

日本海地震・津波調査

3. 津波および強震動の予測

3-1：津波予測

東京大学地震研究所

1

3. 津波および強震動の予測

3-1：津波予測

<研究目的>

陸域・海域での構造調査や古地震・古津波・活構造調査などに基づいて得られた断層モデルから、日本海沿岸における津波シミュレーションにより、沿岸での津波波高を予測する。個々の断層モデルに基づく確定論的シナリオモデルの他に、各地に影響を及ぼす可能性のある断層からのシナリオを組み合わせた確率論的な津波予測も行う。なお、本サブテーマでは日本海沿岸の全域について、沿岸での津波の高さを予測し、特定の港湾における浸水・遡上・構造物の影響については、波の分散性も考慮してサブテーマ(1)で実施する。

平成27年度実施概要：

- 北陸沖海域を中心とする海底活断層・沿岸伏在断層について、海域構造調査や海陸統合構造調査により得られた断層モデルに基づき、引き続きシナリオ型津波シミュレーションを実施した。また、当該沿岸に影響を及ぼす断層について、確率論的な津波波高予測を行った。

平成28年度業務計画

- 九州沖海域を中心とする海底活断層・沿岸伏在断層について、海域構造調査や海陸統合構造調査により得られた断層モデルに基づき、シナリオ型津波シミュレーションを行う。また、当該沿岸に影響を及ぼす断層をリストアップする。

2

業務計画（平成25年度～平成32年度）

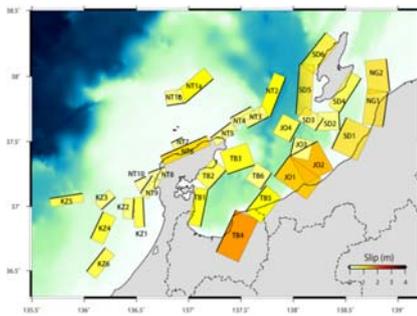
	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31	H32
北海道・東北沖周辺	↑ 地形データ・計算コード整備・検証 ↓					←断層のリストアップ シナリオ型津波シミュレーション→	←確率論的な津波波高予測→	↑ 想定運動シミュレーション 低頻度巨大地震による津波波高評価 ↓
北陸沖周辺		←断層のリストアップ シナリオ型津波シミュレーション→		←確率論的な津波波高予測→				
山陰・九州沖周辺				←断層のリストアップ シナリオ型津波シミュレーション→	←確率論的な津波波高予測→			

<平成28年度> 九州沖海域を中心とする海底活断層・沿岸伏在断層について、海域構造調査や海陸統合構造調査により得られた断層モデルに基づき、シナリオ型津波シミュレーションを行う。また、当該沿岸に影響を及ぼす断層をリストアップする。

平成27年度

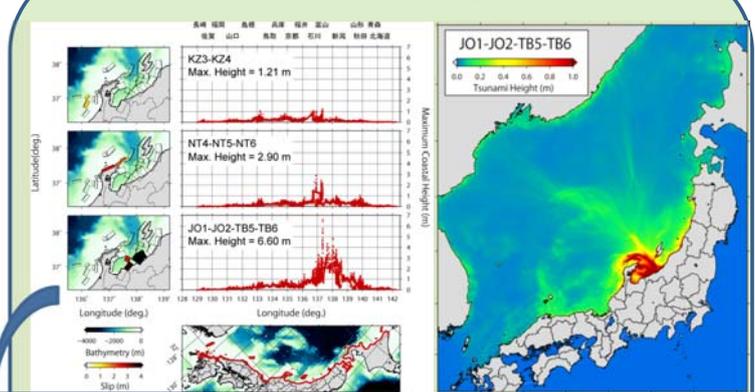
平成27年度の実施内容(概要)

2-5-1「断層モデルの構築」によって得られた断層モデル



北陸沖海域を中心とする海底活断層・沿岸伏在断層の35断層モデルから連動可能性を考慮した48ケース

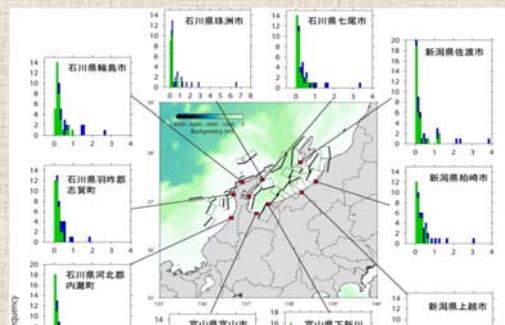
津波波高分布の推定



結果を石川県などに提供

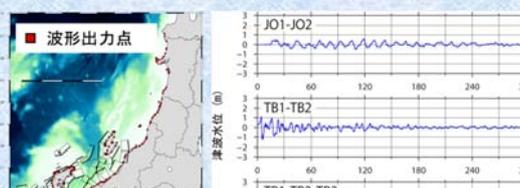
津波波高予測

48ケースによる日本海沿岸域(石川県から新潟県)における津波波高の頻度分布



連動モデルで沿岸最大水位が1m以上となるケースを中心に

沿岸域における津波波高分布・波形の詳細計算



※ 沿岸域における津波浸水計算についても実施

日本地震学会秋季大会にて発表予定

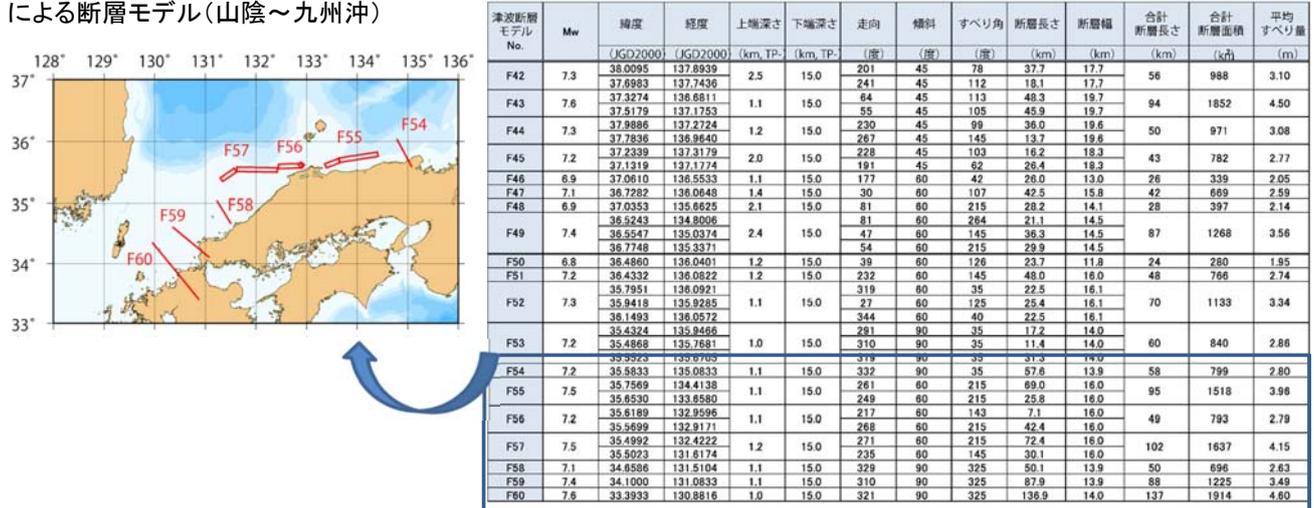
S17-P03 北陸沖海域の活断層による日本海沿岸部の津波波高

#Aditya Riadi Gusman・佐竹 健治(東京大学地震研究所)・室谷 智子(国立科学博物館)・石辺 岳男(地震予知総合研究振興会)

『日本海における大規模地震に関する調査検討会』の断層モデルを用いて以下を実施

1. 津波高の断層のすべり角依存性の検討
2. スケーリング則による津波高への影響の検討
3. Nested gridを用いた津波シミュレーション

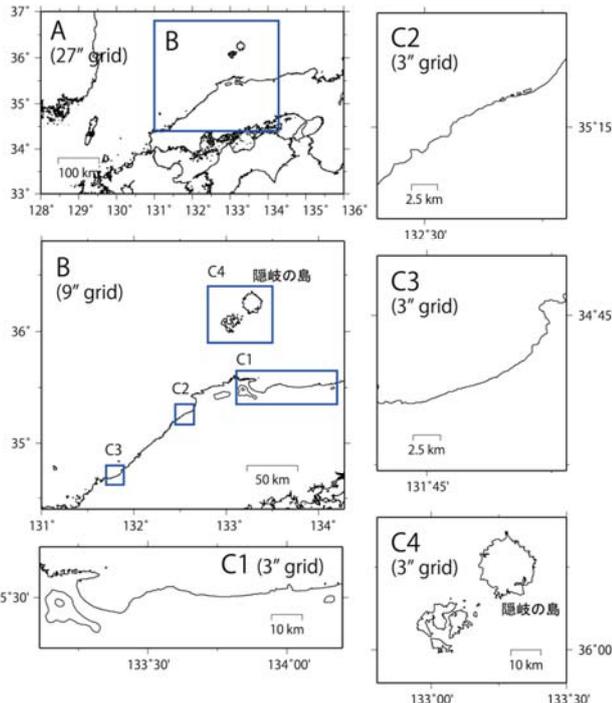
『日本海における大規模地震に関する調査検討会』
による断層モデル(山陰～九州沖)



日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書

27秒・9秒・3秒メッシュを用いた最大津波高分布の推定

Single grid



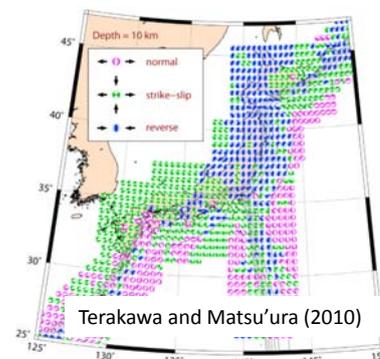
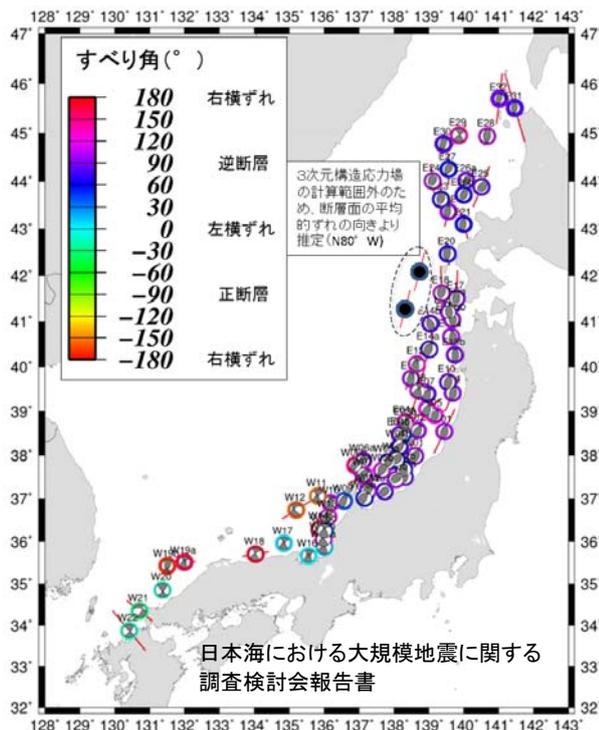
項目	設定値
空間格子間隔	27秒(領域A)
時間格子間隔	1秒
基礎方程式	線形長波式
境界条件	陸域遡上を考慮しない
初期条件	Okadaの方法を用いて設定
現象再現時間	地震発生後4時間

Nested grid

項目	設定値
空間格子間隔	27秒(領域A)、9秒(領域B)、3秒(領域C)
時間格子間隔	0.5秒
基礎方程式	非線形長波式
境界条件	陸域遡上を考慮する
初期条件	Okadaの方法を用いて設定
海底摩擦係数	Manningの粗度係数 $n = 0.025m^{-1/3}/s$ (後藤・佐藤(1993)、土木学会(2002))
現象再現時間	地震発生後4時間

総出力点数: 11,738点

『日本海における大規模地震に関する調査検討会』によるすべり角の設定



- ◆ 断層面上の最大せん断応力の方向と一致すると仮定して、すべり角を推定することを基本としている。応力の方向は、セントロイドモーメントテンソル(CMT)解データに基づいて推定した日本島弧全域三次元構造応力場(Terakawa and Matsu'ura, 2010)の結果を使用している。
- ◆ 西日本の日本海側の横ずれ断層の地震である1943年鳥取地震での地表地震断層の露頭における垂直・水平変位量から求めたすべり角の値を参考に、横ずれ断層において低角のすべり角を考慮する場合の値を 35° (145°)とし、津波への影響を検討している。

本課題では、『日本海における大規模地震に関する調査検討会』による断層モデルのすべり角を、 $\pm 15^\circ$ 、 $\pm 30^\circ$ に変化させることで、津波高のすべり角依存性を検討した。

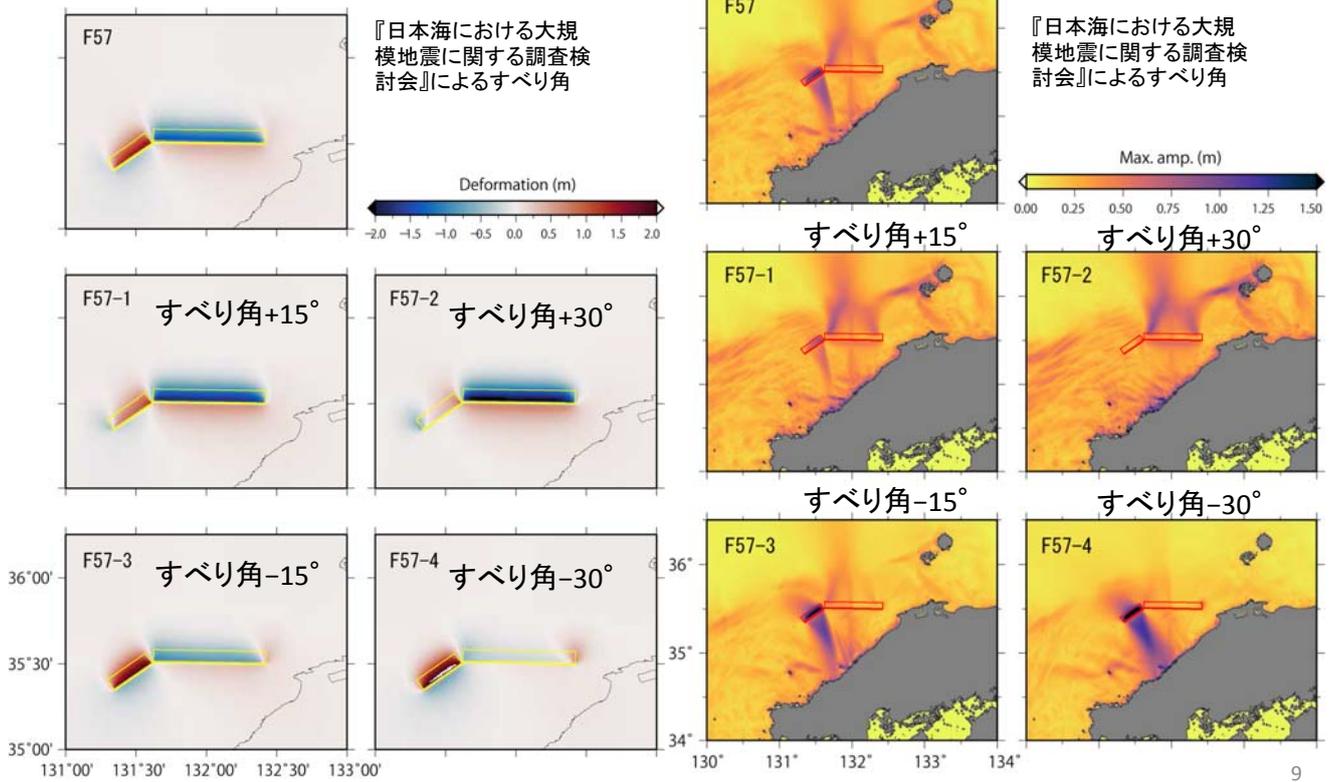
津波高の断層のすべり角依存性の検討に用いた断層パラメータ

Fault number No.	Mw	Mw	Latitude (JGD2000)	Longitude (JGD2000)	Top depth (km, TP+)	Bottom depth (km, TP-)	Strike (度)	Dip (度)	Rate (度)	Length (km)	Width (km)	Total length (km)	Total area (km ²)	Aspect ratio	Average slip (m)	Slip (σ) (m)
F54	6.97	7.19	35.5833	135.0833	1.1	15.0	332	90	35	57.6	13.9	58	799	4.16	1.30	2.80
F54-1	6.97	7.19	35.5833	135.0833	1.1	15.0	332	90	50	57.6	13.9	58	799	4.16	1.30	2.80
F54-2	6.97	7.19	35.5833	135.0833	1.1	15.0	332	90	65	57.6	13.9	58	799	4.16	1.30	2.80
F54-3	6.97	7.19	35.5833	135.0833	1.1	15.0	332	90	20	57.6	13.9	58	799	4.16	1.30	2.80
F54-4	6.97	7.19	35.5833	135.0833	1.1	15.0	332	90	5	57.6	13.9	58	799	4.16	1.30	2.80
F55	7.34	7.48	35.7569	134.4138	1.1	15.0	261	60	215	69.0	16.0	95	1518	5.91	2.46	3.96
F55-1	7.34	7.48	35.7569	134.4138	1.1	15.0	249	60	215	25.8	16.0	95	1518	5.91	2.46	3.96
F55-2	7.34	7.48	35.7569	134.4138	1.1	15.0	261	60	230	69.0	16.0	95	1518	5.91	2.46	3.96
F55-3	7.34	7.48	35.7569	134.4138	1.1	15.0	249	60	230	25.8	16.0	95	1518	5.91	2.46	3.96
F55-4	7.34	7.48	35.7569	134.4138	1.1	15.0	261	60	245	69.0	16.0	95	1518	5.91	2.46	3.96
F56	6.96	7.19	35.6189	132.9596	1.1	15.0	249	60	245	25.8	16.0	95	1518	5.91	2.46	3.96
F56-1	6.96	7.19	35.6189	132.9596	1.1	15.0	261	60	200	69.0	16.0	95	1518	5.91	2.46	3.96
F56-2	6.96	7.19	35.6189	132.9596	1.1	15.0	249	60	200	25.8	16.0	95	1518	5.91	2.46	3.96
F56-3	6.96	7.19	35.6189	132.9596	1.1	15.0	261	60	185	69.0	16.0	95	1518	5.91	2.46	3.96
F56-4	6.96	7.19	35.6189	132.9596	1.1	15.0	249	60	185	25.8	16.0	95	1518	5.91	2.46	3.96
F57	7.38	7.51	35.4992	132.4222	1.2	15.0	217	60	143	7.1	16.0	49	793	3.09	1.29	2.79
F57-1	7.38	7.51	35.4992	132.4222	1.2	15.0	268	60	215	42.4	16.0	49	793	3.09	1.29	2.79
F57-2	7.38	7.51	35.4992	132.4222	1.2	15.0	217	60	158	7.1	16.0	49	793	3.09	1.29	2.79
F57-3	7.38	7.51	35.4992	132.4222	1.2	15.0	268	60	230	42.4	16.0	49	793	3.09	1.29	2.79
F57-4	7.38	7.51	35.4992	132.4222	1.2	15.0	217	60	173	7.1	16.0	49	793	3.09	1.29	2.79
F58	6.89	7.13	34.6586	131.5104	1.1	15.0	268	60	245	42.4	16.0	49	793	3.09	1.29	2.79
F58-1	6.89	7.13	34.6586	131.5104	1.1	15.0	217	60	113	7.1	16.0	49	793	3.09	1.29	2.79
F58-2	6.89	7.13	34.6586	131.5104	1.1	15.0	268	60	185	42.4	16.0	49	793	3.09	1.29	2.79
F58-3	6.89	7.13	34.6586	131.5104	1.1	15.0	217	60	185	7.1	16.0	49	793	3.09	1.29	2.79
F58-4	6.89	7.13	34.6586	131.5104	1.1	15.0	268	60	195	42.4	16.0	49	793	3.09	1.29	2.79
F59	7.21	7.38	34.1000	131.0833	1.1	15.0	271	60	215	72.4	16.0	102	1637	6.41	2.65	4.15
F59-1	7.21	7.38	34.1000	131.0833	1.1	15.0	235	60	145	30.1	16.0	102	1637	6.41	2.65	4.15
F59-2	7.21	7.38	34.1000	131.0833	1.1	15.0	271	60	230	72.4	16.0	102	1637	6.41	2.65	4.15
F59-3	7.21	7.38	34.1000	131.0833	1.1	15.0	235	60	160	30.1	16.0	102	1637	6.41	2.65	4.15
F59-4	7.21	7.38	34.1000	131.0833	1.1	15.0	271	60	185	72.4	16.0	102	1637	6.41	2.65	4.15
F60	7.47	7.59	33.3933	130.8816	1.0	15.0	329	90	325	50.1	13.9	50	696	3.60	1.13	2.63
F60-1	7.47	7.59	33.3933	130.8816	1.0	15.0	329	90	340	50.1	13.9	50	696	3.60	1.13	2.63
F60-2	7.47	7.59	33.3933	130.8816	1.0	15.0	329	90	355	50.1	13.9	50	696	3.60	1.13	2.63
F60-3	7.47	7.59	33.3933	130.8816	1.0	15.0	329	90	310	50.1	13.9	50	696	3.60	1.13	2.63
F60-4	7.47	7.59	33.3933	130.8816	1.0	15.0	329	90	295	50.1	13.9	50	696	3.60	1.13	2.63

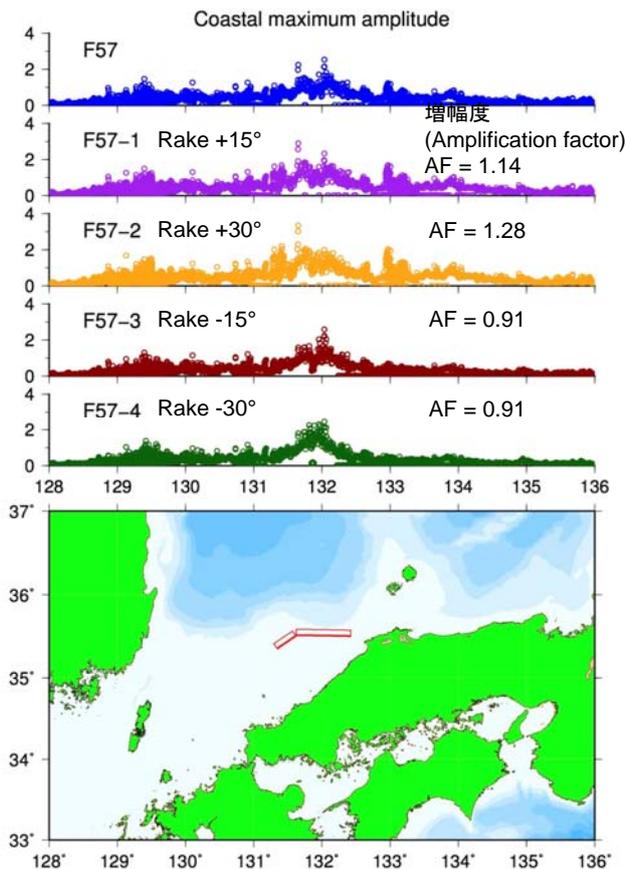
津波高の断層のすべり角依存性の検討 (F57)

地殻変動の分布

最大津波高の分布

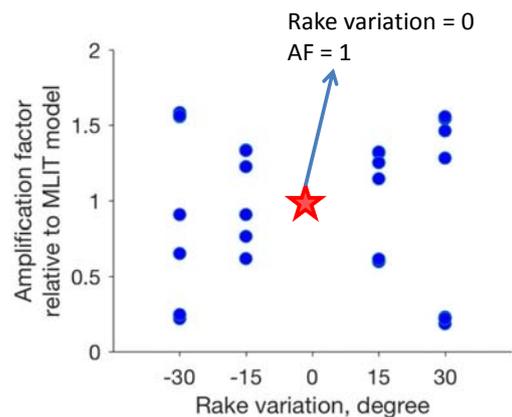


津波高の断層のすべり角依存性の検討



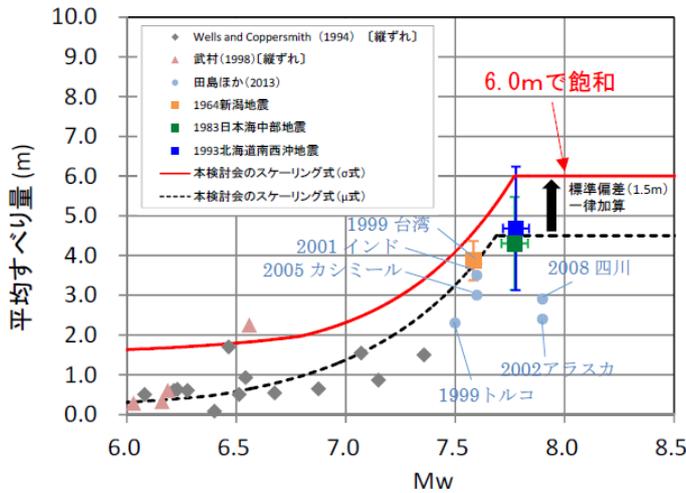
Name	Strike	Dip	Rake	Length	Width	Slip
F57	271	60	215	72.4	16.0	4.15
	235	60	145	30.1	16.0	
F57-1	271	60	230	72.4	16.0	4.15
	235	60	160	30.1	16.0	
F57-2	271	60	245	72.4	16.0	4.15
	235	60	175	30.1	16.0	
F57-3	271	60	200	72.4	16.0	4.15
	235	60	130	30.1	16.0	
F57-4	271	60	185	72.4	16.0	4.15
	235	60	115	30.1	16.0	

❖ 『日本海における大規模地震に関する調査検討会』による断層モデルからすべり角を変化させた場合の増幅度 (F54-F60をまとめたもの)



『日本海における大規模地震に関する調査検討会』 による平均すべり量の設定(σ式)

平均すべり量の設定



- ◆ 既往研究による過去の地震の平均すべり量にはばらつきがみられるため、日本海側で解析結果のある最大規模の地震として1983年日本海中部地震及び1993年北海道南西沖地震の既往断層モデルのすべり量のばらつきを考慮し、平均すべり量 (D_μ) にばらつきの標準偏差 ($\sigma = 1.5\text{ m}$) を加えた。
- ◆ 最大規模のマグニチュード ($M_w 7.7$) に対応する標準偏差 ($\sigma = 1.5\text{ m}$) を $M_w 7.7$ 以下の断層に対しても一律加算している。

日本海における最大クラスの津波断層モデルおよびすべり量について
(平成28年3月)

$$M_o = (2.23 \times 3.43 \times 10^{10} \times D_\mu)^3 \times 10^{-13} \quad (M_w < 6.5) \quad (3-1 \text{ 式})$$

$$M_o = (4.24 \times 3.43 \times 10^{10} \times D_\mu)^2 \times 10^{-3} \quad (6.5 \leq M_w < 7.7) \quad (3-2 \text{ 式})$$

$$D_\mu = 4.5 \quad (7.7 \leq M_w) \quad (3-3 \text{ 式})$$

日本海における最大クラスの津波断層モデルの平均すべり量

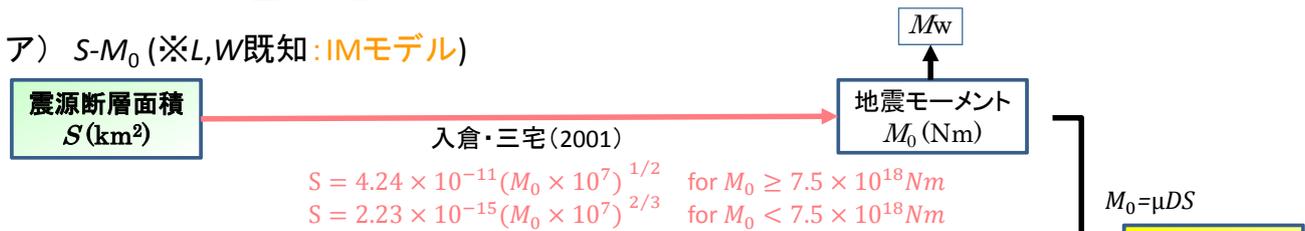
$$D_\sigma = D_\mu + 1.5 \quad (4 \text{ 式})$$

『日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書』による

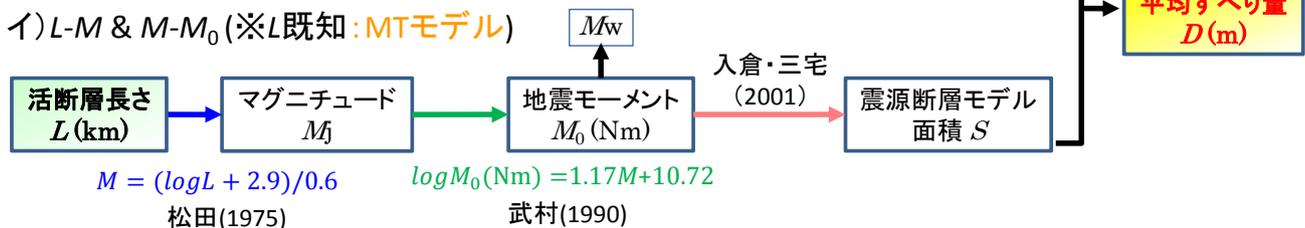
スケール則による津波高への影響の検討

- ◆ 『日本海における大規模地震に関する調査検討会』による平均すべり量に加えて、以下の3つの平均すべり量の設定方法について検討した。

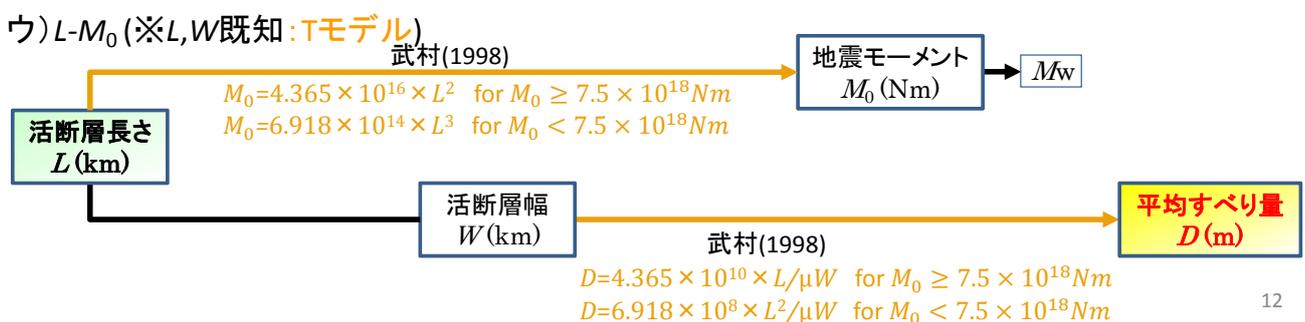
ア) $S-M_o$ (※ L, W 既知: IMモデル)



イ) $L-M$ & $M-M_o$ (※ L 既知: MTモデル)



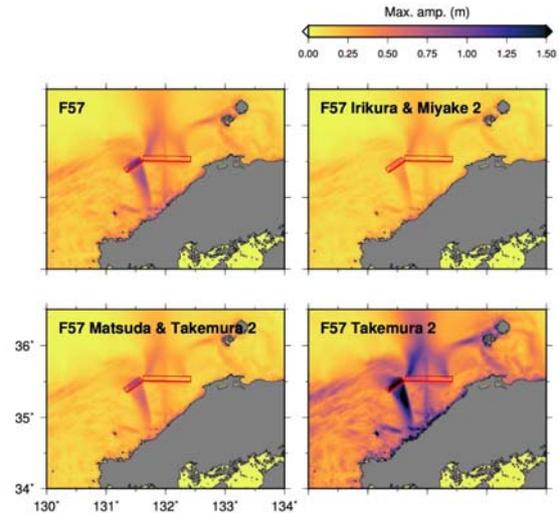
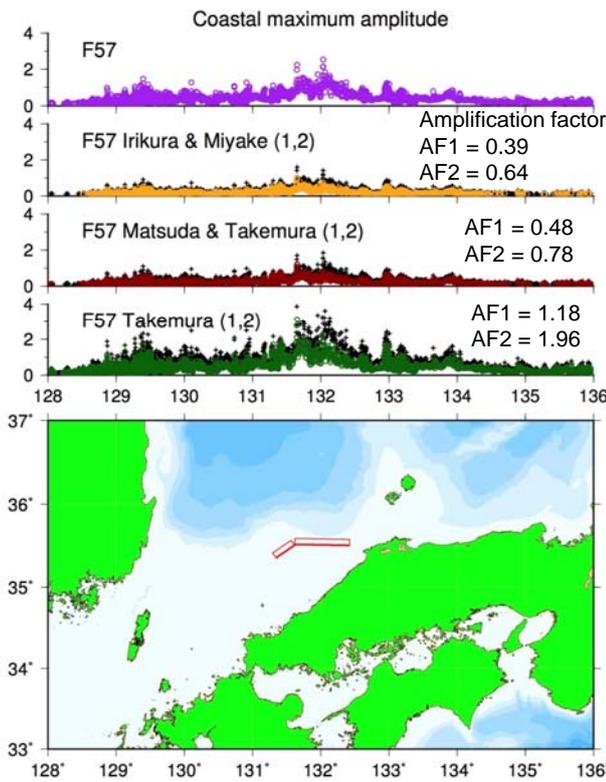
ウ) $L-M_o$ (※ L, W 既知: Tモデル)



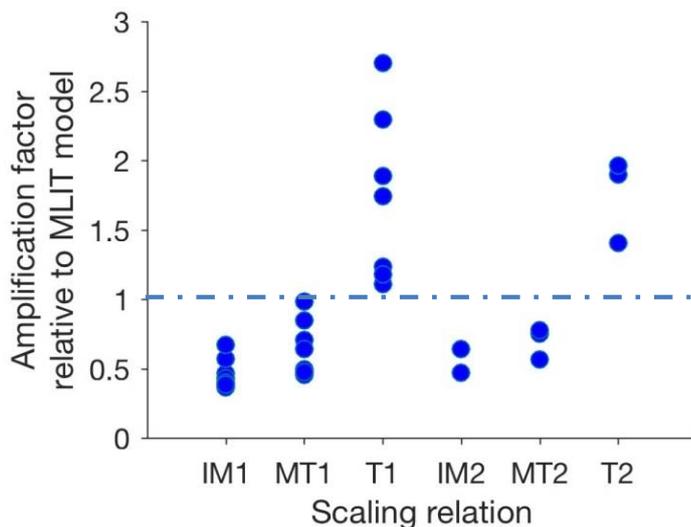
スケーリング則による津波高への影響の検討(F57)

o : case 1 (単独ケース)
 + : case 2 (連動ケース, IMでは2つのセグメントの合算ではなく、両セグメントで $\angle\theta$ が一定となるよう M_0 を配分した。)

Name	Strike	Dip	Rake	Length (km)	Width (km)	Area (km ²)	Slip (m)
F57 (MUT)	a	271	60	215	72.4	16.0	4.15
	b	235	60	145	30.1	16.0	1.88
F57 (IM1)	a	271	60	215	72.4	16.0	2.96
	b	235	60	145	30.1	16.0	1.91
F57 (IM2)	a	271	60	215	72.4	16.0	2.18
	b	235	60	145	30.1	16.0	0.92
F57 (MT1)	a	271	60	215	72.4	16.0	3.05
	b	235	60	145	30.1	16.0	5.76
F57 (MT2)	a	271	60	215	72.4	16.0	2.39
	b	235	60	145	30.1	16.0	8.15
F57 (T1)	a	271	60	215	72.4	16.0	1.88
	b	235	60	145	30.1	16.0	1.91
F57 (T2)	a	271	60	215	72.4	16.0	1.88
	b	235	60	145	30.1	16.0	1.91



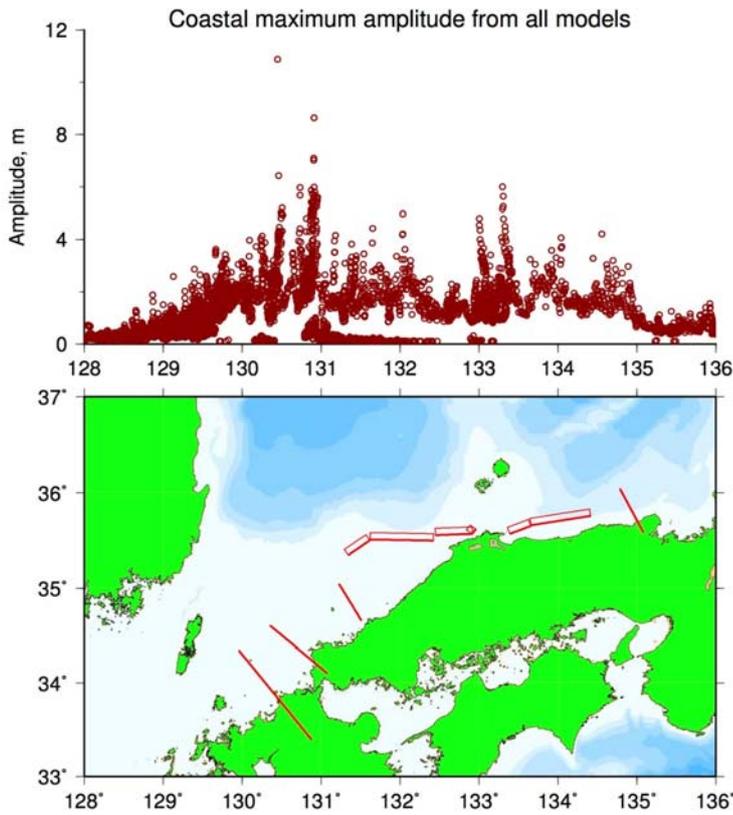
『日本海における大規模地震に関する調査検討会』による断層モデルから用いるスケーリング則を変えた場合の増幅度



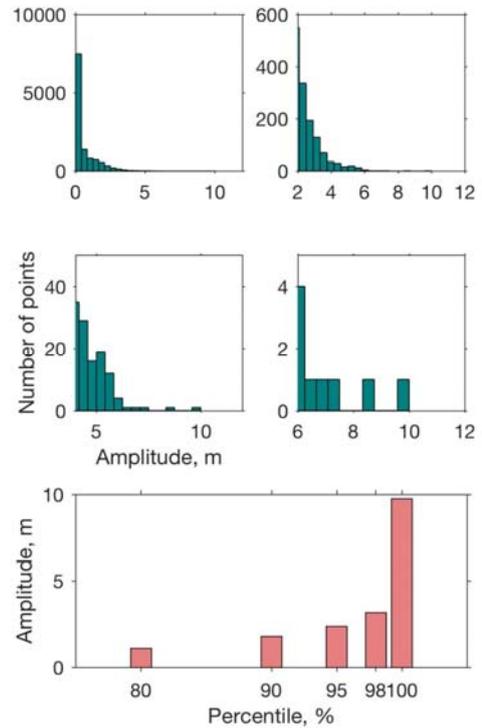
- ◆ 入倉・三宅(2001)や松田(1975)・武村(1990)によるスケーリング則を用いた場合、『日本海における大規模地震に関する調査検討会』による検討結果の概ね0.5倍～1倍の範囲に収まった。
- ◆ 一方で、武村(1998)によるスケーリング則を用いた場合、『日本海における大規模地震に関する調査検討会』による断層モデルと比べて3倍弱程度大きくなる場合があった。

※ 『日本海における大規模地震に関する調査検討会』では大すべり域を仮定しているが、ここでは一様すべりを仮定している。

すべり角の不確定性 ($\pm 30^\circ$)・スケーリング則の相違を考慮した沿岸域における最大津波高分布



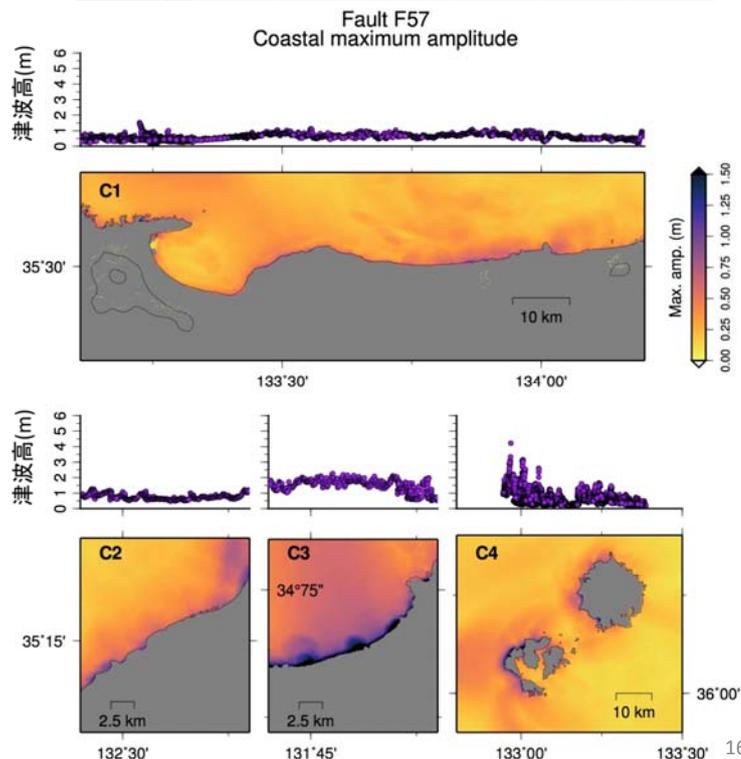
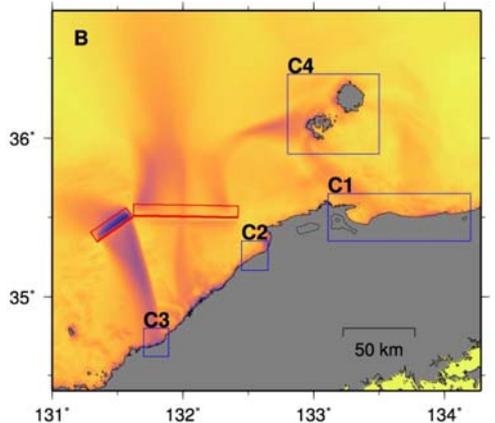
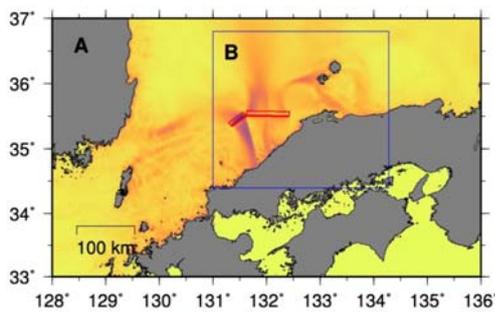
最大津波高のヒストグラム



Nested gridを用いた津波シミュレーション (F57)

	領域 A	領域 B	領域 C
Grid size (arc sec)	27	9	3

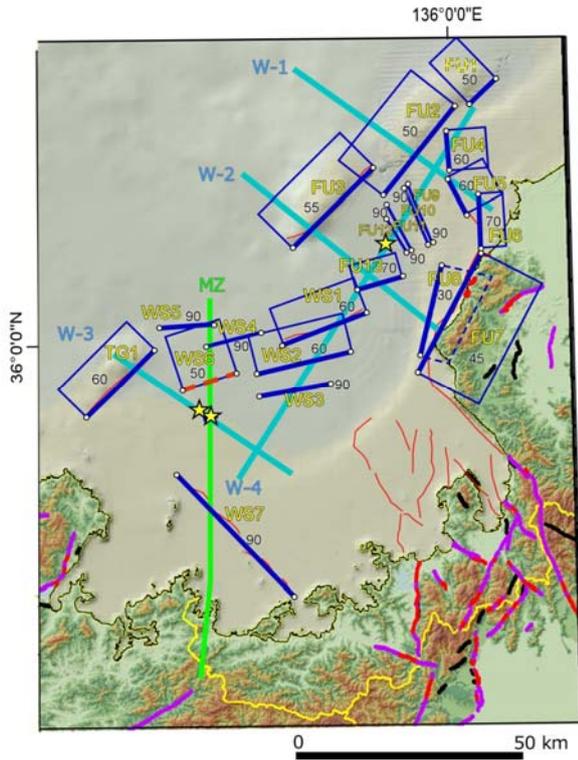
Name	Strike	Dip	Rake	Length (km)	Width (km)	Slip (m)
F57	a	271	60	215	72.4	16.0
	b	235	60	145	30.1	16.0



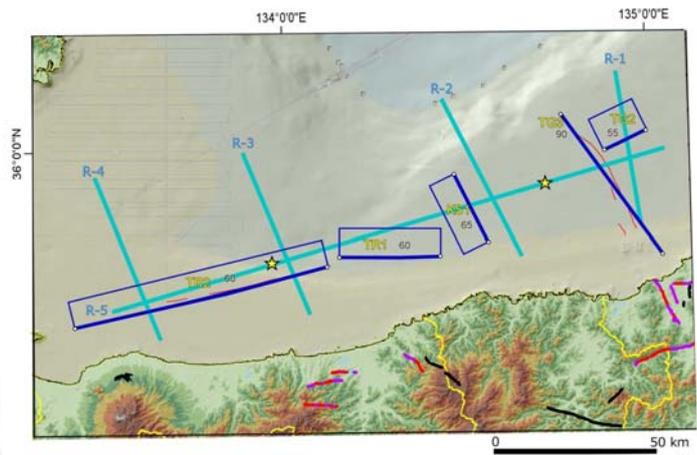
平成28年度後半の予定

2-5-1「断層モデルの構築」によって得られた

福井沖・若狭湾周辺の断層矩形モデル



香住沖・鳥取沖周辺の断層矩形モデル



- 2-5-1「断層モデルの構築」による福井沖・若狭湾周辺ならびに香住沖・鳥取沖周辺の断層モデルを用いたシナリオ型津波シミュレーションを行う。
- 当該沿岸に影響を及ぼす断層をリストアップする。