

柏崎刈羽原子力発電所における津波評価について

【補足説明資料 1/2】

平成 29年 4月 18日

東京電力ホールディングス株式会社

目次（補足説明資料 1/2）

1. 全体概要に関する補足	1. 1 既往評価（中越沖地震後の耐震安全性評価）の概要	4
	1. 2 防潮堤、貯留堰の構造	12
2. 文献調査に関する補足	2. 1 最新の潮位データの整理	21
3. 地震による津波に関する補足	3. 1 地震に伴う地殻変動の考慮	23
	3. 2 地殻変動量算定結果	29
	3. 3 波源設定に関する補足	32
	3. 4 日本海東縁部の地震による津波に関する補足	46
	3. 5 地震による防波堤損傷を考慮した評価	50
	3. 6 空間格子間隔の妥当性について	57
4. 地震以外の要因に関する津波に関する補足	4. 1 海底地すべりに関する文献調査	60
	4. 2 海底地すべりに関する海上音波探査記録の参照	66
	4. 3 海底地すべり地形の設定の検討	84
	4. 4 海底地すべりシミュレーションにおける伝播状況	88
	4. 5 陸上地すべりによる津波の影響検討	125
	4. 6 陸上地すべりによる津波に関する補足	132
	4. 7 陸上地すべりシミュレーションにおける伝播状況	143
	4. 8 陸上地すべりシミュレーション手法に関する補足	170
	4. 9 佐渡島の地すべり地形における現地調査結果	174

目次（補足説明資料 2/2）

5. 地震による津波と海底地すべり による津波の組合せに関する補足	5. 1 数値シミュレーション結果の時刻歴波形（資料集）	182
	5. 2 組合せ時の時刻の検討について	220
6. 津波の伝播特性について	6. 1 津波の伝播特性について	223
7. 津波堆積物に関する補足	7. 1 津波堆積物調査（資料集）	229
	7. 2 津波堆積物調査に関する補足	260
8. 行政機関による津波評価に関する補足	8. 1 行政機関による津波評価（資料集）	265
9. 津波による海底地形変化に関する補足	9. 1 高橋ほか（1999）の手法における 飽和浮遊砂濃度の影響評価について	271
	9. 2 港湾内の砂堆積に関する取水への影響について	276
	9. 3 堆積侵食分布図（資料集）	278
	9. 4 砂移動評価に伴う資料集（水位，堆積量，浮遊砂濃度）	283
	9. 5 砂移動評価における最大堆積分布図	300
10. 基準津波による安全性評価	10. 1 取水路水位変動評価に関する補足	303
11. 超過確率の参照	11. 1 想定D断層について	311
12. 荒浜側防潮堤の損傷を考慮した場合 の津波評価	12. 1 検討概要	314
	12. 2 荒浜側防潮堤の損傷を考慮したことによる 基準津波評価への影響について	316
	12. 3 まとめ（基準津波の設定）	357

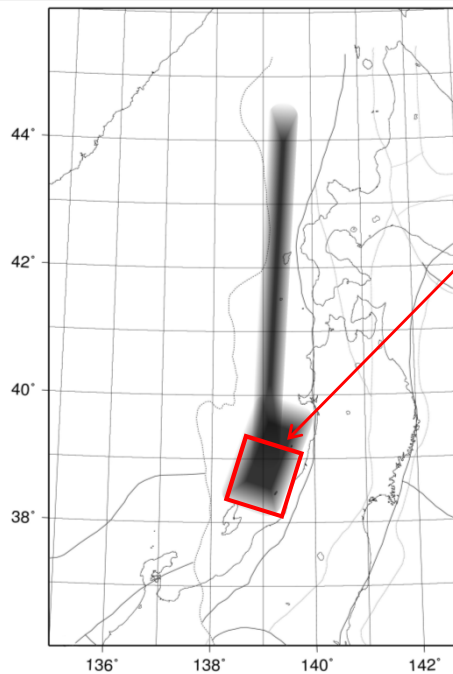
1. 1 既往評価（中越沖地震後の耐震安全性評価）の概要

1. 1 (1) 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の評価方針

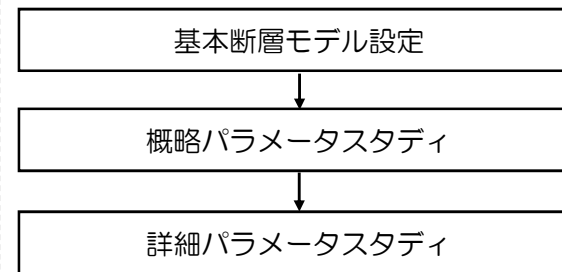
- 土木学会(2002)に示される日本海東縁部に想定される地震の基準断層モデルによるパラメータスタディを実施。
- 地点への影響を考慮して、土木学会(2002)に示される地震活動域のうち、新潟～山形沖の領域を対象
- モーメントマグニチュード (M_w) は1993年北海道南西沖地震の津波を再現するモデルの M_w 7.84を下回らないよう $M_w=7.85$ に設定。
- パラメータスタディは概略検討用の計算格子モデル (最小計算格子=40m) により実施し、抽出した最高水位、最低水位を示すモデルについて本検討用の計算格子モデル (最小計算格子=10m) による数値シミュレーションを実施する。

① 基準断層モデルの設定



日本海東縁部の地震活動域
(土木学会(2002))

日本海東縁部の想定津波評価フロー



日本海東縁部に想定される地震の基準断層モデル諸元

	M_w	断層長さ L (km)	断層幅 W (km)	すべり量 D (m)	上縁深さ d (km)	走向 θ (°)	傾斜角 δ (°)	すべり角 λ (°)
高角モデル	7.85	131.1	17.3	9.44	0	20・200	60	90
低角モデル	7.85	131.1	30.0	5.45	0	20・200	30	90

1. 1 (1) 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

②数値シミュレーション結果

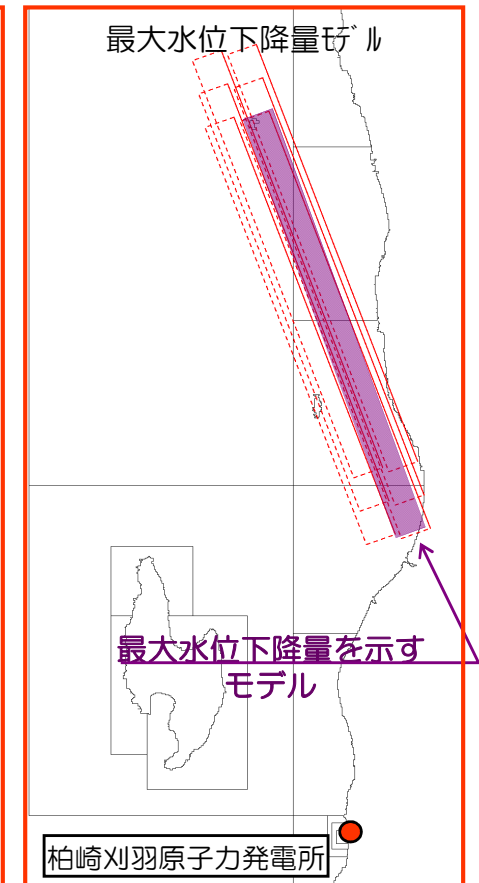
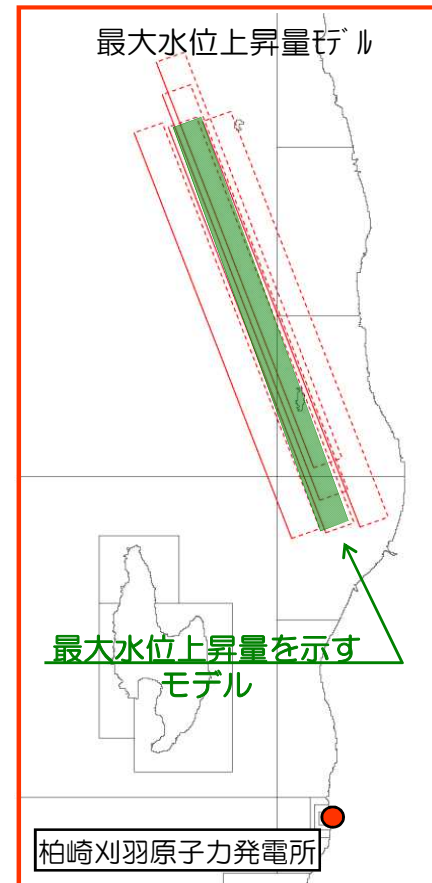
詳細パラメータスタディで抽出した最大水位上昇量，最大水位下降量を示す断層モデルと数値シミュレーション結果は以下のとおり

最大水位上昇量，最大水位下降量を示す断層モデル

	断層長さ L (km)	断層幅 W (km)	すべり量 D (m)	上縁深さ d (km)	走向 θ (°)	傾斜角 δ (°)	すべり角 λ (°)
最大水位上昇量モデル	131.1	17.3	9.44	2.5	10	60	90
最大水位下降量モデル	131.1	17.3	9.44	2.5	190	60	90

日本海東縁部の想定津波による水位変動量（取水口前面）
（単位：m）

プラント	最大水位上昇量	最大水位下降量
1号炉	+2.76	-3.05
2号炉	+2.73	-2.95
3号炉	+2.70	-2.85
4号炉	+2.68	-2.81
5号炉	+2.57	-2.60
6号炉	+2.54	-2.60
7号炉	+2.46	-2.54

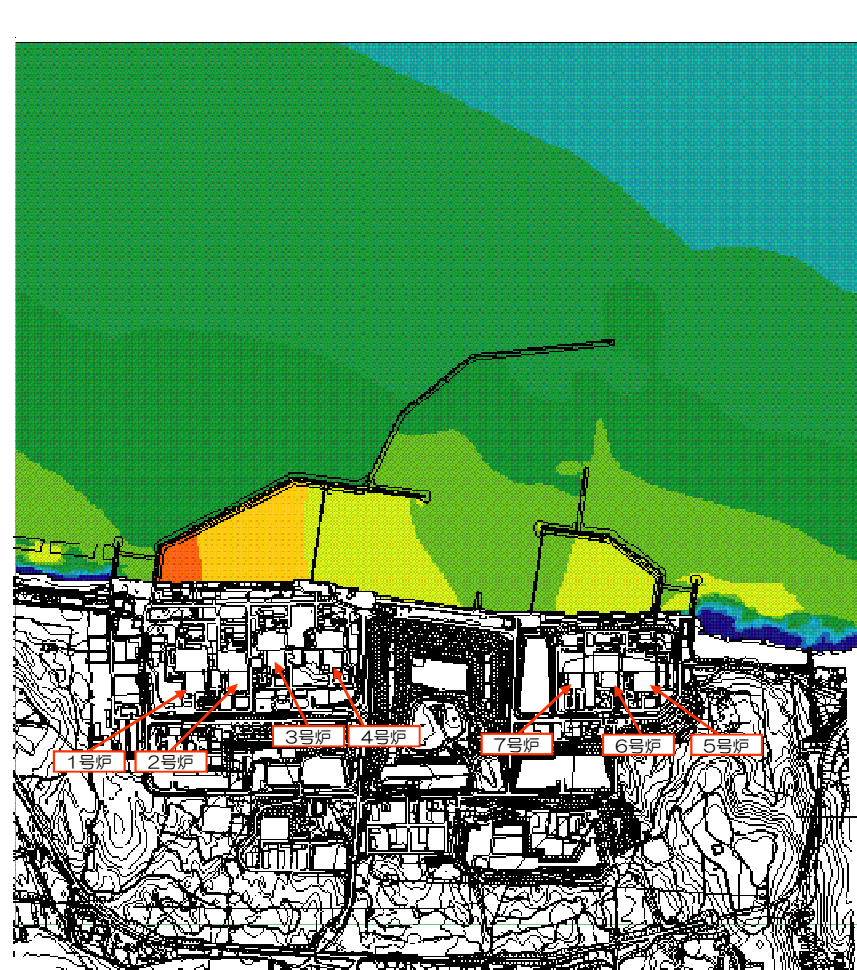
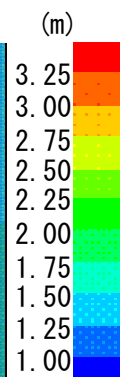


1. 1 (1) 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

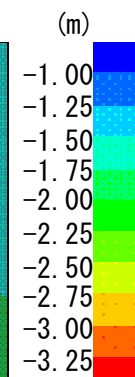
②数値シミュレーション結果



最大水位上昇量分布図



最大水位下降量分布図

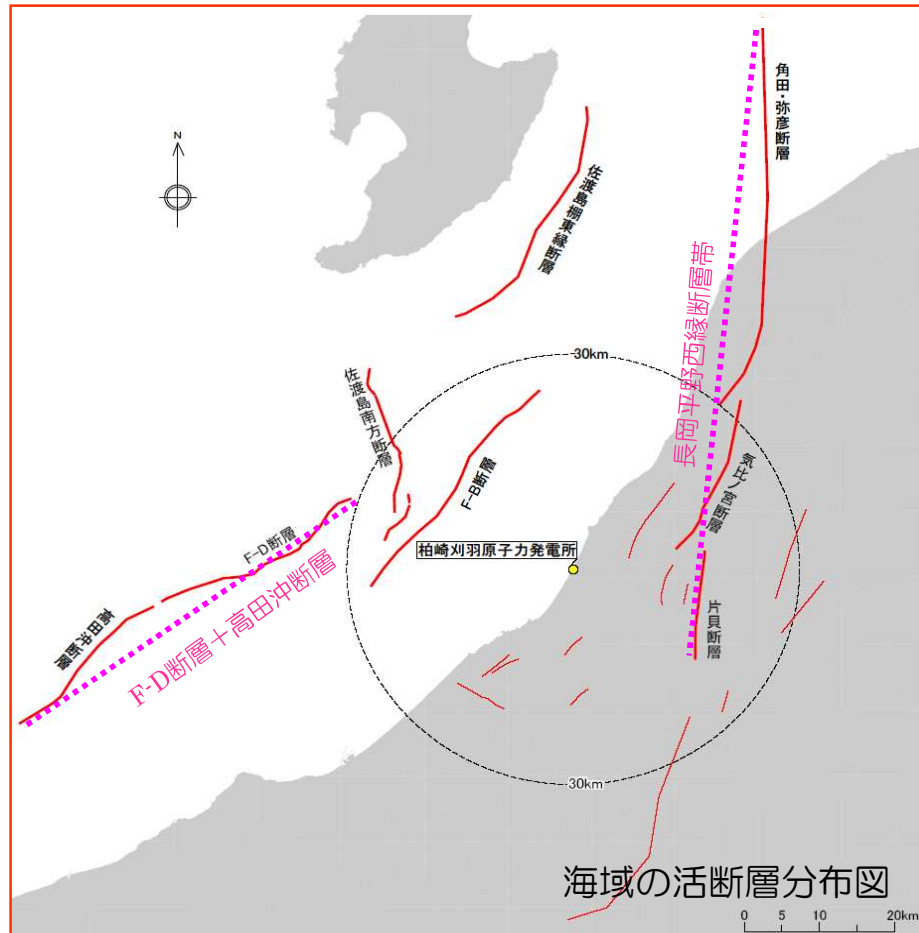


1. 1 (2) 海域の活断層に想定される地震に伴う津波の検討

海域の活断層に想定される地震に伴う津波の評価方針

- 2007年7月16日の新潟県中越沖地震発生後、発電所敷地前面海域において海上音波探査および海底地形調査などを実施した結果と、既往の調査結果（他機関の調査結果を含む）を基に敷地前面海域における海域の活断層を再評価。
- 敷地周辺において地震動評価において考慮すべき海域の活断層について数値シミュレーションを実施。
- 土木学会(2002)の方法によりすべり量が一樣な矩形断層モデルを適用。

基準断層モデル



海域の活断層の基準断層モデル諸元

	断層長さ L (km)	断層幅 W (km)	すべり量 D (m)	上縁深さ d (km)	走向 θ (°)	傾斜角 δ (°)	すべり角 λ (°)
佐渡島棚東縁断層	37	18.3	2.52	0	209	55	90
F-B断層	36	24.0	1.72	0	39	35	90
佐渡島南方断層	29	19.3	1.70	0	0	45	62
F-D断層 + 高田冲断層 *1)	55	26.2	2.62	0	55	35	96
長岡平野西縁断層帯 *2) ($\delta = 35^\circ$)	91	26.2	4.34	0	187	35	72
長岡平野西縁断層帯 *2) ($\delta = 50^\circ$)	91	19.6	5.80	0	187	50	72

*1) : F-D断層 + 高田冲断層 : F-D断層と高田冲断層について、同時活動を考慮したもの

*2) : 長岡平野西縁断層帯 : 角田・弥彦断層, 気比ノ宮断層, および片貝断層の3つの断層について、同時活動を考慮したもの

1. 1 (2) 海域の活断層に想定される地震に伴う津波の検討

海域の活断層モデルの数値シミュレーション結果

海域の活断層による取水口前面における水位変動量 (赤字：各号炉の最大)

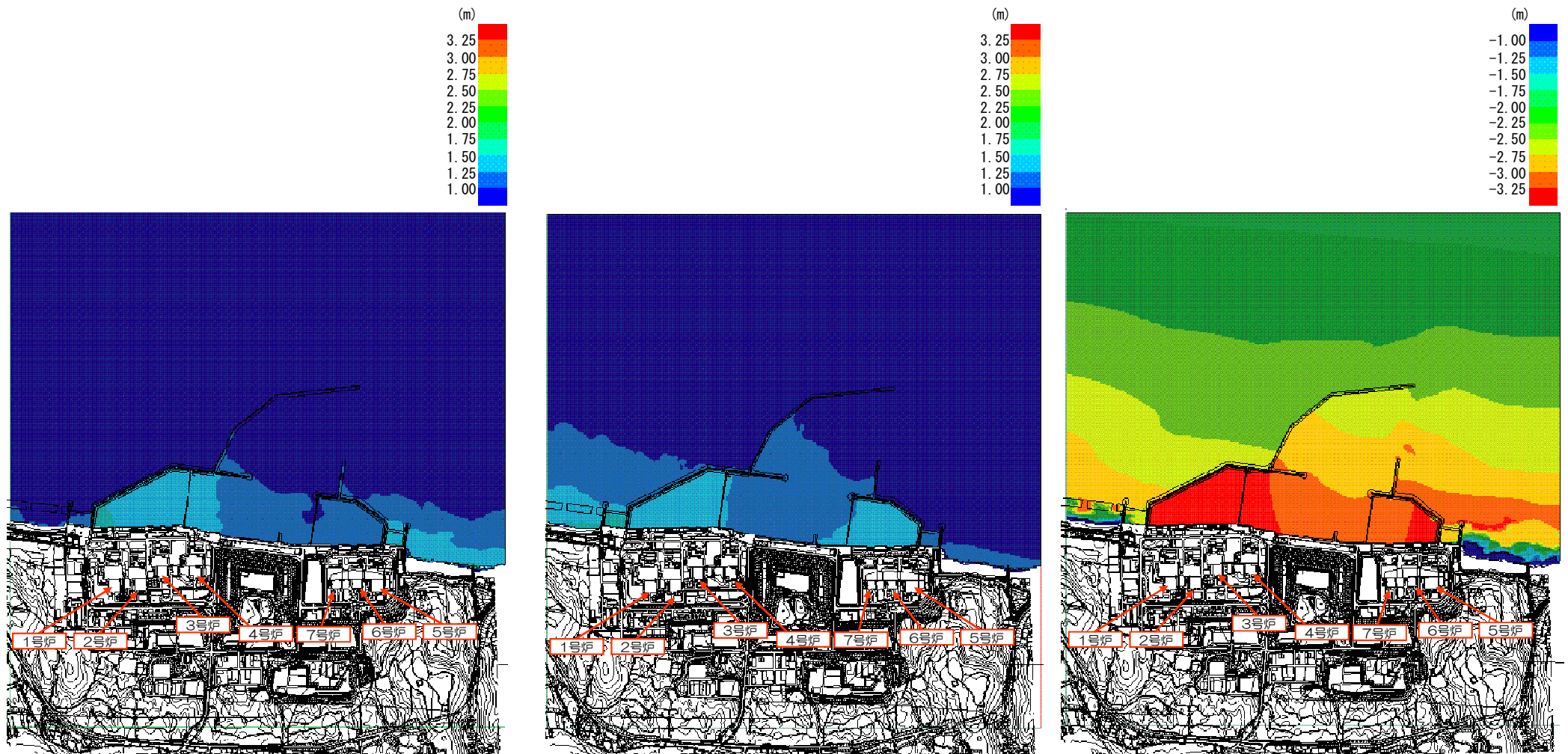
(単位：m)

プラント	佐渡島棚東縁断層		F-B断層		佐渡島南方断層		F-D断層+高田沖断層		長岡平野西縁断層帯 ($\delta = 35^\circ$)		長岡平野西縁断層帯 ($\delta = 50^\circ$)	
	最大水位 上昇量	最大水位 下降量	最大水位 上昇量	最大水位 下降量	最大水位 上昇量	最大水位 下降量	最大水位 上昇量	最大水位 下降量	最大水位 上昇量	最大水位 下降量	最大水位 上昇量	最大水位 下降量
1号炉	+1.57	-1.39	+1.33	-2.35	+1.17	-1.05	+1.41	-1.69	+0.60	-3.48	+1.28	-3.32
2号炉	+1.47	-1.34	+1.24	-2.26	+1.07	-1.03	+1.36	-1.63	+0.57	-3.45	+1.25	-3.23
3号炉	+1.44	-1.31	+1.18	-2.15	+0.99	-0.97	+1.32	-1.51	+0.55	-3.42	+1.19	-3.15
4号炉	+1.45	-1.28	+1.15	-2.09	+0.94	-0.98	+1.29	-1.44	+0.53	-3.39	+1.15	-3.11
5号炉	+1.11	-1.15	+1.08	-2.10	+0.82	-0.88	+1.42	-1.11	+0.47	-3.31	+1.04	-3.07
6号炉	+1.06	-1.15	+1.05	-2.10	+0.79	-0.88	+1.39	-1.12	+0.47	-3.27	+1.04	-3.05
7号炉	+1.07	-1.09	+1.01	-2.05	+0.74	-0.84	+1.35	-1.10	+0.45	-3.21	+1.03	-3.01

- 海域の活断層による津波水位のうち、最大水位上昇量は日本海東縁部の津波水位を下回る
- 海域の活断層による津波水位のうち、最大水位下降量は日本海東縁部の津波水位を上回る

1. 1 (2) 海域の活断層に想定される地震に伴う津波の検討

海域の活断層モデルの数値シミュレーション結果



最大水位上昇量分布図（1～4号炉）

佐渡島棚東縁断層

最大水位上昇量分布図（5～7号炉）

F-D断層+高田沖断層

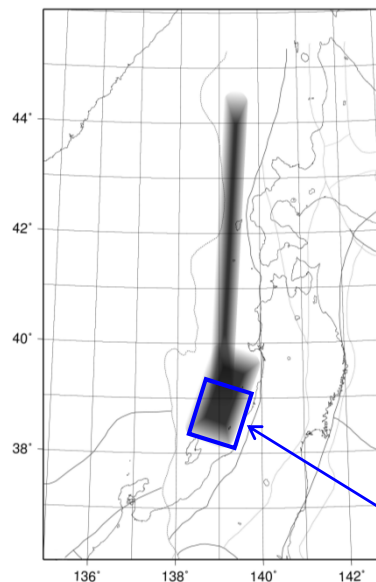
最大水位下降量分布図

長岡平野西縁断層帯($\delta = 35^\circ$)

1. 1 (3) 津波の上昇水位及び下降水位に対する安全性

- 最大水位上昇量は、日本海東縁部の想定津波による+2.76m~+2.46mであり、朔望平均満潮位 (H.W.L.=T.M.S.L.+0.48m) を考慮すると、評価用の最高水位はT.M.S.L.+3.3m~+3.0m程度
- 最大水位下降量は、海域の活断層のうち長岡平野西縁断層帯 ($\delta=35^\circ$) による津波の-3.48m~-3.21mであり、朔望平均干潮位 (L.W.L.=T.M.S.L.-0.02m) を考慮すると、評価用の最低水位はT.M.S.L.-3.5m~-3.3m程度

日本海東縁部

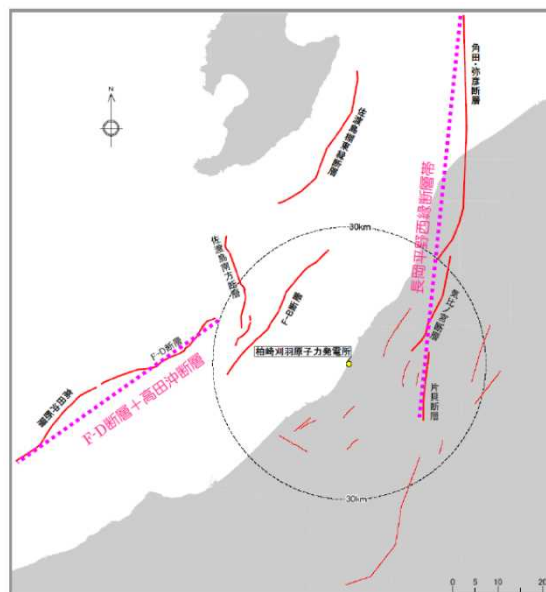


日本海東縁部の地震活動域
(土木学会(2002))

- 土木学会(2002)に示される日本海東縁部に想定される地震の基準断層モデルによるパラメータスタディを実施
- 地点への影響を考慮して、土木学会(2002)に示される地震活動域のうち、新潟~山形沖の領域を対象
- 地震規模 (M_w) は1993年北海道南西沖地震の津波を再現するモデルの $M_w 7.84$ を下回らないよう $M_w = 7.85$ に設定

断層設定領域
(新潟~山形沖の領域)

敷地周辺海域の活断層



- 2007年7月16日の新潟県中越沖地震発生後、発電所敷地前面海域において海上音波探査および海底地形調査などを実施した結果と、既往の調査結果(他機関の調査結果を含む)を基に敷地周辺海域における海域の活断層を評価
- 敷地周辺海域の活断層について数値シミュレーションを実施
- 土木学会(2002)の方法により、すべり量が一般的な矩形断層モデルを適用

取水口前面における津波水位

	日本海東縁部	海域の活断層
最高水位	T. M. S. L. +3. 3m~+3. 0m	T. M. S. L. +2. 1m~+1. 9m
最低水位	T. M. S. L. -3. 1m~-2. 6m	T. M. S. L. -3. 5m~-3. 3m

1. 2 防潮堤, 貯留堰の構造

1. 2 (1) 防潮堤の概要

- : 鉄筋コンクリート造
- : セメント改良土

荒浜側防潮堤（自主対策施設）：

天端高さ T.M.S.L. 約15m

総延長 約1km

（鉄筋コンクリート構造）

大湊側防潮堤（自主対策施設）：

天端高さ T.M.S.L.約15m

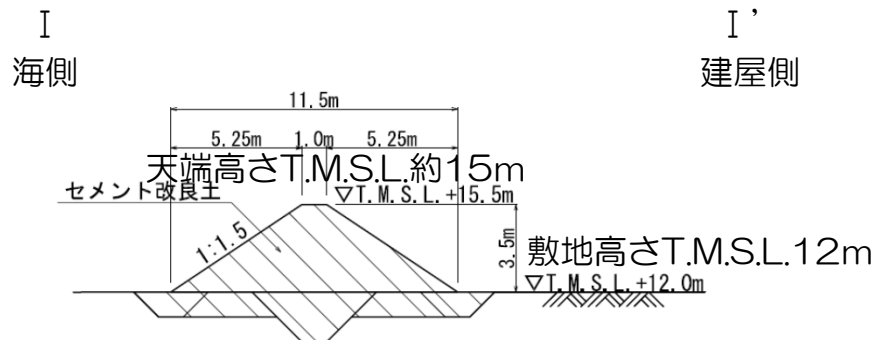
総延長 約1km

（セメント改良土）

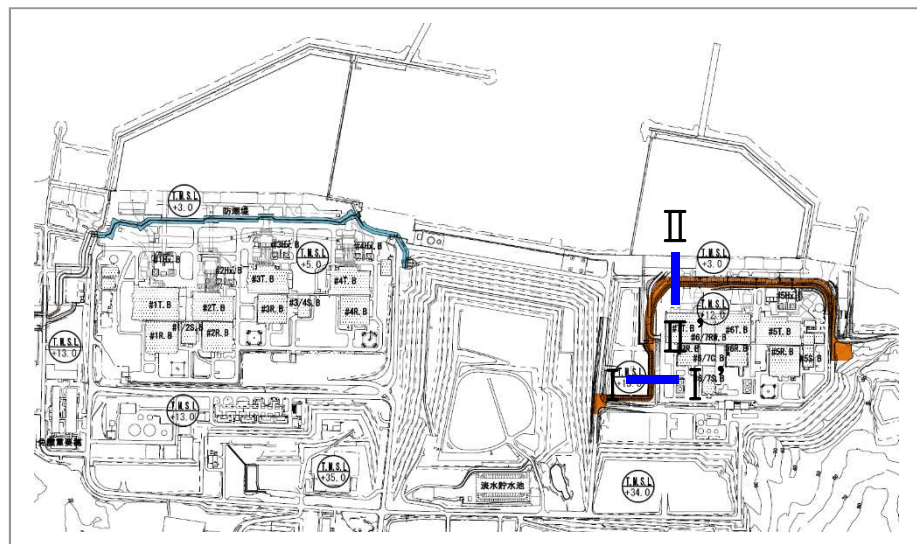
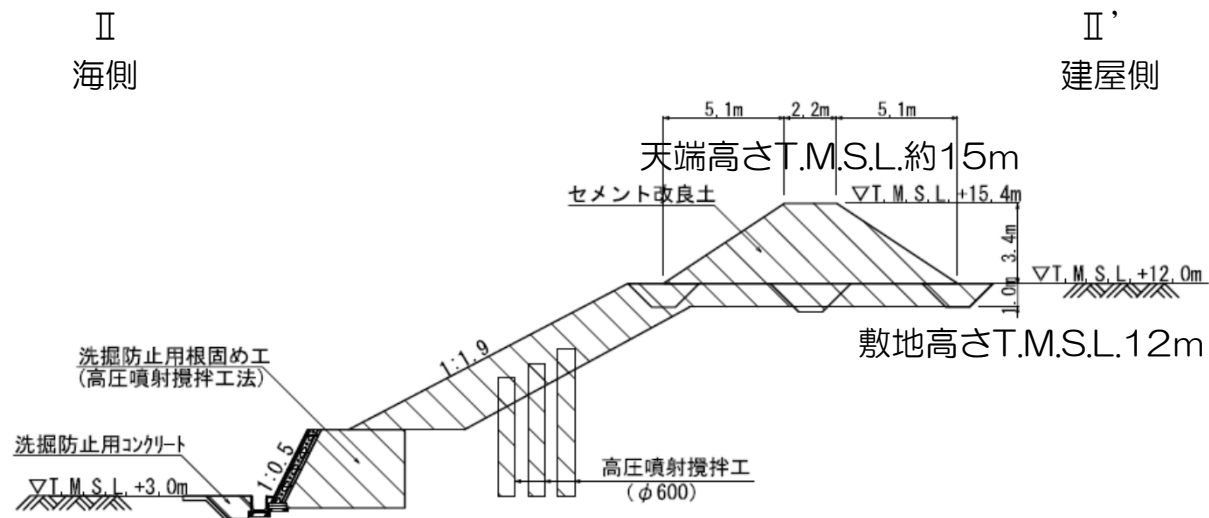


1. 2 (1) 防潮堤の概要 — 構造 (大湊側) —

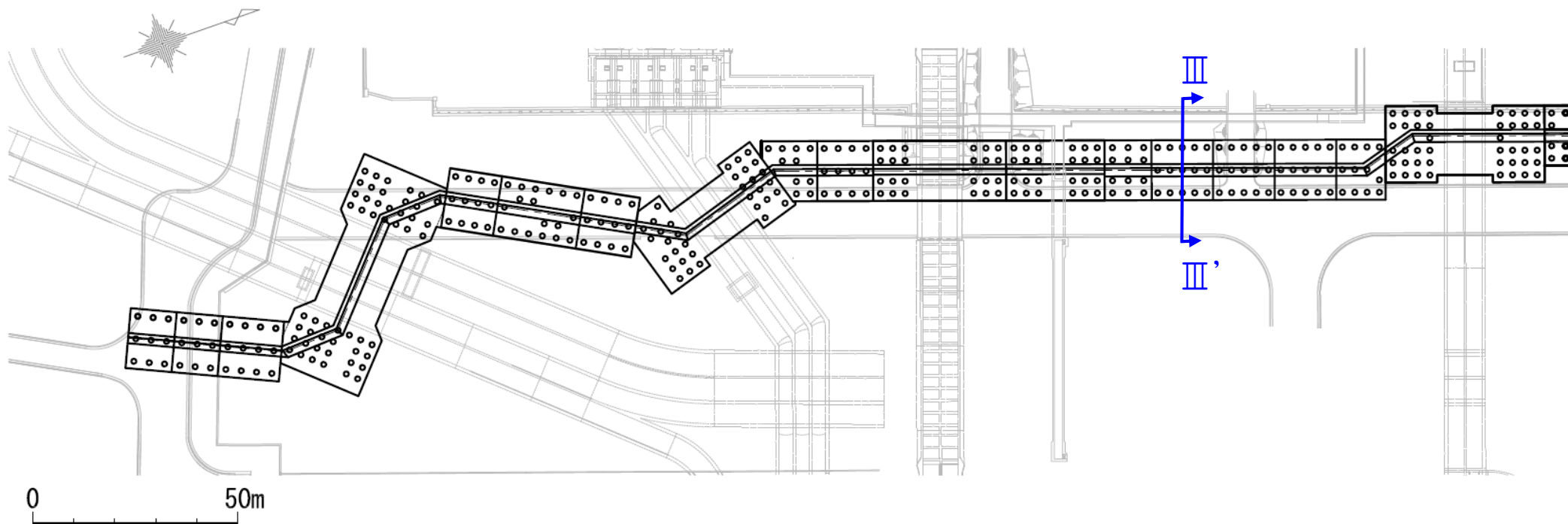
セメント改良土
(I-I' 断面)



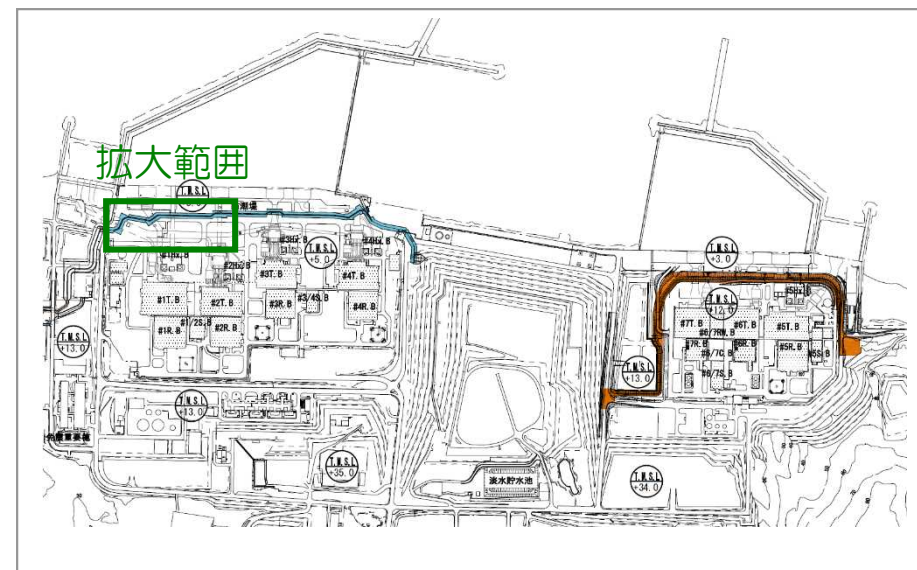
セメント改良土
(II-II' 断面)



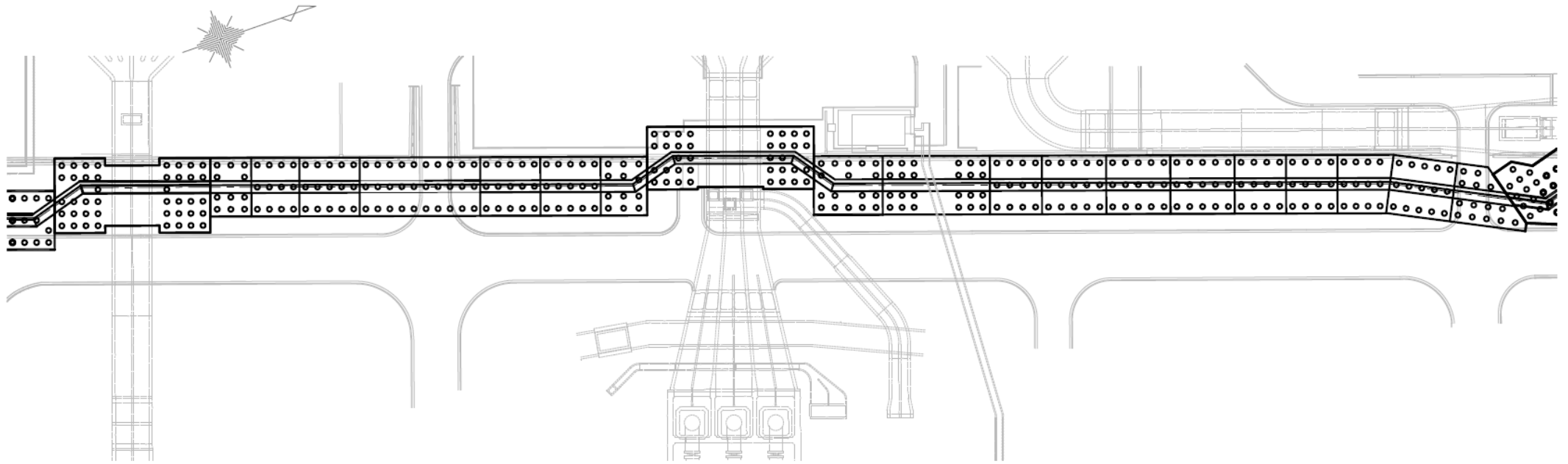
1. 2 (1) 防潮堤の概要 — 荒浜側防潮堤（鉄筋コンクリート部）配置図 —



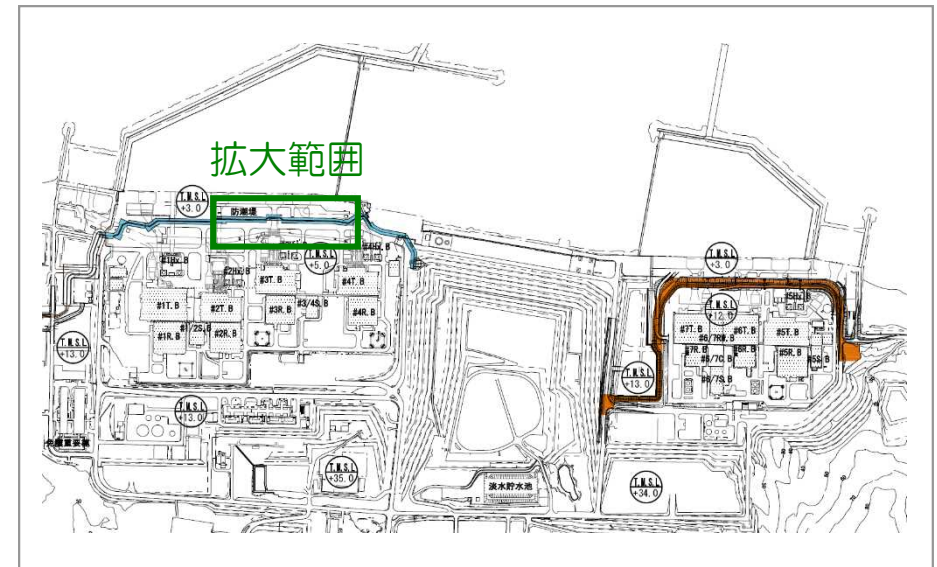
- 鋼管杭の汀線平行方向のピッチは3m（直径1.2mの2.5倍）を基本的な配列としている。



1. 2 (1) 防潮堤の概要 — 荒浜側防潮堤 (鉄筋コンクリート部) 配置図 —



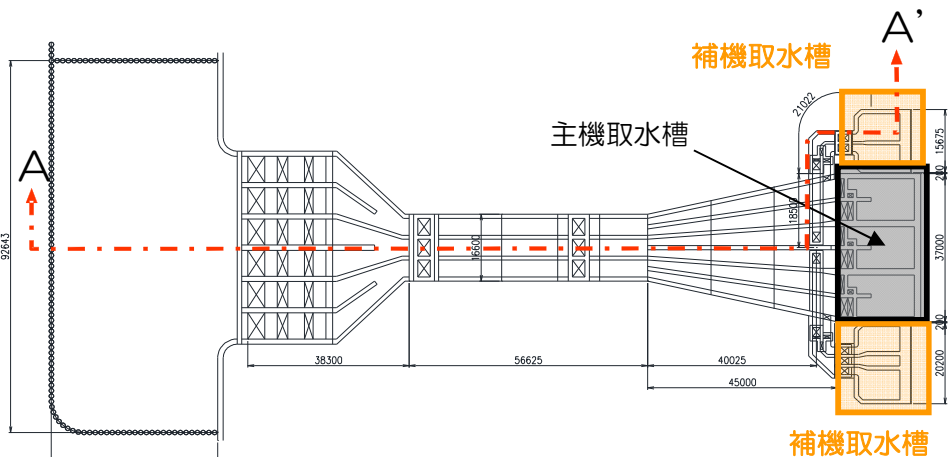
0 50m



1. 2 (2) 貯留堰の概要

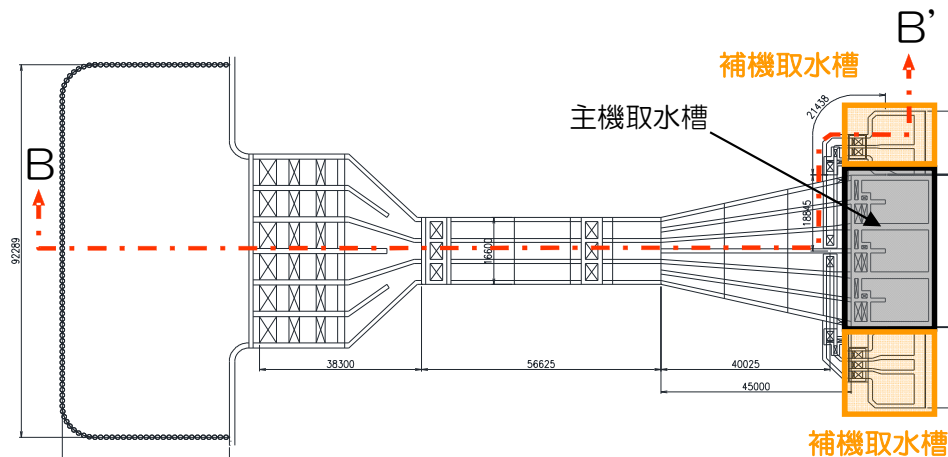
■ 6, 7号炉取水路設備

取水路内貯留量：約4,000m³
 貯留堰内貯留量：約6,000m³ 全体貯留量：約10,000m³

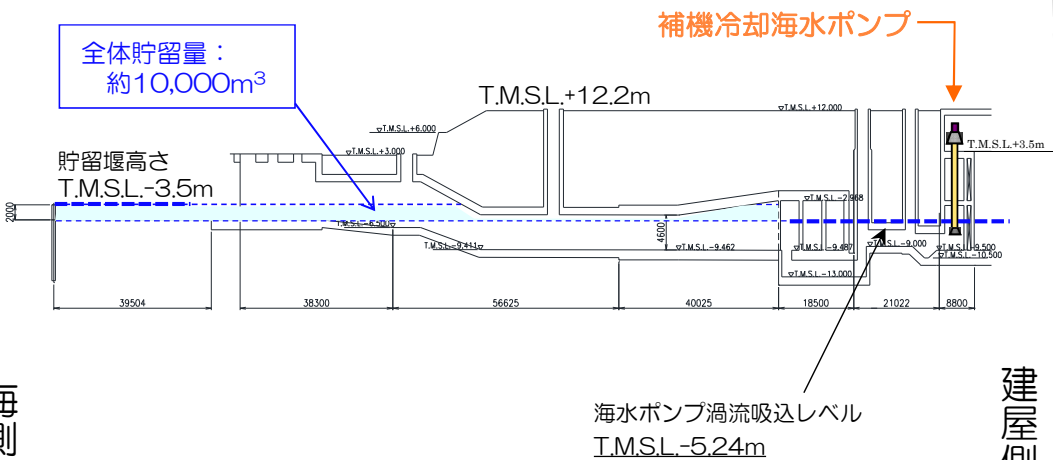


6号炉取水路平面図

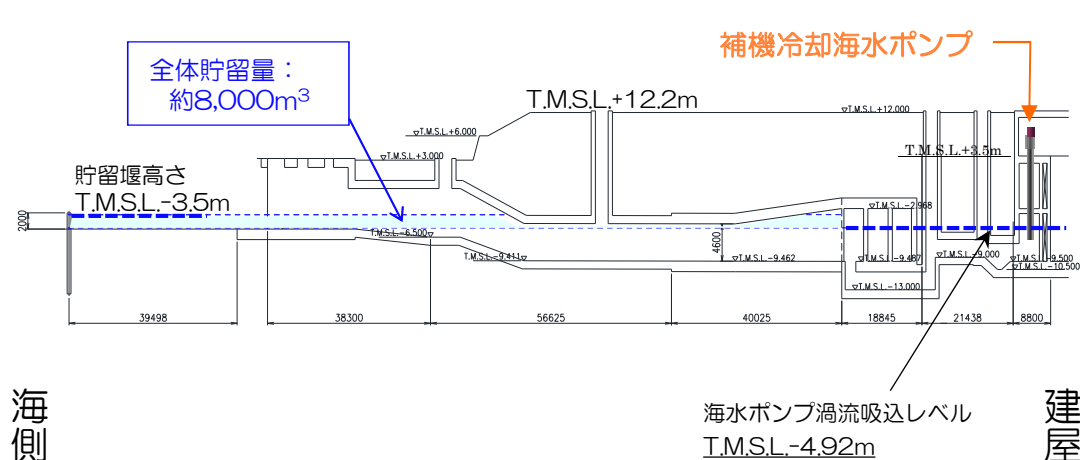
取水路内貯留量：約3,000m³
 貯留堰内貯留量：約5,000m³ 全体貯留量：約8,000m³



7号炉取水路平面図



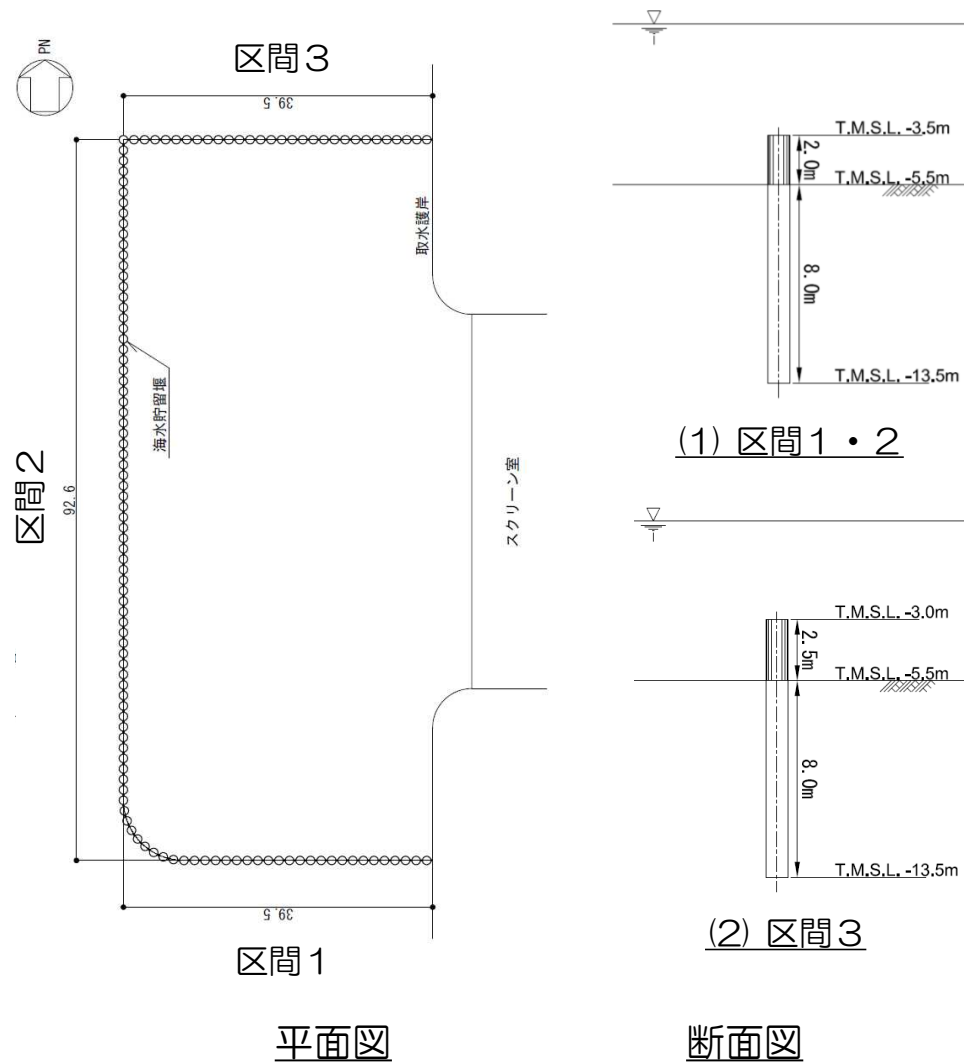
6号炉取水路 A-A'断面図



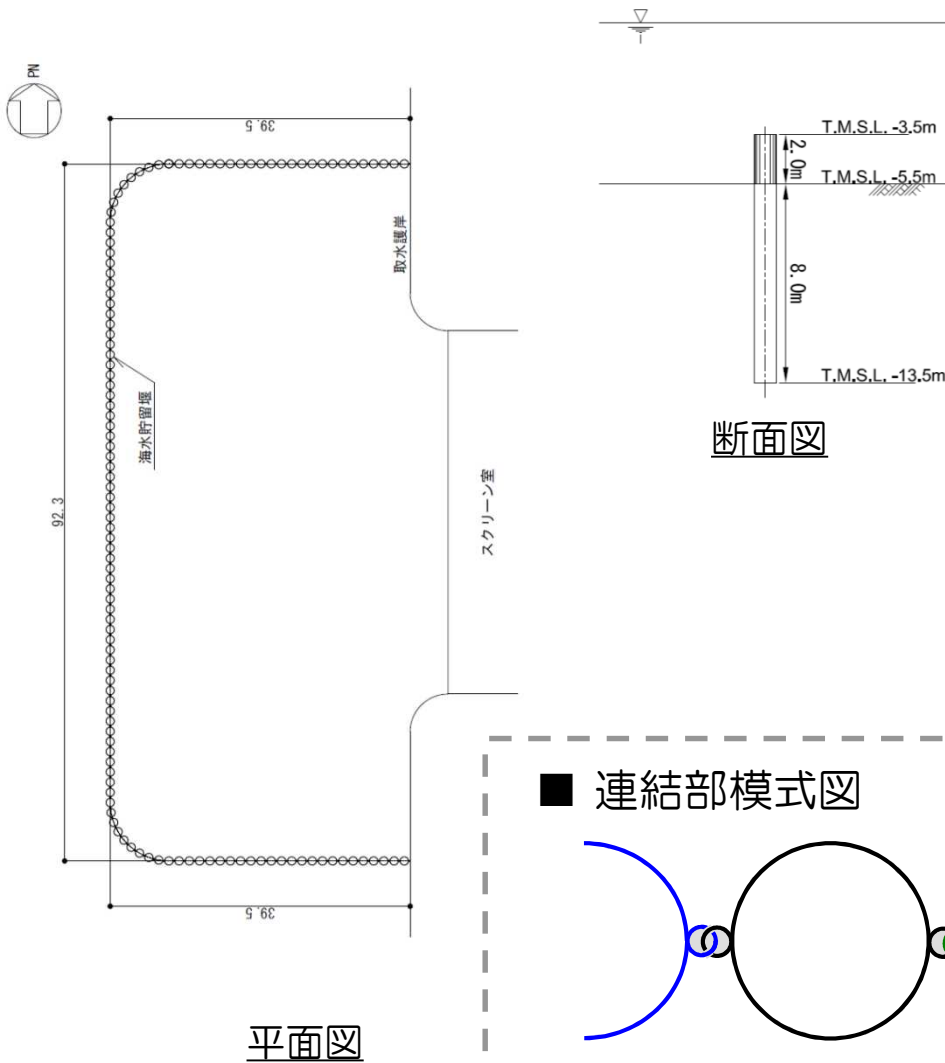
7号炉取水路 B-B'断面図

1. 2 (2) 貯留堰の概要

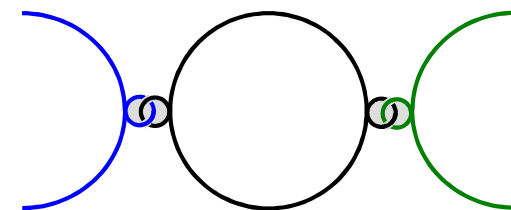
■ 6号炉



■ 7号炉



■ 連結部模式図



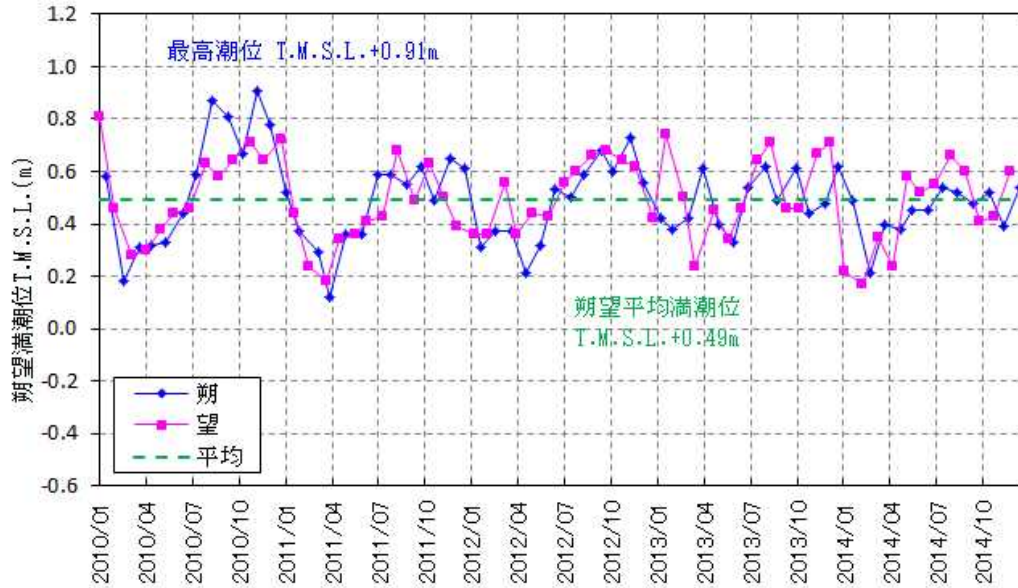
鋼管の連結部は、円管状の継手をかみ合せた上で、止水のためモルタル充填している。

- 貯留堰は、鋼管矢板（直径1.1m）を連結した構造物である。

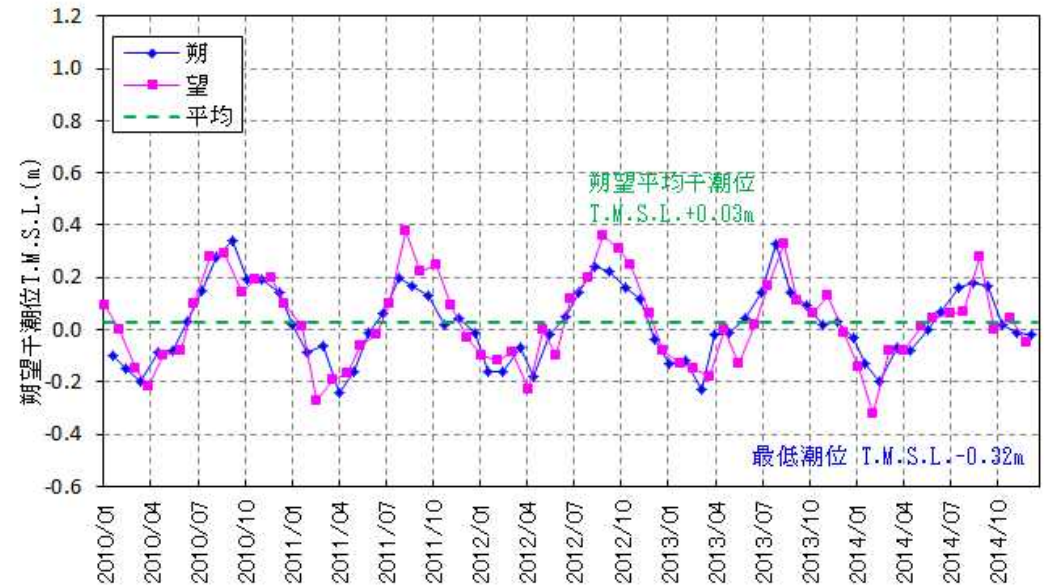
2. 1 最新の潮位データの整理

2. 1 最新の潮位データの整理

■最新の潮位データの整理（平成22年1月～平成26年12月）



各月の朔望満潮位の推移



各月の朔望干潮位の推移

() 内は今回の適合性申請当初に使用した数値

● 最高潮位	T.M.S.L.+0.91m (+1.05m)
● 朔望平均満潮位	T.M.S.L.+0.49m (+0.48m)
● 平均潮位	T.M.S.L.+0.26m (+0.24m)
● 朔望平均干潮位	T.M.S.L.+0.03m (-0.02m)
● 最低潮位	T.M.S.L.-0.32m (-0.43m)

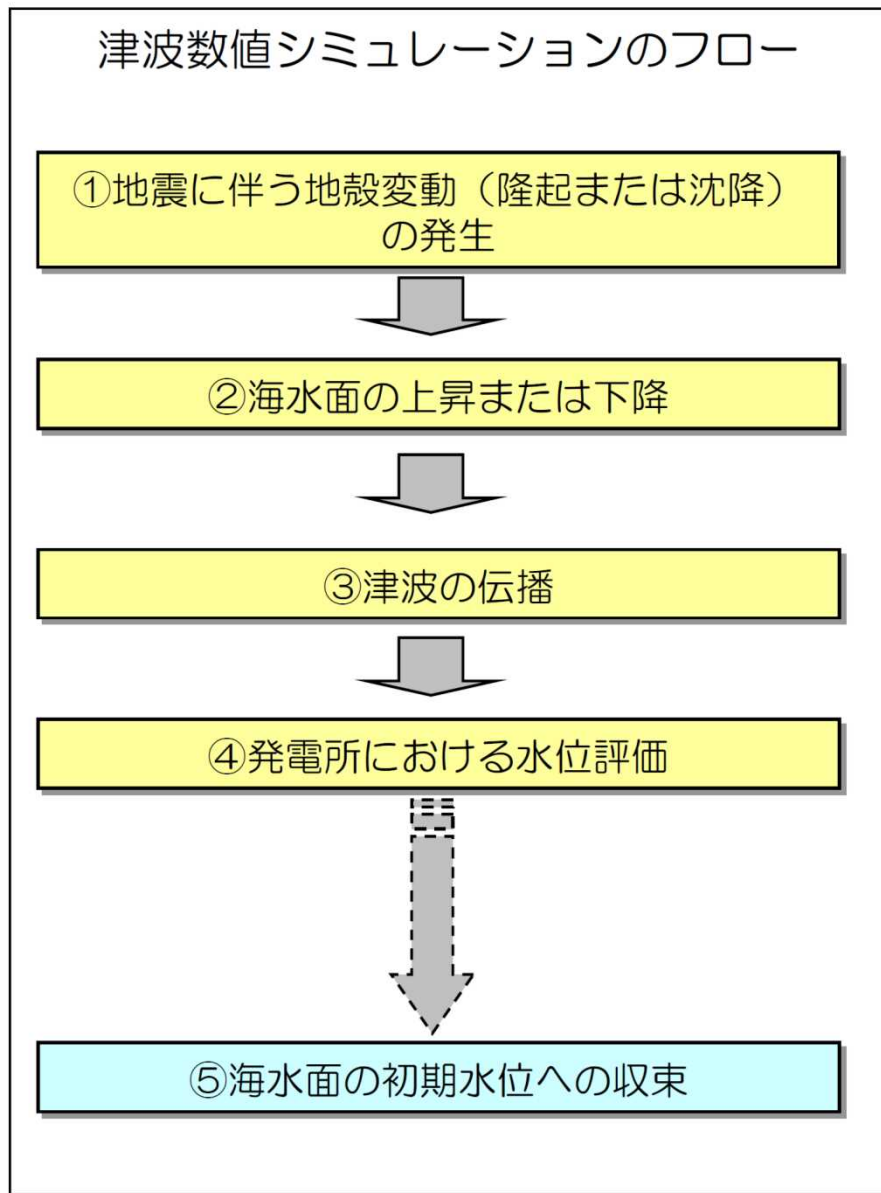
津波の数値シミュレーションで
計算開始潮位に使用した潮位条件

津波の数値シミュレーションで計算開始潮位に使用した潮位条件は、最新のデータとほぼ同等であることを確認した。

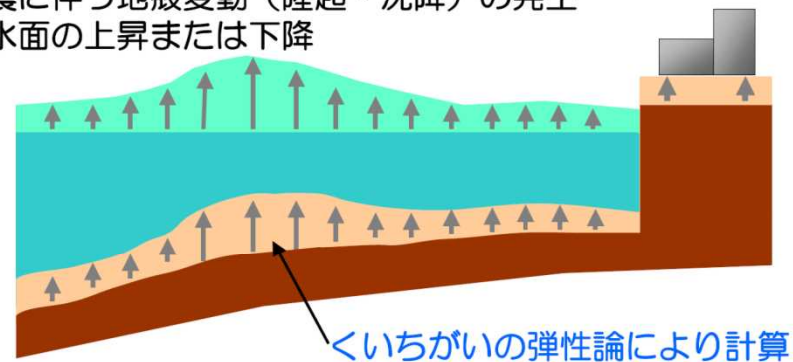
3. 1 地震に伴う地殻変動の考慮

3. 1 地震に伴う地殻変動の考慮

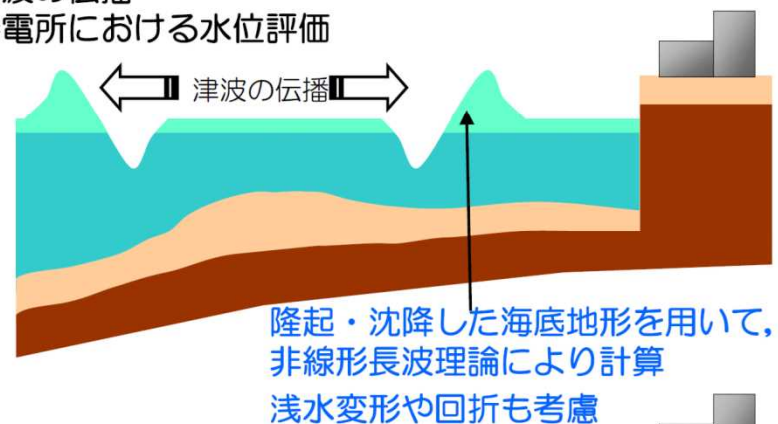
■数値シミュレーションの方法



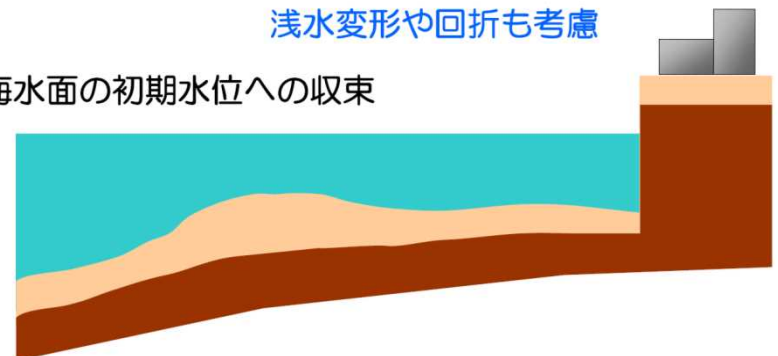
- ①地震に伴う地殻変動（隆起・沈降）の発生
- ②海水面上昇または下降



- ③津波の伝播
- ④発電所における水位評価



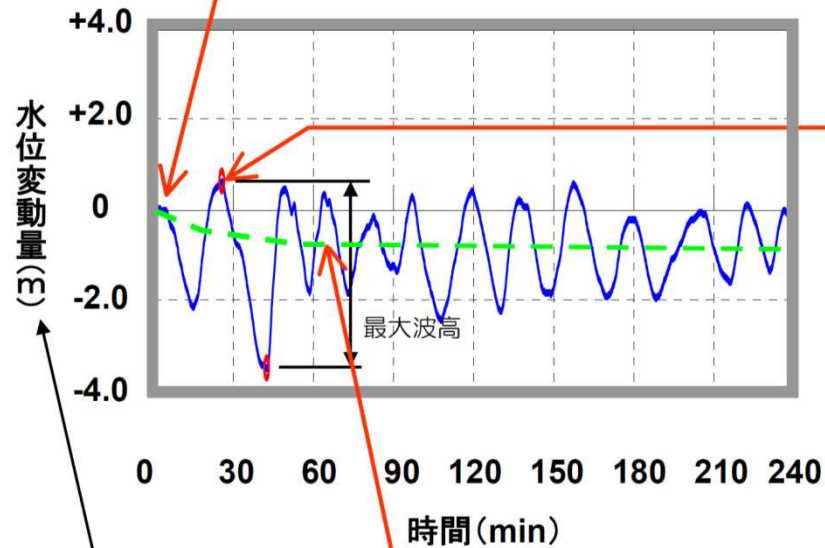
- ⑤海水面の初期水位への収束



3. 1 地震に伴う地殻変動の考慮

■水位変動量と計算過程の比較

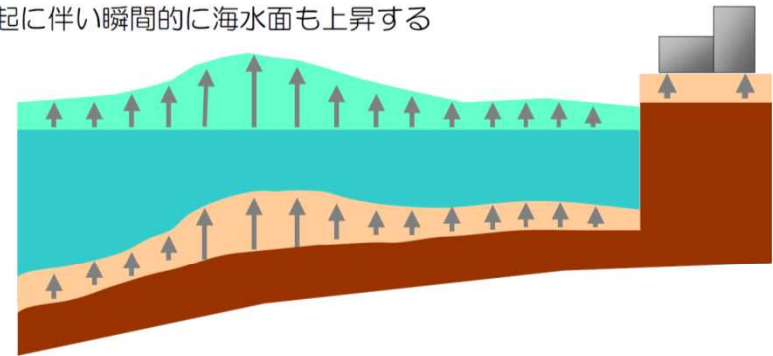
例) 1号機取水口前面における計算例
— 長岡平野断層帯($\delta=35^\circ$)による想定津波 —



- ✓ 「初期水位（平均潮位）+ 1号機取水口での地殻変動量」を基点とした水位変動量
- ✓ 水位の評価方法については、次ページで解説

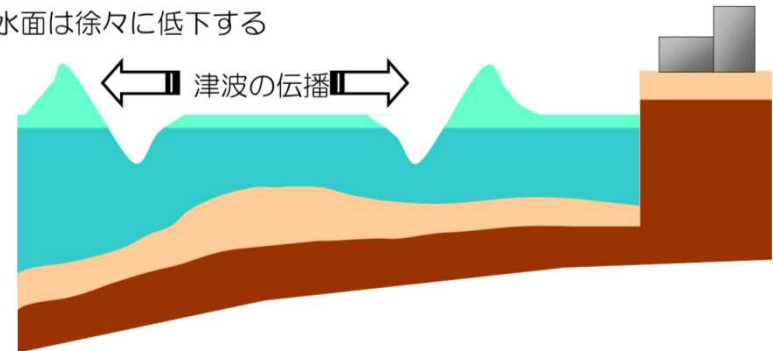
0分（地震発生直後）

隆起に伴い瞬間的に海水面も上昇する



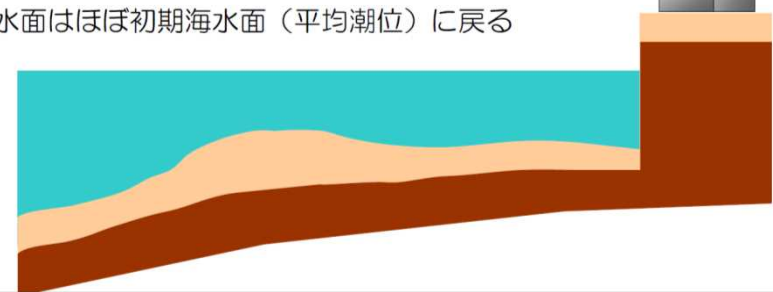
30~40分後（最大波高発生時）

海水面は徐々に低下する



約60分後

海水面はほぼ初期海水面（平均潮位）に戻る



3. 1 地震に伴う地殻変動の考慮

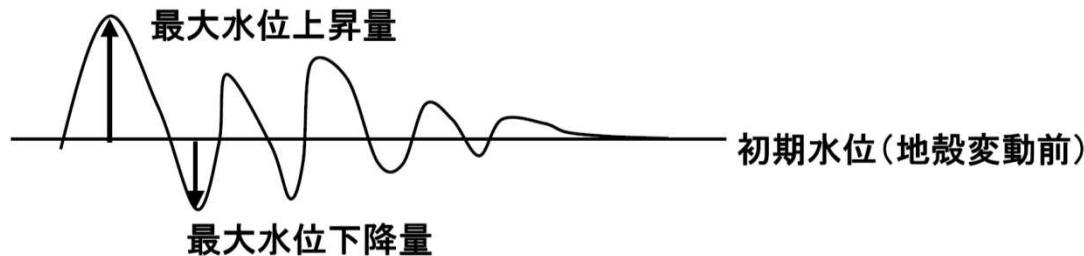
■水位評価における2つの方法

■方法1：「初期水位（平均潮位）」からの水位変動量を評価

水位変動量
+ 朔望平均潮位



地震前の敷地・機器等の標高
+ 地殻変動量



方法1のメリット
・表記が直接的でわかりやすい

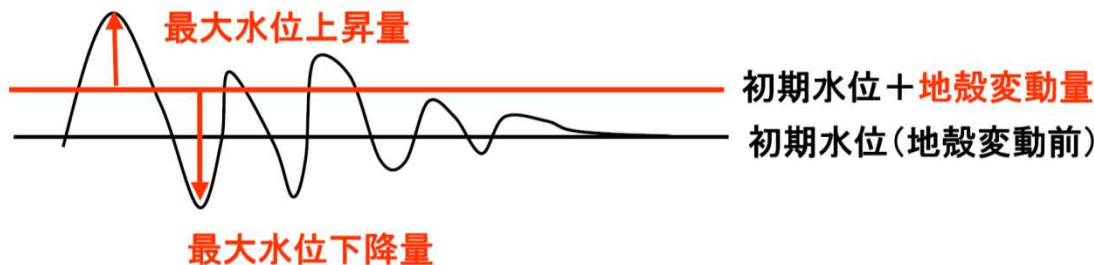
今回当社が採用した方法

■方法2：「初期水位（平均潮位）+ 評価点の地殻変動量」からの水位変動量を評価

水位変動量(地殻変動考慮)
+ 朔望平均潮位



地震前の敷地・機器等の標高



方法2のメリット
・水位変動量(最大水位上昇・下降量)の段階で、隆起・沈降量を反映しているため、水位変動量どうしを比較することにより、発電所に最も影響を与える津波の比較・検討ができる(パラメータスタディを多数実施する場合に適する)

3. 1 地震に伴う地殻変動の考慮

■敷地が沈降する場合の例

■方法1：「初期水位（平均潮位）」からの水位変動量を評価



$$H_1(+2.73\text{m}) + \text{H.W.L. (T.M.S.L.+0.48m)} = \text{T.M.S.L. +3.21m} < \text{T.M.S.L.+5.00m} - 0.03\text{m} = \text{T.M.S.L.+4.97m}$$

朔望平均満潮位
原子炉建屋等の重要施設 地殻変動量 設置レベル

今回当社が採用した方法

■方法2：「初期水位（平均潮位）+評価点の地殻変動量」からの水位変動量を評価



$$H_2(+2.76\text{m}) + \text{H.W.L. (T.M.S.L.+0.48m)} = \text{T.M.S.L. +3.24m} < \text{T.M.S.L.+5.00m}$$

朔望平均満潮位
原子炉建屋等の重要施設 設置レベル

今回当社が評価に採用した水位

3. 1 地震に伴う地殻変動の考慮

■敷地が隆起する場合の例

■方法1：「初期水位（平均潮位）」からの水位変動量を評価

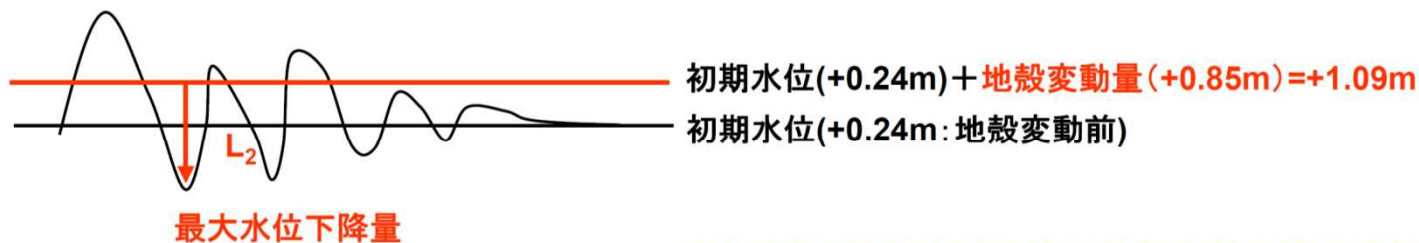


$$L_1(-2.63\text{m}) + \text{L.W.L. (T.M.S.L. -0.02m)} = \text{T.M.S.L. } -2.65\text{m} > \text{T.M.S.L. } -4.22\text{m} + 0.85\text{m} = \text{T.M.S.L. } -3.37\text{m}$$

朔望平均干潮位 原子炉補機冷却海水ポンプ 地殻変動量
吸い込み可能レベル

今回当社が採用した方法

■方法2：「初期水位（平均潮位）+評価点の地殻変動量」からの水位変動量を評価



$$L_2(-3.48\text{m}) + \text{L.W.L. (T.M.S.L. -0.02m)} = \text{T.M.S.L. } -3.50\text{m} > \text{T.M.S.L. } -4.22\text{m}$$

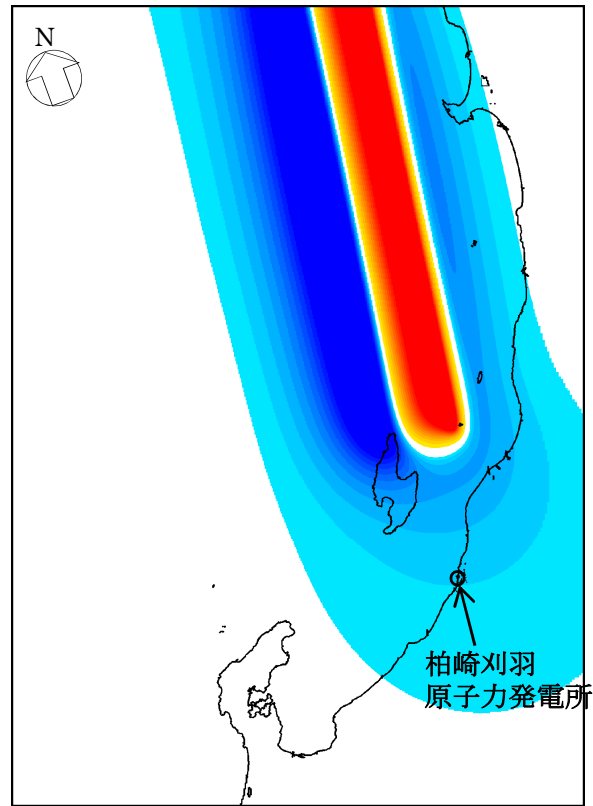
朔望平均干潮位 原子炉補機冷却海水ポンプ
吸い込み可能レベル

今回当社が評価に採用した水位

両方法は本質的には同じであり、どちらの方法も妥当である

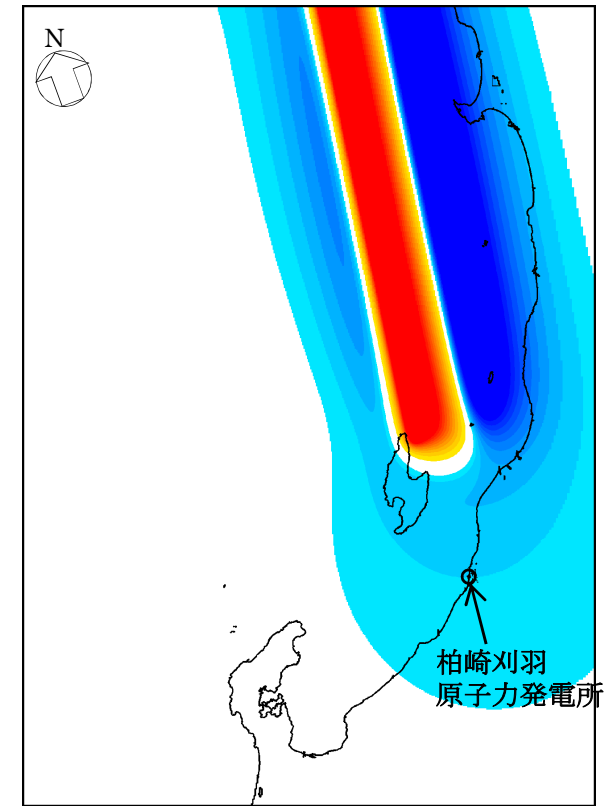
3. 2 地殻変動量算定結果

3. 2 地殻変動量算定結果（基準津波1, 2）



基準津波1

（取水口前面，荒浜側防潮堤内敷地上昇側最大ケース）
日本海東縁部（2領域モデル）+地すべり（LS-2）



基準津波2

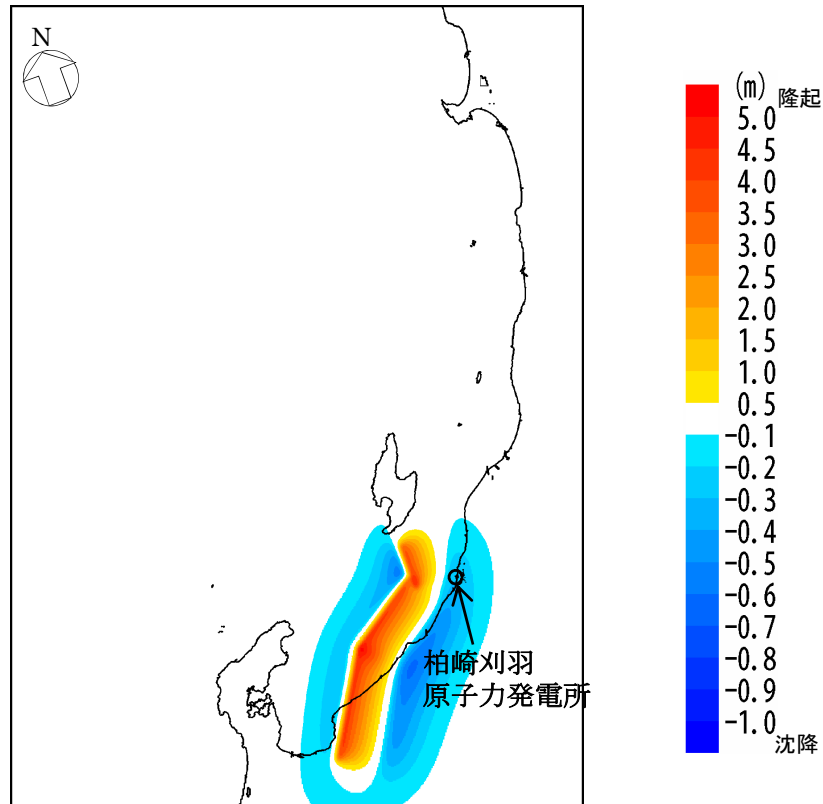
（取水口前面下降側最大ケース）
日本海東縁部（2領域モデル）

各地点の地殻変動量

（単位：m）

水位	地震	取水口前面							遡上域	
		1号炉	2号炉	3号炉	4号炉	5号炉	6号炉	7号炉	荒浜側	大湊側
上昇側	日本海東縁部 （2領域モデル）	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21
下降側	日本海東縁部 （2領域モデル）	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20

3. 2 地殻変動量算定結果（基準津波3）



基準津波3

（荒浜側防潮堤前面上昇側最大ケース）

海域の活断層（5断層連動モデル）+地すべり（LS-2）

各地点の地殻変動量

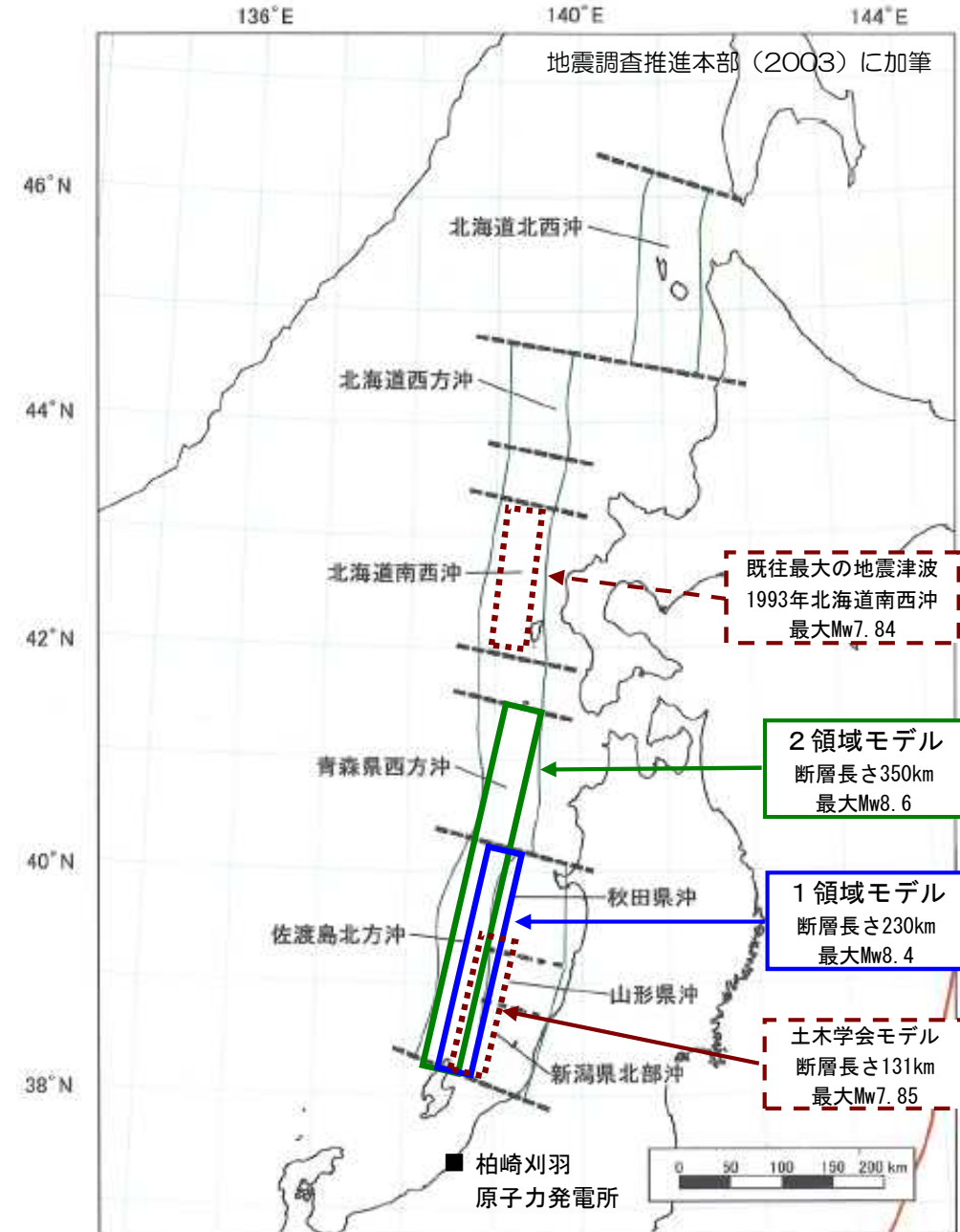
（単位：m）

地震	地すべり	取水口前面							遡上域	
		1号炉	2号炉	3号炉	4号炉	5号炉	6号炉	7号炉	荒浜側	大湊側
海域の活断層 （5断層連動モデル）	LS-2	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.28

3. 3 波源設定に関する補足

3. 3 (1) 波源パラメータ設定について（日本海東縁部の地震）

- 1領域モデルでは、佐渡島北方沖、秋田県沖、山形県沖及び新潟県北部沖の範囲における、「断層の位置」、「走向」及び「傾斜角」の不確かさの組合せを考慮
→ 【228ケース】
- 2領域モデルでは、「断層の位置」及び「傾斜角」の不確かさの組合せを考慮
→ 【24ケース】
- さらに、水位上昇が最大となるケースについて、アスペリティモデルの検討を実施
→ 【7ケース】

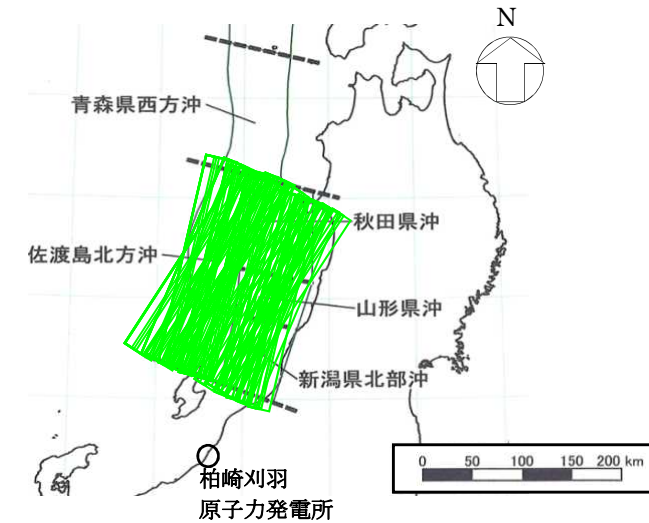


日本海東縁部の想定波源図

3. 3 (1) 波源パラメータ設定について (日本海東縁部の地震)

■ 1 領域モデル (断層長さ230km)

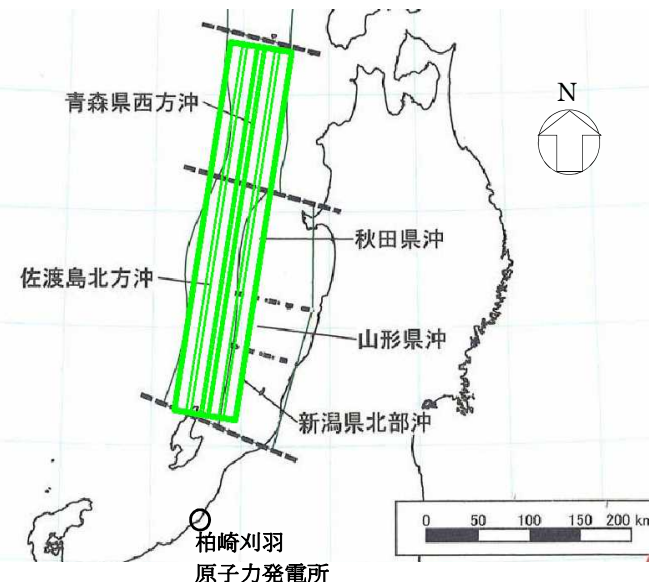
断層	スケーリング則	断層位置	走向 θ	傾斜角 δ	ケース数	
秋田県沖 ～ 新潟県北部沖	土木学会 / 強震動 予測 レシピ	3 ケース	10° 20° 30° 190° 200° 210°	30°	36	120
		3 ケース		45°	36	
		4 ケース		60°	48	
		佐渡島 北方沖		2 ケース	3 ケース	30°
6 ケース	60°		72			



不確かさの検討例 (1 領域)

■ 2 領域モデル (断層長さ350km)

断層	スケーリング則	断層位置	走向 θ	傾斜角 δ	ケース数	
2 領域 モデル	土木学会 / 強震動 予測 レシピ	2 ケース	8° 188°	30°	8	24
		4 ケース		2 ケース	60°	
	2 ケース					

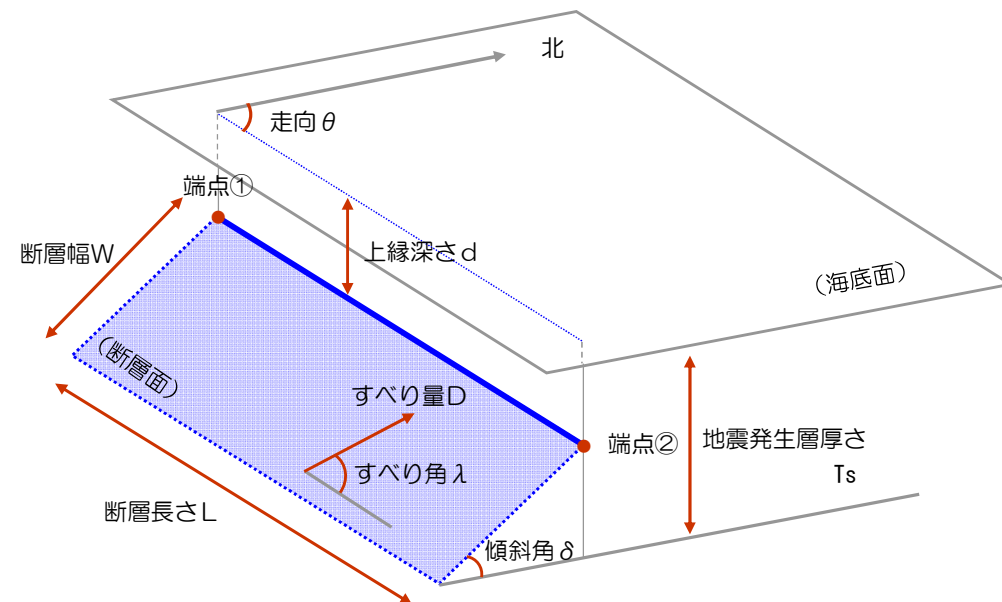


不確かさの検討例 (2 領域)

3. 3 (1) 波源パラメータ設定について (地震発生層の厚さ)

■ 地震発生層厚さの設定について

設定手法	断層	地震発生層厚さ T_s [km]	設定根拠
土木学会手法	敷地周辺海域の活断層	15	土木学会手法を参考に設定
	日本海東縁部		
強震動予測 レシピ	敷地周辺海域の活断層	17	微小地震の深さ分布から設定される地震発生層 下限深さより設定
	日本海東縁部	20	強震動予測レシピを参考に設定



3. 3 (1) (参考) 波源モデルの諸元の設定 (土木学会手法：佐渡島棚東縁断層の例)

項目		単位	設定値	設定根拠	原子力発電所の津波評価技術 土木学会 (2016) の記載
■断層調査結果に基づいて設定					
断層長さ	L	km	37	・活断層調査結果に基づいて設定	・活断層調査結果に基づいて設定
走向	θ	°	209	・活断層調査結果に基づいて設定	・活断層調査結果に基づいて設定
傾斜角	δ	°	55	・活断層調査結果に基づいて設定	・発震機構解の分析等により設定 ・45~90° とする
■文献の値に基づいて設定					
上縁深さ	d	km	0	・右により設定	・0 (km) とする
剛性率	μ	N/m ²	3.5×10^{10}	・右により設定	・ 3.5×10^{10} (N/m ²) とする
地震発生層厚さ	Ts	km	15	・右により設定	・日本海東縁部及び海域の活断層については地震発生層厚さを15kmと設定
■関係式を用いて設定					
モーメント マグニチュード	Mw		7.1	・右式によりLから算定	・断層長さからスケーリング則に従い設定 ・ $\log L \text{ (km)} = 0.75Mw - 3.77$ により算出
地震モーメント	Mo	N・m	6.0×10^{19}	・右式によりMwから算出	・ $\log Mo \text{ (N・m)} = 1.5Mw + 9.1$ により算出
断層幅	W	km	18	・右式によりLおよび δ から算出 ・ $W = 15 / \sin \delta$	・地震発生層の厚さを考慮し傾斜角 δ に応じて設定 $W = \min(2L/3, 15/\sin \delta)$
すべり量	D	m	2.5	・右式によりMo, μ , L, Wから算出	・ $D = Mo / \mu L W$ により算出
断層面積	S	km ²	678	・ $S = W \times L$ から算出	—
■主応力軸の範囲に基づいて算定					
すべり角	λ	°	90	・主応力軸方向の範囲290~320°に対してすべり角の範囲は60~103° ・すべり角の範囲で最も高角の値90°とする	・走向・傾斜角と主応力軸方向範囲に基づき設定

3. 3 (1) (参考) 波源モデルの諸元の設定 (強震動予測レシピ：佐渡島棚東縁断層の例)

項目		単位	設定値	設定根拠	震源断層を特定した地震の強震動予測手法「レシピ」 地震調査研究推進本部(2009)の記載
■断層調査結果に基づいて設定					
断層長さ	L	km	37	・活断層調査結果に基づいて設定	・活断層の長期評価に基づいた位置・構造から想定した断層モデルの形状を基に設定
走向	θ	°	209	・活断層調査結果に基づいて設定	・活断層の長期評価結果を利用して設定
傾斜角	δ	°	55	・活断層調査結果に基づいて設定	・活断層調査結果などに基づいて設定 ・資料がない場合、逆断層は45°を基本とする
■文献の値に基づいて設定					
上縁深さ	d	km	0	・土木学会手法と同様に設定	・微小地震の深さ分布から決めることができる
剛性率	μ	N/m ²	3.5×10^{10}	・土木学会手法と同様に設定	・地震発生層の密度 ρ 、S波速度 β から算出 $\mu = \rho \cdot \beta^2$
地震発生層厚さ	Ts	km	17	・微小地震の深さ分布から設定される地震発生層下限17kmより設定	・微小地震の深さ分布から設定される地震発生層下限及び断層上端深さから決めることができる
■関係式を用いて設定					
断層幅	W	km	21	・右式によりL, Ts, δ から算出 ・ $W = 17 / \sin \delta$	・地震発生層の厚さTsを考慮し傾斜角 δ に応じて設定 $W = \min(L, Ts / \sin \delta)$
断層面積	S	km ²	768	・ $S = W \times L$ から算出	—
地震モーメント	Mo	N·m	3.3×10^{19}	・右式によりSから算出	・ $Mo (N \cdot m) = (S / 4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7}$ により算出
モーメントマグニチュード	Mw		6.9	・右式によりMoから算出	・ $Mw = (\log Mo - 9.1) / 1.5$ により算出
すべり量	D	m	1.2	・右式によりMo, μ , Sから算出	・ $D = Mo / (\mu \cdot S)$ により算出
■主応力軸の範囲に基づいて算定					
すべり角	λ	°	90	・土木学会手法と同様に設定	・断層のずれのタイプが逆断層の場合は90°を基本とする

3. 3 (1) (参考) 波源モデルの諸元の設定 (土木学会手法：1領域モデル傾斜角30° の例)

項目		単位	設定値	設定根拠	原子力発電所の津波評価技術 土木学会 (2016) の記載
■文献の値に基づいて設定					
断層長さ	L	km	230	・土木学会 (2011) の活動域区分に基づいて設定	
走向	θ	°	20±10 200±10	・土木学会 (2011) の活動域区分に基づいて設定	・海底地形の走向に基づき設定する
上縁深さ	d	km	0	・右により設定	・0 (km) とする
傾斜角	δ	°	30	・右により設定	・30~60° とする
すべり角	λ	°	90	・右により設定	・90° とする
剛性率	μ	N/m ²	3.5×10^{10}	・右により設定	・ 3.5×10^{10} (N/m ²) とする
地震発生層厚さ	Ts	km	15	・右により設定	・日本海東縁部及び海域の活断層については地震発生層厚さを15kmと設定
■関係式を用いて設定					
モーメント マグニチュード	Mw		8.2	・右式によりLから算定	・断層長さからスケーリング則に従い設定 ・ $\log L$ (km) = 0.75Mw - 3.77 により算出
地震モーメント	Mo	N・m	2.3×10^{21}	・右式によりMwから算出	・ $\log Mo$ (N・m) = 1.5Mw + 9.1 により算出
断層幅	W	km	30	・右式によりLおよび δ から算出 ・ $W = 15 / \sin \delta$	・地震発生層の厚さを考慮し傾斜角 δ に応じて設定 $W = \min(2L/3, 15/\sin \delta)$
すべり量	D	m	9.6	・右式によりMo, μ , L, Wから算出	・ $D = Mo / \mu L W$ により算出
断層面積	S	km ²	6900	・ $S = W \times L$ から算出	—

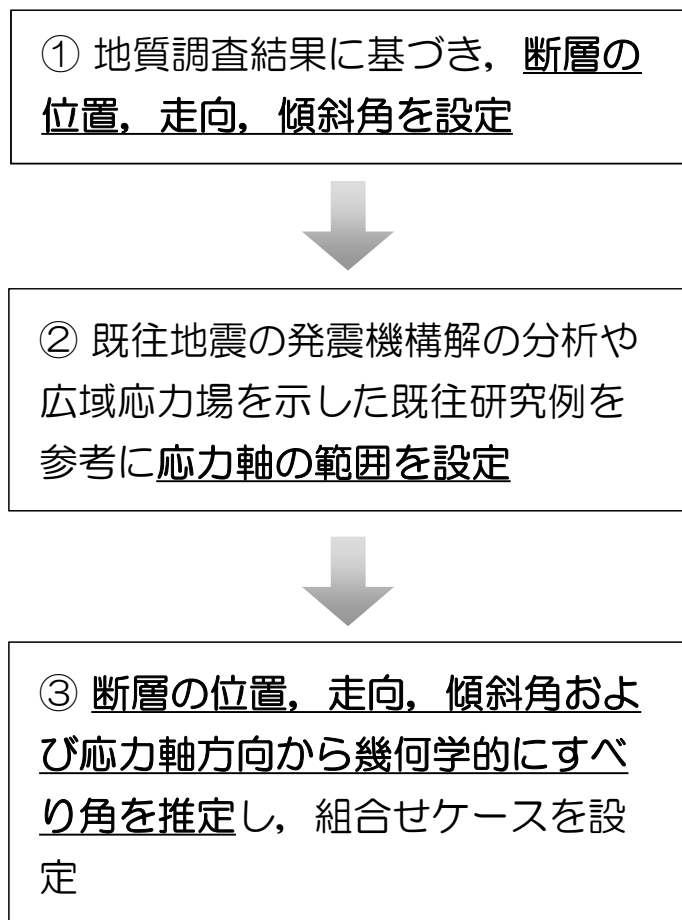
3. 3 (1) (参考) 波源モデルの諸元の設定 (強震動予測レシピ: 1領域モデル傾斜角30° の例)

項目		単位	設定値	設定根拠	震源断層を特定した地震の強震動予測手法「レシピ」 地震調査研究推進本部 (2009) の記載
■文献の値に基づいて設定					
断層長さ	L	km	230	・ 土木学会手法と同様に設定	・ 活断層の長期評価に基づいた位置・構造から想定した断層モデルの形状を基に設定
走向	θ	°	20±10 200±10	・ 土木学会手法と同様に設定	・ 活断層の長期評価結果を利用して設定
上縁深さ	d	km	0	・ 土木学会手法と同様に設定	・ 微小地震の深さ分布から決めることができる
傾斜角	δ	°	30	・ 土木学会手法と同様に設定	・ 活断層調査結果などに基づいて設定 ・ 資料がない場合、逆断層は45°を基本とする
すべり角	λ	°	90	・ 土木学会手法と同様に設定	・ 断層のずれのタイプが逆断層の場合は90°を基本とする
剛性率	μ	N/m ²	3.5×10^{10}	・ 土木学会手法と同様に設定	・ 地震発生層の密度 ρ , S波速度 β から算出 $\mu = \rho \cdot \beta^2$
地震発生層厚さ	Ts	km	20	・ すべり量が大きくなるよう右の上限に設定	・ $Ts \leq 20\text{km}$
■関係式を用いて設定					
断層幅	W	km	40	・ 右式によりL, Ts, δ から算出 ・ $W = 20 / \sin \delta$	・ 地震発生層の厚さTsを考慮し傾斜角 δ に応じて設定 $W = \min(L, Ts / \sin \delta)$
断層面積	S	km ²	9200	・ $S = W \times L$ から算出	—
地震モーメント	Mo	N·m	4.7×10^{21}	・ 右式によりSから算出	・ $Mo \text{ (N·m)} = (S / 4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7}$ により算出
モーメント マグニチュード	Mw		8.4	・ 右式によりMoから算出	・ $Mw = (\log Mo - 9.1) / 1.5$ により算出
すべり量	D	m	14.6	・ 右式によりMo, μ , Sから算出	・ $D = Mo / (\mu \cdot S)$ により算出

3. 3 (2) すべり角の組合せについて

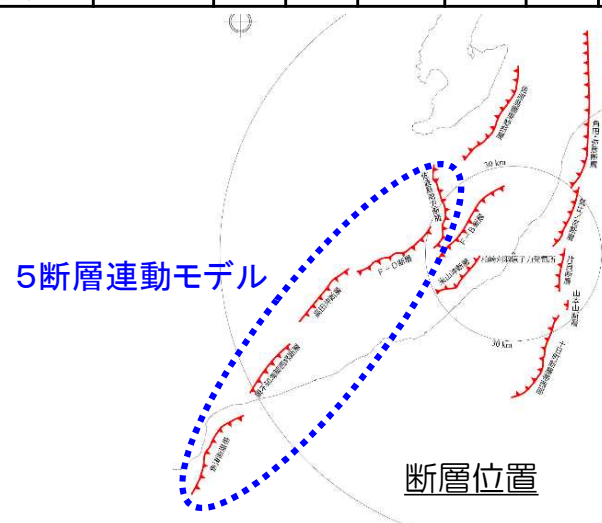
- すべり角は、断層の応力軸の設定範囲に基づき設定。
- 基本ケースでは、設定した応力軸の範囲で最も90°に近い角度となるすべり角を採用。
- パラメータスタディでは、応力軸の範囲内で角度を3ケース設定し、すべり角の組合せを設定。

■ 断層のすべり角設定の流れ



① 断層の位置、走向、傾斜角の設定

断層名	波源のモデル化 (スケーリング則)	M _w	断層長さ L (km)	断層幅 W (km)	走向 θ (°)	上縁深さ d (km)	傾斜角 δ (°)	すべり角 λ (°)	すべり量 D (m)
佐渡島南方断層	土木学会手法	8.0	29	21	0	0	45	62	7.7
F-D断層～高田冲断層			55	26	55		35	96	
親不知海脚西縁断層～魚津断層帯			72	26	30		35	90	
佐渡島南方断層	強震動予測レシピ	8.0	29	24	0	0	45	62	7.1
F-D断層～高田冲断層			55	30	55		35	96	
親不知海脚西縁断層～魚津断層帯			72	30	30		35	90	



3. 3 (2) すべり角の組合せについて

② 応力軸の範囲設定

- 土木学会手法に基づき、既往地震の発震機構解の分析や日本各地の広域応力場を示した既往研究例（例えば塚原（1999））を参考に応力軸の向きを推定。

既往地震の発震機構解に基づく推定

2007年新潟県中越沖地震

F-net 記録

- ・本震 : 312°
- ・最大余震 : 304°

2004年新潟県中越地震

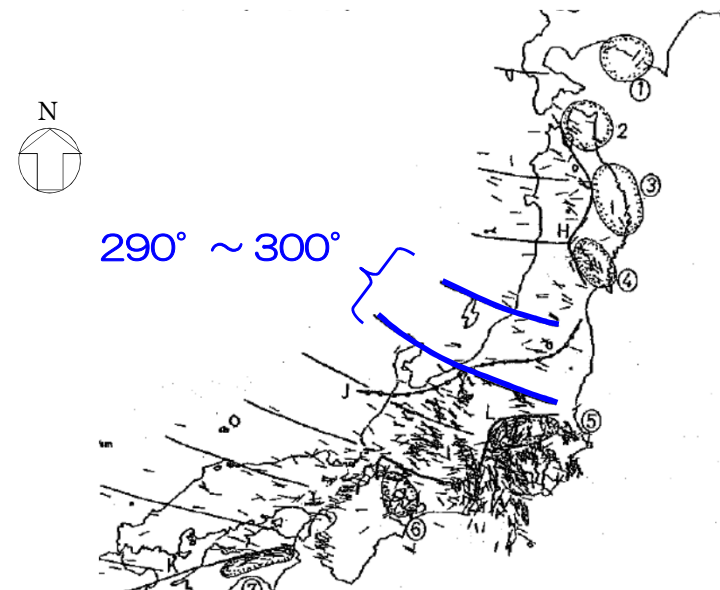
F-net 記録

- ・本震 : 299°
- ・余震 (M6.3) : 296°
- ・余震 (M6.3) : 296°
- ・余震 (M6.0) : 304°
- ・余震 (M6.5) : 307°
- ・余震 (M6.1) : 300°

既往研究例に基づく推定

既往研究例：

塚原（1999）：日本列島の現在の地殻応力場



応力軸（P軸）の範囲：290° ~ 320°

3. 3 (2) すべり角の組合せについて

③ すべり角の推定とパラメータスタディにおける組合せ

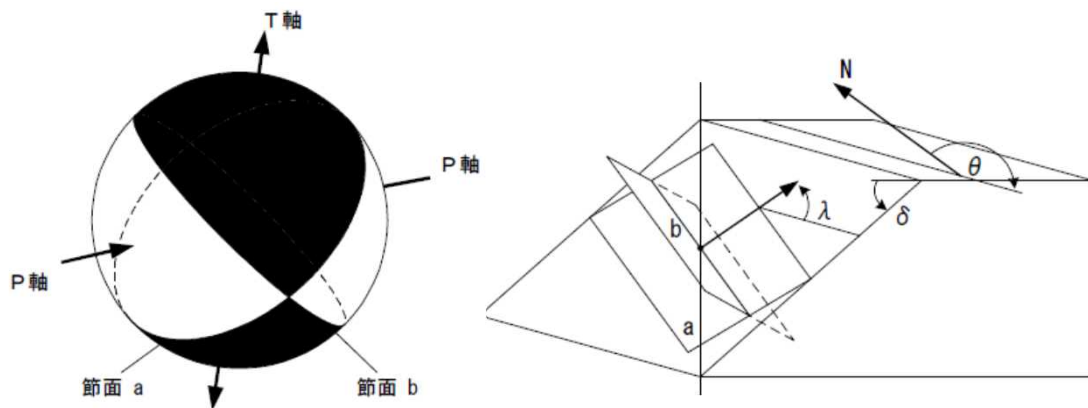
- すべり角は、発震機構の原理に基づき、断層の位置、走向、傾斜角、および応力軸方向から幾何学的に推定。
- 基本ケースでは、設定した応力軸の範囲で最も90°に近い角度となるすべり角を採用。
- パラメータスタディでは、応力軸の範囲内で角度を3ケース設定し、すべり角の組合せを設定。

1) すべり角の範囲推定

P軸範囲 (290~320°) に対応する

各断層のすべり角範囲

- 佐渡島南方断層 : 62° ~ 10°
- F-D断層~高田沖断層 : 140° ~ 96°
- 親不知海脚西縁断層
~魚津断層帯 : 103° ~ 62°



応力軸と断層運動の関係の概念図 (土木学会, 2016)

2) すべり角組合せ設定

断層名	すべり角の組合せ λ (°)			
	① 基本ケース 90° に 近い角度	② パラスタ1 P軸 290度	③ パラスタ2 P軸 305度	④ パラスタ3 P軸 320度
佐渡島 南方断層	62	62	38	10
F-D断層 ~ 高田沖断層	96	140	118	96
親不知海脚西縁断層 ~ 魚津断層帯	90	103	84	62

3. 3 (3) 日本海東縁部のアスペリティモデルについて

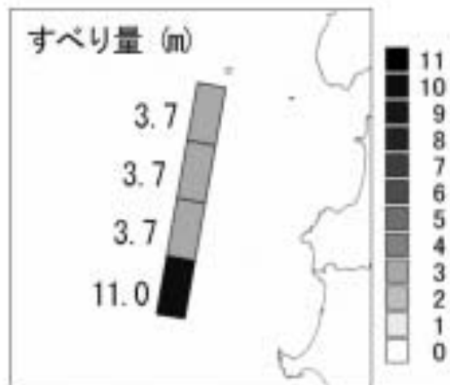
■ 波源のパラメータ：基本モデル（アスペリティモデル）

- 基本モデル（2領域モデル）のうち、水位上昇側が最大となる、強震動予測レシピ（傾斜角 30° ）のケースについて、すべり分布の不確かさとして、アスペリティモデルの検討を行った。（7ケース）
- アスペリティは、根本ほか（2009）を参考とし、すべり量を平均すべり量の2倍とする領域を全断層面積の25%に設定した。
- ただし、Manighetti et al.(2007)を参考に、すべり量の上限を20mとした。

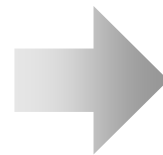
水位	Mw	断層長さ L (km)	断層幅 W (km)	走向 θ ($^\circ$)	上縁深さ d (km)	傾斜角 δ ($^\circ$)	すべり角 λ ($^\circ$)	すべり量 D (m)
上昇側	8.4	350	40	188	5	30	100	20 (アスペリティ領域) 6.7 (背景領域)
下降側	8.4	350	40	8	5	30	100	20 (アスペリティ領域) 6.7 (背景領域)

根本ほか（2009）のアスペリティモデル （1983年日本海中部地震の例）

- ✓ 断層面の1/4をアスペリティ領域とし、平均すべり量の2倍に設定。
- ✓ 断層面の3/4を背景領域とし、平均すべり量の2/3倍に設定。

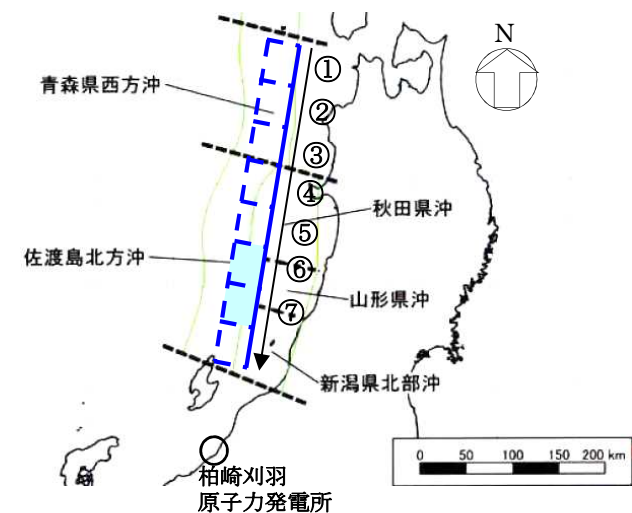


参考



日本海東縁部のアスペリティモデル

- ✓ 断層面の1/4をアスペリティ領域とし、平均すべり量の2倍に設定。
- ✓ 断層面の3/4を背景領域とし、平均すべり量の2/3倍に設定。
- ✓ アスペリティ（網掛け部）位置を1/8ずつ移動



3. 3 (3) (参考) スケーリング則比較 (すべり量)

- 各スケーリング則を比較した結果、土木学会手法および強震動予測レシピで用いられるスケーリング則は、根本ほか(2009)が用いている大竹のスケーリング則と比較して、Mwおよびすべり量が大きくなることを確認した。

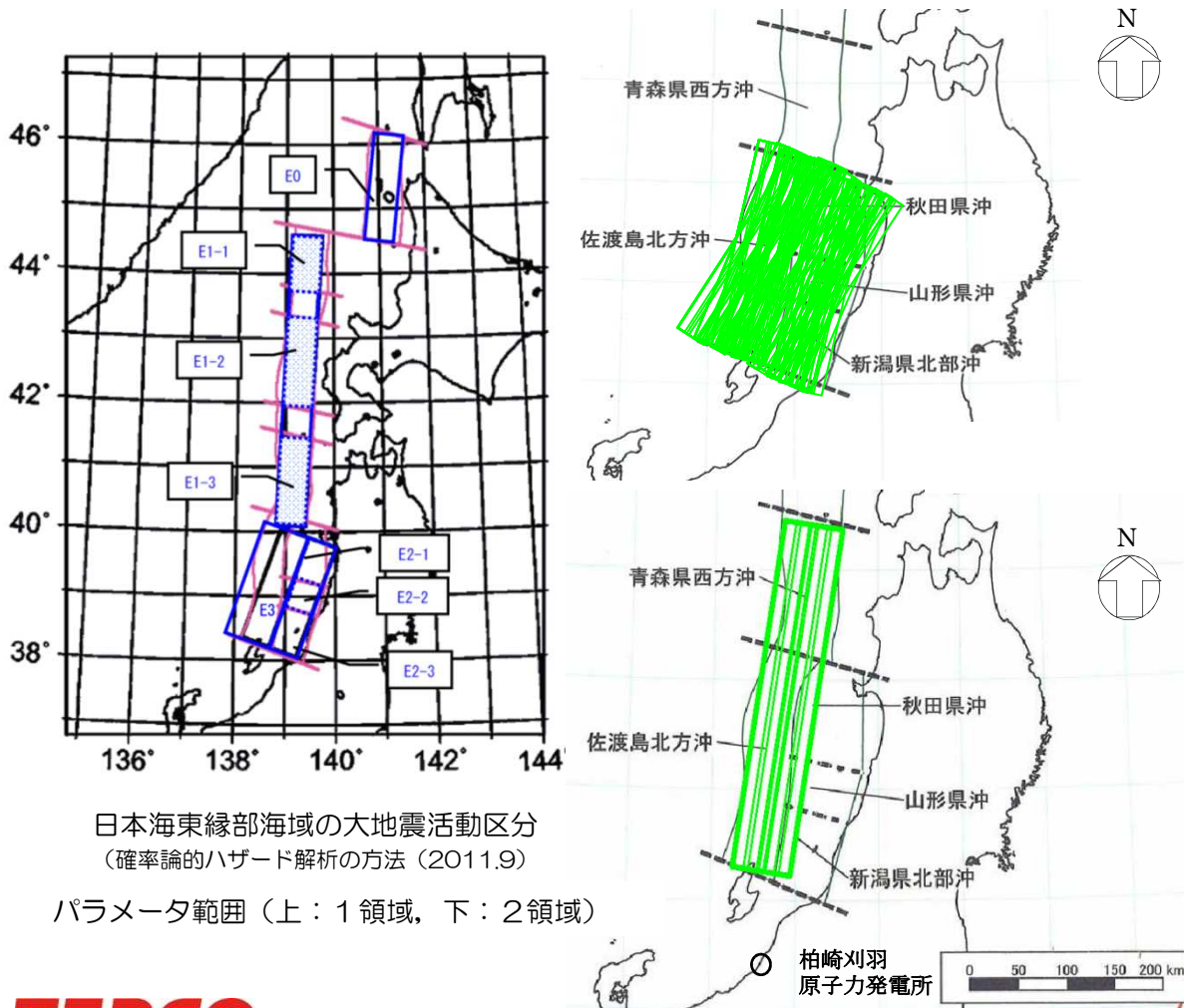
	土木学会手法	強震動予測レシピ	根本ほか
スケーリング則	武村 (1998) <u>断層幅が上限に達している場合</u> $\log L(km) = 0.75M_w - 3.77$ $L \propto D, W = const.$ <u>断層幅が上限に達していない場合</u> $W = \frac{2}{3}L \quad L \propto W \propto D$	入倉・三宅 (2001) $M_0 = 7.5 \times 10^{18} (N \cdot m) (M_w 6.5 \text{相当}) \text{以上}$ $S = 4.24 \cdot 10^{-11} \cdot (M_0 \times 10^7)^{1/2}$ 上限: $M_0 = 1.0 \times 10^{21} (N \cdot m)$ $M_0 = 7.5 \times 10^{18} (N \cdot m) (M_w 6.5 \text{相当}) \text{以下}$ $S = 2.23 \cdot 10^{-15} \cdot (M_0 \times 10^7)^{2/3}$	大竹 (2002) $\log L = 0.67M_w - 3.07$
			M_w : モーメントマグニチュード M_0 : 地震モーメント
断層長さ L [km]	230		
傾斜角 δ [°]	30		
地震発生層厚 Ts [km]	15	20	20
断層幅 W [km] ※	30	40	40
Mw	8.2	8.4	8.1
すべり量 D [m]	9.6	14.6	5.7

※ 地震発生層の厚さTsを考慮し、傾斜角 δ に応じて、 $W=Ts/\sin \delta$ により設定

3. 4 日本海東縁部の地震による津波に関する補足

3. 4 日本海東縁部の地震による津波に関する補足（1）

- 「確率論的津波ハザード解析の方法，土木学会原子力土木委員会（2011）」に示されている活動域区分に基づき，波源モデル及び不確かさを考慮するための「断層の位置」「走向」「傾斜角」のパラメータ範囲を設定した。
- 概略パラメータスタディにおいては，活動域を包含するように「断層の位置」や「走向」のパラメータ範囲を設定しており，1領域モデル（E2,3，断層長さ230km）で228ケース，2領域モデル（E1-3～E3，断層長さ350km）で24ケースのパラメータスタディを実施した。なお，2領域モデル（E1-3～E3）は，1領域モデルと比べて領域の幅が限定されることから，断層の走向に関するパラメータ範囲は限定される。



1領域モデルの断層諸元

波源	波源のモデル化（スケーリング則）	Mw	断層長さ L (km)	断層幅 W (km)	走向 θ (°)	上縁深さ d (km)	傾斜角 δ (°)	すべり角 λ (°)	すべり量 D (m)
1領域モデル	土木学会手法	8.2	230	30	20 ± 10 200 ± 10	0	30	90	9.6
		8.2	230	21	20 ± 10 200 ± 10	0	45	90	13.5
		8.2	230	17	20 ± 10 200 ± 10	0	60	90	16.6
	強震動予測レシビ	8.1	230	23	20 ± 10 200 ± 10	0	60	90	8.4
		8.2	230	28	20 ± 10 200 ± 10	0	45	90	10.3
		8.4	230	40	20 ± 10 200 ± 10	0	30	90	14.6

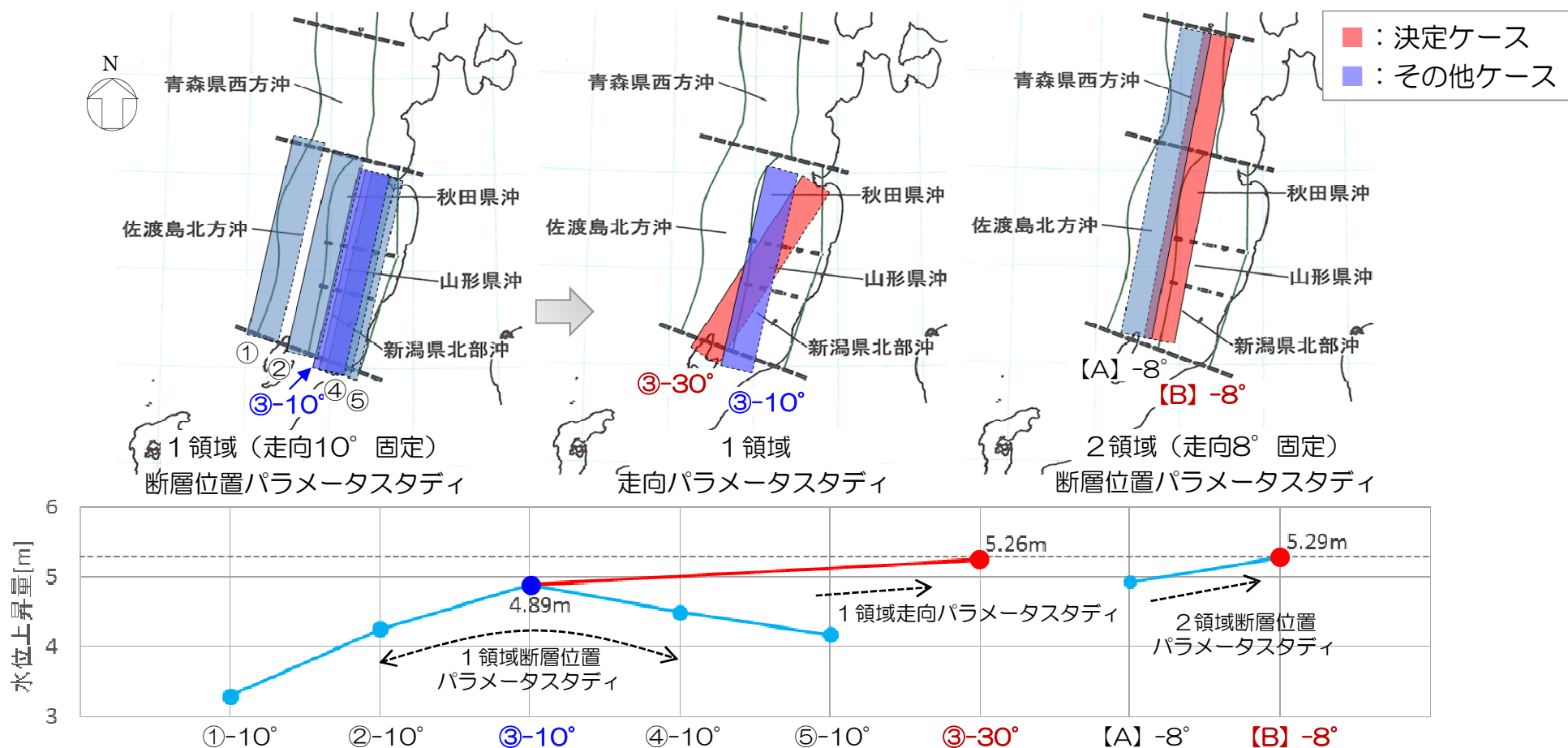
2領域モデルの断層諸元

波源	波源のモデル化（スケーリング則）	Mw	断層長さ L (km)	断層幅 W (km)	走向 θ (°)	上縁深さ d (km)	傾斜角 δ (°)	すべり角 λ (°)	すべり量 D (m)
2領域モデル	土木学会手法	8.4	350	30	8 188	0	30	90	15
		8.4	350	17	8 188	0	60	90	25
	強震動予測レシビ	8.3	350	23	8 188	0	60	90	13
		8.6	350	40	8 188	0	30	90	22

3. 4 日本海東縁部の地震による津波に関する補足（2）

概略パラメータスタディ結果の整理

- 1領域, 2領域決定ケースに対して, 「断層の位置」及び「走向」を変化させた場合の水位上昇量の変化について整理した。
- 同程度の走向で比較した場合, 2領域モデルの方が水位上昇量は大きくなる(1領域③-10° : 4.89m < 2領域【B】-8° : 5.29m)。さらに, 1領域モデルでは領域幅が広く, 発電所に正対する方向に走向を変化させることにより, 水位上昇量は大きくなり, 最終的に2領域モデルの水位上昇量と同程度(1領域③-30° : 5.26m < 2領域【B】-8° : 5.29m)になる。



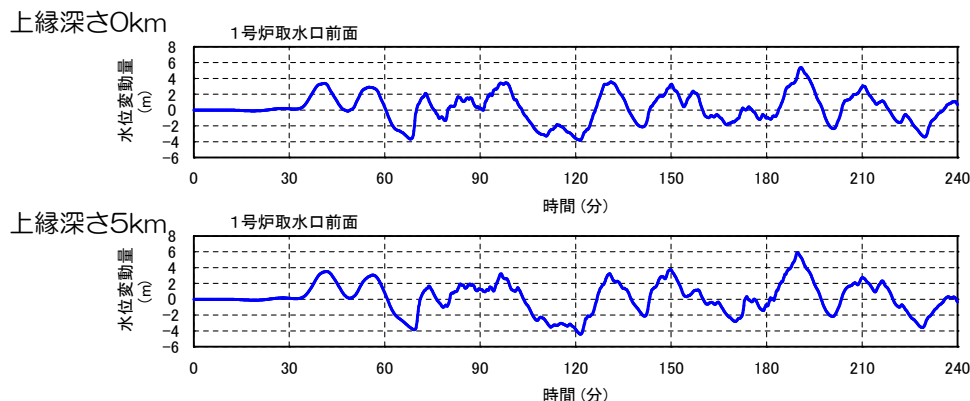
3. 4 日本海東縁部の地震による津波に関する補足（3）

断層上縁深さの影響に関する整理

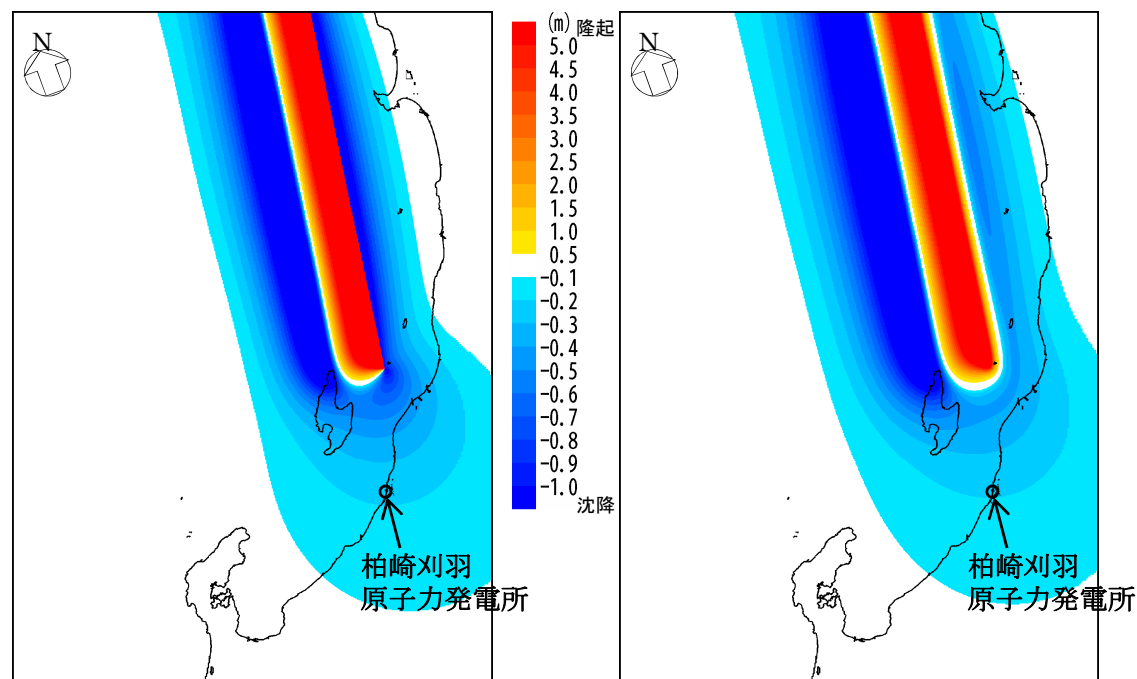
- 上縁深さは、土木学会手法に基づき、0kmを基本とした。
- 土木学会手法では、断層の上縁深さに関するパラメータスタディを実施することとしており、検討例では、上縁深さが最大水位上昇量に与える影響は着目点によってまちまちであることが示されている。
- 上記より、本評価では土木学会手法に従い、上縁深さを0, 2.5, 5kmに変化させたパラメータスタディを実施した。
- 評価の結果、2領域モデルでは上縁深さが深くなるほど最大水位上昇量は大きくなり、50cm程度上昇する結果となった。
- 上記の要因としては、地殻変動量分布の違いや反射波（最大時刻は190分頃）の影響などが考えられる。なお、地殻変動量の拡がりには上縁深さ5kmの方が大きくなる傾向が認められる。

2領域モデルにおける上縁深さに関するパラメータスタディ結果

すべり角 (°)	上縁深さ (km)	取水口前面	荒浜側防潮堤 前面
		最大水位 上昇量 (m)	最大水位 上昇量 (m)
100	0	+5.39	+5.48
	2.5	+5.71	+5.77
	5	<u>+5.90</u>	<u>+6.05</u>



1号炉取水口前面水位変動量 時刻歴波形



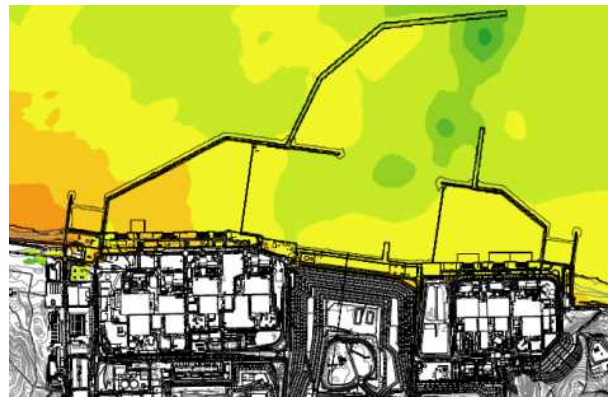
地殻変動量分布〔上縁深さ0km〕

地殻変動量分布〔上縁深さ5km〕

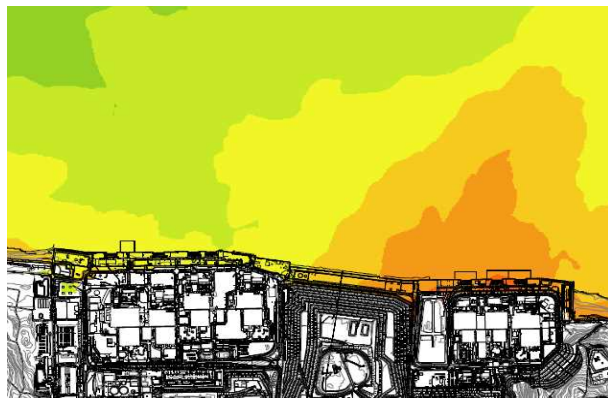
3. 5 地震による防波堤損傷を考慮した評価

3. 5 地震による防波堤の損傷を考慮した津波評価（上昇側）

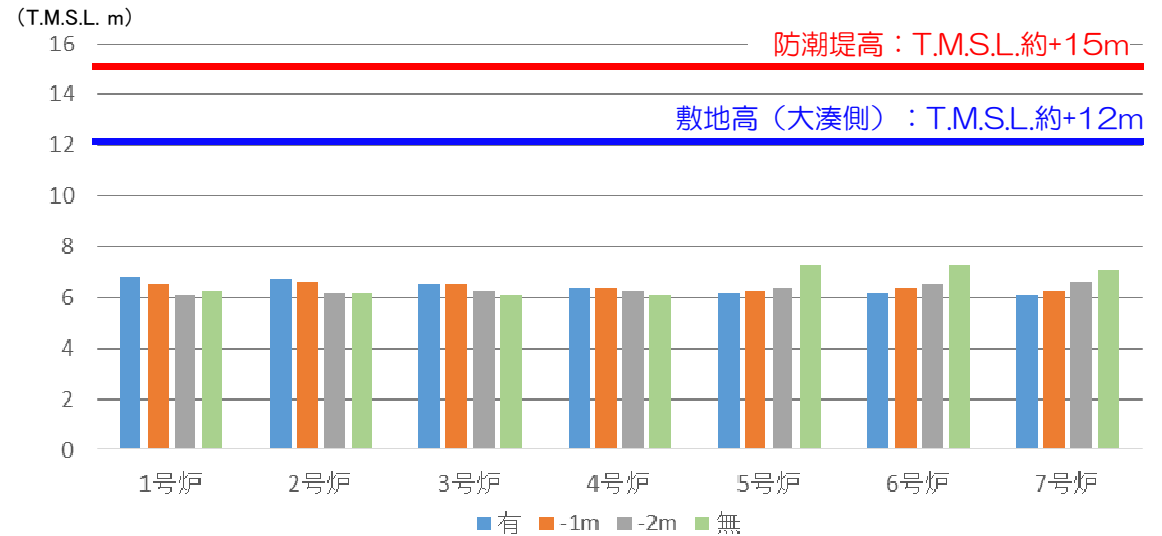
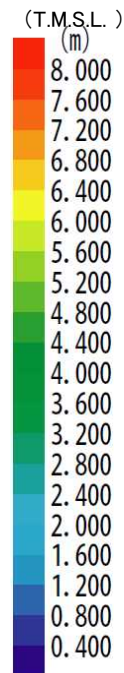
- 防波堤は津波影響軽減施設でないことから、防波堤の地震による沈下を考慮したケース（1m沈下，2m沈下），及び防波堤がないケースについて，取水口前面上昇側の基準津波波源である「日本海東縁部（2領域モデル）+海底地すべり」を用いた津波シミュレーションを実施した。
- 取水口前面水位は，荒浜側では低下，大湊側では上昇する傾向が認められるなど評価地点によってばらつきはあるものの，現行評価と大きな差はなく最高水位はT.M.S.L.+7.3mであり，荒浜側の防潮堤標高（T.M.S.L.+15m）や大湊側の敷地高（T.M.S.L.+12m）に対して十分に裕度があることを確認した。



防波堤 1 m 沈下ケース



防波堤がないケース



	取水口前面水位 T. M. S. L. (m)						
	1号炉	2号炉	3号炉	4号炉	5号炉	6号炉	7号炉
防波堤の沈下なし	+6.8	+6.7	+6.5	+6.4	+6.2	+6.2	+6.1
防波堤の沈下 1 m	+6.5	+6.6	+6.5	+6.4	+6.3	+6.4	+6.3
防波堤の沈下 2 m	+6.1	+6.2	+6.3	+6.3	+6.4	+6.5	+6.6
防波堤なし	+6.3	+6.2	+6.1	+6.1	+7.3	+7.3	+7.1

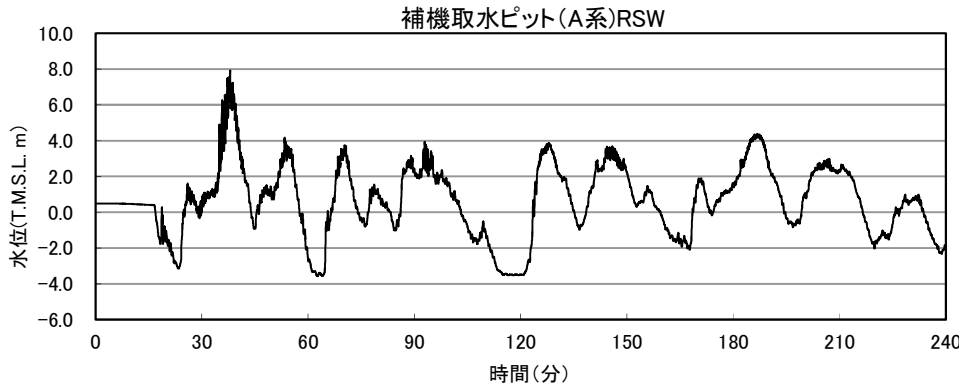
日本海東縁部（2領域モデル）+LS-2 最大水位上昇量分布図

取水口前面における水位

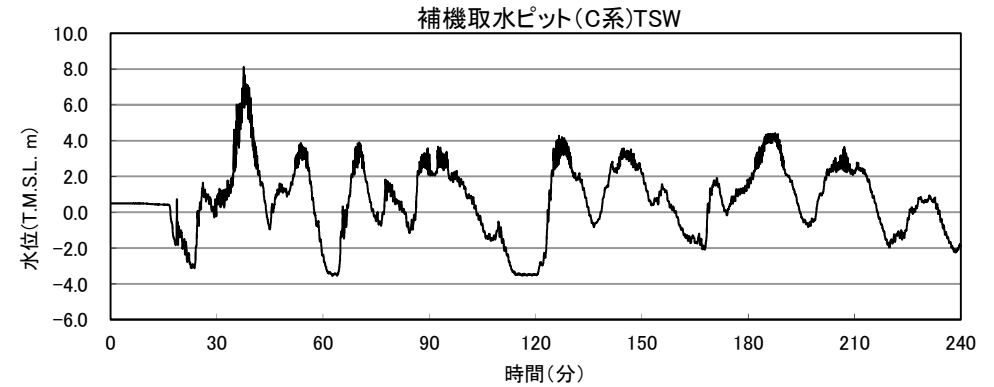
3. 5 地震による防波堤の損傷を考慮した津波評価（上昇側）

- 防波堤がないケースについて6, 7号炉取水路の管路解析を行い, 取水路の水位変動評価を実施した。
- 原子炉補機冷却海水ポンプ位置における最高水位はT.M.S.L.+8.1m程度であった。
- 取水路の水位変動に対して, 取水路点検用立坑の天端高はT.M.S.L.+12.2mであり, また補機取水槽の開口部 (T.M.S.L.+3.5m) には取水槽閉止板を設置することから, 敷地及び建屋への津波の流入がないことを確認した。

6号炉



7号炉

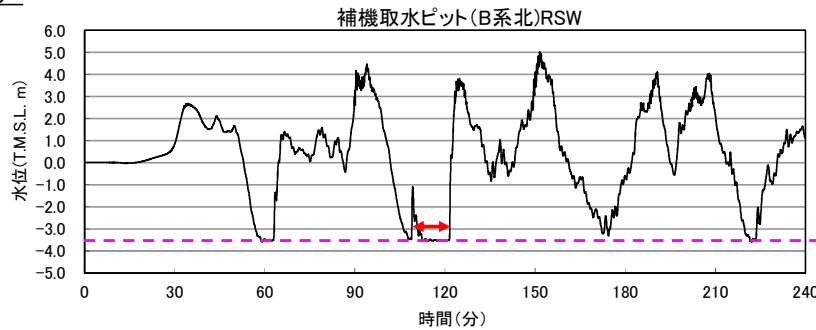


上昇側最大ケース		水 位					T. M. S. L. (m)
		取水口前面	補機海水ポンプ A系RSW	補機海水ポンプ B系北RSW	補機海水ポンプ B系南TSW	補機海水ポンプ B系南RSW	補機海水ポンプ C系TSW
6号炉	日本海東縁部 (2領域モデル+LS-2)	+7.28	+7.93	+7.72	+7.77	+7.77	+7.86
7号炉	日本海東縁部 (2領域モデル+LS-2)	+7.06	+7.78	+7.35	+7.36	+7.35	+8.12

3. 5 地震による防波堤の損傷を考慮した津波評価（下降側）

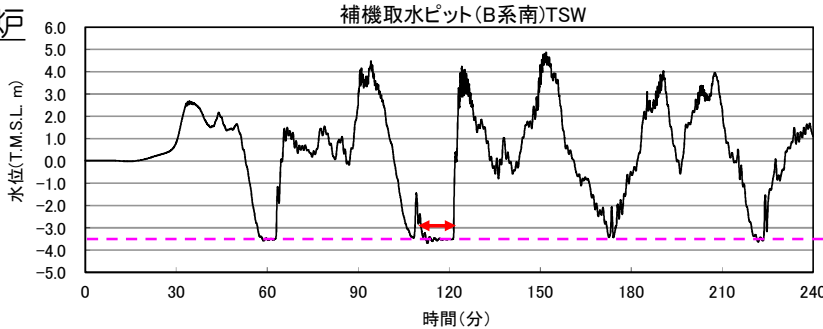
- 防波堤がないケースについて6, 7号炉取水路の管路解析を行い, 取水路の水位変動評価を実施した。
- 水位が貯留堰を下回る時間における取水量を算定し, 全体貯留量と比較した結果, 取水量に対する全体貯留量には十分な裕度があり, 取水への影響はないことを確認した。

6号炉

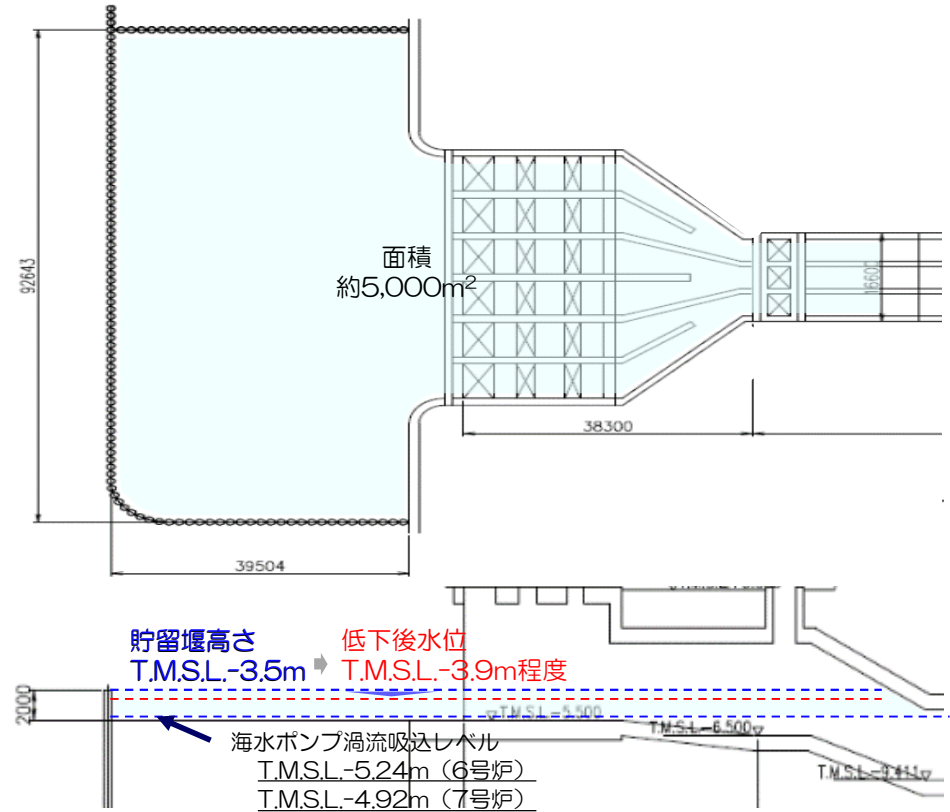


貯留堰高さ
-3.5m

7号炉



貯留堰高さ
-3.5m



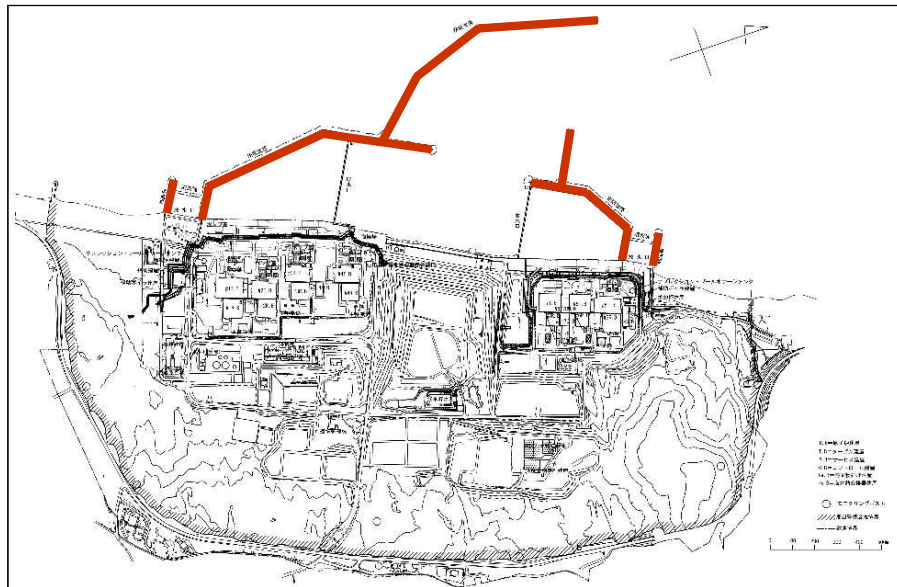
下降側最小ケース		貯留堰を下回る 継続時間	時間あたり取水量 (時間あたり水位低下量)	取水量 (水位低下量)	全体貯留量 (全体貯留高)
6号炉	日本海東縁部 (2領域モデル)	約10分	180m ³ /min (約0.04m/min)	約1,800m ³ (約0.4m)	約10,000m ³ (約1.74m)
7号炉	日本海東縁部 (2領域モデル)	約10分	180m ³ /min (約0.04m/min)	約1,800m ³ (約0.4m)	約8,000m ³ (約1.42m)

3. 5 地震による防波堤の損傷を考慮した津波評価

■ 新潟県中越沖地震における防波堤の沈下量

- 柏崎刈羽原子力発電所において、中越沖地震前（S61）と地震後（H25）に測量した約400箇所の防波堤天端高の差を地震による沈下量として算定。
- 沈下量※は、**平均値約20cm、最大値約90cm**

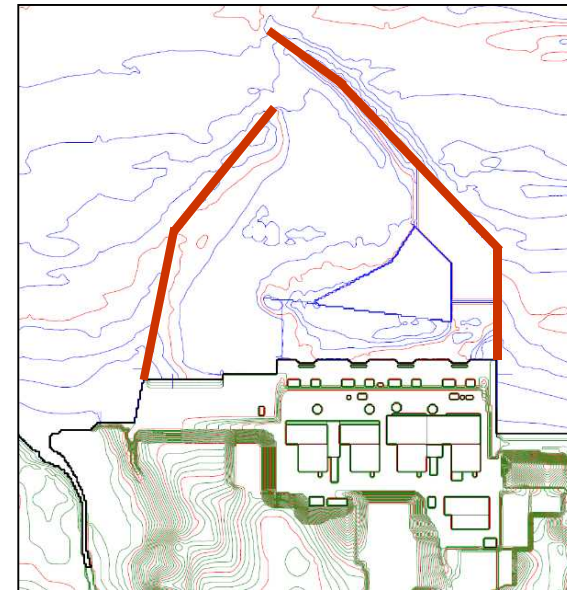
※地震時の地殻変動量（隆起7～10cm程度）を除く沈下量



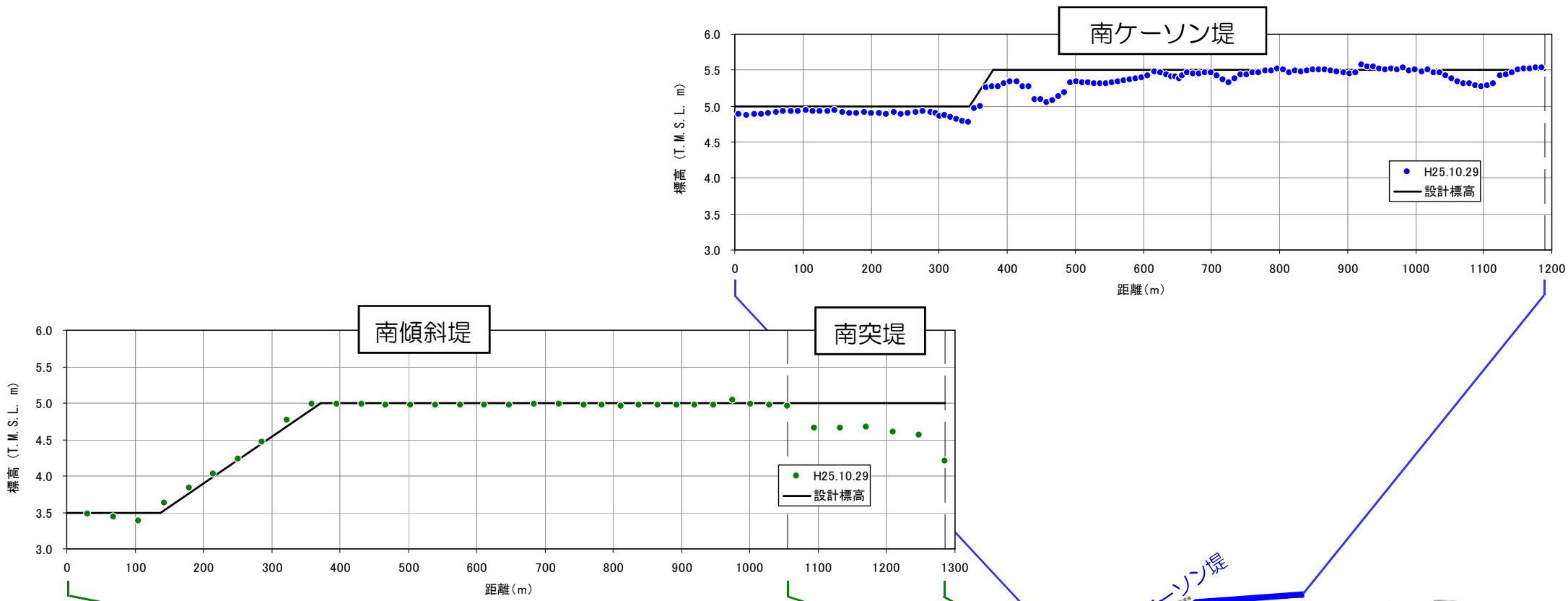
■ 東北地方太平洋沖地震における防波堤の沈下量

- 福島第二原子力発電所において、東北地方太平洋沖地震前と地震後（H23.9）に測量した約110箇所の防波堤天端高の差を地震による沈下量として算定。
- 沈下量※は、**平均値約15cm、最大値約35cm**

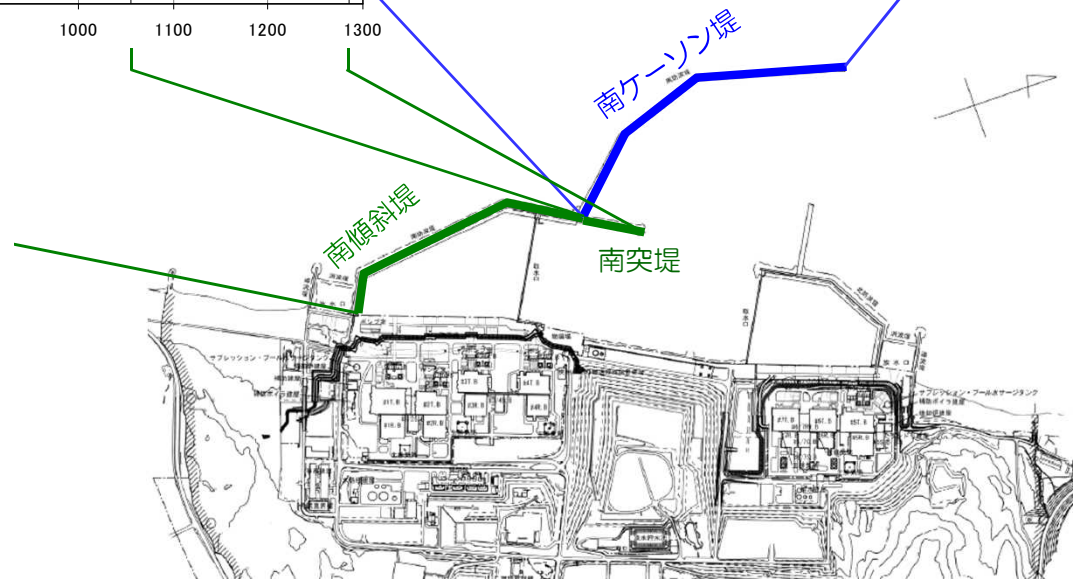
※地震時の地殻変動量（沈降60cm）を除く沈下量



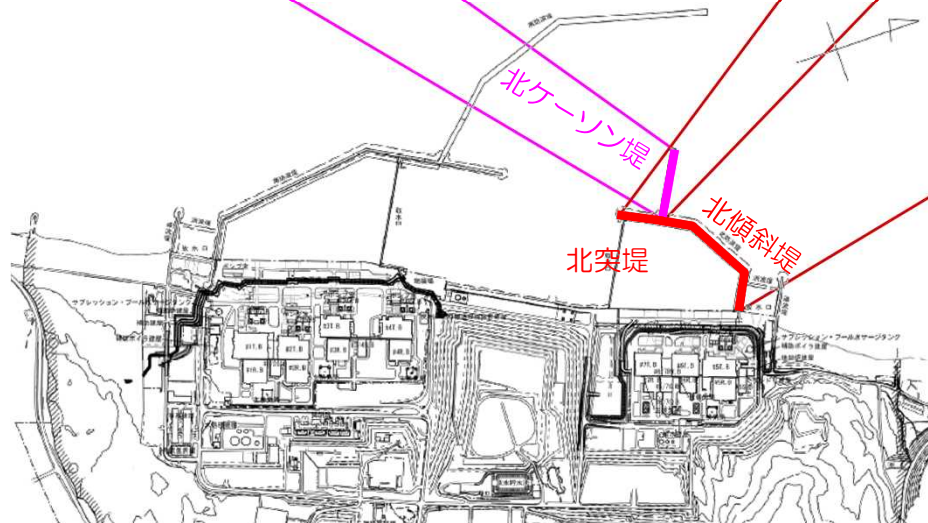
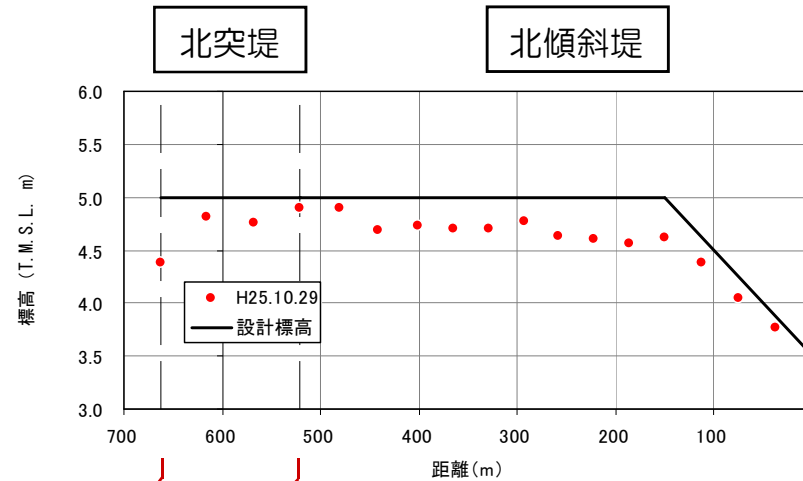
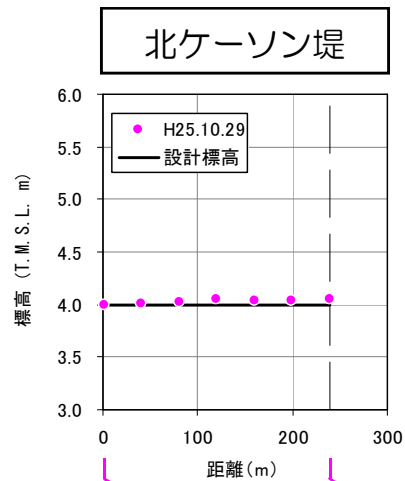
3. 5 【参考】新潟県中越沖地震における防波堤の沈下状況について（南側）



- 南ケーソン堤及び南突堤は、一部において沈下量が大きく、最大で0.8m（地震時の地殻変動量を除くと0.9m）程度。
- 南傾斜堤は、顕著な沈下は認められない。
- 防波堤の地盤は、西山層を基盤とし、その上位に古安田層が、最上位に沖積層が分布。



3. 5 【参考】新潟県中越沖地震における防波堤の沈下状況について（北側）



- 北傾斜堤及び北突堤は、一部において沈下量が大きく、最大で0.6m（地震時の地殻変動量を除くと0.7m）程度。
- 北ケーソン堤は、顕著な沈下は認められない。
- 防波堤の地盤は、西山層を基盤とし、その上位に古安田層が、最上位に沖積層が分布。

3. 6 空間格子間隔の妥当性について

3. 6 空間格子間隔の妥当性について

- 土木学会（2016）で示されているV字状の湾における格子間隔設定方法に基づき、津波シミュレーションで用いている格子間隔の妥当性を確認した。
- 港湾の奥行き（距離）を下図のとおり設定し、固有周期の算出には、メリアンの式を用いて算出した。
- 検討の結果、湾奥の格子間隔は22～38m以下、湾口～湾中央部の格子間隔は78～134m以下と算定。
- 津波シミュレーションで用いている格子間隔は5mであることから、土木学会の方法により算定される最小格子間隔に対して十分小さいことを確認した。

土木学会(2016) による格子間隔の設定

✓ 港湾平均波長： $L_v = T \cdot (g \cdot h / 2)^{1/2}$

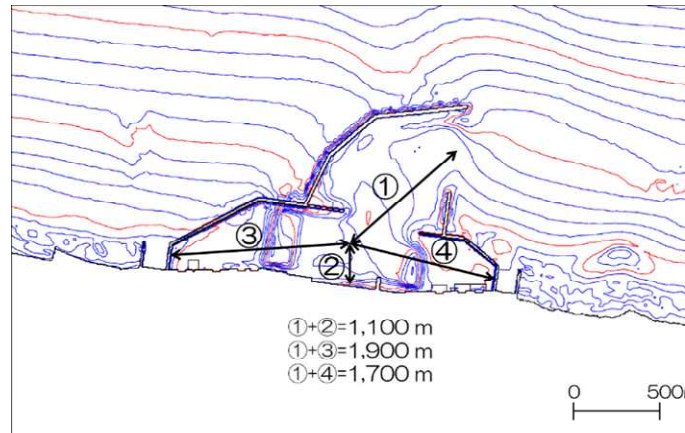
✓ 湾中央部より奥の平均波長： $L_o = T \cdot (g \cdot h / 4)^{1/2}$

T ：メリアンの式による固有周期(s),

l ：湾口～湾奥の距離(m),

h ：湾口水深(m), g ：重力加速度

区分	湾口～湾奥距離 l と湾内平均波長 L_v との関係	格子間隔 Δx の目安
湾口～湾中央部	—	L_v の 1/40 程度
湾奥	$L_v/l < 6$	L_o の 1/100 以下
	$6 \leq L_v/l < 10$	L_o の 1/50 程度
	$10 \leq L_v/l$	L_o の 1/40 程度



評価点位置図

メリアンの式による固有周期の検討

$$T = \frac{4l}{(2n-1)\sqrt{gh}}$$

T ：周期(s), l ：湾長(m), h ：水深(m)

n ：モード, g ：重力加速度

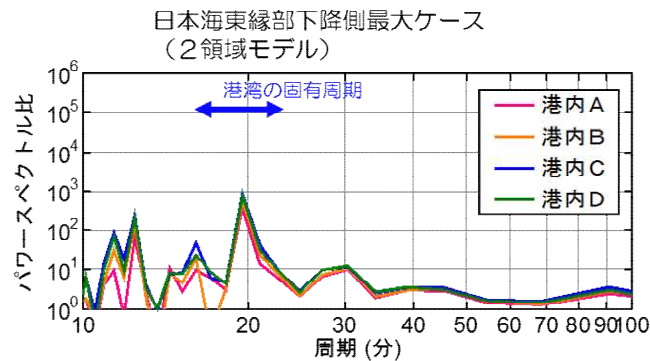
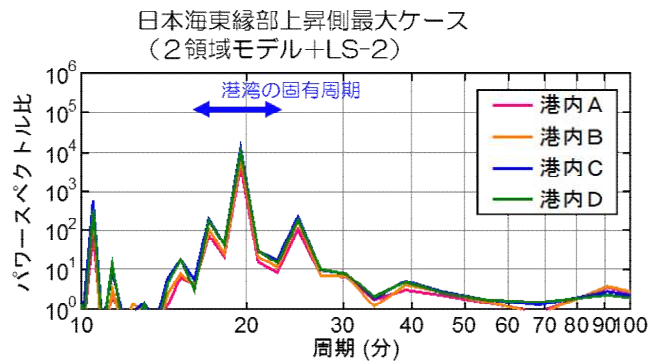
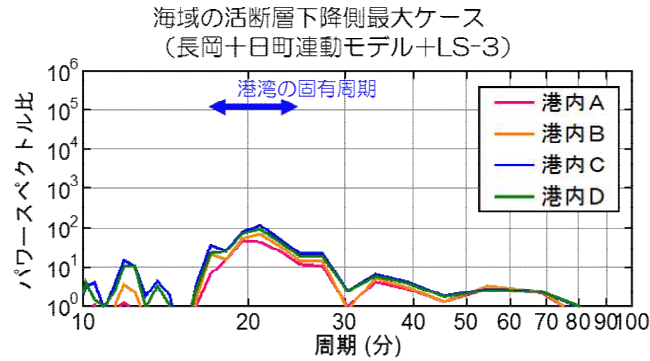
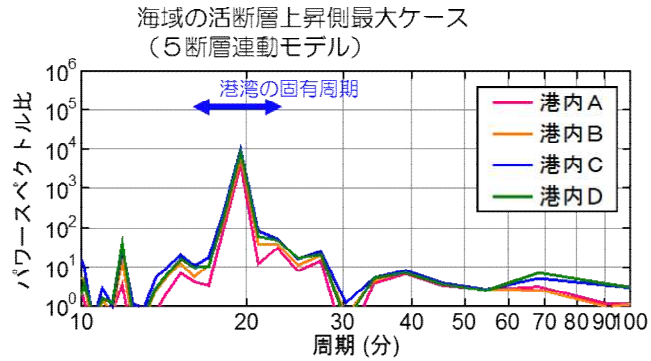
場所	①+②	①+③	①+④
T (s)	506	874	782
h (m)	7.7	7.7	7.7
l (m)	1,100	1,900	1,700
L_v (m)	3,111	5,374	4,808
L_o (m)	2,200	3,800	3,400
L_v / l	2.8	2.8	2.8
湾奥の Δx (m)	22	38	34
湾口～湾中央部の Δx (m)	78	134	120

3. 6 【参考】 港湾内の固有振動に関する影響評価



評価点位置図

- 港湾内の固有振動について、基準津波の時刻歴波形を用いて検討を実施した。
- 港湾内の4点と基準津波策定位置のパワースペクトル比から、どの波源においても周期20分程度にピークが確認されることから、港湾内の固有周期が20分程度と想定した。
- 上記の固有周期に対しても、土木学会の方法により算定される最小格子間隔に対して十分小さいことを確認した。

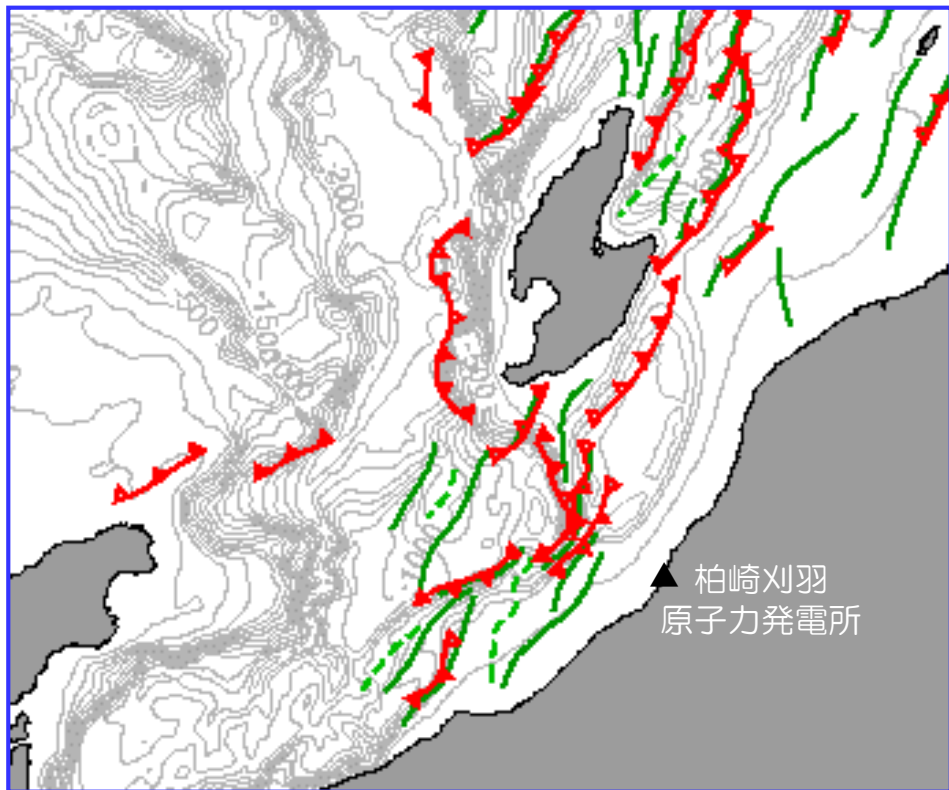
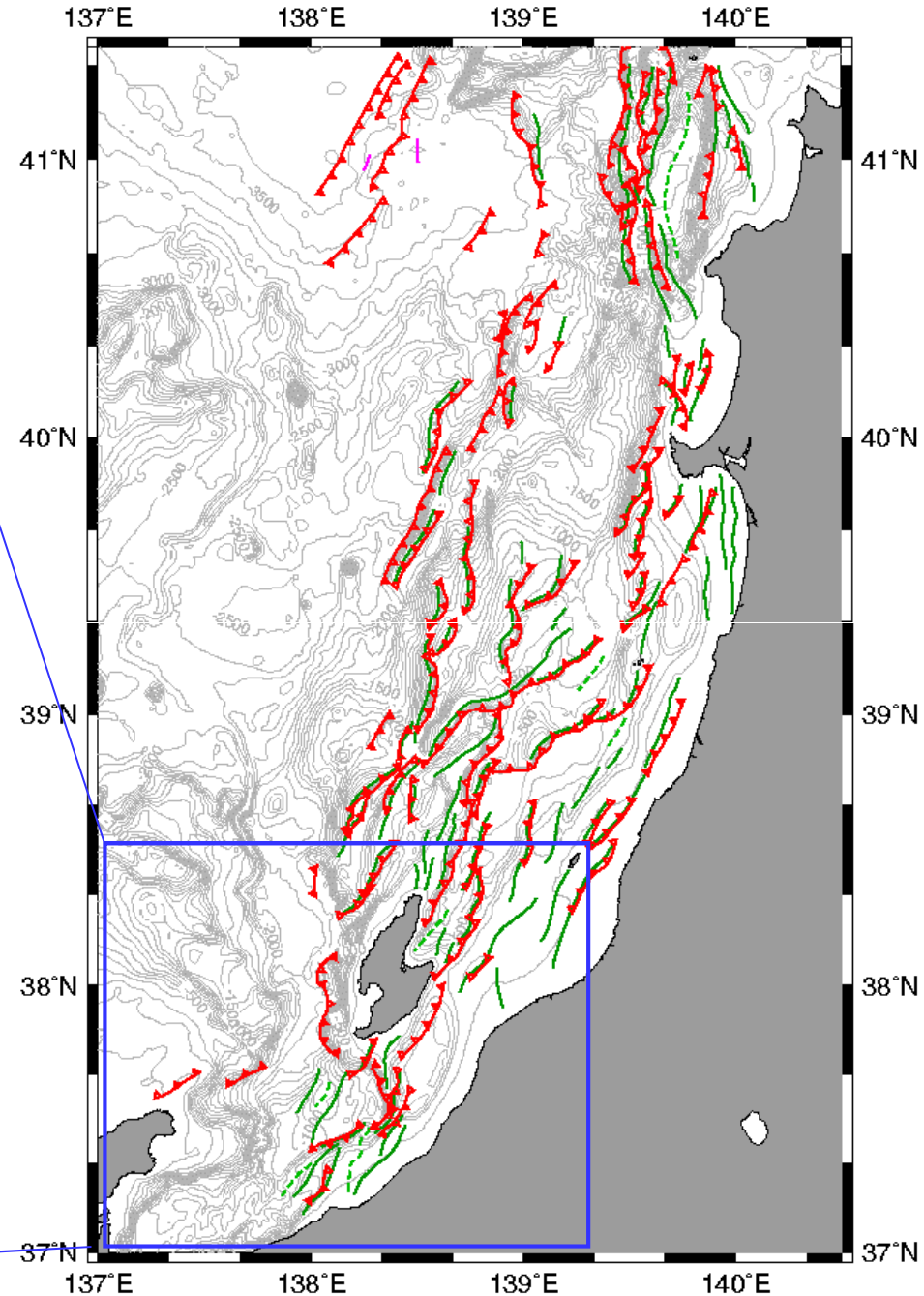


T (s)	1,200
h (m)	7.7
l (m)	(1,900)
L_v (m)	7,375
L_o (m)	5,215
L_v / l	3.9
湾奥の Δx (m)	52
湾口～ 湾中央部の Δx (m)	184

4. 1 海底地すべりに関する文献調査

4. 1 文献調査 ①日本周辺海域の中新世最末期以降の地質構造発達史

- 徳山ほかによる「日本周辺海域の中新世最末期以降の地質構造発達史（2001）」では，敷地周辺海域に海底地すべりは示されていない。



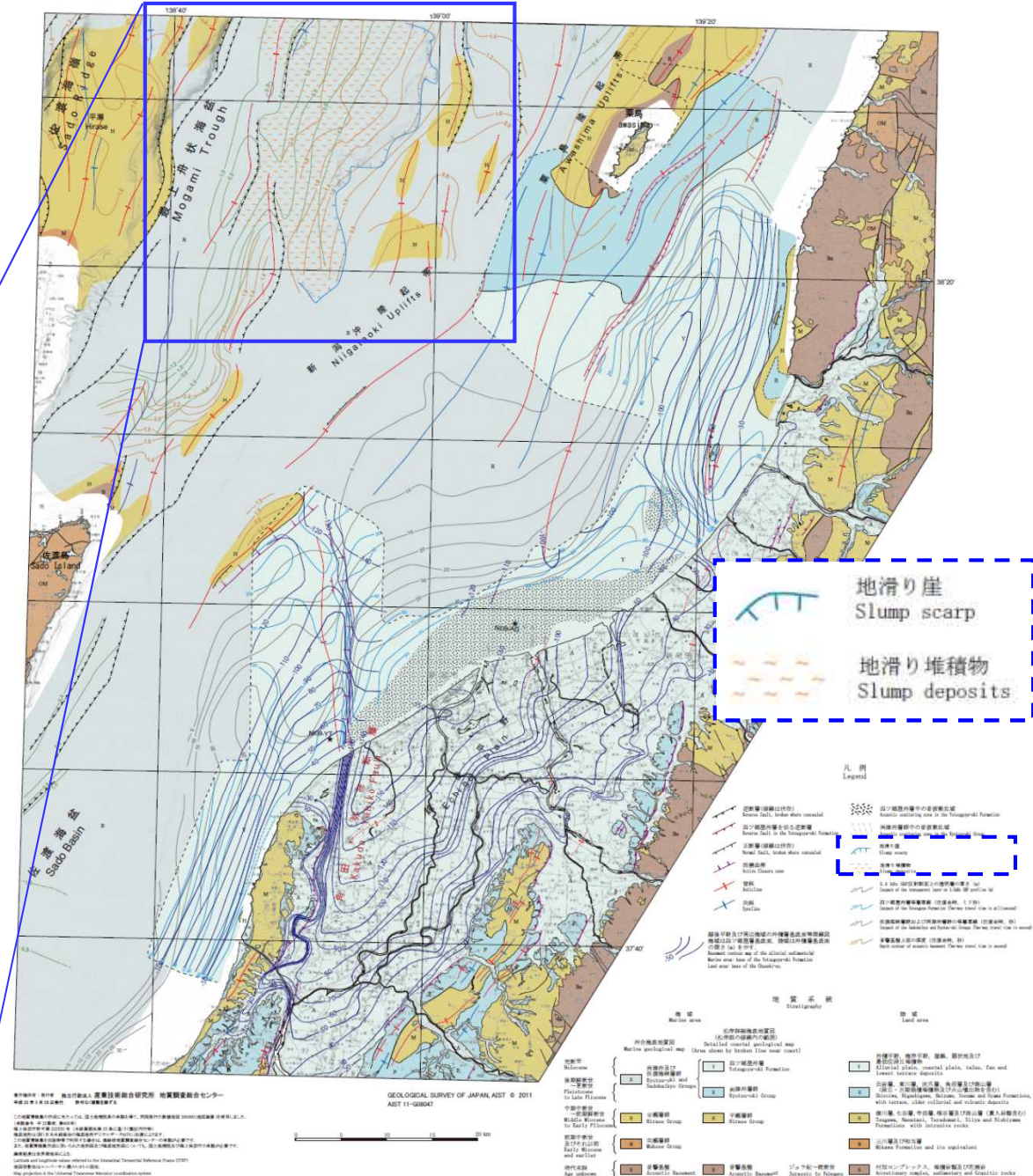
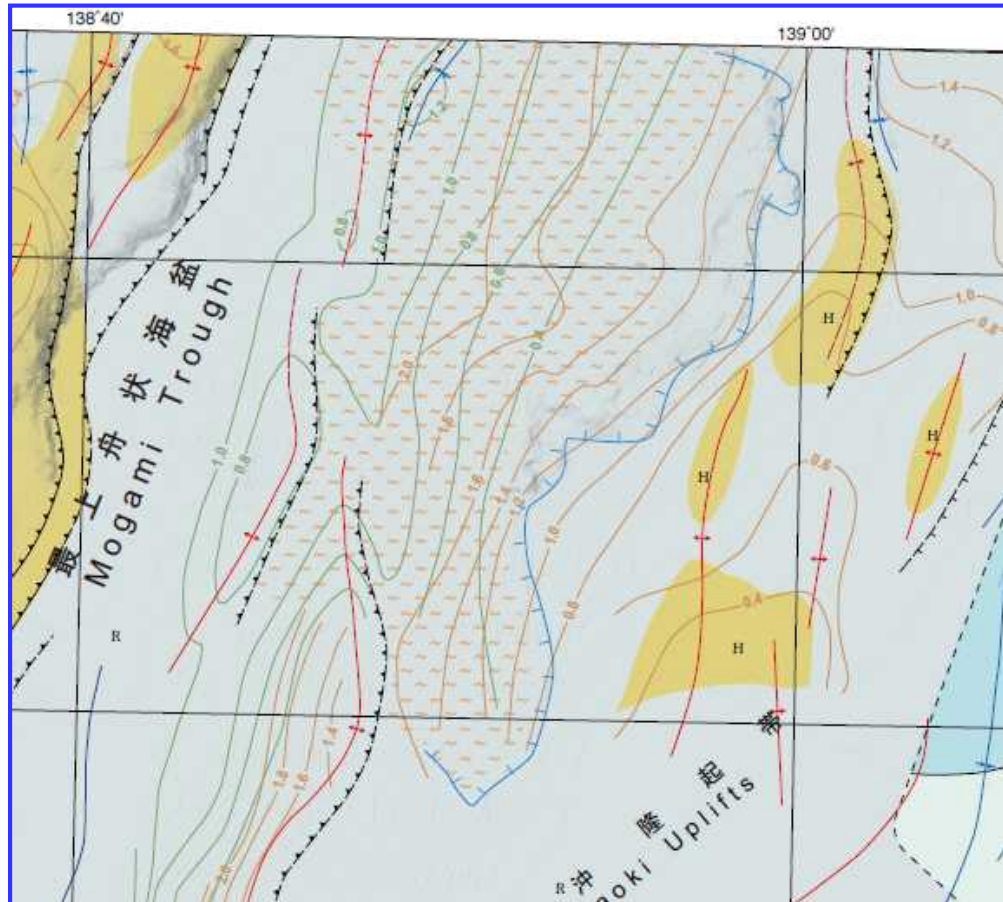
構造図 凡例

	正断層
	逆断層
	断層(その他)
	背斜
	向斜
	地滑り

徳山ほか（2001）を編集

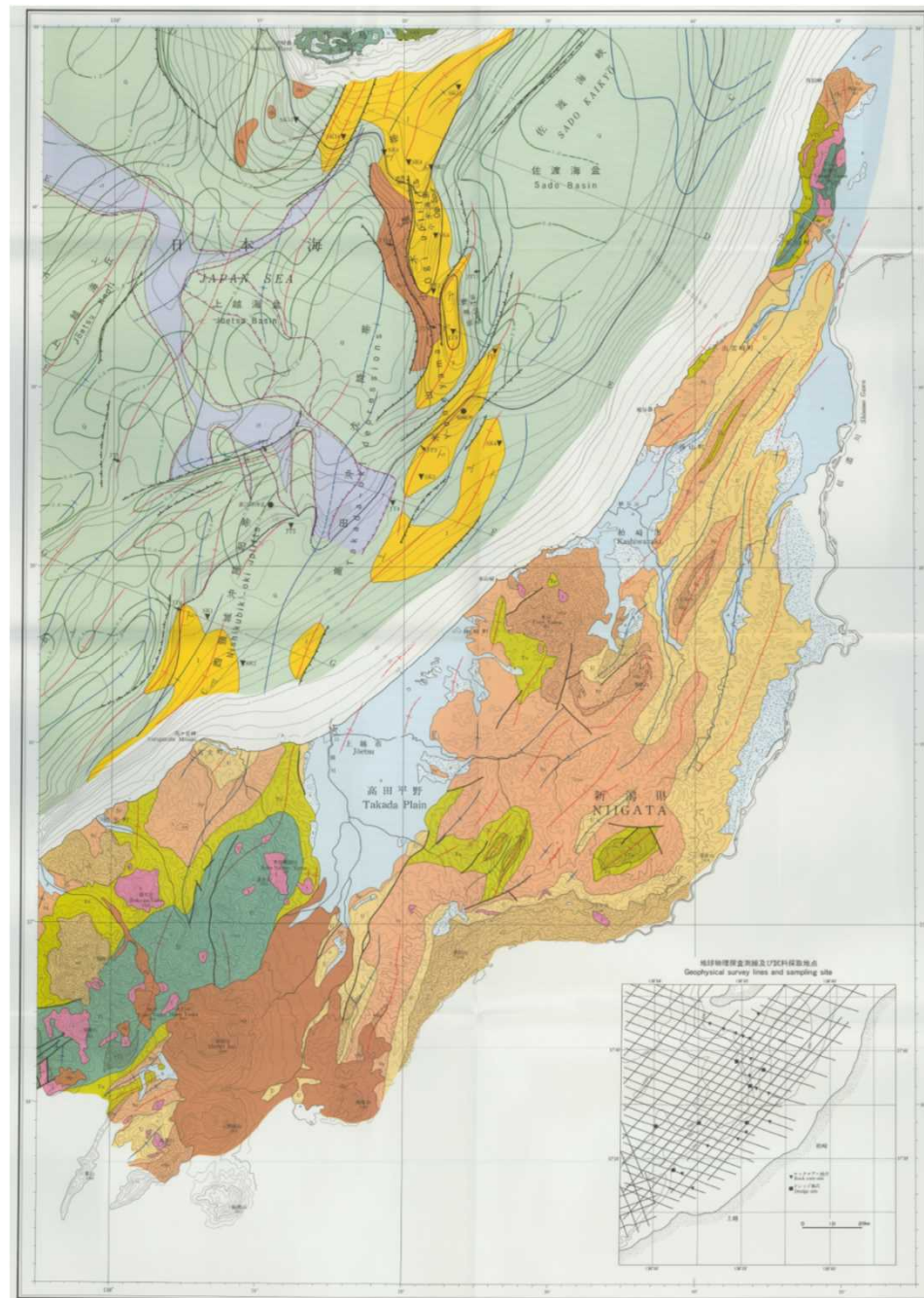
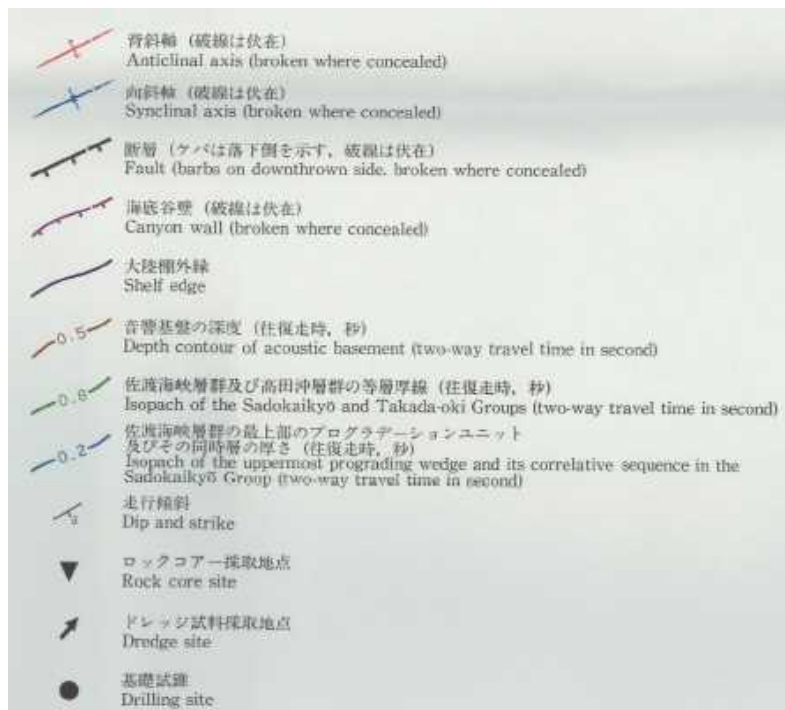
4. 1 文献調査 ②新潟沿岸域20万分の1 海底地質図説明書

- 井上ほかによる「新潟沿岸域20万分の1海底地質図説明書，海陸シームレス地質情報集（2011）」では，佐渡島の北東沖に地滑すべり崖・地すべり堆積物が示されている。



4. 1 文献調査 ③佐渡島南方海底地質図

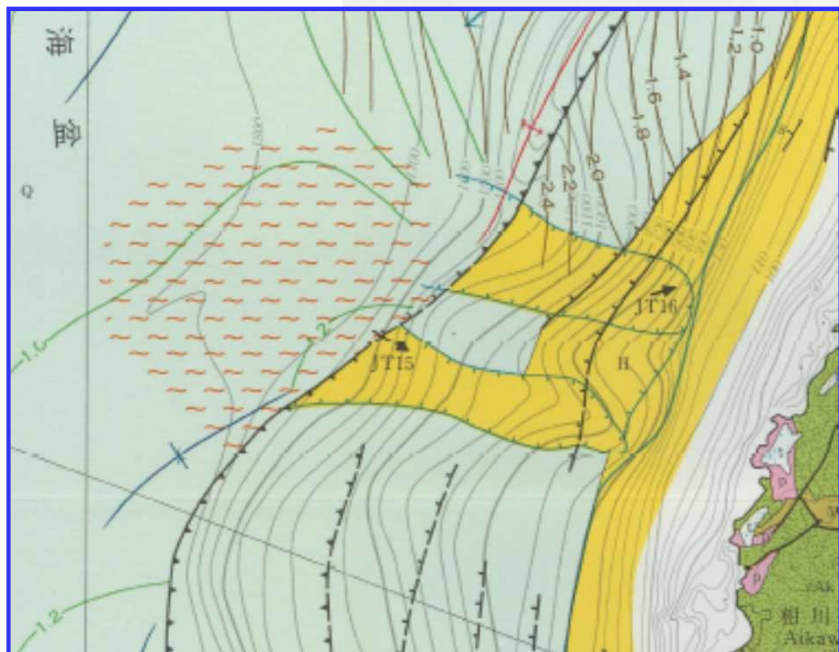
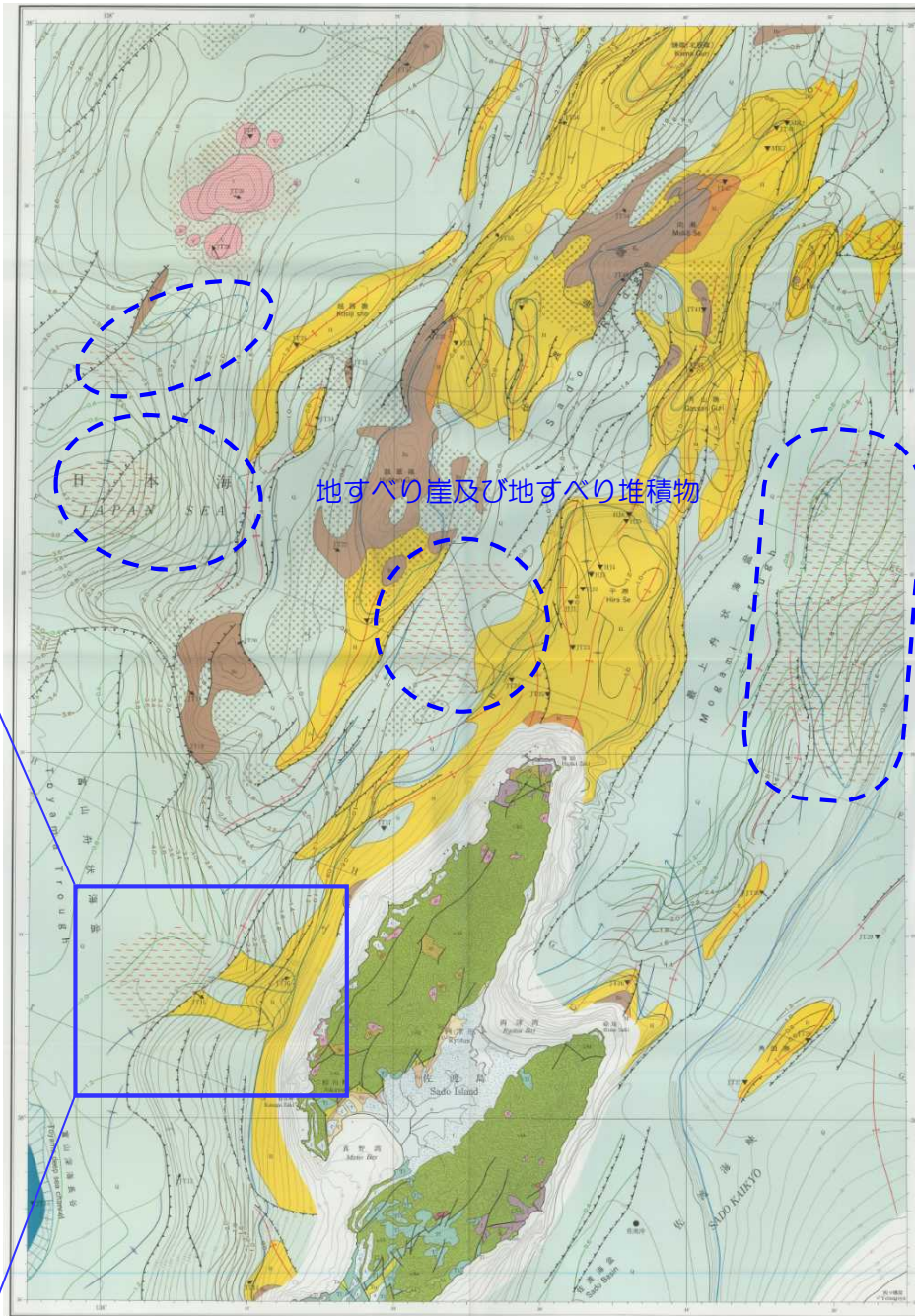
- 岡村ほかによる「20万分の1 佐渡島南方海底地質図 (1994)」では、海底地すべり地形は示されていない。



岡村ほか (1994) より抜粋

4. 1 文献調査 ④佐渡島北方海底地質図

- 岡村ほかによる「20万分の1 佐渡島北方海底地質図（1995）」では、佐渡島の西方沖などに地すべり崖・地すべり堆積物が示されている。

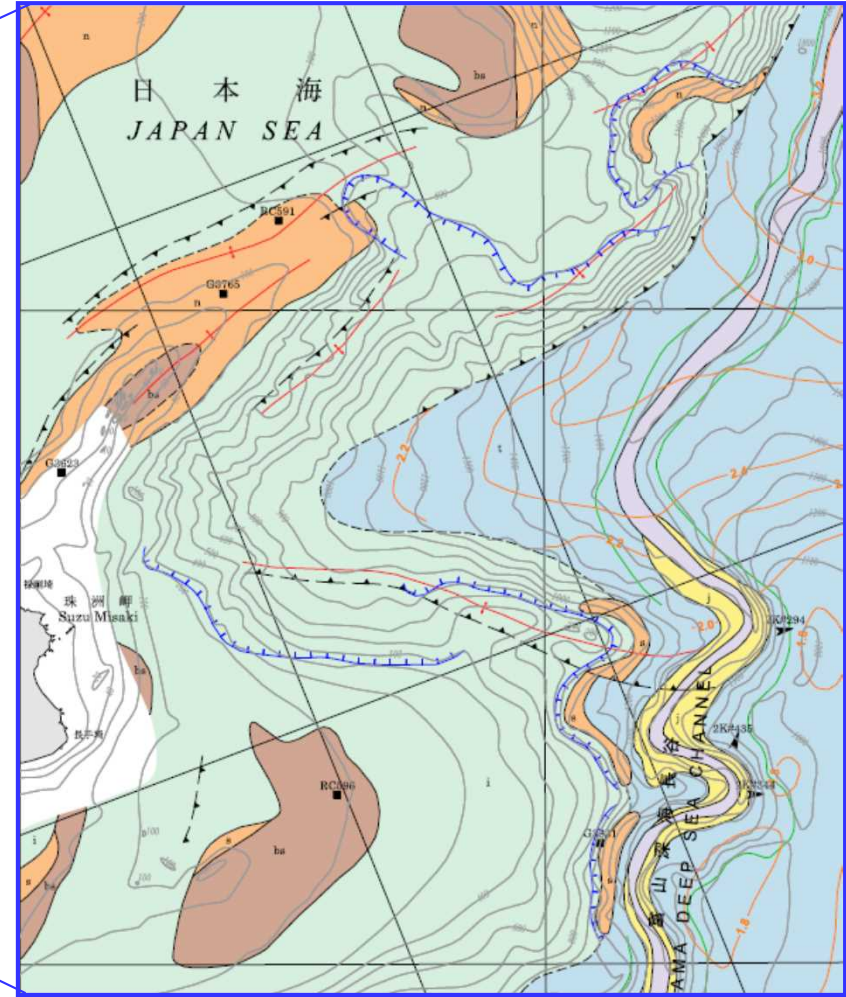
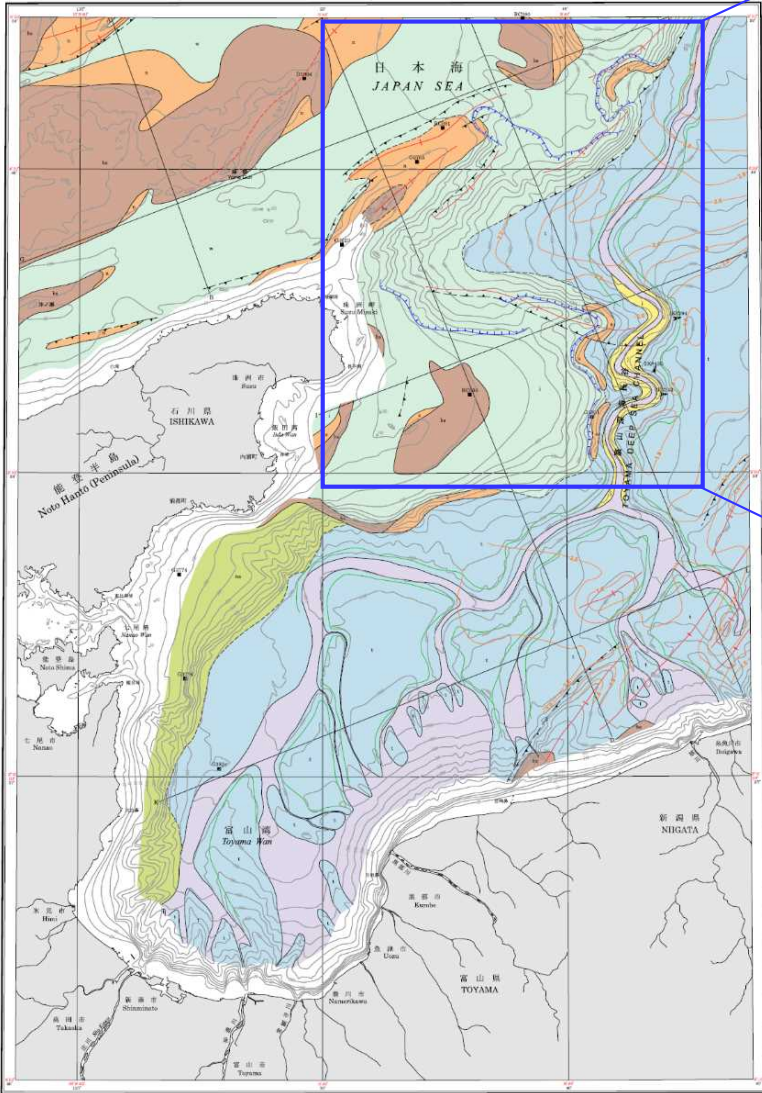


岡村ほか（1995）に加筆



4. 1 文献調査 ⑤能登半島東方海底地質図

- 岡村による「20万分の1 能都半島東方海底地質図（2002）」では，能登半島の東方沖・北東沖に崩落崖上端が示されている。



逆断層（破線は伏在断層） Reverse fault (broken line where buried)	崩落崖上端 Upper margin of slope failure
正断層（破線は伏在断層） Normal fault (broken line where buried)	海底谷壁上端 Upper edge of canyon wall
背斜軸（破線は推定背斜軸） Anticlinal axis (broken line indicates inferred axis)	ファンデルタ及びチャネル Fan delta and channel
向斜軸 Synclinal axis	RC596 サンプル採取地点 (Dはドレッジ, RCはロックコア, Gはグラブ採取) Sampling site (D:dredge, RC:rock core, G:grab sampler)
上層沖層群上面等深度線 (秒) Depth contour of upper boundary of Joetsu Group (in second)	2k#344 しんかい2000潜航地点 Dive site of submersible "Shinkai2000"

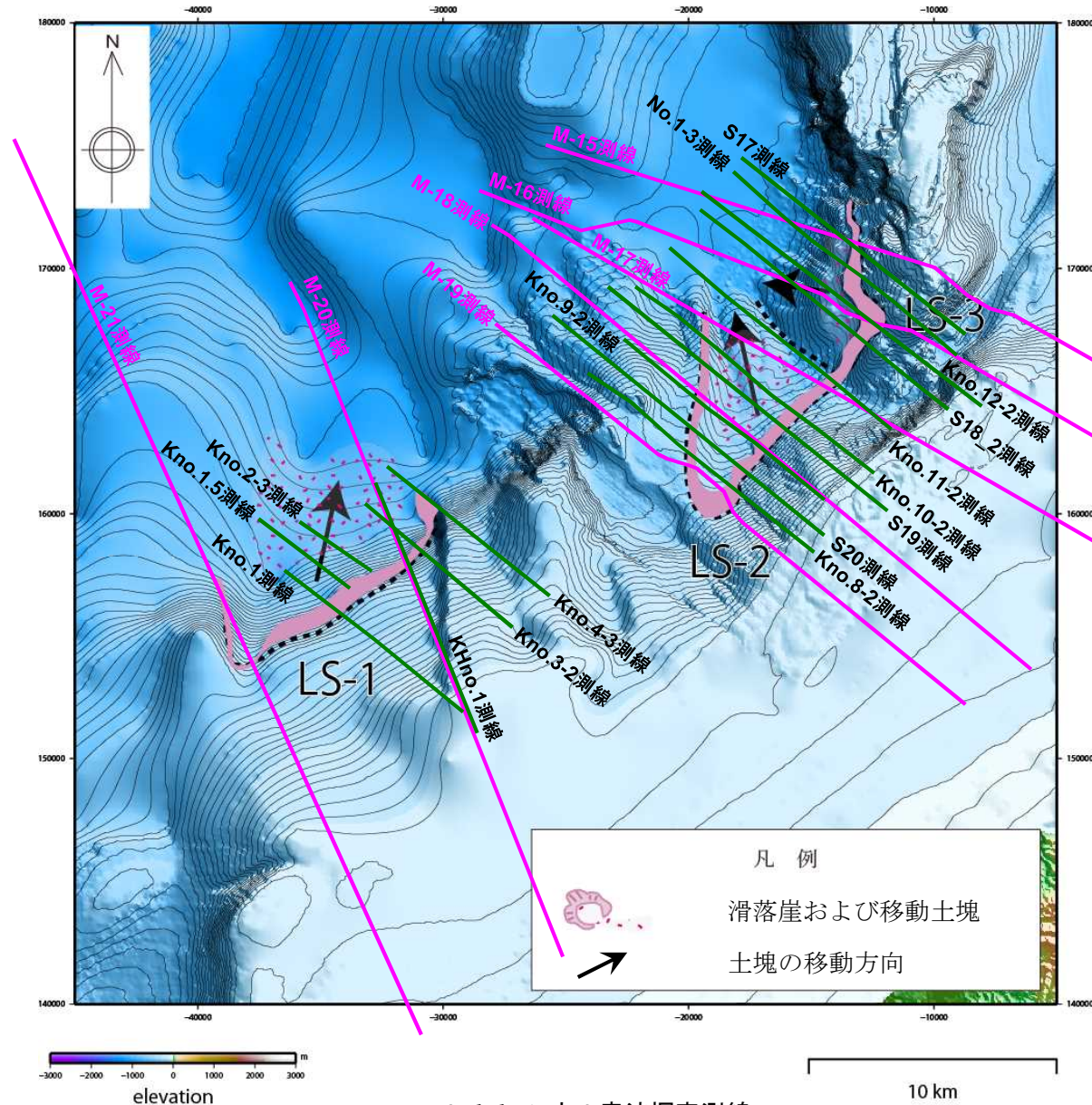
岡村（2002）に加筆

4. 2 海底地すべりに関する海上音波探査記録の参照

4. 2 海上音波探査記録の参照

- 敷地周辺海域では、マルチチャンネル及びシングルチャンネルの海上音波探査を実施している。
- 海底地形判読結果から抽出した海底地すべりLS-1, LS-2, LS-3について、海上音波探査の測線位置との位置関係を示す。
- また、海底地すべりLS-1, LS-2, LS-3と、音波探査記録及び海底地質断面との関係を次ページ以降に整理した。

LS-1, LS-2, LS-3の音波探査記録（海底地形及び反射面）は、海底地形判読の結果と整合的であることを確認した。



- マルチチャンネル音波探査測線
- シングルチャンネル音波探査測線

音波探査測線位置図

4. 2 海上音波探査記録の参照

■ LS-1

測線	海底地形	反射面
M21	凹地形	乱れは認められない
Kno. 1	凹凸地形	乱れが認められる
Kno. 1.5	凹凸地形	表層下部に堆積層の乱れが認められる
Kno. 2-3	凹凸地形	斜面基底部付近では反射面の乱れが認められない
M20	特記事項なし	斜面基部に地層の不連続及び地層の欠如が認められる
KHno. 1	特記事項なし	斜面基部の記録が不明瞭
Kno. 3-2	凹凸地形	乱れは認められない
Kno. 4-3	特記事項なし	斜面基部に反射面の不連続が認められる

LS-1は、海底地形及び反射面から、地すべりの可能性が認められた。

■ LS-1南方

測線	海底地形	反射面
M21	特記事項なし	乱れは認められない
Kno. 1	特記事項なし	乱れは認められない
M20	特記事項なし	乱れは認められない
KHno. 1	特記事項なし	乱れは認められない

LS-1南方は、海底地形及び反射面から、地すべりの可能性は認められない。

■ LS-2

測線	海底地形	反射面
M19	凹状の地形	乱れは認められない
S20	凹状の地形	乱れは認められない
Kno. 8-2	凹状の地形	乱れは認められない
Kno. 9-2	凹状の地形	乱れは認められない
M18	凹状の地形	乱れは認められない
S19	凹状の地形	乱れは認められない
Kno. 10-2	凹凸地形	乱れは認められない
M17	凹状の地形	乱れは認められない
Kno. 11-2	凹凸地形	乱れは認められない

LS-2は、海底地形から地すべりの可能性が認められたが、反射面からは地すべりの可能性は認められない。

■ LS-3

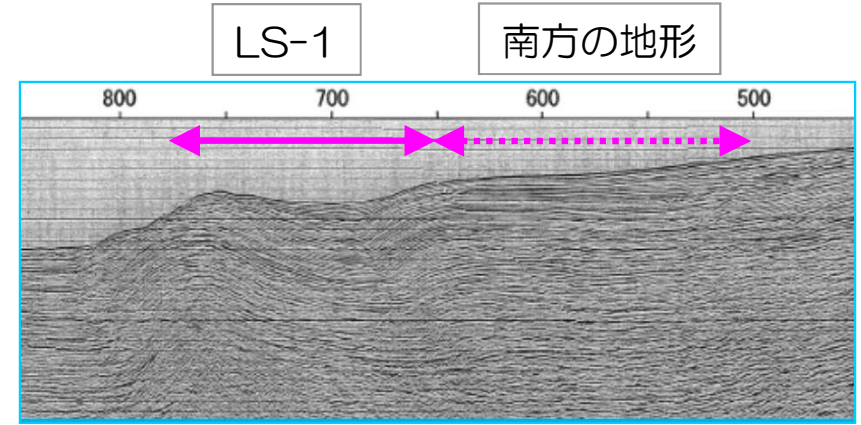
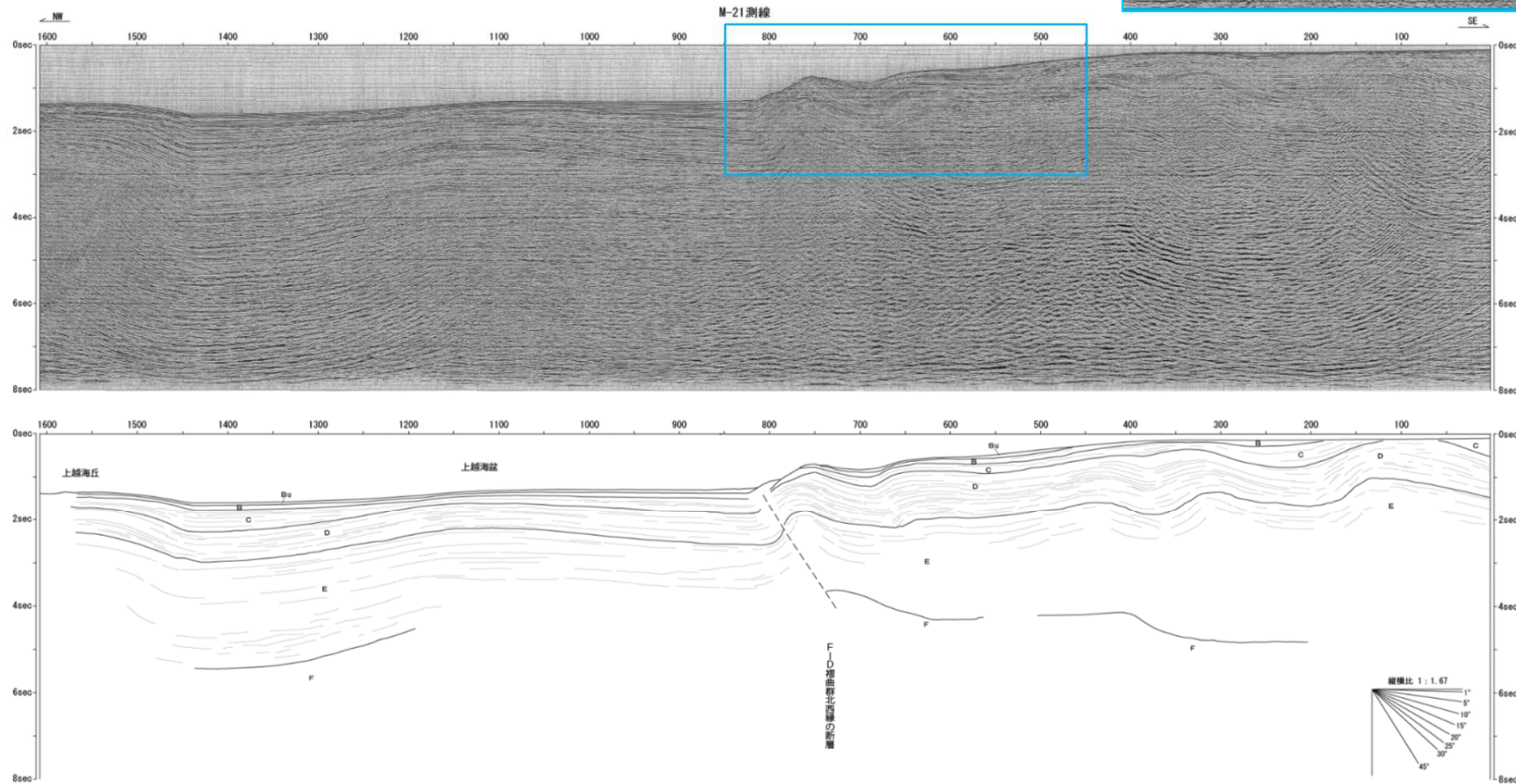
測線	海底地形	反射面
Kno. 12-2	凹凸地形	乱れが認められる
S18_2	凹凸地形	乱れが認められる
M16	凹凸地形	乱れは認められない
No. 1-3	凹凸地形	斜面基部では記録が不明瞭
M15	凹凸地形	堆積層の乱れがやや認められる
S17	凹凸地形	斜面から基部にかけて記録が不明瞭

LS-3は、海底地形及び反射面から、地すべりの可能性が認められた。

4. 2 海上音波探査記録の参照

■ M-21測線 (マルチチャンネル)

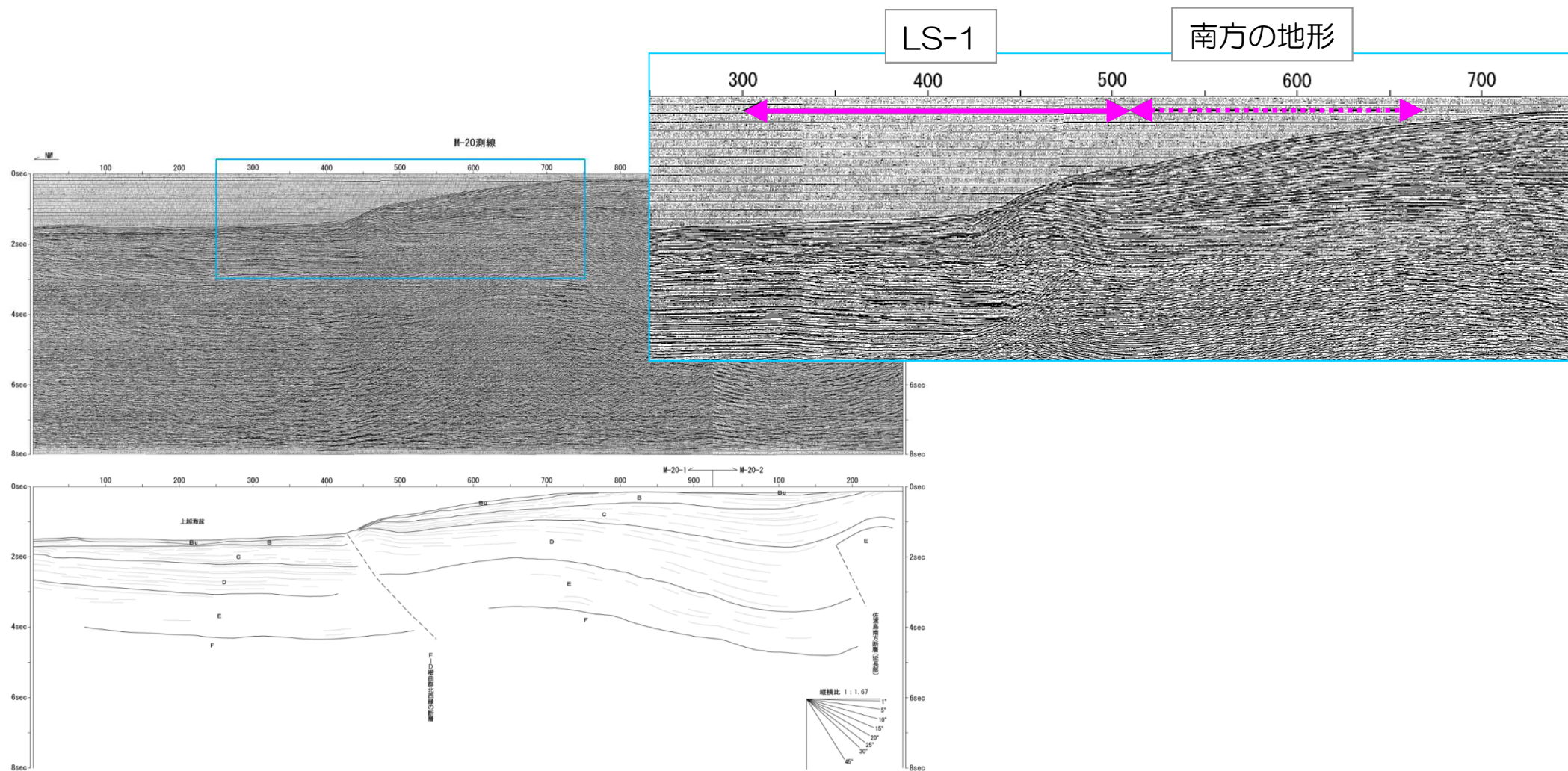
- LS-1に対応する海底面に凹状の地形が認められるが、堆積層に乱れは認められない。
- LS-1南方斜面において、堆積層は成層しており、乱れは認められない。



4. 2 海上音波探査記録の参照

■ M-20測線 (マルチチャンネル)

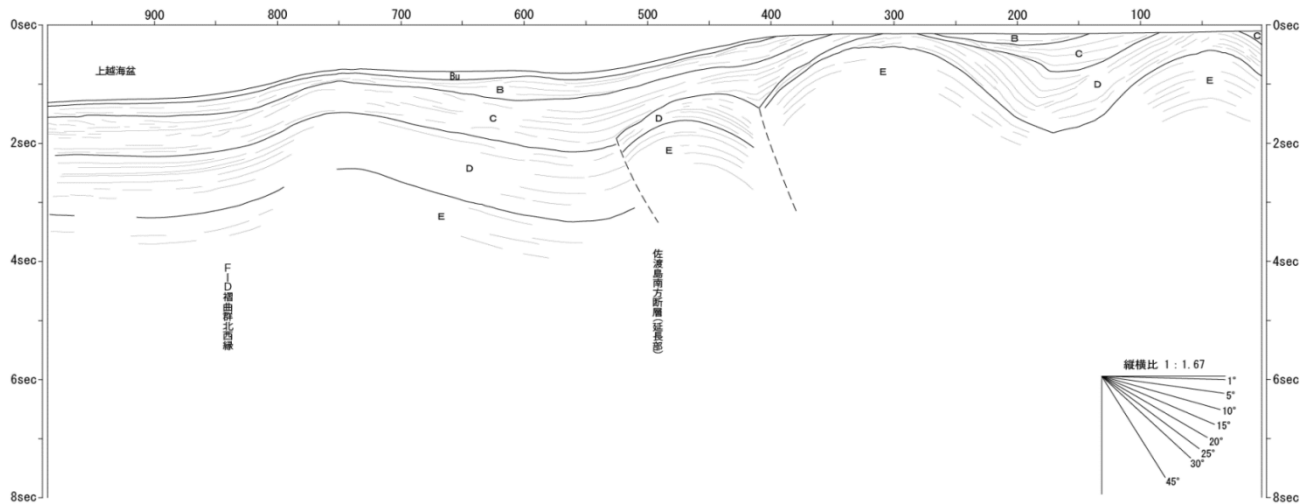
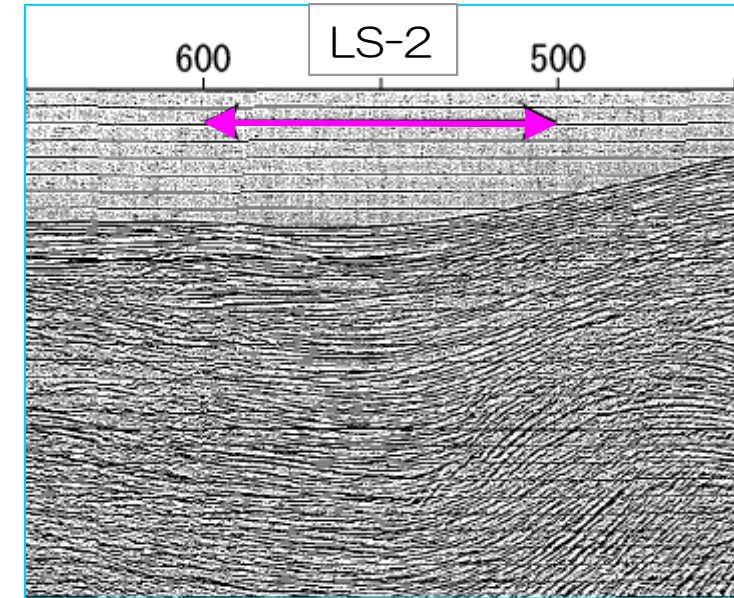
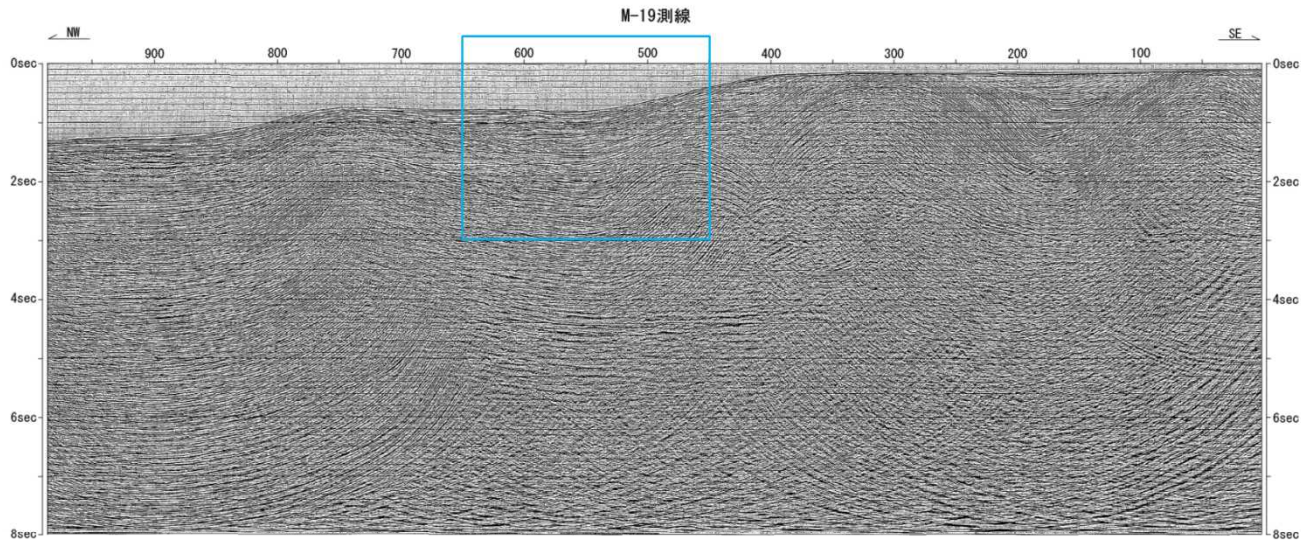
- LS-1に対応する斜面基部付近に、地層の不連続及び地層の欠如が認められる。
- LS-1南方斜面において、堆積層は成層しており、乱れは認められない。



4. 2 海上音波探査記録の参照

■ M-19測線 (マルチチャンネル)

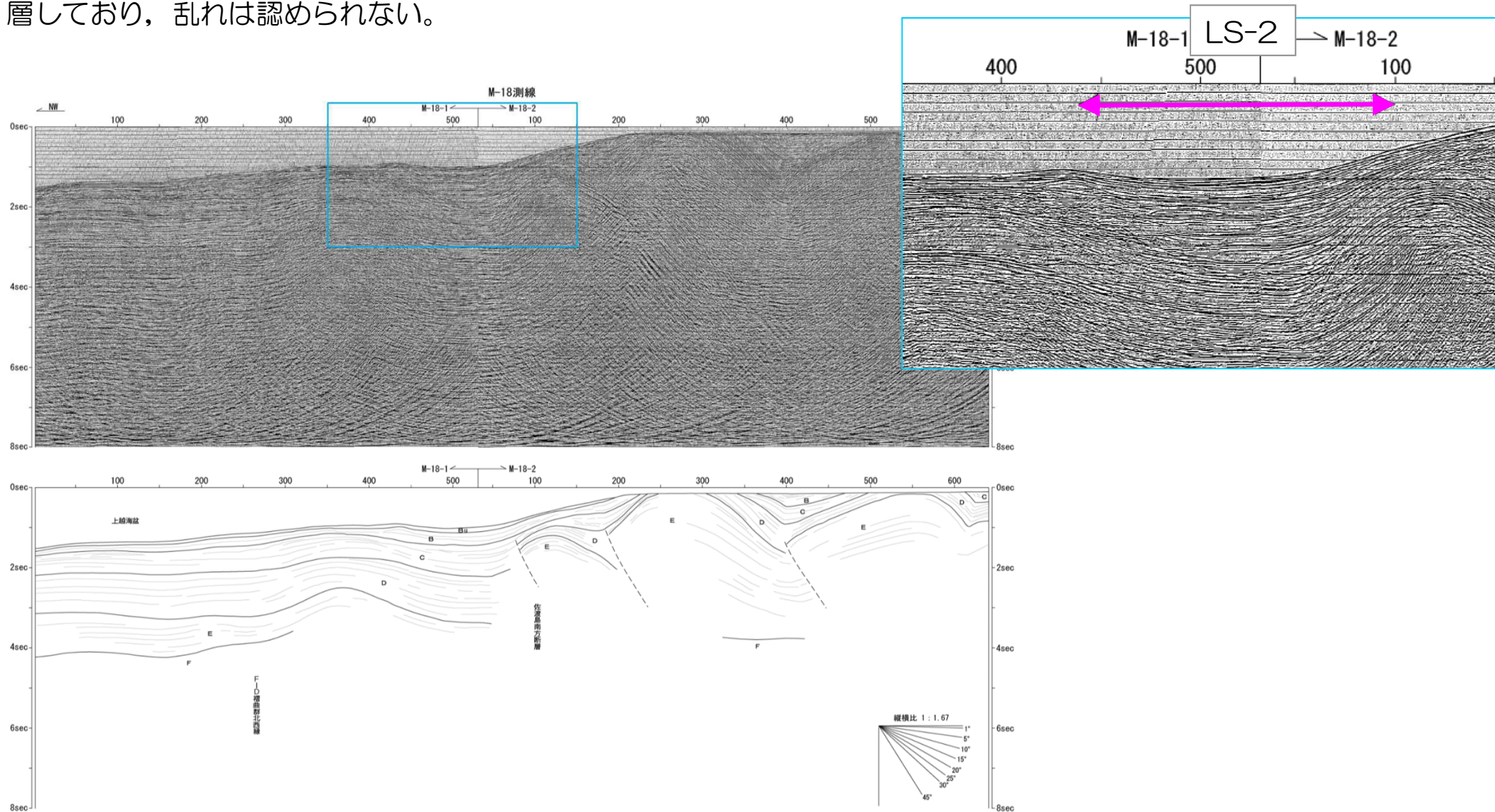
- LS-2に対応する海底面に凹状の地形が認められるが、堆積層は成層しており、乱れは認められない。



4. 2 海上音波探査記録の参照

■ M-18測線 (マルチチャンネル)

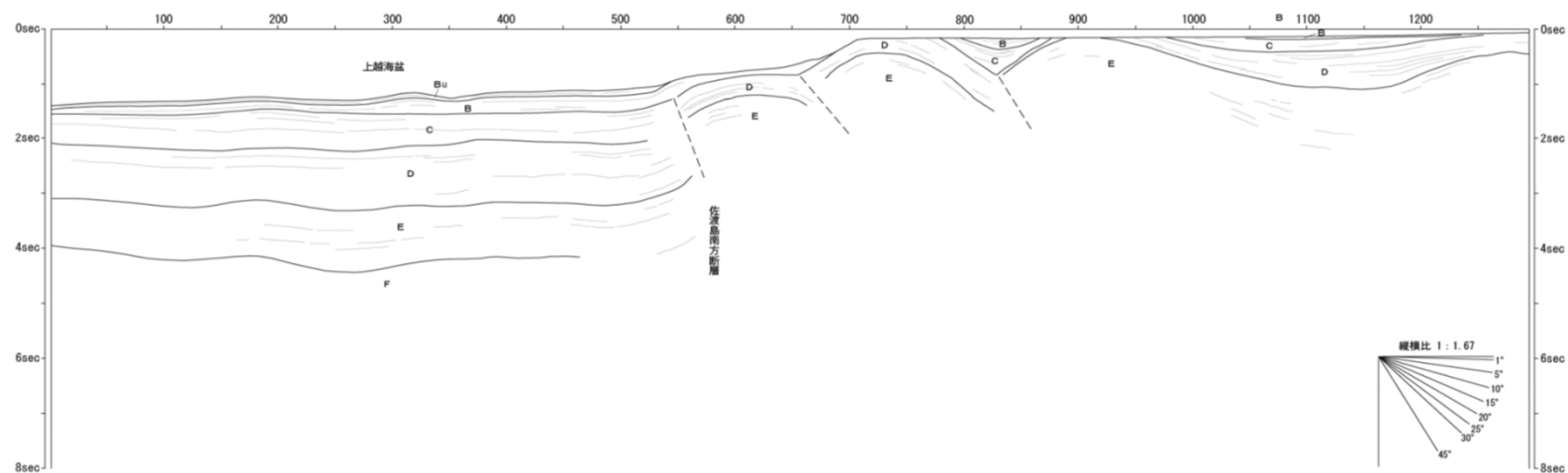
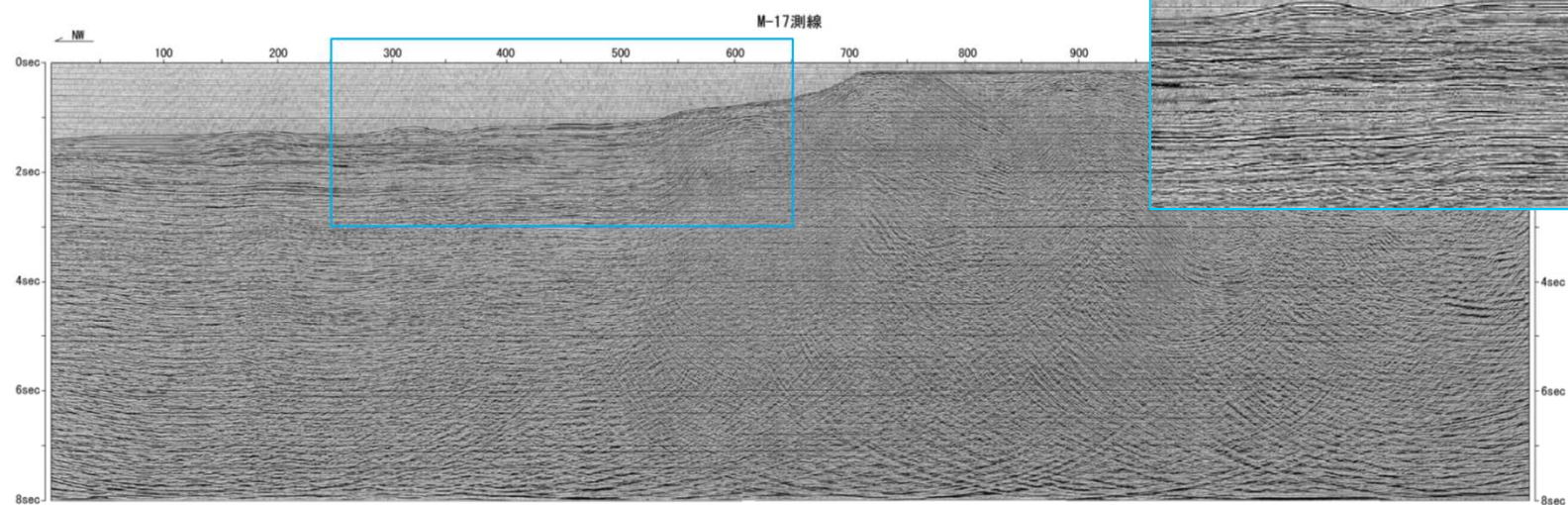
- LS-2に対応する海底面に凹状の地形が認められるが、堆積層は成層しており、乱れは認められない。



4. 2 海上音波探査記録の参照

■ M-17測線 (マルチチャンネル)

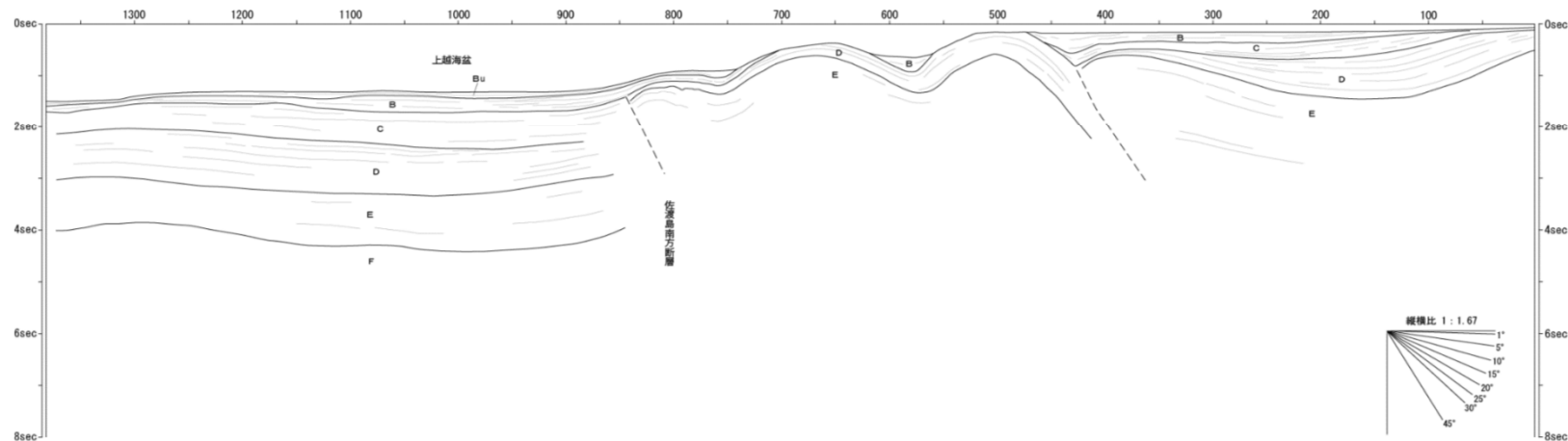
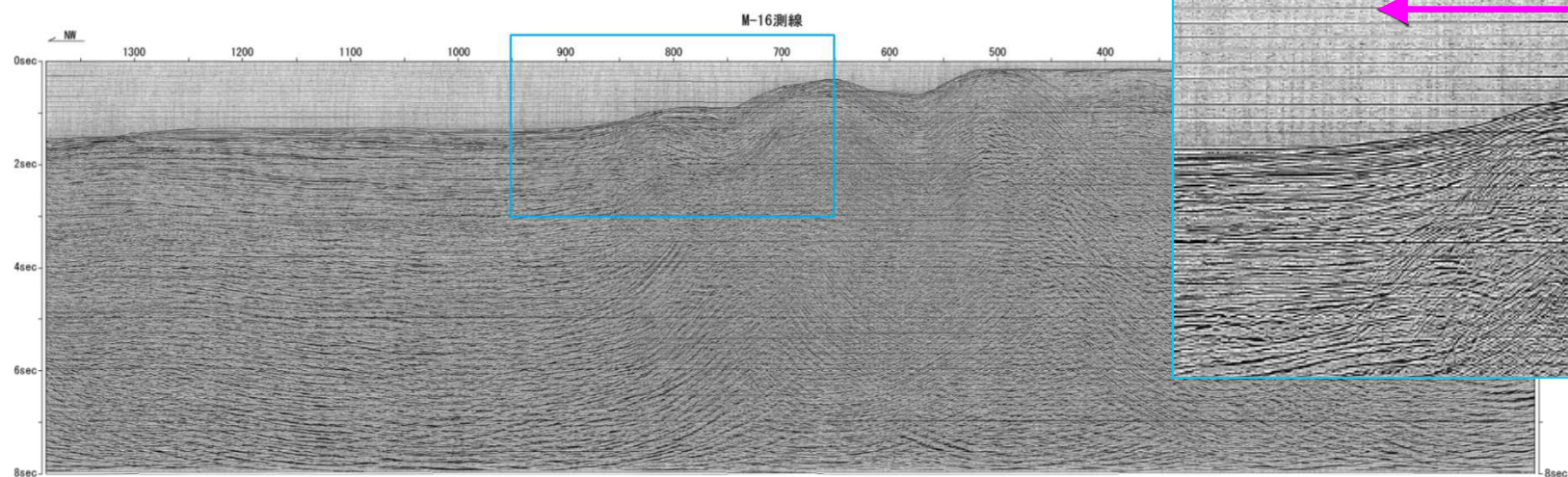
- LS-2に対応する海底面に凹状の地形が認められるが、堆積層は成層しており、乱れは認められない。



4. 2 海上音波探査記録の参照

■ M-16測線 (マルチチャンネル)

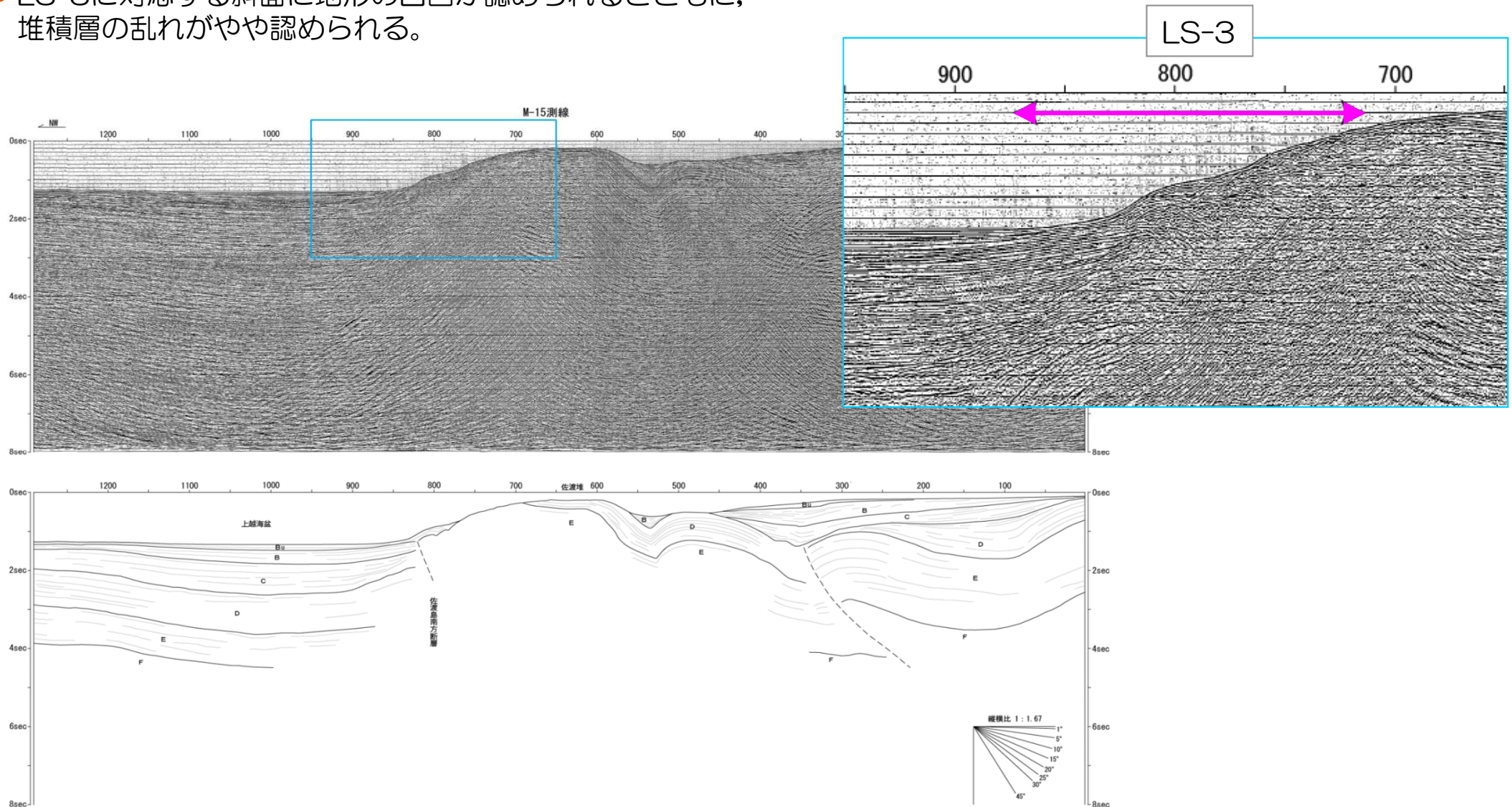
- LS-3に対応する斜面に地形の凹凸が認められるが、堆積層は成層しており、乱れは認められない。



4. 2 海上音波探査記録の参照

■ M-15測線 (マルチチャンネル)

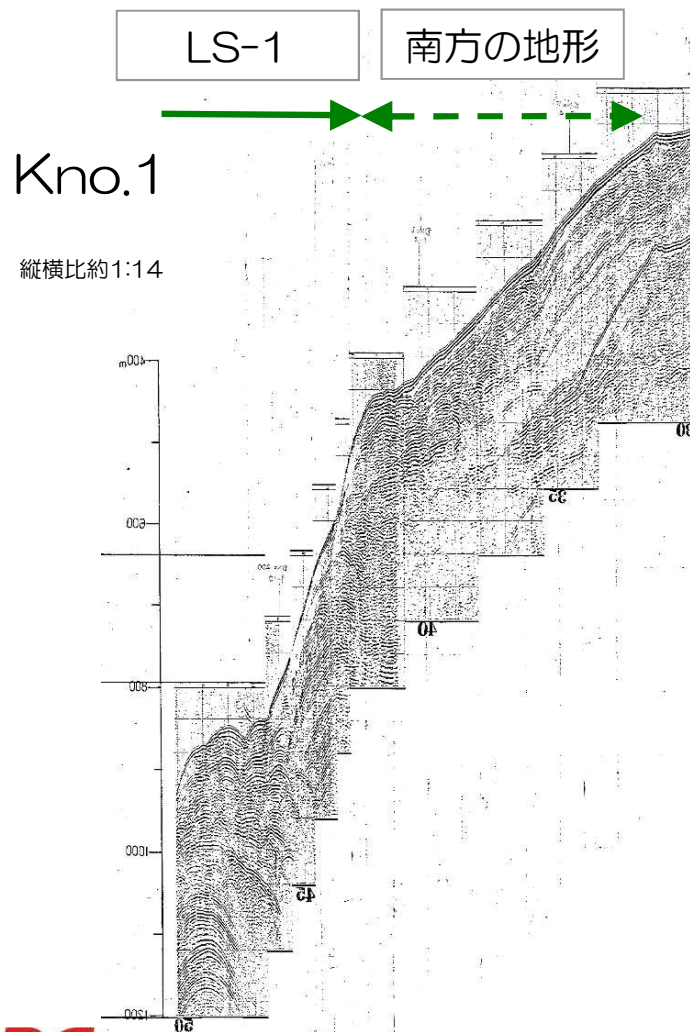
- LS-3に対応する斜面に地形の凹凸が認められるとともに、堆積層の乱れがやや認められる。



4. 2 海上音波探査記録の参照

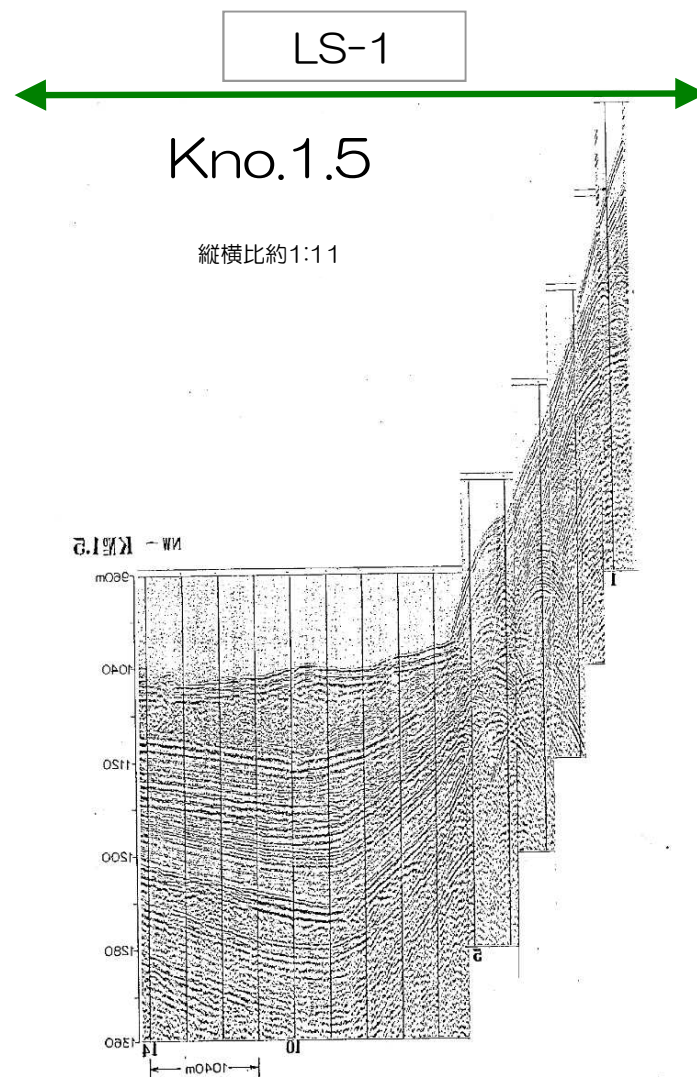
■ Kno.1測線 (シングルチャンネル)

- LS-1に対応する斜面に地形の凹凸が認められるとともに、反射面の乱れが認められる。
- LS-1南方斜面において、反射面はほぼ連続しており、顕著な乱れは認められない。



■ Kno.1.5測線 (シングルチャンネル)

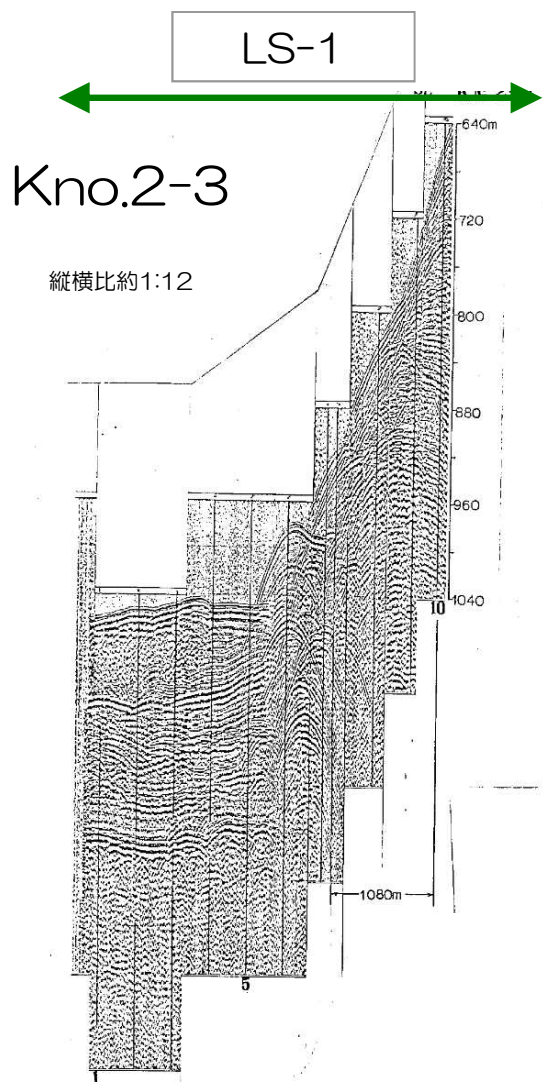
- LS-1に対応する斜面に地形の凹凸が認められるとともに、海底盆の表層下部に堆積層の乱れが認められる。



4. 2 海上音波探査記録の参照

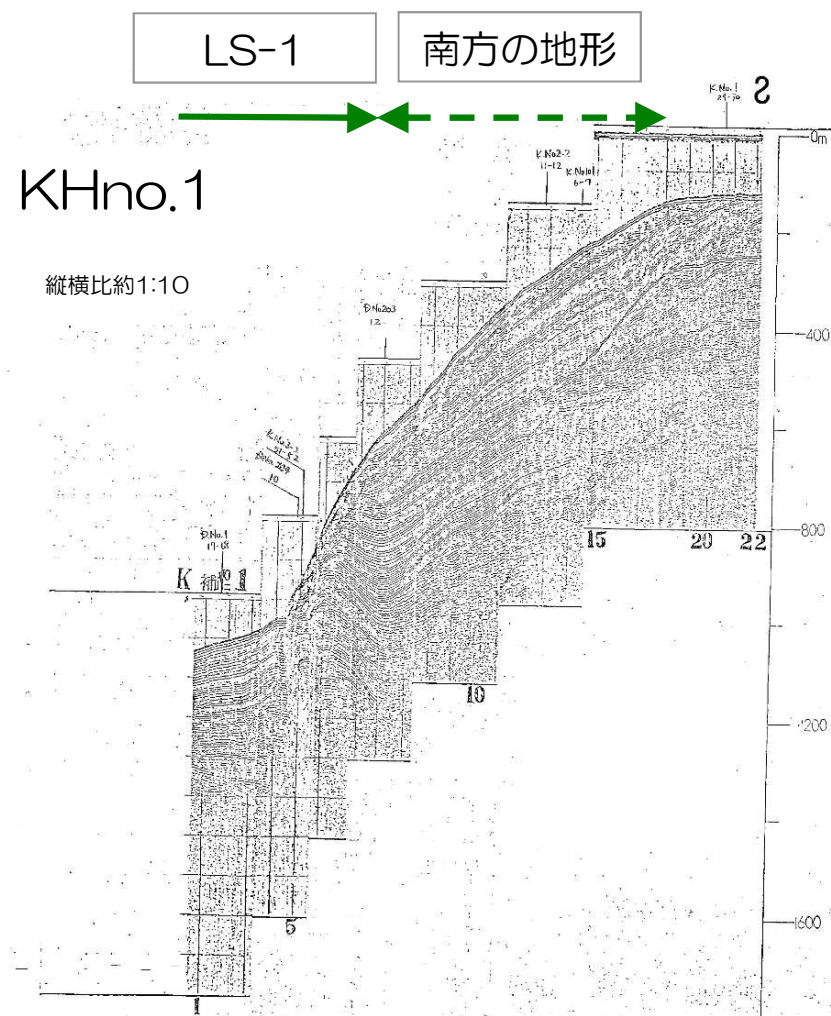
■ Kno.2-3測線（シングルチャンネル）

- LS-1に対応する斜面に地形の凹凸が認められるとともに、斜面基部付近では反射面の乱れが認められる。



■ KHno.1測線（シングルチャンネル）

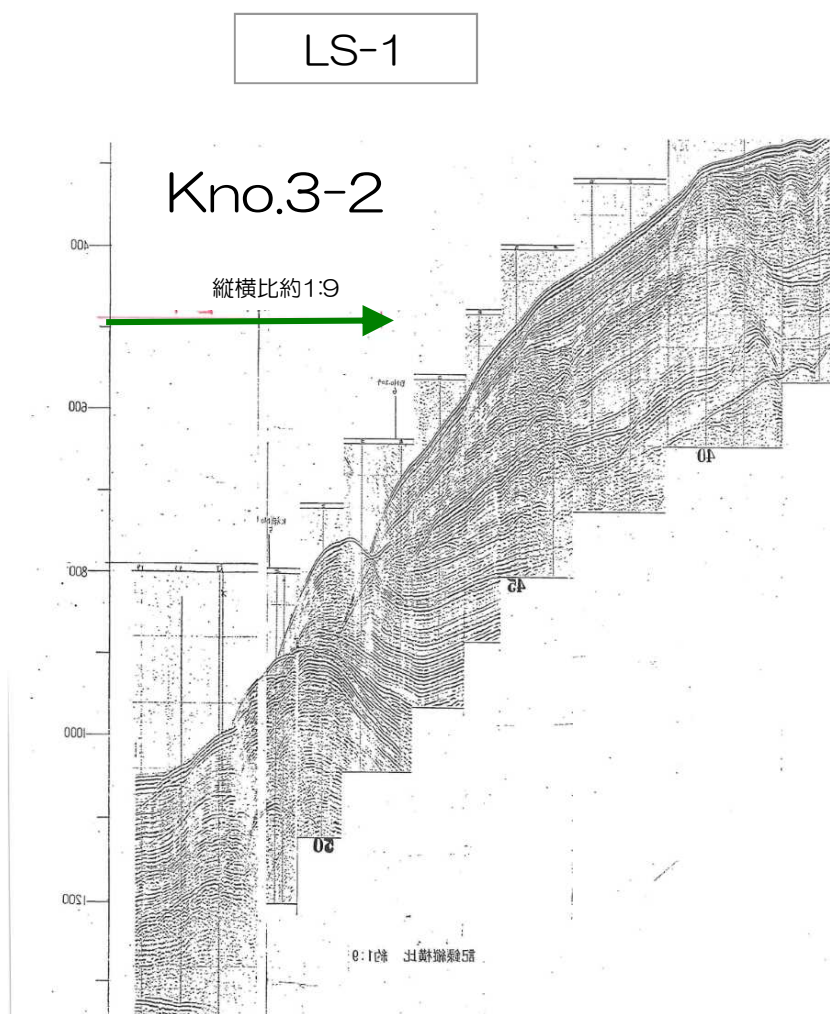
- LS-1に対応する斜面の基部付近では記録が不明瞭である。
- 海盆底の堆積層は成層しており、乱れは認められない。
- LS-1南方斜面において、反射面はほぼ連続しており、顕著な乱れは認められない。



4. 2 海上音波探査記録の参照

■ Kno.3-2測線 (シングルチャンネル)

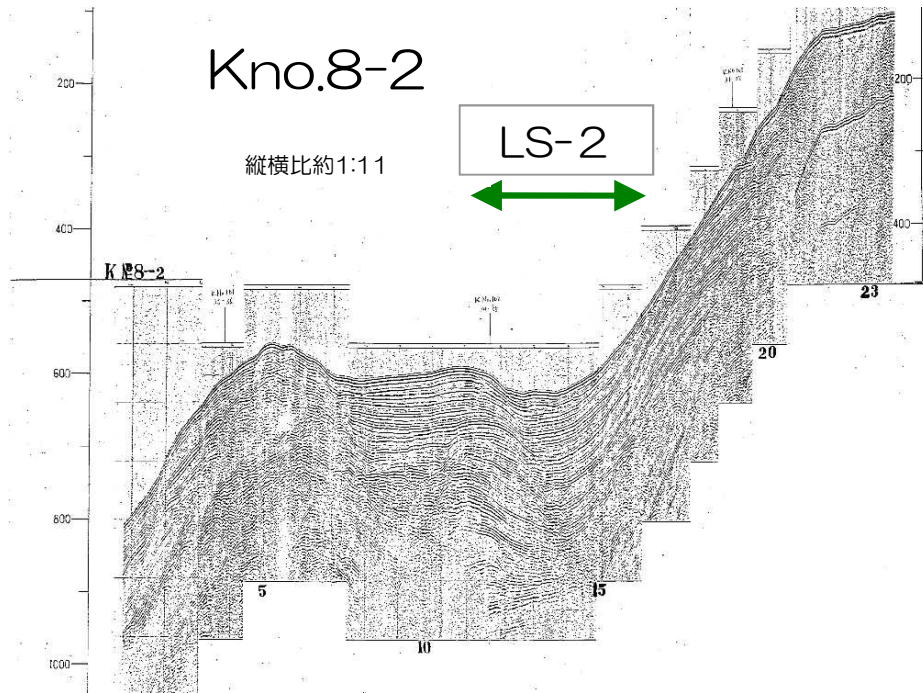
- LS-1に対応する斜面に地形の凹凸が認められるが、堆積層は成層しており、乱れは認められない。



4. 2 海上音波探査記録の参照

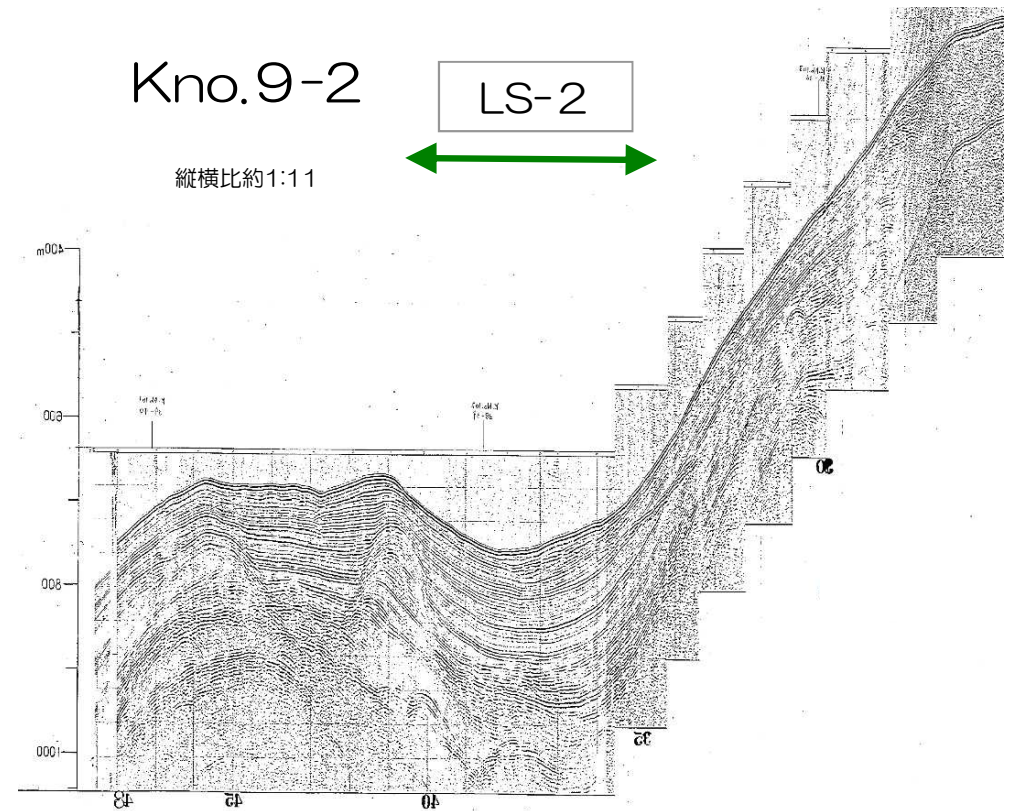
■ Kno.8-2測線 (シングルチャンネル)

- LS-2に対応する海底面に凹状の地形が認められるが、堆積層は成層しており、乱れは認められない。



■ Kno.9-2測線 (シングルチャンネル)

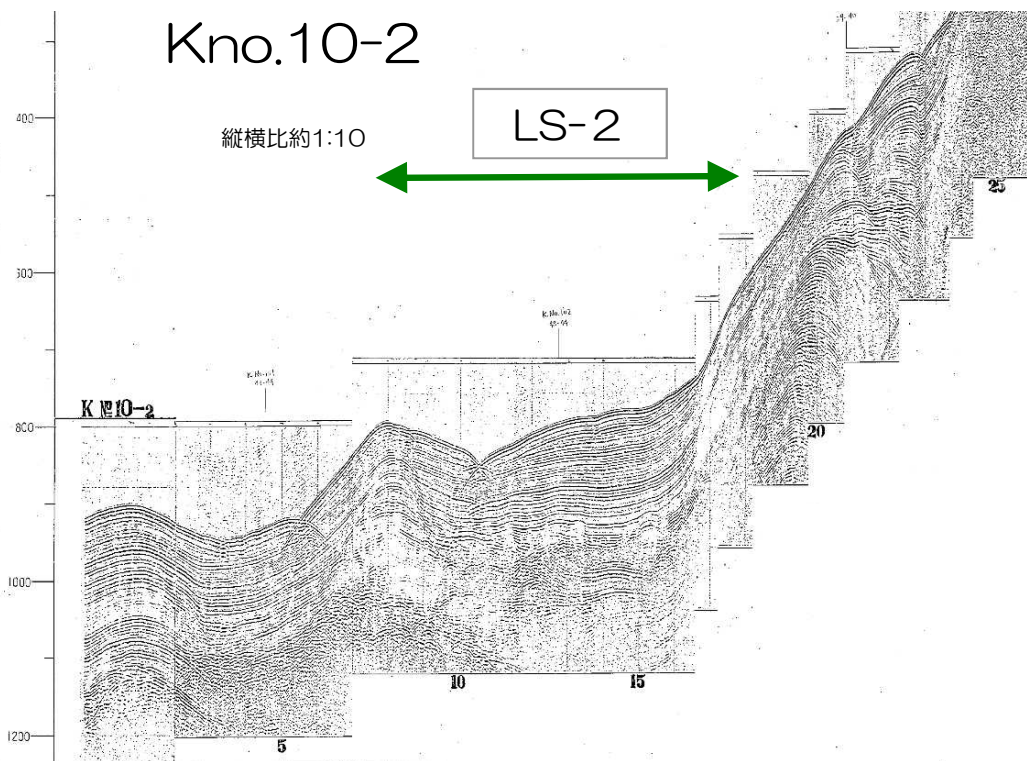
- LS-2に対応する海底面に凹状の地形が認められるが、堆積層は成層しており、乱れは認められない。



4. 2 海上音波探査記録の参照

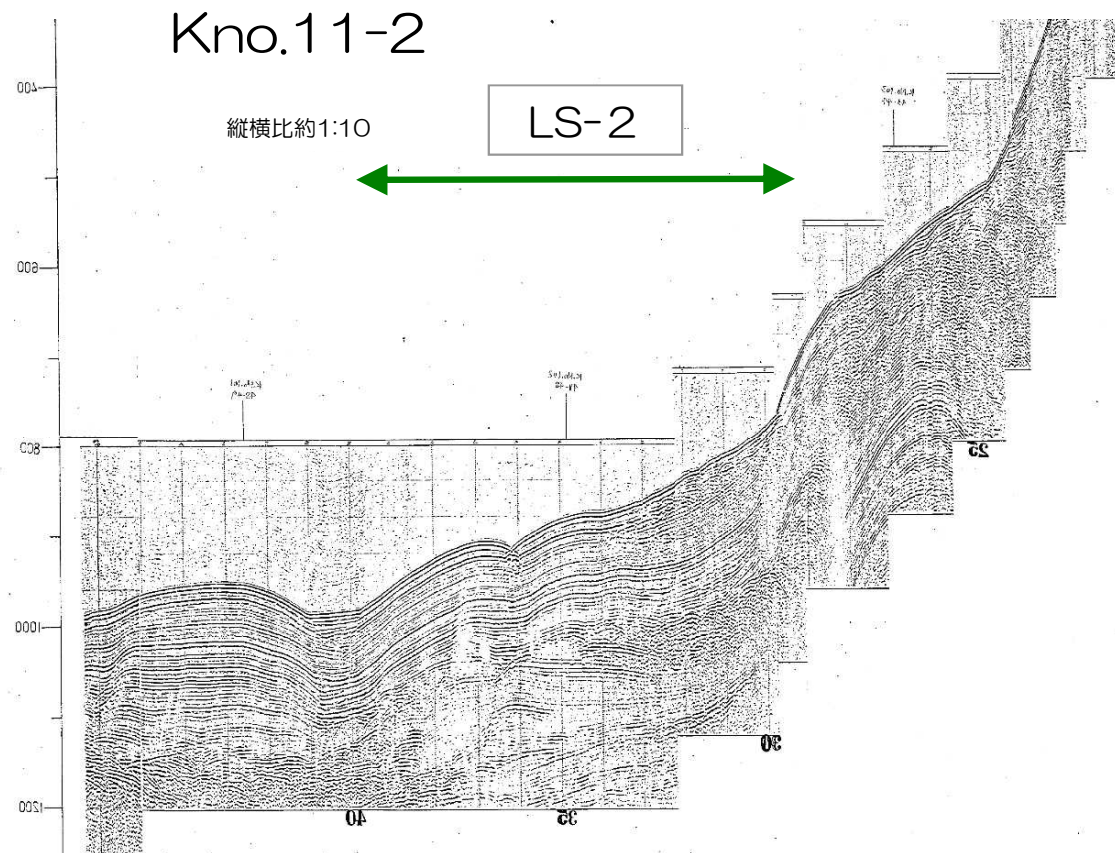
■ Kno.10-2測線 (シングルチャンネル)

- LS-2に対応する海底面に地形の凹凸が認められるが、堆積層は成層しており、乱れは認められない。



■ Kno.11-2測線 (シングルチャンネル)

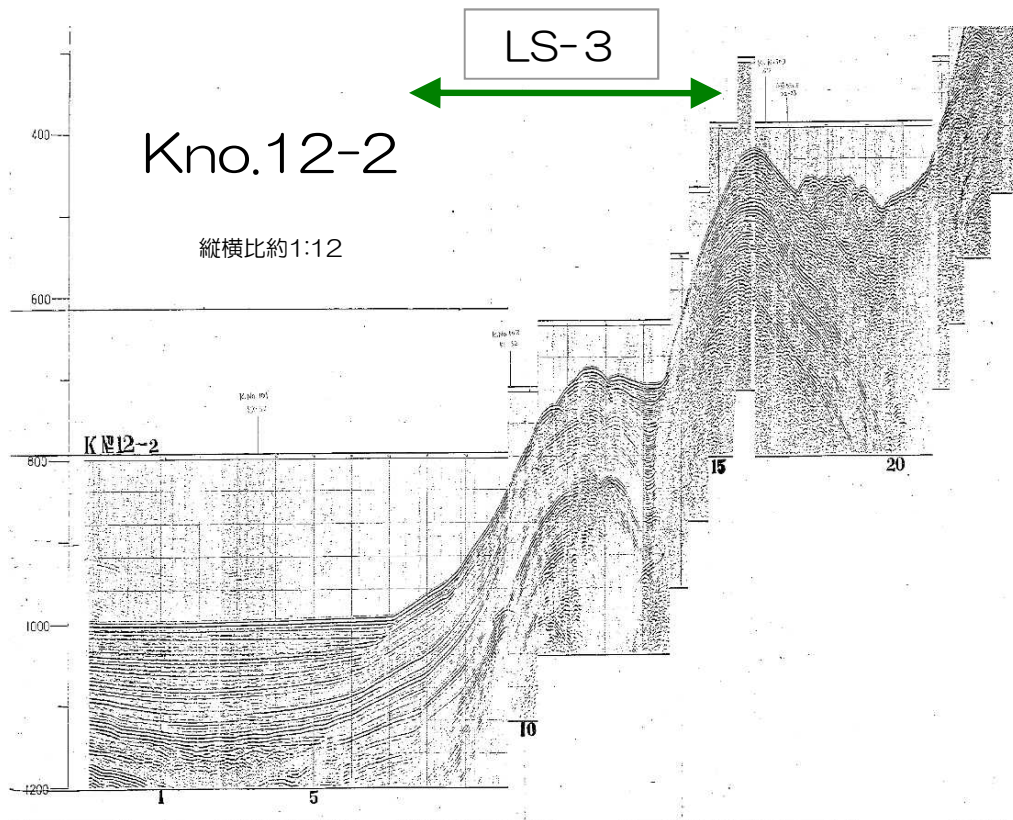
- LS-2に対応する海底面に地形の凹凸が認められるが、堆積層は成層しており、乱れは認められない。



4. 2 海上音波探査記録の参照

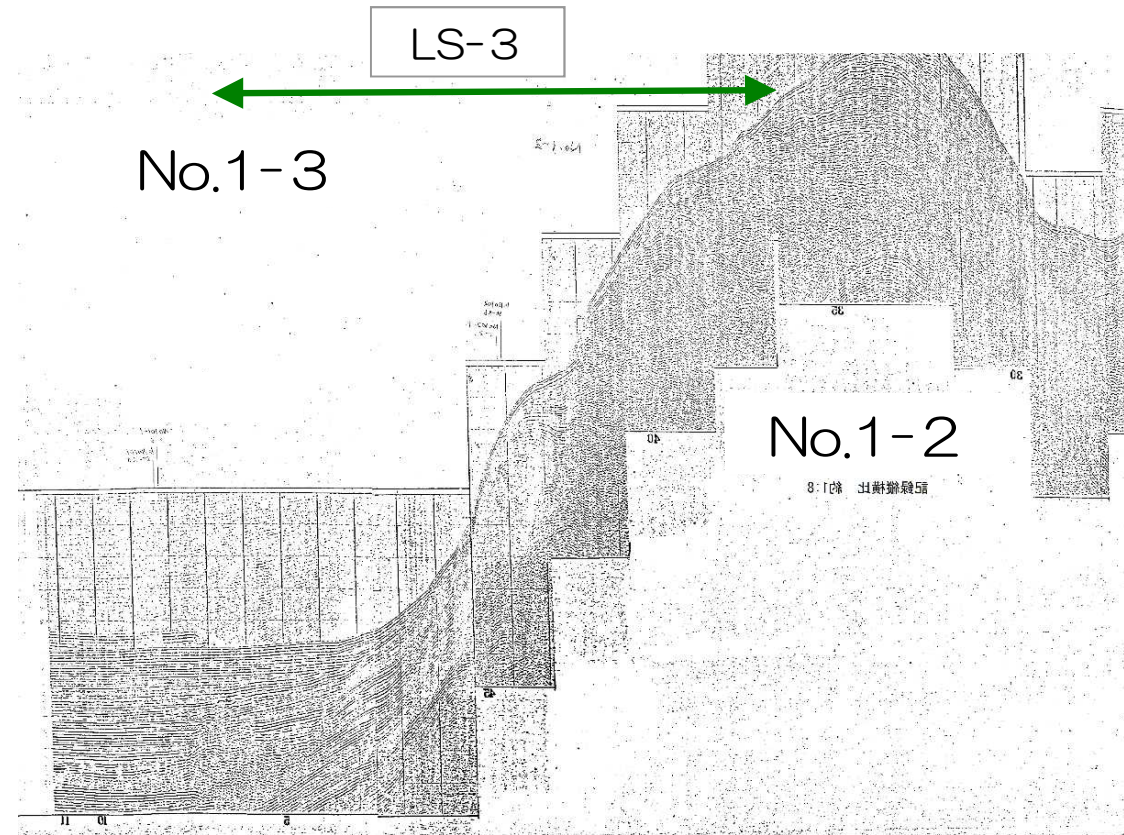
■ Kno.12-2測線 (シングルチャンネル)

- LS-3に対応する斜面に、地形の凹凸が認められるとともに、反射面の乱れが認められる。



■ No.1-3測線 (シングルチャンネル)

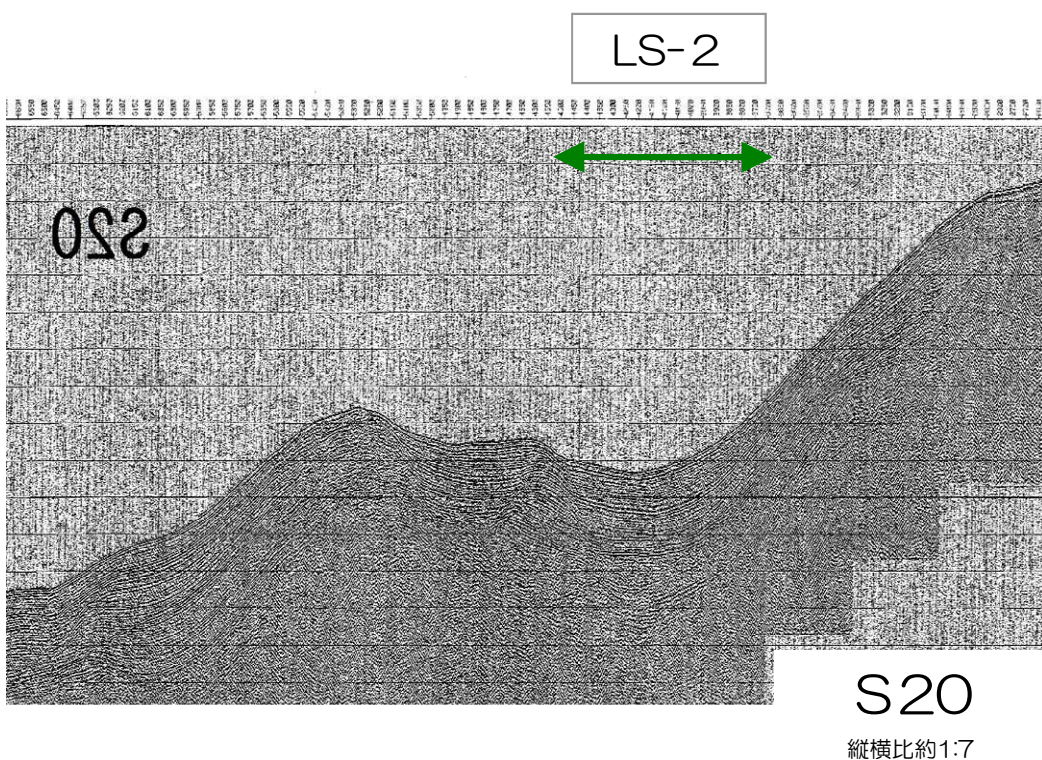
- LS-3に対応する斜面に、地形の凹凸が認められるとともに、一部では記録が不明瞭である。
- 海盆底の堆積層は成層しており、乱れは認められない。



4. 2 海上音波探査記録の参照

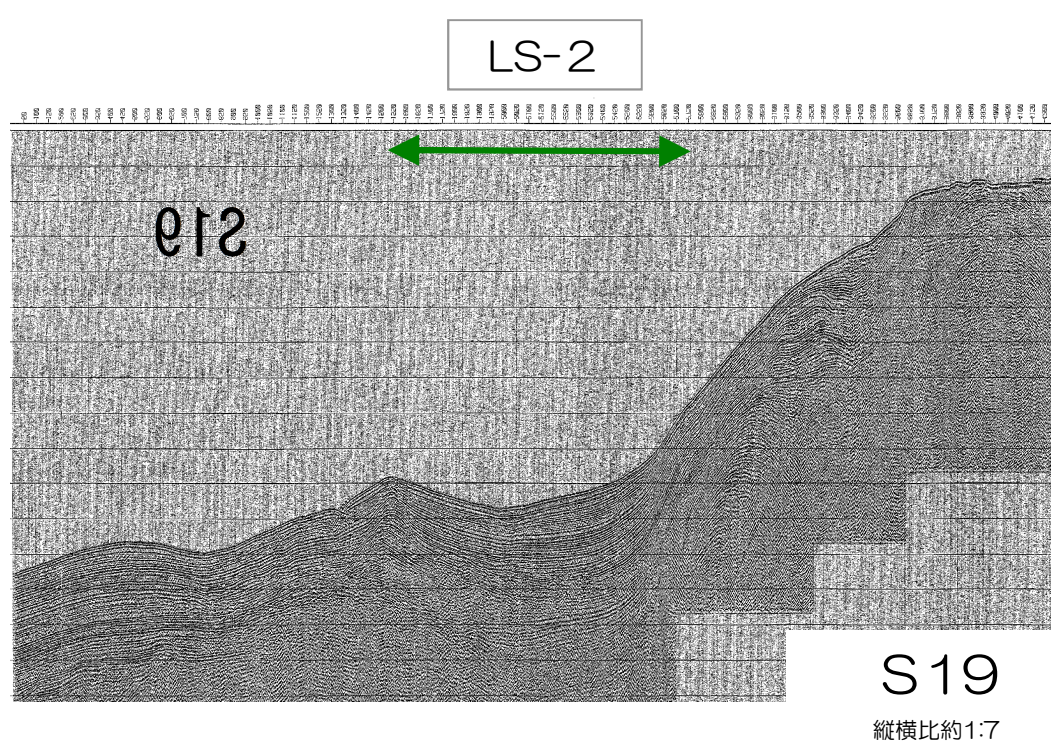
■ S20測線 (シングルチャンネル)

- LS-2に対応する海底面に凹状の地形が認められるが、斜面から基部にかけて堆積層は成層しており、乱れは認められない。



■ S19測線 (シングルチャンネル)

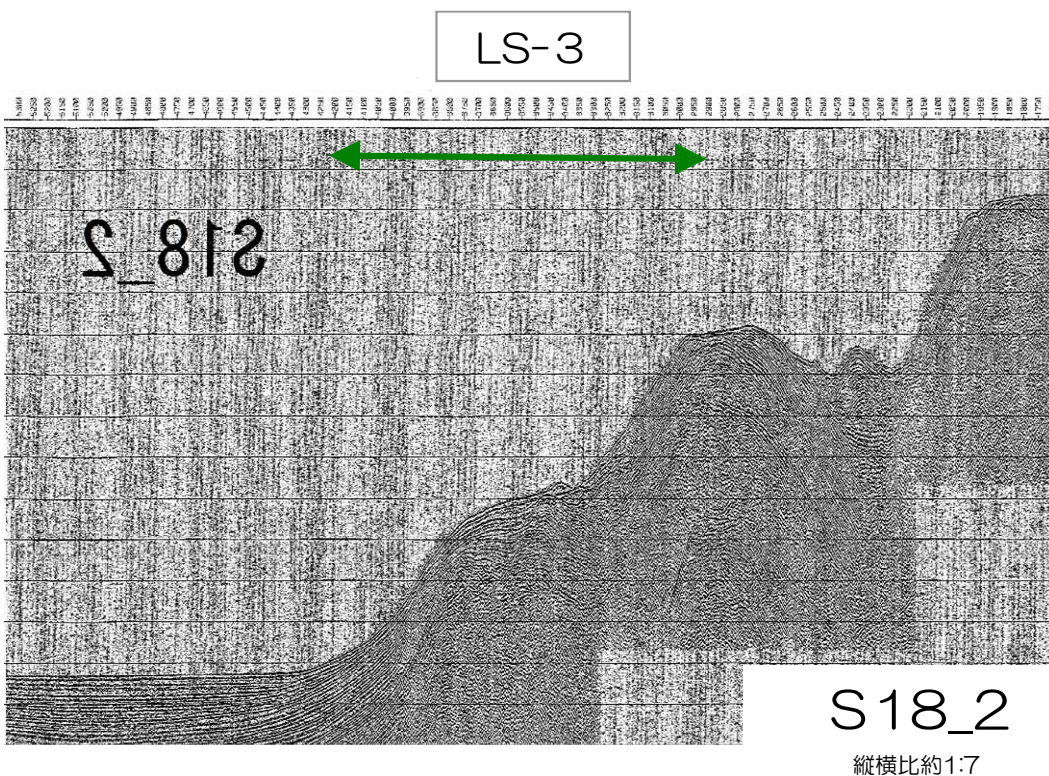
- LS-2に対応する海底面に凹状の地形が認められるが、斜面から基部にかけて堆積層は成層しており、乱れは認められない。



4. 2 海上音波探査記録の参照

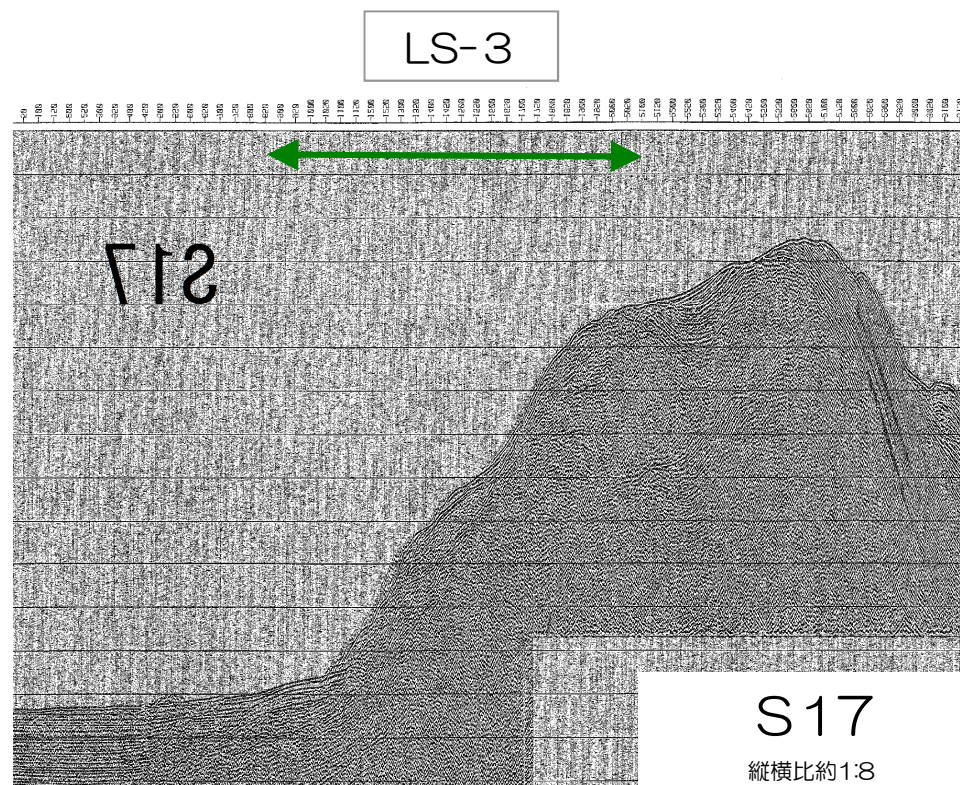
■ S18 2測線 (シングルチャンネル)

- LS-3に対応する斜面に地形の凹凸が認められるとともに、堆積層の乱れが認められる。



■ S17測線 (シングルチャンネル)

- LS-3に対応する斜面に地形の凹凸が認められるとともに、斜面から基部にかけて記録が不明瞭である。



4. 3 海底地すべり地形の設定の検討

4. 3 海底地すべり地形の設定の検討

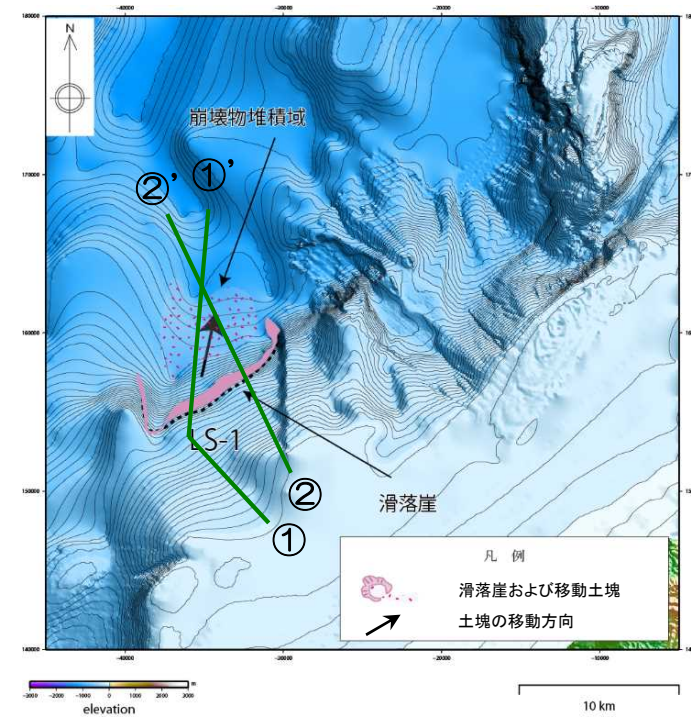
■ LS-1とその南側の海底地形についての検討

【海底地形判読】

- LS-1とその南側の海底地形では、東側の側方崖が連続しているようにも見える。
- 滑落崖ならびにすべり面の傾斜は、LS-1とその南側とでは大きく異なる。
- 仮に南側に地すべりを想定した場合にも、崩壊堆積物の痕跡がほとんど認められない。

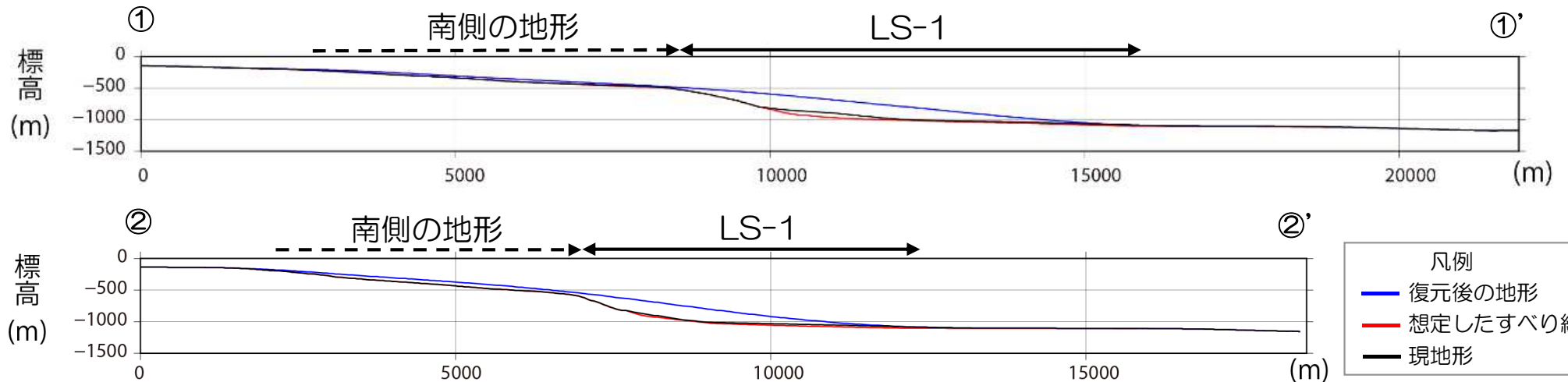
【海上音波探査記録】

- 海底地形及び反射面について、地すべりの特徴は認められない。



復元前の地形

LS-1とその南側の全体が同時に崩壊したとは考えにくい。



地形断面図

縦横比 1 : 1

4. 3 海底地すべり地形の設定の検討

■ LS-2とLS-3の同時発生についての検討

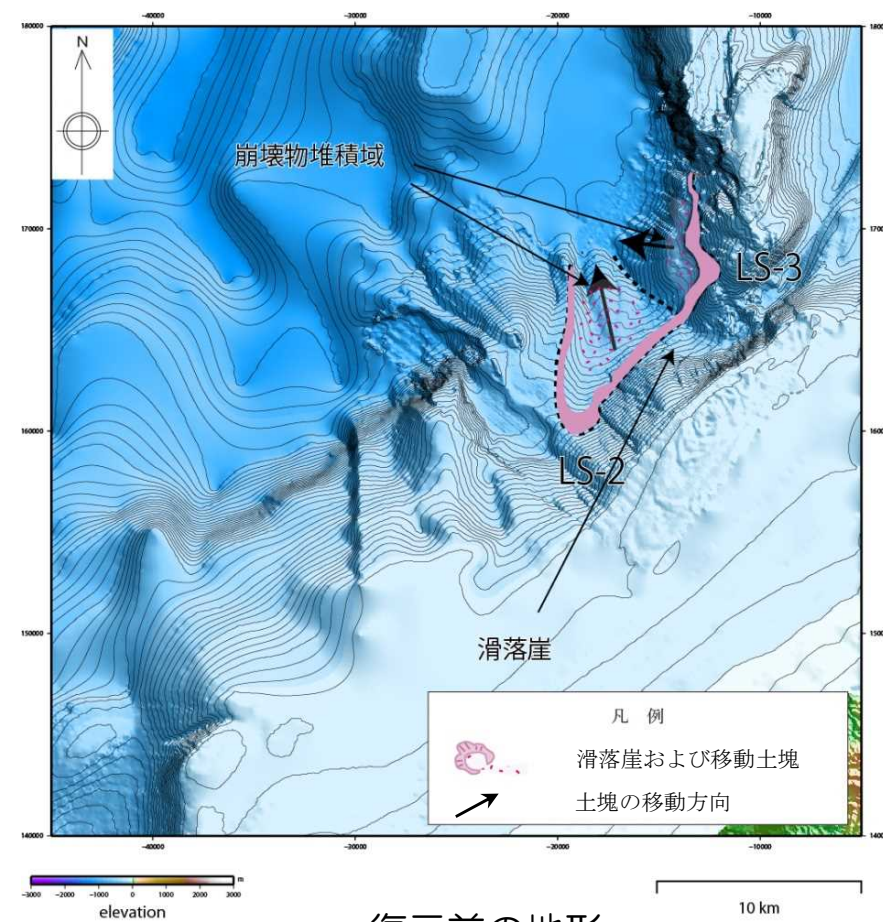
【海底地形判読】

- 崩壊物堆積域で異なる特徴が認められる。
- LS-2崩壊物堆積域では、舌状の緩傾斜面上に浅い開析谷が認められ固結の緩い移動土砂体である可能性を示している。
- LS-3崩壊物堆積域では、移動土塊が階段状に分布し複雑な形状を示している。
- 移動土塊の向きが異なる。
- LS-2の緩傾斜面をLS-3の緩傾斜面が覆っている。

【海上音波探査記録】

- 海底地形及び反射面について、以下の相違が認められる。
- LS-2は、凹状の海底地形が認められるものの、反射の乱れは認められない。
- LS-3は、海底地形の凹凸が認められるとともに、反射の乱れも認められる。

以上の相違が認められることから、LS-2とLS-3は別の土塊と考えられる。



復元前の地形

4. 3 海底地すべり地形の設定の検討

■ LS-2とLS-3が同時発生した場合の影響検討

- 念のための影響検討として、LS-2とLS-3の同時発生を仮定した場合について、二層流モデル（Maeno and Imamura, 2007）に基づく数値シミュレーションを実施した。
- 数値シミュレーションの検討条件は、現実的パラメータ設定（崩壊物密度 1.8g/cm^3 ，底面粗度係数（下層） $0.40\text{m}^{-1/3}\cdot\text{s}$ ）とした。
- 計算開始潮位は、上昇側は朔望平均満潮位（T.M.S.L.+0.49m），下降側は朔望平均干潮位（T.M.S.L.+0.03m）とした。

検討結果：LS-2とLS-3の同時発生

単位：T. M. S. L. [m]

	取水口前面水位							遡上域水位	
	1号炉	2号炉	3号炉	4号炉	5号炉	6号炉	7号炉	荒浜側	大湊側
最高水位	2.8	2.7	2.7	2.7	3.9	3.8	3.5	6.1	3.6
最低水位	-3.4	-3.1	-3.0	-2.9	-2.4	-2.3	-2.2	—	—

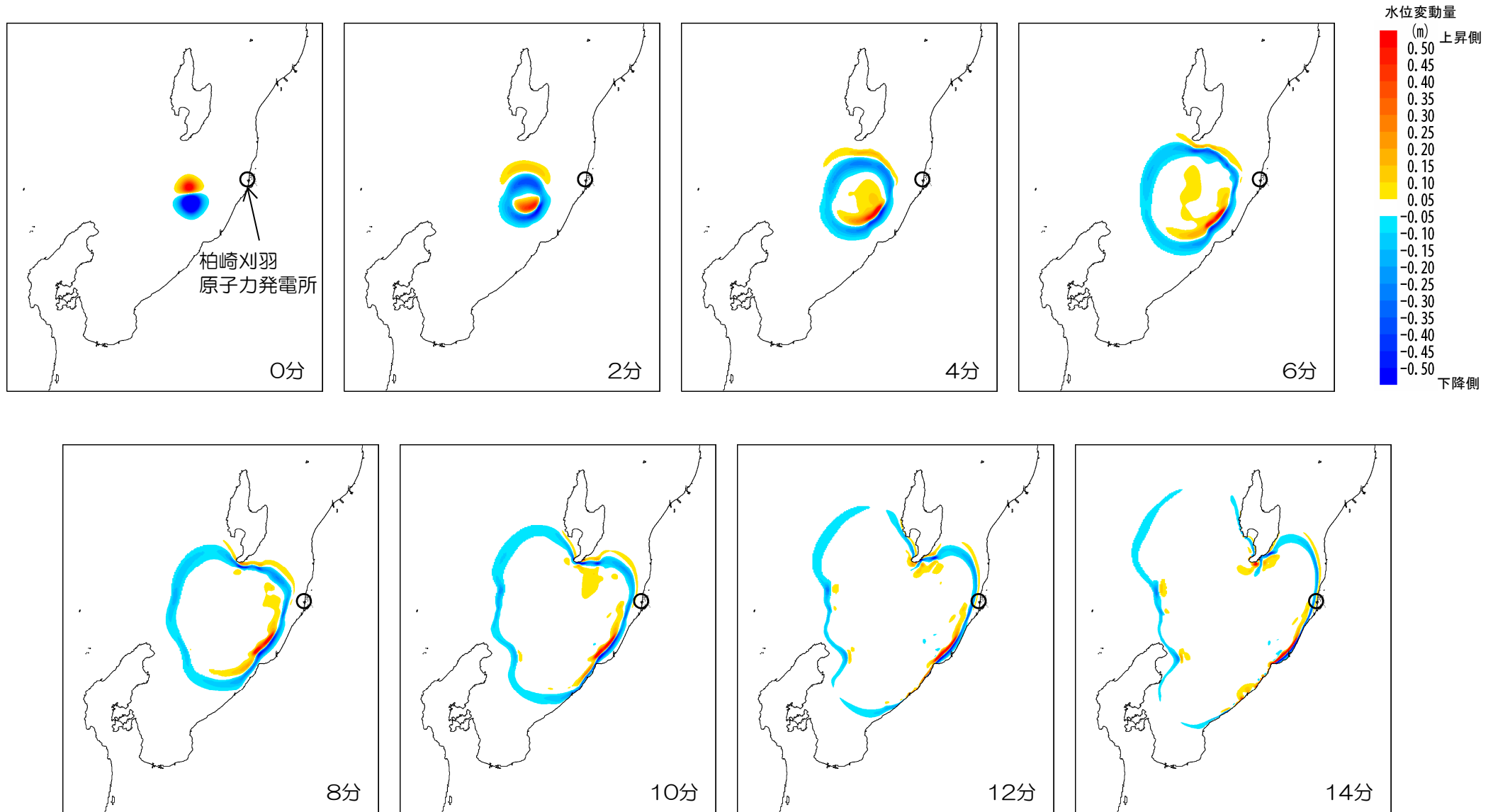
- 海底地形判読ならびに海上音波探査記録の検討から、LS-2とLS-3は別の土塊と考えられるものの、同時発生を仮定した検討を実施した。
- その結果、最高水位・最低水位はLS-2とLS-3を単独の土塊として評価した結果とほぼ同等であることを確認した。

4. 4 海底地すべりシミュレーションにおける伝播状況

(Watts et al.(2005)の予測式に基づく手法, 二層流モデルに基づく手法)

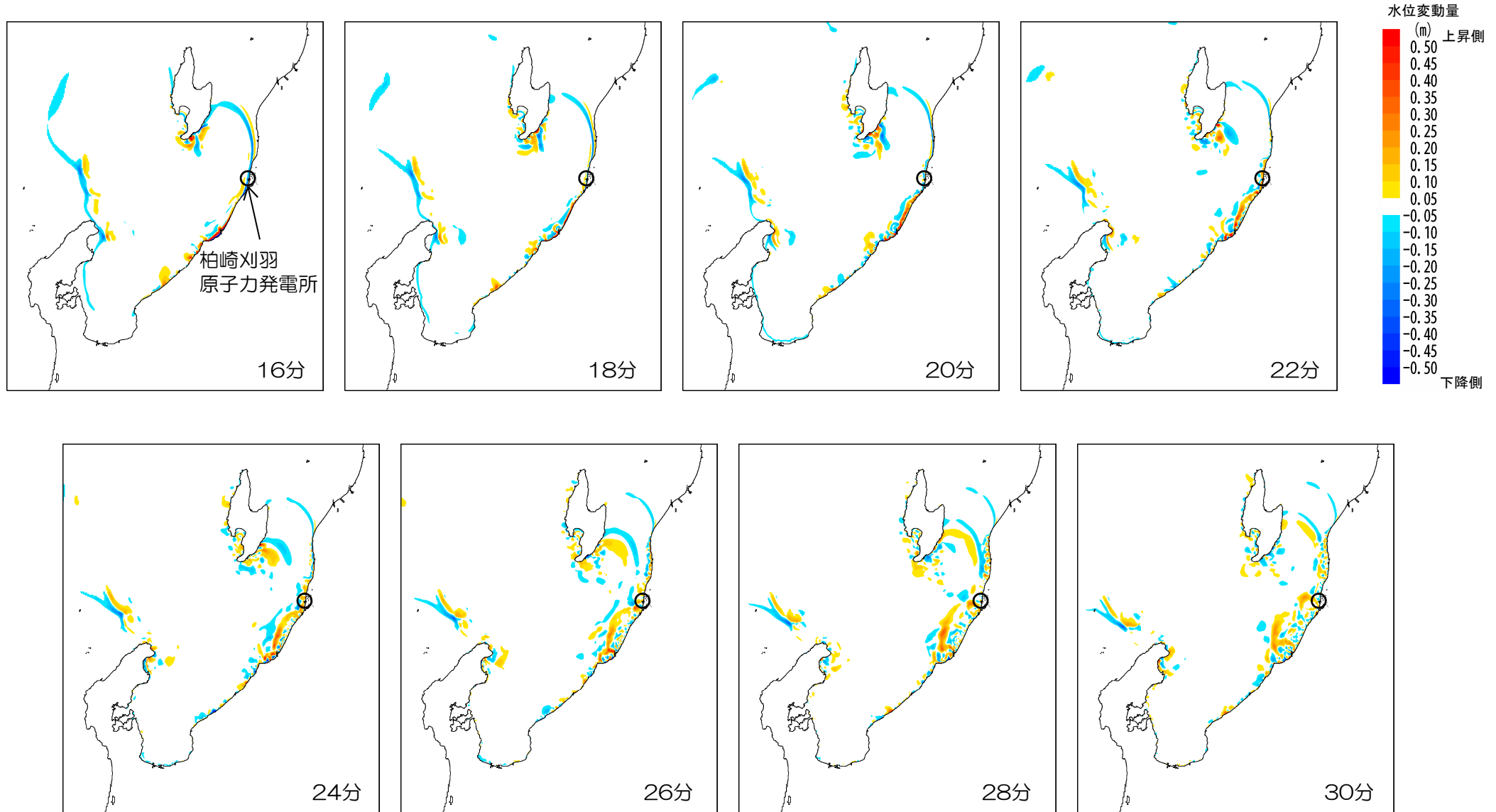
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (Watts et al.(2005)の予測式に基づく手法)

■海底地すべりによる津波 LS-1 (0分~14分)



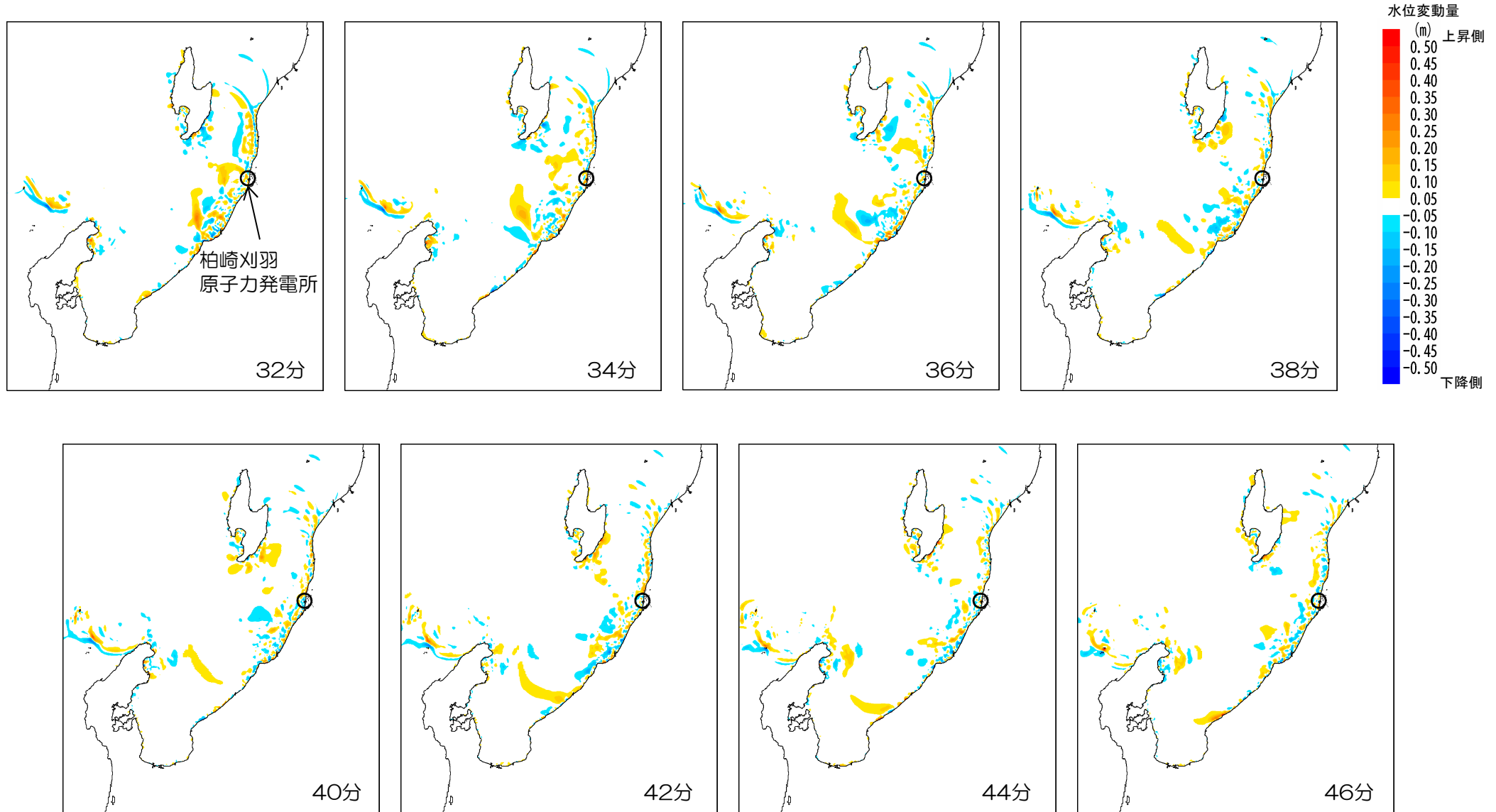
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (Watts et al.(2005)の予測式に基づく手法)

■海底地すべりによる津波 LS-1 (16分~30分)



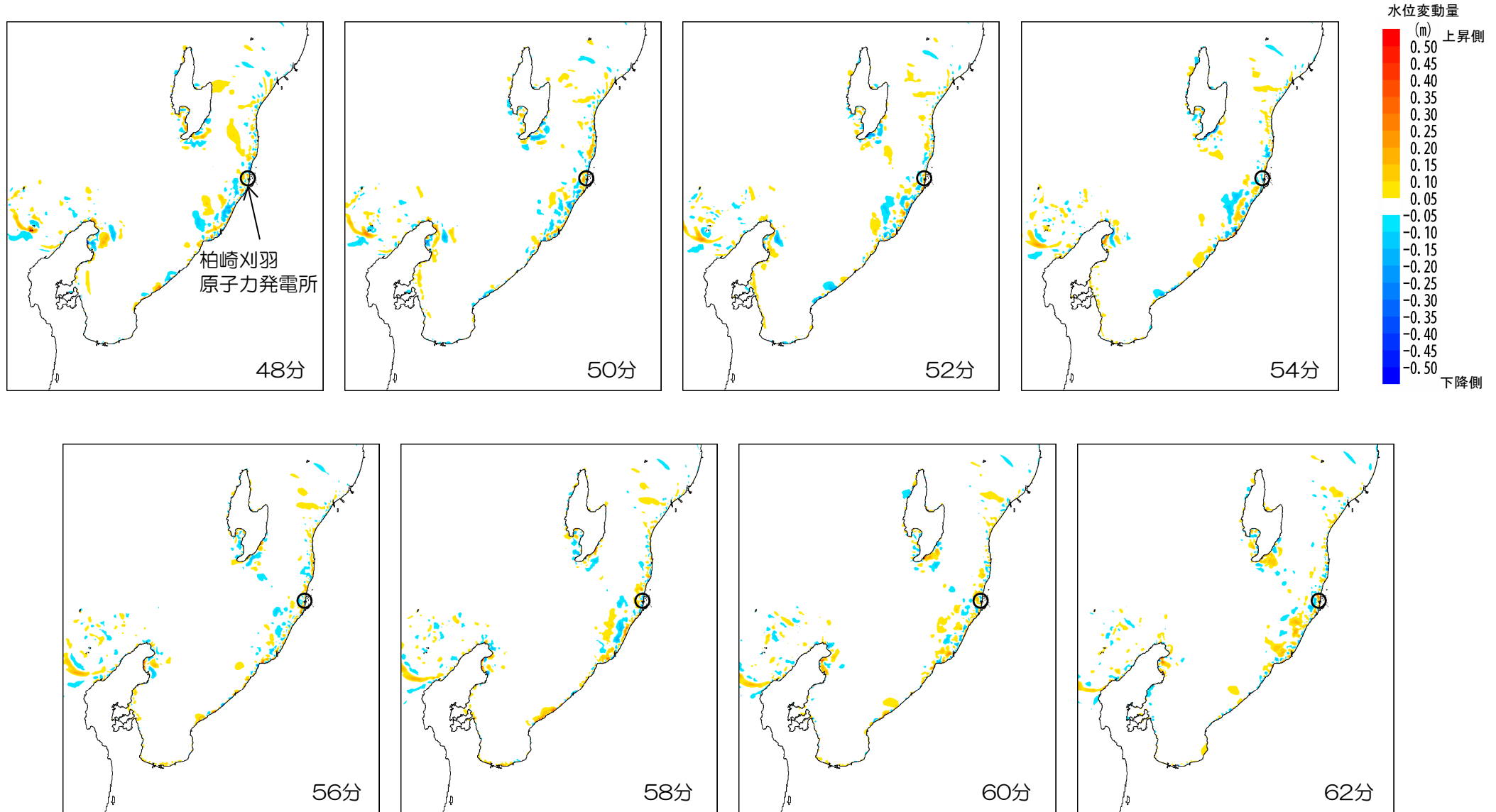
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (Watts et al.(2005)の予測式に基づく手法)

■海底地すべりによる津波 LS-1 (32分~46分)



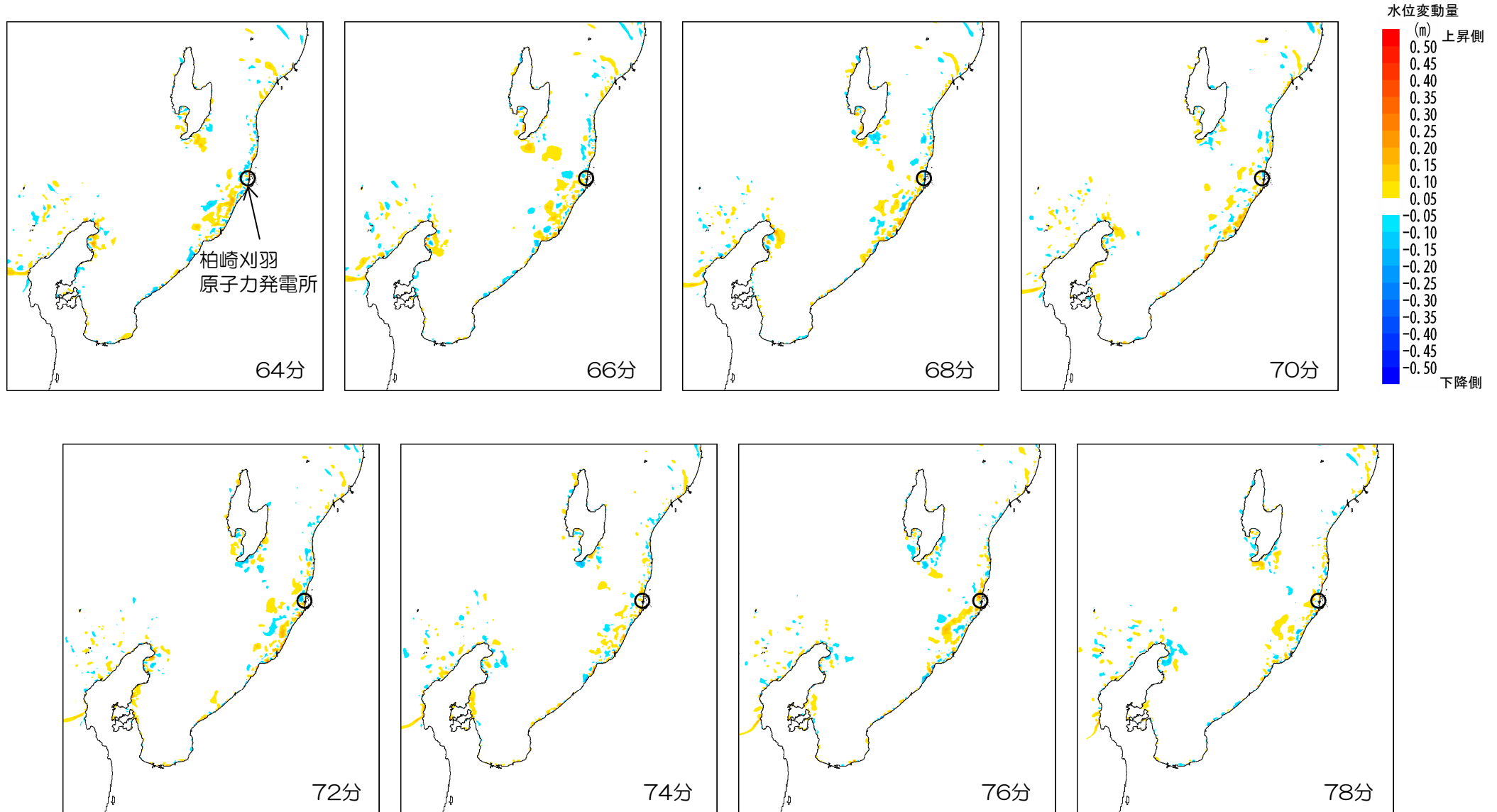
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (Watts et al.(2005)の予測式に基づく手法)

■海底地すべりによる津波 LS-1 (48分~62分)



4. 4 海底地すべり 伝播状況 (Watts et al.(2005)の予測式に基づく手法)

■海底地すべりによる津波 LS-1 (64分~78分)



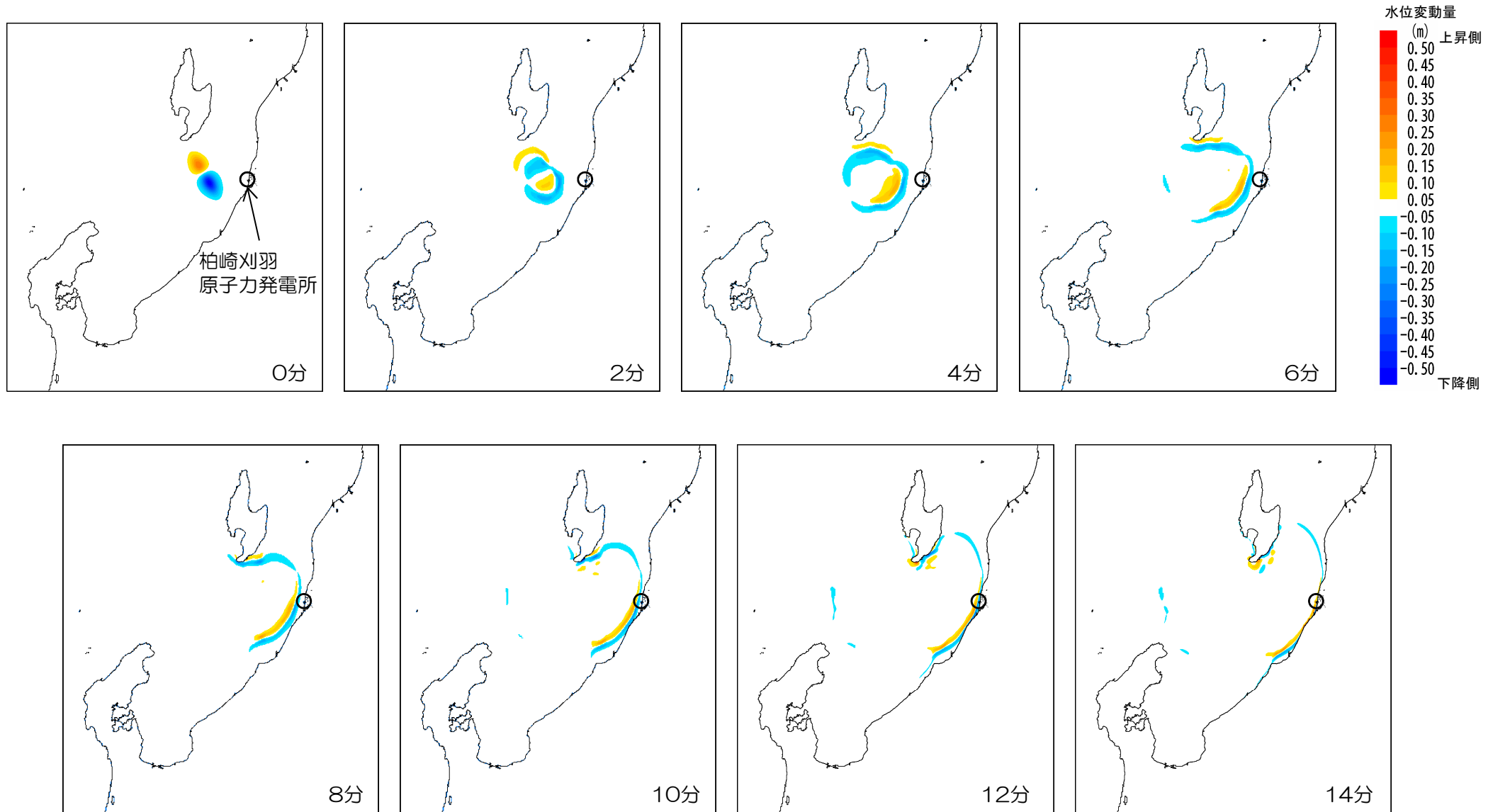
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (Watts et al.(2005)の予測式に基づく手法)

■海底地すべりによる津波 LS-1 (80分~90分)



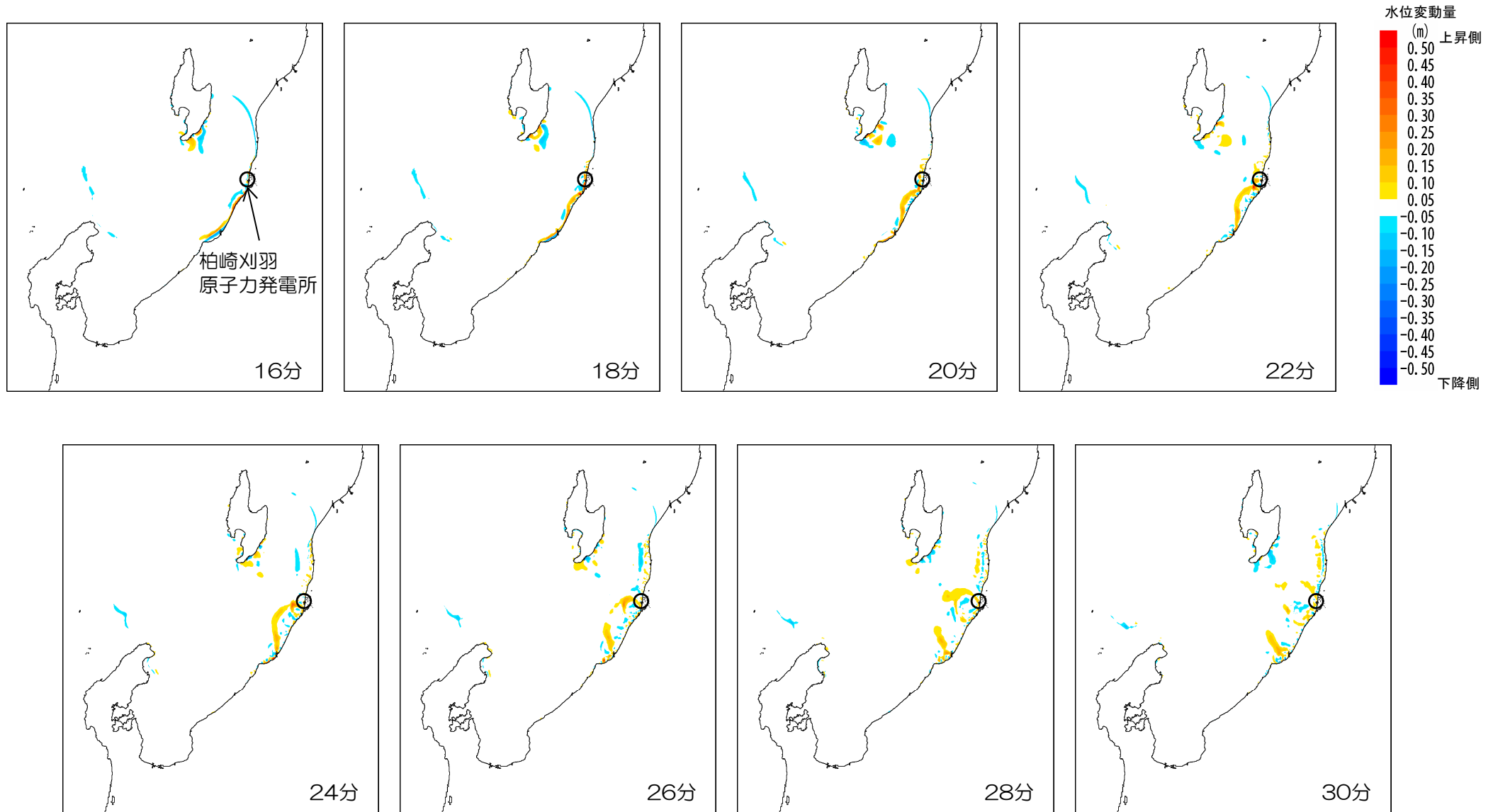
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (Watts et al.(2005)の予測式に基づく手法)

■海底地すべりによる津波 LS-2 (0分~14分)



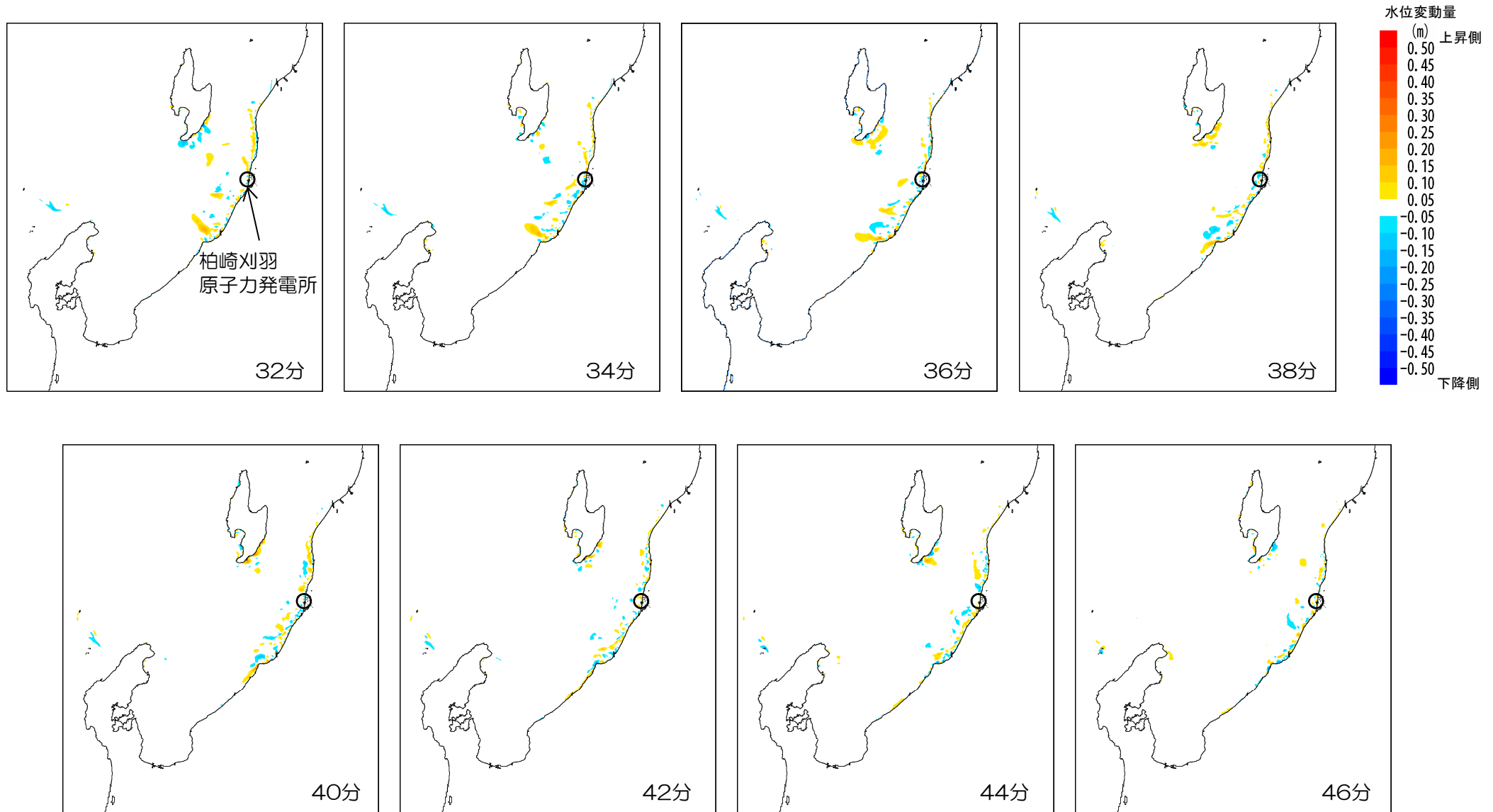
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (Watts et al.(2005)の予測式に基づく手法)

■海底地すべりによる津波 LS-2 (16分~30分)



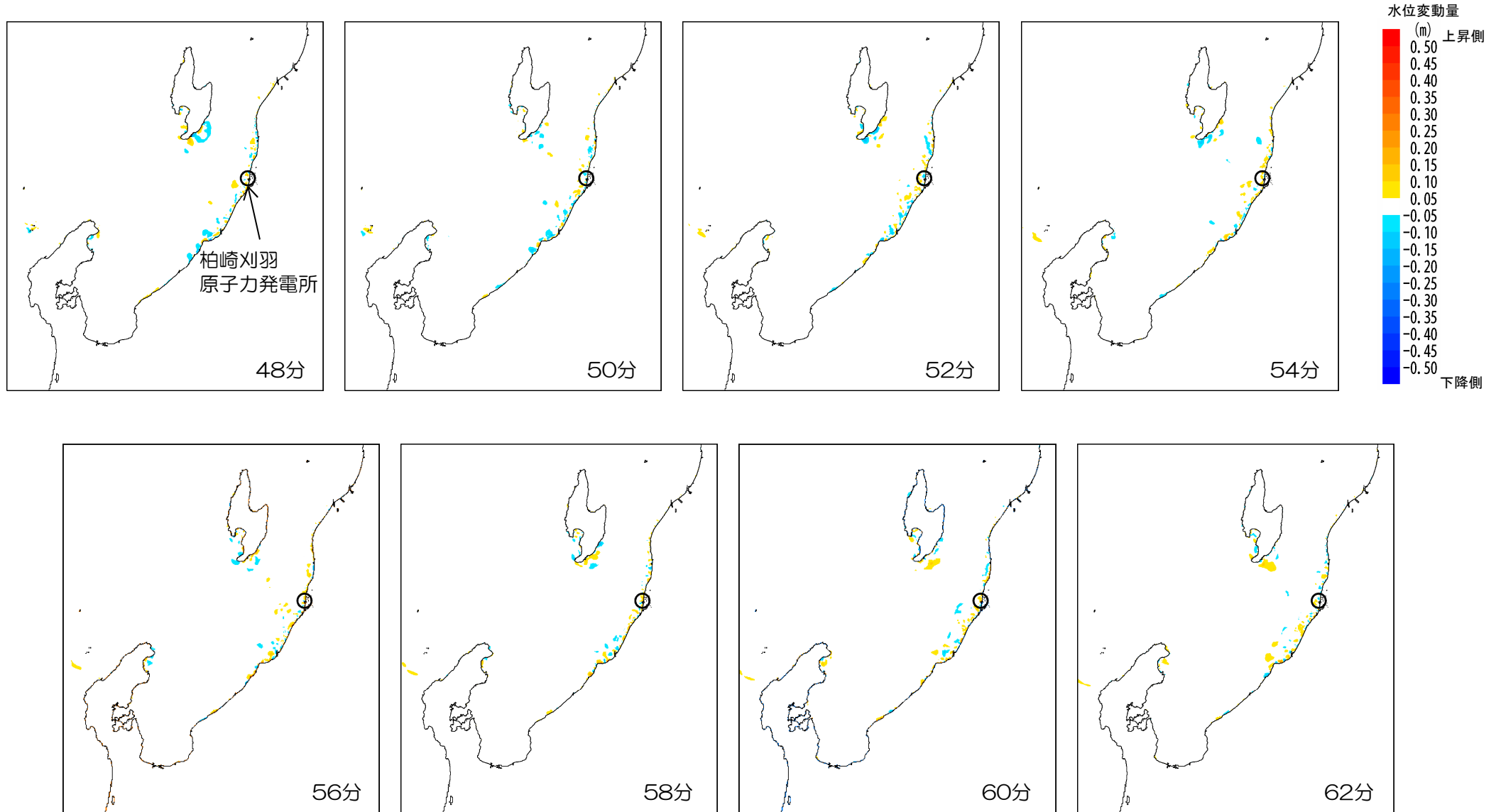
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (Watts et al.(2005)の予測式に基づく手法)

■海底地すべりによる津波 LS-2 (32分~46分)



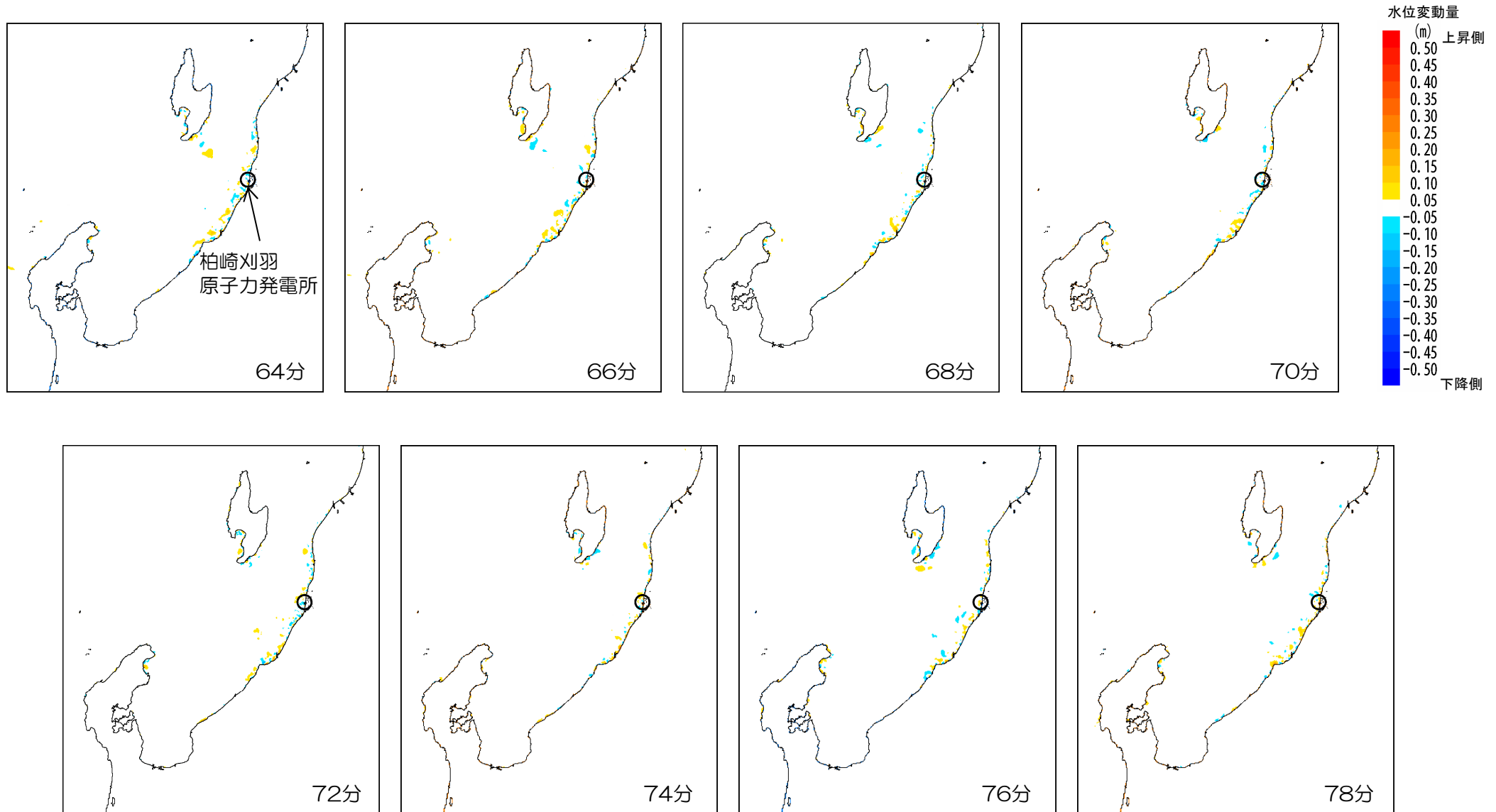
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (Watts et al.(2005)の予測式に基づく手法)

■海底地すべりによる津波 LS-2 (48分~62分)



4. 4 海底地すべり 伝播状況 (Watts et al.(2005)の予測式に基づく手法)

■海底地すべりによる津波 LS-2 (64分~78分)



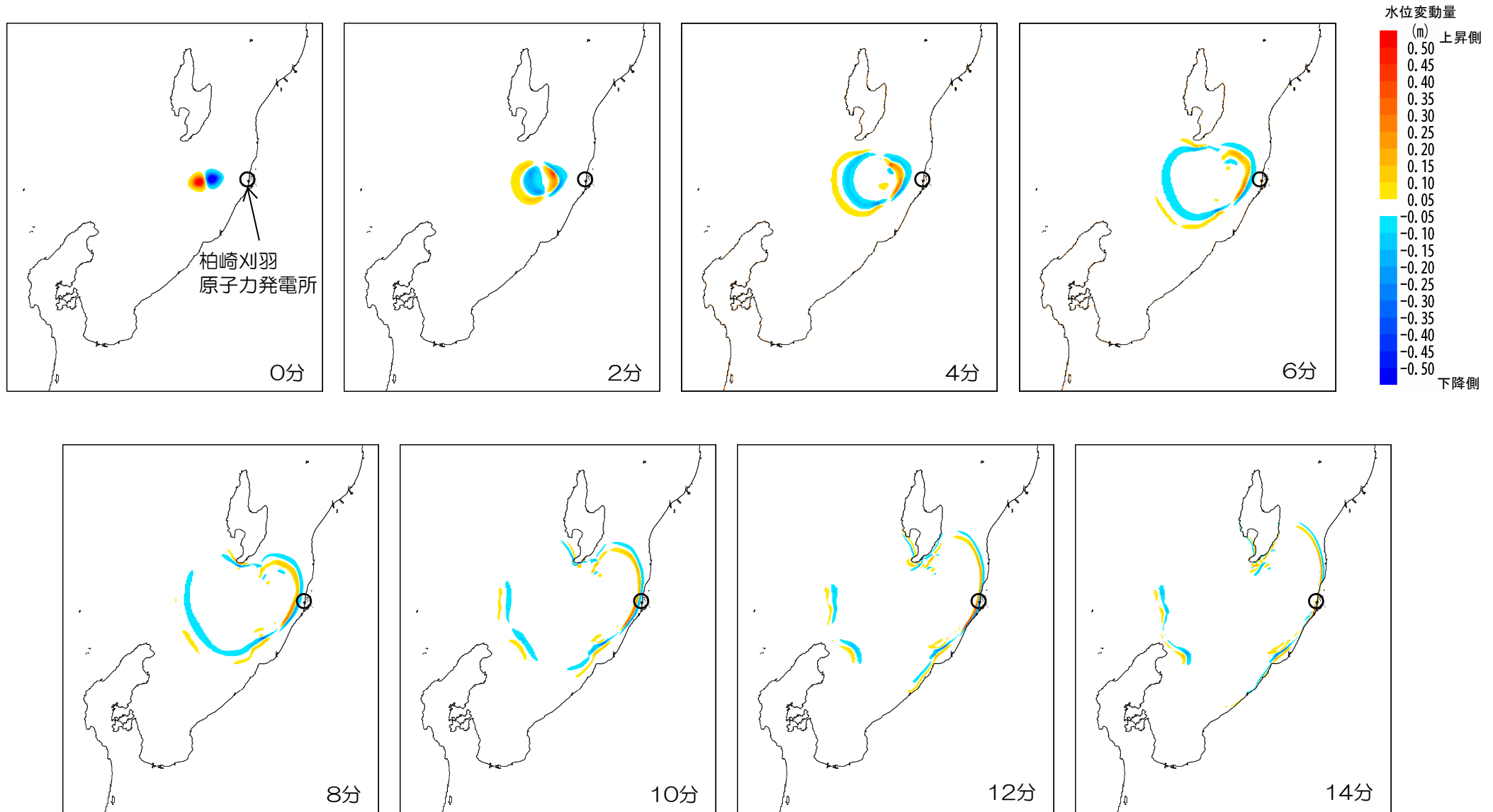
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (Watts et al.(2005)の予測式に基づく手法)

■海底地すべりによる津波 LS-2 (80分~90分)



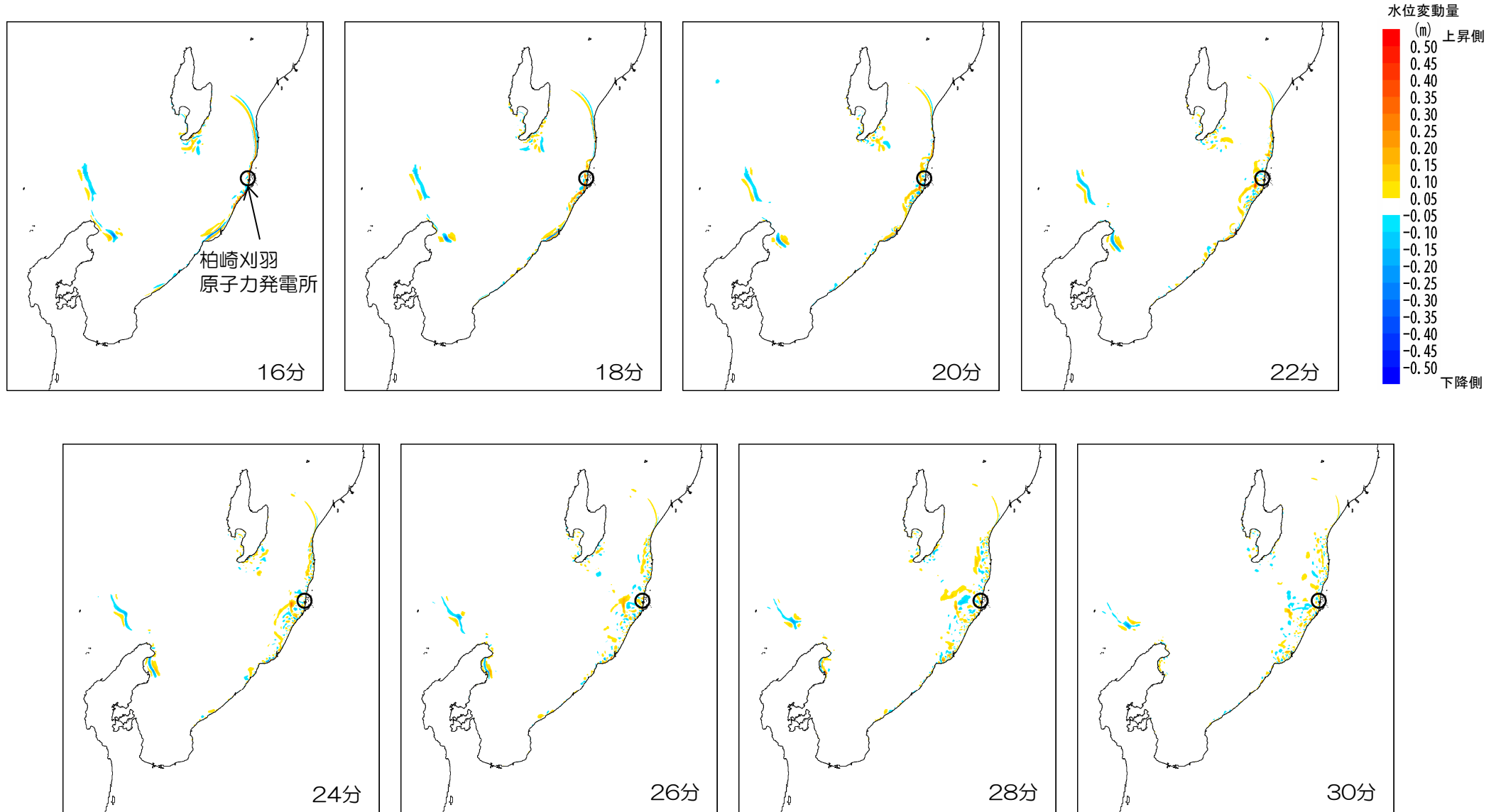
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (Watts et al.(2005)の予測式に基づく手法)

■海底地すべりによる津波 LS-3 (0分~14分)



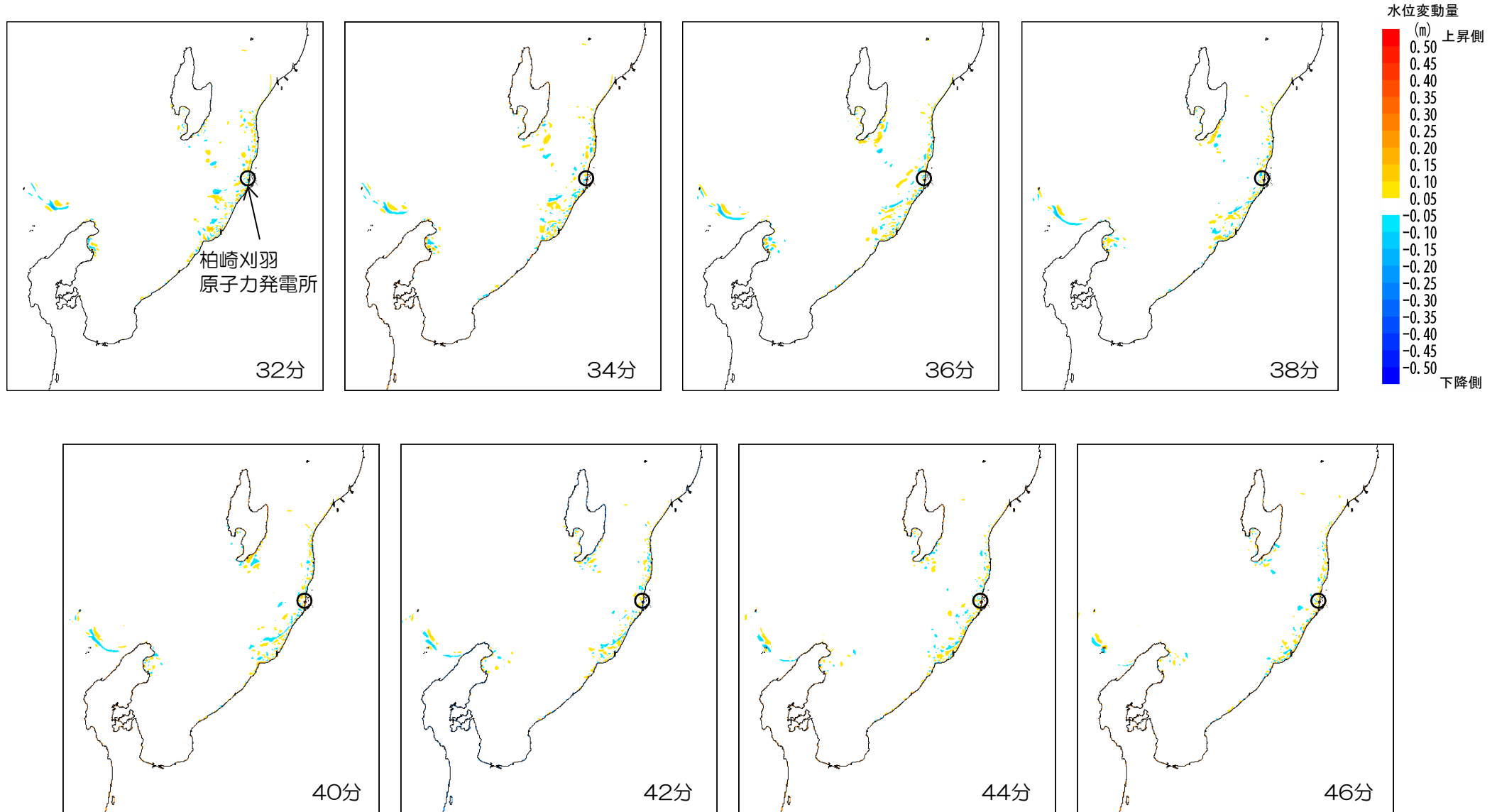
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (Watts et al.(2005)の予測式に基づく手法)

■海底地すべりによる津波 LS-3 (16分~30分)



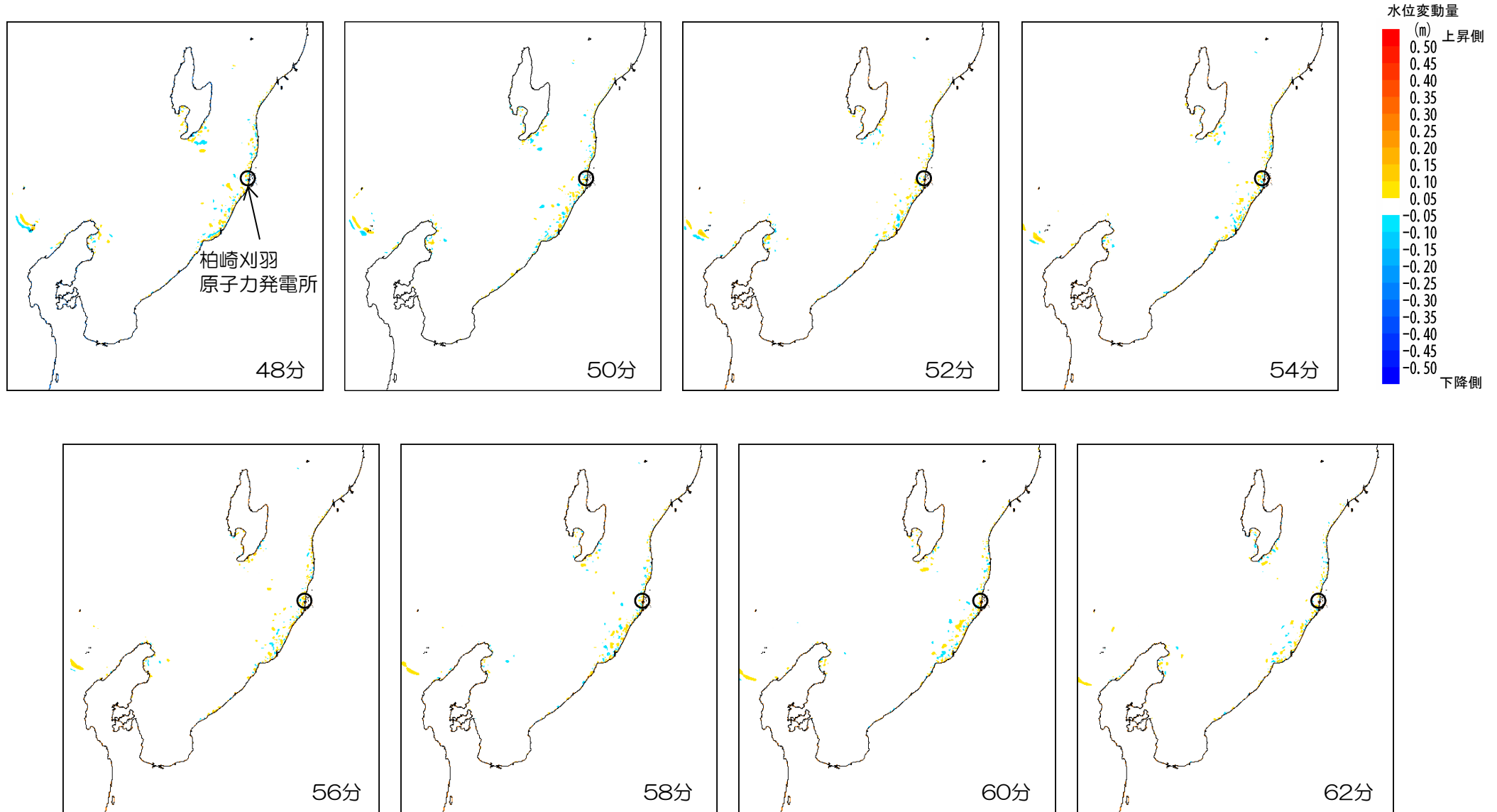
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (Watts et al.(2005)の予測式に基づく手法)

■海底地すべりによる津波 LS-3 (32分~46分)



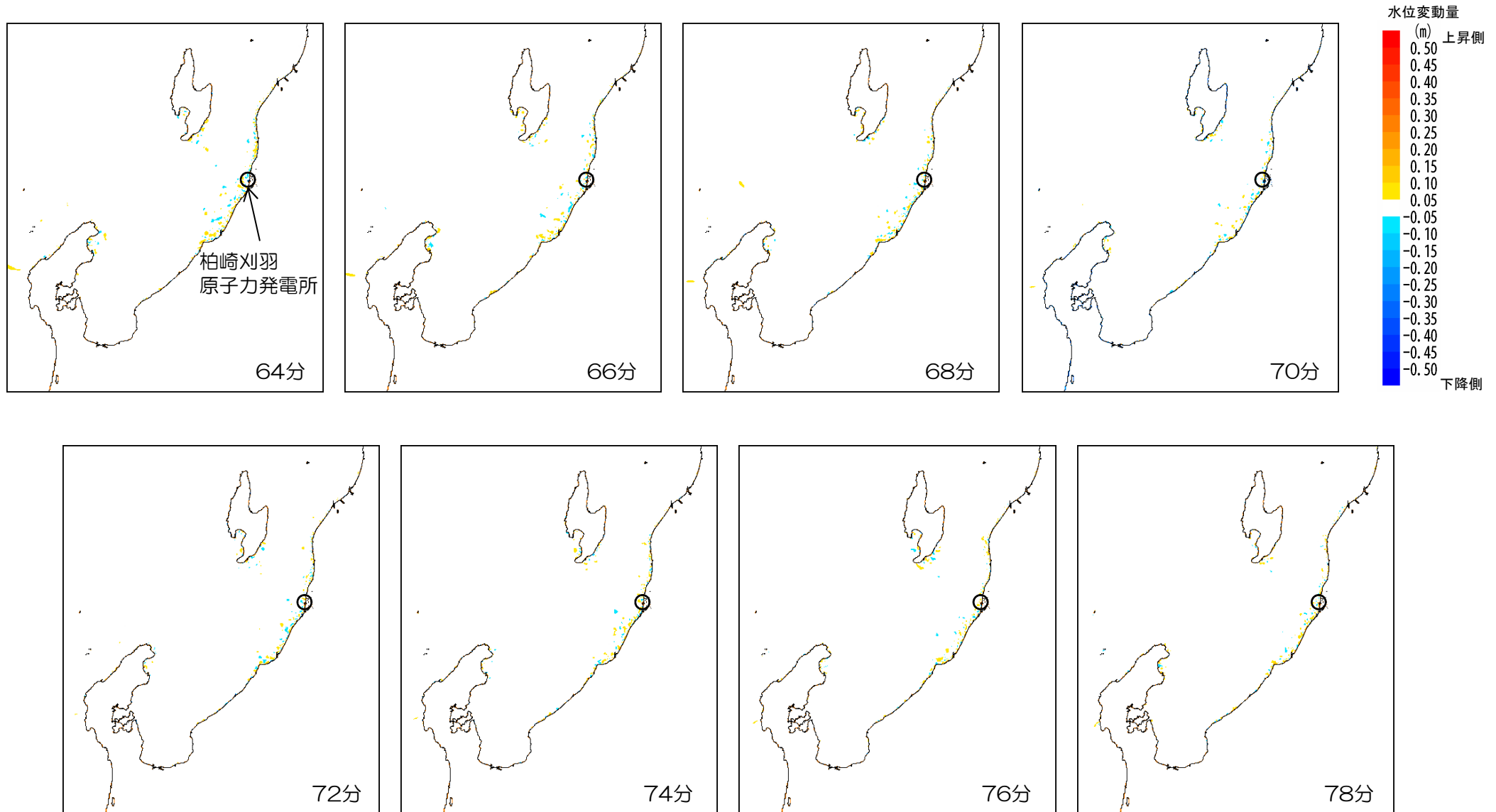
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (Watts et al.(2005)の予測式に基づく手法)

■海底地すべりによる津波 LS-3 (48分~62分)



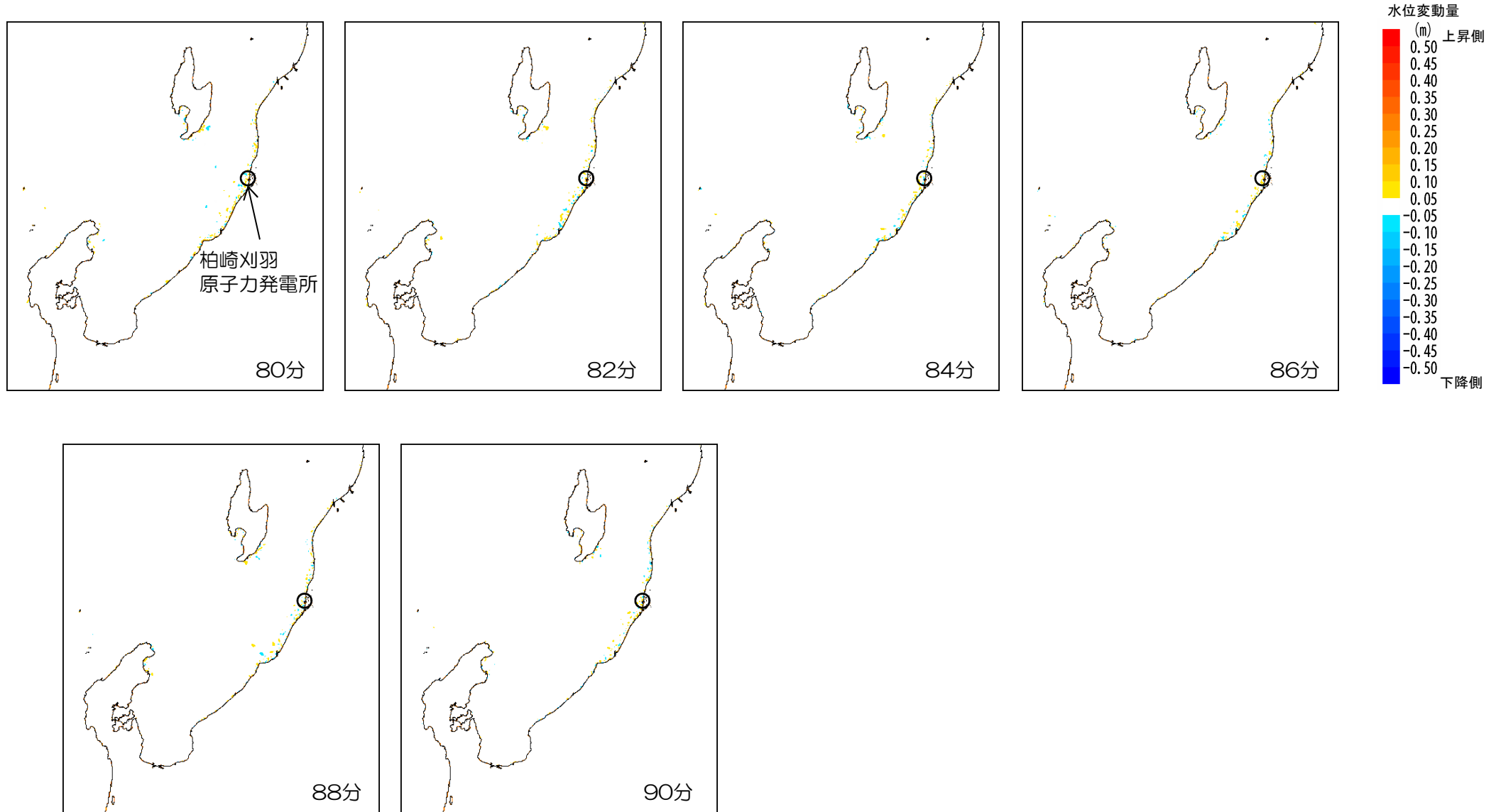
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (Watts et al.(2005)の予測式に基づく手法)

■海底地すべりによる津波 LS-3 (64分~78分)



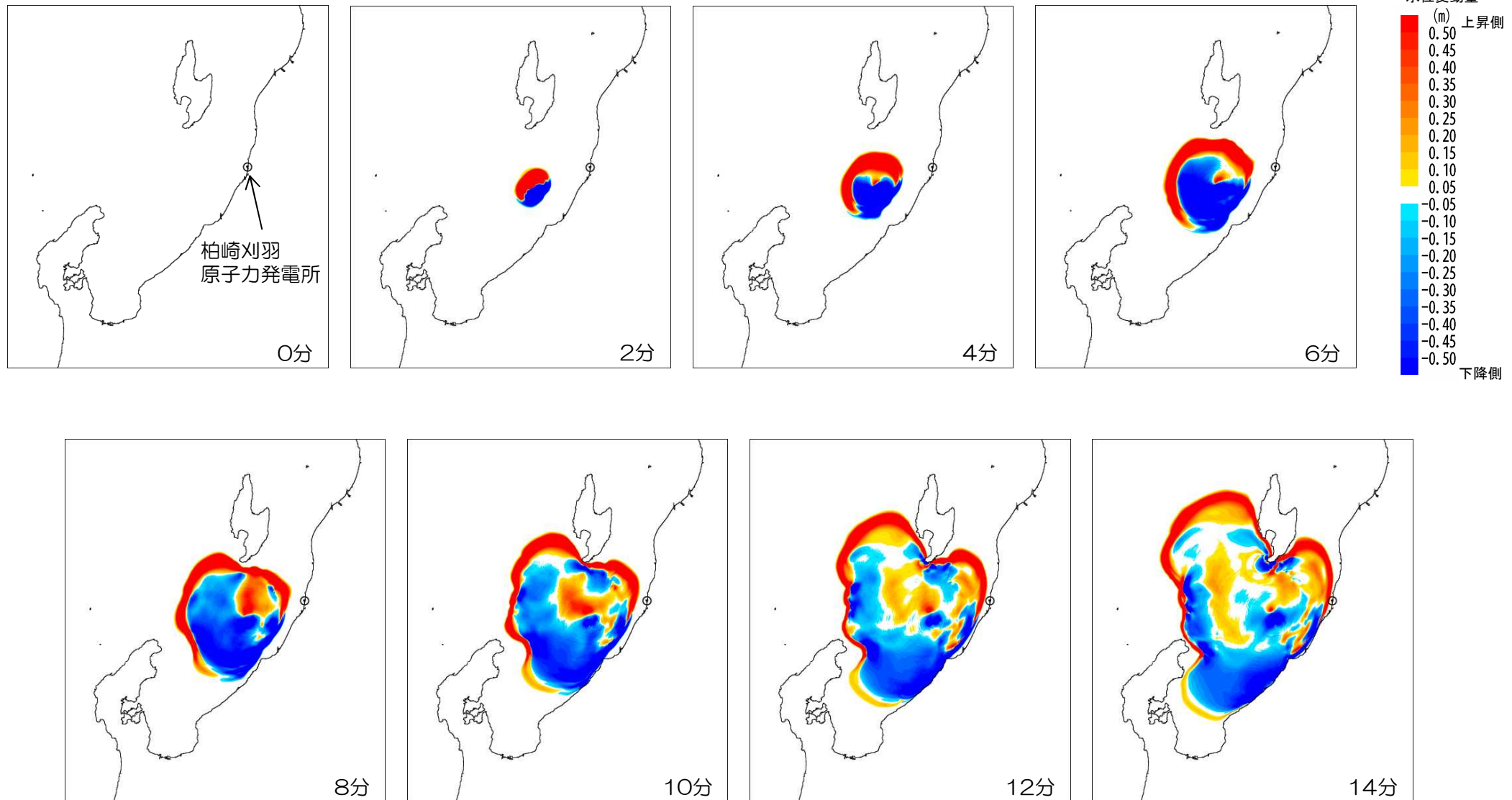
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (Watts et al.(2005)の予測式に基づく手法)

■海底地すべりによる津波 LS-3 (80分~90分)



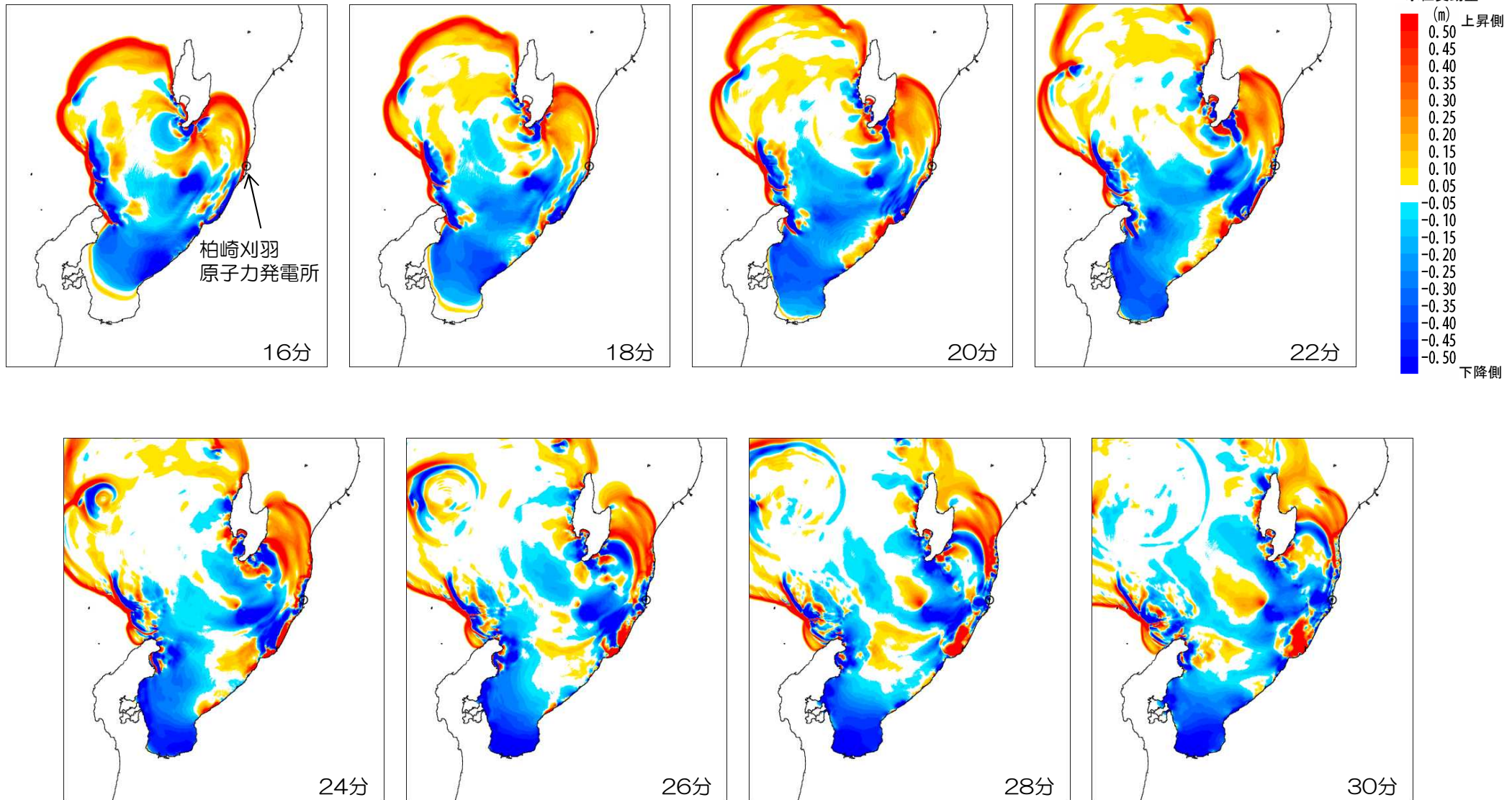
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (二層流モデルに基づく手法)

■ 海底地すべりによる津波 LS-1 (0分~14分)



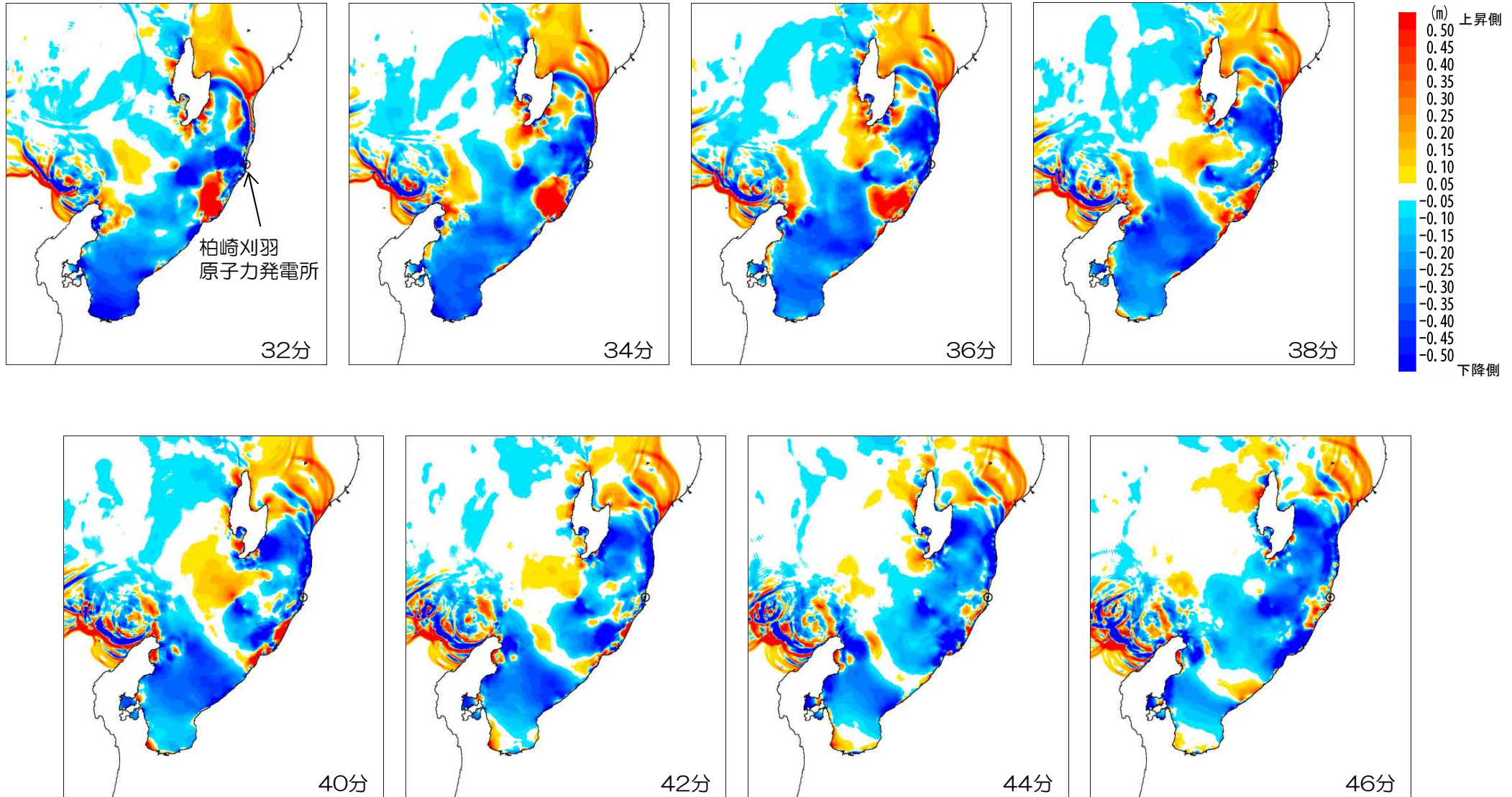
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (二層流モデルに基づく手法)

■ 海底地すべりによる津波 LS-1 (16分~30分)



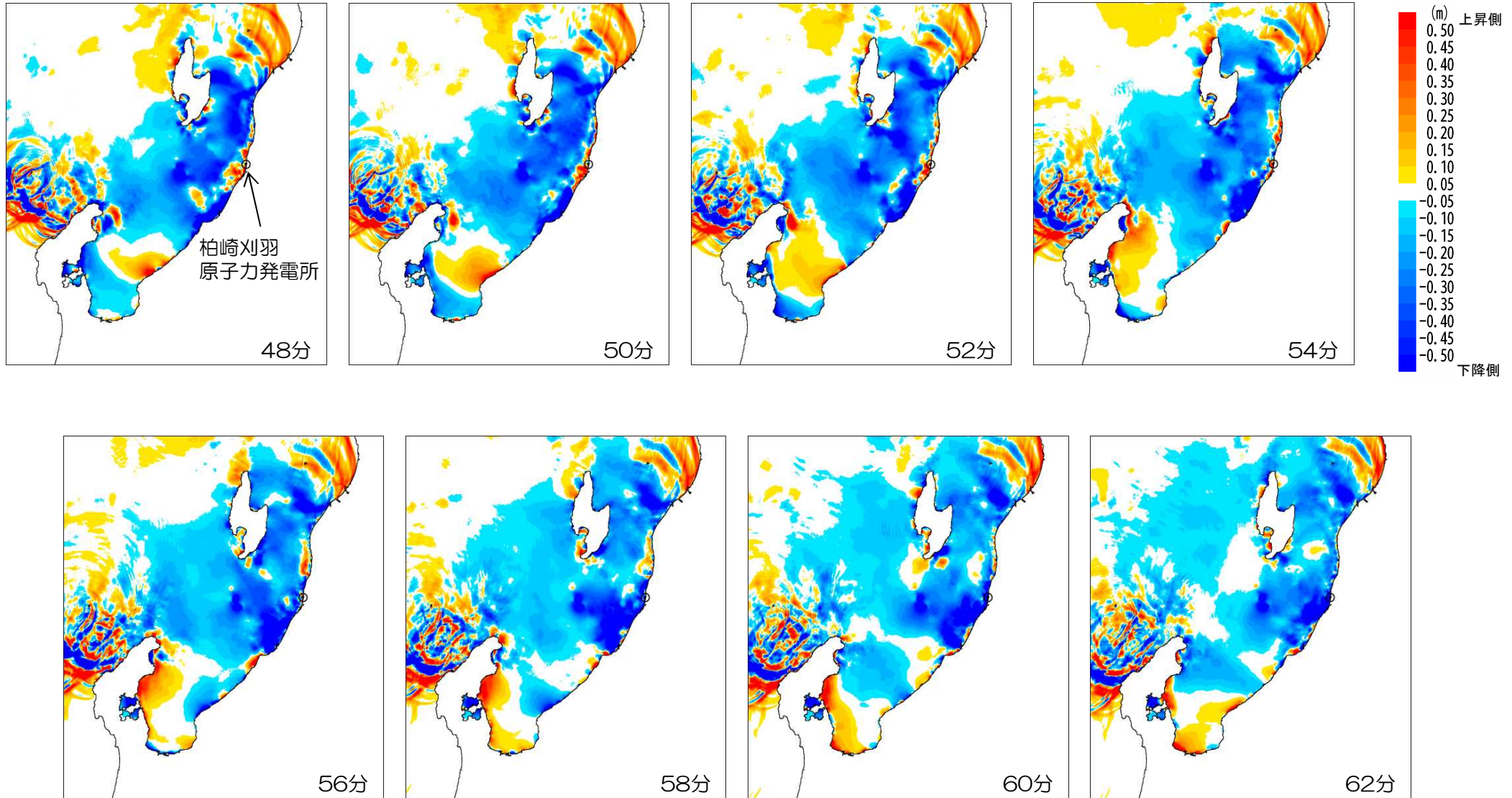
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (二層流モデルに基づく手法)

■ 海底地すべりによる津波 LS-1 (32分~46分)



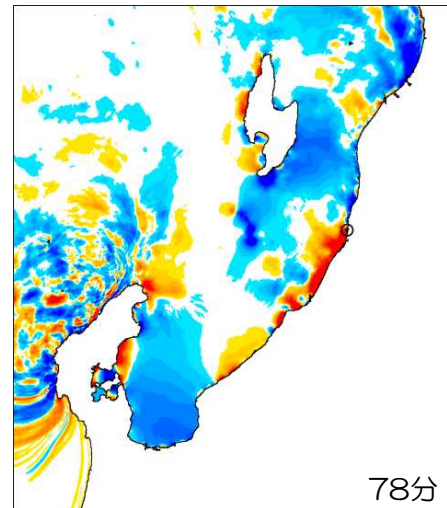
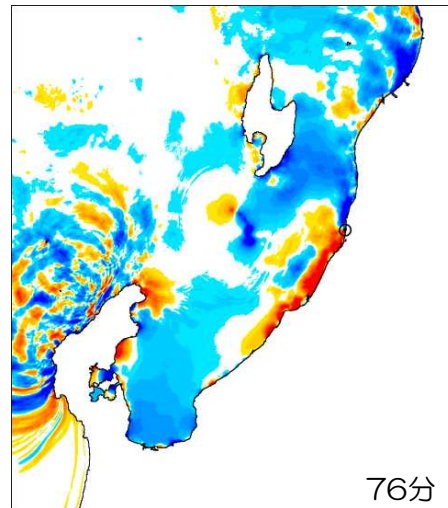
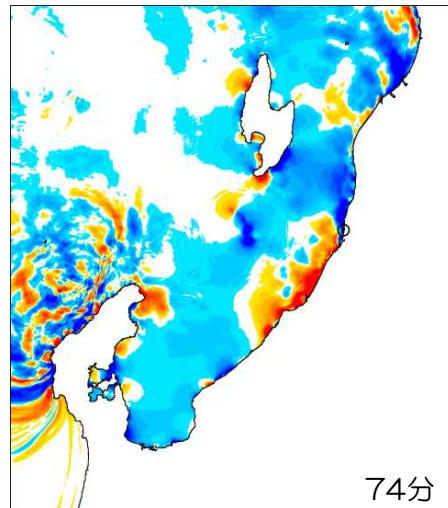
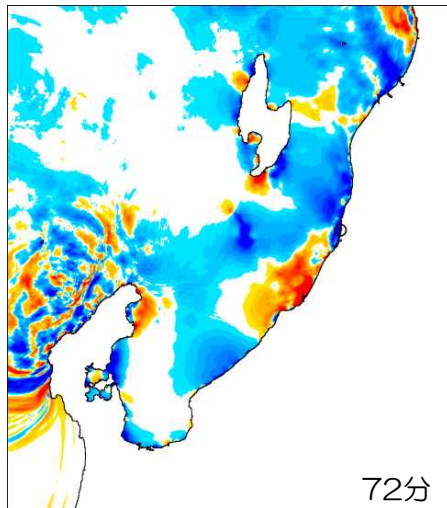
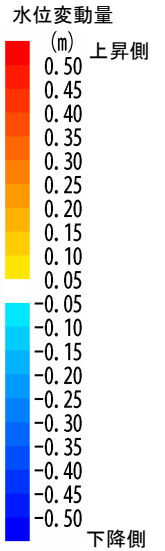
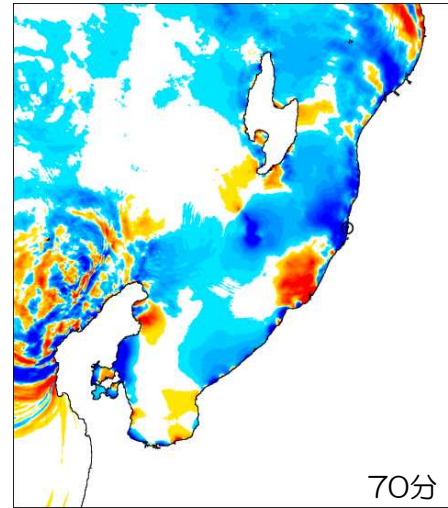
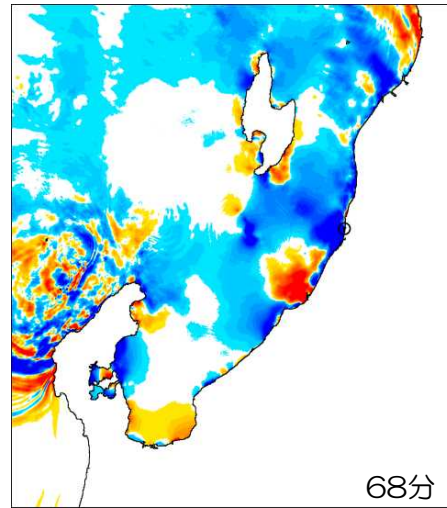
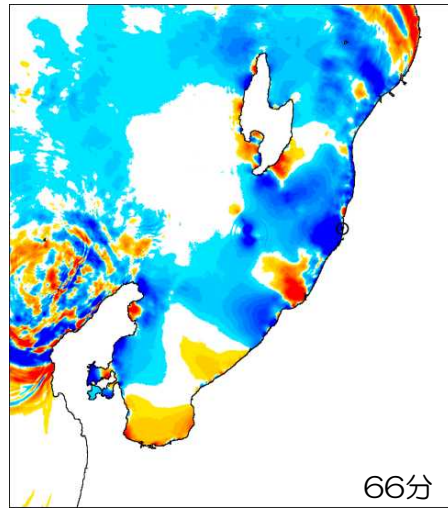
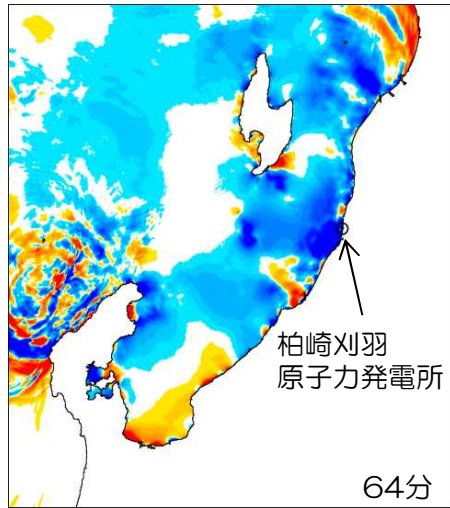
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (二層流モデルに基づく手法)

■ 海底地すべりによる津波 LS-1 (48分~62分)



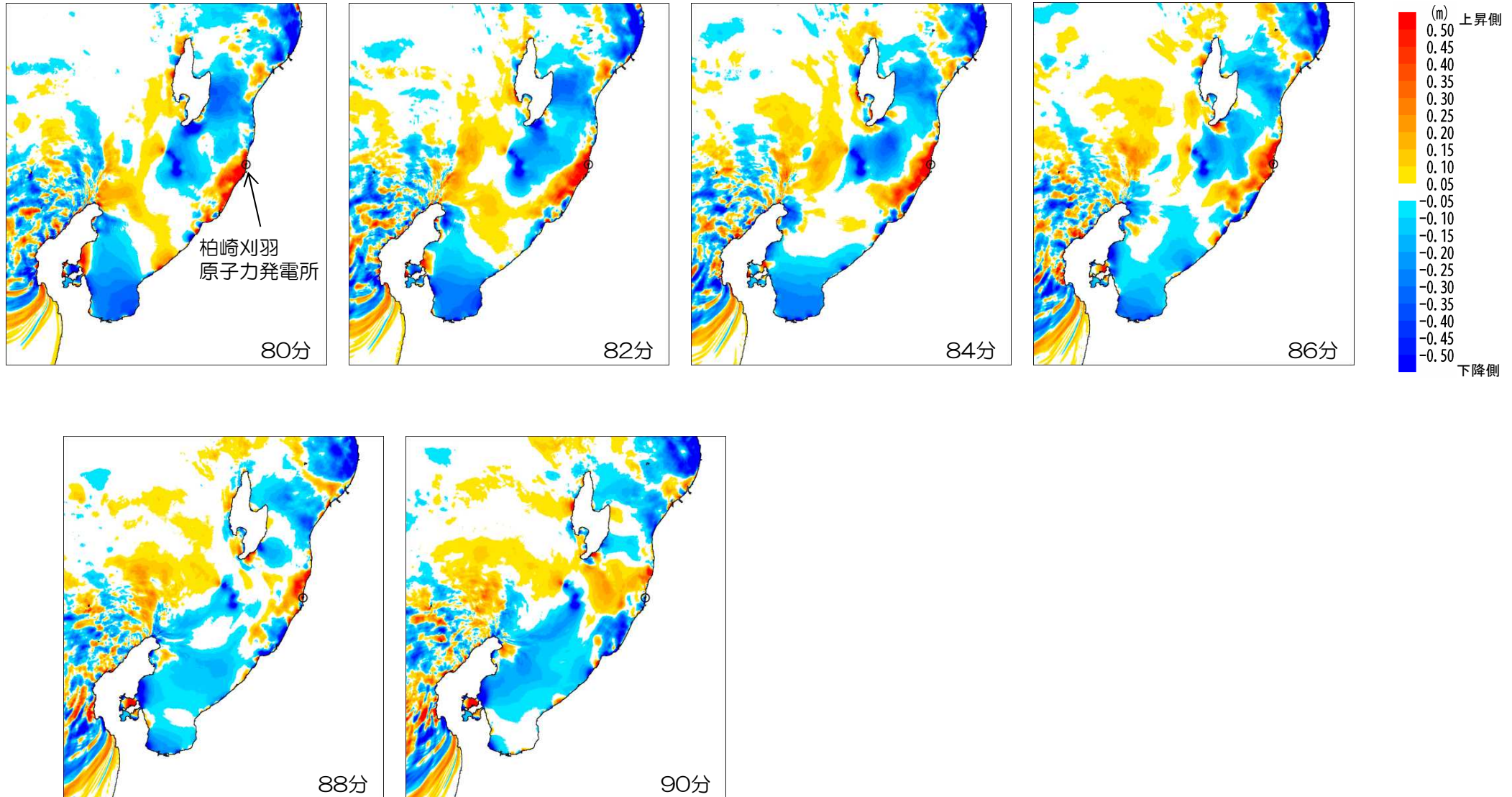
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (二層流モデルに基づく手法)

■ 海底地すべりによる津波 LS-1 (64分~78分)



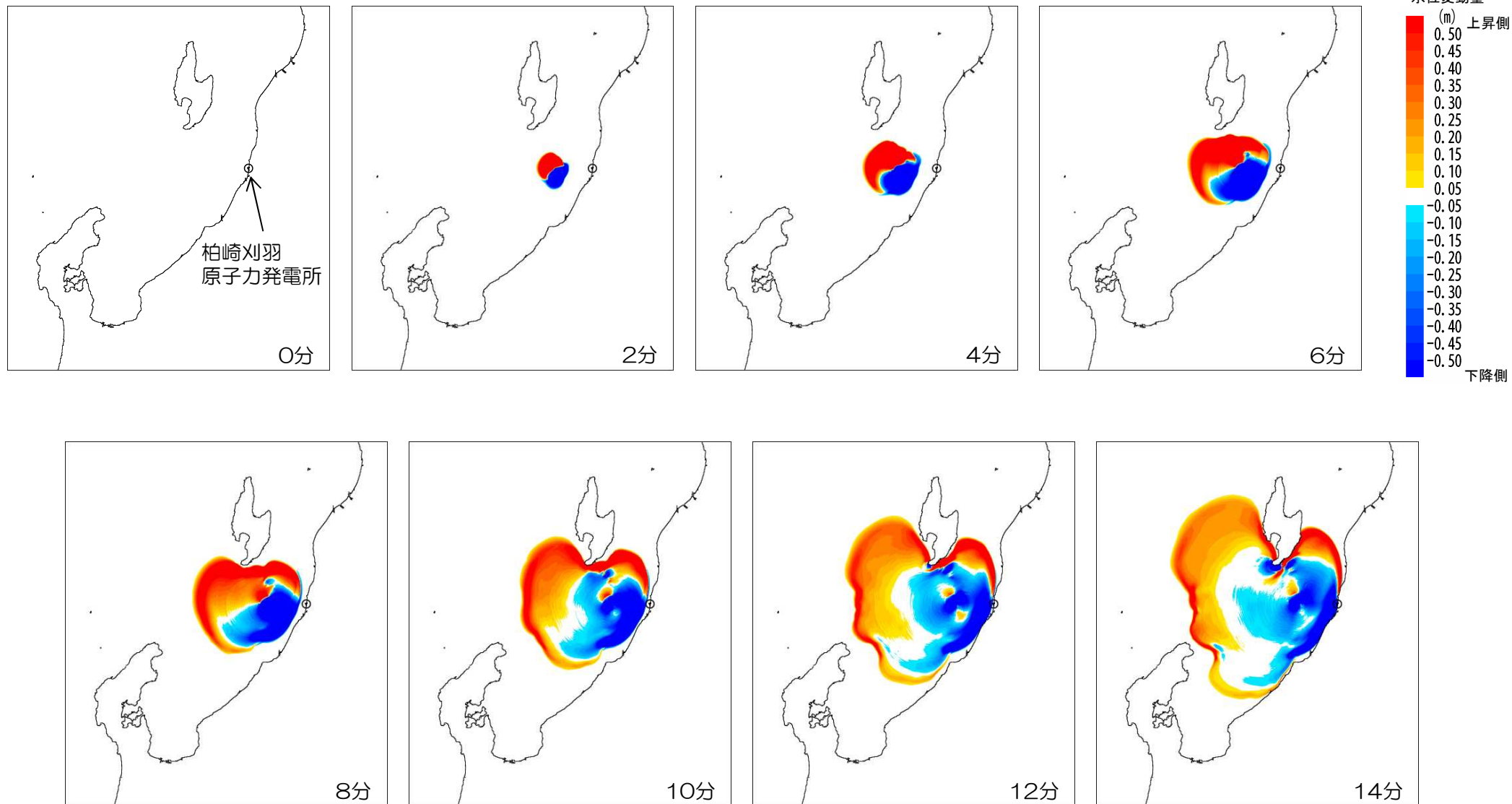
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (二層流モデルに基づく手法)

■海底地すべりによる津波 LS-1 (80分~90分)



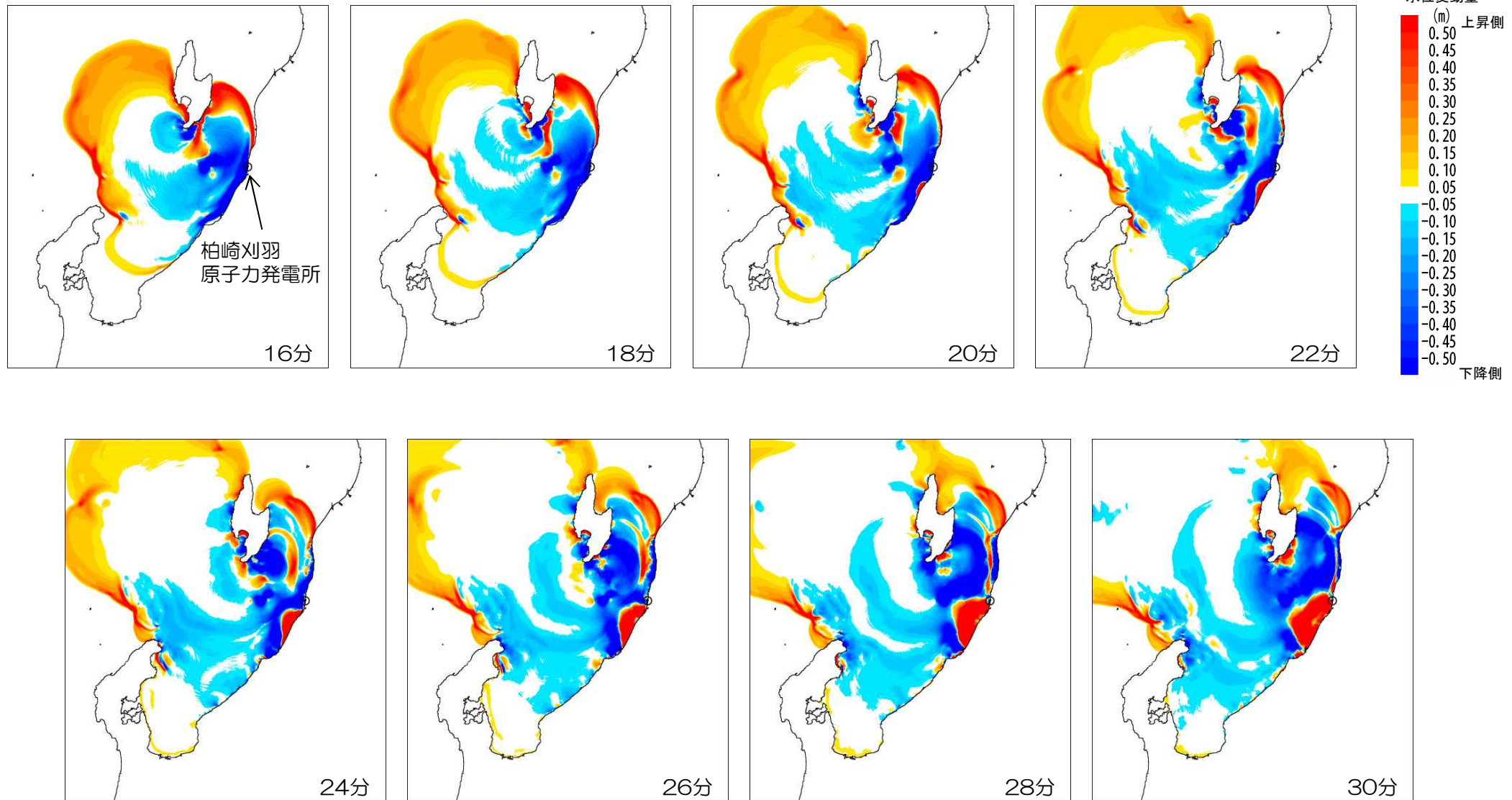
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (二層流モデルに基づく手法)

■ 海底地すべりによる津波 LS-2 (0分~14分)



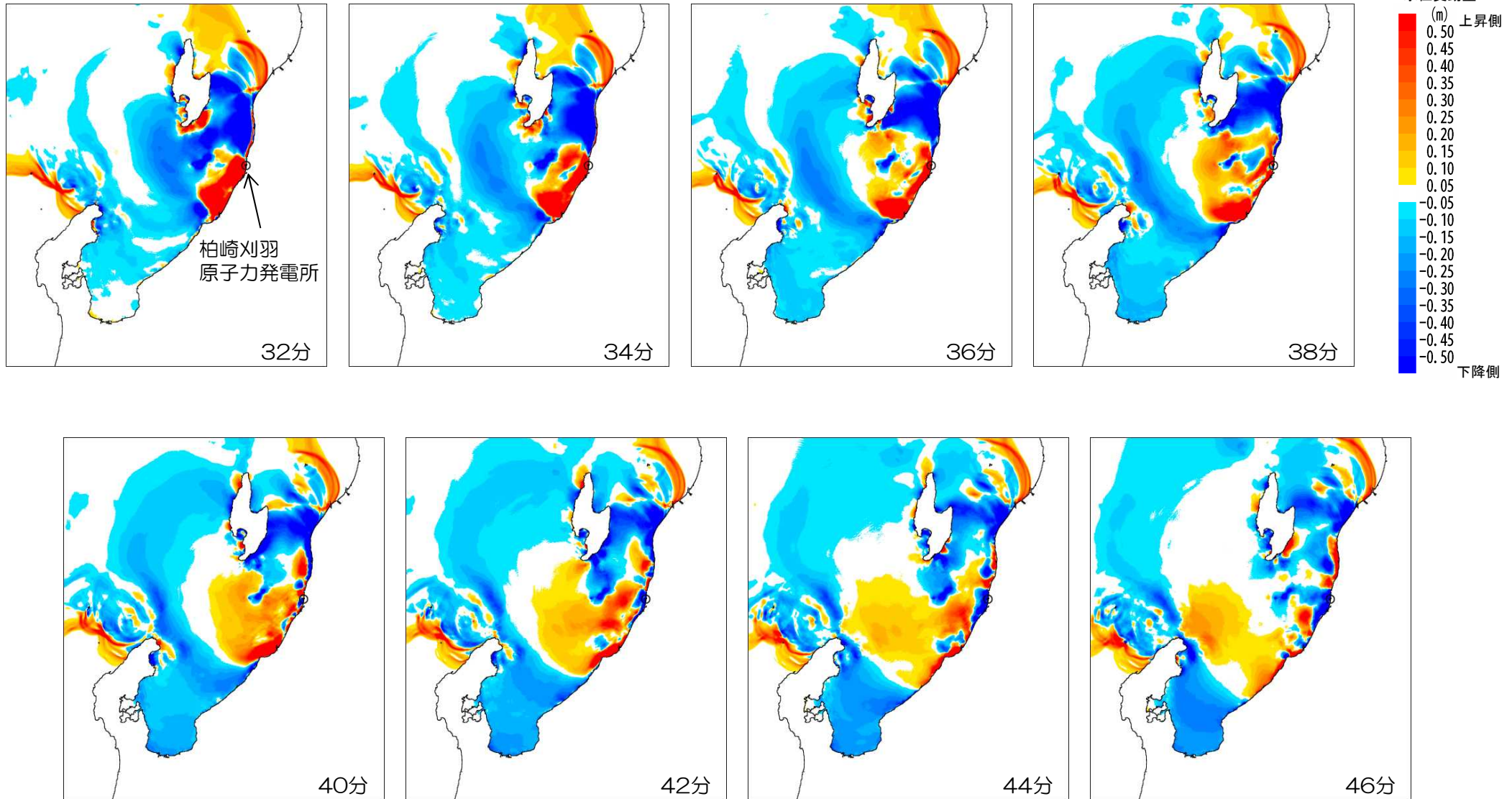
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (二層流モデルに基づく手法)

■ 海底地すべりによる津波 LS-2 (16分~30分)



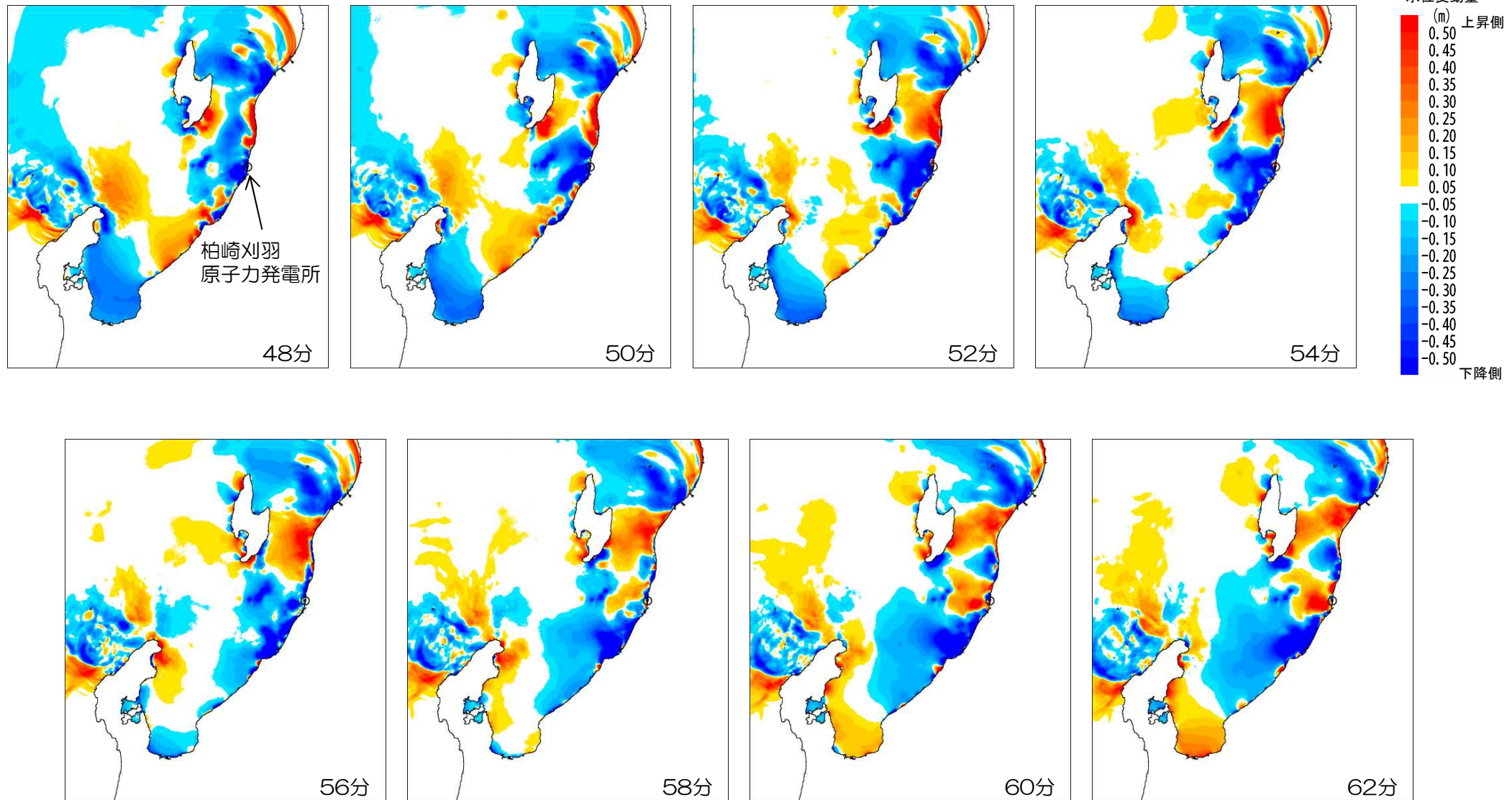
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (二層流モデルに基づく手法)

■ 海底地すべりによる津波 LS-2 (32分~46分)



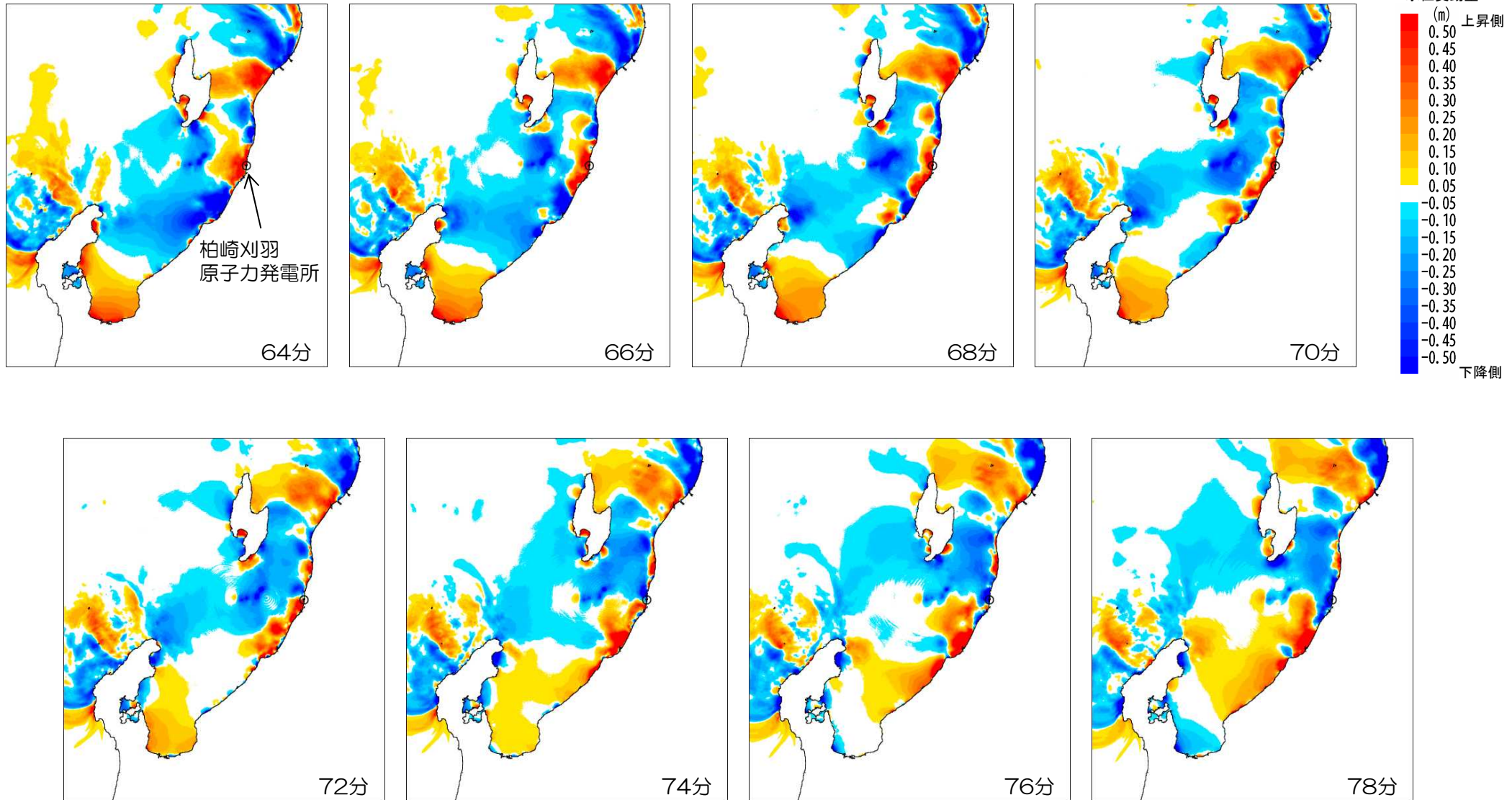
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (二層流モデルに基づく手法)

■ 海底地すべりによる津波 LS-2 (48分~62分)



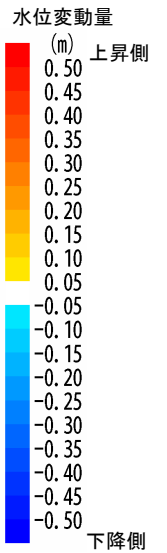
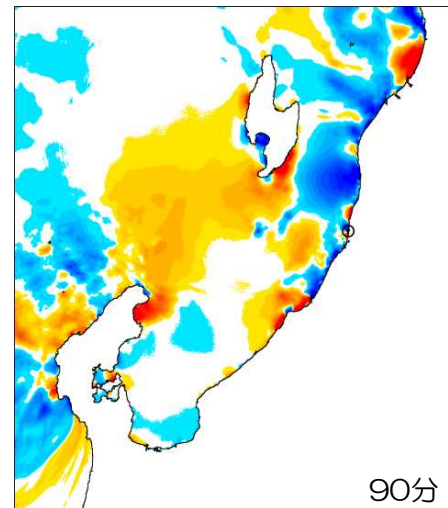
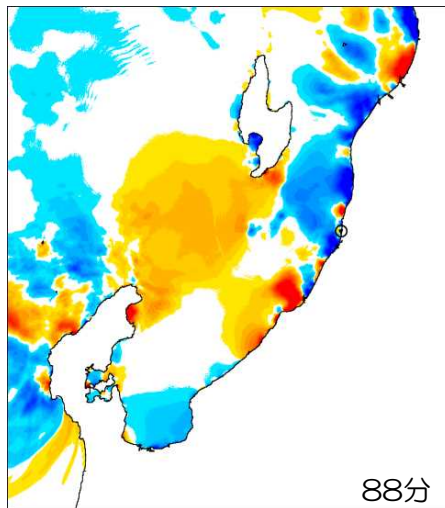
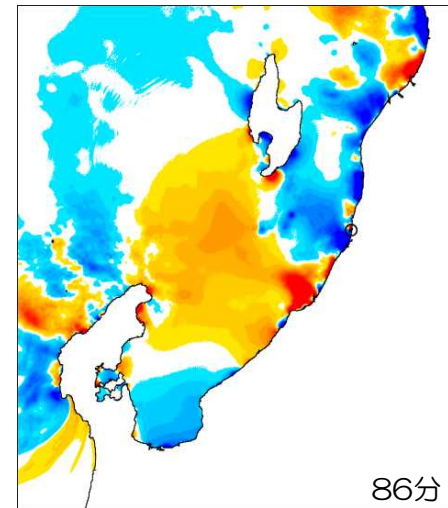
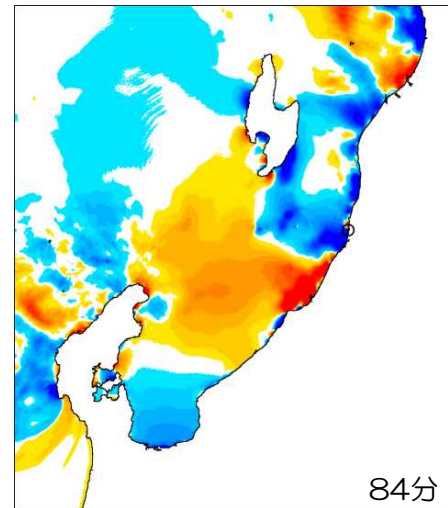
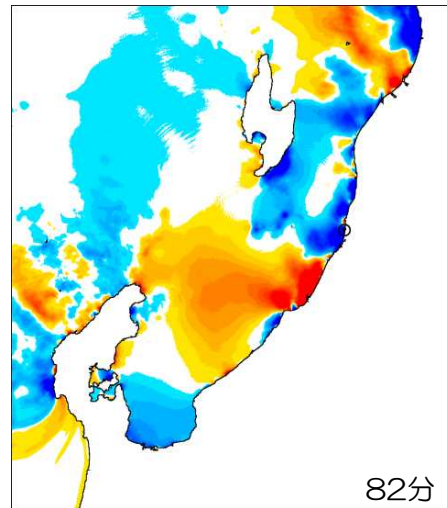
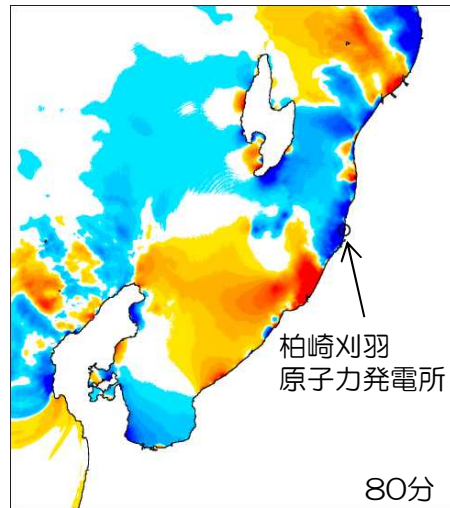
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (二層流モデルに基づく手法)

■ 海底地すべりによる津波 LS-2 (64分~78分)



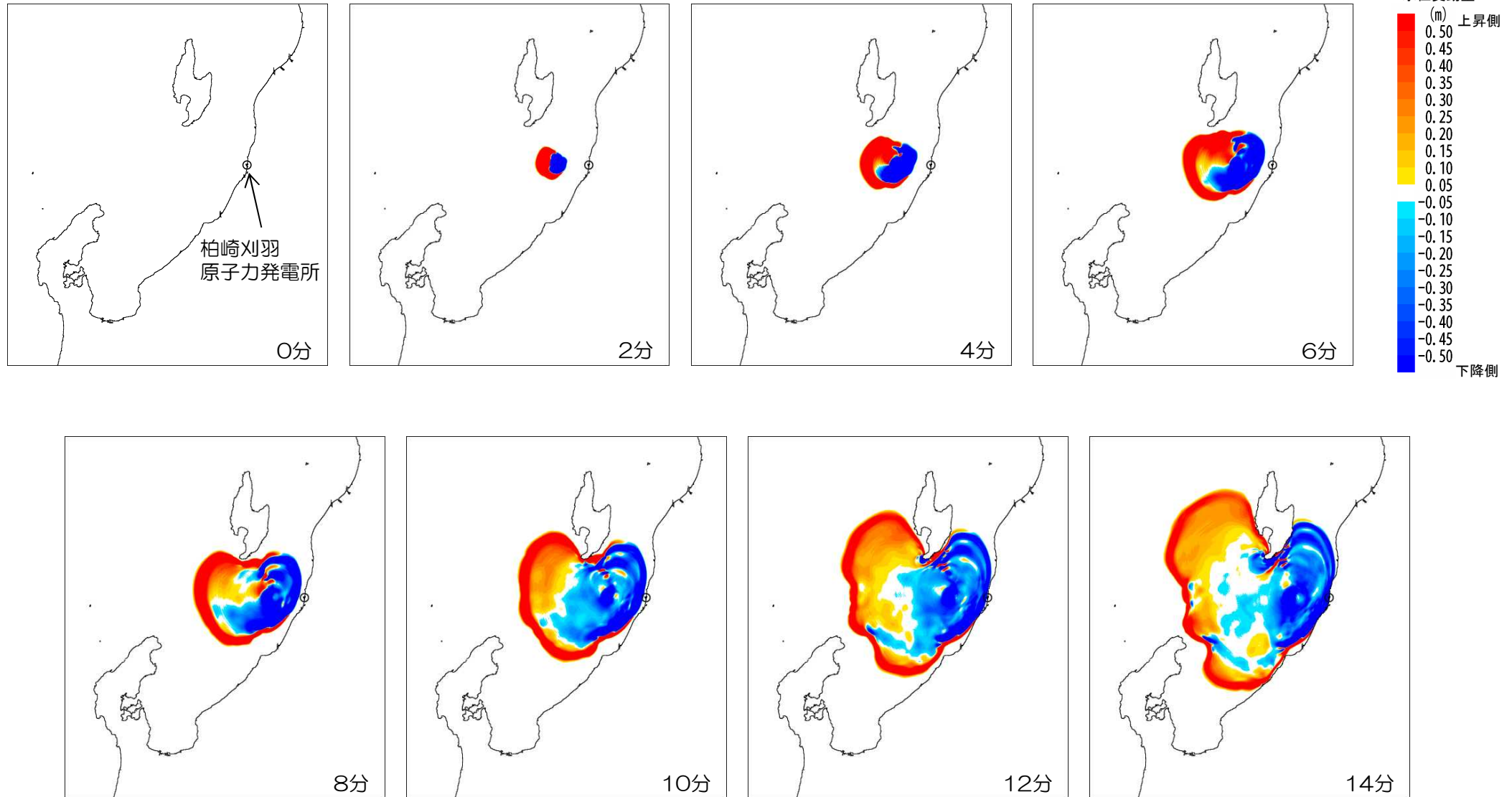
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (二層流モデルに基づく手法)

■ 海底地すべりによる津波 LS-2 (80分~90分)



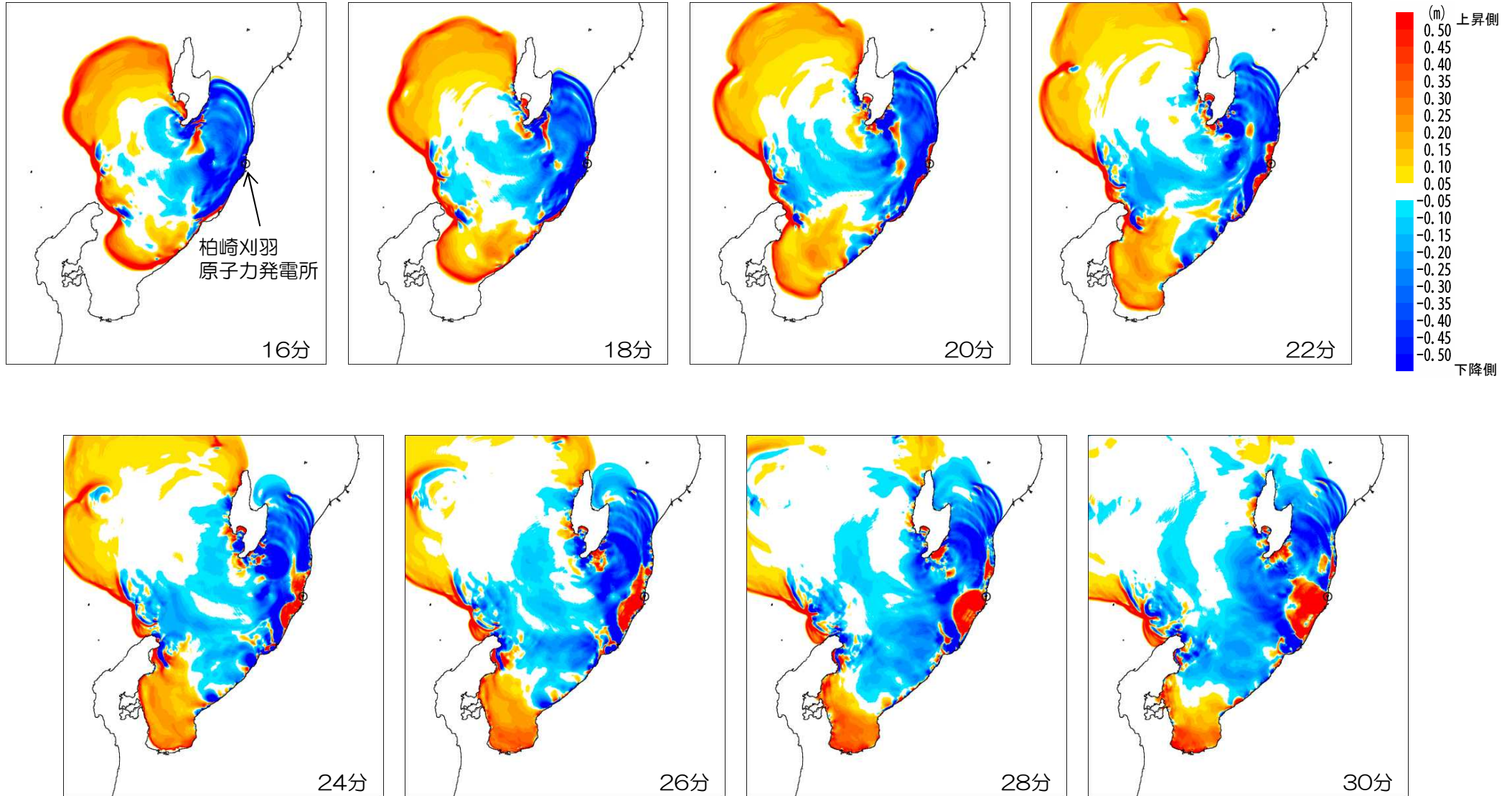
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (二層流モデルに基づく手法)

■ 海底地すべりによる津波 LS-3 (0分~14分)



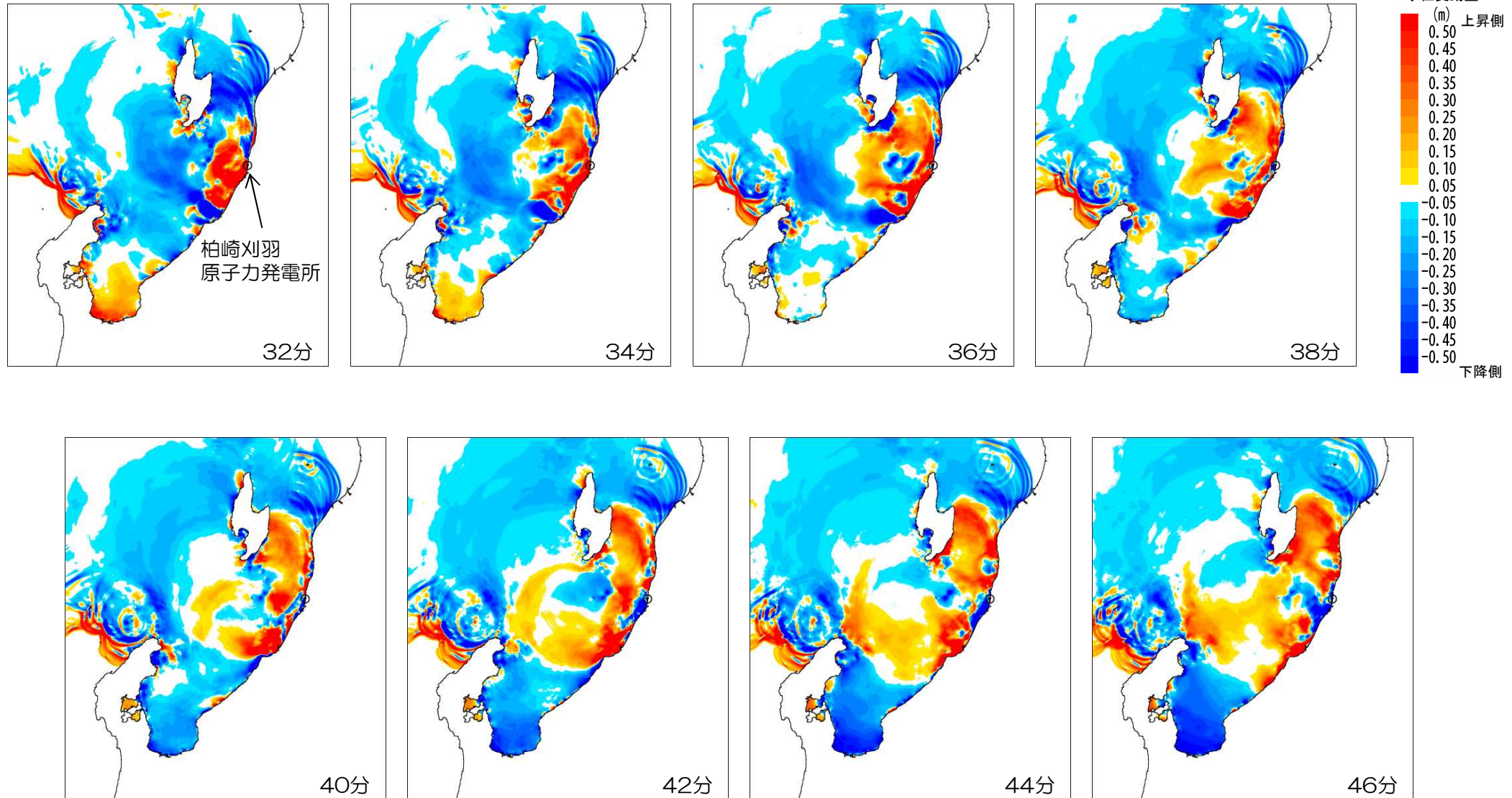
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (二層流モデルに基づく手法)

■ 海底地すべりによる津波 LS-3 (16分~30分)



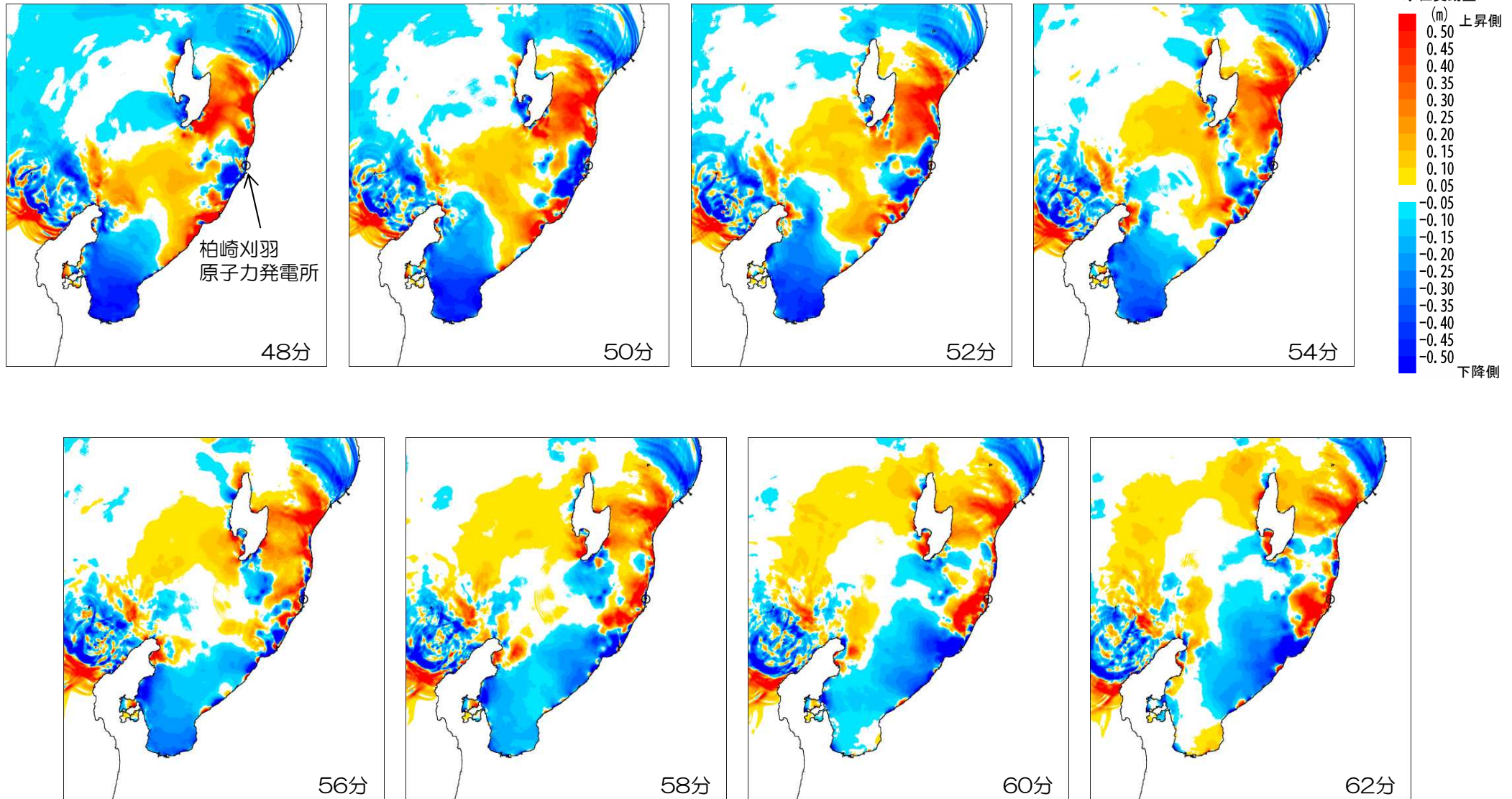
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (二層流モデルに基づく手法)

■ 海底地すべりによる津波 LS-3 (32分~46分)



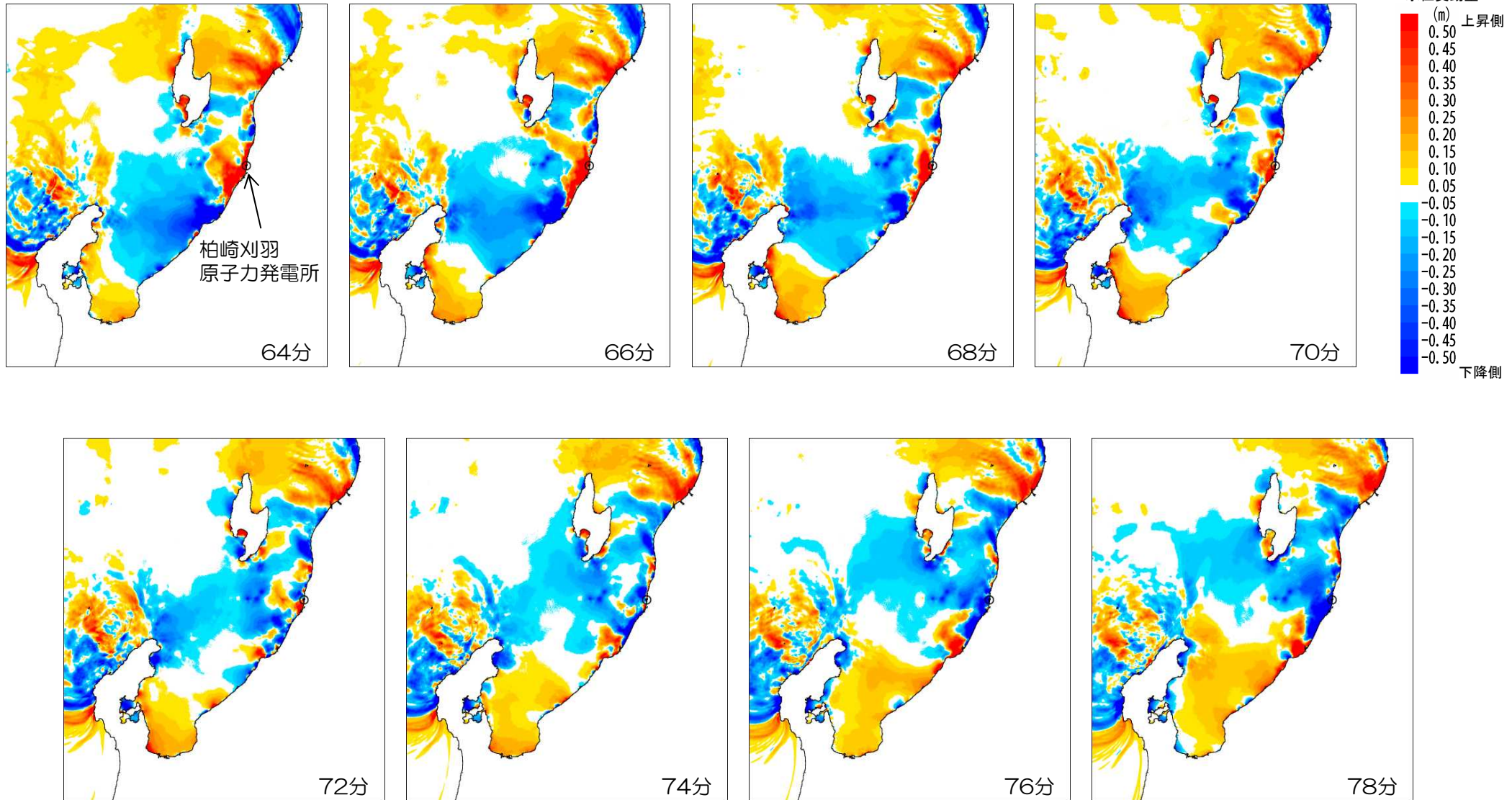
4. 4 海底地すべり 伝播状況 (二層流モデルに基づく手法)

■ 海底地すべりによる津波 LS-3 (48分~62分)



4. 4 海底地すべり 伝播状況 (二層流モデルに基づく手法)

■ 海底地すべりによる津波 LS-3 (64分~78分)



4. 4 海底地すべり 伝播状況 (二層流モデルに基づく手法)

■ 海底地すべりによる津波 LS-3 (80分~90分)

