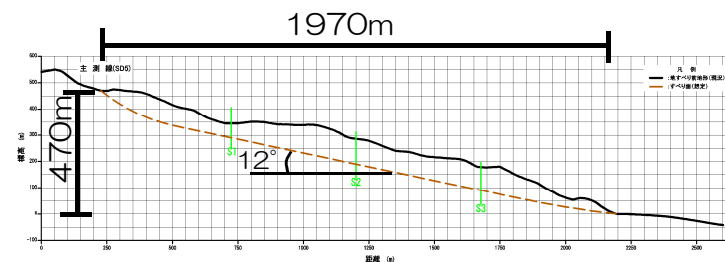


4. 5 陸域の斜面崩壊による津波の影響検討

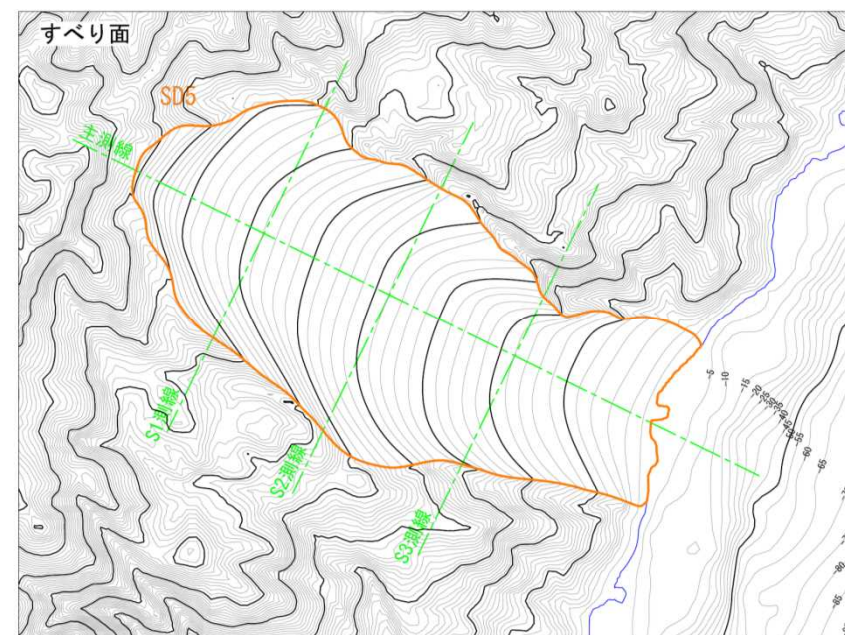
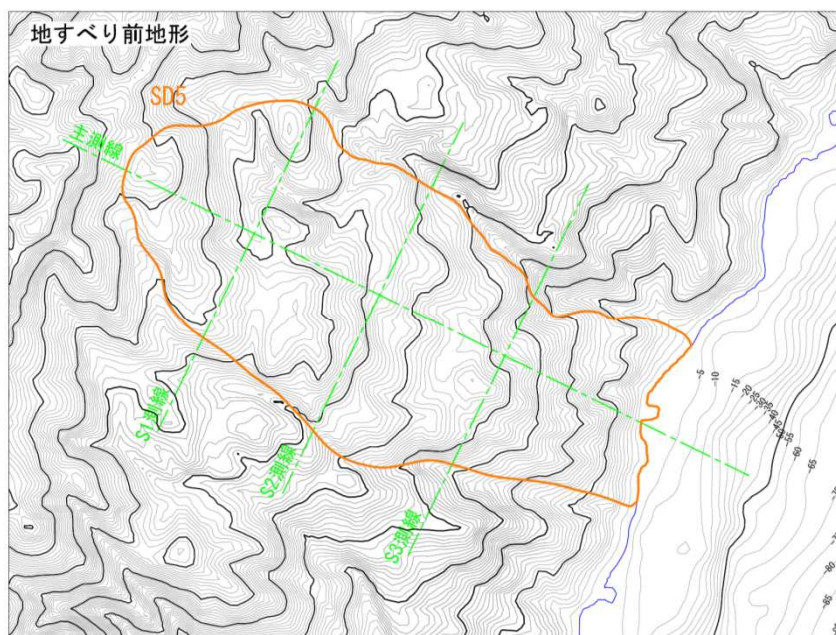
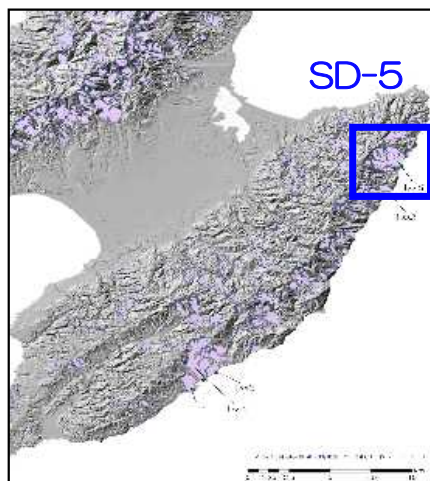
■SD-5：土砂崩壊シミュレーション（TITAN-2D）

- SD-5について空中写真判読を実施し、地形の詳細分析を行い、すべり面形状を推定した。
- 不確かさの考慮として、防災科学技術研究所（1986）が示す4つの地すべり土塊の連動の可能性を考慮した。
- 推定したすべり面形状を用いて、TITAN-2Dによる土砂崩壊シミュレーションを実施した。



縦横比1：1

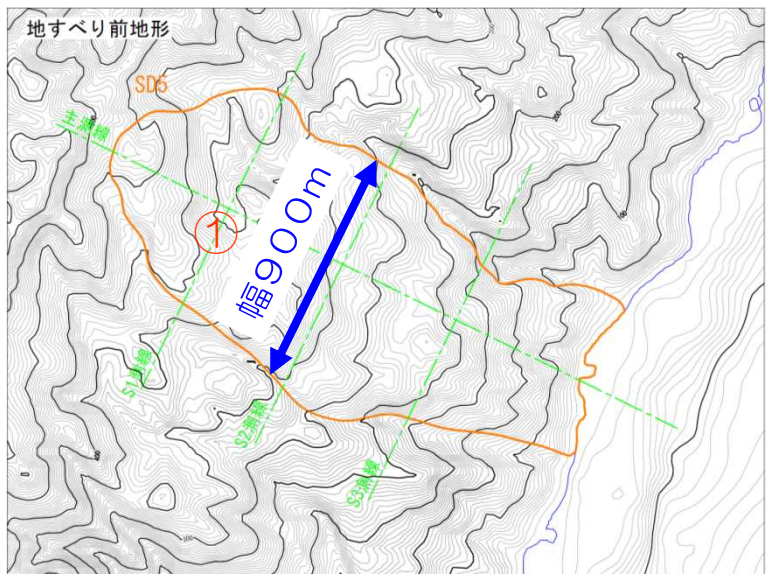
断面図



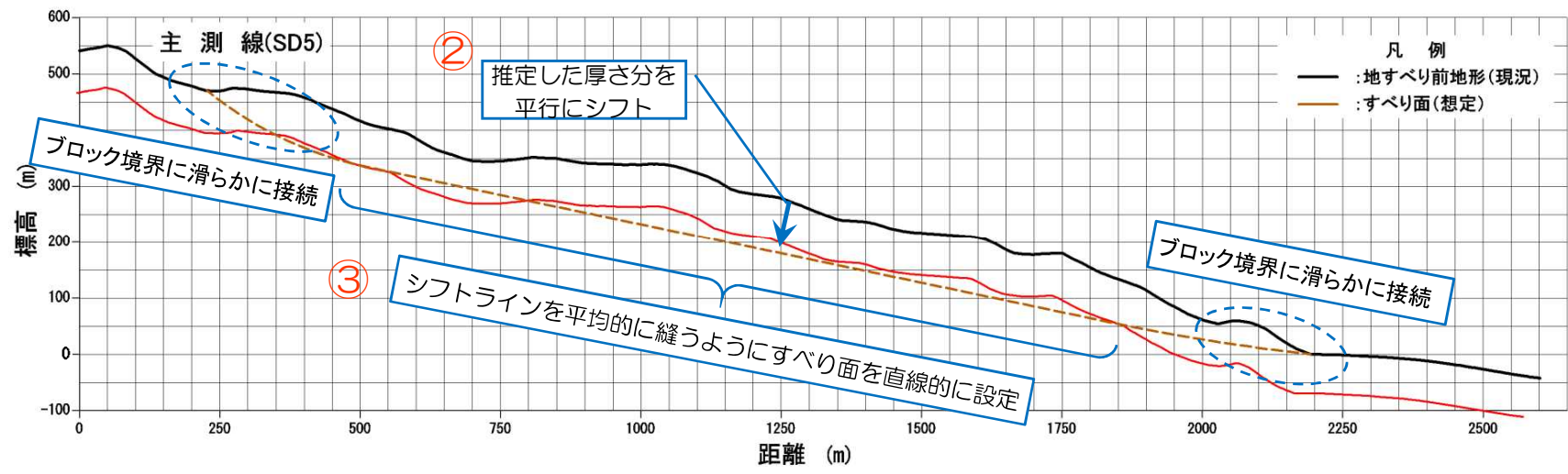
現況地形

推定したすべり面

- 空中判読結果および防災科学技術研究所による評価によって抽出された地すべりブロックについて、ボーリング等の詳細な調査データがないことから、すべり面の分布は推定により設定した。



- ① 抽出した地すべりブロックについて、地すべり幅を設定。
- ② 地すべり幅を基に高速道路調査会により示されている地すべり土塊の幅・厚さの関係を考慮して、厚さを推定。
- ③ 推定された地すべり厚さが地すべりブロック中央部付近の代表的な厚さとみなし、主測線上のすべり面形状を推定。この時、すべり面は推定厚さに沿うように直線的に設定。そして、ブロック境界に対して滑らかに接続するようにすべり面を延長。
- ④ 推定された主測線上のすべり面形状を地すべりブロック中で平面的に展開してすべり面コンターを作成し、地すべり土塊の形状を設定。

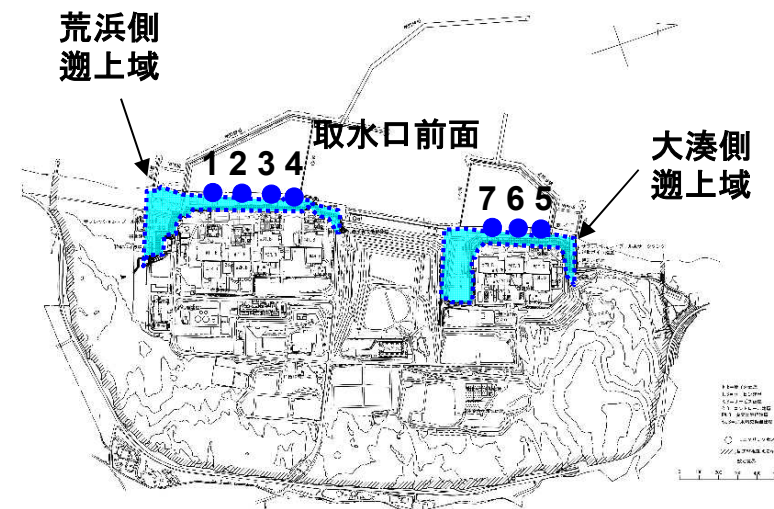


■SD-5：津波数値シミュレーション（二層流モデル）

- SD-5について、TITAN-2Dによる土砂崩壊シミュレーション結果を用い、二層流モデル（Maeno and Imamura, 2007）による津波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、保守的なパラメータ設定（崩壊物密度 2.0g/cm^3 ，粗度係数（下層） $0.08\text{m}^{-1/3}\cdot\text{s}$ ）とした。

■津波数値シミュレーション結果（平均潮位からの水位変動量）

- 取水口前面における水位変動量は、最大水位上昇量が $+1.52\text{m}$ ，最大水位下降量が -1.00m である。
- この変動量は、海底地すべりによる津波の最大水位上昇量の $+4.11\text{m}$ ，最大水位下降量の -3.72m と比べて有意に小さい。
- このため、地震による津波と地震以外の要因による津波の組み合わせ検討における、地震以外の要因による津波の検討対象として、海底地すべりによる津波を選定した。



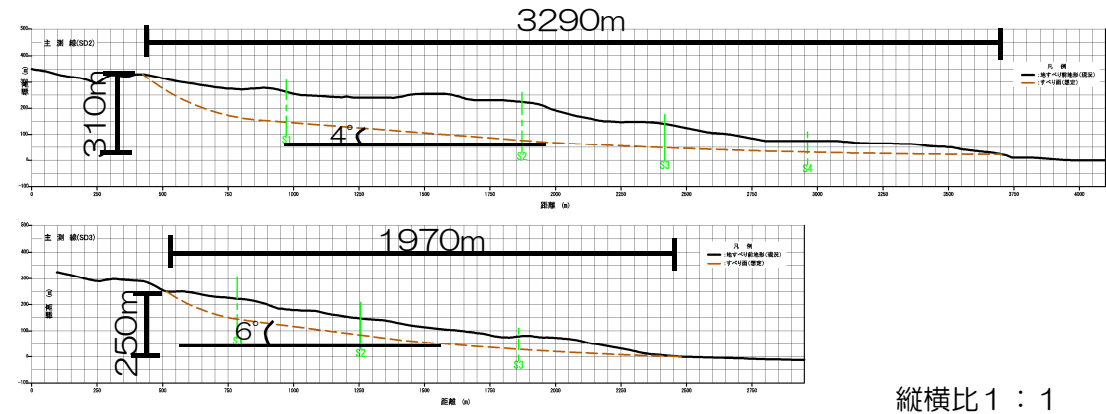
単位：T.M.S.L. [m]

	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
上昇側	+1.52	+1.33	+1.22	+1.07	+1.05	+0.99	+0.94	+2.19	+2.17
下降側	-0.69	-0.63	-0.47	-0.39	-1.00	-0.86	-0.73	-	-

4. 5 陸域の斜面崩壊による津波の影響検討

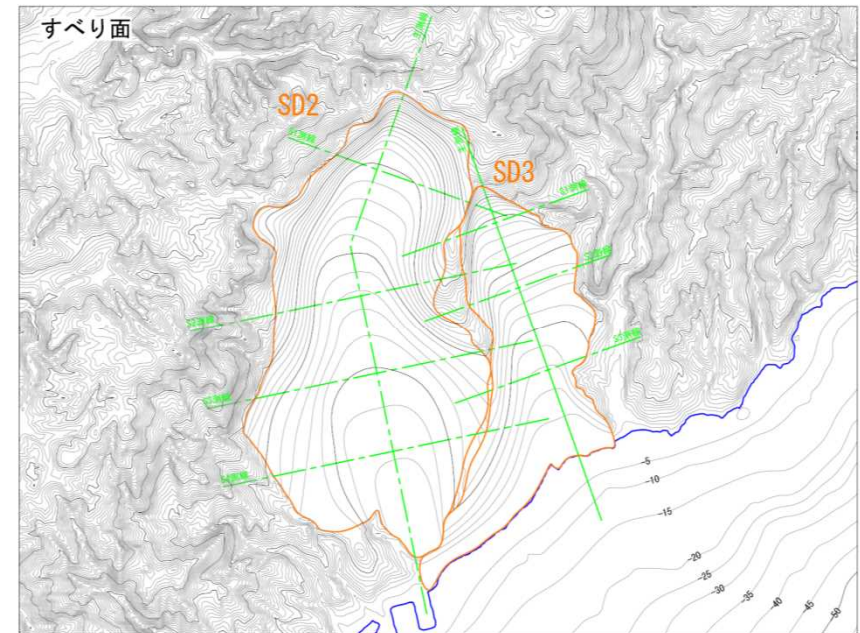
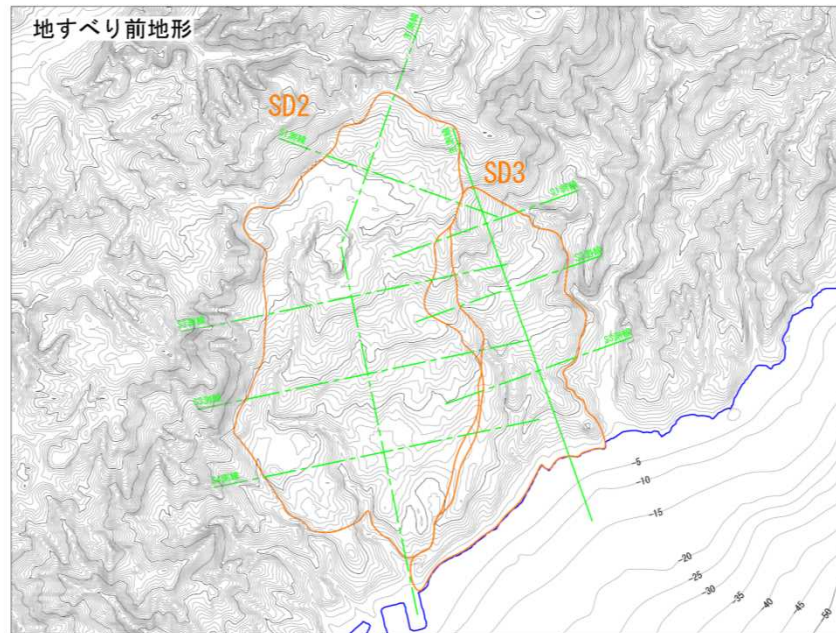
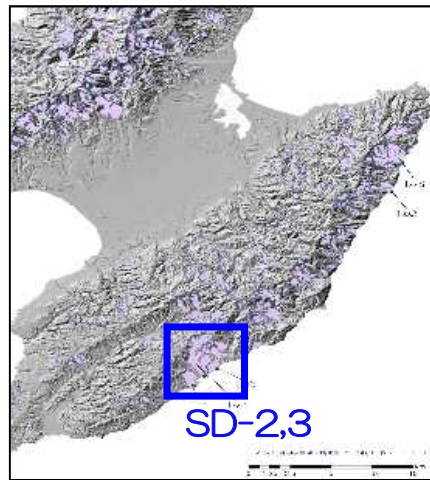
■SD-2,3（同時発生）：津波数値シミュレーション

- 佐渡島の地すべりについて敷地からの距離が近い，SD-2およびSD-3の同時発生を仮定したケースについて，影響検討を実施した。



縦横比 1 : 1

断面図（上：SD-2，下：SD-3）



現況地形



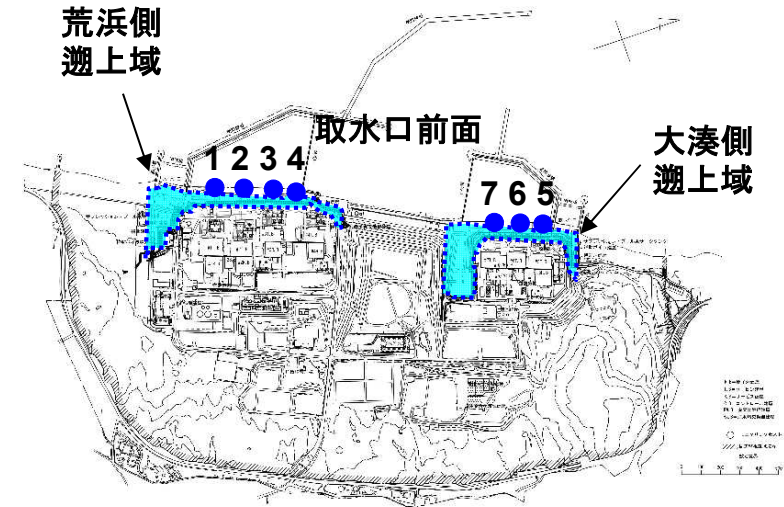
推定したすべり面

■SD-2,3（同時発生）：津波数値シミュレーション

- 影響検討として、SD-2,3の同時発生ケースを実施。
- 数値シミュレーションの検討条件は、現実的なパラメータ設定（崩壊物密度 1.8g/cm^3 ，粗度係数（下層） $0.40\text{m}^{-1/3}\cdot\text{s}$ ）とした。

■津波数値シミュレーション結果（平均潮位からの水位変動量）

- 解析の結果，取水口前面における水位変動量は，最大水位上昇量が $+0.40\text{m}$ ，最大水位下降量が $+0.10\text{m}$ 程度であり，発電所への影響は少ないことを確認した。



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
上昇側	+0.40	+0.39	+0.38	+0.38	+0.39	+0.39	+0.38	+0.36	+0.40
下降側	+0.10	+0.11	+0.12	+0.12	+0.14	+0.14	+0.15	-	-

■ 二層流モデルに基づく手法におけるパラメータ設定

下層（土砂）の密度 ρ_2

- 下層（土砂）の密度の設定については下表の値が考えられる。
- 1.25は火砕流の値として設定されており、海底地すべりの崩壊物の密度としては小さいものと考えられる。
- 敷地における実測値である1.8程度が最も現実に近い値と考えられる。

下層（土砂）の底面粗度係数 n_2

- 下層（土砂）の底面粗度係数の設定については下表の値が考えられる。
- 実現象を対象として設定された値には、0.08または0.40がある。
- 日本海側での検討事例であることを踏まえると、0.40が現実に近い値と考えられる。

（本編資料P.68,69の表を再掲）

下層の密度 ρ_2 (g/cm ³)	設定根拠
1.25	Maeno & Imamura (2007)の鬼界カルデラ噴火時の解析での設定値
1.8	<ul style="list-style-type: none"> ● 海上音波探査記録によると、LS-1～LS-3の移動土塊は、主に海域の層序区分でB u層に相当し、B u層は陸域の層序区分で安田層・番神砂層などに相当する。 ● 敷地におけるボーリング調査の結果から、湿潤密度は安田層が1.76、番神砂層が1.84であることを確認している。 ● LS-1～LS-3の密度は、平均的に1.8程度と推定される。
2.0	松本ほか(1998)の1741年渡島大島火山津波の再現計算での設定値

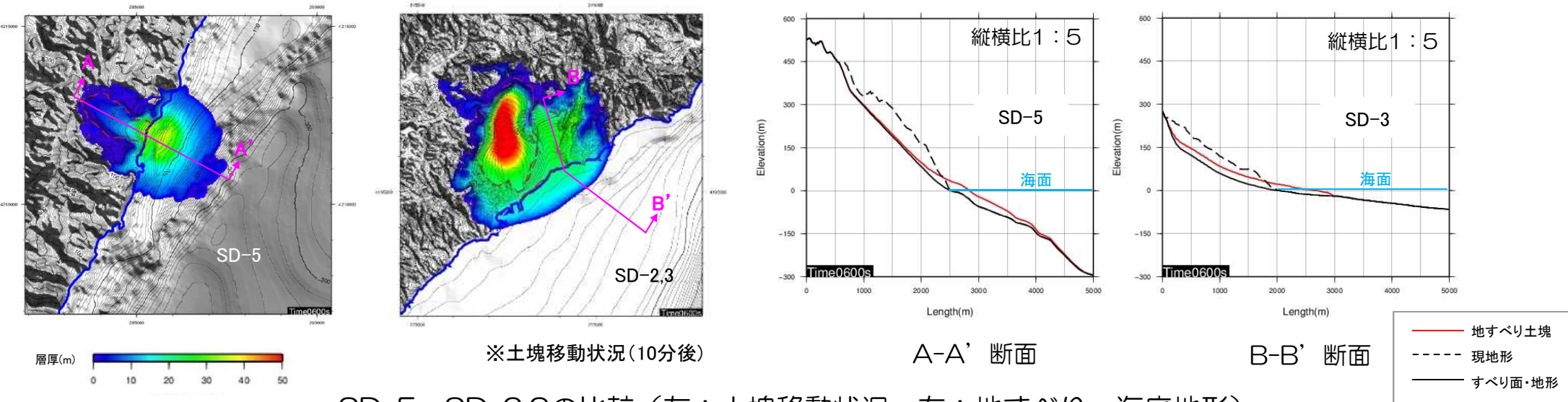
下層の底面粗度係数 n_2 (m ^{-1/3} ・s)	設定根拠
0.12	Kawamata et al.(2005)および今村ほか(2001)の実験の再現計算での設定値
0.40	Kawamata et al.(2005)の1741年渡島大島火山津波の再現計算での設定値
0.08	Maeno & Imamura (2007)の鬼界カルデラ噴火時の解析での設定値

4. 6 陸域の斜面崩壊による津波に関する補足

4. 6 陸域の斜面崩壊による津波に関する補足

SD-5とSD-2,3の津波評価に関する考察（概要）

- SD-5より発電所に近いSD-2,3の取水口前面水位が低くなる要因について検討した。
- SD-5の地すべり土塊はSD-2,3より小さいものの、すべり面や海底地形の勾配、水深がSD-2,3より大きく、海域へ突入する土塊量、移動速度や範囲が大きいことが、SD-5の方が取水口前面水位が高くなる要因であると考えられる。



SD-5, SD-2,3の比較（左：土塊移動状況，右：地すべり・海底地形）

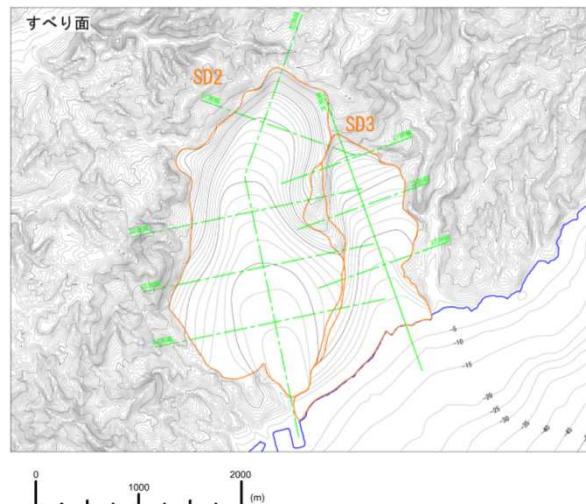
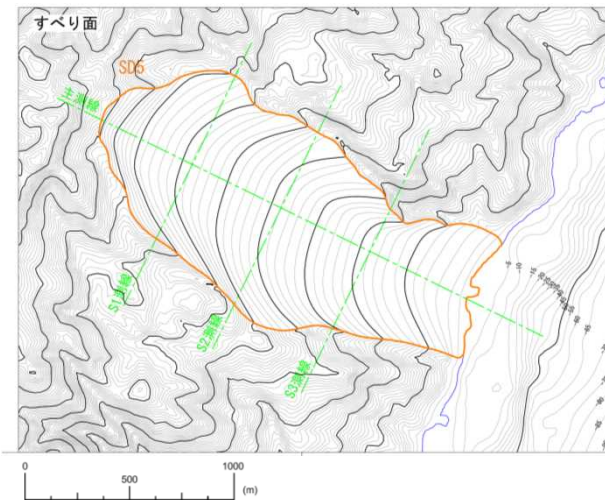
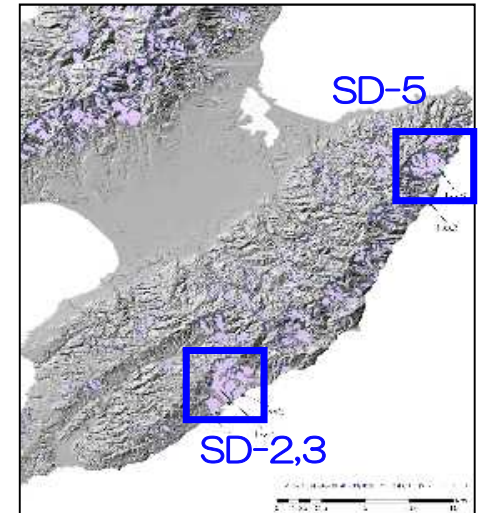
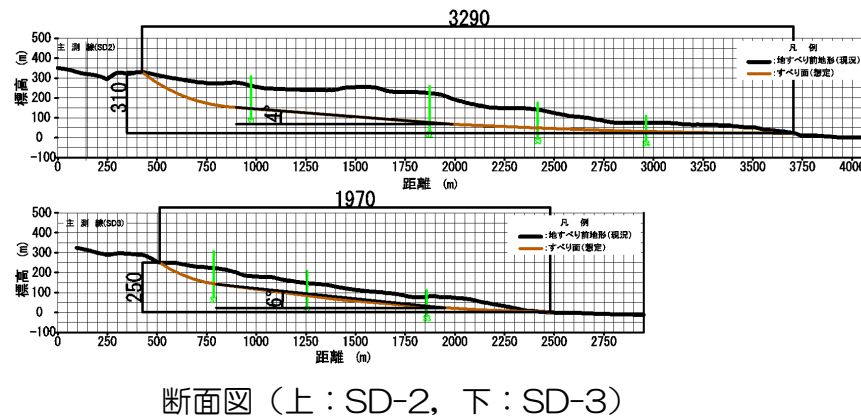
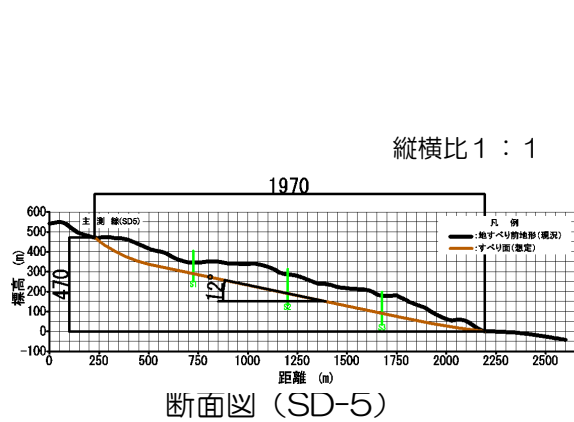
地すべり土塊の比較

		地すべり土塊量 ($\times 10^6 \text{ m}^3$)		すべり面 勾配 ($^\circ$)	海域部突入量 ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	1号炉取水口前面水位 (m) ○ 内数値は平均潮位T.M.S.L.+0.26m を除いた水位変動量
SD-5		91		12	69	1.52 (1.26)
SD-2,3	SD-2	206	258	4	32	0.64 * (0.38)
	SD-3	52		6		

※ 現実的パラメータを用いた場合, 0.40m

検討条件

- SD-2,3については、保守的に二つの地すべり土塊の同時崩壊を考慮していることから、二層流モデルに基づく手法におけるパラメータについては現実的なパラメータ設定を採用している。
- ここでは、SD-5との比較のため、保守的パラメータ設定に条件を揃えて水位評価を行い、比較検討した。

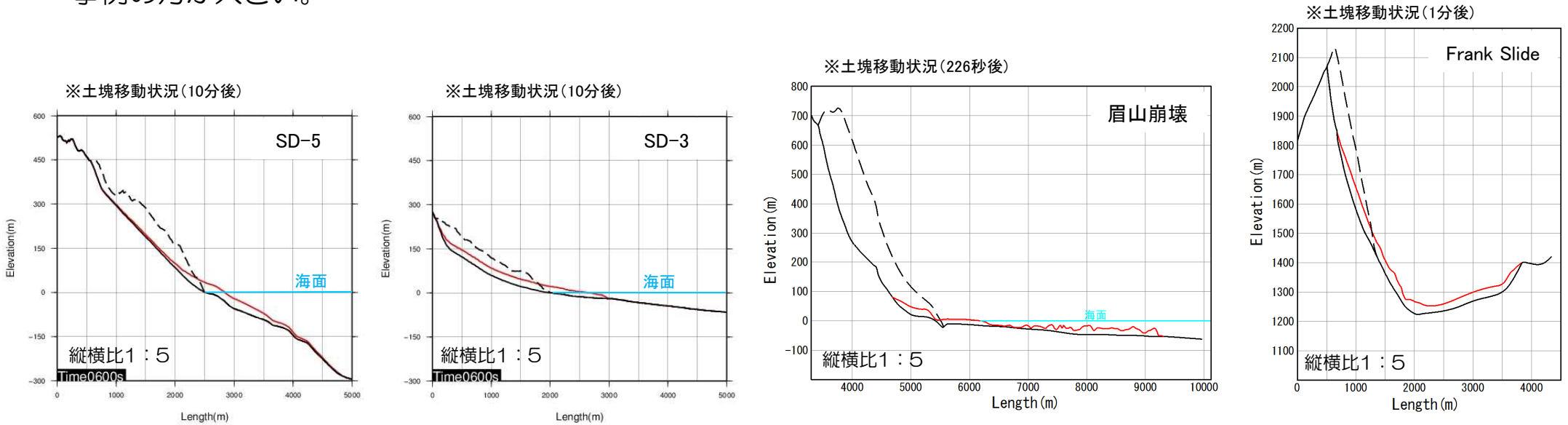


二層流モデルに基づく手法のパラメータ設定

パラメータ	保守的パラメータ	現実的パラメータ
下層の密度 ρ_2 (g/cm ³)	2.0	1.8
下層の底面粗度係数 n_2 (m ^{-1/3} ·s)	0.08	0.40

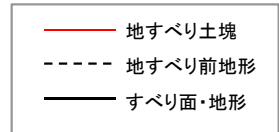
SD-5, SD-2,3と実崩壊事例の土塊及びすべり面勾配の比較

- SD-5とSD-2,3の想定地すべりと既往文献で示されている地すべりについて、地すべり土塊量やすべり面勾配を比較した。地すべり土塊量は実事例と同規模であるが、すべり面勾配は、SD-5やSD-2,3の想定すべり面より実事例の方が大きい。



地すべり土塊の比較

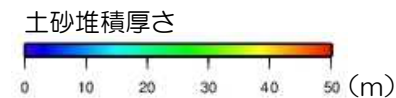
評価対象	評価対象		地すべり土塊量 ($\times 10^6 \text{ m}^3$)		すべり面 勾配 ($^\circ$)
	SD-5	SD-2,3	SD-2	SD-3	
当社評価	SD-5		206	258	12
	SD-3		52		4
Sassa et al.(2014)	眉山崩壊		340		28.1
Galas(2008)	Frank Slide		36		25



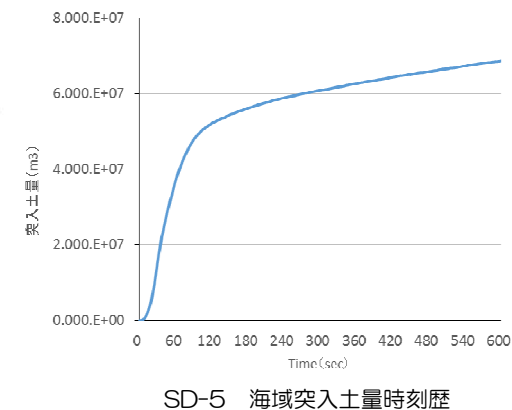
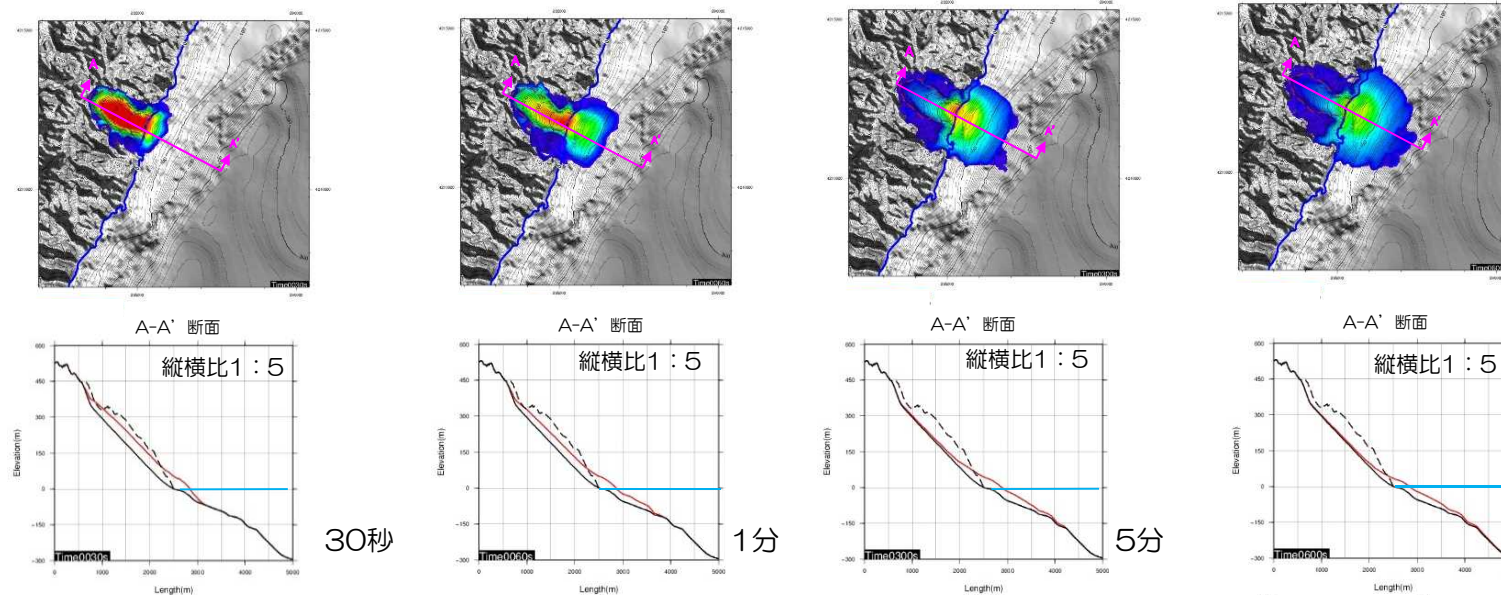
4. 6 陸域の斜面崩壊による津波に関する補足

土砂崩壊状況の比較

- SD-5は、2分までに10分後突入量の約75%の土砂が海域へ突入しているのに対して、SD-2,3は、10分まで徐々に土砂が突入している。

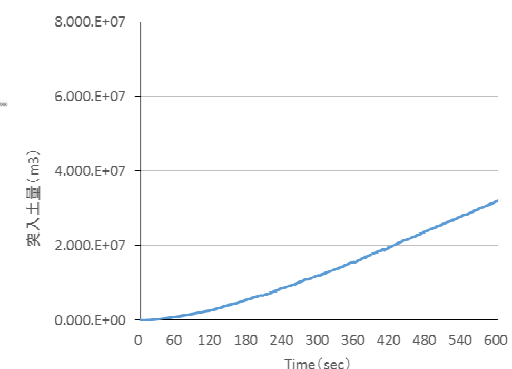
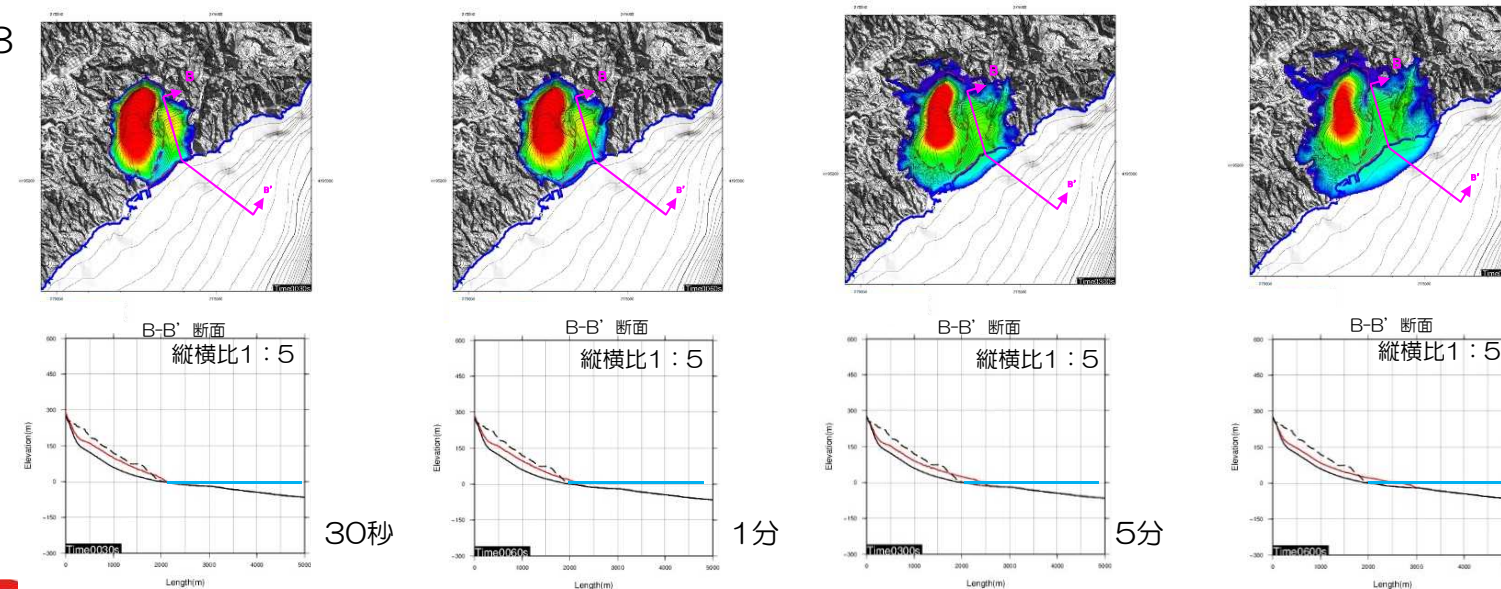


SD-5



SD-5 海域突入土量時刻歴

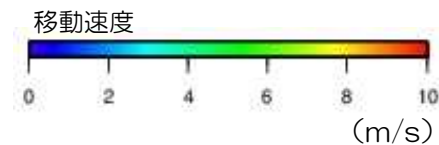
SD-2,3



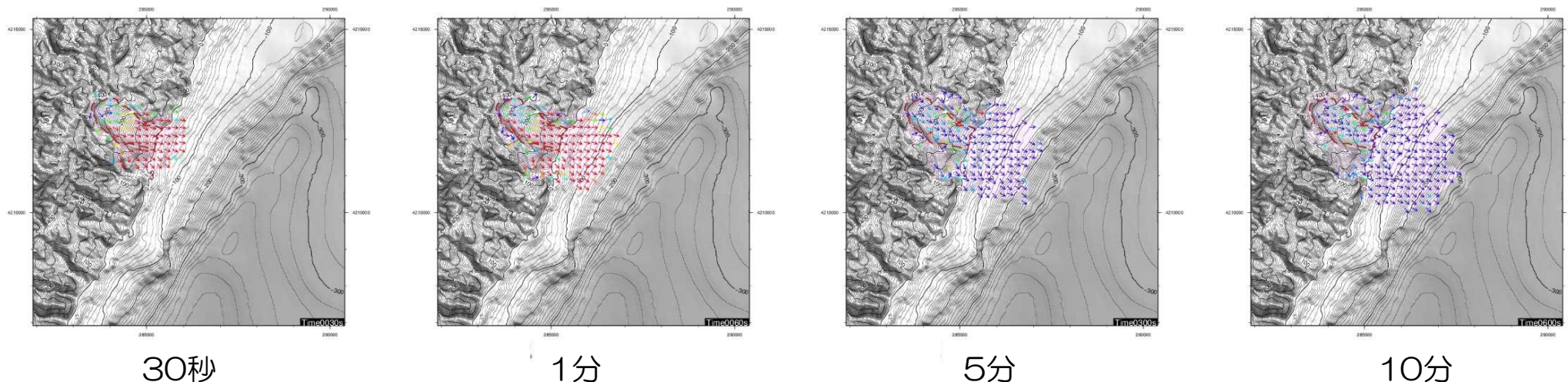
SD-2,3 海域突入土量時刻歴

土砂崩壊時の移動速度の比較

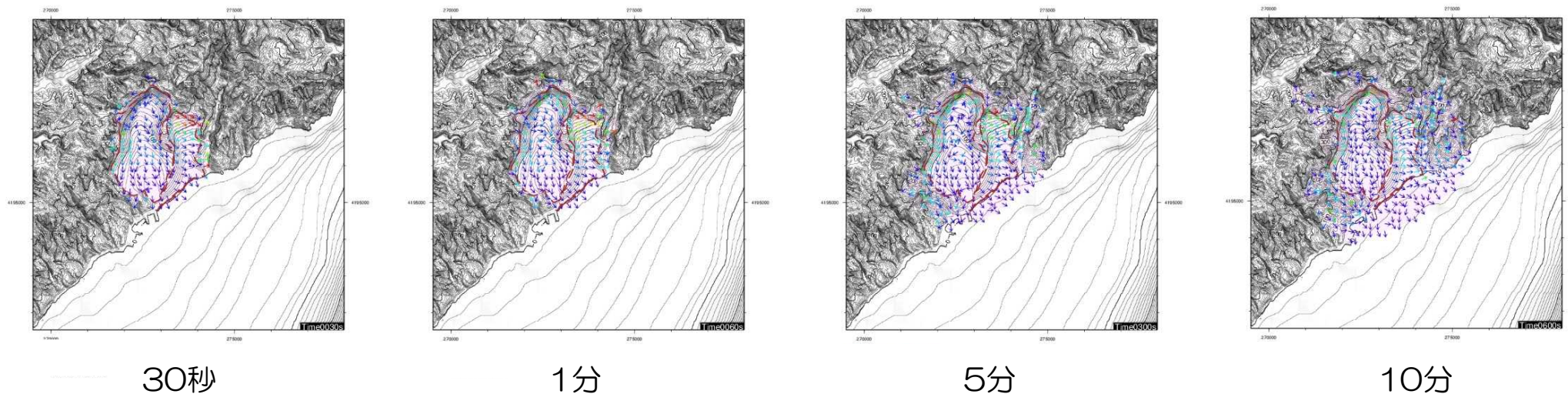
- SD-2,3よりSD-5の方が30秒、1分時の移動速度が大きい。堆積層厚最大位置の最大移動速度は、SD-5で約22m/s、SD-2,3で約4m/sであり、SD-2,3の最大移動速度はSD-5の1/5程度である。



SD-5



SD-2,3

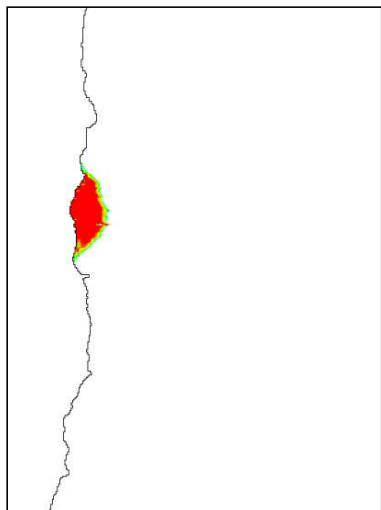


4. 6 陸域の斜面崩壊による津波に関する補足

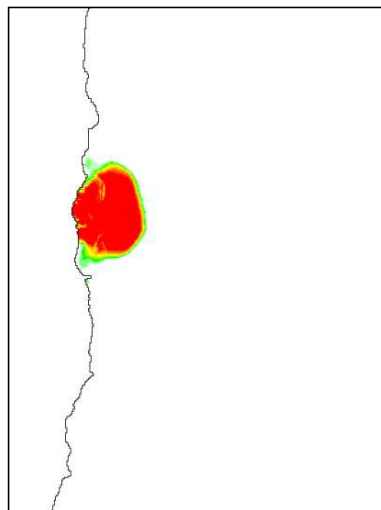
海域土砂堆積厚さの比較

- SD-2,3よりSD-5の方が、堆積範囲や堆積厚さが大きい。

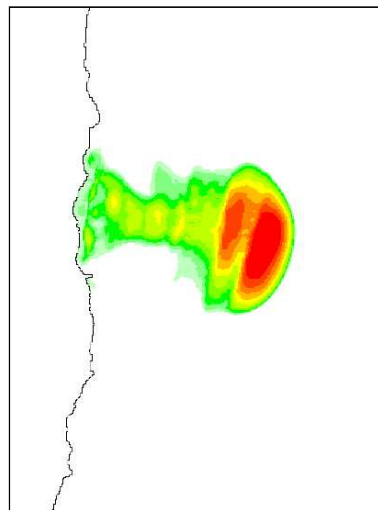
SD-5



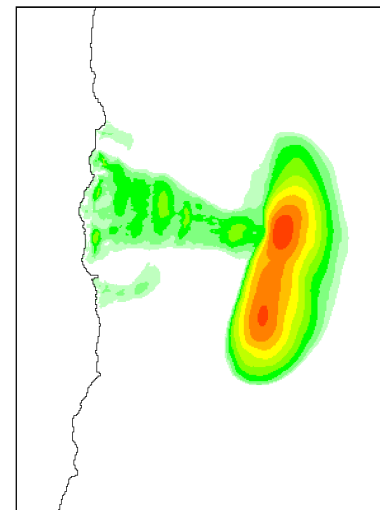
30秒



1分

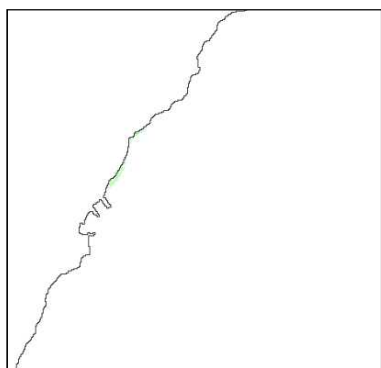


5分

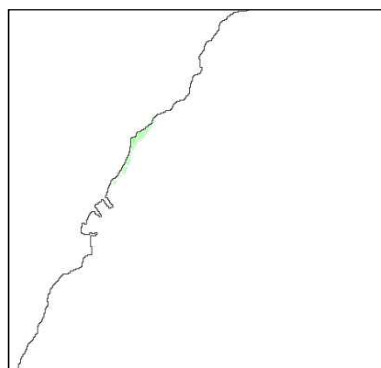


10分

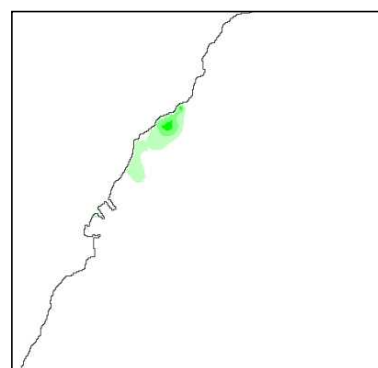
SD-2,3



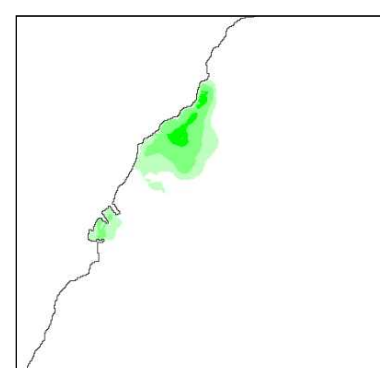
30秒



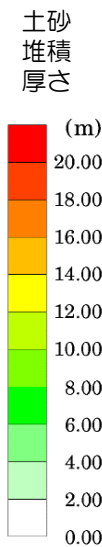
1分



5分



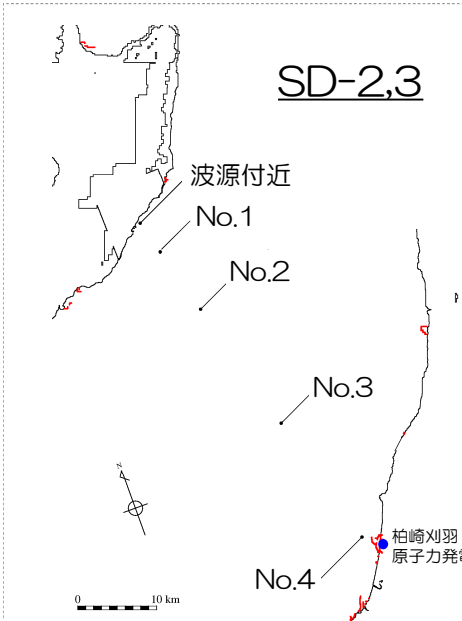
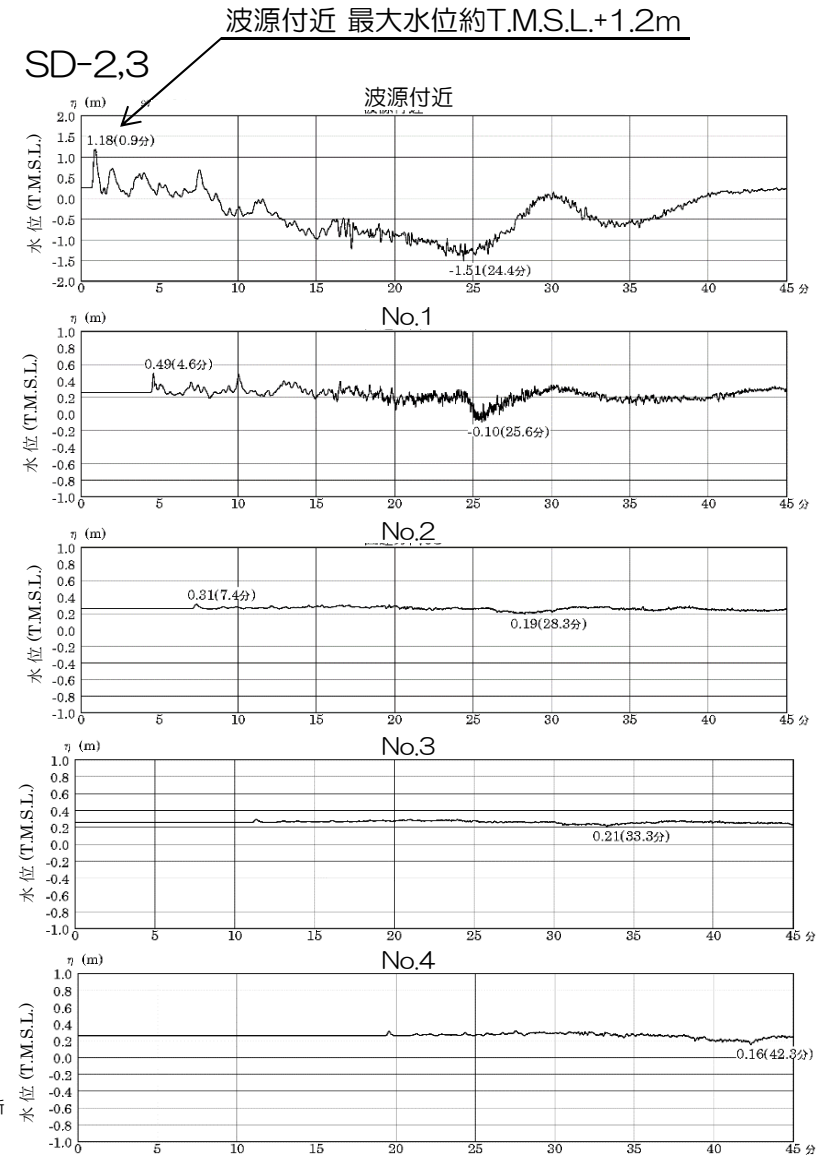
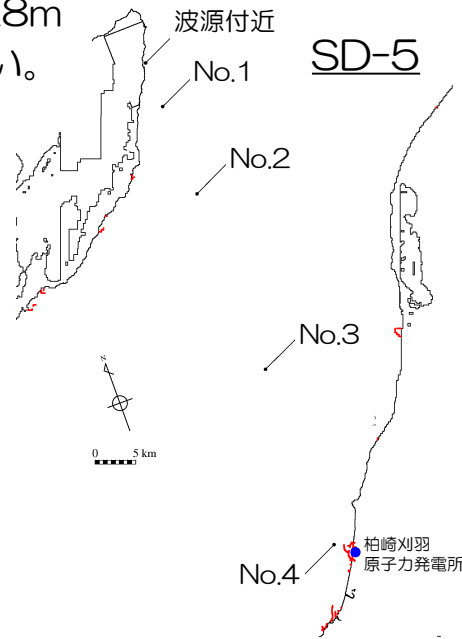
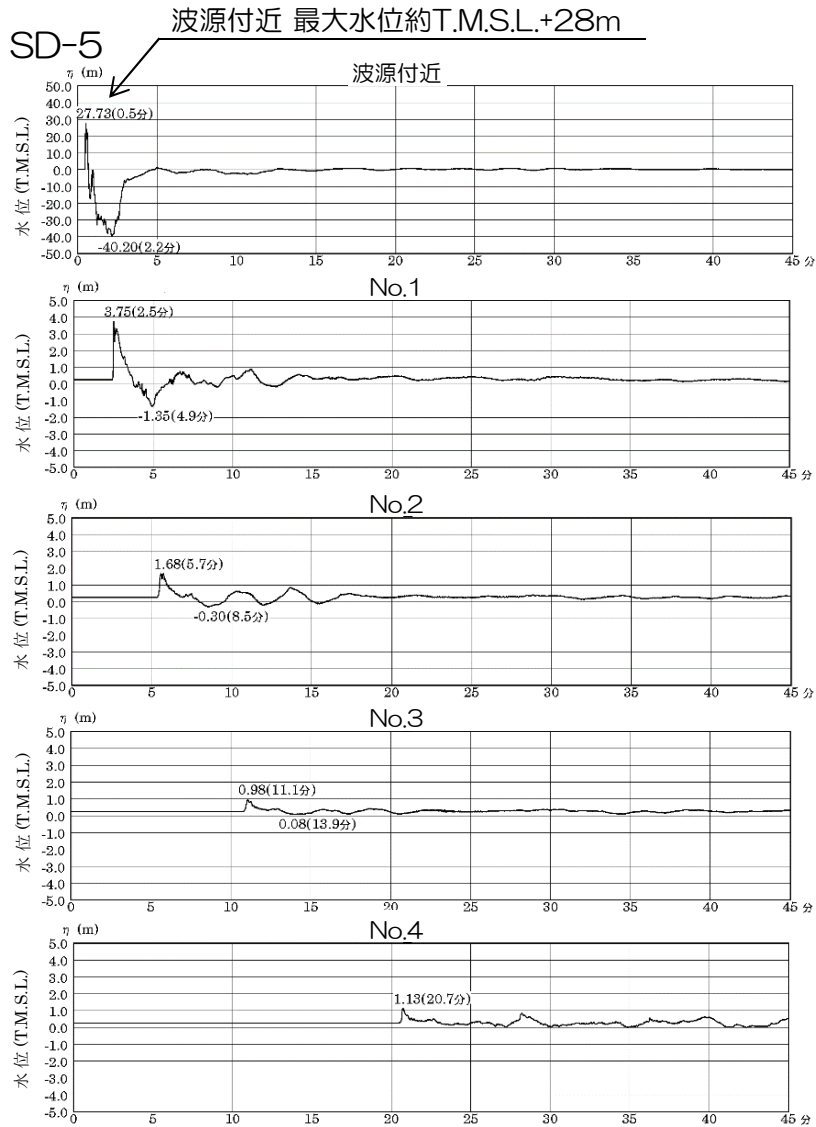
10分



4. 6 陸域の斜面崩壊による津波に関する補足

水位伝播状況の比較（水位時刻歴）

- 波源付近の最大水位は、SD-5の約T.M.S.L.+28mに対して、SD-2,3では約T.M.S.L.+1.2mと低い。

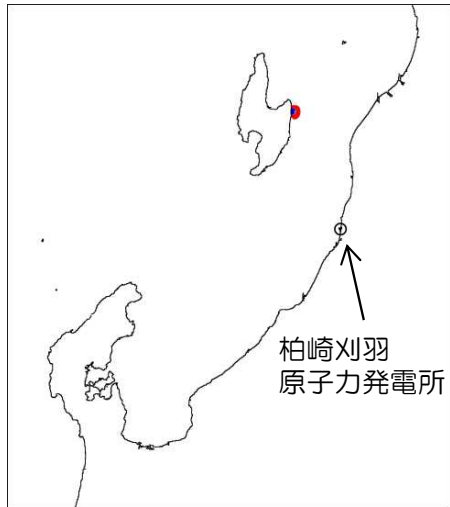


4. 6 陸域の斜面崩壊による津波に関する補足

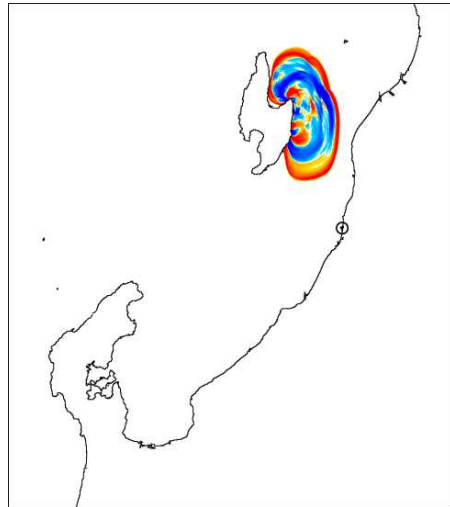
水位伝播状況の比較

- 波源水位の高さの違いが伝播水位の違いに表れている。

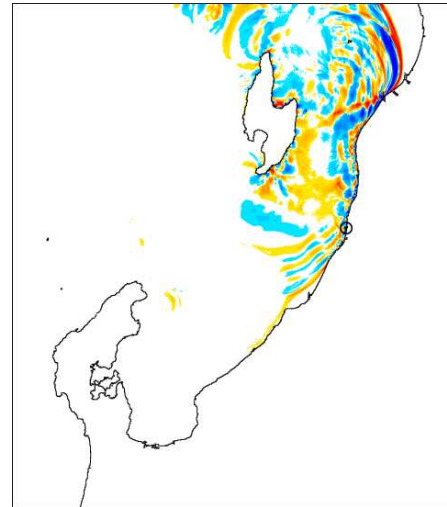
SD-5



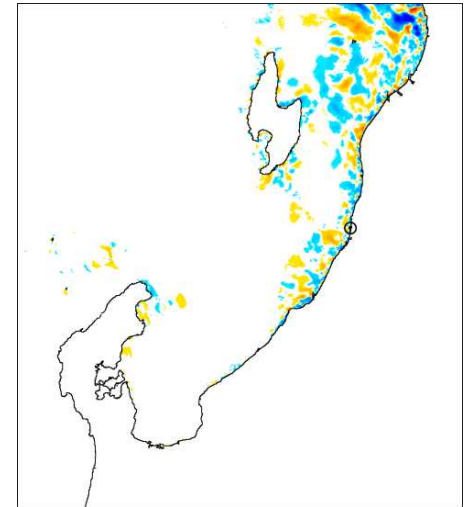
2分



10分

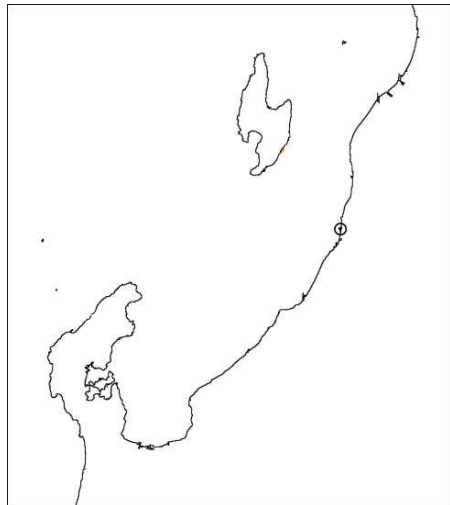


30分

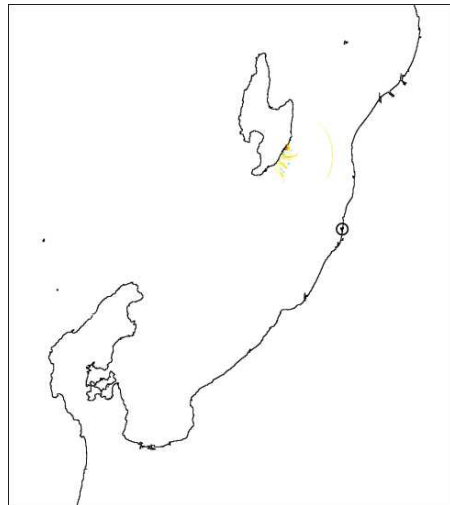


60分

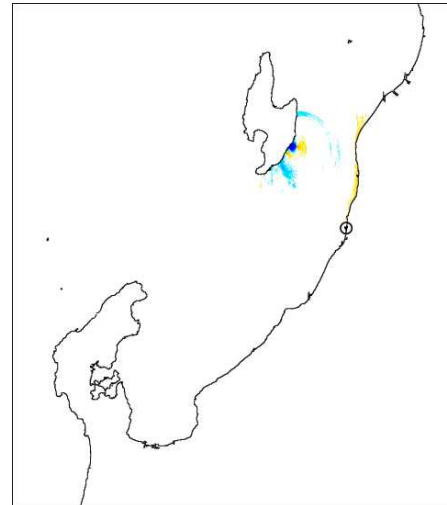
SD-2,3



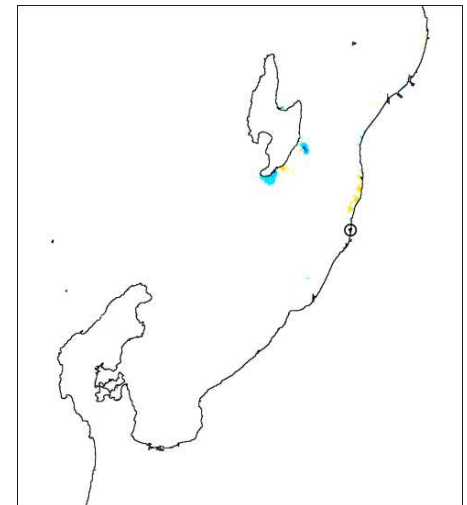
2分



10分

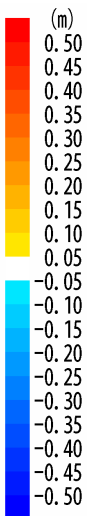


30分



60分

水位
上昇量



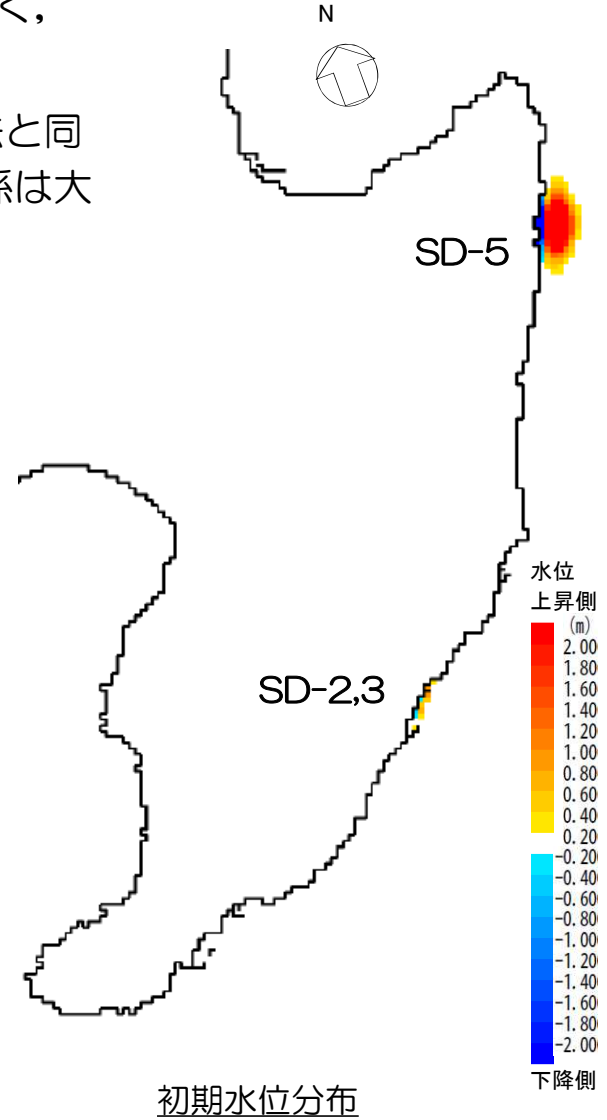
4. 6 陸域の斜面崩壊による津波に関する補足

Watts他に基づく手法による水位評価

- 二層流モデルに基づく手法による水位評価との比較を目的に、Fritz et al.(2004)の波源振幅予測式を用いたWatts他に基づく手法による水位評価を実施した。
- 波源域の初期水位分布は、二層流モデルに基づく手法と同様にSD-5の方が範囲が広く、最大値も大きい。
- 取水口前面水位は、二層流モデルに基づく手法より低く、二層流モデルに基づく手法と同様にSD-5の方が水位が高く、SD-5とSD-2,3の潮位を除いた水位変動量の相対関係は大きく変わらない。

設定パラメータ及び水位評価結果

		SD-5	SD-2,3	設定根拠
s	(m)	56.35	26.14	突入範囲の最大値
b	(m)	1785	3183	最大層厚発生時の幅
Vs	(m ³)	17×10 ⁶	13×10 ⁶	最大層厚発生時の海域突入量
v _s	(m/s)	21.75	3.56	最大層厚位置での最大値
h	(m)	74.04	13.90	最大層厚発生時の最深値
η _{0,2D}	(m)	11.03	1.09	
λ ₀	(m)	609.20	115.88	
η _{0,3D}	(m)	8.22	1.05	初期水位分布最大値
1号炉取水口前面水位(m)Watts他		<u>0.51</u> (0.25)	<u>0.34</u> (0.08)	注：()内数値は、平均潮位T.M.S.L.+0.26mを除いた水位変動量
参考：1号炉取水口前面水位 (m) 二層流モデル		1.52 (1.26)	0.64 (0.38)	



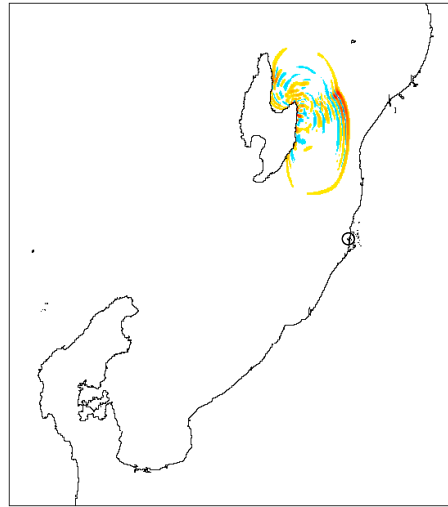
4. 6 陸域の斜面崩壊による津波に関する補足

Watts他に基づく手法による水位評価（水位伝播状況）

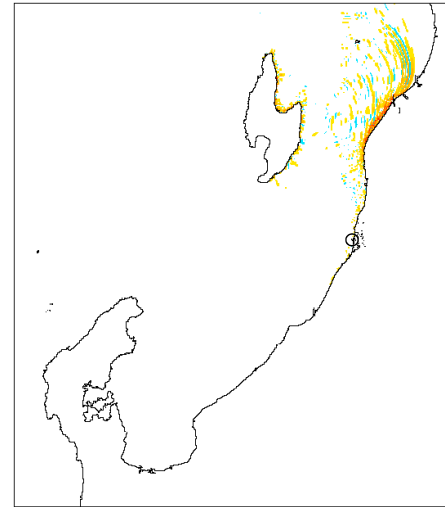
SD-5



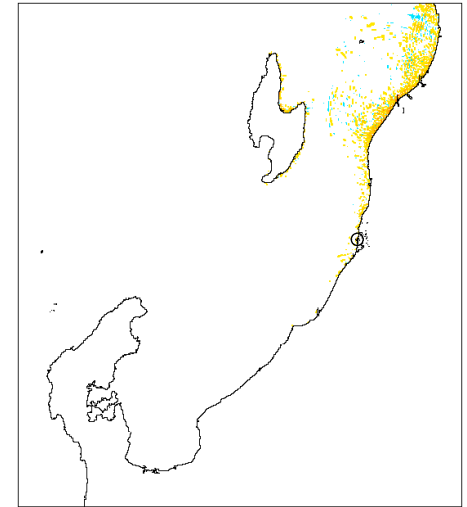
2分



10分

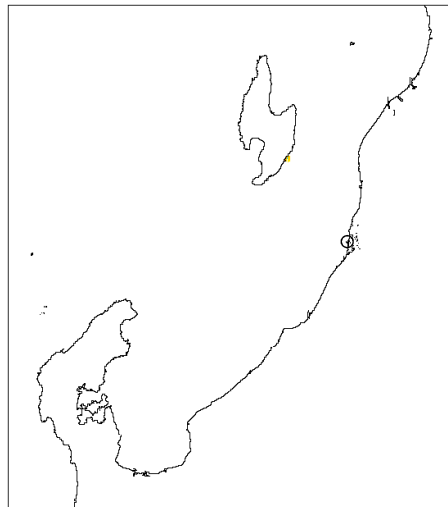


30分

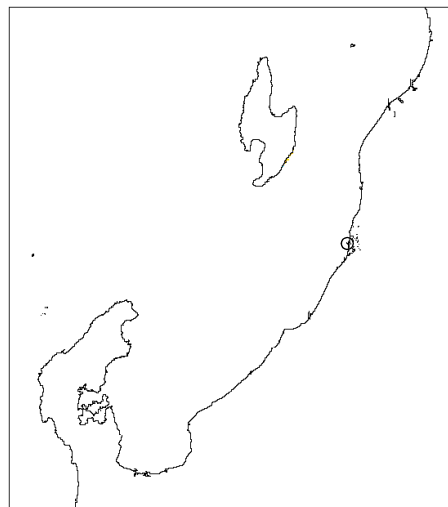


60分

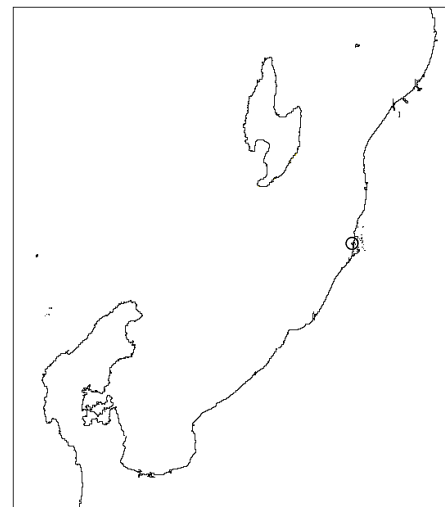
SD-2,3



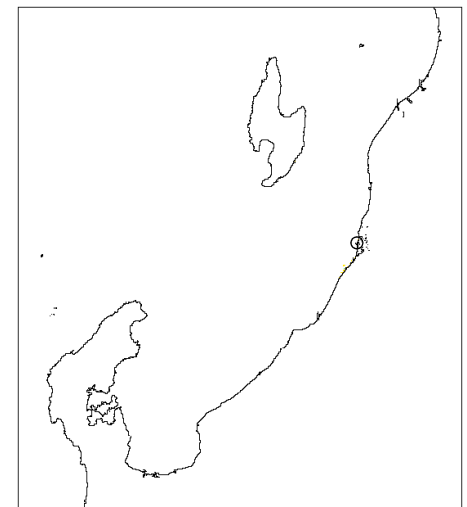
2分



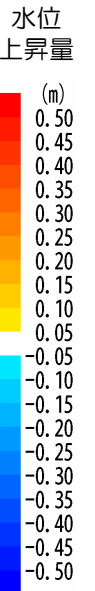
10分



30分



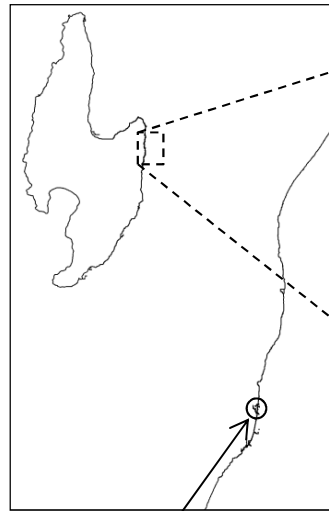
60分



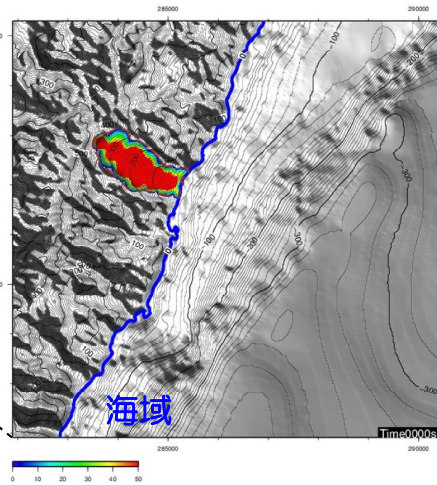
4. 7 陸域の斜面崩壊シミュレーションにおける伝播状況

4. 7 陸域の斜面崩壊による土塊移動の経時変化

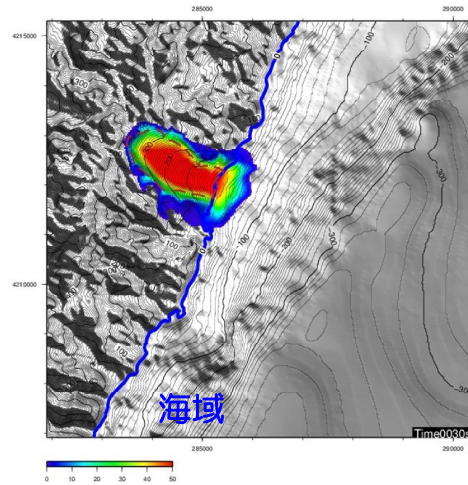
■ TITAN-2Dに基づく手法による伝播状況 (SD-5)



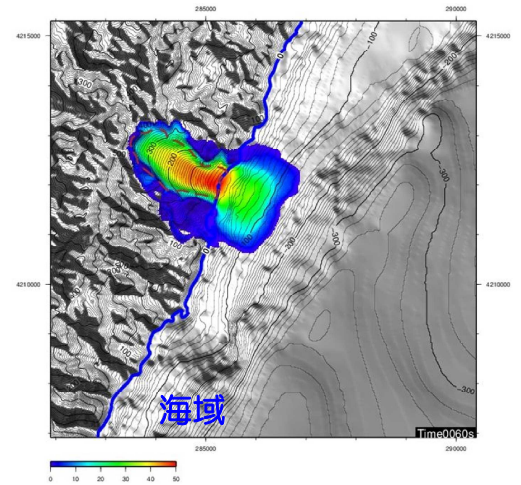
柏崎刈羽
原子力発電所



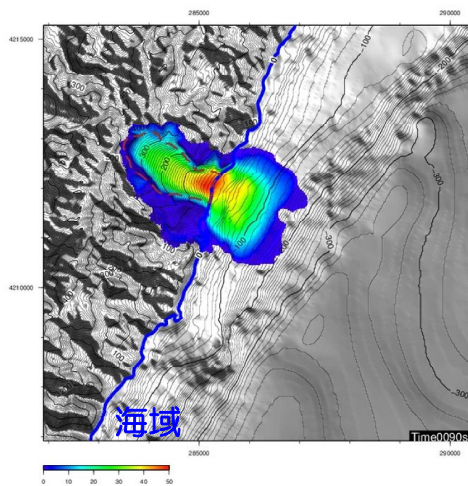
0秒



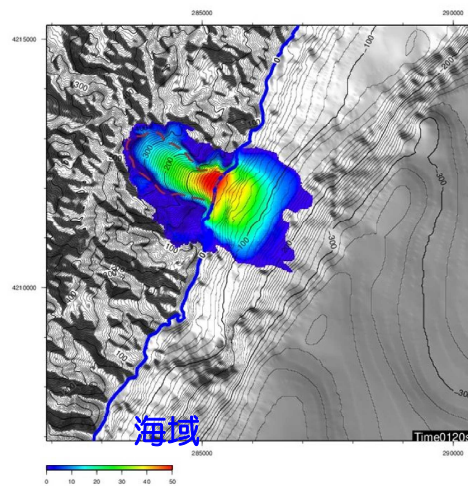
30秒



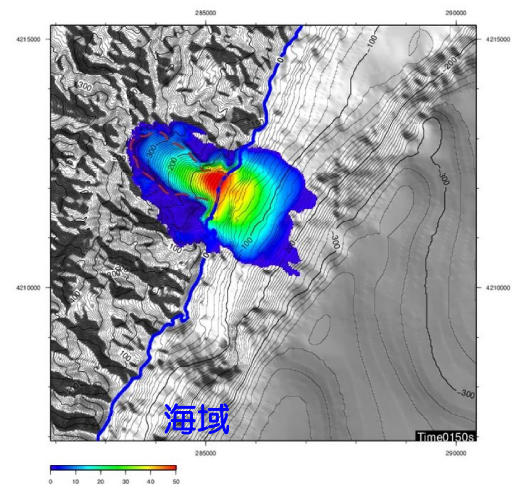
1分



1分30秒



2分



2分30秒

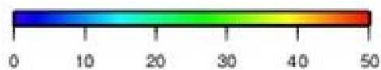
土塊の幅、厚さ

高速道路調査会により示されている地すべり土塊の幅・厚さの関係を考慮して地すべり幅を約900m, 厚さを約7.5mとした。

シミュレーション用パラメータ

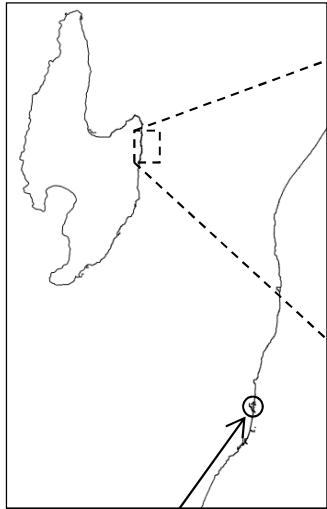
- 内部摩擦角 (ϕ) : 30°
Iverson, R.M.(1997)より
- 等価摩擦係数 (H/L) : 0.2
森脇(1987)より

層厚 (m)

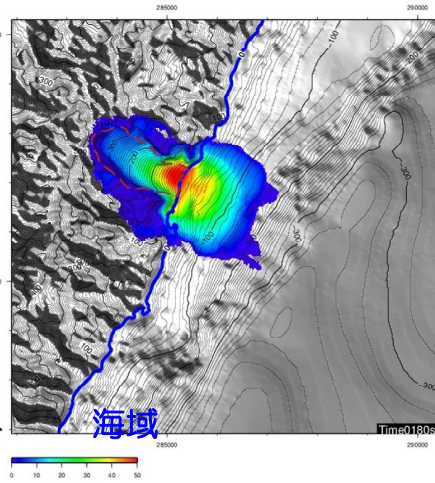


4. 7 陸域の斜面崩壊による土塊移動の経時変化

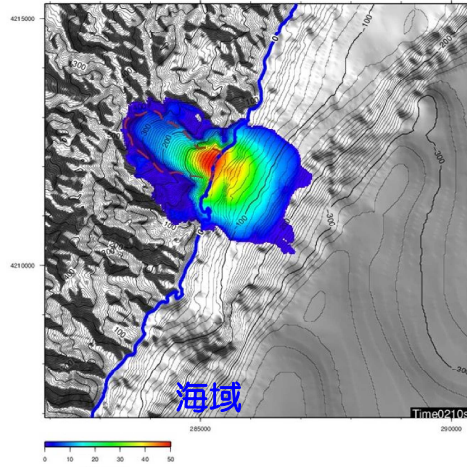
■ TITAN-2Dに基づく手法による伝播状況 (SD-5)



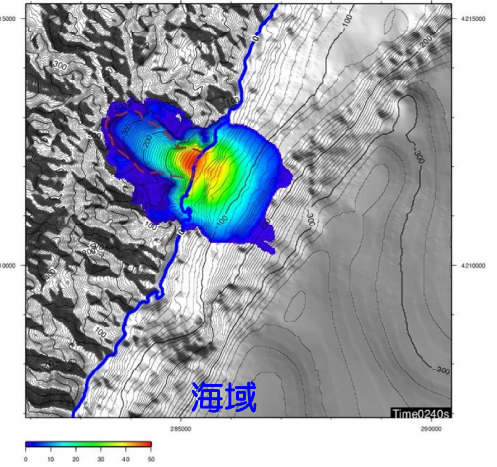
柏崎刈羽
原子力発電所



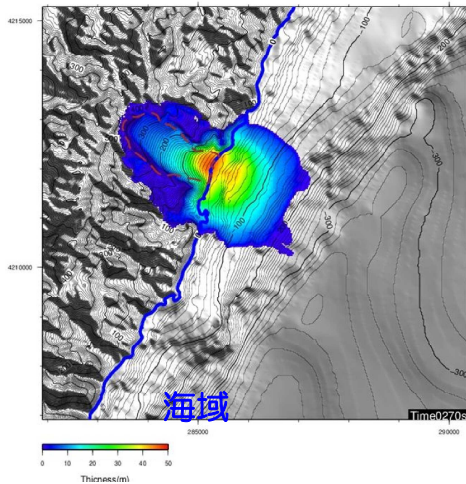
3分



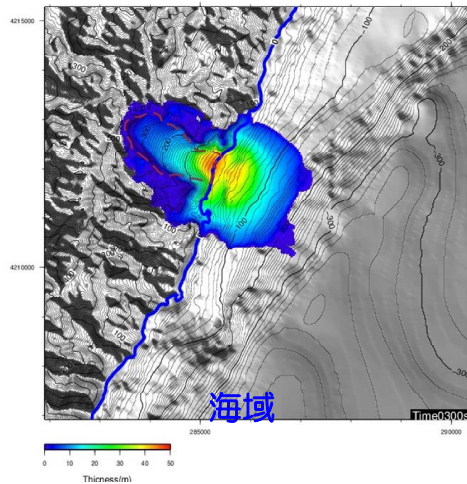
3分30秒



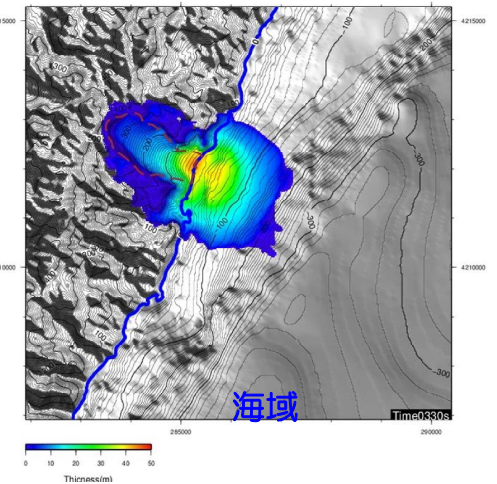
4分



4分30秒

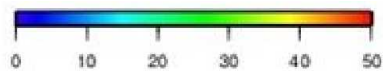


5分



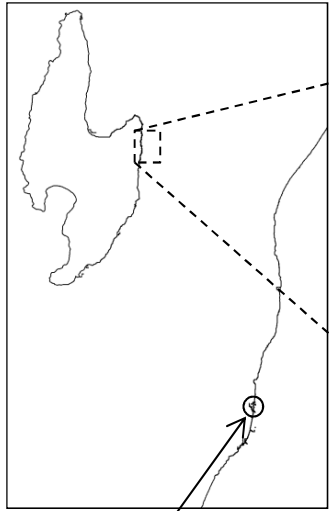
5分30秒

層厚 (m)

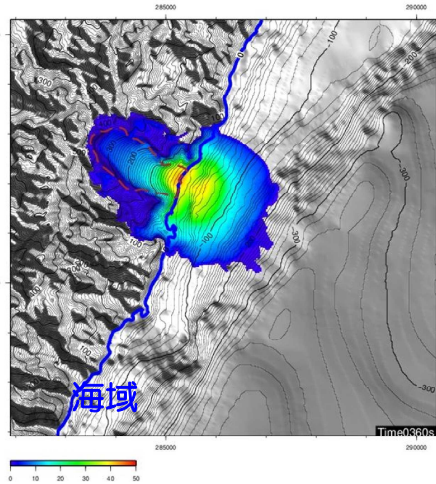


4. 7 陸域の斜面崩壊による土塊移動の経時変化

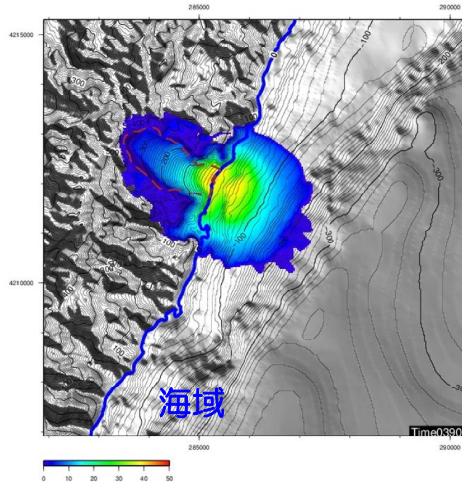
■ TITAN-2Dに基づく手法による伝播状況 (SD-5)



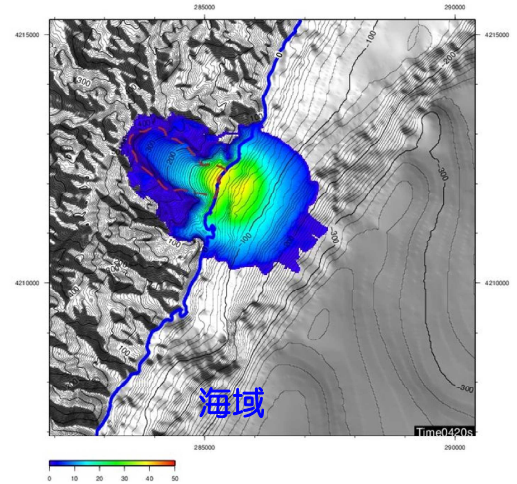
柏崎刈羽
原子力発電所



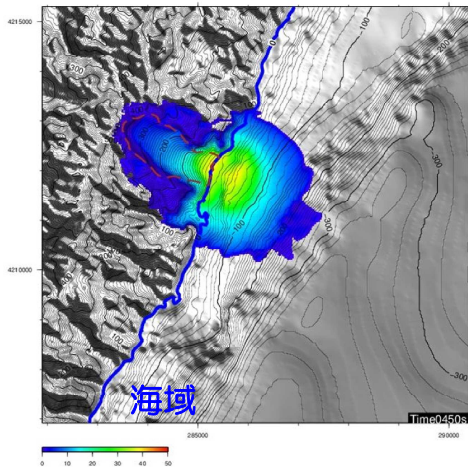
6分



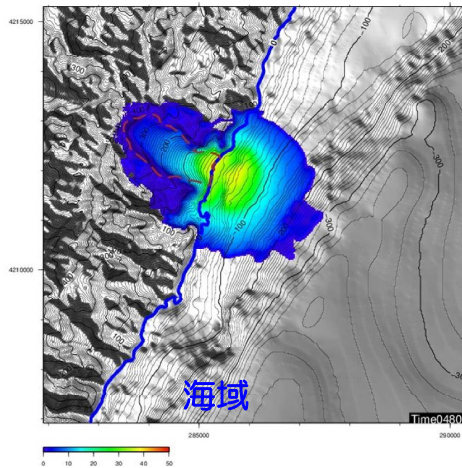
6分30秒



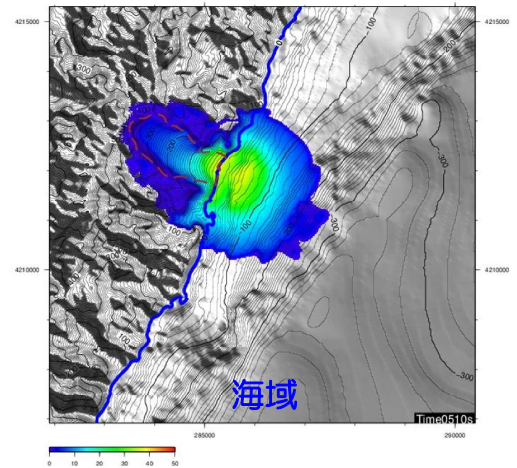
7分



7分30秒

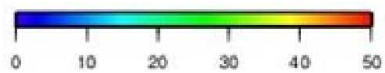


8分



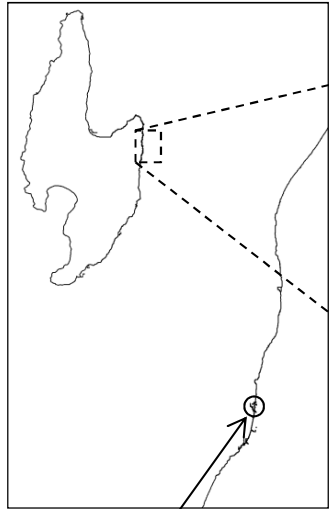
8分30秒

層厚 (m)

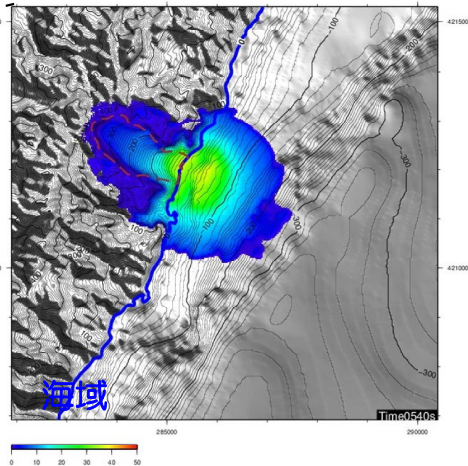


4. 7 陸域の斜面崩壊による土塊移動の経時変化

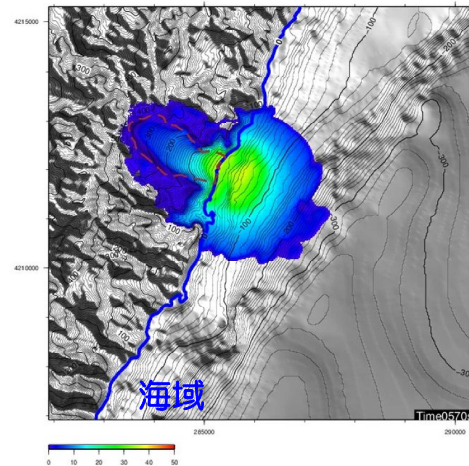
■ TITAN-2Dに基づく手法による伝播状況 (SD-5)



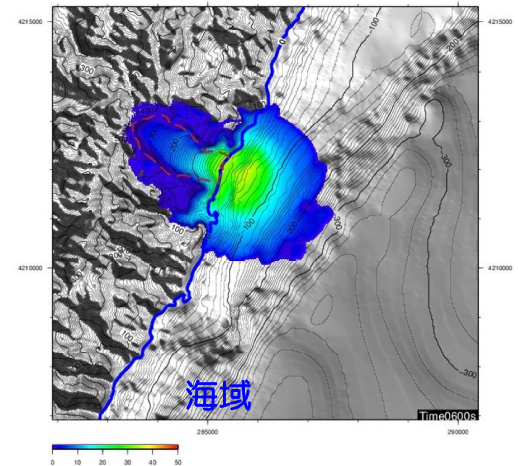
柏崎刈羽
原子力発電所



9分

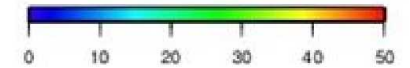


9分30秒

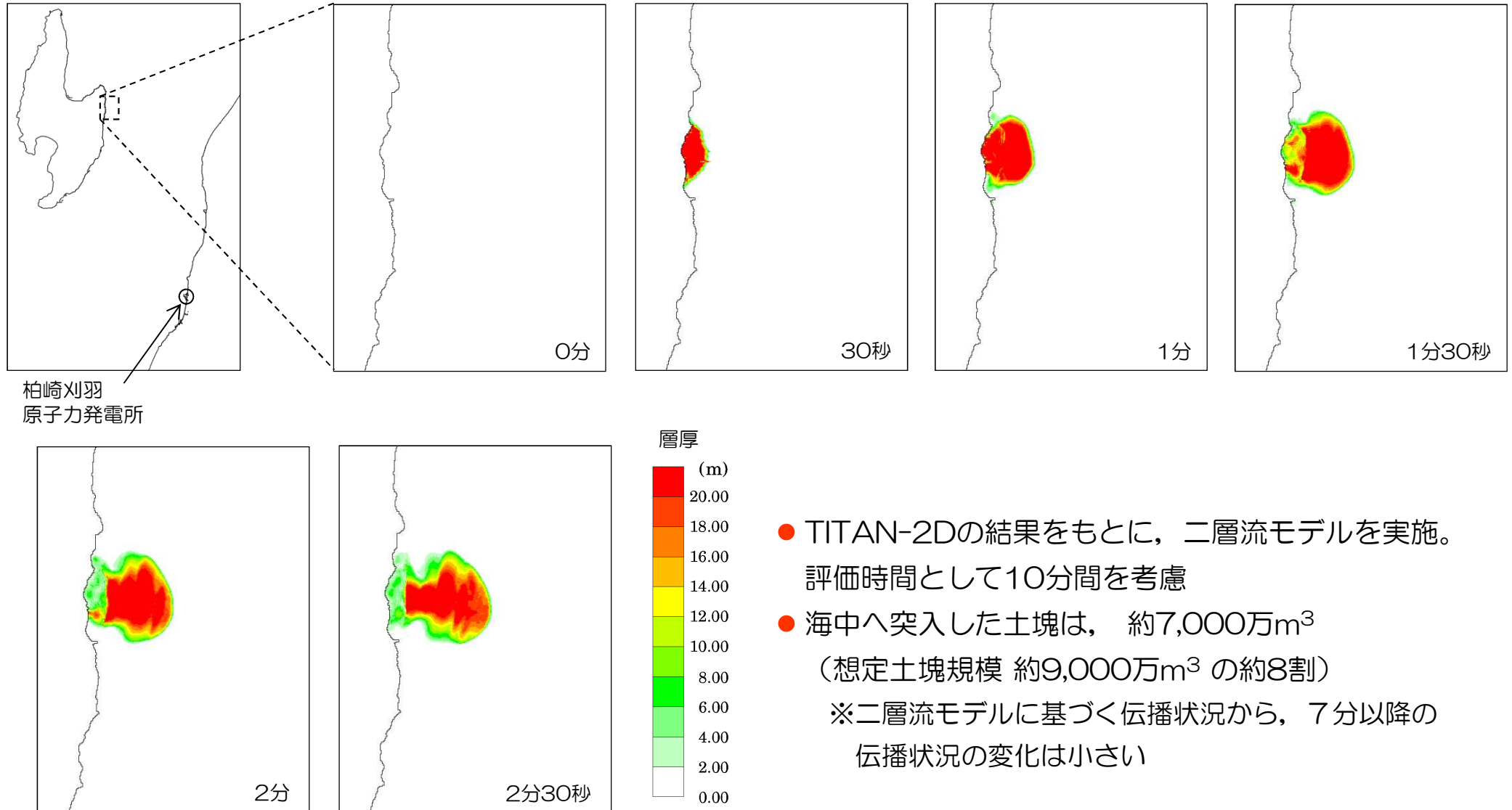


10分

層厚 (m)



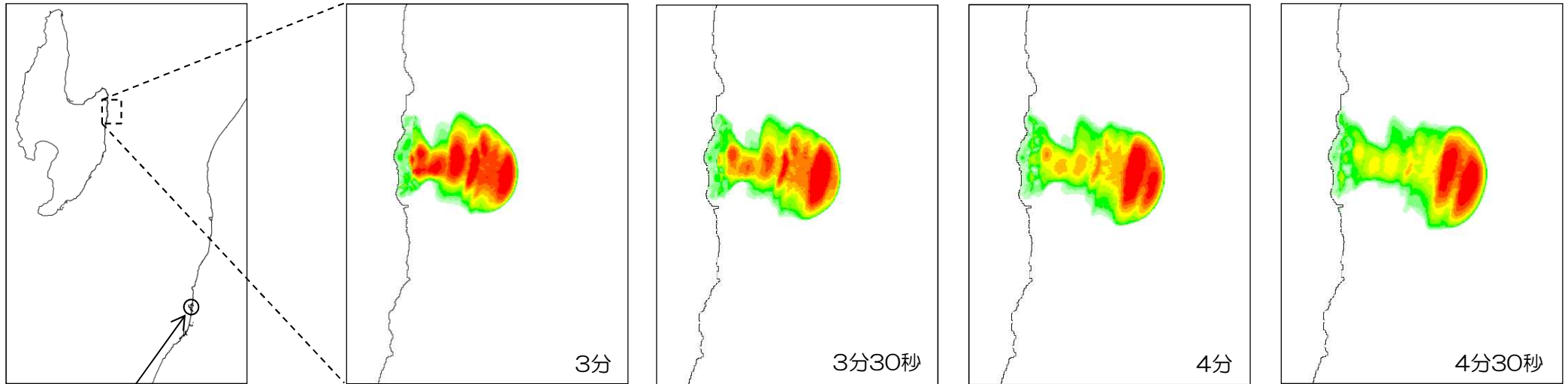
■ 二層流モデルに基づく手法による土塊移動の経時変化 (SD-5)



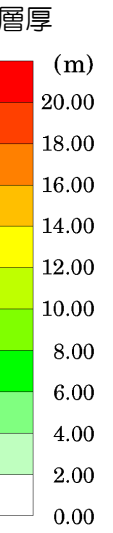
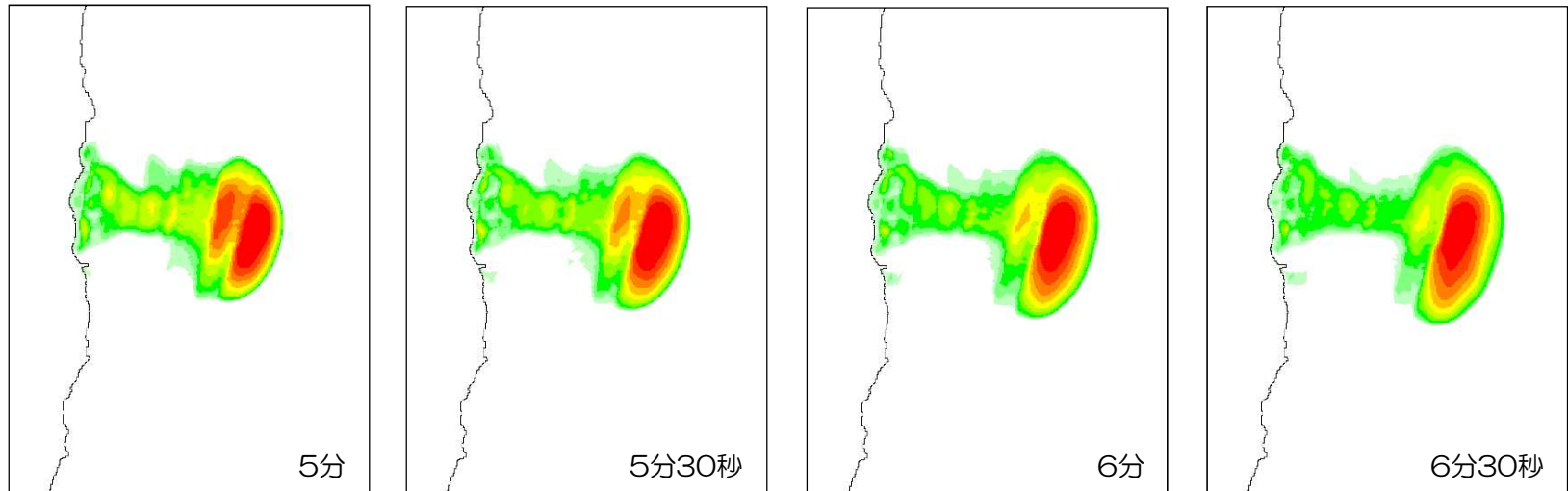
- TITAN-2Dの結果をもとに、二層流モデルを実施。
評価時間として10分間を考慮
- 海中へ突入した土塊は、約7,000万 m^3
(想定土塊規模 約9,000万 m^3 の約8割)
※二層流モデルに基づく伝播状況から、7分以降の
伝播状況の変化は小さい

4. 7 陸域の斜面崩壊による土塊移動の経時変化

■ 二層流モデルに基づく手法による土塊移動の経時変化 (SD-5)

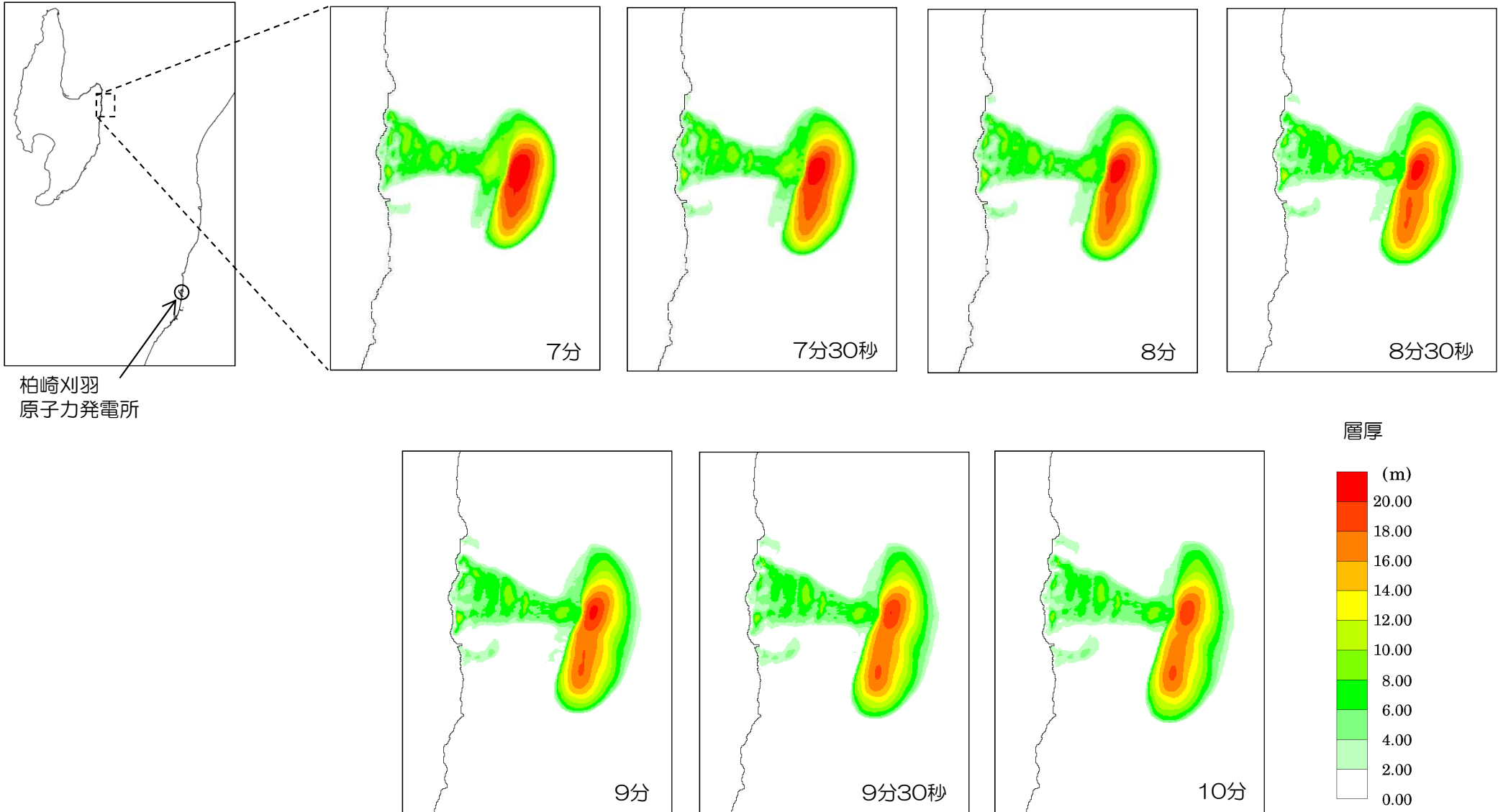


柏崎刈羽
原子力発電所



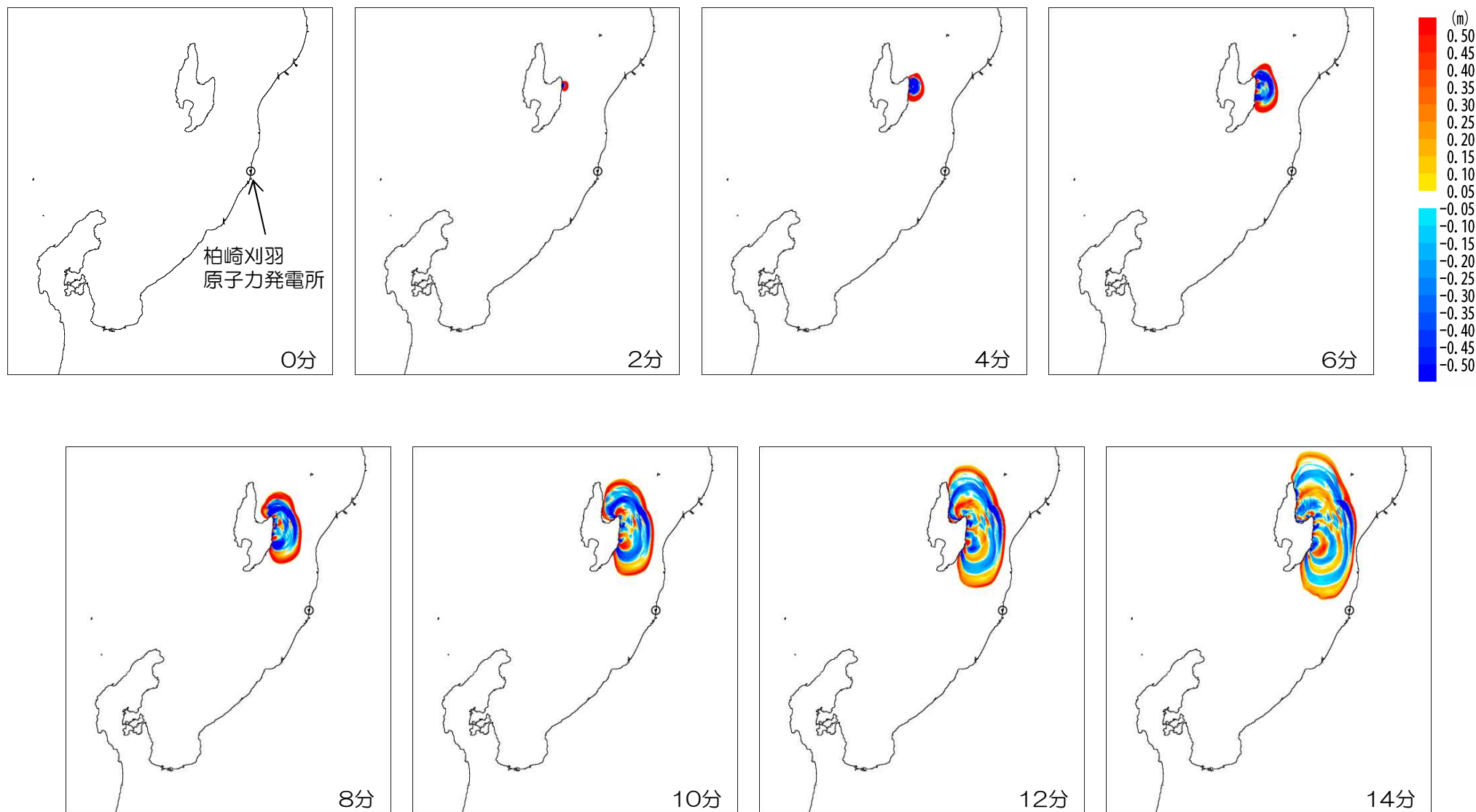
4. 7 陸域の斜面崩壊による土塊移動の経時変化

■ 二層流モデルに基づく手法による土塊移動の経時変化 (SD-5)



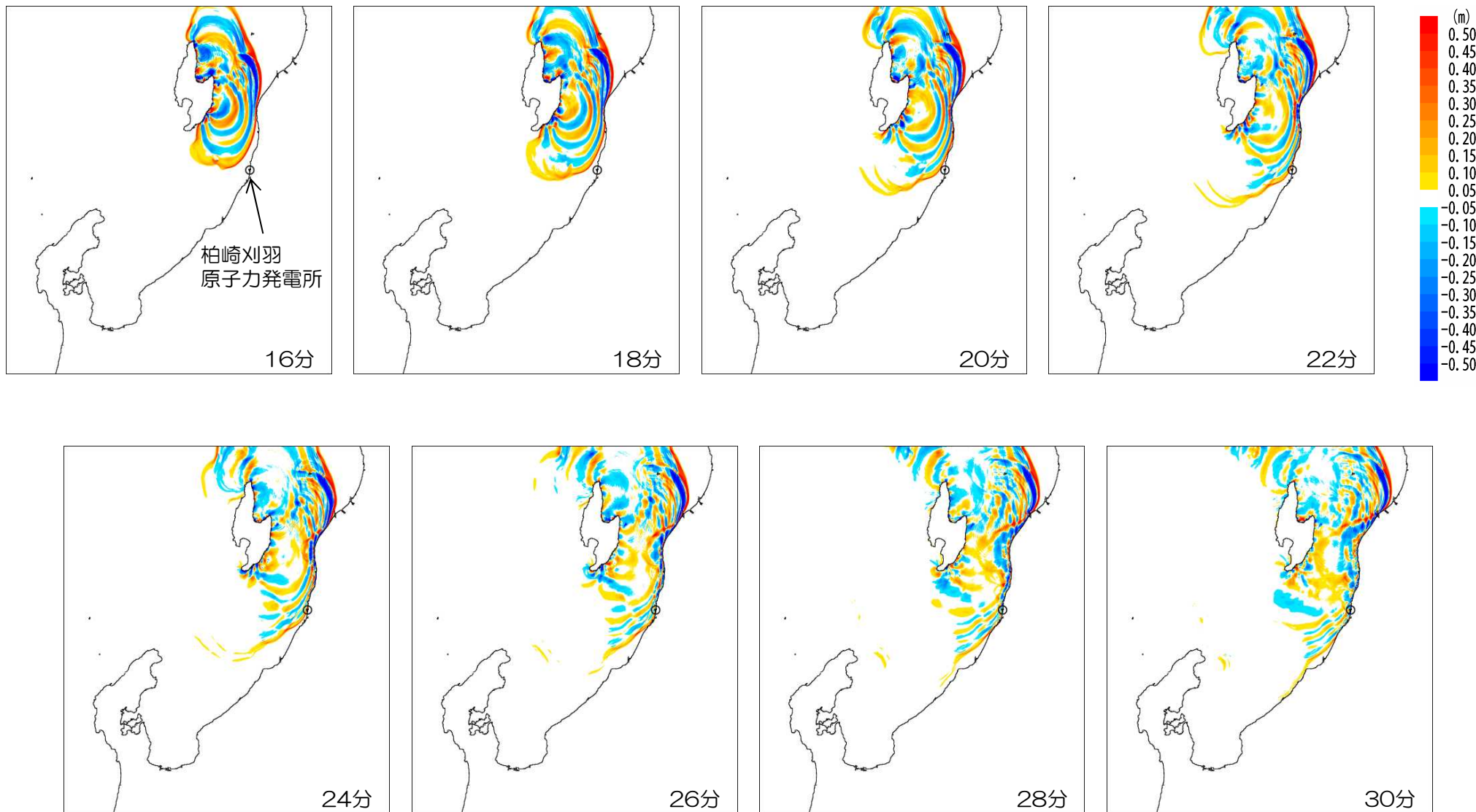
4. 7 陸域の斜面崩壊による津波水位の経時変化

■二層流モデルに基づく手法による津波水位の経時変化 SD-5 (0分~14分)



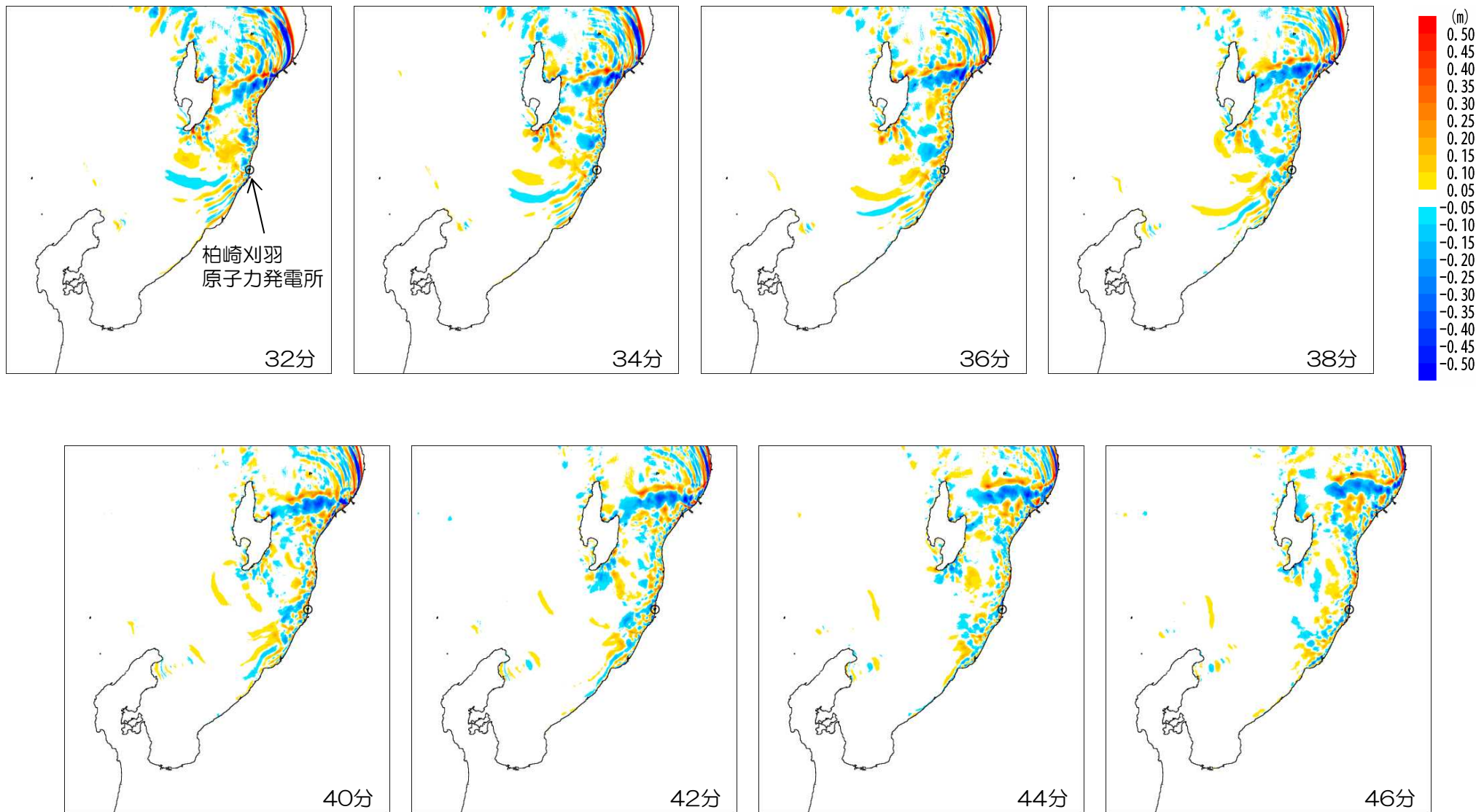
4. 7 陸域の斜面崩壊による津波水位の経時変化

■二層流モデルに基づく手法による津波水位の経時変化 SD-5 (16分~30分)



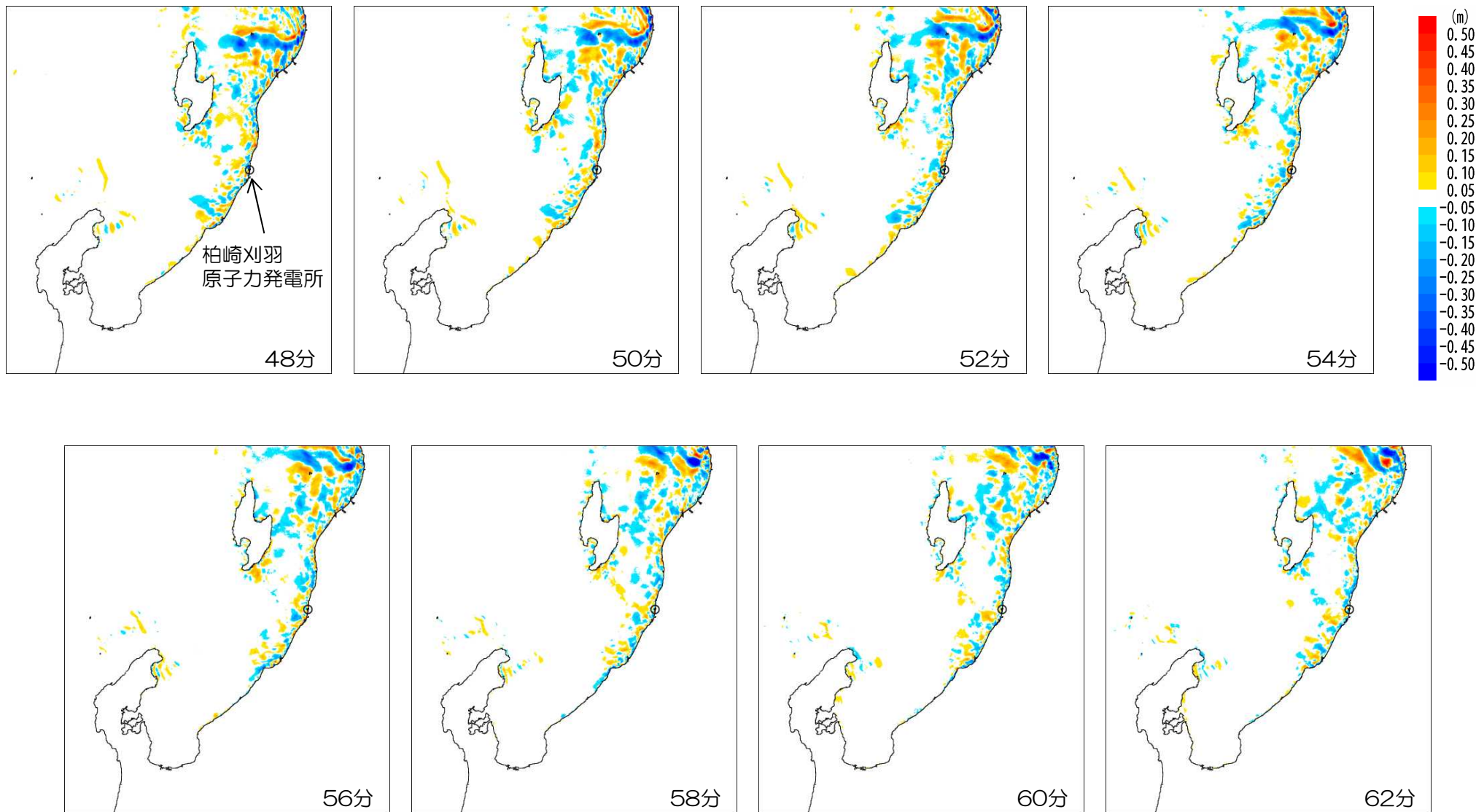
4. 7 陸域の斜面崩壊による津波水位の経時変化

■二層流モデルに基づく手法による津波水位の経時変化 SD-5 (32分~46分)



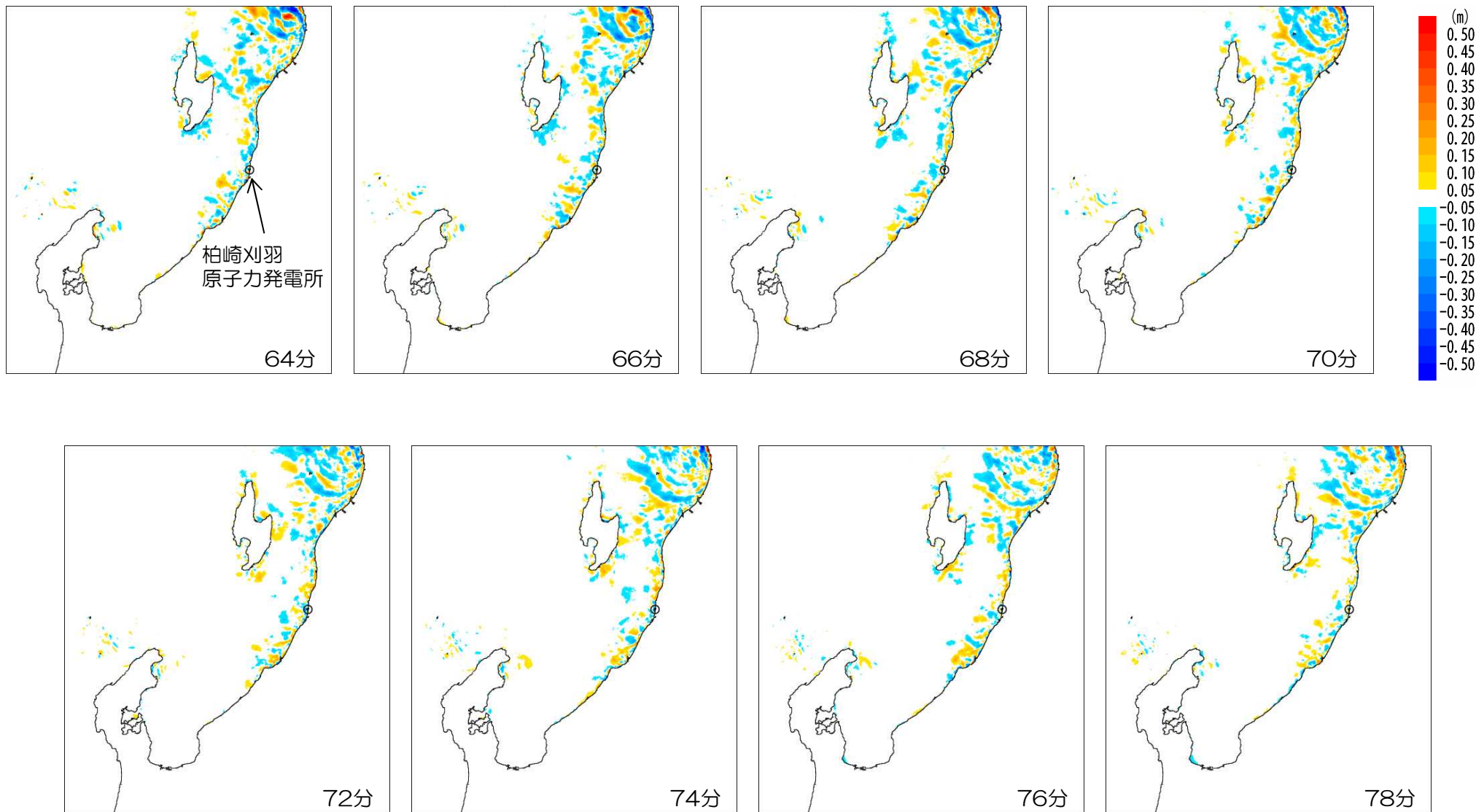
4. 7 陸域の斜面崩壊による津波水位の経時変化

■二層流モデルに基づく手法による津波水位の経時変化 SD-5 (48分~62分)



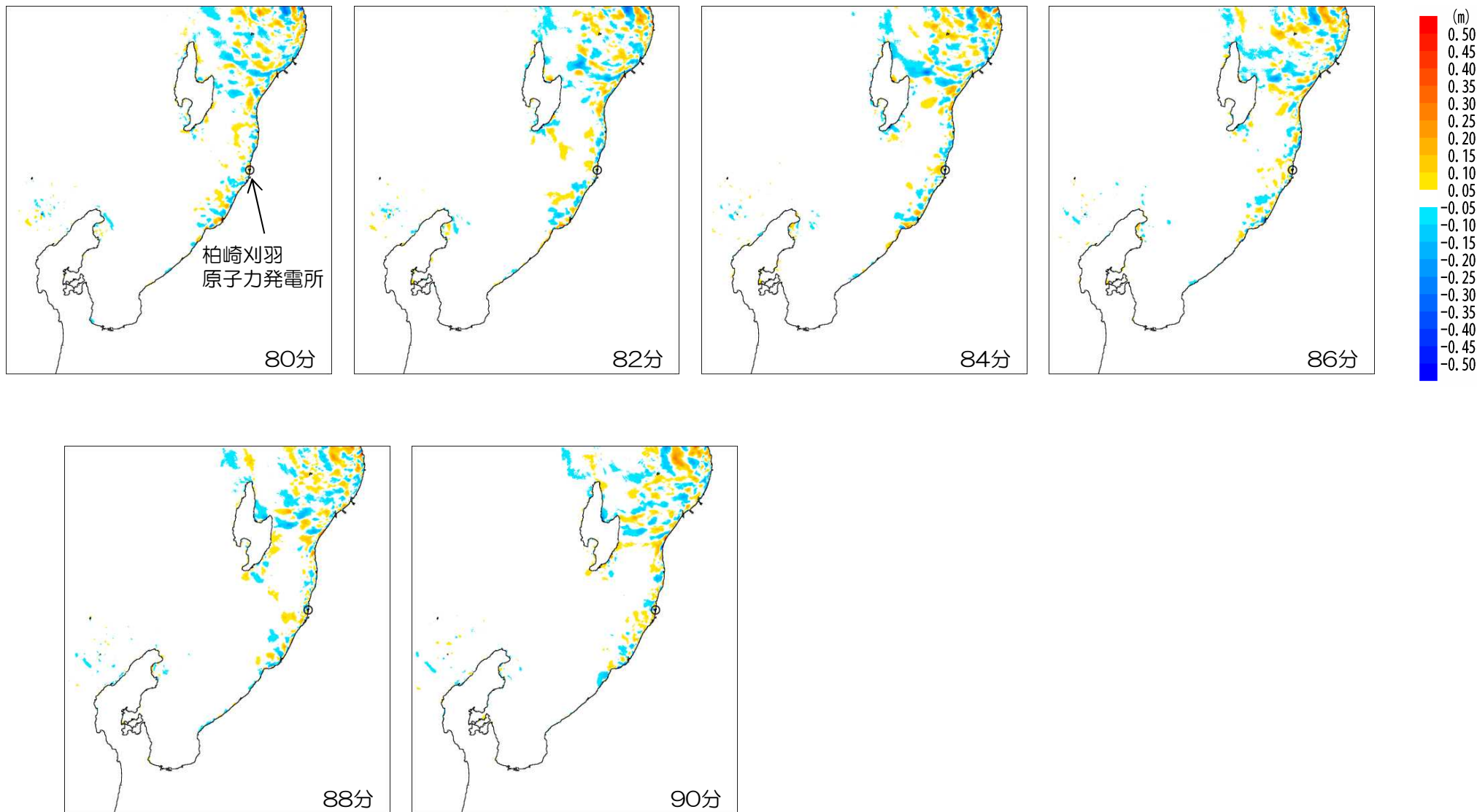
4. 7 陸域の斜面崩壊による津波水位の経時変化

■二層流モデルに基づく手法による津波水位の経時変化 SD-5 (64分~78分)



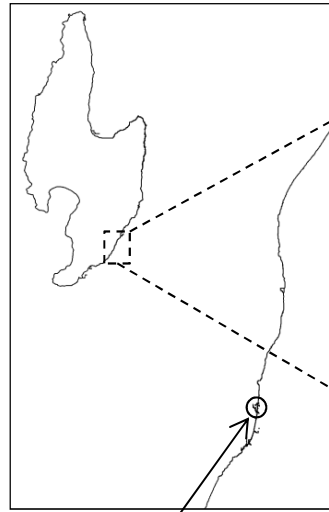
4. 7 陸域の斜面崩壊による津波水位の経時変化

■二層流モデルに基づく手法による津波水位の経時変化 SD-5 (80分~90分)

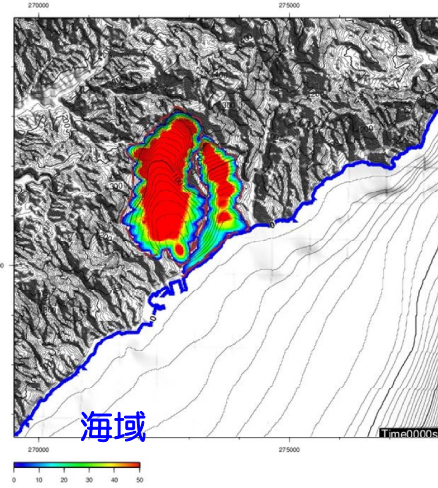


4. 7 陸域の斜面崩壊による土塊移動の経時変化

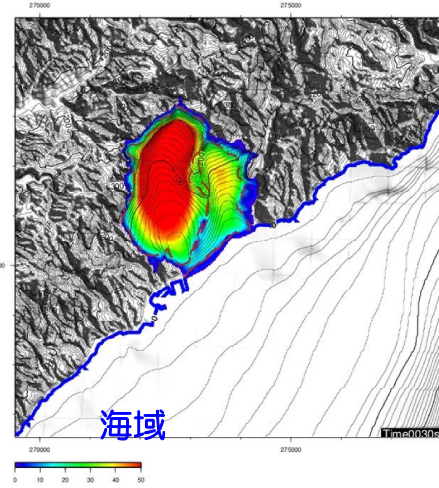
■ TITAN-2Dに基づく手法による伝播状況 (SD-2,3同時)



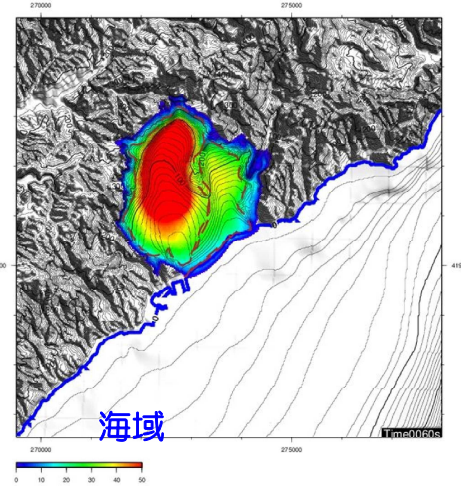
柏崎刈羽
原子力発電所



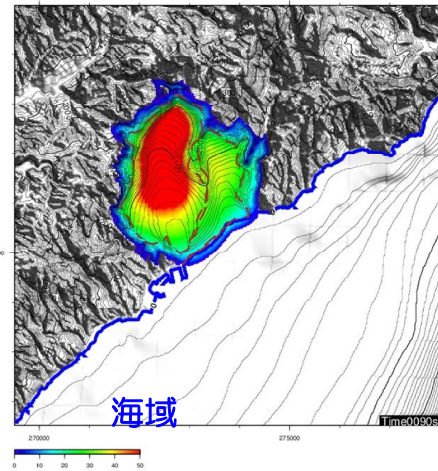
0秒



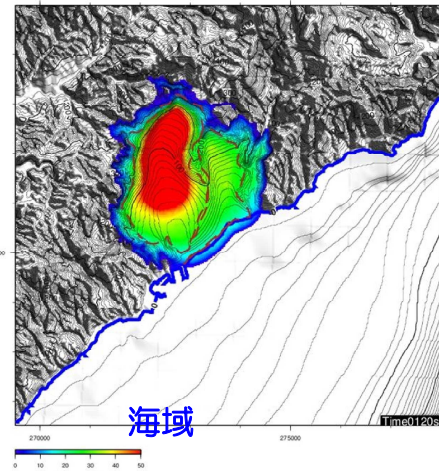
30秒



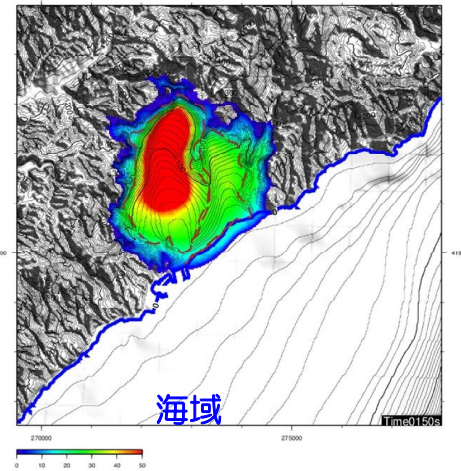
1分



1分30秒



2分



2分30秒

土塊の幅, 厚さ

高速道路調査会により示されている地すべり土塊の幅・厚さの関係を考慮して以下の通りとした。

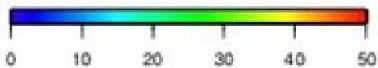
SD-2 幅1,400m, 厚120m

SD-3 幅700m, 厚60m

シミュレーション用パラメータ

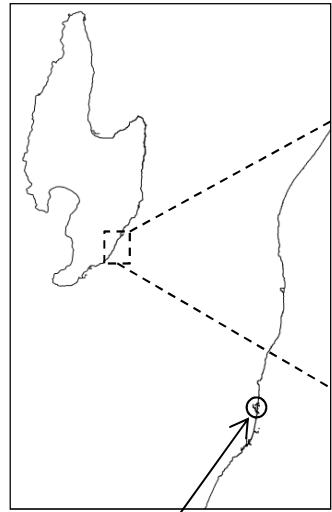
- 内部摩擦角 (ϕ) : 30°
Iverson, R.M.(1997)より
- 等価摩擦係数 (H/L) : 0.2
森脇(1987)より

層厚 (m)

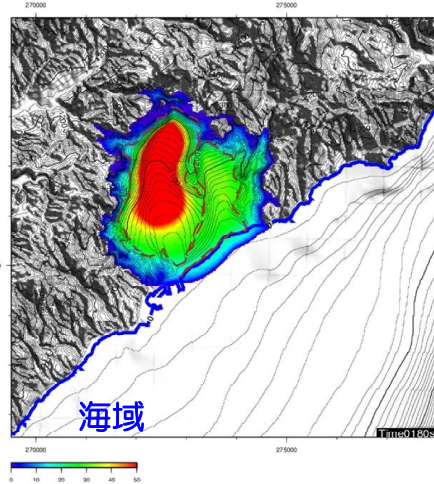


4. 7 陸域の斜面崩壊による土塊移動の経時変化

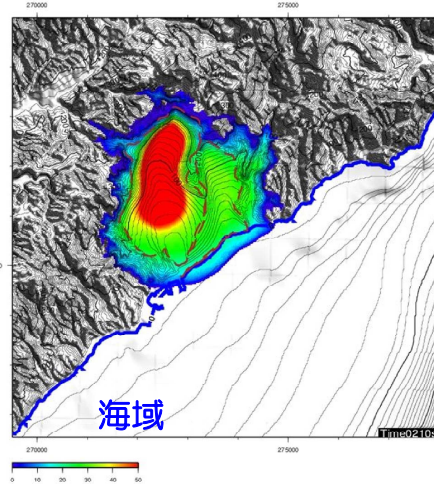
■ TITAN-2Dに基づく手法による伝播状況 (SD-2,3同時)



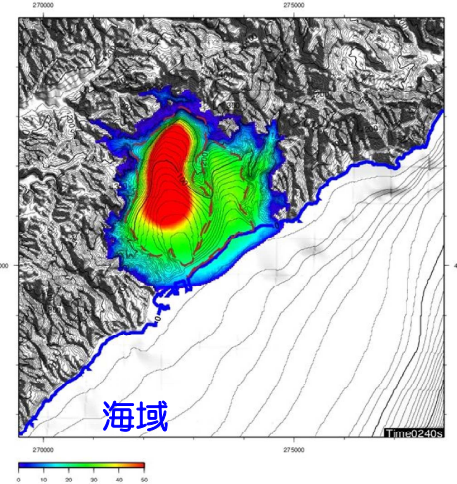
柏崎刈羽
原子力発電所



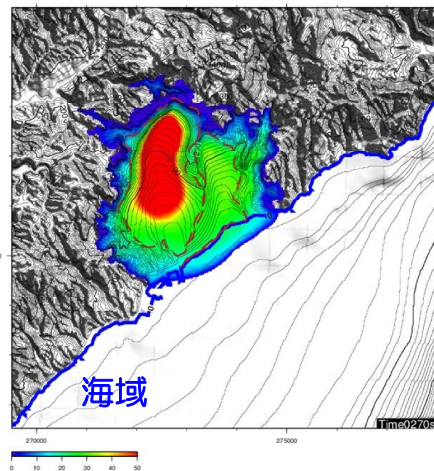
3分



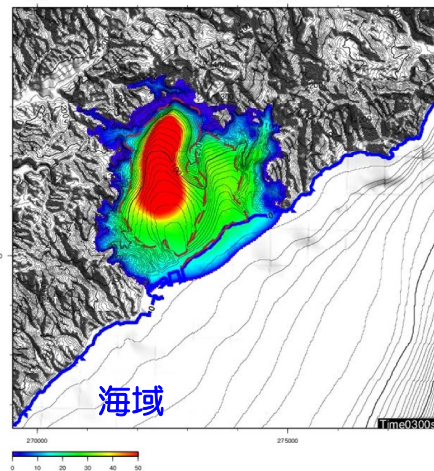
3分30秒



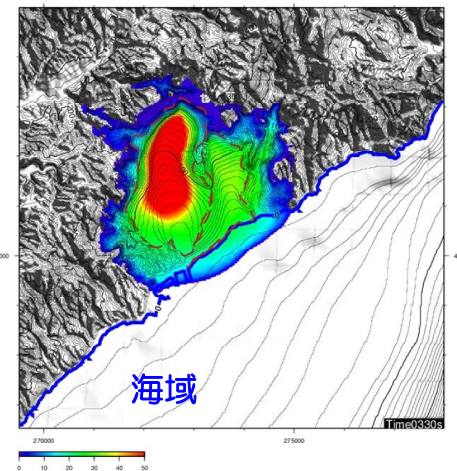
4分



4分30秒

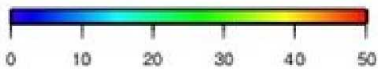


5分



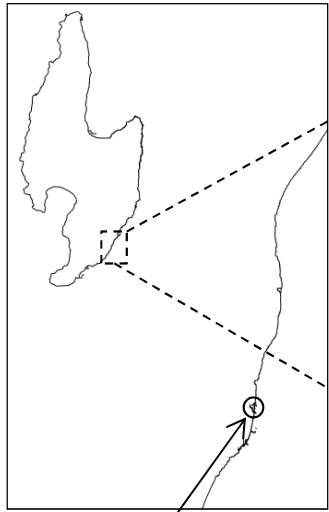
5分30秒

層厚 (m)

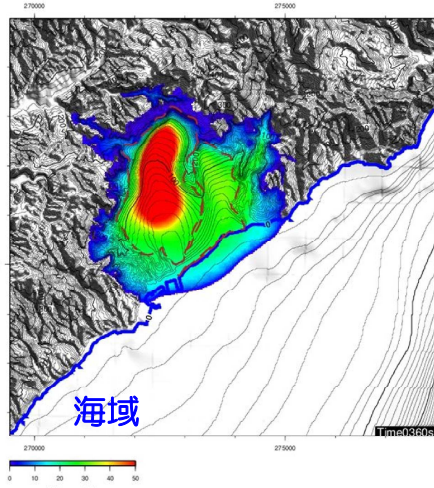


4. 7 陸域の斜面崩壊による土塊移動の経時変化

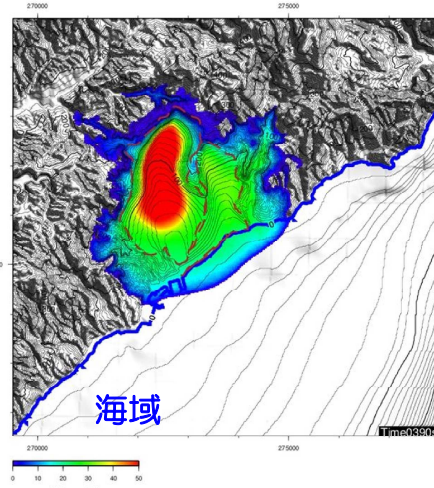
■ TITAN-2Dに基づく手法による伝播状況 (SD-2,3同時)



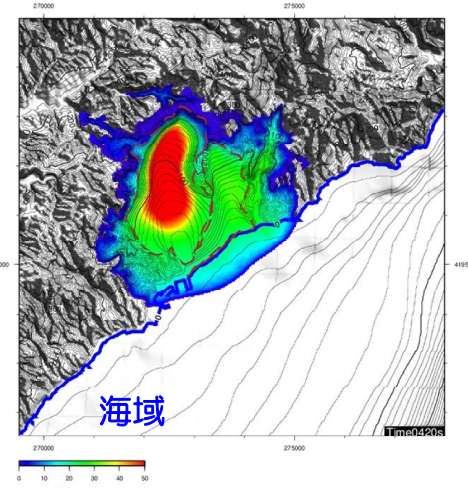
柏崎刈羽
原子力発電所



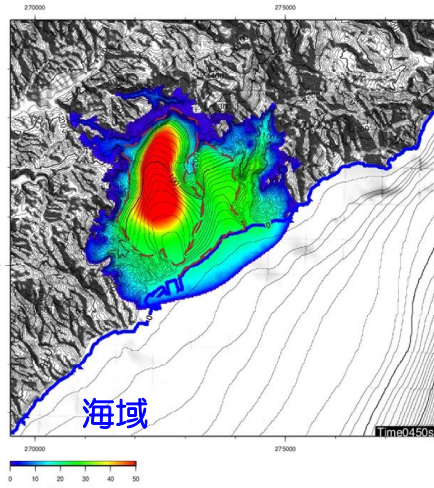
6分



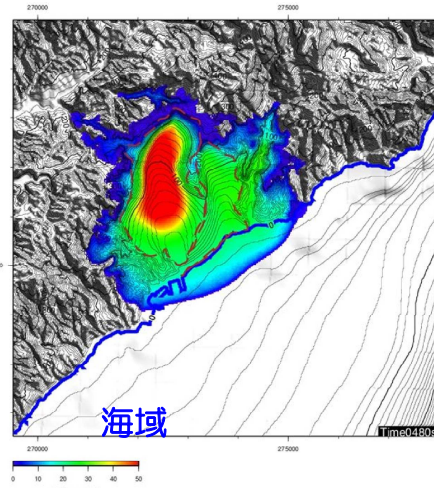
6分30秒



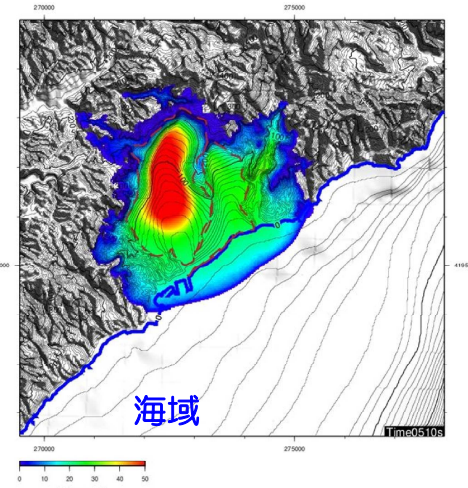
7分



7分30秒

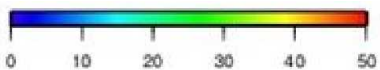


8分



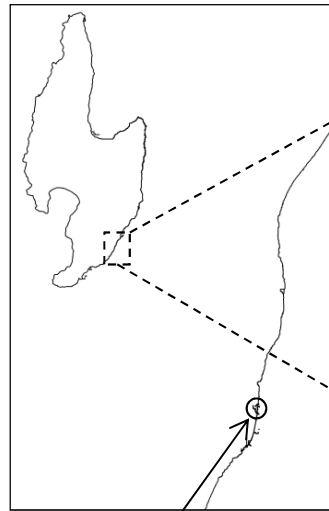
8分30秒

層厚 (m)

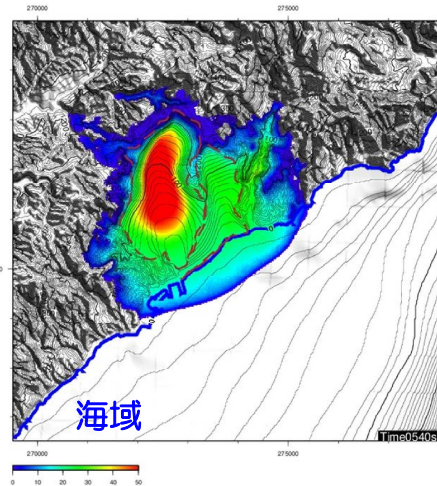


4. 7 陸域の斜面崩壊による土塊移動の経時変化

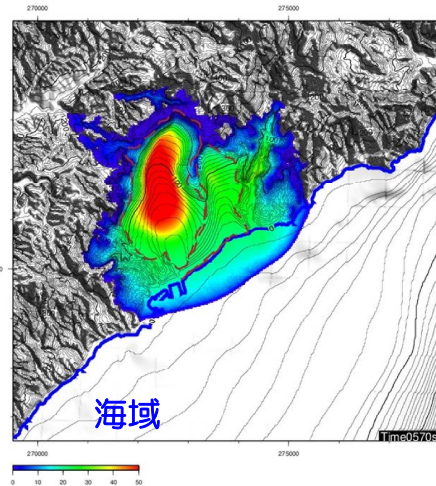
■ TITAN-2Dに基づく手法による伝播状況 (SD-2,3同時)



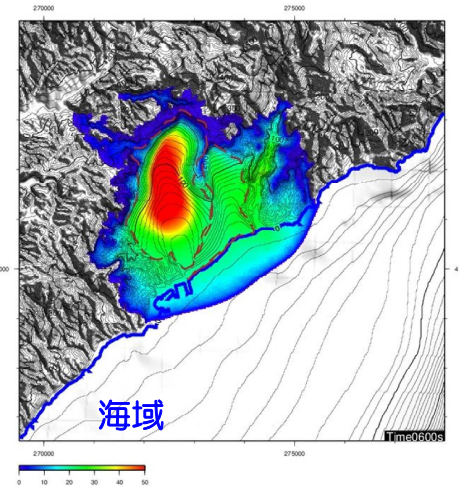
柏崎刈羽
原子力発電所



9分

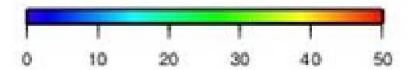


9分30秒

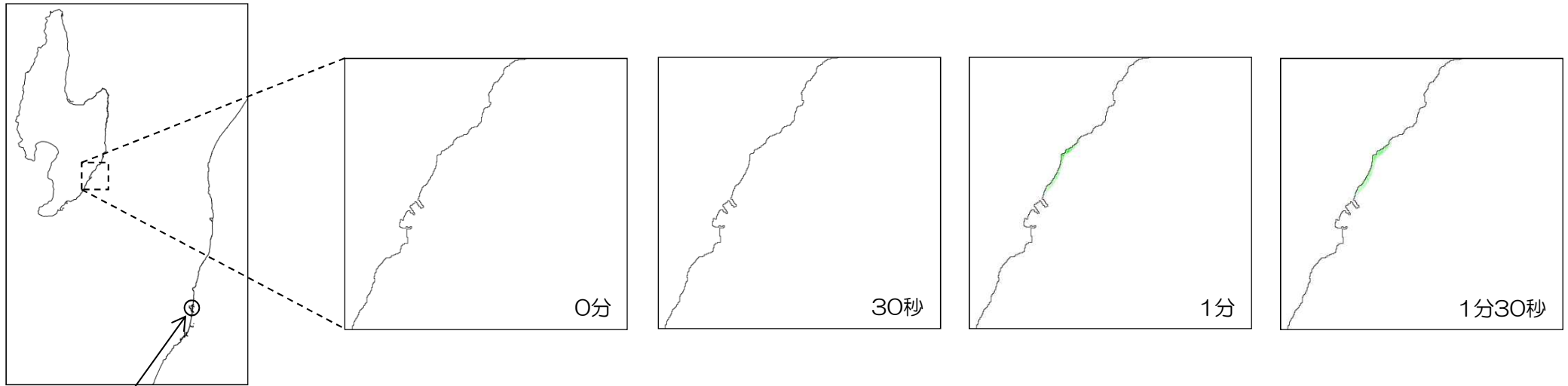


10分

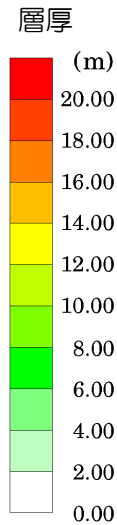
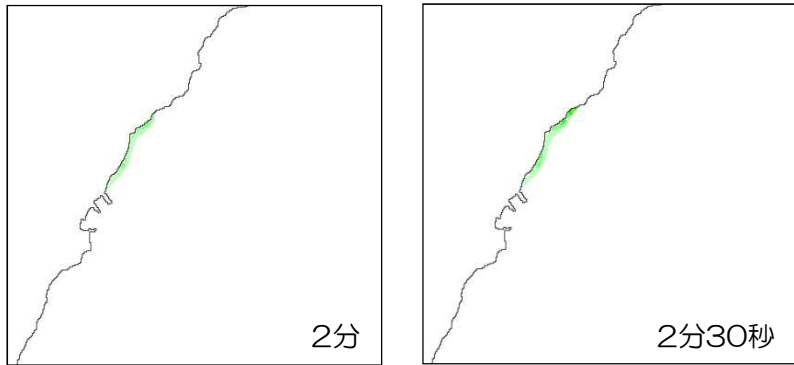
層厚 (m)



■ 二層流モデルに基づく手法による土塊移動の経時変化 (SD-2,3同時)



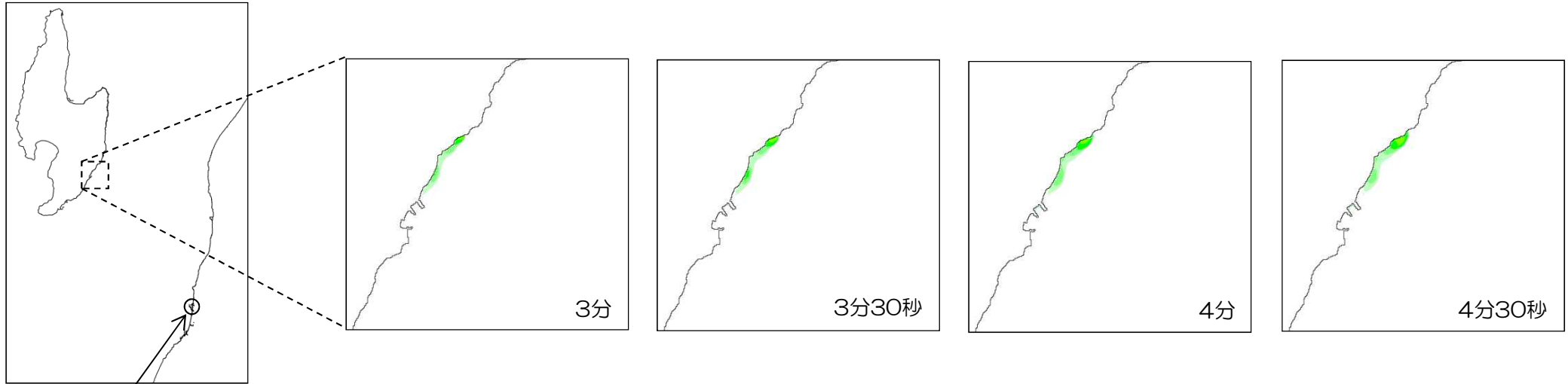
柏崎刈羽
原子力発電所



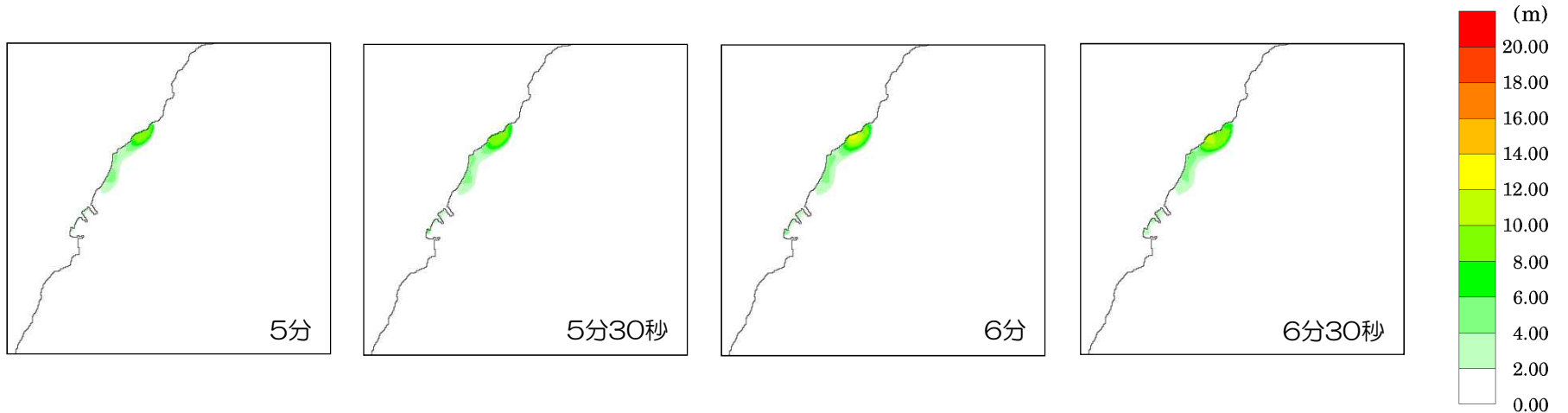
● TITAN-2Dの結果をもとに、二層流モデルを実施。
評価時間として10分間を考慮

4. 7 陸域の斜面崩壊による土塊移動の経時変化

■ 二層流モデルに基づく手法による土塊移動の経時変化 (SD-2,3同時)

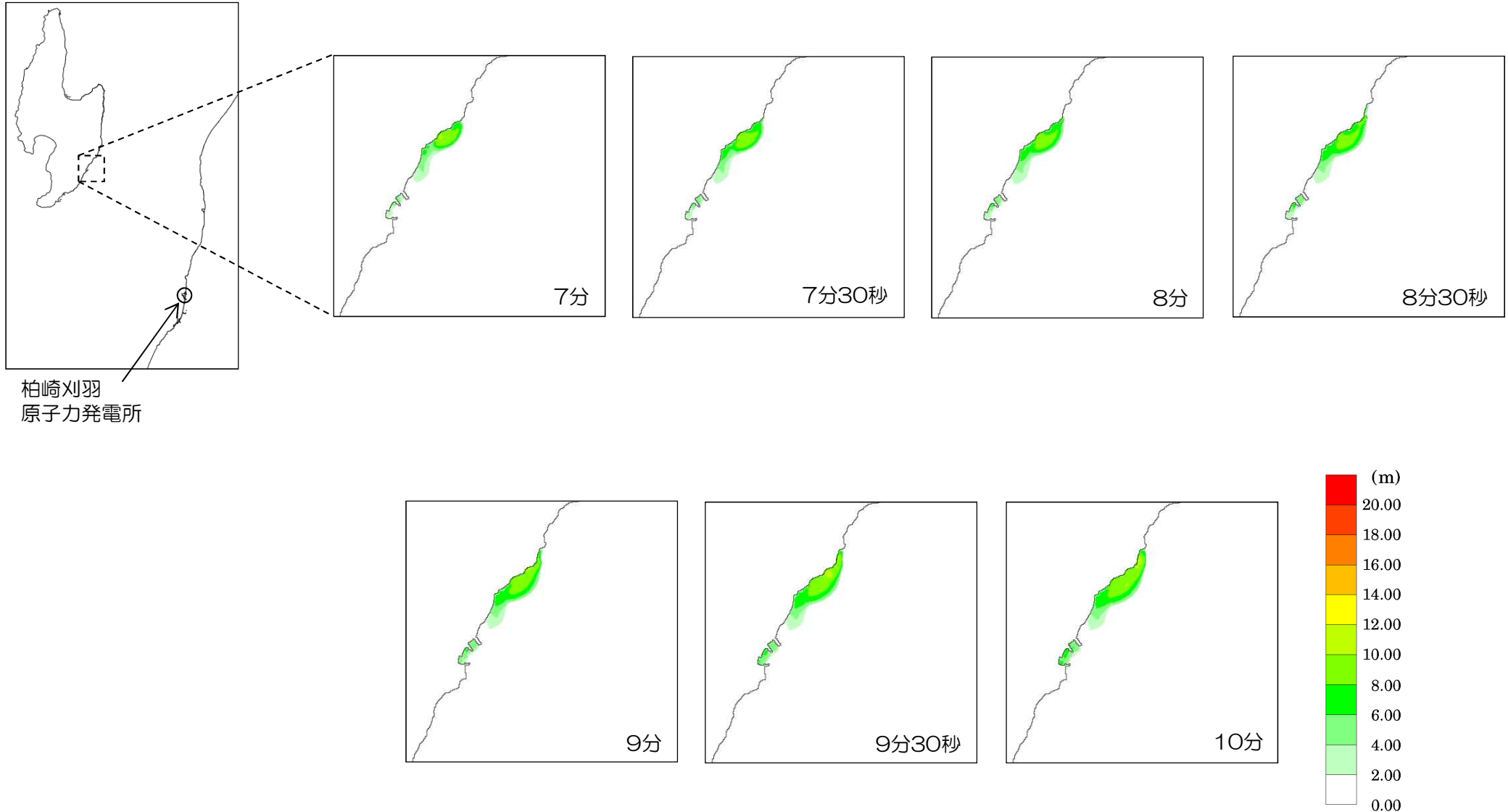


柏崎刈羽
原子力発電所



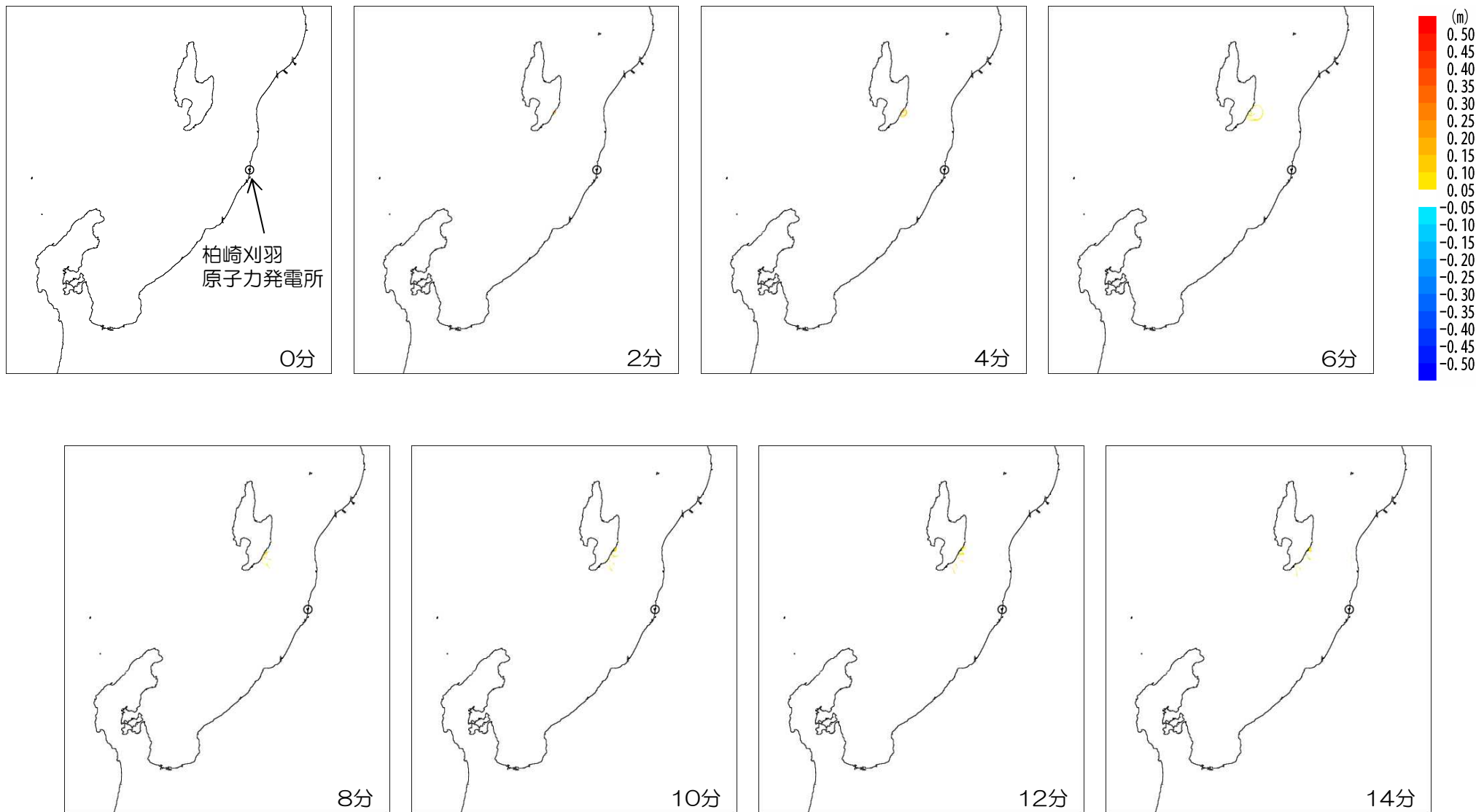
4. 7 陸域の斜面崩壊による土塊移動の経時変化

■ 二層流モデルに基づく手法による土塊移動の経時変化 (SD-2,3同時)



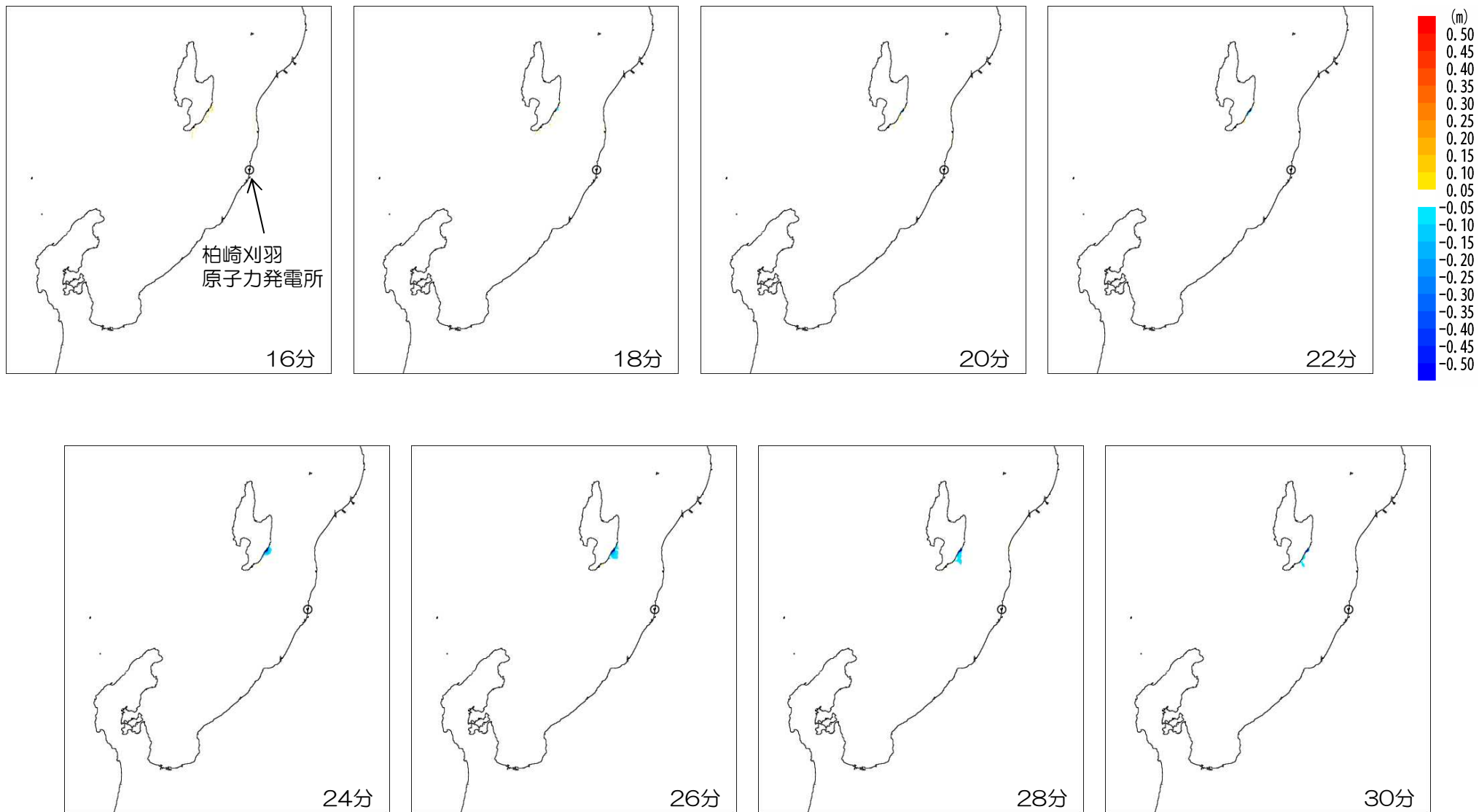
4. 7 陸域の斜面崩壊による津波水位の経時変化

■二層流モデルに基づく手法による津波水位の経時変化 SD-2,3同時 (0分~14分)



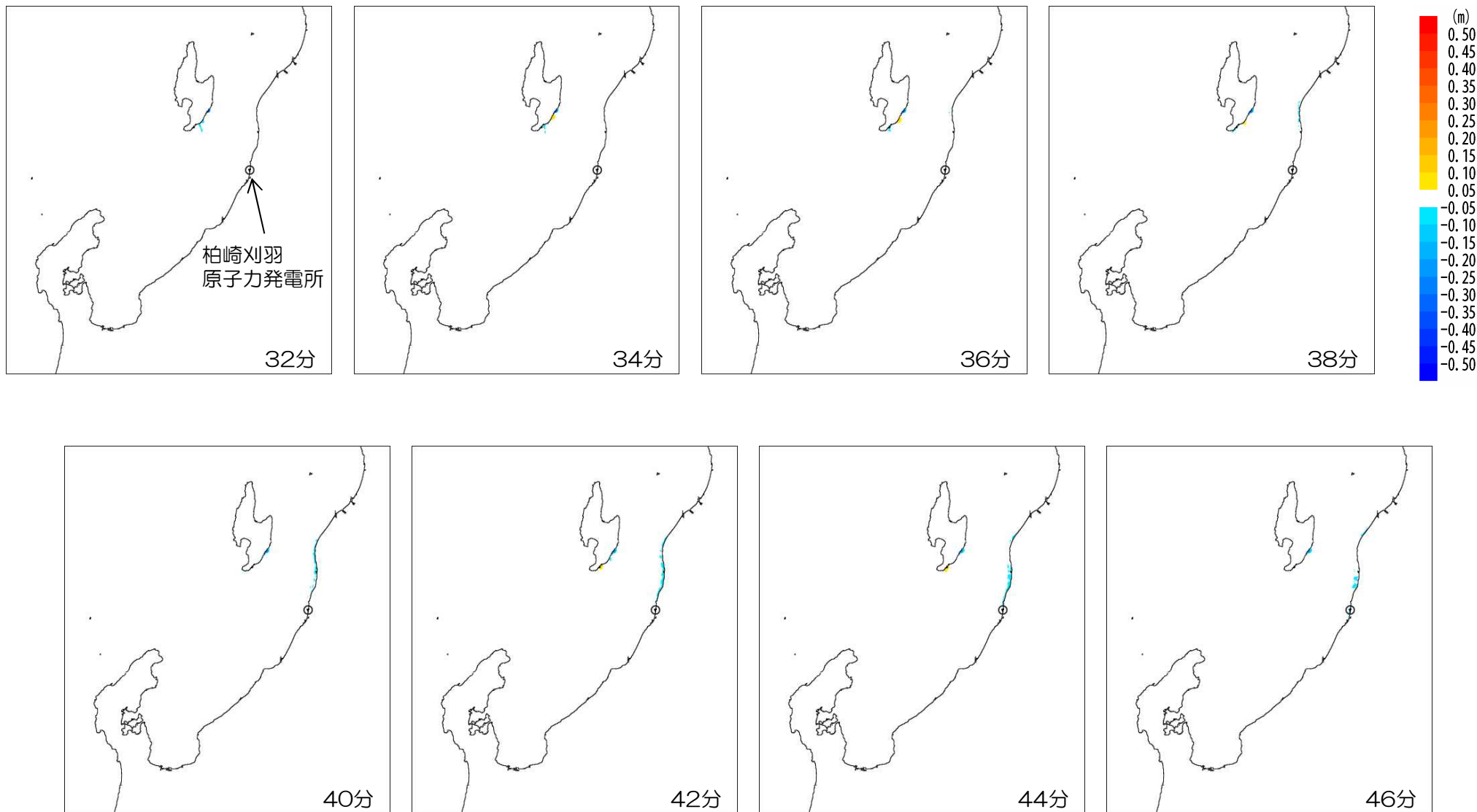
4. 7 陸域の斜面崩壊による津波水位の経時変化

■二層流モデルに基づく手法による津波水位の経時変化 SD-2,3同時 (16分~30分)



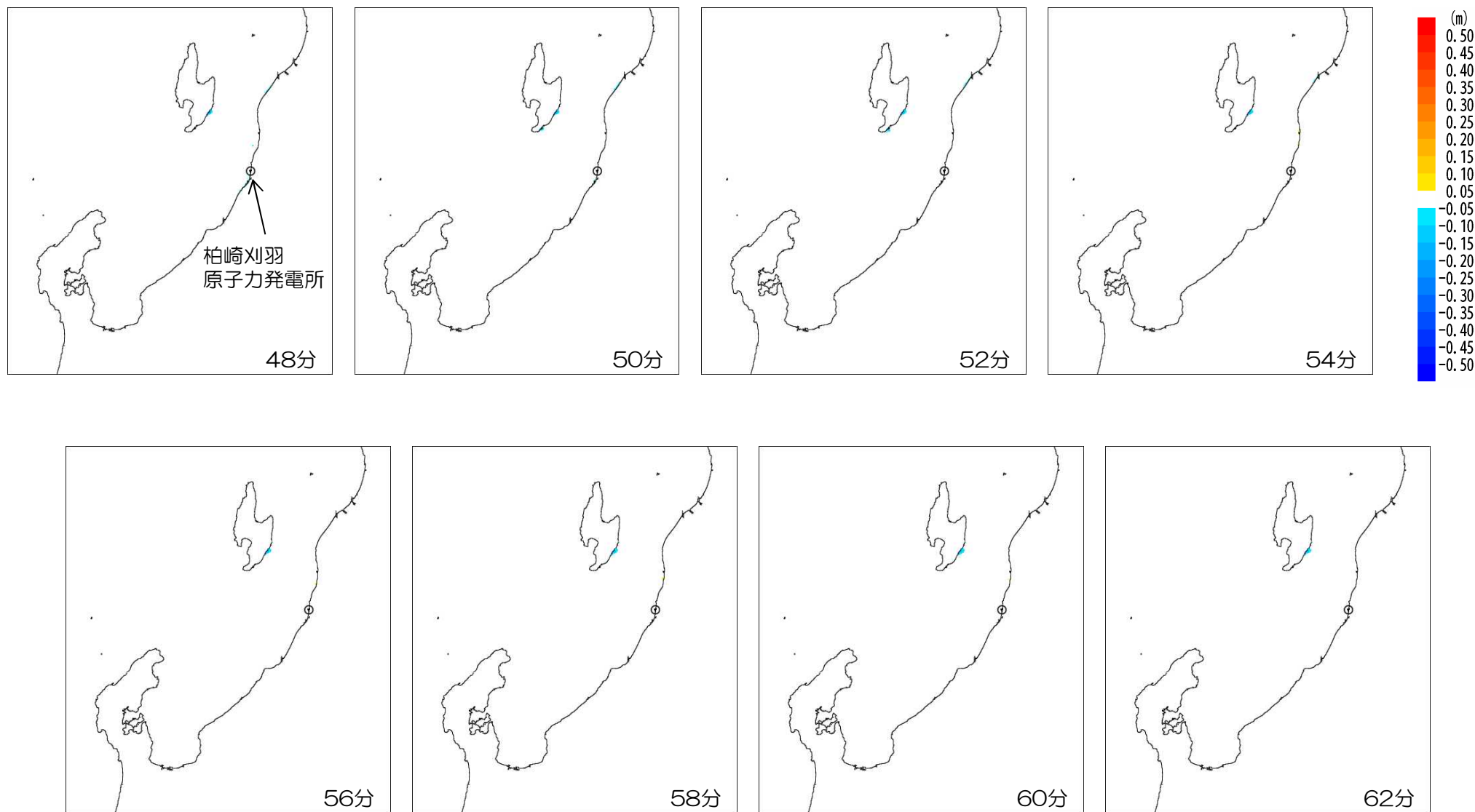
4. 7 陸域の斜面崩壊による津波水位の経時変化

■二層流モデルに基づく手法による津波水位の経時変化 SD-2,3同時 (32分~46分)



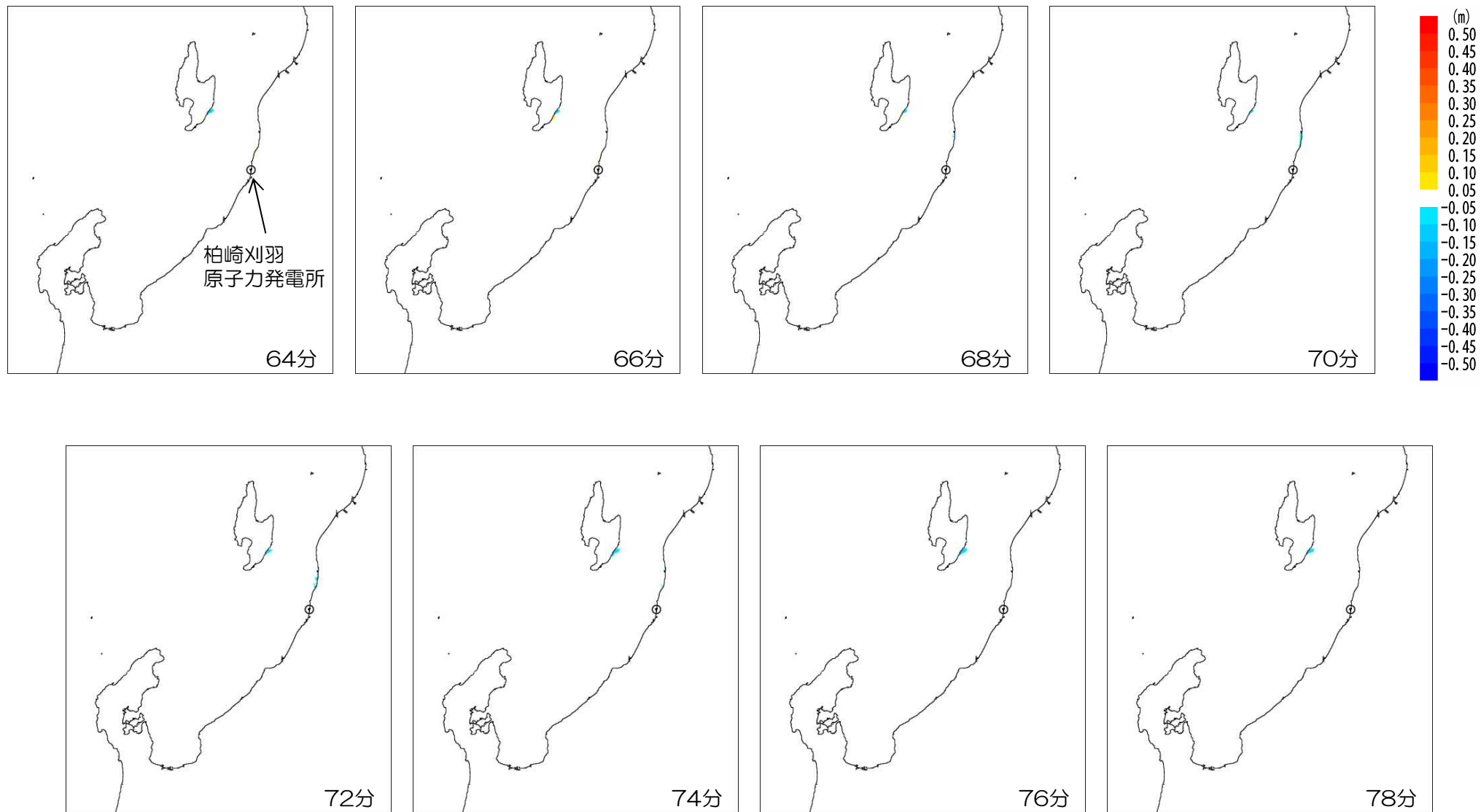
4. 7 陸域の斜面崩壊による津波水位の経時変化

■二層流モデルに基づく手法による津波水位の経時変化 SD-2,3同時（48分～62分）



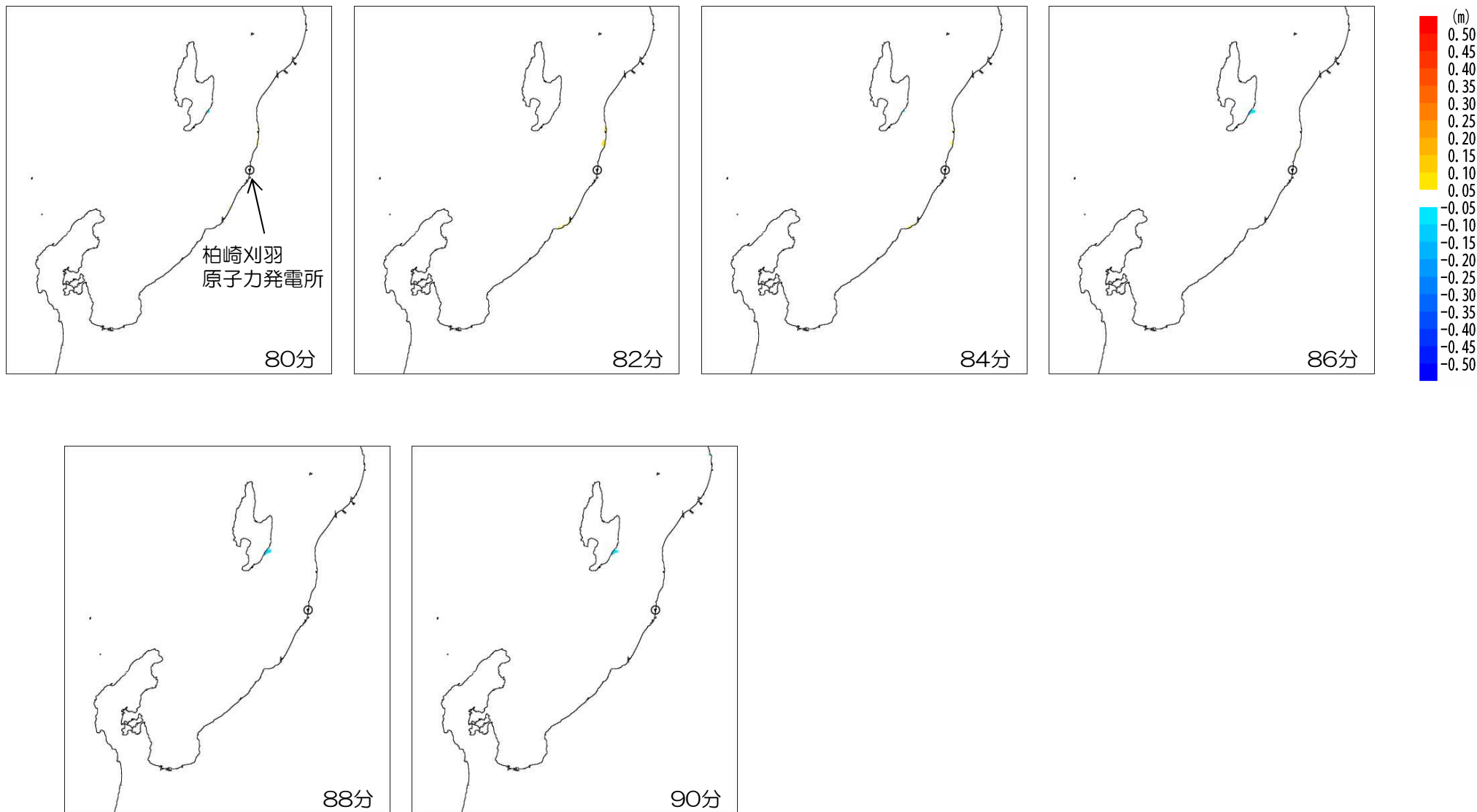
4. 7 陸域の斜面崩壊による津波水位の経時変化

■二層流モデルに基づく手法による津波水位の経時変化 SD-2,3同時 (64分~78分)



4. 7 陸域の斜面崩壊による津波水位の経時変化

■二層流モデルに基づく手法による津波水位の経時変化 SD-2,3同時 (80分~90分)

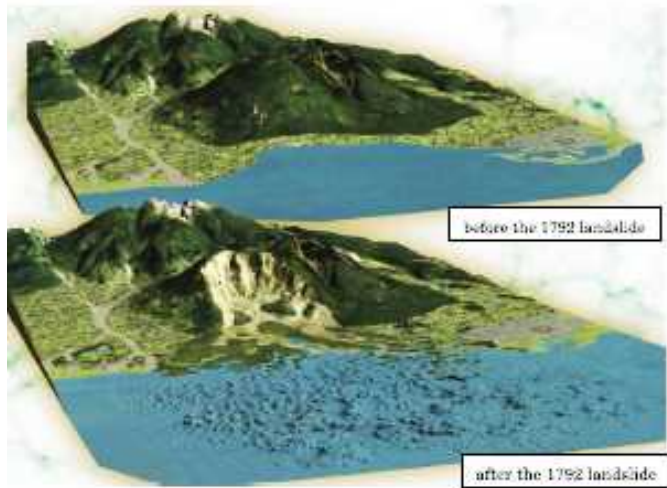


4. 8 陸域の斜面崩壊シミュレーション手法に関する補足

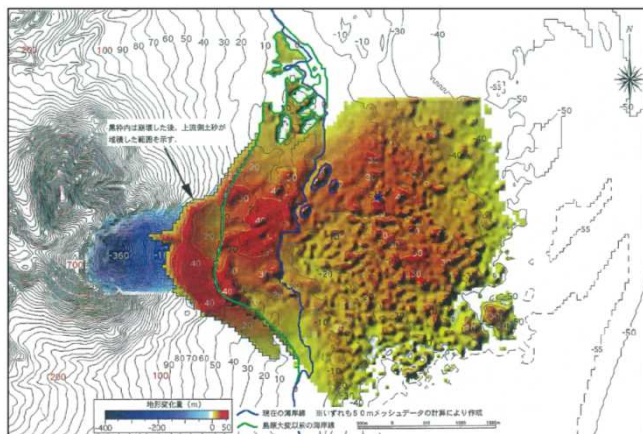
4. 8 陸域の斜面崩壊シミュレーション手法に関する補足

TITAN-2Dによる眉山崩壊再現シミュレーション

対象事例	検証方法	評価概要
1792年 島原眉山崩壊	・眉山崩壊に関するTITAN-2Dによる再現シミュレーション	・眉山崩壊後の海域の土砂堆積量や崩土堆積範囲を概ね再現できている



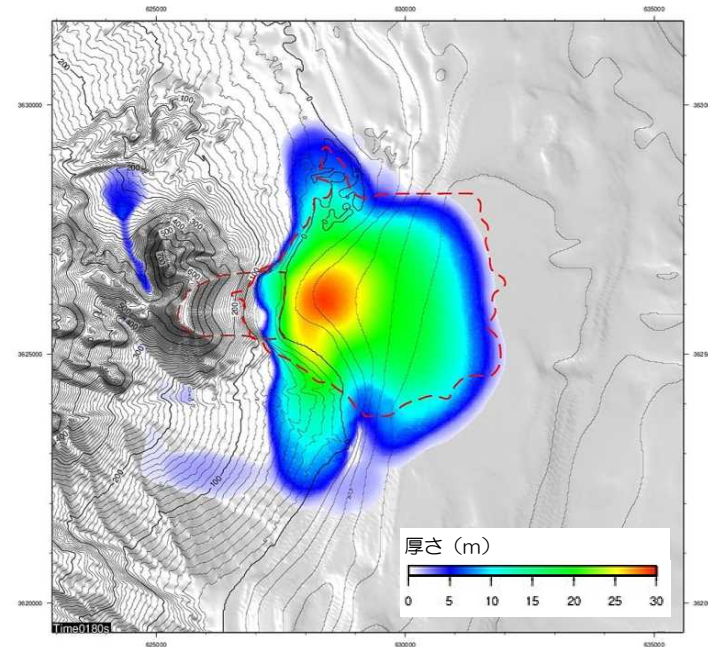
解析用モデル化地形の状況※1
 上段：崩壊前
 下段：崩壊後



地形変化量図※1

解析諸元・結果

内部摩擦角 $\phi_{int}=30^\circ$
 底面摩擦角 $\phi_{bed}=8.08^\circ$ (海域 5.0°)
 崩壊地塊 $V=3.25 \times 10^8 m^3$
 海域部堆積土量 文献評価: $2.76 \times 10^8 m^3$ ※2
 解析結果: $2.48 \times 10^8 m^3$



TITAN-2D解析結果
 土砂崩壊状況図
 (180秒)

※1 砂防フロンティア整備推進機構 (2003) ; 島原大変, 国土交通省 九州地方整備局 雲仙復興事務所.
 ※2 北側に未測定部あり

土砂崩壊シミュレーション手法 (TITAN-2D) の適用性について

- TITAN-2Dは、下表に示すとおり、模型実験や実事例を対象とした再現シミュレーションに基づく妥当性の検証がなされている。

文献名	対象事例	評価概要
Denlinger et al.(2001)	小規模実験	<ul style="list-style-type: none"> • 幅20cm, 長さ100cm, 勾配31.4° のスロープを降下する砂質材料の経時的挙動再現解析を実施 • 崩壊土砂分布範囲及び堆積厚さの経時的な変化を再現することができる
	実斜面による大規模実験	<ul style="list-style-type: none"> • 幅2m, 長さ82.5m, 勾配31° のスロープを降下する砂礫材料の経時的挙動再現解析を実施 • 任意断面位置での地塊層厚経時変化やスロープ端部に堆積した土砂の分布範囲及び層厚を再現することができる
Galas(2008)	単調, 2段勾配スロープ実験	<ul style="list-style-type: none"> • 長さ約280cm, 勾配40° のスロープを降下する土砂材料の経時的挙動再現解析を実施 • 長さ約6.5m, 勾配26.6° から7.1° へと変化するスロープ降下土砂材料の経時的挙動再現解析を実施 • 崩壊土砂分布範囲及び堆積厚さの経時的な変化を概ね再現することができる
	1903年 Turtle Mountainの岩屑なだれ (Frank Slide)	<ul style="list-style-type: none"> • 崩壊土量$3.6 \times 10^7 \text{m}^3$, 平均すべり面勾配25° の大規模崩壊現象の再現解析 • 崩壊源から最終堆積域にわたって, 崩壊土砂の移動範囲及び移動中心経路を再現することができる
Sheridan et al. (2005)	1963年 Little Tahoma Peakの岩屑なだれ	<ul style="list-style-type: none"> • 崩壊土量$1 \times 10^6 \text{m}^3$, 平均勾配15.6° の斜面流下挙動の再現解析 • 崩壊源から堆積域にわたって, 崩壊土砂の移動範囲を再現することができる

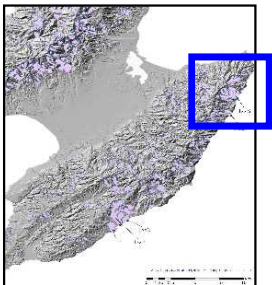
実事例に対する検討事例について

- 島原眉山の山体崩壊とそれに伴う津波に対するシミュレーションによる検討は、下表に示す複数の論文により、再現シミュレーションの妥当性について確認されている。
- 実事例の再現シミュレーションで用いられている土砂崩壊のシミュレーション手法については、いずれも土塊の挙動を非圧縮性粘性流体の運動とみなし、連続式及び運動方程式を解くことによりその挙動を算定している。
- 以上のことから、土砂崩壊シミュレーションへの適用については妥当であると判断できる。

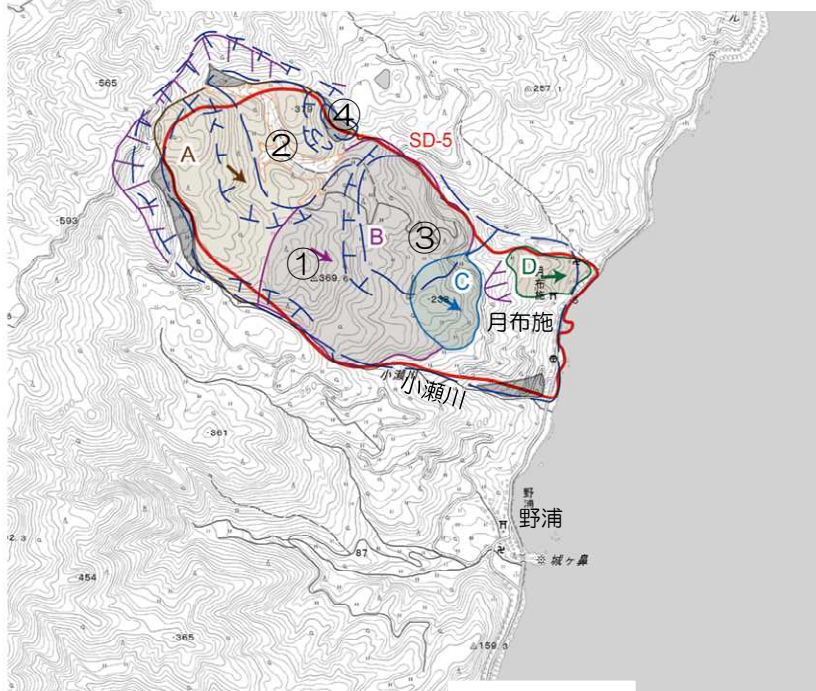
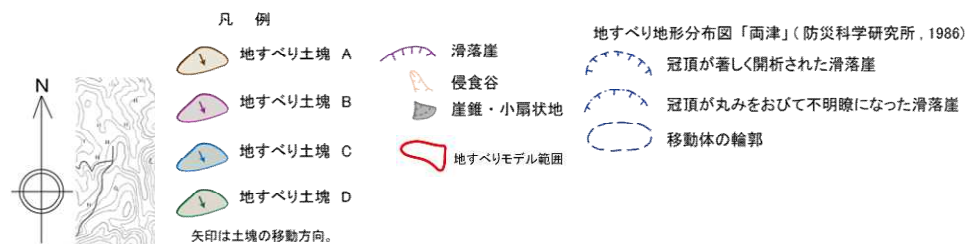
文献名	対象事例	評価手法	評価概要
柳澤ほか (2014)	1792年 島原眉山崩壊	<ul style="list-style-type: none"> ・眉山崩壊と津波に関する再現シミュレーション ・土質パラメータ（摩擦則）を適用できるように改良された二層流モデルにより再現シミュレーションを実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・眉山崩壊後の堆積範囲をほぼ再現できている ・都司ほか（1993.1997）の痕跡高との比較では、土木学会基準を満たす結果となっている（$K=0.96$, $\kappa=1.37$）
笹原 (2004)		<ul style="list-style-type: none"> ・山体崩壊と津波に関する再現シミュレーション ・山体崩壊：LS-FLOW ・津波解析：水路協会 	<ul style="list-style-type: none"> ・海中突入土砂量を種々に変化させた場合の、崩土堆積領域と津波高さのパラメトリックスタディーを実施 ・山体崩壊シミュレーションでは、眉山崩壊後の堆積範囲と整合する結果が得られた（ケースa,c） ・津波評価では島原半島側の遡上高とよい整合性を示している
Sassa et al. (2014)		<ul style="list-style-type: none"> ・山体崩壊挙動の再現シミュレーション ・解析コード：LS-RAPID 	<ul style="list-style-type: none"> ・眉山崩壊後の平面的な崩土堆積範囲を再現できている ・断面的な崩土堆積厚さおよび分布を再現することができる

4. 9 佐渡島の地すべり地形における現地調査結果

4. 9 佐渡島の地すべり地形における現地調査結果



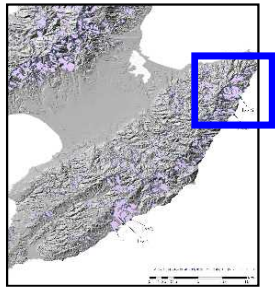
- 防災科学技術研究所(1986)によるとSD-5周辺においては、4つの地すべり地形(①~④)が認められる。
- 現地調査結果によるとSD-5周辺の地すべり土塊は大きく2つに区分され、大きいほうの地すべりは3つの地すべり土塊(A~C)に細分される。
- 月布施北方の隔離された地すべり土塊(D)は、小規模な表層すべりである。
- 解析で考慮した地すべり範囲について、机上調査および現地調査結果と概ね一致しており、複数の地すべり地形を含めた保守的な範囲であることを確認した。



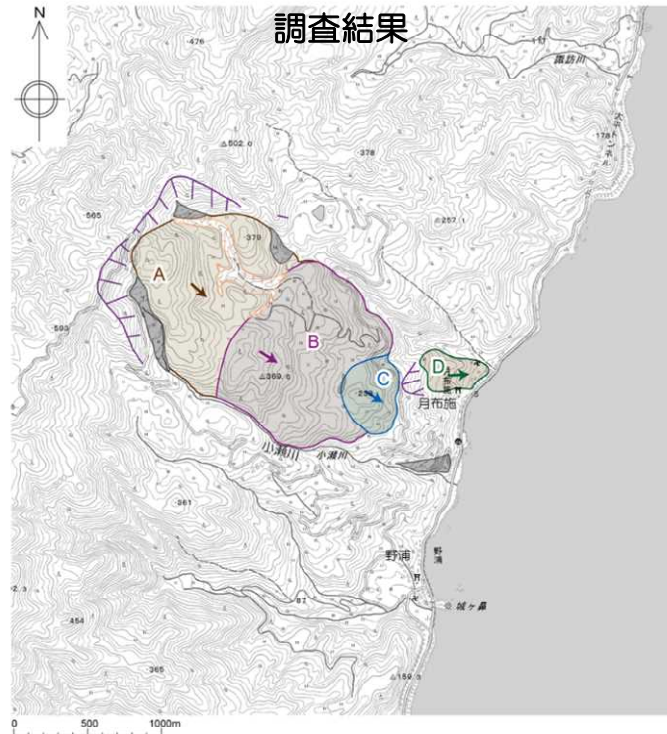
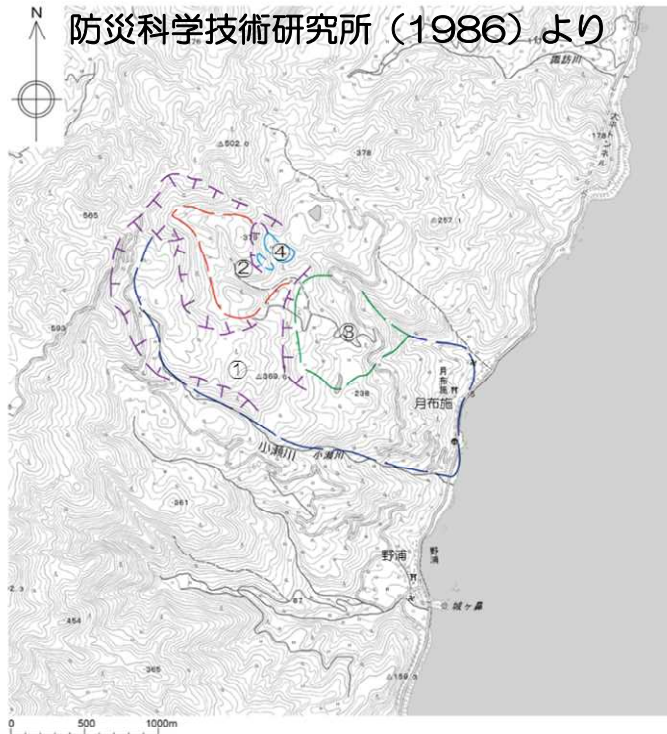
SD-5周辺の地すべり

地点No.	調査結果		
	防災科学技術研究所(1986)	現地調査結果	
SD-5	①	<ul style="list-style-type: none"> 月布施西方に分布する最も大きな移動体。 滑落崖は移動体の西方に位置し、C字型を示す。 移動体の南縁は、小瀬川に規制される。 	<ul style="list-style-type: none"> 大きく2つの地すべり土塊が分布。 月布施西方の地すべり土塊は、北西から南東方向にかけて3つ(A~C)に細分される、末端部は標高150m付近。 月布施北方の隔離された地すべり土塊(D)は、小規模な表層すべり。
	②	<ul style="list-style-type: none"> 月布施北西に分布する移動体。 滑落崖は移動体を取り囲むように位置し、C字型を示す。 	<ul style="list-style-type: none"> ①の地すべり土塊(A)の一部をなす。 侵食谷が発達。
	③	<ul style="list-style-type: none"> 月布施西方に分布する移動体。 滑落崖は移動体の西方に位置し、緩いC字型を示す。 	<ul style="list-style-type: none"> ①の地すべり土塊(B)の一部をなす。
	④	<ul style="list-style-type: none"> ②の東方に位置する小規模な移動体。 滑落崖は移動体の北~西方に位置し、緩いC字型を示す。 	<ul style="list-style-type: none"> 崖錐堆積物及び扇状地堆積物。

4. 9 佐渡島の地すべり地形における現地調査結果



- 防災科学技術研究所(1986)の評価結果, 現地調査結果, 及び解析モデルに使用している地すべり範囲を下記に示す。



地すべり地形分布図「両津」(防災科学研究所, 1986)

- 冠頂が著しく開析された滑落崖
- 冠頂が丸みをおびて不明瞭になった滑落崖
- 移動体の輪郭

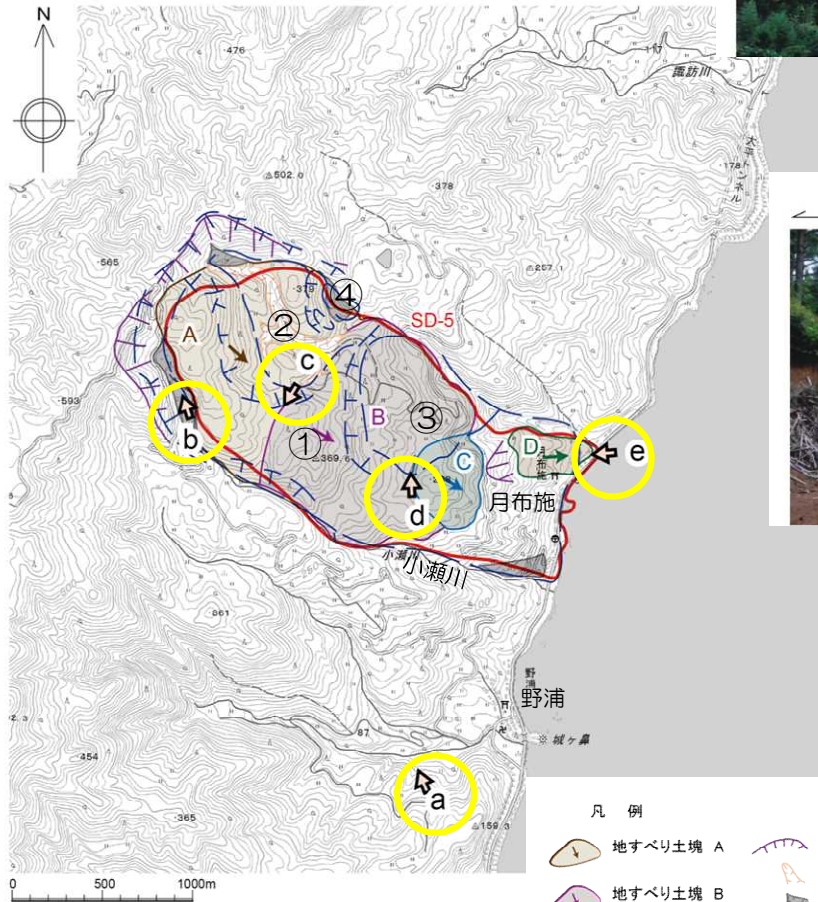
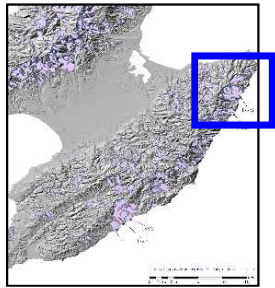
凡例

- 地すべり土塊 A
- 地すべり土塊 C
- 地すべり土塊 B
- 地すべり土塊 D
- 滑落崖
- 侵食谷
- 崖錐・小扇状地

矢印は土塊の移動方向。

- 地すべりモデル範囲

4. 9 佐渡島の地すべり地形における現地調査結果



SD-5周辺の地すべり

- 凡例
- 地すべり土塊 A
 - 地すべり土塊 B
 - 地すべり土塊 C
 - 地すべり土塊 D
 - 地すべりモデル範囲
 - 地形写真位置・番号
 - 滑落崖
 - 侵食谷
 - 崖錐・小扇状地
 - 地すべりモデル範囲
 - 冠頂が著しく開析された滑落崖
 - 冠頂が丸みをおびて不明瞭になった滑落崖
 - 移動体の輪郭
- 矢印は土塊の移動方向。



地すべり全景写真 a
比較的緩やかな地すべり土塊。
小瀬川が地すべり土塊を規制する。



滑落崖写真 b
地すべり土塊 (A) を囲む滑落崖。



地すべり写真 c
地すべり土塊 (A) と (B)
との間の溝状の凹地。

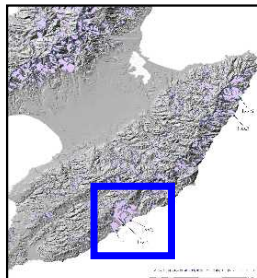


地すべり写真 d
地すべり土塊 (B) と (C) との間の
溝状の凹地。

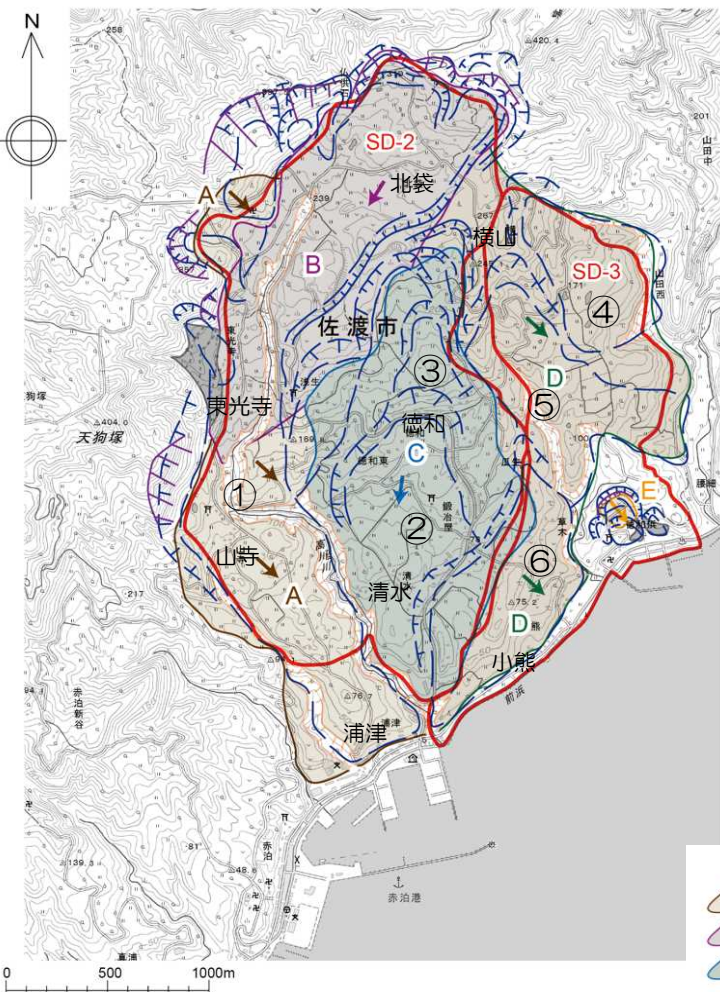


滑落崖写真 e
地すべり土塊 (D) を囲む滑落崖。地すべり土塊の
末端は海岸に達しない。

4. 9 佐渡島の地すべり地形における現地調査結果



- 防災科学技術研究所(1986)によるとSD-2及びSD-3周辺においては、6つの地すべり地形(①~⑥)が認められる。
- 現地調査結果によると、SD-2及びSD-3周辺の地すべり土塊は、大きく5つ(A~E)に区分される。
- SD-2とSD-3は移動方向が大きく異なることから、個別の地すべり区域に認定される。
- 解析で考慮した地すべり範囲について、机上調査および現地調査結果と概ね一致しており、複数の地すべり地形を含めた保守的な範囲であることを確認した。



地点 No.	調査結果		
	防災科学技術研究所(1986)	現地調査結果	
SD-2	①	<ul style="list-style-type: none"> 北袋北東から、東光寺及び山寺を経て、浦津にかけて分布する最も大きな移動体。 東光寺南方で分布方向をNE-SW方向からNW-SE方向へ変える。 	<ul style="list-style-type: none"> 2つの異なる地すべり土塊(A)及び(B)からなる。 北袋北東から東光寺南方にかけて南西方向へ移動した地すべり土塊(B)。 東光寺南方から浦津にかけて南東方向への移動を示す地すべり土塊(A)。
	②	<ul style="list-style-type: none"> 徳和から清水にかけて分布する移動体。 滑落崖は移動体の北に位置し、緩い逆U字型を示す。 	<ul style="list-style-type: none"> ②及び③は一連の地すべり土塊からなる。 徳和北方から清水南方にかけて南方向への移動を示す地すべり土塊(C)。
	③	<ul style="list-style-type: none"> 北袋と徳和との間に分布する移動体の集合。 滑落崖は、それぞれの移動体の北に位置し、逆U字~逆V字型を示す。 	
SD-3	④	<ul style="list-style-type: none"> 横山東方に分布する移動体。 滑落崖は移動体の北西に位置し、逆U字型を示す。 	<ul style="list-style-type: none"> ④、⑤及び⑥は一連の地すべり土塊からなる。 南東方向への移動を示す地すべり土塊(D)。
	⑤	<ul style="list-style-type: none"> 横山南方に分布する移動体。 滑落崖は移動体の北に位置し、逆U字型を示す。 	
	⑥	<ul style="list-style-type: none"> 小籠周辺に分布する移動体。 滑落崖は移動体の北~北西に位置し、逆W字型を示す。 	

凡例

	地すべり土塊 A		地すべり土塊 B		地すべり土塊 C		地すべり土塊 D		地すべり土塊 E
	地すべり土塊 A		地すべり土塊 B		地すべり土塊 C		地すべり土塊 D		地すべり土塊 E
	地すべり土塊 A		地すべり土塊 B		地すべり土塊 C		地すべり土塊 D		地すべり土塊 E
	地すべり土塊 A		地すべり土塊 B		地すべり土塊 C		地すべり土塊 D		地すべり土塊 E
	地すべり土塊 A		地すべり土塊 B		地すべり土塊 C		地すべり土塊 D		地すべり土塊 E
	地すべり土塊 A		地すべり土塊 B		地すべり土塊 C		地すべり土塊 D		地すべり土塊 E
	地すべり土塊 A		地すべり土塊 B		地すべり土塊 C		地すべり土塊 D		地すべり土塊 E
	地すべり土塊 A		地すべり土塊 B		地すべり土塊 C		地すべり土塊 D		地すべり土塊 E
	地すべり土塊 A		地すべり土塊 B		地すべり土塊 C		地すべり土塊 D		地すべり土塊 E
	地すべり土塊 A		地すべり土塊 B		地すべり土塊 C		地すべり土塊 D		地すべり土塊 E

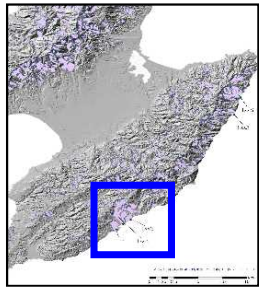
地すべり地形分布図「赤泊」(防災科学研究所, 1986)

- 冠頂が著しく開析された滑落崖
- 冠頂が丸みをおびて不明瞭になった滑落崖
- 移動体の輪郭

矢印は土塊の移動方向。

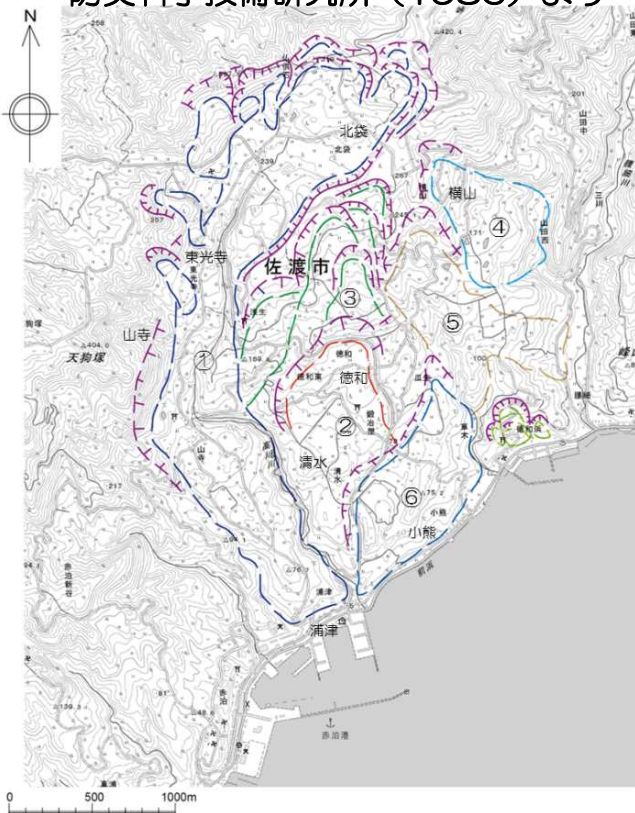
SD-2,3周辺の地すべり

4. 9 佐渡島の地すべり地形における現地調査結果

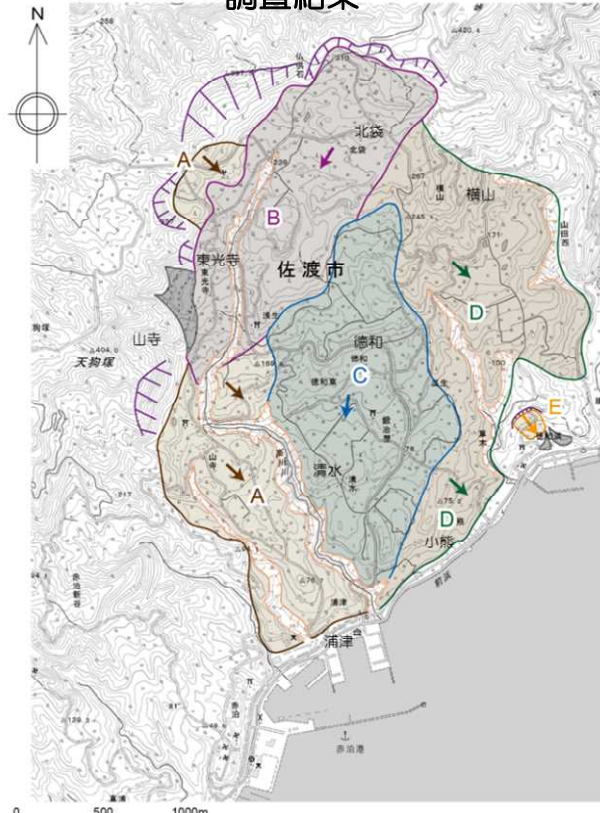


- 防災科学技術研究所(1986)の評価結果, 現地調査結果, 及び解析モデルに使用している地すべり範囲を下記に示す。

防災科学技術研究所 (1986) より



調査結果



解析モデル範囲



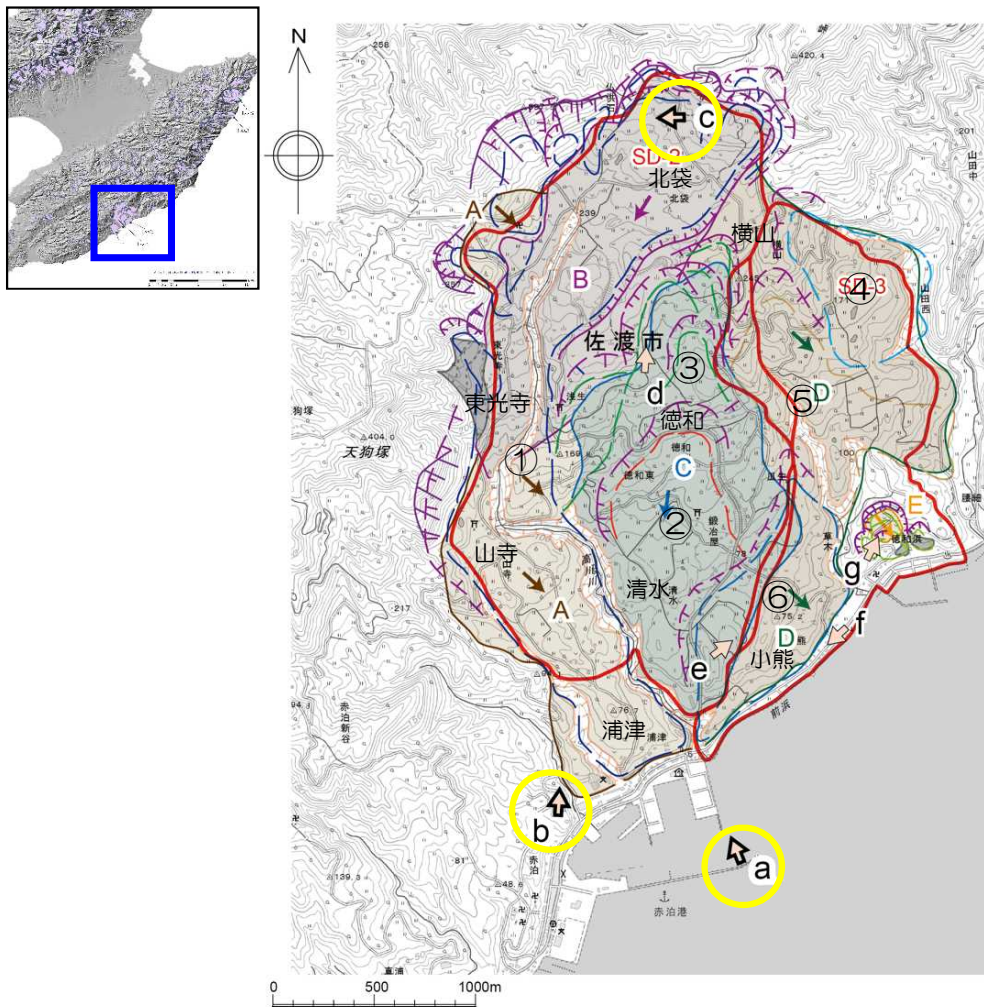
地すべり地形分布図「赤泊」(防災科学研究所, 1986)

- 冠頂が著しく開析された滑落崖
- 冠頂が丸みをおびて不明瞭になった滑落崖
- 移動体の輪郭

- 凡 例
- 地すべり土塊 A
 - 地すべり土塊 B
 - 地すべり土塊 C
 - 地すべり土塊 D
 - 地すべり土塊 E
 - 滑落崖
 - 侵食谷
 - 崖錐・小扇状地
- 矢印は土塊の移動方向。

- 地すべりモデル範囲

4. 9 佐渡島の地すべり地形における現地調査結果

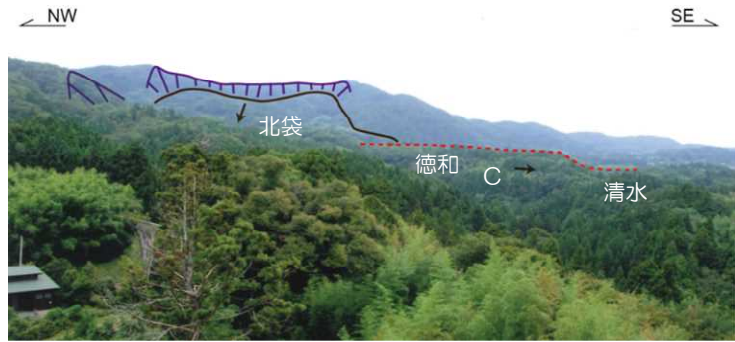


- 凡例
- 地すべり土塊 A
 - 地すべり土塊 B
 - 地すべり土塊 C
 - 地すべり土塊 D
 - 地すべり土塊 E
 - 滑落崖
 - 侵食谷
 - 崖壁・小陥伏地
 - 地すべりモデル範囲
 - 地影写真位置・番号
 - 矢印は土塊の移動方向。
 - 地すべり地形分布図「赤泊」(防災科学研究所, 1986)
 - 冠頂が著しく開析された滑落崖
 - 冠頂が丸みをおびて不明瞭になった滑落崖
 - 移動体の輪郭

SD-2, 3周辺の地すべり



地すべりの全景写真 a
北袋北方に認められる比高約20m~30mの滑落崖が認められる。

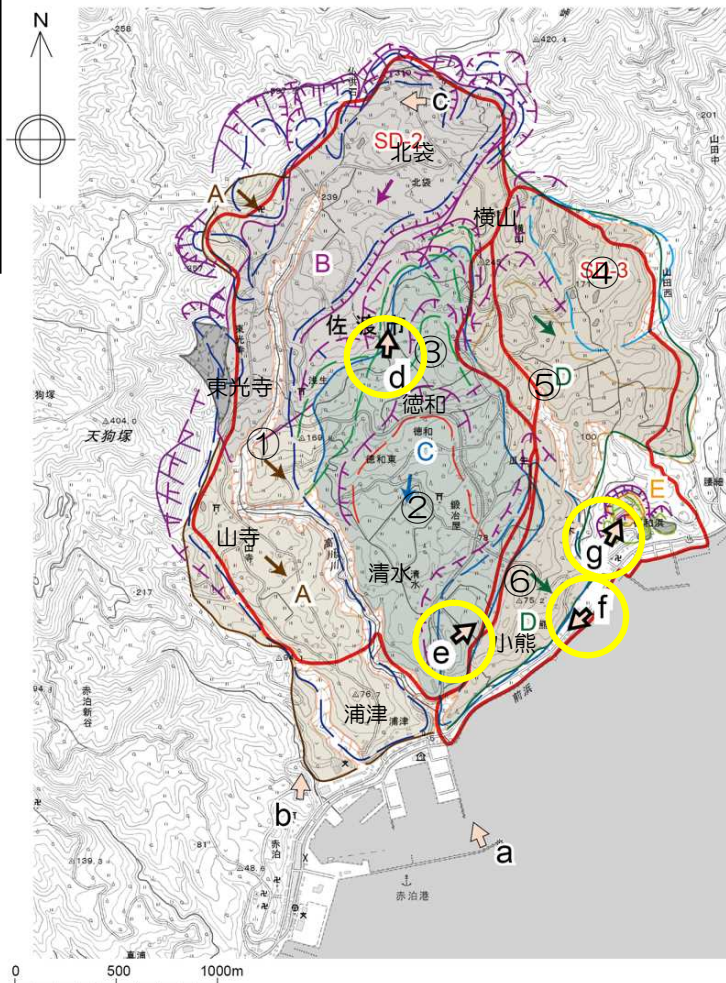
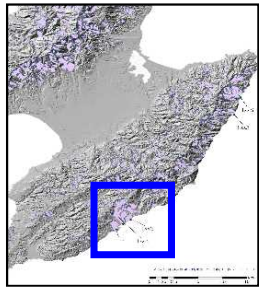


地すべり土塊 (B) 及び (C) の全景写真 b
北袋北方に認められる比高約20m~30mの滑落崖、北袋西方の比高約150mの滑落崖、徳和周辺には緩傾斜の地すべり土塊 (C) が認められ、徳和と清水との間に低崖が認められる。



滑落崖写真 c
北袋北方に認められる比高約150mの滑落崖。

4. 9 佐渡島の地すべり地形における現地調査結果



- 凡例
- 地すべり土塊 A
 - 地すべり土塊 B
 - 地すべり土塊 C
 - 地すべり土塊 D
 - 地すべり土塊 E
 - 滑落崖
 - 侵食谷
 - 崖壁・小陥状地
 - 地すべりモデル範囲
 - 地形写真位置・番号
 - 矢印は土塊の移動方向。
 - 地すべり地形分布図「赤泊」(防災科学研究所, 1986)
 - 冠頂が著しく開析された滑落崖
 - 冠頂が丸みをおびて不明瞭になった滑落崖
 - 移動体の輪郭



地すべり写真 d
地すべり土塊(B)と地すべり土塊(C)との間の溝状凹地。



地すべり写真 e
地すべり土塊(C)と地すべり土塊(D)との間に低崖が認められる。



地すべり写真 f
地すべり土塊(D)の末端は海岸に到達しない。



地すべり写真 g
小規模な地すべり土塊(E)。

SD-2, 3周辺の地すべり