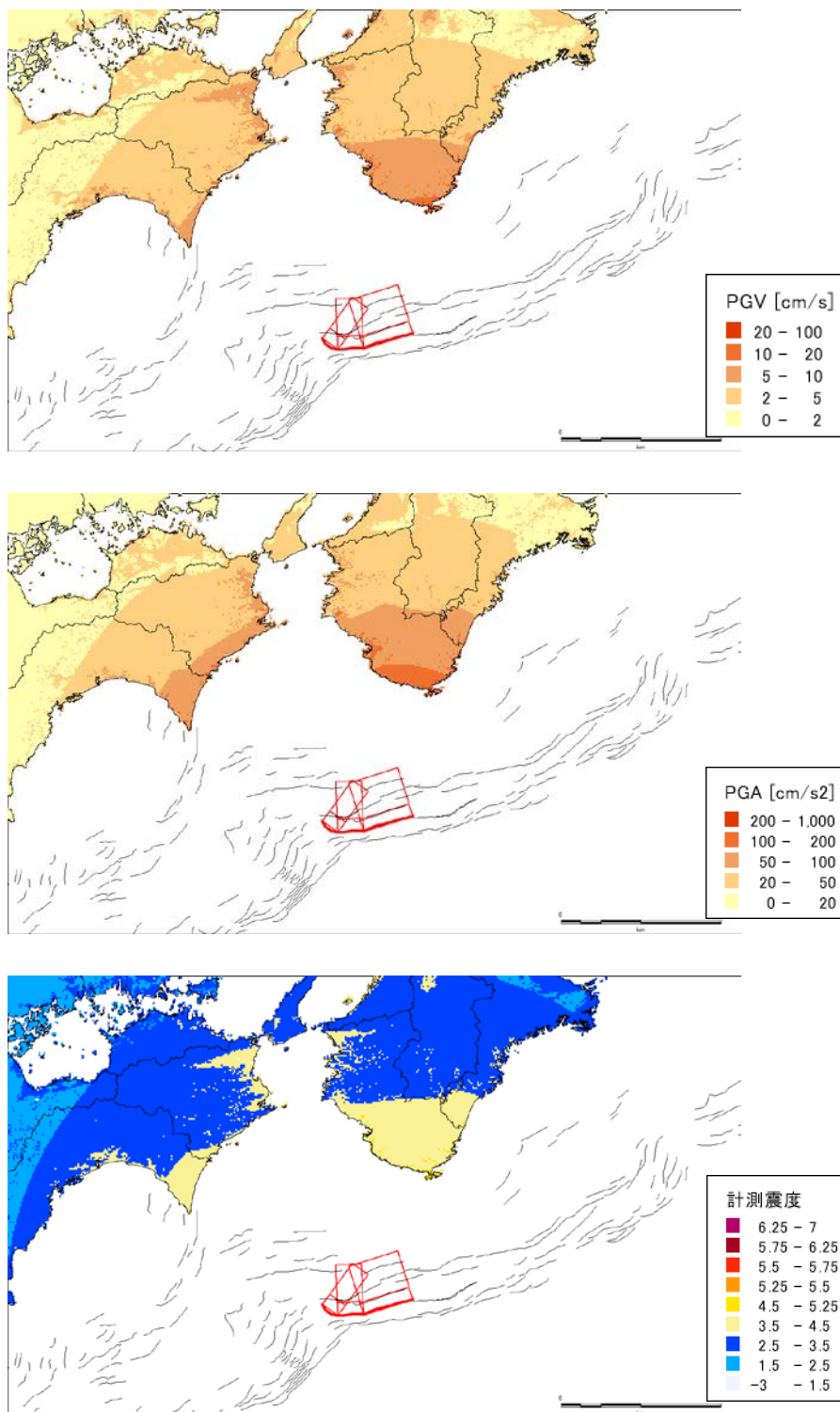


図 48 WKY_023 の認識論的不確定性を考慮したモデルを用いた地震動予測計算結果(上図：PGV 分布、中図：PGA 分布、下図：計測震度分布)

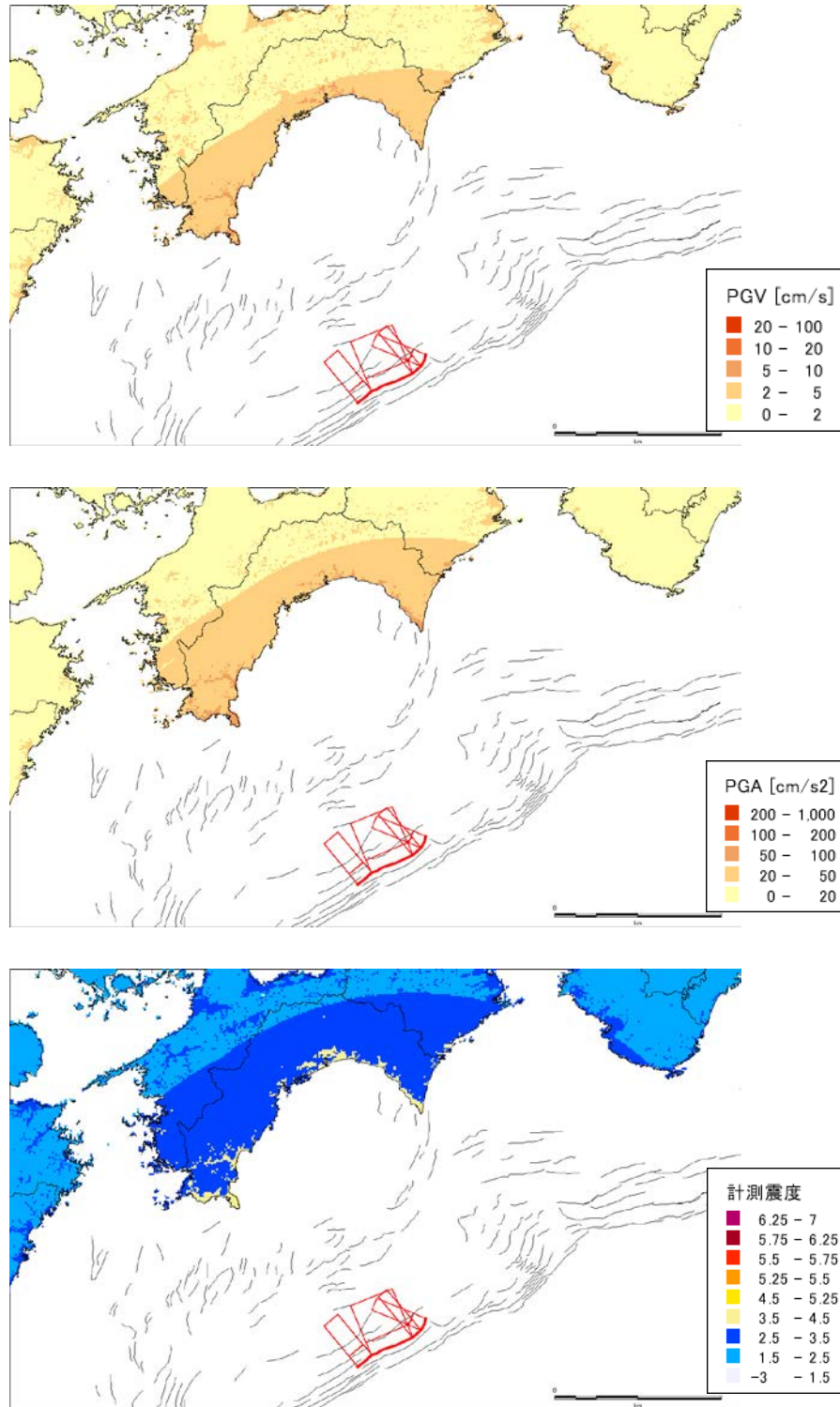


図 49 KOU_021 の認識論的不確定性を考慮したモデルを用いた地震動予測計算結果(上図：PGV 分布、中図：PGA 分布、下図：計測震度分布)

基本モデルと認識論的不確定性を考慮したモデルの比較のために、これらのモデルから求めた PGV と PGA のそれぞれについて、両モデルでの結果の比（認識論的不確定性を考慮したモデル／基本モデル）の分布及び計測震度の計算結果の差分（認識論的不確定性を考慮したモデル－基本モデル）を図 50～図 53 に示す。

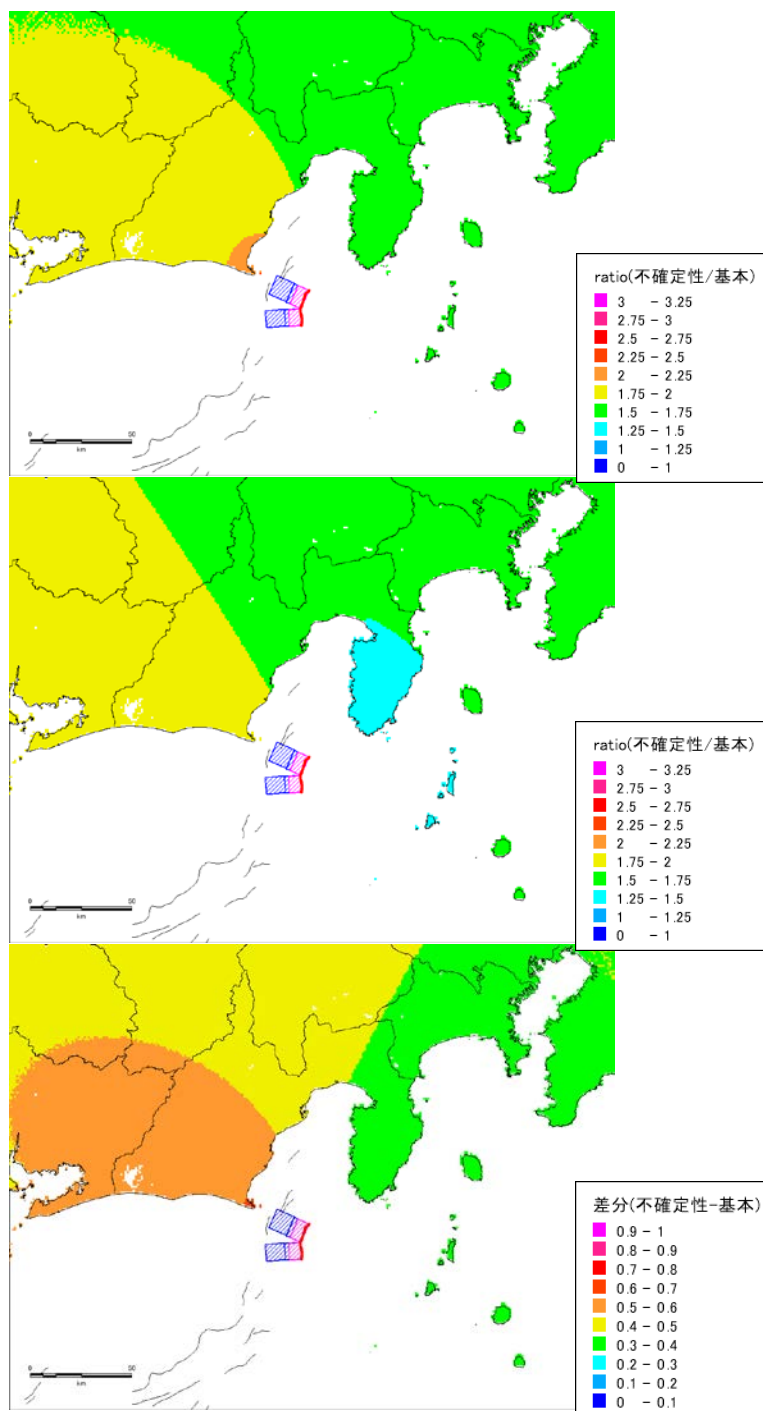


図 50 SHZ_007 について基本モデルと認識論的不確定性を考慮したモデルを用いた地震動予測計算結果の比較（上図：PGV の比率分布、中図：PGA の比率分布、下図：計測震度の差分分布）

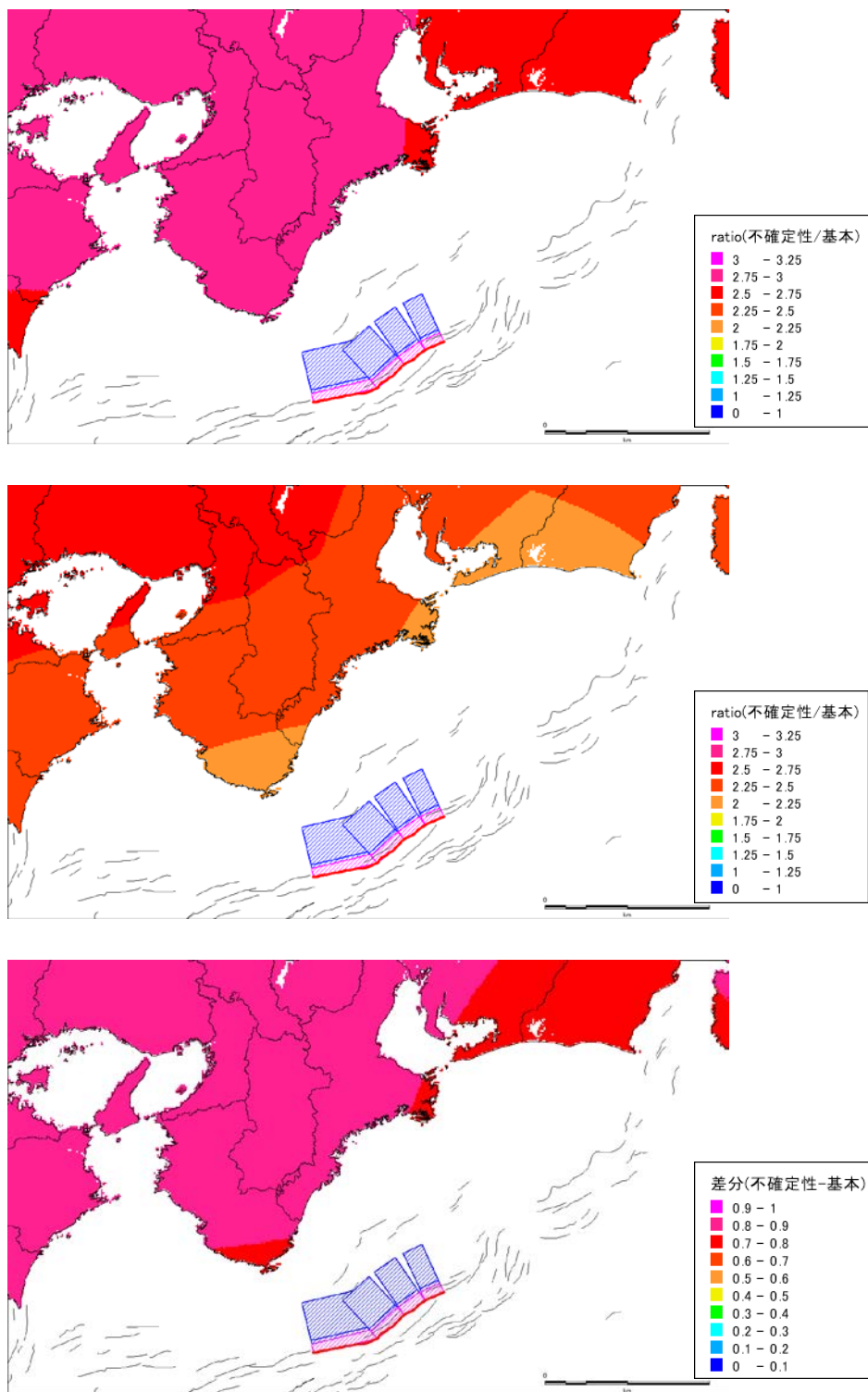


図 51 MIE_020 について基本モデルと認識論的不確定性を考慮したモデルを用いた地震動予測計算結果の比較（上図：PGV の比率分布、中図：PGA の比率分布、下図：計測震度の差分分布）

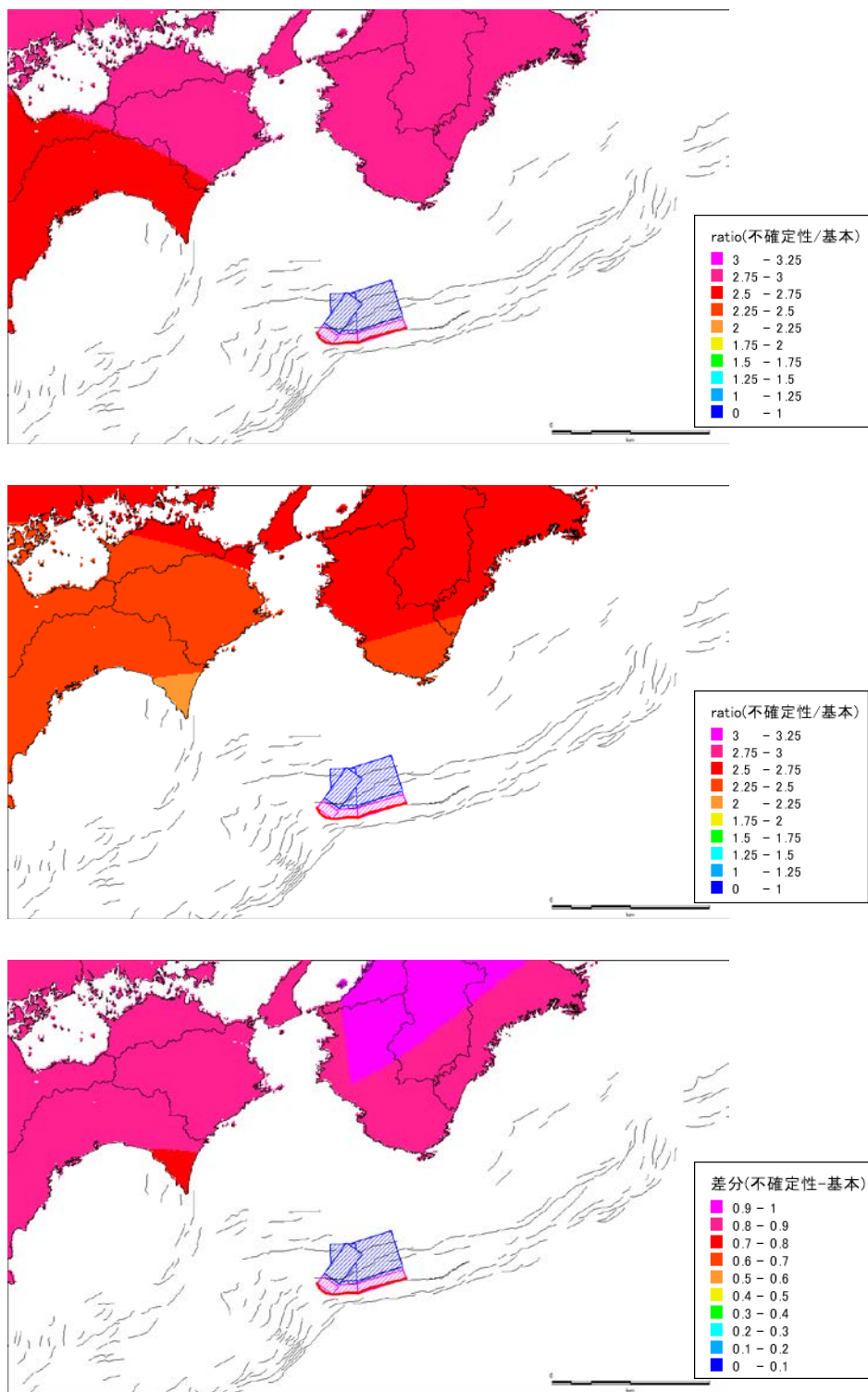


図 52 WKY_023 について基本モデルと認識論的不確定性を考慮したモデルを用いた地震動予測計算結果の比較（上図：PGV の比率分布、中図：PGA の比率分布、下図：計測震度の差分分布）

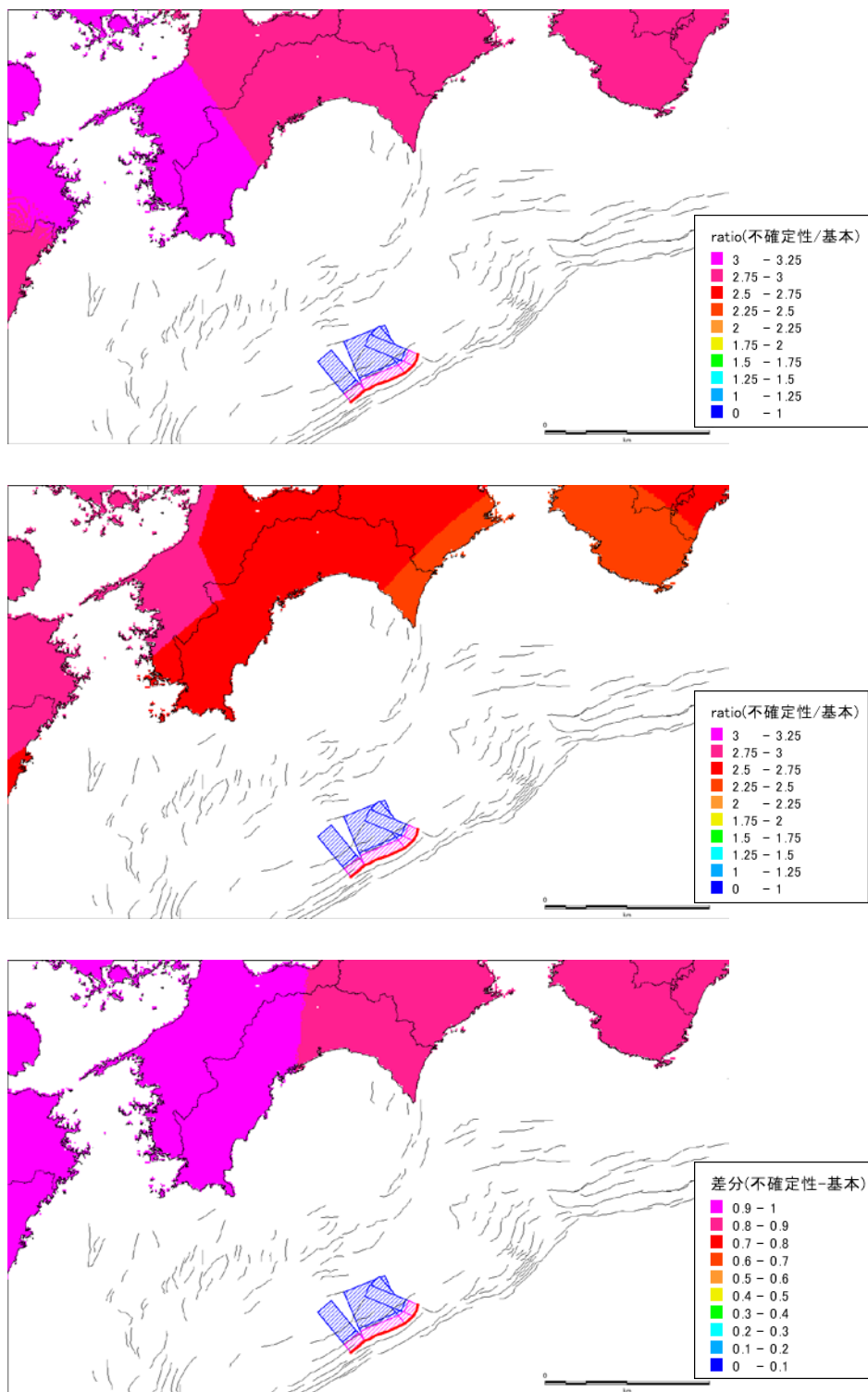


図 53 KOU_021 について基本モデルと認識論的不確定性を考慮したモデルを用いた地震動予測計算結果の比較（上図：PGV の比率分布、中図：PGA の比率分布、下図：計測震度の差分分布）

図 42～図 53 の図より、基本モデルと認識論的不確定性を考慮したモデルを用いた地震動予測計算結果については、次のようにまとめられる。

- ・今回計算の対象とした 4 断層のいずれについても、基本モデルの場合には、断層に近い陸域の大きいところでは、計測震度 3～4 程度の地震動が予測された(図 42～図 45)。
- ・一方、認識論的不確定性を考慮したモデルの場合には、各断層に近い陸域の大きいところでは、計測震度 4～5 弱程度の地震動が予測された(図 46～図 49)。
- ・どの断層においても、地震動予測計算の結果得られる PGV、PGA 及び計測震度の値は、基本モデルよりも認識論的不確定性を考慮したモデルの方が大きくなった。
- ・断層 SHZ_007 の結果(図 42 と図 46) と断層 KOU_021 の結果(図 45 と図 49) から見ると、地震規模の小さい SHZ_007 の方が KOU_021 よりも PGV、PGA 及び計測震度が大きいように見える。従って、SHZ_007 と KOU_021 に関して見ると、地震規模の差よりも陸域と断層との距離の差の方が大きく地震動の強さに反映されていると考えられる。
- ・基本モデルと認識論的不確定性を考慮したモデルの予測計算結果の比を見ると、SHZ_007 の場合(図 50) では PGV の比が 1.5～2.25 程度、PGA の比が 1.25～2 程度、計測震度の差が 0.3～0.6 程度であるのに対し、他の 3 断層(図 51～図 53) の場合には、PGV の比が 2.5～3.25 程度、PGA の比が 2～3 程度、計測震度の差が 0.7～1 程度である。SHZ_007 の場合には断層面形状の認識論的不確定性を考慮することによる影響は、他の 3 つの断層よりも小さい。これは、今回のモデル設定では、断層幅が断層長さを超えないようにモデル化するという条件を課しているため、断層長さが短い SHZ_007 では、認識論的不確定性を考慮したモデルの断層幅が他の断層よりも小さく、結果として地震規模が小さくなったことによると考えられる。

○横ずれ断層の縦ずれ成分に対する津波高への影響評価

本検討における断層モデルのパラメータの設定方法では、横ずれ断層の傾斜角を 90° とし、すべり角を 0° もしくは 180° として縦ずれ成分を含まない「完全な横ずれ断層」として設定している。しかし、実際には「完全な横ずれ断層」というのは稀なものであり、いくらかの縦ずれ成分を含んでいることが一般的である。南海トラフ周辺海域における横ずれ断層は、主に遠州灘と宮崎県沖で確認される（図 1）。今回、それぞれの領域で比較的長い断層を一つずつ抽出し、横ずれ断層に縦ずれ成分を考慮することで生じる沿岸で予想される津波への影響のちがいについて検討する。遠州灘の横ずれ断層の断層モデルは、中部電力が浜岡原子力発電所の基準津波策定（中部電力，2017 など）において津波の評価をしている遠州断層系の一部（図 54）に相当する。一方の宮崎県沖は、九州—パラオ海嶺の延長線上を境に、東側では逆断層が西側では横ずれ断層と正断層が入り混じっている領域である。西側の正断層と特定された断層の中には、横ずれ断層の走向と近い走向を持つ断層も存在しているため、宮崎県沖における横ずれ断層では正断層に近いすべり成分を含む可能性が考えられる。

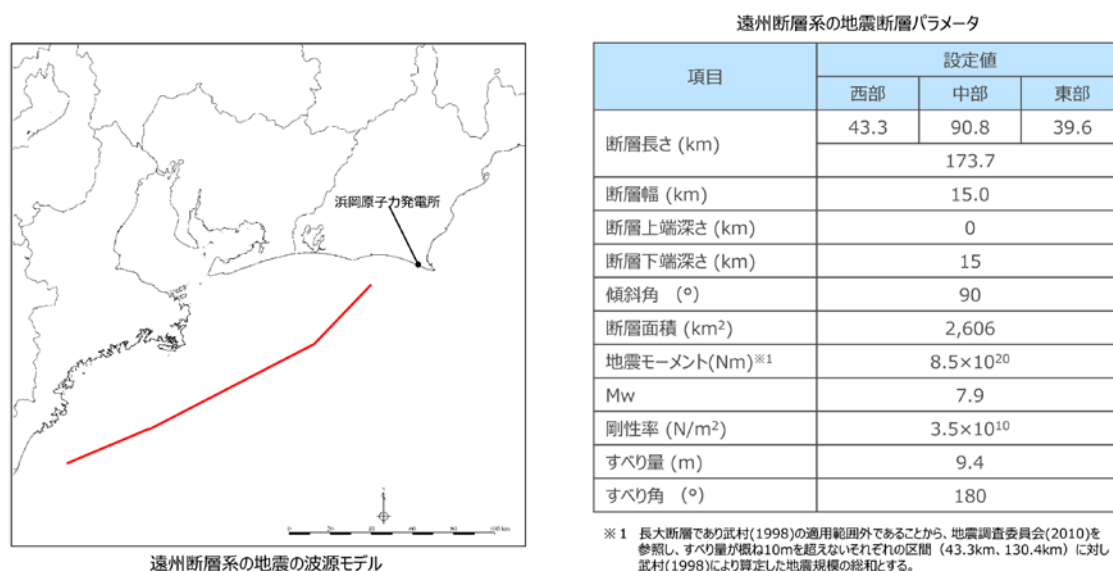


図 54 浜岡原子力発電所の基準津波策定において津波評価に用いられた遠州断層系の地震の波源モデル（中部電力，2017）

感度解析に用いる断層モデルの設定

遠州灘沖の断層は横ずれ断層で最も長い断層（ACH_001）を、宮崎県沖の断層は比較的長くかつ沿岸に近い断層（MIY_048）を抽出した（図 55）。遠州灘沖の断層では、島弧側に正断層が分布し、宮崎県沖の断層では周辺に正断層が分布していることから、感度解析に用いるモデルとして正断層成分を含む横ずれ断層として設定した。断層の傾斜方向は、サブテーマ 2 のデータから、ACH_001 は北西傾斜、MIY_048 は北東傾斜とした。傾斜角は高角な断層を想定し、 70° として設定した。すべり角は横ずれ断層と正断層の

中間的な値として、3段階（350°、340°、330°）として設定した。感度解析用の断層パラメータを表及び表に示す。



図 55 横ずれ断層のすべり方向の感度解析に使用した断層モデル

表 3 縦ずれ成分を考慮した ACH_001 の断層パラメータ

No	Lon.	Lat.	Top.(km)	Bot.(km)	Str.(deg.)	Dip (deg.)	r.(deg.)	L.(km)	W.(km)	Mo(N・m)	Mw	D.(m)	Name
353-P1	137.5252	34.2902	0.0	14.0	233.6	70	350	23.10	14.00	1.81E+19	6.77	0.92	ACH_001_rake350_1
	137.3201	34.1706			244.2			17.64					ACH_001_rake350_2
353-P2	137.5252	34.2902	0.0	14.0	233.6	70	340	23.10	14.00	1.81E+19	6.77	0.92	ACH_001_rake340_1
	137.3201	34.1706			244.2			17.64					ACH_001_rake340_2
353-P3	137.5252	34.2902	0.0	14.0	233.6	70	330	23.10	14.00	1.81E+19	6.77	0.92	ACH_001_rake330_1
	137.3201	34.1706			244.2			17.64					ACH_001_rake330_2

表 4 縦ずれ成分を考慮した MIY_048 の断層パラメータ

No	Lon.	Lat.	Top.(km)	Bot.(km)	Str.(deg.)	Dip (deg.)	r.(deg.)	L.(km)	W.(km)	Mo(N・m)	Mw	D.(m)	Name
320-P1	131.8928	31.7016	0.0	18.0	335.7	70	350	18.45	18.00	5.75E+18	6.44	0.50	MIY_048_rake350
320-P2	131.8928	31.7016	0.0	18.0	335.7	70	340	18.45	18.00	5.75E+18	6.44	0.50	MIY_048_rake340
320-P3	131.8928	31.7016	0.0	18.0	335.7	70	330	18.45	18.00	5.75E+18	6.44	0.50	MIY_048_rake330

津波予測計算結果

ACH_001 と MIY_048 の断層について、基本モデル、表及び表の感度解析用のモデルを用いて、本州沿岸及び島嶼部の沿岸で予測される津波がどのように変化するかについて感度解析を行った。各モデルを用いた津波予測計算の結果については付録 3 にまとめた。図 56 及び図 57 は、各断層について基本モデルと 3 パターンの感度解析用モデルを用いた津波予測計算結果について、沿岸で予測される津波高を比較したものである。これらの図から、以下のことが言える。

- ・ 完全な横ずれ断層とした場合に予測される津波の最大水位上昇量はごく小さい（どちらの断層でも最大で 0.2 m 程度）が、縦ずれ成分を考慮することにより大きな津波高が予測されるようになる。
- ・ 断層別で見ると、地震規模の大きい ACH_001 の方は、すべり角 350° のモデルで最大約 1 m、 340° のモデルで 1.9 m、 330° のモデルで 2.5 m と大きな津波高となった。一方、MIY_048 では、すべり角 330° のモデルでも最大 0.6 m 程度とあまり大きな津波高にならなかった。
- ・ ACH_001 のすべり量が MIY_048 のすべり量の約 1.8 倍であることを考慮しても、遠州灘の横ずれ断層の方がすべり量の縦ずれ成分が津波に与える影響が大きい可能性がある。逆に、宮崎県沖の横ずれ断層に関しては、すべり量の縦ずれ成分が津波に与える影響は小さいと言える。

結論として、今回の感度解析では、遠州灘の横ずれ断層で、縦ずれ成分の大きさや断層のすべりの方向によって、沿岸で予測される津波高さは大きく変化した結果が得られた。このような断層では、今後の確率論的ハザード評価を含む地震と津波のハザード評価の検討の際には、不確定性として縦ずれ成分を加味することも留意する必要がある。

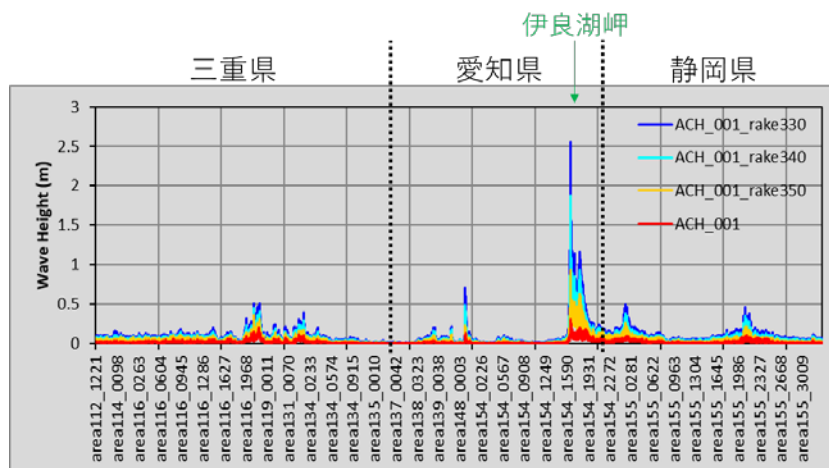


図 56 ACH_001 の横ずれ断層についてすべり方向を変化させた場合の津波予測計算結果
(沿岸の最大水位上昇量)

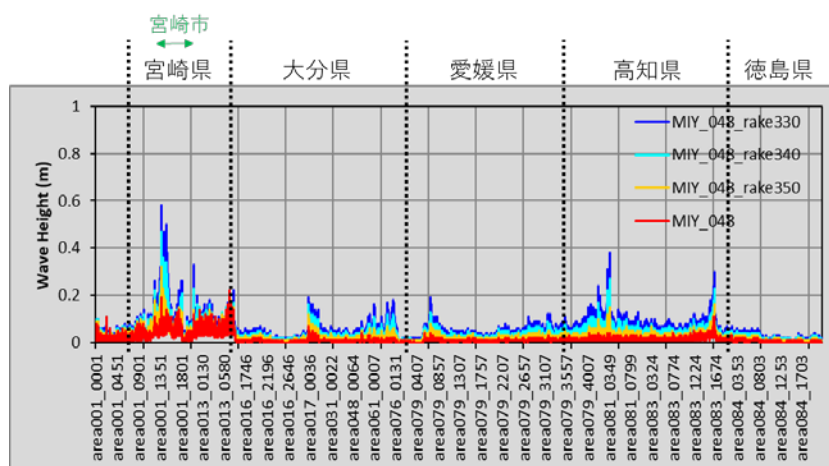


図 57 MIY_048 の横ずれ断層についてすべり方向を変化させた場合の津波予測計算結果
(沿岸の最大水位上昇量)

(3) 平成 25 年度～令和元年度の成果

(a) 日本周辺海域に設定した断層モデルのまとめ

本プロジェクトでは、日本周辺海域で確認された断層群について、断層の活動による地震発生を想定した断層モデルの構築の検討、その断層モデルによってどの程度の地震動及び津波が生じるのかの予測計算、及びその計算結果について歴史記録等との対比・検証を行ってきた。本業務における 7 年間の主な成果は、日本海、南西諸島周辺海域、伊豆小笠原周辺海域及び南海トラフ周辺海域で設定、検討した断層モデル群である。

本プロジェクトにおける断層モデル設定の基本的な方針として、サブテーマ 2 で調査・探査によって整理された断層の分布や特徴、及び三次元速度構造モデルのデータを参照し、断層モデルを構築した。データから読み取ることのできないパラメータは、既往の断層モデルや先行研究の知見を参照した。また、データ自体のばらつきや不完全性、データを解釈する際のばらつき、及び地震という現象に対する考え方の多様性を不確定性として評価するため、平均的なパラメータを設定する基本モデルに加え、特定のパラメータに幅を持たせたモデルも設定した。

本プロジェクトで設定した断層モデルの分布図を図 1 に示す（基本モデルのみ）。海域ごと、断層タイプごとに設定した断層モデルの本数をまとめたものを表 1 に示す。サブテーマ 2 で整理された全 1,490 本の断層に対して、断層モデル 2,715 個を構築した。構築した断層モデル群の地震規模について、海域ごと、設定条件ごと（基本モデル／認識論的不確定性を考慮したモデル）の累積個数分布を図 2 に、海域ごと、断層タイプごとの個数分布を図 3 に示す。

表 1 本プロジェクトで設定した断層モデルについて海域・断層タイプごとの個数（括弧内の数字は基本モデルのみの個数）

	逆断層	正断層	横ずれ断層	合計
日本海地域	317(162)	41(26)	57(57)	415(245)
南西諸島及び九州西岸地域	64(32)	670(335)	48(24)	782(391)
伊豆小笠原海域	108(54)	790(395)	48(24)	946(473)
南海トラフ海域	393(242)	96(78)	83(61)	572(381)

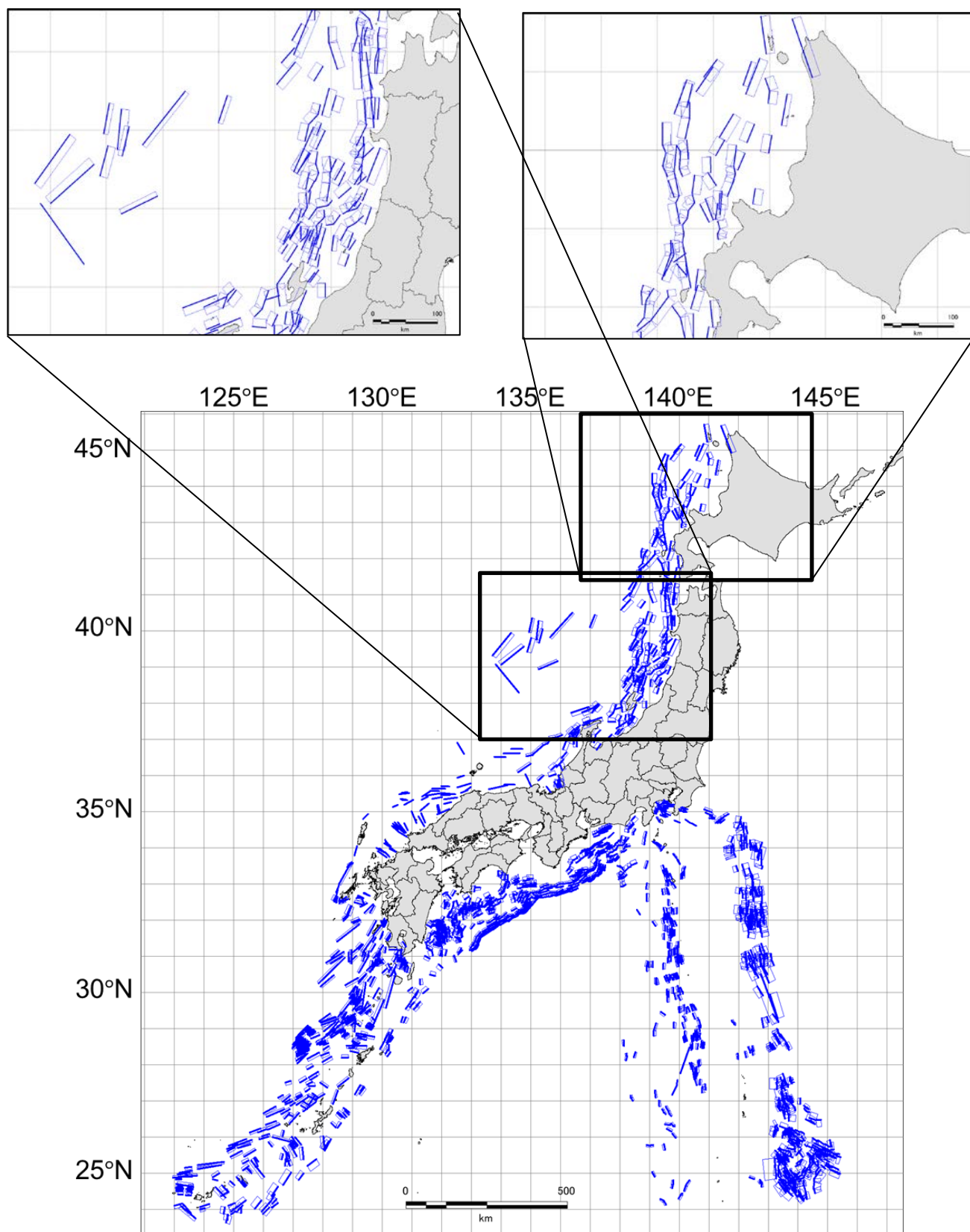


図1 a 平成25-27年度に実施した日本海海域（北海道及び日本海東遠）で設定した断層モデル（青四角）一覧。断層上端を太く示している。また、傾斜角が垂直に近い断層モデルは青線のようになる。

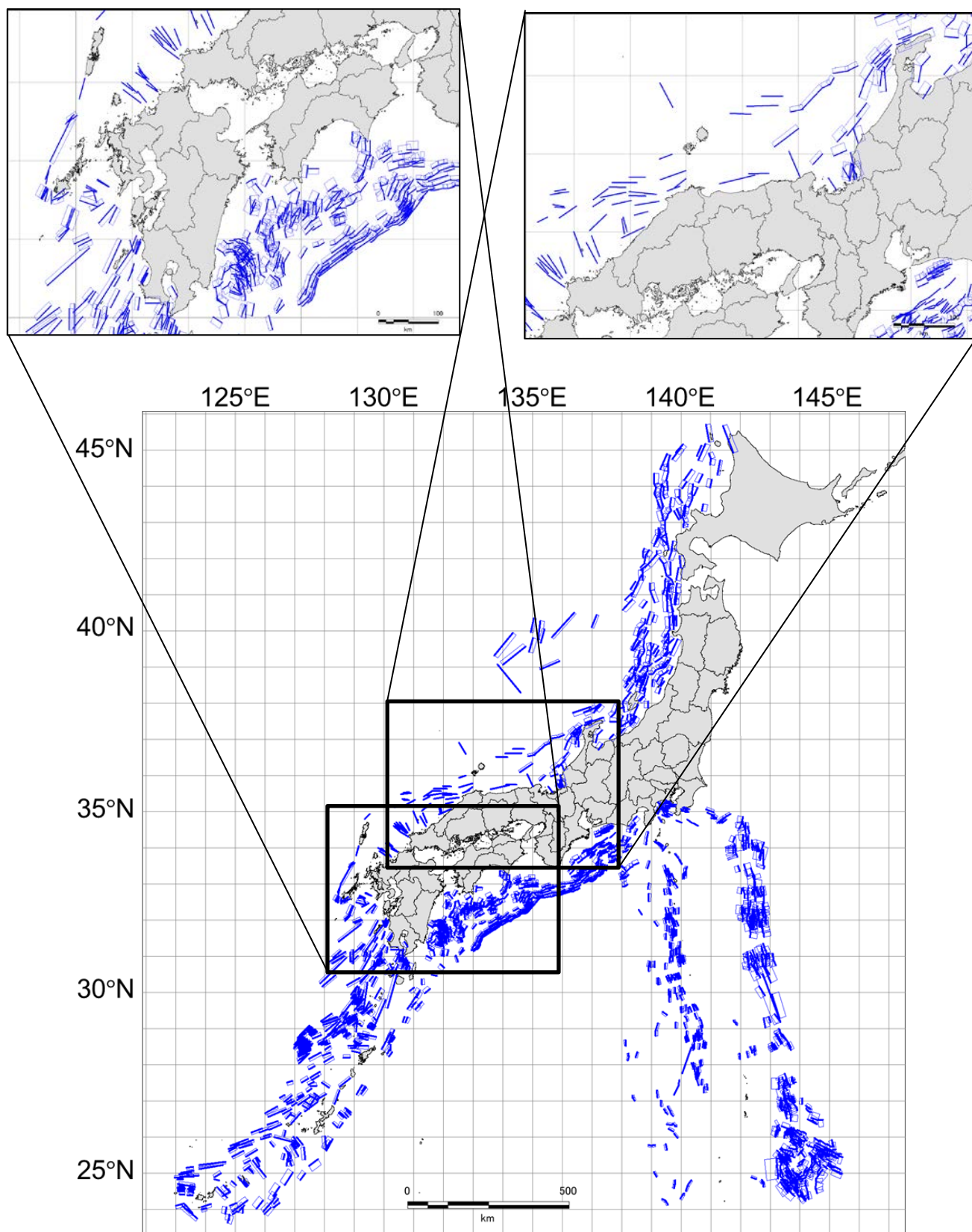


図 1b 平成 25－27 年度に実施した日本海海域（北陸、近畿、山陰及び九州）で設定した断層モデル一覧

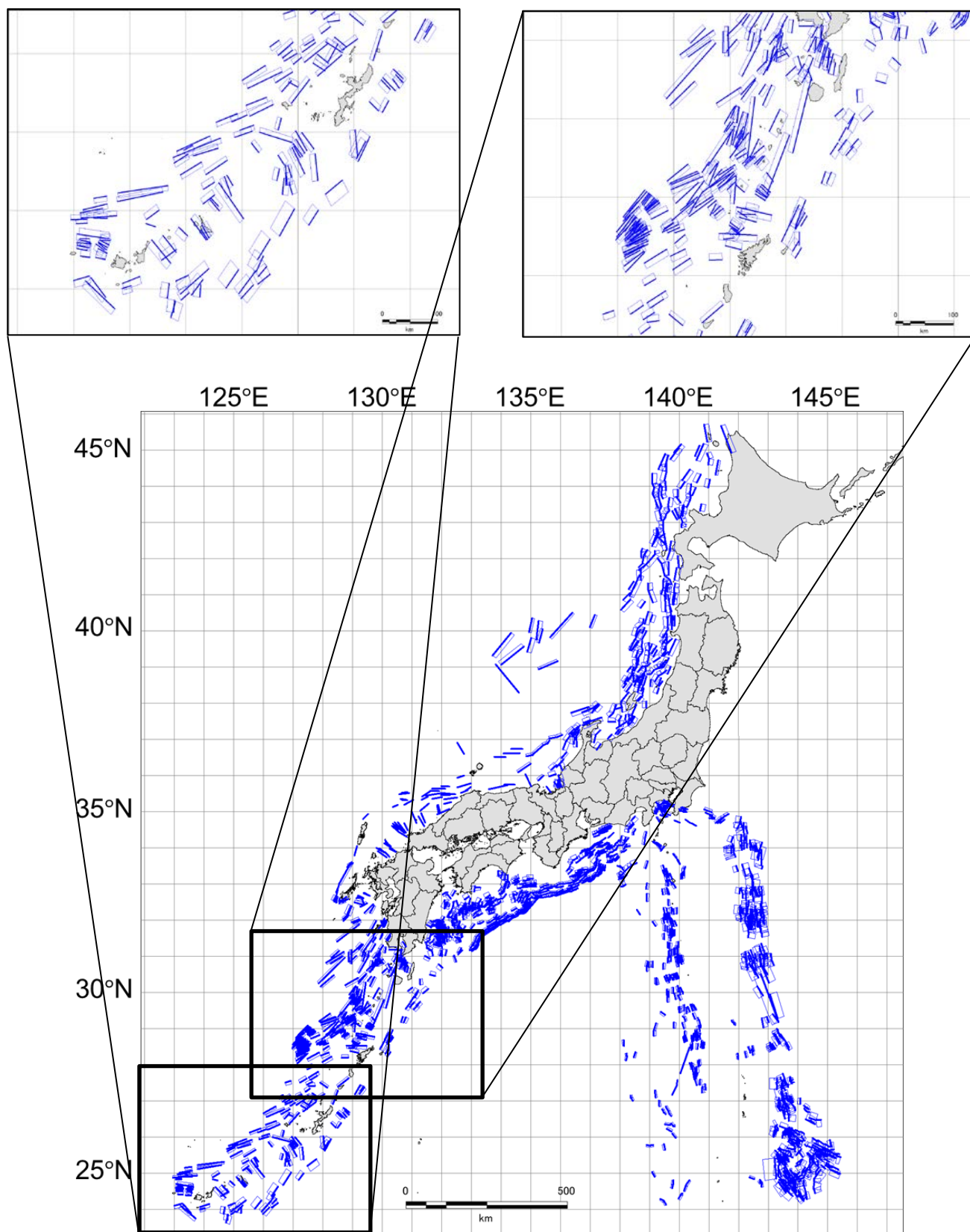


図 1 c 平成 28－29 年度に実施した南西諸島及び九州西岸海域で設定した断層モデル一覧

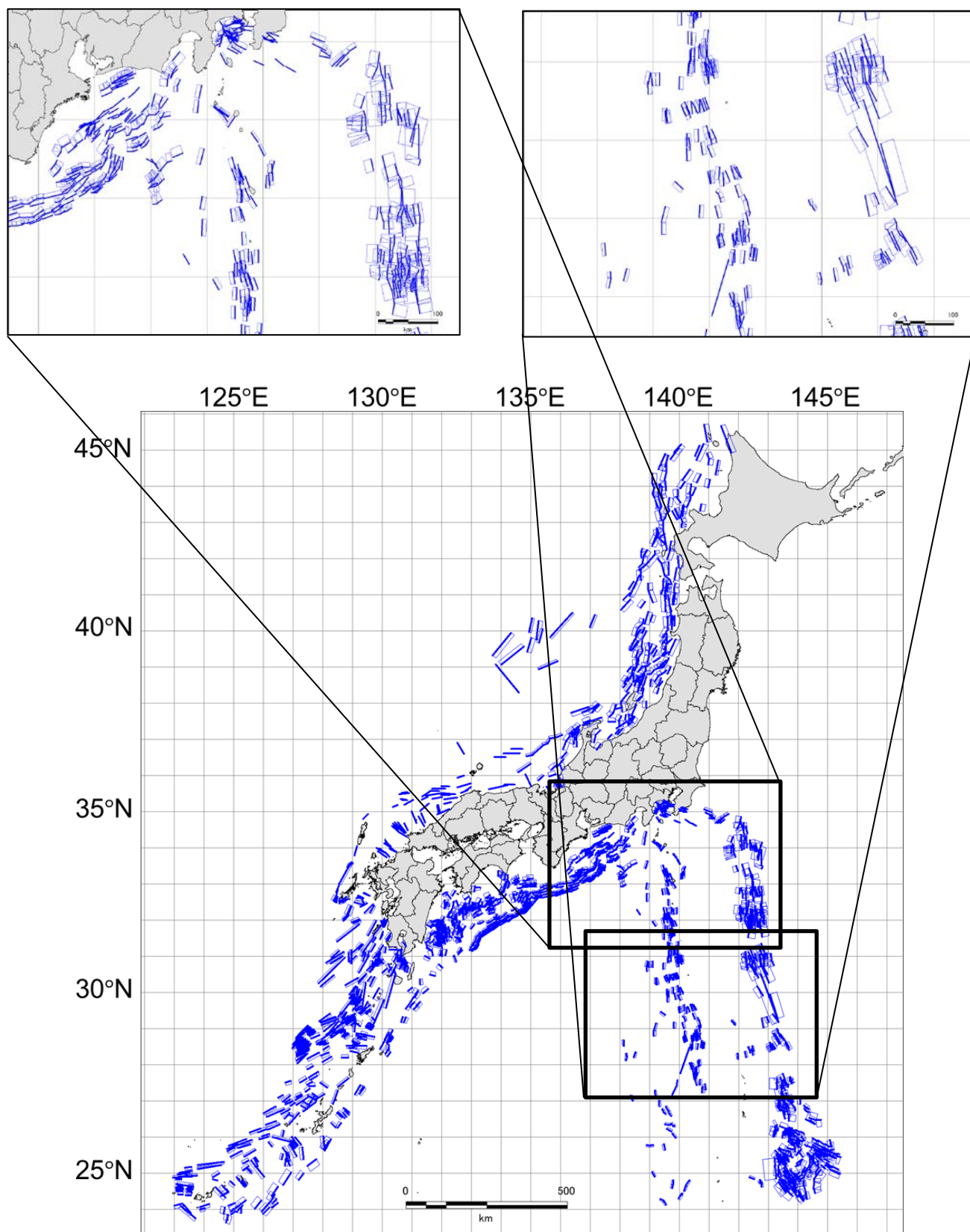


図 1 d 平成 30 年度に実施した伊豆・小笠原海域で設定した断層モデル一覧

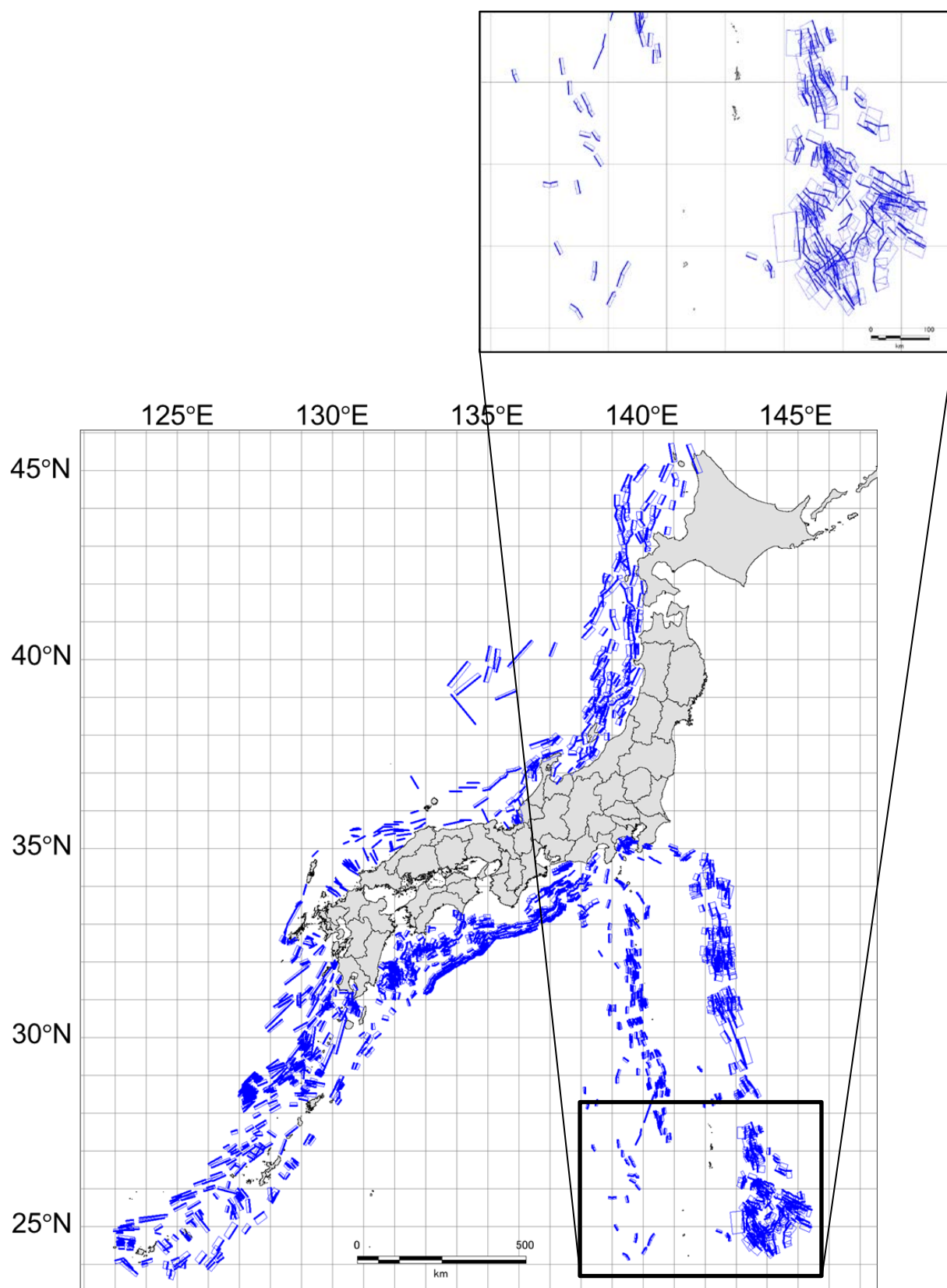


図 1 e 平成 31／令和元年度に実施した南海トラフ周辺海域で設定した断層モデル一覧

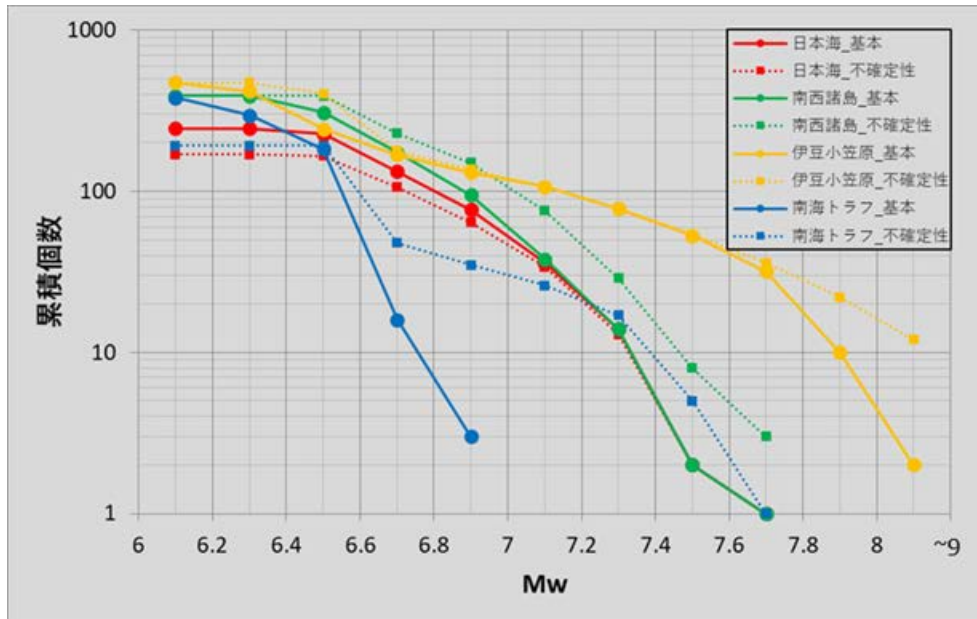
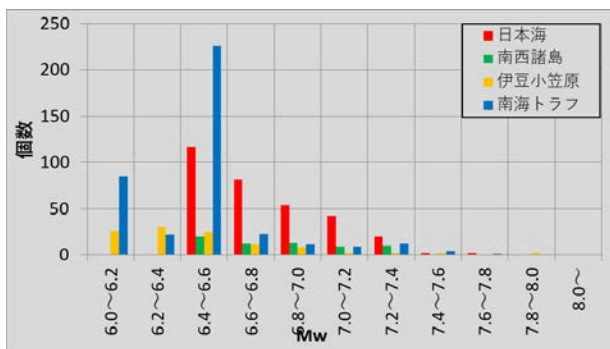
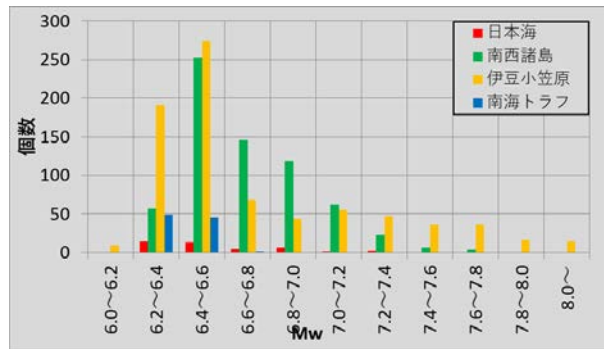


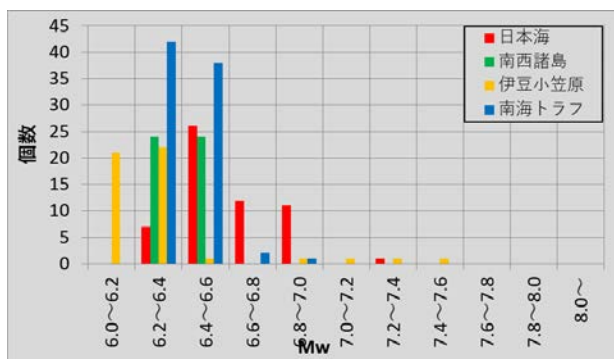
図2 本プロジェクトで設定した断層モデルの地震規模について、海域ごと、設定条件ごとの累積個数分布



逆断層



正断層



横ずれ断層

図3 本プロジェクトで設定した断層モデルの断層タイプ別の地震規模の頻度分布。海域別に色分けして示す（■：日本海海域、■：南西諸島海域、■：伊豆・小笠原海域、■：南海トラフ海域）。

(b) まとめ

サブテーマ3では、サブテーマ2の成果に基づき、7年にわたって海域断層のモデル化方法を検討した。その中で、ある程度統一的な方法でモデル化が可能であることを示すことが出来たことは、今後の地震及び津波に対するハザード評価の検討に重要な事例となると考えられる。また、現状、海溝型地震に対する防災上の検討は進んでいるものと思われるが、今後、海域の断層やアウターライズ領域の断層が与える影響についての検討が必要になると考えられる。本プロジェクトの成果は、それらの重要性を示すものでもあり、また、それらの断層モデルの考え方についてのプロトタイプ的な位置づけになるものと期待される。特に、南西諸島海域、伊豆小笠原海域及び南海トラフ周辺海域では、これまで、音波探査等の海域断層調査データに基づく断層モデルが設定されてこなかった。本プロジェクトで断層データに基づき網羅的に設定した断層モデル群は、これらの地域の防災施策に重要な知見を与えるものと期待される。

日本海海域においては、2013年（平成25年）から東京大学地震研究所が実施している文部科学省委託事業の日本海地震・津波調査プロジェクトや、内閣府が実施した中央防災会議：日本海の津波調査業務（2007）等、本プロジェクト以外にも事例が存在する。ただし、それぞれのプロジェクトで断層モデルの考え方は異なり、特に、日本海の津波調査業務（2007）では大規模地震（最大クラス）を対象とした検討を実施しているのに対し、本プロジェクトは平均的な断層モデルの設定を検討している。防災を考える場合に対象とする地震として、頻度は低いが被害が甚大となる大規模地震と、より頻度は高いが規模はそれほど大きくない地震に大別できる。前者は、可能性は否定できないが発生頻度が非常に低い地震として、津波避難タワーの設置条件やプレート境界で発生する地震による津波との比較に活用でき、後者は、将来発生する可能性の高い地震の中ではどこで津波が高くなりやすくなる傾向があるのかを把握することができるため、両者とも重要性はあると考えられる。その中で、本プロジェクトの断層モデルは観測データに基づくものであり、連動性（同時的破壊）を考えることにより、小さいものから大きいものまでを考えることができる。加えて、構造探査データを詳細に検討することや海底地形を考慮することにより、断層が連続している可能性がある範囲を絞り込むことが可能であることが分かっているため（北海道南西沖地震の検証や日本海中部地震の検証）、大きい地震の想定に対してもある程度は現実的なサイズを提供すると考えられる。

日本海海域において、2019年山形県沖の地震が発生した。この地震の震源域の近傍には、本プロジェクトで設定した断層モデルがあり、これらの断層モデルから想定される津波は、山形県沖の地震で発生した津波の高さをカバーしていた。海域断層の調査データに基づき、密に断層モデルを設定することにより、このような地震に対する津波の影響をある程度は予測することが可能であることが示された。

以上のように、本プロジェクトでは実際の海域の観測データにもとづいて、プレート上面のメガスラストを除く日本周辺海域の断層についてのモデル化の方法を検討し、プロジェクトで対象とした海域における断層モデル群を設定した。この方法論は、今後、これらの断層モデルを用いて実際の津波・地震動予測に適用するにあたっての基礎となるものである。

本プロジェクトで設定した断層モデルは、今後、確率論的ハザード評価を含む地震と津波のハザード評価の検討の際には、断層モデルを設定するにあたり、以下のような項目が解決すべき項目である。

- ・断層上端形状について、客観的な設定方法の検討。
- ・断層タイプの不確定性の検討。
- ・断層傾斜角について、海域で発生した地震の余震分布や震源インバージョンなども含めた検討。
- ・断層下端深度の設定に関して、断層面上のすべりの及ぶ範囲についての調査・検討。
- ・スケーリング則について、内陸活断層の地震を対象とした入倉・三宅（2001）の適用可否についての検討。
- ・すべり角特に横ずれ断層のすべり角について、適切な平均値についての検討。
- ・本プロジェクトで扱えなかった断層（南西諸島周辺海域における海溝軸周辺の逆断層及び南海トラフにおける分岐断層）についてのモデル化。
- ・連続的な断層面の設定方法及び、モデル化における断層面の解像度についての検討。

(4) データ公開システムへの断層モデルの搭載状況の確認

本プロジェクトで構築した断層モデルは、サブテーマ1で検討された海域断層の公開データベース・システム（以下、公開DB）に搭載される。ここでは、公開DBに搭載されている断層モデルについて、津波や地震動の計算を実施するのに十分なパラメータが搭載されていて、またハザード評価に有効に活用できる形式かどうかについて確認する。

図1～図3は公開DBにおける断層モデルのマップ表示であり、日本海海域（図1）、南西諸島周辺海域（図2）及び伊豆小笠原周辺海域（図3）において構築した断層モデルの一つ一つが青枠で表示される。海域ごとの断層モデルの表示／非表示は、左上のチェック項目で操作できる。また、青枠のいずれか一つをクリックすることにより、その断層モデルの名前、傾斜角、断層長さ及び幅がポップアップ表示されるようになっており、マップから断層モデルの情報を確認することができることを確認した（図5）。

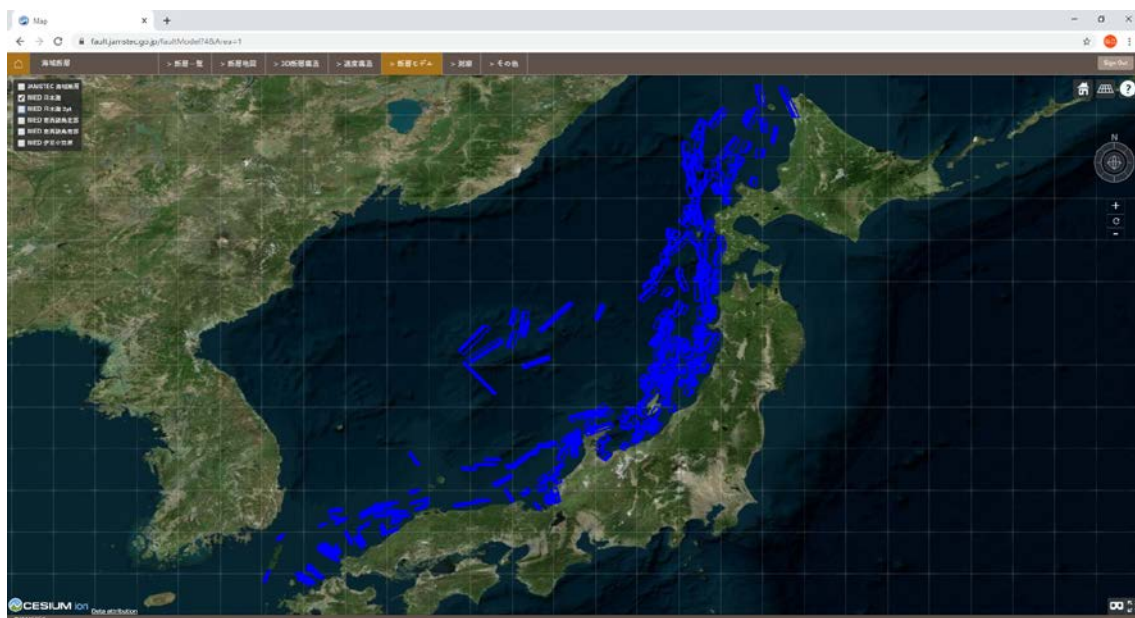


図1 公開DBにおける日本海海域の断層モデルのマップ表示

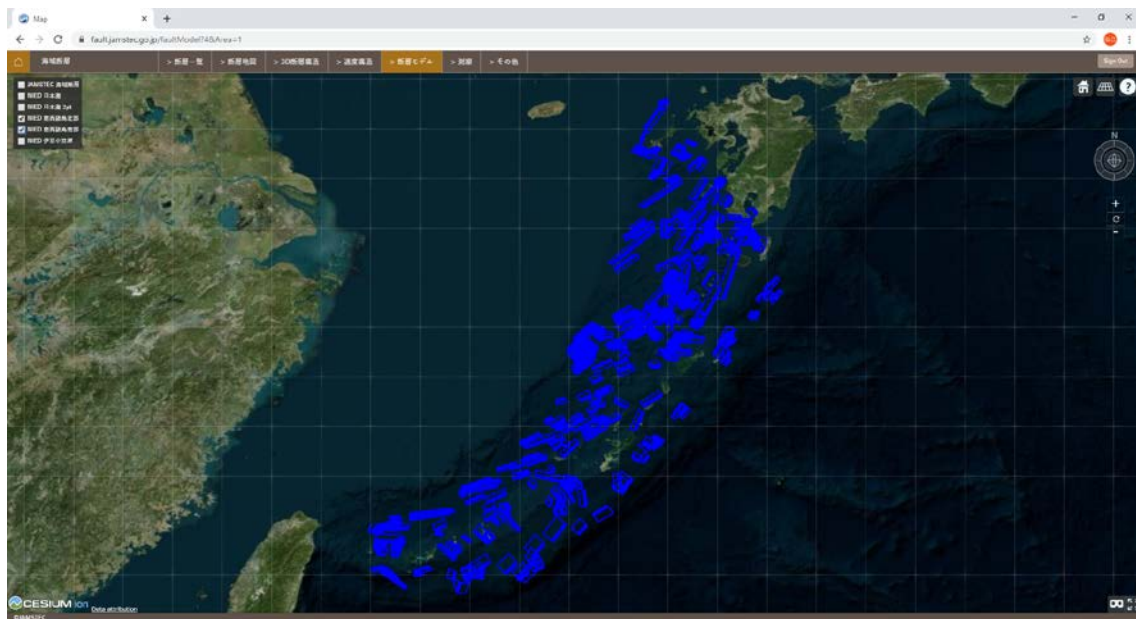


図2 公開 DB における南西諸島周辺海域の断層モデルのマップ表示

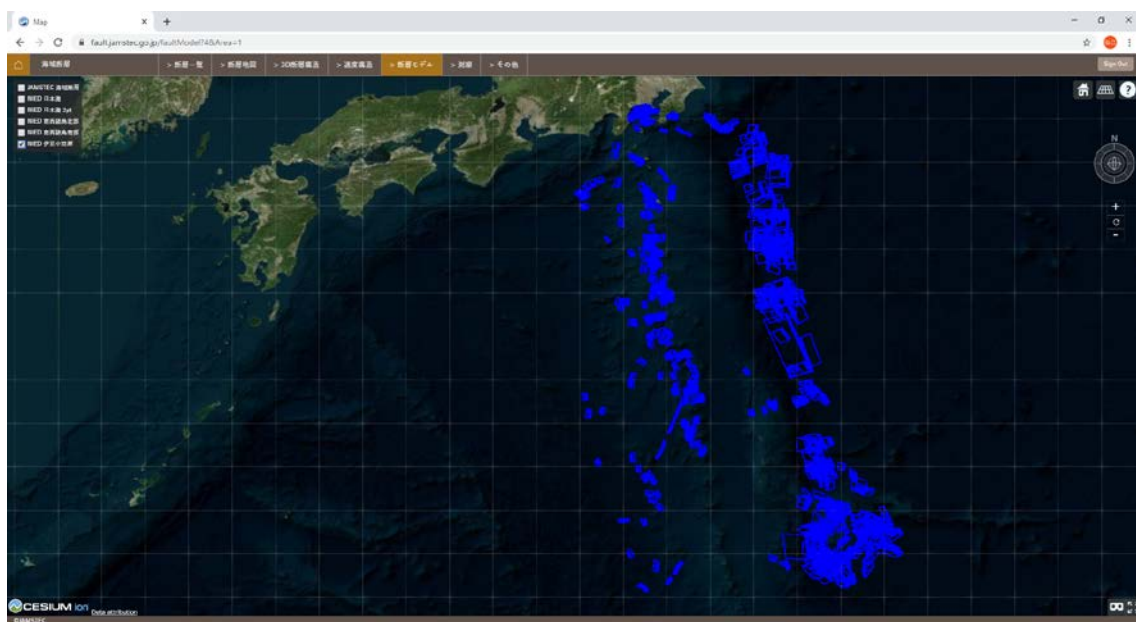


図3 公開 DB における伊豆小笠原周辺海域の断層モデルのマップ表示

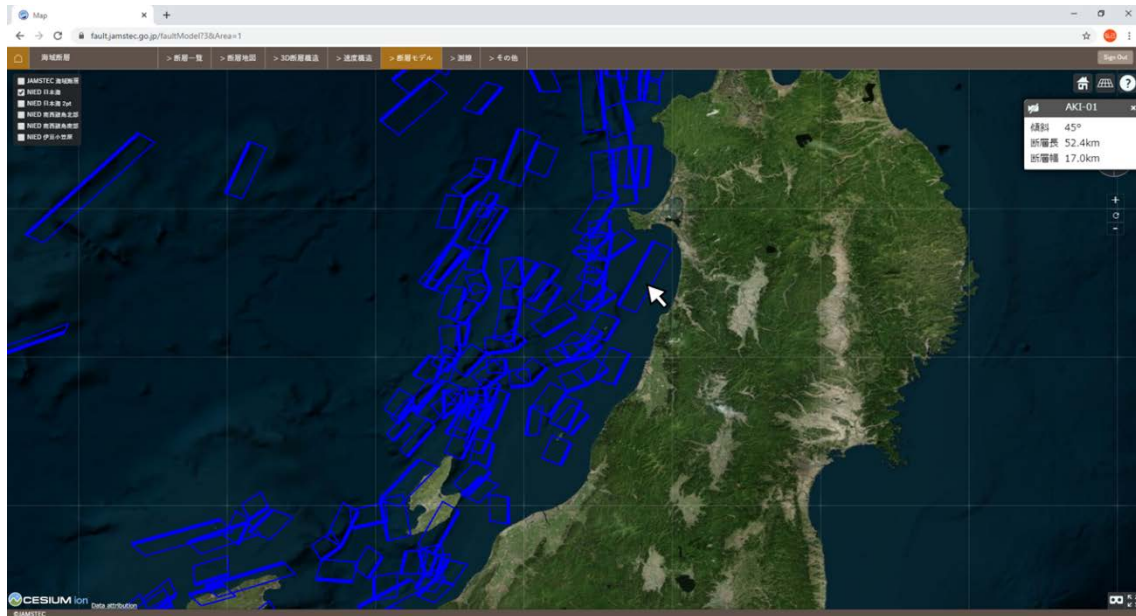


図4 公開 DB の断層モデルマップ表示における断層モデル選択時の表示例

断層モデルの詳細なパラメータは、「断層モデル」タブ下の項目（図5）のリンク先にリスト化されて搭載されている。ここでは、海域ごと（日本海、南西諸島及び伊豆小笠原）及び設定方法ごと（以下を参照）に整理されていることを確認した。

日本海：

- ・傾斜角なし・・・傾斜角を平均的な値（逆断層 45°、正断層 60°、横ずれ断層 90°）として一枚の断層面で設定した断層モデル
- ・傾斜角あり・・・断層を上部と下部に分け、サブテーマ2のデータを用いて各断層の傾斜角を設定した断層モデル（逆断層及び正断層のみ）

南西諸島：

- ・断層下端=コンラッド・・・断層下端深度をサブテーマ2のコンラッド面深度データから設定した断層モデル
- ・断層下端=モホ・・・断層下端深度をサブテーマ2のモホ面深度データから設定した断層モデル
- ・幅+5 km・・・「断層下端=コンラッド」の断層モデルに対し、断層幅が+5 km になるように断層下端深度を設定した断層モデル

伊豆小笠原：

- ・断層下端=コンラッド・・・断層下端深度をサブテーマ2のコンラッド面深度データから設定した断層モデル
- ・幅+5 km・・・「断層下端=コンラッド」の断層モデルに対し、断層幅が+5 km になるように断層下端深度を設定した断層モデル

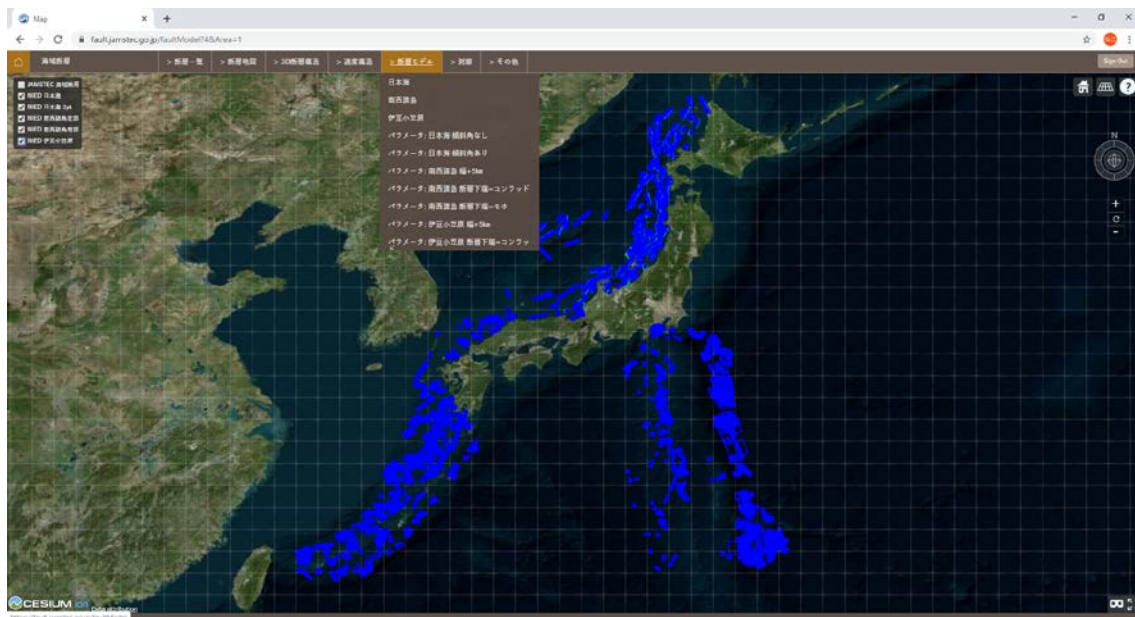


図5 公開DBにおける断層パラメータリストへのリンク表示

断層パラメータの例として、「日本海 傾斜角なし」の断層パラメータリストを図6に示す。本プロジェクトで設定した断層パラメータ（断層モデルの位置、深さ、走向、傾斜角、すべり角、断層長さ、幅、地震モーメント、Mw 及びすべり量）について、津波及び地震動の計算に必要な情報が不足なく搭載されており、ハザード評価を実施する場合にも問題なく使用できる形になっていることを確認した。

モデル	緯度 (deg.)	経度 (deg.)	上端 (km)	下端 (km)	走向 (deg.)	傾斜 (deg.)	すべり角 (deg.)	長さ (km)	幅 (km)	M0	Mw	平均すべり量 (m)
AKI-01	39.3471	139.6350	0.00	12.00	202	45	90	52.40	17.00	4.40E+19	7.03	1.44
AKI-02	39.4174	139.6233	0.00	12.00	225.4	60	90	18.80	13.84	3.70E+18	6.32	0.44
AKI-03	39.4765	139.5555	0.00	12.00	211.4	45	90	22.00	17.00	6.90E+18	6.49	0.53
AKI-04	39.5473	139.5522	0.00	12.00	183.9	45	90	22.00	17.00	6.90E+18	6.49	0.53
AKI-05	39.8335	139.5965	0.00	17.00	183.7	45	90	23.20	17.00	2.70E+19	6.89	1.14
AKI-05	39.6535	139.5694	0.00	12.00	202.6	45	90	9.40	17.00	2.70E+19	6.89	1.14
AKI-05	39.6500	139.5673	0.00	12.00	187.6	45	90	9.40	17.00	2.70E+19	6.89	1.14
AKI-05	39.5669	139.5474	0.00	12.00	209.2	45	90	11.30	17.00	2.70E+19	6.89	1.14
AKI-06	39.7889	139.7886	0.00	17.00	295.1	45	90	22.80	17.00	6.90E+18	6.49	0.53
AKI-07	39.9248	139.5782	0.00	12.00	175.1	45	90	11.70	17.00	2.10E+19	6.81	0.99
AKI-07	39.8192	139.5629	0.00	12.00	215.1	45	90	12.60	17.00	2.10E+19	6.81	0.99
AKI-07	39.7302	139.4921	0.00	12.00	194.8	45	90	4.40	17.00	2.10E+19	6.81	0.99
AKI-07	39.6914	139.4860	0.00	12.00	200.2	45	90	7.40	17.00	2.10E+19	6.81	0.99
AKI-08	40.0042	139.6378	0.00	12.00	204.5	45	90	33.80	17.00	1.80E+19	6.78	0.93
AKI-09	40.4223	139.8571	0.00	12.00	181.4	45	90	30.80	17.00	1.50E+19	6.72	0.85
AKI-10	40.4224	139.7895	0.00	12.00	181.6	45	90	29.80	17.00	1.40E+19	6.70	0.82
AKI-11	40.4215	139.7127	0.00	12.00	171.3	45	90	42.50	17.00	2.90E+19	6.91	1.17
AKI-12	40.3975	139.5878	0.00	17.00	174.2	45	90	34.80	17.00	1.90E+19	6.79	0.96
AKI-13	39.4721	139.2533	0.00	12.00	205.7	45	90	22.00	17.00	6.90E+18	6.49	0.53
AKI-14	39.5826	139.2378	0.00	12.00	209.1	45	90	28.70	17.00	1.30E+19	6.68	0.79
AKI-15	39.3314	139.9738	0.00	12.00	187.3	45	90	25.50	17.00	6.00E+19	7.12	1.69
AKI-15	39.6155	139.0884	0.00	17.00	203.3	45	90	23.80	17.00	6.00E+19	7.12	1.69
AKI-15	39.4879	138.3827	0.00	12.00	180.4	45	90	15.10	17.00	6.00E+19	7.12	1.69
AKI-16	39.6743	139.9754	0.00	12.00	171.7	45	90	22.00	17.00	6.90E+18	6.49	0.53
AKI-17	39.7324	139.7576	0.00	12.00	186.8	45	90	17.10	17.00	3.10E+19	6.93	1.21

図6 公開DBにおける断層パラメータリストの例

(5) 令和元年度の成果

令和元年度の業務成果として、南海トラフ周辺海域における断層モデルの設定方法について検討し、断層モデルの構築を行った。具体的成果は次の通りである。

- ・南海トラフ周辺海域において、サブテーマ2の結果をもとに、断層パラメータを平均的な値に設定した基本モデルを381個、断層下端深度及び断層面形状について認識論的不確定性を考慮してモデルを192個設定した。
- ・本検討で設定した断層モデルは、地震規模としては、全モデル合わせるとMw6.1～Mw7.7となったが、基本モデルに限定した場合だとMw6.1～Mw6.9であり、他の海域に比べて比較的地震規模の小さい断層モデル群となった。
- ・設定した断層モデルの一部を用いて津波予測計算の概略計算を行い、特に熊野灘沖の断層において本州沿岸に与える影響が大きい（最大2.6 m）ことが分かった。
- ・サブテーマ2の構造探査から南海トラフ周辺海域における特徴的な断層として、トラフ軸前面における海底からプレート境界へと収れんするように伸びる逆断層が確認された。
- ・この断層では基本モデルとは別に、探査断面の重ね合わせを行い、全読み取り断面を上部と下部の傾きの異なる断層面を仮定したモデルを設定した。・トラフ軸より陸側の逆断層について、基本モデルと認識論的不確定性を考慮したモデルを用いて地震動の予測計算を行った結果、認識論的不確定性を考慮したモデルでは、基本モデルに比べて、沿岸に到達する最大の津波高が1.5～4倍程度、陸域の地震動の強さ（PGV、PGA）が1.5～3倍程度、計測震度の値がと+0.3～1程度大きくなることが示された。
- ・遠州灘と宮崎県沖で確認された横ずれ断層について、縦ずれ成分を考慮した場合の津波高への影響について評価した。その結果、特に遠州灘においては、縦ずれ成分を含む場合の沿岸の津波高が大きくなり、最大で2.5 m以上の津波が到達することが予測された。

なお、本検討で設定した断層モデルは、沈み込むプレートの上面から分岐した断層を対象としていない。今後、確率論的ハザード評価を含む地震と津波のハザード評価の検討の際には、確率論的ハザード評価では対象としなかった分岐断層の断層モデルを考慮することが望まれる。本プロジェクトの結果から、断層モデルを設定するにあたり、以下の諸点を参考のため示す。

- ・分岐断層としての性質を持つ断層とそうでない断層の識別の可能性は、観測データの解像度による面がある。これを補う方法として、分岐断層としての断層の地形的な特徴の抽出すること。
- ・本検討では、内陸における活断層において構築されたスケーリング則（入倉・三宅, 2001）を採用したが、分岐断層を含めた海域断層については、より適切なスケーリング則を用いること。
- ・分岐断層と海溝型地震の連動を考える場合には、スケーリング則が海溝型地震と内陸型地震で異なることを踏まえ、分岐断層が単独で動く場合と海溝型地震と連動して動く場合でのすべり量の分配の検討が必要となる。その際は、分岐断層における変位が、地震を発生させる摩擦を伴う破壊なのか、摩擦を伴わない変形かを考慮すること。

(6) 引用文献

中部電力，浜岡原子力発電所内陸地殻内地震の地震動評価について，2017.

中部電力，浜岡原子力発電所基準津波の策定について，2017.

入倉孝次郎，三宅弘恵，シナリオ地震の強震動予測，地学雑誌，110，849-875，2001.

地震調査研究推進本部地震調査委員会，「活断層の長期評価手法」報告書（暫定版），117，2010.

地震調査研究推進本部地震調査委員会，震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピア」）（平成 21 年 12 月 21 日改定），2009.

Morikawa, N and H. Fujiwara, A new ground motion prediction equation for Japan applicable up to M9 mega-earthquake, J. Disaster Res., Vol.8, No.5, pp.878-888, 2013.

文部科学省研究開発局，国立研究開発法人海洋研究開発機構，海域における断層情報総合評価プロジェクト平成 29 年度成果報告書，2018.

Park, J. -O., T. Tsuru, S. Kodaira, P.R. Cummins and Y. Kaneda, Splay fault branching along the Nankai subduction zone, Science, 297, 1157-1160, 2002.

佐藤良輔，岡田義光，鈴木保典，阿部勝征，島崎邦彦，日本の地震断層パラメーター・ハンドブック，鹿島出版会，1989.

Schumann, K., M. Stipp, J.H. Behrmann, D. Klaeschen and D. Schulte-Kortnack, P and S wave velocity measurements of water-rich sediments from the Nankai Trough, Japan, Journal of Geophysical Research:Solid Earth, 119, 787-805, 2014.

Sunagawa, Y. and D. Hayashi, Development of splay faults in the Nankai Accretionary prism, Bull. Fac. Sci., Univ. Ryukyus, No.84:15-31, 2007.

Tsuji, T., H. Tokuyama, P.C. Pisani and G. Moore, Effective stress and pore pressure in the Nankai accretionary prism off the Muroto Peninsula, southwestern Japan, J. Geophys. Res., 113, 2008.

Wakamatsu, K. and M., Matsuoka (2013) : Nationwide 7.5 arc second Japan Engineering Geomorphologic Classification Map and Vs30 zoning, J. of Disaster Res., 8, 904-911.