

# 日本海地震・津波調査

## 2. 津波波源モデル・震源断層モデルの構築

### 2-1：歴史地震・古津波調査

#### 2-1-1：歴史文書・地震記録の調査

東京大学地震研究所

1

## 2. 津波波源モデル・震源断層モデルの構築

### 2-1-1：歴史文書・地震記録の調査

#### <研究目的>

震源が知られている20世紀に発生した大地震(M7クラス)の地震記録の再解析と、北海道から九州に至る日本海沿岸域での歴史史資料の解析を進め、津波波源域の推定に必要な基礎資料を得る。

#### 令和元年(平成31年)度計画:

- 日本海全域を対象として、地震・津波波形記録や史料の収集と解析を実施する。

#### 令和元年度実施内容:

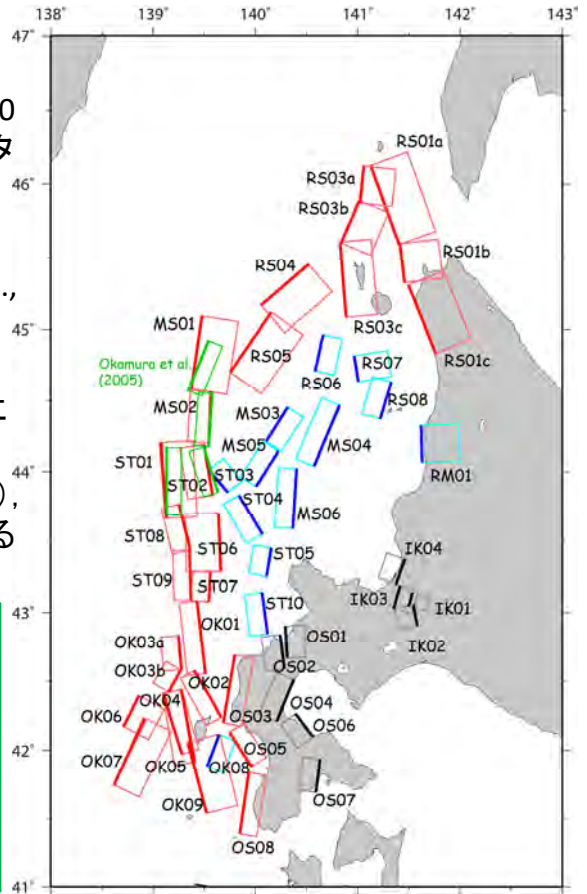
・1940年積丹半島沖の地震、1983年日本海中部地震、1993年北海道南西沖地震を対象として、既往研究とサブサブテーマ2-5-1で得られた断層モデルと新しく公表された海底地形データを用いて、津波波形の再計算を行った。

# 津波数値計算

- 海底地形データ: GEBCO\_2019(ロシア周辺)とM7000 + JTOPO30(日本周辺)の15秒(450m)メッシュデータ
- 観測データ: ロシア & 日本沿岸検潮記録
- 初期条件: Okada (1985)
- 計算手法: 大規模並列計算コードJAGURS(Baba et al., 2015)による非線形長波式
- 断層モデル: サブサブテーマ2-5-1で得られた, 1940年積丹半島沖の地震, 1993年北海道南西沖地震に相当する可能性がある断層モデル
- すべり量: 地震本部旧レシピ(ア)(2ステージモデル), 現レシピ(ア)(3ステージモデル), 武村(1998)によるスケーリング則を適用

● 各地震に対して異なる断層モデル, 異なるスケーリング則を用いて検証を行う。

- ・断層モデルによる違い・・・波形の様相や, 到達時刻が異なるため, 観測波形と計算波形の一致を調べる。
- ・スケーリング則による違い・・・すべり量によって沿岸の津波高が変わるため, 地震による痕跡値と計算値との幾何平均Kを比較する。



## スケーリング則に基づくMw・断層すべり量の推定

平均すべり量の設定方法 (断層長20km以上に対して)

地震本部レシピ(ア)  $S$ - $M_0$  (※ $L, W$ 既知)

震源断層面積  
 $S(\text{km}^2) = L \times W$

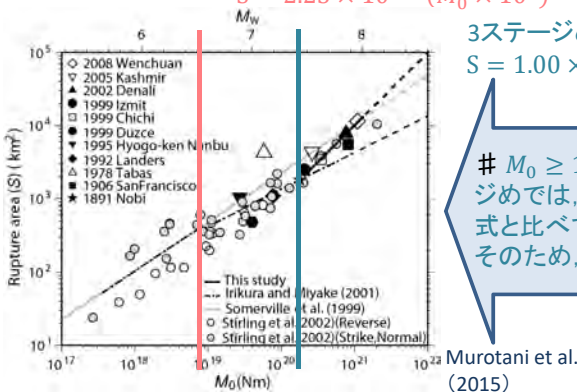
1&2ステージめ: 入倉・三宅(2001)

$$S = 4.24 \times 10^{-11} (M_0 \times 10^7)^{1/2} \quad \text{for } M_0 \geq 7.5 \times 10^{18} \text{ Nm}$$

$$S = 2.23 \times 10^{-15} (M_0 \times 10^7)^{2/3} \quad \text{for } M_0 < 7.5 \times 10^{18} \text{ Nm}$$

3ステージめ: Murotani et al.(2015)

$$S = 1.00 \times 10^{-17} \times M_0 \quad \text{for } M_0 \geq 1.8 \times 10^{20} \text{ Nm}$$



#  $M_0 \geq 1.8 \times 10^{20} \text{ Nm}$  ( $S \geq 1800 \text{ km}^2$ )の3ステージめでは, 入倉・三宅式の2ステージを延長した式と比べて, 同じ $M_0$ に対して面積が大きくなる。そのため, すべり量は小さくなる。

$M_w$

地震モーメント  
 $M_0$  (Nm)

平均すべり量  
 $D$  (m)

$$D = M_0 / \mu S$$

武村(1998)  $L$ - $M_0$  (※ $L, W$ 既知)

活断層長さ  
 $L$  (km)

武村(1998)

$$M_0 = 4.365 \times 10^{16} \times L^2 \quad \text{for } M_0 \geq 7.5 \times 10^{18} \text{ Nm}$$

$$M_0 = 6.918 \times 10^{14} \times L^3 \quad \text{for } M_0 < 7.5 \times 10^{18} \text{ Nm}$$

$M_w$

地震モーメント  
 $M_0$  (Nm)

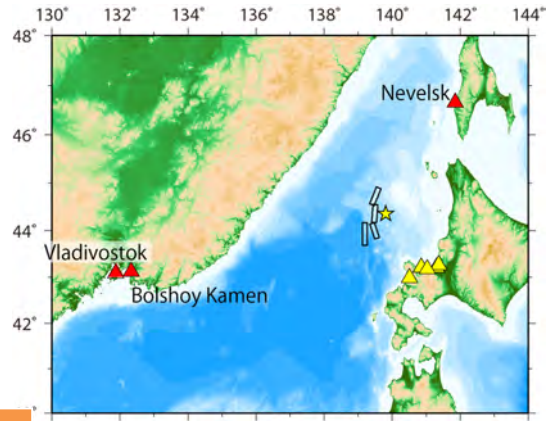
連動モデルの際は, 全体の地震モーメントを各セグメントに分配し, すべり量を求める。

$$M_{0i} = M_0 S_i^{3/2} / \sum S_i^{3/2}$$

$M_{0i}$ :  $i$ 番目の断層の地震モーメント  
 $S_i$ :  $i$ 番目の断層の面積

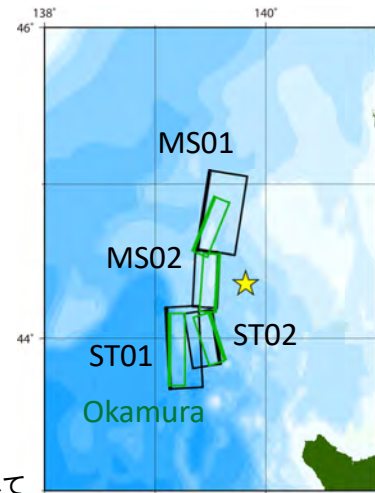
# 1940年積丹半島沖の地震

モデル	断層長さ (km)	断層幅 (km)	走向 (°)	傾斜 (°)	すべり角 (°)
MS01	57.1	32.0	9.4	30.0	52.8
MS02	40.3	22.6	183.4	45.0	82.3
ST01	59.6	28.0	357.0	30.0	45.4
ST02	40.4	24.9	171.4	40.0	93.7
Okamura et al. (2005)	42.0	16.0	22.0	45.0	90.0
	42.0	16.0	184.0	45.0	90.0
	37.0	16.0	162.0	45.0	90.0
	53.0	16.0	0.0	45.0	90.0



各スケリング則によるすべり量と津波高痕跡値と計算値のK, κ

モデル	Mw	旧レシピ (ア) (m)	K, κ	武村(1998) (m)	K, κ	レシピ(ア) (m)	K, κ
MS01	7.7	4.92	K=1.09	4.41	K=1.03	3.23	-
MS02		3.48	κ=2.3	4.41	κ=2.35	2.28	-
MS02	7.5	3.03	K=1.2	4.54	K=0.92	2.84	-
ST02		3.18	κ=2.32	4.13	κ=2.32	2.98	-
MS01	7.9	7.07	K=0.66	6.62	K=0.61	3.39	-
MS02		5.00	κ=2.25	6.61	κ=2.26	2.40	-
ST02		5.25		6.02		2.52	-
MS01	8.1	9.88		8.79		3.28	-
MS02		6.98	K=0.41	8.78	K=0.38	2.32	-
ST01		9.44	κ=2.25	10.48	κ=2.27	3.13	-
ST02		7.33		8.00		2.43	-
Okamura et al. (2005)	7.5	1.64*					
		2.23	K=1.59	*津波波形インバージョンによるすべり量			
		2.74	κ=2.25				
		0.58					



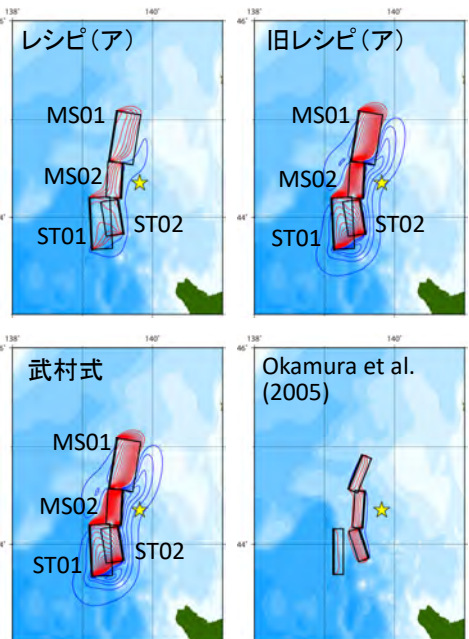
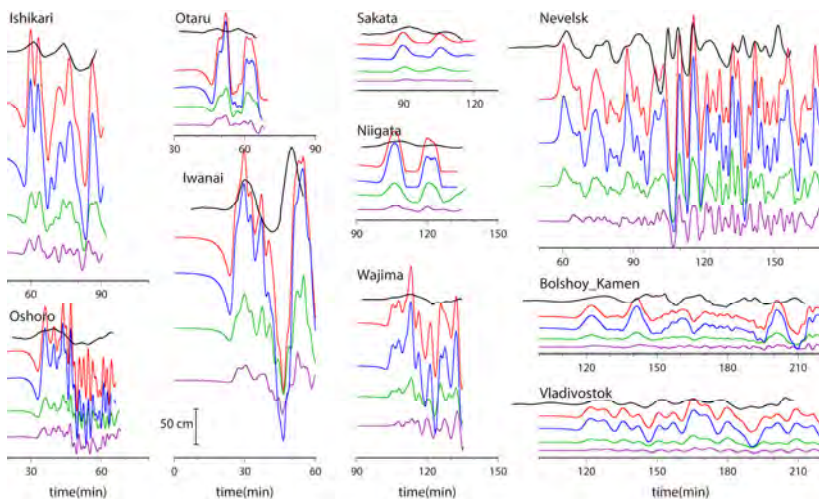
#サブテーマ3-1によるK, κ(相田, 1977)の算出は、旧レシピ(ア)と武村式に対して行っている(※3ステージのすべり量に対しては、来年度検討予定である)。

## MS01+MS02+ST01+ST02モデル

※3-1資料スライド11, 13, 14参照

- ロシアの観測点についてはST01のすべり量が大きいと観測波形の再現が良くなった。  
→ しかし、日本の観測点の初動が反転しているため、さらに検討が必要である。
- サブテーマ3-1における沿岸津波高の痕跡値と計算値とのK, κの評価では、どのモデルが妥当であるかの判断は難しいが、津波波形記録の比較からレシピ(ア)もしくは Okamura (2005)モデルのすべり量が観測波形を良く説明する。

コンター間隔20cm  
赤:隆起, 青:沈降



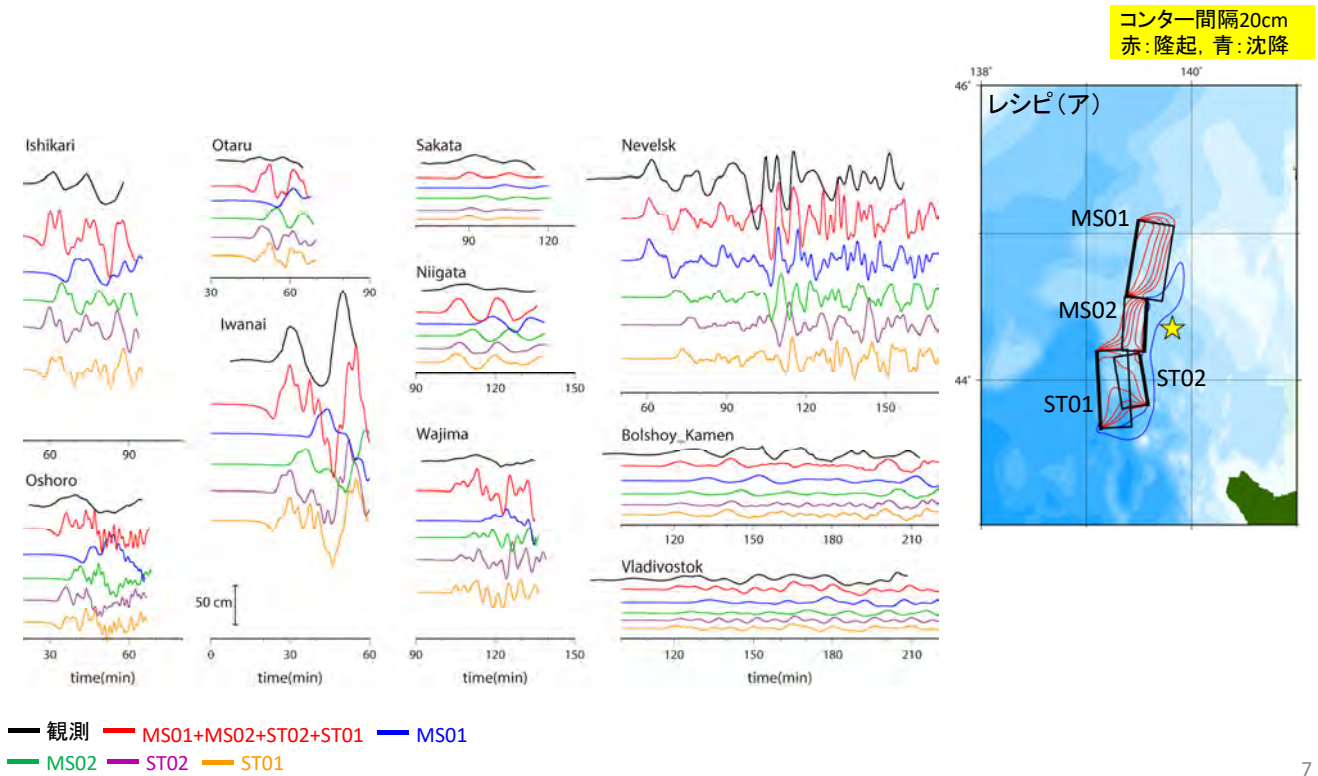
— 観測 — 旧レシピ(ア)※2ステージモデル — 武村式  
— レシピ(ア)※3ステージモデル — Okamura et al. (2005)

※ロシアの時刻精度が不明のため、計算波形の初動に観測波形の初動を合わせている



# MSO1+MSO2+STO1+STO2モデル

- レシピ(ア) (3ステージ)での、各断層からの寄与



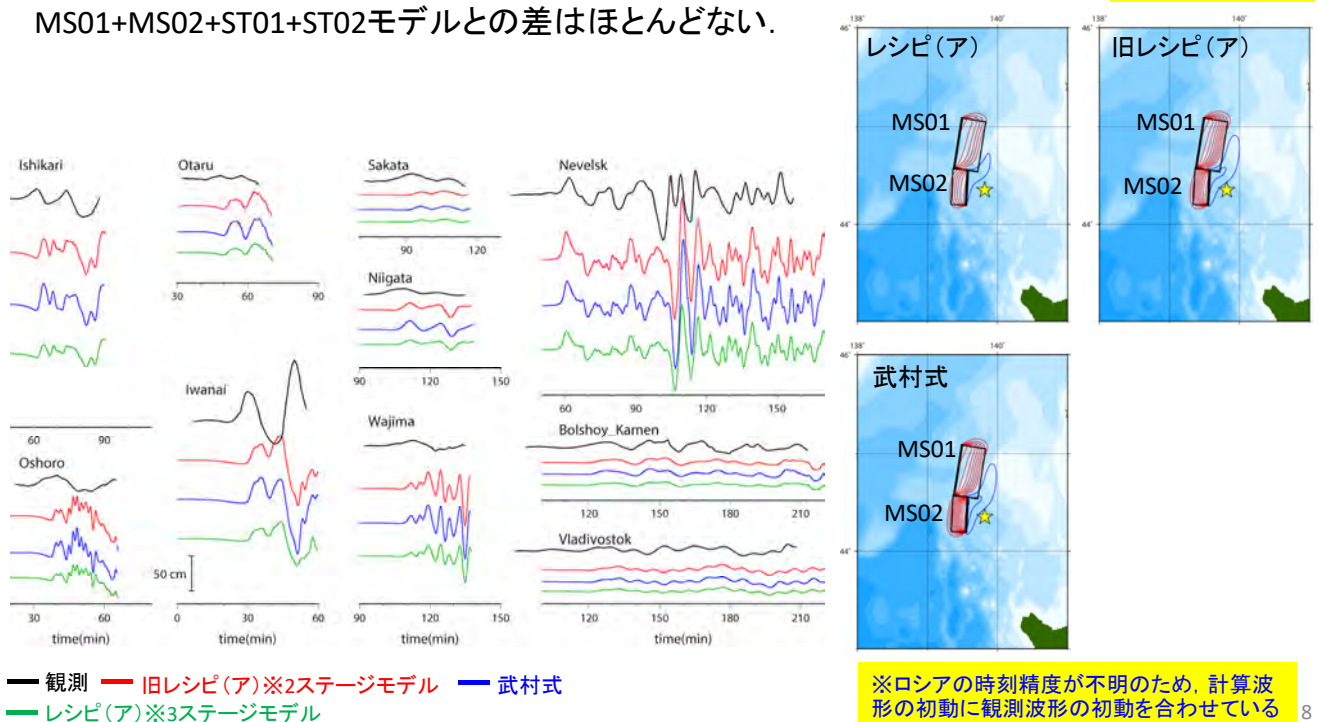
7

# MSO1+MSO2モデル

※3-1資料スライド11, 13, 14参照

- MSO1+MSO2モデルで、観測波形をほぼ再現できるが、日本沿岸の到達時刻が遅い。
- サブテーマ3-1における沿岸津波高の痕跡値と計算値とのK,  $\kappa$ の評価では、MSO1+MSO2+STO1+STO2モデルとの差はほとんどない。

コンター間隔20cm  
赤:隆起, 青:沈降



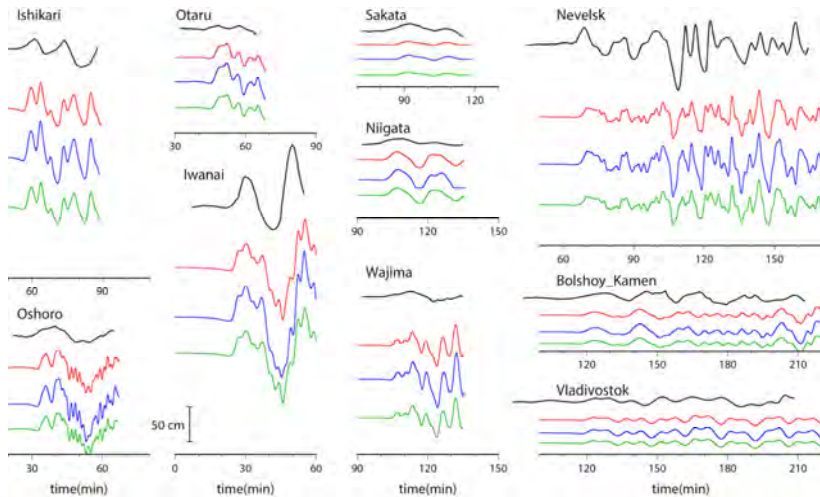
8

# MSO2+STO2モデル

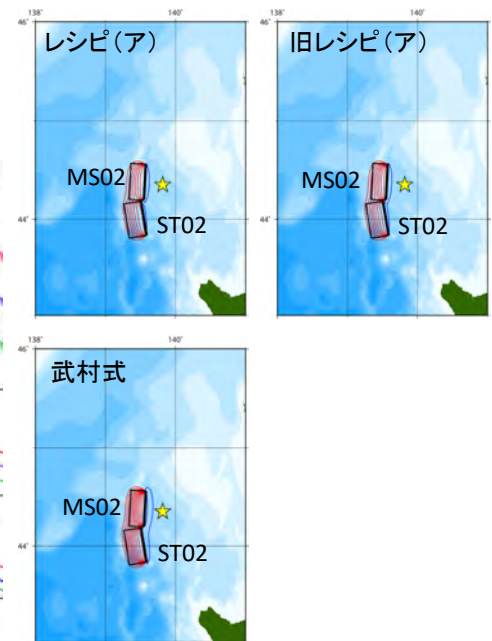
※3-1資料スライド11, 13, 14参照

- MSO2+STO2モデルでも、観測波形をほぼ再現できる。
- サブテーマ3-1における沿岸津波高の痕跡値と計算値とのK,  $\kappa$ の評価では、MSO1+MSO2+STO1+STO2モデルとの $\kappa$ の差はほとんどないが、Kが異なる。

コンター間隔20cm  
赤:隆起, 青:沈降



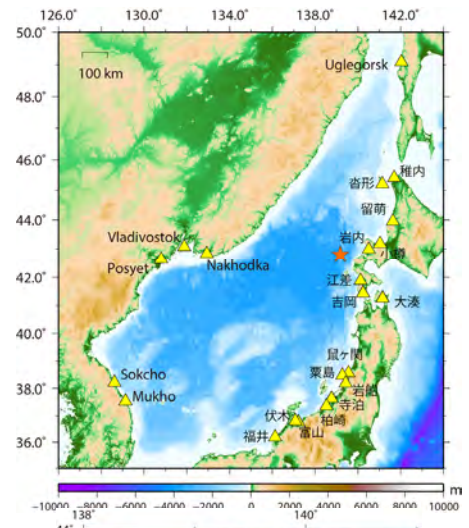
— 観測 — 旧レシピア)※2ステージモデル — 武村式  
— レシピア)※3ステージモデル



※ロシアの時刻精度が不明のため、計算波形の初動に観測波形の初動を合わせている

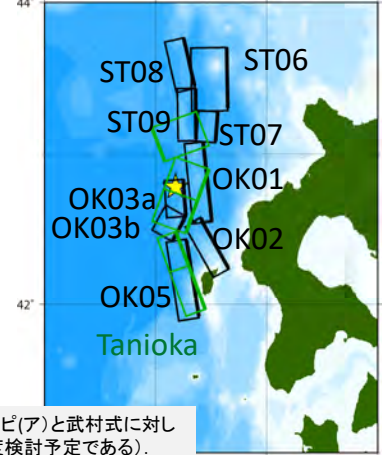
## 1993年北海道南西沖地震

モデル	断層長さ (km)	断層幅 (km)	走向 (°)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)
ST06	46.0	30.0	179	30	66
ST07	23.1	19.8	184	45	99
ST08	37.4	19.8	167	45	47
ST09	39.0	18.4	179	45	85
OK01	58.8	19.8	174	45	97
OK02	43.1	18.4	151	45	49
OK03a	27.6	19.8	176	45	100
OK03b	20.4	19.8	210	45	112
OK05	59.6	21.2	171	45	95
Tanioka et al. (1995)	27.0	40.0	340.0	30.0	90.0
	25.0	30.0	200.0	30.0	
	25.0	30.0	200.0	30.0	
	27.0	30.0	160.0	60.0	
	35.0	30.0	160.0	60.0	



各スケール則によるすべり量と津波高痕跡値と計算値のK,  $\kappa$

モデル	Mw	旧レシピア) (m)	K, $\kappa$	武村(1998) (m)	K, $\kappa$	レシピア) (m)	K, $\kappa$				
ST06	7.9	7.05	K=1.85 $\kappa$ =2.14	7.17	K=1.14 $\kappa$ =2.09	3.34	-				
ST07		4.06		5.46		1.92					
OK01		6.47		13.88		3.07					
OK02		5.34		10.95		2.53					
ST08		5.08		9.29		2.67					
ST09	7.8	4.99	K=2.05 $\kappa$ =2.19	10.42	K=1.11 $\kappa$ =2.14	2.63	-				
OK01		6.36		14.59		3.35					
OK02		5.25		11.51		2.76					
OK03a		2.82		4.35		2.29					
OK03b		2.43		3.21		1.97					
OK05	7.6	4.29	K=1.90 $\kappa$ =1.54	8.75	K=1.09 $\kappa$ =1.56	3.49	-				
OK05		2.05		3.57		2.05		K=3.84 $\kappa$ =1.6			
Tanioka et al. (1995)		7.7		2.16		-		*津波波形インバージョンによるすべり量			
				0.52							
				6.07							
	3.10										
	3.79										



#サブテーマ3-1によるK,  $\kappa$ (相田, 1977)の算出は、旧レシピア)と武村式に対して行っている(※3ステージのすべり量に対しては、来年度検討予定である)。

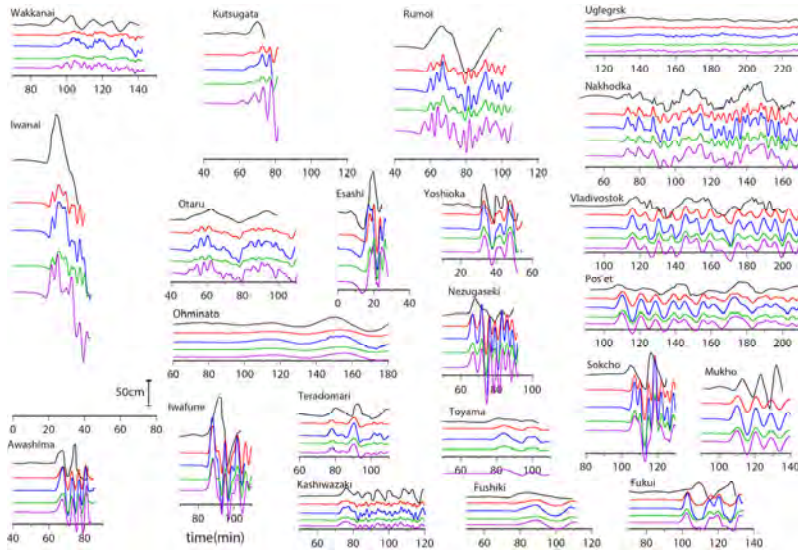


# OK03a+OK03b+OK05モデル

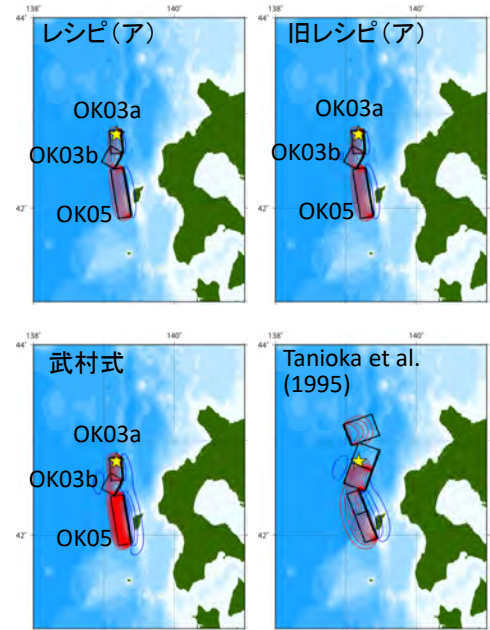
※3-1資料スライド12, 13, 14参照

- サブテーマ3-1における沿岸津波高の痕跡値と計算値とのK,  $\kappa$ の評価では, OK03a+OK03b+OK05モデルがK,  $\kappa$ ともに小さい。
- 観測波形を良く説明する。

コンター間隔20cm  
赤:隆起, 青:沈降



— 観測 — 旧レシピ(ア)※2ステージモデル — 武村式  
— レシピ(ア)※3ステージモデル — Tanioka et al. (1995)



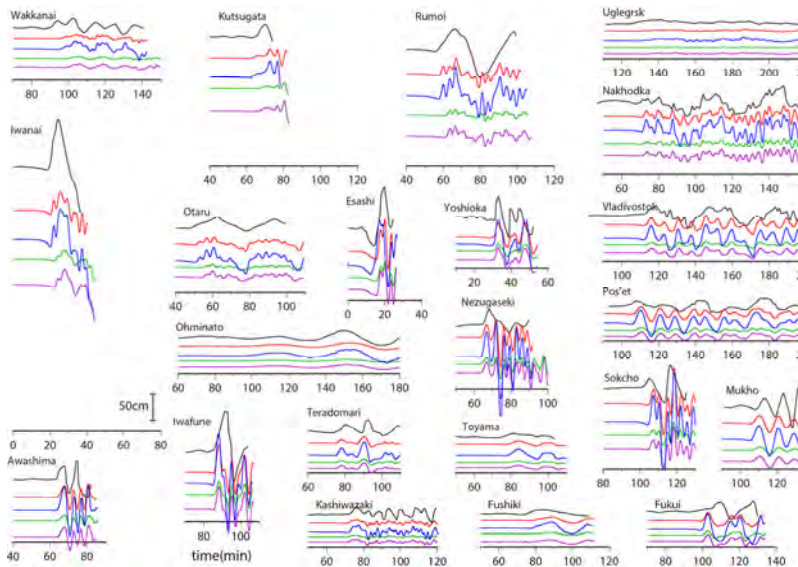
※ロシアの時刻精度が不明のため, 計算波形の初動に観測波形の初動を合わせている

# OK05モデル

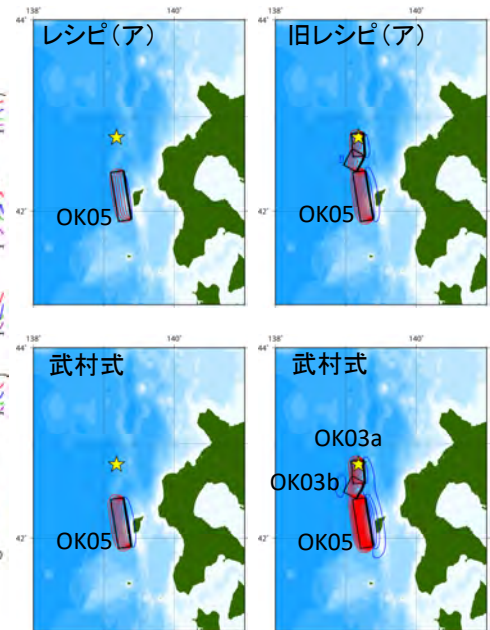
※3-1資料スライド13, 14参照

- サブテーマ3-1における沿岸津波高の痕跡値と計算値とのK,  $\kappa$ の評価では, OK05モデルもKが小さい。ただし, Kは大きい。
- OK05モデルでは, 観測波形の振幅を説明できない。観測波形の比較からは, OK03a+OK03b+OK05モデルが必要である。

コンター間隔20cm  
赤:隆起, 青:沈降



— 観測 — OK03a+OK03b+OK05 旧レシピ(ア) — OK05のみ(レシピ(ア))  
— OK03a+OK03b+OK05 武村式 — OK05のみ(武村式)

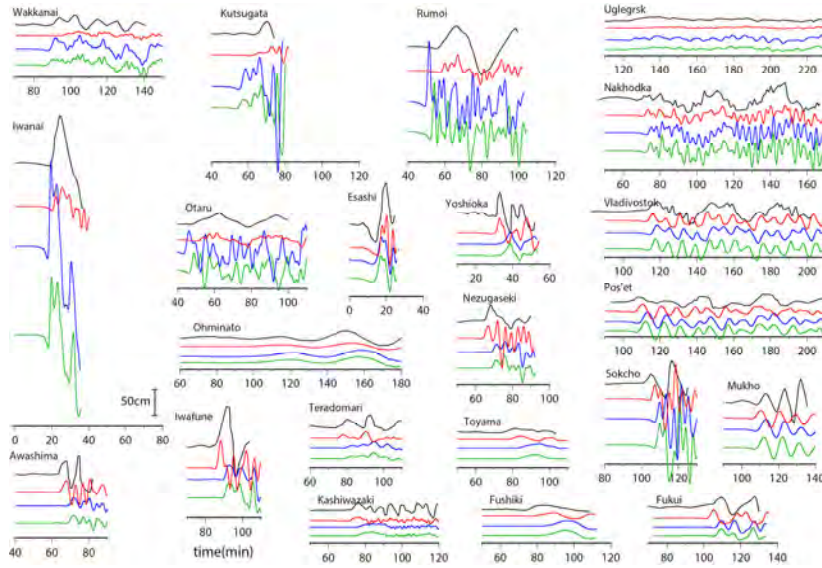


※ロシアの時刻精度が不明のため, 計算波形の初動に観測波形の初動を合わせている

# 旧レシピ (ア) によるすべりモデル

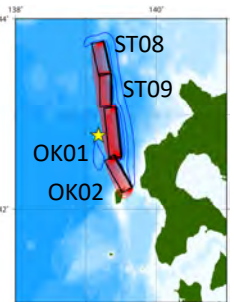
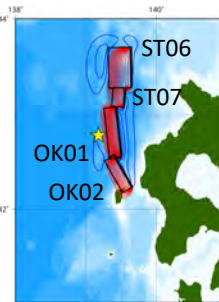
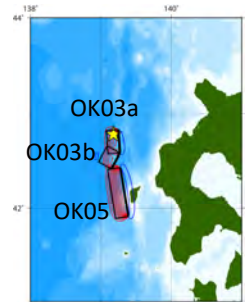
※3-1資料スライド12, 13, 14参照

- サブテーマ3-1における沿岸津波高の痕跡値と計算値とのK,  $\kappa$ の評価では、ST06+ST07+OK01+K02モデル, ST08+ST09+OK01+OK02モデルもK,  $\kappa$ は小さいが日本沿岸の観測点への到達が、早すぎる(沓形, 小樽, 留萌など). ロシア・韓国への影響は、少ない.



— 観測 — OK03a+OK03b+OK05 — ST06+ST07+OK01+OK02  
— ST08+ST09+OK01+OK02

コンター間隔20cm  
赤:隆起, 青:沈降

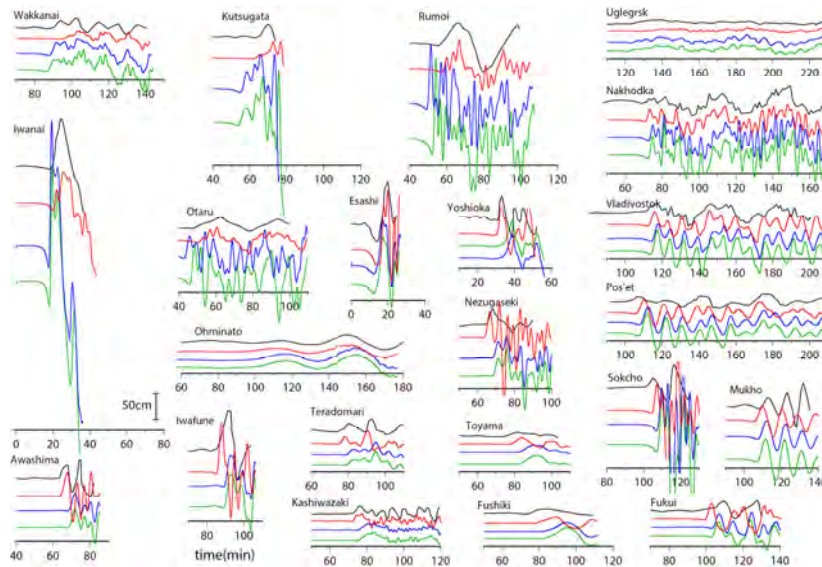


※ロシアの時刻精度が不明のため、計算波形の初動に観測波形の初動を合わせている

# 武村式によるすべりモデル

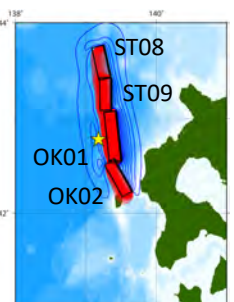
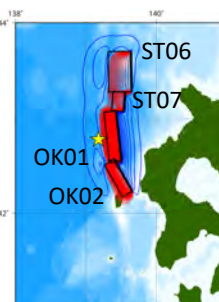
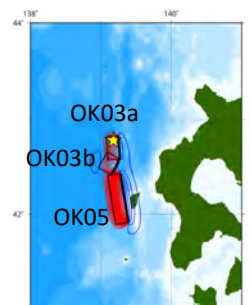
※3-1資料スライド12, 13, 14参照

- サブテーマ3-1における沿岸津波高の痕跡値と計算値とのK,  $\kappa$ の評価では、ST06+ST07+OK01+K02モデル, ST08+ST09+OK01+OK02モデルもK,  $\kappa$ は小さいが日本沿岸の観測点への到達が、早すぎる(沓形, 小樽, 留萌など). ロシア・韓国への影響は、少ない.



— 観測 — OK03a+OK03b+OK05 — ST06+ST07+OK01+OK02  
— ST08+ST09+OK01+OK02

コンター間隔20cm  
赤:隆起, 青:沈降



※ロシアの時刻精度が不明のため、計算波形の初動に観測波形の初動を合わせている



## まとめ

- サブサブテーマ2-5-1で得られた断層モデルを用いて、1940年積丹半島沖の地震、1993年北海道南西沖地震について、日本・ロシア・韓国の検潮所での津波波形を再計算した。
- 観測波形の比較と、サブテーマ3-1による日本沿岸の津波高の痕跡値の評価(K,  $\kappa$ )から：
  - 1940年積丹半島沖の地震は、MS01+MS02+ST01+ST02モデルが妥当と考えられる。少なくとも、MS02+ST02断層が動くと観測波形を説明できる。1940年積丹半島沖の地震によるロシアの検潮所での津波波高を再現するには、ST01断層でのすべりが必要である可能性があるが、日本の観測記録の初動と反転するため、今後さらに検討が必要である。
  - 1993年北海道南西沖地震は、OK03a+OK03b+OK05モデルが観測波形を説明できる。

## 2020年度（令和2年度）の計画

- 20世紀以降に発生した地震について断層パラメータを整理し、それらの関係(相似則)を検討する。これまで本プロジェクトで収集した地震・津波記録を関係データベースに提供できるよう、整理・デジタル化する。