

### 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
	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

(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、必要に応じて地震調査研究推進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 ヶ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(以下、DB)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。

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う。

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う。

7)平成 31 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取り纏め、データ公開システム上での検索・表示内容の検証を行う。

## (2)平成 28 年度の成果

### (a)業務の要約

当該年度においては、津波や地震動の元となる断層モデルの構築手法を検討した。その際、サブテーマ(1)、(2)の検討から得られる主断層の断層パラメータの確からしさ等の質の違いに応じたモデル化を考慮した。また、構築した断層モデルの妥当性を、津波や地震動のシミュレーションを用いて検証するための手法を検討した。具体的には、南西諸島南部において自治体の被害想定を含む既往の津波波源の検討結果等を踏まえ、日本海で発生した過去の津波や地震動の記録を中心に、系統的に収集・整理し、それらとシミュレーション結果を比較すること等により断層モデルの妥当性を検証する手法を検討した。南西諸島海域の 142 本の断層について合計 284 の断層モデルを設定した。今年度業務においては、南西諸島南部海域で得られたデータに基づいた断層モデルの構築方法についての検討を行った。また、断層下端はコンラッド面とモホ面の間に存在すると考え、断層下端深度については認識論的不確定性を考慮した。コンラッド面とモホ面の間で実際の地震は留まっていると考え、不確定性の幅として、実際に起こる地震による津波も、その間には納まるという考えに基づき感度解析を実施した。

### (b)業務の実施方法

日本海周辺地域の海域の活断層の活動によるものと考えられる既往の歴史地震津波の波源にかかわる想定断層モデルを整理し、その結果を踏まえて、データが不完全な場合も考慮し、本プロジェクトで提供される断層についてのデータを用いて断層パラメータの不確実性を含む断層モデルを構築する方法を検討した。また、既往文献を参考に今回得られた断層モデルに対し、津波シミュレーションを実施し、津波痕跡値の比較を行なった。断層モデルに基づく地震動指標(震度など)を評価し、歴史資料あるいは観測資料との適合を確認した。津波の予測では、日本海海域全域の津波予測

計算用地形データ(海底及び沿岸で遡上の可能性のある範囲を含む)を作成して計算を行った。さらに、震源不特定の地震の断層モデルを設定するため、代表的な想定波源断層についてパラメータスタディを実施し、日本海周辺海域に設定した断層モデルの各パラメータの違いが沿岸の津波の波高にどれだけ影響するかを検討した。サブテーマ(2)で得られた断層データから断層モデルを設定する方法・ロジックは、今後さらにデータを蓄積し断層モデル設定方法を検討していく必要がある。偶然的ばらつきを考える対象として、スケーリングから与えられるすべり量が挙げられる。ばらつきの範囲がどのくらいなのかは、将来、確率論的な評価を実施するのであれば、ハザードカーブの計算において考慮される。認識論的な不確定性は、ロジックツリーを用いて複数のハザードカーブを計算することにより評価に繋がっていくことになる。また、サブテーマ(2)では、測線密度が粗い南西諸島海域における断層解釈での考え方をもとに、音波探査データのみでなく、地形データや地震活動をもとに断層トレースの検討が行われ、日本海中部地震及び北海道南西沖地震の震源域に設定された断層トレースを、検証用の断層モデルについて検討するパラメータスタディを実施し、パラメータスタディにより選定された断層モデルを用いた詳細計算による検証を行い、付録1及び2に示した。

## (c) 業務の成果

### 1) 準備

#### a) 南西諸島周辺海域の一部及び九州西岸地域における既往地震津波に関する既往資料の収集

南西諸島周辺海域の一部及び九州西岸地域における既往地震津波に関する既往資料の整理を進めるために、当該地域のテクトニクスに関する情報を収集した。南西諸島海域は、地形的な特徴から以下の3つに大きく区分される(図1)。

- ① 西部から中国大陸より広がる浅海部(東シナ海大陸棚)
- ② 沖縄トラフ・琉球弧(琉球海嶺・南西諸島弧)
- ③ 南西諸島・琉球諸島の島嶼部

南西諸島海溝は琉球弧東側に位置し、フィリピン海プレートが北西方向に向かって沈み込んでいると考えられている。琉球弧から南西諸島海溝に至る大陸斜面は、前弧海盆が発達し、多くの海底谷が大陸斜面を下刻している。

沖縄トラフは東シナ海の大陸棚と琉球諸島の間に位置し、九州から台湾にかけて伸びる海盆である。トラフの北側では平坦な海底に海丘などの浅海域が存在し、沖縄トラフの中・南部では海盆の中軸部にみられる中央地溝帯とその中央の裂け目に貫入する中央海山や海丘がある。また、沖縄トラフの西側斜面はトラフの斜面における第四期火山の活動により複雑に入り組んでいる(図2)。

琉球弧周辺のテクトニクスは背弧海盆の発達として理解されている。背弧海盆は島弧が長さ方向に分裂して形成されるが、これはおおむね島弧列のマグマ軸に沿って起こる。この過程で、マグマ弧が分裂して残存島弧が形成されると、次の

形成過程に入った島弧軸から離れて漂流することになる。背弧海盆はこの海洋底拡大過程にともなって拡大し、成長する。堆積物の多くは活発なマグマ弧から供給されるため、きわめて非対称な堆積作用を形成する。背弧海盆は拡大が数千年程度続いたあとに活動を停止する。

今年度に断層モデルを設定する対象となった南西諸島南部、そして今後の対象である南西諸島北部及び九州西岸地域は基本的に、このようなテクトニクスの影響下にあり、それを踏まえた検討が必要である。

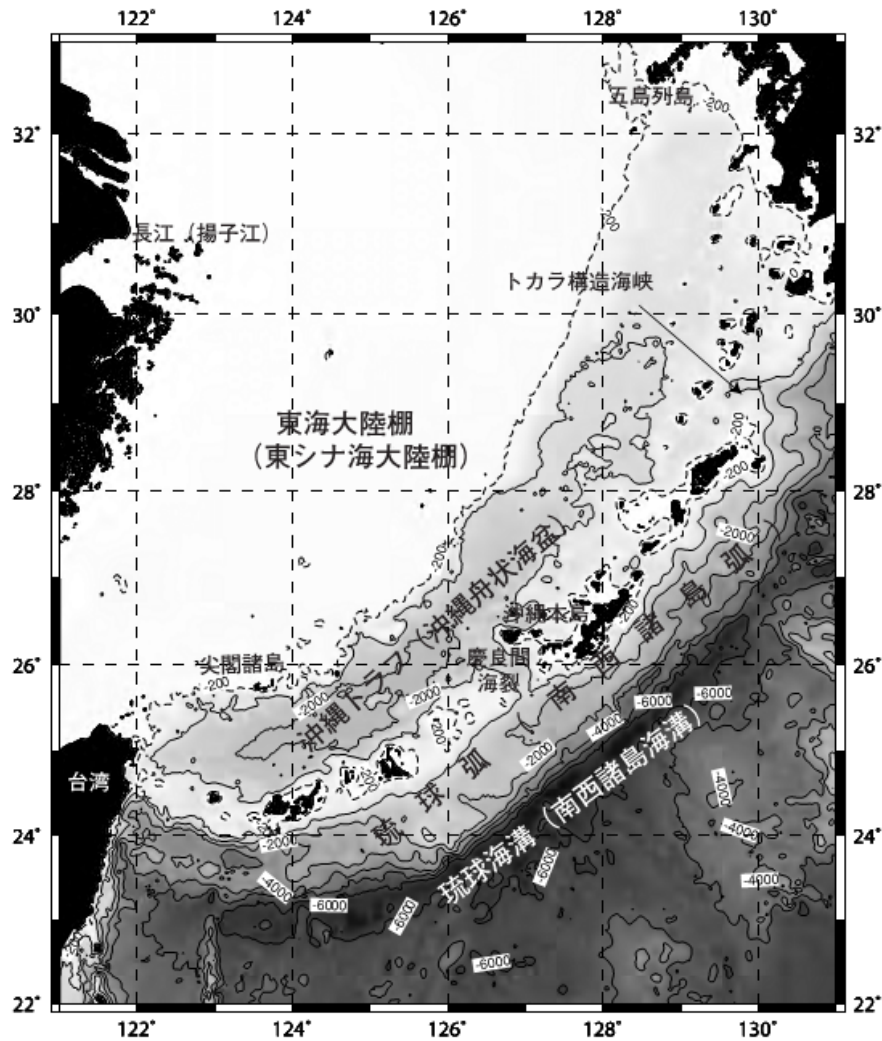


図1 南西諸島周辺海域の地域図(井上, 2007)。

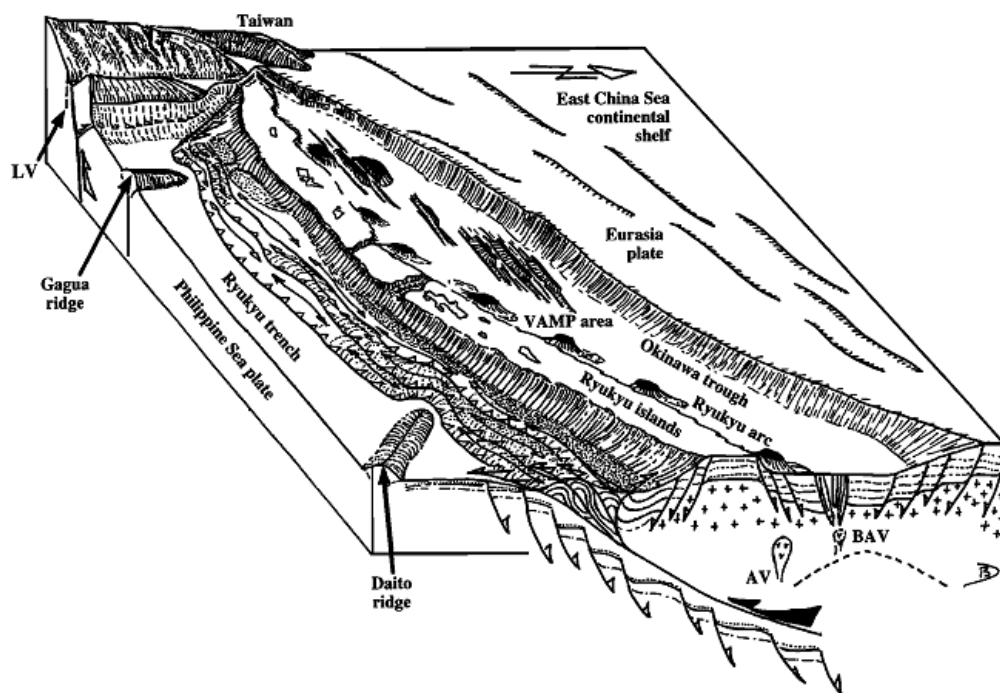


Figure 16. Three-dimensional artist view (B. Deffontaines) of the Ryukyu subduction system looking southwest with the three different types of volcanism (arc, backarc, and cross-backarc volcanisms) which appear in the Okinawa Trough. BAV, backarc volcanism; AV, arc volcanism; LV, Longitudinal Valley.

図 2 沖縄トラフ及び南西諸島海溝周辺の3次元イメージ図(Sibuet et al., 1998)。

南西諸島海域で発生した地震活動のうち、主に被害地震、津波を発生させた地震、 $M6$  以上もしくは最大震度4以上であるものを中心に表1にまとめた。なお、表中及び以降の本文中において、「吐噶喇列島」は正式表記が複雑であるため、「トカラ列島」とする。

当該地域で以下の地震に関して、整理した。

- ・ 1911年奄美大島近海地震(喜界島地震)
  - ・ 1992年甌島周辺の地震
  - ・ 1995年奄美大島近海地震(喜界島地震)
  - ・ 2010年沖縄本島近海地震
  - ・ 2015年薩摩半島西方沖の地震(甌島周辺)
  - ・ 2016年トカラ列島近海の地震
  
  - ・ 1911年奄美大島近海地震(喜界島地震)
- 1911年6月15日に喜界島の南方で発生した地震であり、この地震の規模については諸説あるものの、宇津(1982)では $M8.0$ 程度と記載されている。奄美大島の名瀬測候所においては震度6相当、那覇で震度5相当の揺れが観測されている。フィリピン海プレートがユーラシアプレート(沖縄マイクロプレート)に沈み込む南西諸島海溝で発生した地震であると考えられているが、詳細は不明である。この地震の震源の深さについて、宇津(1982)のカタログでは100 km、Gutenberg and Richter(1954)のカタログでは160 kmとされているが、後に後藤(2012)の研究で

は 60km 程度に求められている。しかし、周辺の地震活動を考えると深さ 10 km の浅部で発生した地震である可能性も考えられる。

都司(1997)の研究では 1 m よりも有意に大きい津波が観測されていることから、震源は浅かったことが示唆されている。また、岩本・後藤(2013)の研究では喜界島地震についての口頭伝承の収集が実施され、喜界島、奄美大島、加計呂麻島での伝承がまとめられた。それによると、喜界島の西海岸及び奄美大島では 5 m 以上の津波があったとされる。また、調査で明らかになった中で最大の津波は喜界島中里で 10m というものだった。これらの調査結果から岩本・後藤(2013)では喜界島地震の震源域は喜界島の北～北東方向にあり、低角逆断層の地震であるとしている。

#### ・ 1992 年甬島周辺の地震

甬島の近傍において Mj 4.9 の地震が発生した。鹿児島県枕崎市において震度 3 が観測され(福岡管区气象台, 1992)、これにより 300 個以上の余震が確認されている。甬島列島の西側には、北西側が低下する急崖(断層)があり、東側には南東側が低下する断層が存在する。これらによって、甬島列島は地塁状の地形となっている(九州活構造研究会, 1989)。この地震の震央周辺では、10 か月くらい前から深さ 5 km 前後で群発地震が発生していた。また、この地震のメカニズム解は九州中部の八代海及び天草灘で発生する地震と調和的な、東西圧縮・南北拡張の横ずれ成分が卓越している(八木原ほか, 1994)。

#### ・ 1995 年奄美大島近海地震(喜界島地震)

奄美大島近海の喜界島の南東で Mj 6.9 の地震が発生し、震源の深さは 37 km であった。喜界島で震度 5、奄美大島の名瀬で震度 4 が観測された。また、喜界島では 3 m 程度の津波が観測された。この地震の翌日には Mj 6.7 の余震が深さ約 21 km で発生した。この余震においても、喜界島で 1.5m の津波が観測されている(都司, 1996)。1995 年の喜界島地震については、清水ほか(1996)によると顕著な前震活動があったとされている。

これらの地震について、笠原・佐藤(1997)は密度が相対的に小さく、「沈み込みに抵抗する海洋側のプレート上の海山部分」と、密度が相対的に大きな「先に沈み込んだ海洋プレート部分」との境界上の正断層の地震であるとしている。

#### ・ 2010 年沖縄本島近海地震

2010 年 2 月 27 日に Mj 7.2 の地震が発生し、震源の深さは 37 km であった。沖縄本島南東部の琉球海溝付近のユーラシアプレート内で発生したと考えられ、北西－南東方向に張力軸をもつ横ずれ断層の地震だと推定されている。沖縄本島及び与論島で震度 5 弱～ 4 が観測されており、特に沖縄本島で震度 5 以上の揺れが観測されるのは 1909 年以來である。地震動により石垣の崩落等が確認された。この地震で津波警報が沖縄本島に、津波注意報が奄美諸島、トカラ列島、宮古島等に発令されたが、沖縄本島の南城市で約 10cm の津波が観測された以外は津波の観測事例はみられない。

・2015年薩摩半島西方沖の地震(甬島周辺)

2015年11月14日に薩摩半島西方沖(甬島周辺)でMj 7.1の地震が発生し震源の深さが約17 kmであった。この地震は北西-南東方向に圧縮軸を持つ横ずれ型であった。佐賀県、鹿児島県などで最大震度4を観測し、九州～近畿地方にいたるまで震度3～1を観測している。また、奄美群島及びトカラ列島で津波を観測し、最大はトカラ列島の中之島で0.3mであった。この地震による余震は比較的少なかった。

・2016年トカラ列島近海の地震

2016年2月3日にトカラ列島近海(宝島・小宝島付近)で地震活動がやや活発化し、2月11日には一連の活動で最大のMj 3.0の地震が発生した(気象庁, 2016)。この時の最大震度は2であった。トカラ列島周辺では過去にもまとまった地震活動が知られている(図3)。1923年以降でこの領域ではM5.0以上の地震が発生することが時々あり、2000年10月に発生した悪石島付近の地震はMj 5.9、最大震度5強が今のところ最大である。また、2003年8月にもMj 5.2の地震が発生し、最大震度4が観測された。

表1 南西諸島周辺における主な地震活動

発生年月日	元号	震央	緯度(° N)	経度(° E)	深さ(km)	規模(M)	最大震度		出典
1625	寛永 2	石垣島						石垣島榑海村が津波で流出(八重山島年来記)	「沖縄の歴史地震」琉球大学理学部 HP
1664	寛文 4	沖縄島島	27.9	128.3				死者1名。海底の噴火及び津波があったとされる。	「沖縄の歴史地震」琉球大学理学部 HP 「理科年表 平成 24 年」
1768/7/22	明和 5	沖縄本島南西沖	26.2	127.5				石垣の崩壊。慶良間島で津波により田園や民家に被害があった。	「沖縄の歴史地震」琉球大学理学部 HP 「理科年表 平成 24 年」
1771/4/24	明和 8	八重山・宮古群島(八重山地震)	24.0	124.3		7.4	4?	八重山列島及び宮古列島で最大 30m 弱の津波があったとされる。人的被害、建物被害が甚大。	地震調査研究推進本部(2004)
1898/9/1	明治 31	多良間島沖	24.5	124.75		7.0		那覇で石垣の崩壊。	宇津、1990 「沖縄の歴史地震」琉球大学理学部 HP
1901/6/24	明治 34	奄美大島近海	28	130		7.5		奄美大島の名瀬市で石垣の崩壊。宮崎県細島で～25cm の高潮。	宇津、1990 地震調査研究推進本部(2004)
1909/8/29	明治 42	沖縄島付近	26	128		6.2		那覇及びその周辺で家屋の倒壊、死者2名。	「理科年表 平成 24 年」
1911/6/15	明治 44	奄美大島近海(喜界島地震)	28.0	130.0	140	8.0	6	死者12名。喜界島、奄美大島等で家屋の倒壊。徳之島でがけ崩れ。沖縄本島でも石垣の崩壊がみられた。	地震調査研究推進本部(2004)
1915/1/6	大正 4	石垣島北西沖	25.1	123.3	150	7.4	4	石垣島で石垣が崩壊。	地震調査研究推進本部(2012) 「沖縄の歴史地震」琉球大学理学部 HP
1923/7/13	大正 12	九州地方南東沖	30.9	132.0	44	7.3	4		気象庁震度 DB 検索
1926/6/29	大正 15	沖縄本島北西沖	27.78	126.76	150	7.0	4		気象庁震度 DB 検索
1926/8/7	大正 15	宮古島近海	24.74	124.83	28	7.0	4		気象庁震度 DB 検索
1938/6/10	昭和 13	宮古島北西沖	25.56	125.04	22	7.7	4	宮古島平良港で 1.5m の津波が観測され、栈橋が流された。	地震調査研究推進本部(2004)
1947/9/27	昭和 22	与那国島近海	24.7	123.2	96	7.4	5	石垣島及び西表島で死者5名。瓦の落下、地割れ等がみられた。	「理科年表 平成 24 年」
1958/3/11	昭和 33	石垣島近海	24.81	124.39	57	7.2	5	死者2名。	地震調査研究推進本部(2012)
1966/3/13	昭和 41	与那国島近海	24.24	122.67	42	7.8	5	与那国島で死者2名。家屋被害、石垣倒壊がみられた。小津波が発生した。	地震調査研究推進本部(2004)
1970/1/1	昭和 45	奄美大島近海	28.4	129.2	50	6.1	5		気象庁震度 DB 検索
1987/4/30	昭和 62	奄美大島近海	28.39	128.78	9	5.2	5		気象庁震度 DB 検索
1992/10/14	平成 4	西表島付近	24.43	123.76	4	4.9	5		気象庁震度 DB 検索



1992/10/20	平成 4	西表島付近	24.47	123.74	8	5.0	5		気象庁震度 DB 検索
1992/11/18	平成 4	西表島付近	24.45	123.74	4	3.7	5		気象庁震度 DB 検索
1993/5/17	平成 5	西表島付近	24.49	123.74	6	4.4	5		気象庁震度 DB 検索
1995/10/18	平成 7	奄美大島近海	28.03	130.38	39	6.9	5		気象庁震度 DB 検索
1995/10/19	平成 7	奄美大島近海	28.02	130.44	21	6.7	5		気象庁震度 DB 検索
1998/5/4	平成 10	石垣島南方沖	22.38	125.44	35	7.7	3	石垣島、宮古島の験潮所で最大 0.1m の津波が観測された。	地震調査研究推進本部 (2004)
2000/10/2	平成 12	トカラ列島近海	29.40	129.34	22	5.3	5 弱		気象庁震度 DB 検索
2000/10/2	平成 12	トカラ列島近海	29.41	129.46	25	5.9	5 強		気象庁震度 DB 検索
2000/10/2	平成 12	トカラ列島付近	29.46	129.43	21	4.6	5 弱		気象庁震度 DB 検索
2000/11/14	平成 12	西表島付近	24.49	123.75	8	4.9	5 弱		気象庁震度 DB 検索
2001/12/9	平成 13	奄美大島近海	28.25	129.49	36	6.0	5 強		地震・火山月報(防災編)(2002)
2001/12/18	平成 13	与那国島近海	23.89	122.82	8	7.3	4	与那国島で最大 0.1m の津波が観測された。	地震・火山月報(防災編)(2002)
2002/3/26	平成 14	石垣島近海	23.20	124.27	0	7.0	1		気象庁震度 DB 検索
2004/10/15	平成 16	与那国島近海	24.60	122.83	83	6.6	5 弱		気象庁震度 DB 検索
2008/7/8	平成 20	沖縄本島近海	27.47	128.55	45	6.1	5 弱		気象庁震度 DB 検索
2010/2/27	平成 22	沖縄本島近海	25.92	128.68	37	7.2	5 弱	負傷者 2 名、家屋の一部破損等。南城市で 0.1m の津波が観測された。	地震・火山月報(防災編)(2010)
2011/11/8	平成 23	沖縄本島北西沖	27.30	125.74	217	7.0	4		地震・火山月報(防災編)(2011)
2015/4/20	平成 27	与那国島近海	23.96	122.43	22	6.8	4	台湾新北市で火災により死者 1 名。	気象庁震度 DB 検索 AFP 通信 (2015 年 4 月 20 日)

「沖縄の歴史地震」(ウェブサイト、2017 年 3 月閲覧)琉球大学理学部 <http://seis.sci.u-ryukyu.ac.jp/hazard/large-eq/history.html>

国立天文台, 2011, 「理科年表 平成 27 年」丸善出版.

地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2004 年 2 月 27 日) 「日向灘及び南西諸島周辺海域の地震活動の長期評価」

宇津徳治, 1990, 世界の被害地震の表(古代から 1989 年まで), 宇津徳治, 東京, 243 p.

Utsu, T., 2002, A list of deadly earthquakes in the World: 1500-2000, in International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology Part A, edited by Lee, W.K., Kanamori, H., Jennings, P.C., and Kisslinger, C., pp. 691-717, Academic Press, San Diego.

宇津徳治, 2004, 世界の被害地震の表(古代から 2002 年まで), 宇津徳治先生を偲ぶ会, 東京, 電子ファイル最終版.

地震調査研究推進本部 (2012 年 1 月 1 日) 「沖縄県の地震活動の特徴」

気象庁震度データベース検索(ウェブページ、2017 年 3 月閲覧)<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>

気象庁 (2002 年 1 月) 「平成 13 年 12 月地震・火山月報(防災編)」

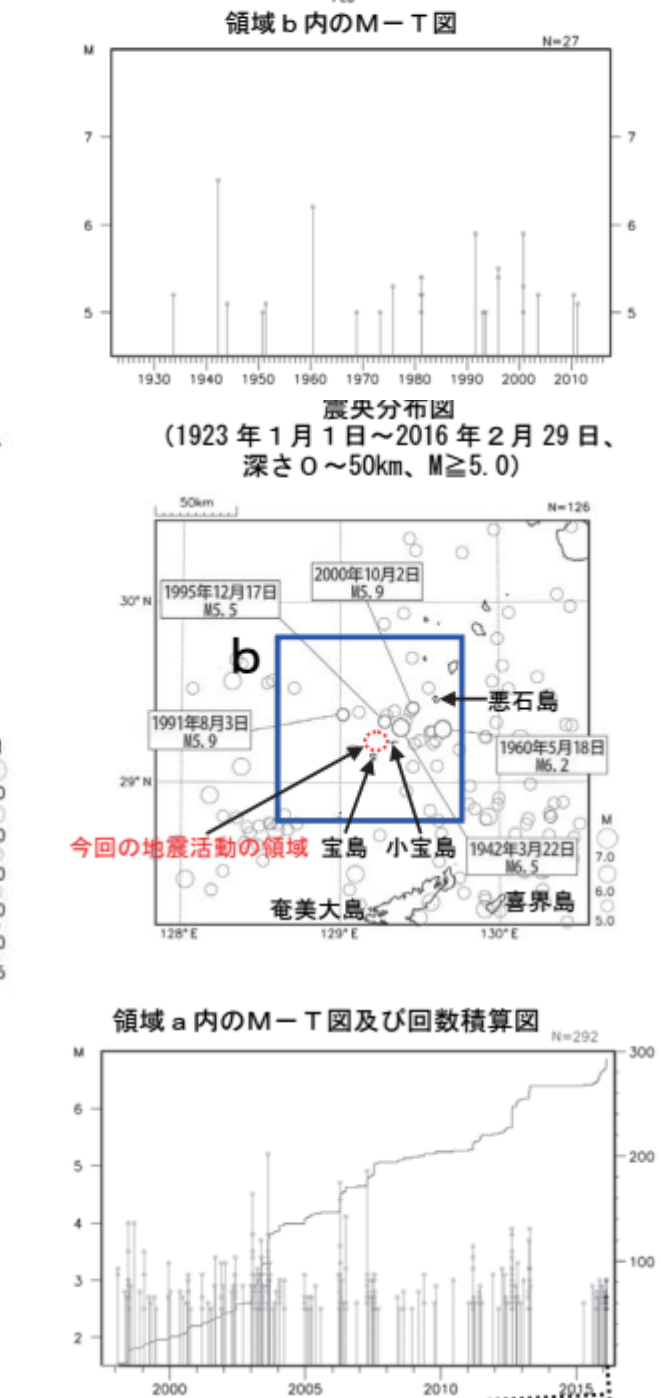
気象庁 (2010 年 3 月) 「平成 22 年 2 月地震・火山月報(防災編)」

気象庁 (2011 年 12 月) 「平成 23 年 11 月地震・火山月報(防災編)」

AFP 通信(ウェブサイト、2015 年 4 月 20 日)<http://www.afpbb.com/articles/-/3045901>



図3 トカラ列島近海の地震活動(気象庁, 2016)。



b) 妥当性チェックのための地震津波事例の選定

断層パラメータの設定方法の検証方法を検討するにあたって、その妥当性を確かめるために参照する地震津波の事例を選別した。条件として地震動及び津波の両方の資料が利用できるものとして事例を検討した。津波については東北大学工学研究科及び原子力安全基盤機構により整備されている「津波痕跡データベース」(東北大学災害科学国際研究所災害リスク研究部門津波工学研究分野低頻度リスク評価研究分野・原子力規制庁長官官房技術基盤グループ安全技術管理官(地震・津波担当)付, <http://tsunami-db.irides.tohoku.ac.jp/tsunami/kiyaku.php>)、及び先行研究例を用いて記録及び被害を考慮した。その結果、南西諸島南部海域において発生した地震津波の津波記録の数は以下の表 2 のようにまとめられる。信頼度のランク付けについての説明は以下の表 3 の通りである。表 2 において、津波痕跡データの数が比較的多いのは八重山地震津波及び奄美大島付近地震津波であるが、奄美大島付近地震津波については、この地震の近傍の断層データが平成 28 年度のサブテーマ(2)の作業ではまだ整理されていないため、妥当性チェックの対象とはできない。以下に八重山地震津波の概要を示す。

表 2 南西諸島南部海域で発生した地震津波の津波記録の数  
(津波痕跡高データベースより, 2017 年 3 月 8 日閲覧)

年	地震津波名	A	B	C	D	X	Z	合計
1768	明和沖縄本島南西沖地震津波	0	0	1	0	0	1	2
1771	八重山地震津波	107	8	72	8	8	61	256
1911	喜界島地震津波	0	1	1	0	0	1	3
1938	宮古島付近地震津波	0	0	0	0	0	0	0
1995	奄美大島付近地震津波(本震)	83	7	1	0	0	29	120
1995	奄美大島付近地震津波(余震)	41	3	2	0	0	22	68
2001	与那国島付近地震津波	6	0	0	0	0	0	6
2002	石垣島南方沖地震津波	4	0	0	0	0	0	4

表 3 信頼度のランク付けについての基準(津波痕跡データベースの用語集より抜粋)

A	信頼度大なるもの	古文書・郷土史等に記載され、痕跡の場所を現在でも確認でき、しかも近年になって測量されて高さの確定されたもの
B	信頼度中なるもの	古文書・郷土史等に記載され、痕跡の場所を現在でも確認できるが、近年の再測量のなされていないもの
C	信頼度小なるもの	古文書・郷土史等に記載、或いは言い伝えられてはいるが、字名、集落名などにとどまり、到達地点を確かめることのできないもの
D	参考値にとどまるもの	古文書等の関連現象・被害の記述から推測されたもの
X	全く信頼できないもの	<ul style="list-style-type: none"> <li>・明らかに引用の間違い、記載間違いであるもの</li> <li>・利用すべきでないもの、除外すべきもの</li> <li>・歴史津波の場合で、古文書史料などの精査により文献信頼度を×と判定したもの</li> </ul>
Z	カタログ作成の元になった原文献に戻って判定すべきもの	<ul style="list-style-type: none"> <li>・カタログ類と分類された場合</li> <li>・その区分(かなり広い範囲)の値を総括した値と思われるもの</li> </ul>
	重複	・痕跡データベースに登録された別の文献からの孫引き(同じ地点の値が重複)
	浸水計算の確認に利用できる定性的な情報	・高さに関する記述ではないため、痕跡信頼度(A、B、C、D及びX)を評価しようがないが、遡上位置、範囲に関する記述など、浸水計算結果(浸水の有無)の確認に利用できる定性的な情報

・ 1771 年八重山地震津波

南西諸島南部の先島諸島で発生し、大津波を発生させた。石垣島南東岸から東岸では最大遡上高が 30m に達し、多良間島から宮古島南部海岸にかけても、遡上高は 10 m 以上に達したとされている。12,000 人も死者が出るなど、被害も甚大なものだったといわれる。

この大津波の原因として、フィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に沈み込む時のひずみによる海溝型地震であるとの考えと、石垣島と多良間島間に位置する正断層が原因であるとの考えがある。また、これほどの大きな津波を発生させた原因として、海底地すべりを挙げる説もあるが、海底調査等の結果では今のところは地すべりによる堆積物等の証拠は発見されていない。ただし、これを地震のみで説明しようとする場合には、断層面上に非常に大きなすべり量を仮定する必要がある。中村(2014)では、Mw 8.7 程度のプレート境界地震であると考えるのが妥当としつつも、分岐断層や海底地すべりの可能性も考慮すべきだと

している。

八重山地震津波は、活断層が関係しているとの指摘もあるが、プレート境界地震や海底地すべりの可能性も示唆され、さらにはこれらの複合である可能性も言われており、今のところは詳しい発生過程は明らかになっていない。そのため、このような発生過程の不明な地震は断層モデルの検証に用いることはできない。

このほかの地震については、津波痕跡データの数が多いいものでも6地点と少なく、この数では津波痕跡高と計算値の空間的な適合度を表す指標として、相田(1977)による幾何平均  $K$  及び幾何標準偏差  $\kappa$  を用いた定量的な比較をすることは精度上困難である( $K$ - $\kappa$ による評価方法については土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2002)を参照)。

よって、この海域について、妥当性チェックのための地震津波事例は適切なものが無いと判断する。そのため、今回は設定した全断層モデルについて津波予測計算及び地震動予測計算を実施しこれに替えることとする。

#### c) 津波予測計算用断層モデルの作成

地震調査研究推進本部の長期評価では、南西諸島海域は「日向灘及び南西諸島海溝周辺の地震活動」として評価されている(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2004、以下、長期評価と示す)。南西諸島周辺の地震は、フィリピン海プレートと南西諸島が載っている陸のプレートとの境界面で発生するプレート間地震、沈み込むフィリピン海プレートの内部で発生するプレート内地震、陸のプレート内部で発生する地震に分類されている。また、南西諸島周辺では、 $M$  7.5 以上の地震が発生しているものの、それらが繰り返し発生している場所は確認されていない。ただし、震源分布から概略的に、南西諸島周辺で発生する浅発地震(陸のプレート内部の地震、フィリピン海プレート内部の地震、それらの境界で発生する地震の3種類、深さ約 60km 以浅)と、九州から南西諸島周辺にかけて発生するやや深発地震(プレート内地震、深さ約 60~150 km)に区分されている(図4)。南西諸島周辺で発生した  $M$  7.5 以上、深さ 60 km 以浅の浅発地震について、長期評価ではこれらの発生領域及び地震のタイプは表4のようにまとめている。

南西諸島周辺の浅発地震及び九州から南西諸島周辺のやや深発地震に関しては、地震発生の特性の解明が十分でないことや、その長大な設定領域において、大地震が繰り返し発生する場所が特定できないことから、次の地震の発生確率は評価されていない。この領域に発生する地震のタイプ及び地震発生確率をより良く評価するためには、地震発生のテクトニクスの調査研究をさらに進めることが必要であるとされている。

また、長期評価においては図5のように地震活動が整理されている。赤文字にアンダーバーを付けて示されたものは津波を発生させた地震であり、1771年4月24日の八重山地震津波、1938年6月10日の宮古島西方沖地震津波、1966年3月13日の与那国島近海地震津波、1998年5月4日の石垣島南方地震津波が示されている。これらは前項でまとめた表1にも示している。

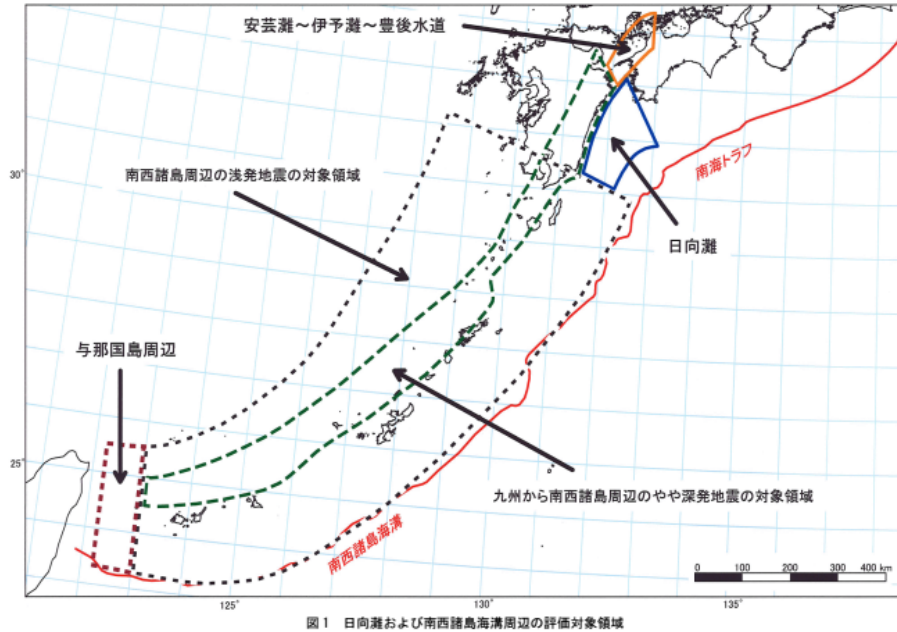


図1 日向灘および南西諸島海溝周辺の評価対象領域

図4 長期評価で設定された日向灘及び南西諸島海溝周辺の評価対象領域。

表4 南西諸島周辺の浅発地震の発生域及び地震のタイプ等(長期評価, 2004)

項目	特性	根拠	評価の信頼度
(1)地震の発生領域の目安	<p>図4の当該領域</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・陸側プレートの内部、フィリピン海プレートの内部、もしくはそれらの境界面。</li> <li>・トカラ海谷以南は(2)で示された複数のタイプを分離することが難しいので、ここでは深さを60 km程度以浅とした。</li> <li>・発生領域の中の具体的な場所は特定できない。</li> </ul>	過去の当該領域の地震活動を参考にして判断。	-
(2)想定する地震のタイプ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プレート内地震、またはプレート間地震</li> </ul>		
(3)発生間隔等	評価しない。	地震発生の特性を明らかにするための十分な知見が得られていないことや、広大な設定領域において発生する場所を特定できないことによる。	

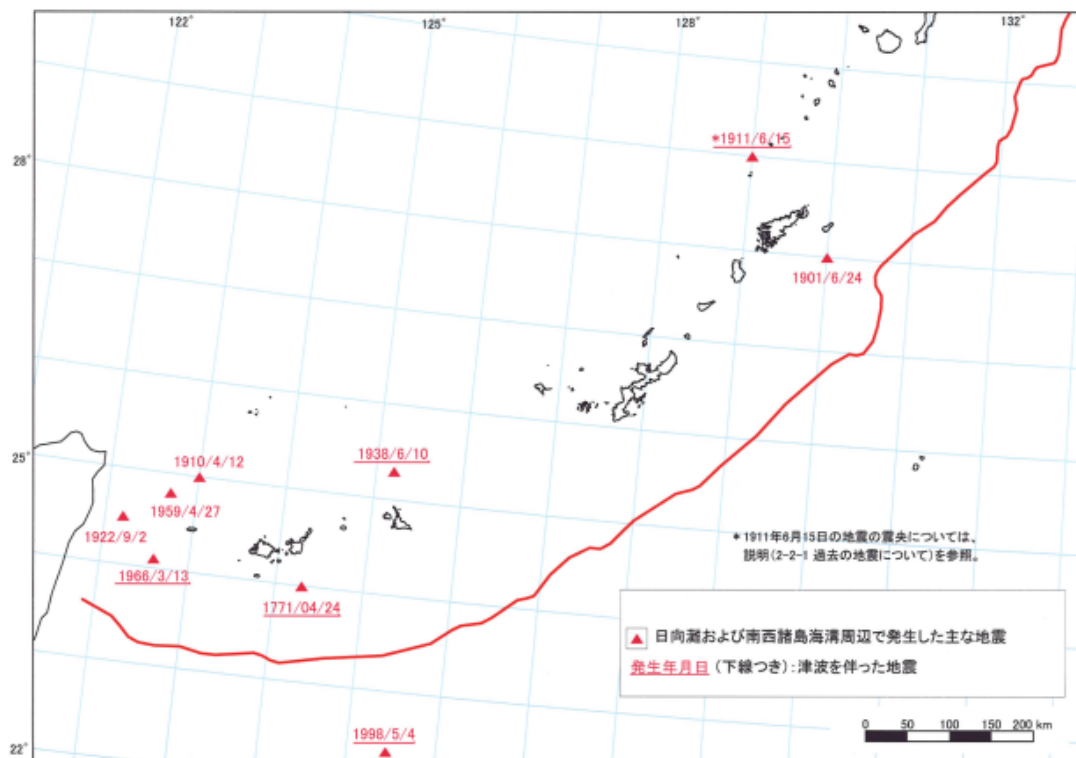


図 6-2 南西諸島海溝周辺で発生した主な地震と主な震源域

図 5 南西諸島海溝周辺で発生した主な地震と震源域(長期評価, 2004)。

また、このほか、琉球大学により沖縄諸島周辺の断層について断層モデルを構築し、津波シミュレーションが実施されている(琉球大学理学部物質地球科学科地学系中村衛(地震学)研究室, HP: <http://seis.sci.u-ryukyu.ac.jp/hazard/tsunami/tsunami-okinawa.htm>)。海溝軸付近の断層及び背弧側の、島弧に平行するような走向の断層と、島弧部の、島弧を横断する走向の断層がモデル化されている(図 6)。なお、これらの断層モデルについて詳しいパラメータは公表されていない。

沖縄県の津波浸水被害想定では図 7 のような断層モデルが想定されている。琉球海溝沿いで発生する地震及びトラフ域で発生する地震に加えて、八重山地震を想定したモデルも検討されている。また、海溝側の波源については連動パターンについても検討されている。

ここに挙げた事例を参考にし、この海域の地震活動及びテクトニクスに留意することで南西諸島海域のサブテーマ(2)による断層データをもとにした断層モデルの構築方法について以下に示す。

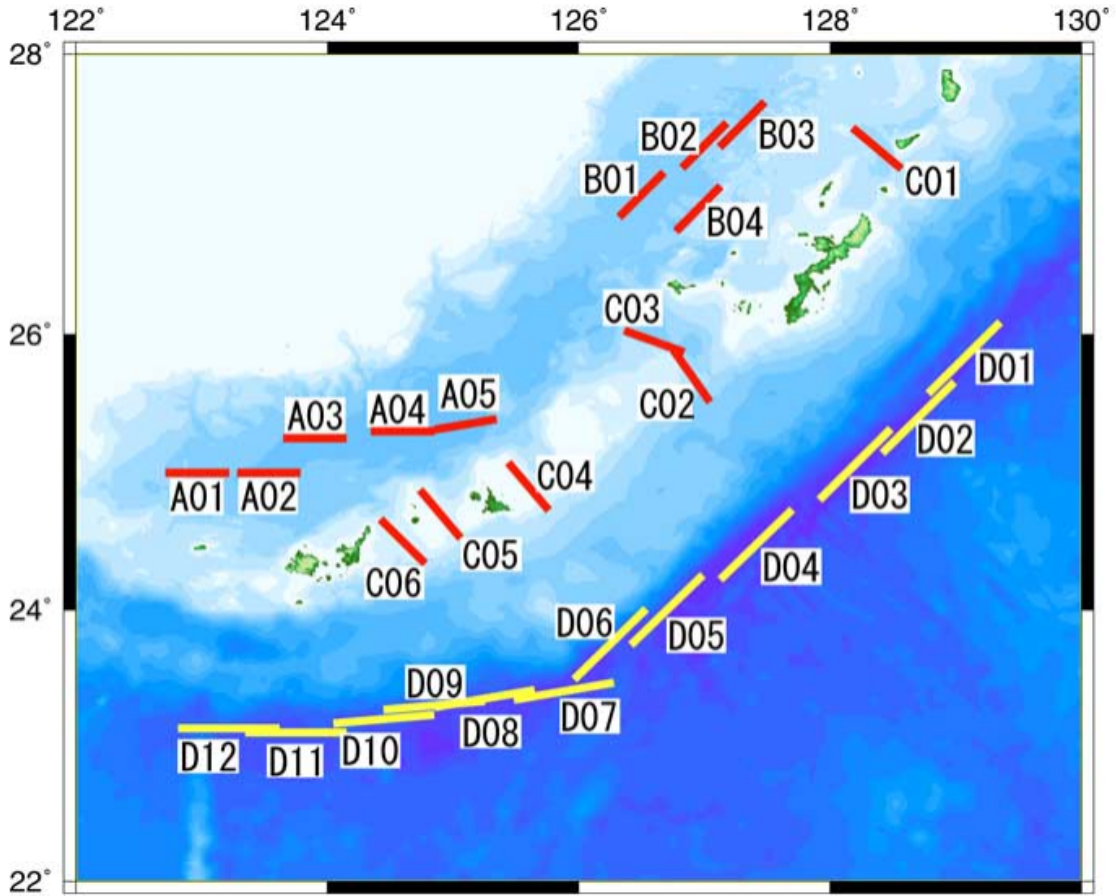


図 6 琉球大学による沖縄諸島周辺の断層モデル

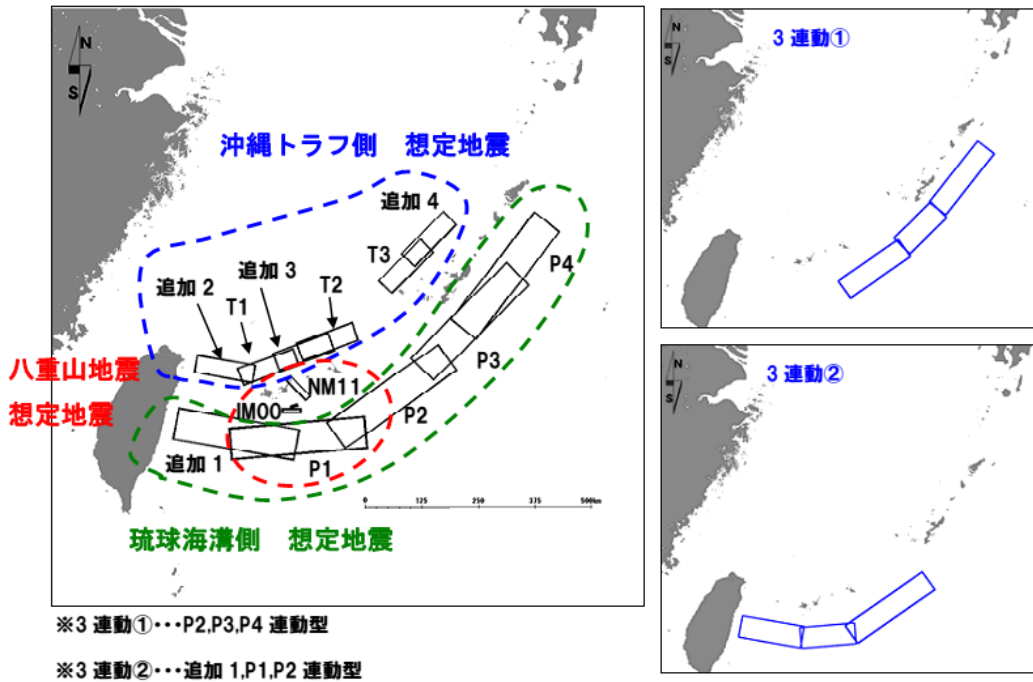


図 7 沖縄県の津波浸水被害想定で設定された想定地震。



## 2) 断層モデルの設定及び検証

本検討の目的は、サブテーマ(2)において解析・解釈が行われた南西諸島南部海域の断層データを整理し、断層モデルの構築を行うことである。断層モデルの構築に必要なパラメータの設定方法について検討し、設定した断層モデルを用いた津波及び地震動の予測計算を行った。

### a) 断層モデルの設定

本検討において設定する断層モデルは、サブテーマ(2)における調査結果に基づいて設定する。サブテーマ(2)の断層データから設定する断層モデルを「基本モデル」とする。断層モデルの設定範囲は、背弧域、島弧域、前弧域とし、海溝軸付近の逆断層については、プレート境界の分岐断層であると考えられるため、南海トラフ等の分岐断層の検討を踏まえてモデル化するため、今年度の作業とはしていない。サブテーマ(2)において図8で示した黄色線の位置に、プレートに収束するような分岐断層の構造が確認されている。

震源として考える場合には、分岐断層を独立した震源と考えなくても、プレート境界ないしプレート内の地震の評価で包含できると考えられる。また、津波の波源としてはプレート境界と位置がずれることから、分岐断層について何らかの評価が必要である。南海トラフにおいて分岐断層を規定しているように見えるアウターライズの位置や分布も踏まえた総合的な検討が必要である。

今回は、サブテーマ(2)で示された分岐断層と考えられる断層よりも島弧側の断層について断層モデルを設定することとする。

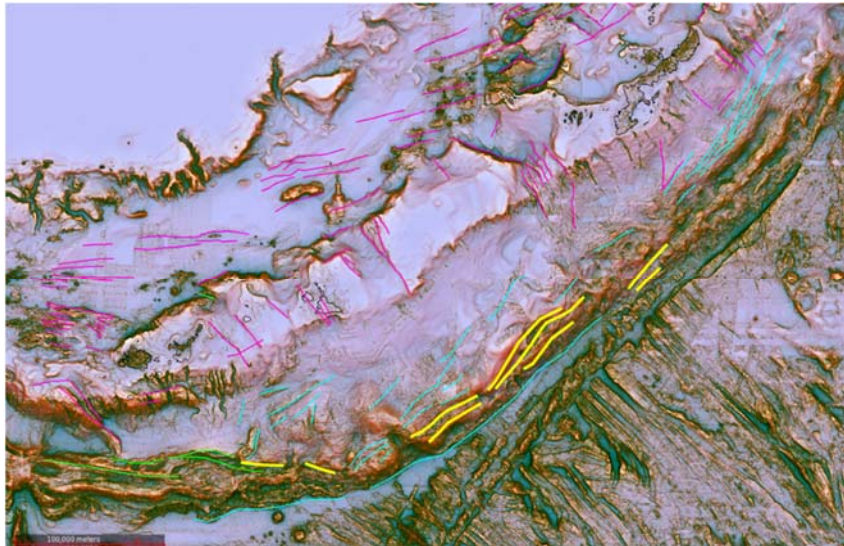


図8 サブテーマ(2)で確認された海溝軸周辺の分岐断層。

### i) 津波波源断層モデルの設定

津波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の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と、データのみでは確定できないパラメータがある。また、データが得られていないパラメータについては、先行研究例や既往の断層モデルの設定方針をもとに設定する。ここではおもに地震調査研究推進本部の「震源断層を特定した地震の強震動評価手法(「レシピ」)」(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2009、以降「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設定としている。以下に断層パラメータの設定方法を記す。

#### ・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の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面とする。断層トレースが途中で大きく走向を変える場合に複数枚の断層面を設定することとするが、今年度の対象とする海域のデータでは直線的な断層がほとんどで、すべての断層データは1枚の矩形断層モデルとして設定した。断層の長さは矩形の上端部を合計した長さとした。走向は矩形の上端部の方向を走向とする。これら断層の位置や長さの情報については、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素である。サブテーマ(2)のデータにおける断層の連続性及び断層端部の位置は海底地形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。サブテーマ(2)のデータから得られた断層トレースの分布は図9のようになっている。図9では、長さレンジごとに色を変えて示している。灰色の断層トレースは分岐断層と考えられる海溝軸付近の逆断層である。

断層の長さが18 km以下の短い断層がみられるが、これらについては地震調査研究推進本部の「活断層の長期評価手法(暫定版)」報告書(地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会, 2010)の考えにもとづき、18kmになるように断層の両端部を延長することとした。「活断層の長期評価手法(暫定版)」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M 6.8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15~18km程度を目安とする。」としている。この考えから、音波探査断面に変位が確認された断層は18km程度の長さがあるとみなして延長することとした。

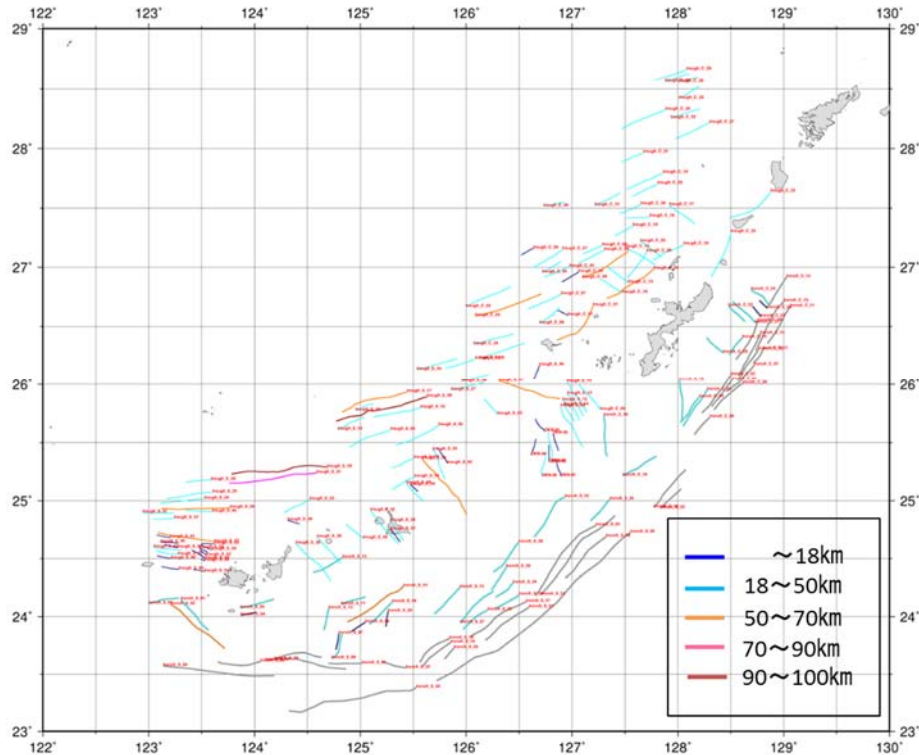


図 9 長さレンジごとに色分けして示した南西諸島南部海域のサブテマ(2)による断層データ。

・断層上端深度の設定

基本的に海底面(0 km)として設定する。サブテマ(2)のデータにおいて、多くの断層で海底面付近までのデータが得られているため、断層上端は浅いと言える。また、平成 27 年度業務において、断層下端深度の不確定性の評価を行った結果から、断層下端深度の設定は津波の高さに大きく影響しないことが示された。

・断層傾斜角の設定

サブテマ(2)で得られたデータの平均的な値を考慮し、正断層を  $60^\circ$ 、横ずれ断層を  $90^\circ$  とする。逆断層は標準的な値として  $45^\circ$  として設定する。サブテマ(2)で得られた「みかけ傾斜角」のレンジごとの分布は図 10 のようになっている。正断層の約 75% が  $50^\circ \sim 70^\circ$  の範囲にあり、逆断層は約 80% が  $50^\circ \sim 70^\circ$  の範囲にある。

平成 27 年度までに設定した日本海海域の断層モデルでは、深部に至るまでの 3 次元構造がわかるデータが含まれていたことから、認識論的不確定性を考慮して断層上端から下端をひとつの傾斜角で近似する場合と、断層浅部では高角、深部では低角となるような、深部と浅部で傾斜角を分けた設定とする場合の 2 通りの断層モデルを作成した。しかし、南西諸島海域ではこのような構造データは見られず、また、この海域の正断層は多くが  $60^\circ$  程度の傾斜角を持つため、このような設定を行ってもほとんどコントラストが見られず、効果が期待できないため、行わないこととした。

逆断層については、得られたデータの平均的な値がやや高角であり、逆断層としては応力と断層タイプの物理的な関係から考えにくい。また、これら前弧海盆に位置する断層のデータは多くが浅部のみしか得られておらず、変位も小さく不確定性が大きいいため標準的な値として設定することとした。

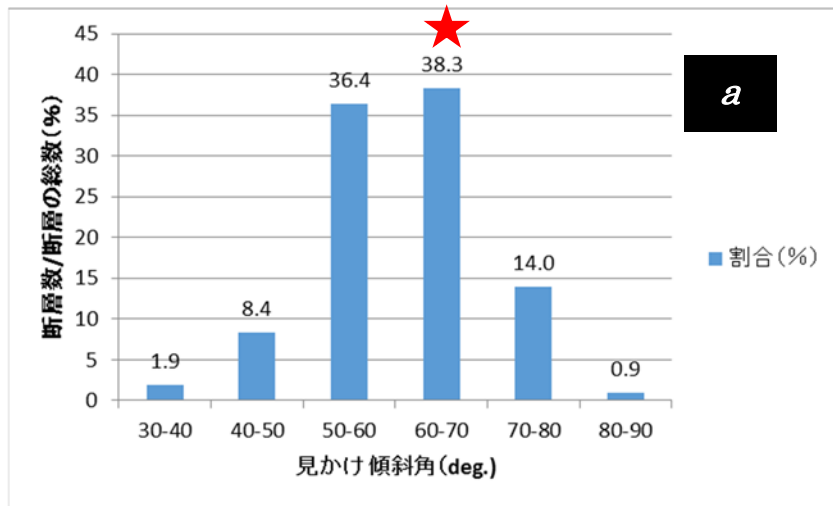


図 10a) 正断層、横ずれ断層

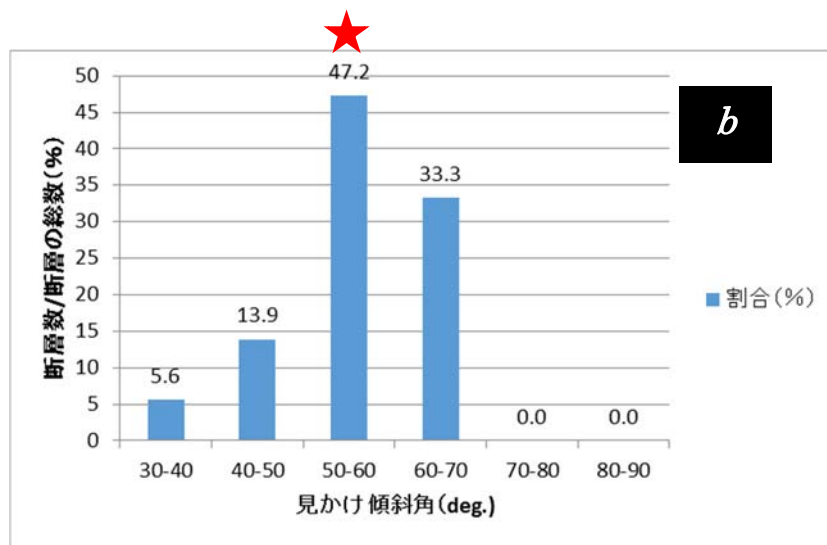


図 10b) 分岐断層と考えられるものを除く逆断層

・断層下端深度の設定

サブテーマ(2)で得られた3次元速度構造から設定する。認識論的不確定性を考慮し、断層下端をコンラッド面とする場合とモホ面とする場合の2通りの設定とした。コンラッド面及びモホ面の深度分布は以下の図11のようにになっている。

従来の考え方では断層下端深度をコンラッド面とすることが一般的だが、今回のサブテーマ(2)で得られているデータではコンラッド面の深度が他の海域に比べて浅くなっていることを考慮し、断層下端深度をモホ面として地殻全体を破壊するような設定も含めてパラメータを設定することで過小評価にはならないようにすることとした。なお、断層下端深度をモホ面とする場合には、サブテーマ(2)によるモホ面深度分布では30 kmを超える深さとなる地点もあるが、観測データの不確定性も考慮し、平均的なコンラッド面深度のおおむね2倍の深度までを、断層モデルの下端深度の下限とした。

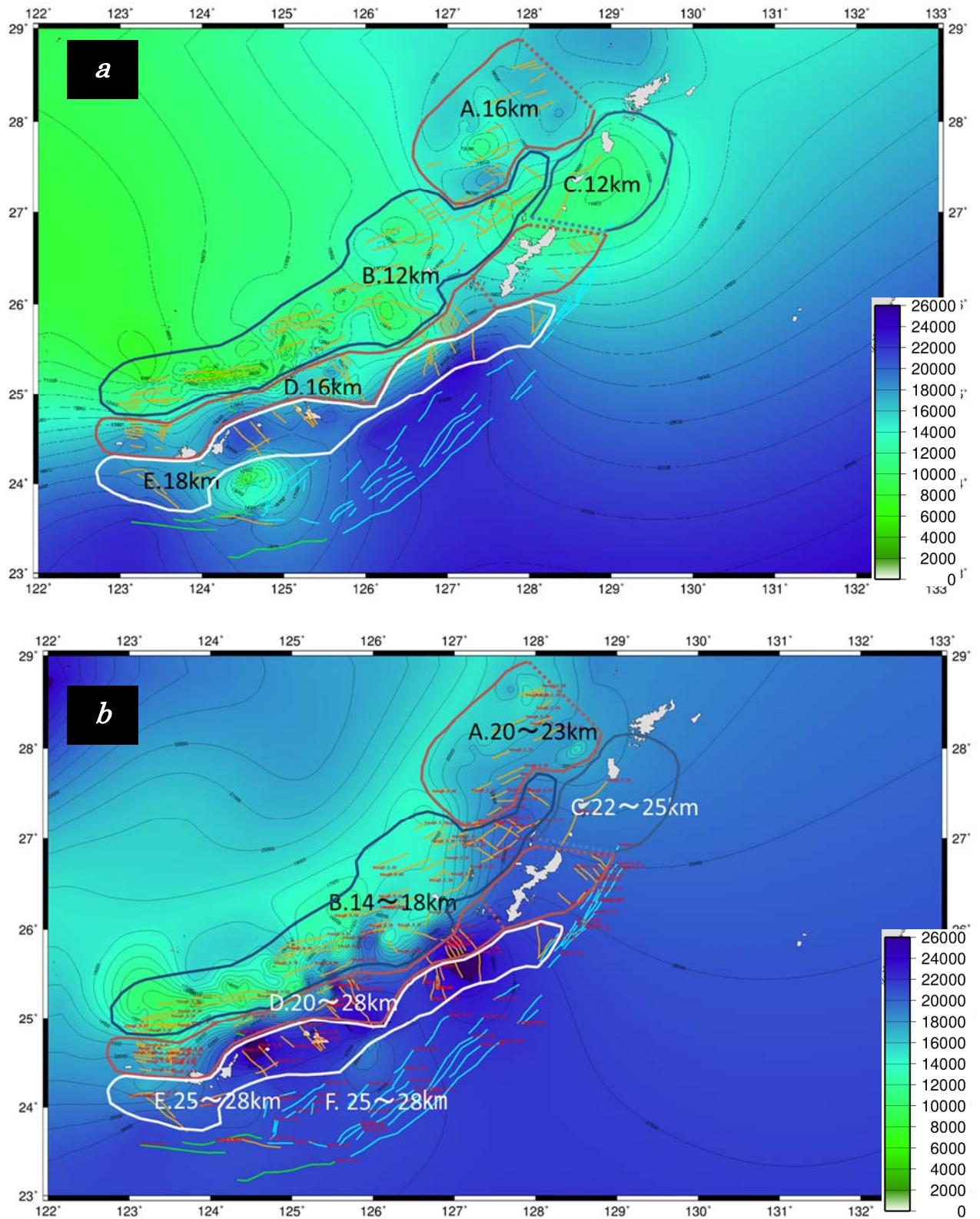


図 11 サブテーマ(2)のデータによる a)コンラッド面深度分布 b)モホ面深度分布。

- ・断層幅の設定

断層上端深度及び下端深度と傾斜角の関係から設定する。短い断層については長さとのアスペクト比が 1 : 1 となるように断層下端深度を浅くする。

- ・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は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。

- ・すべり量の設定

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に含まれるばらつきを包含することとする。

ここで述べた方法により、南西諸島南部海域の 142 本の断層データについてモデル化を行った。断層モデルは断層下端深度をモホ面とする場合とコンラッド面とする場合の 2 通りで設定し、合計 284 モデルである。設定した断層モデルの形状及びモデルパラメータを以下の図 12、図 13 及び表 5、表 6 に示す。

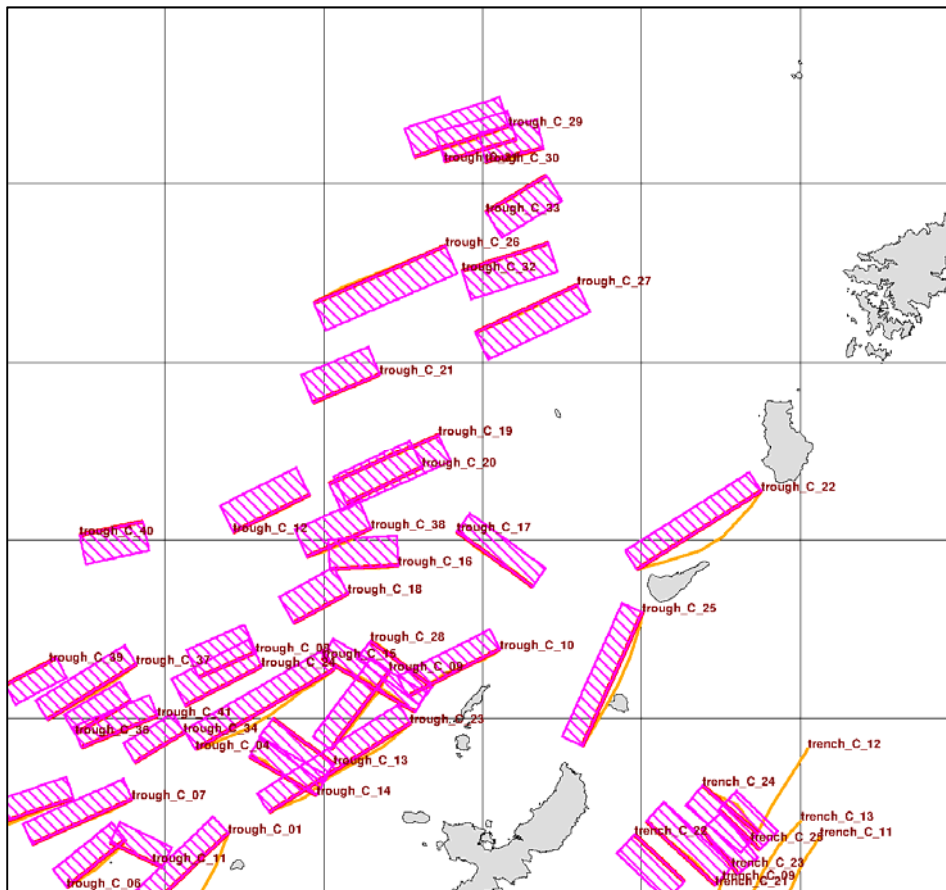
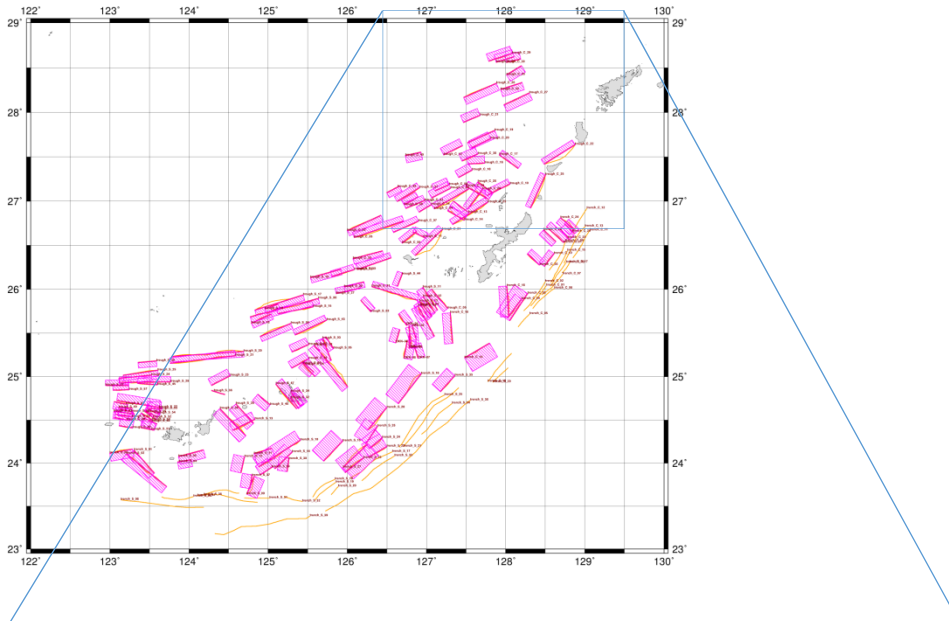


図 12-a 断層下端深度をコンラッド面とした場合の断層モデルの形状。サブテーマ(2)による断層データ(橙実線)に対し設定した断層モデル(矩形)。



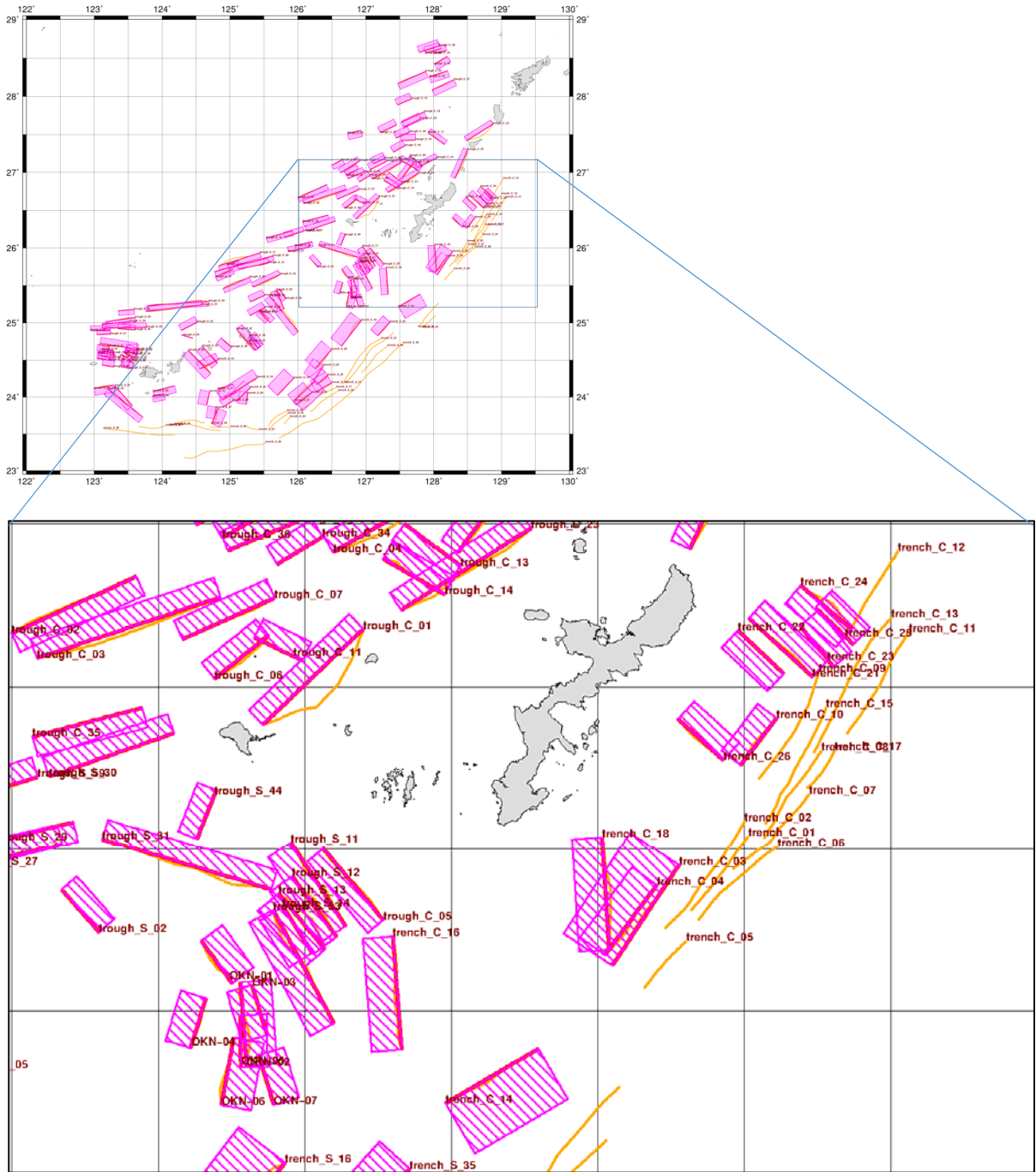


図 12-b 断層下端深度をコンラッド面とした場合の断層モデルの形状。  
 サブテーマ(2)による断層データ(橙実線)に対し設定した断層モデル(矩形)。

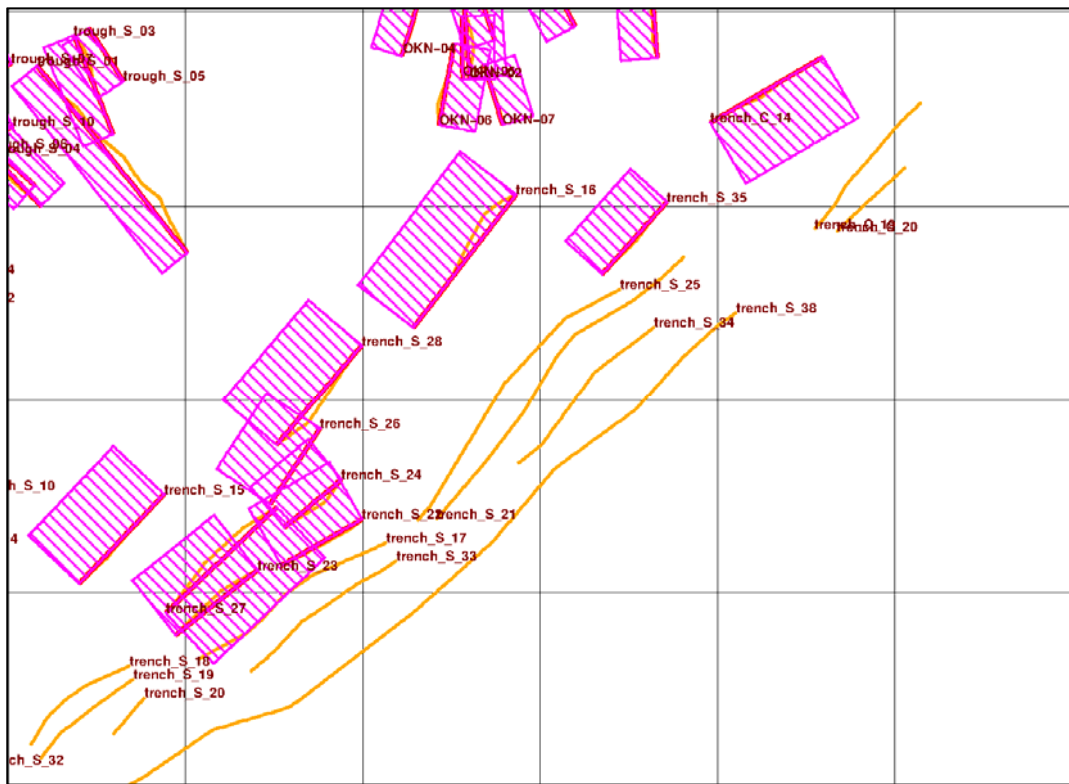
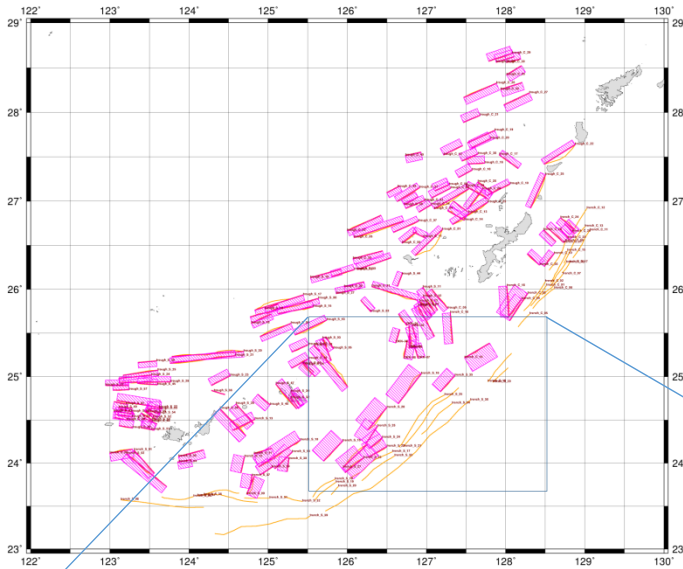


図 12-c 断層下端深度をコンラッド面とした場合の断層モデルの形状。サブテーマ(2)による断層データ(橙実線)に対し設定した断層モデル(矩形)。

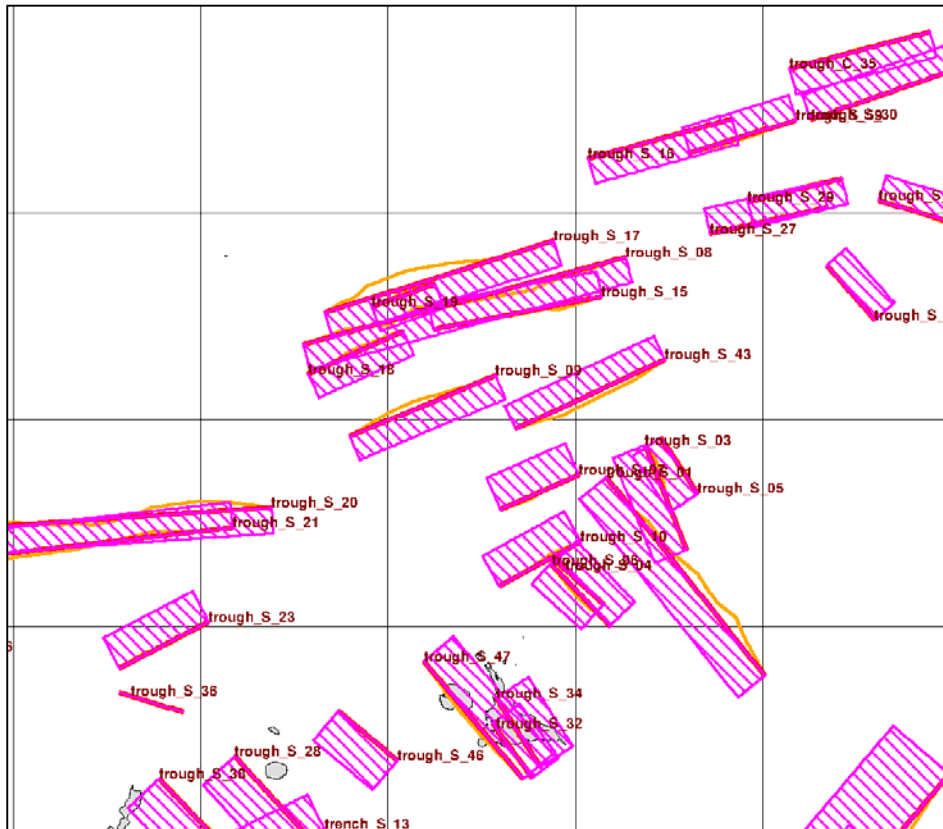
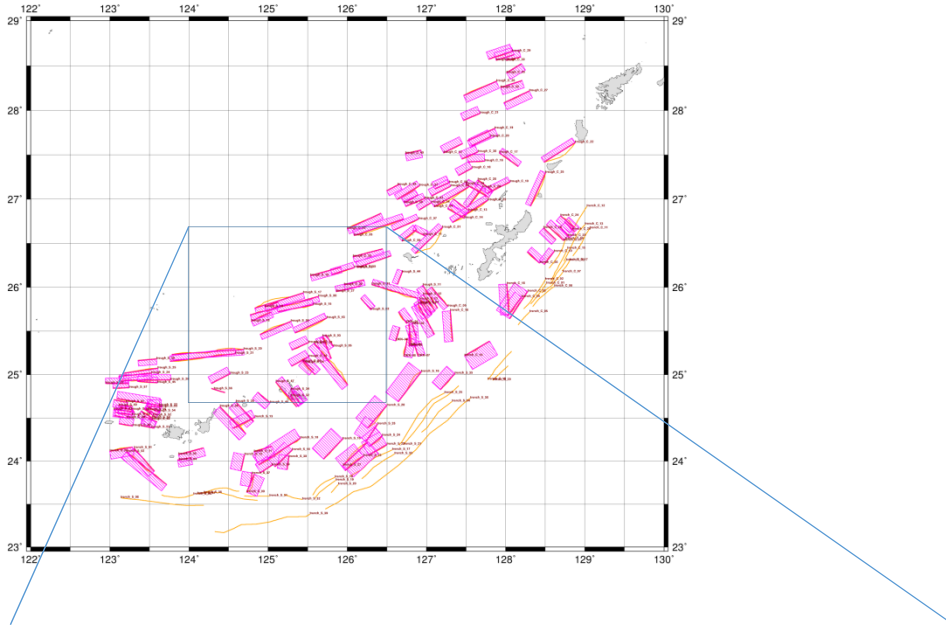


図 12-d 断層下端深度をコンラッド面とした場合の断層モデルの形状。サブテーマ(2)による断層データ(橙実線)に対し設定した断層モデル(矩形)。

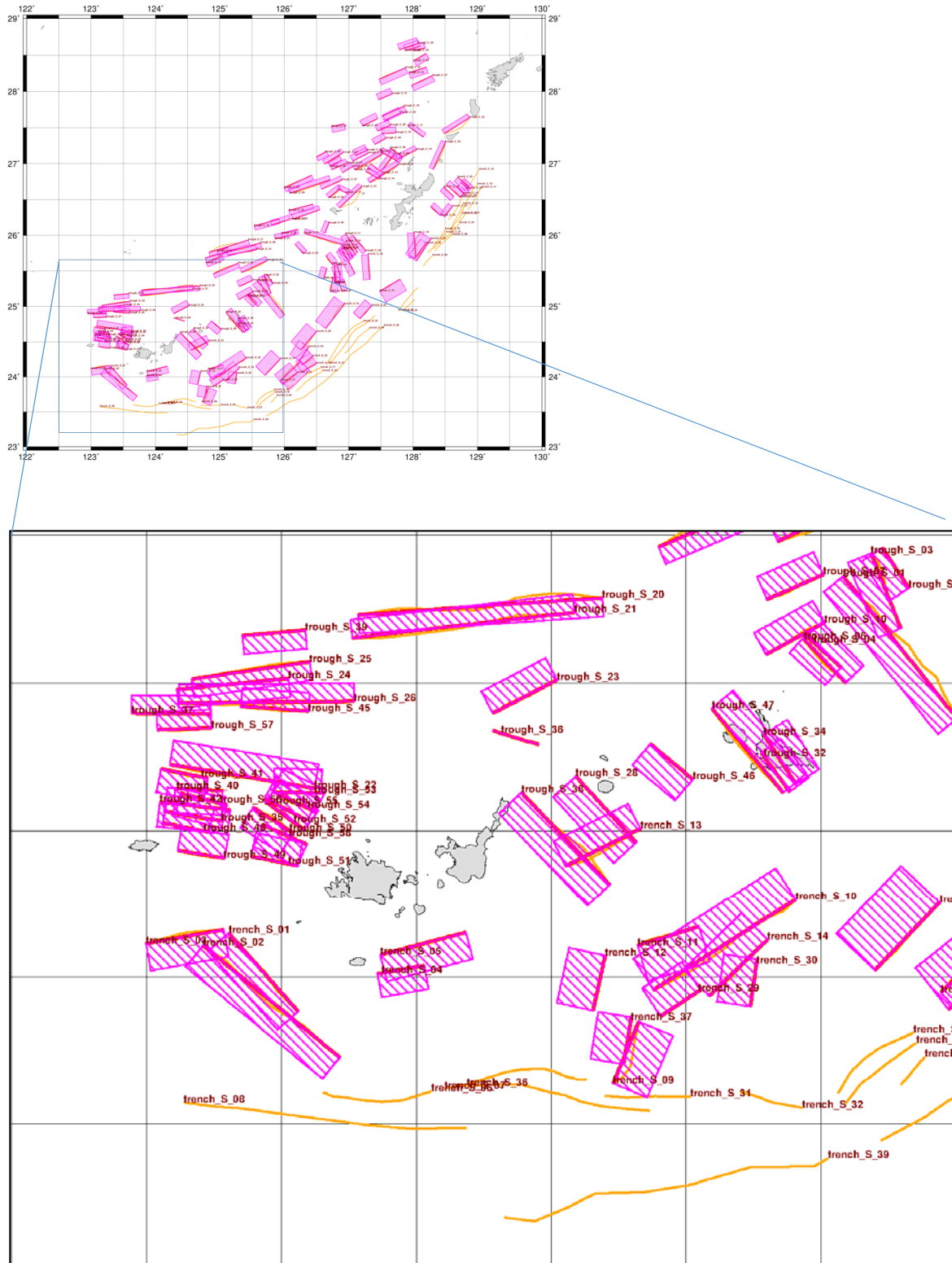


図 12-e 断層下端深度をコンラッド面とした場合の断層モデルの形状。  
 サブテーマ(2)による断層データ(橙実線)に対し設定した断層モデル(矩形)

表 5(1) 断層下端深度をコンラッド面とした場合のモデルパラメータ

モデル	緯度 (deg.)	経度 (deg.)	上端 (km)	下端(コンラッド面, km)	走向 (deg.)	傾斜 (deg.)	すべり角 (deg.)	長さ(km)	幅(km)	Mo	Mw	平均すべり量(m)
NI-trough-C con-01	26.6781	127.2001	0	12	227.2	60	270	47.24	13.86	2.40E+19	6.85	1.06
NI-trough-C con-02	26.6646	126.0001	0	12	66.7	60	270	46.55	13.86	2.30E+19	6.84	1.05
NI-trough-C con-03	26.7758	126.7125	0	12	252.7	60	270	65.76	13.86	4.60E+19	7.04	1.48
NI-trough-C con-04	27.1392	127.5353	0	12	240.8	60	270	50.21	13.86	2.70E+19	6.89	1.13
NI-trough-C con-05	26.0017	127.0628	0	12	140.7	60	270	32.02	13.86	1.10E+19	6.63	0.72
NI-trough-C con-06	26.6586	126.8771	0	12	232.2	60	270	23.54	13.86	5.60E+18	6.43	0.50
NI-trough-C con-07	26.7731	126.8981	0	12	247.0	60	270	34.33	13.86	1.30E+19	6.67	0.77
NI-trough-C con-08	27.1866	127.2877	0	16	247.2	60	270	19.56	18.48	6.50E+18	6.48	0.53
NI-trough-C con-09	27.1338	127.7072	0	12	217.4	60	270	30.61	13.86	1.00E+19	6.60	0.69
NI-trough-C con-10	27.1951	128.0550	0	12	243.5	60	270	32.31	13.86	1.10E+19	6.63	0.73
NI-trough-C con-11	26.5817	126.9921	0	12	296.6	60	270	18.00	13.86	3.70E+18	6.32	0.44
NI-trough-C con-12	27.6275	127.4555	0	16	244.5	60	270	26.33	18.48	1.30E+19	6.68	0.79
NI-trough-C con-13	26.9999	127.3402	0	12	127.3	60	270	23.85	13.86	5.70E+18	6.44	0.50
NI-trough-C con-14	26.7845	127.4781	0	12	300.8	60	270	24.25	13.86	5.80E+18	6.44	0.51
NI-trough-C con-15	27.0187	127.7894	0	12	300.5	60	270	33.57	13.86	1.20E+19	6.65	0.75
NI-trough-C con-16	27.4298	127.7353	0	16	267.4	60	270	21.39	18.48	7.50E+18	6.52	0.55
NI-trough-C con-17	27.3704	128.1583	0	12	306.3	60	270	29.11	13.86	9.00E+18	6.57	0.65
NI-trough-C con-18	27.3510	127.5766	0	16	242.1	60	270	19.23	18.48	6.40E+18	6.47	0.52
NI-trough-C con-19	27.6579	127.5181	0	16	66.2	60	270	37.15	18.48	2.60E+19	6.88	1.11
NI-trough-C con-20	27.7048	127.8115	0	16	245.0	60	270	26.09	18.48	1.30E+19	6.67	0.78
NI-trough-C con-21	27.9665	127.6772	0	16	247.7	60	270	22.47	18.48	9.60E+18	6.59	0.67
NI-trough-C con-22	27.6370	128.8776	0	12	238.0	60	270	45.57	13.86	2.20E+19	6.83	1.02
NI-trough-C con-23	26.9867	127.7728	0	12	238.5	60	270	52.09	13.86	2.90E+19	6.91	1.17
NI-trough-C con-24	27.1471	127.3058	0	16	243.7	60	270	26.84	18.48	1.40E+19	6.69	0.80
NI-trough-C con-25	27.2977	128.5036	0	12	204.5	60	270	45.50	13.86	2.20E+19	6.83	1.02
NI-trough-C con-26	28.1654	127.4693	0	16	67.1	60	270	44.30	18.48	3.70E+19	6.98	1.33
NI-trough-C con-27	28.0831	127.9780	0	16	65.3	60	270	34.80	18.48	2.30E+19	6.84	1.04
NI-trough-C con-28	27.2186	127.6478	0	12	127.2	60	270	23.94	13.86	5.70E+18	6.44	0.50
NI-trough-C con-29	28.6592	128.0827	0	16	252.2	60	270	30.57	18.48	1.80E+19	6.77	0.92
NI-trough-C con-30	28.5965	128.1918	0	16	257.3	60	270	18.24	18.24	5.80E+18	6.44	0.50
NI-trough-C con-31	28.6208	128.1063	0	16	253.6	60	270	23.04	18.48	1.00E+19	6.60	0.69
NI-trough-C con-32	28.2553	127.9357	0	16	72.5	60	270	28.05	18.48	1.50E+19	6.72	0.84
NI-trough-C con-33	28.4190	128.0123	0	16	59.0	60	270	21.73	18.48	9.00E+18	6.57	0.65
NI-trough-C con-34	26.9606	127.0614	0	12	239.8	60	270	18.00	13.86	3.70E+18	6.32	0.44
NI-trough-C con-35	26.3474	126.0714	0	12	76.5	60	270	38.65	13.86	1.60E+19	6.74	0.87
NI-trough-C con-36	27.0495	126.8949	0	12	240.7	60	270	20.31	13.86	4.50E+18	6.37	0.46
NI-trough-C con-37	27.1523	126.9108	0	12	239.2	60	270	32.66	13.86	1.10E+19	6.64	0.73
NI-trough-C con-38	27.5334	127.6497	0	16	246.8	60	270	21.78	18.48	9.00E+18	6.57	0.65
NI-trough-C con-39	27.0948	126.4986	0	12	63.3	60	270	18.00	13.86	3.70E+18	6.32	0.44
NI-trough-C con-40	27.5141	126.7323	0	16	78.7	60	270	20.11	18.48	6.80E+18	6.49	0.53
NI-trough-C con-41	27.0079	126.9781	0	12	248.4	60	270	25.73	13.86	6.40E+18	6.47	0.52
NI-trough-S con-01	25.3596	125.5835	0	16	142.7	60	270	68.22	18.48	8.80E+18	7.23	2.04
NI-trough-S con-02	25.7428	126.2990	0	12	319.8	60	270	19.46	13.86	4.20E+18	6.35	0.45
NI-trough-S con-03	25.4374	125.6859	0	16	159.7	60	270	30.21	18.48	1.70E+19	6.76	0.91
NI-trough-S con-04	25.1617	125.4437	0	16	133.6	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S con-05	25.4559	125.7279	0	16	148.0	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S con-06	25.0007	125.5928	0	16	317.6	60	270	22.65	18.48	9.70E+18	6.59	0.68
NI-trough-S con-07	25.3657	125.5094	0	16	247.9	60	270	22.98	18.48	1.00E+19	6.60	0.69
NI-trough-S con-08	25.6834	124.7739	0	12	76.5	60	270	89.47	13.86	8.60E+19	7.22	2.01
NI-trough-S con-09	25.4594	124.8988	0	12	68.7	60	270	42.44	13.86	1.90E+19	6.79	0.95
NI-trough-S con-10	25.2043	125.5140	0	16	242.9	60	270	24.98	18.48	1.20E+19	6.65	0.75
NI-trough-S con-11	26.0204	126.9529	0	16	147.7	60	270	34.23	18.48	2.20E+19	6.83	1.03
NI-trough-S con-12	25.9160	126.9567	0	16	144.6	60	270	25.79	18.48	1.30E+19	6.67	0.77
NI-trough-S con-13	25.8621	126.9111	0	16	141.1	60	270	24.90	18.48	1.20E+19	6.65	0.75
NI-trough-S con-14	25.8220	126.9250	0	16	148.4	60	270	18.76	18.48	6.10E+18	6.46	0.52
NI-trough-S con-15	25.7990	125.5697	0	12	260.5	60	270	45.87	13.86	2.20E+19	6.83	1.03
NI-trough-S con-16	26.1318	125.5346	0	12	76.1	60	270	39.69	13.86	1.70E+19	6.75	0.89
NI-trough-S con-17	25.7600	124.8320	0	12	74.2	60	270	64.21	13.86	4.40E+19	7.03	1.44
NI-trough-S con-18	25.6117	124.7883	0	12	67.4	60	270	27.88	13.86	7.20E+18	6.51	0.54
NI-trough-S con-19	25.7750	124.9572	0	12	72.1	60	270	18.06	13.86	3.80E+18	6.32	0.44
NI-trough-S con-20	25.2299	123.7846	0	12	88.1	60	270	91.59	13.86	9.00E+19	7.23	2.06
NI-trough-S con-21	25.2384	124.5864	0	12	265.5	60	270	83.74	13.86	7.50E+19	7.18	1.88
NI-trough-S con-22	24.6441	123.6231	0	16	281.7	60	270	55.18	18.48	5.80E+19	7.11	1.65
NI-trough-S con-23	25.0107	124.5221	0	16	244.4	60	270	27.14	18.48	1.40E+19	6.70	0.81
NI-trough-S con-24	24.9775	123.1126	0	12	86.6	60	270	42.09	13.86	1.90E+19	6.78	0.95
NI-trough-S con-25	25.0131	123.1664	0	12	84.1	60	270	44.85	13.86	2.10E+19	6.82	1.01
NI-trough-S con-26	24.9380	123.7695	0	12	271.8	60	270	65.70	13.86	4.60E+19	7.04	1.48
NI-trough-S con-27	26.0140	126.1719	0	12	258.6	60	270	32.09	13.86	1.10E+19	6.63	0.72
NI-trough-S con-28	24.6838	124.5920	0	20	139.3	60	270	33.69	23.09	3.40E+19	6.95	1.26
NI-trough-S con-29	26.0268	125.9596	0	12	77.2	60	270	25.86	13.86	6.40E+18	6.47	0.52
NI-trough-S con-30	26.3581	126.5541	0	12	252.1	60	270	45.08	13.86	2.20E+19	6.82	1.01
NI-trough-S con-31	25.8748	126.8869	0	12	287.7	60	270	60.45	13.86	3.90E+19	6.99	1.36
NI-trough-S con-32	24.6324	125.3845	0	18	325.3	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S con-33	25.8120	126.8919	0	16	152.6	60	270	44.12	18.48	3.70E+19	6.98	1.32
NI-trough-S con-34	24.6579	125.4070	0	18	328.8	60	270	22.11	20.78	1.20E+19	6.65	0.75
NI-trough-S con-35	24.5330	123.2774	0	16	282.0	60	270	22.01	18.48	9.20E+18	6.58	0.66
NI-trough-S con-36	24.8387	124.2846	0	16	108.8	90	0	18.00	16.00	4.60E+18	6.38	0.47
NI-trough-S con-37	24.8950	123.2370	0	12	273.0	60	270	29.64	13.86	9.40E+18	6.58	0.67
NI-trough-S con-38	24.6298	124.3896	0	20	138.2	60	270	48.29	23.09	6.90E+19	7.16	1.81
NI-trough-S con-39	25.1600	123.3557	0	12	87.4	60	270	23.67	13.86	5.60E+18	6.43	0.50
NI-trough-S con-40	24.6428	123.1057	0	16	95.3	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50

表 5(2) 断層下端深度をコンラッド面とした場合のモデルパラメータ

モデル	緯度 (deg.)	経度 (deg.)	上端 (km)	下端(コンラッド面, km)	走向 (deg.)	傾斜 (deg.)	すべり角 (deg.)	長さ(km)	幅(km)	Mo	Mw	平均すべり量(m)
NI-trough-S con-41	24.7096	123.0541	0	16	103.6	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S con-42	24.5970	123.0491	0	16	98.7	60	270	26.70	18.48	1.40E+19	6.69	0.80
NI-trough-S con-43	25.6470	125.7384	0	12	246.4	60	270	44.16	13.86	2.10E+19	6.81	0.99
NI-trough-S con-44	26.1832	126.6989	0	12	202.5	60	270	18.00	13.86	3.70E+18	6.32	0.44
NI-trough-S con-45	24.9048	123.5998	0	12	276.5	60	270	25.30	13.86	6.20E+18	6.46	0.52
NI-trough-S con-46	24.7942	124.8680	0	18	131.6	60	270	20.78	20.78	1.00E+19	6.61	0.70
NI-trough-S con-47	24.6290	125.3611	0	18	321.3	60	270	41.45	20.78	4.10E+19	7.01	1.40
NI-trough-S con-48	24.4947	123.2339	0	16	283.7	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S con-49	24.4065	123.2906	0	16	281.6	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S con-50	24.5787	123.3954	0	16	124.6	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S con-51	24.3807	123.5614	0	16	283.7	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S con-52	24.5027	123.5847	0	16	308.6	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S con-53	24.6276	123.6488	0	16	273.2	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S con-54	24.5640	123.6265	0	16	298.4	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S con-55	24.5349	123.5957	0	16	300.1	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S con-56	24.6272	123.1271	0	16	106.6	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S con-57	24.8475	123.2406	0	12	270.8	60	270	20.38	13.86	4.50E+18	6.37	0.47
NI-trough-S con-58	24.5198	123.4330	0	16	116.6	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S con-59	26.2244	126.0896	0	12	254.2	60	270	29.69	13.86	9.40E+18	6.58	0.67
NI-OKN con-03	25.5803	126.8199	0	16	164.1	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-OKN con-02	25.3296	126.8023	0	18	356.8	60	270	28.88	20.78	2.00E+19	6.80	0.97
NI-OKN con-05	25.3262	126.7827	0	18	0.5	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-OKN con-04	25.5395	126.6634	0	16	198.1	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-OKN con-07	25.2078	126.8954	0	18	344.0	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-OKN con-01	25.5852	126.7528	0	16	324.9	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-OKN con-06	25.2087	126.7161	0	18	11.4	60	270	23.53	20.78	1.30E+19	6.68	0.79
NI-trench-C con-03	25.9506	128.2776	0	20	213.8	45	90	41.30	28.28	7.60E+19	7.19	1.89
NI-trench-C con-04	25.8885	128.2018	0	18	216.9	60	270	29.90	20.78	2.10E+19	6.82	1.01
NI-trench-C con-10	26.4044	128.6104	0	14	217.4	60	270	20.03	16.17	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trench-C con-14	25.2140	127.4811	0	20	60.3	45	90	36.99	28.28	6.10E+19	7.12	1.70
NI-trench-C con-16	25.7305	127.3012	0	18	176.2	60	270	38.84	20.78	3.60E+19	6.97	1.31
NI-trench-C con-18	26.0368	128.0158	0	18	176.9	60	270	38.53	20.78	3.60E+19	6.97	1.30
NI-trench-C con-21	26.5318	128.7335	0	14	312.8	60	270	29.36	16.17	1.30E+19	6.67	0.77
NI-trench-C con-22	26.6741	128.4791	0	14	133.7	60	270	21.45	16.17	6.10E+18	6.46	0.52
NI-trench-C con-23	26.5628	128.8043	0	14	321.2	60	270	18.00	16.17	4.70E+18	6.38	0.47
NI-trench-C con-24	26.8113	128.6933	0	14	130.9	60	270	22.70	16.17	6.70E+18	6.48	0.53
NI-trench-C con-25	26.6308	128.8732	0	14	314.3	60	270	18.00	16.17	4.70E+18	6.38	0.47
NI-trench-C con-26	26.2755	128.4292	0	14	312.6	60	270	20.79	16.17	5.90E+18	6.44	0.51
NI-trench-S con-01	24.1494	123.3052	0	18	140.7	60	270	39.60	20.78	3.80E+19	6.98	1.33
NI-trench-S con-02	24.1072	123.2101	0	18	131.5	60	270	66.93	20.78	1.10E+20	7.29	2.26
NI-trench-S con-03	24.1139	122.9980	0	18	82.2	60	270	29.88	20.78	2.10E+19	6.82	1.01
NI-trench-S con-04	24.0109	123.8564	0	18	81.9	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trench-S con-05	24.0755	123.8662	0	18	77.4	60	270	33.51	20.78	2.70E+19	6.89	1.13
NI-trench-S con-09	23.6385	124.7304	0	14	24.3	45	90	25.24	19.80	1.40E+19	6.70	0.81
NI-trench-S con-10	24.2646	125.4067	0	14	239.1	45	90	63.62	19.80	8.80E+19	7.23	2.04
NI-trench-S con-11	24.1069	124.8201	0	14	74.3	45	90	24.28	19.80	1.30E+19	6.67	0.78
NI-trench-S con-12	24.0731	124.7009	0	14	194.3	45	90	21.32	19.80	9.90E+18	6.60	0.68
NI-trench-S con-13	24.5068	124.8311	0	18	245.2	60	270	31.49	20.78	2.40E+19	6.85	1.06
NI-trench-S con-14	24.1270	125.3023	0	14	227.5	45	90	30.62	19.80	2.00E+19	6.81	0.98
NI-trench-S con-15	24.2544	125.9404	0	20	224.9	45	90	35.35	28.28	5.60E+19	7.10	1.62
NI-trench-S con-16	25.0292	126.9326	0	20	218.4	45	90	47.86	28.28	1.00E+20	7.27	2.20
NI-trench-S con-22	24.1899	126.4989	0	20	241.3	45	90	26.66	26.66	2.80E+19	6.90	1.15
NI-trench-S con-23	24.0590	126.2034	0	20	232.7	45	90	29.92	28.28	4.00E+19	7.00	1.37
NI-trench-S con-24	24.2925	126.4411	0	20	231.3	45	90	21.34	21.34	1.20E+19	6.64	0.74
NI-trench-S con-26	24.4254	126.3799	0	20	214.4	45	90	25.97	25.97	2.50E+19	6.87	1.09
NI-trench-S con-27	23.9467	125.9451	0	20	47.5	45	90	44.05	28.28	8.60E+19	7.22	2.02
NI-trench-S con-28	24.6406	126.4978	0	20	221.5	45	90	37.54	28.28	6.30E+19	7.13	1.72
NI-trench-S con-29	23.9560	125.0539	0	14	238.2	45	90	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trench-S con-30	24.0610	125.2645	0	14	189.8	45	90	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trench-S con-35	25.0108	127.3592	0	14	222.7	45	90	27.64	19.80	1.70E+19	6.75	0.89
NI-trench-S con-37	23.8635	124.7980	0	14	191.1	45	90	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50

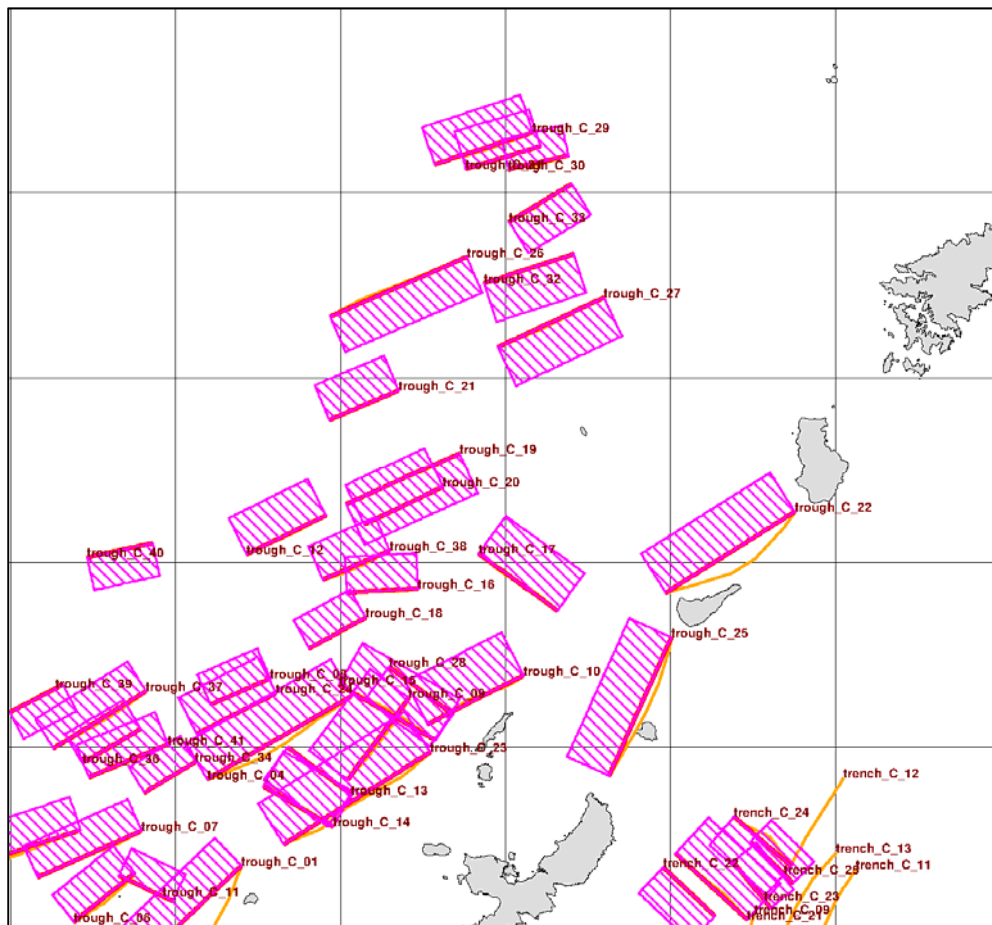
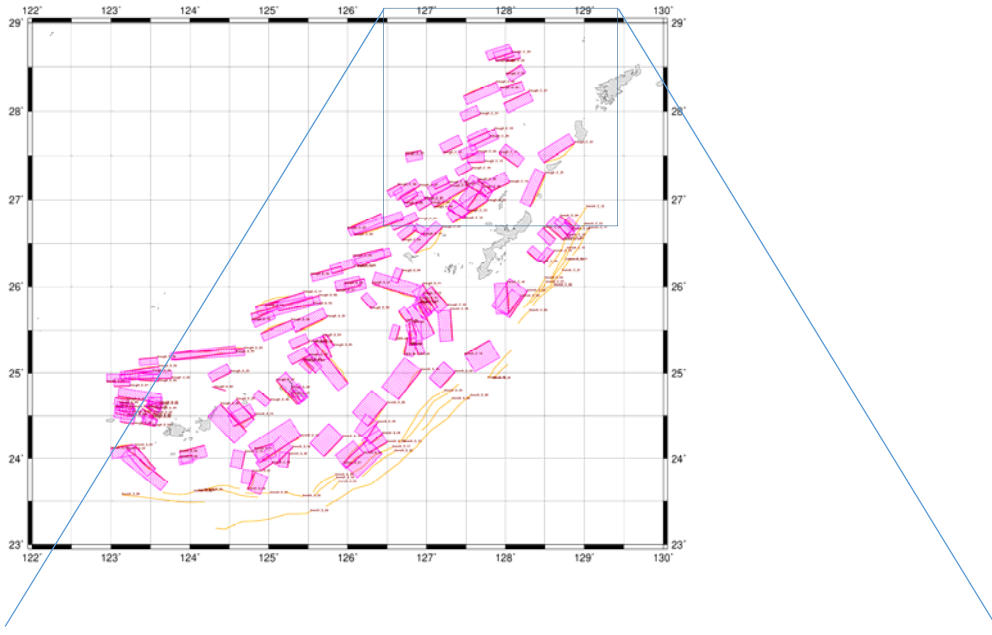


図 13-a 断層下端深度をモホ面とした場合の断層モデルの形状。サブテーマ(2)による断層データ(橙実線)に対し設定した断層モデル(矩形)。

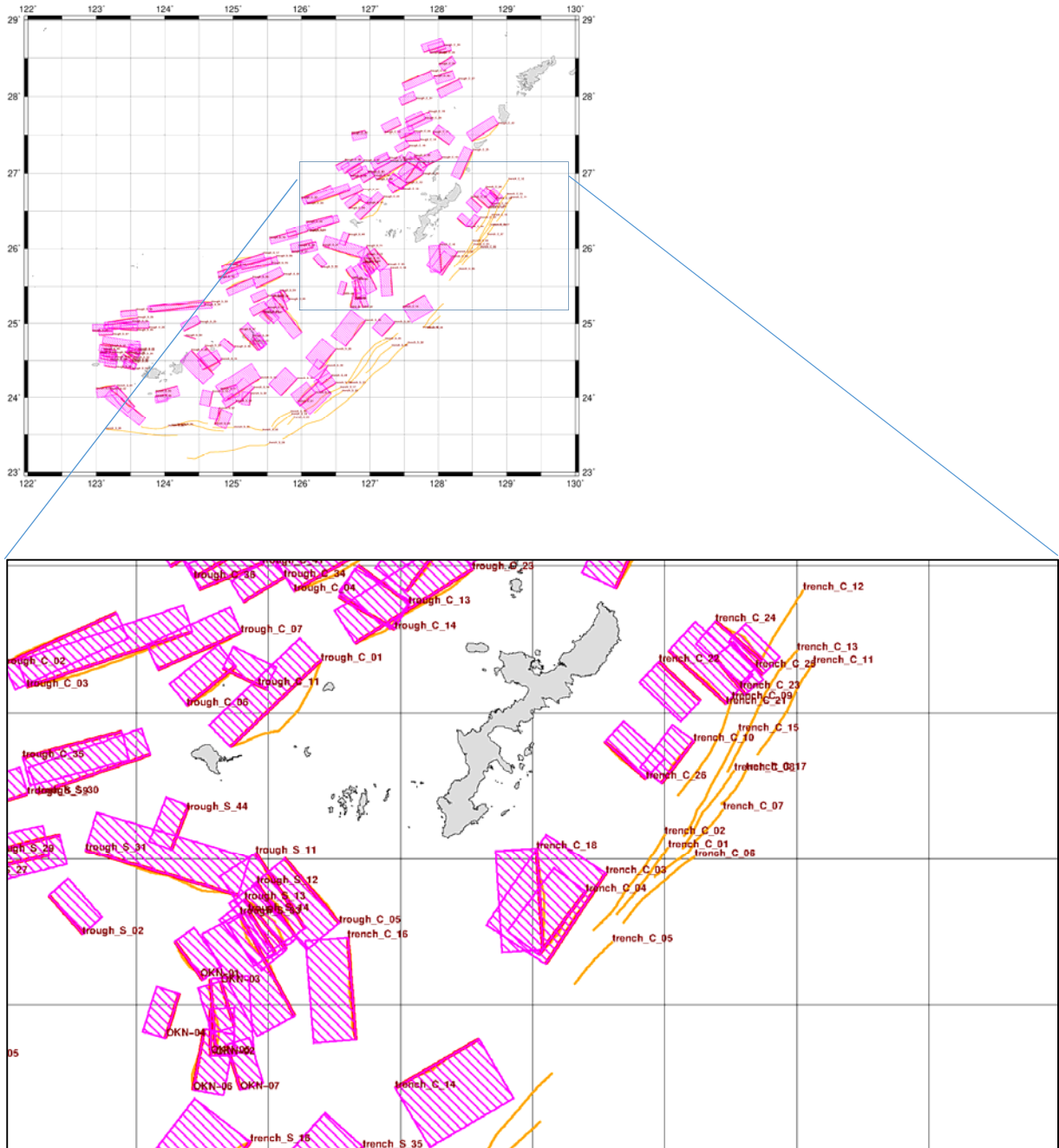


図 13-b 断層下端深度をモホ面とした場合の断層モデルの形状。サブテーマ(2)による断層データ(橙実線)に対し設定した断層モデル(矩形)。



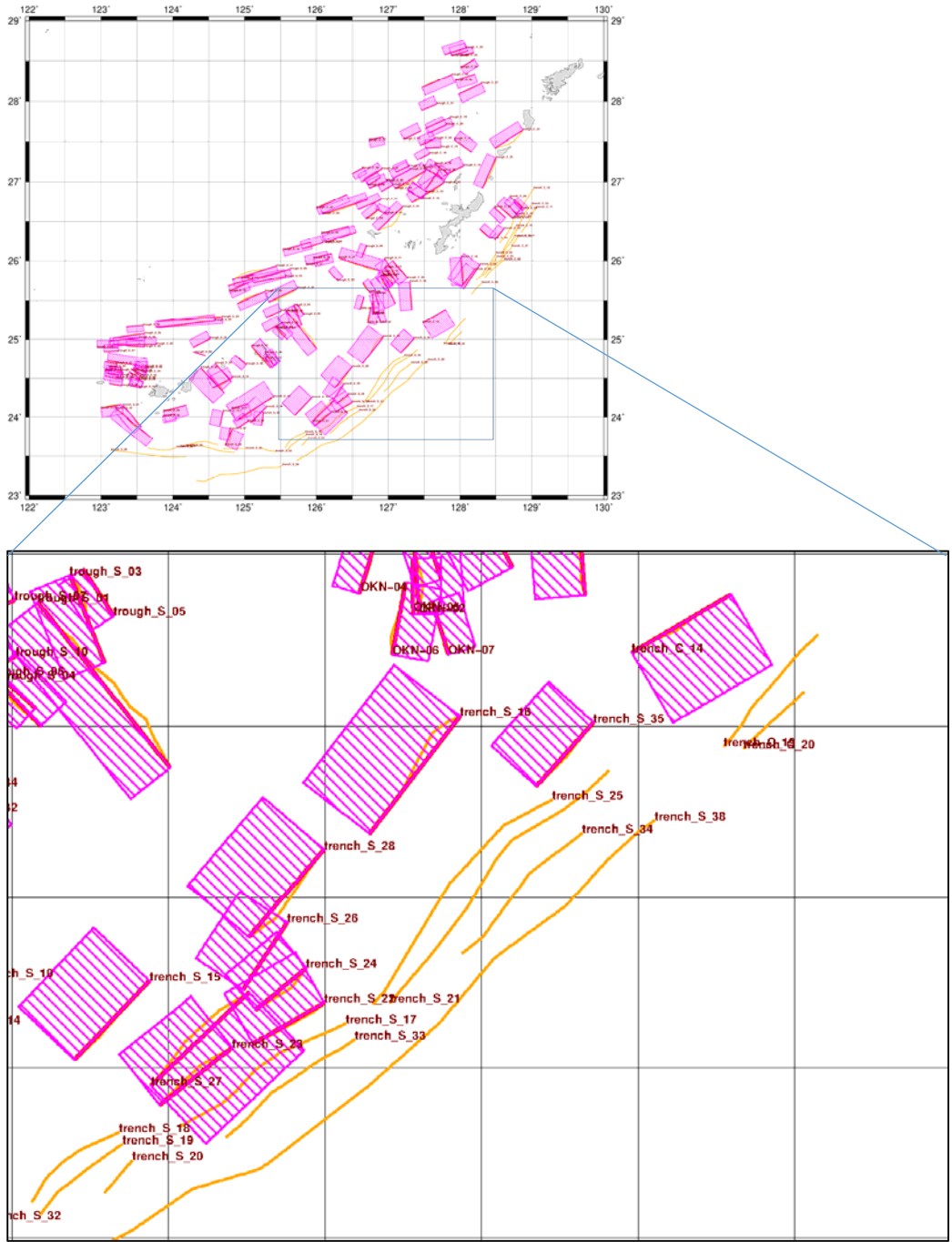


図 13-c 断層下端深度をモホ面とした場合の断層モデルの形状。サブテ  
ーマ(2)による断層データ(橙実線)に対し設定した断層モデル(矩形)。

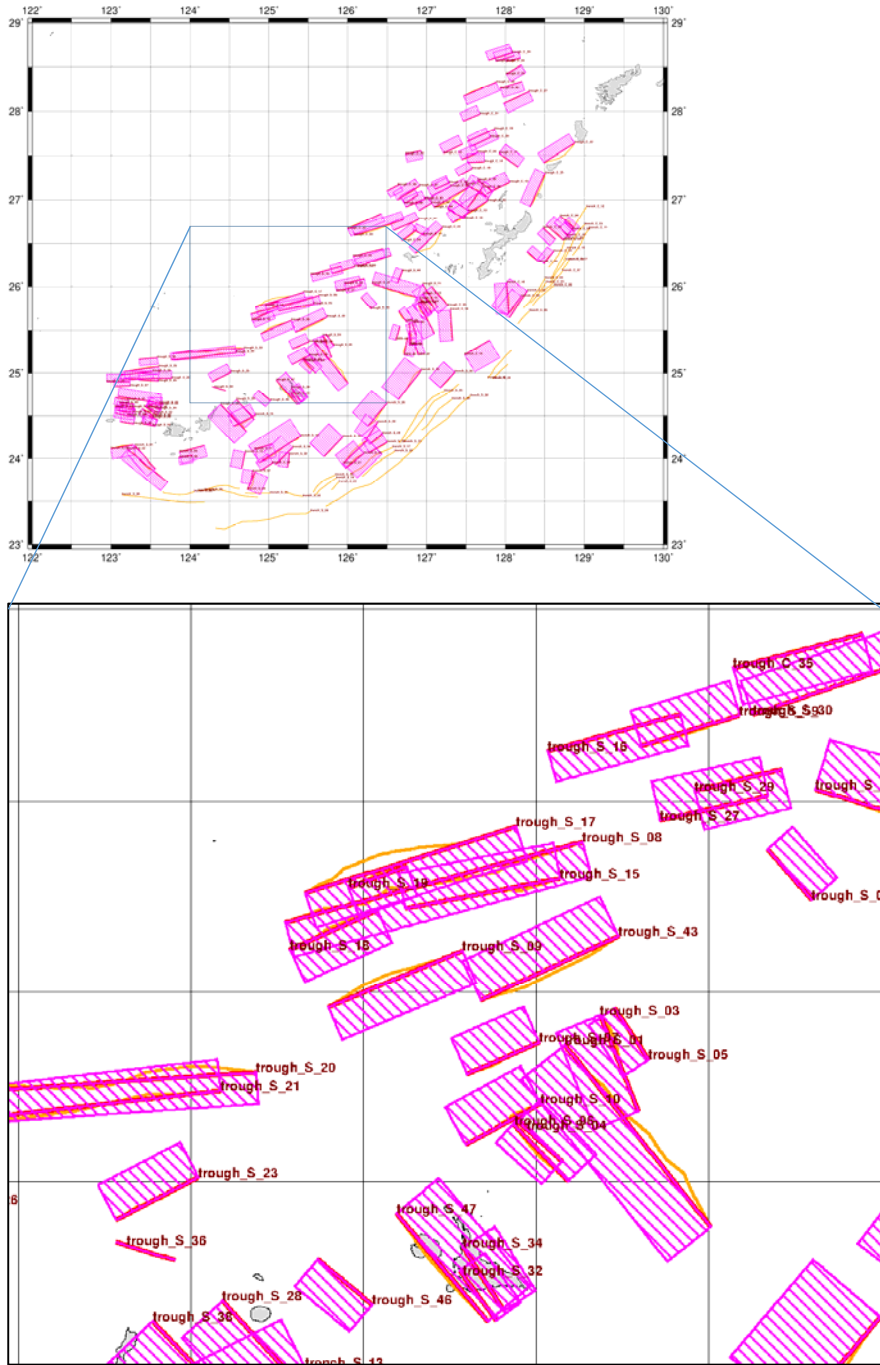


図 13-d 断層下端深度をモホ面とした場合の断層モデルの形状。サブテーマ(2)による断層データ(橙実線)に対し設定した断層モデル(矩形)。

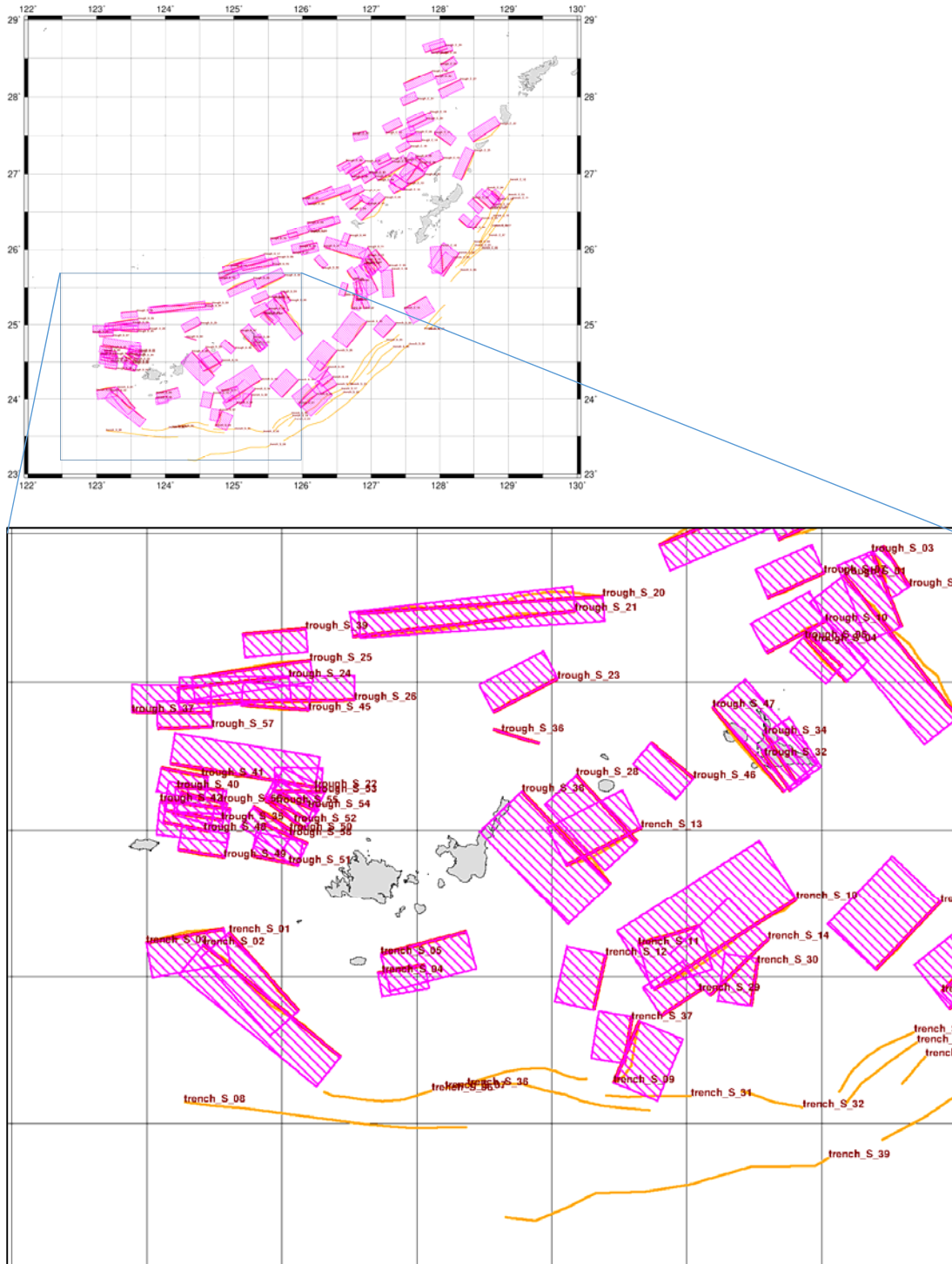


図 13-e 断層下端深度をモホ面とした場合の断層モデルの形状。サブテ  
ーマ(2)による断層データ(橙実線)に対し設定した断層モデル(矩形)。

表 6(1) 断層下端深度をモホ面とした場合のモデルパラメータ

モデル	緯度 (deg.)	経度 (deg.)	上端 (km)	下端 (モホ面, km)	走向 (deg.)	傾斜 (deg.)	すべり角 (deg.)	長さ(km)	幅(km)	Mo	Mw	平均すべり量(m)
NI-trough-C moho-01	26.6781	127.2001	0	20	227.2	60	270	47.24	23.09	6.60E+19	7.15	1.77
NI-trough-C moho-02	26.6646	126.0001	0	18	66.7	60	270	46.55	20.78	5.20E+19	7.08	1.57
NI-trough-C moho-03	26.7758	126.7125	0	18	252.7	60	270	65.76	20.78	1.00E+20	7.28	2.22
NI-trough-C moho-04	27.1392	127.5353	0	22	240.8	60	270	50.21	25.40	9.00E+19	7.24	2.07
NI-trough-C moho-05	26.0017	127.0628	0	28	140.7	60	270	32.02	32.02	5.90E+19	7.11	1.66
NI-trough-C moho-06	26.6586	126.8771	0	18	232.2	60	270	23.54	20.78	1.30E+19	6.68	0.79
NI-trough-C moho-07	26.7731	126.8981	0	18	247.0	60	270	34.33	20.78	2.80E+19	6.90	1.16
NI-trough-C moho-08	27.1866	127.2877	0	20	247.2	60	270	19.56	19.56	7.10E+18	6.50	0.54
NI-trough-C moho-09	27.1338	127.7072	0	25	217.4	60	270	30.61	28.87	4.30E+19	7.03	1.43
NI-trough-C moho-10	27.1951	128.0550	0	25	243.5	60	270	32.31	28.87	4.80E+19	7.06	1.51
NI-trough-C moho-11	26.5817	126.9921	0	19	296.6	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-C moho-12	27.6275	127.4555	0	21	244.5	60	270	26.33	24.25	2.30E+19	6.84	1.04
NI-trough-C moho-13	26.9999	127.3402	0	24	127.3	60	270	23.85	23.85	1.80E+19	6.77	0.92
NI-trough-C moho-14	26.7845	127.4781	0	23	300.8	60	270	24.25	24.25	1.90E+19	6.79	0.95
NI-trough-C moho-15	27.0187	127.7894	0	25	300.5	60	270	33.57	28.87	5.20E+19	7.08	1.57
NI-trough-C moho-16	27.4298	127.7353	0	24	267.4	60	270	21.39	21.39	1.20E+19	6.64	0.74
NI-trough-C moho-17	27.3704	128.1583	0	24	306.3	60	270	29.11	27.71	3.60E+19	6.97	1.31
NI-trough-C moho-18	27.3510	127.5766	0	24	242.1	60	270	19.23	19.23	6.80E+18	6.49	0.53
NI-trough-C moho-19	27.6579	127.5181	0	23	66.2	60	270	37.15	26.56	5.40E+19	7.09	1.60
NI-trough-C moho-20	27.7048	127.8115	0	23	245.0	60	270	26.09	26.09	2.60E+19	6.87	1.10
NI-trough-C moho-21	27.9665	127.6772	0	21	247.7	60	270	22.47	22.47	1.40E+19	6.70	0.82
NI-trough-C moho-22	27.6370	128.8776	0	24	238.0	60	270	45.57	27.71	8.90E+19	7.23	2.05
NI-trough-C moho-23	26.9867	127.7728	0	25	238.5	60	270	52.09	28.87	1.30E+20	7.33	2.44
NI-trough-C moho-24	27.1471	127.3058	0	21	243.7	60	270	26.84	24.25	2.40E+19	6.85	1.06
NI-trough-C moho-25	27.2977	128.5036	0	24	204.5	60	270	45.50	27.71	8.80E+19	7.23	2.04
NI-trough-C moho-26	28.1654	127.4693	0	20	67.1	60	270	44.30	23.09	5.80E+19	7.11	1.66
NI-trough-C moho-27	28.0831	127.9780	0	22	65.3	60	270	34.80	25.40	4.30E+19	7.03	1.43
NI-trough-C moho-28	27.2186	127.6478	0	25	127.2	60	270	23.94	23.94	1.80E+19	6.77	0.93
NI-trough-C moho-29	28.6592	128.0827	0	20	252.2	60	270	30.57	23.09	2.80E+19	6.90	1.14
NI-trough-C moho-30	28.5965	128.1918	0	20	257.3	60	270	18.24	18.24	5.80E+18	6.44	0.50
NI-trough-C moho-31	28.6208	128.1063	0	20	253.6	60	270	23.04	23.04	1.60E+19	6.73	0.86
NI-trough-C moho-32	28.2553	127.9357	0	21	72.5	60	270	28.05	24.25	2.60E+19	6.87	1.10
NI-trough-C moho-33	28.4190	128.0123	0	20	59.0	60	270	21.73	21.73	1.20E+19	6.66	0.77
NI-trough-C moho-34	26.9606	127.0614	0	19	239.8	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-C moho-35	26.3474	126.0714	0	19	76.5	60	270	38.65	21.94	4.00E+19	7.00	1.38
NI-trough-C moho-36	27.0495	126.8949	0	18	240.7	60	270	20.31	20.31	9.50E+18	6.58	0.67
NI-trough-C moho-37	27.1523	126.9108	0	18	239.2	60	270	32.66	20.78	2.60E+19	6.87	1.10
NI-trough-C moho-38	27.5334	127.6497	0	23	246.8	60	270	21.78	21.78	1.30E+19	6.67	0.77
NI-trough-C moho-39	27.0948	126.4986	0	18	63.3	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-C moho-40	27.5141	126.7323	0	18	78.7	60	270	20.11	20.11	9.10E+18	6.57	0.66
NI-trough-C moho-41	27.0079	126.9781	0	18	248.4	60	270	25.73	20.78	1.60E+19	6.73	0.87
NI-trough-S moho-01	25.3596	125.5835	0	28	142.7	60	270	68.22	32.33	3.40E+20	7.62	4.49
NI-trough-S moho-02	25.7428	126.2990	0	20	319.8	60	270	19.46	19.46	7.00E+18	6.50	0.54
NI-trough-S moho-03	25.4374	125.6859	0	24	159.7	60	270	30.21	27.71	3.90E+19	6.99	1.36
NI-trough-S moho-04	25.1617	125.4437	0	27	133.6	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S moho-05	25.4559	125.7279	0	25	148.0	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S moho-06	25.0007	125.5928	0	27	317.6	60	270	22.65	22.65	1.50E+19	6.71	0.83
NI-trough-S moho-07	25.3657	125.5094	0	20	247.9	60	270	22.98	22.98	1.60E+19	6.73	0.86
NI-trough-S moho-08	25.6834	124.7739	0	18	76.5	60	270	89.47	20.78	2.90E+20	7.57	4.49
NI-trough-S moho-09	25.4594	124.8988	0	18	68.7	60	270	42.44	20.78	4.30E+19	7.02	1.43
NI-trough-S moho-10	25.2043	125.5140	0	25	242.9	60	270	24.98	24.98	2.20E+19	6.82	1.01
NI-trough-S moho-11	26.0204	126.9529	0	28	147.7	60	270	34.23	32.33	6.80E+19	7.16	1.79
NI-trough-S moho-12	25.9160	126.9567	0	28	144.6	60	270	25.79	25.79	2.50E+19	6.86	1.08
NI-trough-S moho-13	25.8621	126.9111	0	28	141.1	60	270	24.90	24.90	2.10E+19	6.82	1.01
NI-trough-S moho-14	25.8220	126.9250	0	28	148.4	60	270	18.76	18.76	6.30E+18	6.46	0.52
NI-trough-S moho-15	25.7990	125.5697	0	18	260.5	60	270	45.87	20.78	5.10E+19	7.07	1.55
NI-trough-S moho-16	26.1318	125.5346	0	16	76.1	60	270	39.69	18.48	3.00E+19	6.92	1.19
NI-trough-S moho-17	25.7600	124.8320	0	18	74.2	60	270	64.21	20.78	9.90E+19	7.26	2.16
NI-trough-S moho-18	25.6117	124.7883	0	18	67.4	60	270	27.88	20.78	1.90E+19	6.78	0.94
NI-trough-S moho-19	25.7750	124.9572	0	18	72.1	60	270	18.06	18.06	5.60E+18	6.43	0.50
NI-trough-S moho-20	25.2299	123.7846	0	16	88.1	60	270	91.59	18.48	2.60E+20	7.54	4.49
NI-trough-S moho-21	25.2384	124.5864	0	16	265.5	60	270	83.74	18.48	1.30E+20	7.35	2.51
NI-trough-S moho-22	24.6441	123.6231	0	20	281.7	60	270	55.18	23.09	9.00E+19	7.24	2.07
NI-trough-S moho-23	25.0107	124.5221	0	20	244.4	60	270	27.14	23.09	2.20E+19	6.83	1.02
NI-trough-S moho-24	24.9775	123.1126	0	14	86.6	60	270	42.09	16.17	2.60E+19	6.87	1.10
NI-trough-S moho-25	25.0131	123.1664	0	14	84.1	60	270	44.85	16.17	2.90E+19	6.91	1.18
NI-trough-S moho-26	24.9380	123.7695	0	16	271.8	60	270	65.70	18.48	8.20E+19	7.21	1.97
NI-trough-S moho-27	26.0140	126.1719	0	20	258.6	60	270	32.09	23.09	3.10E+19	6.92	1.20
NI-trough-S moho-28	24.6838	124.5920	0	28	139.3	60	270	33.69	32.33	6.60E+19	7.15	1.77
NI-trough-S moho-29	26.0268	125.9596	0	20	77.2	60	270	25.86	23.09	2.00E+19	6.80	0.97
NI-trough-S moho-30	26.3581	126.5541	0	18	252.1	60	270	45.08	20.78	4.90E+19	7.06	1.52
NI-trough-S moho-31	25.8748	126.8869	0	26	287.7	60	270	60.45	30.02	2.80E+20	7.56	4.49
NI-trough-S moho-32	24.6324	125.3845	0	28	325.3	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S moho-33	25.8120	126.8919	0	28	152.6	60	270	44.12	32.33	1.10E+20	7.30	2.31
NI-trough-S moho-34	24.6579	125.4070	0	28	328.8	60	270	22.11	22.11	1.30E+19	6.68	0.79
NI-trough-S moho-35	24.5330	123.2774	0	21	282.0	60	270	22.01	22.01	1.30E+19	6.68	0.79
NI-trough-S moho-36	24.8387	124.2846	0	26	108.8	90	0	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S moho-37	24.8950	123.2370	0	18	273.0	60	270	29.64	20.78	2.10E+19	6.82	1.00
NI-trough-S moho-38	24.6298	124.3896	0	38	138.2	60	270	48.29	43.88	3.30E+20	7.61	4.49
NI-trough-S moho-39	25.1600	123.3557	0	15	87.4	60	270	23.67	17.32	9.30E+18	6.58	0.66
NI-trough-S moho-40	24.6428	123.1057	0	20	95.3	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50

表 6(2) 断層下端深度をモホ面とした場合のモデルパラメータ

モデル	緯度 (deg.)	経度 (deg.)	上端 (km)	下端(モホ面, km)	走向 (deg.)	傾斜 (deg.)	すべり角 (deg.)	長さ(km)	幅(km)	Mo	Mw	平均すべり量(m)
NI-trough-S moho-41	24.7096	123.0541	0	20	103.6	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S moho-42	24.5970	123.0491	0	22	98.7	60	270	26.70	25.40	2.60E+19	6.87	1.10
NI-trough-S moho-43	25.6470	125.7384	0	22	246.4	60	270	44.16	25.40	7.00E+19	7.16	1.82
NI-trough-S moho-44	26.1832	126.6989	0	19	202.5	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S moho-45	24.9048	123.5998	0	15	276.5	60	270	25.30	17.32	1.10E+19	6.62	0.71
NI-trough-S moho-46	24.7942	124.8680	0	28	131.6	60	270	20.78	20.78	1.00E+19	6.61	0.70
NI-trough-S moho-47	24.6290	125.3611	0	28	321.3	60	270	41.45	32.33	1.00E+20	7.27	2.17
NI-trough-S moho-48	24.4947	123.2339	0	22	283.7	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S moho-49	24.4065	123.2906	0	22	281.6	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S moho-50	24.5787	123.3954	0	20	124.6	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S moho-51	24.3807	123.5614	0	22	283.7	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S moho-52	24.5027	123.5847	0	20	308.6	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S moho-53	24.6276	123.6488	0	20	273.2	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S moho-54	24.5640	123.6265	0	20	298.4	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S moho-55	24.5349	123.5957	0	20	300.1	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S moho-56	24.6272	123.1271	0	20	106.6	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S moho-57	24.8475	123.2406	0	18	270.8	60	270	20.38	20.38	9.60E+18	6.59	0.67
NI-trough-S moho-58	24.5198	123.4330	0	20	116.6	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trough-S moho-59	26.2244	126.0896	0	18	254.2	60	270	29.69	20.78	2.10E+19	6.82	1.00
NI-OKN moho-03	25.5803	126.8199	0	28	164.1	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-OKN moho-02	25.3296	126.8023	0	28	356.8	60	270	28.88	28.88	3.90E+19	6.99	1.35
NI-OKN moho-05	25.3262	126.7827	0	28	0.5	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-OKN moho-04	25.5395	126.6634	0	28	198.1	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-OKN moho-07	25.2078	126.8954	0	28	344.0	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-OKN moho-01	25.5852	126.7528	0	28	324.9	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-OKN moho-06	25.2087	126.7161	0	28	11.4	60	270	23.53	23.53	1.70E+19	6.75	0.90
NI-trench-C moho-03	25.9506	128.2776	0	27	213.8	45	90	41.30	38.18	1.40E+20	7.36	2.56
NI-trench-C moho-04	25.8885	128.2018	0	27	216.9	60	270	29.90	29.90	4.40E+19	7.03	1.45
NI-trench-C moho-10	26.4044	128.6104	0	26	217.4	60	270	20.03	20.03	9.00E+18	6.57	0.65
NI-trench-C moho-14	25.2140	127.4811	0	28	60.3	45	90	36.99	36.99	1.00E+20	7.28	2.22
NI-trench-C moho-16	25.7305	127.3012	0	28	176.2	60	270	38.84	32.33	8.80E+19	7.23	2.04
NI-trench-C moho-18	26.0368	128.0158	0	27	176.9	60	270	38.53	31.18	8.00E+19	7.20	1.95
NI-trench-C moho-21	26.5318	128.7335	0	26	312.8	60	270	29.36	29.36	4.10E+19	7.01	1.40
NI-trench-C moho-22	26.6741	128.4791	0	26	133.7	60	270	21.45	21.45	1.20E+19	6.65	0.75
NI-trench-C moho-23	26.5628	128.8043	0	26	321.2	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trench-C moho-24	26.8113	128.6933	0	26	130.9	60	270	22.70	22.70	1.50E+19	6.71	0.84
NI-trench-C moho-25	26.6308	128.8732	0	26	314.3	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trench-C moho-26	26.2755	128.4292	0	26	312.6	60	270	20.79	20.79	1.00E+19	6.61	0.70
NI-trench-S moho-01	24.1494	123.3052	0	25	140.7	60	270	39.60	28.87	7.30E+19	7.17	1.85
NI-trench-S moho-02	24.1072	123.2101	0	25	131.5	60	270	66.93	28.87	3.00E+20	7.58	4.49
NI-trench-S moho-03	24.1139	122.9980	0	23	82.2	60	270	29.88	26.56	3.50E+19	6.96	1.29
NI-trench-S moho-04	24.0109	123.8564	0	25	81.9	60	270	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trench-S moho-05	24.0755	123.8662	0	25	77.4	60	270	33.51	28.87	5.20E+19	7.08	1.57
NI-trench-S moho-09	23.6385	124.7304	0	26	24.3	45	90	25.24	25.24	2.30E+19	6.84	1.03
NI-trench-S moho-10	24.2646	125.4067	0	26	239.1	45	90	63.62	36.77	3.60E+20	7.64	4.49
NI-trench-S moho-11	24.1069	124.8201	0	26	74.3	45	90	24.28	24.28	1.90E+19	6.79	0.96
NI-trench-S moho-12	24.0731	124.7009	0	26	194.3	45	90	21.32	21.32	1.10E+19	6.64	0.74
NI-trench-S moho-13	24.5068	124.8311	0	28	245.2	60	270	31.49	31.49	5.50E+19	7.09	1.61
NI-trench-S moho-14	24.1270	125.3023	0	26	227.5	45	90	30.62	30.62	4.90E+19	7.06	1.52
NI-trench-S moho-15	24.2544	125.9404	0	26	224.9	45	90	35.35	35.35	8.70E+19	7.23	2.03
NI-trench-S moho-16	25.0292	126.9326	0	27	218.4	45	90	47.86	38.18	2.80E+20	7.57	4.49
NI-trench-S moho-22	24.1899	126.4989	0	27	241.3	45	90	26.66	26.66	2.80E+19	6.90	1.15
NI-trench-S moho-23	24.0590	126.2034	0	27	232.7	45	90	29.92	29.92	4.50E+19	7.03	1.45
NI-trench-S moho-24	24.2925	126.4411	0	26	231.3	45	90	21.34	21.34	1.20E+19	6.64	0.74
NI-trench-S moho-26	24.4254	126.3799	0	26	214.4	45	90	25.97	25.97	2.50E+19	6.87	1.09
NI-trench-S moho-27	23.9467	125.9451	0	26	47.5	45	90	44.05	36.77	1.50E+20	7.38	2.63
NI-trench-S moho-28	24.6406	126.4978	0	26	221.5	45	90	37.54	36.77	1.10E+20	7.28	2.24
NI-trench-S moho-29	23.9560	125.0539	0	26	238.2	45	90	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trench-S moho-30	24.0610	125.2645	0	26	189.8	45	90	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50
NI-trench-S moho-35	25.0108	127.3592	0	28	222.7	45	90	27.64	27.64	3.20E+19	6.94	1.24
NI-trench-S moho-37	23.8635	124.7980	0	26	191.1	45	90	18.00	18.00	5.50E+18	6.43	0.50

## ii) 断層パラメータの不確定性の影響度評価

### ・断層下端深度の検討

沖縄県が実施した津波浸水被害想定において、想定地震に対して設定された断層下端深度を以下の図 14 及び表 7 に示す。沖縄県の被害想定においては、背弧域でおおむね 22 km、石垣島南方沖で 20 km、石垣島東方沖で 28.5 km として設定されている。

一方、本検討においては、サブテーマ(2)で設定された 3 次元速度構造データより地震発生層の下端を設定する。平成 27 年度に実施した日本海海域においては断層下端深度をコンラッド面として設定した。本検討においても、コンラッド面を基本として設定するが、図 11a)のコンラッド面深度分布においては断層下端が 12 km~18 km と浅くなっている。南西諸島海域の断層には、長さが比較的長いものも含まれていることから、断層長さに対して幅が極端に狭い断層モデルになることが予想される。そのため、もうひとつの設定方法として断層下端深度をモホ面とする場合についてもパラメータの設定として考慮した。断層の破壊は必ずしもコンラッド面で止まるものとは限らず、Zhao et al. (1994)などの研究例においては、地震発生層の下限はモホ面付近にあるとするものもある。よって、このような、地殻全体を破壊するような設定も加えることとし、これらを認識論的不確定性とした。認識論的不確定性については、複数パターンを設定を実施し、その影響度を感度解析することとしていることから、断層下端深度をコンラッド面とする場合とモホ面とする場合についてパラメータスタディを実施した。

パラメータスタディには南西諸島海域に設定した断層モデルから、背弧域及び島弧域の 4 つの断層について津波予測計算を実施した。津波予測計算の計算条件は表 8 とし、最小格子サイズが 150 m の概略計算である。次の項目で述べるスケーリング則についてのパラメータスタディにおいても同様の概略計算を実施している。

パラメータスタディに用いた断層の位置を以下の表 9~表 12 及び図 15 に示す。これらの断層は次の項目で述べるスケーリング則のパラメータスタディでも同様に用いている。この 4 つの断層の選定理由は、島嶼に比較的近い断層の中で規模が大きめであり、 $M_w$  6.8~7.2(下端をコンラッド面とした場合)と近い規模のレンジにあることである。

これらの断層モデルを使用した津波予測計算の計算結果を図 16~図 19 に示す。各断層モデルから計算された最大水位上昇量(m)を±7 m の範囲で、カラースケールで示した。

これらの検討の結果、1 m を超えるような津波が予測される範囲は、断層の近傍に位置する島嶼部であり、限定的な範囲であると言える。また、今回の検討例においては、断層下端深度をコンラッド面にする場合とモホ面にする場合では断層面積は 1.5~2.0 倍程度大きくなり、モーメント量  $M_0$  では 2.3~2.5 倍程度大きくなる。その結果、沿岸の水位上昇量は 1.6~2.5 倍程度大きくなることはいえる。計算結果の概要及び比較を表 13 及び図 20 に示す。

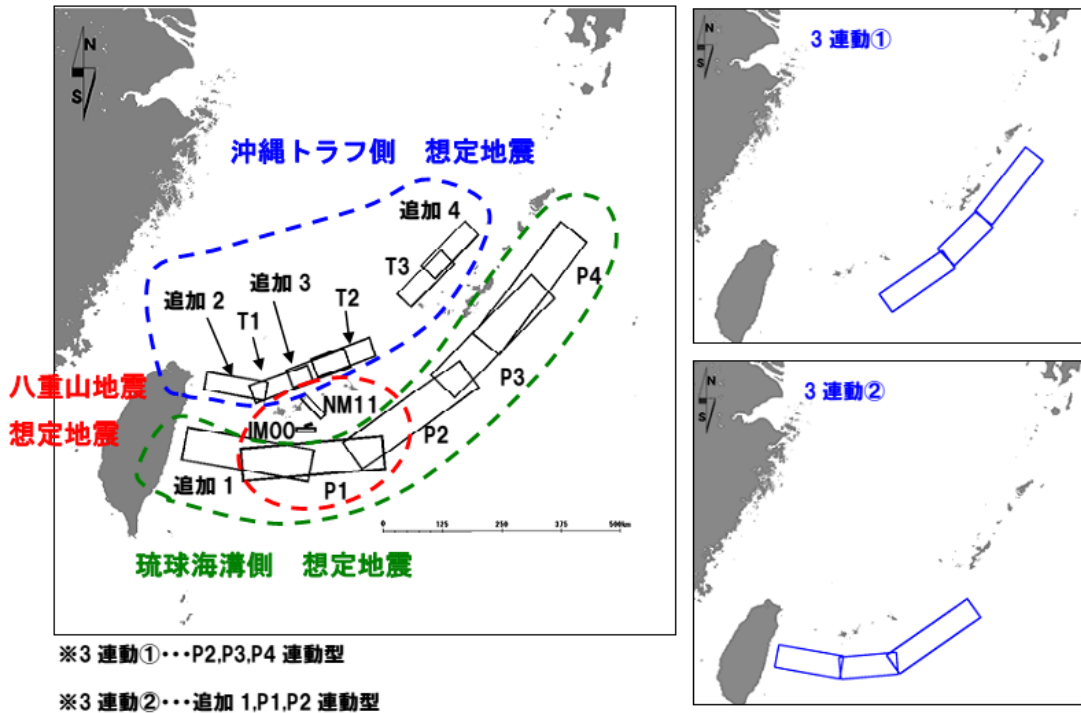


図 14 沖縄県の津波浸水被害想定で設定された想定地震(図 7 の再掲載)

表 7 沖縄県の津波浸水被害想定で設定された想定地震のモデルパラメータ  
(沖縄県土木建築部海岸防災課, 2015)

表 3.1 H24 年度想定にて設定した断層パラメータ

No	想定地震	名称	緯度	経度	深さ(m)	走向角(°)	傾斜角(°)	すべり角(°)	断層長さ(m)	断層幅(m)	すべり量(m)	Mw(※1)		
①	追加1	八重山諸島南西沖地震	23.000	124.400	2000	280	12	90	270000	70000	20	8.7		
②	P1	八重山諸島南方沖地震	23.235	125.987	2000	265	12	90	300000	70000	20	8.8		
③	P2	八重山諸島南東沖地震	24.746	127.956	2000	235	12	90	300000	70000	20	8.8		
④	P3	沖縄本島南東沖地震	26.406	129.620	2000	225	12	90	300000	70000	20	8.8		
⑤	P4	沖縄本島東方沖地震	27.424	130.346	2000	218	12	90	300000	70000	20	8.8		
⑥	IM00	石垣島南方沖地震(※2)	23.966	124.553	1000	270	70	90	40000	20000	20	7.8		
			24.088	124.486	0	260	70	90	15000	10000	90	(※3)		
⑦	NM11	石垣島東方沖地震(※2)	24.672	124.345	300	135	70	270	60000	30000	20	8.0		
⑧	追加2	与那国島北方沖地震	24.550	123.500	2000	280	30	270	130000	40000	8	8.1		
⑨	T1	石垣島北方沖地震	24.899	124.521	2000	250	30	270	130000	40000	8	8.1		
⑩	追加3	多良間島北方沖地震	25.200	125.300	2000	250	30	270	130000	40000	8	8.1		
⑪	T2	宮古島北方沖地震	25.399	125.821	2000	250	30	270	130000	40000	8	8.1		
⑫	T3	久米島北方沖地震	27.126	127.519	2000	225	30	270	130000	40000	8	8.1		
⑬	追加4	沖縄本島北西沖地震	27.650	128.050	2000	225	30	270	130000	40000	8	8.1		
⑭	3連動①	3連動	沖縄本島南東沖地震	P2	24.450	127.470	2000	235	12	90	240000	70000	20	9.0
				P3	25.575	128.680	2000	225	12	90	170000	70000	20	
				P4	27.424	130.346	2000	218	12	90	260000	70000	20	
⑮	3連動②	3連動	八重山諸島南方沖地震	追加1	23.110	123.727	2000	280	12	90	200000	70000	20	9.0
				P1	23.230	125.470	2000	265	12	90	175000	70000	20	
				P2	24.746	127.956	2000	235	12	90	300000	70000	20	

表 8 津波予測計算の計算条件

計算条件	
支配方程式	非線形長波理論
数値解法	Staggered Leap-frog 差分スキーム
計算時間	12 時間
境界条件	陸側：陸域への遡上計算 海側：完全無反射で透過
計算格子サイズ	1,350 m, 450 m, 150 m (概略計算)
地形データ	南西諸島海域の地形(後述、(2)-①-a), b))
建物条件	各種施設は考慮しない
潮位	T.P. = 0 m
粗度係数	0.025

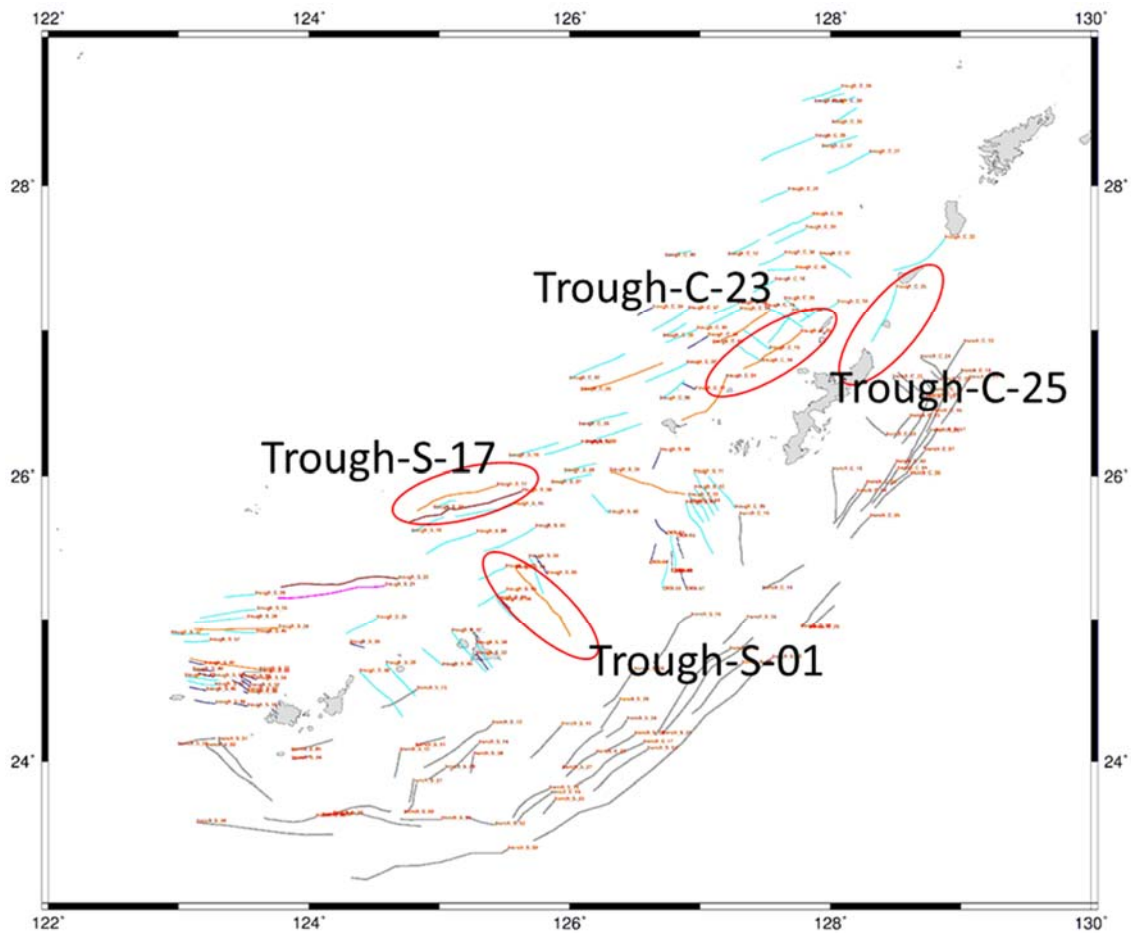


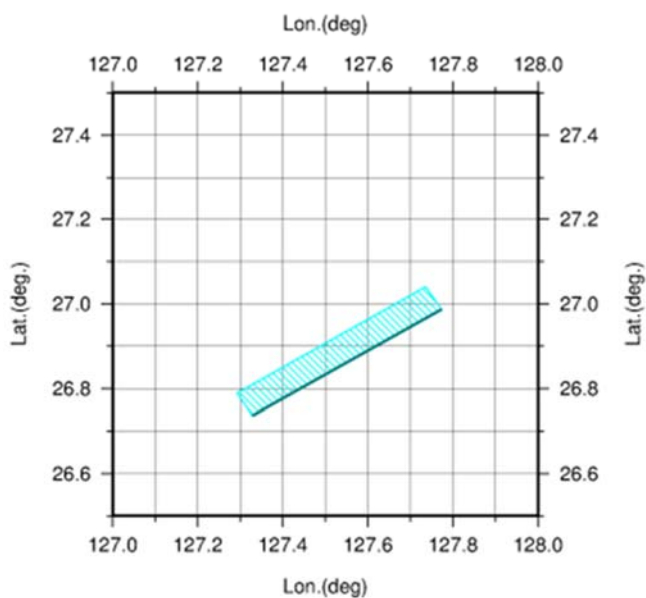
図 15 パラメータスタディに使用した断層の位置。



表 9 Trough-C-23 : 沖縄本島西側に近接した背弧域の島弧に平行した断層

Model: NI-tr-C23-con      C23\_con:断層下端深度をコンラッド面とした場合

Lat.	Lon.	Top(km)	Bottom(km)	Strike	Dip	Rake	L. (km)	W. (km)	D. (m)	Mw
26.9867	127.7728	0.00	12.00	238.50	60.00	270	52.09	13.86	1.17	6.91



Model: NI-tr-C23-moho      C23\_moho:断層下端深度をモホ面とした場合

Lat.	Lon.	Top(km)	Bottom(km)	Strike	Dip	Rake	L. (km)	W. (km)	D. (m)	Mw
26.9867	127.7728	0.00	25.00	238.50	60.00	270	52.09	28.87	2.44	7.33

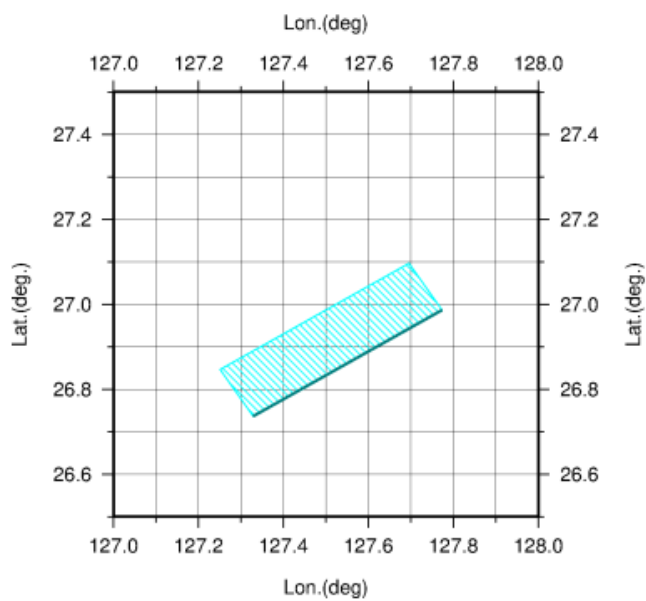
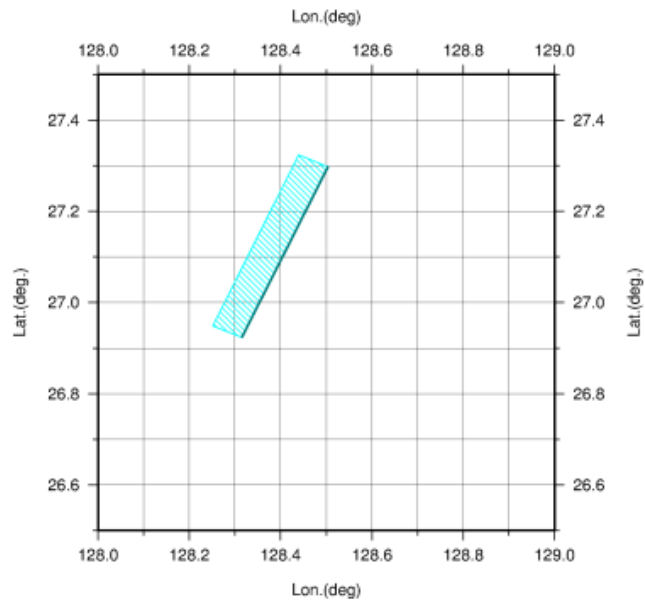


表 10 Trough-C-25 : 沖縄本島北東側に位置する島弧域の、島弧に平行した断層

Model: NI-tr-C25-con C25\_con:断層下端深度をコンラッド面とした場合

Lat.	Lon.	Top(km)	Bottom(km)	Strike	Dip	Rake	L. (km)	W. (km)	D. (m)	Mw
27.2977	128.5036	0.00	12.00	204.50	60.00	270	45.50	13.86	1.02	6.83



Model: NI-tr-C25-moho C25\_moho:断層下端深度をモホ面とした場合

Lat.	Lon.	Top(km)	Bottom(km)	Strike	Dip	Rake	L. (km)	W. (km)	D. (m)	Mw
27.2977	128.5036	0.00	24.00	204.50	60.00	270	45.50	27.71	2.04	7.23

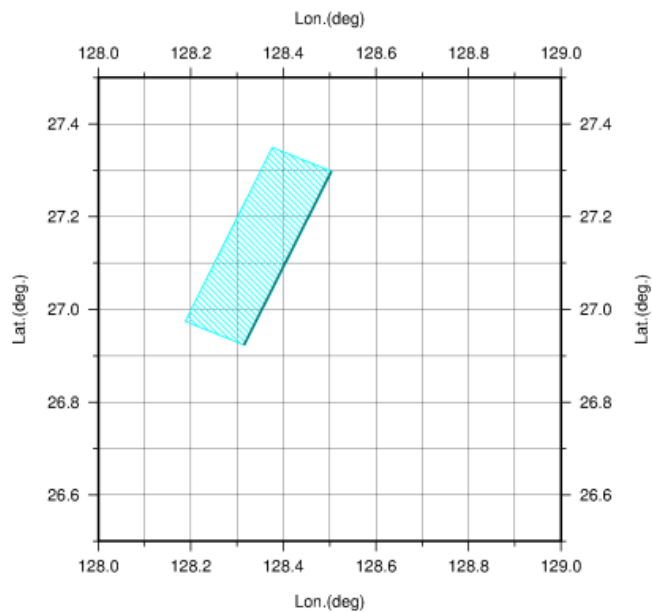
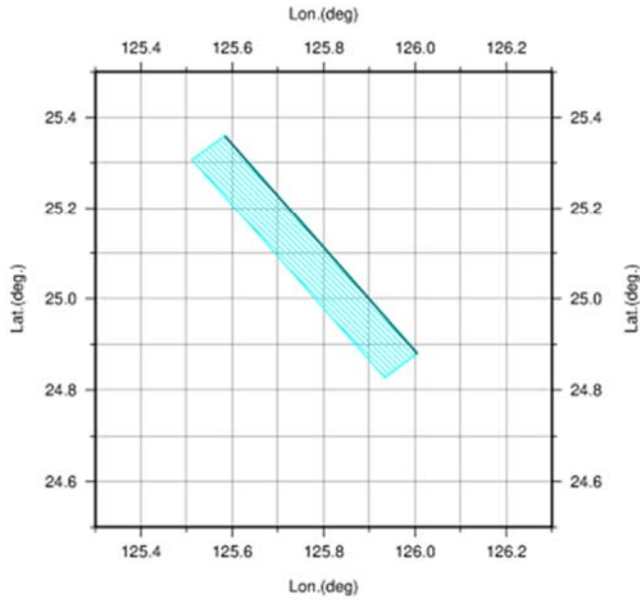


表 11 Trough-S-01 : 宮古島北東側に近接した島弧域の、島弧を横断する断層

Model: NI-tr-S01-con S01\_con:断層下端深度をコンラッド面とした場合

Lat.	Lon.	Top(km)	Bottom(km)	Strike	Dip	Rake	L. (km)	W. (km)	D. (m)	Mw
25.3596	125.5835	0.00	16.00	142.70	60.00	270	68.22	18.48	2.04	7.23



Model: NI-tr-S01-moho S01\_moho:断層下端深度をモホ面とした場合

Lat.	Lon.	Top(km)	Bottom(km)	Strike	Dip	Rake	L. (km)	W. (km)	D. (m)	Mw
25.3596	125.5835	0.00	28.00	142.70	60.00	270	68.22	32.33	3.58	7.55

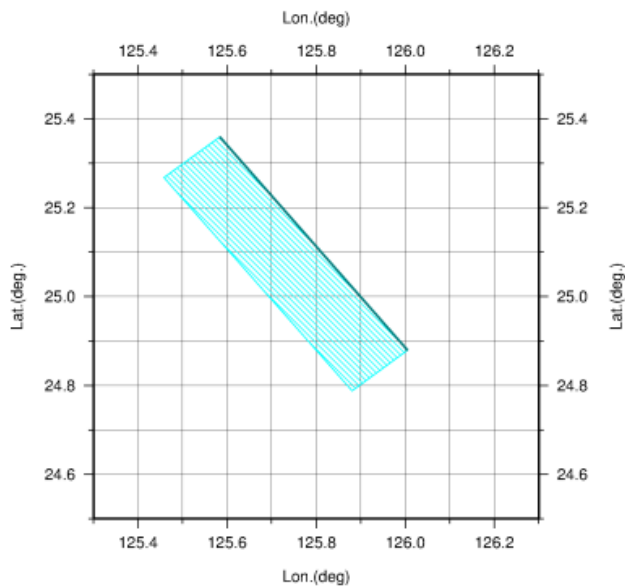
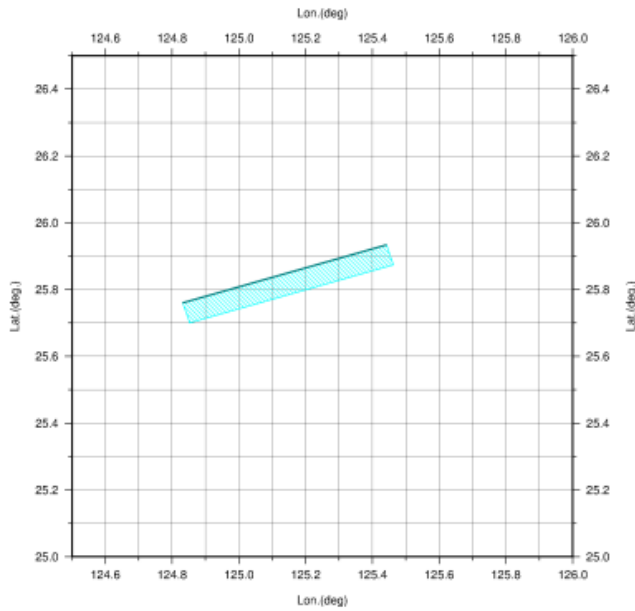


表 12 Trough-S-17 : 宮古島北方沖の背弧域の、島弧に平行した断層

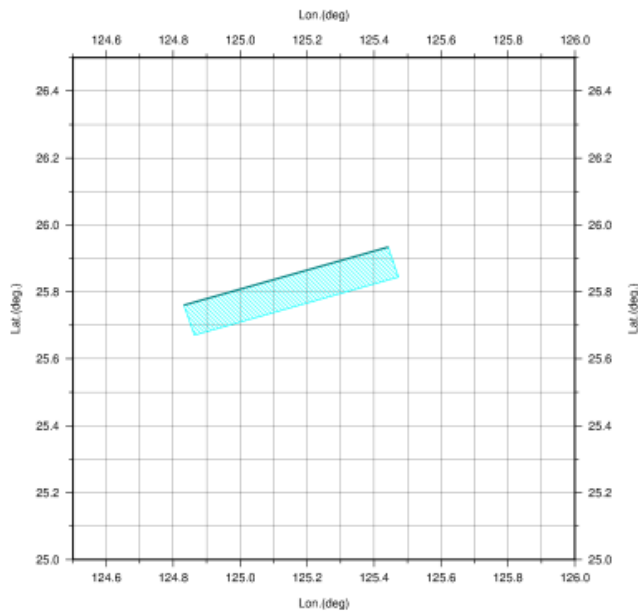
Model: NI-tr-S17-con S17\_con:断層下端深度をコンラッド面とした場合

Lat.	Lon.	Top(km)	Bottom(km)	Strike	Dip	Rake	L. (km)	W. (km)	D. (m)	Mw
25.7600	124.8320	0.00	12.00	74.20	60.00	270	64.21	13.86	1.44	7.03



Model: NI-tr-S17-moho S17\_moho:断層下端深度をモホ面とした場合

Lat.	Lon.	Top(km)	Bottom(km)	Strike	Dip	Rake	L. (km)	W. (km)	D. (m)	Mw
25.7600	124.8320	0.00	18.00	74.20	60.00	270	64.21	20.78	2.16	7.26



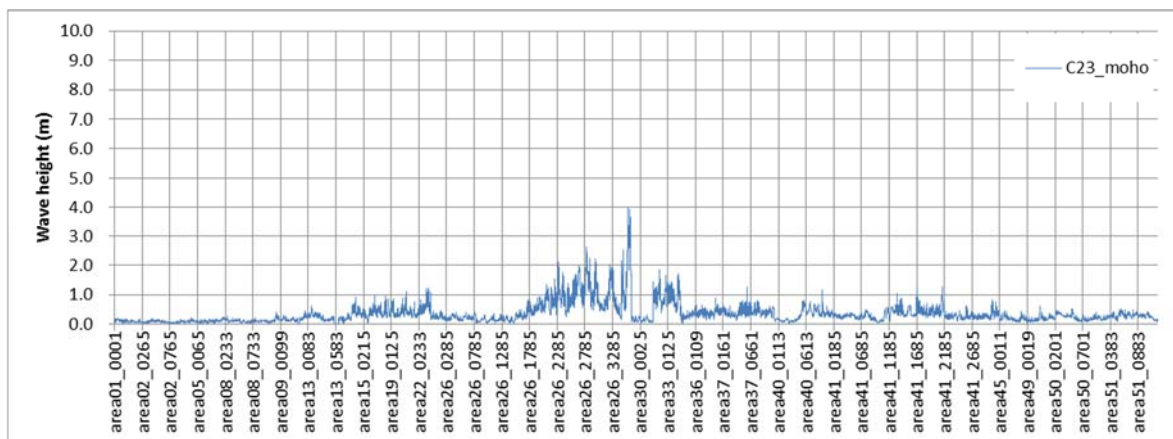
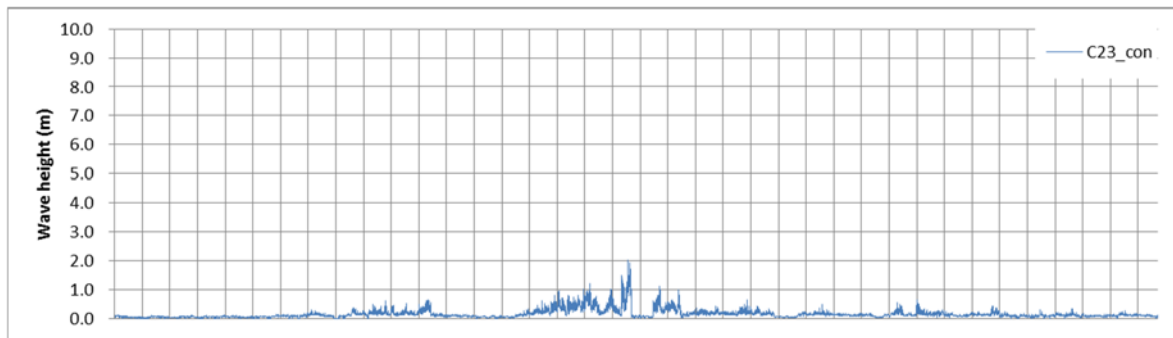
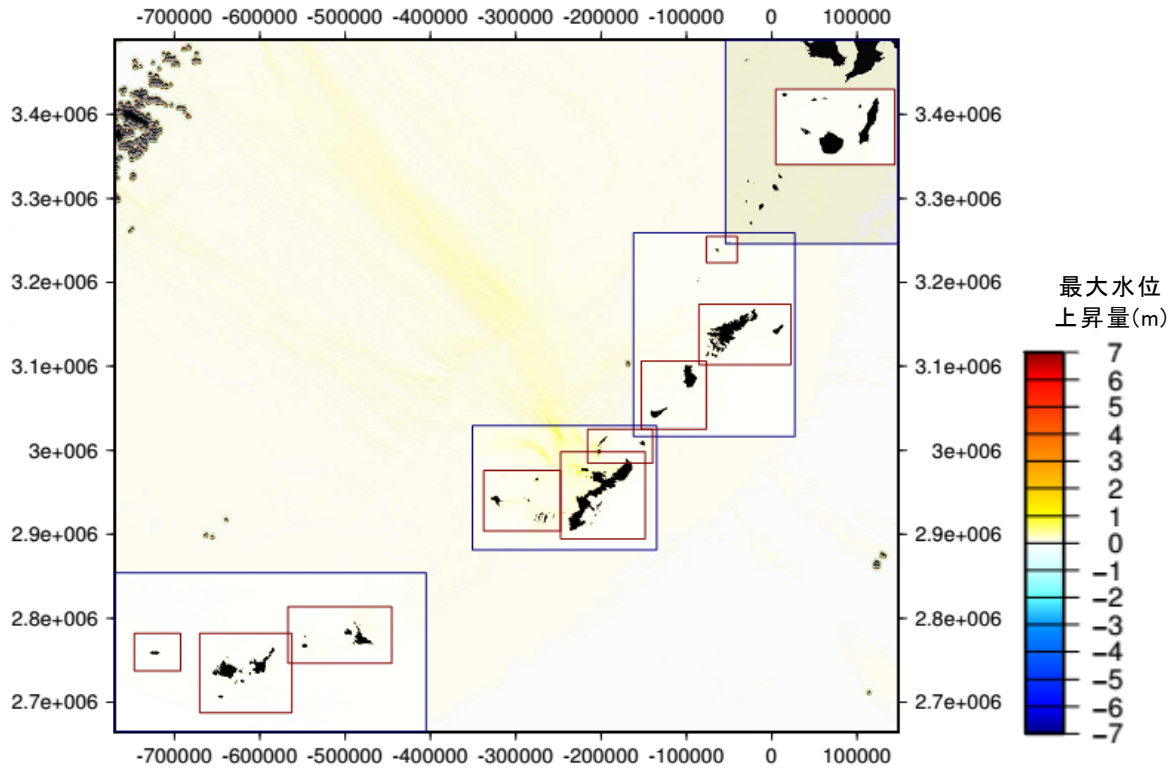


図 16 C-23 の断層モデルを使用した最大水位上昇量の包絡線。

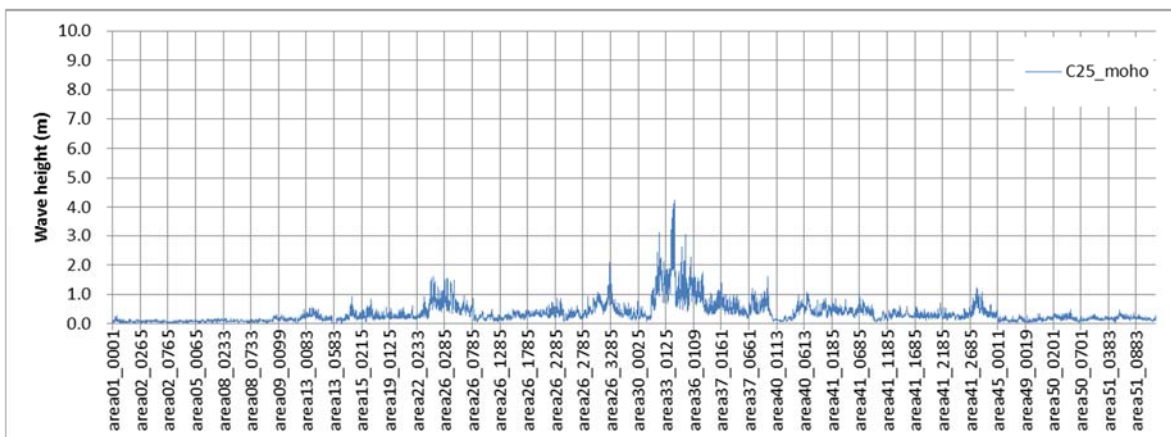
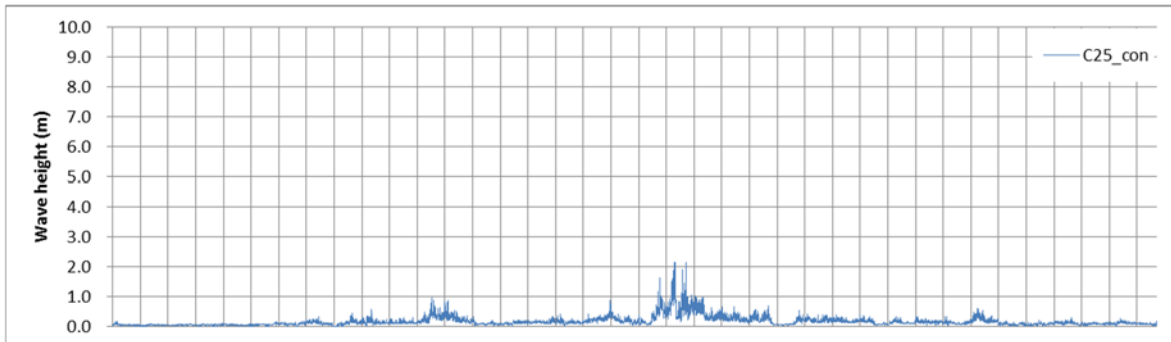
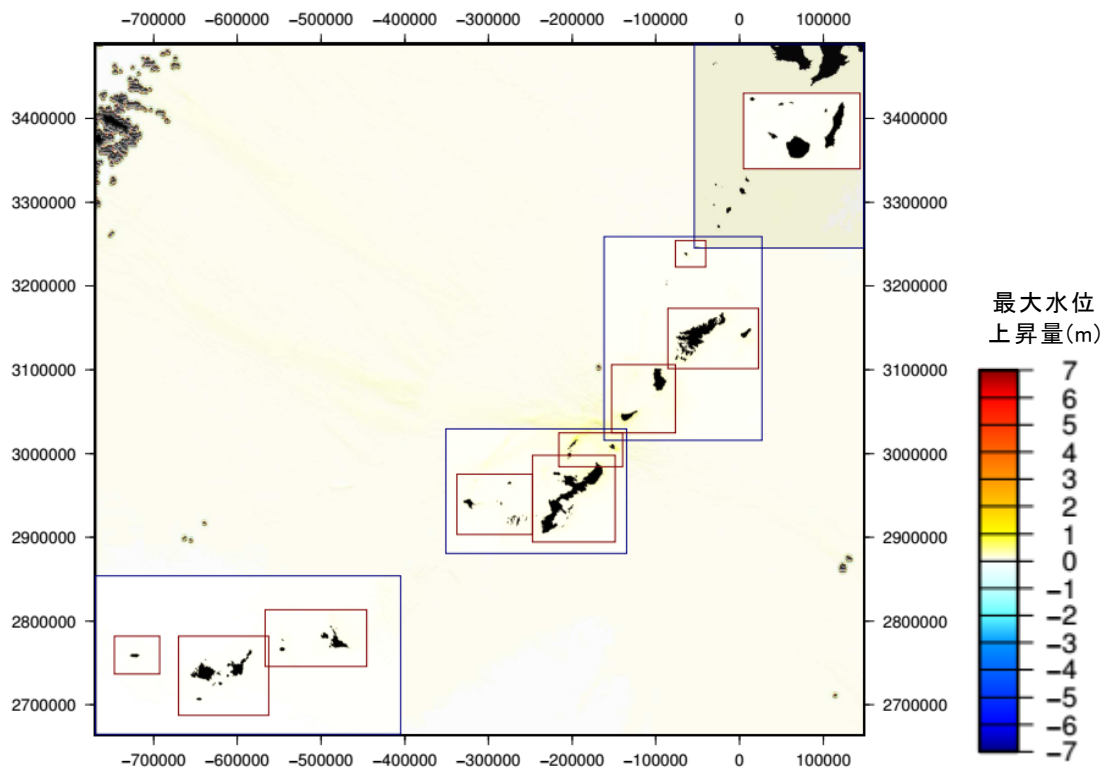


図 17 C-25 の断層モデルを使用した最大水位上昇量の包絡線。

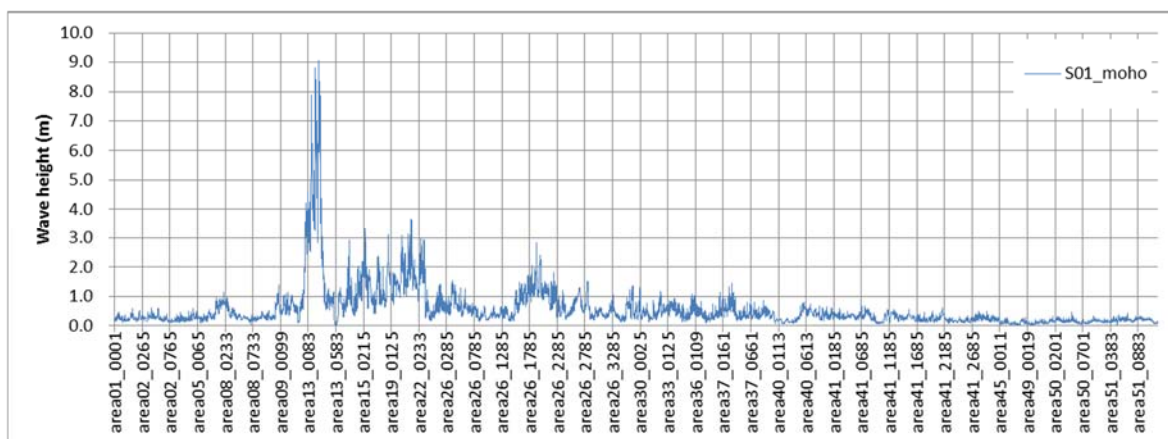
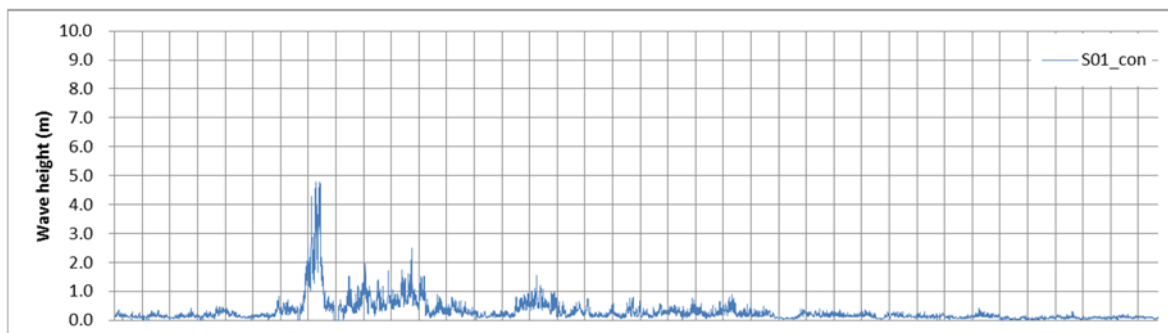
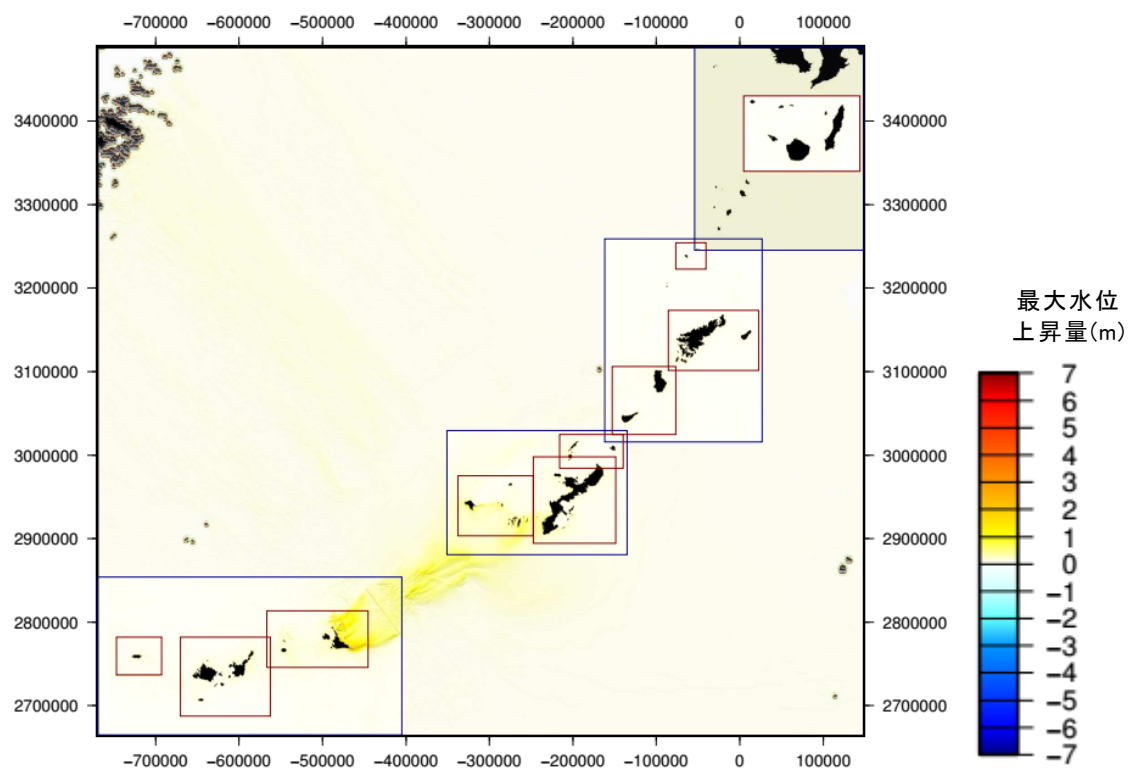


図 18 S01 の断層モデルを使用した最大水位上昇量の包絡線。

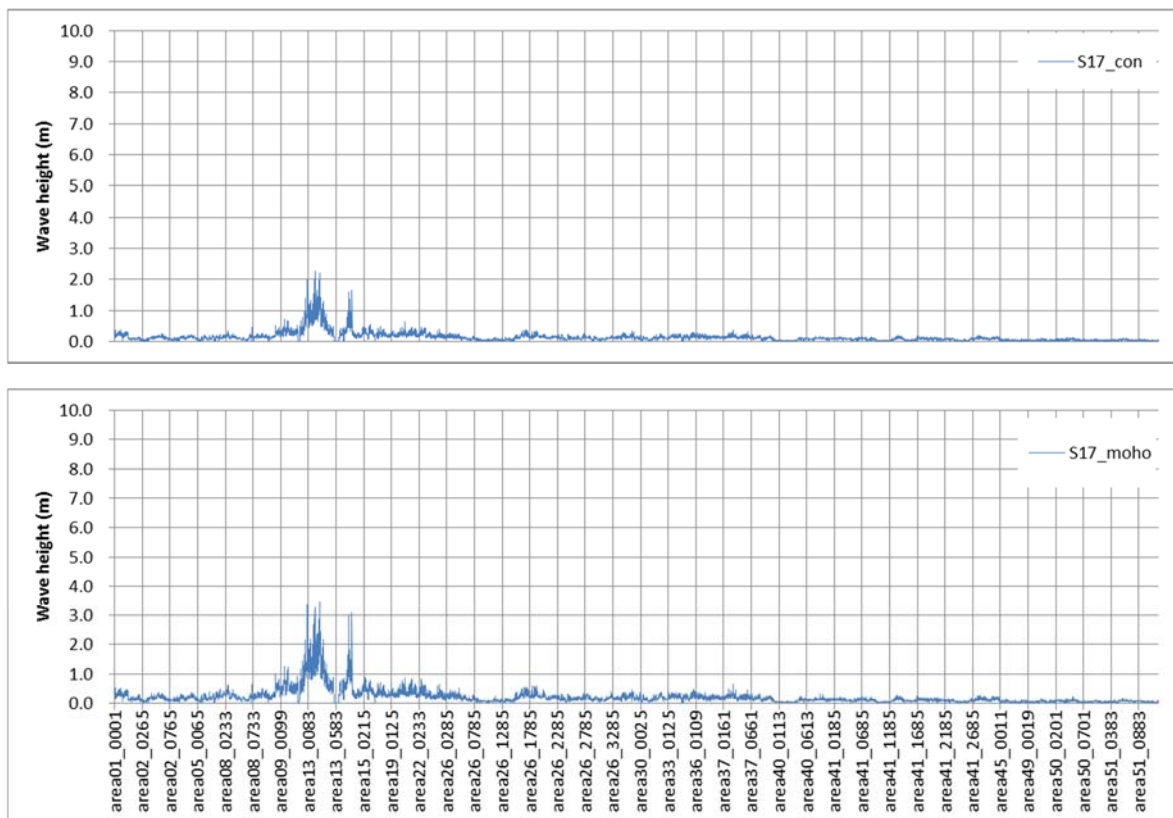
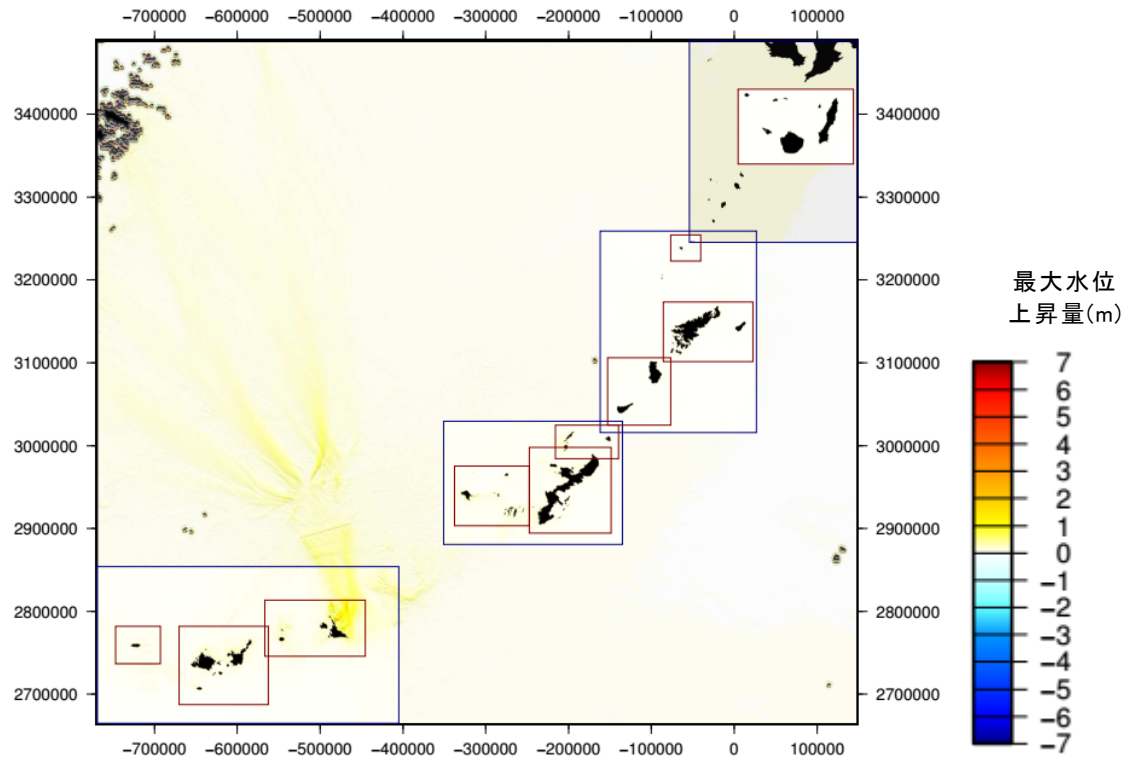


図 19 S17 の断層モデルを使用した最大水位上昇量の包絡線。



表 13 計算結果の比較

	コンラッド		モホ		変化の割合(モホ/コンラッド)				
	下端深度 (km)	断層幅 (km)	下端深度 (km)	断層幅 (km)	下端深度	断層幅	モーメント量 Mo	津波高さ の変化	
C-23	12	13.86	25	28.87	2.1	2.1	4.5	2.0	沖縄本島西側(背弧域)
C-25	12	13.86	24	27.71	2.0	2.0	4.0	2.5	沖縄本島北東側。島弧に平行。
S-01	16	18.48	28	32.33	1.8	1.7	3.1	1.6	宮古島北東側。島弧横断型。
S-17	12	13.86	18	20.78	1.5	1.5	2.3	2.0	宮古島北方沖(背弧域)

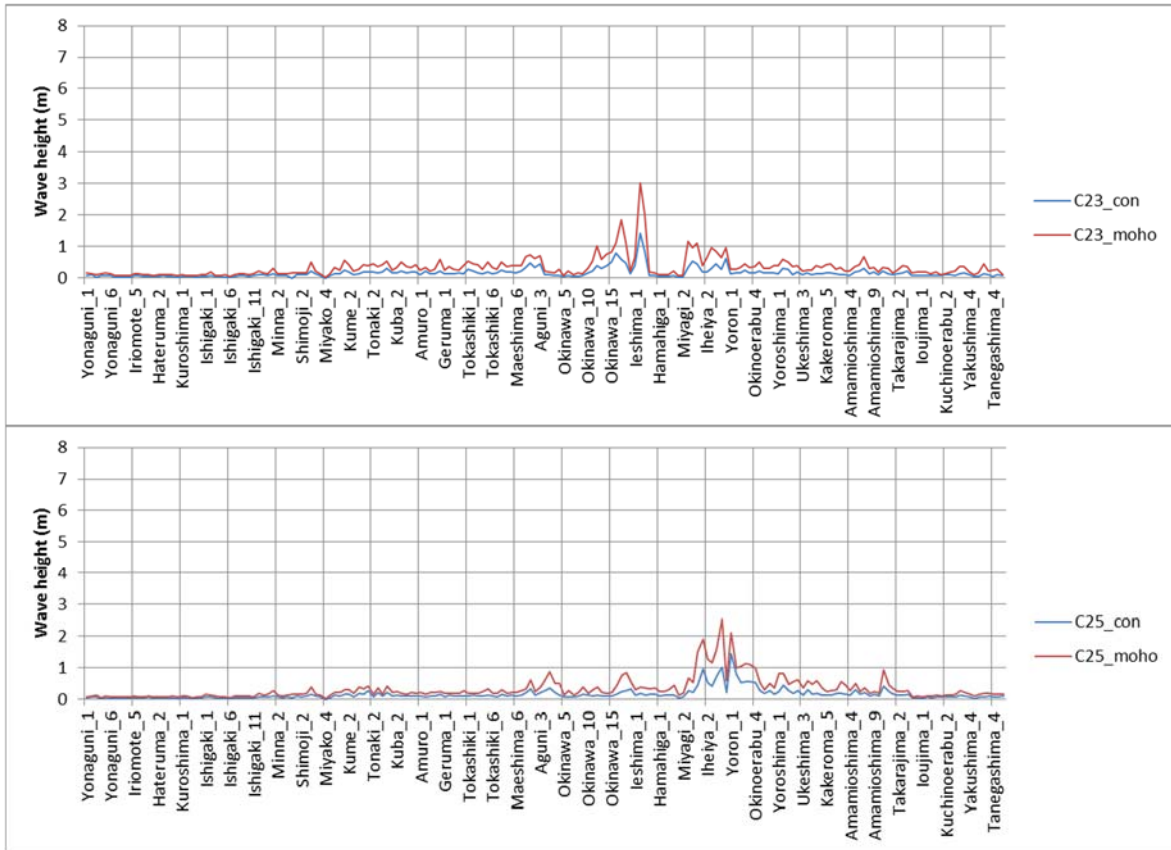


図 20(1) 断層下端深度をコンラッド面(青)とした場合とモホ面(赤)とした場合の最大水位上昇量の比較。

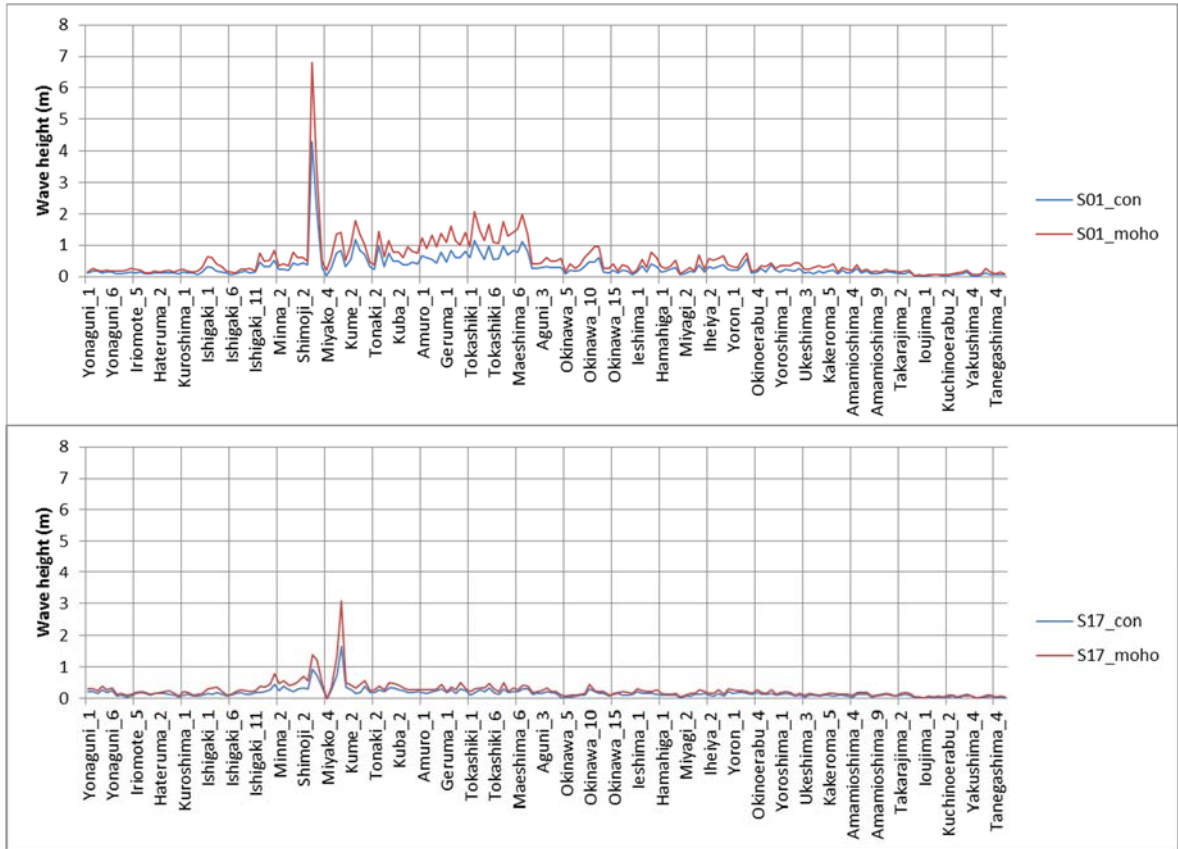


図 20(2) 断層下端深度をコンラッド面(青)とした場合とモホ面(赤)とした場合の最大水位上昇量の比較。

・スケーリング則のばらつきの検討

先行研究で示されてきた断層面積や断層長と地震規模との経験的關係は、既往の地震から得られた観測値や推定値の分布を近似する回帰式として表される。そのため、スケーリング則は、使用したデータの平均的なものを表すものであると言える。よってスケーリング則から推定される地震規模や、そこから計算される平均すべり量は、ある範囲のばらつきをもつ値である。断層パラメータには全て偶然的ばらつきが含まれているが、個々のパラメータに対するばらつきをそれぞれ評価することは難しい。そのため、スケーリング則の平均として求められる地震規模に対して $+\sigma$ のばらつきの範囲を考慮することにより、スケーリング則の持つばらつきや断層パラメータの持つ偶然的ばらつきを包含することを試みた。

Irikura and Miyake(2011)には、入倉・三宅(2001)及び Somerville et al. (1999)のスケーリング則から推定される断層面積とモーメント量との關係と、スケーリング則を得るために使用された地震データが示されている(図 21)。入倉・三宅(2001)の論文中にはこのスケーリング則のばらつきの範囲について明示的な値は示されていない。しかし、入倉・三宅(2001)が1ステージ目として採用している Somerville et al. (1999)のスケーリング則については、モーメント量に対する面積のばらつきが 1.6 倍程度であることが記載されている。式(1)に示すように、Somerville et al. (1999)ではモーメント量は面積の 1.5 乗に比例することから、

面積に対するモーメント量のばらつきは  $1.6^{1.5}$  で 2 倍程度である。これと同様に考えると、入倉・三宅(2001)の 2 ステージ目では式(2)から、モーメント量は面積の 2 乗に比例することから、 $1.6^2$  であり、2.6 倍程度となる。

入倉・三宅(2001)のスケーリング則では目安としてモーメント量が  $7.5 \times 10^{18}$  を超えると 2 ステージ目に入るが、Somerville et al. (1999)のばらつきの範囲は図 21 においてはそれ以上のモーメント量までのデータを含めて考慮されている。スケーリング則から計算されるモーメント量と面積の経験的關係は平均的なものであると考えられることから、スケーリング則の 1 ステージ目から 2 ステージ目に移行するポイントも平均的なものであると考えられ、1 ステージ目と 2 ステージ目を明確に切り分けられるものではない。Somerville et al. (1999)や入倉・三宅(2001)においても、面積に対するモーメント量のばらつきの範囲は明記されておらず、2 倍ないし 2.6 倍という範囲は数式から推定される理論的な値であり、これらの情報のみでスケーリング則のばらつきの適用範囲を確定することはできない。

$$M_0 = (S/2.23 \times 10^9)^{1.5} \times 10^{-7} \quad (M_0 < 7.5 \times 10^{18}) \quad \dots (1)$$

$$M_0 = (S/4.24 \times 10^5)^{2.0} \times 10^{-7} \quad (M_0 \geq 7.5 \times 10^{18}) \quad \dots (2)$$

以上の検討から、ここでは面積に対するモーメント量のばらつきの  $1\sigma$  を 2 倍と 2.6 倍にする場合について、 $+0.75\sigma$ 、 $+1\sigma$ 、 $+1.5\sigma$ 、 $+2.0\sigma$  のばらつきの範囲で感度解析的な検討を行った。使用した断層モデルは前項の検討で使用したものから断層下端深度をコンラッド面とした 4 つの断層モデルである(図 22~図 29)。

沿岸の評価点において、それぞれの断層モデルに対する計算結果で、スケーリング則の平均で計算されるすべり量から水位上昇量を計算した場合と平均 $+0.75\sigma \sim +2\sigma$  のばらつきを考慮した場合で沿岸の評価点における最大水位上昇量を比較すると次の図 30~図 33 のようになる。

以上から、 $1\sigma$  を 2 倍と 2.6 倍にした場合には、モーメント量が  $1\sigma$  変化することで、それぞれ沿岸の水位上昇量が 1.3~1.8 倍程度、1.4~2.0 倍程度変化する結果となった。また、沿岸の水位上昇量のばらつきは、評価地点から波源が離れているほうが大きくなる傾向があった。

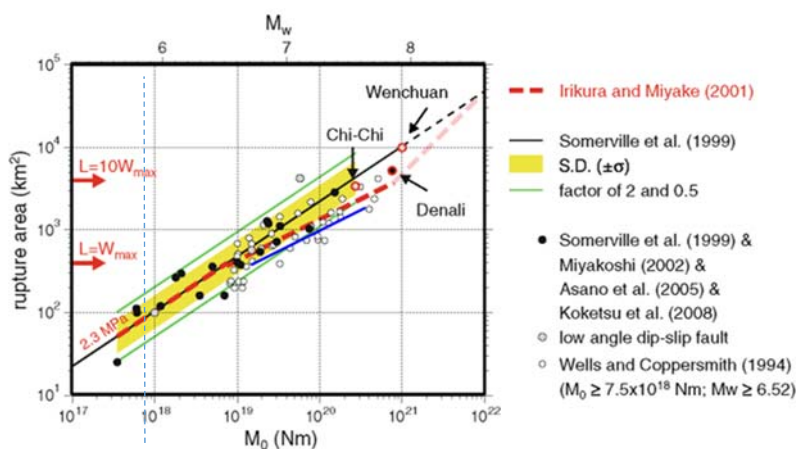


図 21 入倉・三宅(2001)のスケーリング則と地震データとの関係 (入倉・三宅(2001)より抜粋、加筆)。

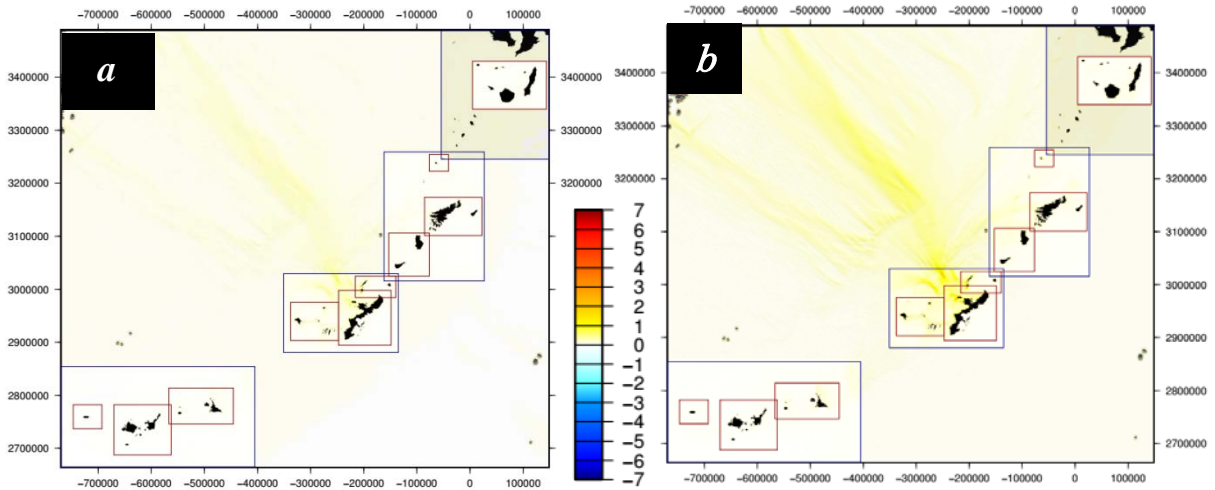


図 22 C23 の断層における a) スケーリング則の平均からすべり量を求めた場合の最大水位上昇量の分布と b) スケーリング則の平均に対して  $+1\sigma$  (2.6 倍) のばらつきの範囲を考慮した場合の最大水位上昇量の分布。

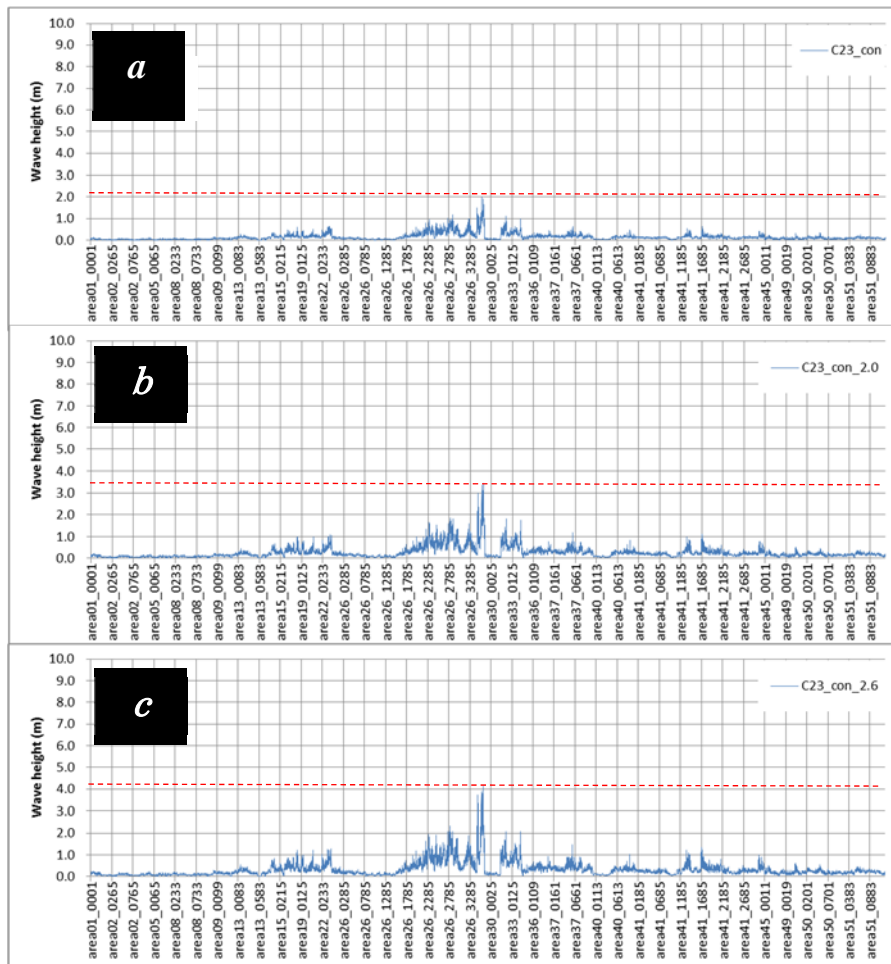


図 23 C23 の断層における a) スケーリング則の平均からすべり量を求めた場合の島嶼部沿岸の最大水位上昇量の分布、b) スケーリング則の平均に対して  $+1\sigma$  (2.0 倍) のばらつきの範囲を考慮した場合の島嶼部沿岸の最大水位上昇量の分布、c) スケーリング則の平均に対して  $+1\sigma$  (2.6 倍) のばらつきの範囲を考慮した場合の島嶼部沿岸の最大水位上昇量の分布。最大水位上昇量の最大値を赤い点線で示した。

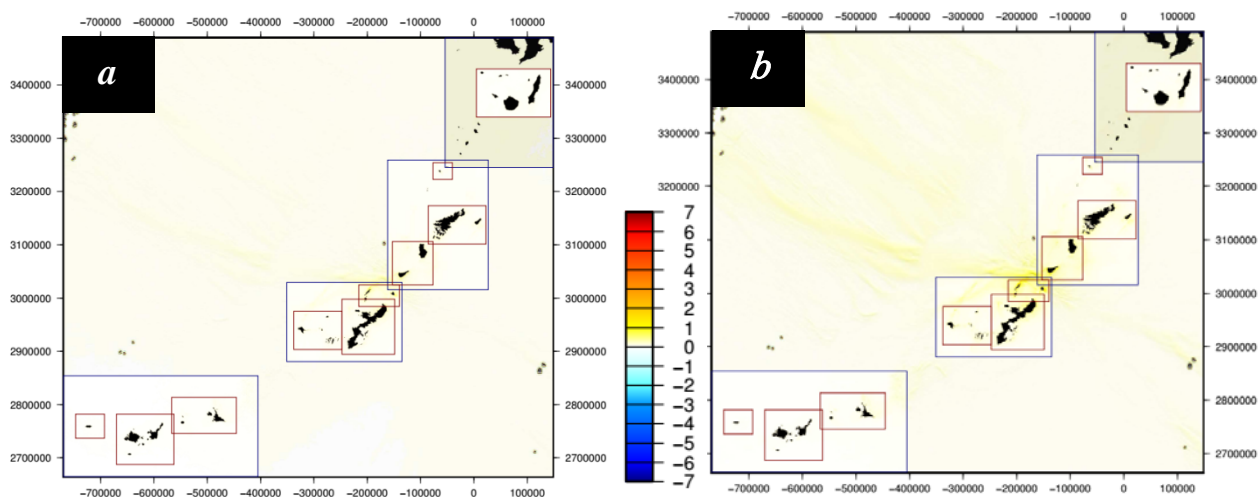


図 24 C25 の断層における a) スケーリング則の平均からすべり量を求めた場合の最大水位上昇量の分布と b) スケーリング則の平均に対して  $+1\sigma$  (2.6 倍) のばらつきの範囲を考慮した場合の最大水位上昇量の分布。

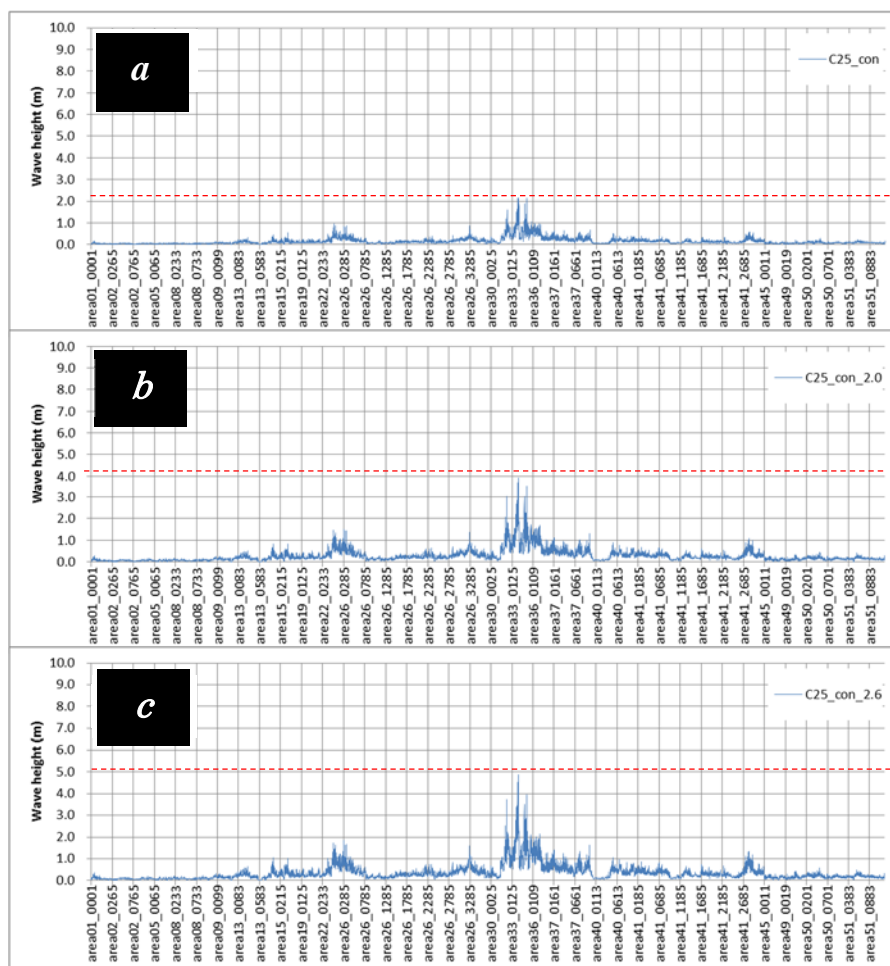


図 25 C25 の断層における a) スケーリング則の平均からすべり量を求めた場合の島嶼部沿岸の最大水位上昇量の分布、b) スケーリング則の平均に対して  $+1\sigma$  (2.0 倍) のばらつきの範囲を考慮した場合の島嶼部沿岸の最大水位上昇量の分布、c) スケーリング則の平均に対して  $+1\sigma$  (2.6 倍) のばらつきの範囲を考慮した場合の島嶼部沿岸の最大水位上昇量の分布。最大水位上昇量の最大値を赤い点線で示した。

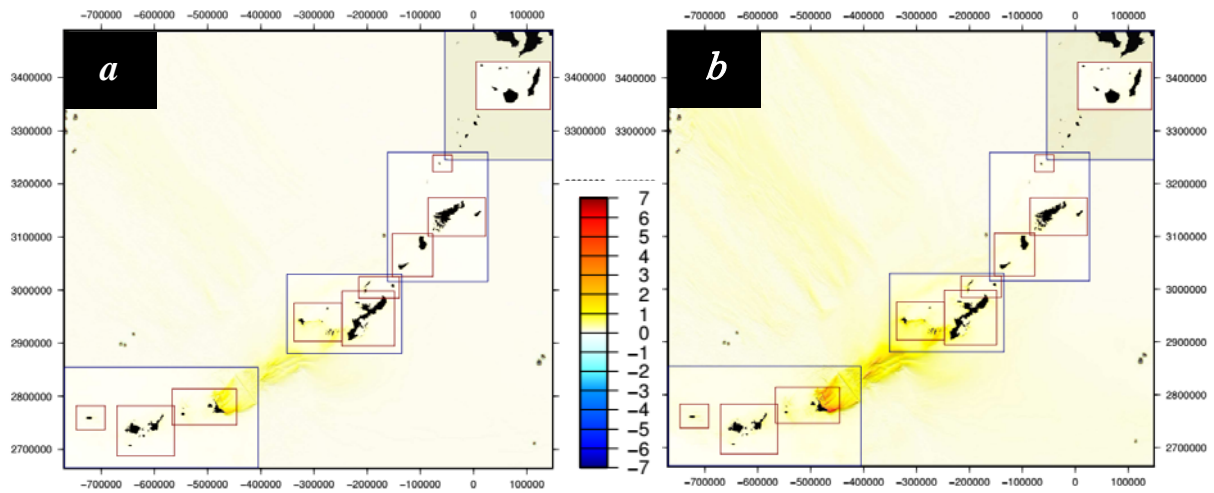


図 26 S01 の断層における a) スケーリング則の平均からすべり量を求めた場合の最大水位上昇量の分布、b) スケーリング則の平均に対して  $+1\sigma$  (2.6 倍) のばらつきの範囲を考慮した場合の最大水位上昇量の分布。

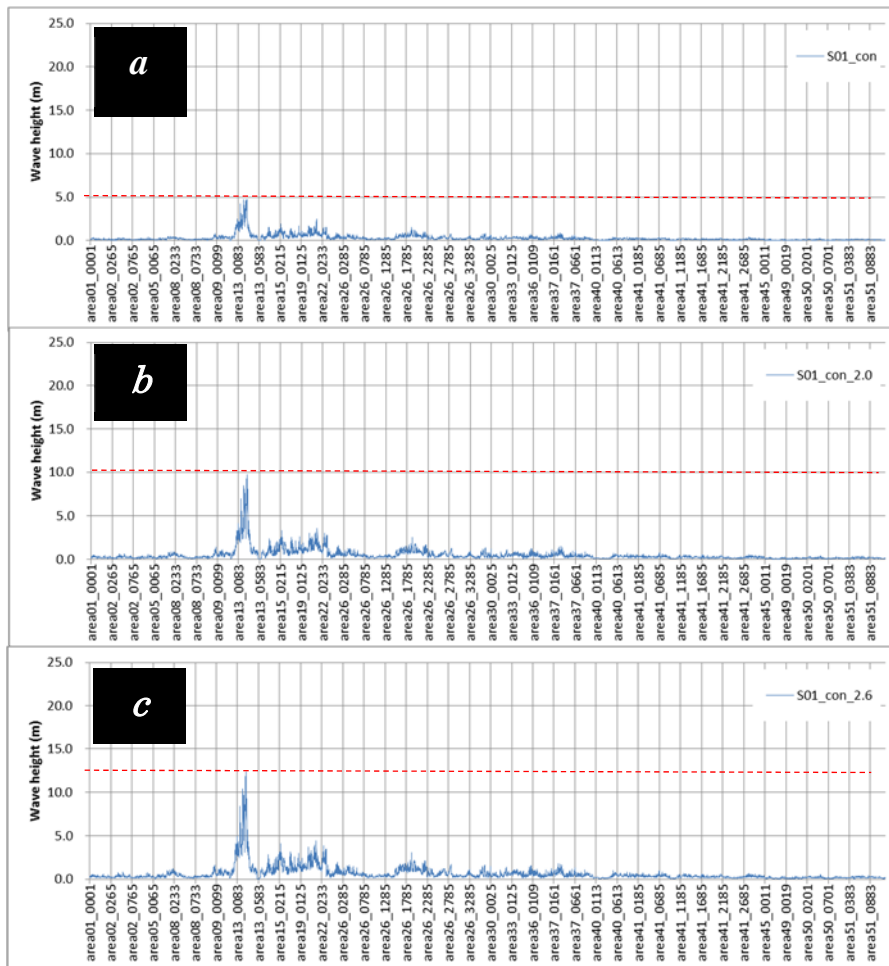


図 27 S01 の断層における a) スケーリング則の平均からすべり量を求めた場合の島嶼部沿岸の最大水位上昇量の分布、b) スケーリング則の平均に対して  $+1\sigma$  (2.0 倍) のばらつきの範囲を考慮した場合の島嶼部沿岸の最大水位上昇量の分布、c) スケーリング則の平均に対して  $+1\sigma$  (2.6 倍) のばらつきの範囲を考慮した場合の島嶼部沿岸の最大水位上昇量の分布。最大水位上昇量の最大値を赤い点線で示した。

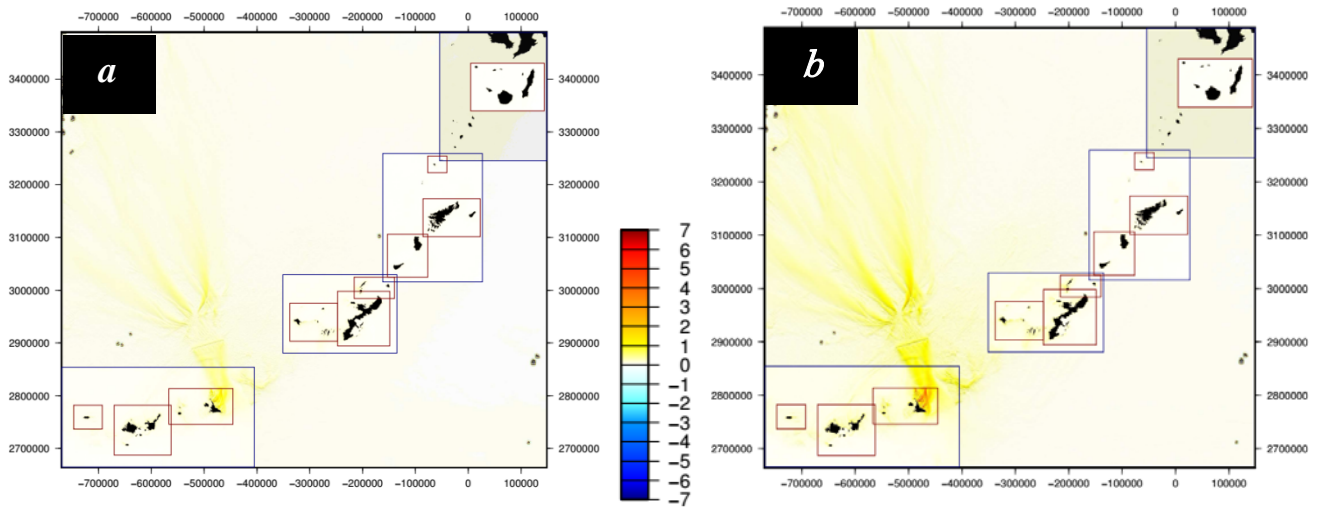


図 28 S17 の断層における a) スケーリング則の平均からすべり量を求めた場合の最大水位上昇量の分布、b) スケーリング則の平均に対して  $+1\sigma$  (2.6 倍) のばらつきの範囲を考慮した場合の最大水位上昇量の分布。

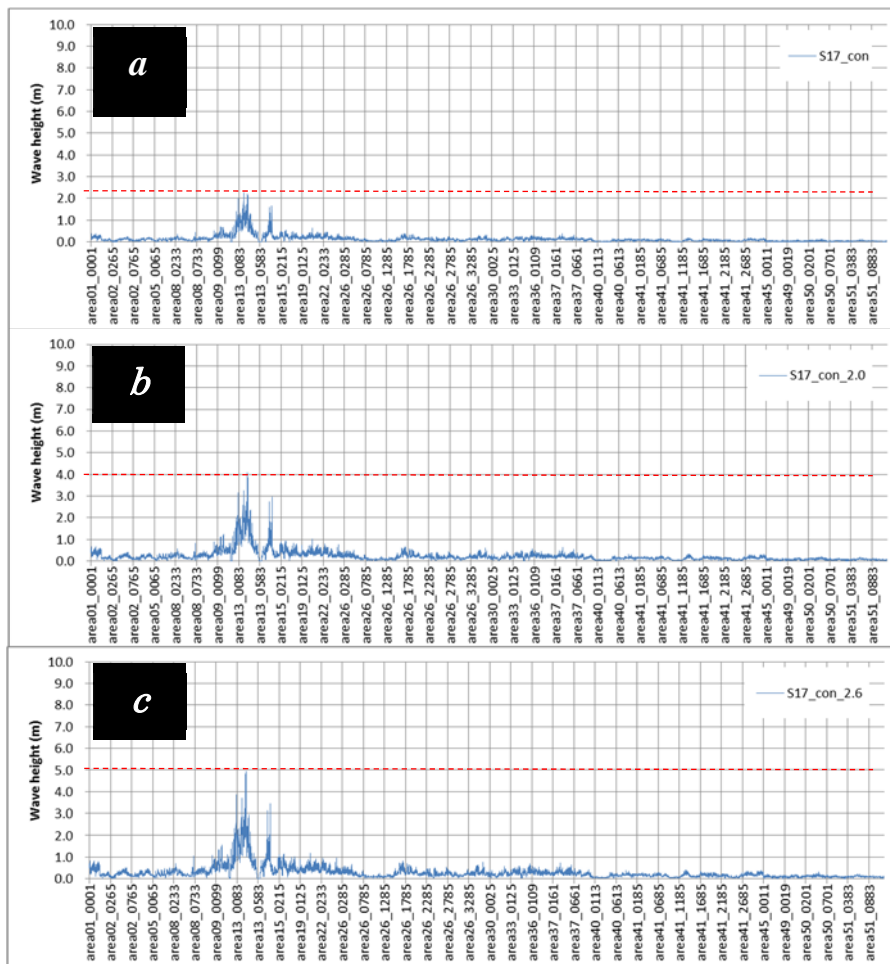


図 29 C17 の断層における a) スケーリング則の平均からすべり量を求めた場合の島嶼部沿岸の最大水位上昇量の分布、b) スケーリング則の平均に対して  $+1\sigma$  (2.0 倍) のばらつきの範囲を考慮した場合の島嶼部沿岸の最大水位上昇量の分布、c) スケーリング則の平均に対して  $+1\sigma$  (2.6 倍) のばらつきの範囲を考慮した場合の島嶼部沿岸の最大水位上昇量の分布。最大水位上昇量の最大値を赤い点線で示した。

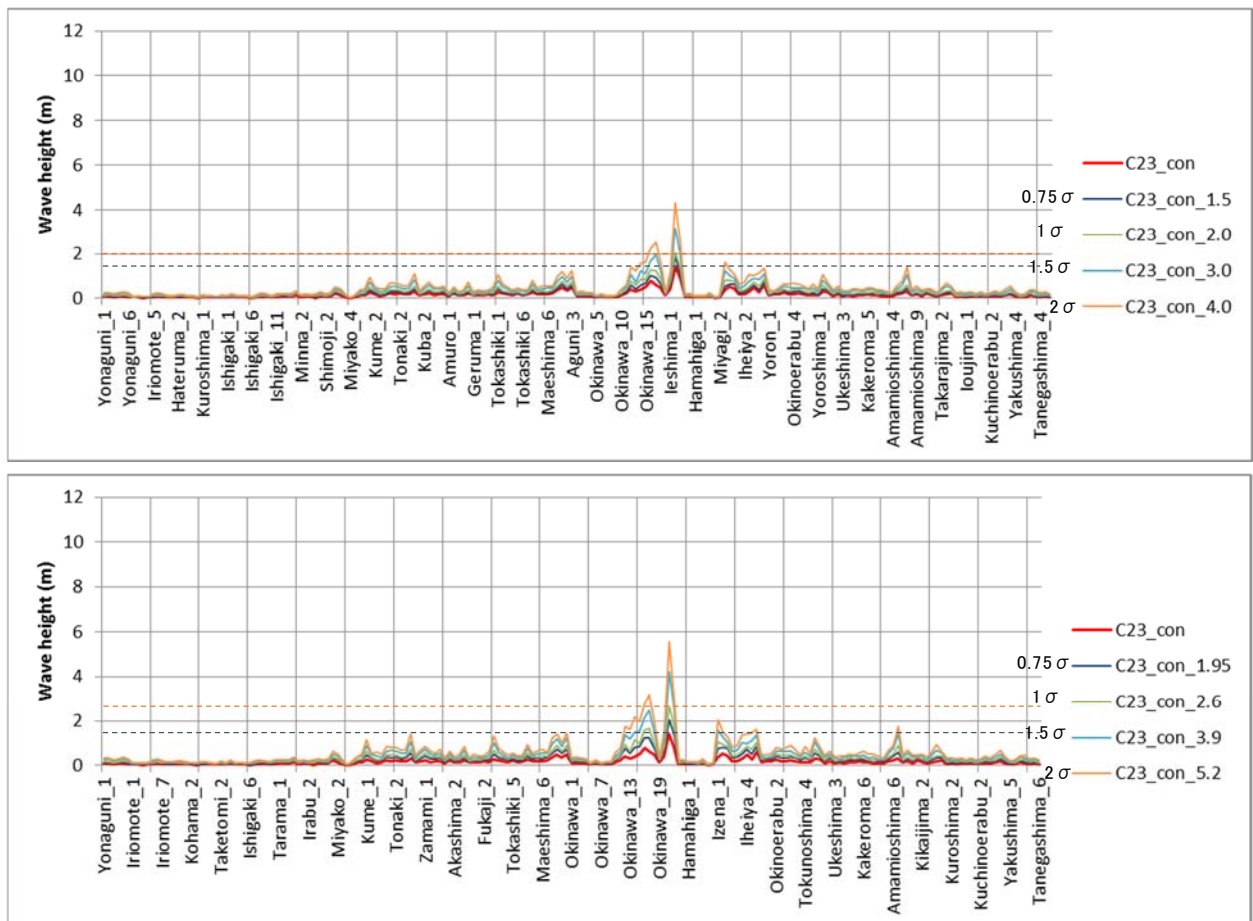


図 30 スケーリング則のばらつきの幅を  $0.75 \sim 2\sigma$  と変化させたときの C23 断層による沿岸の水位上昇量のばらつき。上の図は  $\sigma = 2.0$  とした場合、下の図は  $\sigma = 2.6$  とした場合を示す。また、すべり量をスケーリング則の平均として設定した場合とばらつきを考慮して平均に対して  $+1\sigma$  とした場合の津波高さの最大をそれぞれ青点線と赤点線で示した。



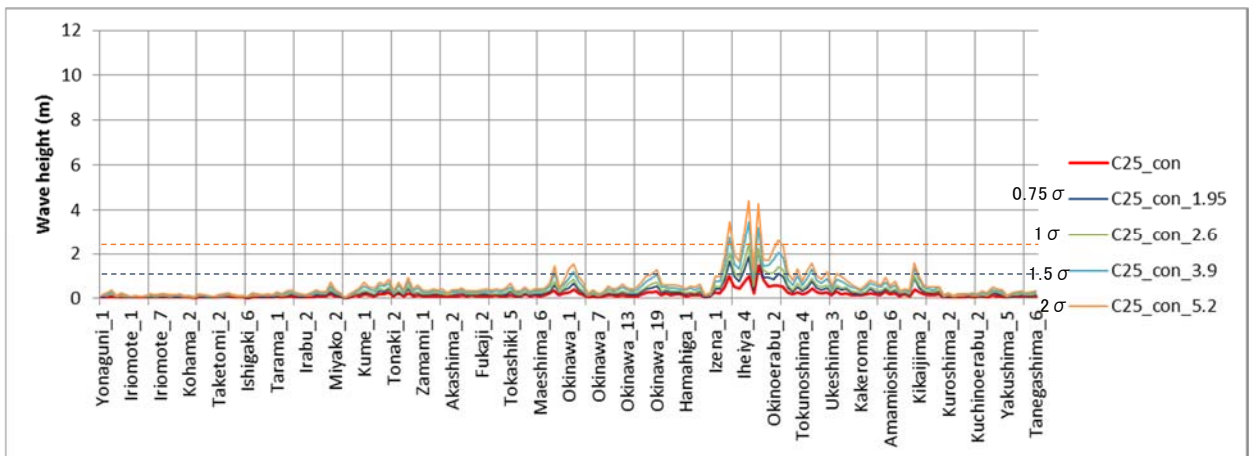
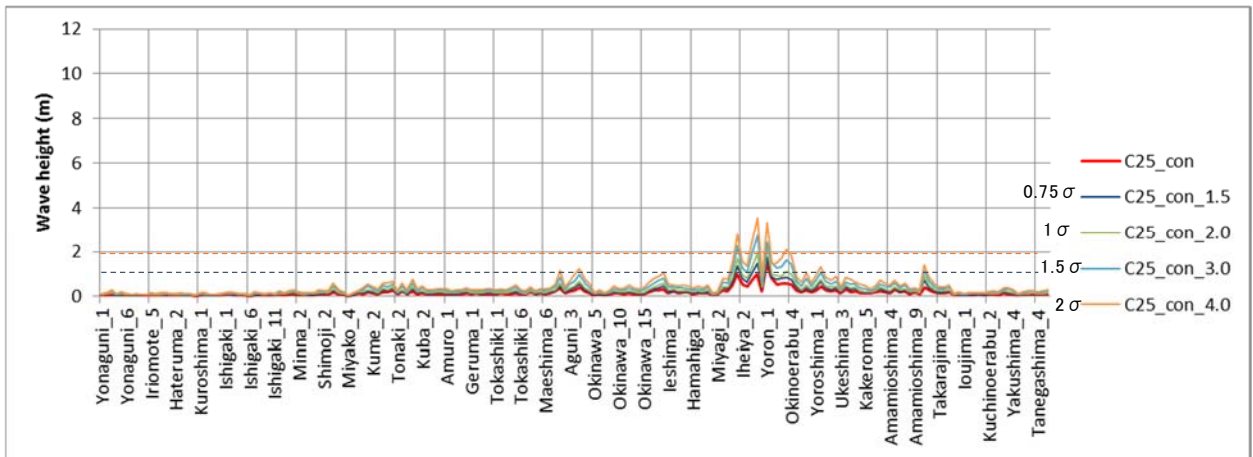


図 31 スケーリング則のばらつきの幅を  $0.75\sim 2\sigma$  と変化させたときの C25 断層による沿岸の水位上昇量のばらつき。上の図は  $\sigma=2.0$  とした場合、下の図は  $\sigma=2.6$  とした場合を示す。また、すべり量をスケーリング則の平均として設定した場合とばらつきを考慮して平均に対して  $+1\sigma$  とした場合の津波高さの最大をそれぞれ青点線と赤点線で示した。

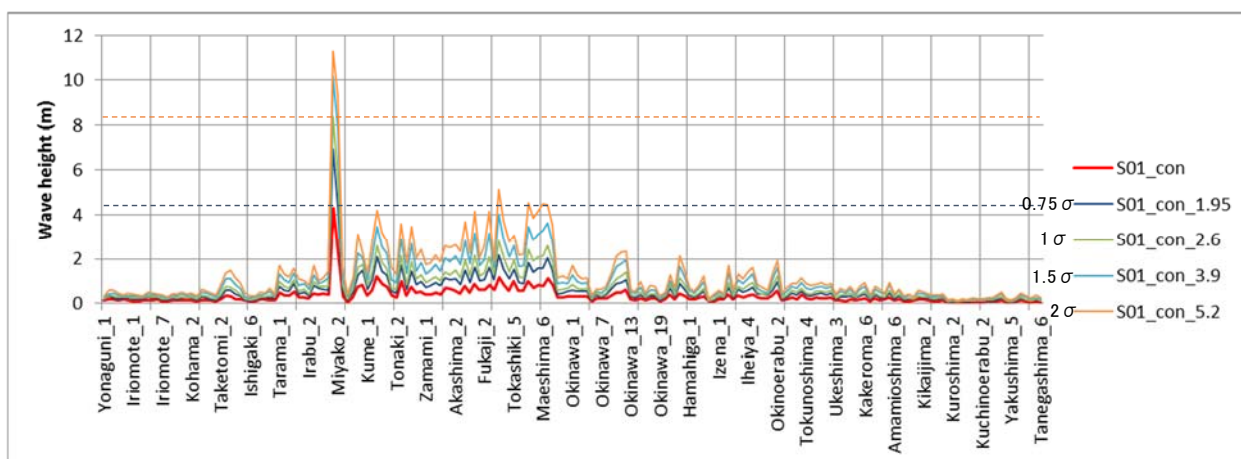
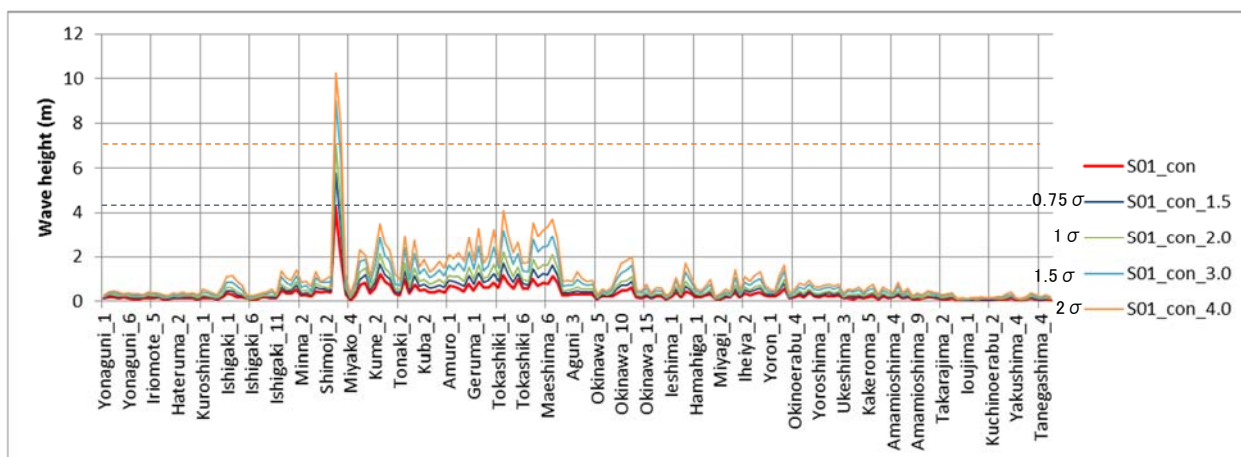


図 32 スケーリング則のばらつきの幅を  $0.75\sim 2\sigma$  と変化させたときの S01 断層による沿岸の水位上昇量のばらつき。上の図は  $\sigma=2.0$  とした場合、下の図は  $\sigma=2.6$  とした場合を示す。また、すべり量をスケーリング則の平均として設定した場合とばらつきを考慮して平均に対して  $+1\sigma$  とした場合の津波高さの最大をそれぞれ青点線と赤点線で示した。

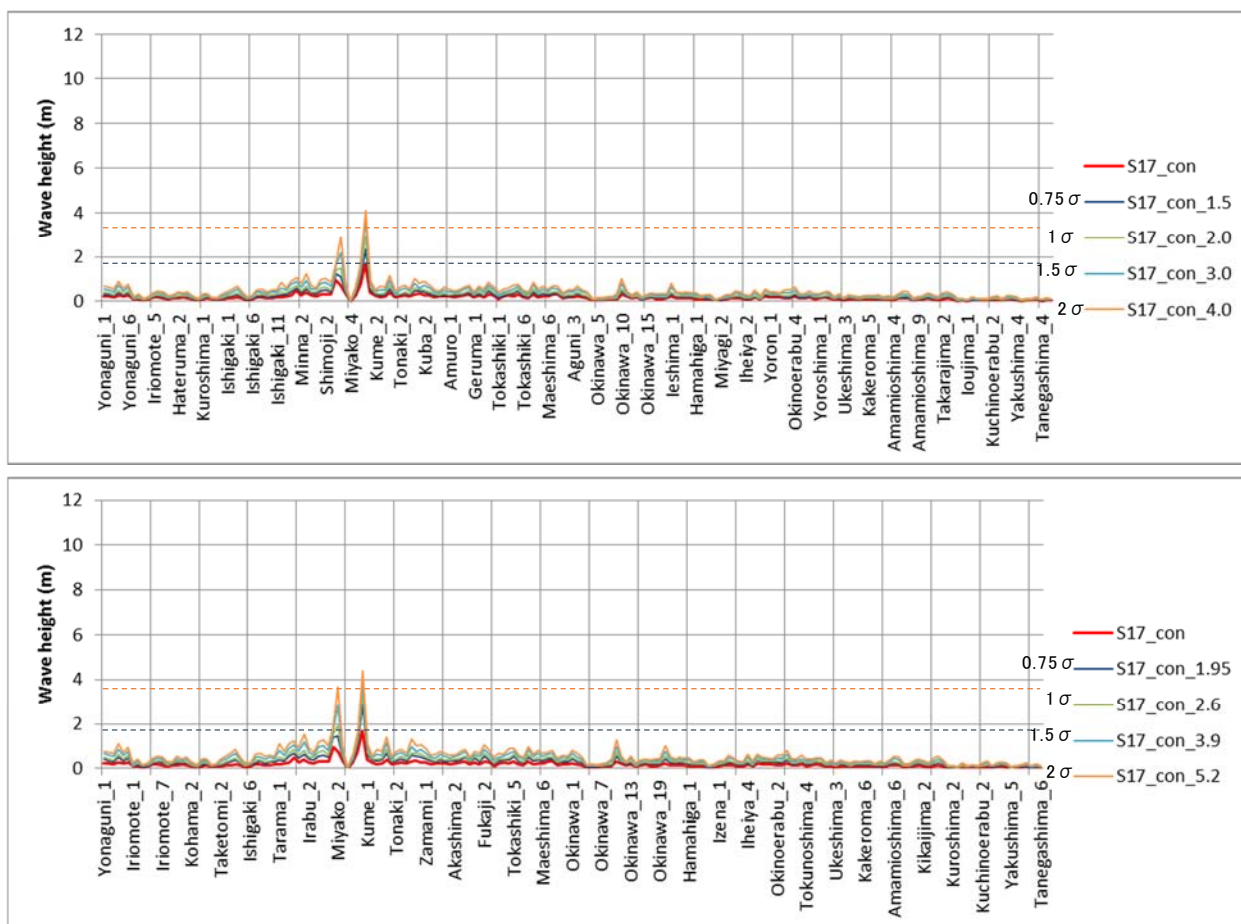


図 33 スケーリング則のばらつきの幅を  $0.75\sim 2\sigma$  と変化させたときの S17 断層による沿岸の水位上昇量のばらつき。上の図は  $\sigma=2.0$  とした場合、下の図は  $\sigma=2.6$  とした場合を示す。また、すべり量をスケーリング則の平均として設定した場合とばらつきを考慮して平均に対して  $+1\sigma$  とした場合の津波高さの最大をそれぞれ青点線と赤点線で示した

## b) 断層モデルの検証

### i) 津波の検証

#### ・波源断層モデルの検証方針

南西諸島周辺海域においては、過去に発生した地震津波による痕跡データで検証可能なものが存在しない(表 2)ため、作成した波源断層モデルの妥当性を痕跡との比較によって検証することができない。そこで本検討では、計算値のみを使った定性的な議論にとどめることとした。前節で設定した波源断層モデルを使い津波伝播解析を実施し、南西諸島沿岸の最大水位上昇量(T.P. 0m 基準)を求め、水位上昇量の規模や分布について考察した。

#### ・津波伝播解析の手法

### ① 計算領域

津波伝播解析の計算領域は、図 34 に示すとおり南西諸島周辺を含む範囲とした。

南西諸島周辺に設定する計算領域については、外洋から沿岸に近づくほど細かい格子サイズとなるように、1対3の割合で計算領域を細分化し、各計算領域の格子サイズを外洋部から順に1,350 m、450 m、150 m、50 mで設定した。これらの計算領域は、震源域から沿岸域までを一括して計算するため、異なる格子サイズの領域間で接続される。領域数は、外洋の1,350 m格子領域が1領域、450 m格子領域が5領域、150 m格子領域が12領域、沿岸の50 m格子領域が28領域である。50m格子領域の位置図を図35に示す。

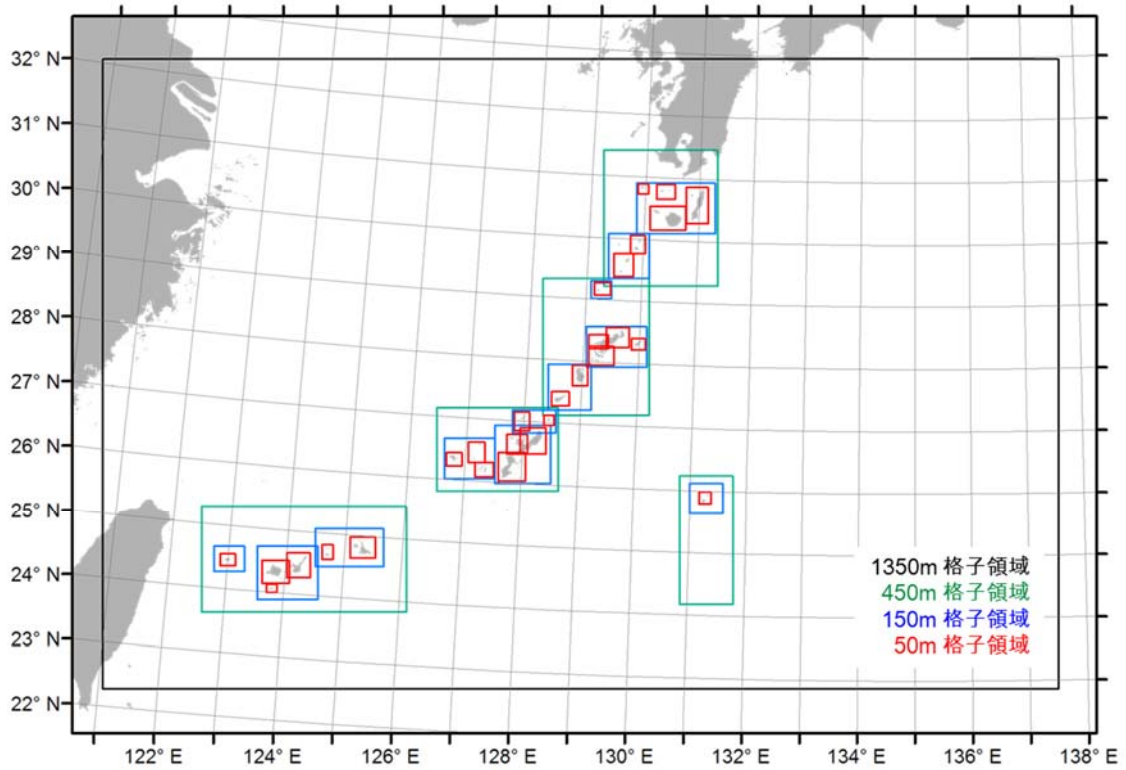


図 34 計算領域の位置。

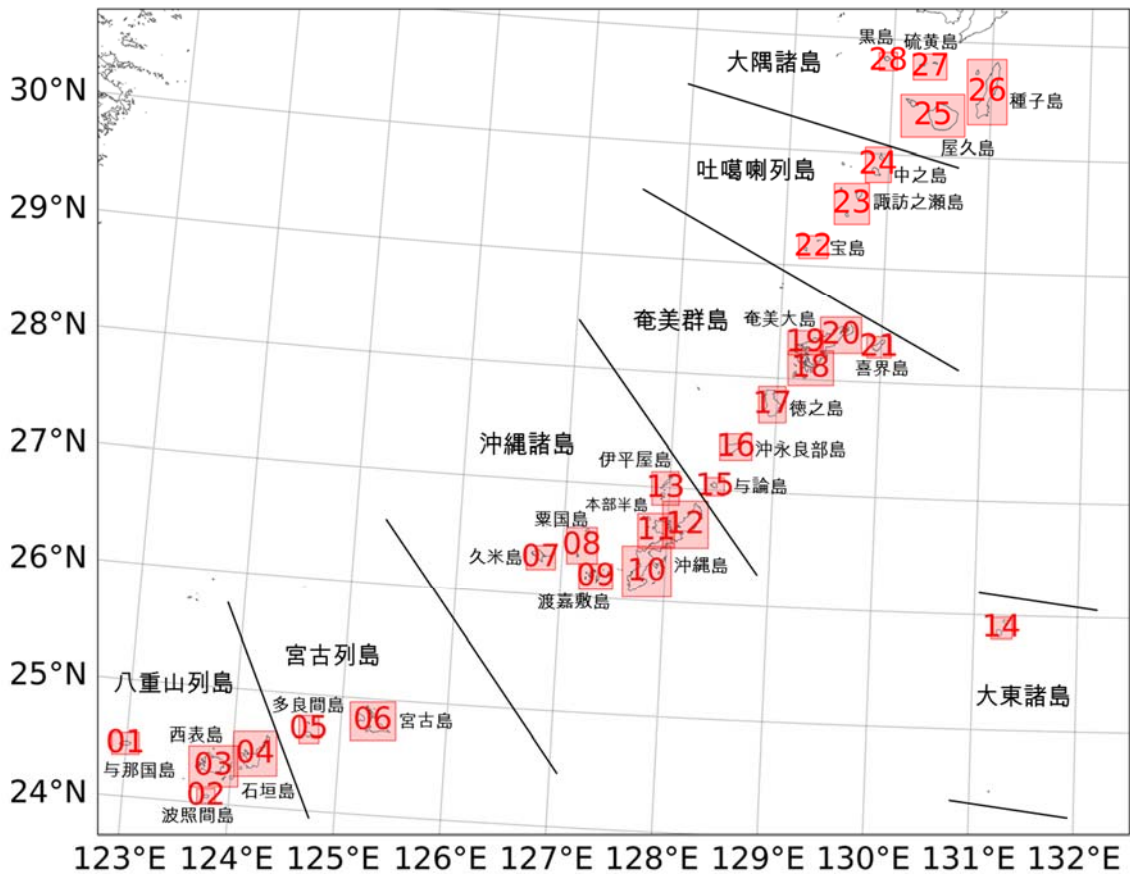


図 35 50 m 格子領域の領域番号と位置。

②地形モデル

使用した地形モデルの諸元を表 14 に示す。地形モデルの範囲、格子サイズ、領域数はそれぞれの計算領域と同じである。地形モデルの標高・水深は、表 15 に示したデータソースを参考にし、本検討用の座標系 (UTM53 帯) と格子サイズへ変換した値である。

表 14 地形モデルの諸元

領域番号	格子サイズ (m)	領域南西端 UTM53_E(m)	領域南西端 UTM53_N(m)	格子数 x 方向	格子数 y 方向	上位接続 領域番号
1350-001	1,350	-945,000	2,530,000	1,300	830	-
0450-001	450	-769,500	2,665,000	811	421	1350-001
0450-002	450	81,000	2,678,500	210	510	1350-001
0450-003	450	-351,000	2,881,000	480	330	1350-001
0450-004	450	-162,000	3,016,000	420	540	1350-001
0450-005	450	-54,000	3,245,500	450	540	1350-001
0150-001	150	-747,000	2,737,000	360	300	0450-001
0150-002	150	-670,500	2,687,500	720	630	0450-001
0150-003	150	-567,000	2,746,000	810	450	0450-001
0150-004	150	99,000	2,840,500	390	360	0450-002
0150-005	150	-337,500	2,903,500	600	480	0450-003
0150-006	150	-247,500	2,894,500	660	690	0450-003
0150-007	150	-216,000	2,984,500	510	270	0450-003
0150-008	150	-153,000	3,025,000	510	540	0450-004
0150-009	150	-85,500	3,101,500	720	480	0450-004
0150-010	150	-76,500	3,223,000	240	210	0450-004
0150-011	150	-45,000	3,259,000	480	540	0450-005
0150-012	150	4,500	3,340,000	930	600	0450-005
0050-001	50	-736,500	2,747,500	540	420	0150-001
0050-002	50	-654,000	2,699,500	360	300	0150-002
0050-003	50	-661,500	2,716,000	960	810	0150-002
0050-004	50	-618,000	2,726,500	840	870	0150-002
0050-005	50	-555,000	2,758,000	390	540	0150-003
0050-006	50	-505,500	2,761,000	900	750	0150-003
0050-007	50	-334,500	2,926,000	570	480	0150-005
0050-008	50	-295,500	2,932,000	600	720	0150-005
0050-009	50	-283,500	2,906,500	660	510	0150-005
0050-010	50	-241,500	2,899,000	960	1,020	0150-006
0050-011	50	-226,500	2,947,000	720	690	0150-006
0050-012	50	-202,500	2,947,000	900	930	0150-006
0050-013	50	-213,000	2,989,000	540	660	0150-007
0050-014	50	115,500	2,858,500	420	420	0150-004
0050-015	50	-160,500	2,998,000	360	360	0150-007
0050-016	50	-147,000	3,032,500	630	510	0150-008
0050-017	50	-109,500	3,068,500	540	720	0150-008
0050-018	50	-81,000	3,104,500	900	690	0150-009
0050-019	50	-81,000	3,134,500	690	480	0150-009
0050-020	50	-49,500	3,136,000	810	720	0150-009
0050-021	50	-4,500	3,131,500	480	420	0150-009
0050-022	50	-70,500	3,229,000	570	450	0150-010
0050-023	50	-36,000	3,262,000	690	810	0150-011
0050-024	50	-6,000	3,302,500	510	690	0150-011
0050-025	50	28,500	3,346,000	1,260	840	0150-012
0050-026	50	93,000	3,358,000	780	1,290	0150-012
0050-027	50	40,500	3,401,500	660	510	0150-012
0050-028	50	7,500	3,410,500	360	360	0150-012

表 15 地形モデルのデータソース

刊行者	刊行物
内閣府	南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告), 2012年
アメリカ海洋大気庁(NOAA)	ETOPO2, 2001年
イギリス海洋データセンター(BODC)	GEBCO One Minute Grid, 2008年

② 計算条件

津波伝播解析の計算条件を表 16 に示す。数値計算の支配方程式は、海底での摩擦及び移流を考慮した 2 次元非線形長波理論式とし、差分法は Staggered grid の Leap-frog 法とした。差分法の計算時間間隔は、計算格子間隔毎に、計算の安定性を考慮し CFL 条件を満たす中で適切に設定した。境界条件は、海域では完全無反射の透過境界として扱い、陸域では遡上を考慮した。初期水位は、鉛直方向と水平方向を考慮した海底地盤変動量の計算から得られる鉛直成分を Okada(1992) の手法で算出した。津波伝播解析の潮位条件は T.P.=0.0 m とし、各計算領域の最大水位上昇量を計算した。計算時間は、6 時間で設定した。

表 16 津波伝播解析の計算条件

内容	
支配方程式	非線形長波理論
数値解法	Staggered Leap-frog 差分スキーム
計算領域	南西諸島周辺海域(図 34)
計算領域の格子サイズ	外洋から順に 1350m、450m、150m、50m
境界条件	陸域では遡上を考慮 海側では無反射の透過境界
各種施設の取り扱い	各種施設(堤防・水門等)は考慮しない
計算時間	6 時間
初期水位	Okada(1992)で算出した海底地盤変位量
潮位	T.P. 0 m
打ち切り水深	$10^{-2}$ m
粗度係数	0.025

・津波伝播解析の結果と考察

波源断層モデル(表 5 と表 6)を使って計算した津波伝播解析から得られた最大水位上昇量を図 36 と図 37 に示す。図 36 は 50 m 格子間隔で抽出した沿岸での最大水位上昇量である。モホ面の波源断層モデルの場合、142 波源の沿岸での最大水位上昇量を抽出し、それらの最大値を 50 m 格子毎に求め、包絡線(青)にした。同様に、コンラッド面の波源断層モデル 142 波源についても包絡線(赤)を求めた。横軸の番号は図 35 に示した 50 m 格子領域の八重山列島与那国島(領域番号 1)から大熊諸島黒島(領域番号 28)までに対応している。図 37-a~図 37-m は、図 36 に示した包絡線を構成する主な最大水位上昇量と、その波源断層モデルの位置及び 1, 350 m 格子での最大水位上昇量分布図である。

以下、津波伝播解析の計算結果についてまとめる。モホ面モデルの計算結果で得られた沿岸の最大水位上昇量(T.P. 0 m)の規模は西表島から久米島まで(領域番号 1 から 7)の 4 m~10m、粟国島から徳之島まで(領域番号 8 から 17)の 2 m~ 5 m、奄美大島から黒島まで(領域番号 18 から 28)の 2 m 以下に大きく分けられる。最大値は久米島南西部の海岸で出現し島尻崎周辺で 11m となった。その他、久米島八重山列島の沿岸では石垣島で最大 9 m、宮古列島の沿岸では宮古島で最大 10m、沖縄諸島の沿岸では久米島で最大 11m、沖縄島の南城市で最大 6 m、伊平屋島で最大 4 m、奄美群島の沿岸では沖永良部島で最大 4 m、徳之島で最大 3 m、奄美大島及びトカラ列島、大隅諸島の沿岸では最大 2 m となった。

コンラッド面モデルの計算結果で得られる沿岸の最大水位上昇量(T.P. 0 m)の規模は、モホ面モデルの規模のおよそ 0.5 倍となった。最大水位上昇量のピーク的位置は概ねモホ面モデルと一致するが、コンラッド面モデルで出現した久米島島尻崎周辺の最大値 11m はコンラッド面モデルでは最大値とはならなかった。コンラッド面モデルの最大値は宮古島北東部の海岸で出現し平瀬尾神崎や浦底漁港周辺で 5 m となった。

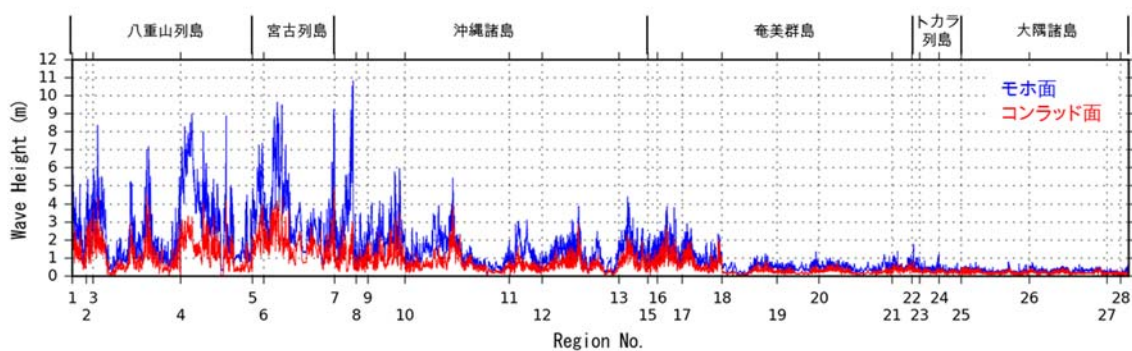


図 36 津波伝播解析で計算した沿岸の最大水位上昇量(赤：すべてのコンラッド面断層モデル 142 波源の包絡線、青：すべてのモホ面断層モデル 142 波源の包絡線)。



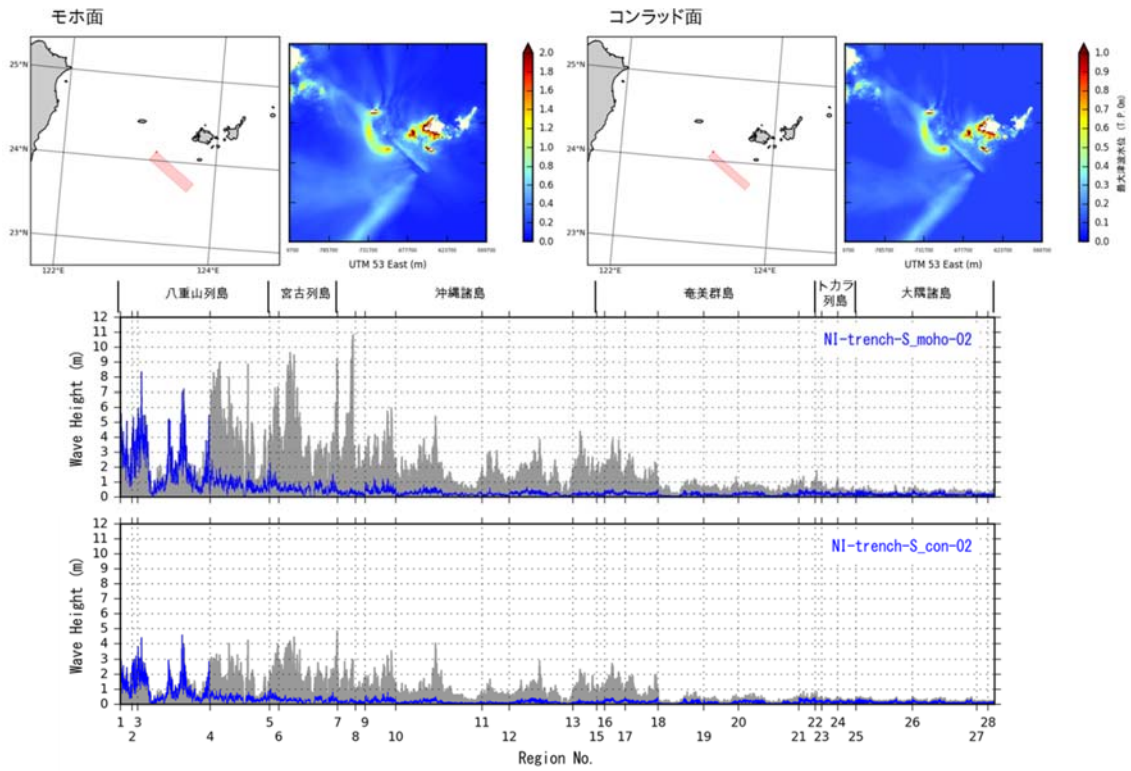


図 37-a 西表島周辺の最大水位上昇量の包絡線。灰色はすべての断層モデル 142 波源で計算された包絡線。青色は断層モデル Trough\_S02 の波源で計算された包絡線。上のグラフは断層下端深度をモホ面、下のグラフはコンラッド面とした場合の計算結果を示している。

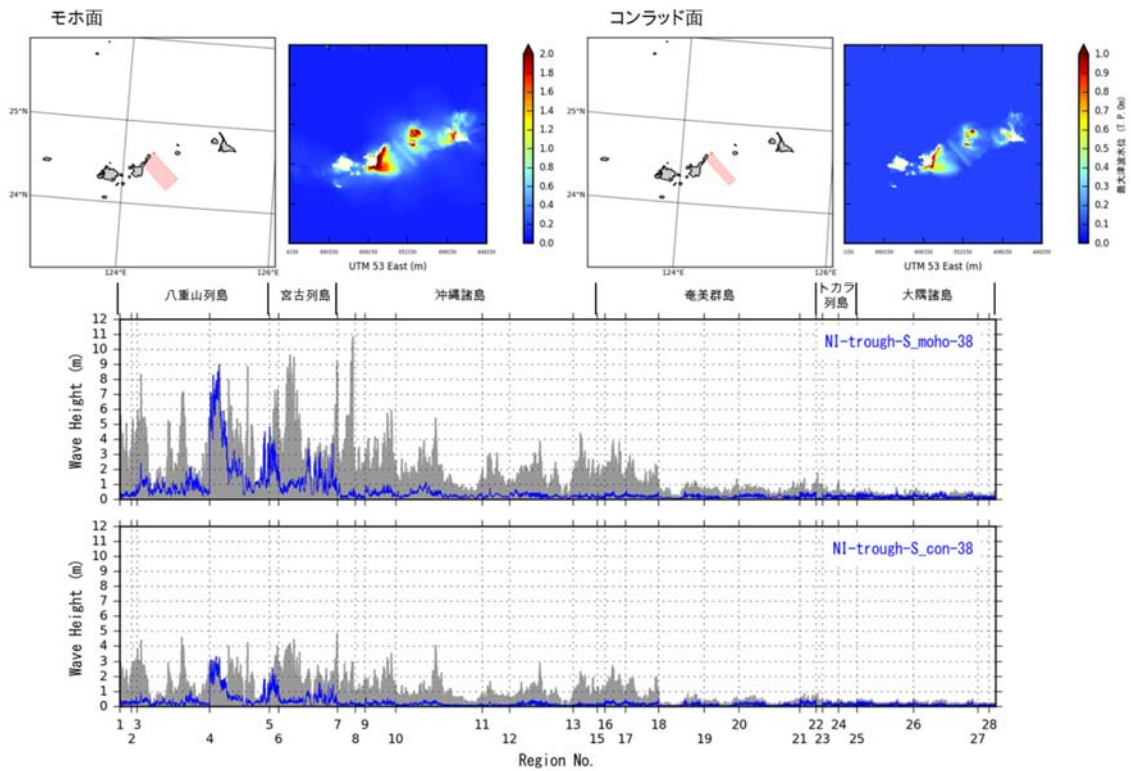


図 37-b 石垣島周辺の最大水位上昇量の包絡線。灰色はすべての断層モデル 142 波源で計算された包絡線。青色は断層モデル NI-trough-S38 の波源で計算された包絡線。上のグラフは断層下端深度をモホ面、下のグラフはコンラッド面とした場合の計算結果を示している。

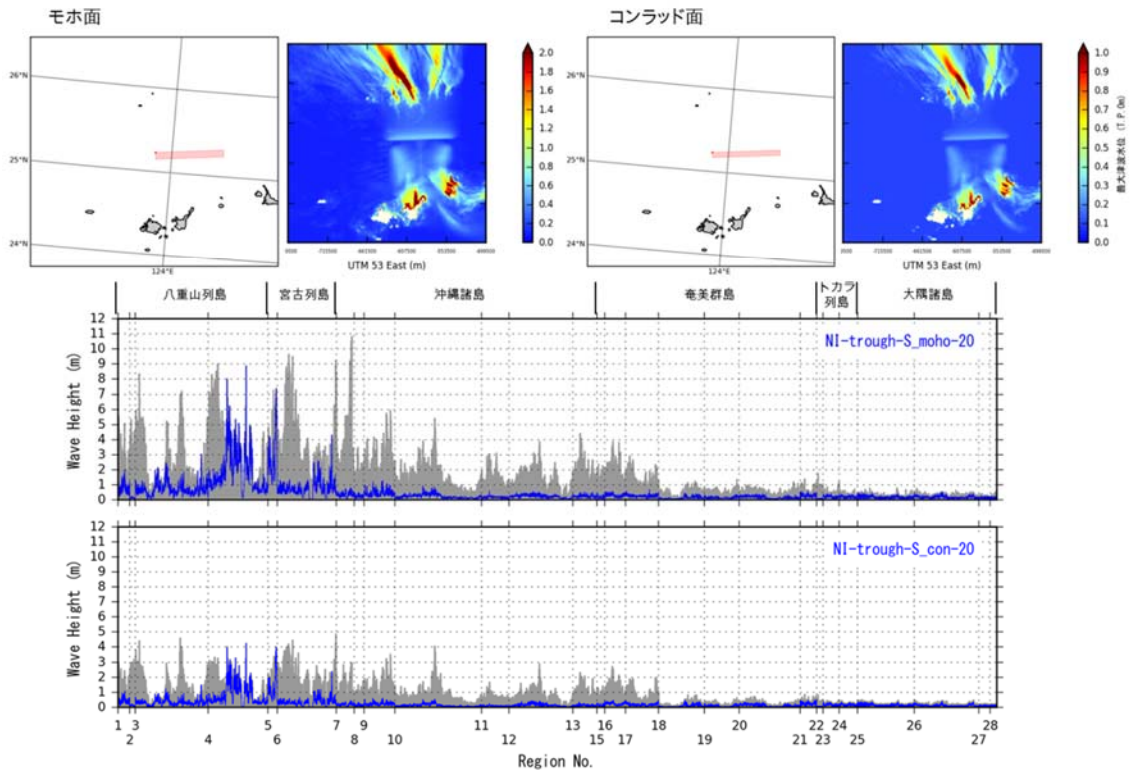


図 37-c 石垣島及び多良間島周辺の最大水位上昇量の包絡線。灰色はすべての断層モデル 142 波源で計算された包絡線。青色は断層モデル NI-trough-S20 の波源で計算された包絡線。上のグラフは断層下端深度をモホ面、下のグラフはコンラッド面とした場合の計算結果を示している。

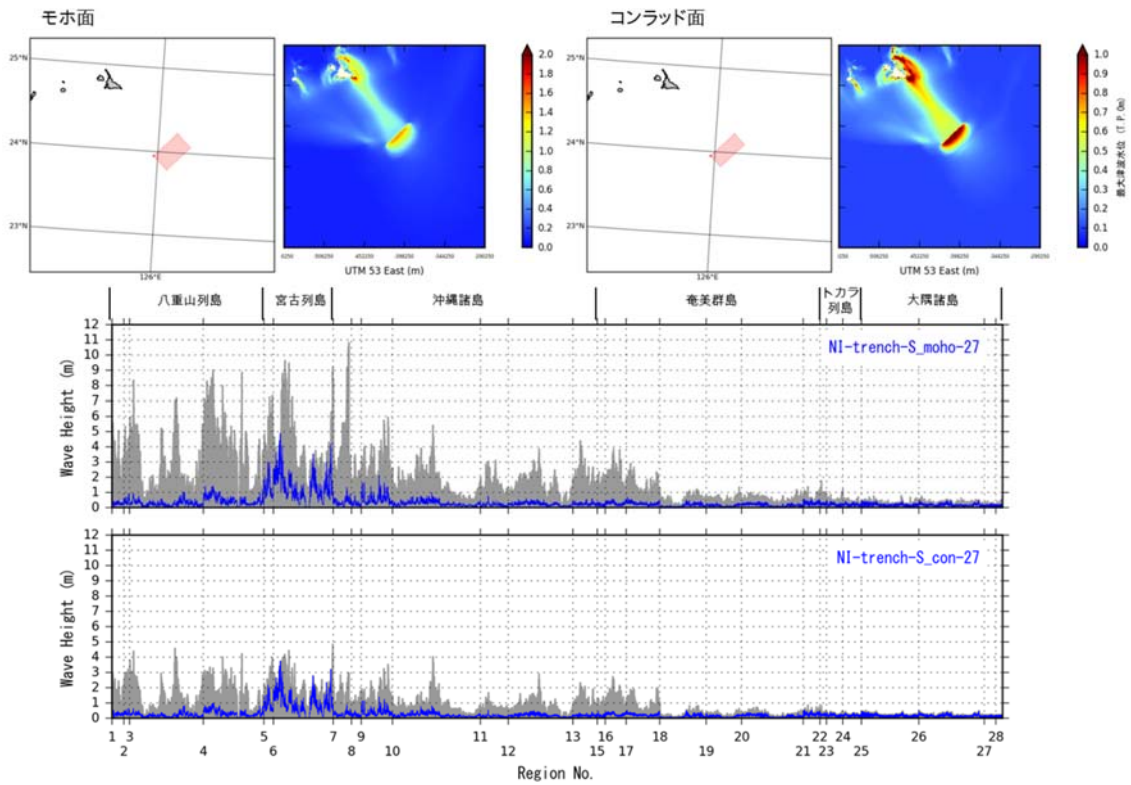


図 37-d 宮古島周辺の最大水位上昇量の包絡線。灰色はすべての断層モデル 142 波源で計算された包絡線。青色は断層モデル NI-trench-S27 の波源で計算された包絡線。上のグラフは断層下端深度をモホ面、下のグラフはコンラッド面とした場合の計算結果を示している。

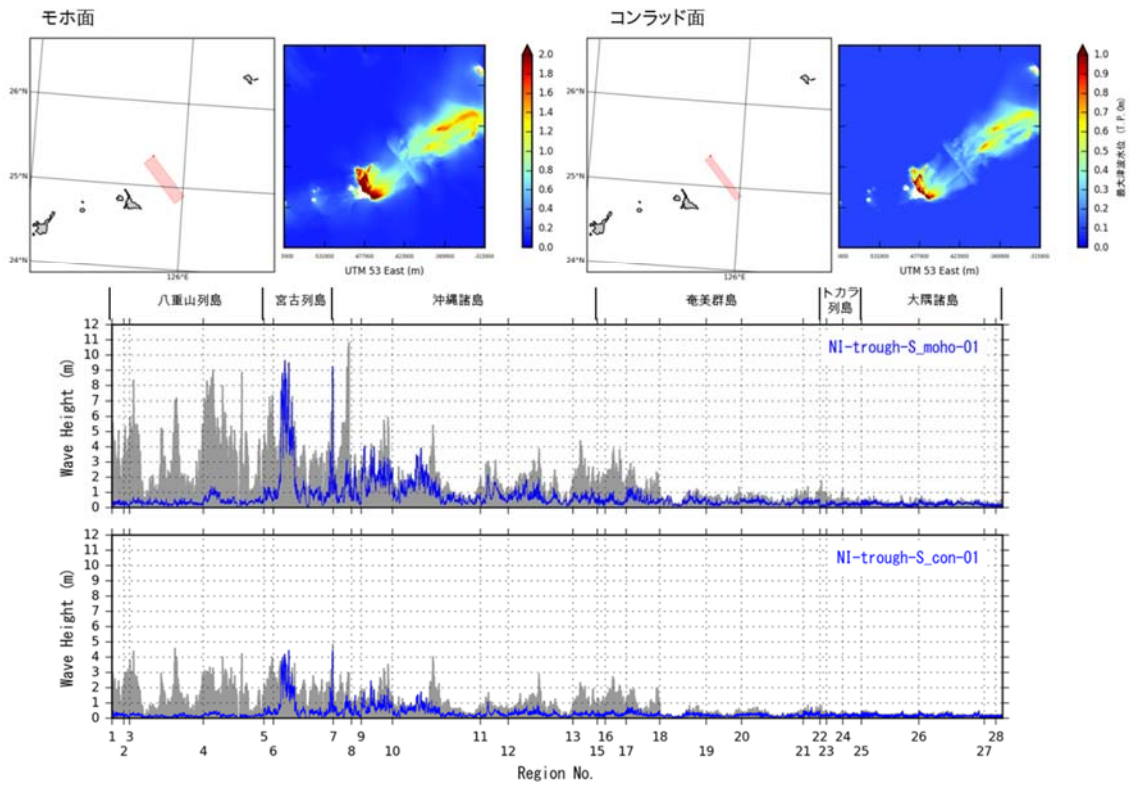


図 37-e 宮古島周辺の最大水位上昇量の包絡線。灰色はすべての断層モデル 142 波源で計算された包絡線。青色は断層モデル NI-trough-S01 の波源で計算された包絡線。上のグラフは断層下端深度をモホ面、下のグラフはコンラッド面とした場合の計算結果を示している。

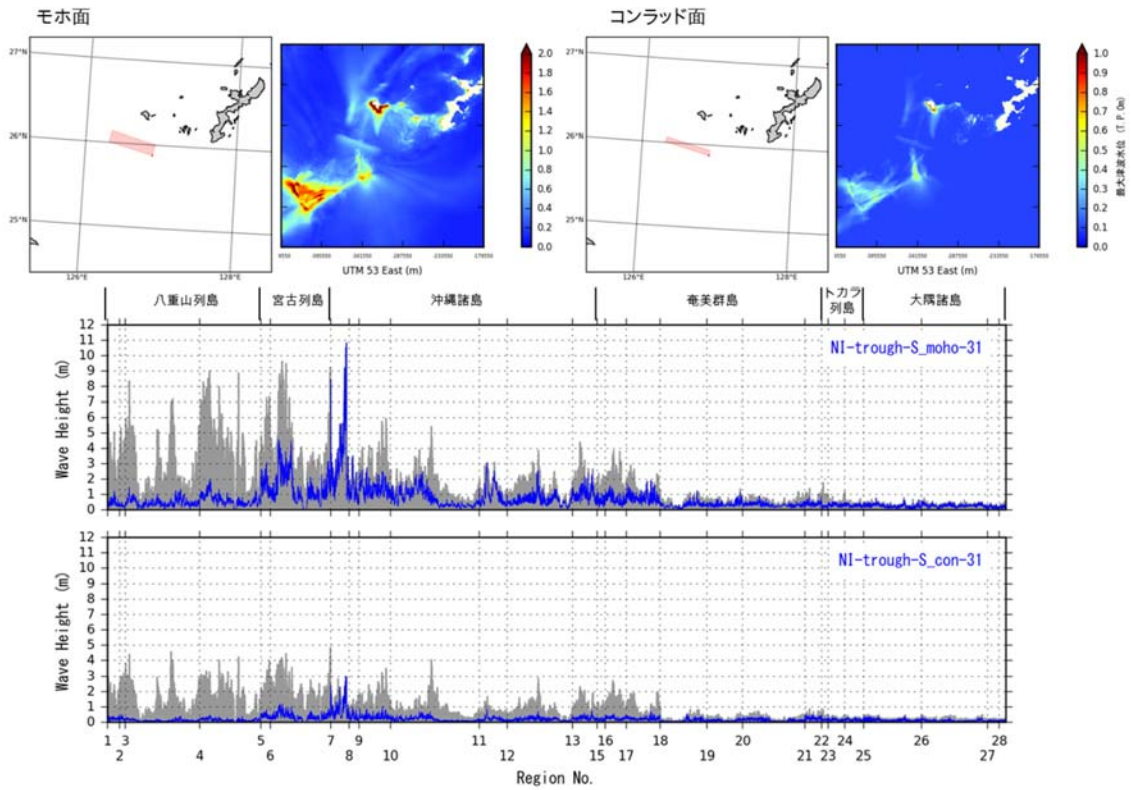


図 37-f 久米島周辺の最大水位上昇量の包絡線。灰色はすべての断層モデル 142 波源で計算された包絡線。青色は断層モデル NI-trough-S31 の波源で計算された包絡線。上のグラフは断層下端深度をモホ面、下のグラフはコンラッド面とした場合の計算結果を示している。

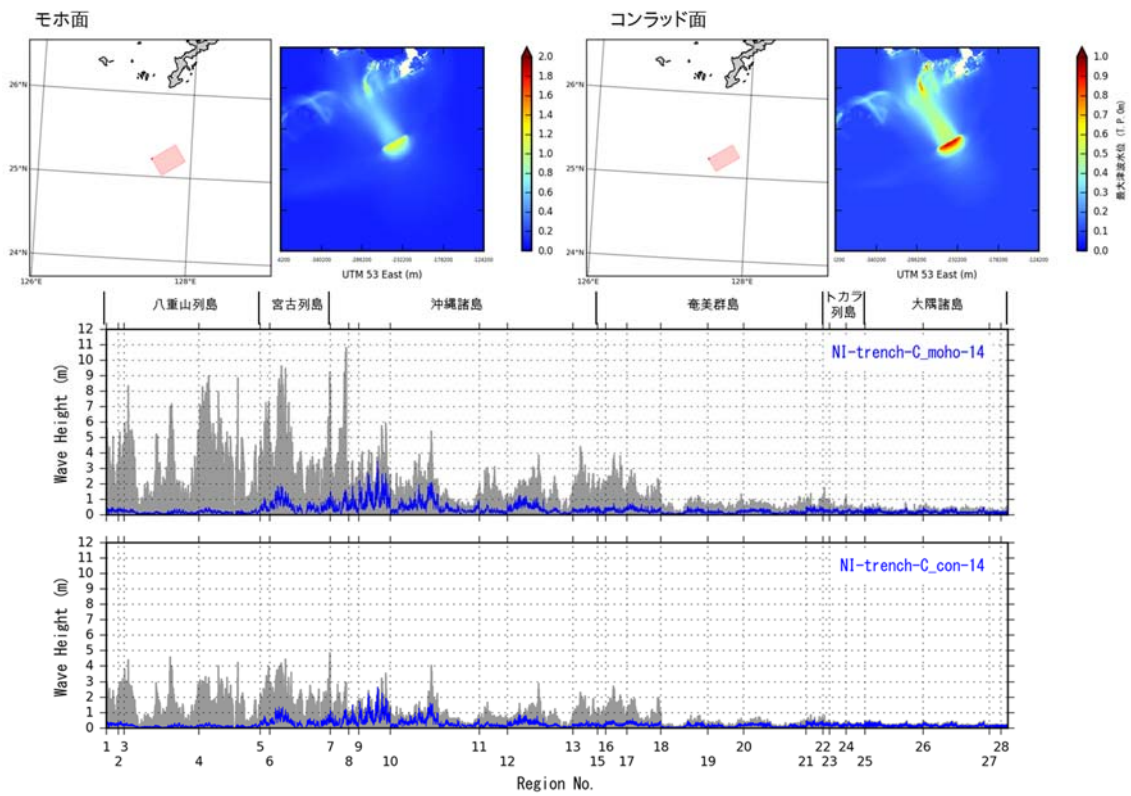


図 37-g 渡嘉敷島周辺の最大水位上昇量の包絡線。灰色はすべての断層モデル 142 波源で計算された包絡線。青色は断層モデル NI-trench-C14 の波源で計算された包絡線。上のグラフは断層下端深度をモホ面、下のグラフはコンラッド面とした場合の計算結果を示している。

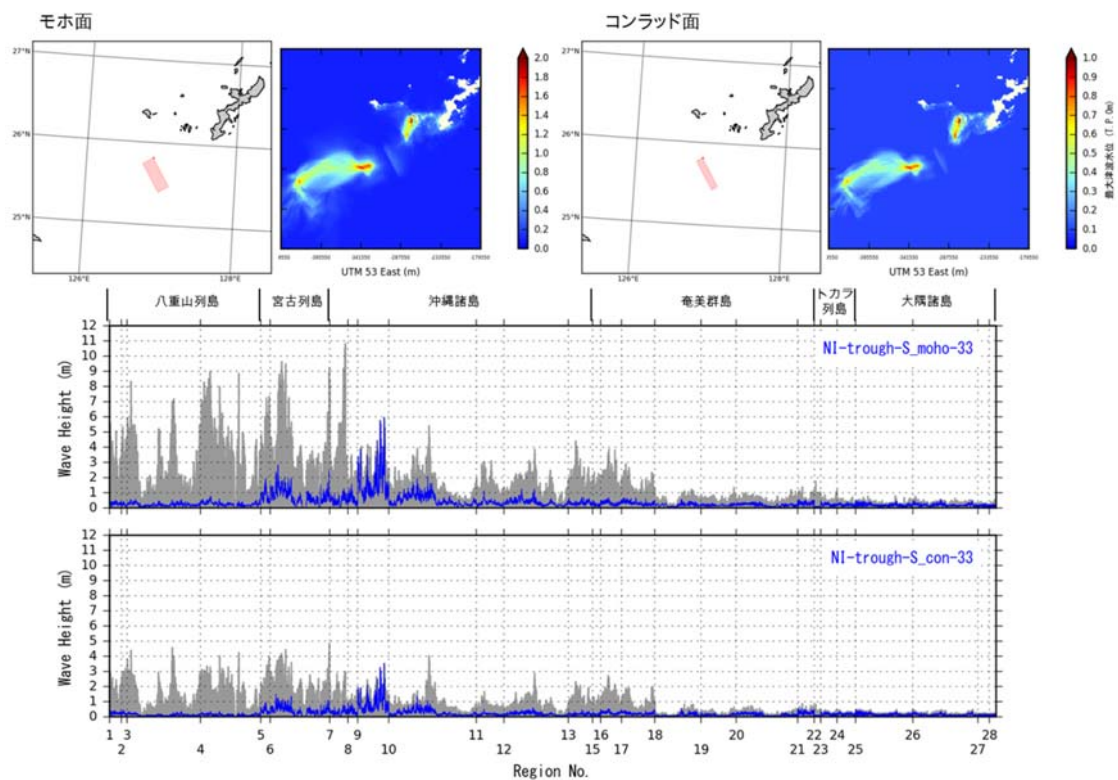


図 37-h 渡嘉敷島周辺の最大水位上昇量の包絡線。灰色はすべての断層モデル 142 波源で計算された包絡線。青色は断層モデル NI-trough-S33 の波源で計算された包絡線。上のグラフは断層下端深度をモホ面、下のグラフはコンラッド面とした場合の計算結果を示している。



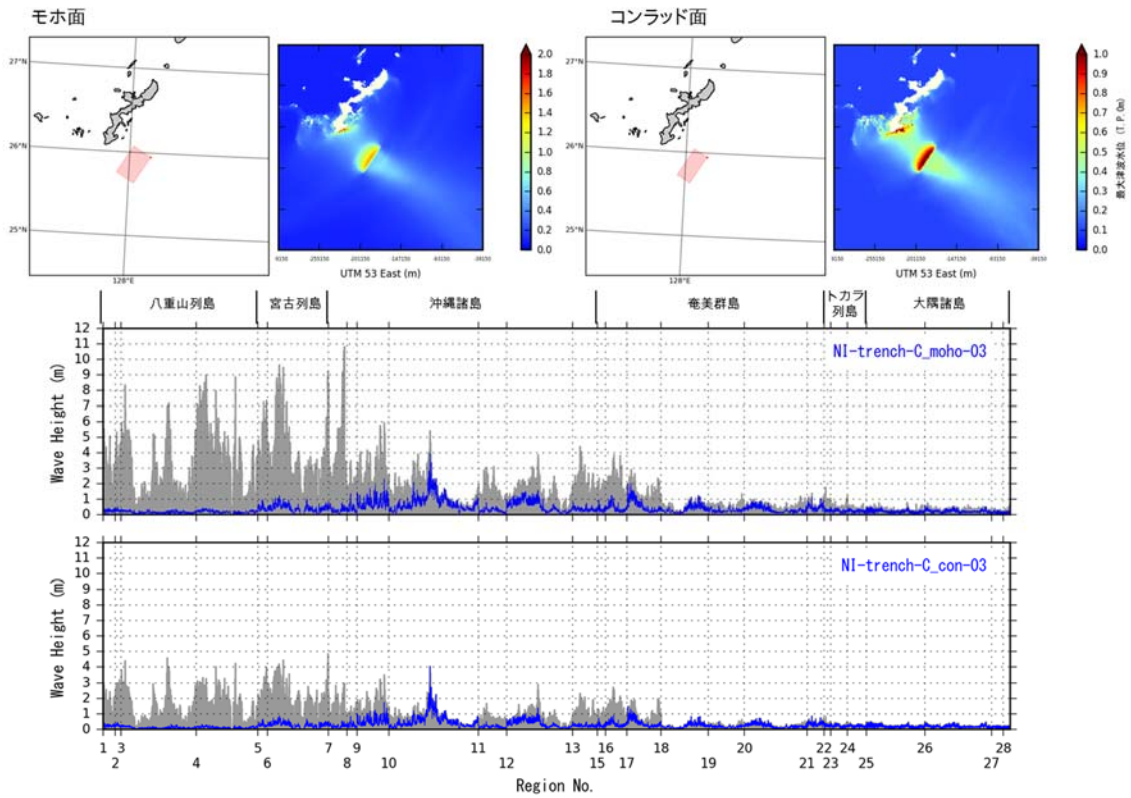


図 37-i 沖縄本島南部周辺の最大水位上昇量の包絡線。灰色はすべての断層モデル 142 波源で計算された包絡線。青色は断層モデル NI-trench-C03 の波源で計算された包絡線。上のグラフは断層下端深度をモホ面、下のグラフはコンラッド面とした場合の計算結果を示している。

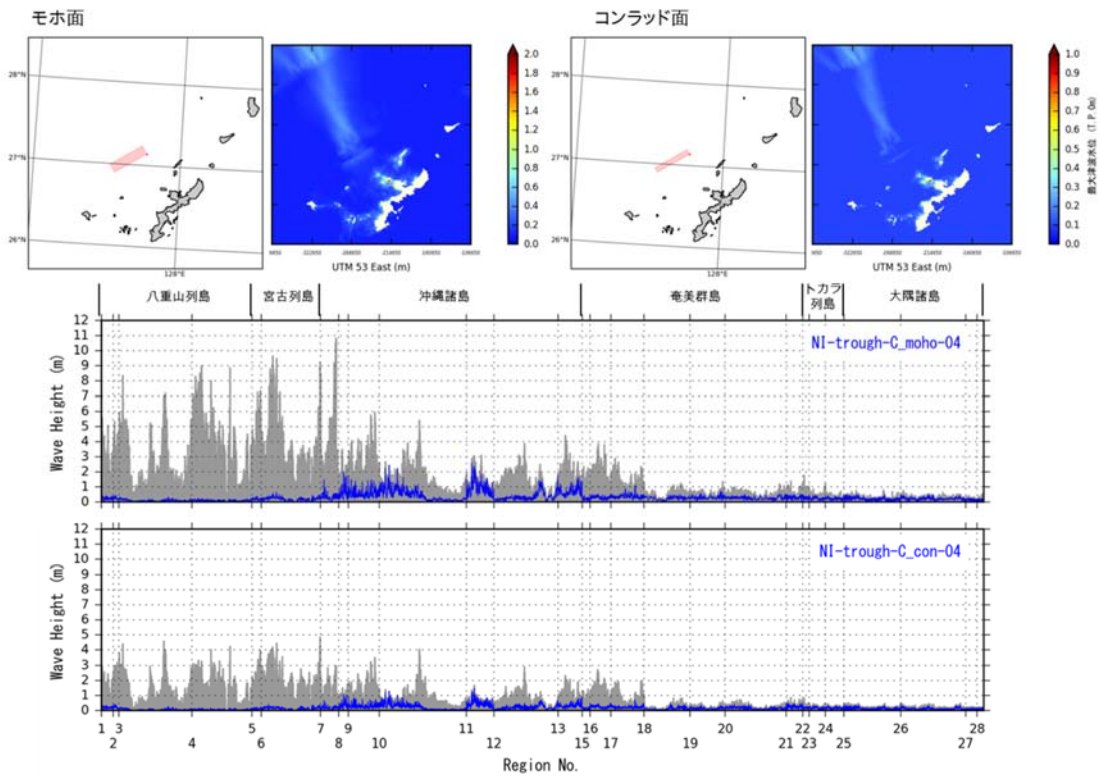


図 37-j 沖縄島本部半島周辺の最大水位上昇量の包絡線。灰色はすべての断層モデル 142 波源で計算された包絡線。青色は断層モデル NI-trough-C04 の波源で計算された包絡線。上のグラフは断層下端深度をモホ面、下のグラフはコンラッド面とした場合の計算結果を示している。

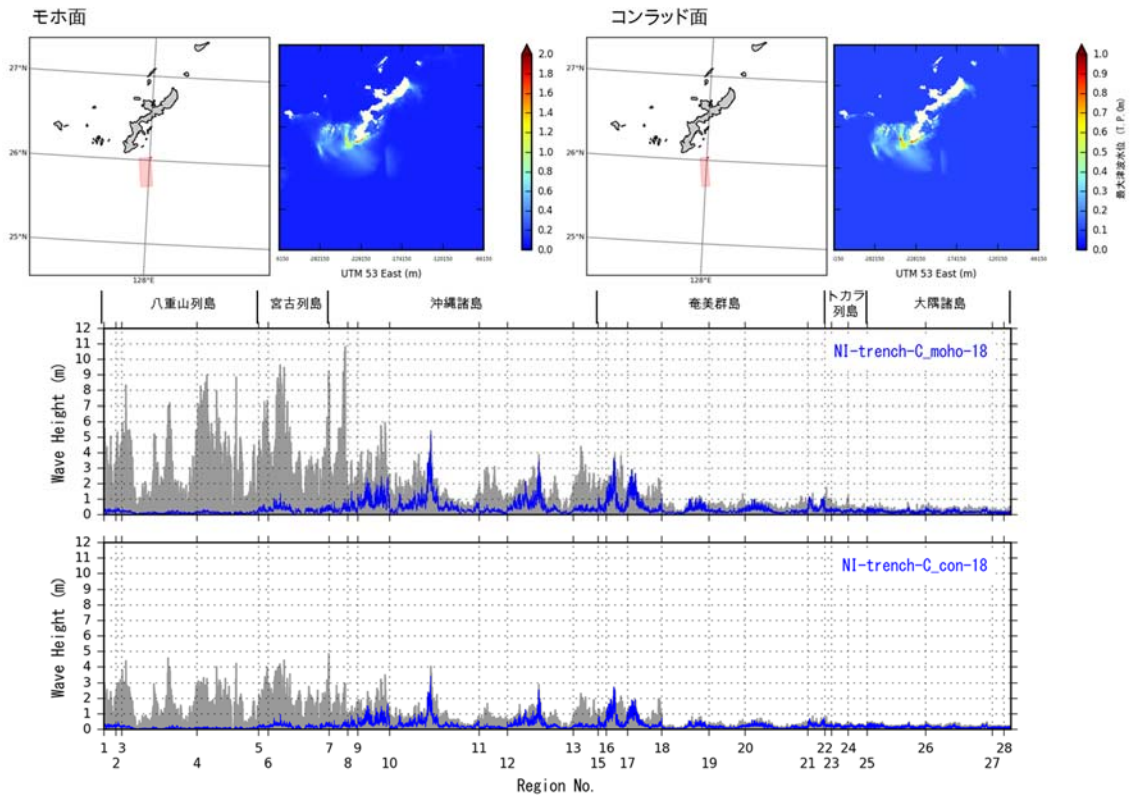


図 37-k 沖縄本島南部、北部及び沖永良部島、徳之島周辺の最大水位上昇量の包絡線。灰色はすべての断層モデル 142 波源で計算された包絡線。青色は断層モデル NI-trench-C18 の波源で計算された包絡線。上のグラフは断層下端深度をモホ面、下のグラフはコンラッド面とした場合の計算結果を示している。

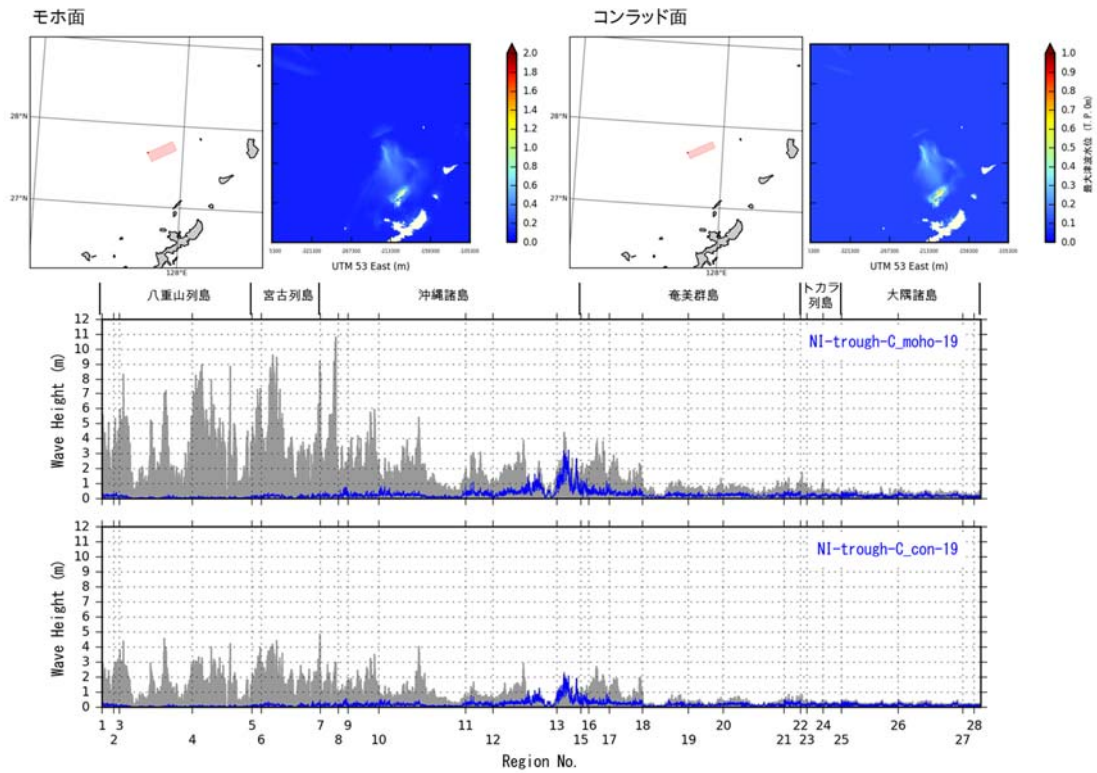


図 37-1 伊平屋島周辺の最大水位上昇量の包絡線。灰色はすべての断層モデル 142 波源で計算された包絡線。青色は断層モデル NI-trough-C19 の波源で計算された包絡線。上のグラフは断層下端深度をモホ面、下のグラフはコンラッド面とした場合の計算結果を示している。

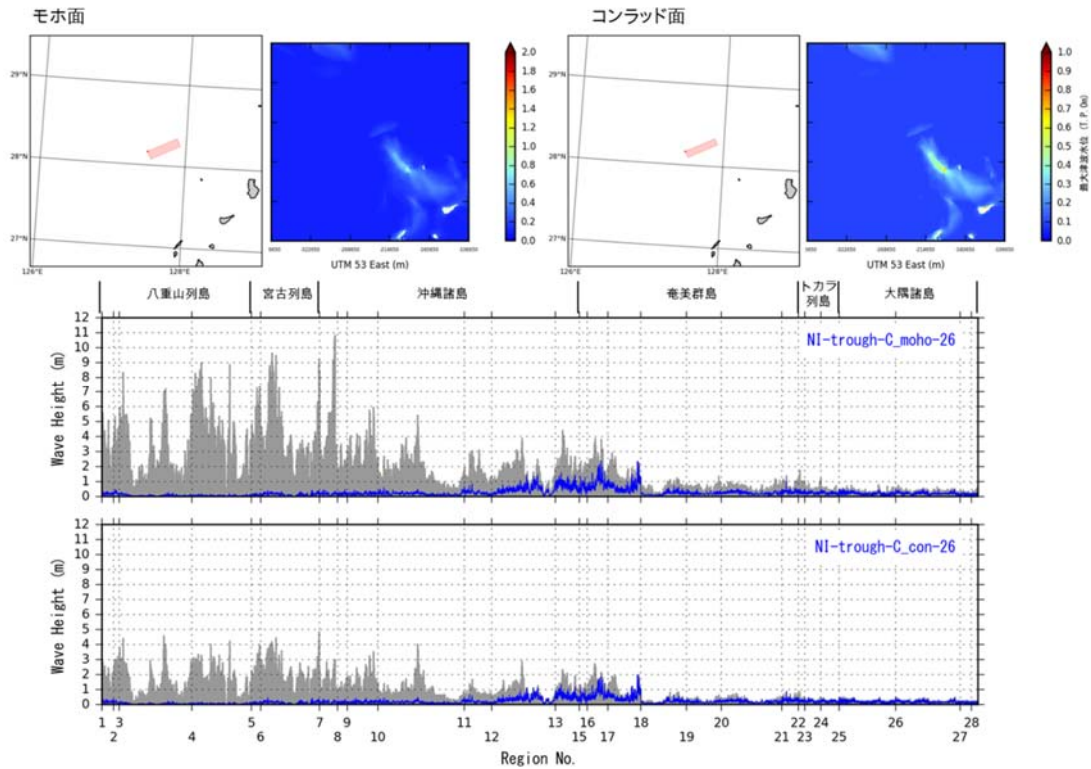


図 37-m 徳之島周辺の最大水位上昇量の包絡線。灰色はすべての断層モデル 142 波源で計算された包絡線。青色は断層モデル NI-trough-C26 の波源で計算された包絡線。上のグラフは断層下端深度をモホ面、下のグラフはコンラッド面とした場合の計算結果を示している。

## ii) 地震動の検証

断層モデルの検証に用いる過去に発生した地震はおおむね  $M7$  以上であり、津波痕跡データ及び地震動データの両方を参照することができるものとしているが、南西諸島周辺海域においては、過去に発生した地震津波による痕跡データで検証可能なものが存在しない(1)b)及び表 2 参照)ため、地震動のシミュレーションについても設定したすべての断層モデルについて計算を実施し、断層モデルから予測される地震動の強さの分布をまとめることで、そのおよその規模感を示すこととする。

また、モホ面モデルとコンラッド面モデルによる地震動強さの違いについて検証する。以下では、地震動の推定方法を説明し、比較結果を示す。

### ・地震動強さの推定方法

以下に、地震動強さの推定の計算方法を説明する。推定する地震動強さは次の 4 つである。

- ・工学的基盤 ( $V_s=400\text{m/s}$ ) における最大速度 (PGV)
- ・表層における PGV
- ・表層における最大加速度 (PGA)
- ・計測震度

①工学的基盤における PGV の算出

工学的基盤における PGV ( $PGV_{b400}$ ) の推定のため、まず司・翠川(1999)による距離減衰式によって硬質基盤 ( $V_s=600\text{m/s}$ ) における PGV ( $PGV_{b600}$ ) を推定する。

$$\log PGV_{b600} = 0.58M_w + 0.0038H + d - 1.29 - \log(X + 0.0028 \times 10^{0.5M_w}) - 0.002X \quad (1)$$

ここで、 $X$ は断層最短距離、 $H$ は震源深さ、 $d$ は断層タイプごとの定数(地殻内地震は0)である。 $PGV_{b400}$ は(1)式で求めた $PGV_{b600}$ に、硬質基盤から工学的基盤までの速度の増幅率 1.41 を乗じて求める。

$$PGV_{b400} = PGV_{b600} \times 1.41 \quad (2)$$

②表層における PGV の算出

表層における PGV ( $PGV_s$ ) は、工学的基盤における PGV に対し工学的基盤から表層までの速度の増幅率 $ARV$ を乗じて求める。

$$PGV_s = PGV_{b400} \times ARV \quad (3)$$

$ARV$ の値は、藤本・翠川(2006)による AVS30(微地形区分から算出した、地表から深さ 30m までの平均 S 波速度)と地盤増幅率の関係式により算出する。AVS30 及び $ARV$ の分布データは、J-SHIS で公表されている 250m メッシュ別の分布データ(Wakamatsu and Matsuoka, 2013)を用いる。 $ARV$ の分布図を図 38 に示す。

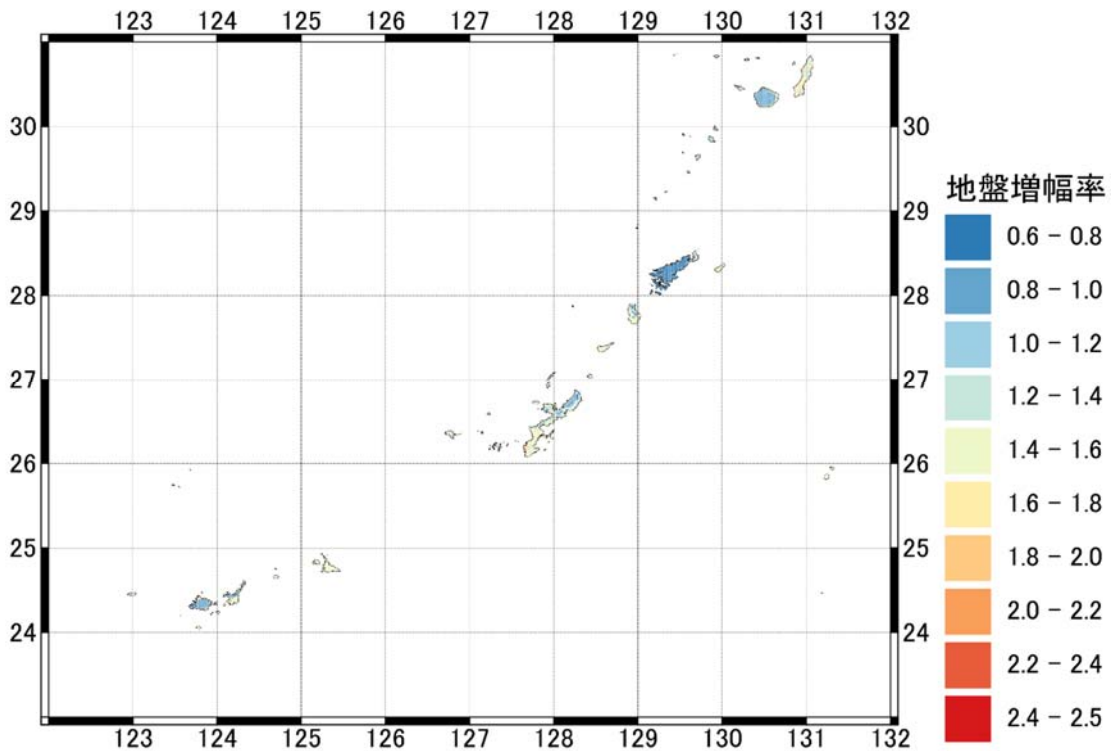


図 38 南西諸島における地盤増幅率の分布図。

③表層における PGA の算出

表層における PGA( $PGA_s$ )は、司・翠川(1999)による距離減衰式によって推定する。

$$\log PGA_s = 0.50Mw + 0.0043H + d + 0.61 - \log(X + 0.0055 \times 10^{0.5Mw}) - 0.003X \quad (4)$$

④計測震度の算出

計測震度( $I$ )は今回対象とする地震が地殻内地震(地震カテゴリーⅢ)であることから、表層基盤での PGV を用いて藤本・翠川(2005)の経験的關係式により推定する。

$$I = 2.002 + 2.603 \log PGV_s - 0.213(\log PGV_s)^2 \quad (5)$$

・地震動の検証結果

図 39～図 41 に設定した全ての断層モデルによる計測震度、工学的基盤における PGV、表層における PGA の最大値の分布図を示す。全てのモデルの最大値分布では、宮古島周辺で最も地震動強さが大きくなり、計測震度は 6.0 以上となった。

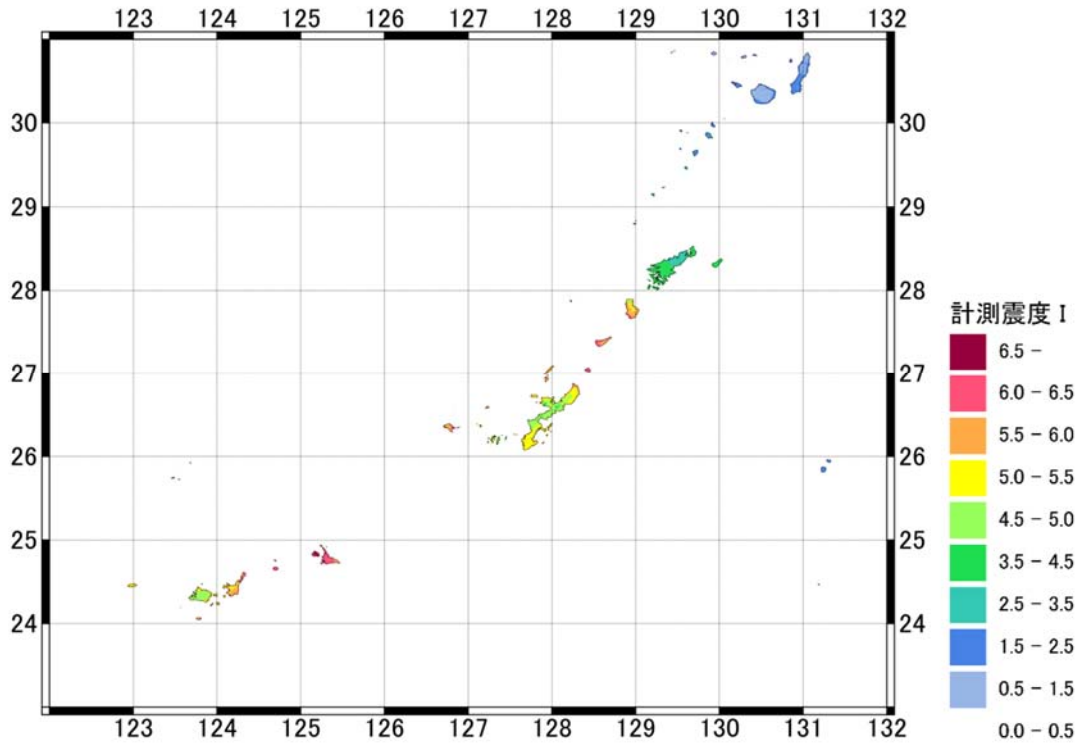


図 39 全ての断層モデルの計測震度の最大値分布。



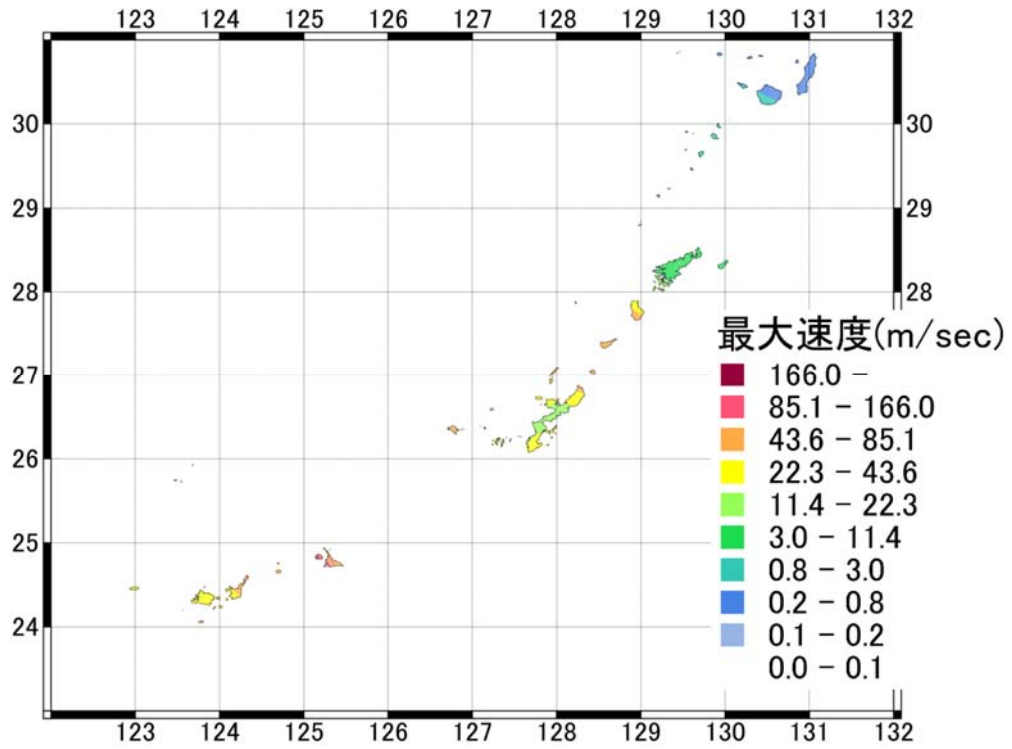


図 40 全ての断層モデルの工学的基盤 PGV の最大値分布

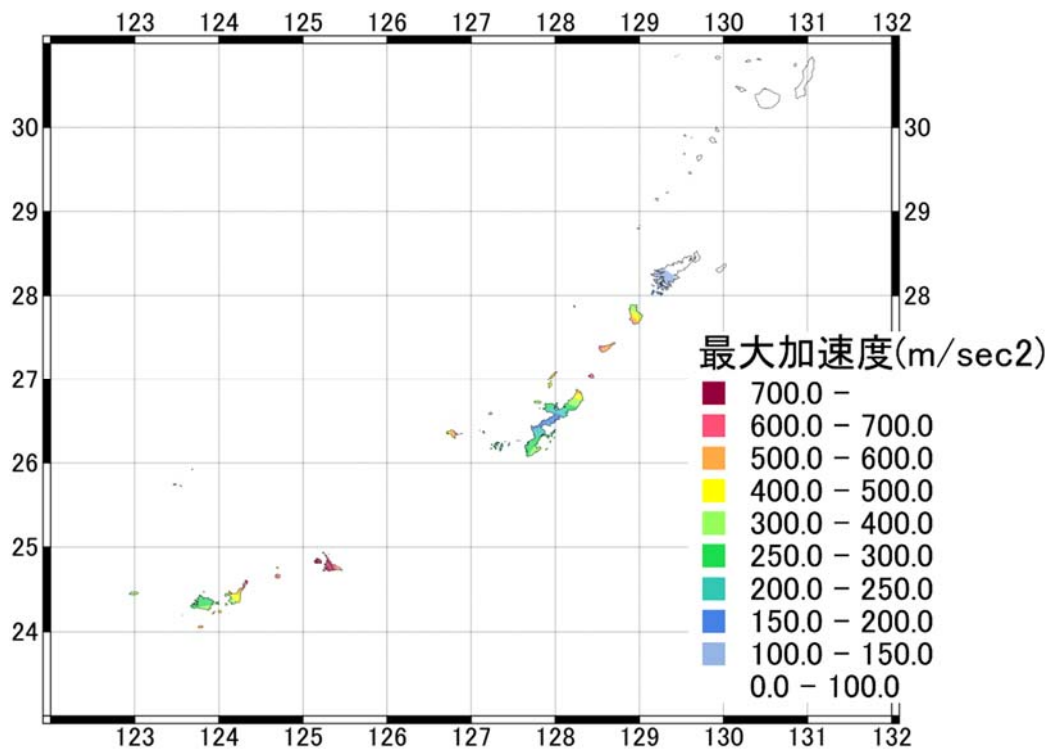


図 41 全ての断層モデルの表層 PGA の最大値分布

・コンラッド面モデルとモホ面モデルの比較

次に、表 17 に示  $M_w$  の大きい 6 個のモデルについて、コンラッド面モデルとモホ面モデルの地震動強さの比較を行った。図 42～図 47 に、両モデルの計測震度分布図を示す。モホ面モデルの方が、マグニチュードが大きくなるため、計測震度が大きくなることが分かる。

次に、工学的基盤における  $PGV(PGV_{b400})$  と表層における  $PGA(PGA_s)$  について、コンラッド面モデルに対するモホ面モデルの比の分布を調べた(図 48～図 53)。両モデルにおける  $PGV_{b400}$  及び  $PGA_s$  の比の分布には次のような傾向があった。

- ①  $M_w$  の差が大きいほど比が大きい
- ② 断層距離が離れるほど比が大きい

①は(1)式及び(4)式に示す距離減衰式の第一項の影響であり、②については第五項の影響である。

表 17 地震動強さの検証を行った断層モデル(モデル名はモホ面モデルのみ標記)

モデル名	コンラッド面モデル			モホ面モデル		
	下端 (km)	幅 (km)	$M_w$	下端 (km)	幅 (km)	$M_w$
NI-trough-C_moho-23	12	13.86	6.91	25	28.87	7.33
NI-trough-C_moho-25	12	13.86	6.83	24	27.71	7.23
NI-trough-S_moho-01	16	18.48	7.23	28	32.33	7.62
NI-trough-S_moho-20	12	13.86	7.23	16	18.48	7.54
NI-trough-S_moho-26	12	13.86	7.04	16	18.48	7.21
NI-trough-S_moho-38	20	23.09	7.16	38	43.88	7.61

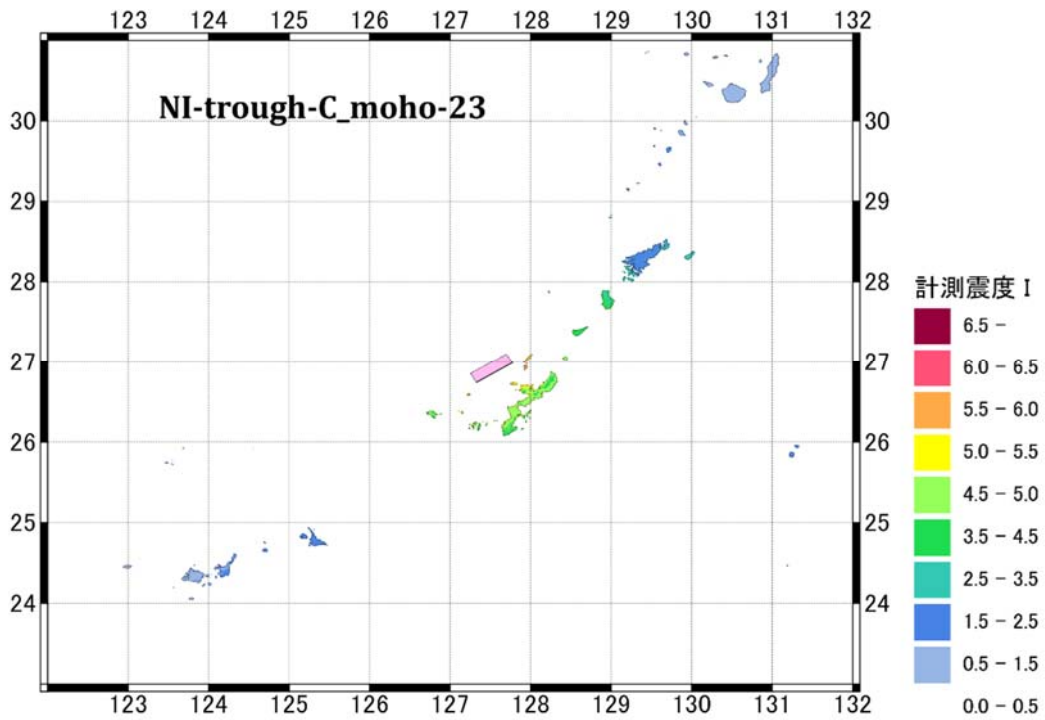
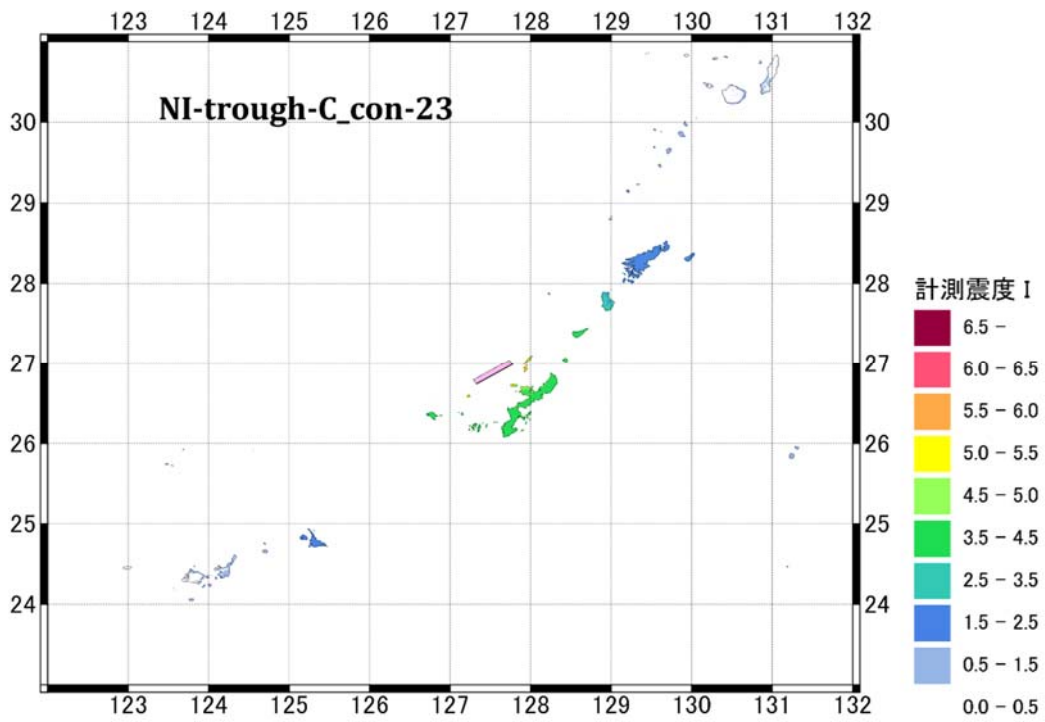


図 42 コンラッド面モデルとモホ面モデルの計測震度分布の比較 (NI-trough-C\_con-23 と NI-trough-C\_moho-23)。

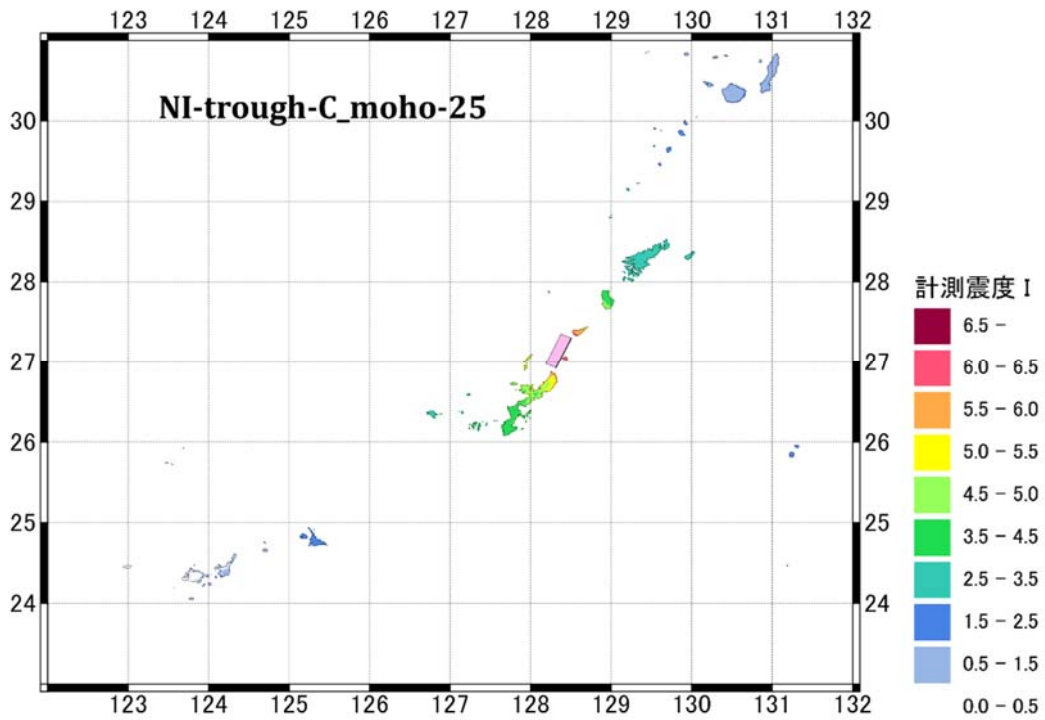
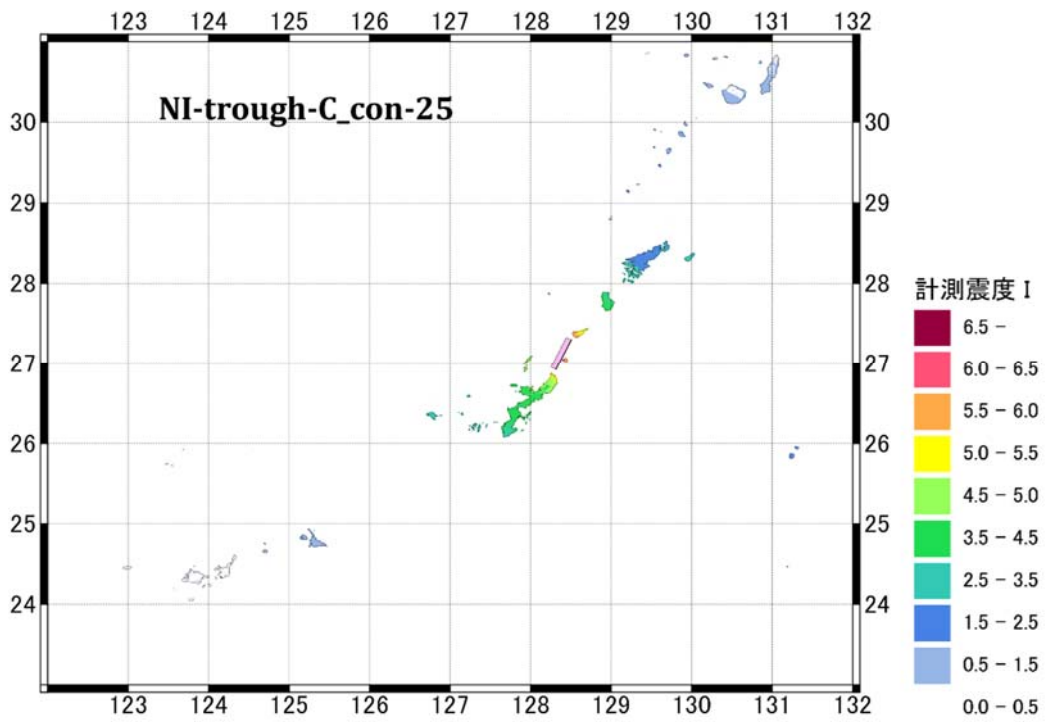


図 43 コンラッド面モデルとモホ面モデルの計測震度分布の比較 (NI-trough-C\_con-25 と NI-trough-C\_moho-25)。

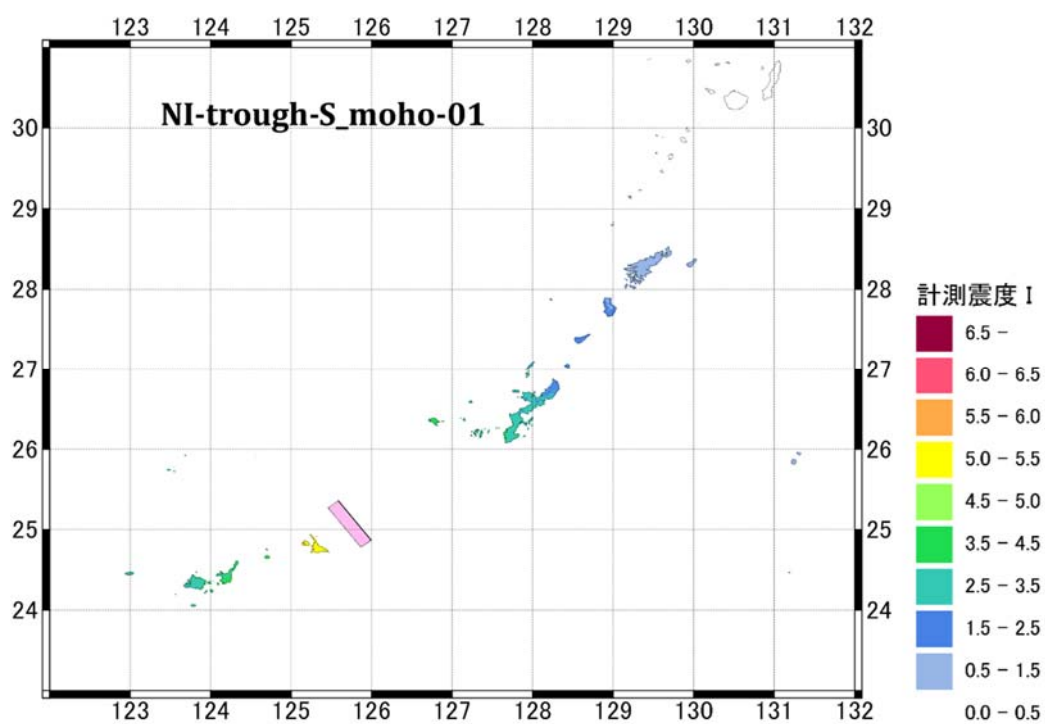
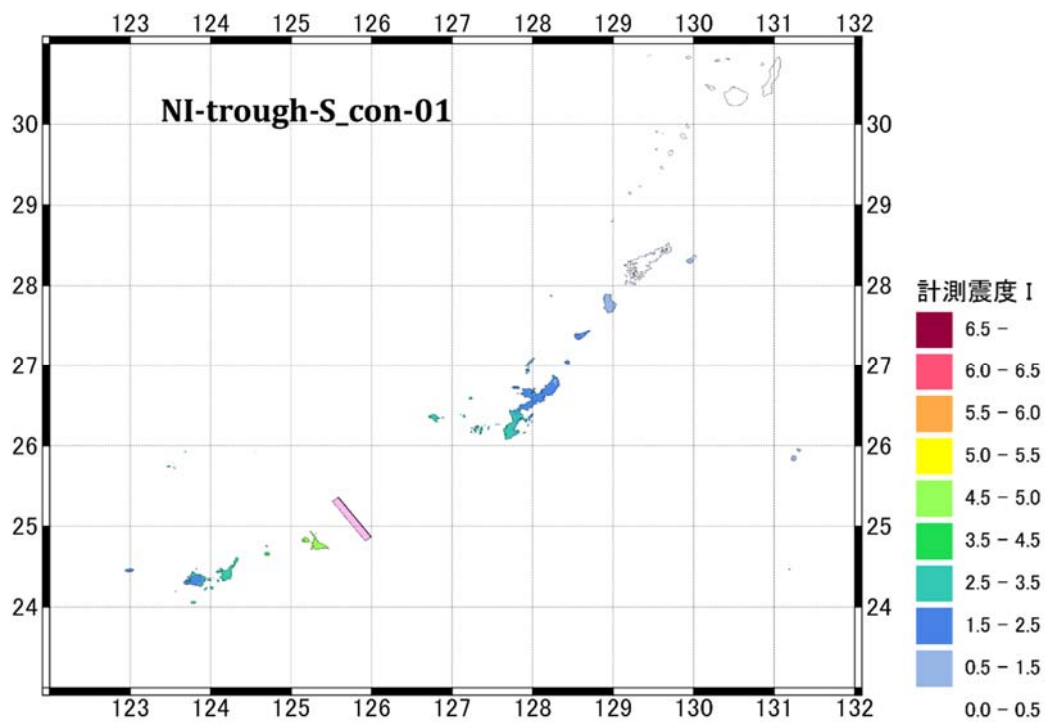


図 44 コンラッド面モデルとモホ面モデルの計測震度分布の比較 (NI-trough-S\_con-01 と NI-trough-S\_moho-01)。

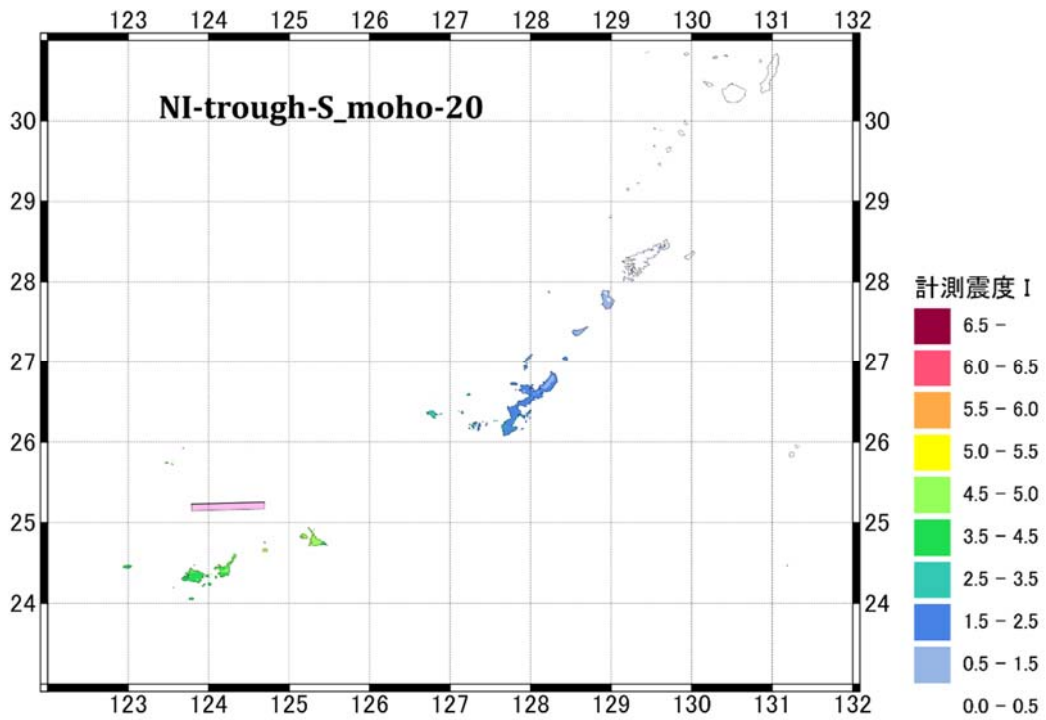
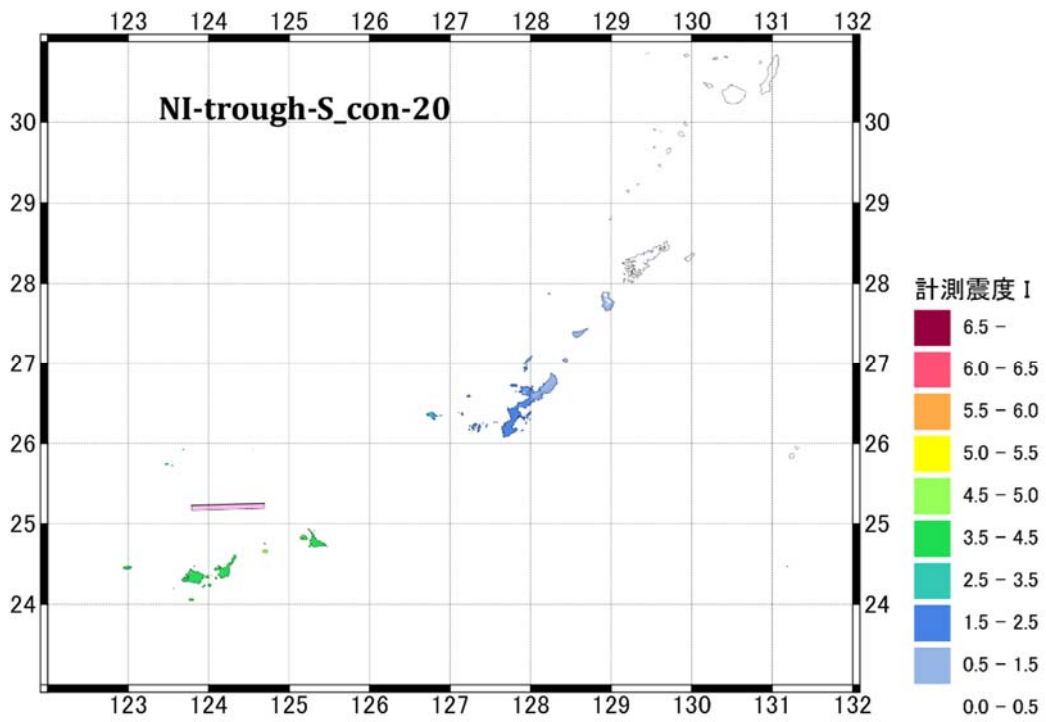


図 45 コンラッド面モデルとモホ面モデルの計測震度分布の比較 (NI-trough-S\_con-20 と NI-trough-S\_moho-20)。

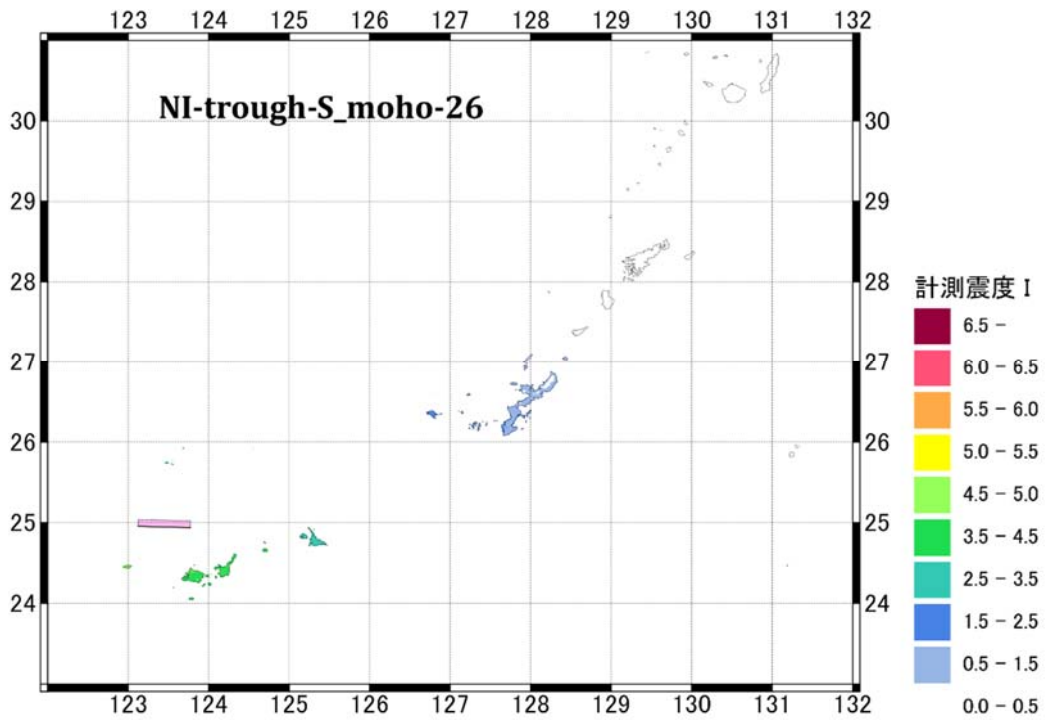
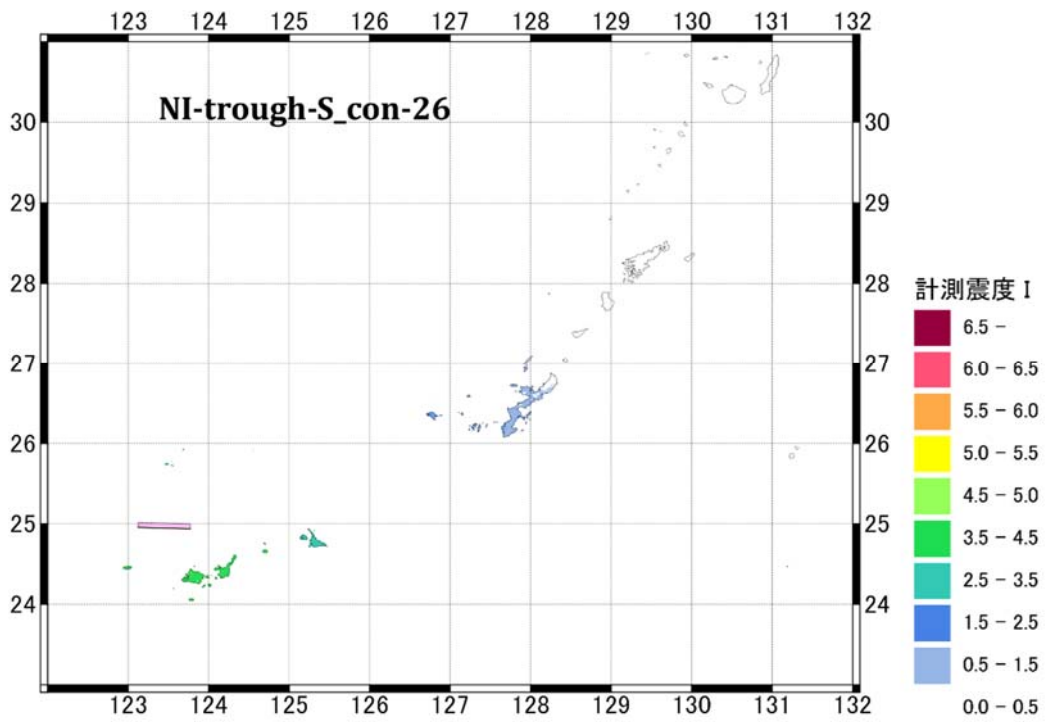


図 46 コンラッド面モデルとモホ面モデルの計測震度分布の比較 (NI-trough-S\_con-26 と NI-trough-S\_moho-26)。

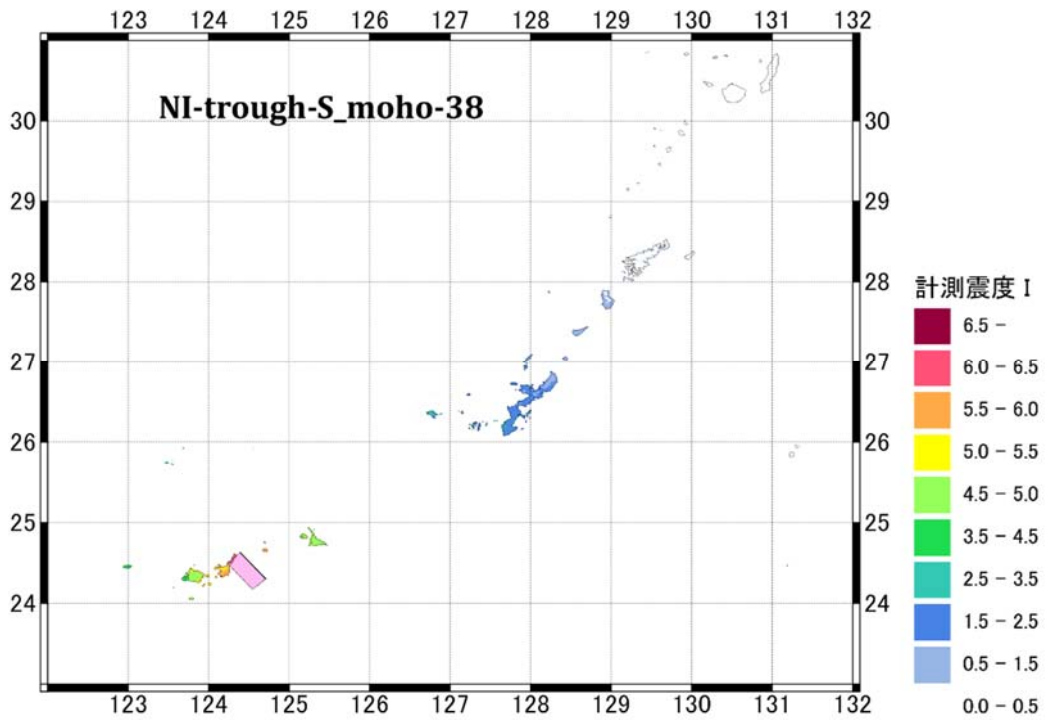
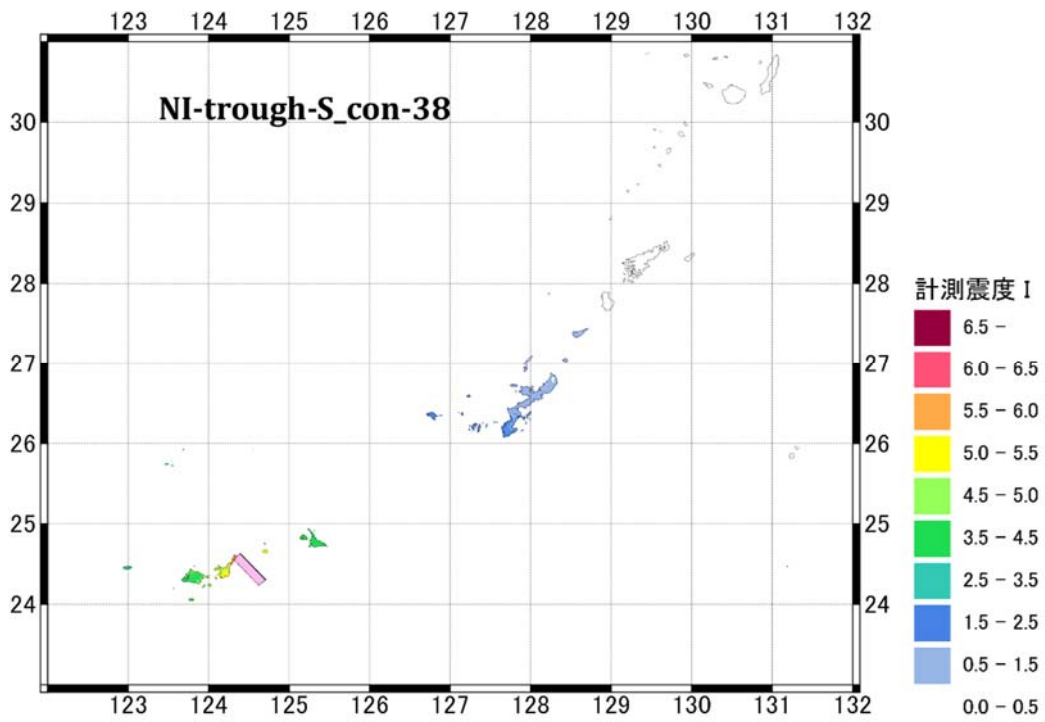


図 47 コンラッド面モデルとモホ面モデルの計測震度分布の比較 (NI-trough-S\_con-38 と NI-trough-S\_moho-38)。



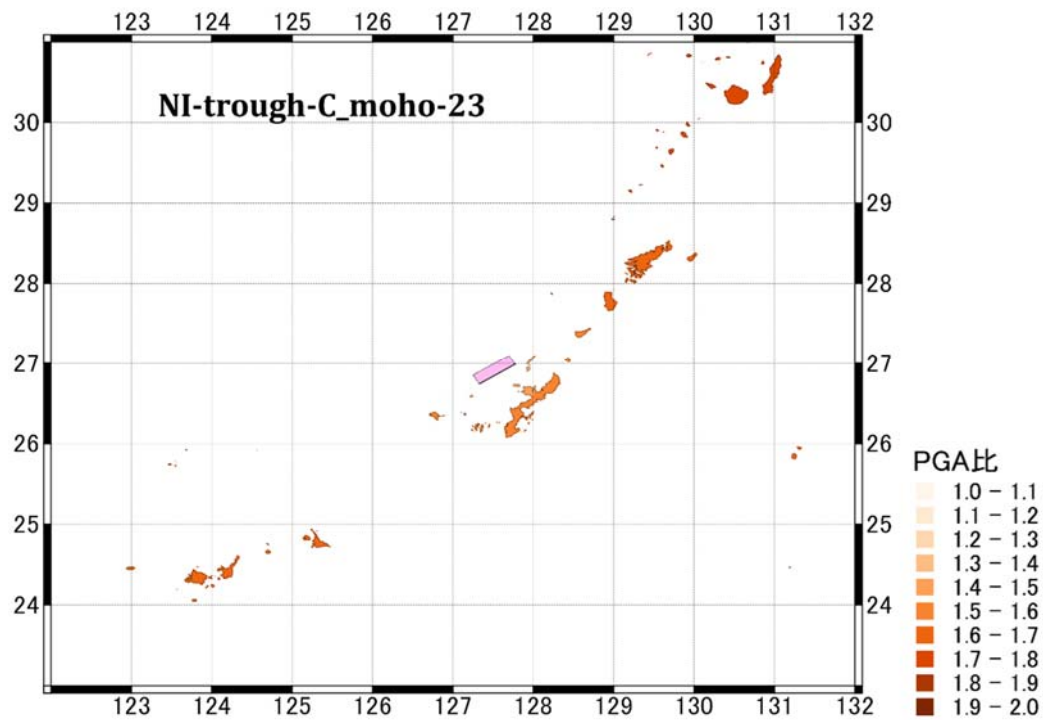
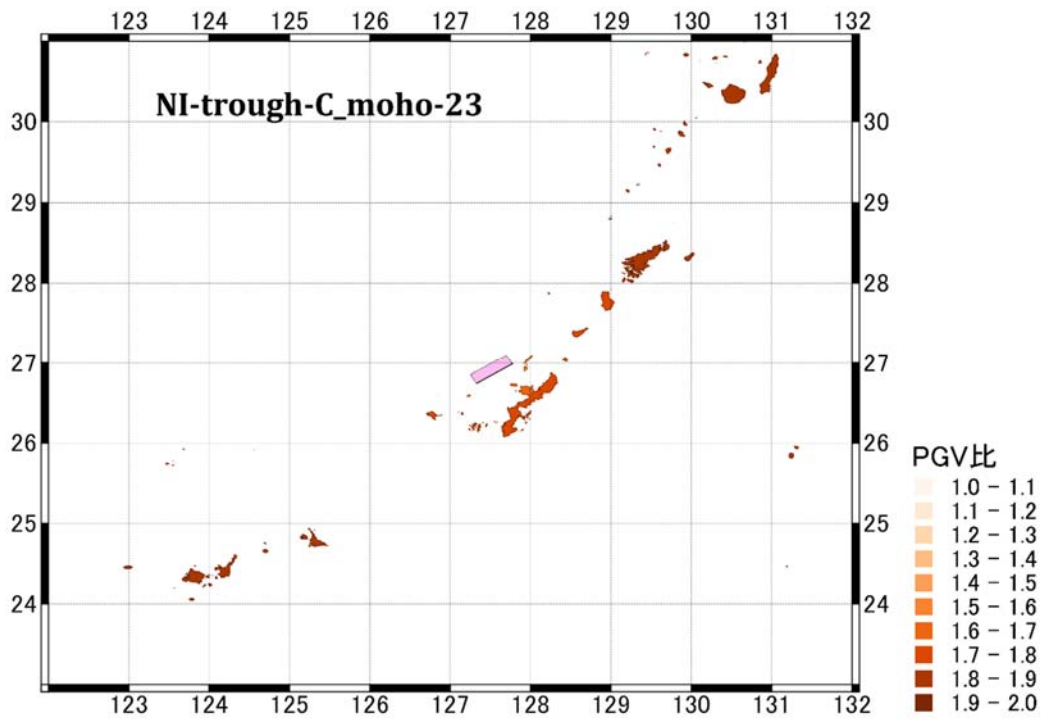


図 48 コンラッド面モデルとモホ面モデルの工学的基盤における PGV と表層における PGA の比の分布図 (NI-trough-C\_con-23 と NI-trough-C\_moho-23)。

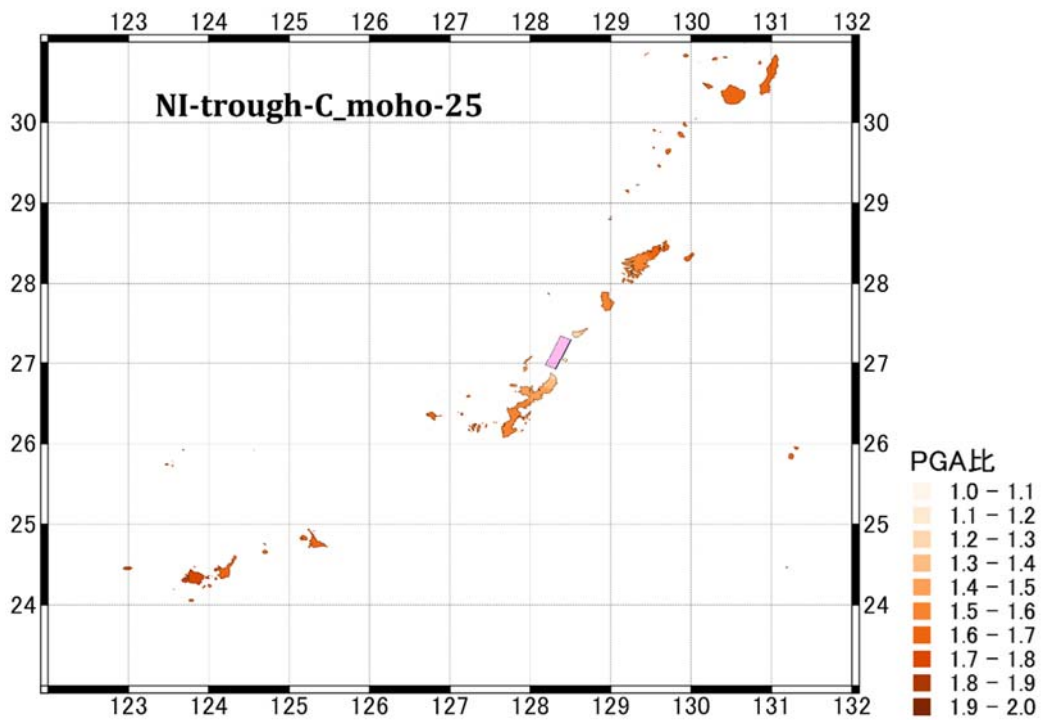
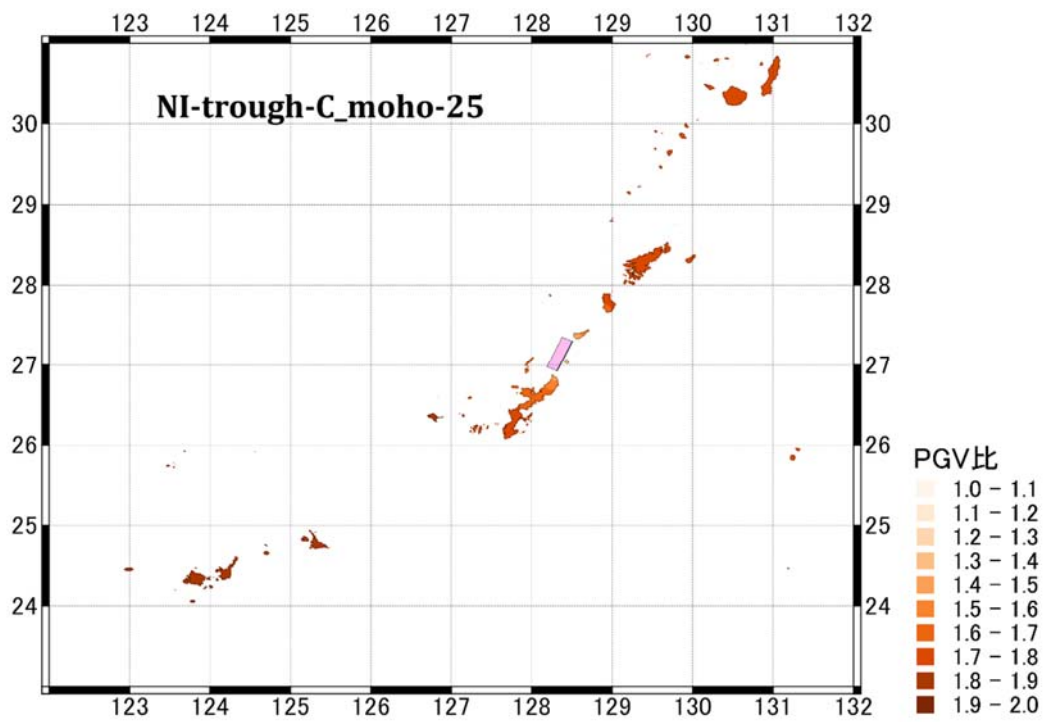


図 49 コンラッド面モデルとモホ面モデルの工学的基盤における PGV と表層における PGA の比の分布図 (NI-trough-C\_con-25 と NI-trough-C\_moho-25)。

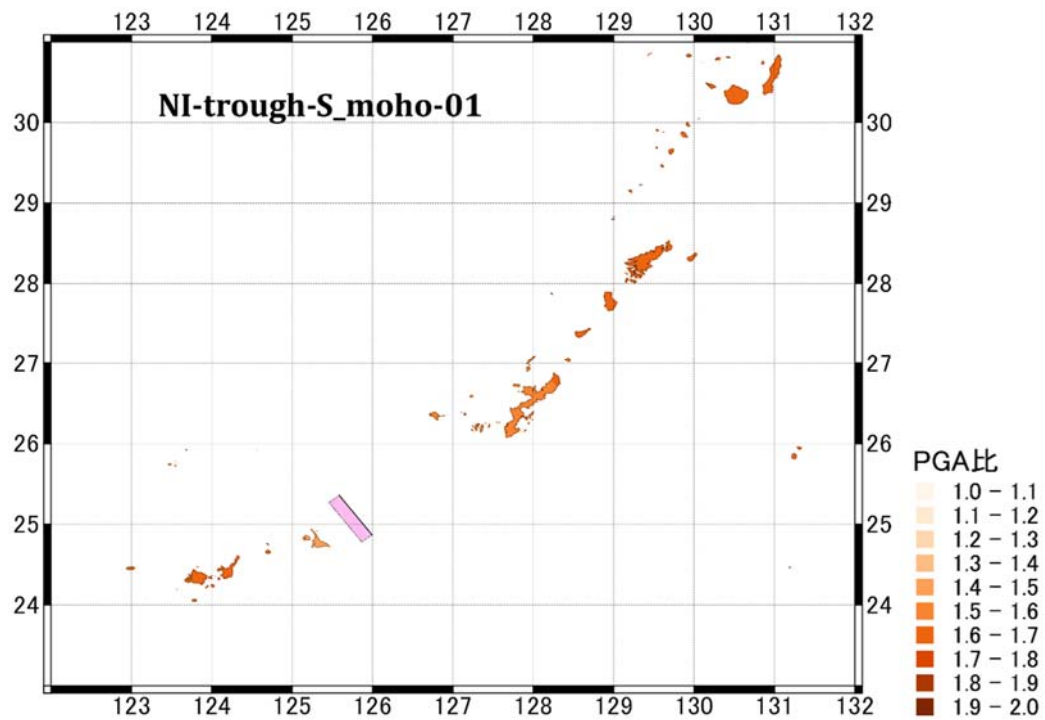
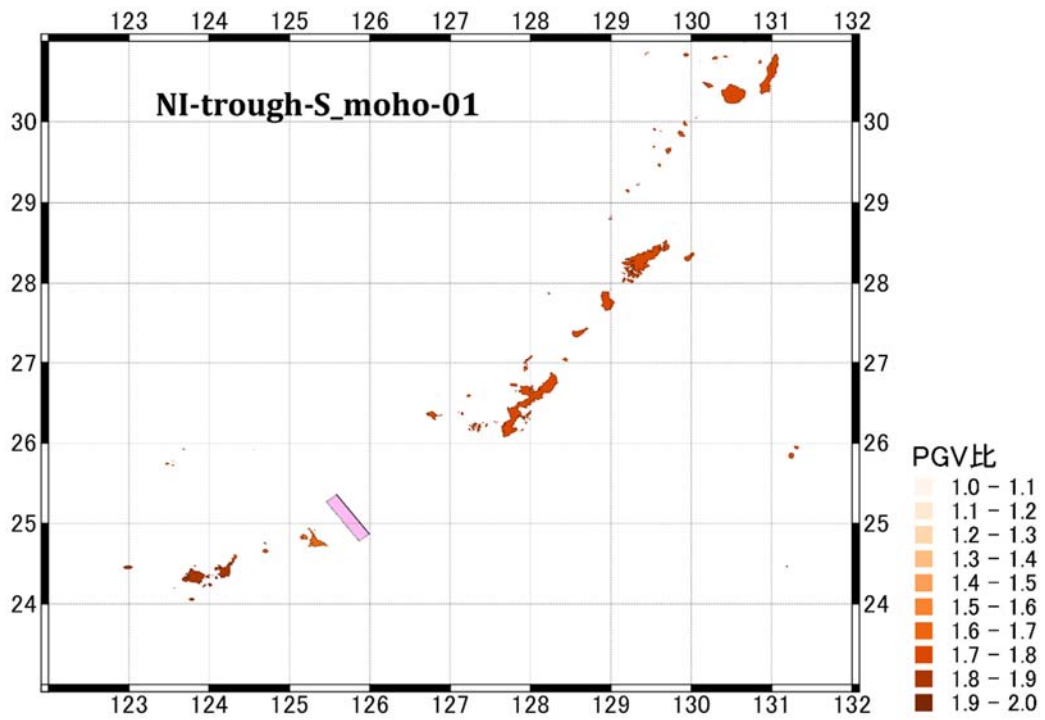


図 50 コンラッド面モデルとモホ面モデルの工学的基盤における PGV と表層における PGA の比の分布図 (NI-trough-S\_con-01 と NI-trough-S\_moho-01)。

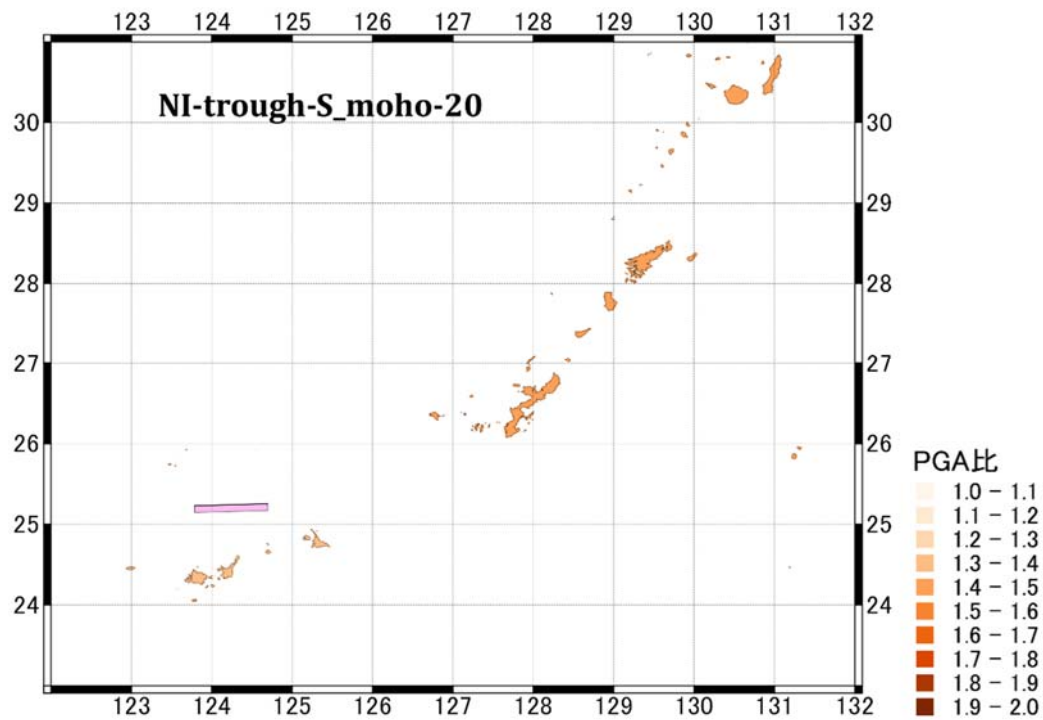
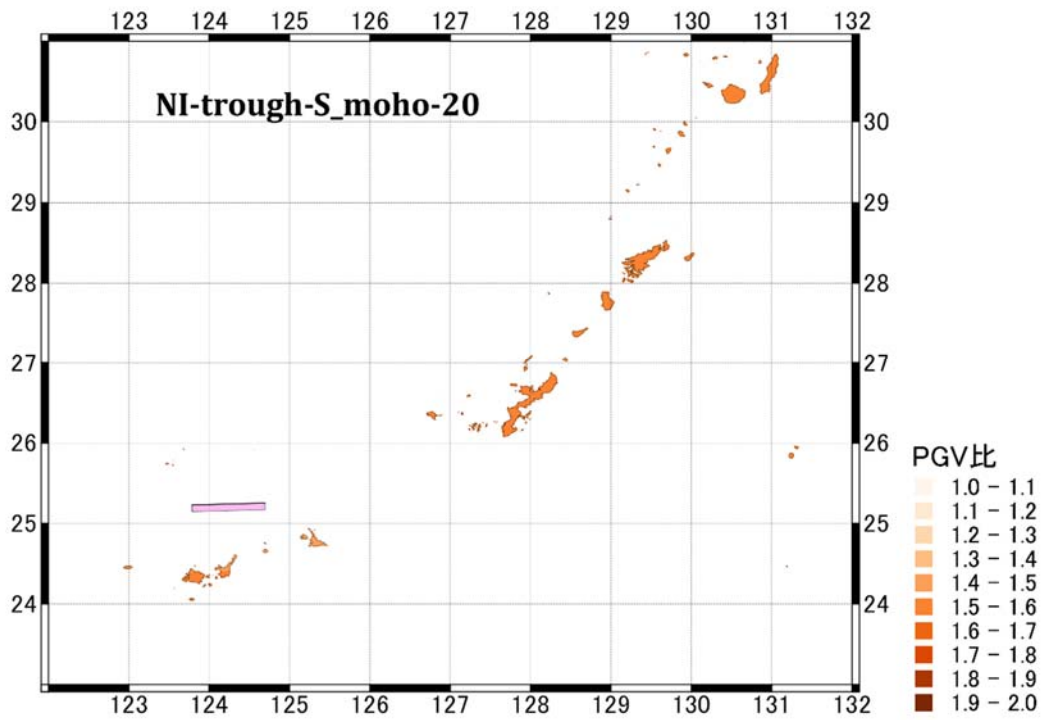


図 51 コンラッド面モデルとモホ面モデルの学的基盤における PGV と表層における PGA の比の分布図 (NI-trough-S\_con-20 と NI-trough-S\_moho-20)。

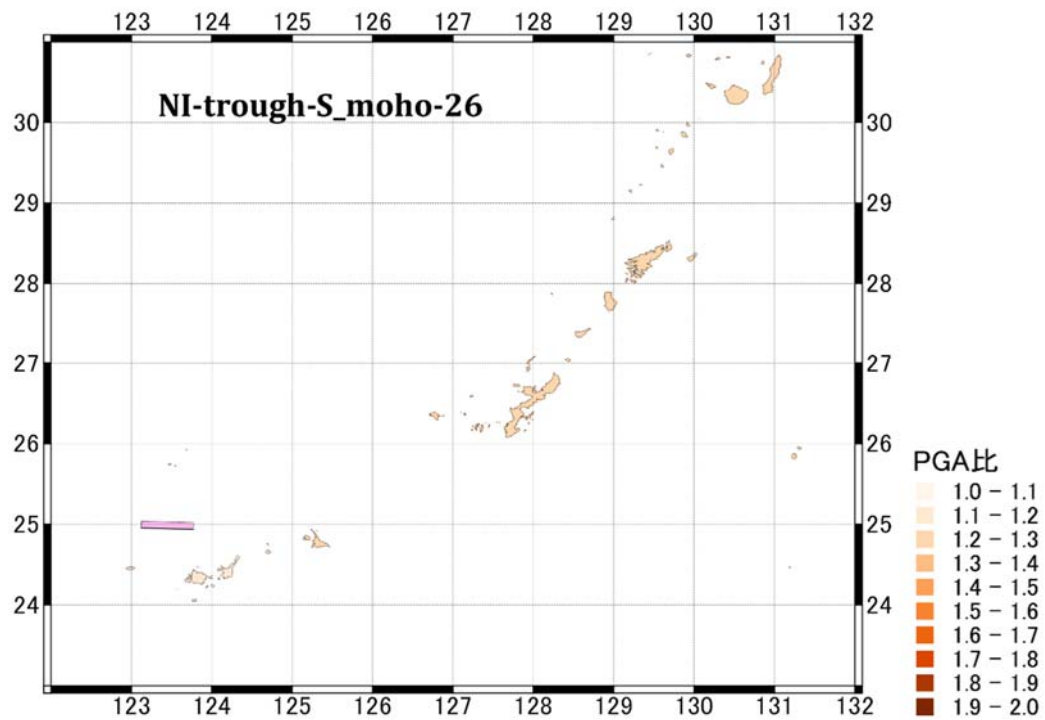
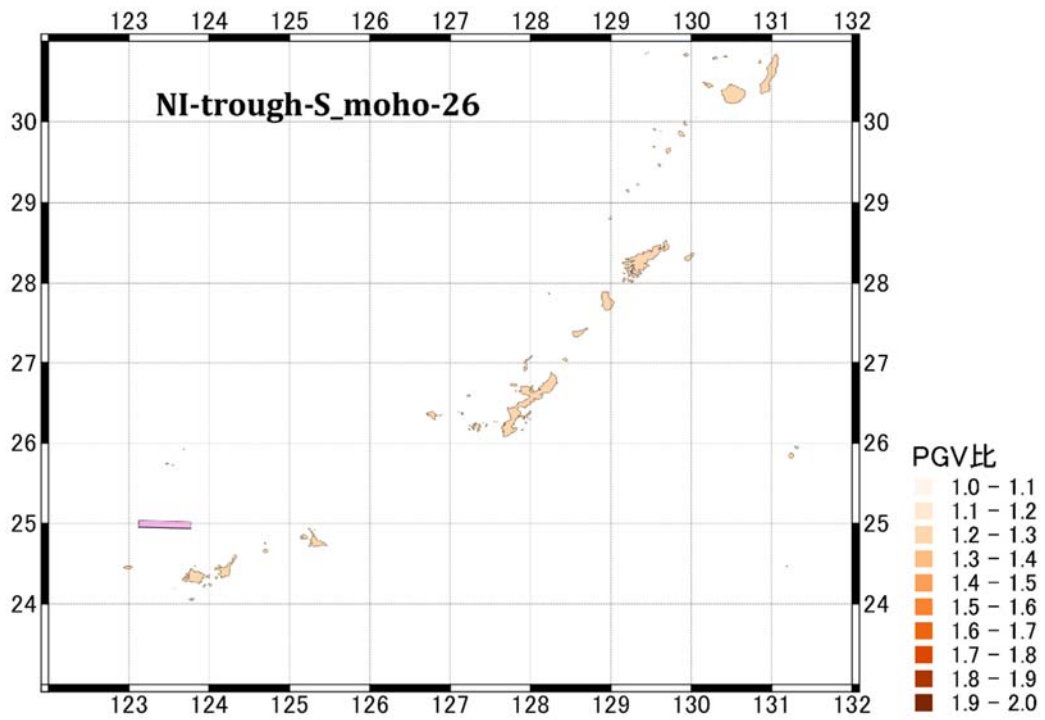


図 52 コンラッド面モデルとモホ面モデルの工学的基盤における PGV と表層における PGA の比の分布図 (NI-trough-S\_con-26 と NI-trough-S\_moho-26)。

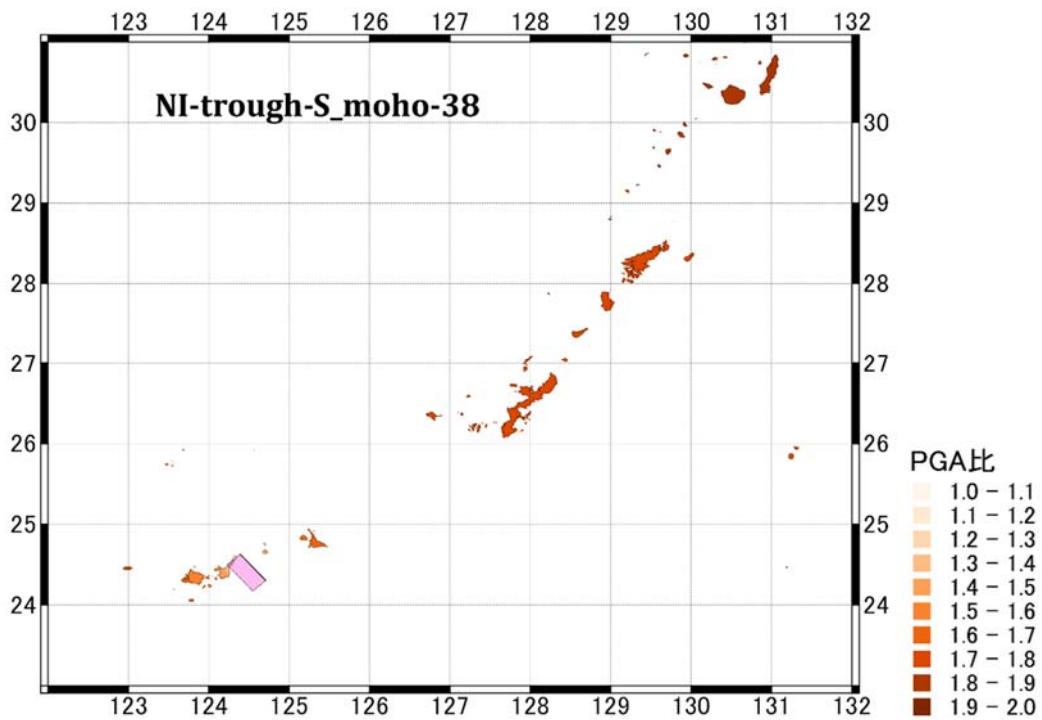
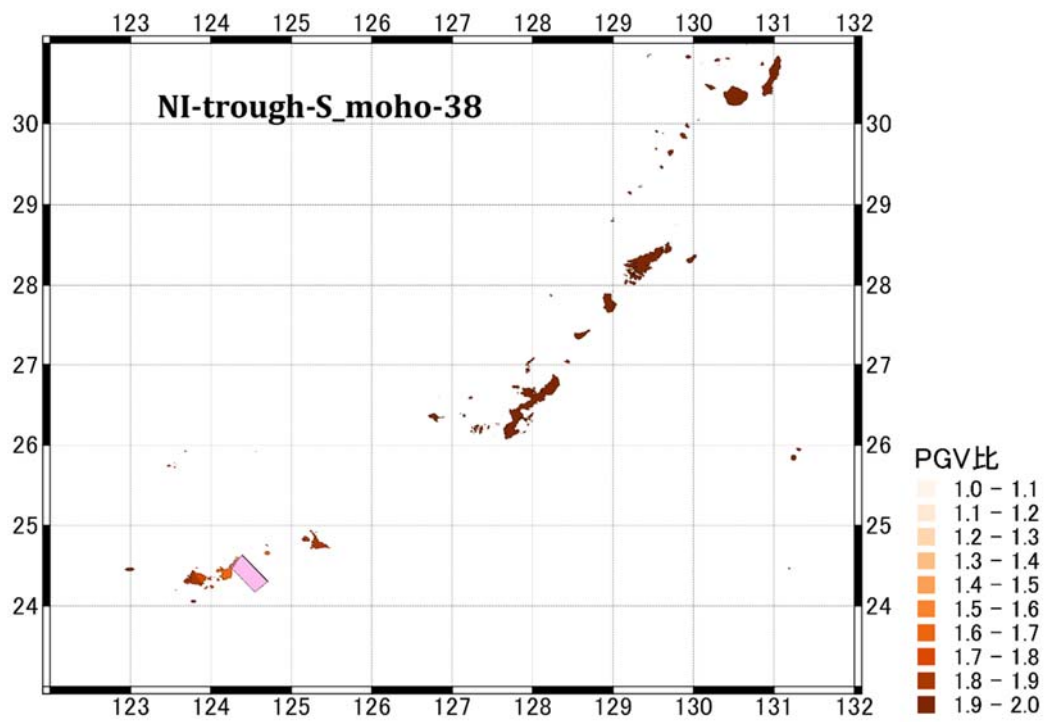


図 53 コンラッド面モデルとモホ面モデルの工学的基盤における PGV と表層における PGA の比の分布図 (NI-trough-S\_con-38 と NI-trough-S\_moho-38)。

#### (d) 今年度成果と今後の課題

##### 1) 断層モデルの設定

###### 【今年度成果】

- ・今年度業務においては、南西諸島南部海域で得られたデータに基づいた断層モデルの構築方法についての検討を行った。大きな不確定性を持つパラメータについては、認識論的不確定性及び偶然的ばらつきを考慮することにより、予測される地震規模を包含するような断層モデルの構築方法を検討した。
- ・上の検討により、南西諸島海域の142本の断層について合計284の断層モデルを設定した。南西諸島海域については、この海域の活断層を網羅する断層モデルは設定されてこなかったため、今回の結果は今後の当該領域のハザード評価が検討される際に重要なものとなると思われる。
- ・実際の断層下端はコンラッド面とモホ面の間に存在すると考え、断層下端深度については認識論的不確定性を考慮した。コンラッド面を下端にするのとモホ面を下端にするのでは、断層の大きさが変わり、すべり量の増加で津波高が変化することとなる。下端の設定は地震発生層の下限(コンラッド面)が基本になると考えているが、下限値を超えるものの存在を想定し、その範囲としてモホ面まで考慮した。熊本地震の後、地震モーメントの与え方について、従来の手法では過小評価になる可能性もあるという研究結果が報告されている状況を踏まえた検討である。コンラッド面とモホ面の間で実際の地震は留まっていると考え、不確定性の幅として考えておけば、実際に起こる地震による津波も、その間には納まるだろうという考えに基づき感度解析を実施した。

###### 【今後の課題】

- ・サブテーマ(2)で得られた断層データから断層モデルを設定する方法・ロジックは、各海域の地殻構造、テクトニクス相違等により異なる。今後さらにデータを蓄積し断層モデル設定方法を検討していく必要がある。
- ・偶然的ばらつきを考える対象として、スケーリングから与えられるすべり量が挙げられる。回帰式を使っていること自体で元のデータがばらついている。ばらつきの範囲がどのくらいなのかは、将来、確率論的な評価を実施するのであれば、ハザードカーブの計算において考慮される。認識論的な不確定性は、ロジックツリーを用いて複数のハザードカーブを計算することにより評価に繋がっていくことになる。
- ・今回、断層面積とモーメント量の経験的關係として入倉・三宅(2001)のスケーリング則の平均的な値として断層モデルのモーメント量を計算し、それに対して $+ \sigma$ のばらつきを考慮し、平均すべり量を与えるという断層モデルの設定方法を採用している。しかし、 $1 \sigma$ のばらつきの範囲についてはその値を確定するまでには至っていない。スケーリング則やばらつきの扱いについては今後も課題として検討していく必要がある。

## 2) 津波予測計算

### 【今年度成果】

- ・今年度業務の対象範囲である南西諸島南部の海域においては、過去の地震による津波痕跡高を用いた定量的な比較検討を行うという目的で用いることができる地震の発生がなく、本業務において設定した断層モデルを検証することは難しいと判断した。よって、設定した全断層モデル(142断層×下端深度2ケース)について津波予測計算を実施することにより、南西諸島南部海域の活断層により発生する地震で発生する津波の規模や範囲を示した。これは、今後の防災対策の検討の上で有益な情報となりうるものである。

### 【今後の課題】

- ・今後対象としていく海域についても、過去の津波の再現による断層モデルの検証に合わせて作成した断層モデルによって発生すると予想される津波の規模、範囲を示すことは有効と考えられる。

## 3) 地震動予測計算

### 【今年度成果】

- ・今年度業務の対象範囲においては、津波と同様、検証可能な地震の発生がなかったため、設定した全断層モデル(142断層×下端深度2ケース)について地震動予測計算を実施することにより、南西諸島南部海域の断層により発生する地震のよる地震動の大きさを示した。

### 【今後の課題】

- ・地震動予測計算については、司・翠川(1999)の距離減衰式による検討を行っているが、他の経験式を用いた比較検討や、地域性を考慮した補正項の必要性の有無などについて検討を行う。

今年度業務で設定した断層モデル及び津波予測計算の計算結果、地震動予測計算の計算結果は、サブテーマ(1)で実施されているデータベースの作成に提供していく予定である。



(e)引用文献

AFP 通信: <http://www.afpbb.com/articles/-/3045901>

(ウェブサイト、2015年4月20日公表).

相田勇, 三陸沖の古い津波のシミュレーション, 東京大学地震研究所彙報, 52, 71-101, 1977.

土木学会原子力土木委員会津波評価部会, 原子力発電所の津波評価技術(本編), 1-9, pp.2-110~190, 2002.

福岡管区気象台, 九州地方とその周辺の最近の地震活動(1991年11月~1992年4月), 地震予知連絡会議会報, 48, 372-380, 1992.

藤本一雄・翠川三郎, 近接観測点ペアの強新記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均S波速度の関係, 日本地震工学会論文集, 6, 1, 2006.

藤本一雄・翠川三郎, 近年の強震記録に基づく地震動強さの指標による計測震度推定法, 地域安全学会論文集, 7, 2005.

後藤和彦, 1911年に喜界島近海で発生した巨大地震の震源位置の再評価, 地震, 2, 65, 231-242, 2012.

Gutenberg, B. and C. F. Richter, *Seismicity of the Earth and Associated Phenomena*, 2<sup>nd</sup> Ed., Princeton Univ. Press., Princeton., NJ., 310pp., 1954.

井上卓彦, 東シナ海における地質構造発達史—研究レビュー—, 地質ニュース, 633, 37-44, 2007.

Irikura, K. and H. Miyake, Recipe for Predicting Strong Ground Motion from Crustal Earthquake Scenarios, PAGEOPH, 168, 85-104, 2011.

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.

岩本健吾・後藤和彦, 1911年に喜界島近海で発生した巨大地震(M8.0)に伴う津波の聞き取り調査, 地球惑星科学連合2013年大会講演要旨, SSS31-P37, 2013.

地震調査研究推進本部, 「沖縄県の地震活動の特徴」, 2012.

地震調査推進本部地震調査委員会長期評価部会, 「活断層の長期評価手法」報告書(暫定版), 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」）（平成 21 年 12 月 21 日改定），2009.

地震調査研究推進本部地震調査委員会，日向灘及び南西諸島海溝周辺の地震活動の長期評価，平成 16 年 2 月 27 日，2004.

笠原順三・佐藤利典，沈み込む海山と 1995 年奄美大島近海地震のテクトニクスの解釈，地學雑誌，106，557 - 566，1997.

気象庁：気象庁震度データベース検索：

<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>

（オンライン、2017 年 3 月閲覧）

気象庁，「平成 28 年 12 月地震・火山月報(防災編)」，2016.

気象庁，「平成 27 年 11 月地震・火山月報(防災編)」，2015.

気象庁，「平成 23 年 11 月地震・火山月報(防災編)」，2011.

気象庁，「平成 22 年 2 月地震・火山月報(防災編)」，2010.

気象庁，「平成 13 年 12 月地震・火山月報(防災編)」，2002.

国立天文台，「理科年表 平成 27 年」丸善出版，2011.

九州活構造研究会，九州の活構造、九州活構造研究会(編集)，東京大学出版会，1989.

中村衛，1771 年八重山津波の断層モデルの再検討、日本地球惑星科学連合 2014 年大会講演要旨，SSS34-R27，2014.

Okada, Y., Internal Deformation due to Shear and Tensile in a half-space, Bull. Seismol. Soc. Am., 85,1018-1040, 1992.

沖縄県土木建築部海岸防災課，沖縄県沿岸における津波浸水想定(平成 27 年)，2015.

琉球大学理学部：<http://seis.sci.u-ryukyu.ac.jp/hazard/large-eq/history.html>

（「沖縄の歴史地震」ウェブサイト、2017 年 3 月閲覧）.

琉球大学理学部物質地球科学科地学系中村衛(地震学)研究室

<http://seis.sci.u-ryukyu.ac.jp/hazard/tsunami/tsunami-okinawa.htm>

(オンライン、2017年3月閲覧).

Somerville, P.G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y., Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith and A. Kowada, Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion. *Seismol. Res. Lett.*, 70. 59-80, 1999.

司宏俊・翠川三郎, 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, pp.63-70, 1999.

Sibuet, J-C., B. Deffontaines, S. K. Hsu, N. Thureau, J-P. Le Formal, C-S. Liu, and ACT party, Okinawa trough Back basin: Early tectonic and magmatic evolution, *J. Geophys. Res.*, 103, B12, 30,245-30,267, 1998.

清水力・宮町宏樹・後藤和彦・角田寿喜・平野舟一郎・山田智朗・日野亮太・塩原肇・西澤あずさ・佐藤利典・長尾栄広・五十嵐俊博・平松秀行・岩切一宏・伊藤忍・島村秀紀・金沢敏彦・笠原順三, 1995年奄美大島近海地震の余震活動, 鹿児島大学理学部紀要, 29, 113-128, 1996.

東北大学災害科学国際研究所災害リスク研究部門津波工学研究分野低頻度リスク評価研究分野・原子力規制庁長官官房技術基盤グループ安全技術管理官(地震・津波担当)付:津波痕跡データベース、

<http://tsunami3.civil.tohoku.ac.jp> (オンライン、2017年3月閲覧).

都司嘉宣, 1995年奄美大島近海地震による地震及び津波被害について, 地学雑誌, 106, 557-566, 1997.

都司嘉宣, 1995年奄美大島近海地震による喜界島における地震・津波被害、笠原順三(編集), 1995年奄美大島近海の地震活動とその被害に関する調査研究, 平成7年度文部科学省科学研究費総合研究A調査研究報告書, 75-90, 1996.

宇津徳治, 世界の被害地震の表(古代から2002年まで), 宇津徳治先生を偲ぶ会, 東京, 電子ファイル最終版, 2004.

Utsu, T., A list of deadly earthquakes in the World: 1500-2000, in *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology Part A*, edited by Lee, W.K., Kanamori, H., Jennings, P.C., and Kisslinger, C., pp. 691-717, Academic Press, San Diego, 2002.

宇津徳治, 世界の被害地震の表(古代から1989年まで), 宇津徳治, 東京, 243 p., 1990.

宇津徳治, 日本付近のM6.0以上の地震及び被害地震の表:1885年~1980年, 地震研究所彙報, 57, 401-463, 1992.

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

八木原寛・角田寿喜・後藤和彦・清水洋, 特異な震源分布を示す甕海峡北部の地震活動, 地震, 2, 47, 1, 53-61, 1994.

Zhao, D., A. Hasegawa, and H. Kanamori, Deep structure of Japan subduction zone as derived from local, regional, and teleseismic events, J. Geophys. Res., 99, B11, 22, 313-22, 329, 1994.

## 付録 1：1983 年日本海中部地震の再現断層モデルの検証

### 1. 検討の背景と手法

サブテーマ(3)では、サブテーマ(2)による地質学的・地球物理学的データに基づいて設定した断層モデルについて、津波予測計算による断層モデル設定方法の検証を実施している。平成 27 年度には 1940 年神威岬沖地震による津波について、津波予測計算及び津波痕跡データとの比較を実施した。本検討においては、日本海で発生した津波地震について、より代表的で発生年代の新しい例として 1983 年日本海中部地震について断層モデルの設定と検証を行った。

#### 1-1 サブテーマ(2)による青森県沖の断層データ

サブテーマ(2)の成果として青森県沖の海域では 15 条の断層が確認されており(図 1-1 a))、すべて逆断層と解釈されている。各断層はマルチチャンネル反射法地震探査(MCS)によって確認されたものであり比較的深い上部地殻下方まで読み取られている。また、これらの断層では、断層による落差が海底地形にも明瞭にあらわれている。

この中で、AOM-09 は 1983 年 5 月 26 日に発生した日本海中部地震の震源域に位置する断層である。サブテーマ(2)の結果では、南北方向に約 55 km の長さがあることが確認されており、この断層を横切る測線の探震断面図が得られている(図 1-1 a))。この測線は、容量が非常に大きいエアガンを用いた MCS のデータであるため、深部までの反射波を取得でき、断層の深部に至るまでの構造が得られている。平成 24 年度まで実施された「ひずみ集中帯の重点調査観測・研究プロジェクト」(独立行政法人防災科学技術研究所, 2013)においても青森県沖の断層が確認されていたが、本プロジェクトにおいても AOM-09 の空間的な連続性が確認された。図 1-1 a)に示された断面図は速度断面であるが、反射法地震探査、坑井データ及び OBS の解析から得られる速度情報をもとに作成した速度構造モデルにより、この断面を深度変換すると AOM-09 の下端は約 15 km の深さまで伸びており、上部地殻と下部地殻の境界を越えてモホ面まで達しているという結果になる(本プロジェクト平成 26 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, 2015)参照)。

#### 1-2 先行研究に示される日本海中部地震による余震の震源分布

日本海中部地震の発生後、東北大学及び弘前大学では、両大学の地震観測網データを一括処理することで、本震発生後から 7 月末のおよそ 2 か月間に約 8,000 個を超える地震の震源を決定している。余震域は日本海盆の東縁に位置し、南北に長い逆「く」の字型をしている。1983 年 5 月 31 日から 6 月末までに発生した日本海中部地震震源域の地震の震央分布及び震源分布を図 1-1 b) (高木・他(1984)より引用)に示す。

図 1-1 b)には余震分布を A~F のグループに分けて、それぞれに取った鉛直断面と、南北方向の鉛直断面が示されている。

観測網は東北大学が実施した臨時観測点により強化されているものの陸域のみで展開されており、震源域は陸から遠い海域であるため、深さ方向の精決定度は必ずしも良くはない。しかし、C~F の領域では震源の深さが西から東に向かって深くなる傾向がみられる。

この傾向は本震の震源近傍にあたる D 及び E の領域でとくに明瞭である。なお、最大余震の震源近傍を含む A 及び B の領域では震源分布の明瞭な傾斜はみられない。震源の深さが西から東に向かって深くなる傾向は、震源域に近い観測点のみのデータを用いて震源再決定を行った海野・他(1983)の研究とも一致しており、日本海中部地震は東側に低角に傾斜した断層面を持つと考えられる。さらに、高木・他(1984)は、5月31日の本震のあと、6月9日に M6.4 及び M6.1 の余震が発生した前後に南側への余震域の拡大があったとしている。また、6月21日の最大余震の前後にも余震域が北側に拡大する様子が見られたとしている。このことは、日本海中部地震の震源域が、本震のみでなく、その後数回の M6 規模の余震によって拡大し形成されたことを示している。

### 1-3 サブテーマ(2)のデータに基づく断層のモデル化

サブテーマ(2)では、測線密度が粗い南西諸島海域において地形データを用いた断層解釈を行っている。それと同時に日本海海域についても南西諸島海域の方法と同様に海底地形からの断層の推定を含めて断層データの見直しが実施されている。当初(平成26年度成果)では日本海中部地震の震源域周辺の断層データについて図 1-1 a)に示されるように、AOM-09 のような日本海中部地震の震源断層の一部である可能性がある断層は見られるものの、余震域の特徴とされる南北方向に逆「く」の字型に連なるような断層面は確認されていなかった。そのため、サブテーマ(2)では平成27年度の作業で今回の検討に用いる断層データとして、音波探査データに加えて海底地形のデータ、地震活動を考慮して断層トレースの再検討が行われた。

この結果、サブテーマ(2)の成果として示されている日本海中部地震の震源域に設定された断層トレースを図 1-1 b)に示す。この断層トレースをもとに、この地震による津波を再現するような断層モデルを設定するためのパラメータスタディを実施した。また、パラメータスタディにより選定された断層モデルを用いた津波予測計算の詳細計算を行うことにより断層モデル設定方法の妥当性の検証を実施した。

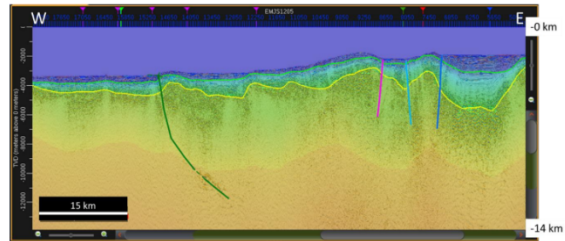
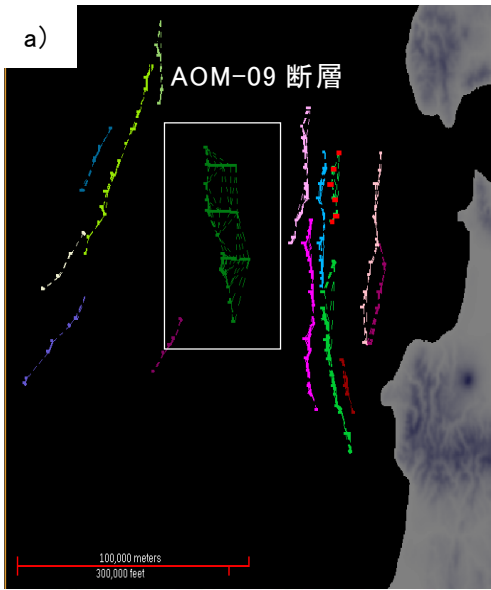


図 90 深度断面図上の AOM-09：日本海中部地震震源近傍の断層。  
カラスケールは図 76 と同様。

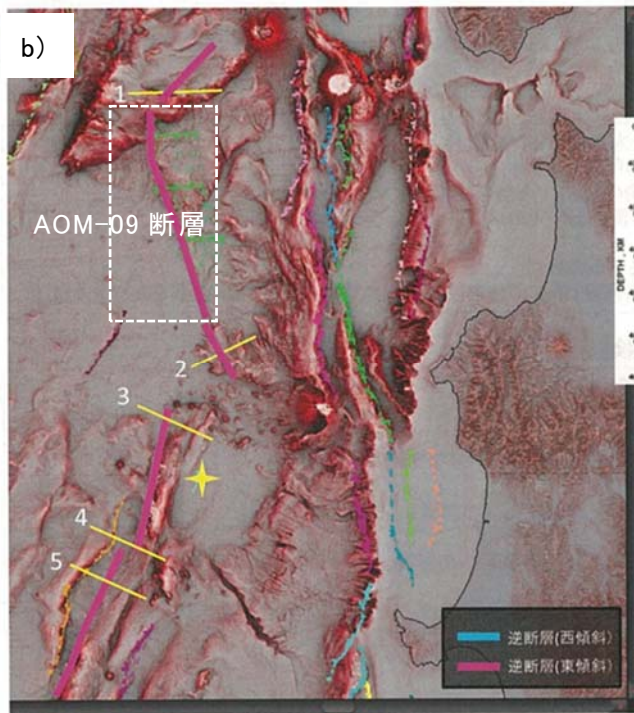


図 1-1 a)サブテーマ(2)において測線データのみで判断された青森県沖の断層(左上)と AOM-09 断層を横切る反射記録断面(右上)。b)サブテーマ(2)において地形及び震源分布を参照し設定された日本海中部地震の震源近傍の断層トレース(左下)と日本海中部地震の本震及び余震分布(右下)。

サブテーマ(2)で示された断層トレース(図 1-1 b))に基づき設定した矩形断層モデルを図 1-2 に示す。測線データから示されていた既存の断層 AOM-09 に加え、サブテーマ(2)で新たに海底地形データや地震データを考慮することにより得られた南北に連なる断層(図 1-2 中の c-1~c-4)をモデル化の対象とした。

パラメータの設定では、傾斜角  $45^\circ$ 、断層上端深度 0 km、断層下端深度 15 km として矩形で近似した。これを初期断層モデルとして、断層の近似方法、断層トレースの組み合わせや形状、大すべり域等の諸条件について検討した。断層モデルのパラメータを表 1-1 に示す。

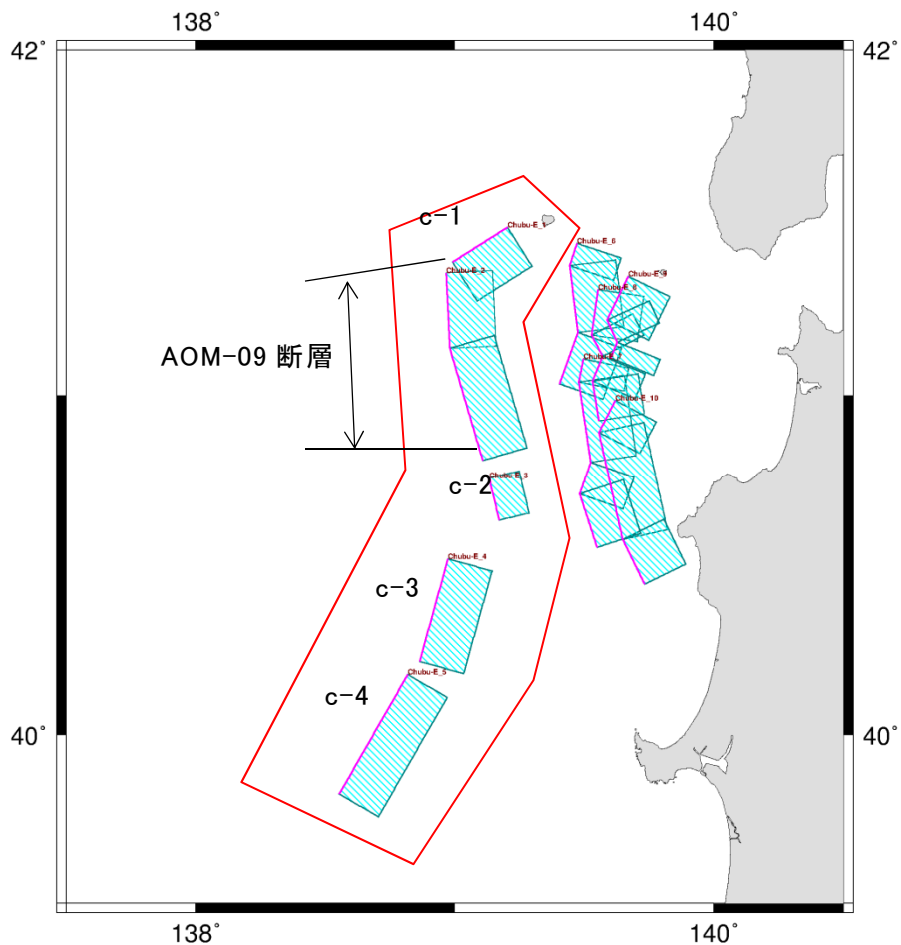


図 1-2 日本海中部地震の震源域近傍の断層モデル。

表 1-2 に主な既往研究における断層パラメータを示す。この断層モデルのマグニチュードは  $M_w$  7.87 である。日本海中部地震についての既往研究に示される断層モデルにおけるマグニチュードは  $M_w$  7.7~7.9 で、その範囲内に含まれている。



表 1-1 初期断層モデルのパラメータ

Model: Chubu-MX

Lat.	Lon.	Top(km)	Bottom(km)	Strike	Dip	Rake	L. (km)	W. (km)	D. (m)	Mw
41.3880	138.9916	0.00	15.00	55.00	45.00	90	20.97	21.21	6.12	7.87
41.1372	138.9810	0.00	15.00	354.60	45.00	90	24.46	21.21		
40.8089	139.1081	0.00	15.00	341.00	45.00	90	38.04	21.21		
40.6331	139.1717	0.00	15.00	343.90	45.00	90	14.18	21.21		
40.2169	138.8645	0.00	15.00	12.90	45.00	90	34.88	21.21		
39.8240	138.5538	0.00	15.00	27.50	45.00	90	45.40	21.21		

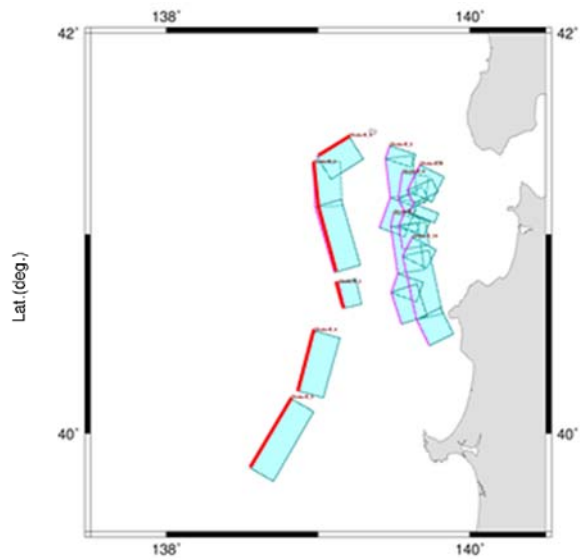
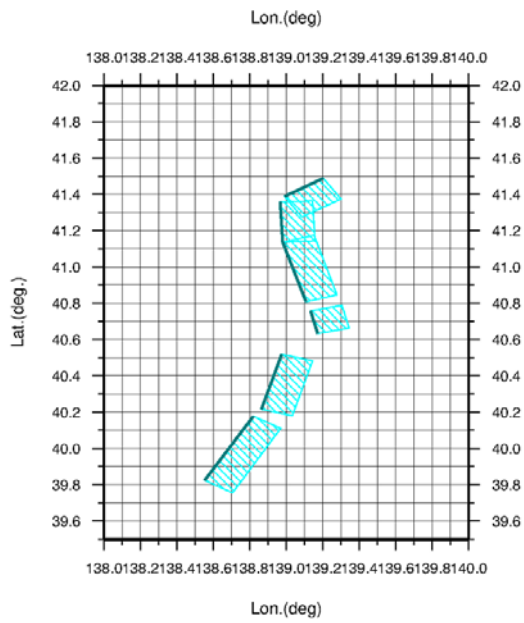


表 1-2 1983 年日本海中部地震の既存断層モデル

a) 相田 (1984)

緯度 (deg.)	経度 (deg.)	上端 深度 (km)	走向 (deg.)	傾斜 (deg.)	すべり 角 (deg.)	長さ (km)	幅 (km)	平均す べり量 (m)	合計 長さ (km)	Mw
40.21	138.84	2.0	22	40	90	40	30	4.87	100	7.7
40.54	139.02	3.0	355	25	80	60	30			

b) 多田 (1984)

緯度 (deg.)	経度 (deg.)	上端 深度 (km)	走向 (deg.)	傾斜 (deg.)	すべり 角 (deg.)	長さ (km)	幅 (km)	平均す べり量 (m)	合計 長さ (km)	Mw
40.20	138.80	0.0	13	20	90	60	40	3.5	120	7.7
40.73	138.96	0.0	335	20	90	60	30			

c) 田中・他 (1984)

緯度 (deg.)	経度 (deg.)	上端 深度 (km)	走向 (deg.)	傾斜 (deg.)	すべり 角 (deg.)	長さ (km)	幅 (km)	平均す べり量 (m)	合計 長さ (km)	Mw
40.37	138.87	0.0	15	20	120	30	35	4.61	90	7.8
40.61	139.06	0.0	350	20	90	60	40			

d) Satake (1985)

緯度 (deg.)	経度 (deg.)	上端 深度 (km)	走向 (deg.)	傾斜 (deg.)	すべり 角 (deg.)	長さ (km)	幅 (km)	平均す べり量 (m)	合計 長さ (km)	Mw
40.37	138.87	0.0	15	20	120	30	35	4.61	90	7.8
40.61	139.06	0.0	350	20	90	60	40			

e) Kanamori and Astiz (1985)

緯度 (deg.)	経度 (deg.)	上端 深度 (km)	走向 (deg.)	傾斜 (deg.)	すべり 角 (deg.)	長さ (km)	幅 (km)	平均す べり量 (m)	合計 長さ (km)	Mw
40.10	138.70	-	21	30	115	150	40	2.0	150	7.7

f) Sato (1985)

緯度 (deg.)	経度 (deg.)	上端 深度 (km)	走向 (deg.)	傾斜 (deg.)	すべり 角 (deg.)	長さ (km)	幅 (km)	平均す べり量 (m)	合計 長さ (km)	Mw
40.27	138.86	0.0	15	20	90	35	35	6.07	105	7.9
40.58	138.97	0.0	15	20	90	35	35			
40.84	139.06	0.0	345	20	90	35	35			

g) 小菅・他 (1986)

緯度 (deg.)	経度 (deg.)	上端 深度 (km)	走向 (deg.)	傾斜 (deg.)	すべり 角 (deg.)	長さ (km)	幅 (km)	平均す べり量 (m)	合計 長さ (km)	Mw
40.79	139.09	0.0	345	25	90	40	40	4.60	100	7.8
40.65	139.03	0.0	20	25	90	30	40			
40.39	138.91	0.0	20	25	90	30	40			

## 2. パラメータスタディー

### 2-1 検討準備

図 1-2 の断層モデルについて、これらの断層の連動を想定する場合に断層形状の近似方法のちがいによって、どの程度、沿岸の水位上昇量が変化するかについて検討した。比較に使用した断層モデルの形状を図 1-3 に示す。

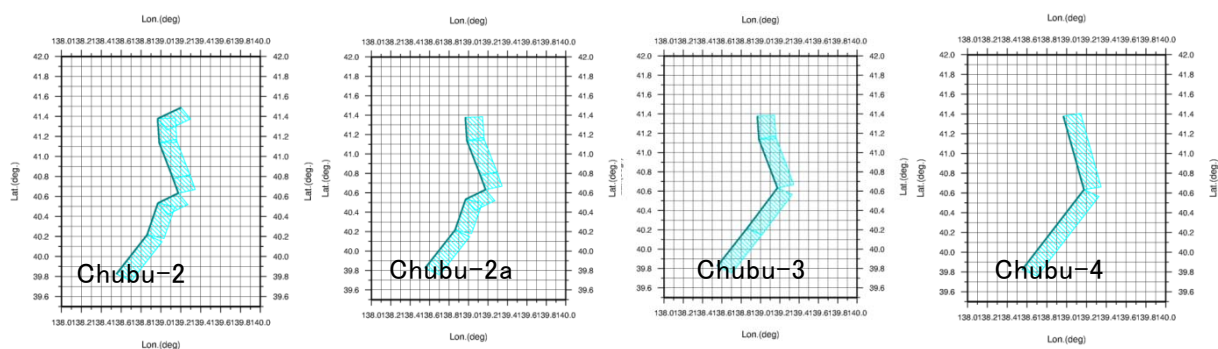


図 1-3 検討した 4 つの近似方法。Chubu-2 については北端に小断層を追加。

図 1-3 の断層は以下に示す考え方で設定した。

- Chubu-2 : 図 1-2 の初期的断層モデルの各断層の端部を延長し、つなげて設定した断層モデル (AOM-09+c-1~c-4)。
- Chubu-2a : 図 1-2 の初期的断層モデルのうち、北端の断層を除いて各断層の端部を延長し、つなげてモデル化した断層モデル (AOM-09+c-2~c-4)。
- Chubu-3 : 図 1-2 の初期的断層モデルのうち、折れ曲がりの北半分と南半分の断層を単純化してそれぞれ 2 枚、合計 4 枚の断層で近似した断層モデル。
- Chubu-4 : 図 1-2 の初期的断層モデルのうち、折れ曲がりの北半分と南半分の断層を単純化してそれぞれ 1 枚、合計 2 枚の断層で近似した断層モデル。

なお、津波予測計算は表 1-3 の条件で実施した。

表 1-3 津波予測計算の計算条件

内容	
支配方程式	非線形長波理論
数値解法	Staggered Leap-frog 差分スキーム
計算領域	北海道南部及び日本海東縁部の沿岸
計算領域の格子サイズ	外洋から順に 1, 350m、450m、150m(最小 150m)
境界条件	陸域では遡上を考慮 海側では無反射の透過境界
各種施設の取り扱い	各種施設は考慮しない
計算時間	12 時間
初期水位	Okada (1992) で算出した海底地盤変動量
潮位	T. P. 0 m
打ち切り水深	$10^{-2}$ m
粗度係数	0.025

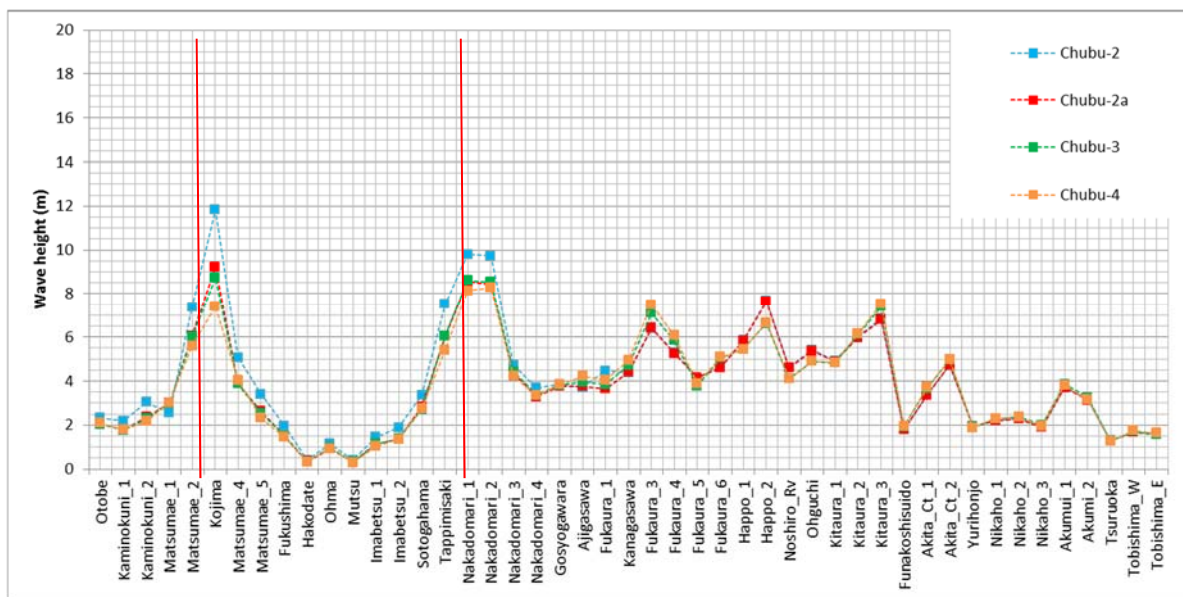


図 1-4 図 1-3 の 4 つのモデルから沿岸の水位上昇量計算結果。

パラメータスタディの結果(図 1-4)で、北端の断層まで含めてモデル化している Chubu-2 の断層モデルでは、北端の断層を含まない Chubu-2a、Chubu-3、Chubu-4 に比べて、小島周辺及び中泊周辺において最大水位上昇量が高くなっている。それ以外は、断層形状の近似方法の異なる Chubu-2a、Chubu-3、Chubu-4 において、最大水位上昇量に目立ったちがいはみられない。この結果から、断層形状の近似方法のちがいは津波予測計算の計算結果に大きく影響しないと判断し、以降の検討では、なるべく単純化した形状であらわすことし、Chubu-4 の断層モデルを基本として採用することとした。

## 2-2 パラメータスタディ：第1段階

2-1の検討により、断層形状は単純化した形で近似できると判断した。ここでは、大すべり域の設定位置を変化させることによって、沿岸の津波の最大水位上昇量がどれだけ変化するかについて検討した。

この検討で用いる断層形状は図1-5に示した2通りの形状である。①は前節で検討したChubu-4の断層モデルと同様の南北2枚の断層であらわされるモデルである。②は①の北端に、図1-3の中のChubu-2の断層モデルで示したように、北端の断層を追加した3枚の断層で示される断層モデルである。②の断層モデルの北端の断層をのぞいた、メインの2枚の断層における大すべり域の設定方法の組み合わせパターンを図1-6に示した。ここでは、この大すべり域の組み合わせパターンについて津波予測計算を行い、最大水位上昇量の変化を比較する。なお、②の断層モデルの北端の断層については面積が小さく、大すべり域の位置を変えても計算結果に大きく影響しないと考えられることから、断層の上端中央に設定する場合のみとした。

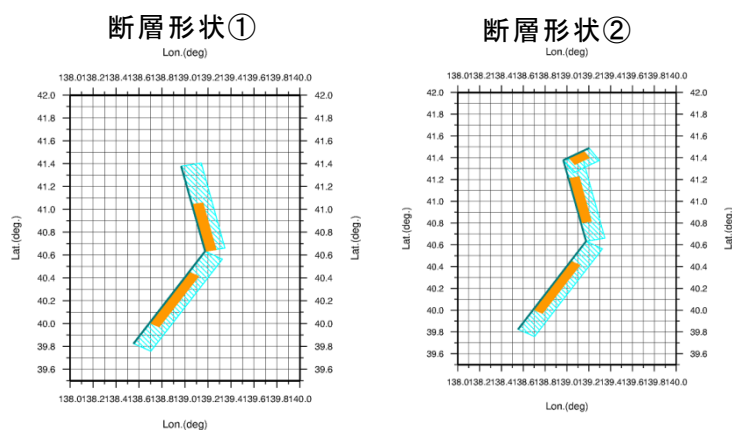


図1-5 検討に使用する断層形状。

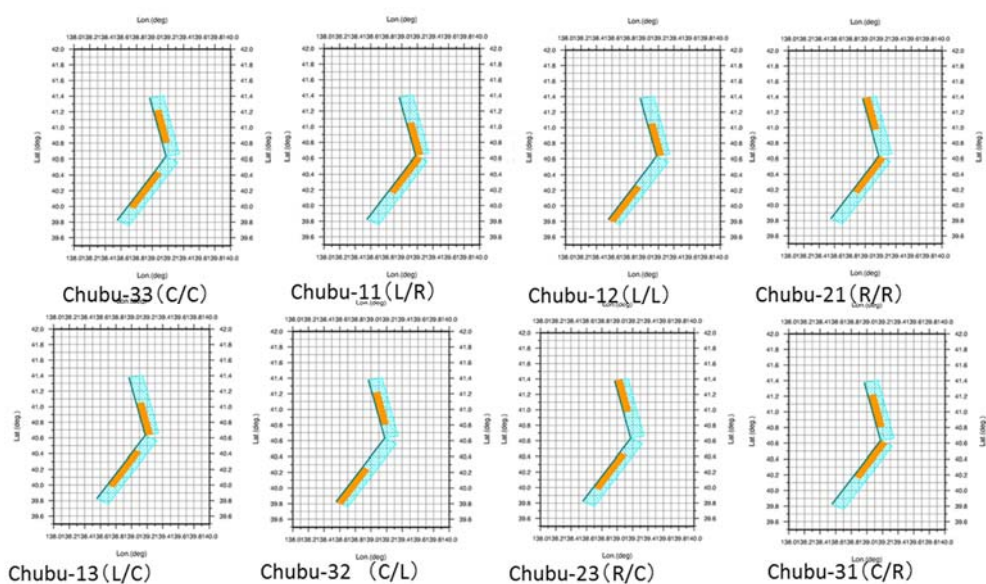


図1-6 検討した大すべり域設定位置の組み合わせパターン(北端の断層を除いて示している)。

本検討においては、図 1-6 に示した大すべり域の 8 パターンの組み合わせに加えて、断層傾斜角を浅部では高角、深部では底角となるように変化させた場合(図 1-7)についても検討を実施した。

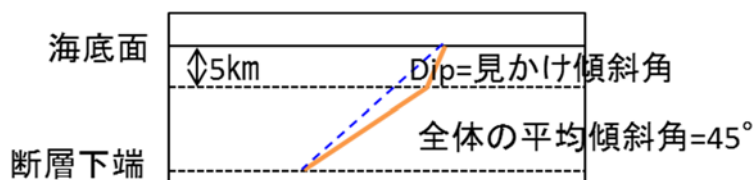


図 1-7 断層傾斜角の設定方法。

ここで設定した断層モデルの主なパラメータを表 1-4 に示す。

表 1-4 設定した断層モデルの主要パラメータ

断層モデル		断層上端 深度 (km)	断層下端 深度 (km)	走向 (deg.)	傾斜角 (deg.)	すべり角 (deg.)	長さ (km)	幅 (km)	背景領域 の平均す べり量 (m)	大すべり 域の平均 すべり量 (m)	Mw	
断層形状① 2枚断層	傾斜角一定	0.0	15.0	345.40	45.0	90	84.59	21.21	3.71	12.99	7.91	
				28.00			104.18					
	傾斜角を変化させる	0.0	5.0	15.0	345.40	60.0	90	84.59	5.77	3.76	13.15	7.91
			5.0	15.0	28.00	60.0		104.18	5.77			
			0.0	5.0	345.40	39.5		84.59	15.71			
			0.0	5.0	28.00	39.5		104.18	15.71			
断層形状② 3枚断層	傾斜角一定	0.0	15.0	55.40	45.0	90	23.33	21.21	4.30	14.30	7.97	
				345.40			84.59					
				28.00			104.18					
	傾斜角を変化させる	0.0	5.0	5.0	55.40	60.0	90	23.33	5.77	3.47	14.78	7.97
			5.0	15.0	55.40	39.5		23.33	15.71			
			0.0	5.0	345.40	60.0		84.59	5.77			
			5.0	15.0	345.40	39.5		84.59	15.71			
			0.0	5.0	28.00	60.0		104.18	5.77			
			0.0	5.0	28.00	39.5		104.18	15.71			

表 1-2 に示した合計 32 パターンの断層モデルについてパラメータスタディを行い、沿岸での水位上昇量を比較した(図 1-8)。ただし、本報告においては、図 1-5 において②として示した 3 枚断層モデルの計算結果は省略することとする。

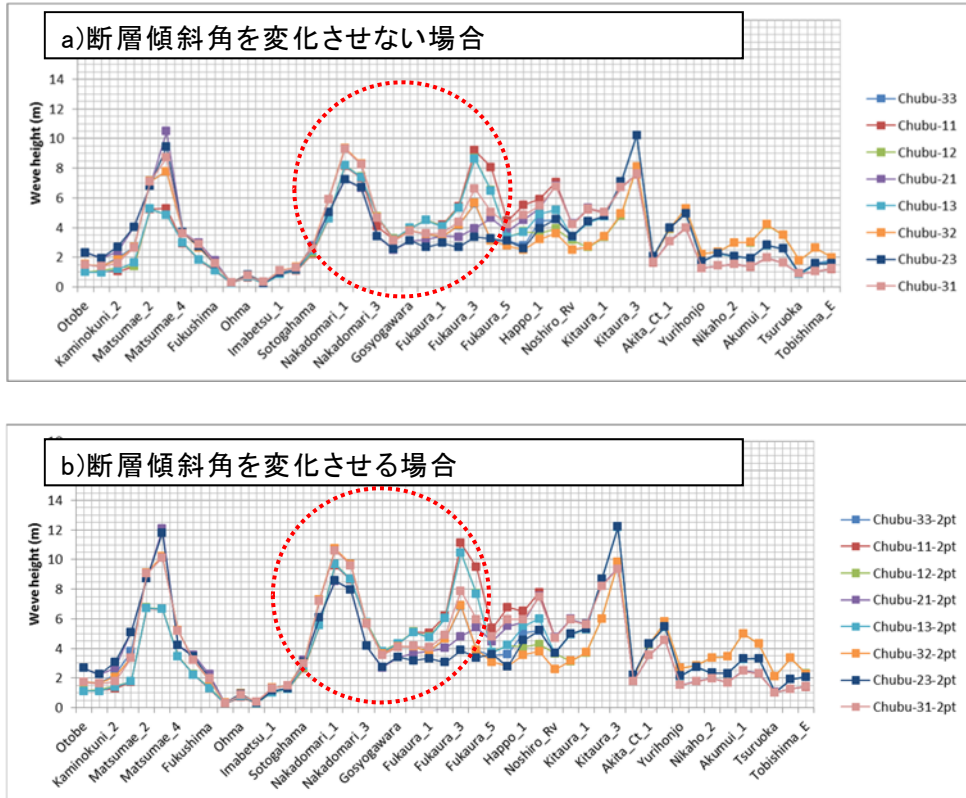


図 1-8 北端の断層を考慮しない 2 枚断層モデルの場合の沿岸での水位上昇量の計算結果。

今回実施したパラメータスタディ結果の傾向として、北端を除く主要な 2 枚の断層の折れ目付近の対岸の地域で水位上昇量のばらつきが大きくなっている傾向がみられる(図 1-8 中の赤点線で囲った部分)。この傾向を、沿岸の津波痕跡高と比較した(図 1-9)。津波痕跡高は東北大学工学研究科及び原子力安全基盤機構により整備されている「津波痕跡データベース」(東北大学災害科学国際研究所災害リスク研究部門津波工学研究分野低頻度リスク評価研究分野・原子力規制庁長官官房技術基盤グループ安全技術管理官(地震・津波担当)付, <http://tsunami-db.irides.tohoku.ac.jp/tsunami/kiyaku.php>)から信頼度 A、B のみを使用し、内陸部にある津波痕跡地点を、周辺の沿岸の 150m メッシュに対応させている。

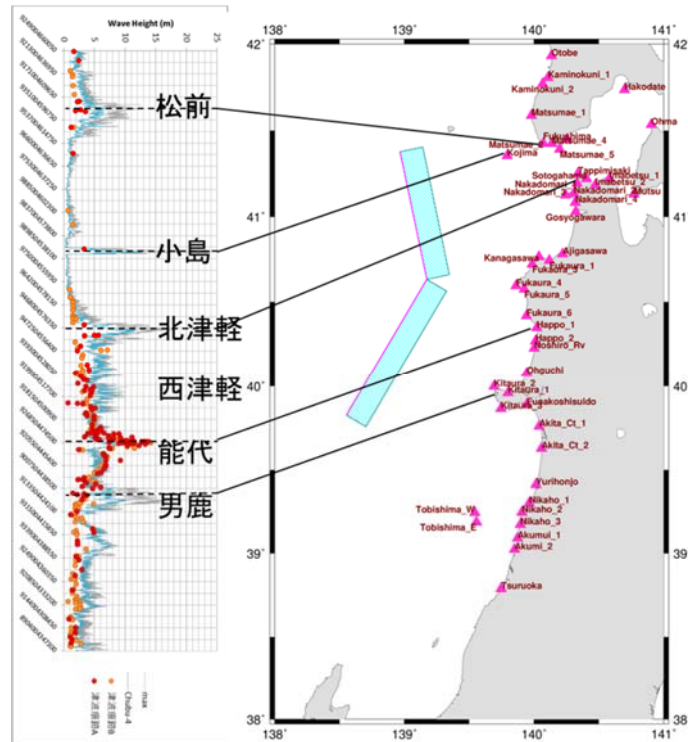


図 1-9 津波痕跡高と計算された沿岸での水位上昇量の比較の例(グラフと地図上の各地点との対応関係を示す)。

松前周辺においては、主な2枚の断層のうち北側の断層の大すべり域を南寄りに設定することで水位上昇量が低下し、痕跡高に近づく傾向にある。小島周辺においても松前周辺と同様、北側の断層の大すべり域を南寄りに設定することによって痕跡高に近づく傾向がある。西津軽周辺では、北側の断層の大すべり域を南寄りに設定することで痕跡高より高くなり、北寄りに設定することで痕跡高に近づく。能代周辺においては、津波痕跡高が局所的に高くなっており、全ての断層モデルにおいて津波痕跡高を再現することはできなかった。また、男鹿半島周辺においては、全ての断層モデルにおいて計算水位上昇量が痕跡高よりも高くなる傾向となった。図 1-10 に計算結果の比較を示す。



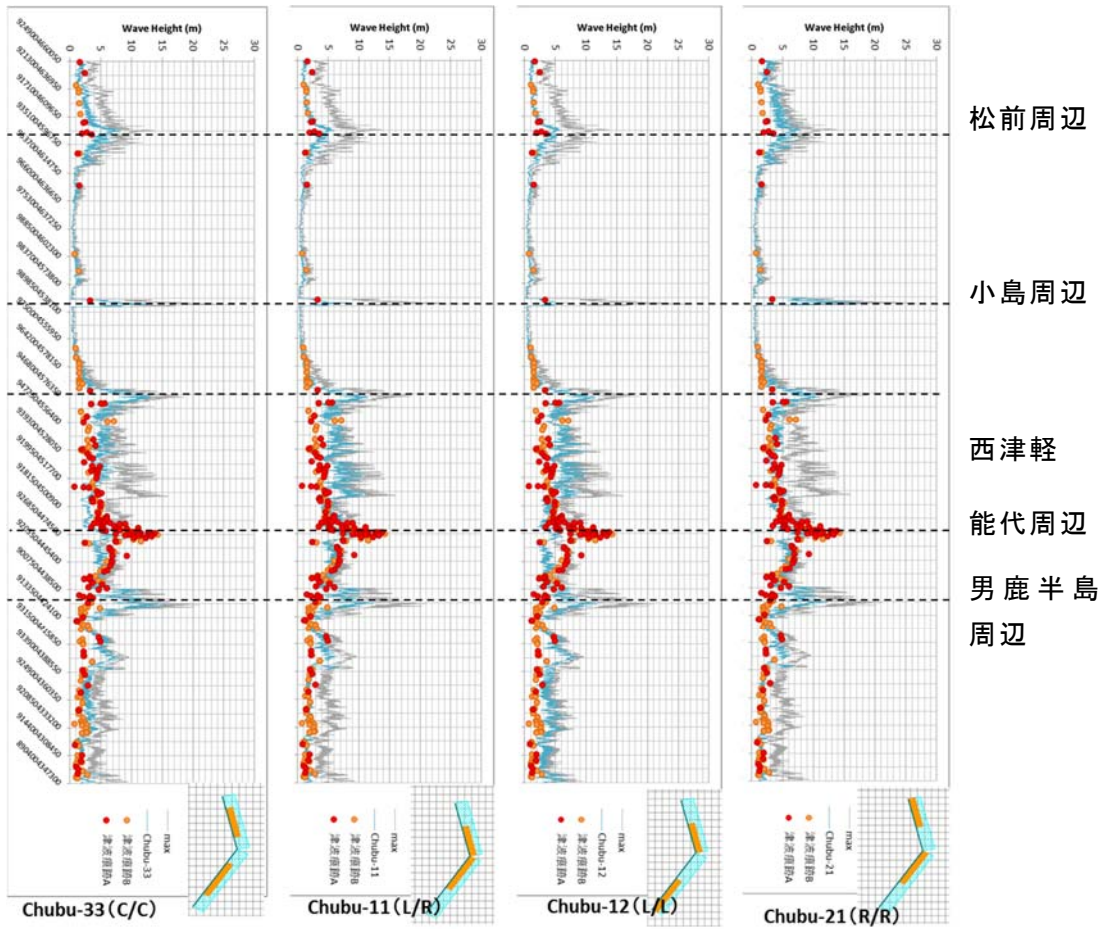


図 1-10 大すべり域の設定位置を変えた断層モデルによる主な計算結果の比較。

### 2-3 パラメータスタディ：第2段階

2-2の検討の結果を踏まえて、領域北部の水位上昇量を抑え、能代周辺に高い波を集めるような断層モデルの設定方法を検討した。検討した断層モデルのパターンは、北側の断層に大すべり域を設定しない場合、大すべり域の位置、面積、アスペクト比を変えた場合、サブテーマ(2)の断層形状をそのまま使用する場合について、沿岸における最大水位上昇量と津波痕跡高を比較した(合計10ケース)。

ここでは詳細は省略し、主な計算結果のみを示す(図1-11)。

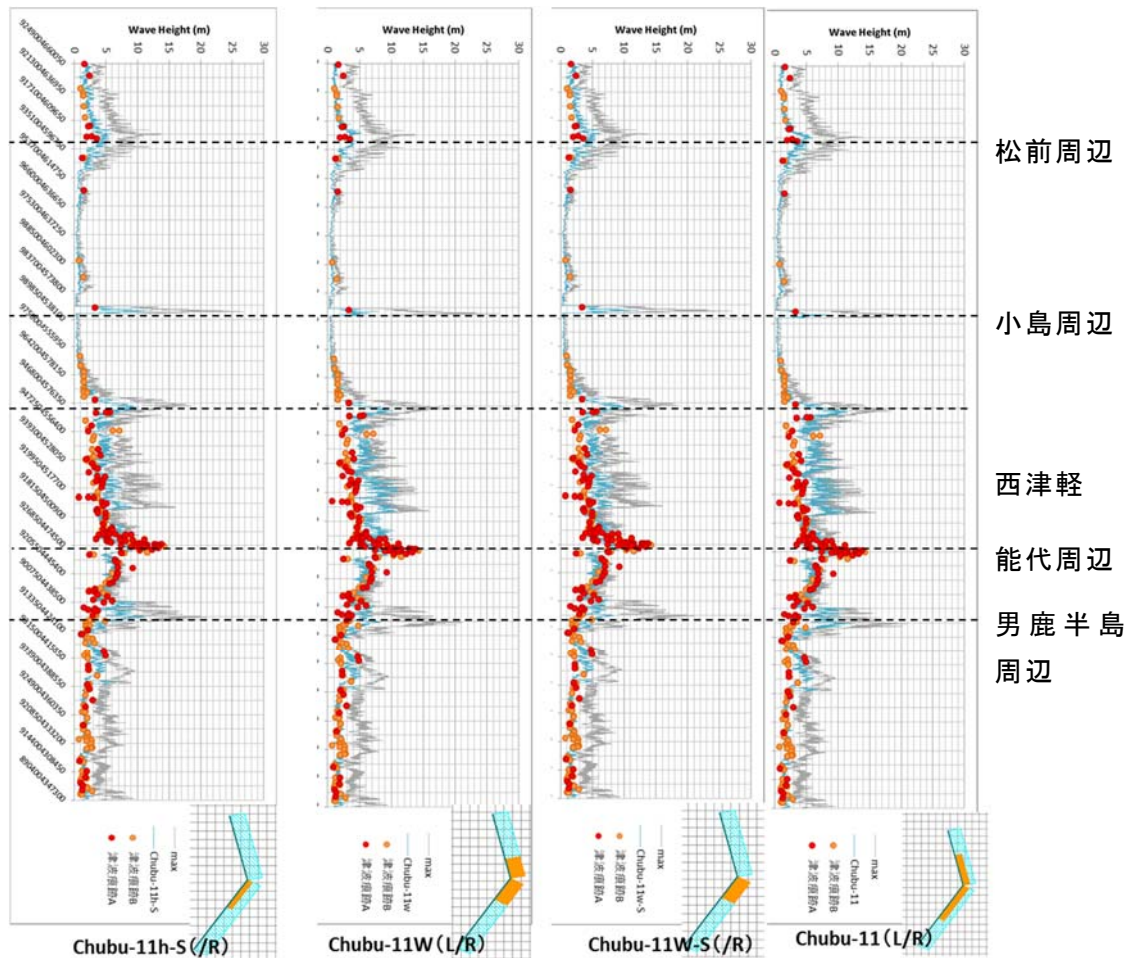


図 1-11 大すべり域の設定方法を変えた場合の沿岸における最大水位上昇量と津波痕跡高の比較。

なお、図 1-11 に示した計算ケースについては、以下のような設定である(図 1-11 の右から順)。

- Chubu-11 : 図 1-10 の右から 2 番目の結果の再掲載。結果を比較するにあたり、基準として掲載。
- Chubu-11W-S : Chubu-11 に対して、大すべり域の面積を変えないように断層幅を約半分にし、南側の断層のみに設定した場合。
- Chubu-11W : Chubu-11 に対して、大すべり域の面積を変えないように断層幅を約半分にし、南側・北側の断層に設定した場合。

- ・ Chubu-11h-S : Chubu-11 に対して、大すべり域の面積を半分にし、南側の断層のみに設定した場合。このとき、大すべり域で解放するモーメント量は通常通り (Chubu-11 と同じ) とする。

図 1-11 の結果から松前周辺においては北側の断層の大すべり域を南寄りに設定するか、大すべり域を設定しないことで痕跡高に近づくことが示された。小島周辺においては、長さを短くした大すべり域を南寄りに設定することで痕跡高に近づくことが示された。しかし、この場合、大すべり域を設定した場合の背景領域のすべり量よりも、大すべり域を設定しない場合の断層全体の平均すべり量のほうが大きくなることから、小島に近接する部分の断層のすべり量が大きくなり、計算水位上昇量は高くなる。西津軽周辺においては計算値が痕跡高を上回る傾向にあるが、北側の断層に大すべり域を設定しないことで津波痕跡高に近づいた。しかし、この場合には小島周辺における計算水位上昇量が高くなるため、第 1 段階で実施したパラスタの結果と同様に、小島周辺と西津軽周辺の津波痕跡高の条件を同時に満たすことは難しい。能代周辺においては今回、計算を実施した断層モデルではどのパターンにおいても津波痕跡高を再現することはできなかった。男鹿半島周辺では南側の断層の大すべり域の長さが短い場合に痕跡高に近づくことが示された。

これらの結果から、松前周辺の津波は北側の断層に大すべり域を設定しないことで津波痕跡高をおおむね説明できることが示された。また、西津軽周辺では計算水位上昇量が痕跡高よりもやや高くなる傾向にあり、能代周辺では、この地域で得られている津波痕跡高を再現できるような結果は、大すべり域の設定方法や断層形状を変えても得られなかった。

この原因として、能代周辺については、首藤(1984)などによって発生が報告されているソリトンにより局所的に津波痕跡高が高くなった可能性が考えられる。図 1-12 に米代川を遡上するソリトンを示す。また、岩瀬・他(2002)の研究においても、八森地区の沿岸で発生したソリトン波が、一度は碎波減衰するものの、汀線付近で後続の分散波列が、先行する分散波列に追いついて増幅する結果が示されている。



図 1-12 米代川を遡上するソリトン  
(写真左側が上流になる)  
東海大学海洋学部 (1984) : 昭和 58 年  
日本海中部地震写真報告集より

## 2-4 パラメータスタディ：第3段階

地質学的・地形学的データで示される断層は、過去の活動が累積した結果の表現であると考えられ、現在、断層として表れているものが必ずしも日本海中部地震で活動した範囲を示すものとは言えない。これまでに検討してきた断層モデルは、サブテーマ(2)で候補として挙げられてきた断層トレース全体を使用してモデル化したものであり、この断層モデルは相田(1984)の断層モデルや、日本海における大規模地震に関する調査検討会(2014、以下、日本海検討会とする)の断層モデルよりも断層の長さが長くなっている。本検討で設定した断層モデルのモーメントマグニチュードは2枚断層モデルの場合で  $M_w7.91$ 、3枚断層モデルの場合で  $M_w7.97$  である。一方、先行研究の断層モデルの規模は相田のモデルが  $M_w7.7$ 、Sato(1985)のモデルは  $M_w7.9$  であり、本検討の2枚断層モデルについては先行研究で発表されている断層モデルの規模から乖離したものではない。本検討の断層モデルは断層の長さが先行研究よりも大幅に長いものの、先行研究では日本海中部地震の断層面を低角に設定していることから断層幅が大きい。図 1-13 に断層モデルの比較及び日本海中部地震による余震分布を示す。

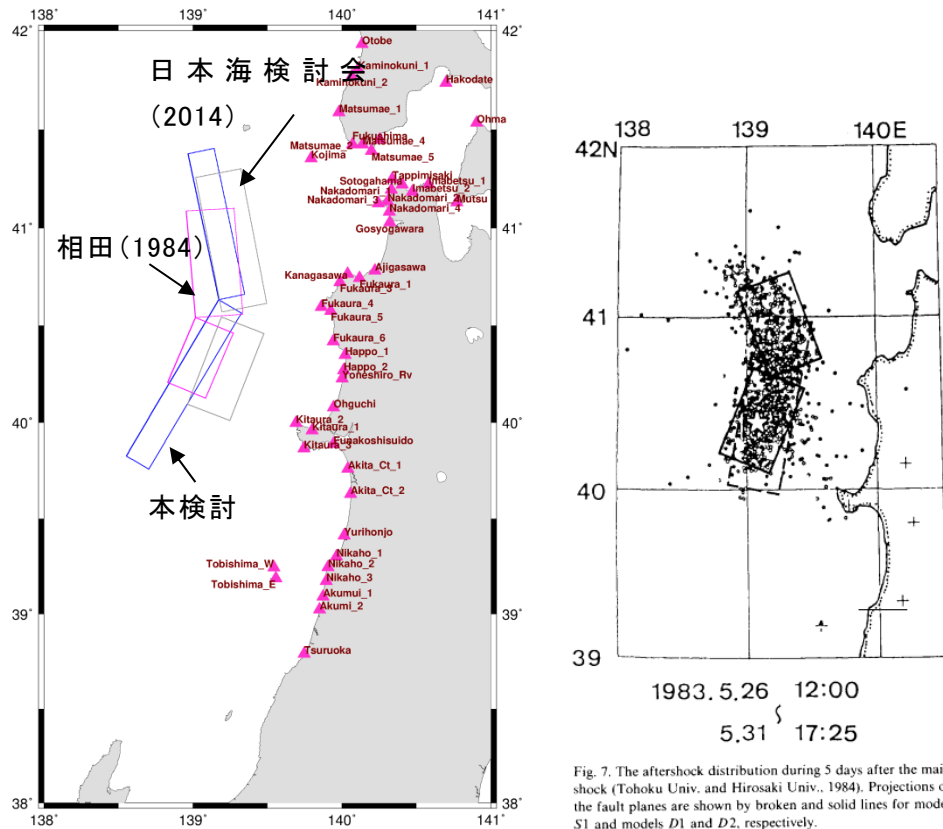


図 1-13 本検討・相田(1984)・日本海検討会(2014)の断層モデルと震源分布の比較。左)断層モデル、右)日本海中部地震の余震域(Satake, 1985)。

本検討で使用した断層形状と余震域と比較すると、サブテーマ(2)のデータから設定した断層モデルの南端は男鹿半島より南まで至っているが、余震域は男鹿半島より北の範囲で収まっている。断層モデルの北端部は北海道の松前半島まで至るが、余震が多くみられる領域は青森県沖より南の範囲である。サブテーマ(2)で読み取られた断層データと個々の地震で実際に活動した区間は異なる可能性がある。

そこで、日本海中部地震をおおむね再現できるような断層モデルを設定するためには、余震分布等から実際に活動した区間を考えた断層モデルを設定することとし、次のように断層パラメータを考えた検討を行った。

### 2-4-1 断層形状の検討

次に述べる2つの断層形状について、大すべり域を設定する位置、大すべり域の個数についてパラメータスタディを行い、日本海中部地震による津波を説明できる断層モデルについて検討した。まず、断層の長さについては、余震分布からそれに近接する断層の組み合わせを考えることで設定した。その結果、設定する長さは相田(1984)等、先行研究に近い長さとなったが(約 110 km)、相田(1984)の断層長さよりも 10km 程度長い。

#### ・断層形状 1

断層傾斜角が先行研究では低角であるとされていることから、地震調査研究推進本部の「震源断層を特定した地震の強震動評価手法(「レシピ」)」にもとづく考え方により 30° で設定した。設定した断層パラメータ及び断層形状を表 1-5 及び図 1-14 に示す。断層形状 1 の断層モデルを用いて計算した場合と、相田(1984)の断層モデルを用いて計算した場合の最大水位上昇量と日本海中部地震による津波の痕跡高を比較したものを図 1-15 に示す。最大水位上昇量は相田(1984)の断層モデルを使用した場合と大きくは変わらないが、計算領域の北側(グラフの左側)でやや本検討の断層モデルを用いたほうが高くなる傾向にある。津波痕跡高に対してはおおむね一致していると言える。

表 1-5 余震域を考慮した断層モデル：断層形状 1

Lat.	Lon.	Top(km)	Bottom(km)	Strike	Dip	Rake	L. (km)	W. (km)	D. (m)	Mw
40.6331	139.1717	0.00	15.00	341.30	30.00	90	58.30	30.00	5.42	7.80
40.2169	138.8645	0.00	15.00	26.80	30.00	90	53.12	30.00		

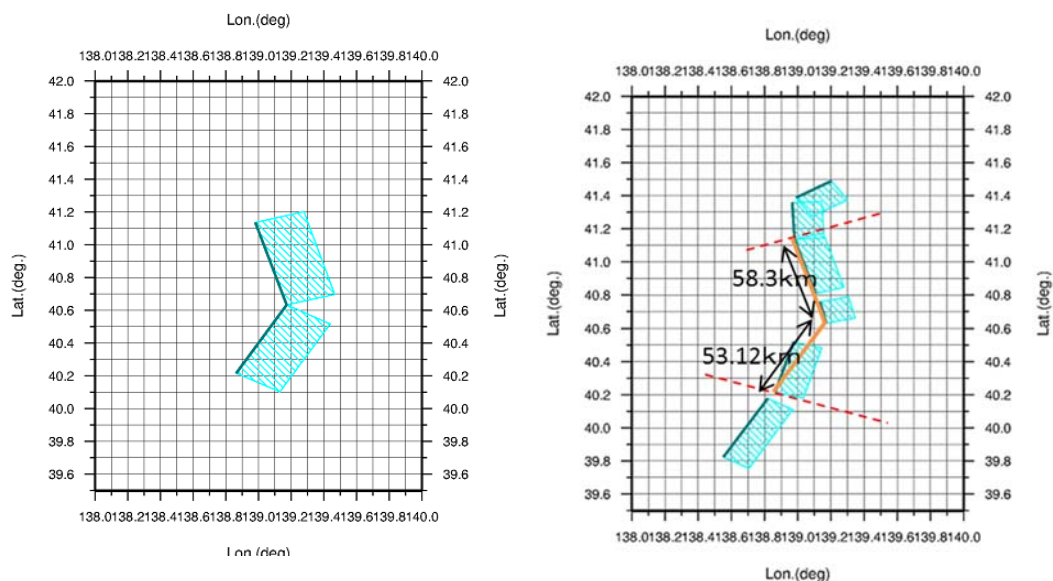
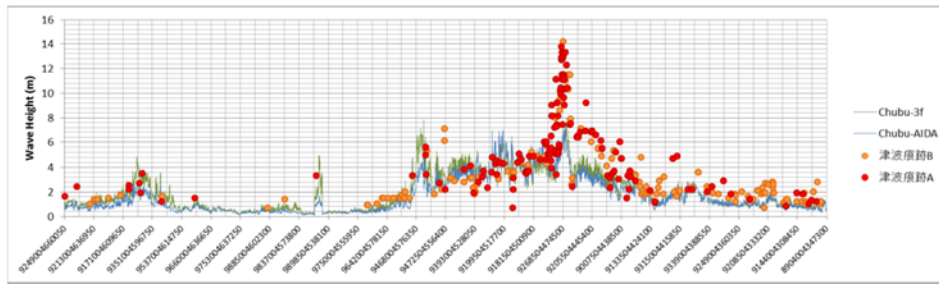


図 1-14 左)設定した断層形状 右)設定方法の考え方。



緑線:本検討  
青線:相田(1984)

図 1-15 断層形状 1 の断層モデルを使用した場合の沿岸の最大水位上昇量を相田(1984)の断層モデルを使用した場合及び津波痕跡高と比較。

・断層形状 2

断層傾斜角をこれまでの断層モデルの設定方針と同様に断層浅部では高角、深部では低角となるように傾斜角を変化させた設定とした。マグニチュードが  $Mw$  7.61 と規模が先行研究に比べるとやや小さめになる。設定した断層パラメータ及び断層形状を表 1-6 及び図 1-16 に示す。

断層形状 2 の断層モデルを用いて計算した場合と、相田(1984)の断層モデルを用いて計算した場合の最大水位上昇量と日本海中部地震による津波の痕跡高を比較したものを図 1-17 に示す。

表 1-6 余震域を考慮した断層モデル：断層形状 2

Lat.	Lon.	Top(km)	Bottom(km)	Strike	Dip	Rake	L. (km)	W. (km)	D. (m)	Mw
40.6331	139.1717	0.00	5.00	341.30	69.00	90	58.30	5.36	3.94	7.61
40.6379	139.1935	5.00	15.00	341.30	37.40	90	58.30	16.47		
40.2169	138.8645	0.00	5.00	26.80	69.00	90	53.12	5.36		
40.2085	138.8841	5.00	15.00	26.80	37.40	90	53.12	16.47		

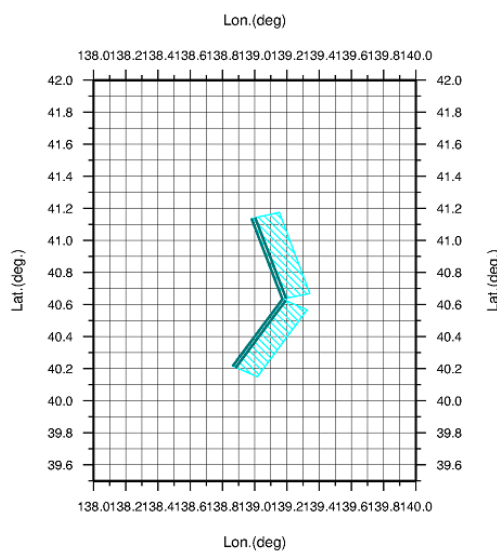
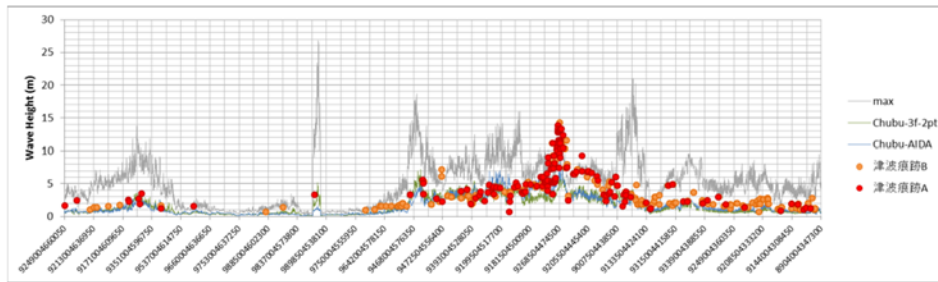


図 1-16 設定した断層形状。



緑線:本検討  
青線:相田(1984)

図 1-17 断層形状 2 の断層モデルを使用した場合の沿岸の最大水位上昇量を相田(1984)の断層モデルを使用した場合及び津波痕跡高と比較。

図 1-17 に示される結果では能代周辺を除いてほぼ津波痕跡高と同等程度か、やや小さいくらいとなっている。

さらに、以上のように設定した断層形状 1 及び 2 と、断層形状 1 について浅部で低角、深部で高角となるような変化をさせて全体の平均を  $30^\circ$  とした断層モデルの 3 種類の断層形状に対して大すべり域の設定方法を検討した。大すべり域の位置は、北側の断層は南寄りに設定し南側の断層は北寄りに設定することを基本としている。

大すべり域の設定の検討パターンは以下の 4 通りであり合計 3 種類  $\times$  4 通 = 12 ケースである。

- ① 北側、南側の両方の断層に大すべり域を設定する場合
- ② 南側のみに設定する場合
- ③ 断層上端部に設定する場合
- ④ 断層下端部に設定する場合

図 1-18 において主な計算結果について比較する。

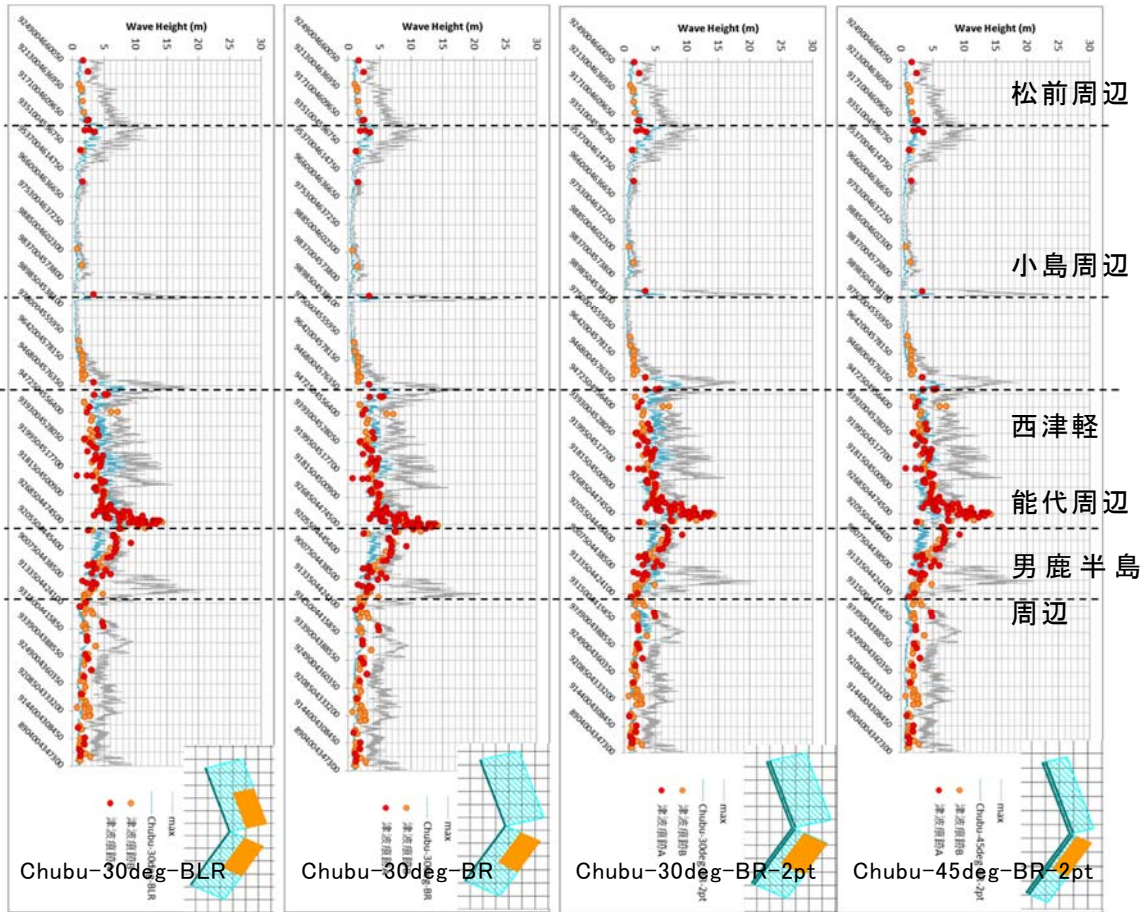


図 1-18 3 種類の断層形状を用いた場合の主な計算結果の比較(今回は合計 12 ケースの計算結果のうち 4 ケースのみを表示)。

図 1-18 において結果を示した断層の、モデル設定の考え方について下記に示す。

- Chubu-30deg-BLR : 断層傾斜角を 30° として設定。  
北側、南側の断層の下端部に大すべり域を設定する。
- Chubu-30deg-BR : 断層傾斜角を 30° とし、南側の断層のみ、下端部に大すべり域を設定する。
- Chubu-30deg-BR-2pt : 断層傾斜角を浅部と深部で変化させ、平均 30° とする。  
南側の断層のみ下端部に大すべり域を設定する。
- Chubu-45deg-BR-2pt : 断層傾斜角を浅部と深部で変化させ、平均 45° とする。  
南側の断層のみ下端部に大すべり域を設定する。

図 1-18 に示した 4 ケースの計算結果では、いずれも松前周辺及び小島周辺では痕跡高と同程度、西津軽周辺では痕跡高と同程度か、やや高い程度の最大水位上昇量が示された。能代周辺では痕跡高より低くなっている一方で、男鹿周辺では痕跡高と同程度の結果が得られた。

この結果から余震分布をもとに断層の組み合わせを考慮することで、日本海中部地震による津波をある程度説明できる可能性が示された。以上の検討は最小格子サイズが 150m の地形モデルを使用し実施した概略計算である。この検討で比較的、津波痕跡高の再現性が良かった断層モデルについて 50m メッシュの地形モデルを使用した詳細計算用の断層モデ



ルとすることとした。このため、パラメータスタディの計算結果について  $K$ - $\kappa$  による比較を行う。

断層モデルの適合度合を評価する指標として相田(1977)による幾何平均  $K$  及び幾何標準偏差  $\kappa$  を用いて津波痕跡高と計算津波高さを比較した。

$K$  及び  $\kappa$  の定義式は次で示される。

$$\log K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log K_i \quad \cdots(1)$$

$$\log \kappa = \left[ \frac{1}{n} \{ \sum_{i=1}^n (\log K_i)^2 - n(\log K)^2 \} \right]^{1/2} \quad \cdots(2)$$

ここで、

$n$  : 地点数

$K_i$  :  $R_i/H_i$

$R_i$  :  $i$  番目の地点での痕跡高

$H_i$  :  $i$  番目の地点での計算値

土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2002)による基準では、断層モデルがよく適合しているときの目安として  $0.95 < K < 1.05$  及び  $\kappa < 1.45$  という範囲を示している。

表 1-7 に最小 150m メッシュの計算を行った主な断層モデルの  $K$ - $\kappa$  を挙げる。50m メッシュの詳細計算においては、海底地形や海岸地形の局所的な影響により、150m メッシュの概略計算における最大水位上昇量よりも計算結果が高くなることが経験的に予想されることから、50m メッシュを用いた詳細計算を行う断層モデルは、 $K$  が 1.0 よりも大きいものとするほうが再現性としては良くなると考え、 $K$  が 1.2 前後のものを中心に選定した。

表 1-7 パラメータスタディを行った主な断層モデルの  $K$ - $\kappa$

model	本検討 (最小 150m メッシュ)		model	本検討 (最小 150m メッシュ)	
	$K$	$\kappa$		$K$	$\kappa$
Chubu-33	0.89	1.82	Chubu-11h	0.84	1.64
Chubu-11	0.85	1.63	Chubu-11w	0.85	1.56
Chubu-12	0.85	1.96	Chubu-11-S	0.90	1.56
Chubu-21	0.93	1.59	Chubu-11-S-2pt	0.79	1.59
Chubu-13	0.83	1.77	Chubu-MX	1.10	1.70
Chubu-32	0.93	2.07	Chubu-MX-fupper	1.00	1.73
Chubu-23	0.95	1.83	Chubu-test-1	0.93	1.57
Chubu-31	0.87	1.61	Chubu-test-1-fupper	0.87	1.60
Chubu-3f-33	0.80	1.83	Chubu-11h-S	0.89	1.52
Chubu-3f-11	0.76	1.63	Chubu-11w-S	0.88	1.51
Chubu-3f-12	0.76	1.95			
Chubu-3f-21	0.84	1.61	Chubu-AIDA	1.44	1.51
Chubu-3f-13	0.75	1.77	Chubu-3f (30deg)	1.33	1.49
Chubu-3f-32	0.83	2.06	Chubu-3f-LR	1.23	1.63
Chubu-3f-23	0.86	1.84	Chubu-3f-R	1.31	1.53
Chubu-3f-31	0.79	1.63	Chubu-30deg-BLR	1.16	1.54
Chubu-33-2pt	0.77	1.83	Chubu-30deg-BR	1.23	1.51
Chubu-11-2pt	0.74	1.65	Chubu-30deg-2pt	1.10	1.57
Chubu-12-2pt	0.74	1.99	Chubu-30deg-LR-2pt	0.91	1.67
Chubu-21-2pt	0.80	1.61	Chubu-30deg-R-2pt	0.99	1.61
Chubu-13-2pt	0.73	1.79	Chubu-30deg-BLR-2pt	1.03	1.53
Chubu-32-2pt	0.81	2.10	Chubu-30deg-BR-2pt	1.06	1.54
Chubu-23-2pt	0.82	1.85	Chubu-3f-2pt (45deg.)	1.61	1.56
Chubu-31-2pt	0.76	1.64	Chubu-3f-2pt_fupper	1.47	1.61
Chubu-3f-33-2pt	0.72	1.85	Chubu-3f-LR-2pt	1.54	1.73
Chubu-3f-11-2pt	0.69	1.67	Chubu-3f-R-2pt	1.63	1.62
Chubu-3f-12-2pt	0.70	2.03	Chubu-45deg-BLR-2pt	1.53	1.58
Chubu-3f-21-2pt	0.77	1.64	Chubu-45deg-BR-2pt	1.58	1.59
Chubu-3f-13-2pt	0.68	1.81			
Chubu-3f-32-2pt	0.78	2.18			
Chubu-3f-23-2pt	0.78	1.89			
Chubu-3f-31-2pt	0.72	1.66			

### 3. 1983年日本海中部地震を対象とした津波予測計算

#### 3-1 断層パラメータ

ここまでで実施した150mメッシュの地形モデルを用いた津波予測計算の概略計算による結果(表1-7)を考慮して選定した、50mメッシュの地形モデルによる詳細計算に資する断層モデルのパラメータを表1-8に示す。

表1-8 断層パラメータ

Lat. (deg.)	Lon. (deg.)	Top (m)	Bottom (m)	Strike (deg.)	Dip (deg.)	Rake (deg.)	L. (m)	W. (m)	D. (m)	Mag. (Mw)
①相田(1984)の断層モデル。大すべり域なし。 Chubu-AIDA										
40.2	138.8	2000	19300	22.0	40.0	90	40000	30000	4.87	7.70
40.5	139.0	3000	12700	355.0	25.0	80	60000	30000	4.87	
②断層長さを余震域から設定。傾斜角を低角(30°)として設定。大すべり域なし。 Chubu-3f_30deg										
40.6	139.2	0	15000	341.3	30.0	90	58300	30000	5.42	7.80
40.2	138.9	0	15000	26.8	30.0	90	53120	30000	5.42	
③断層長さを余震域から設定。傾斜角を低角(30°)として設定。南側の断層にのみ上端部北寄りに大すべり域を設定。 Chubu-3f-R										
40.6	139.2	0	15000	341.3	30.0	90	58300	30000	5.42	7.80
40.2	138.9	0	15000	26.8	30.0	90	53120	30000	3.10	
40.4	139.0	0	8220	26.8	30.0	90	29100	16430	10.80	
④断層長さを余震域から設定。傾斜角を低角(30°)として設定。下端部に大すべり域を設定。北側の断層は南寄り、南側の断層は北寄り。 Chubu-30deg-BLR										
40.6	139.2	0	15000	341.3	30.0	90	58000	30000	3.10	7.80
40.2	138.9	0	15000	26.8	30.0	90	53120	30000	3.10	
40.7	139.3	6790	15000	341.3	30.0	90	31930	16430	10.80	
40.4	139.1	6790	15000	26.8	30.0	90	29100	16430	10.80	
⑤断層長さを余震域から設定。傾斜角を低角(30°)として設定。南側の断層のみ、北寄りの下端部に大すべり域を設定。 Chubu-30deg-BR										
40.6	139.2	0	15000	341.3	30.0	90	58000	30000	5.42	7.80
40.2	138.9	0	15000	26.8	30.0	90	53120	30000	3.10	
40.4	139.1	6790	15000	26.8	30.0	90	29100	16430	10.80	
⑥断層長さを余震域から設定。平均傾斜角を低角(30°)として設定。大すべり域なし。 Chubu-30deg-2pt										
40.6	139.2	0	5000	341.3	69.0	90	58300	5360	5.68	7.82
40.6	139.2	5000	15000	341.3	22.6	90	58300	26060	5.68	
40.2	138.9	0	5000	26.8	69.0	90	53120	5360	5.68	
40.2	138.9	5000	15000	26.8	22.6	90	53120	26060	5.68	

Lat. (deg.)	Lon. (deg.)	Top (m)	Bottom (m)	Strike (deg.)	Dip (deg.)	Rake (deg.)	L. (m)	W. (m)	D. (m)	Mag. (Mw)
⑦断層長さを余震域から設定。平均傾斜角を低角(30°)として設定。南側の断層のみ、下端部の北寄りに大すべり域を設定。 Chubu-30deg-BR-2pt										
40.6	139.2	0	5000	341.3	69.0	90	58300	5360	5.68	7.82
40.6	139.2	5000	15000	341.3	22.6	90	58300	26060	5.68	
40.2	138.9	0	5000	26.8	69.0	90	53120	5360	3.24	
40.2	138.9	5000	15000	26.8	22.6	90	53120	26060	3.24	
40.1	138.9	7930	15000	26.8	22.6	90	29100	18430	11.40	
⑧断層長さを余震域から設定。傾斜角を一般的な値(45°)として設定。大すべり域なし。 Chubu-3f-2pt_45deg										
40.6	139.2	0	5000	341.3	69.0	90	58300	5360	3.94	7.61
40.6	139.2	5000	15000	341.3	37.4	90	58300	16470	3.94	
40.2	138.9	0	5000	26.8	69.0	90	53120	5360	3.94	
40.2	138.9	5000	15000	26.8	37.4	90	53120	16470	3.94	
⑨断層長さを余震域から設定。傾斜角を一般的な値(45°)として設定。南側の断層のみ、上端部の北寄りに大すべり域を設定。 Chubu-3f-R-2pt										
40.6	139.2	0	5000	341.3	69.0	90	58300	5360	3.94	7.61
40.6	139.2	5000	15000	341.3	37.4	90	58300	16470	3.94	
40.2	138.9	0	5000	26.8	69.0	90	53120	5360	2.25	
40.2	138.9	5000	15000	26.8	37.4	90	53120	16470	2.25	
40.4	139.0	0	5000	26.8	69.0	90	29100	5360	7.89	
40.4	139.1	5000	9530	26.8	37.4	90	29100	7450	7.89	
⑩断層長さを余震域から設定。平均傾斜角を一般的な値(45°)として設定。南側の断層のみ、上端部の北寄りに大すべり域を設定。 Chubu-45deg-BR-2pt										
40.6	139.2	0	5000	341.3	69.0	90	58300	5360	3.95	7.61
40.6	139.2	5000	15000	341.3	37.4	90	58300	16470	3.95	
40.2	138.9	0	5000	26.8	69.0	90	53120	5360	2.25	
40.2	138.9	5000	15000	26.8	37.4	90	53120	16470	2.25	
40.4	139.1	7220	15000	26.8	37.4	90	29100	12810	7.89	

### 3-2 津波予測解析の手法

#### ① 計算領域

津波予測解析の計算領域を図 1-19 に示す。計算領域については、外洋から沿岸へ 3 対 1 の割合で計算領域を細分化した。各計算領域の格子サイズは外洋から順に 1, 350m、450m、150m、50m である。沿岸の 50m 格子領域の位置図を図 1-20 に示す。

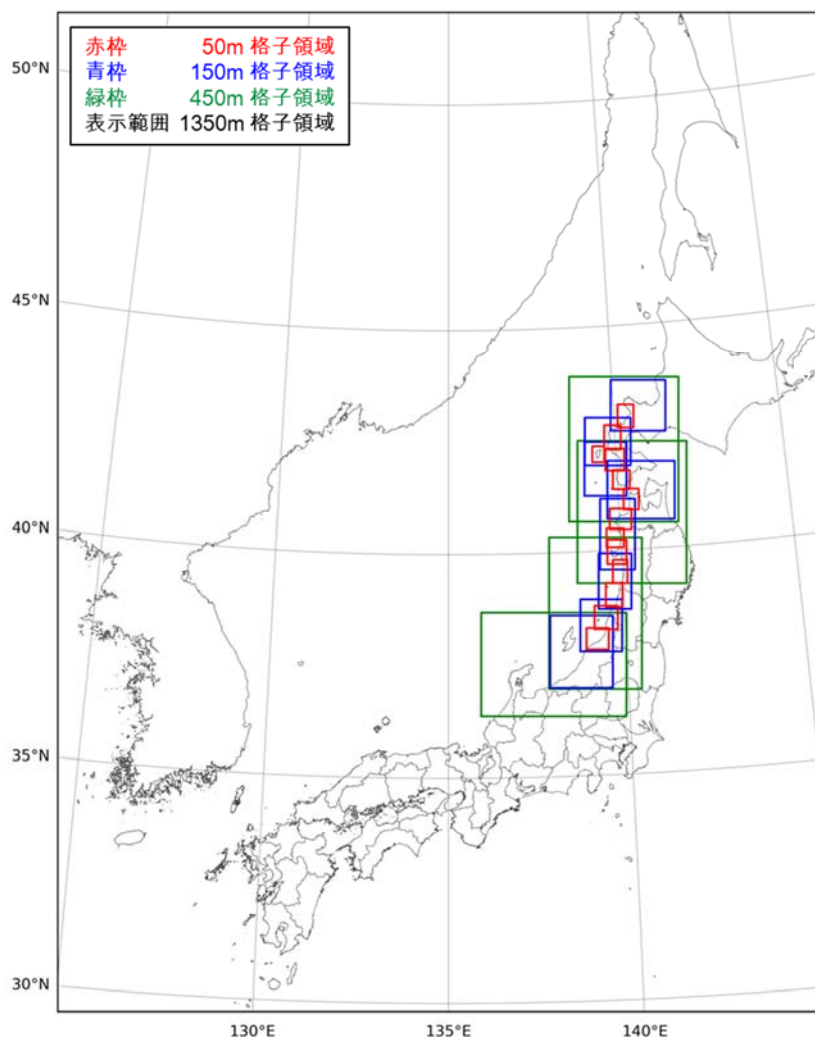


図 1-19 計算領域の位置。

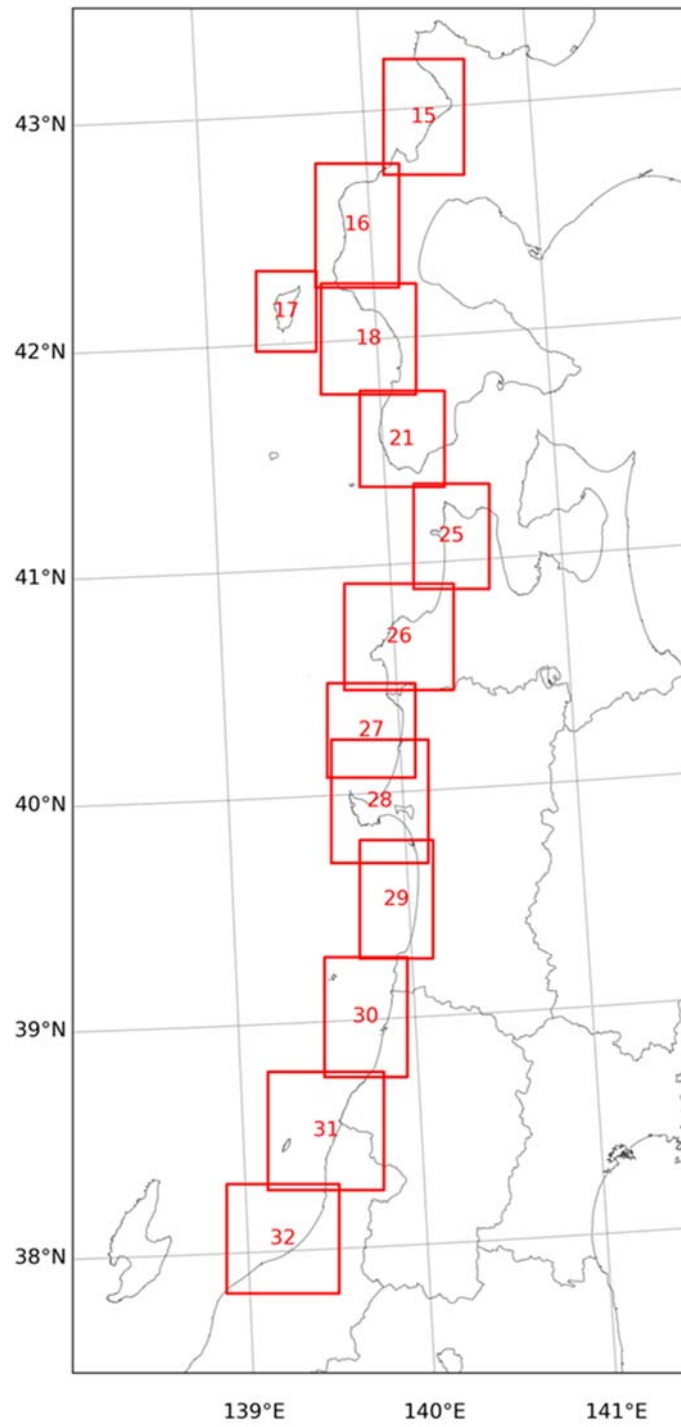


図 1-20 沿岸の 50m 格子領域の位置と領域番号。

## ②地形モデル

地形モデルは本プロジェクトにおいて平成 27 年度に整備したものを使用した。

## ③計算条件

表 1-9 に津波予測解析の計算条件を示す。

表 1-9 津波予測解析の計算条件

内容	
支配方程式	非線形長波理論
数値解法	Staggered Leap-frog 差分スキーム
計算領域	日本海東縁部周辺海域(図 1-20)
計算領域の格子サイズ	外洋から順に 1,350m、450m、150m、50m(図 1-20)
境界条件	陸域では遡上を考慮 海側では無反射の透過境界
各種施設の取り扱い	各種施設(堤防・水門等)は考慮しない
計算時間	6 時間
初期水位	Okada(1992)で算出した海底地盤変位量
潮位	T.P. 0 m
打ち切り水深	$10^{-2}$ m
粗度係数	0.025

### 3-3 津波予測解析の結果と妥当性の検証

津波予測解析の結果を図 1-21～図 1-30 に示す。断層モデルの妥当性については、津波予測解析で計算した沿岸の最大津波水位と痕跡とを比較し、幾何平均値  $K$  と幾何標準偏差  $\kappa$  を求めることで検証した(表 1-10)。 $K$ - $\kappa$  による評価方法については 252～275 頁で述べた通りである。

使用した痕跡は、「津波痕跡データベース」に記載されている 1983 年日本海中部地震津波に該当する計 2,662 地点(2016 年 7 月閲覧)のうち、検討地域沿岸から 100m 以内にある痕跡信頼度が A か B かつ痕跡パターンが浸水高である地点とした。

表 1-10 断層モデルの妥当性

断層モデル名	$K$	$\kappa$
① Chubu-AIDA	1.35	1.58
② Chubu-3f_30deg	1.45	1.53
③ Chubu-3f-R	0.97	1.53
④ Chubu-30deg-BLR	0.92	1.58
⑤ Chubu-30deg-BR	1.01	1.56
⑥ Chubu-30deg-2pt	0.98	1.60
⑦ Chubu-30deg-BR-2pt	0.89	1.62
⑧ Chubu-3f-2pt_45deg	1.51	1.59
⑨ Chubu-3f-R-2pt	1.32	1.56
⑩ Chubu-45deg-BR-2pt	1.38	1.60

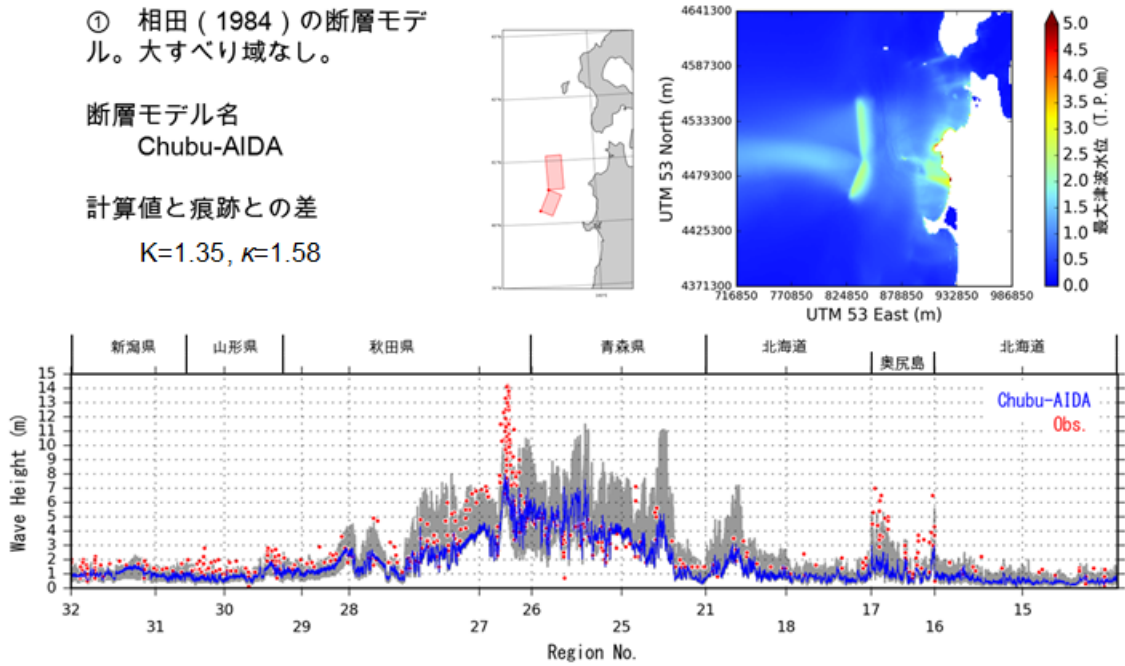


図 1-21 最大水位上昇量 T.P. 0 m (Chubu-AIDA モデルの計算値) と痕跡。

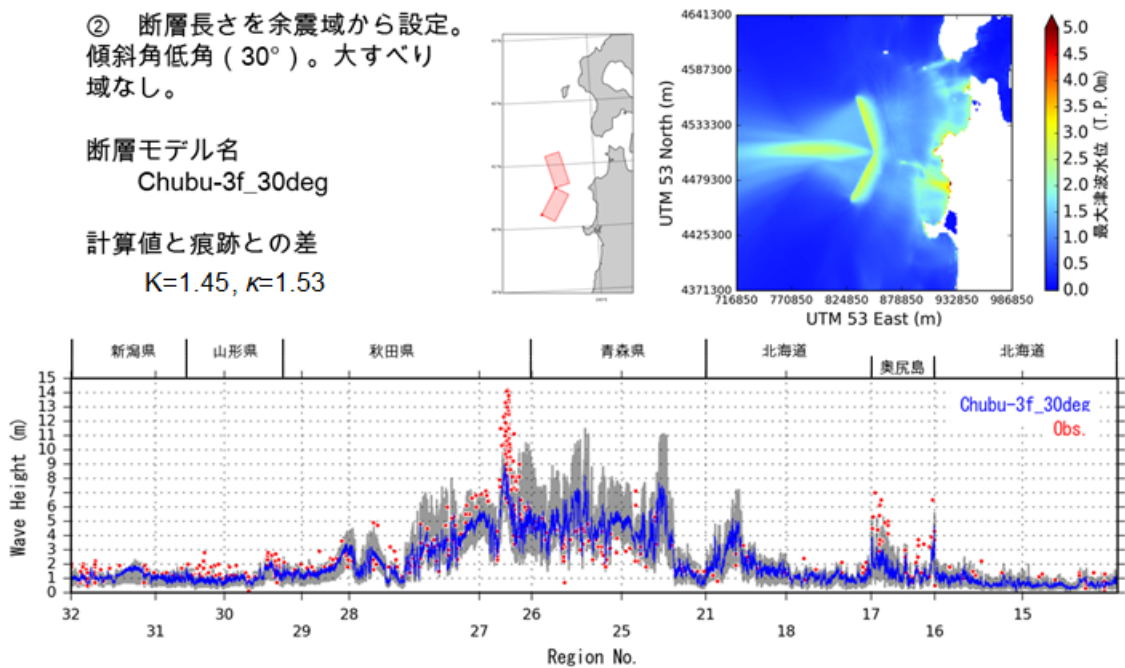


図 1-22 最大水位上昇量 T.P. 0 m (Chubu-3f\_30deg モデルの計算値) と痕跡。



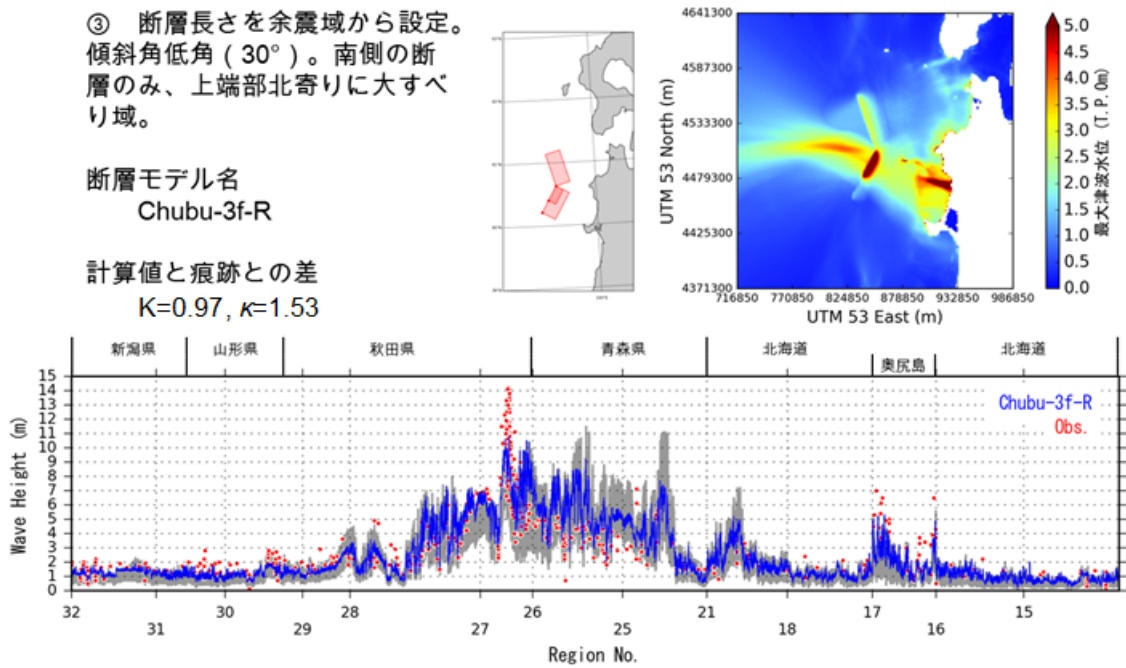


図 1-23 最大水位上昇量 T.P. 0 m (Chubu-3f-R モデルの計算値) と痕跡。

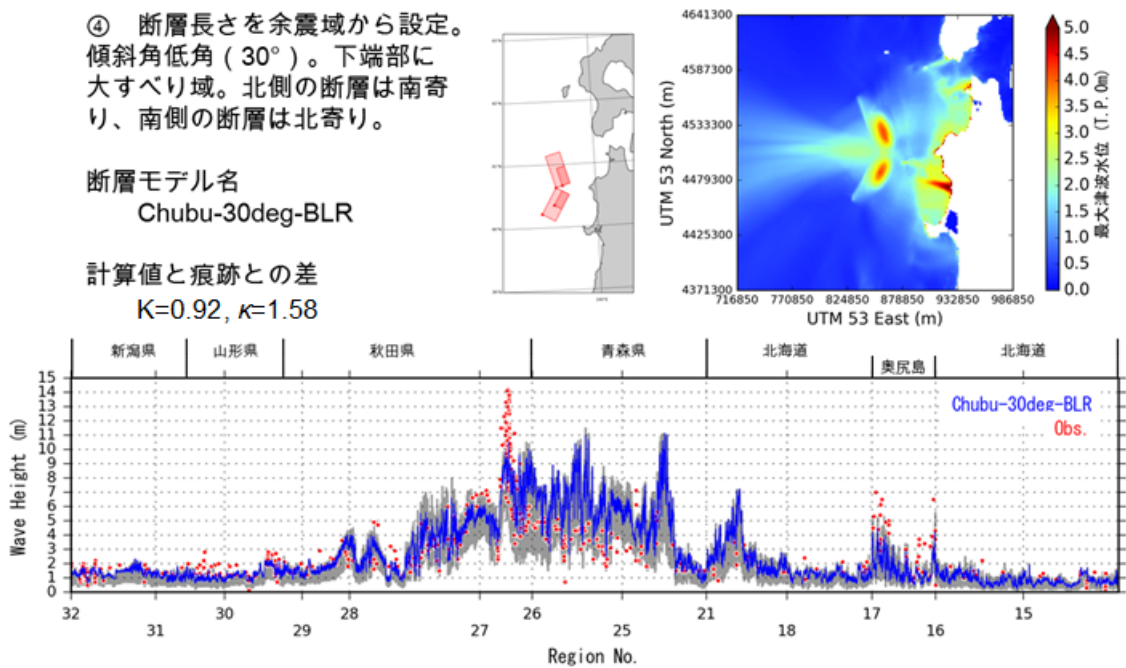


図 1-24 最大水位上昇量 T.P. 0 m (Chubu-30deg-BLR モデルの計算値) と痕跡。

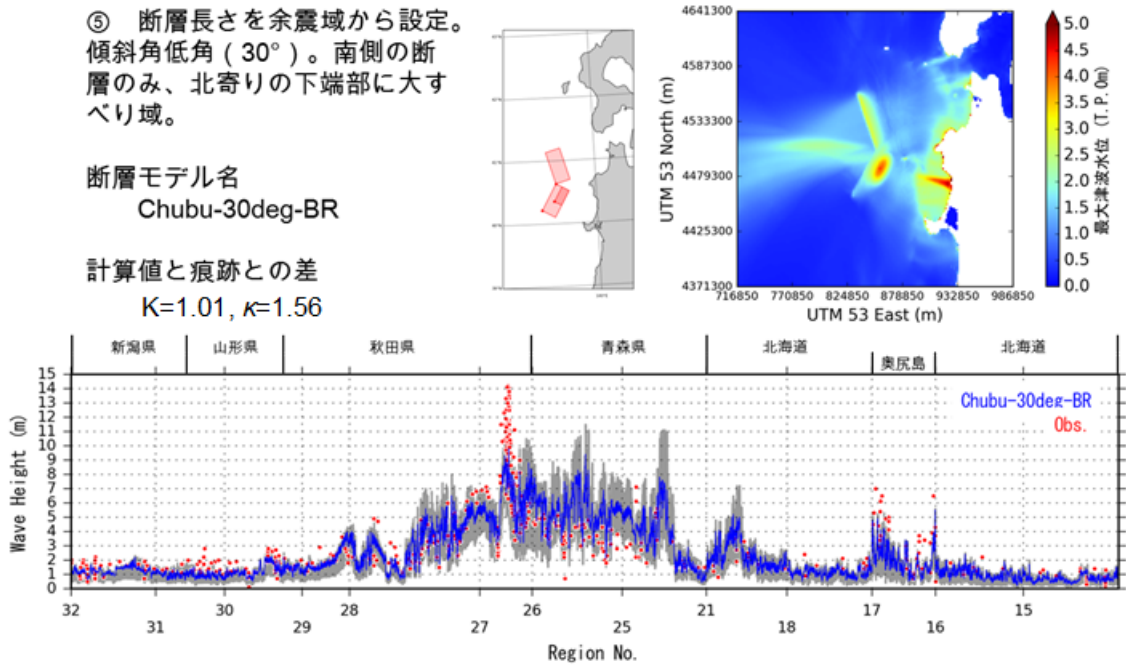


図 1-25 最大水位上昇量 T.P. 0 m (Chubu-30deg-BR モデルの計算値) と痕跡。

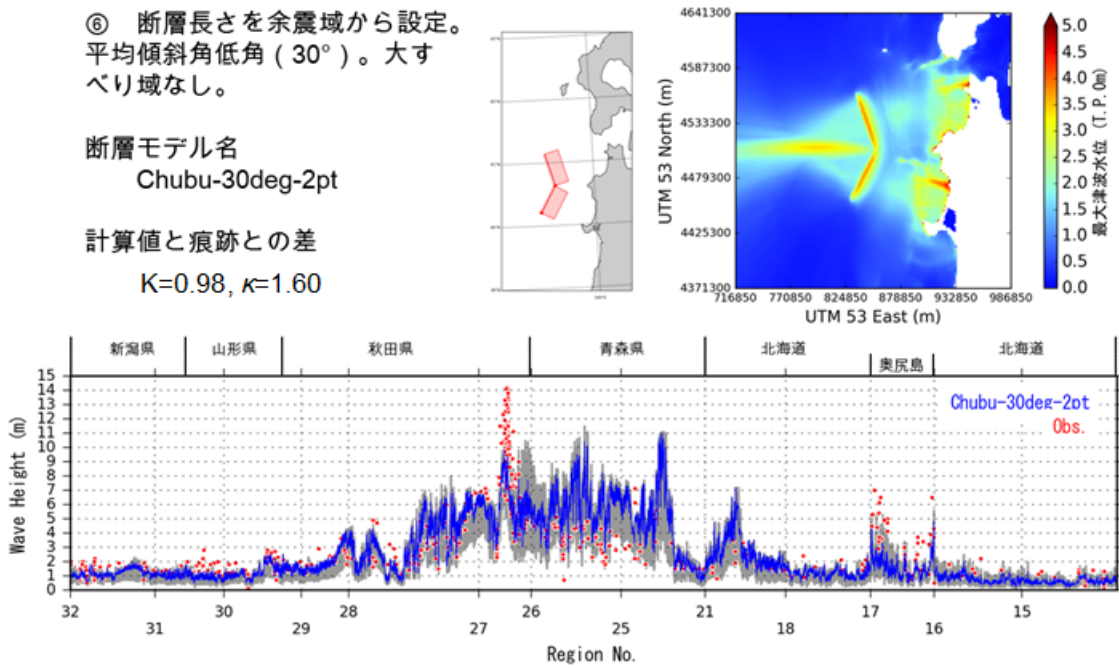


図 1-26 最大水位上昇量 T.P. 0 m (Chubu-30deg-2pt モデルの計算値) と痕跡。

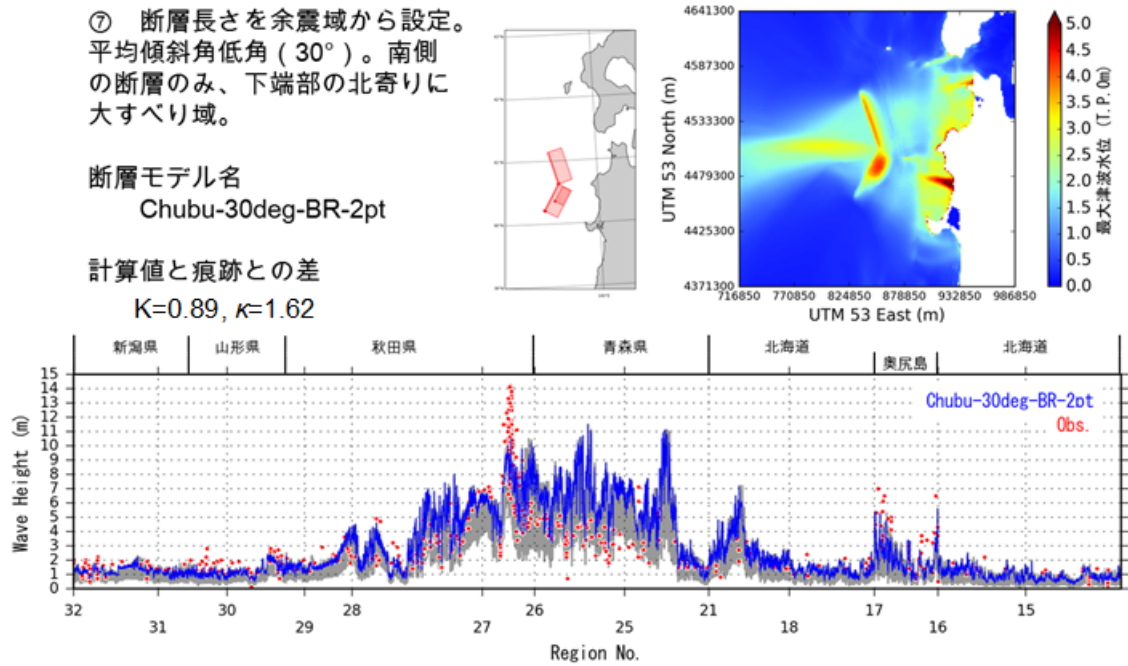


図 1-27 最大水位上昇量 T.P. 0 m (Chubu-30deg-BR-2pt モデルの計算値) と痕跡。

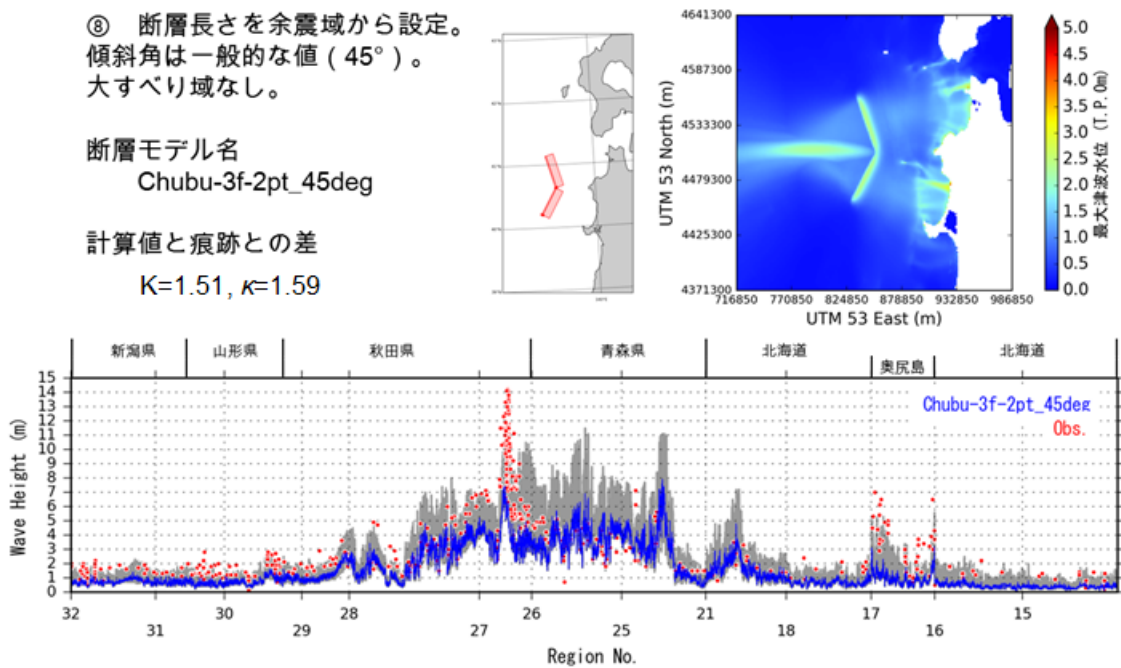


図 1-28 最大水位上昇量 T.P. 0 m (Chubu-3f-2pt\_45deg モデルの計算値) と痕跡。

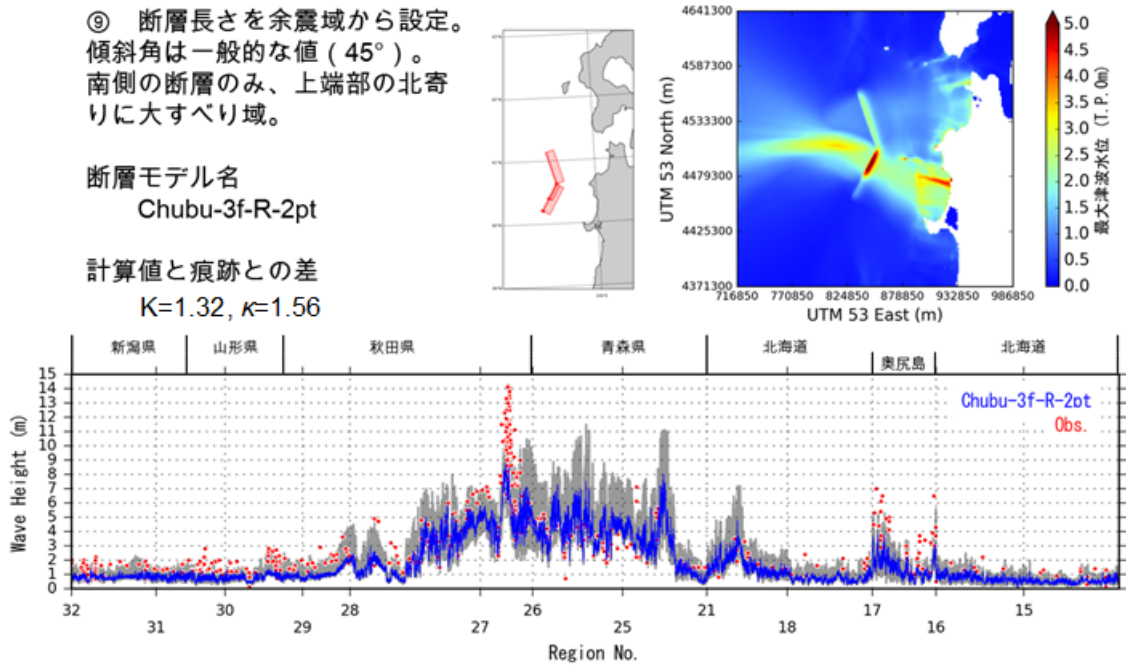


図 1-29 最大水位上昇量 T.P. 0 m (Chubu-3f-R-2pt モデルの計算値) と痕跡。

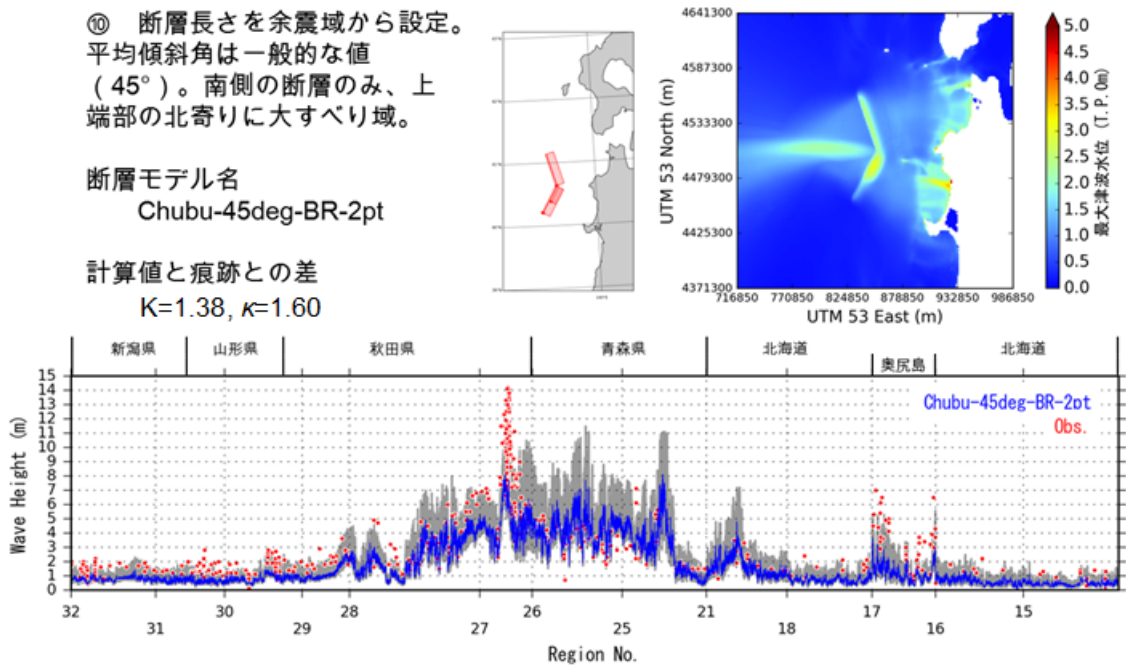


図 1-30 最大水位上昇量 T.P. 0 m (Chubu-45deg-BR-2pt モデルの計算値) と痕跡。

最小 150 m メッシュの地形モデルを用いた計算により選定した断層モデルをベースに設定した合計 10 個の断層モデルについて、50 m メッシュの地形モデルを用いた津波予測計算を実施することで、日本海中部地震による津波の再現性について検討を行った。妥当性の評価方法については、津波予測計算で得られた沿岸の最大津波水位と日本海中部地震による津波痕跡高を比較し、幾何平均値  $K$  と幾何標準偏差  $\kappa$  を求める方法により行った。

先行研究の事例として相田(1984)の断層モデルを使用して計算した場合の  $K$ - $\kappa$  は、 $K=1.35$ 、 $\kappa=1.58$  となった。本検討において設定した断層モデルについては、以下の 2 つのパターンで比較的良好な  $K$ - $\kappa$  が得られた。

a) 傾斜角を低角 ( $30^\circ$ ) とし、

南側の断層のみ、断層上端部北寄りに大すべり域を設定した場合… $K=0.97$ 、 $\kappa=1.53$

b) 傾斜角を低角とし、

南側の断層のみ、断層下端部北よりに大すべり域を設定した場合… $K=1.01$ 、 $\kappa=1.56$

相田(1984)の断層モデル及び本検討で設定した断層モデルにおいて、 $K$  の値は 0.89～1.51 と適合度に大きな幅を持つものの、 $\kappa$  の値については 1.53～1.62 とあまり大きな違いが見られなかった(表 1-10)。土木学会原子力土木委員会における適合性の基準として、 $\kappa < 1.45$  とされているが、この範囲にある結果は今回、得られていない。しかし、 $K$  については、 $0.95 < K < 1.05$  の範囲に入る計算結果は複数得られており、津波高さの再現性については日本海中部地震により発生した津波の高さを再現できる断層モデルを示すことができたと考える。

これらの結果から、地質学的データや地形を参照して得られた断層データと、余震分布等の地震学的データを合わせて考慮することにより、過去の地震による津波痕跡高を、ある程度は説明できる可能性が示された。

#### 4. まとめ

##### 4-1 パラメータスタディによる詳細計算用断層モデルの選定

サブテーマ(2)で得られた断層データのモデル化方法について検討した。その結果、以下のような結果を得た。

①津波予測計算の結果において、断層トレースの近似方法による顕著な違いは見られなかったことから、断層モデルは単純化した形で設定することができると判断し、南北で合計 2 枚ないし 3 枚の断層からなる断層モデルを採用した。

②①の結果から設定した断層モデルに対して、断層傾斜角を一定とする場合と、断層傾斜角を浅部では高角、深部では底角とする場合の 2 通りの設定。さらに大すべり域の位置について 8 通りのパターンを設定したパラメータスタディを行った。その結果、北側の断層と南側の断層の境界となる屈折部分の対岸付近の地域で断層パラメータの設定のちがいによる沿岸の水位上昇量のバラツキが大きくなった。また、北側の断層の大すべり域を南よりに設定することで、松前周辺の最大水位上昇量を

津波痕跡高に近づく結果となった。能代周辺においては、津波痕跡高が局所的に高くなっているため、これを再現することはできなかった。

- ③②の結果から、大すべり域の設定方法が異なる断層モデルを複数パターン、パラメータスタディを行うことで、計算領域の北部の水位上昇量を低く抑え、能代周辺に高い波を集めるような断層モデルを検討した。その結果、松前周辺の津波痕跡高は、北側の断層に大すべり域を設定しないこととおおむね説明できることが示された。能代周辺については、これを再現できるような高い津波高さを得ることができなかった。能代周辺については、先行研究によって、ソリトン波が観測されたことが報告されており、これが原因で局所的に高い津波が発生した可能性がある。しかし、今回の津波予測計算の方法ではソリトン波の発生を検証することはできない。
- ④①～③までの結果考慮し、また、先行研究における断層モデルの違いと日本海中部地震による余震域を比較した。これにより、余震域を参照した断層モデルを設定し、断層傾斜角を低角(30°)とする場合と通常通り(45°)の場合、断層傾斜角を浅部と深部で変化させる場合について津波予測計算を実施し比較した。また、大すべり域の設定方法についても検討した。その結果、余震域を考慮して断層モデルを設定することで日本海中部地震による津波痕跡高をおおむね説明できる可能性が示された。パラメータスタディの結果を、 $K-\kappa$ を用いることで断層モデルの適合度を定量的に判断することにより、検証用の断層モデルを選定した。

#### 4-2 日本海中部地震を対象とした津波予測計算

4-1 で選定した断層モデルをベースに 50m メッシュの地形モデルを用いた津波予測計算を実施することで、日本海中部地震による津波の再現性について検討を行った。

- ①先行研究の事例として相田(1984)の断層モデルを使用して計算した場合の  $K-\kappa$  は  $K=1.35$ 、 $\kappa=1.58$  となった。
- ②本検討において設定した断層モデルのうち以下の2つのパターンで比較的良好な  $K-\kappa$  が得られた。
- a) 傾斜角を低角(30°)とし、南側の断層のみ、断層上端部北寄りに大すべり域を設定した場合
  - b) 傾斜角を低角とし、南側の断層のみ、断層下端部北よりに大すべり域を設定した場合
- 得られた  $K-\kappa$  は、a)の場合で、 $K=0.97$ 、 $\kappa=1.53$
- b)の場合で、 $K=1.01$ 、 $\kappa=1.56$  となった。
- ③相田(1984)の断層モデル及び本検討で設定した断層モデルにおいて、 $K$  の値は 0.89～1.51 と適合度に大きな幅を持つものの、 $\kappa$  の値については 1.53～1.62 とあまり大きな違いが見られなかった。土木学会原子力土木委員会における適合性の基準として、 $\kappa < 1.45$  とされているが、この範囲にある結果は今回、得られていない。しかし、 $K$  については、 $0.95 < K < 1.05$  の範囲に入る計算結果は複数得られている。
- ④①～③の結果から、地質学的データや地形を参照して得られた断層データと、余震分布等の地震学的データを合わせて考慮することにより、過去の地震による津波痕跡高を、ある程度は説明できる可能性が示された。

## 5. 引用文献

相田勇, 1983 年日本海中部地震津波の波源数值モデル, 東京大学地震研究所彙報, 59:99-104, 1984.

相田勇, 三陸沖の古い津波のシミュレーション, 東京大学地震研究所彙報, 52, 71-101, 1977.

土木学会原子力土木委員会津波評価部会, 原子力発電所の津波評価技術(本編), 1-9, pp. 2-110~190, 2002.

独立行政法人防災科学技術研究所, 「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクト」文部科学省委託研究, ひずみ集中帯の重点的調査観測研究, 総括成果報告書, 平成 25 年 5 月, 2013.

岩瀬浩之・見上敏文・後藤智明・藤間功司, 津波の伝播計算を対象とした非線形分散長波式の比較, 土木学会論文集, No. 705/II-59, 2002.

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」)(平成 21 年 12 月 21 日改定), 2009.

Kanamori, H. and L. Astiz, The 1983 Akita-Oki Earthquake ( $M_w = 7.8$ ) and Its Implications for Systematics of Subduction Earthquakes, *Terra Scientific Publishing Company (Terrapub)*, Tokyo, Japan. Earthq. Predict. Res. 3 (1985) 305-317, 1985.

小菅正裕・池田仁美・鎌塚吉忠・佐藤裕, 余震分布・地殻変動・津波データによる 1983 年日本海中部地震の静的断層モデル, 測地学会誌, 32(4) 290-302, 1986.

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 26 年度成果報告書,  
[http://www.jishin.go.jp/database/project\\_report/kaiiki-h26/](http://www.jishin.go.jp/database/project_report/kaiiki-h26/), 2015.

日本海における大規模地震に関する調査検討会, 日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書(平成 26 年 9 月),  
[http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/daikibojishinchousa/](http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/daikibojishinchousa/), 2014.

Okada, Y, Internal Deformation due to Shear and Tensile in a half-space, Bull. Seismol. Soc. Am., 85, 1018-1040, 1992.

Satake, K. , The mechanism of the 1983 Japan Sea earthquake as inferred from long-period surface waves and tsunamis, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 37:249-260, 1985.

Sato, T. , Rupture Characteristics of the 1983 Nihonkai Chubu (Japan Sea) Earthquake as Inferred from Strong Motion Accelerograms *J. Phys. Earth*, 33:525-557, 1985.

首藤伸夫, 秋田県北部沿岸における日本海中部地震津波, 津波工学研究報告, 1:12-26, 1984.

多田堯, 日本海中部地震と地殻変動, 月刊地球, 6, 18-21, 1984.

高木章雄・長谷川昭・西城忠泰・山本明・三品正明・海野徳仁・植木貞人・橋本恵一・佐藤俊也・堀修一郎・立花憲司・村上栄寿・河野俊夫・仁田交市・清水洋・松沢暢・小原一成・野坂正史・佐藤裕・田中和夫・佐藤魂夫・小菅正裕・浜口博之・小山順二, 1983年日本海中部地震による災害の総合的調査研究, 2.2 本震前後の地震活動, 文部省科学研究費(No. 58022002)自然災害特別研究突発災害研究成果, 乗富一雄編, 24-30, 1984.

田中和夫・佐藤魂夫・小菅正裕・佐藤裕, 1983年日本海中部地震による災害の総合的研究, 2.4 日本海中部地震の特性, 文部省科学研究費(No. 58022002)自然災害特別研究突発災害研究成果, 乗富一雄編, 39-45, 1984.

東北大学災害科学国際研究所災害リスク研究部門津波工学研究分野低頻度リスク評価研究分野・原子力規制庁長官官房技術基盤グループ安全技術管理官(地震・津波担当)付:津波痕跡データベース、  
<http://tsunami3.civil.tohoku.ac.jp> (オンライン, 2017年3月閲覧).

東海大学海洋学部, 昭和58年日本海中部地震写真報告集, P64, 1984.

海野徳仁・松沢暢・小原一成・清水洋・長谷川昭・高木章雄・小菅正裕・田中和夫・佐藤魂夫・佐藤裕, 1983年日本海中部地震—(2)余震の震源分布—, 1983年秋季地震学会講演予稿集, 4, 1983.



## 付録 2：1993 年北海道南西沖地震の再現的断層モデルの検討

### 1. 検討の背景と手法

サブテーマ(3)では、サブテーマ(2)による地質学的・地球物理学的データに基づいて設定した断層モデルについて、津波予測計算による断層モデル設定方法の検証を実施している。平成 27 年度には 1940 年神威岬沖地震による津波について、津波予測計算及び津波痕跡データとの比較を実施した。平成 28 年度の作業としては、日本海で発生した津波地震について、より発生年代の新しい例として付録 1 で示した 1983 年日本海中部地震及び本付録で述べる 1993 年北海道南西沖地震について断層モデルの設定と検証を行った。

#### 1-1 サブテーマ(2)による北海道西方沖の断層データ

北海道西方沖においては、サブテーマ(2)によって 45 条の断層が確認されている。サブテーマ(2)による断層面分布を図 2-1 a)に示す。この図によれば、渡島半島から積丹半島の沖合にかけて数多くの断層が確認できており、この海域がテクトニクス的に活発であることを示している。一方、天北から稚内の沖合では、海底まで延びるような断層はほとんど無く、断層活動が比較的低いことを示唆する。

1993 年の北海道南西沖地震の震源域に、この地震に関係しているとみられる断層が特定されている。図 2-1 a)に示した、北海道南西沖地震の震源域を横断する探震断面図には、共役関係の 2 本の断層が確認できる。この 2 本の平行した断層は、サブテーマ(2)によりほぼ南北方向に約 50 km 長連続していることが確認されている(本プロジェクト平成 26 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, 2015)参照)。

#### 1-2 先行研究に示される北海道南西沖地震による余震の震源分布

北海道南西沖地震は奥尻島西部の海域で発生し、余震域は多くの先行研究において、図 2-1 b)に示すように南北に長い「く」の字型をしているとされる。しかし、その一方で震源分布については、さまざまな震源決定方法や震源インバージョン解析、OBS による観測等が実施されたものの、断層面の傾斜方向が西傾斜なのか東傾斜なのかを明瞭に決定することはできていない。先行研究については次の 2 章において詳しく述べる。

#### 1-3 サブテーマ(2)のデータに基づく断層のモデル化

サブテーマ(2)では、測線密度が粗い南西諸島海域において地形データを用いた断層の解釈を行っている。それと同時に日本海海域についても南西諸島海域の方法と同様に海底地形からの断層の推定を含めて断層データの見直しが行われている。当初(平成 26 年度成果)では北海道南西沖地震の震源域周辺の断層データについて図 2-1 a)に示されるように、北海道南西沖地震に関係していると思われる断層を含む平行して存在する断層が確認されている。しかし、北海道南西沖地震の余震域の一部において断層を示すような地表変位が観察されていない部分がある。サブテーマ(2)では平成 27 年度の作業で、今回の検討に用いる断層データとして、音波探査データに加えて海底地形のデータ、地震活動を考慮して断層トレースの再検討が行われた。この結果、サブテーマ(2)の成果として示されている北海道南西沖地震の震源域近傍に設定された断層トレースを図 2-1 b)に示す。

今回は、北海道南西沖地震についての先行研究をレビューした上で、北海道南西沖地震の断層形状について可能性のある組み合わせを網羅するような断層モデルを設定してパラメータスタディを実施し、波源断層モデルの設定方法について検討した。

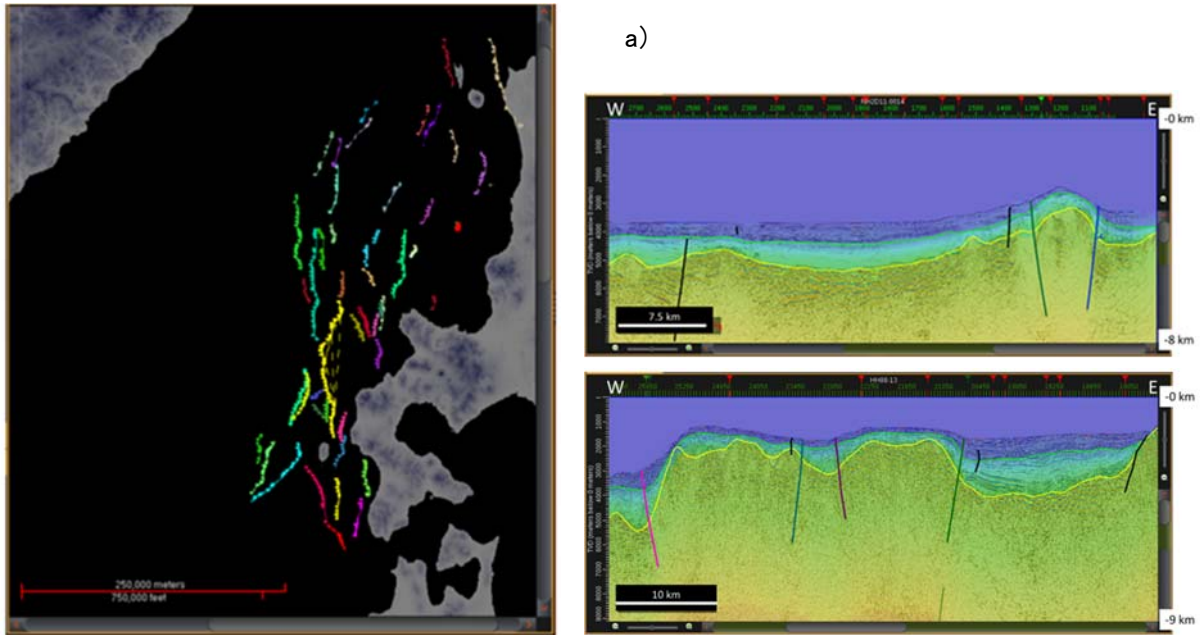


図 2-1 a) サブテーマ(2)において測線データのみで判断された北海道西方沖の断層と北海道南西沖地震の震源断層と考えられる断層を横切る断面。

b)

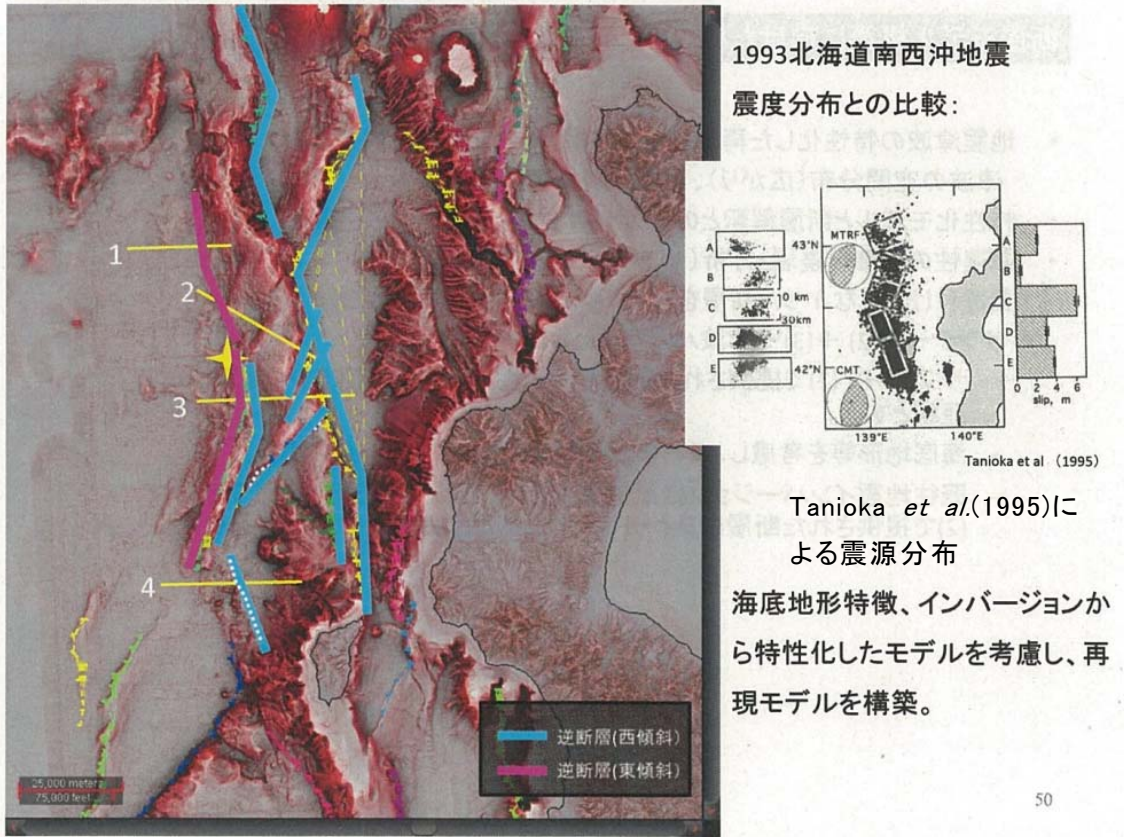


図 2-1 b) サブテーマ(2)において地形及び震源分布を参照し設定された北海道南西沖地震の震源近傍の断層トレースと北海道南西沖地震の本震及び余震分布(Tanioka et al., 1995)。

## 2. 先行研究

### 2-1 北海道南西沖地震についての先行研究

#### ① 日本海における大規模地震に関する調査検討会(2014、以降、日本海検討会)

日本海における大規模地震に関する調査検討会海底断層ワーキンググループ(2014、以降、海底断層 WG)による断層位置(図 2-2)と日本海検討会による断層モデル(図 2-3)を示す。

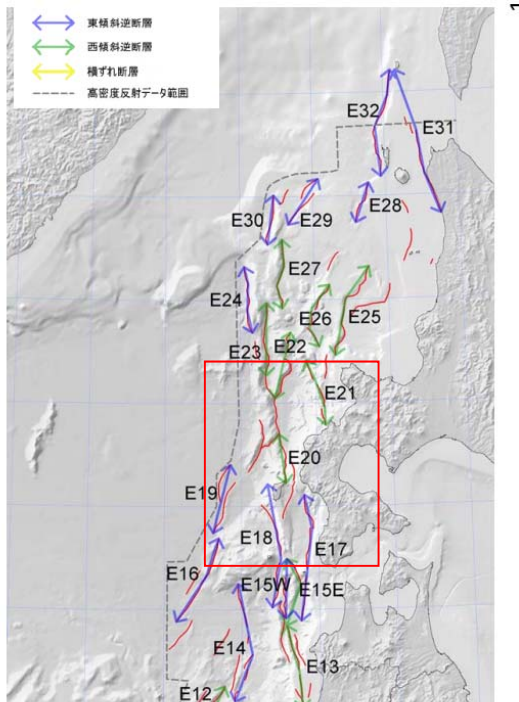


図5 津波断層モデルの海底における位置(北海道沖から東北沖)

図 2-2 海底断層 WG の断層位置。

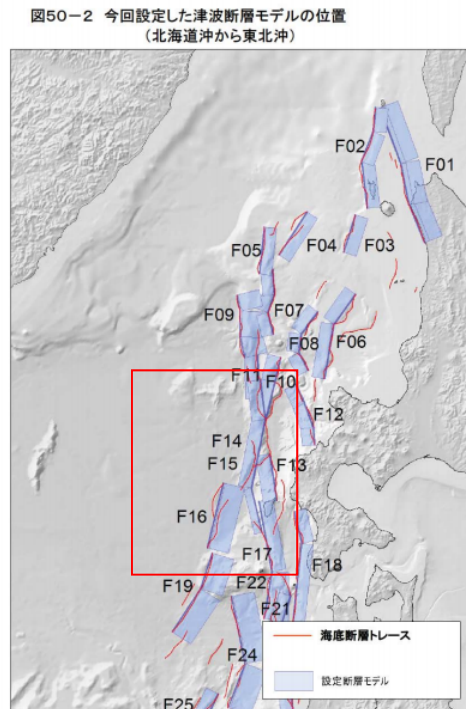


図50-2 今回設定した津波断層モデルの位置  
(北海道沖から東北沖)

図 2-3 日本海検討会の断層モデル位置。

奥尻島西方の海域では反射断面による断層の設定が難しいため、北海道南西沖地震の震源断層に相当する海底断層の設定は行っていない。一方、地域における最大クラスとして北海道南西沖地震に相当する津波波源モデルが必要となることから、1993年北海道南西沖地震の地震津波観測データに基づく既往研究を参考に設定している。

北海道南西沖地震の波源域付近に設定された海底断層 WG の断層位置及び日本海検討会の断層モデルを以下に挙げる。

- E20 (F15・F14) : 奥尻島北方の西傾斜の断層  
(1993年北海道南西沖地震の断層と連続するが未破壊)。
- E22 (F11) : 積丹半島西方沖の西傾斜の断層  
(北海道南西沖地震の断層と連続するが未破壊)。
- E23 (F10) : 北海道南西沖地震の北側に連続する西傾斜の断層。

海底断層 WG 及び日本海検討会では明確には北海道南西沖地震の断層に相当するモデルは設定していないが、F14 及び F15 断層が震源域に最も近い断層であり、北海道南西沖地震の断層を含んでいる可能性がある。表 2-1 に F14 及び F15 断層の、日本海検討会による断層モデルのパラメータを示す。

表 2-1 日本海検討会による北海道南西沖地震震源域周辺の断層モデルのパラメータ

	長さ	幅	深さ	走向	傾斜角	すべり角	すべり量
F14	43.3 km	20.3 km	3.6 km	195°	45°	99°	6.0m
	79.6 km	20.3 km	3.6 km	192°	45°	111°	
	51.9 km	16.6 km	3.6 km	167°	60°	105°	
F15	45.2 km	20.1 km	3.8 km	173°	45°	97°	6.0m
	79.6 km	20.1 km	3.8 km	192°	45°	111°	
	51.9 km	16.4 km	3.8 km	167°	60°	105°	

これらの断層モデルは3分割の断層モデルで、西傾斜として設定されている。ただし、海底断層 WG で設定されている E20 のような、北海道南西沖地震では未破壊の領域も、未破壊であっても断層としては連続していると判断し、連続してモデル化されている。

②北海道総務部危機対策局防災消防課(2010)

：平成 21 年度津波シミュレーション及び被害想定業務(北海道日本海沿岸)

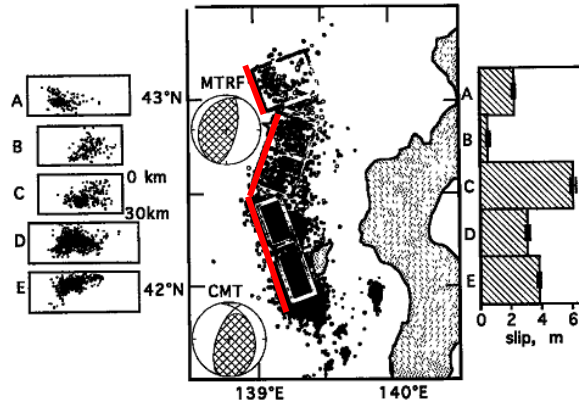
北海道総務部危機対策局防災消防課(2010)の地震津波被害想定では、地震調査研究推進本部地震調査委員会(以下、地震本部(2003))を参照し、北海道南西沖で発生し得る地震の典型例として 1993 年北海道南西沖地震の波源断層を想定し設定している。断層パラメータは、Tanioka *et al.* (1995)にもとづいて設定されている(表 2-2)。断層形状は以下のように設定されている。詳細については次の Tanioka *et al.* (1995)のレビューにおいて述べる。

- ・長さ と 幅： 長さ 25~35 km、幅 30~40 km の 5 個の断層からなる。
- ・傾斜角 と 傾斜方向： 北から順に
 

Dip=30°	東北東下がり	}	長さ約 150 km 程度
Dip=30°	西北西下がり(2個)		
Dip=60°	西南西下がり(2個)		

③ Tanioka *et al.* (1995) : 断層モデル

Tanioka *et al.* (1995) で設定された断層モデルの形状を図 2-4 で示し、断層パラメータを表 2-2 に示す。



**Figure 4.** The aftershock distribution from *Kasahara et al. [1994]* with the two focal mechanisms. A star shows the epicenter of the mainshock. Frames in the map show the location of the five subfaults used for the joint inversion (A through E, north to south). Left panels show the cross-sections perpendicular to the strike of each subfault. Right panel shows the slip distribution estimated from the joint inversion.

図 2-4 Tanioka *et al.* (1995) の断層モデルの形状。  
余震分布は笠原・他(1994)による。

表 2-2 Tanioka *et al.* (1995) による断層パラメータ

Total length = 137km

$M_w = 7.73$

**Table 1. Result of the Joint Inversion**

subfault	length km	width km	dip	slip m	error m	$M_0$ $10^{20}\text{Nm}$
A	27	40	30°E	2.26	0.06	0.85
B	25	30	30°W	0.52	0.12	0.14
C	25	30	30°W	6.07	0.18	1.59
D	27	30	60°W	3.10	0.13	0.88
E	35	30	60°W	3.79	0.05	1.39
				total		4.85

Tanioka *et al.* (1995) では 90 秒間の P 波波形を使用した Moment Tensor Rate Function (MTRF) インバージョンから、震源の最適な深さ、モーメントテンソル及び震源時刻歴を求めている。また、長周期表面波をもちいた Centroid Moment Tensor (CMT) インバージョンも行っている。これら 2 種類のインバージョンで得られたメカニズム解は異なった結果となったことから、著者らは、北海道南西沖地震が複雑なジオメトリを持った地震であるとしている。断層面上のコサイスミックなすべり分布を求めるため、津波と地殻変動データを用いたジョイントインバージョンを行った。日本 16 点、韓国 2 点における験潮記録、奥尻島 25 点における地殻変動記録を使用している。これら津波及び地殻変動記録を満たす断層モデルとして傾斜方向の異なる 5 つの断層面が示されている(図 2-4)。

Tanioka *et al.* (1995) における断層面の位置等は、笠原・他(1994)を参照したと思われるが、D 及び E の断層面の傾斜方向は震源分布から判断することが難しいため、ジョイントインバージョンで試行錯誤的に決定されたものと推測される。

④羽鳥(1994)：北大理予知セ・他(1993)の余震域と波源域

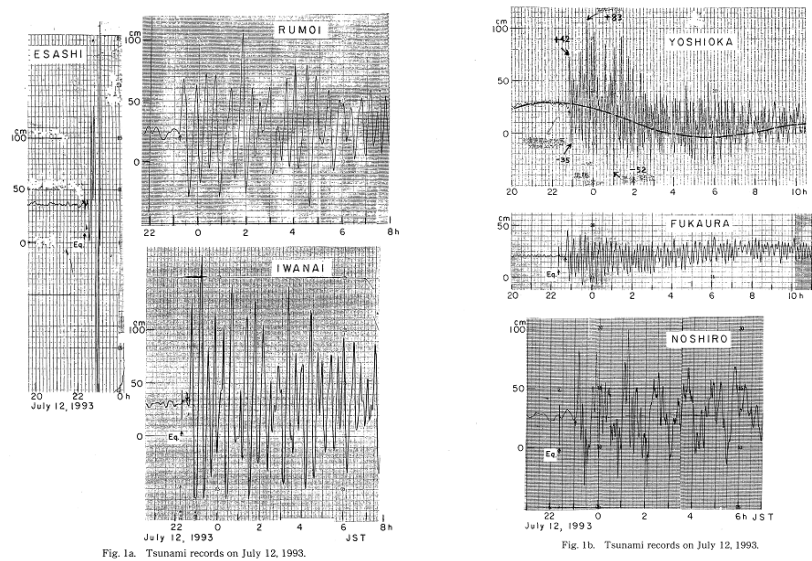


図 2-5 北海道南西沖地震の津波記録。

この論文では震源域周辺における9か所の津波観測点の津波伝播時間(図 2-5)から逆伝播図を作成している。その結果、波源域は水深 3,000m を中心に南北 150 km、幅 70 km と推定され、東縁は渡島半島に近接するものとなっている。波源域の形状は北大理予知セ・他(1993)の、奥尻海嶺と日本海盆の間の急崖に沿う「くの字型」の余震域を包むような形となる(図 2-6)。





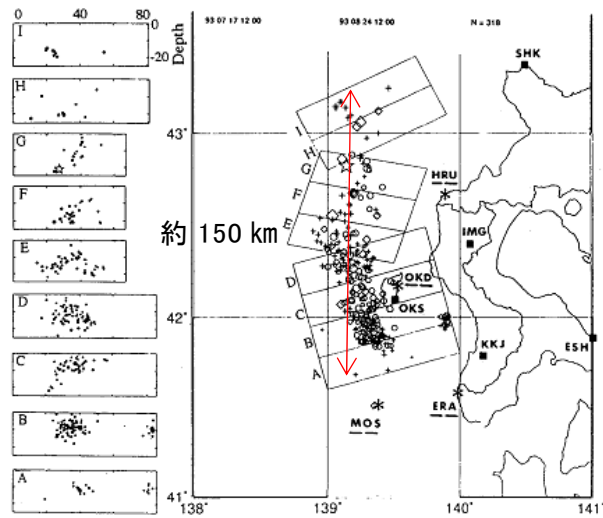


図-2 余震分布

図 2-7 高橋・他(1994, 1995)で参照されている余震分布。北大理予知セ・他(1993)による。

図 2-7 の断面図 C、F、G では断層面は西下がりのように見えるが、B、D、E などでは判然としない。

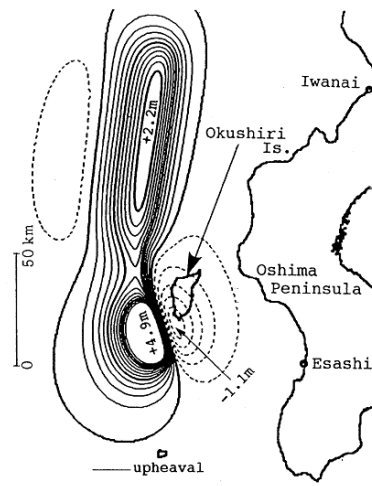


図-6 DCRC-17a による地盤変位

図 2-8 高橋・他(1994)の断層モデルによる地殻変動量の分布。

図 2-8 には全体が東下りの断層面として示されている。この断層面は北大理予知セ・他(1993)の余震分布にあわせるように初期的な断層形状を設定し、津波及び地殻変動が実測値とよく合うように調整していくことで設定されたものであると思われる。高橋・他(1994)による断層パラメータを表 2-3 に示す。

この断層モデルは北、中央、南の3枚の断層からなるモデルであるが、中央の断層は幅、走向、傾斜角が南の断層と同じであることから、実質は2枚の断層面で、中央の断層は奥尻島西岸での打ち上げ高の再現のための調整で設けられたものである。地殻変動量及び打ち上げ高は実測値と良く一致しているが、初松前周辺での打ち上げ高の実測最大値を下回っている。

表 2-3 高橋・他 (1994) の断層パラメータ

Total length =144.5km  $M_w = 7.81$

表-1 DCRC-17a の断層パラメータ

Fault	North	Center	South
$M_0 (\times 10^{27} \text{ dyne}\cdot\text{cm})$ Total : $6.62 \times 10^{27}$	3.85	0.56	2.21
Width (km)	25	25	25
Length (km)	90	30	24.5
Depth (km)	10	5	5
Strike (°)	188	175	163
Dip angle (°)	35	60	60
Slip angle (°)	80	105	105
Dislocation (m)	5.71	2.50	12.00

⑥高橋・他(1995)：越村・萱場(2010)でも使用されている波源モデル

高橋・他(1995)の断層モデルは前述の高橋・他(1994)を再検討し修正されたものである。断層モデルの形状を図 2-9 に、パラメータを表 2-4 に示す。形状は高橋・他(1994)に対して、断層の幅及び走向が大きく変わっており、北大理予知セ・他(1993)の余震分布によりよく合う形になっている。再検討では、より実測値に近い打ち上げ高分布と地殻変動分布を得ることができたとしている。一方で北海道の西岸において津波の第一波の到達時刻が実測及び目撃証言よりも5分程度遅い結果となっている。

ただし、この論文で著者らが実施した津波予測計算は空間格子間隔が450mと粗いため、細かい部分の再現性があまり良くないことが、第一波の到達時刻等の違いに影響している可能性が考えられる。

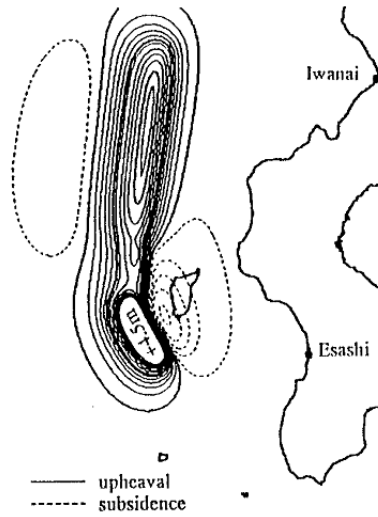


図 1 DCRC-26 モデルにおける地盤変位

図 2-9 高橋・他(1995)の断層モデルによる地殻変動量の分布。

表 2-4 高橋・他(1995)による断層モデルのパラメータ

表 1 DCRC-26 モデルの断層パラメータ

Fault	South	Central	North
Width (km)	25.0	25.0	15.0
Length (km)	90.0	26.0	30.5
Strike (°)	188	175	150
Dip Angle (°)	35	60	60
Slip Angle (°)	80	105	105
Depth (km)	10	5	5
Dislocation (m)	5.71	4.00	12.00
$M_0$ ( $\times 10^{27}$ dyne $\cdot$ cm)	3.85	0.78	1.65

断層全体が東下がりの断層面。  
 全長 146.5 km、 $M_w = 7.80$   
 ※South と North のパラメータが逆であり  
 元の論文の誤植と思われる。

⑦岡村(2010)：余震域、地質構造

岡村(2010)による地質構造と断層分布を図 2-10 に示す。この中には北海道南西沖地震の余震域が合わせて示されている。余震域として参照している震源分布は日野・他(1994)である。断層モデルは久家・他(1994)、橋本・他(1994)、Tanioka, *et al.* (1995)の名前を挙げて参考としている。このうち、Tanioka *et al.* (1995)では南部は西傾斜の断層面を津波と地殻変動のジョイントインバージョンから設定している。

破壊域の北部の地質構造は西傾斜の逆断層とその上盤の非対称な背斜構造で特徴づけられる。逆断層は海嶺の東縁に分布し、余震も断層上盤側の非対称背斜構造にほぼ一致して広がっている。海嶺東縁の逆断層に沿ってリニアメントや変動地形が観察されている(竹内・他, 1996 など)。これらの観察の結果から、震源断層の一部が奥尻海嶺の東縁に露出していると考えられる。破壊域南部の奥尻海嶺は、奥尻島を中心とする南北方向の隆起帯とその西側の北北東-南南西方向の隆起帯からなる。いずれも、西翼が急傾斜する非対称な背斜構造であることから東傾斜の逆断層が推定されるのに対して、余震分布では西傾斜と推定されている。さらに、余震域は地質構造の隆起に対応しているとは言えない。潜水調査においても、奥尻島西側の斜面上に地震に関連した変動地形が数多く報告されているが、本震の原因となった活断層は確認されていない。地震時に奥尻島が沈降したことも、奥尻島の隆起を示す段丘の存在とは矛盾している。

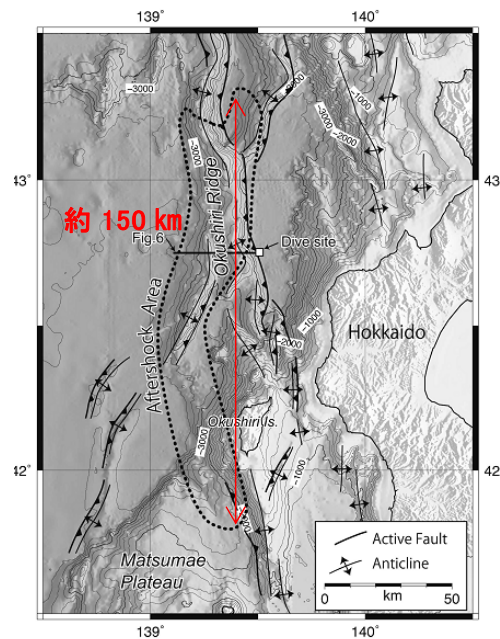


Fig. 8. Geological structure in and around the source area of the 1995 Hokkaido-Nansei-Oki Earthquake. The geological structure is modified from Okamura and Kato (2002) and the aftershock area is based on Hino *et al.* (1995). The dive site is the location where fresh deformation was observed on the seafloor after the 1995 Earthquake.

図 2-10 岡村(2010)による地質構造と断層分布。

⑧加藤・都司(1994)：震源分布及び断層モデル

加藤・都司(1994)における断層パラメーターの決定手順は以下の通りである。

A) 水平方向及び鉛直方向の余震分布から断層面の空間的な広がり进行を想定する。

B) A)で決定できなかったパラメーターについて断層面にもっとも近いと思われる江差、岩内での験潮記録及び奥尻島での地殻変動記録に適合する値を求める。

C) A)及びB)で求められなかった値については、先行研究の地震波解析結果を参考にし、地殻変動計算に必要な断層パラメーターのすべての値を求める。

使用された余震分布データを図 2-11 に示す。また、これらの手順により設定された断層モデルを図 2-12 に示す。

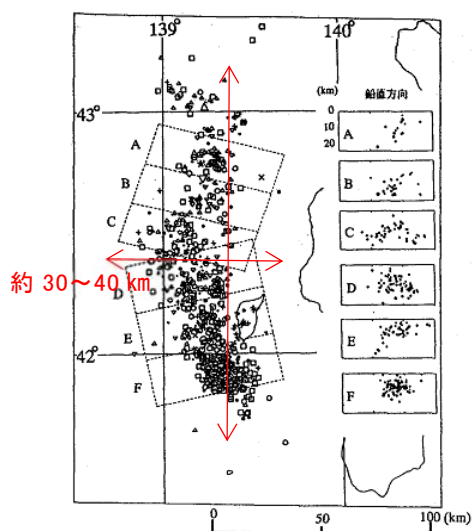


Fig. 1. Aftershock distribution of the Hokkaido-Nansei-Oki Earthquake from July 17 to August 24. The hypocenters were determined by the Faculty of Science, Hokkaido University. The location of the main shock is shown by a star (\*).

図 2-11 加藤・都司(1994)による震源分布と断層モデル。

加藤・都司(1994)の断層モデルでは余震分布は 1993 年北海道南西沖地震余震観測グループによって決定された 7 月 12 日から 8 月 5 日までに発生した地震を示している。余震域の範囲は奥尻島西方海域を南端とする南北約 100 km、東西約 30 km~40 km 幅の海域である。

この断層モデルは断層面を北側と南側の 2 枚としている(図 2-12)。北側の断層は長さ 81 km、地表投影の幅は 25 km、傾斜角は 30° の西下がり、走向は 186°、また断層上端の深さは余震分布から 5 km とされている。南側の断層は長さ 35 km、地表投影面の幅は 25 km、断層上端深度は余震分布から 1 km である。傾斜方向及び傾斜角については地殻変動を説明する値として解析を行った。最適解として得られたのは、西下がりの断層面に対しては走向 120~180° の範囲で傾斜角 50°、すべり量 8~10 m、東下がりの場合は走向 270~360° の範囲で傾斜角 25°、すべり量 8~10 m の 2 つであった。これら 2 つについて、津波数値計算により江差における験潮記録をより説明す

る解を決定している。津波数値計算の結果では、西下がりのモデルでは奥尻島の地殻変動及び江差の験潮記録とよく合っているものの、押し波第一波のプラス片振幅と引き波第一波のマイナス片振幅の比が観測記録とあまり適合していない。東下がりのモデルでは、地殻変動、験潮記録、片振幅比の3つの条件をよく説明しているが、地殻変動の標準偏差の適合度合は西下がりより低い。よって西下がりのモデルを採用している(表 2-5)。

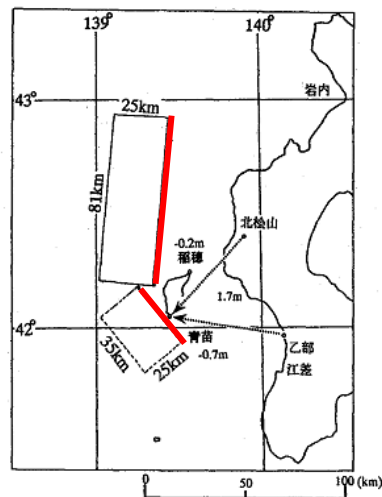


図 2-12 加藤・都司 (1994) により設定された断層モデル。断層上端位置を加筆。

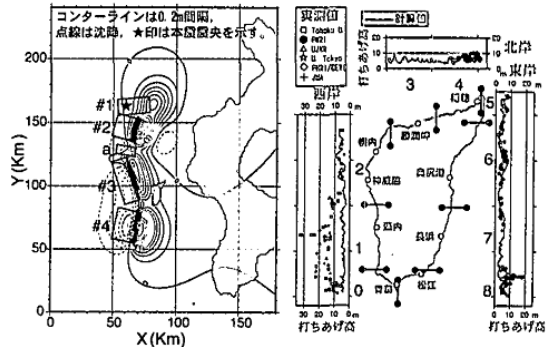
表 2-5 加藤・都司(1994)で設定されたモデルパラメーター(total length=116km)

	長さ	幅	深さ	走向	傾斜角	すべり角	すべり量
北側	81 km	29 km	5 km	186°	30°	86°	4m
南側	35 km	39 km	1 km	140°	50°	90°	6m

⑨松山・他(2003)：断層パラメーター(将来予測)

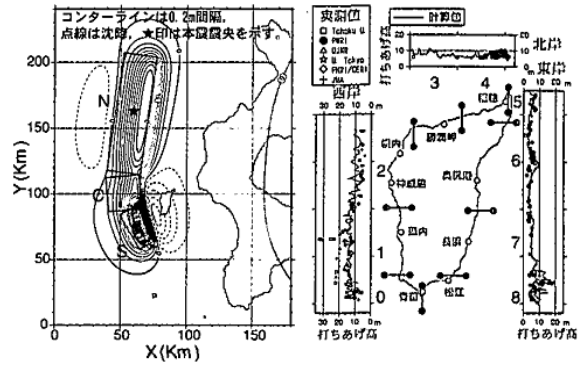
久家・他(1994)などの既往の研究成果と海底地震計データ、反射法プロファイル、海底地形、底質変状を総合的に検討し、6枚の矩形であらわされる断層モデルを推定している。

図2-13に松山・他(2003)で比較検討された久家・他(1994)の断層モデルとDCRC26(高橋・他(1995))の断層モデルを示す。表2-6にその断層パラメータの比較を示す。



(a) コンターラインは地盤上下変位分布、矩形は各断層形状を示す。(b) 打ちあげ高に関する計算結果と実測結果の比較

図-1 本震断層モデル(久家ら, 1994)



(a) コンターラインは地盤上下変位分布、矩形は各断層形状を示す。(b) 打ちあげ高に関する計算結果と実測結果の比較

図-2 DCRC26モデル(首藤ら, 1994)

図2-13 久家・他(1994)とDCRC26の断層モデルの比較。

表2-6 久家・他(1994)とDCRC26の断層パラメータの比較

表-1 各断層モデルの静的な断層パラメーター

(a) 本震断層モデル(久家ら, 1994, Kugeら, 1996)を基にした断層パラメーター

断層面	走向中央位置		深さ	長さ	幅	走向	傾斜角	変位量	滑り角	モーメント
	X (km)	Y (km)								
#1	78.4	164.1	13	12.5	25	175	34	10.35 m	79	$0.97 \times 10^{20}$
#2	68.6	143.6	5	18	18	196	28	9.67 m	81	$0.25 \times 10^{20}$
a	59.3	124.6	9	15	7	280	80	7.94 m	80	$0.25 \times 10^{20}$
#3	65.8	106	5	35	12.5	162	73	6.25 m	86	$0.82 \times 10^{20}$
#4	68.2	67.3	5	25	17	192	72	11.37 m	104	$1.45 \times 10^{20}$
total										$4.43 \times 10^{20}$

(b) DCRC26(首藤, 1996)を基にした断層パラメーター

断層面	走向中央位置		深さ	長さ	幅	走向	傾斜角	変位量	滑り角	モーメント
	X (km)	Y (km)								
North	71	159.3	10	90	25	188	35	5.71 m	100	$3.85 \times 10^{20}$
Central	65.1	101.8	5	26	25	175	60	3.99 m	75	$0.78 \times 10^{20}$
South	69.9	78.5	5	30.4	15	168.5	60	12.00 m	75	$1.65 \times 10^{20}$
total										$6.28 \times 10^{20}$

久家・他(1994)：断層全長=85.5 km、 $M_w$  7.7

DCRC26：断層全長=146.6 km

※論文の誤植で、DCRC26の出典は正しくは高橋・他(1995)

既往の研究成果を比較検討した結果、著者らは図2-14に示す断層モデルを得た。断層パラメータは表2-7に示す。得られた断層モデルから、3次元有限要素法によって地盤上下変位量を算出しているが、安全側の評価として考慮し、断層の変位量を逆断層の上盤側だけに生じたものとしている。この地盤変位量を用いて津波数値計算を行い、断層群による最大級の津波の想定を実施している。

Total length= 138.1km  $M_w$  7.70

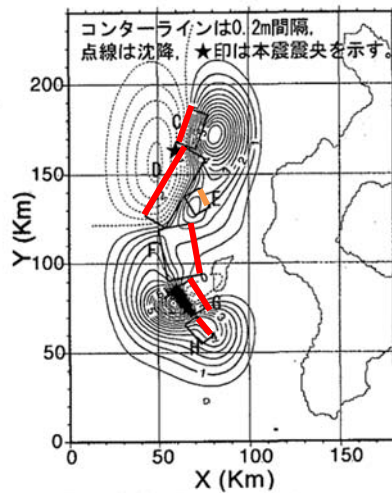


図-3 本研究で提案した波源モデル  
(図中の矩形は各断層形状を示す。)

図 2-14 松山・他(2003)による断層モデル。断層上端位置を追記。

松山・他(2003)の断層モデルでは観測された現実の断層パラメータを用いたうえで津波を安全側に評価することを目的としている。北海道南西沖地震を再現することではなく、最大級の津波の想定であり、津波に関係したデータ及び情報は使用していない。

なお、この断層モデルのモデルパラメータは青柳・他(2000-b)により提案されたものである。青柳・他(2000-b)による断層パラメータを表 2-7 に示す。

表 2-7 青柳・他(2000-b)による断層パラメータ

(c) 青柳ら(2001)による提案する静的な断層パラメータ

断層面	走向中央位置		深さ $d$ (km)	長さ		幅 $W$ (km)	走向 $\theta$ (°)	傾斜角 $\delta$ (°)	変位量 $U$ (m)	滑り角 $\lambda$ (°)	モーメント $M_0$ (Nm)
	$X$ (km)	$Y$ (km)		$L$ (km)	$W$ (km)						
C	74.5	173.8	10	20.2	12	200	30	15.0 m	90	$0.97 \times 10^{20}$	
D	64.5	139.5	11	44.4	13.8	210	20	5.76 m	90	$0.94 \times 10^{20}$	
E	67.3	132.3	8	12.1	19.1	330	60	4.09 m	90	$0.25 \times 10^{20}$	
F	53.1	104.6	10	29.3	21.9	350	30	4.81 m	90	$0.82 \times 10^{20}$	
G	62.9	78.5	5	18.2	12	330	25	14.44 m	90	$0.83 \times 10^{20}$	
H	76.1	65.7	7	13.9	16	145	75	5.38 m	90	$0.62 \times 10^{20}$	
total										$4.43 \times 10^{20}$	

※元の論文の誤植で、正しくは「青柳ら(2000)」である



⑩大塚・森谷(1998)：震源分布・震源再決定

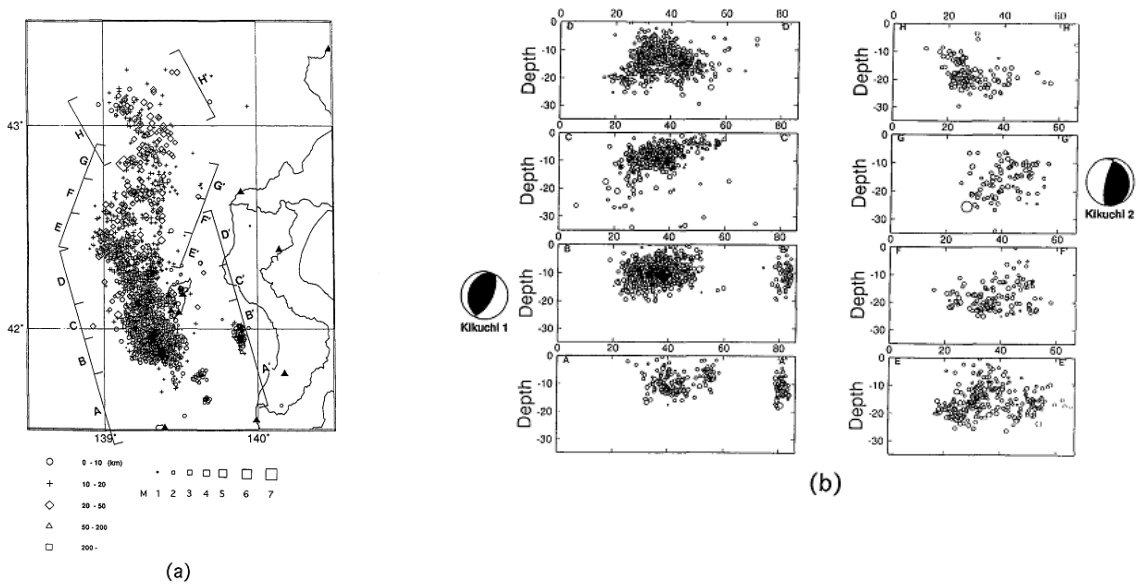


Fig. 1. (a) Epicenter distribution of aftershocks of 1993 Hokkaido Nansei-Oki earthquake (after Hokkaido Univ., 1994). (b) The distribution of aftershock hypocenters projected on to vertical planes in the region from A to H shown in Fig. 1(a) and the source mechanism solutions projected on lower hemisphere (after Kikuchi, 1993).

図 2-15 北海道大学理学部(1994)による余震の震央分布及び断面。

北海道大学理学部(1994)の余震分布では奥尻島近辺の余震域南部では断面図に西落ちの傾向がはっきりあらわれているが、本震の震央がある余震域北部では断層の傾斜方向が明瞭にあらわれていない(図 2-15)。本震がマルチプルショックと考えられ、北海道南西沖地震の断層運動が既往研究においては複数の断層面によってモデル化されている。しかし、その断層面は余震分布とは必ずしも一致していない。1993年北海道南西沖地震余震観測グループでは、北側は西下がり、南側は西下がりの傾向は見えるものの北側ほど明瞭でないとしている。北大理予知セ・他(1993)では主に北側の断層で西下がり、南側は明瞭でないとしている。笠原・他(1994)でも、一番北の小断層は東傾斜であるがそれ以外の北側は西傾斜で、南側は分からないとしている。これらの結果と、挙げられている断層モデルでは必ずしも矛盾はしない。

著者らは、震源決定の手法及び観測データに関する問題点を指摘し、とくに渡島半島下でのモホ面を考慮した補正をおこなうことで震源再決定の精度を向上させようと試みている。使用している震源決定手法は堀江・渋谷(1979)のアルゴリズムで、速度構造、震源要素、観測点補正を同時決定する方法である。再決定された震源分布を図 2-16 に示す。

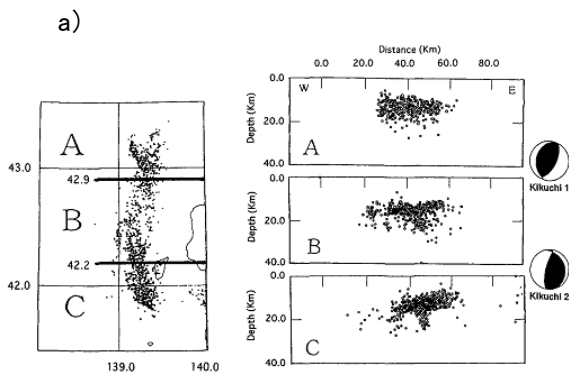


Fig. 11. The aftershock distribution determined by the ocean bottom seismogram observation array (left, Hino, 1994) and distribution of the hypocenters projected on to vertical planes parallel to east-west in the region from A to C (right). The source mechanism solutions (after Kikuchi, 1993) are added.

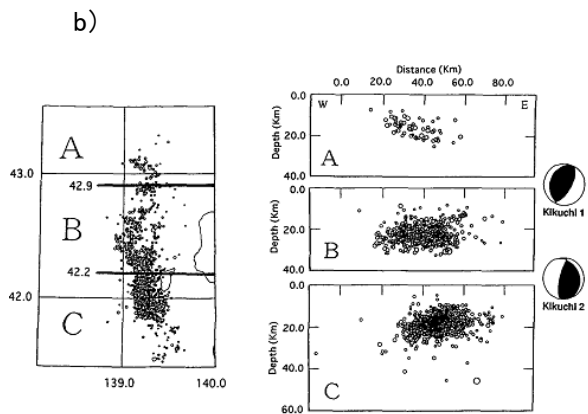


Fig. 14. The aftershock distribution and the projection of the hypocenters on to vertical planes parallel to east-west for total analysis period. The source mechanism solutions (after Kikuchi, 1993) are added.

図 2-16 大塚・森谷(1998)による震源分布。a)1993年7月21～8月16日までにおこなわれた OBS 観測データによる震源分布、b)1993年7月20日～1994年3月31日の陸域観測データから決定した震源。

この結果では気象庁と北大理学部の実体波初動の観測記録を併合して震源再決定をおこない、また、OBS の観測データからもとめた震源分布と比較されている。これらの結果から、北部では  $10^\circ$  程度の東落ち、南部では  $20^\circ$  程度の西落ちであるとしている。

※なおこの研究について、北部の断層とは A 領域だけを言っているのか、折れ曲がりの北側全体を言っているのかが、論文の記載では明確でない。他の研究では「く」の字の折れまがりの上側を北部としている。

⑪菊地(1993)：南北に主に2枚の断層面

⑫久家・他(1994)：5個のサブイベント

この二つの論文では著者が重複しており、同様の手法で実施されているため、断層モデルは類似している。これらの断層モデルは、北部が低角で西に傾斜、南部が低角で東に傾斜したモデルとなっている。これらについては詳細を入手することは難しく、断層の傾斜方向のみの記載とする。

⑬ 青柳・他(2000-a)：地形・震源・断層モデル

青柳・他(2000-a)は、久家・他(1994)の遠地実体波インバージョンによる断層面と海上保安庁水路部による海底地形図、気象庁による本震から1週間の震央分布を重ね描きして比較している(図 2-17 及び図 2-18)。余震域が本震の断層面よりも広範囲に及んでいることから久家・他(1994)の断層モデルは海底地殻変動領域の面積を過小評価している可能性があるとしている。

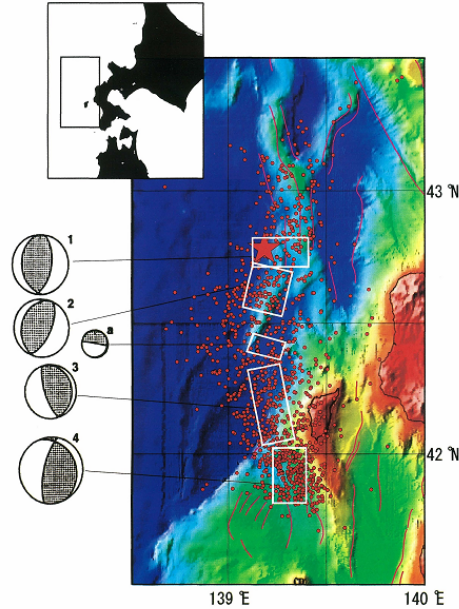


図 5 海上保安庁水路部の海底地形図(シービームマップ)を重ねた気象庁による1993年北海道南西沖地震の余震分布。本震から1週間分の震央分布をプロットした。黒印が本震を表す。紫色の実線は活断層研究会による活断層、震源メカニズム解は久家ほか(1994)によるもので、彼らの提案する断層モデルを白枠で示した。

図 2-17 久家・他(1994)による断層面と海底地形図及び震央分布の比較。

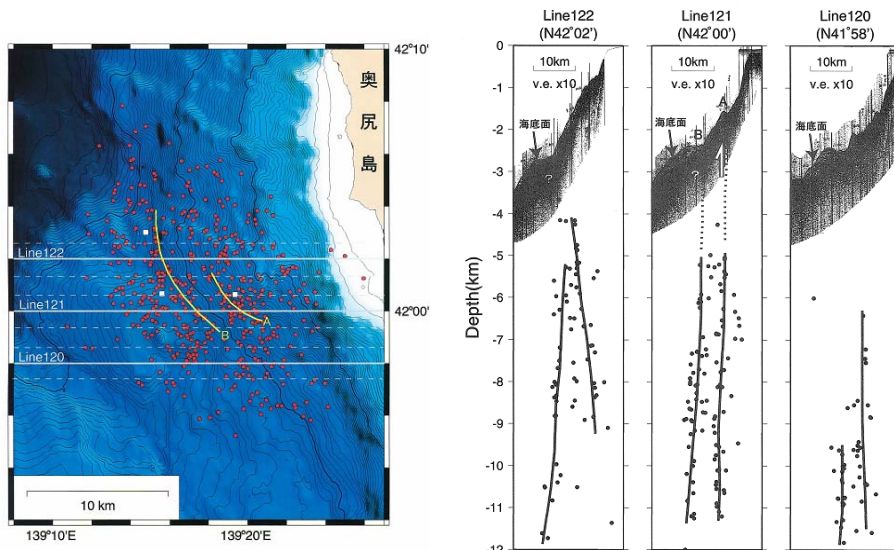


図 8 奥尻島南西斜面における北海道南西沖地震の余震分布(青柳ほか, 1998)。白四角が観測点、赤丸が震央を表す。海底地形は海上保安庁水路部のシービームマップ。黄色の実線 A、B はそれぞれ、水深約 1700m、約 2200m で斜率勾配の変化する線状領域を示す。地質調査所による反射法地震探査の測線を灰色の実線で示す。図 9 には、この測線両側に示す破壊面にある震源をプロットした。

図 9 東西の反射法地震探査断面(地質調査所、未公表)に投影した余震分布。反射断面の深さは、シービームマップと反射断面の海底面を合わせたもの。図の右端が奥尻海淵で、黒丸が震源を表す。灰色の実線が震源分布から解釈される断層、破線が震源分布と反射断面から予想される破線面。

図 2-18 青柳・他(2000-a)による震源分布。

さらにこの論文では、震源域南部の余震分布、反射法探査、海底地形、海底潜航調査のデータを組み合わせることで、地殻構造の不均質さを示し、余震分布及び海底地殻変動に与える影響を考察している。余震分布は本震か8日後から行われたOBS観測から決定された、誤差1km以内の地震を用いて議論されている。

余震は北北西―南南東の走向をもつ海底地形に沿って発生し、線(A)水深約1,700mと線(B)水深約2,200m付近にある斜面勾配の変化する部分に沿って分布する傾向にあるとしている。これらは、ふたつのグループとして分離されているものとしている。

⑭青柳・他(2000-b：地形・震源・断層モデル)

青柳・他(2000-b)では気象庁によって決定された震源分布をOBS観測のデータを用いて決定された震源データから補正することで1993年7月21日～8月16日までに発生した地震のうち、気象庁のリストとOBSのリストで共通する564個について比較を実施している。共通する地震における位置のずれは観測点配置や速度構造の違いに起因する。この違いを用いてOBS観測による震源を基準に気象庁の震源の位置を補正している。補正を行い再決定した地震は本震発生から約1日間に発生した441個である(図2-18)。これら余震分布の連続性及び傾斜の違いから震源域を8つのセグメント(A～H)に区分することで本震の震源断層をモデル化した(図2-18及び表2-8)。

久家・他(1994)ではA、Bに相当する断層は設定されていない。本震の破壊開始点はC付近に設定されていて、破壊は南に伝播したとされている。北側のA、Bでは本震直後には比較的地震活動は少ないが、後になって活発化したことから本震発生による応力変化により発生したものと考察している。

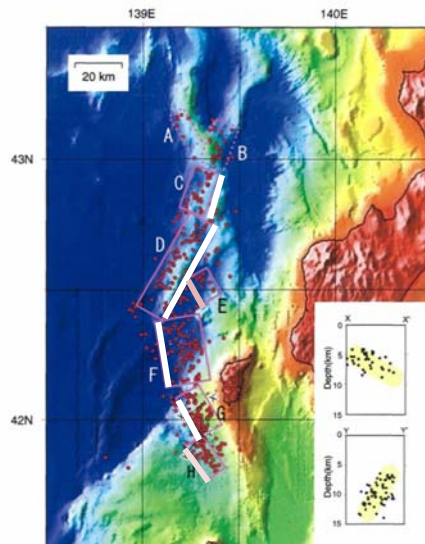


図7 海底地形図に重ねた補正後の震央分布  
震央分布から推定される断層モデルをA～Hの長方形で示す。右下枠内の深度断面は、本震の約50日後に同海域で実施された海底地震計臨時観測の結果(青柳ほか、1998)

図2-18 青柳・他(2000-2)による断層モデルと震源分布。

表 2-8 青柳・他 (2000-b) による余震分布の基づく断層パラメータ

表 1 余震分布に基づく断層パラメータ

記号	表 2 で対応する断層	上辺深さ (kmbsl)	面積 S (km <sup>2</sup> )	Mo (10 <sup>20</sup> Nm)	走向	傾斜	変位量 U (m)
C	#1	10.0	243.40	0.97	N20E	30N	15.0
D	#2	11.0	614.37	0.94	N30E	20N	5.76
E	#a	8.0	230.49	0.25	N30W	60N	4.09
F	#3	10.0	640.72	0.82	N10W	30N	4.81
G	#4 (前)	5.0	216.90	0.83	N30W	25N	14.44
H	#4 (後)	7.0	221.83	0.62	N35W	75S	5.38

なお、この E の部分の地震活動について、なぜ、面を分けているのかが論文中では述べられていなかった。E の南にも断層面の矩形から外れた地震活動はみられる。

⑮松山・他 (2002) : 従来の知見に基づく断層モデルをテストし新知見による断層モデルを設定

松山・他 (2002) では従来の断層モデルとして久家・他 (1994) 及び DCRC26 モデル (論文中では首藤・他 (1996) としているが、高橋・他 (1995) とと思われる) について津波数値計算を行い、実測値と比較している。久家・他 (1994) のモデルでは、奥尻島西岸南部の打ち上げ高が過小評価となっている。

DCRC26 モデルでは全体的に津波の挙動をよくあらわしているものの、20 m を超える打ち上げ高が記録されている奥尻島西岸南部において計算値の最大が 15 m 程度と小さくなっている。

この研究は、原子力発電所の津波にたいする安全性を考えた場合に、これらの過小評価がある断層モデルでは不十分であるとし、最大でどの程度の津波が発生するかを見積もるモデルとして位置づけられている。

図 2-19 に松山・他 (2002) の断層モデルによる津波の数値計算結果と DCRC26 断層モデルによる数値計算結果の比較を示す。

松山・他 (2002) で新知見として従来のモデルと比較されている断層モデル自体は青柳・他 (2000-b) で設定されたものである。断層モデルの形状及びパラメータを図 2-20 及び表 2-9 に示す。

この論文の断層モデルは、青柳・他 (2000-b) によって、精度よく再決定された余震分布及び海底地形などの観測データから設定されたものであり、津波を安全側に評価することを目指して設計されたものとしている。この論文ではさらに、最大クラスの海底面の隆起量を想定するため完全な逆断層としてすべり角を 90° として設定している。また、断層の上盤側のみが優位的に活動するものと仮定して、断層の変位を逆断層の上盤側に押し付けるように強制変位させている。

このモデルによる打ち上げ高分布は、従来の断層モデルでは過小評価の傾向だった奥尻島西岸南部で実測値を上回り、奥尻島北岸及び東岸では実測値とほぼ一致している。西岸域においては、中央部から北部では実測値の倍以上になる地点もあるが、30m

を超える最大実測値の地点では 23m 程度と下回っている。これは、局所的な海底及び陸域地形の影響であると考えられている。

青柳(2000-b)には、遡上高を安全側に推定するために、不確定なパラメータを上下変位が最大になるような設定をしたという記述がある。北海道南西沖地震についての久家・他(1994)の断層面が余震分布をカバーしていないことが問題であるとして、高精度な震源決定から、余震分布をカバーする断層面を見積もっているが、これは著者らがメインの課題としている、過去の地震における実測値が計算値より低くなることを解決するためのアプローチであるとみられる。

以上の既往研究における断層長さや断層傾斜方向のまとめを表 2-10 に示す。また、既往研究における断層北端、南端のおおよその位置(M:断層モデル、E:余震分布)を図 2-21 に示す。

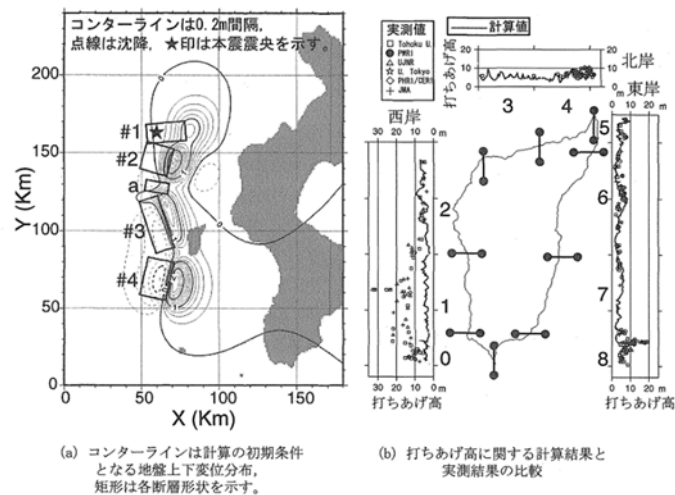


図 1-2 本震断層モデルと従来の地盤上下変位算出方法に基づく奥尻島の津波の数値計算結果

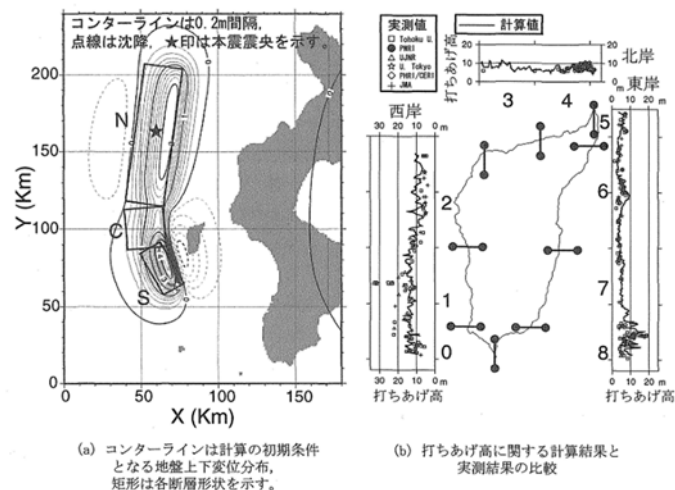


図 1-3 DCRC26 モデルと従来の地盤上下変位算出方法に基づく奥尻島の津波の数値計算結果

図 2-19 松山・他(2002)及び DCRC26 断層モデルと従来の断層モデルにおける津波高さの比較。

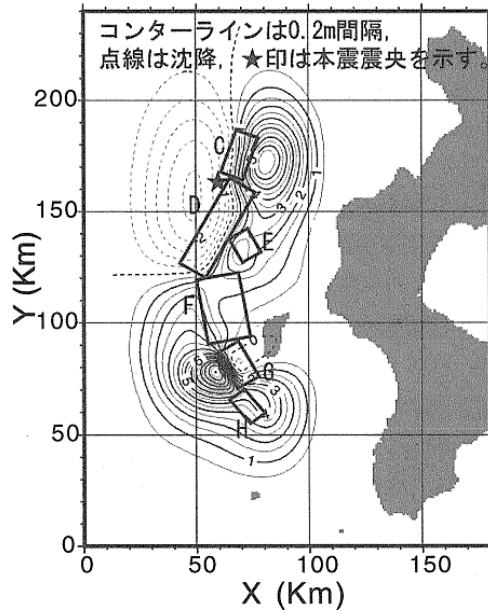


図 2-2 新たな波源モデルによる地盤上下変位分布, 図中の矩形は各断層形状を示す。

図 2-20 松山・他(2002)によって新知見として検討された青柳・他(2000-b)の断層モデルの形状と地殻変動量の上下成分。

表 2-9 青柳・他(2000-b)による断層パラメータ

表 2-1 青柳らによる静的な断層パラメータ

断層面	走向中央位置		深さ $d(\text{km})$	長さ $L(\text{km})$	幅 $W(\text{km})$	走向 $\theta(^{\circ})$	傾斜角 $\delta(^{\circ})$	変位量 $U(\text{m})$	滑り角 $\lambda(^{\circ})$	モーメント $M_0(\text{Nm})$
	X(km)	Y(km)								
C	74.5	173.8	10	20.2	12.0	200	30	15.0m	90°	$0.97 \times 10^{20}$
D	64.5	139.5	11	44.4	13.8	210	20	5.76m	90°	$0.94 \times 10^{20}$
E	67.3	132.3	8	12.1	19.1	330	60	4.09m	90°	$0.25 \times 10^{20}$
F	53.1	104.6	10	29.3	21.9	350	30	4.81m	90°	$0.82 \times 10^{20}$
G	62.9	78.5	5	18.2	12.0	330	25	14.44m	90°	$0.83 \times 10^{20}$
H	76.1	65.7	7	13.9	16.0	145	75	5.38m	90°	$0.62 \times 10^{20}$
total										$4.43 \times 10^{20}$

total length=138.1 km  $M_w$  7.70

表 2-10 既往研究における断層長さと傾斜方向

出典		種別	長さ (約, km)	$M_w$	北端部の小断層の有無 (E or W, deg)	北 (E or W, deg)			南 (E or W, deg)		
日本海検討会 (2014)	F14	モデル	175	7.83	なし	W45	W45	W60			
	F15	モデル	177	7.83	なし	W45	W45	W60			
北海道総務部危機対策局防災消防課 (2010)	地震本部 (2003)	モデル	150	7.8	あり (E30)	W30			W60		
Tanioka et al. (1995)	笠原・他 (1994)	震源	150	×	あり (E)	W	W	?	?		
	断層モデル	モデル	137	7.73	あり (E30)	W30	W30	W60	W60		
羽鳥(1994)	北大理予知セ・他 (1993)	震源	150		なし			(西側隆起)			
高橋・他 (1995)	DCRC-26	モデル	146.5	7.80	なし	E35	E60	E60			
高橋・他 (1994)	北大・他 (1993)	震源	150	×	あり	E30			W?		
	DCRC-17a	モデル	120	7.81	なし	E35	E60	E60			
岡村(2010)	日野・他 (1994)	震源	150	×	あり						
加藤・都司 (1994)	余震観測 G	震源	100	×	あり						
	断層モデル	モデル	116	?	なし	W30			W50		
久家・他 (1994)		モデル	85.5	7.70	なし	W34	W28	W80	W73	W73	
青柳・他 (2000-a, b)		モデル	138.1	7.70	なし	W30	W20	E60	E30	E25	W75
大塚・森谷 (1998)		震源	150	×	あり (E)	E10			W20		



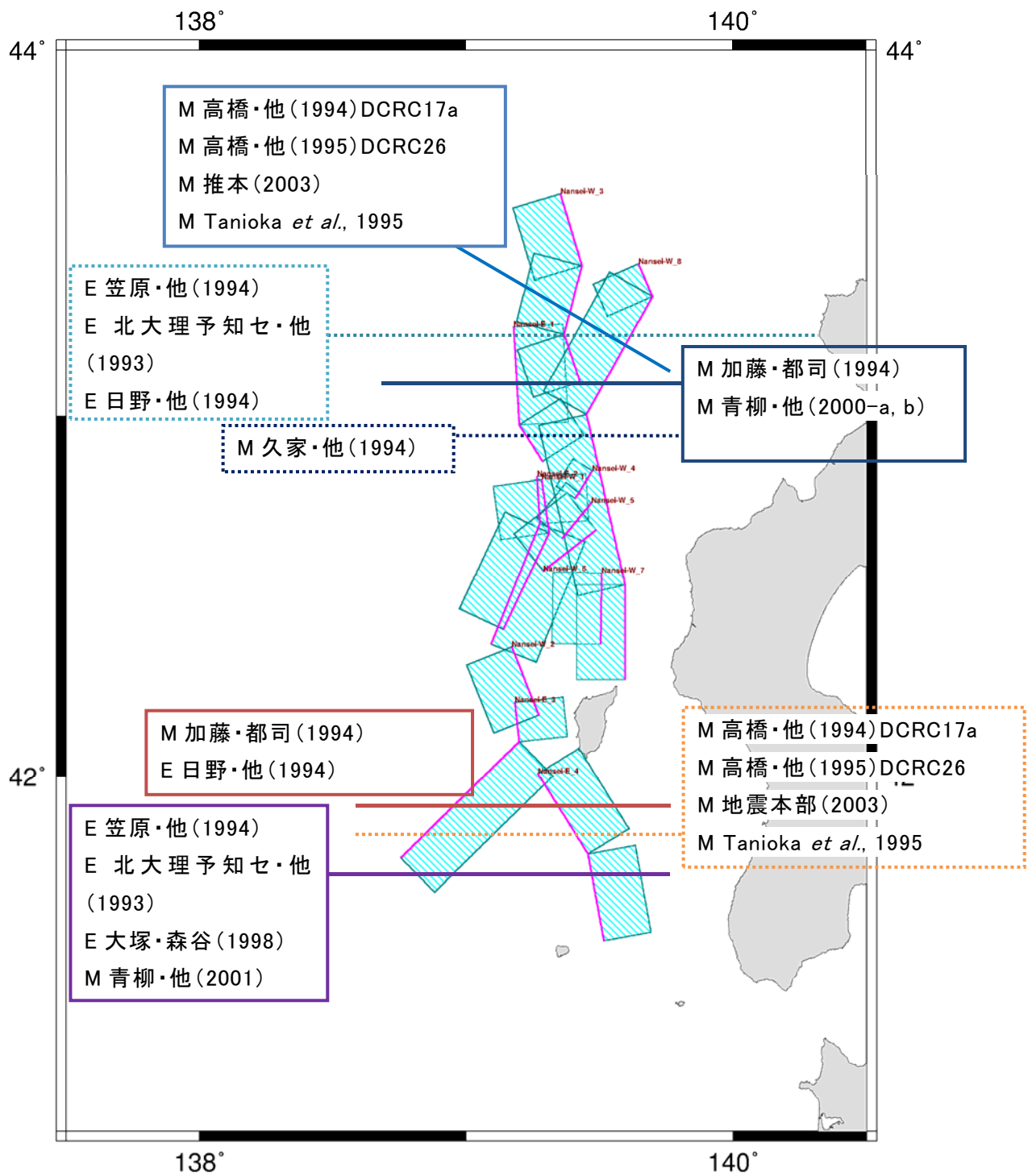


図 2-21 先行研究における断層面の断層北端・南端の位置。

## 2-2 断層モデルの設定方針

### ① 断層の形状と分布についての考え方

先行研究において余震域は南北に 150 km 程度の範囲とされるが、断層モデルとしては、約 120 km~140 km 程度の長さで設定されている。久家・他(1994)では 85.5 km と他の研究に比べて大幅に短くなっている。北端の断層については、余震分布では地震活動が確認されているものの、本震直後にはこの部分の地震活動は活発ではなく、時間が経つにつれて活発化していったことから、本震により破壊したものではなく、後の応力変化により破壊したものと考えられる。断層幅は、20~40 km 程度の範囲で設定されているが、断層の分割数によって 10 km 程度になるところがあるなど、断層モデルのセグメント数に依存している。セグメント数は南北 2 セグメントの単純なモデルから 6 セグメントのモデルまで設定されており、断層の傾斜方向も北側、南側の断層はともに、東傾斜を主張するもの、西傾斜を主張するものがあり、先行研究からその傾向を判断することはできない。サブテーマ(2)の断層データからもこの周辺は西傾斜と東傾斜の断層が近接して存在することから、設定する断層モデルの傾斜方向を一義的に決めることはできないものと思われる。また、傾斜角は北側の断層で低角、南側でやや高角な傾向がみられるが、これについても検討する必要がある。

北海道南西沖地震の断層モデルを設定するにあたって、既往断層モデルのうち Tanioka et al. (1995)及び高橋・他(1995)の断層モデルをベースに検討するのが適当と判断した。理由として、久家・他(1994)の断層モデルでは他の断層モデル及び余震域に対して長さが短く、また、青柳・他(2000-a, b)の断層モデルは著者らを含む後の研究(松山・他, 2003)において最大クラスを想定した断層モデルであることを主張しており、また北側の 2 番目の断層近傍に、他のモデルでは設定されていない小さな東傾斜の断層を設定していることから、今回の検討からは外すこととした。

この 2 つの断層モデルを参照し、モデルの断層トレースに近接するサブテーマ(2)による断層トレースを選び、グループ化することで北海道南西沖地震の再現的モデルのためのトレースを設定し、それらに対して、「く」の字の北側及び南側のグループの断層傾斜方向について西傾斜・東傾斜の両方を検討した。

北海道南西沖地震は、発生過程がマルチプルショックであるとされるなど複雑であり、余震分布から想定される震源断層に当たる部分に地形や地殻構造の明確な変化がない部分が含まれるなど、よく分からない部分が多い地震である。そのため、サブテーマ(2)の断層データからも、該当する基本モデルを選ぶことが難しいと考えられることから、並行し近接する断層をひとつのグループとみなし、それを断層位置と考えて設定した。サブテーマ(2)による断層の位置と本検討において設定する断層モデルの位置を次の図 2-22 に示す。

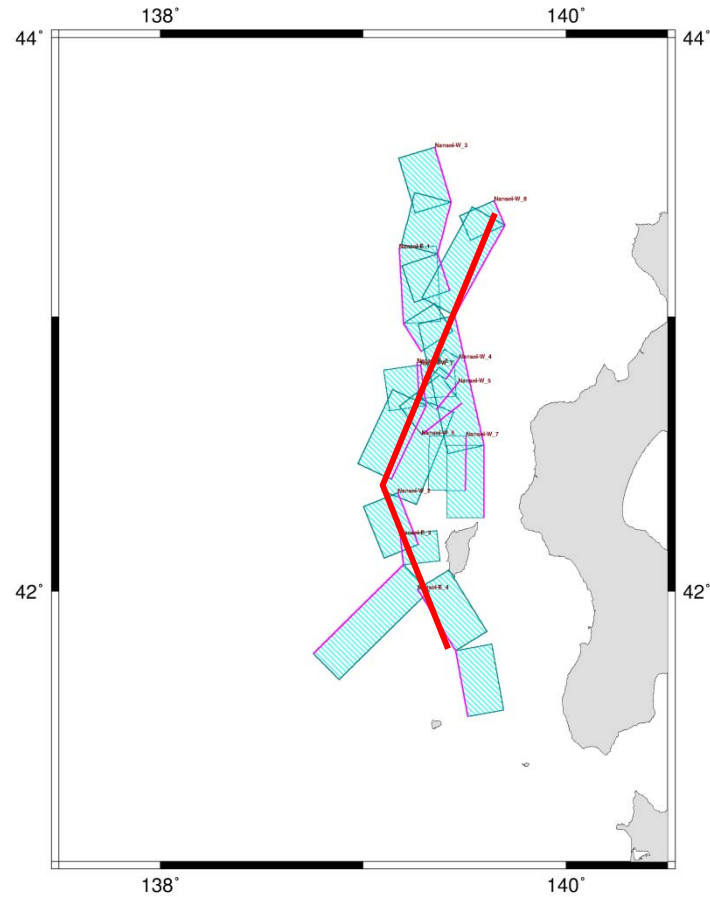


図 2-22 再現的モデルの断層トレースの設定イメージ。

サブテーマ(2)のデータに示された断層トレースを基に下端深度 15 km、傾斜角  $45^\circ$  として、断層を矩形モデル化し、断層位置の分布から近接したものを、ひとまとめと考えて断層トレースを検討した。

## ②大すべり域の設定の考え方

日本海中部地震と同様、かならずしも1つのセグメントにひとつの大すべり域とはせず、また設定位置についても多様性を検討することとした。日本海中部地震よりも1つ当たりのセグメント面積が小さくなることが予想されることから、大すべり域を設定することによる津波の高さへの効果があまり無い可能性も考慮した。

## 2-3 パラメータスタディ

### ①パラメータスタディ用断層モデルの基本形状

先行研究において示された既往断層モデルや震源分布を比較した結果、それらからは北海道南西沖地震の断層傾斜方向を判断することはできなかった。よって、断層傾斜方向の組み合わせと断層傾斜角を変えたパラメータスタディを行うことによって、それらのパラメータについて検討することとした。表 2-11 に②の項目で設定した断層に対して南北の断層の傾斜角がともに東傾斜であり、傾斜角が  $45^\circ$  である場合のパラメータの例を示す。

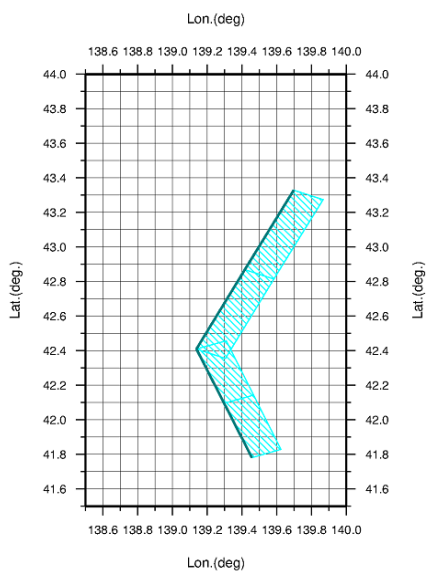
表 2-11 北部、南部の断層がともに東傾斜で、傾斜角が  $45^\circ$  の場合のパラメータの例

Lat.	Lon.	Top(km)	Bottom(km)	Strike	Dip	Rake	L. (km)	W. (km)	D. (m)	Mw
42.8697	139.4160	0.00	15.00	21.10	45.00	90	56.06	21.21	6.42	7.89
42.4091	139.1387	0.00	15.00	21.10	45.00	90	56.06	21.21		
42.0952	139.2981	0.00	15.00	336.50	45.00	90	37.31	21.21		
41.7811	139.4560	0.00	15.00	336.50	45.00	90	37.31	21.21		

図 2-23 に本検討で設定する断層の傾斜方向の組み合わせ(全 4 通り)と先行研究の断層モデルのうち類似するものとの対応関係を示す。

a) 北部の断層=東傾斜、南部の断層=東傾斜

**EEEE**

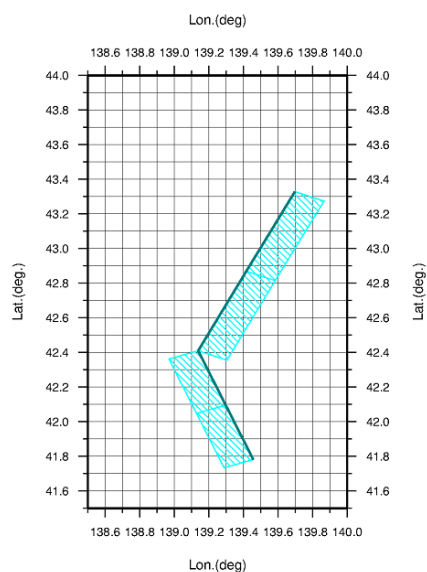


高橋ほか(1995)北DCRCが26(1993)

高橋ほか(1994)大塚RC森谷(1998)

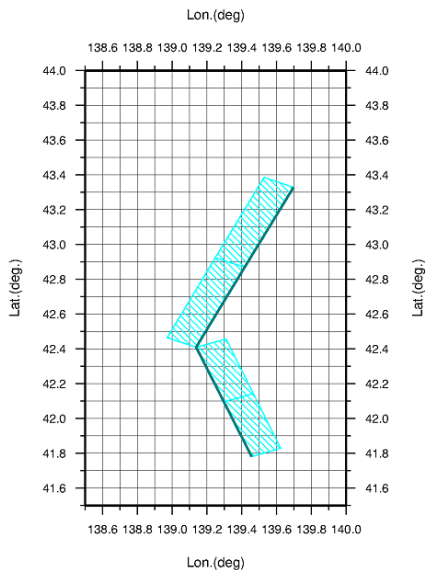
b) 北部の断層=東傾斜、南部の断層=西傾斜

**EWW**



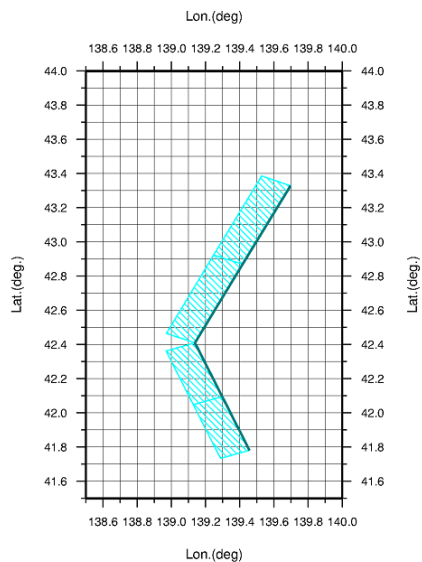
北部の断層=西傾斜、南部の断層=東傾斜

**WWE**



d) 北部の断層=西傾斜、南部の断層=西傾斜

**WWW**



日本海検討会 (2014) 地震本部 (2003)

Tanioka *et al.*, 1995

加藤・都司 (1994) 久家ほか (1994)

図 2-23 断層傾斜方向の組み合わせと既往研究のモデルとの対応関係。

表 2-12～表 2-14 は、断層傾斜方向の組み合わせの一例として北部と南部の断層がともに東傾斜の場合について断層傾斜角を 30°、60°、北部が 30°、南部が 60° とした場合の断層パラメータを示す。

表 2-12 北部、南部の断層がともに東傾斜で、傾斜角が 30° の場合のパラメータの例

Lat.	Lon.	Top(km)	Bottom(km)	Strike	Dip	Rake	L. (km)	W. (km)	D. (m)	Mw
42.8697	139.4160	0.00	15.00	21.10	30.00	90	56.06	30.00	9.08	8.10
42.4091	139.1387	0.00	15.00	21.10	30.00	90	56.06	30.00		
42.0952	139.2981	0.00	15.00	336.50	30.00	90	37.31	30.00		
41.7811	139.4560	0.00	15.00	336.50	30.00	90	37.31	30.00		

表 2-13 北部、南部の断層がともに東傾斜で、傾斜角が 60° の場合のパラメータの例

Lat.	Lon.	Top(km)	Bottom(km)	Strike	Dip	Rake	L. (km)	W. (km)	D. (m)	Mw
42.8697	139.4160	0.00	15.00	21.10	60.00	90	56.06	17.32	5.25	7.78
42.4091	139.1387	0.00	15.00	21.10	60.00	90	56.06	17.32		
42.0952	139.2981	0.00	15.00	336.50	60.00	90	37.31	17.32		
41.7811	139.4560	0.00	15.00	336.50	60.00	90	37.31	17.32		

表 2-14 北部、南部の断層がともに東傾斜で、傾斜角は北部が 30°、南部が 60° の場合

Lat.	Lon.	Top(km)	Bottom(km)	Strike	Dip	Rake	L. (km)	W. (km)	D. (m)	Mw
42.8697	139.4160	0.00	15.00	21.10	30.00	90	56.06	30.00	7.55	7.99
42.4091	139.1387	0.00	15.00	21.10	30.00	90	56.06	30.00		
42.0952	139.2981	0.00	15.00	336.50	60.00	90	37.31	17.32		
41.7811	139.4560	0.00	15.00	336.50	60.00	90	37.31	17.32		

$M_w$  としては先行研究では  $M_w$  7.8 程度であるのに対して、ここで設定しているモデルは  $M_w$  7.9～8.0 程度とやや大きい。合計断層長さが 187 km と、30 km 程度長いことによる。

以上の検討から、本検討において設定する断層傾斜方向と傾斜角の組み合わせを、全部で以下の 16 通りとしてパラメータスタディを実施した。組み合わせを表 2-15 に示す。

表 2-15 パラメータスタディを実施した断層モデルの傾斜方向と傾斜角の組み合わせ

傾斜方向	設定①	設定②	設定③	設定④	傾斜角	①	②	③	④
北部①	東	東	西	西	北部①	30°	45°	60°	30°
北部②	東	東	西	西	北部②	30°	45°	60°	30°
南部①	東	西	西	東	南部①	30°	45°	60°	60°
南部②	東	西	西	東	南部②	30°	45°	60°	60°

なお、パラメータスタディは表 2-16 に示す津波予測計算の計算条件により実施した。

表 2-16 津波予測計算の計算条件

内容	
支配方程式	非線形長波理論
数値解法	Staggered Leap-frog 差分スキーム
計算領域	北海道南部及び日本海東縁部の沿岸
計算領域の格子サイズ	外洋から順に 1, 350m、450m、150m(最小 150m メッシュ)
境界条件	陸域では遡上を考慮 海側では無反射の透過境界
各種施設の取り扱い	各種施設は考慮しない
計算時間	6 時間
初期水位	Okada(1992)で算出した海底地盤変動量
潮位	T. P. 0 m
打ち切り水深	10 <sup>-2</sup> m
粗度係数	0.025

## ②パラメータスタディの結果

前項の「パラメータスタディ用断層モデルの基本形状」において述べた、全部で 16 通りの断層モデルについて津波予測計算によるパラメータスタディを実施した結果を示す。ここでは、断層モデルを使用して計算した結果として津波の最大水位上昇量と津波痕跡高との比較を行った。津波痕跡高は東北大学工学研究科及び原子力安全基盤機構により整備されている「津波痕跡データベース」(東北大学災害科学国際研究所災害リスク研究部門津波工学研究分野低頻度リスク評価研究分野・原子力規制庁長官官房技術基盤グループ安全技術管理官(地震・津波担当)付, <http://tsunami-db.irides.tohoku.ac.jp/tsunami/kiyaku.php>)において、信頼度 A 及び B とされているものとを比較した。以降の図中において、青線はそれぞれの断層モデルを使用して

計算した最大水位上昇量を示し、灰色の線は全モデルの計算結果を重ね合わせた場合の最大津水位昇量の各評価地点での最大値を示したものである。また、オレンジ色の点は津波痕跡高のうち、信頼度が B であるもの、赤い点は信頼度が A であるものを示している。

a) 北部の断層=東傾斜、南部の断層=東傾斜

北部の断層の傾斜方向が東傾斜で、南部も東傾斜の場合において断層傾斜角を変えた計算結果を図 2-24 に示す。

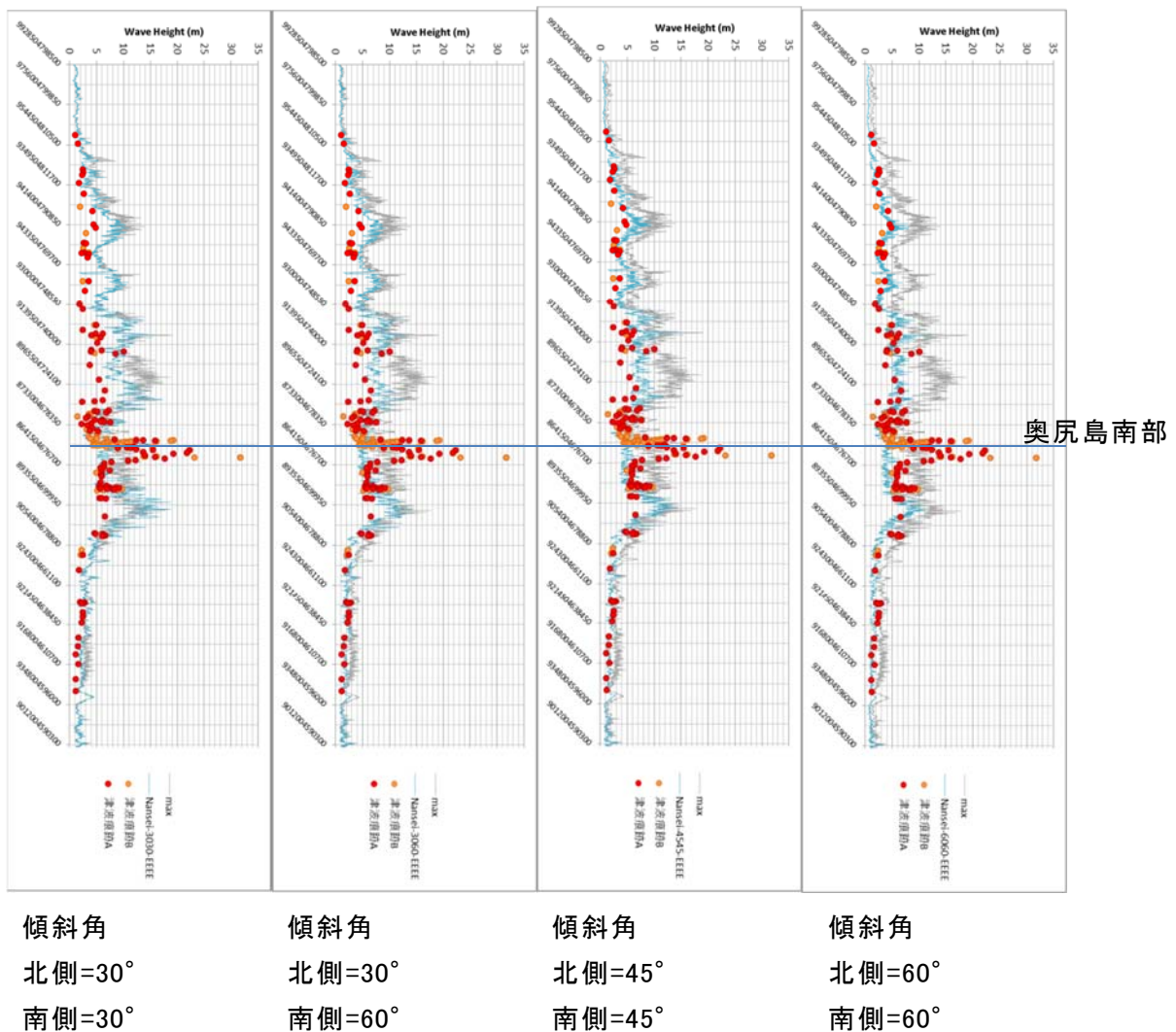


図 2-24 断層モデルを用いた最大水位上昇量と津波痕跡高との比較。

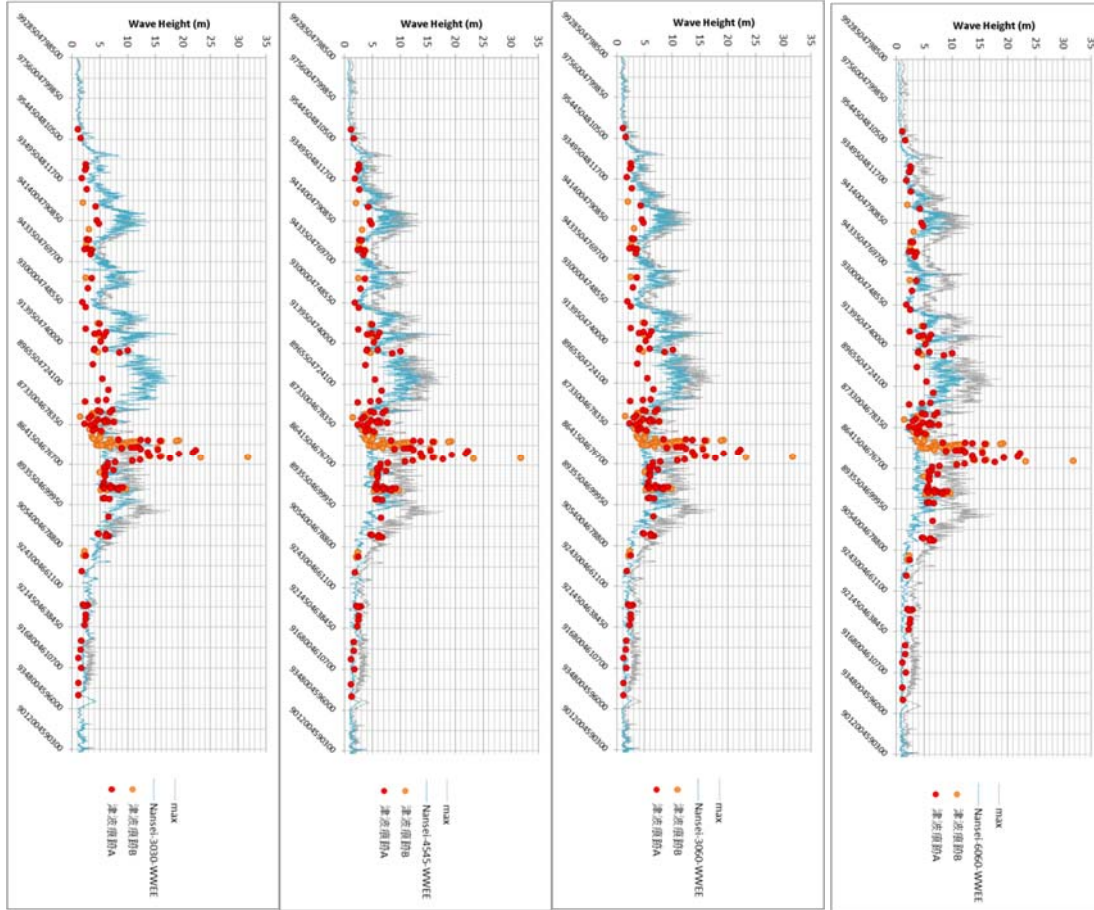
縦軸は 150 m メッシュ計算領域における沿岸の評価地点を示し、上が北、下が南となっている。北端は北海道増毛郡、南端は北海道松前郡となっている。





c) 北部の断層=西傾斜、南部の断層=東傾斜

北部の断層の傾斜方向が西傾斜で、南部が東傾斜の場合において断層傾斜角を変えた計算結果を図 2-26 に示す。



傾斜角  
北側=30°  
南側=30°

傾斜角  
北側=30°  
南側=60°

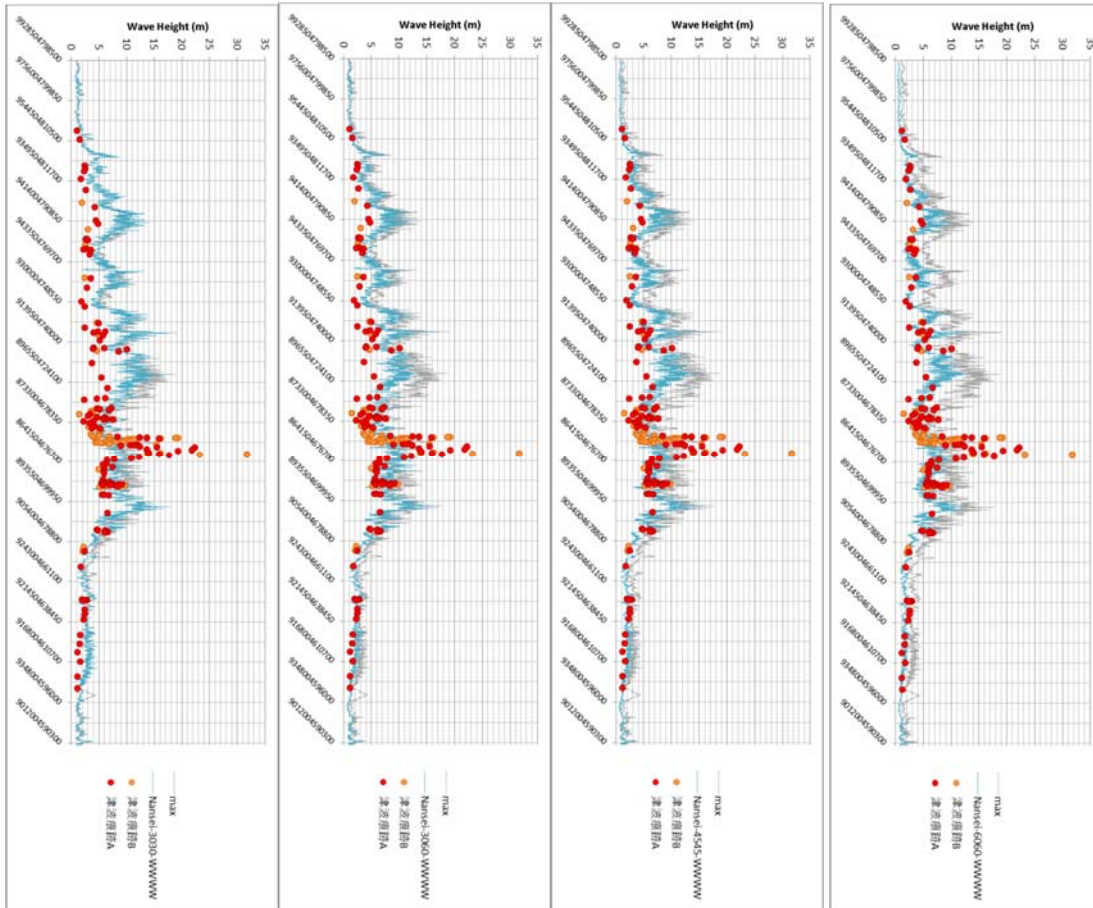
傾斜角  
北側=45°  
南側=45°

傾斜角  
北側=60°  
南側=60°

図 2-26 断層モデルを用いた最大水位上昇量と津波痕跡高との比較。

c) 北部の断層=西傾斜、南部の断層=西傾斜

北部の断層の傾斜方向が西傾斜で、南部も西傾斜の場合において断層傾斜角を変えた計算結果を図 2-27 に示す。



傾斜角	傾斜角	傾斜角	傾斜角
北側=30°	北側=30°	北側=45°	北側=60°
南側=30°	南側=60°	南側=45°	南側=60°

図 2-27 断層モデルを用いた最大水位上昇量と津波痕跡高との比較。

・ K- $\kappa$  による比較

断層モデルの適合度合を評価する指標として相田(1977)による幾何平均 K 及び幾何標準偏差  $\kappa$  を用いて津波痕跡高と計算津波高さを比較した(表 2-17)。

土木学会原子力土木委員会(2002)による基準では、断層モデルがよく適合しているときの目安として  $0.95 < K < 1.05$  及び  $\kappa < 1.45$  という範囲を示している。

表 2-17 断層モデルを用いた

各地点の最大水位上昇量の予測結果と津波痕跡高の  $K$ - $\kappa$  による比較

model	北部断層	南部断層	$K$	$\kappa$
Nansei-3030-EEEE	東傾斜	東傾斜	0.79	1.88
Nansei-3030-EEWW	東傾斜	西傾斜	0.75	1.69
Nansei-3030-WWEE	西傾斜	東傾斜	0.86	1.85
Nansei-3030-WWWW	西傾斜	西傾斜	0.79	1.68
Nansei-3060-EEEE	東傾斜	東傾斜	0.97	1.86
Nansei-3060-EEWW	東傾斜	西傾斜	0.78	1.60
Nansei-3060-WWEE	西傾斜	東傾斜	1.06	1.82
Nansei-3060-WWWW	西傾斜	西傾斜	0.83	1.58
Nansei-4545-EEEE	東傾斜	東傾斜	1.08	1.81
Nansei-4545-EEWW	東傾斜	西傾斜	0.93	1.62
Nansei-4545-WWEE	西傾斜	東傾斜	1.16	1.78
Nansei-4545-WWWW	西傾斜	西傾斜	0.99	1.60
Nansei-6060-EEEE	東傾斜	東傾斜	1.38	1.75
Nansei-6060-EEWW	東傾斜	西傾斜	1.11	1.55
Nansei-6060-WWEE	西傾斜	東傾斜	1.46	1.73
Nansei-6060-WWWW	西傾斜	西傾斜	1.18	1.54

表 2-17 に示した本検討の結果をみると、先行研究における  $M_w$  が 7.7~7.8 程度に対して、本検討で設定した断層モデルでは  $M_w$  7.9~8.1 程度とやや大きい  
ためか、傾斜角を標準から低角に設定しているパターンでは  $K$  が小さく、過大評価になる傾向がある。ただし、これらの断層モデルでも、奥尻島周辺において観測された高い津波は再現されていない。奥尻島の津波高さについては、大すべり域の設定を検討することによって改善する可能性もある。 $\kappa$  については、この検討で比較的小さ目だった断層モデルは表 2-17 で色をつけて示しているが、すべて、南側の断層が西傾斜のモデルである。北側の断層についても、西傾斜のほうがやや優位な傾向にある。

断層の傾斜方向のパターンが異なる 4 つの断層モデルを、同じ傾斜角の場合について比較する(図 2-28)。北側の断層は西傾斜より東傾斜のほうが予測される津波の高さが低く(図 2-28 の a)、痕跡高に近い結果となっている。南側の断層については、北側の断層と同じ傾斜方向の場合には、奥尻島以南の地域に小さいピークができることから、北側の断層とは異なる傾斜方向のほうが、痕跡高の分布パターンに近い(図 2-28 の b)。

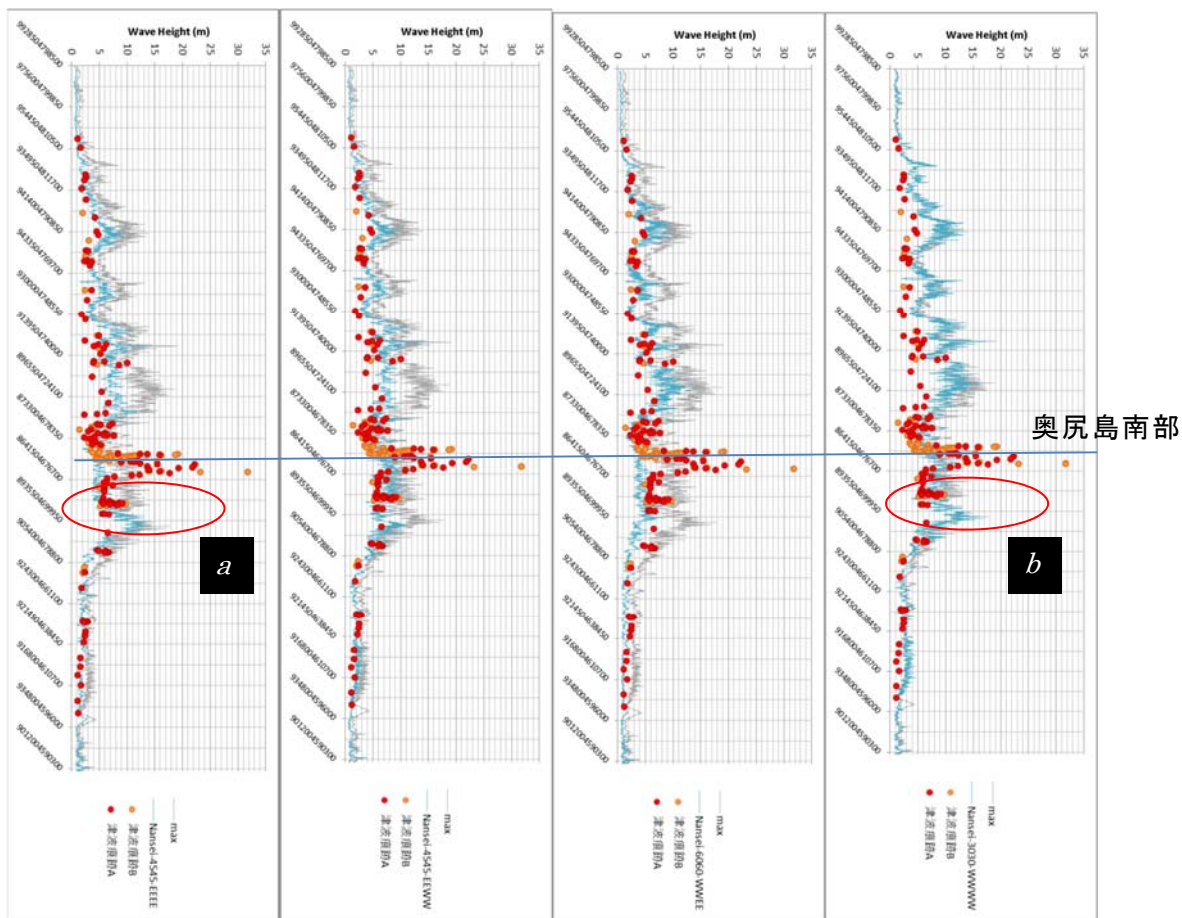


図 2-28 断層モデルを用いた最大水位上昇量の比較。

ここで、奥尻島を除き、北側と南側の沿岸で分けて  $K-\kappa$  を比較した(表 2-18 及び表 2-19)。

表 2-18 断層モデルを用いた  
各地点の最大水位上昇量の予測結果と津波痕跡高の  $K-\kappa$  による比較

奥尻島以北のエリア

model	北部(傾斜方向 (傾斜角))	南部傾斜方向 (傾斜角))	K	$\kappa$
Nansei-3030-EEEE	東傾斜(30°)	東傾斜(30°)	0.47	1.40
Nansei-3030-EEWW	東傾斜(30°)	西傾斜(30°)	0.47	1.40
Nansei-3030-WWEE	西傾斜(30°)	東傾斜(30°)	0.49	1.43
Nansei-3030-WWWW	西傾斜(30°)	西傾斜(30°)	0.50	1.42
Nansei-3060-EEEE	東傾斜(30°)	東傾斜(60°)	0.54	1.40
Nansei-3060-EEWW	東傾斜(30°)	西傾斜(60°)	0.55	1.39
Nansei-3060-WWEE	西傾斜(30°)	東傾斜(60°)	0.56	1.38
Nansei-3060-WWWW	西傾斜(30°)	西傾斜(60°)	0.57	1.40
Nansei-4545-EEEE	東傾斜(45°)	東傾斜(45°)	0.66	1.44
Nansei-4545-EEWW	東傾斜(45°)	西傾斜(45°)	0.66	1.42
Nansei-4545-WWEE	西傾斜(45°)	東傾斜(45°)	0.68	1.45
Nansei-4545-WWWW	西傾斜(45°)	西傾斜(45°)	0.69	1.44
Nansei-6060-EEEE	東傾斜(60°)	東傾斜(60°)	0.87	1.41
Nansei-6060-EEWW	東傾斜(60°)	西傾斜(60°)	0.88	1.40
Nansei-6060-WWEE	西傾斜(60°)	東傾斜(60°)	0.88	1.46
Nansei-6060-WWWW	西傾斜(60°)	西傾斜(60°)	0.92	1.48

表 2-19 断層モデルを用いた

各地点の最大水位上昇量の予測結果と津波痕跡高の  $K$ - $\kappa$  による比較奥尻島以南のエリア

model	北部傾斜方向 (傾斜角))	南部傾斜方向 (傾斜角))	K	$\kappa$
Nansei-3030-EEEE	東傾斜(30°)	東傾斜(30°)	0.59	1.28
Nansei-3030-EEWW	東傾斜(30°)	西傾斜(30°)	0.66	1.33
Nansei-3030-WWEE	西傾斜(30°)	東傾斜(30°)	0.68	1.19
Nansei-3030-WWWW	西傾斜(30°)	西傾斜(30°)	0.70	1.36
Nansei-3060-EEEE	東傾斜(30°)	東傾斜(60°)	0.88	1.31
Nansei-3060-EEWW	東傾斜(30°)	西傾斜(60°)	0.74	1.25
Nansei-3060-WWEE	西傾斜(30°)	東傾斜(60°)	1.06	1.25
Nansei-3060-WWWW	西傾斜(30°)	西傾斜(60°)	0.80	1.29
Nansei-4545-EEEE	東傾斜(45°)	東傾斜(45°)	0.91	1.25
Nansei-4545-EEWW	東傾斜(45°)	西傾斜(45°)	0.91	1.33
Nansei-4545-WWEE	西傾斜(45°)	東傾斜(45°)	1.06	1.20
Nansei-4545-WWWW	西傾斜(45°)	西傾斜(45°)	0.93	1.36
Nansei-6060-EEEE	東傾斜(60°)	東傾斜(60°)	1.23	1.22
Nansei-6060-EEWW	東傾斜(60°)	西傾斜(60°)	1.15	1.33
Nansei-6060-WWEE	西傾斜(60°)	東傾斜(60°)	1.49	1.22
Nansei-6060-WWWW	西傾斜(60°)	西傾斜(60°)	1.15	1.31

奥尻島以北のエリアにおいては、モデル相互間の  $\kappa$  の差が小さいが、その中でも比較的  $\kappa$  が小さいモデルのなかに東傾斜と西傾斜の両方があり、どのモデルが再現性が良いのかの判断が難しい。奥尻島以南のエリアでは、南側の断層が東傾斜のモデルが  $\kappa$  が小さくなっている。また、組み合わせとしても、北側が西傾斜、南側が東傾斜という組み合わせより  $\kappa$  が小さくなっている。表 2-20 に計算を実施した範囲全域の沿岸の地点における、モデルタイプごとの  $K$  及び  $\kappa$  の平均を示す。

表 2-20 断層モデルを用いた各地点の最大水位上昇量の予測結果と津波痕跡高の  $K$ - $\kappa$  による比較幾何平均  $K$  及び幾何標準偏差  $\kappa$  の平均

モデルタイプ	北部断層	南部断層	K	$\kappa$
EEEE	東傾斜	東傾斜	0.86	1.50
EEWW	東傾斜	西傾斜	0.80	1.44
WWEE	西傾斜	東傾斜	0.95	1.48
WWWW	西傾斜	西傾斜	0.84	1.45

この結果では、「EEWW」（北部断層：東傾斜、南部断層：西傾斜）の組み合わせが優位となった。EEWWの組み合わせは、北大理予知セ・他(1993)等の震源分布により支持される組み合わせである。

### 3. まとめ

- 1) サブテーマ(2)で平成26年度に実施された成果から、北海道南西沖地震の震源域近傍に、西傾斜と東傾斜の、共役関係とみられる断層の存在が確認された。平成27年度の、海底地形や地震活動を参照し再検討された結果では、北海道南西沖地震の余震域に相当する領域において、平行する西傾斜と東傾斜の断層トレースが示された。
- 2) 先行研究をレビューした結果、先行研究において示される断層傾斜方向についても、北側の断層、南側の断層はともに、西傾斜を主張するもの、東傾斜を主張するものの両方があり、どちらの傾斜方向が優勢であるかを決定する材料とはならなかった。
- 3) 1)及び2)の結果から、断層の傾斜方向を一義的に決定することはできないため、考え得る組み合わせを網羅し、また傾斜角も複数パターンを設定を考慮したうえで、パラメータスタディを実施した。断層の傾斜方向のパターンが異なる4つの断層モデルを、同じ傾斜角の場合について比較すると、北側の断層は西傾斜より東傾斜のほうが予測される津波の高さが低く、痕跡高に近い結果となっている。南側の断層については、北側の断層と同じ傾斜方向の場合には、奥尻島以南の地域に小さいピークができることから、北側の断層とは異なる傾斜方向のほうが、痕跡高の分布パターンに近い。
- 4) 奥尻島に限定すると、断層モデルを用いた各地点の最大水位上昇量の予測結果と津波痕跡高の  $K-\kappa$  による比較幾何平均  $K$  及び幾何標準偏差  $\kappa$  の平均の比較では、「EEWW」、つまり、 $K-\kappa$  による最大水位上昇からは北部東傾斜と南部西傾斜の組み合わせが優位となった。この北部東傾斜と南部西傾斜組み合わせは、北大理予知セ・他(1993)等の震源分布により支持される組み合わせである。
- 5) 3)及び4)の結果から、津波予測計算の結果を評価する方法によっても、東傾斜が優勢となる場合と西傾斜が優勢となる場合があり、その度合いも僅差であるため、今回の検討においては、断層の傾斜方向を決定することはできなかった。



#### 4. 引用文献

相田勇, 三陸沖の古い津波のシミュレーション, 東大地震研彙報, 52, 71-101, 1977.

青柳恭平・阿部信太郎・田中寛好・井上大榮, 詳細な海底地殻変動解析による津波波源域評価手法の提案(その2) 電力中央研究所報告, U99077, 2000-b.

青柳恭平・阿部信太郎・田中寛好・井上大榮・倉本真一・西澤あずさ, 詳細な海底地殻変動解析による津波波源域評価手法の提案(その1) 電力中央研究所報告, U99034, 2000-a.

土木学会原子力土木委員会, 原子力発電所の津波評価技術, 2002.

橋本学・小沢慎三郎・吉村愛一郎・鷺谷威・多田堯・辻広道, 北海道南西沖地震に伴う地殻変動と断層モデル, 月刊海洋号外, 7: 55-61, 1994.

羽鳥徳太郎, 1993年北海道南西沖地震の規模及び波源域 地震第2輯, 47:1-9, 1994.

日野亮太・金沢敏彦・末広潔・佐藤利典・島村英紀, 海底地震計による1993年北海道南西沖地震の余震分布, 月刊海洋, 号外7: 35-42, 1994.

北海道大学理学部, 地震予知連絡会会報, 51, 15-16, 1994.

北大理予知セ・東大理予知セ・東大地震研地震移動班, 1993年7月12日北海道南西沖地震の余震の震源分布, 日本地震学会予稿集, 1993年秋大会, 1993.

北海道総務部危機対策局防災消防課, 平成21年度 津波シミュレーション及び被害想定業務(北海道日本海沿岸)報告書, 2010.

堀江晶子・渋谷和雄, 関東地方の深さ150kmまでのPは速度構造, 地震第2輯, 32:125-140, 1979.

地震調査研究推進本部地震調査委員会, 「日本海東縁部の地震活動の長期評価」, 2003.

笠原稔・小平秀一・本谷義信・高波鉄夫・前田亟・岡山宗夫・石山春義・一柳昌義・山本明・松本聡・津村紀子・岡田知己・矢部康男・飯高隆・平田直, 1993年北海道南西沖地震の余震活動とその分布, 文部省科学研究費(No. 05306012)突発災害調査研究成果自然災害総合研究班編「平成5年北海道南西沖地震・津波とその被害に関する調査研究」: 13-19, 1994.

加藤健二・都司嘉宣，1993年北海道南西沖地震の断層要素の推定とその津波の特性 地震研究所彙報，69:39-66，1994.

菊池正幸，遠地実体波による北海道南西沖地震 破壊過程—他の大津波地震，非津波地震との比較—，日本地震学会予稿集，1993年秋大会，1993.

越村俊一・萱場真太郎，1993年北海道男性沖地震の家屋被害の再考—津波被害関数の構築に向けて— 日本地震工学会論文集，10-3，2010.

久家慶子・菊池正幸・J. Zhang，遠地実体波，表面波でみる北海道南西沖地震(1993年7月12日)の複雑な震源過程，月刊海洋，号外7:21-28，1994.

松山昌史・青柳恭平・田中寛好・阿部信太郎，新たな海底地殻変動解析による津波評価手法—1993年北海道南西沖地震による検証— 海岸工学論文集，50:336-340，2003.

松山昌史・青柳恭平・田中寛好・阿部信太郎，詳細な海底地殻変動解析による津波波源域評価手法の提案(その3) 電力中央研究所報告，2002.

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26年度成果報告書，  
[http://www.jishin.go.jp/database/project\\_report/kaiiki-h26/](http://www.jishin.go.jp/database/project_report/kaiiki-h26/)，2015.

日本海における大規模地震に関する調査検討会，日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書，2014.

日本海における大規模地震に関する調査検討会海底断層ワーキンググループ，日本海における大規模地震に関する調査検討会海底断層ワーキンググループ報告書，2014.

Okada, Y , Internal Deformation due to Shear and Tensile in a half-space, Bull. Seismol. Soc. Am., 85,1018-1040, 1992.

岡村行信，日本海東縁の地質構造と震源断層との関係，地質学雑誌，116 - 11:582-591，2010.

大塚健・森谷武男，1993年北海道南西沖地震の余震の空間分布に関する問題，北海道大学地球物理学研究報告，61:69-84，1992.

高橋武之・高橋智幸・今村文彦・首藤伸夫，北海道南西沖地震津波の波源の再検討，土木学会東北支部技術研究発表会(平成6年度)，II-60，1995.

高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・Modesto Ortiz (1994) :, 津波を説明するための北海道南西沖地震断層モデル, 津波工学, 1994.

竹内章・藤岡換太郎・藤倉克則・加藤幸弘・長沼毅・倉本真一・岡村行信・岡野肇・青木美澄・小寺透, 津波地震による海底地盤変動—1993年北海道南西沖地震震源域潜航調査—, JAMSTEC Jour. Deep Sea Res, no.12, 65-81, 1996.

Tanioka, Yuichiro, Kenji Satake, and Larry Ruff , Total analysis of the 1993 Hokkaido Nansei-oki earthquake using seismic wave, tsunami, and geodetic data *Geophy. Res. Let.* 22-1:9-12, 1995.

東北大学災害科学国際研究所災害リスク研究部門津波工学研究分野低頻度リスク評価研究分野・原子力規制庁長官官房技術基盤グループ安全技術管理官(地震・津波担当)付: 津波痕跡データベース、<http://tsunami3.civil.tohoku.ac.jp> (オンライン, 2017年3月閲覧).