

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合 の影響検討

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響検討 コメント回答概要

第767回審査会合（2019年9月6日）コメント回答（説明済）

○第547回審査会合コメント（海底地すべりが同時発生した場合の影響検討）

- 遠州灘の大陸棚斜面に分布する隣り合った海底地すべり（s21-s25地点、s26-s29地点）について、地すべりの発生順序は理解できるが、地すべりの発生時期の時間的スケールはどの程度か。
- 地すべりの発生時期の間隔が、同時発生と考えられるような間隔なのか、それとも数年～数百年の間隔なのかについて、定量的な根拠を示してほしい。



○コメント回答概要

- s21-s25地点およびs26-s29地点について地形判読調査の結果から、個々の地すべりは侵食作用による地形変化に伴い順番に発生したと考えられることから、地すべりの発生時期には海底地形が侵食作用を受ける程度の時間経過があったと考えられる。しかしながら、海底地形の侵食作用の速度の時間的スケールを定量的に示すことは困難である。
- そこで、個々の地すべりの発生時期の間隔は同時発生とみなせるような短いものではないと考えられるが、個々の地すべりが同時に発生したと仮定して数値シミュレーションを実施し、その影響を検討した。



今回コメント回答

○No.2コメント（同時発生に関する水位下降側の影響検討）

- 海底地すべりの同時発生に関する影響検討では、水位上昇側と合わせて水位下降側の検討結果も示すこと。



○コメント回答概要

- 同時発生に関する影響検討について、同時発生の場合の地すべり方向を再整理した上で、水位上昇側の検討結果と水位下降側の検討結果を合わせて示した。

○No.3コメント（同時発生に関する影響検討の考え方）

- s21-s25地点の海底地すべりの同時発生、s26-s29地点の海底地すべりの同時発生について影響検討を実施しているが、もう少し大局的に見て同じ海底斜面の中で隣接しているs21-s29地点の海底地すべりの同時発生を考慮する必要があるか検討すること。



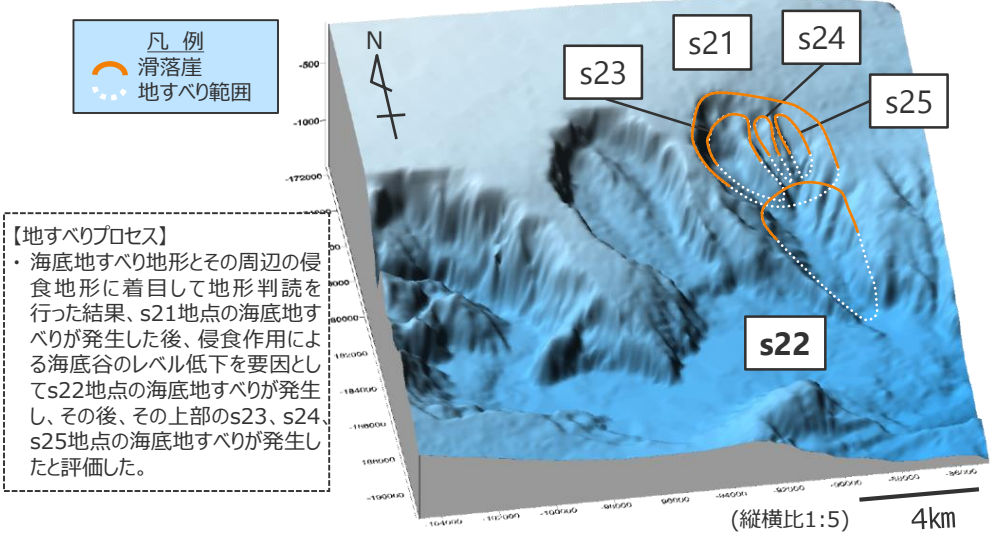
○コメント回答概要

- 海底地すべりの進展メカニズムおよび進展事例を踏まえて、海底地すべりの同時発生に関する検討方針を明確にした。
- s21-s25地点の海底地すべりとs26-s29地点の海底地すべりとは、地すべり地形の位置関係および傾斜方向の特徴から一方の地すべりの発生が他方の地すべりの発生に進展したものではないと考えられ、同時発生の影響検討を行うことまでは必要ないと考えられる。

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響検討 s21-s29地点の各地点の海底地すべりの津波評価の概要

- 遠州灘沖の大陸棚斜面のs21,s22,s23,s24,s25地点(s21-s25地点)、およびs26,s27,s28,s29地点(s26-s29地点)の海底地すべりについて、複数の滑落崖が認められ、海底地すべり地形とその周辺の侵食地形に着目して地形判読を行った結果、複数の地すべりが時間差を持って発生したと考えられる。
- そのため、s21-s25地点およびs26-s29地点の海底地すべり地形を抽出し、それぞれ最も体積の大きいs22地点、s26地点について津波評価を実施した。

s21-s25地点の海底地すべり地形



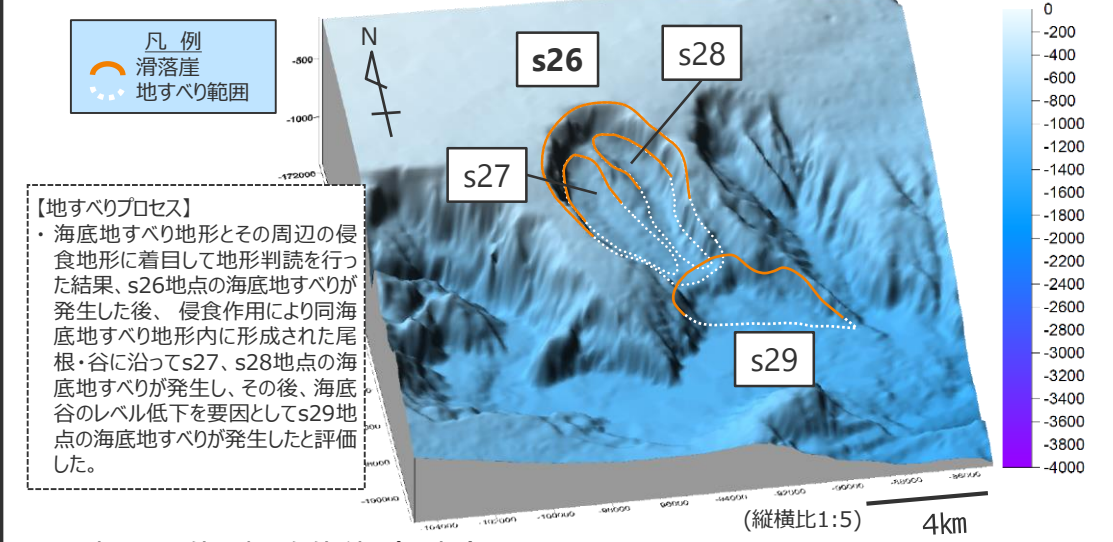
○地すべり体の概略体積 (再掲)

s21 地点	s22 地点	s23 地点	s24 地点	s25 地点
11 億m ³	12 億m³	7 億m ³	1 億m ³	1 億m ³

○s22地点の津波評価結果 (再掲)

【最大上昇水位】 敷地前面(T.P.m)		【最大下降水位】 3,4号取水塔(T.P.m) (水位低下時間)	
二層流	Watts	二層流	Watts
1.3	1.9	-1.1 (なし)	-1.5 (なし)

s26-s29地点の海底地すべり地形



○地すべり体の概略体積 (再掲)

s26 地点	s27 地点	s28 地点	s29 地点
32 億m³	11 億m ³	7 億m ³	1 億m ³

○s26地点の津波評価結果 (再掲)

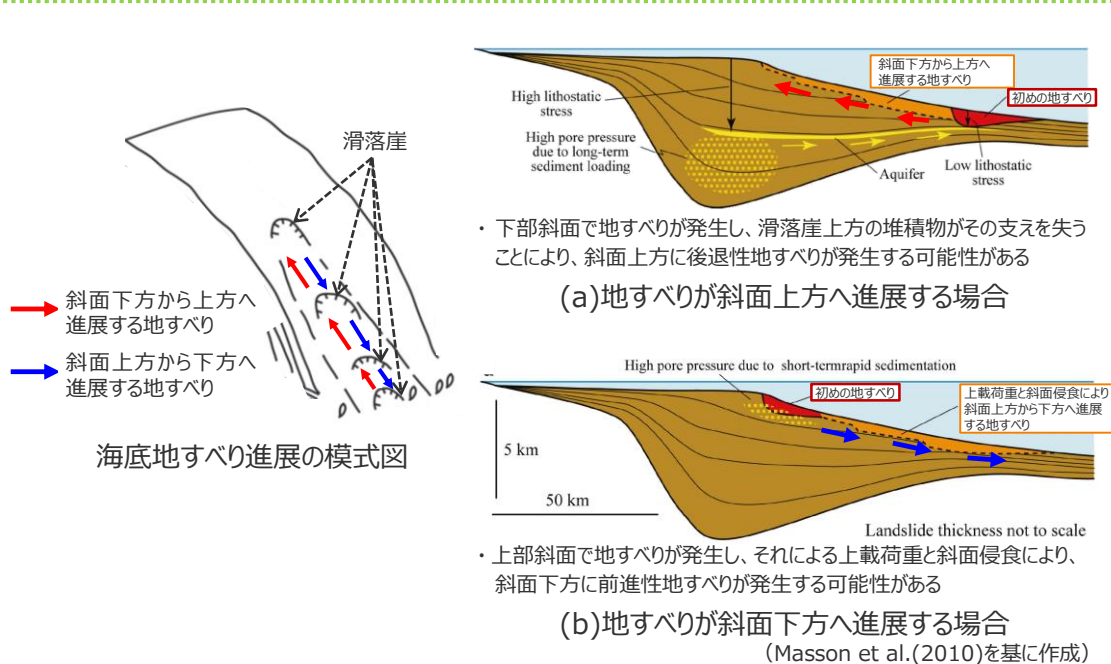
【最大上昇水位】 敷地前面(T.P.m)		【最大下降水位】 3,4号取水塔(T.P.m) (水位低下時間)	
二層流	Watts	二層流	Watts
4.7	6.3	-2.0 (なし)	-3.4 (なし)

地形判読の結果から、個々の地すべりが海底地形の侵食過程を経るなどして順に発生したと考えられ、個々の地すべりの発生時期の間隔は同時発生とみなせるような短いものではないと考えられる。しかしながら、この侵食過程の時間的スケールを定量的に示すことは困難である。

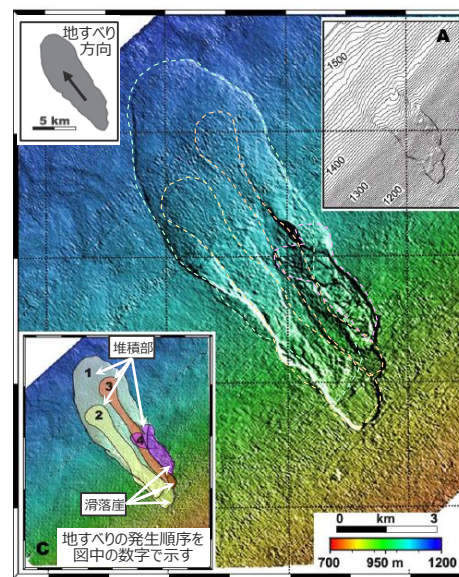
・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P.+0.80mを考慮 ・水位下降側：朔望平均干潮位T.P.-0.93mを考慮 ・水位低下時間：取水塔地点の水位が取水塔呑口下端レベルを下回り取水塔から取水できない時間。

海底地すべりの同時発生に関する検討方針 (1/2)

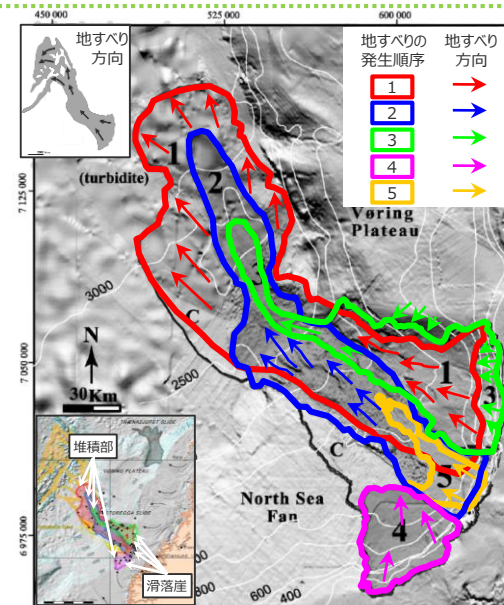
- Masson et al.(2010) によると、海底の大陸棚斜面における地すべりの進展メカニズムおよび進展事例の検討結果から、海底の大陸棚斜面においては、一つの地すべりの発生が、その地すべりと接する斜面上方もしくは斜面下方の他の地すべりの発生に進展する場合があるとされている。
- 海底地すべりの進展メカニズムおよび進展事例によると、関係するこれらの地すべり地形は、平面的に見て、「①接しているもしくは一部重なっている」、かつ、「②一方の地すべり地形の傾斜方向（地すべり方向）が、他方の地すべり地形の方向を向いている」関係になっている。



海底地すべりの進展メカニズム



フェロー諸島付近の海底地すべり地形



ノルウェー沖の海底地すべり地形
(Canals et al.(2004)、Hafliðason et al.(2004)を基に作成)

海底地すべりの進展事例

○Masson et al. (2010)

- ・海底の大陸棚斜面において一つの地すべりの発生が他の地すべりの発生に進展するメカニズムおよび進展事例を検討している。
- ・(a) 上部斜面の下の厚い堆積物の蓄積による高い間隙水圧の横方向移流により、下部斜面で発生した地すべり：大陸斜面堆積物層を介した高い間隙水圧の横方向移流が下部斜面での地すべりを発生させる。下部斜面で地すべりが発生すると、滑落崖上方の堆積物がその支えを失うことにより、斜面上方に後退する可能性がある。
- ・(b) 急速な堆積により上部斜面で発生した地すべり：大陸棚斜面では、陸地の侵食に由来する堆積物が大陸棚の縁を越えて運ばれ斜面に堆積し、海側に薄くなるくさび形の堆積物が構築されている。短期間の沈降速度は斜面上部で最も高く、高い間隙水圧を生み出し、斜面の崩壊につながる。結果として生じる地すべりは、上載荷重と斜面侵食により斜面下方に前進する可能性がある。

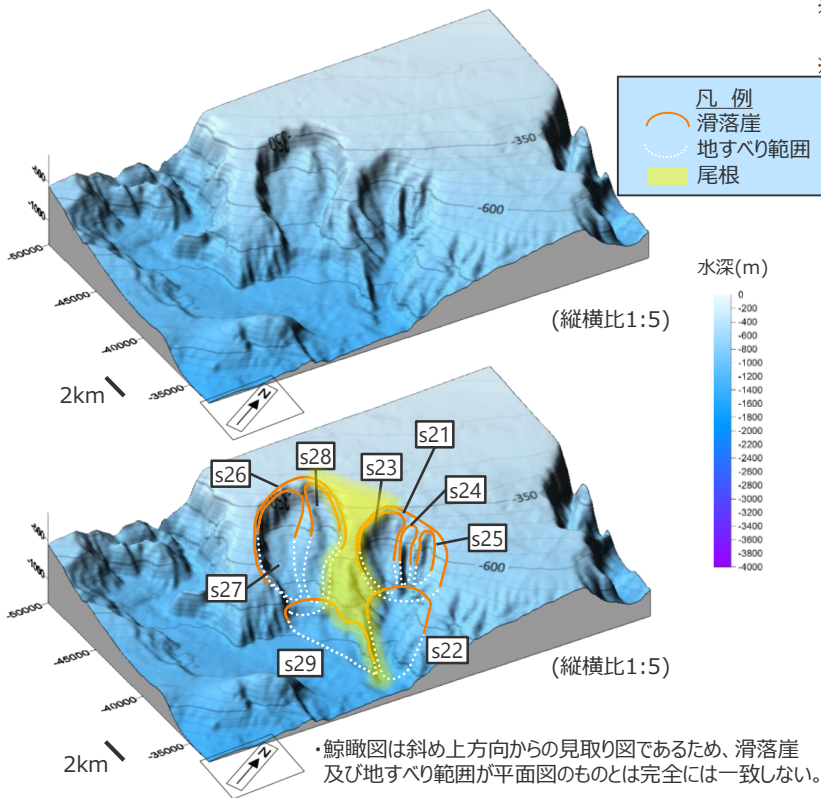
海底地すべりの進展メカニズムおよび進展事例を踏まえると、地すべり地形のうち、「①接しているもしくは一部重なっている」、かつ、「②一方の地すべり地形の傾斜方向が、他方の地すべり地形の方向を向いている」関係にある地すべり地形については、地すべりが進展して発生した可能性がある。

海底地すべりの同時発生に関する検討方針 (2/2)

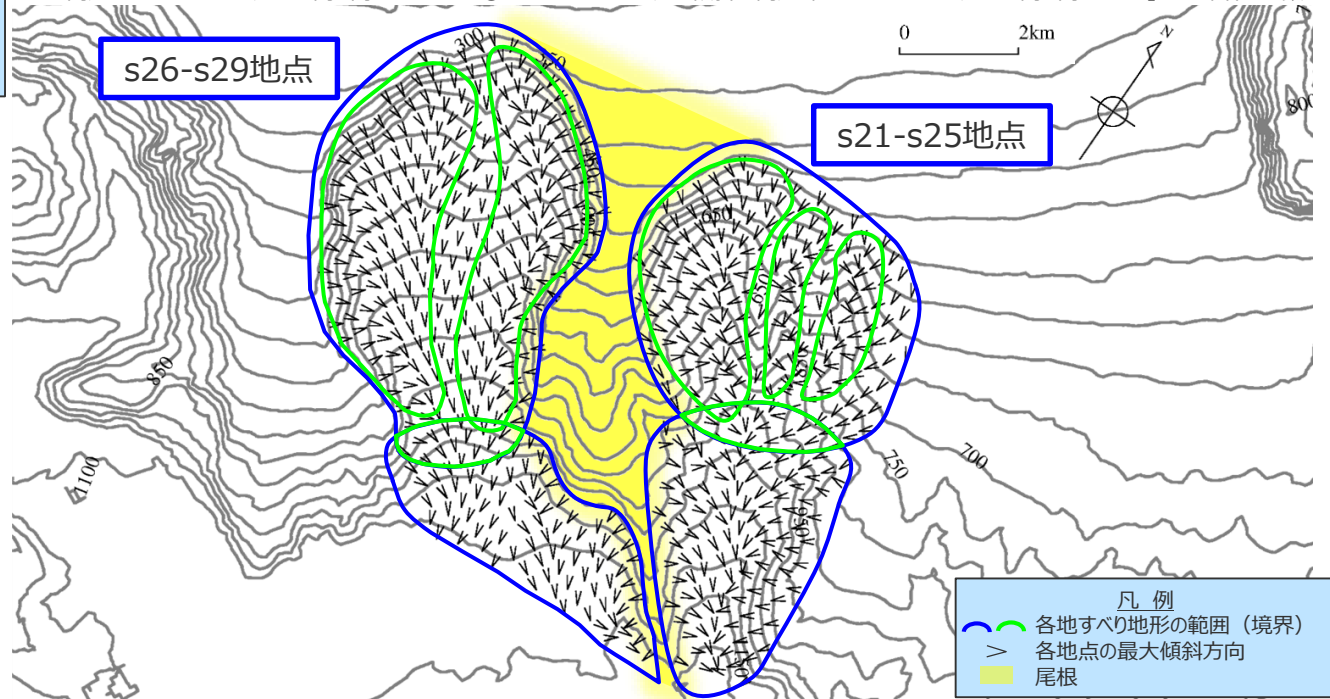
- 「s21-s25地点の海底地すべり」の地形について、個々の地すべり地形が①一部重なっており、かつ、②一方の地すべり地形の傾斜方向が、他方の地すべり地形の方向を向いている※1ことから、海底地すべりの進展メカニズムおよび進展事例を踏まえると、地すべりが進展して発生した可能性がある。「s26-s29地点の海底地すべり」の地形についても同様である。
- 「s21-s25地点の海底地すべり」の地形と「s26-s29地点の海底地すべり」の地形とは、その間に尾根を挟んでいるため、①接しておらず、また、②一方の地すべり地形の傾斜方向が、他方の地すべり地形の方向を向いていない※2ことから、互いの地すべりが進展したものではないと考えられる。

※1 s21-s25地点の地すべり地形内において、s21-s25地点の各地すべり地形の境界（緑の実線）を越える方向へ向かう傾斜の矢印が確認されることから、「②一方の地すべり地形の傾斜方向が、他方の地すべり地形の方向を向いている」という条件に合致する。

※2 s21-s25地点の地すべり地形とs26-s29地点の地すべり地形との境界（青の実線）を越える方向へ向かう傾斜の矢印がないことから、地すべり地形の傾斜方向が互いの地すべり地形の方向を向いておらず、「②一方の地すべり地形の傾斜方向が、他方の地すべり地形の方向を向いている」という条件に合致しない。



s21-s25地点、s26-s29地点の地すべり地形鯨瞰図



s21-s25地点、s26-s29地点の地すべり地形の最大傾斜方向の分布

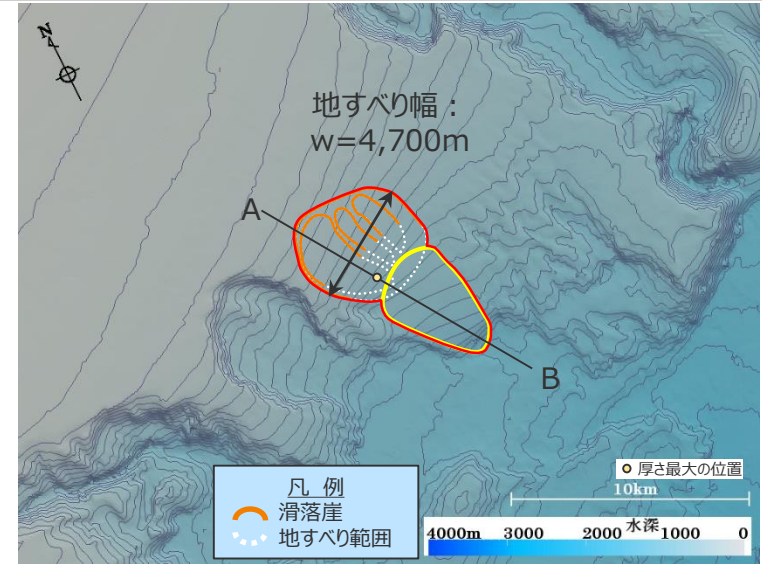
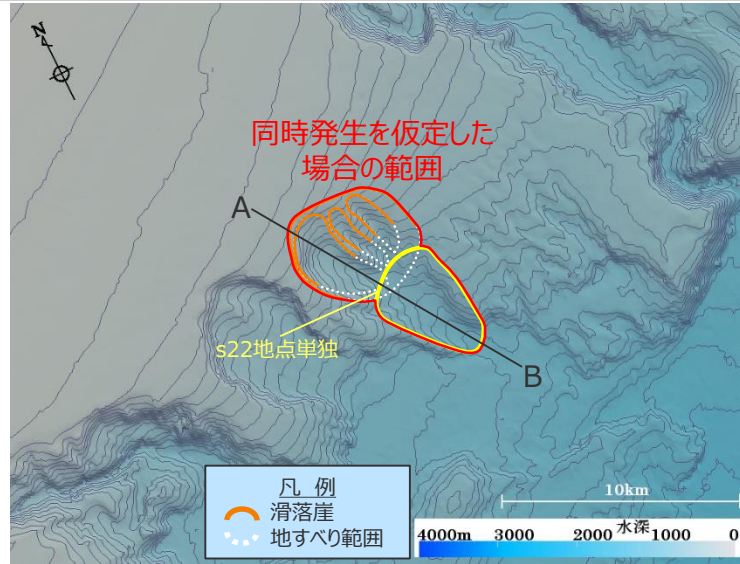
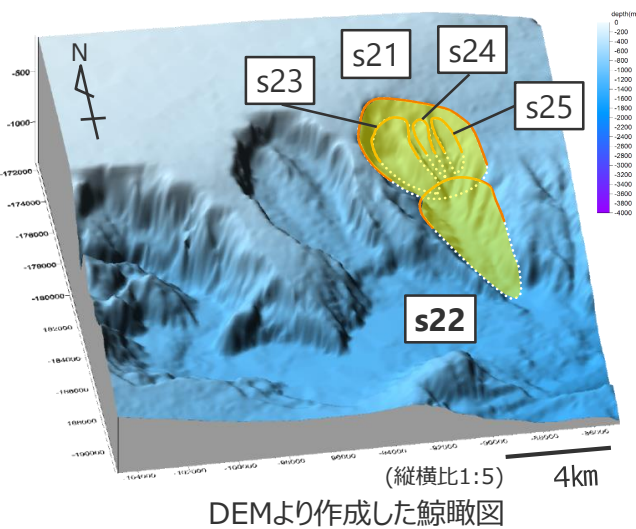
【海底地すべりの同時発生に関する検討方針】

・海底地すべりの進展メカニズムおよび進展事例を踏まえると、「s21-s25地点の海底地すべり」および「s26-s29地点の海底地すべり」それぞれについては、個々の地すべりが進展して発生した可能性がある。地形判読の結果からは個々の地すべりの発生時期の間隔は同時発生とみなせるような短いものではないと考えられるが、その時間的スケールを定量的に示すことは困難であることから、個々の地すべりが同時に発生したと仮定して数値シミュレーションによる影響検討を行うこととした。

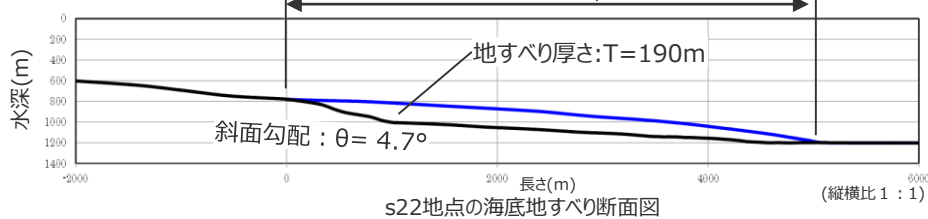
※「s21-s25地点の海底地すべり」と「s26-s29地点の海底地すべり」とは、互いの地すべりが進展したものではないと考えられることから、同時発生の影響検討を行うことまでは必要ないと考えられる。

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響検討 波源モデルの設定 (s21-s25地点の海底地すべりが同時発生した場合)

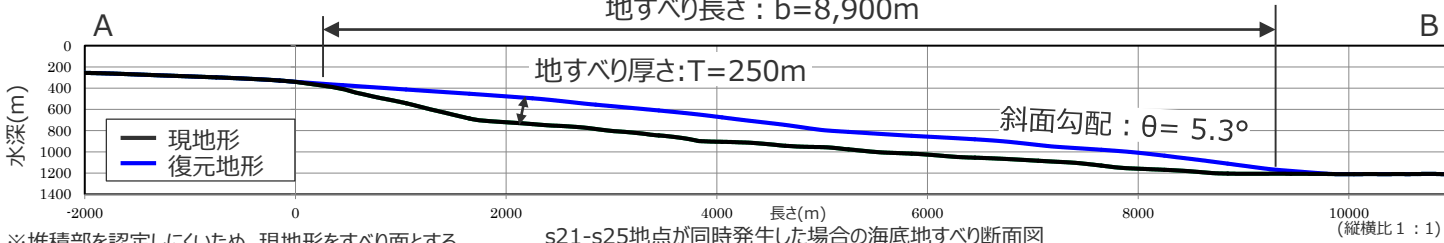
- s21,s22,s23,s24,s25地点は、海底地すべり地形とその周辺の侵食地形に着目して地形判読調査を実施した結果、複数の地すべりが時間差を持って発生したと考えられる。
- ここでは、s21,s22,s23,s24,s25地点の海底地すべりが同時に発生したと仮定した場合の波源を設定し、津波評価を実施した。
- 地すべり方向は、地すべり体の体積が最も大きいs22地点の地すべりと同じ方向とした。



- s22地点単独 (再掲) 地すべり長さ： $b=5,100m$ 地すべり後の海底地形 (現地形)



- s21-s25地点が同時発生した場合



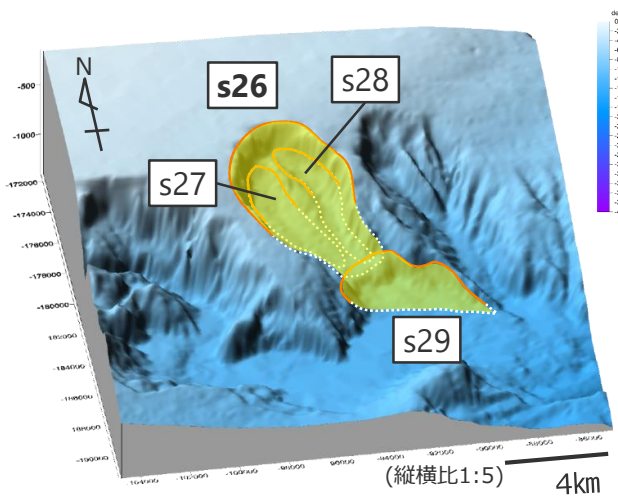
- 地すべり前の海底地形 (復元地形) パラメータの設定値

項目	s22地点 単独(再掲)	s21-s25地点 同時発生
地すべり長さ b(m)	5,100	8,900
地すべり厚さ T(m)	190	250
地すべり幅 w(m)	3,600	4,700
初期位置没水深 d(m)	930	730
斜面勾配 $\theta(^{\circ})$	4.7	5.3
移動距離 S(m)	5,100	8,900
地すべり体の体積 (億 m^3)	12	36

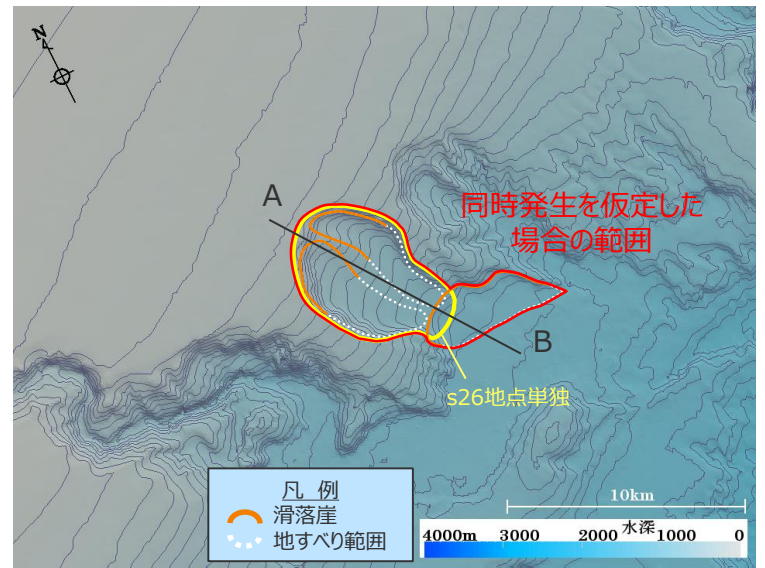
※堆積部を認定しにくいため、現地形をすべり面とする。

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響検討 波源モデルの設定 (s26-s29地点の海底地すべりが同時発生した場合)

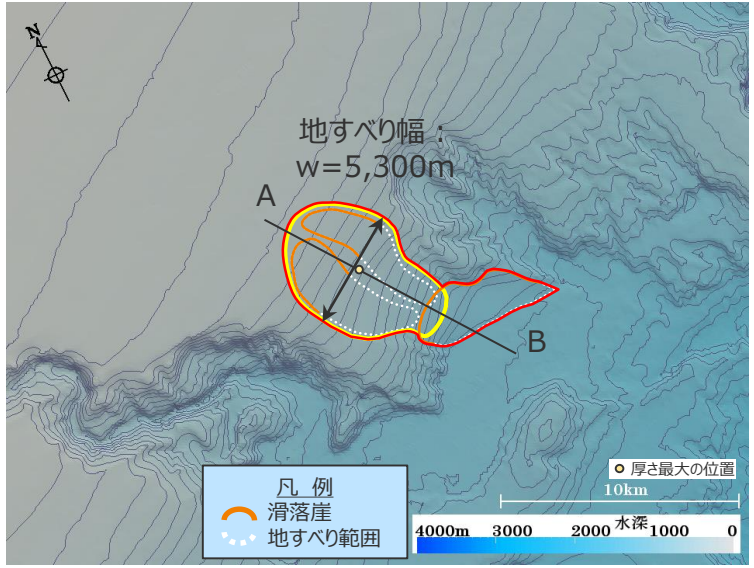
- s26,s27,s28,s29地点は、海底地すべり地形とその周辺の侵食地形に着目して地形判読調査を実施した結果、複数の地すべりが時間差を持って発生したと考えられる。
- ここでは、s26,s27,s28,s29地点の海底地すべりが同時に発生したと仮定した場合の波源を設定し、津波評価を実施した。
- 地すべり方向は、地すべり体の体積が最も大きいs26地点の地すべりと同じ方向とした。



DEMより作成した鯨瞰図

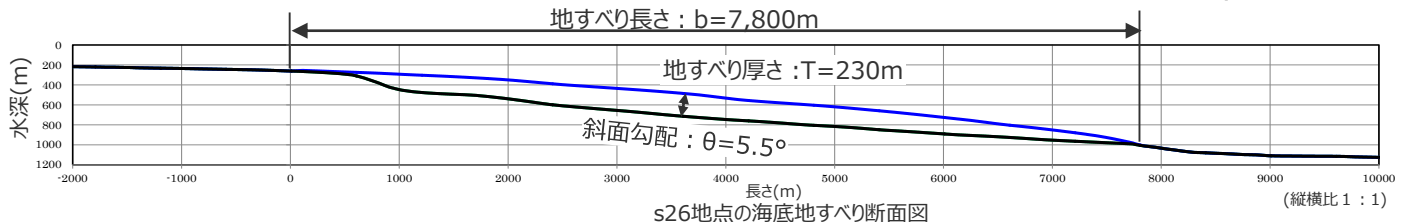


地すべり後の海底地形 (現地地形)



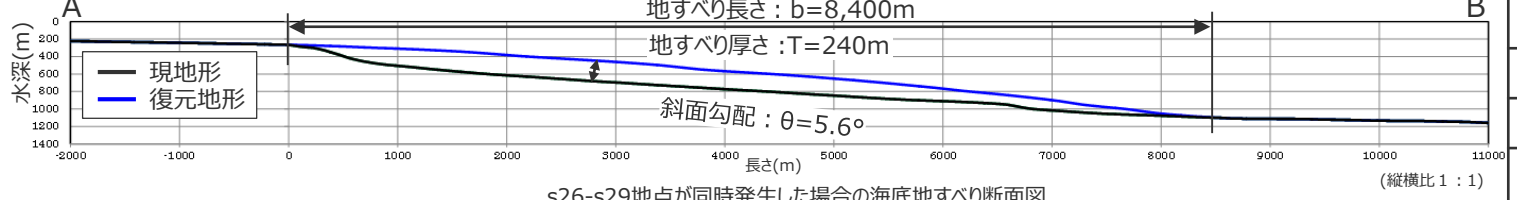
地すべり前の海底地形 (復元地形)

● s26地点単独 (再掲)



s26地点の海底地すべり断面図

● s26-s29地点が同時発生した場合



s26-s29地点が同時発生した場合の海底地すべり断面図

※堆積部を認定しにくいため、現地地形をすべり面とする。

パラメータの設定値

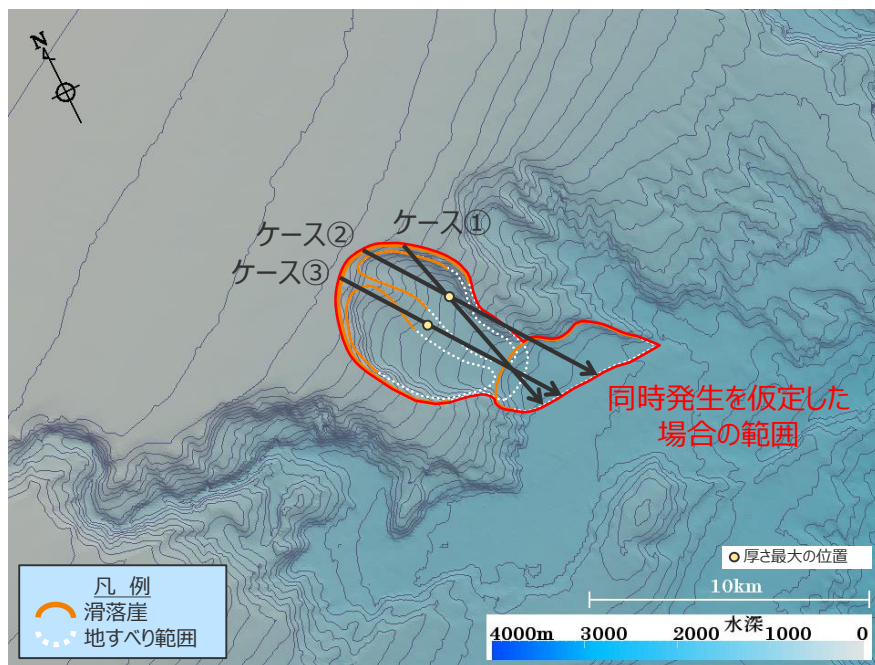
項目	s26地点 単独(再掲)	s26-s29地点 同時発生
地すべり長さ b(m)	7,800	8,400
地すべり厚さ T(m)	230	240
地すべり幅 w(m)	5,300	5,300
初期位置没水深 d(m)	510	580
斜面勾配 θ(°)	5.5	5.6
移動距離 S(m)	7,800	8,400
地すべり体の体積 (億m ³)	33	47

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響検討 波源モデルの設定 (s26-s29地点の地すべり方向設定に関する変更点)

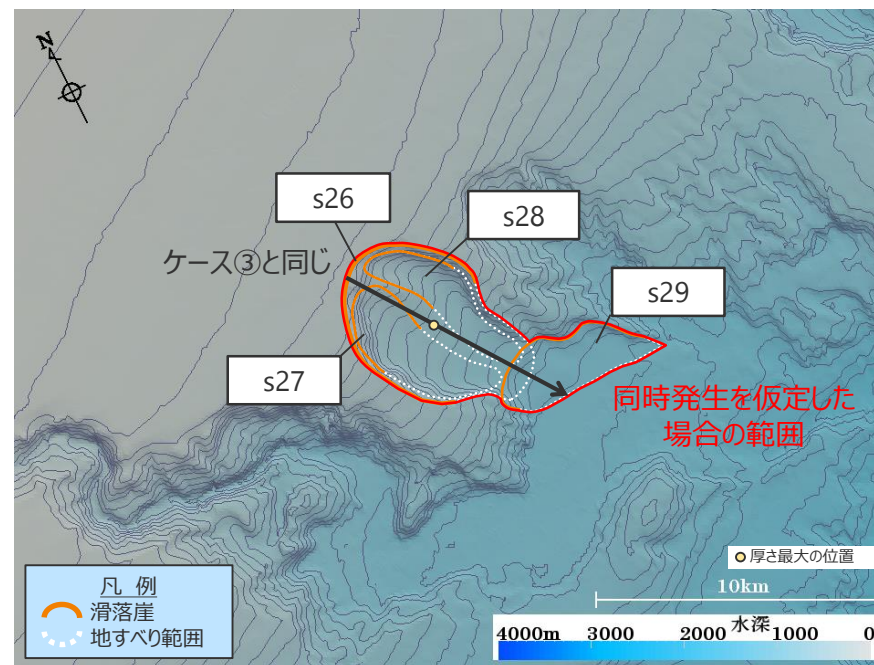
- s26-s29地点の海底地すべりが同時発生した場合の地すべり方向の設定について、2018年4月3日のヒアリングでのコメントを踏まえて複数の地すべり方向を設定して津波水位に与える影響評価を確認してきた。

- 海底地すべりは、地すべり体が、重力の作用によって、地すべり地形内の傾斜にしたがい移動する現象であり、その地すべり方向は地形によって決まると考えられる。
- s26-s29地点のように、個々の体積に大きな差がある地すべり体が同時に移動する場合、重力が作用する体積が大きい地すべり体の移動により、全体の移動方向が支配されると考えられることから、s26-s29地点の海底地すべりが同時発生した場合の地すべり方向を、s26地点の地すべり方向と同じとして設定することとした。
- また、設定した地すべり方向について、地すべり地形内の層厚を加味した傾斜方向と比較することにより、その妥当性を確認した。(次頁)

・s21-s25地点についても、同時発生した場合の地すべり方向を、地すべり体の体積が最も大きいs22地点の地すべり方向と同じとして設定し、同様の確認を行った。



(第767回審査会合) 複数の地すべり方向を設定して検討



(今回) 体積が大きいs26地点の地すべり方向と同じとして設定して検討

s26-s29地点の地すべり方向の設定に関する変更点

- ケース①：地すべり体の厚さが最大の地点を通り、地すべり地形の傾斜方向に沿って設定したケース
- ケース②：地すべり体の厚さが最大の地点を通り、s26地点単独発生ケースと同じ方向で設定したケース
- ケース③：s26地点単独発生ケースと同じ地点・方向で設定したケース

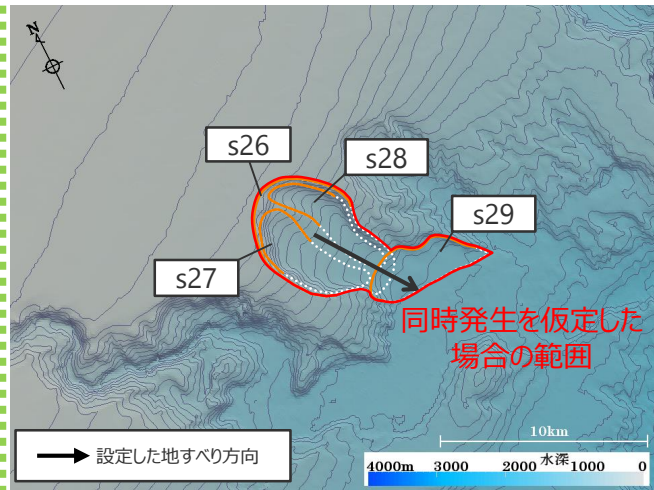
s26-s29地点の地すべり体の概略体積

s26 地点	s27 地点	s28 地点	s29 地点
32 億 m^3	11 億 m^3	7 億 m^3	1 億 m^3

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響検討 波源モデルの設定 (s26-s29地点の地すべり方向の妥当性確認)

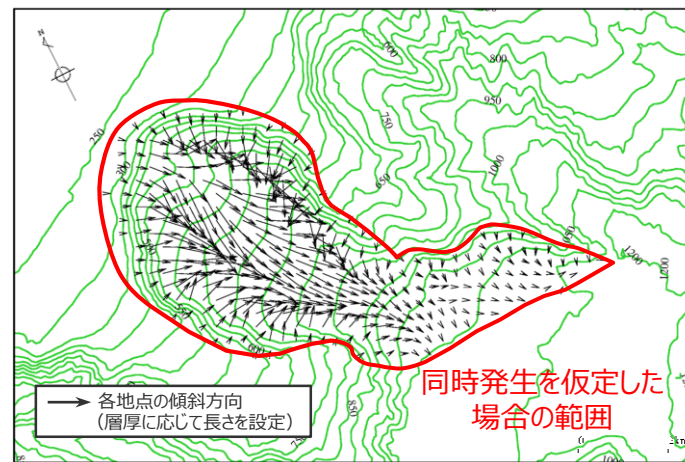
- s26-s29地点同時発生時の地すべり方向設定の妥当性確認のために、地すべり地形内の傾斜方向の分布および傾斜方向を層厚で加重平均した方向を算出し、s26-s29地点同時発生時の地すべり方向と比較した。
- その結果、設定したs26-s29地点同時発生時の地すべり方向は、地すべり地形内の傾斜方向の分布を概ね代表しているとともに、傾斜方向を層厚で加重平均した方向とほぼ同じであることを確認した。

s26-s29地点同時発生時の地すべり方向

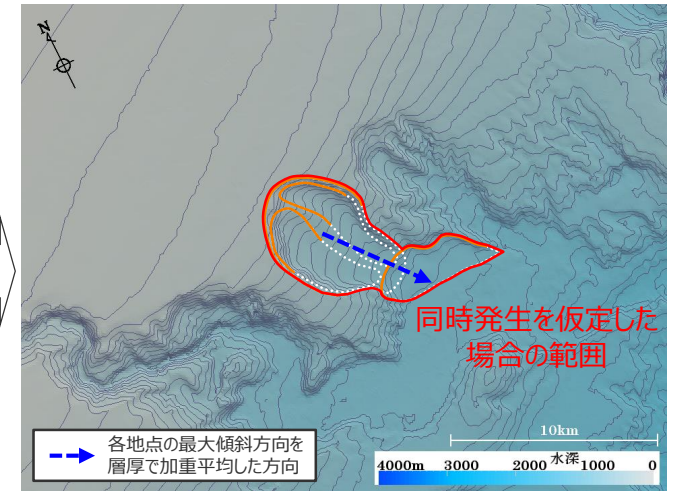


s26-s29地点同時発生時の地すべり方向
(体積が大きいs26地点の地すべり方向と同じ設定)

s26-s29地点の地すべり地形内の層厚を加味した傾斜方向



地すべり地形内の傾斜方向の分布



地すべり地形内の傾斜方向を層厚で加重平均した方向

- ・ 層厚加重平均による地すべり方向は、層厚に応じて長さを設定した各地点の傾斜方向ベクトル（左図）すべてを平均して算出

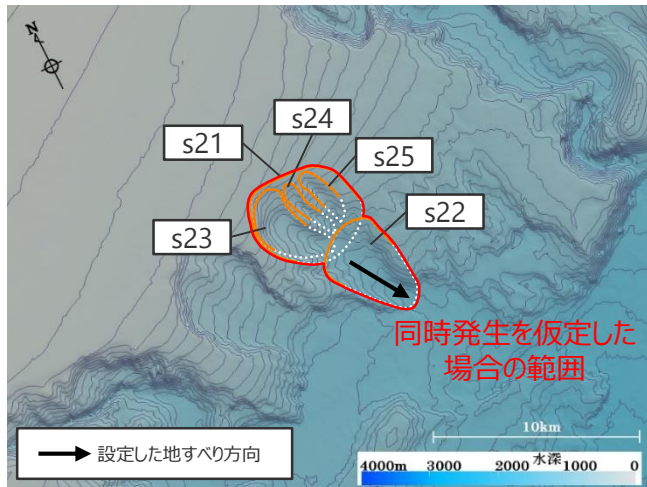
凡例
 滑落崖
 地すべり範囲

- 以上より、s26-s29地点同時発生時の地すべり方向を、地すべり体の体積が大きいs26地点と同じとする設定は妥当であることを確認した。

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響検討 波源モデルの設定 (s21-s25地点の地すべり方向の妥当性確認)

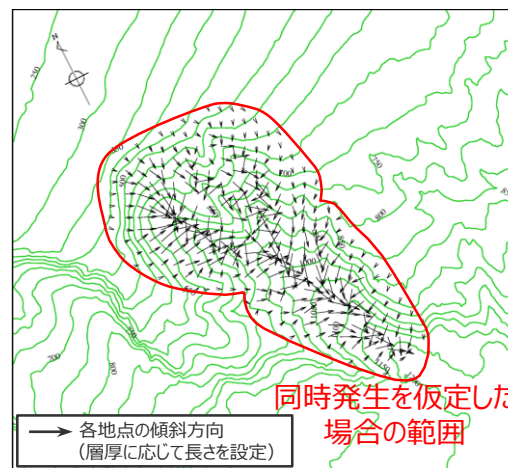
- s21-s25地点同時発生時の地すべり方向設定の妥当性確認のために、地すべり地形内の傾斜方向の分布および傾斜方向を層厚で加重平均した方向を算出し、s21-s25地点同時発生時の地すべり方向と比較した。
- その結果、設定したs21-s25地点同時発生時の地すべり方向は、地すべり地形内の傾斜方向の分布を概ね代表しているとともに、傾斜方向を層厚で加重平均した方向とほぼ同じであることを確認した。

s21-s25地点同時発生時の地すべり方向

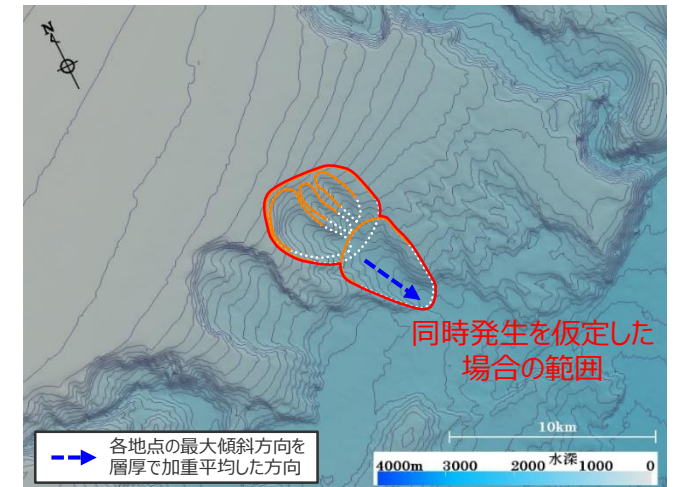


s21-s25地点同時発生時の地すべり方向
(体積が大きいs22地点の地すべり方向と同じ設定)

s21-s25地点の地すべり地形内の層厚を加味した傾斜方向



地すべり地形内の傾斜方向の分布



地すべり地形内の傾斜方向を層厚で加重平均した方向

- ・ 層厚加重平均による地すべり方向は、層厚に応じて長さを設定した各地点の傾斜方向ベクトル（左図）すべてを平均して算出

凡例
 滑落崖
 地すべり範囲

- 以上より、s21-s25地点同時発生時の地すべり方向を、地すべり体の体積が大きいs22地点と同じとする設定は妥当であることを確認した。

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響検討 s21-s25地点およびs26-s29地点の海底地すべり同時発生による影響検討 (計算条件)

■ Wattsほかの予測式に基づく手法の計算条件は以下のとおり。

Wattsほかの予測式に基づく数値シミュレーションの計算条件

項目	(再掲)s22地点単独	s21-s25地点が同時発生した場合	(再掲)s26地点単独	s26-s29地点が同時発生した場合	設定根拠
土砂の密度 ρ_s (g/cm ³)	1.4	1.4	1.4	1.4	地質調査所(1998)*
地すべり長さ b(m)	5,100	8,900	7,800	8,400	復元地形から判読
地すべり厚さ T(m)	190	250	230	240	復元地形から判読
地すべり幅 w(m)	3,600	4,700	5,300	5,300	復元地形から判読
初期位置没水深 d(m)	930	730	510	580	復元地形から判読
斜面勾配 θ (°)	4.7	5.3	5.5	5.6	復元地形から判読
抗力係数 Cd	0	0	0	0	Grilli and Watts(2005)
付加質量係数 Cm	1	1	1	1	Grilli and Watts(2005)
移動距離 S(m)	5,100	8,900	7,800	8,400	復元地形から判読
特性距離 S_0 (m)	2,550	4,450	3,900	4,200	=S/2
底面摩擦係数 Cn	0.2	0.1	0.1	0.1	= $S_0/(R\cos\theta)$
曲率半径 R(m)	17,112	39,605	33,065	36,750	= $b^2/8T$
初期加速度 a_0 (m ² /s)	0.2	0.2	0.2	0.2	= S_0/t_0^2
特性時間 t_0 (sec)	107	163	149	157	= $\sqrt{R/g} \cdot \sqrt{(\gamma + C_m)/(\gamma - 1)}$
特性津波波長 λ_0 (m)	10,223	13,780	10,524	11,832	= $t_0\sqrt{g d}$
回転角 $\Delta\Phi$ (rad)	0.3	0.2	0.2	0.2	= $2S_0/R$
最大速度 U_{max} (m/s)	24	27	26	27	= S_0/t_0

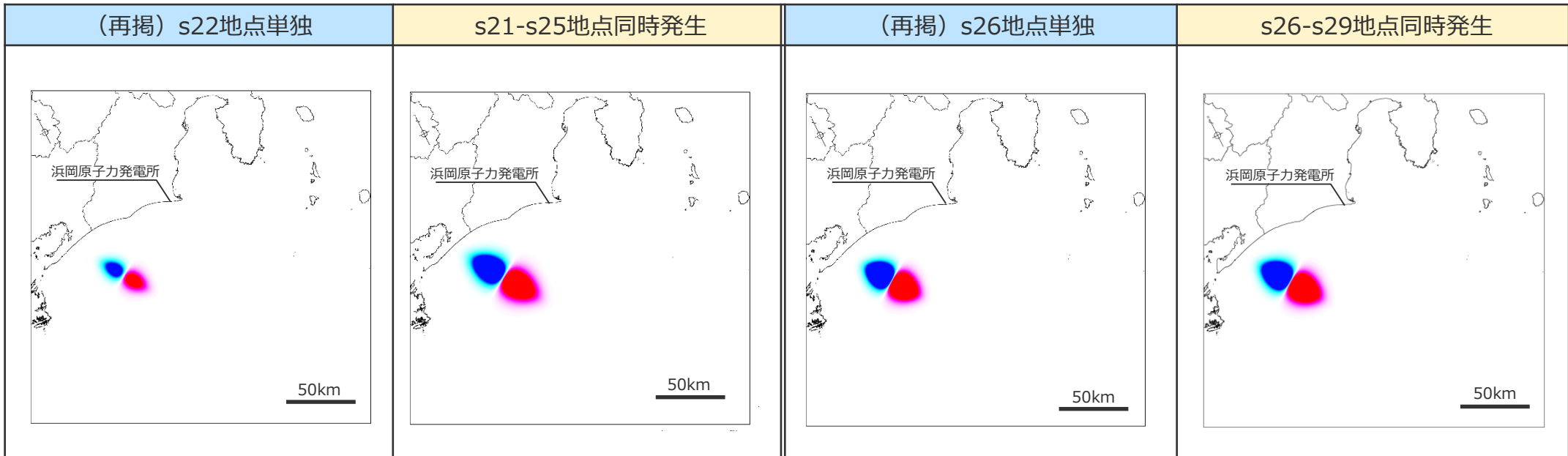
* 地質調査所(1998) : 「東海沖堆積物の物理的性質」、
『東海沖海域の海洋地質学的研究及び海域活断層の評価手法に関する研究』、平成9年度研究概要報告書

Wattsほかの予測式に基づく波源振幅の推定値

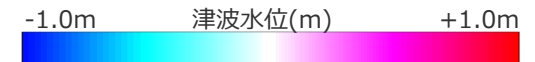
$\eta_{0,2D}$ (m)	7.9	21.7	28.1	26.6	$\eta_{0,2D} = S_0 \left(\frac{0.131}{\sin\theta} \right) \left(\frac{T}{b} \right) \left(\frac{b\sin\theta}{d} \right)^{1.25} \left(\frac{b}{R} \right)^{0.63} \times (\Delta\Phi)^{0.39} (1.47 - 0.35(\gamma - 1))(\gamma - 1)$
$\eta_{0,3D}$ (m)	2.1	5.6	9.4	8.3	$\eta_{0,3D} = \eta_{0,2D} \left(\frac{w}{w + \lambda_0} \right)$

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響検討 s21-s25地点およびs26-s29地点の海底地すべり同時発生による影響検討 (初期水位分布)

■ s21-s25地点およびs26-s29地点の海底地すべりが同時発生した場合の初期水位分布を示す。



初期水位分布



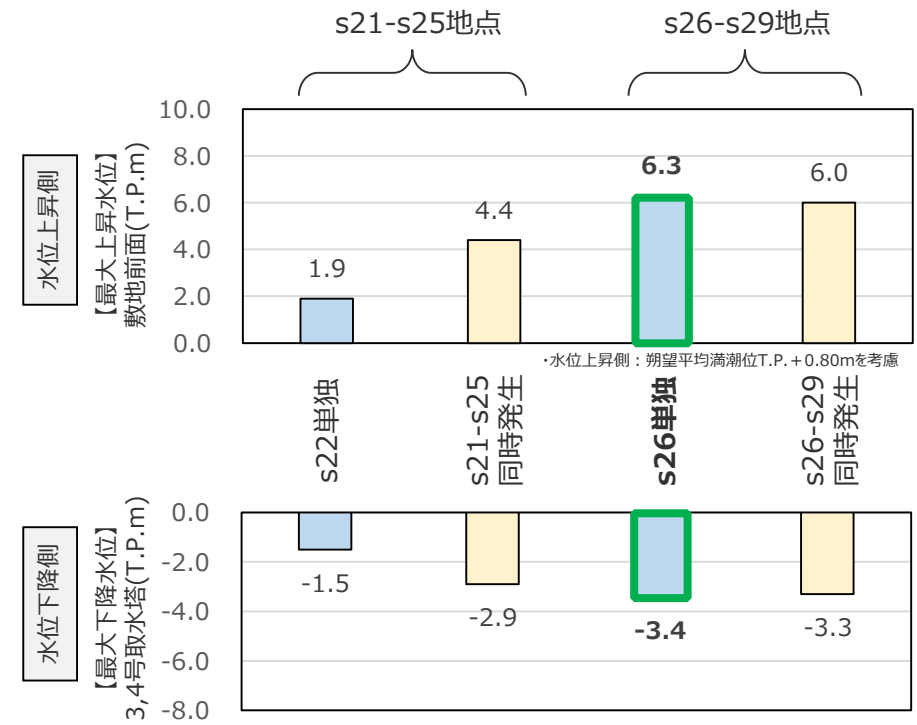
6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響検討 s21-s25地点およびs26-s29地点の海底地すべり同時発生による影響検討 (津波評価結果 (水位上昇側・水位下降側))

- 地形判読調査の結果、s21-s25地点およびs26-s29地点の海底地すべり地形は、複数の地すべりが時間差を持って発生したと考えられるが、s21-s25地点およびs26-s29地点の海底地すべりが同時に発生したと仮定して、上昇側・下降側について数値シミュレーションにより影響検討を行った。
- その結果は、以下のとおり。

影響検討結果

地点名	s21-s25地点		s26-s29地点	
	s22地点単独	s21-s25地点同時発生	s26地点単独	s26-s29地点同時発生
地すべり体の体積 (億m ³)	12	36	33	47
敷地からの距離 (km)	63		68	
【最大上昇水位】敷地前面(T.P.m)	1.9	4.4	6.3	6.0 <small>変更</small>
【最大下降水位】3,4号取水塔(T.P.m) (水位低下時間)	-1.5 (なし)	-2.9 (なし)	-3.4 (なし)	-3.3 (なし) <small>変更</small>

・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P.+0.80mを考慮
 ・水位下降側：朔望平均干潮位T.P.-0.93mを考慮
 ・水位低下時間：取水塔地点の水位が取水塔呑口下端レベルを下回り取水塔から取水できない時間



影響検討結果の比較

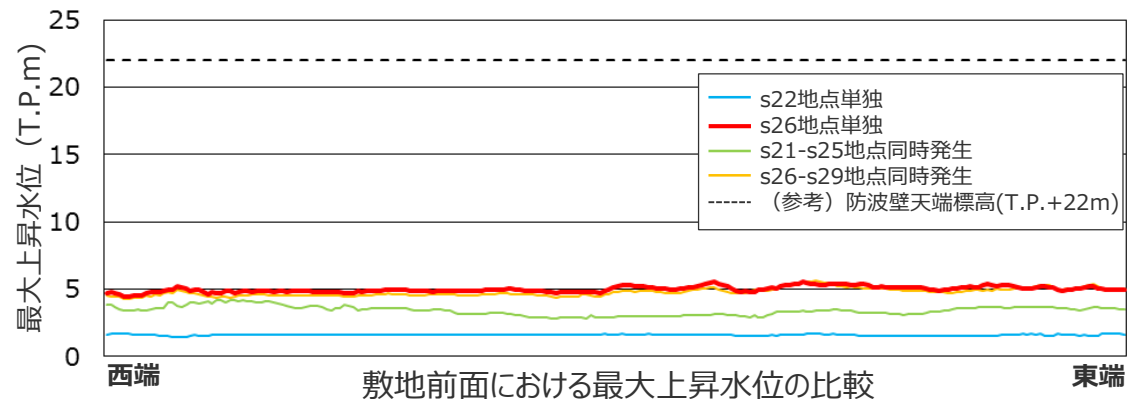
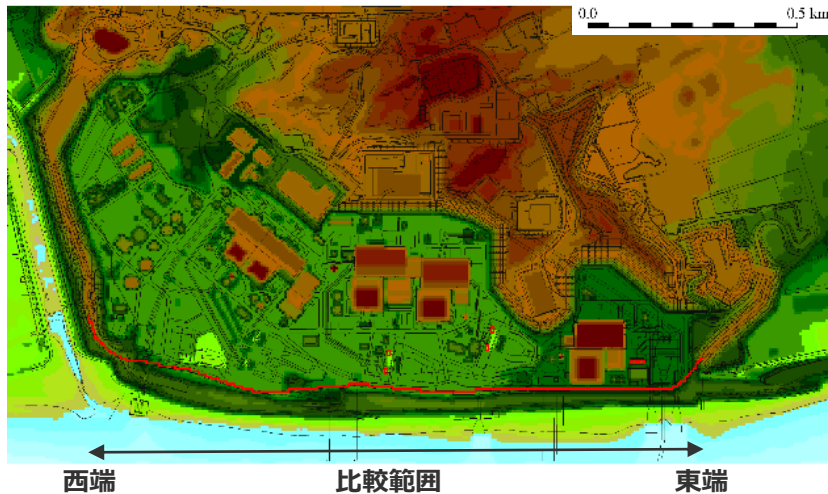
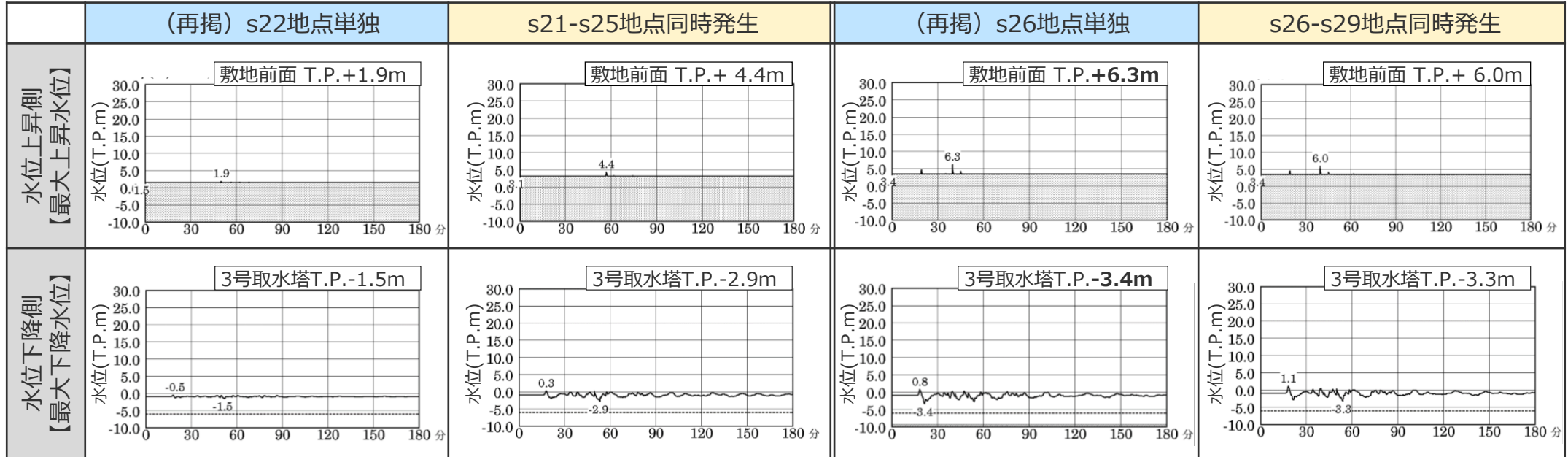
■ 最大上昇水位・最大下降水位ともに、s26地点単独の海底地すべりの影響が最も大きく、s26地点の海底地すべりにより代表できることを確認した。

No.2コメント回答 (同時発生に関する水位下降側の影響検討)

同時発生に関する影響検討について、同時発生の場合の地すべり方向を再整理した上で、水位上昇側の検討結果と水位下降側の検討結果を合わせて示した。

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響検討 s21-s25地点およびs26-s29地点の海底地すべり同時発生による影響検討 (津波評価結果 (水位上昇側・水位下降側))

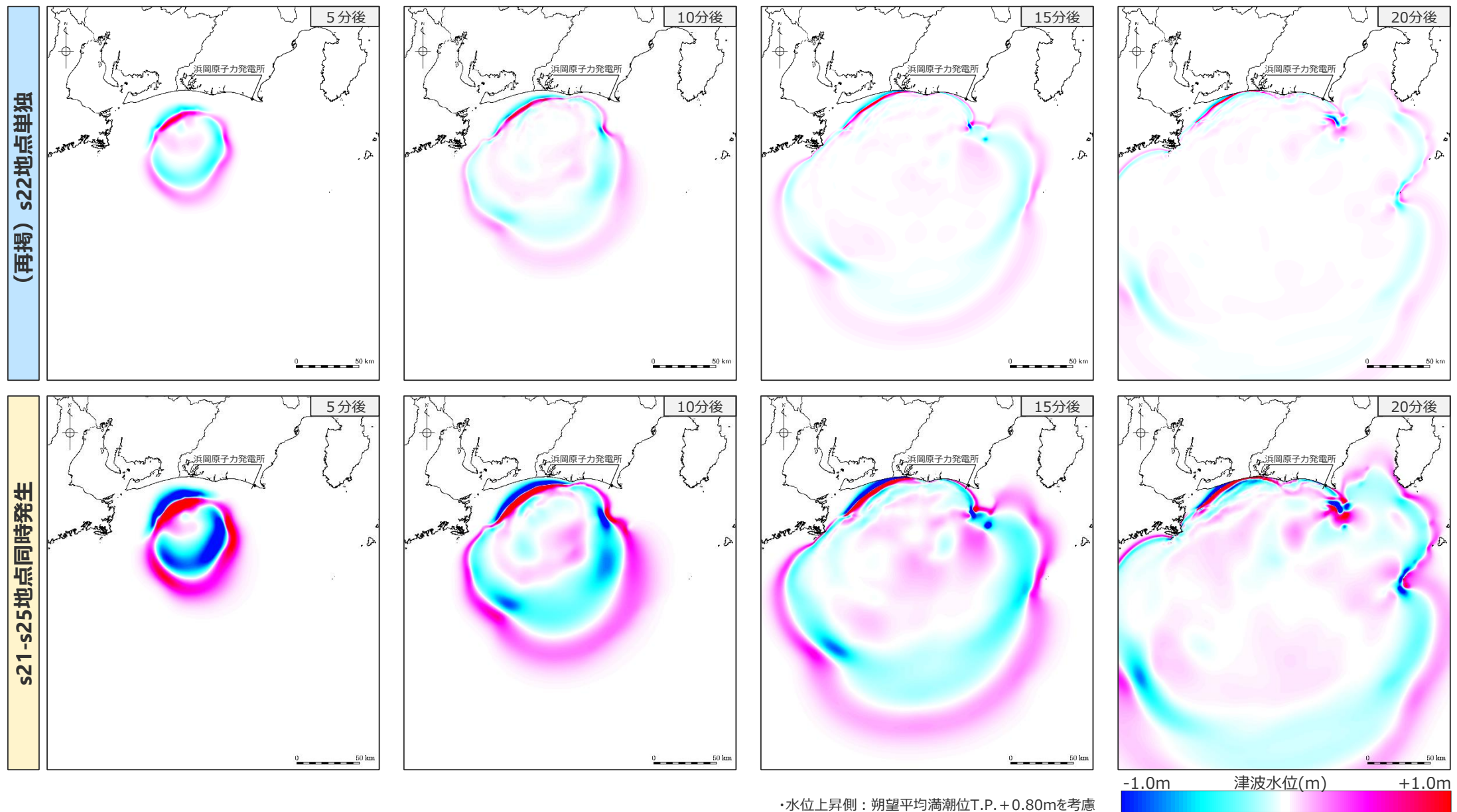
■ 時刻歴波形と最大上昇水位分布を示す。



s21-s25地点の海底地すべりが同時発生した場合

(津波伝播状況 (水位上昇側 : 1/2))

■ 5～20分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



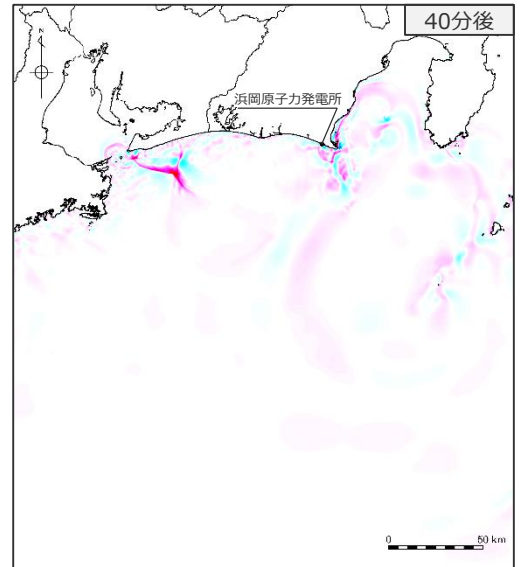
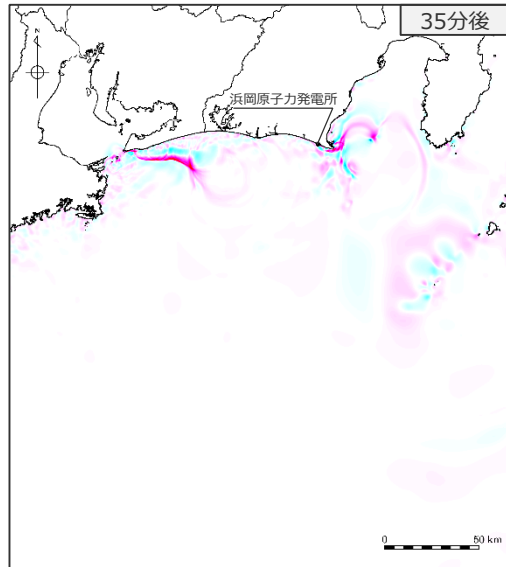
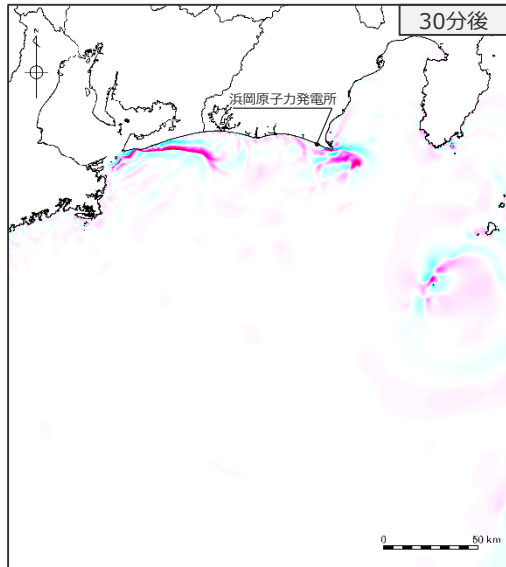
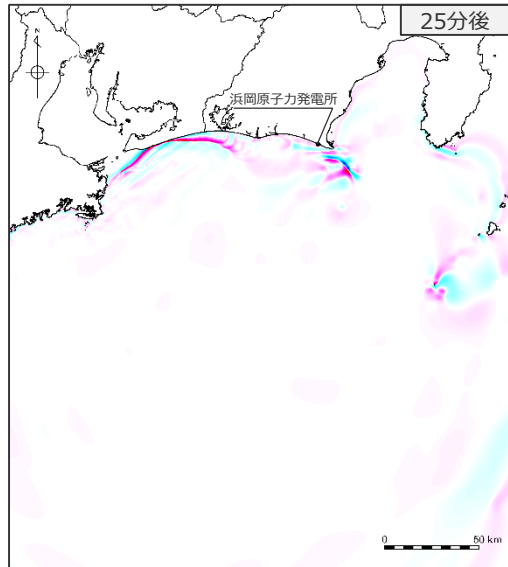
・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P. + 0.80mを考慮

s21-s25地点の海底地すべりが同時発生した場合

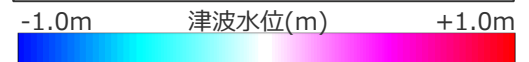
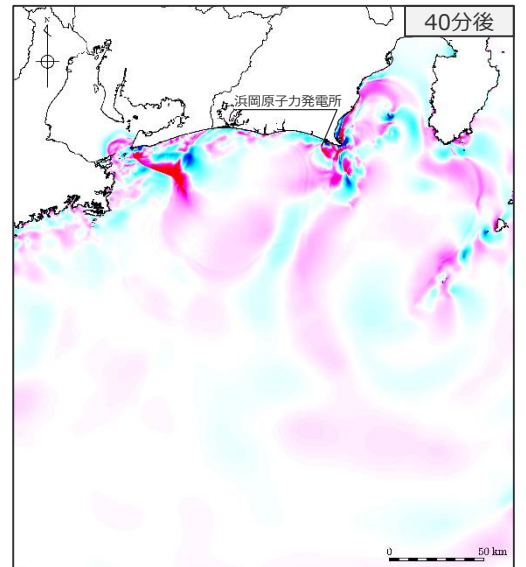
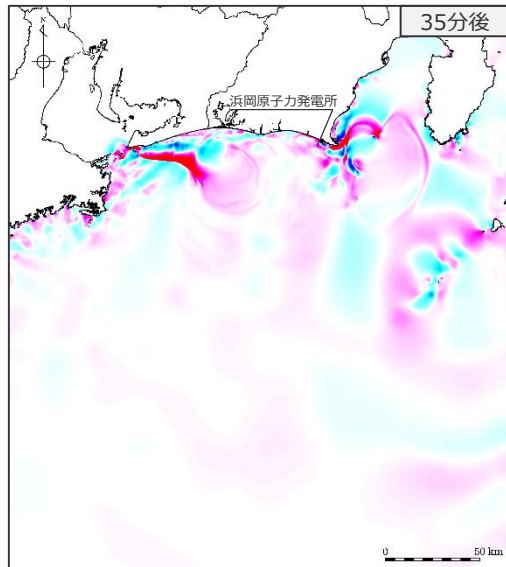
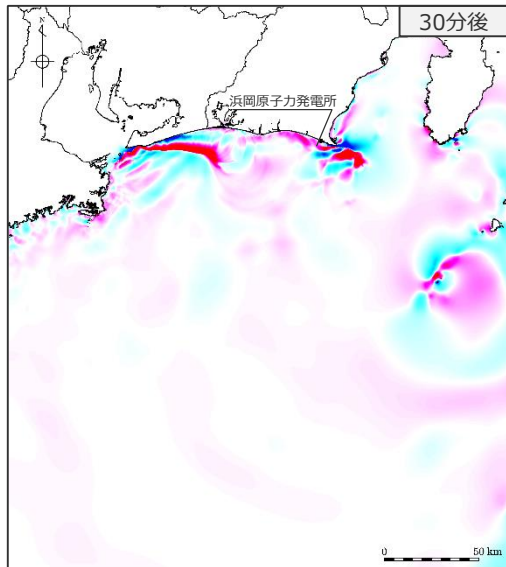
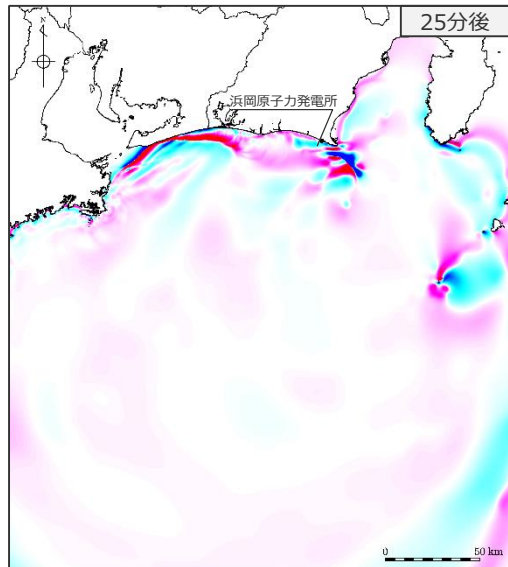
(津波伝播状況 (水位上昇側 : 2/2))

■ 25～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。

(再掲) s22地点単独



s21-s25地点同時発生



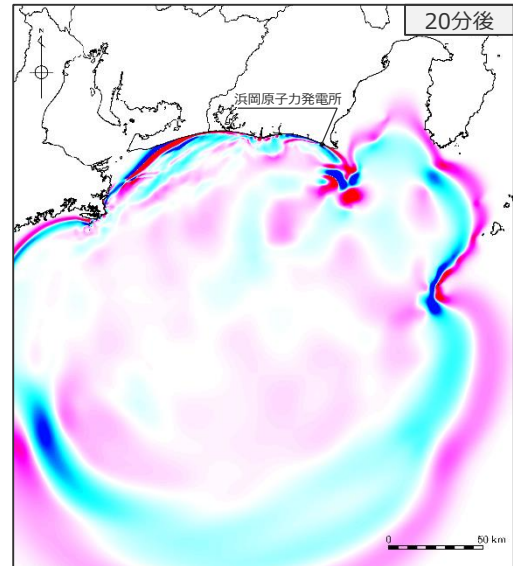
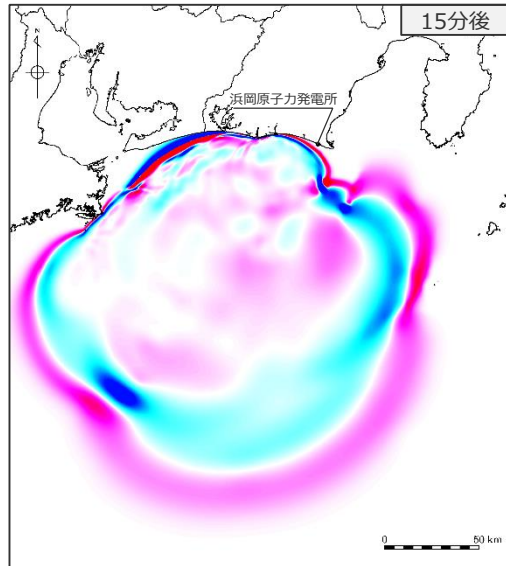
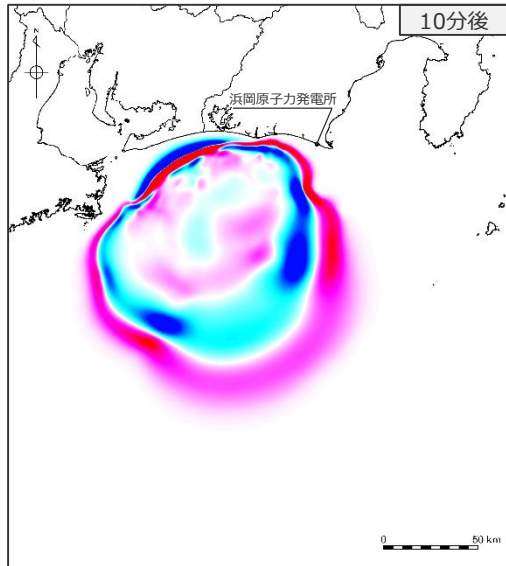
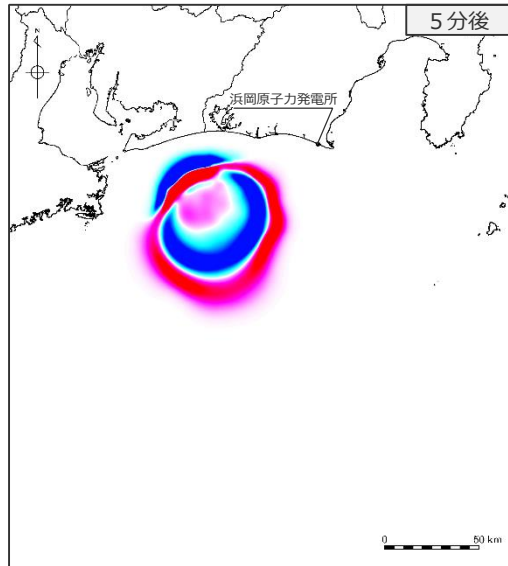
・水位上昇側 : 朔望平均満潮位T.P. +0.80mを考慮

s26-s29地点の海底地すべりが同時発生した場合

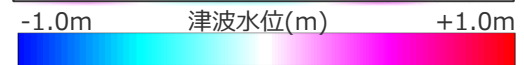
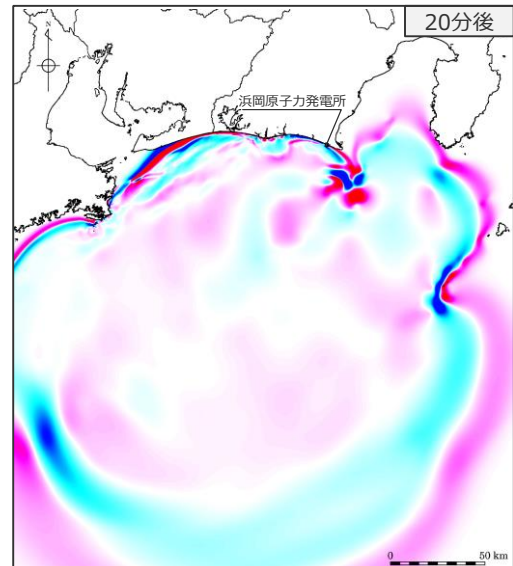
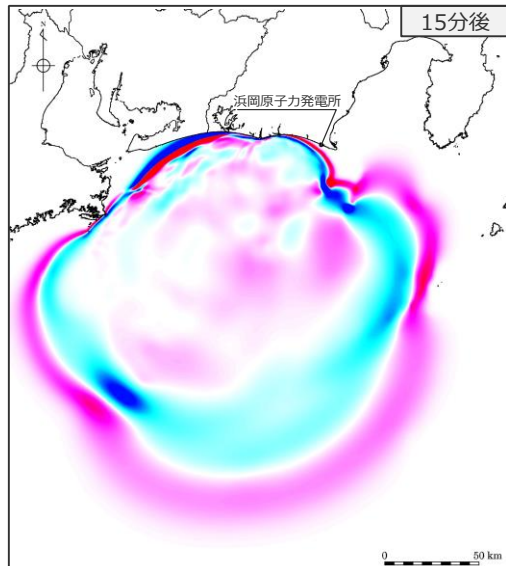
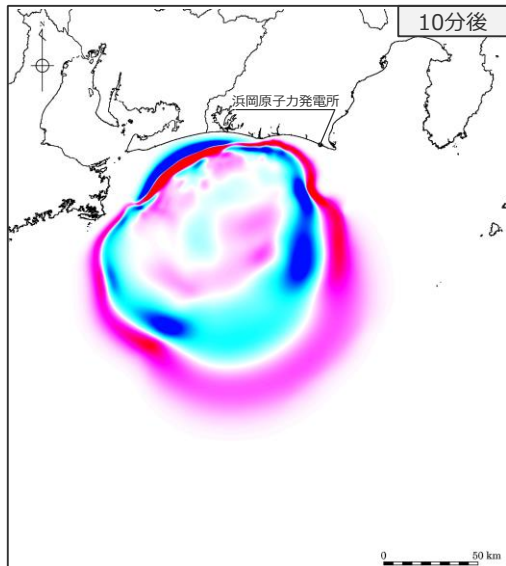
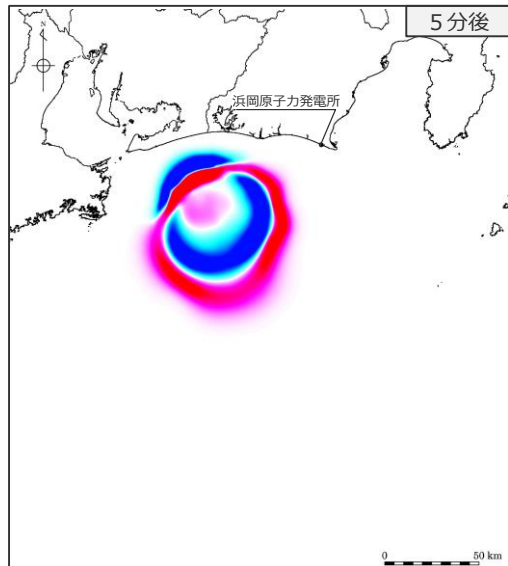
(津波伝播状況 (水位上昇側 : 1/2))

■ 5～20分後までの津波伝播のスナップショットを示す。

(再掲) s26地点単独



s26-s29地点同時発生



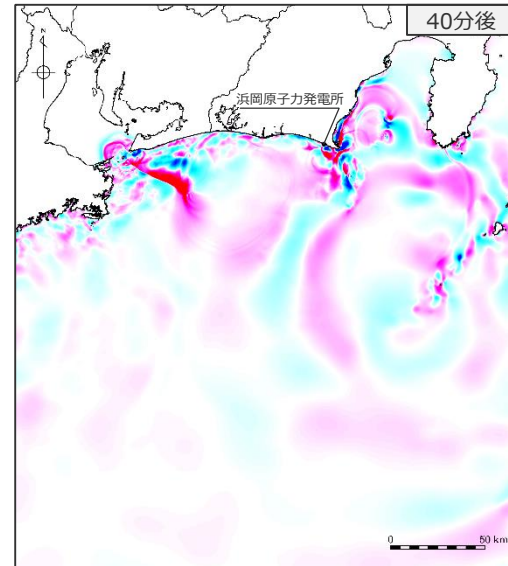
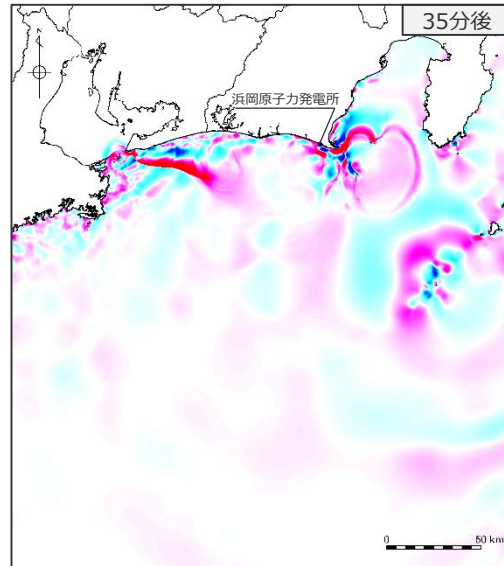
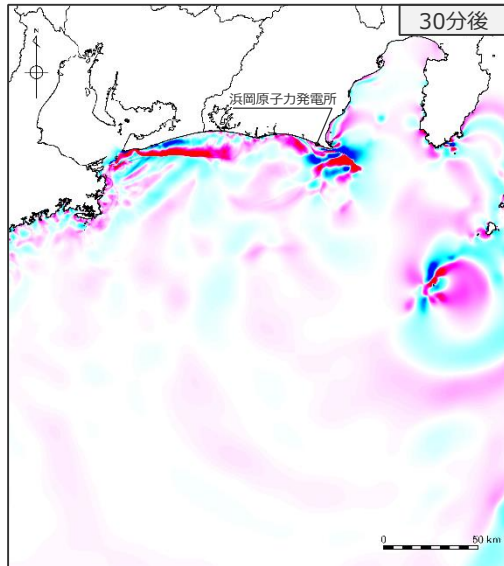
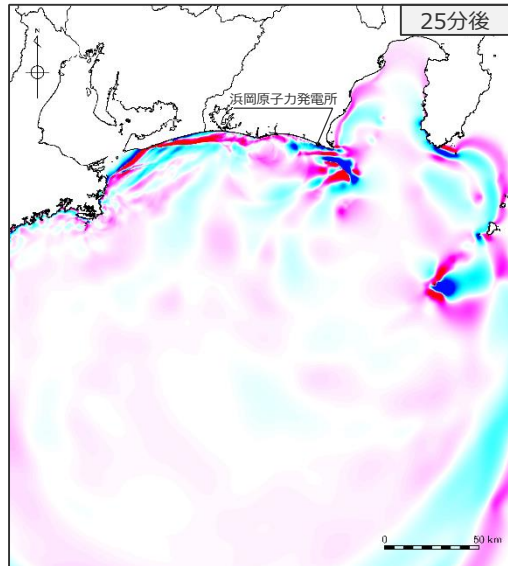
・水位上昇側 : 朔望平均満潮位T.P. +0.80mを考慮

s26-s29地点の海底地すべりが同時発生した場合

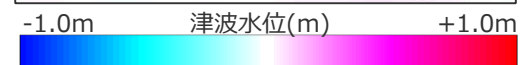
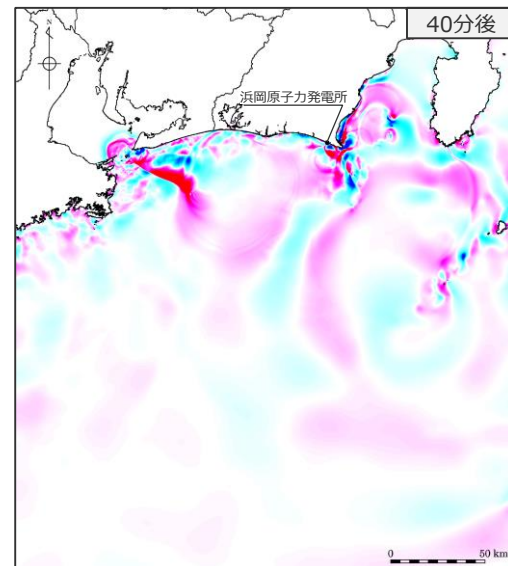
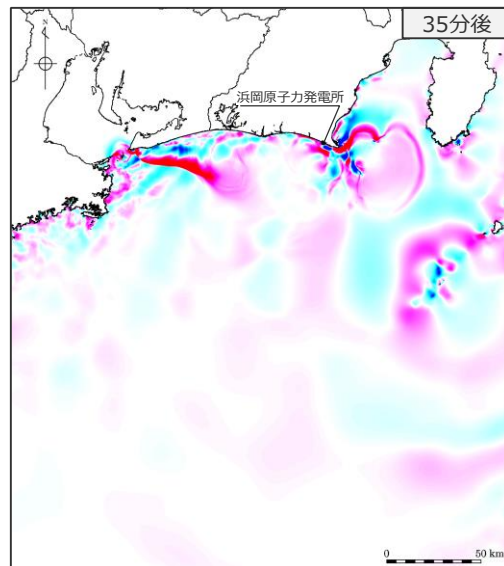
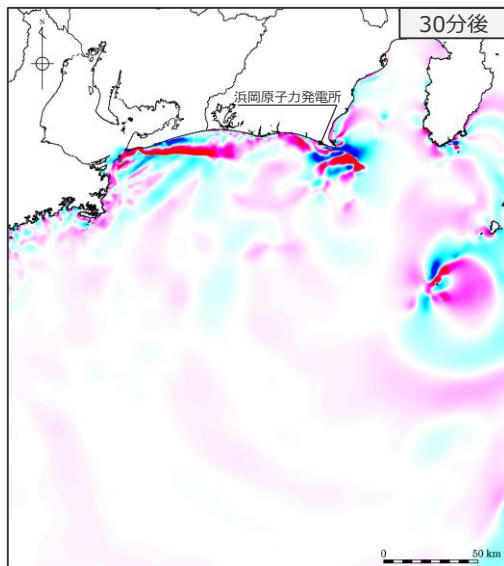
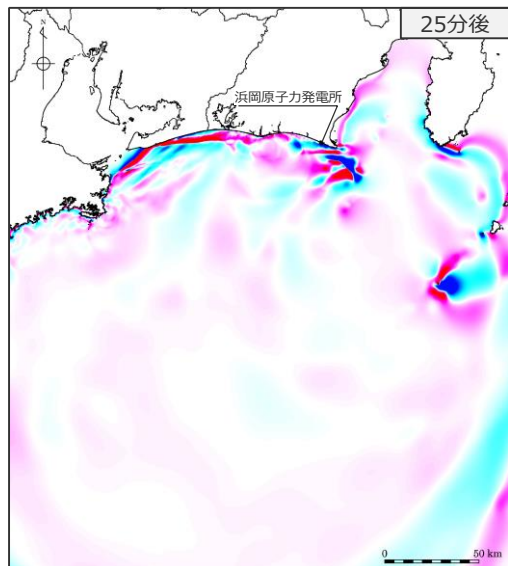
(津波伝播状況 (水位上昇側 : 2/2))

■ 25～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。

(再掲) s26地点単独



s26-s29地点同時発生



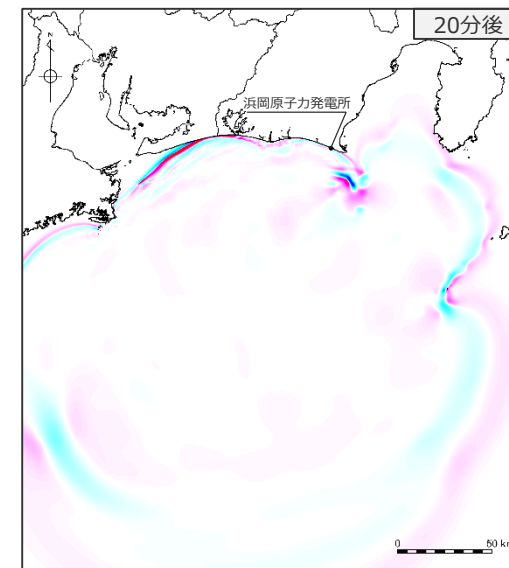
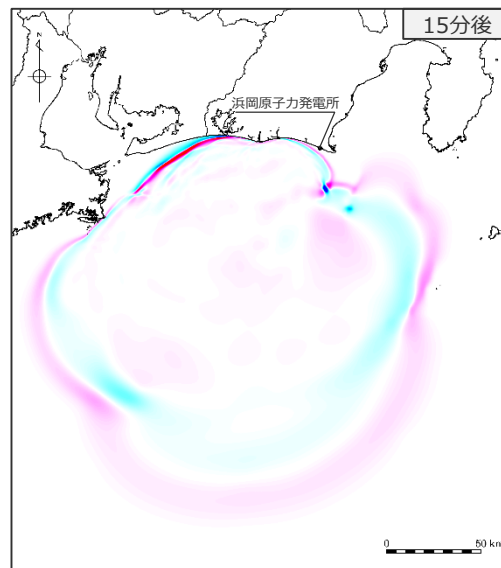
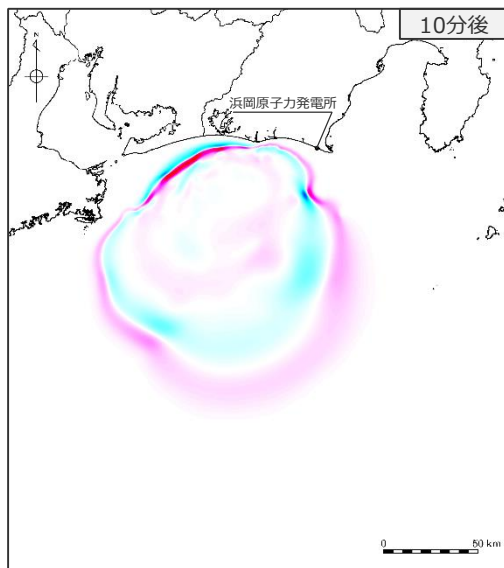
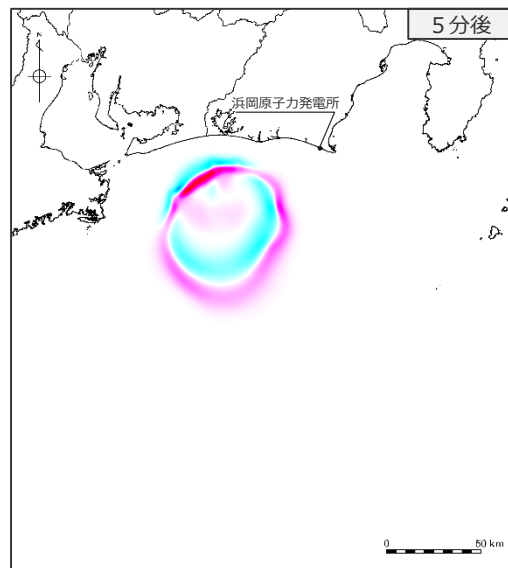
・水位上昇側 : 朔望平均満潮位T.P. +0.80mを考慮

s21-s25地点の海底地すべりが同時発生した場合

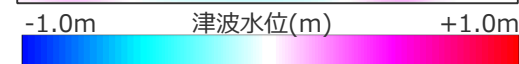
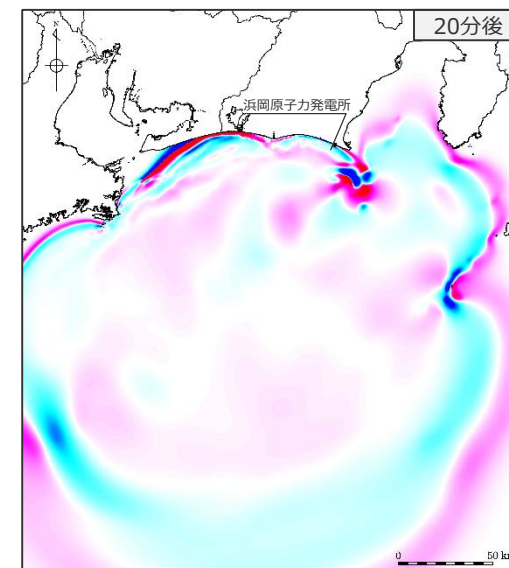
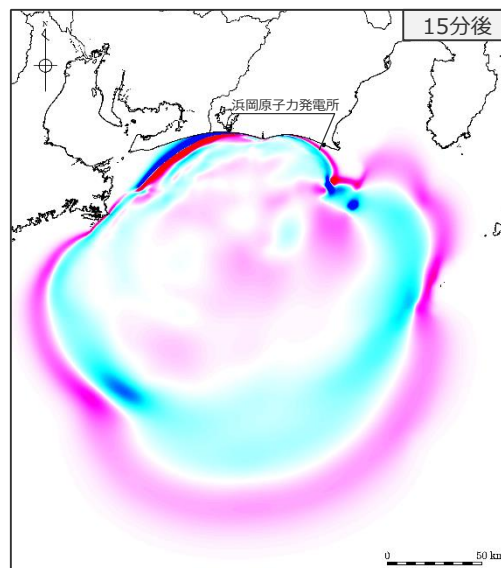
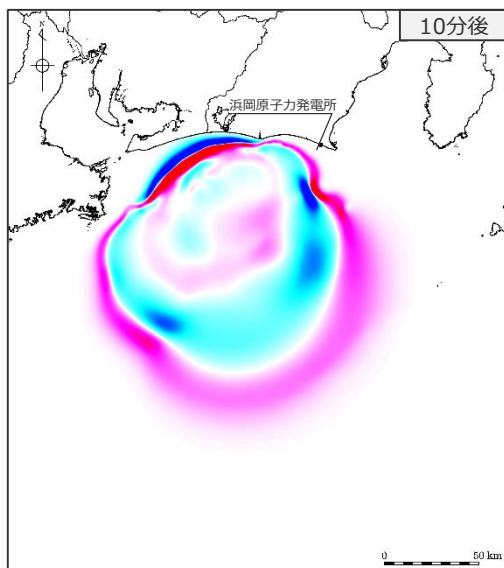
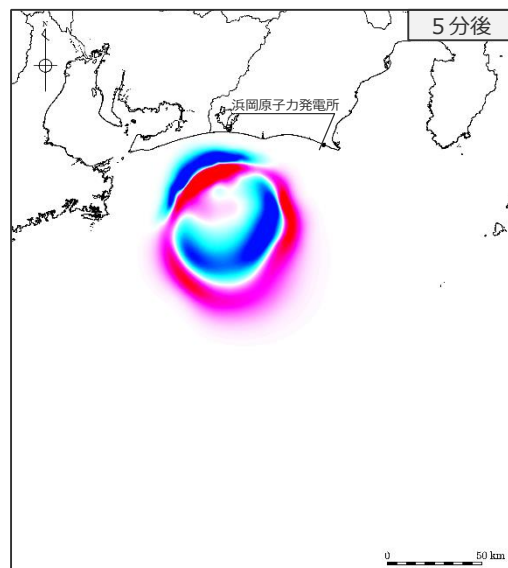
(津波伝播状況 (水位下降側 : 1/2))

■ 5～20分後までの津波伝播のスナップショットを示す。

(再掲) s22地点単独



s21-s25地点同時発生



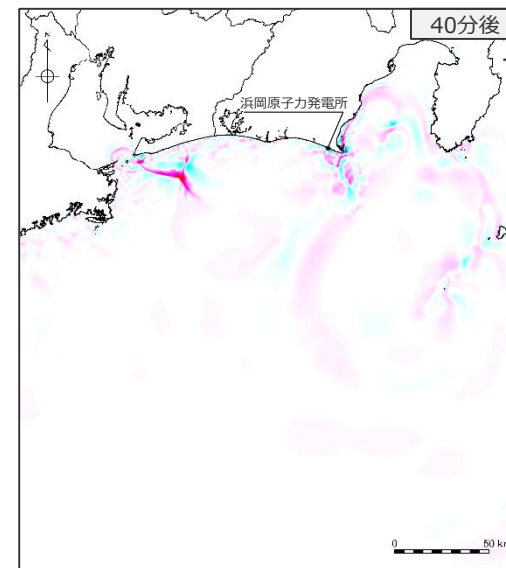
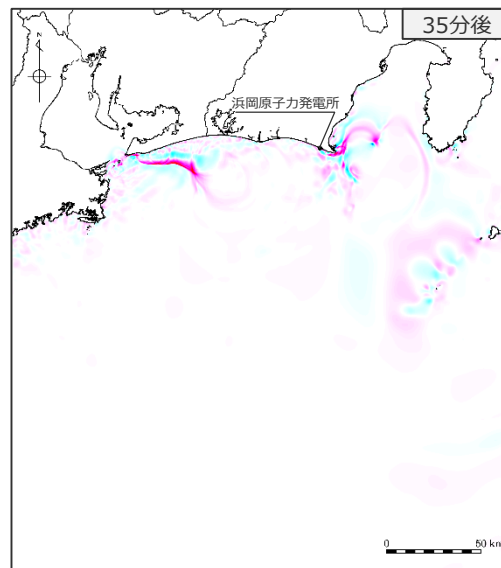
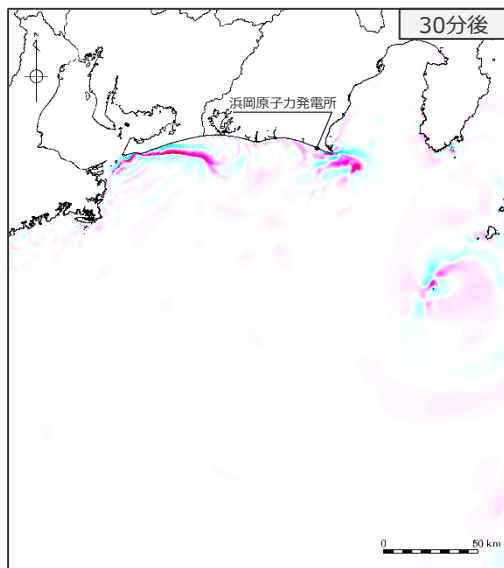
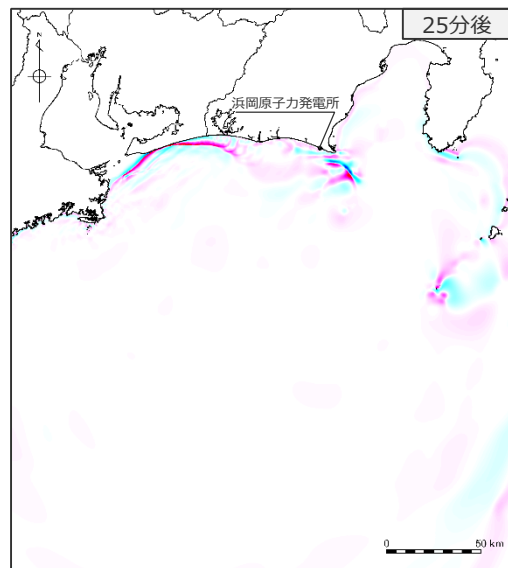
・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

s21-s25地点の海底地すべりが同時発生した場合

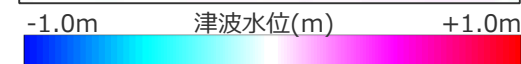
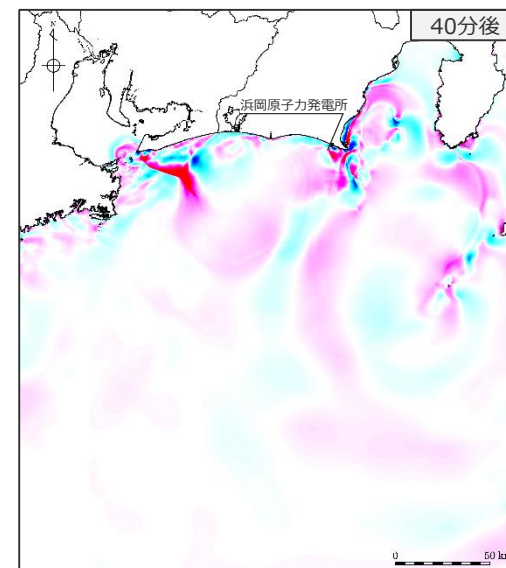
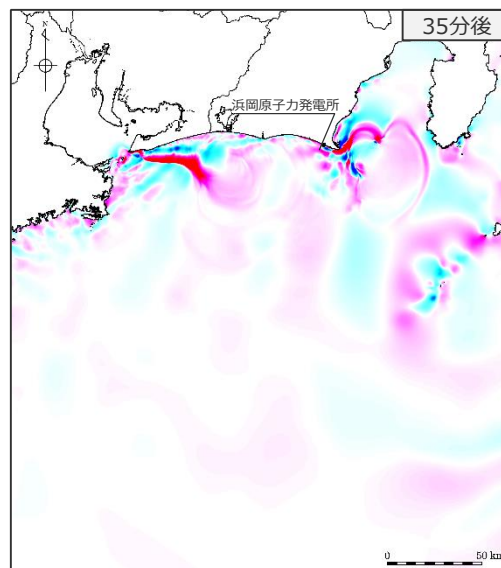
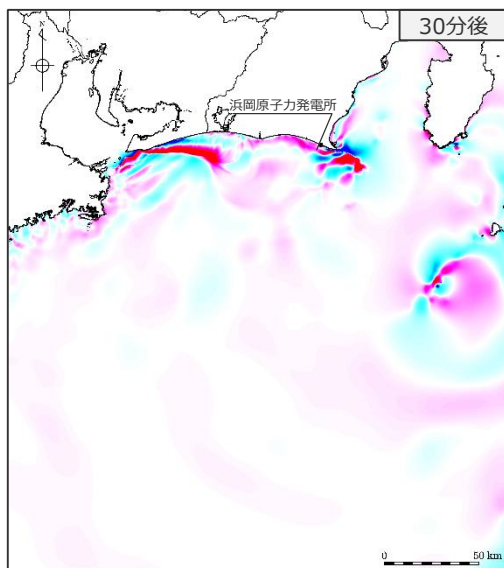
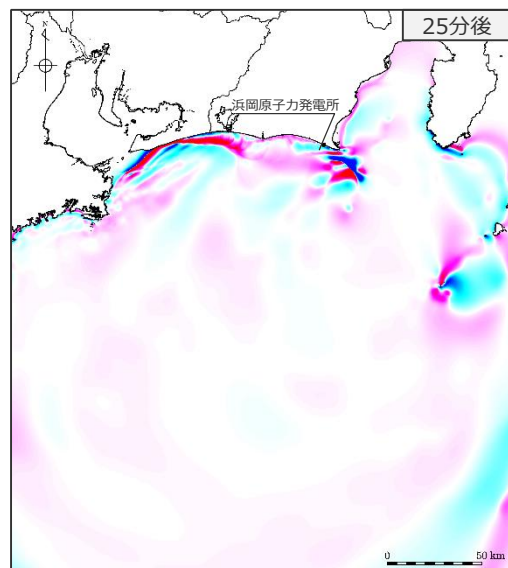
(津波伝播状況 (水位下降側 : 2/2))

■ 25～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。

(再掲) s22地点単独



s21-s25地点同時発生



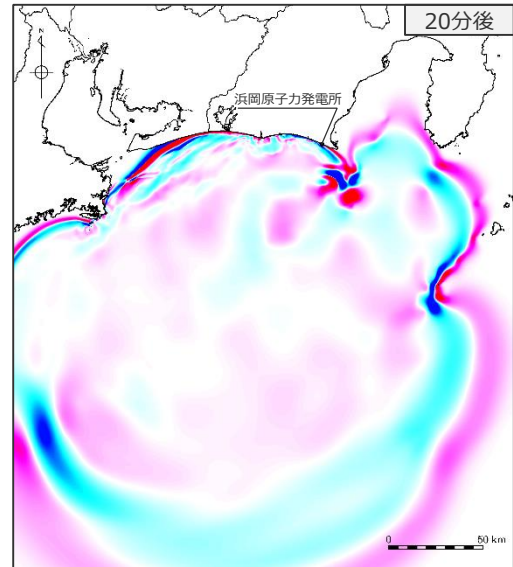
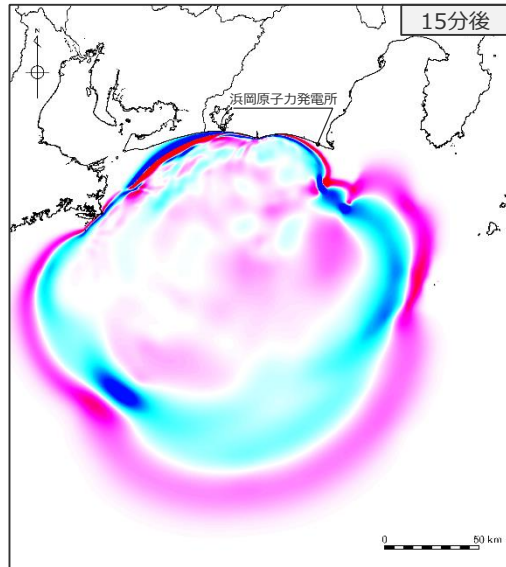
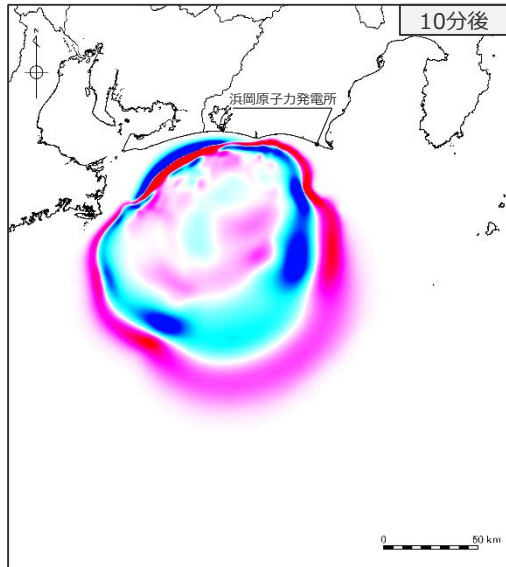
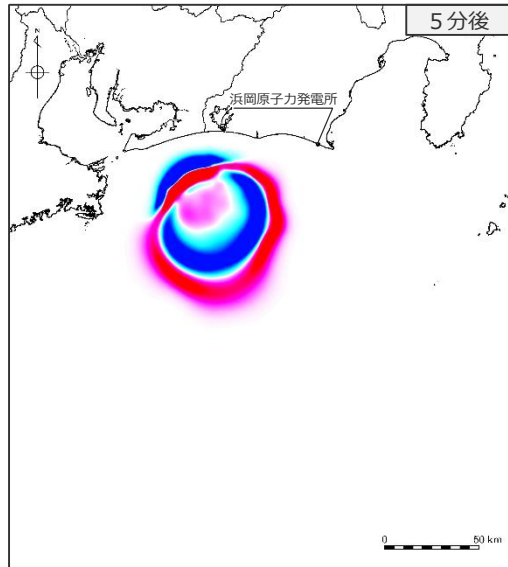
・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. - 0.93mを考慮

s26-s29地点の海底地すべりが同時発生した場合

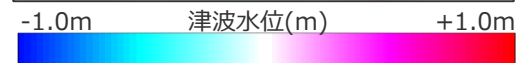
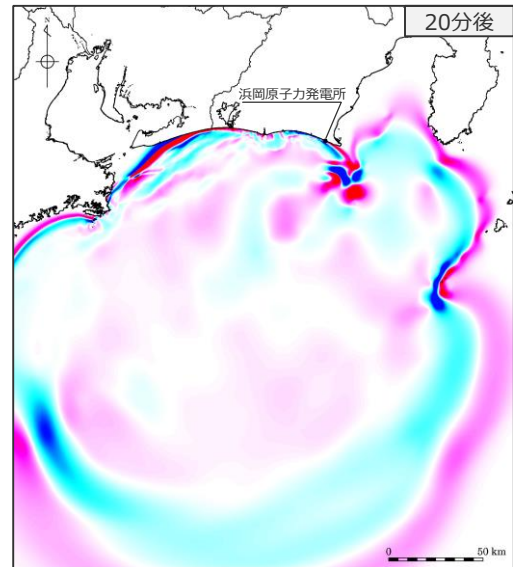
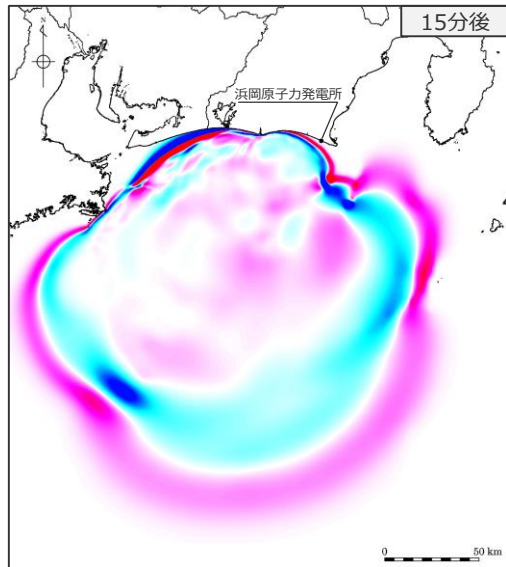
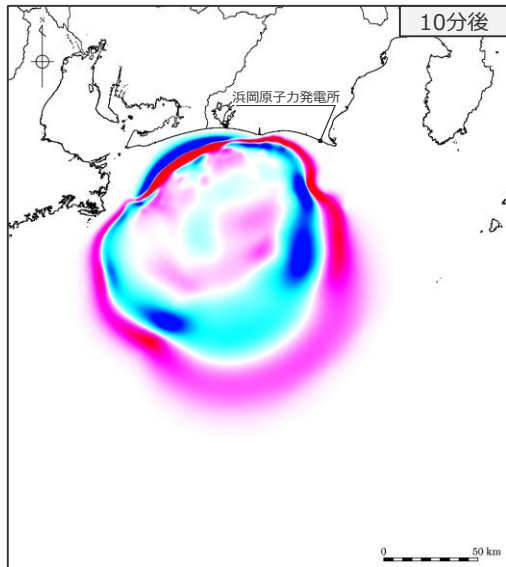
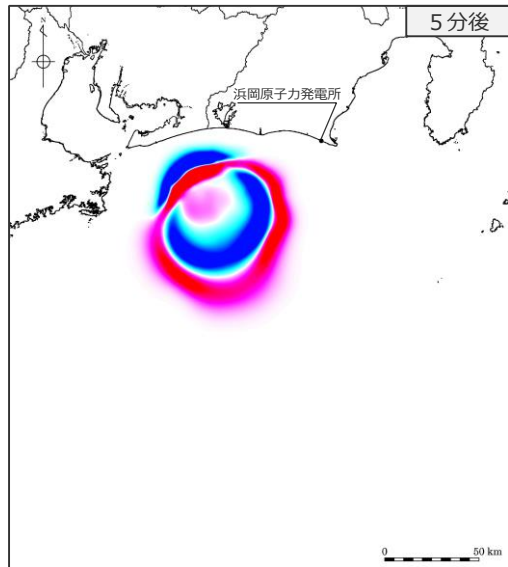
(津波伝播状況 (水位下降側 : 1/2))

■ 5～20分後までの津波伝播のスナップショットを示す。

(再掲) s26地点単独



s26-s29地点同時発生



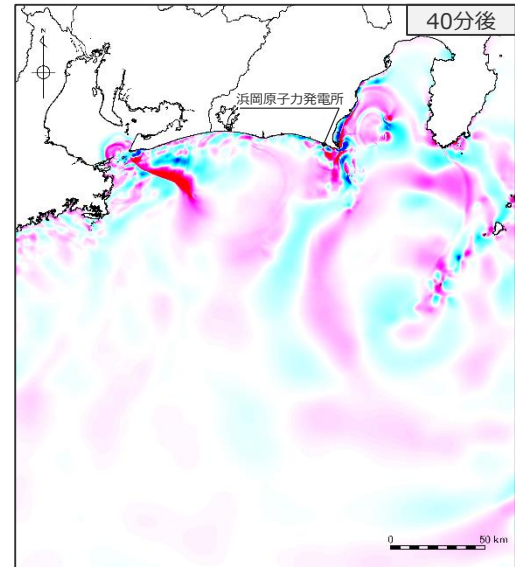
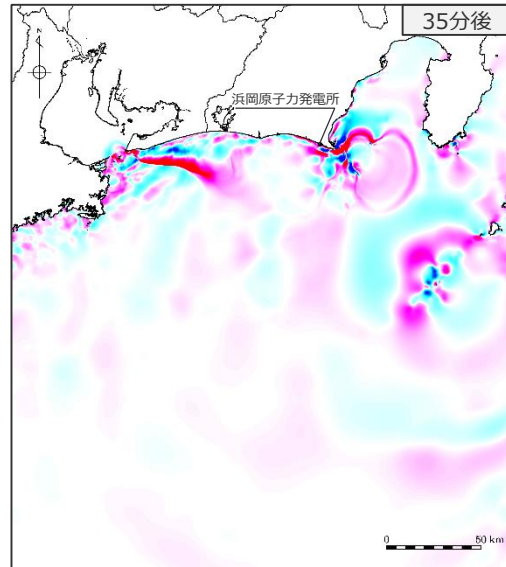
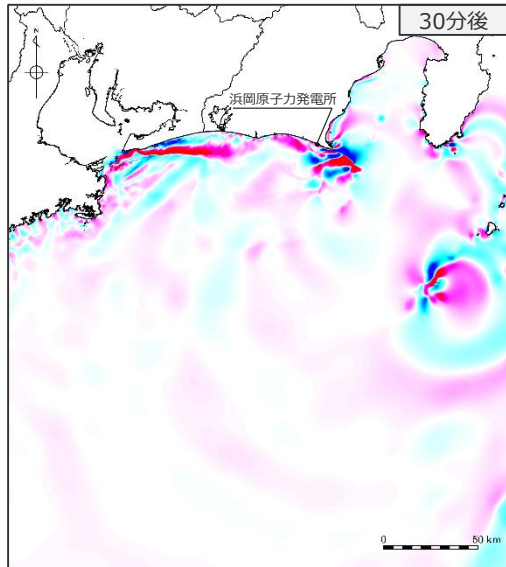
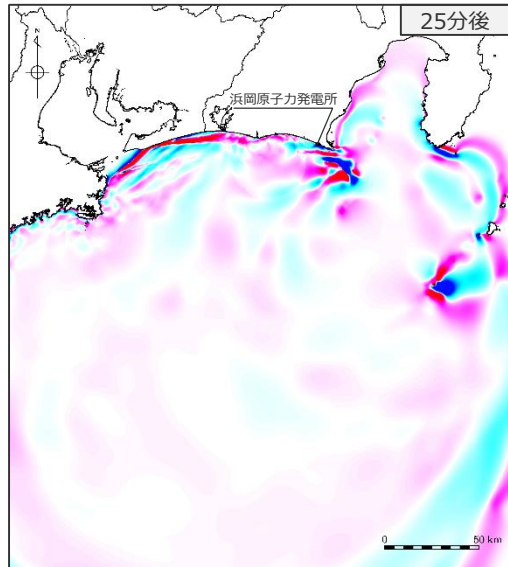
・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

s26-s29地点の海底地すべりが同時発生した場合

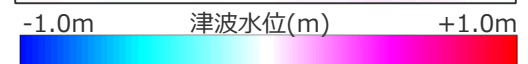
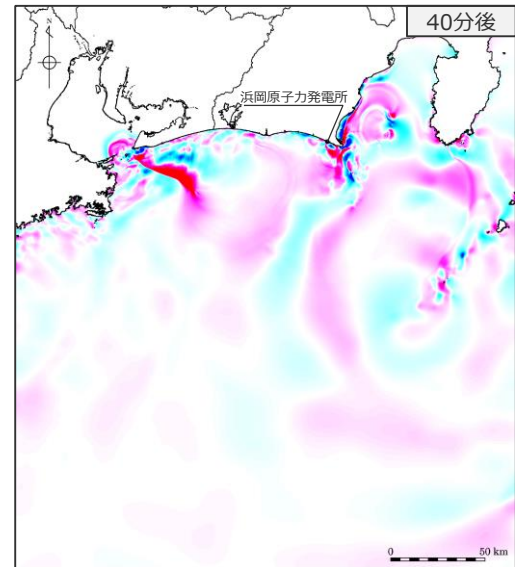
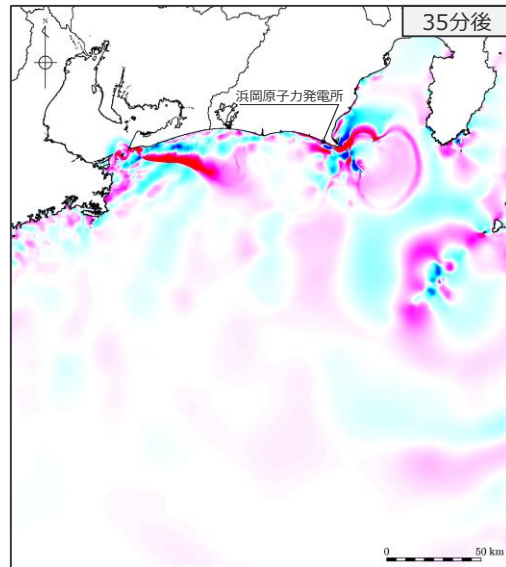
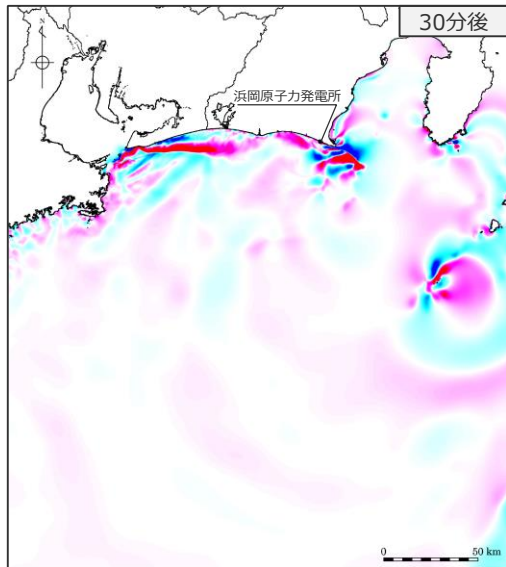
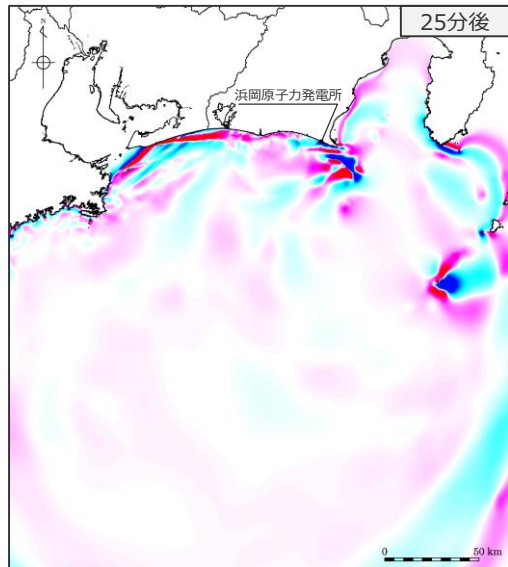
(津波伝播状況 (水位下降側 : 2/2))

■ 25～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。

(再掲) s26地点単独



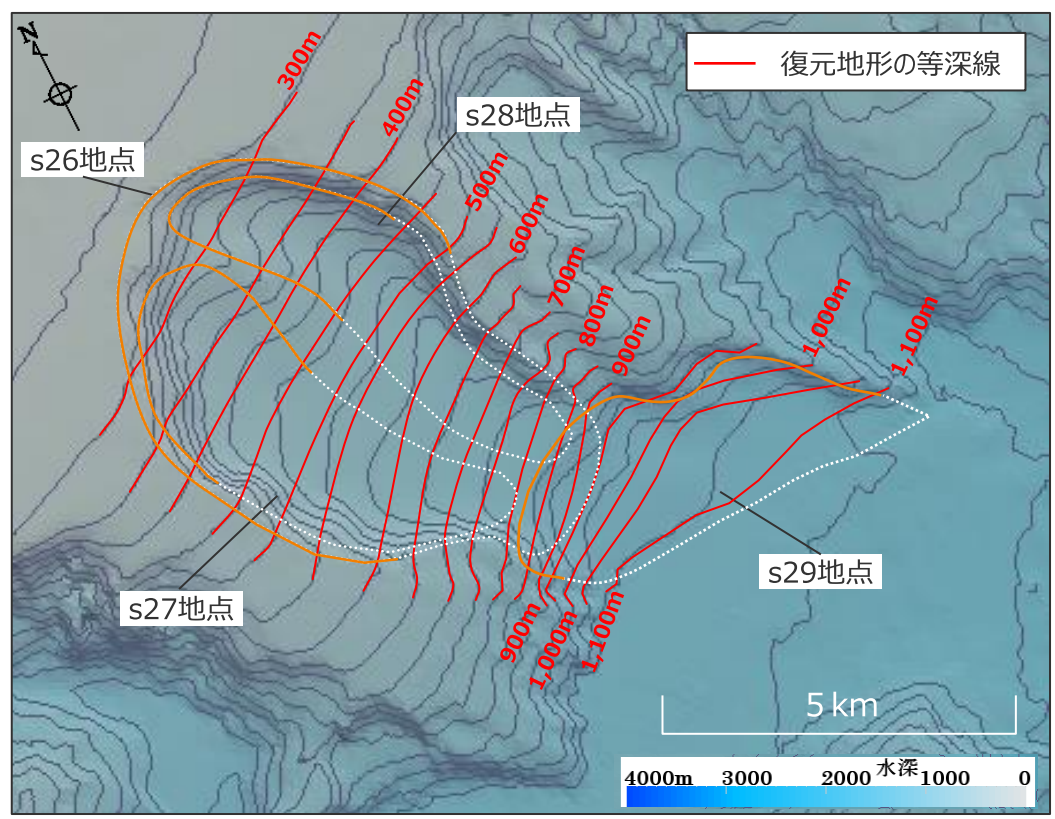
s26-s29地点同時発生



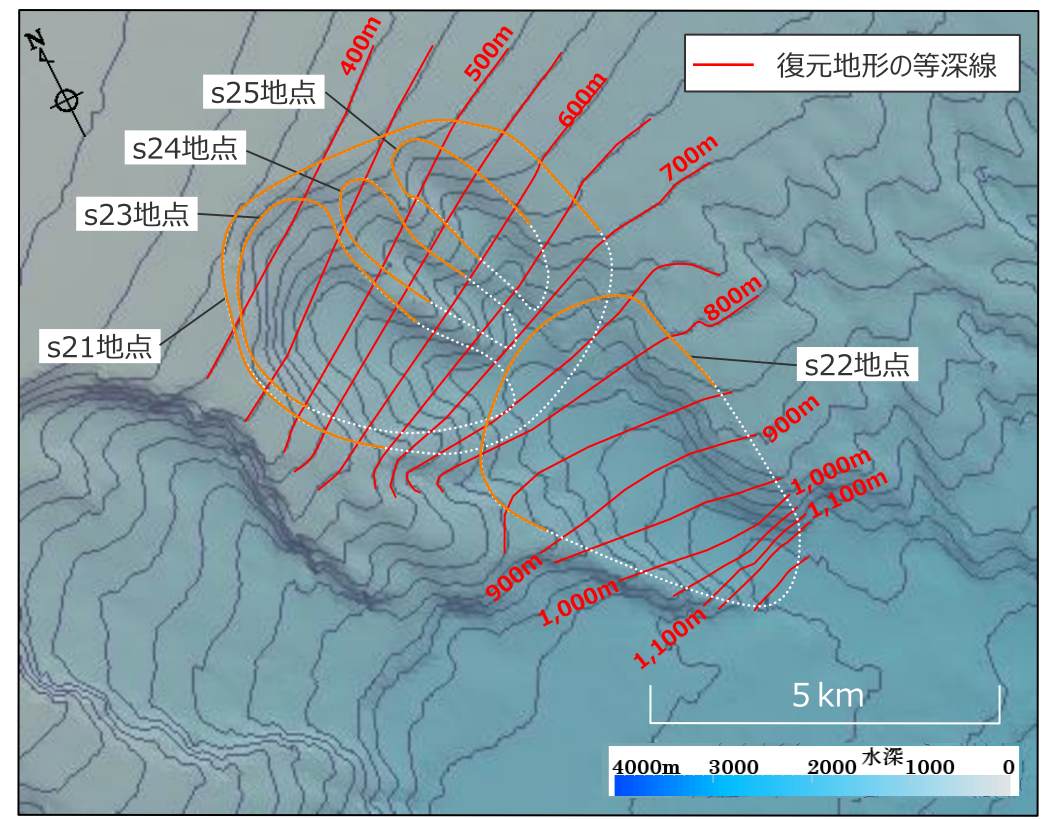
・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. - 0.93mを考慮

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響検討 (参考) 復元地形の確認：地形図

■ 現地形と復元地形の等深線を重ねた地形図を作成し、s21-s25地点及びs26-s29地点の南端部が、その両側の崖地形（等深線）と整合していることを確認した。



s26-s29地点の地すべり地形
(基図：現地形)

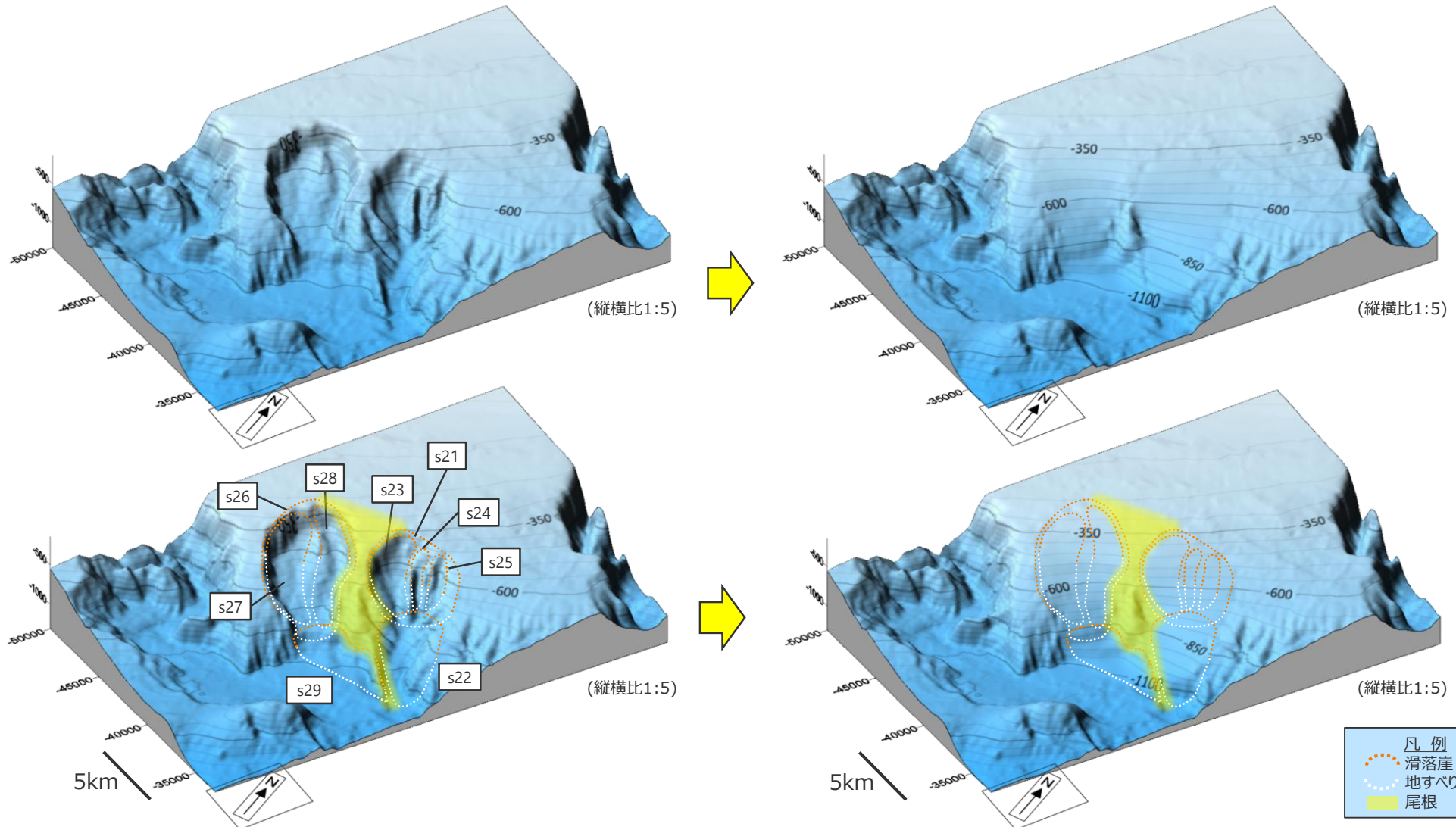


s21-s25地点の地すべり地形
(基図：現地形)

凡例
 滑落崖
 地すべり範囲

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響検討 (参考) 復元地形の確認：鯨瞰図

■ 海底地すべりの復元地形の鯨瞰図を以下に示す。



s21-s25地点、s26-29地点の地すべり地形鯨瞰図 (基図：現地形)
(左：現地形、右：復元地形)

・鯨瞰図は斜め上方向からの見取り図であるため、滑落崖及び地すべり範囲が平面図のものとは完全には一致しない。

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット

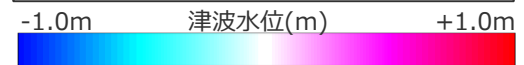
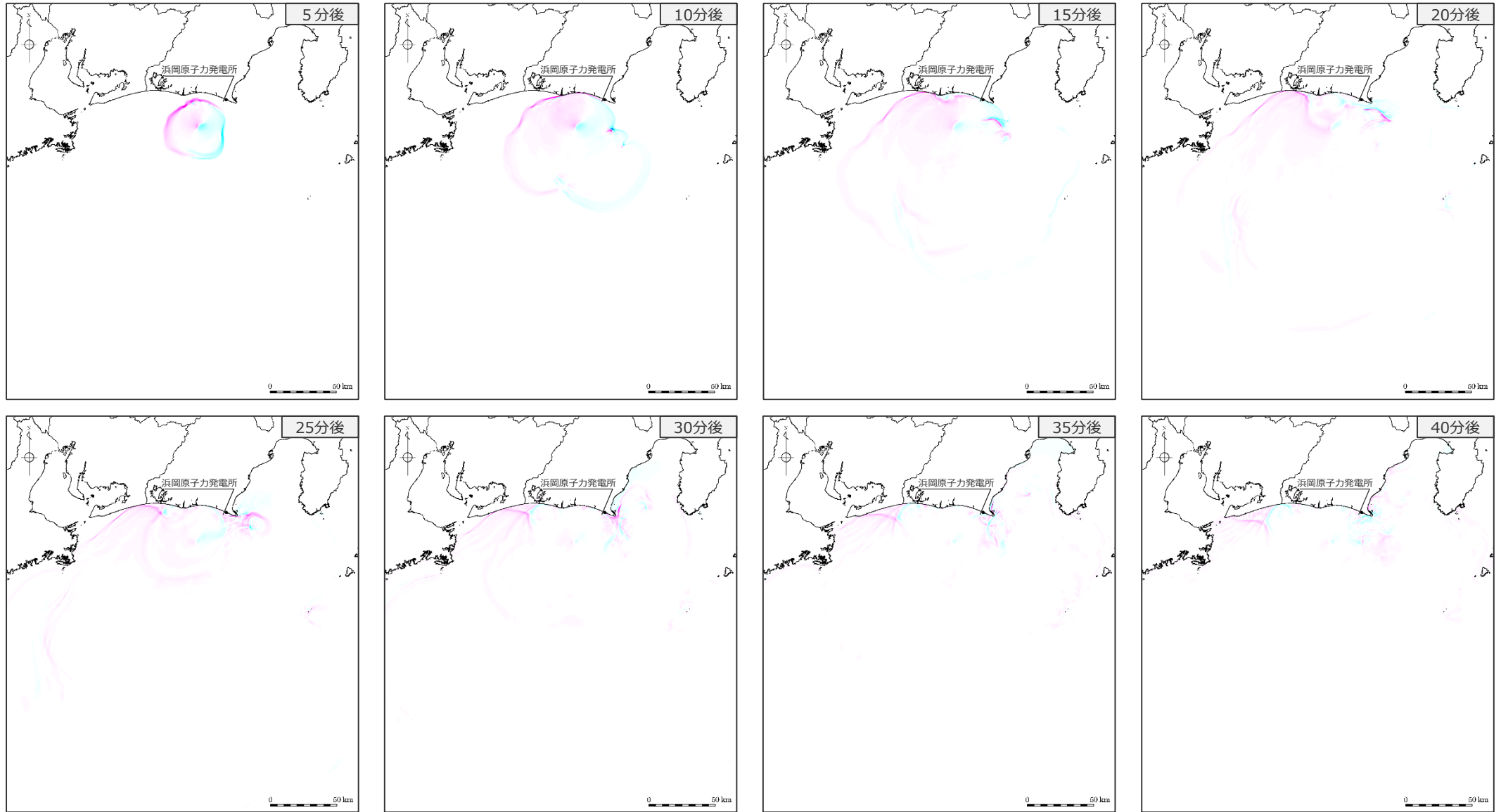
(1) 水位上昇側

(2) 水位下降側

遠州灘沖（海盆内）の海底地すべり

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット (1) 水位上昇側 s2地点の海底地すべり (二層流モデル)

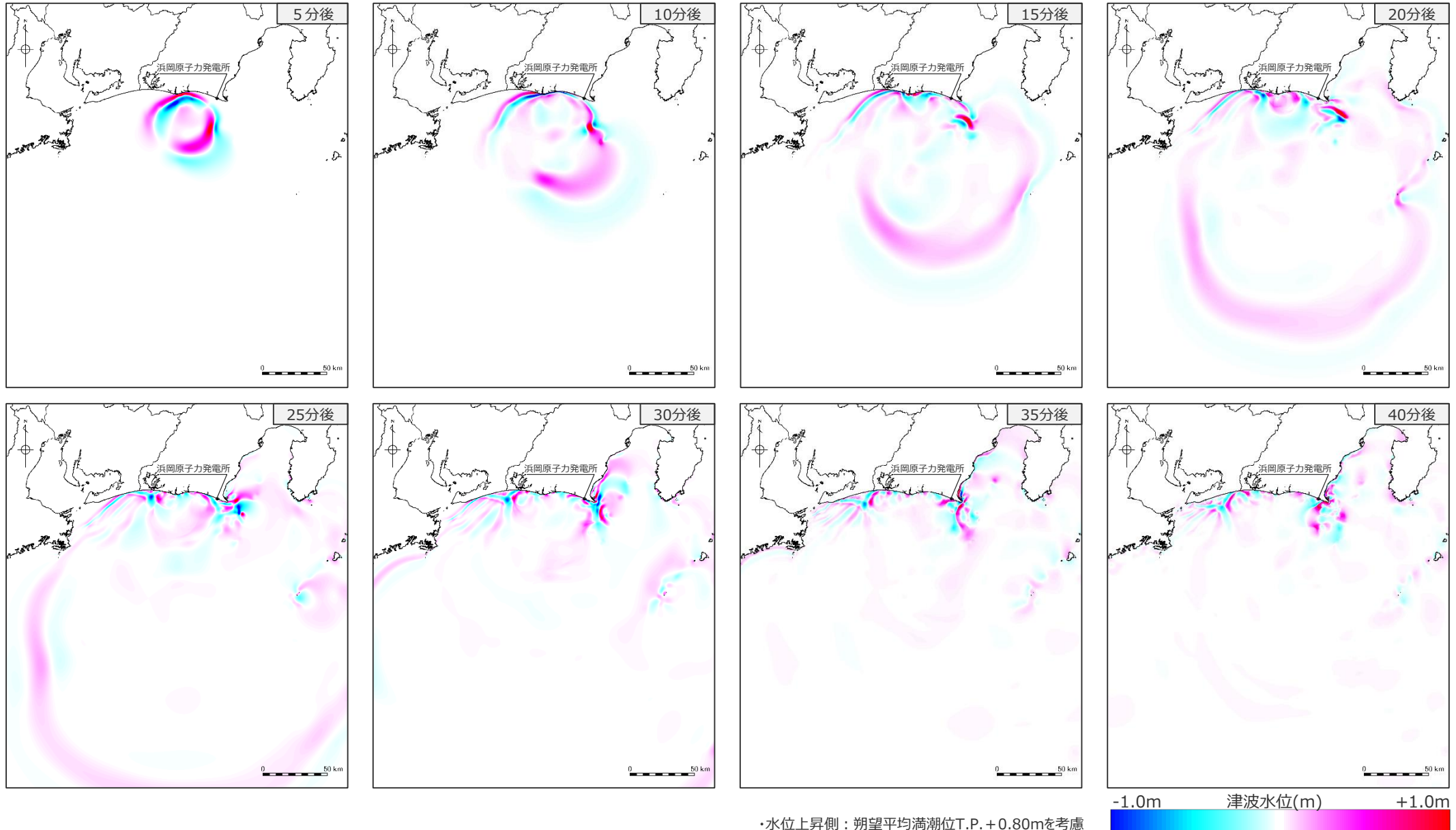
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P. +0.80mを考慮

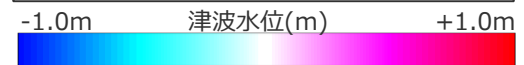
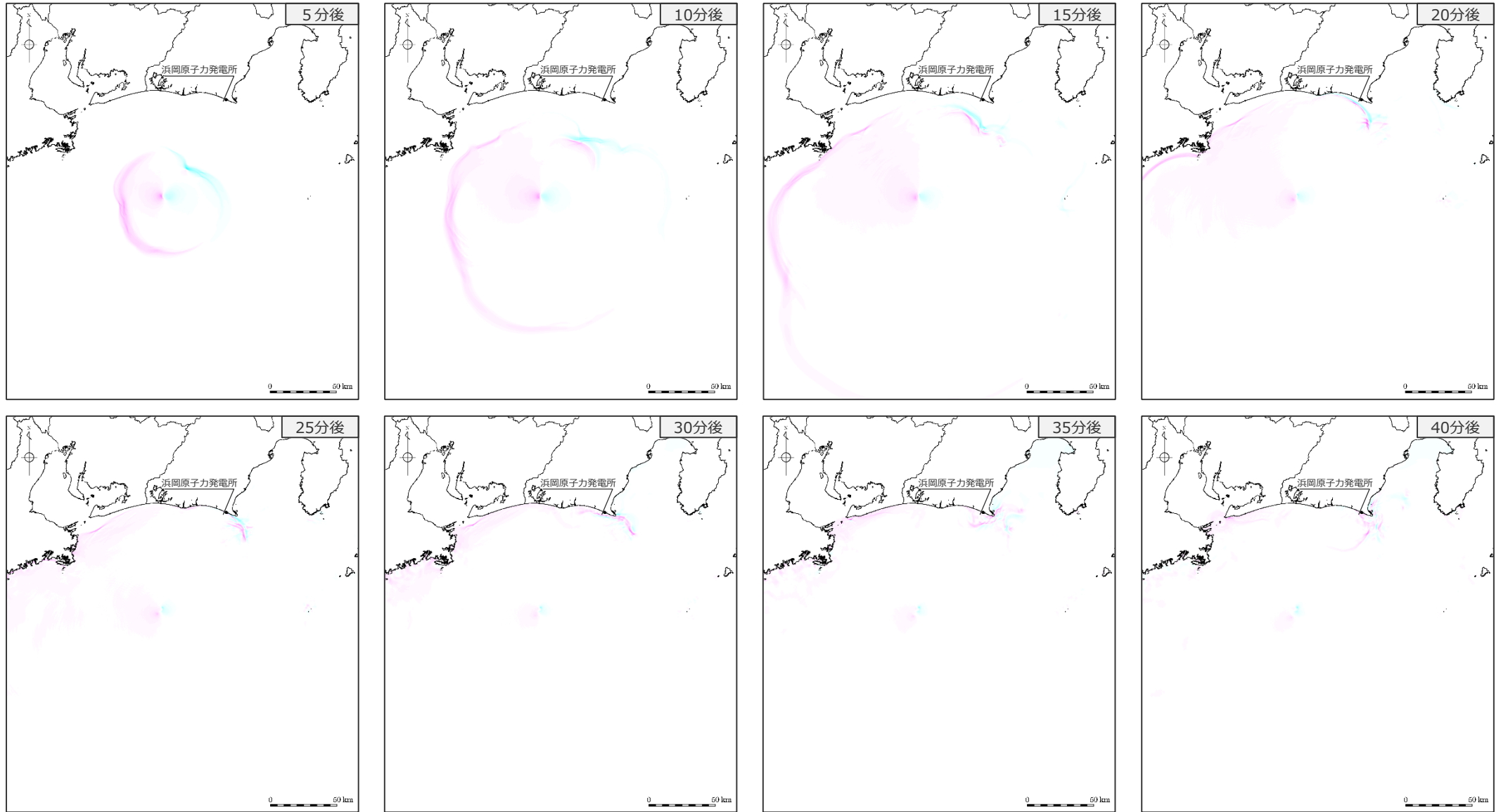
7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（1）水位上昇側 s2地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（1）水位上昇側 s18地点の海底地すべり（二層流モデル）

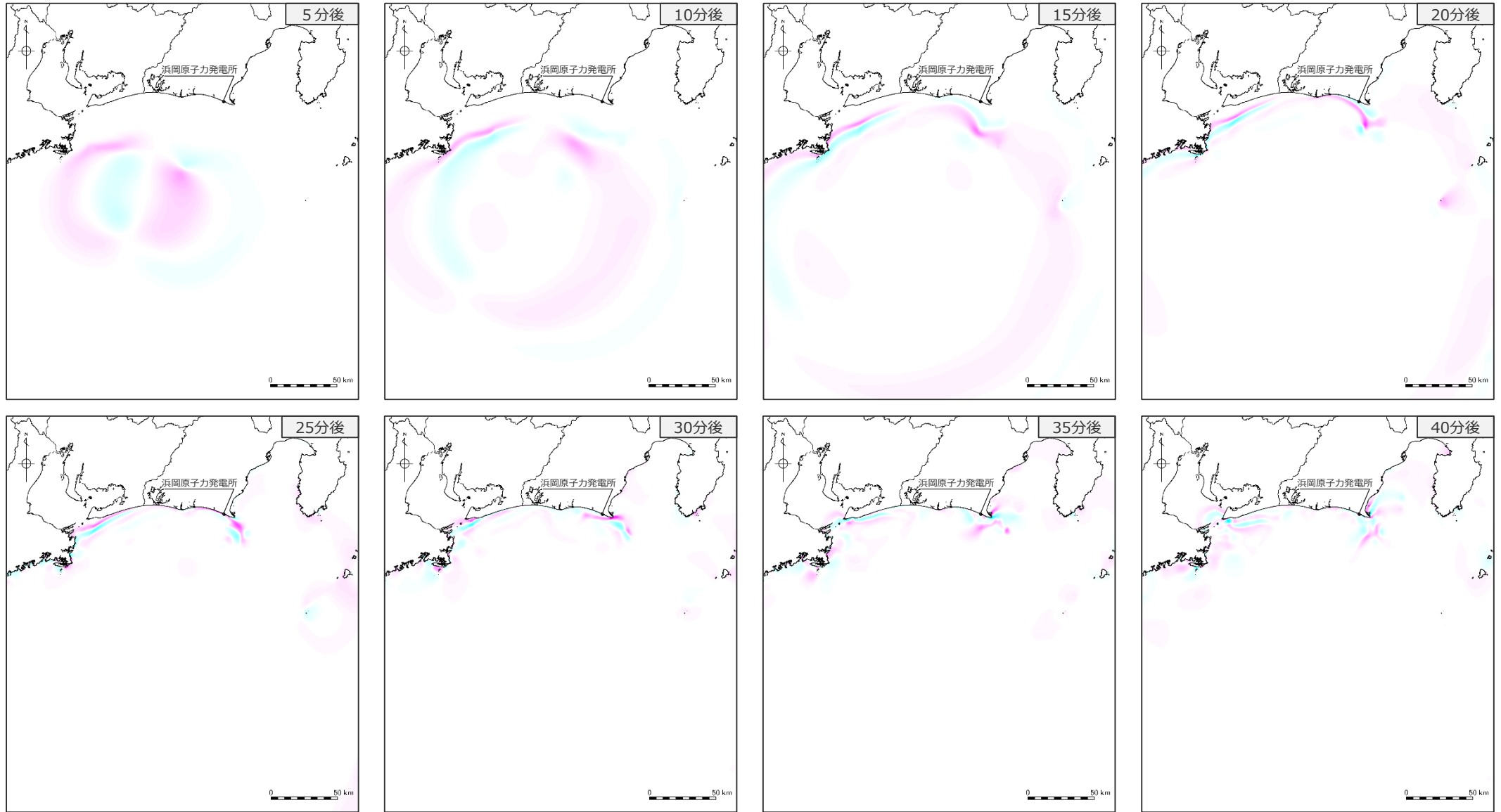
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P.+0.80mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（1）水位上昇側 s18地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



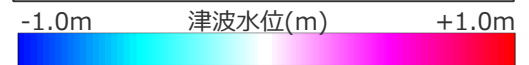
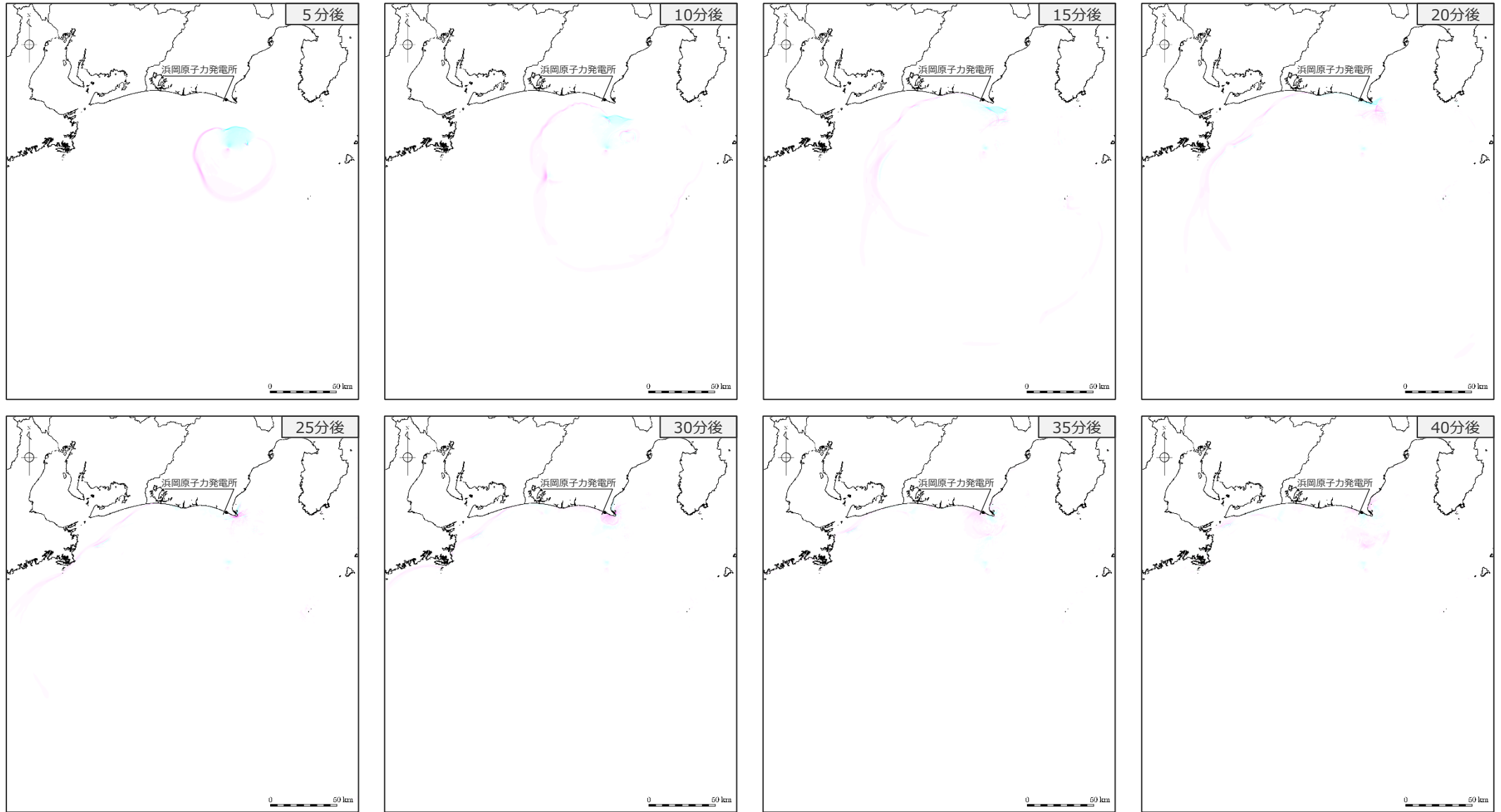
-1.0m 津波水位(m) +1.0m

・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P.+0.80mを考慮

遠州灘沖（外縁隆起帯トラフ側斜面） の海底地すべり

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット (1) 水位上昇側 s4地点の海底地すべり (二層流モデル)

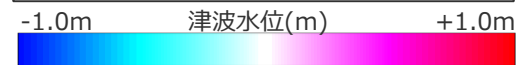
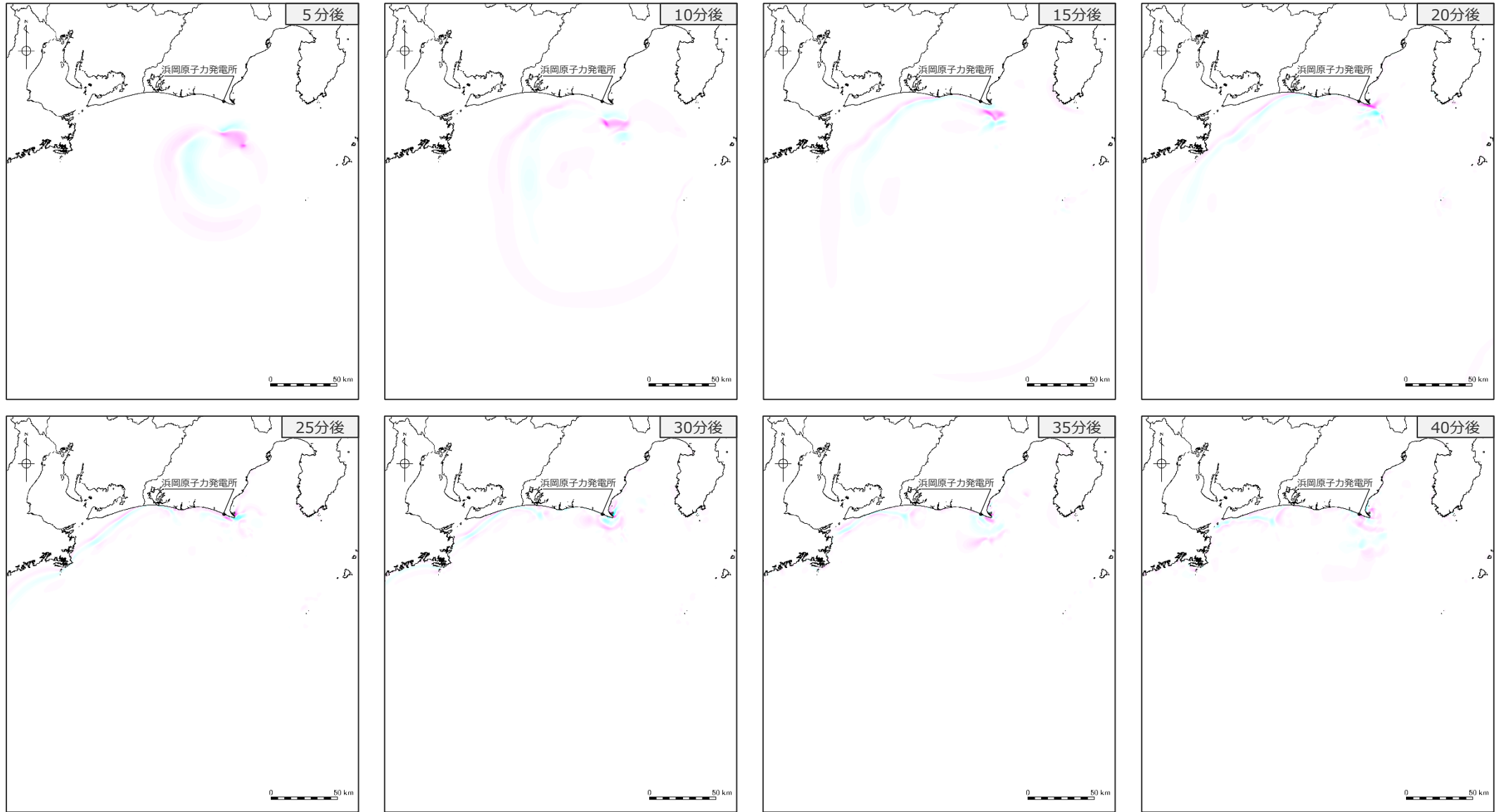
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P. +0.80mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（1）水位上昇側 s4地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

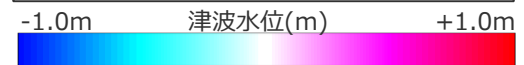
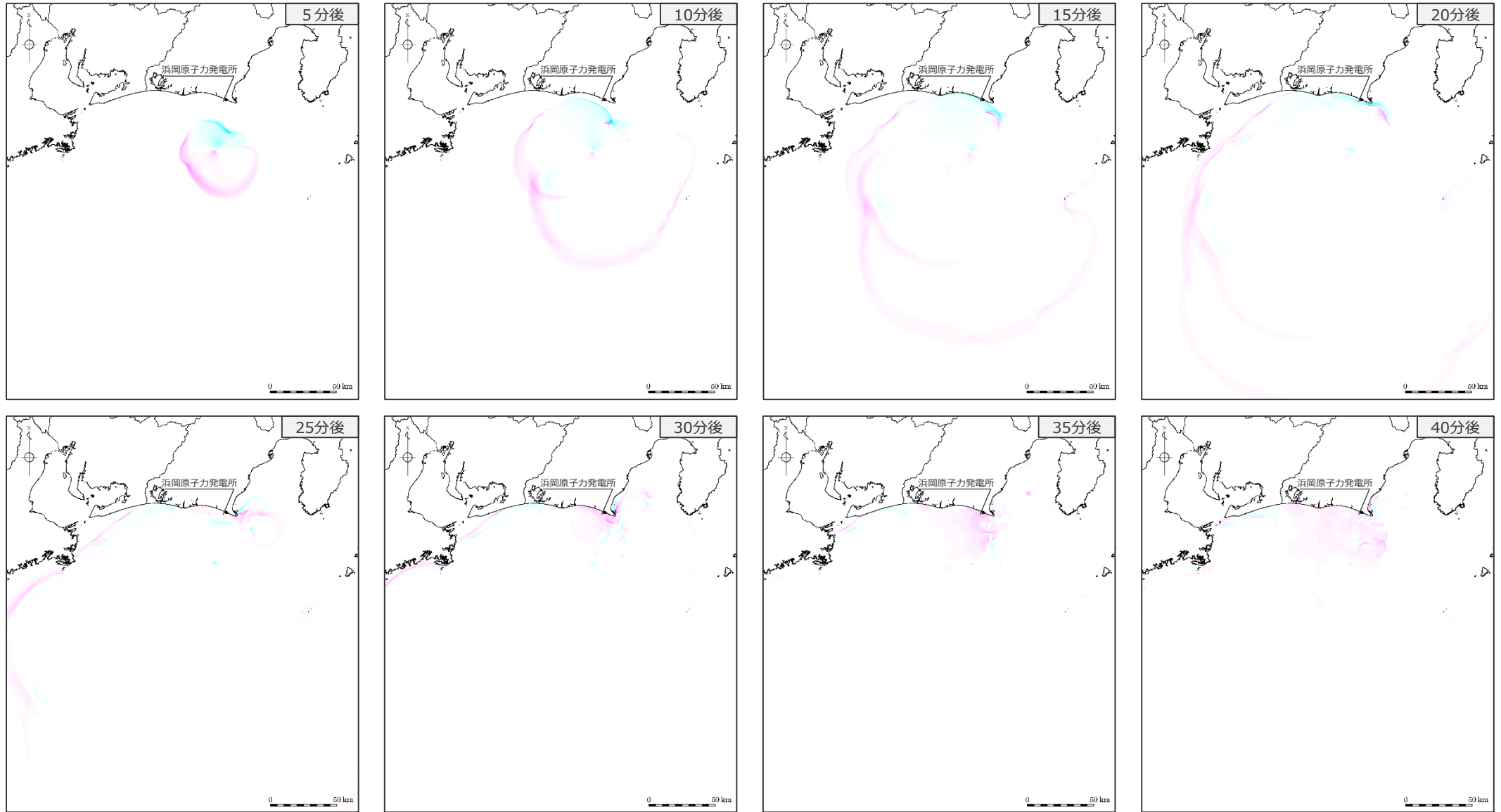
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P. +0.80mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット (1) 水位上昇側 s5地点の海底地すべり (二層流モデル)

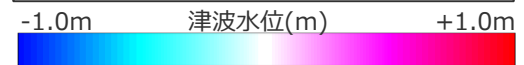
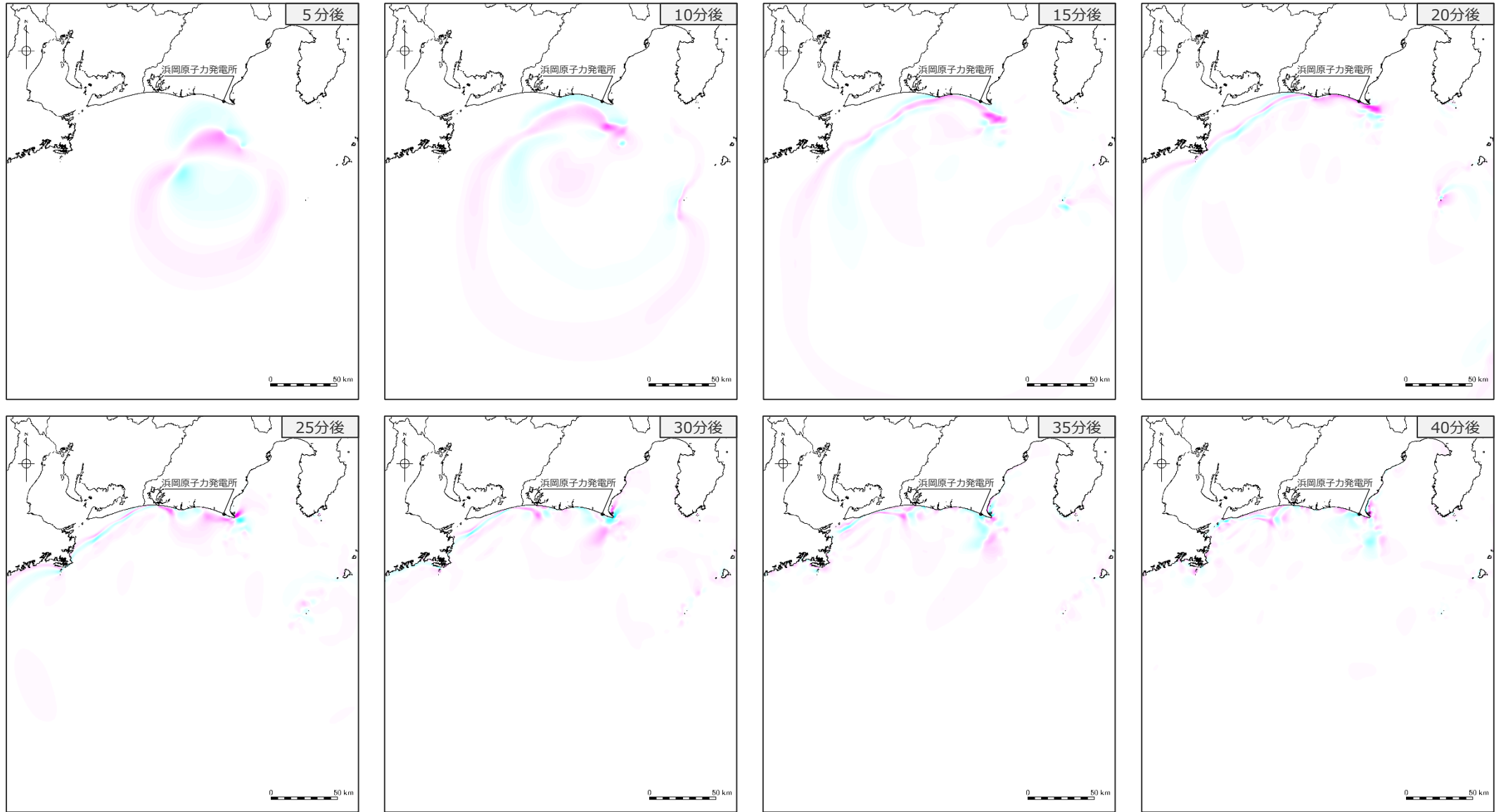
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P. +0.80mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（1）水位上昇側 s5地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

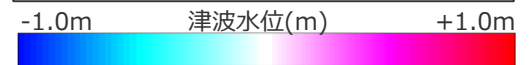
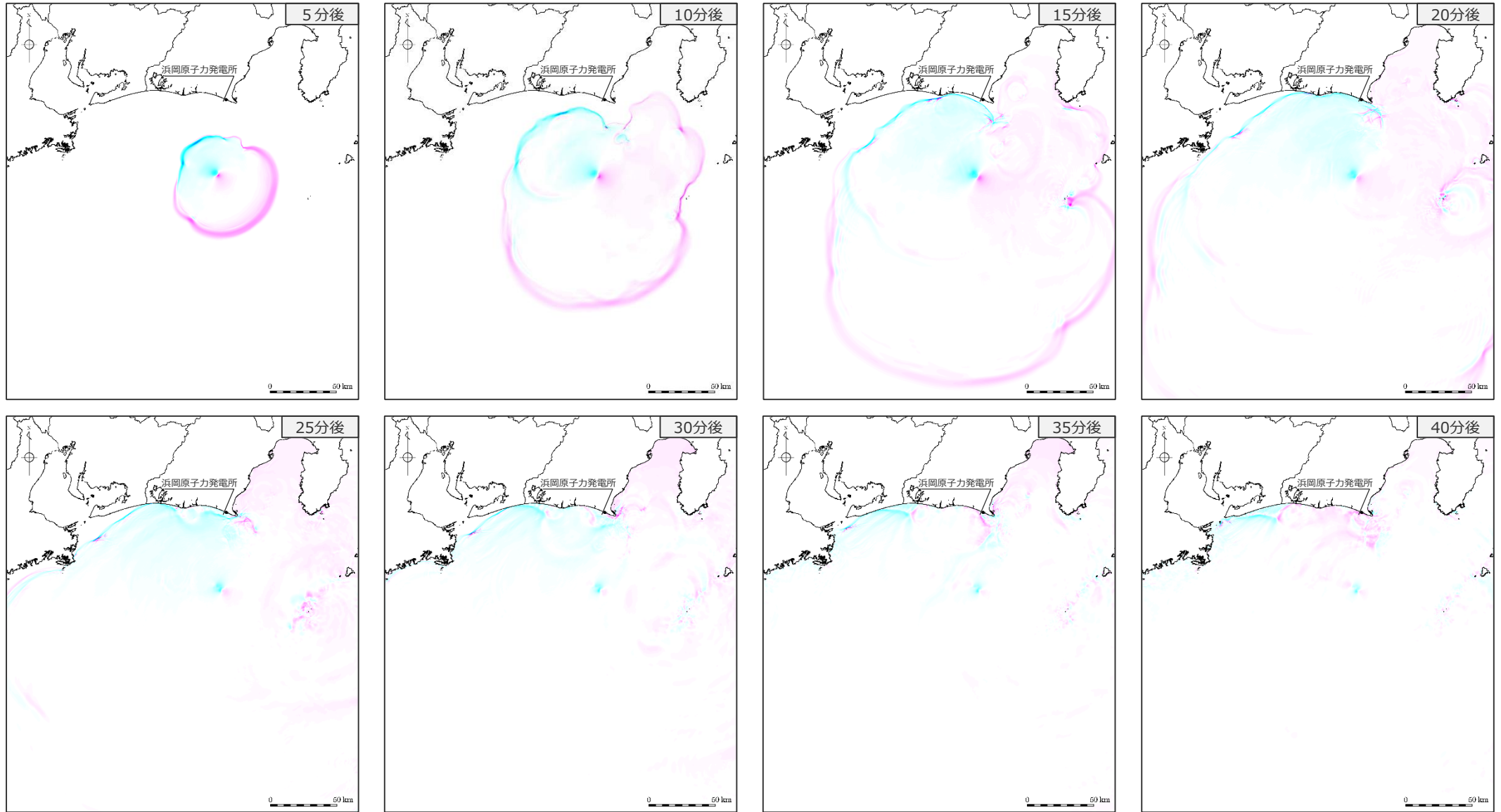
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P. +0.80mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット (1) 水位上昇側 s12地点の海底地すべり (二層流モデル)

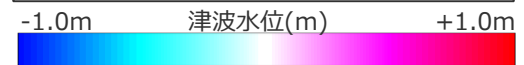
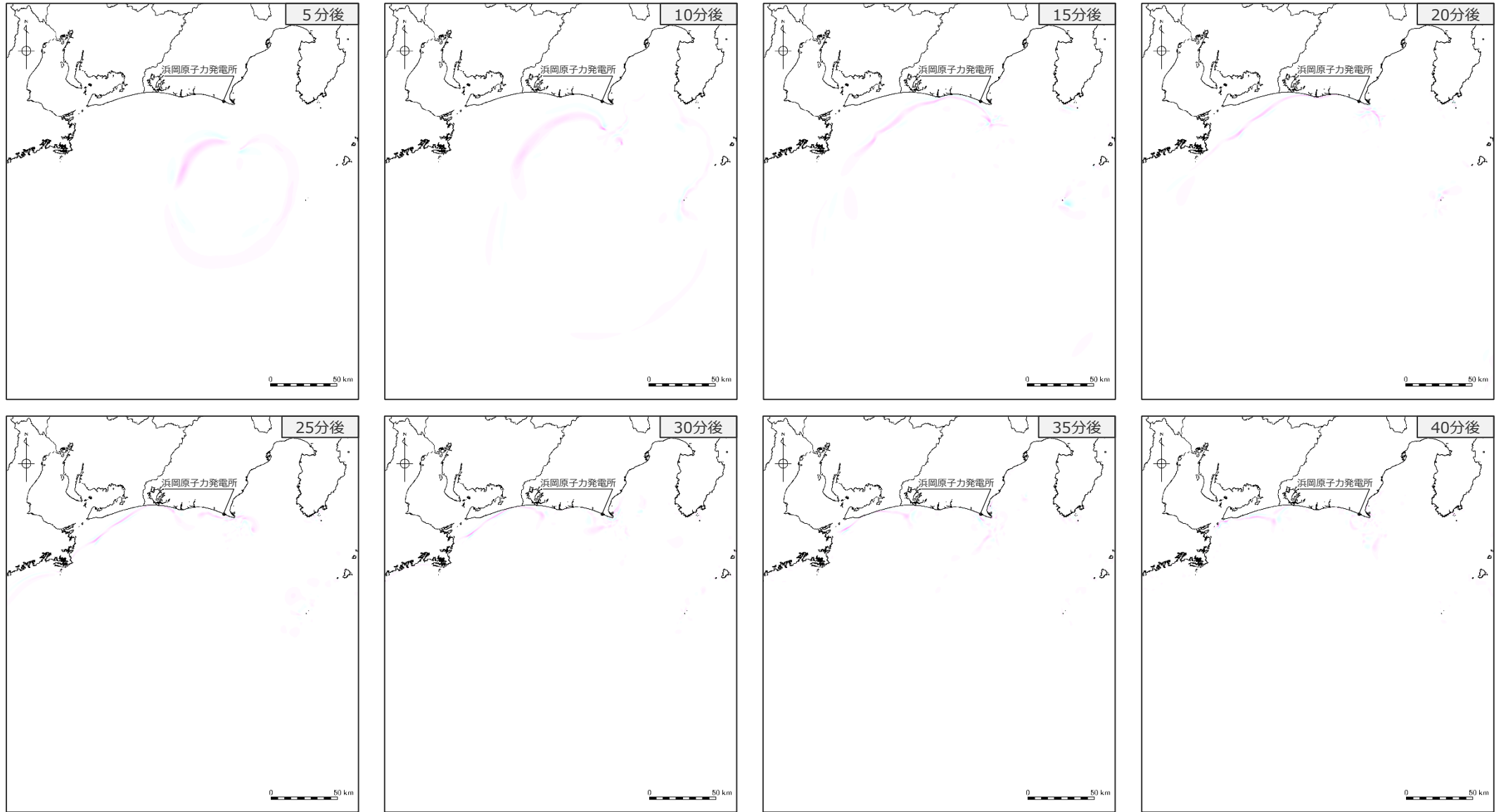
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P.+0.80mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（1）水位上昇側 s12地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

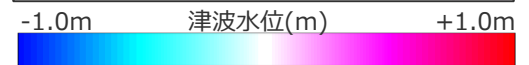
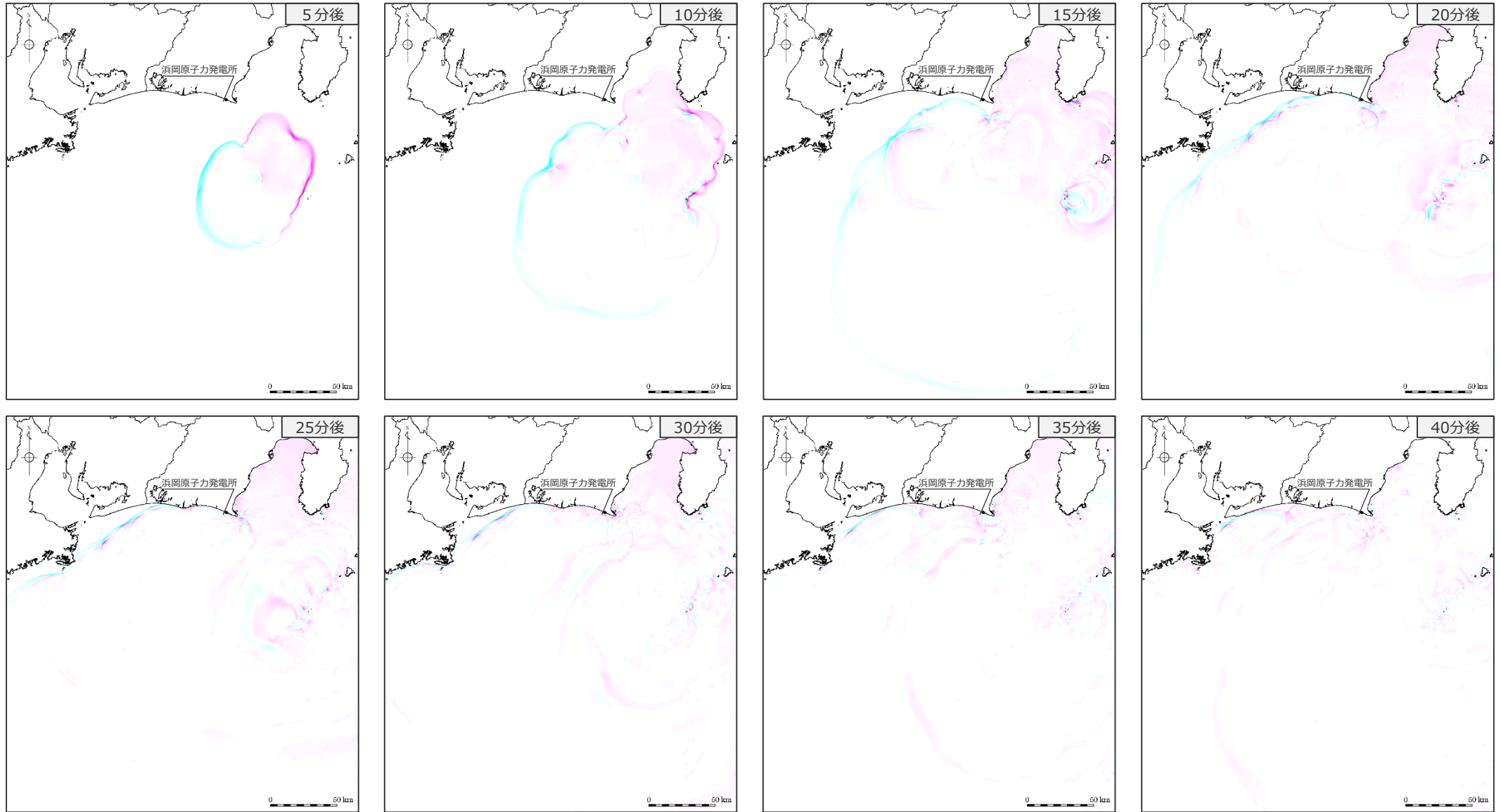
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P. +0.80mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット (1) 水位上昇側 s13地点の海底地すべり (二層流モデル)

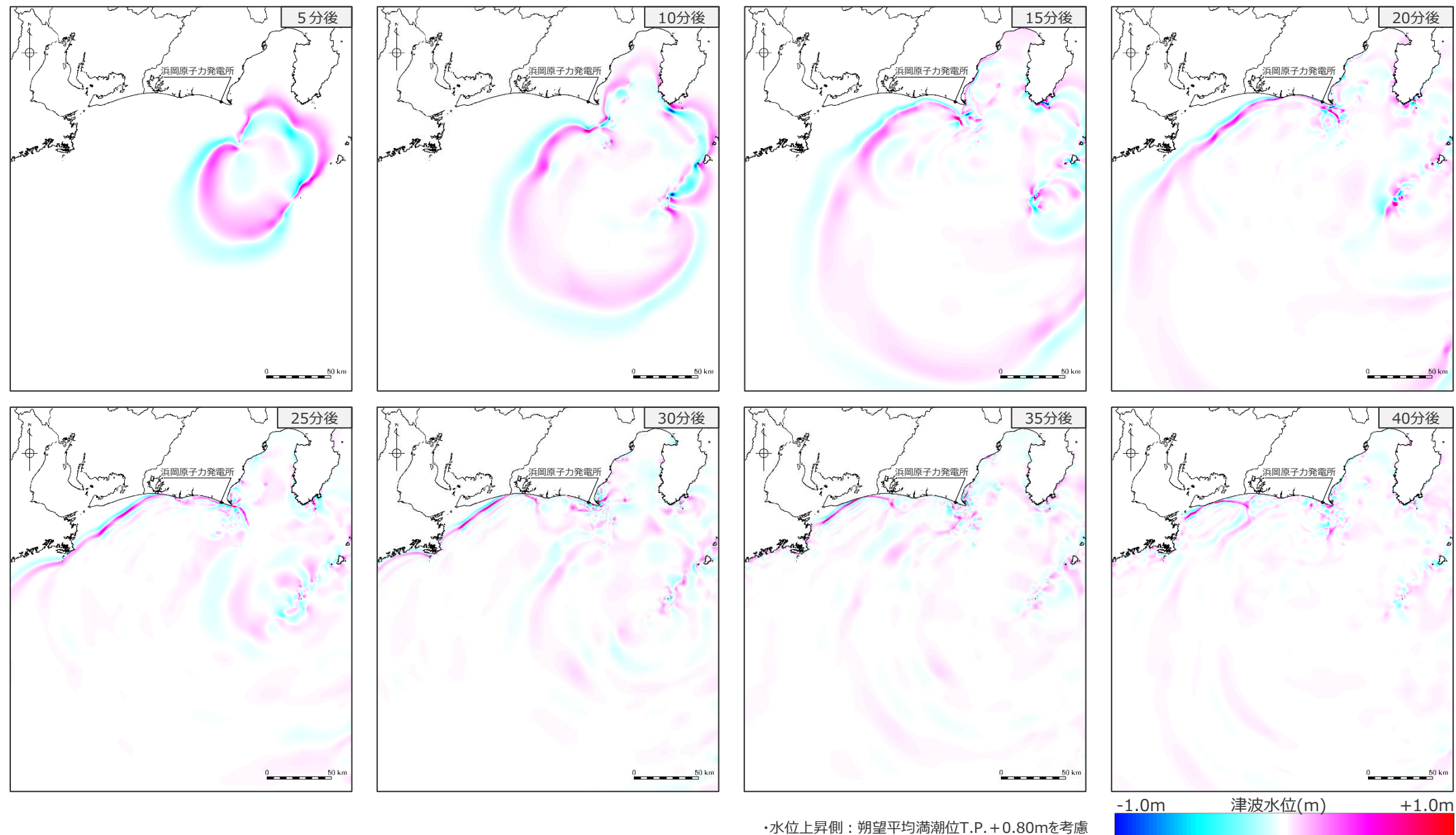
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P. +0.80mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット (1) 水位上昇側 s13地点の海底地すべり (Wattsほかの予測式)

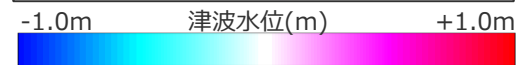
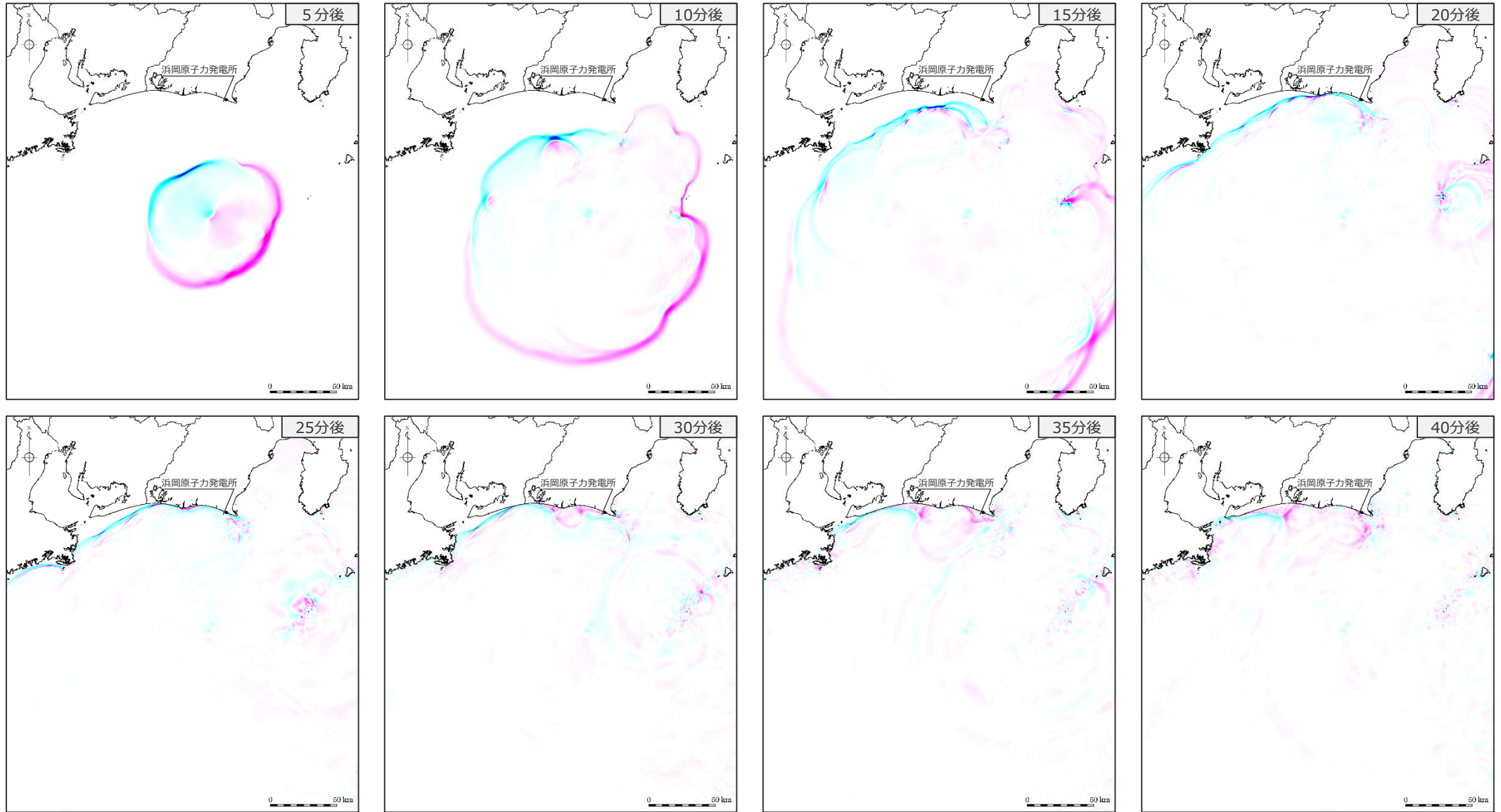
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P. +0.80mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット (1) 水位上昇側 s17地点の海底地すべり (二層流モデル)

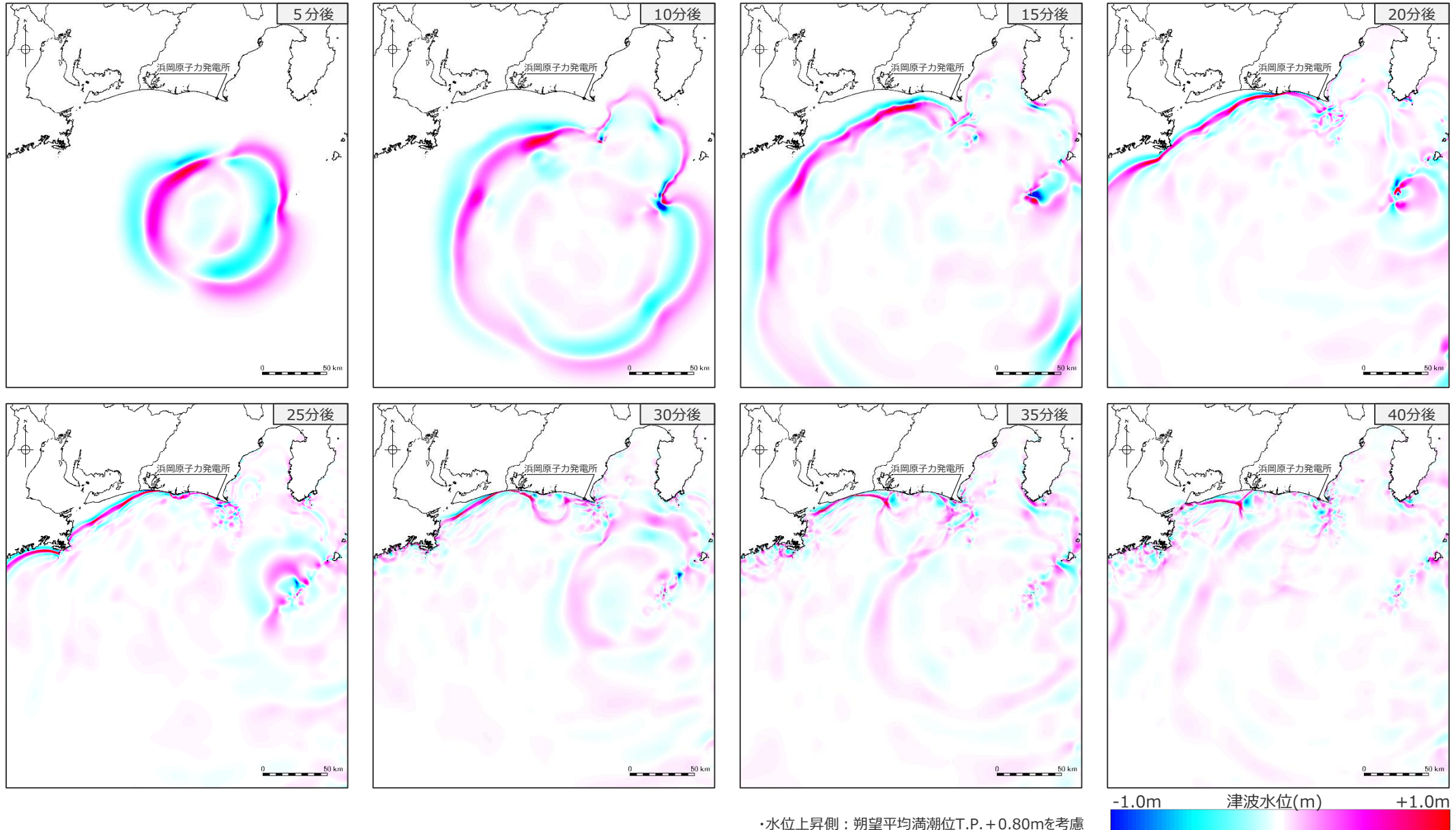
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P. +0.80mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット (1) 水位上昇側 s17地点の海底地すべり (Wattsほかの予測式)

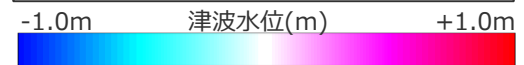
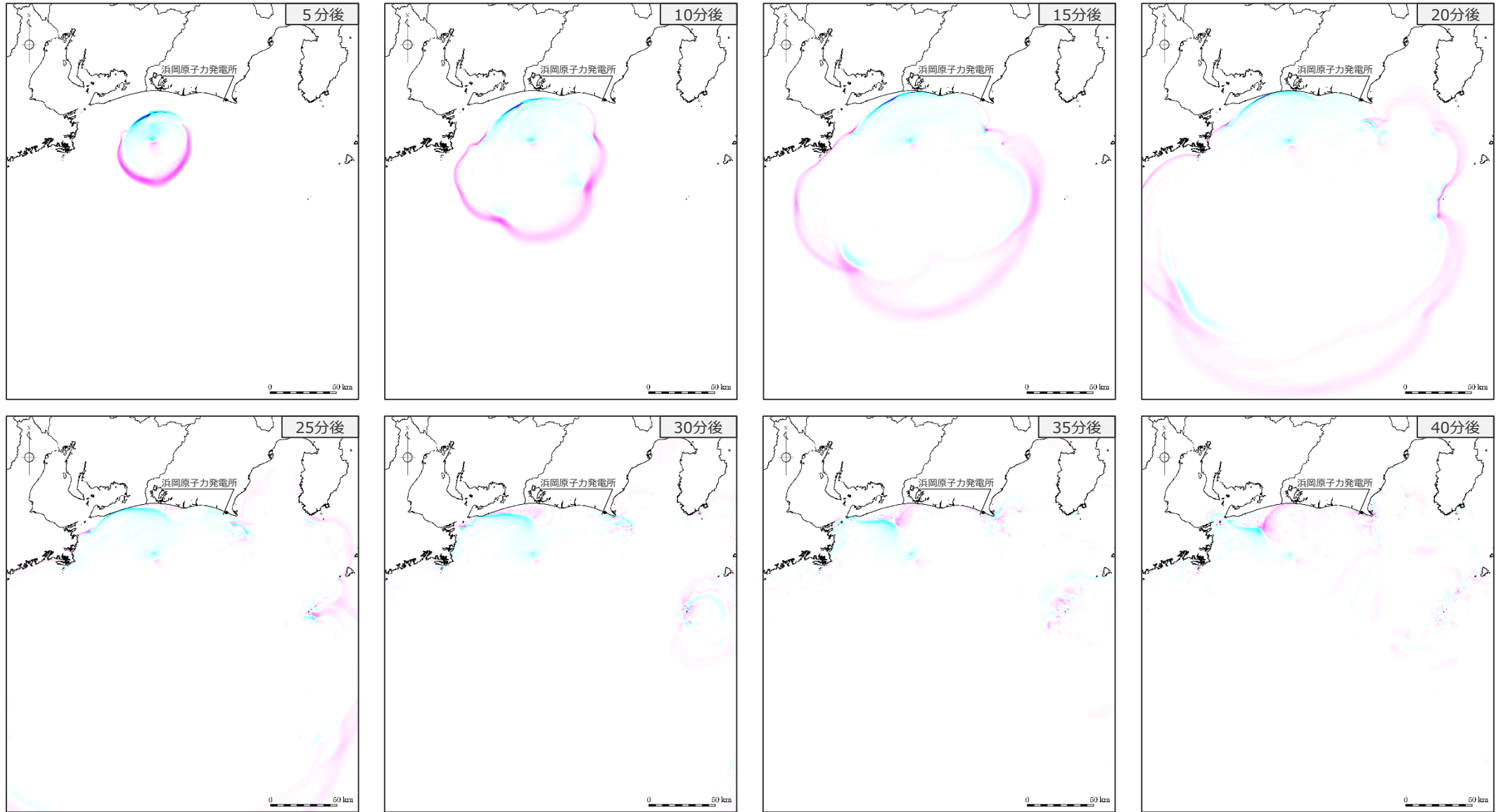
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



遠州灘沖（大陸棚斜面）の海底地すべり

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット (1) 水位上昇側 s22地点の海底地すべり (二層流モデル)

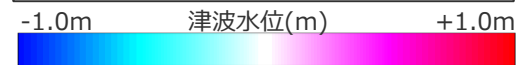
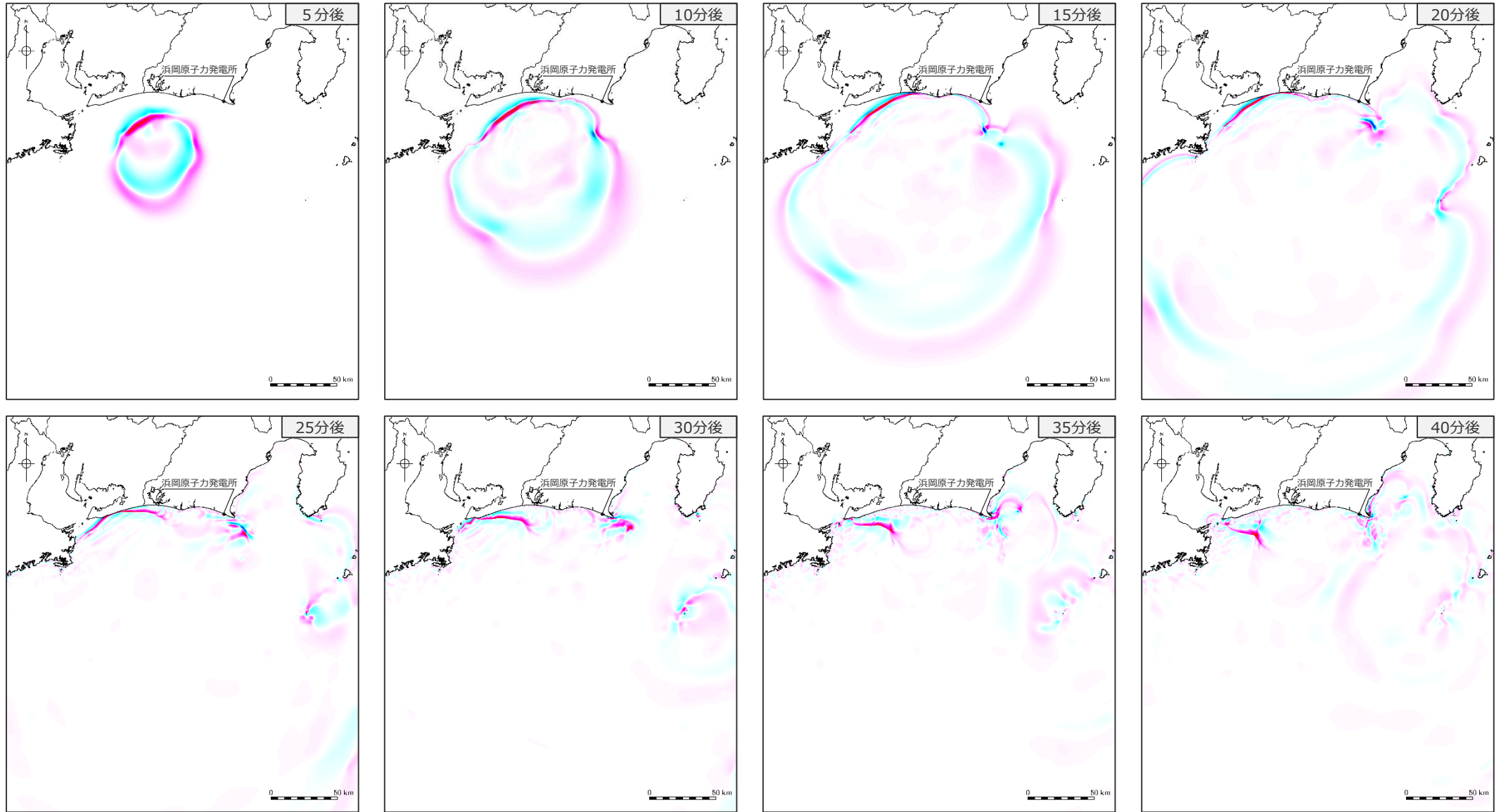
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P. +0.80mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（1）水位上昇側 s22地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

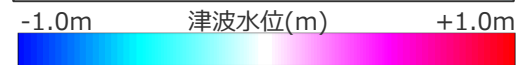
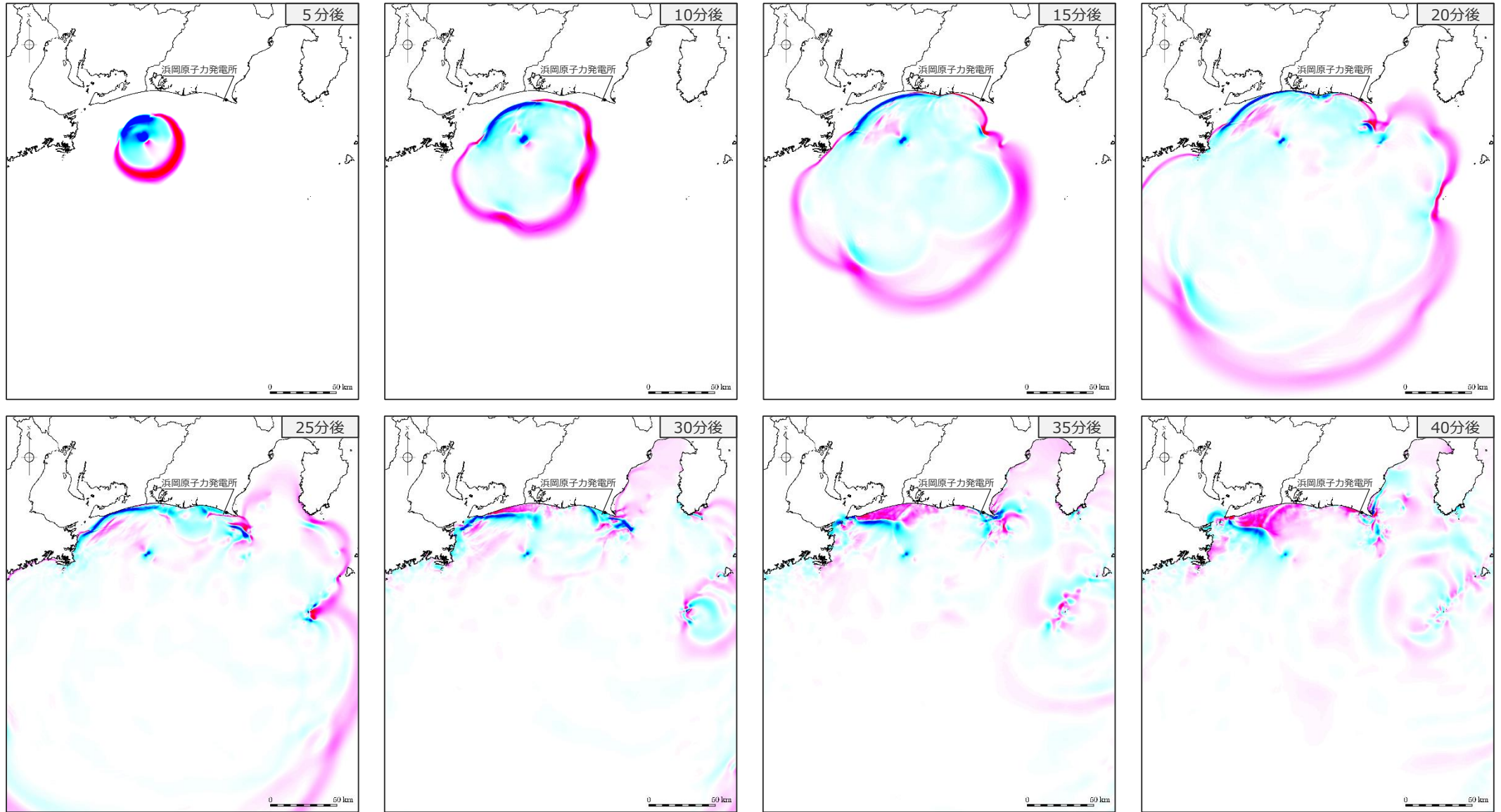
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P.+0.80mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット (1) 水位上昇側 s26地点の海底地すべり (二層流モデル)

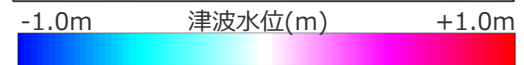
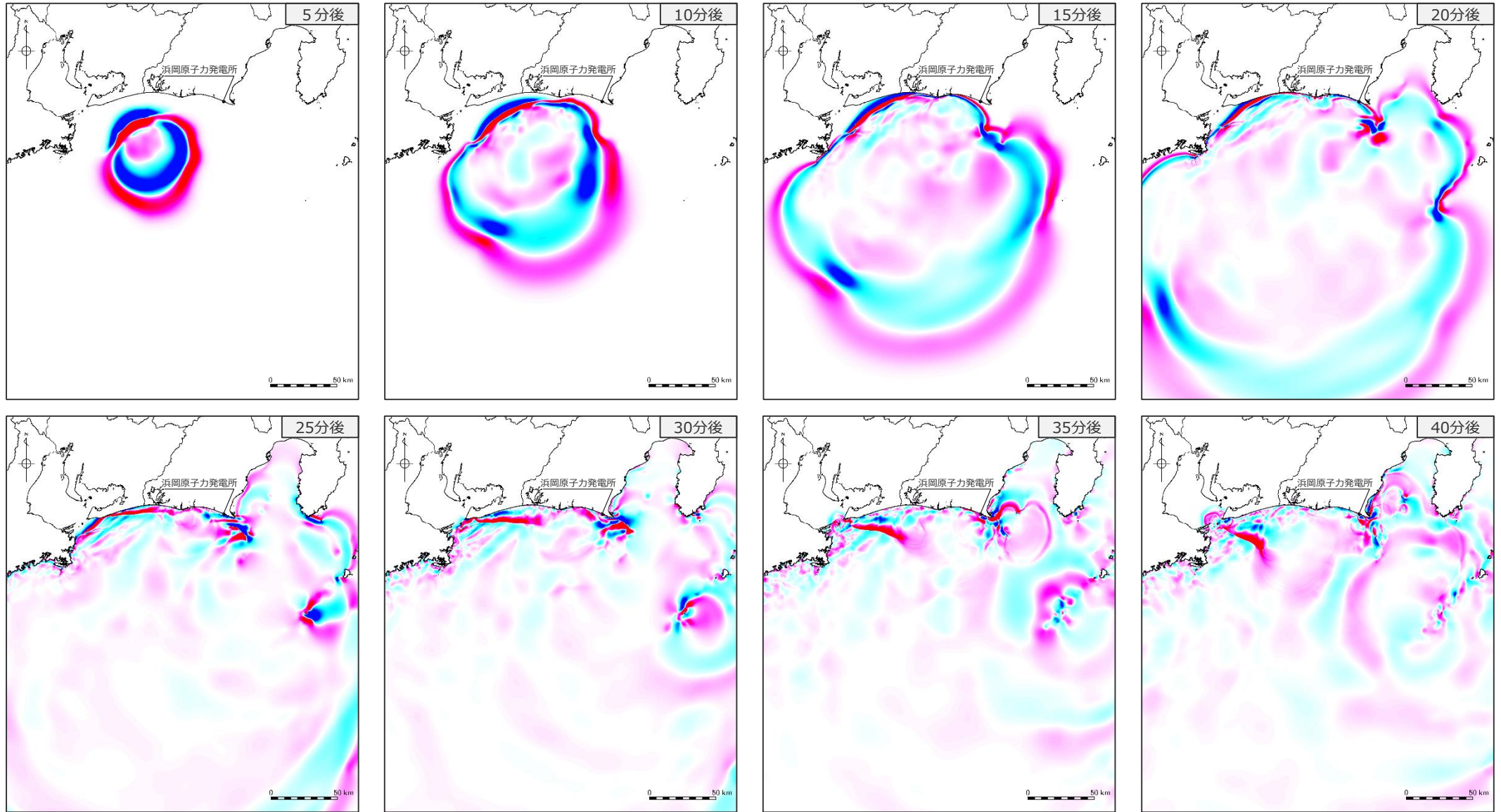
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P.+0.80mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット (1) 水位上昇側 s26地点の海底地すべり (Wattsほかの予測式)

■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。

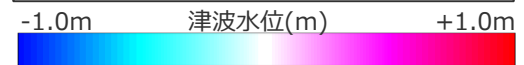
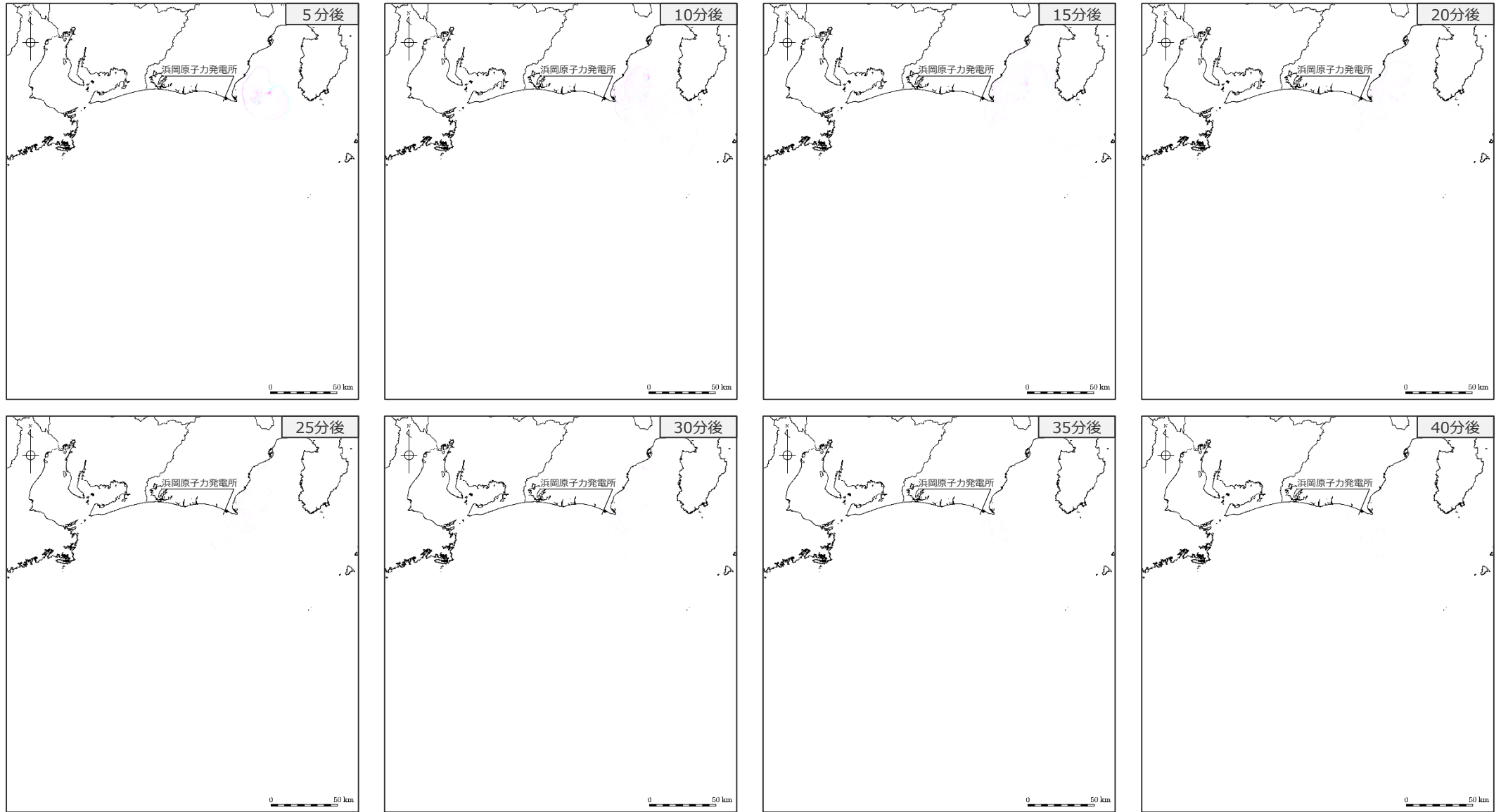


・水位上昇側：朔望平均満潮T.P.+0.80mを考慮

駿河湾内の海底地すべり

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット (1) 水位上昇側 s1地点の海底地すべり (二層流モデル)

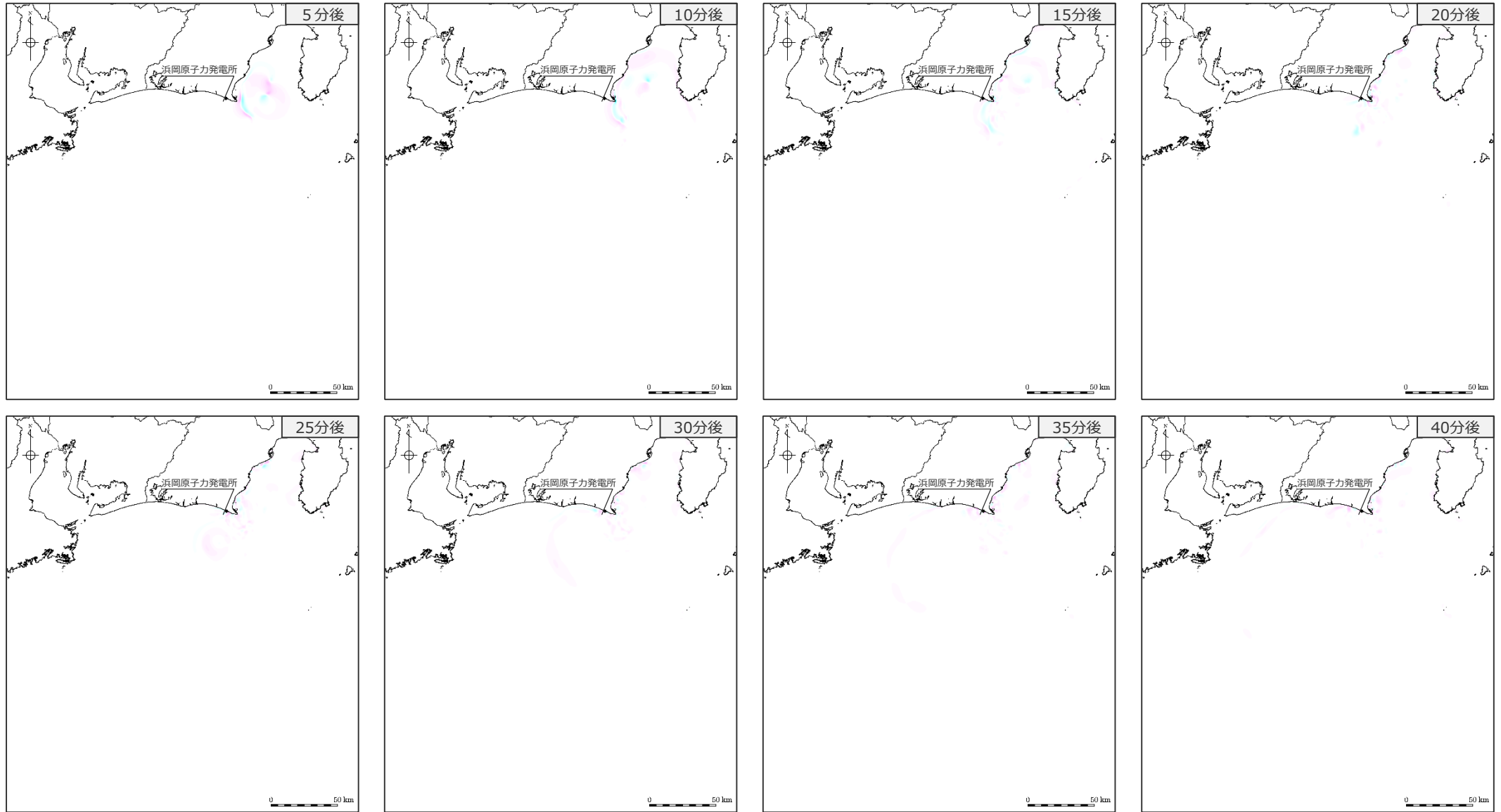
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



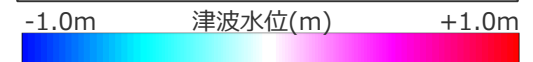
・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P. +0.80mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（1）水位上昇側 s1地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。

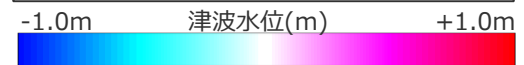
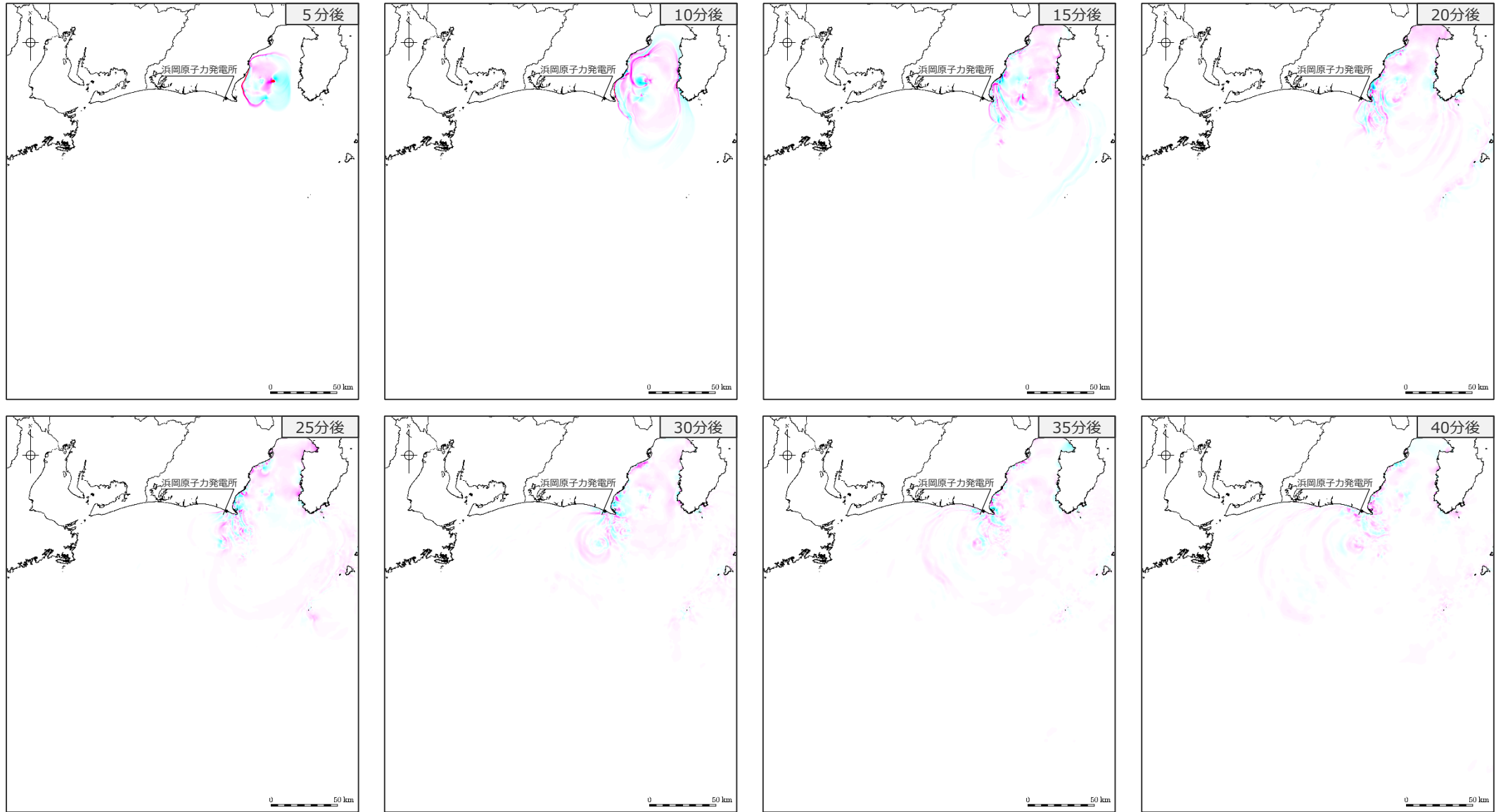


・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P. +0.80mを考慮



7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット (1) 水位上昇側 s3地点の海底地すべり (二層流モデル)

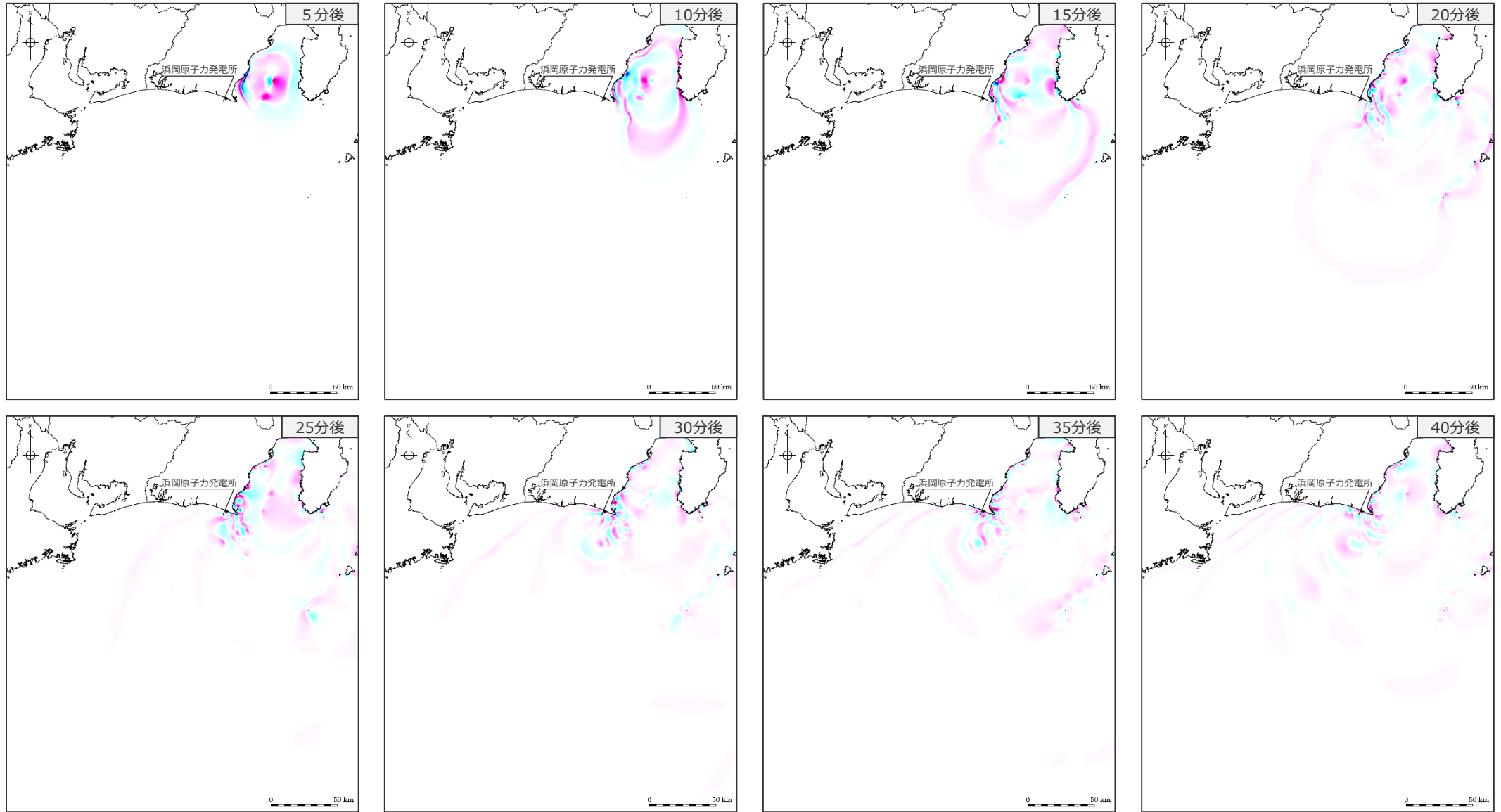
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P. +0.80mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（1）水位上昇側 s3地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

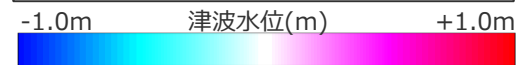
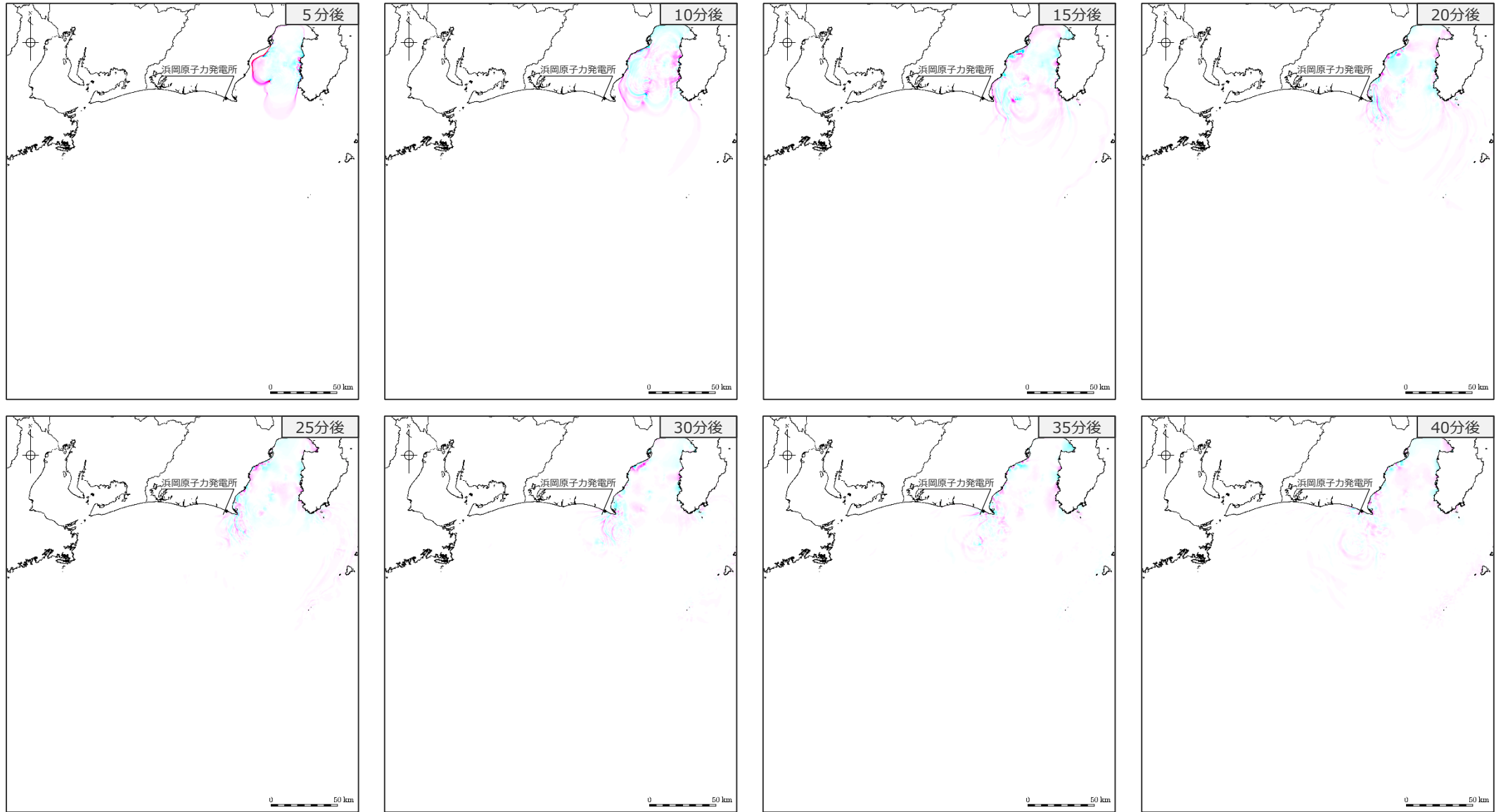
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P.+0.80mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット (1) 水位上昇側 s10地点の海底地すべり (二層流モデル)

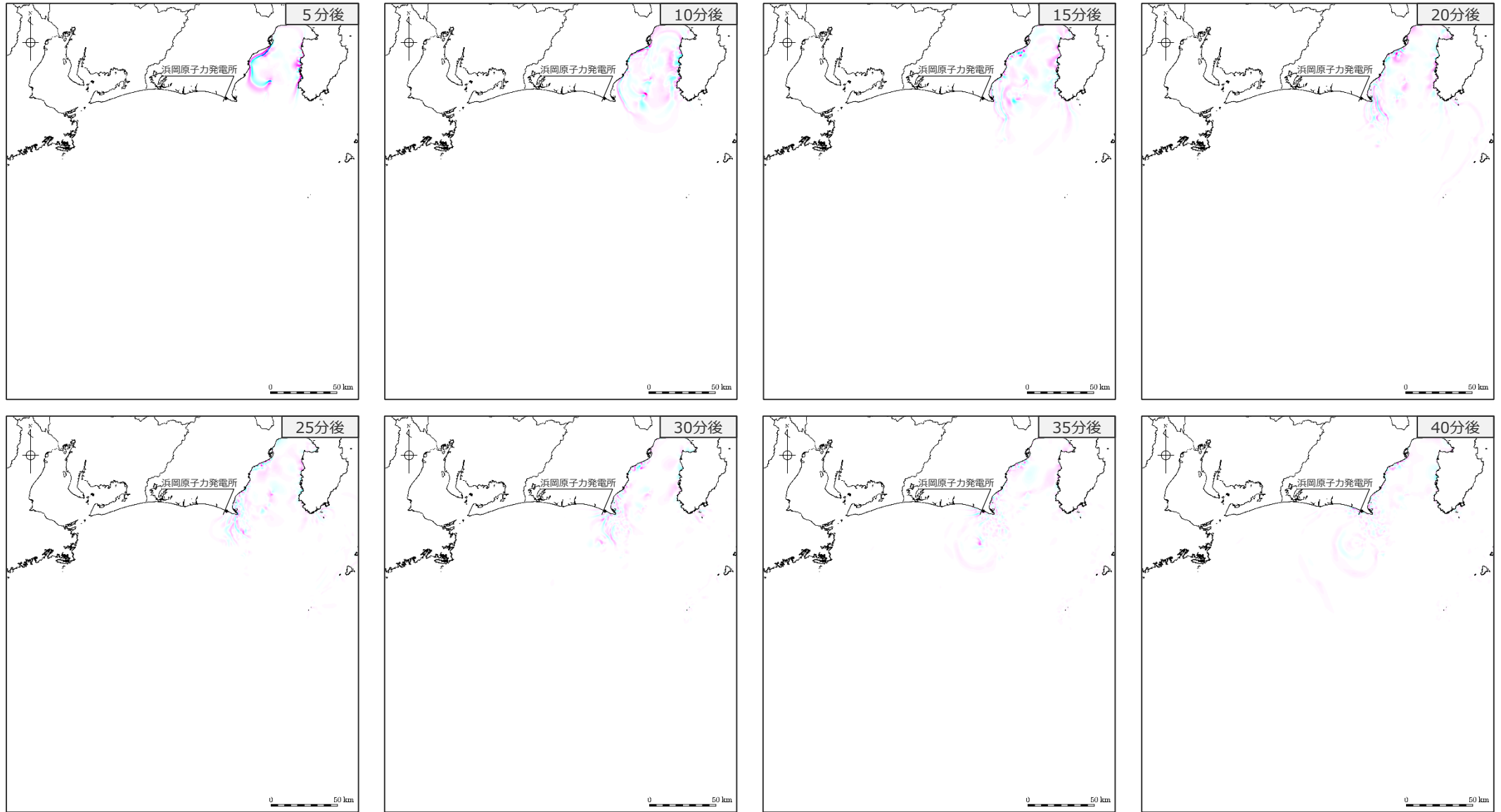
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



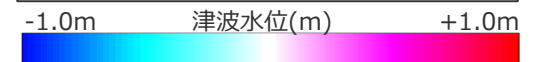
・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P. +0.80mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（1）水位上昇側 s10地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P. +0.80mを考慮



7 海底地すべりの津波伝播状況の スナップショット

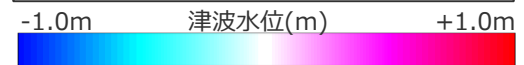
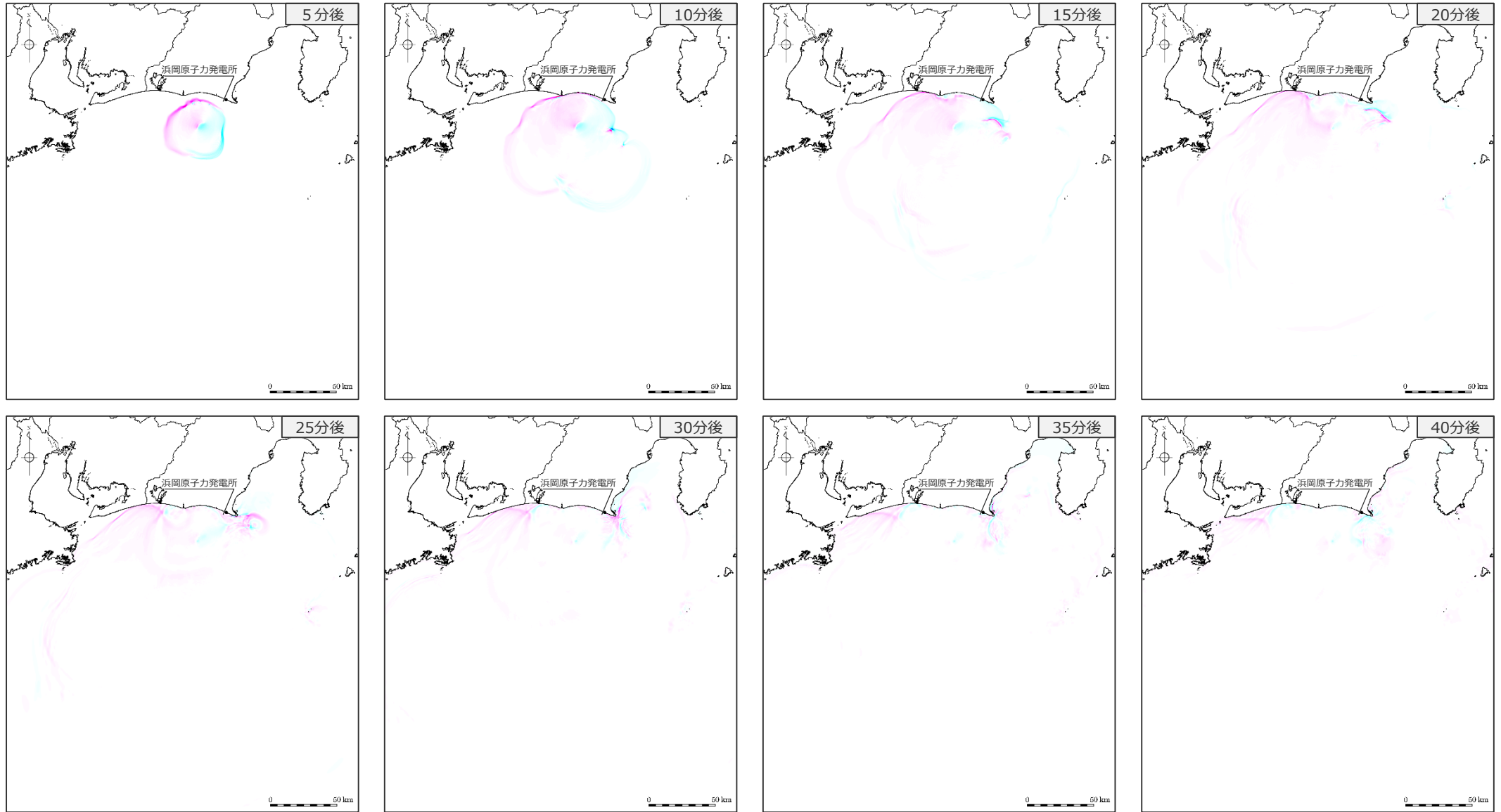
(1) 水位上昇側

(2) 水位下降側

遠州灘沖（海盆内）の海底地すべり

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s2地点の海底地すべり（二層流モデル）

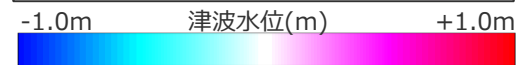
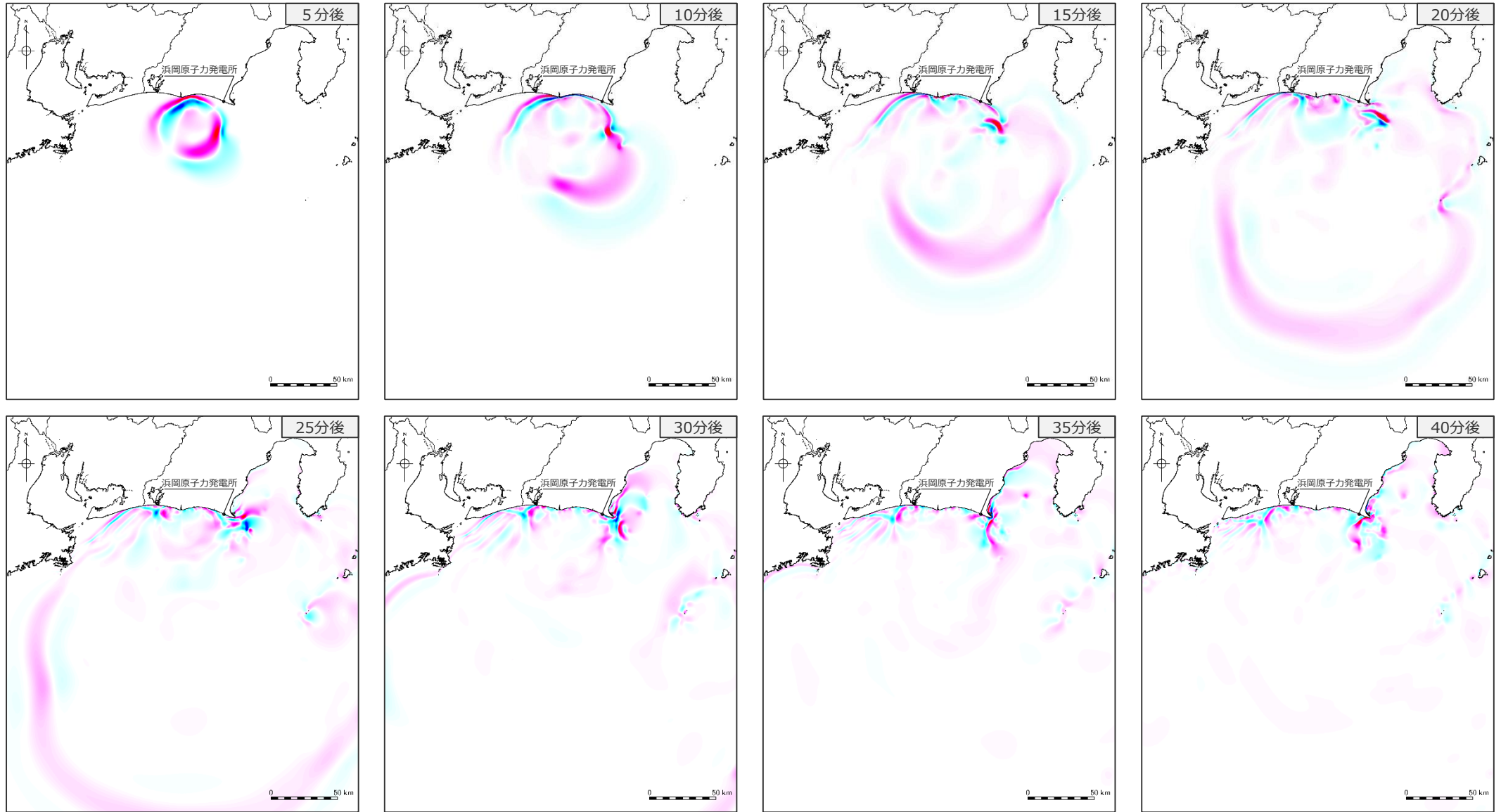
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s2地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

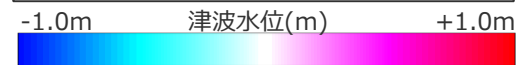
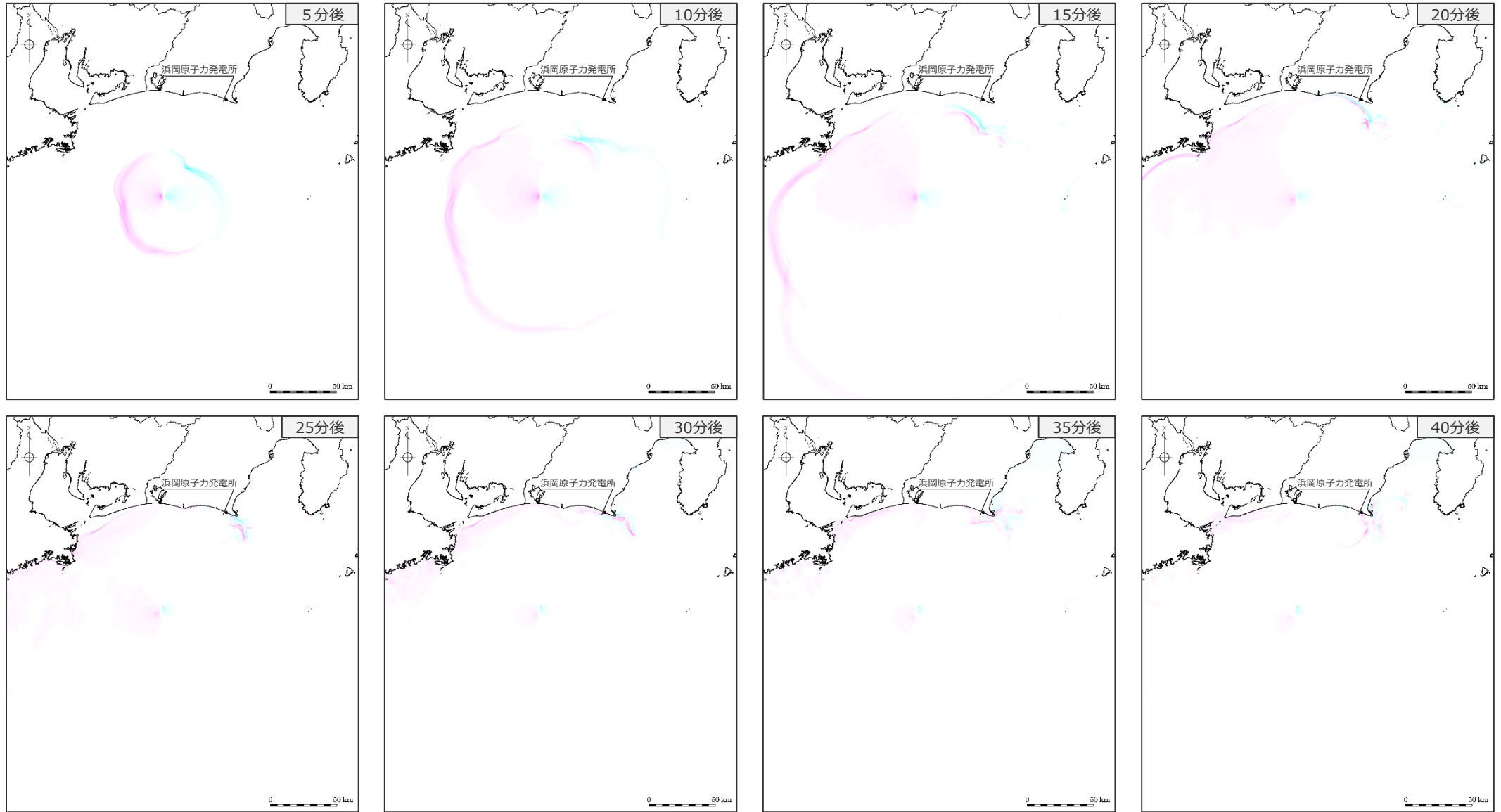
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s18地点の海底地すべり（二層流モデル）

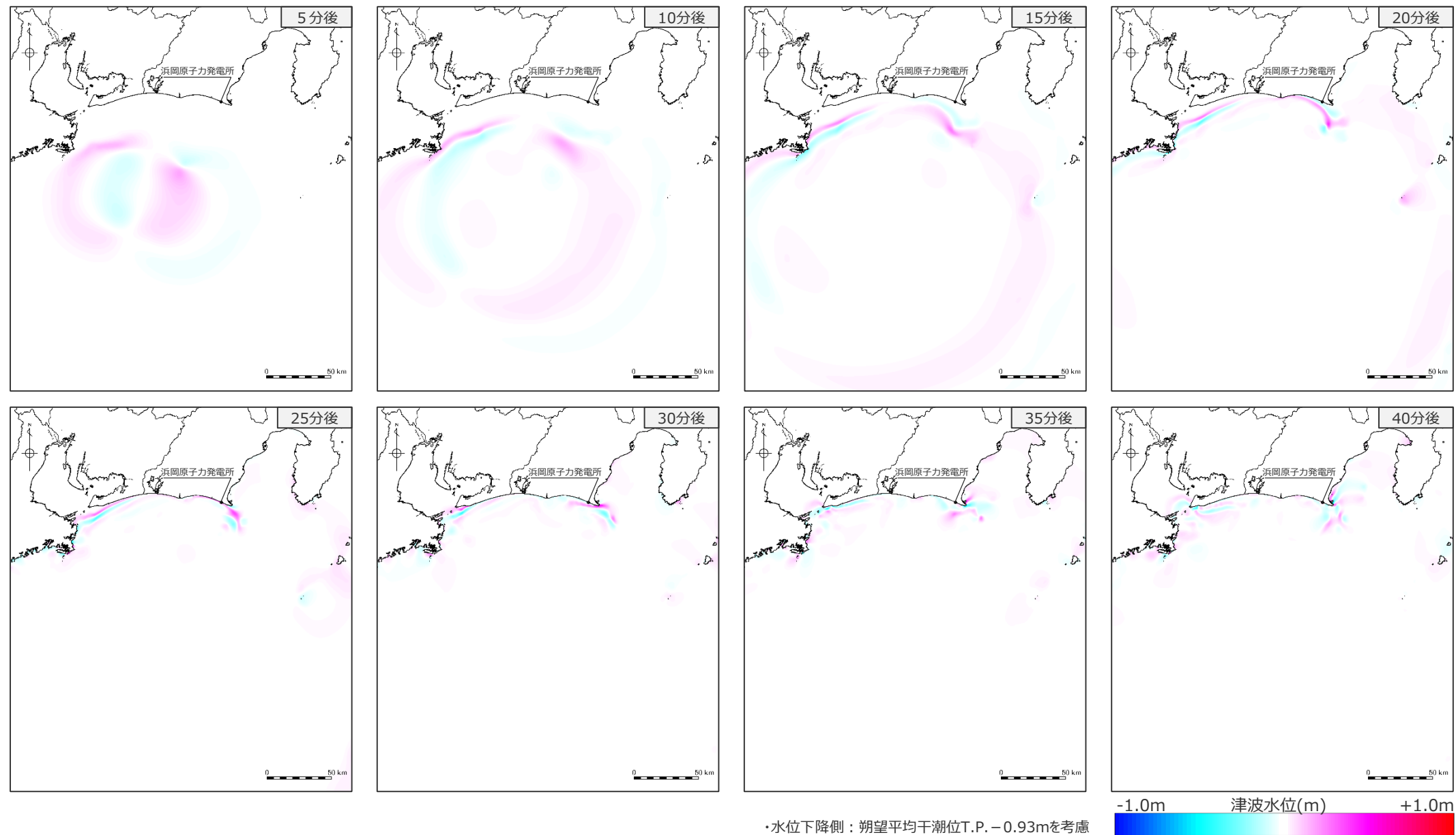
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. - 0.93mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s18地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

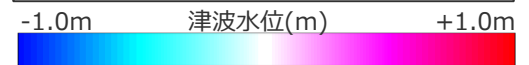
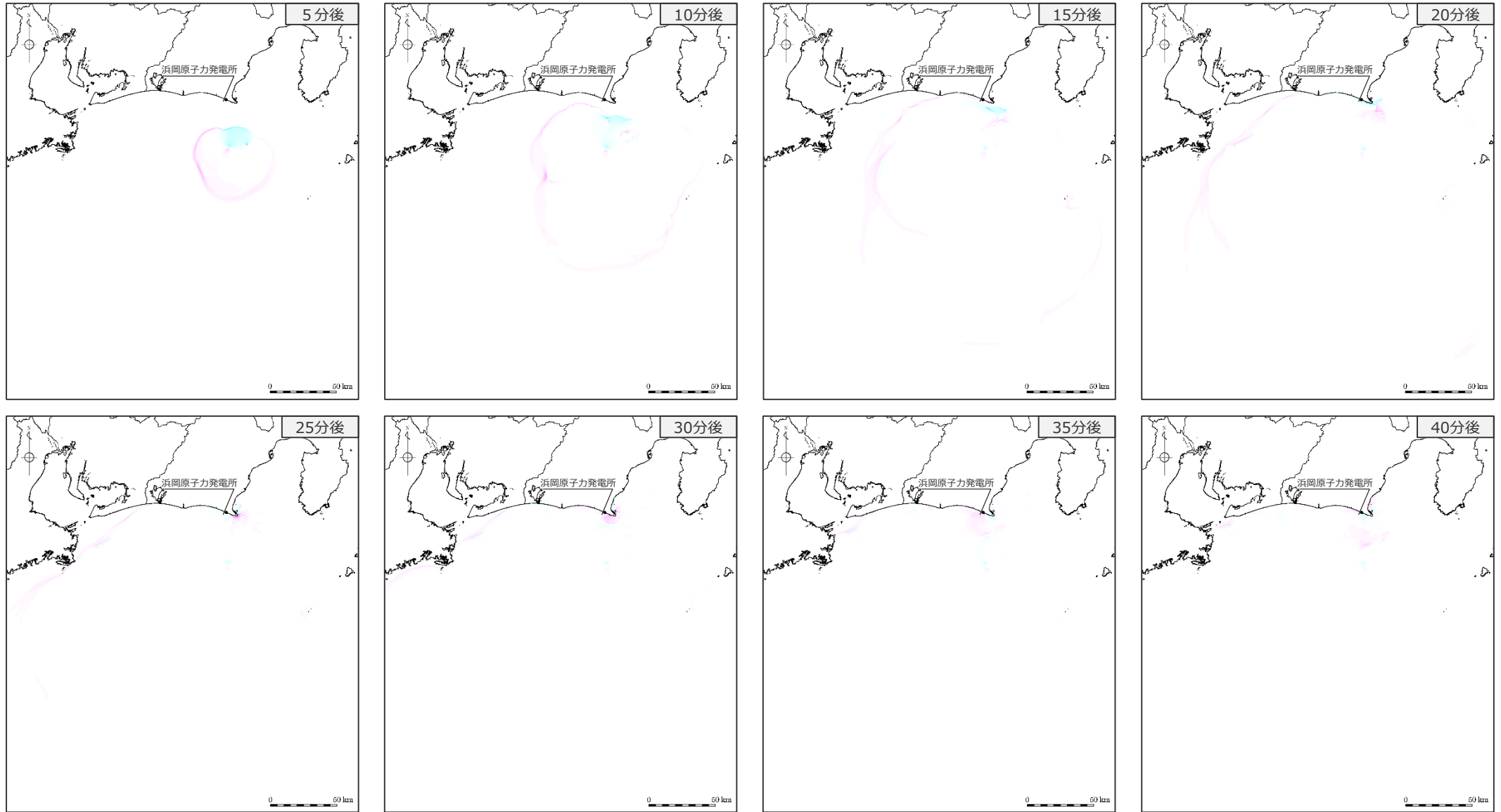
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



遠州灘沖（外縁隆起帯トラフ側斜面） の海底地すべり

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s4地点の海底地すべり（二層流モデル）

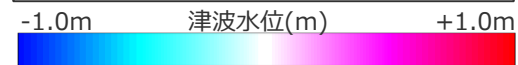
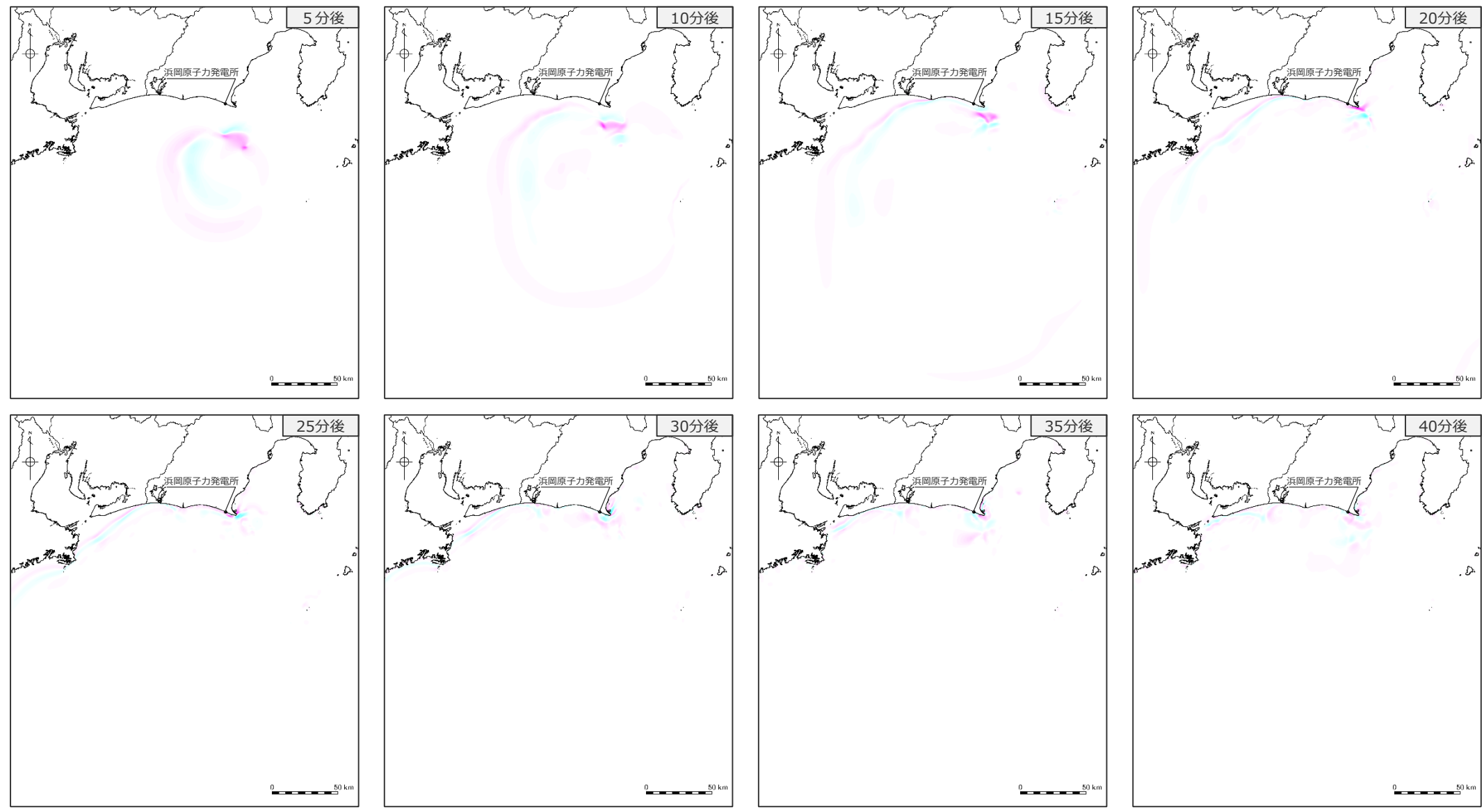
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s4地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

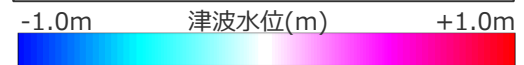
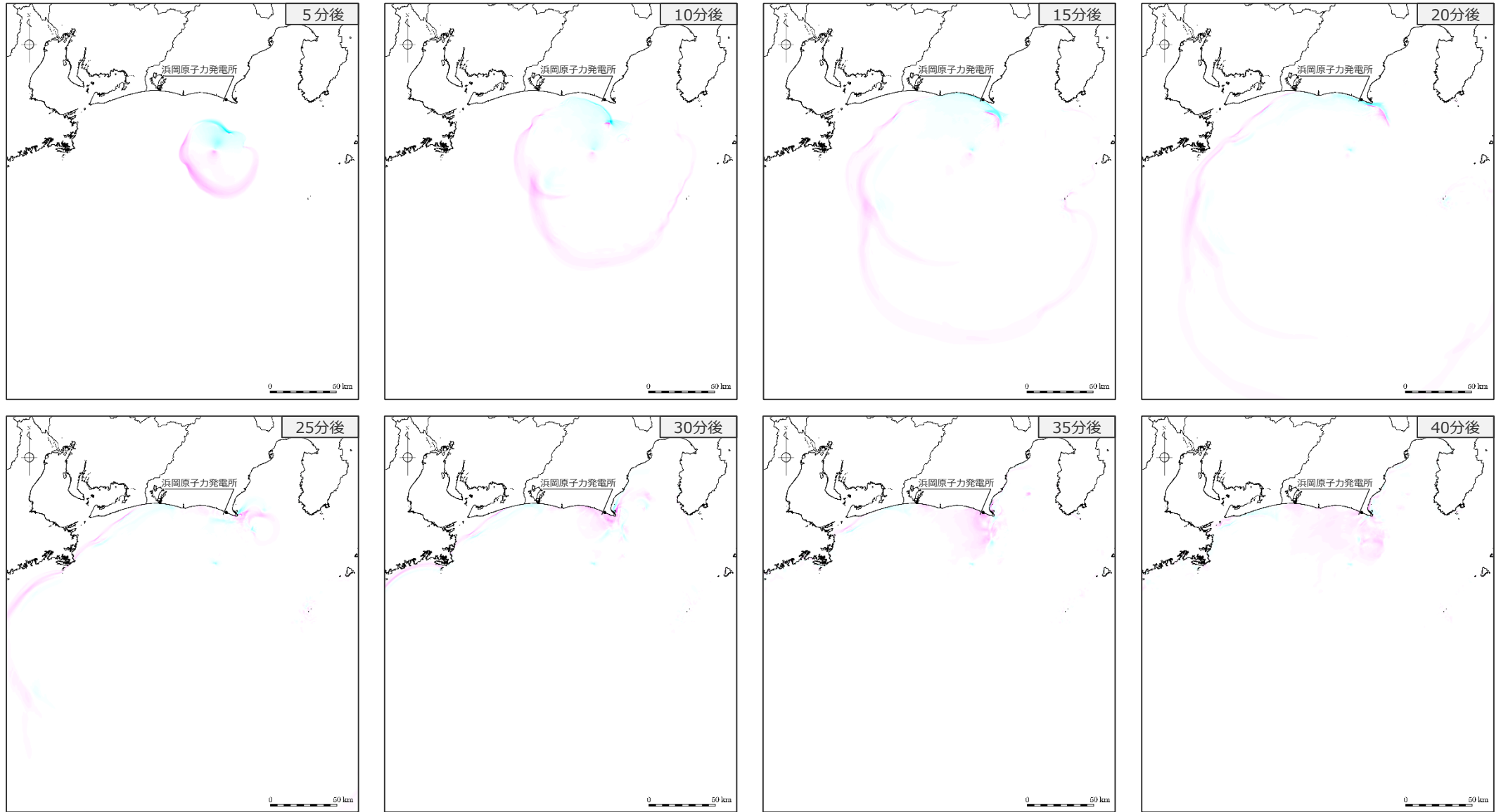
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. - 0.93mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s5地点の海底地すべり（二層流モデル）

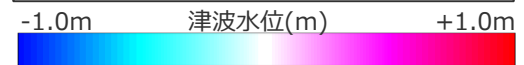
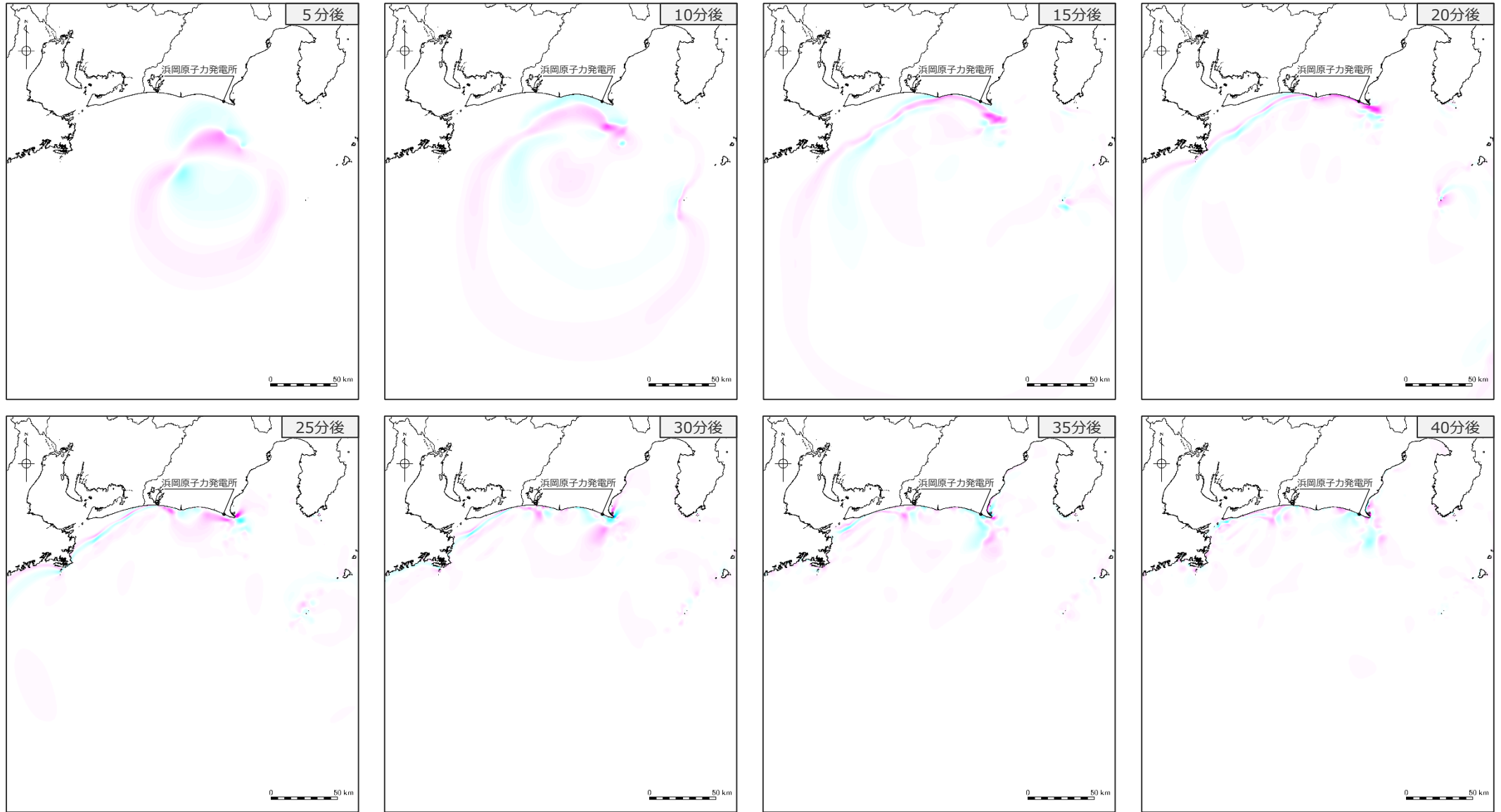
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s5地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

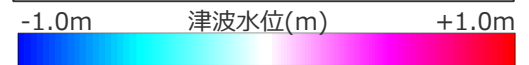
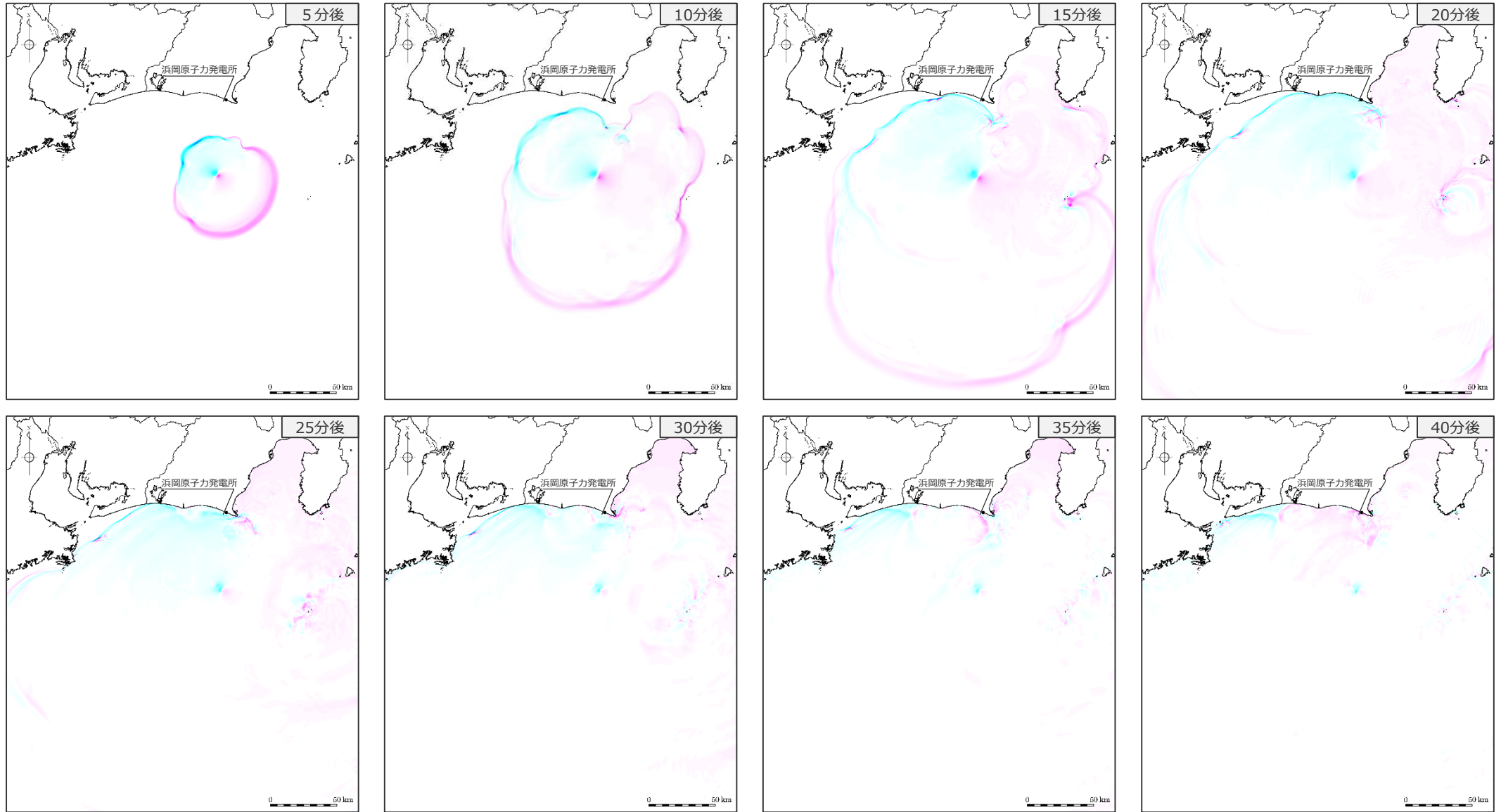
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s12地点の海底地すべり（二層流モデル）

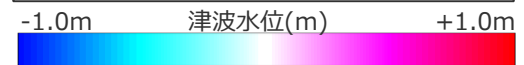
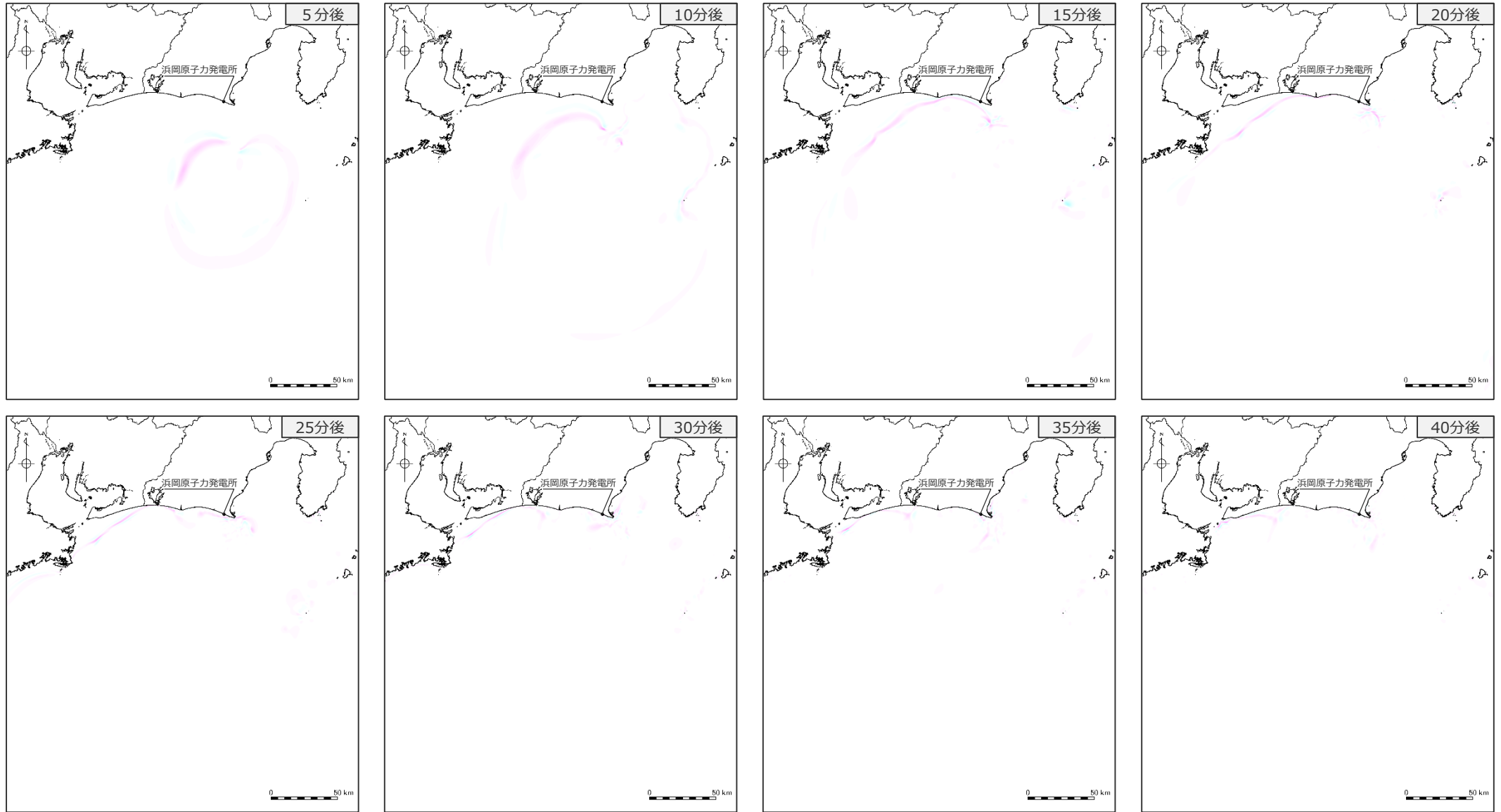
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s12地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

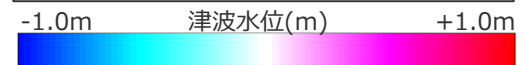
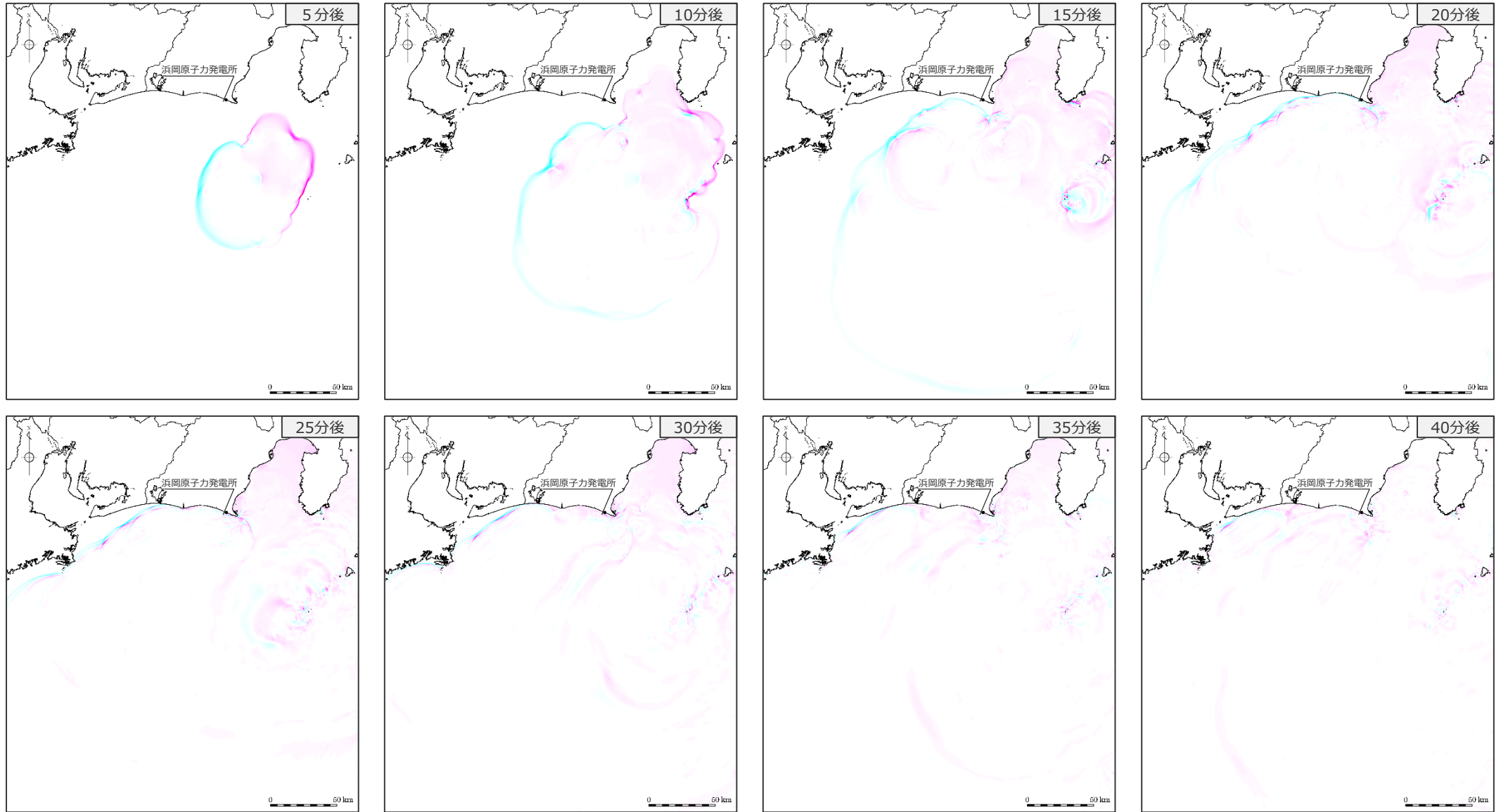
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s13地点の海底地すべり（二層流モデル）

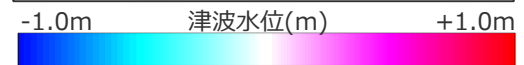
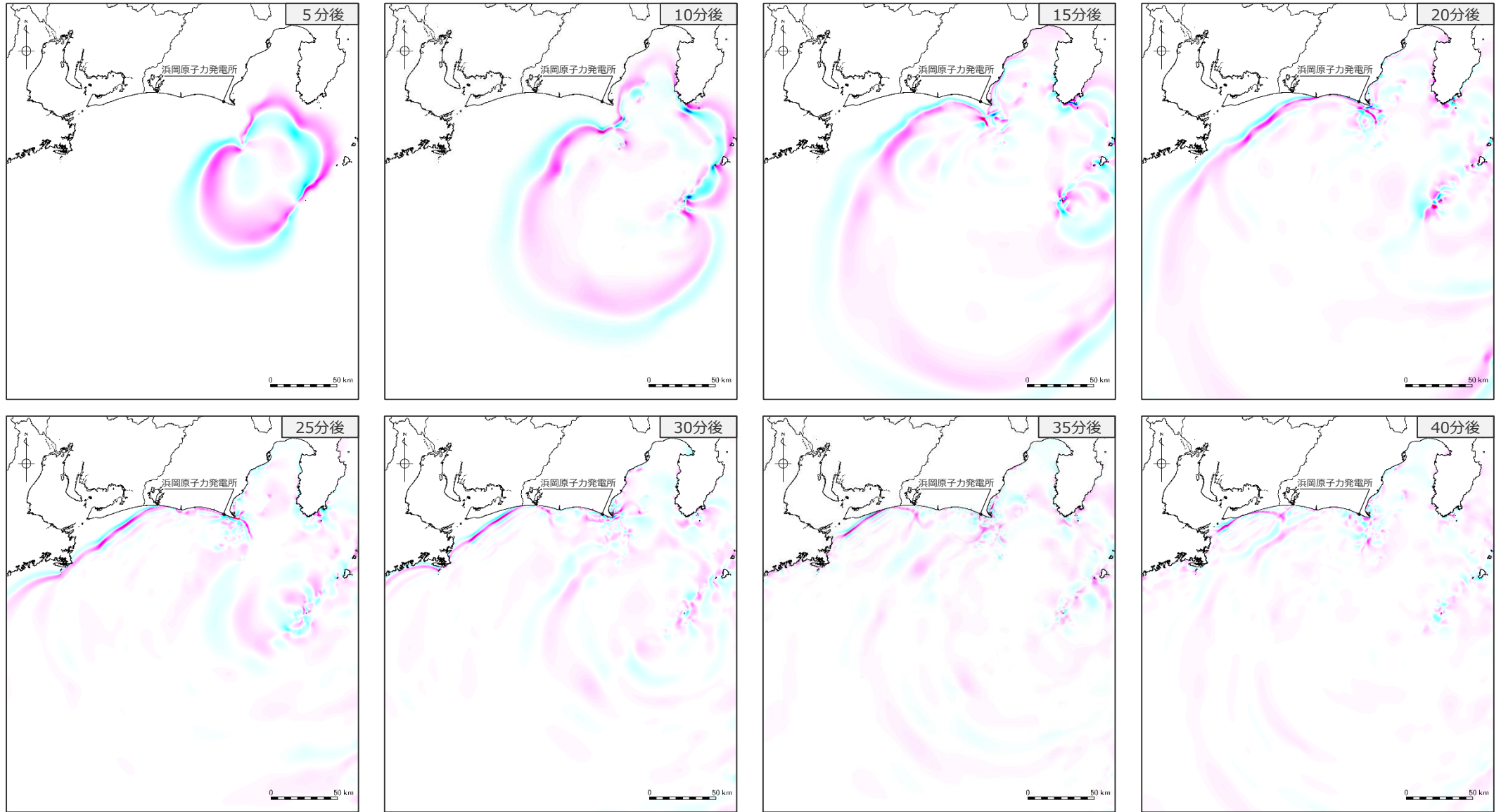
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s13地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

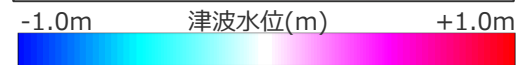
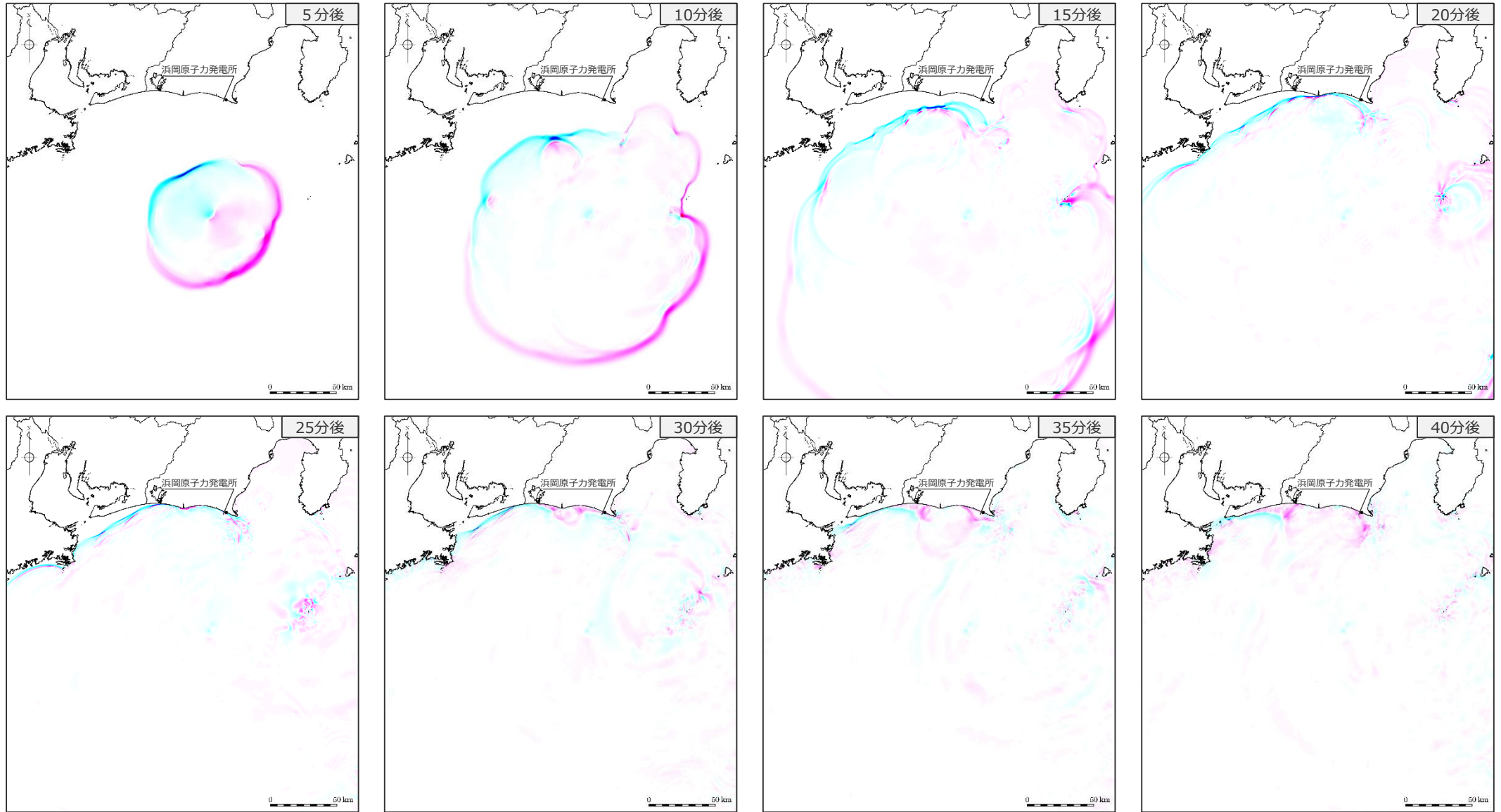
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s17地点の海底地すべり（二層流モデル）

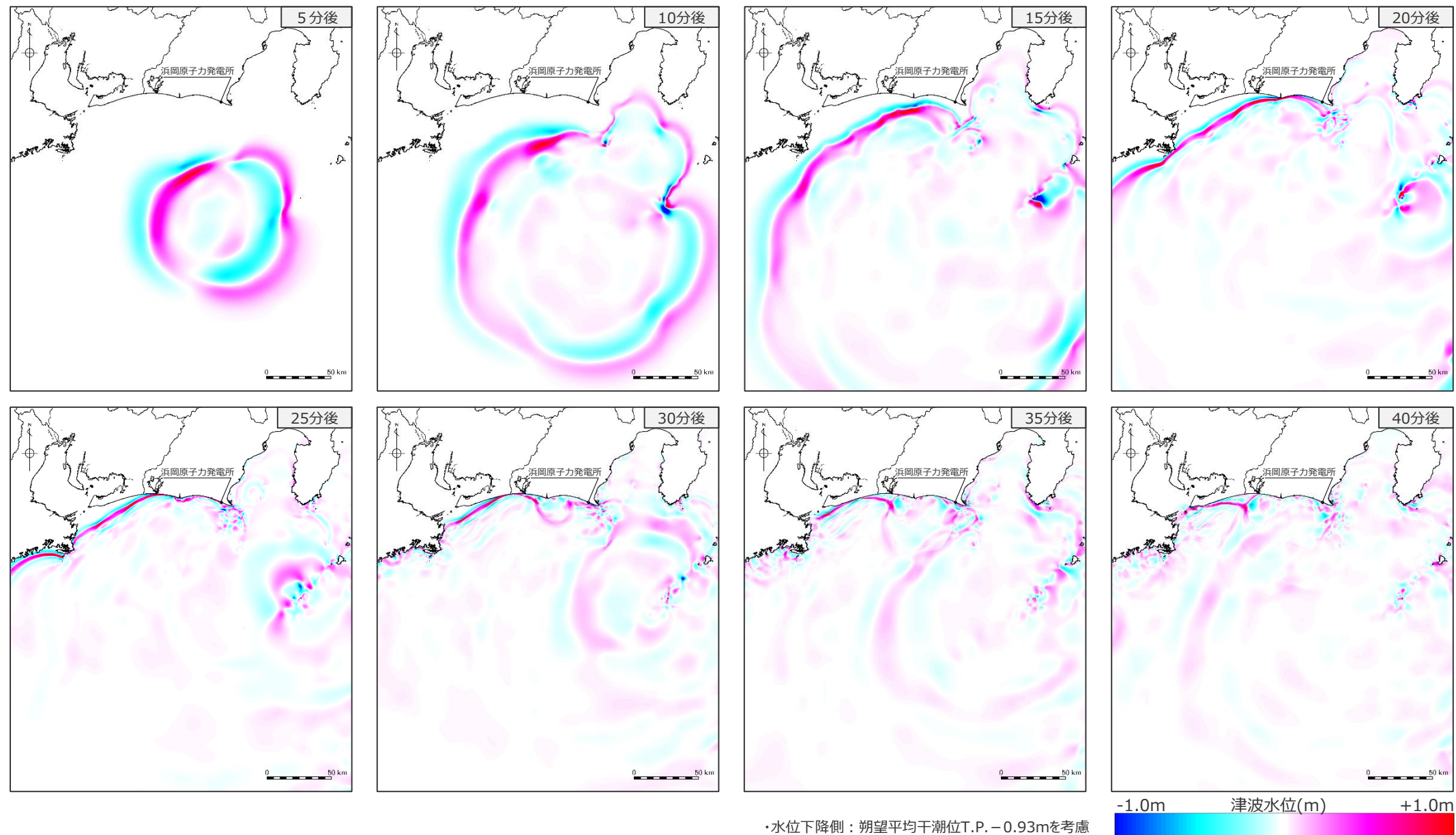
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s17地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。

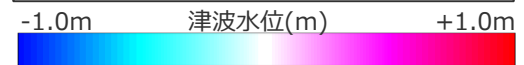
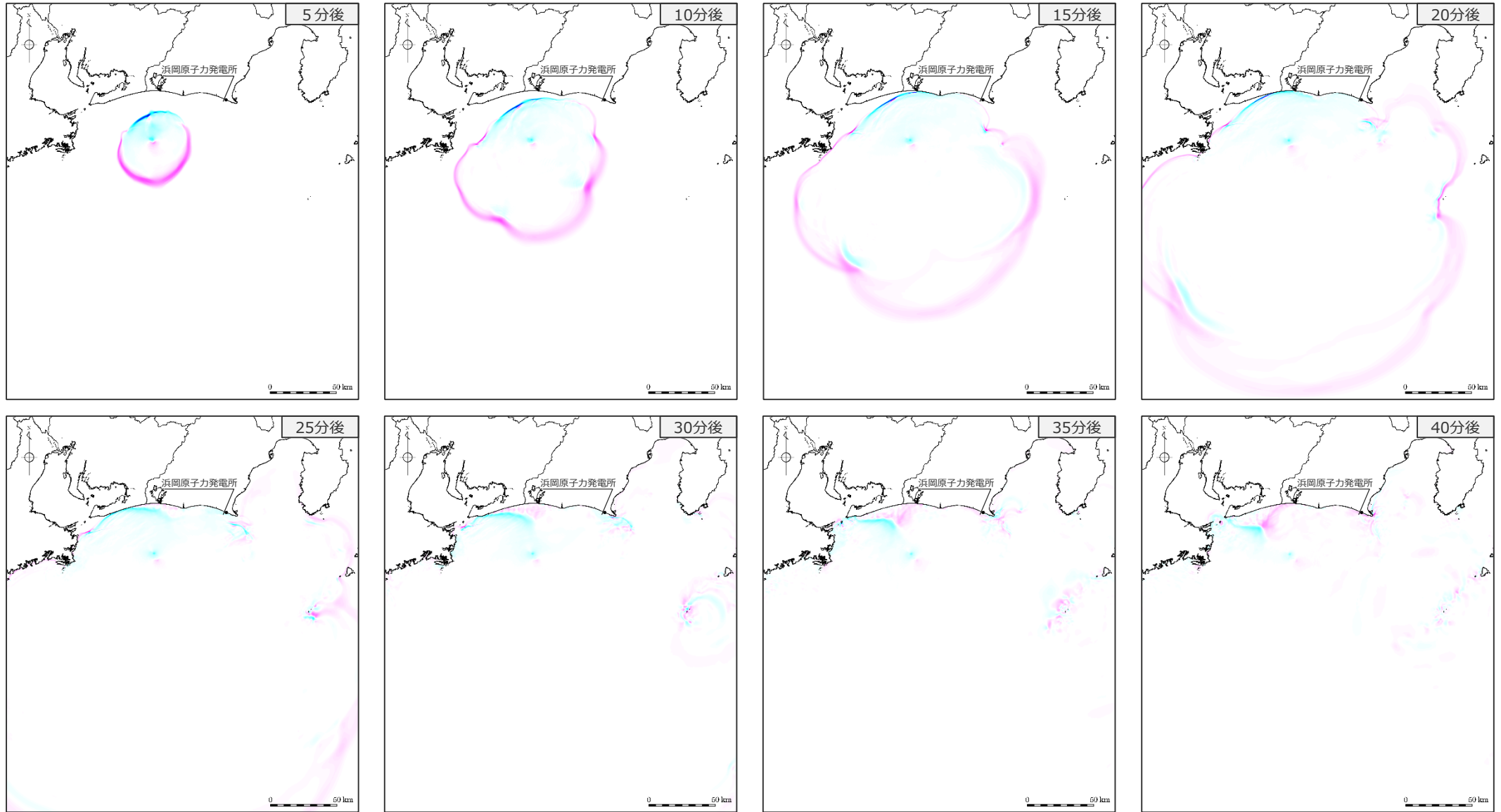


・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

遠州灘沖（大陸棚斜面）の海底地すべり

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s22地点の海底地すべり（二層流モデル）

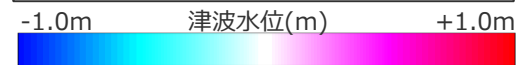
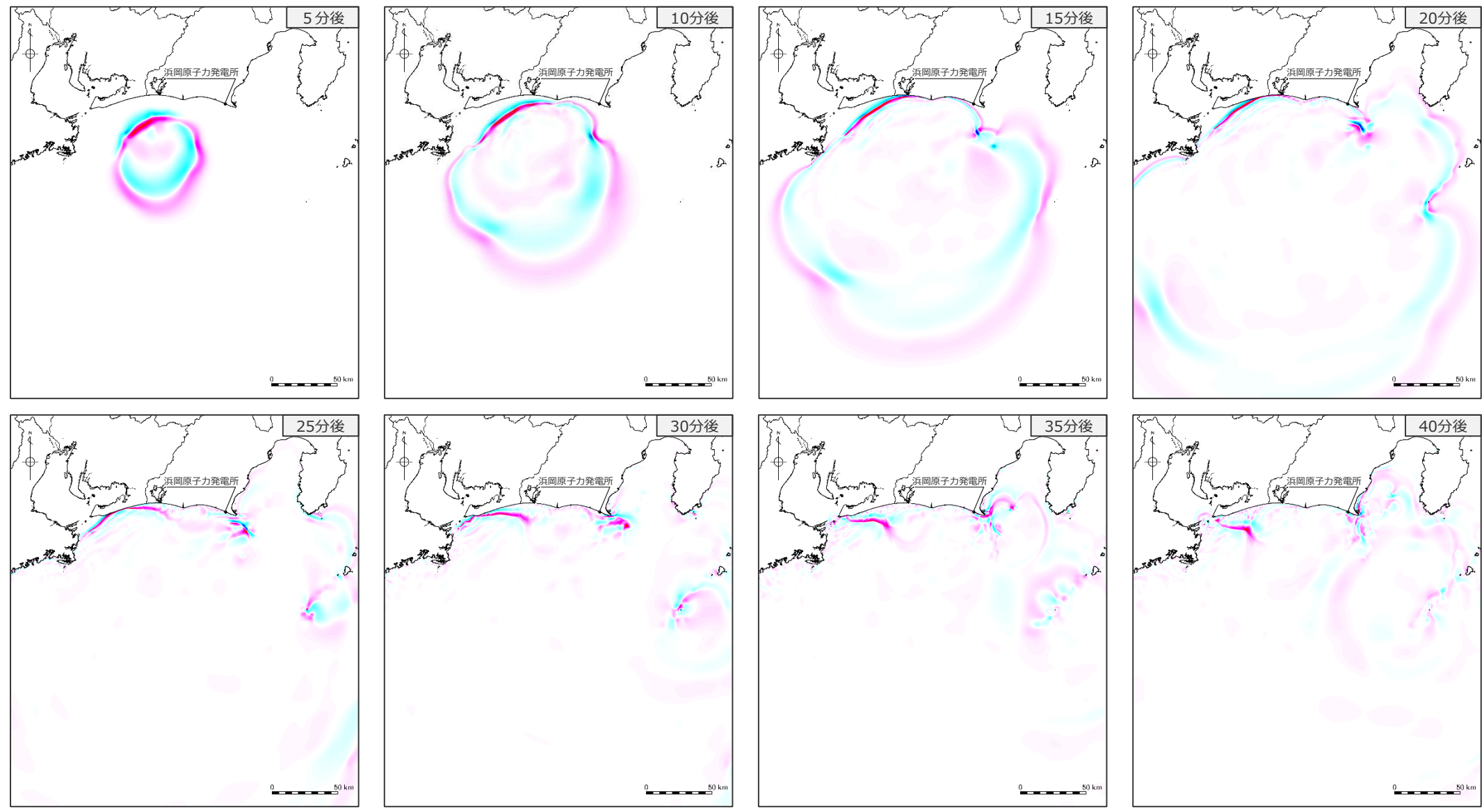
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s22地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

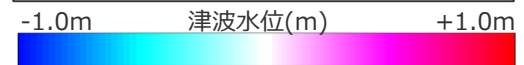
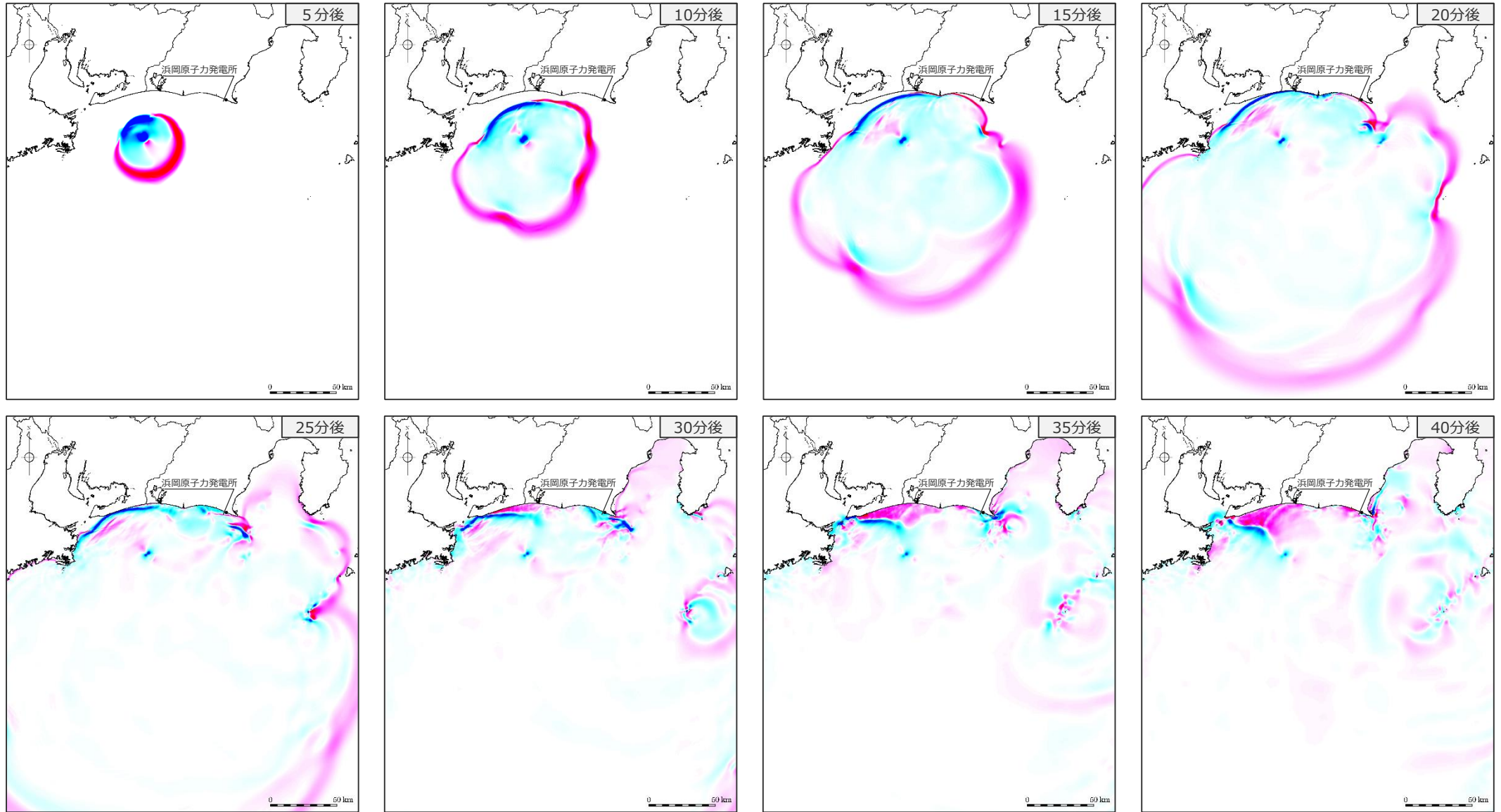
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. - 0.93mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s26地点の海底地すべり（二層流モデル）

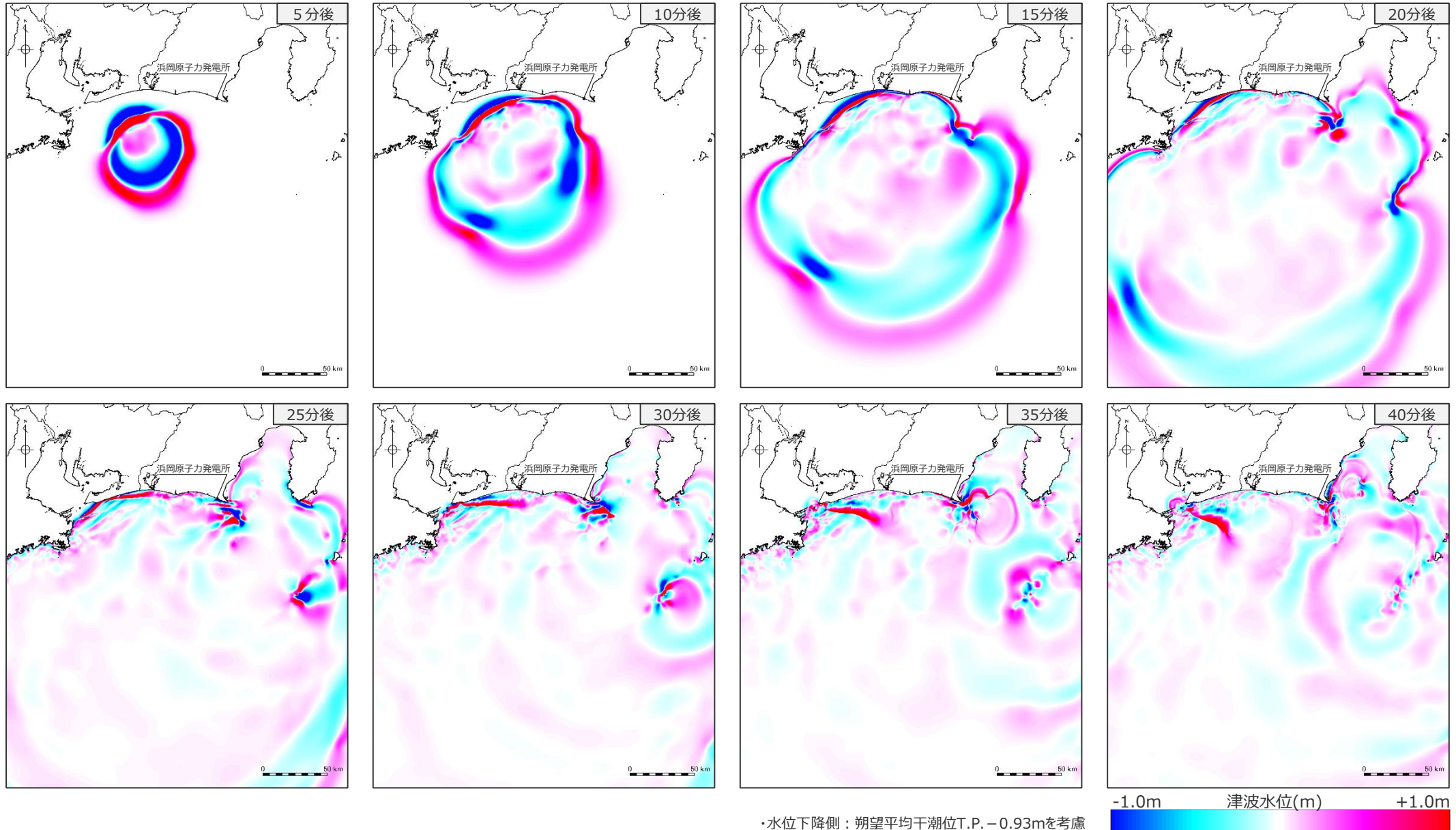
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. - 0.93mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s26地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

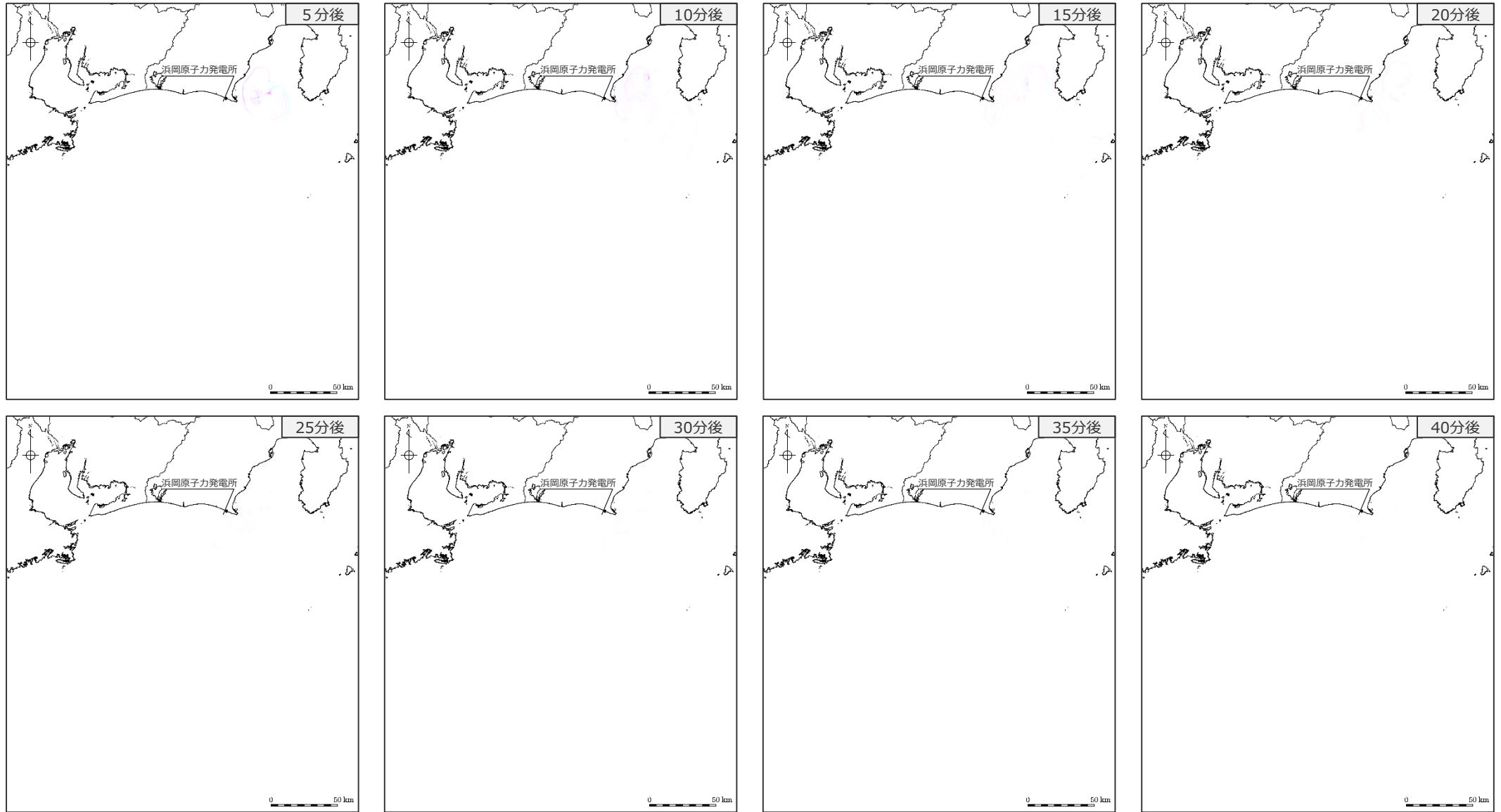
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



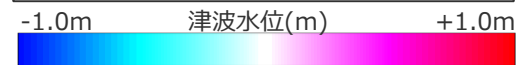
駿河湾内の海底地すべり

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s1地点の海底地すべり（二層流モデル）

■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。

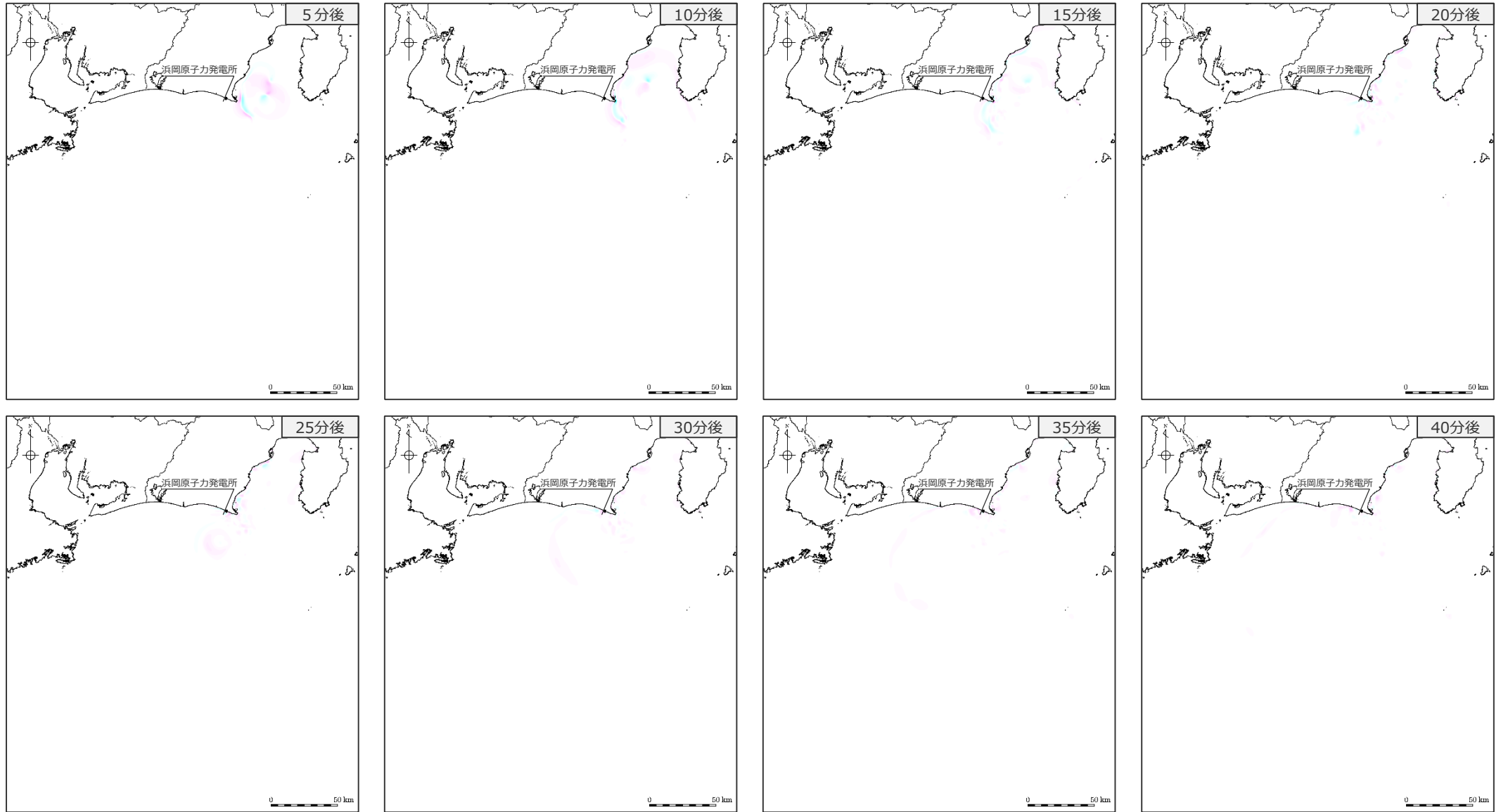


・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

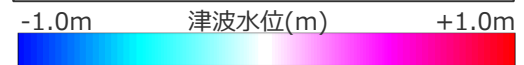


7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s1地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。

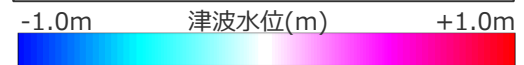
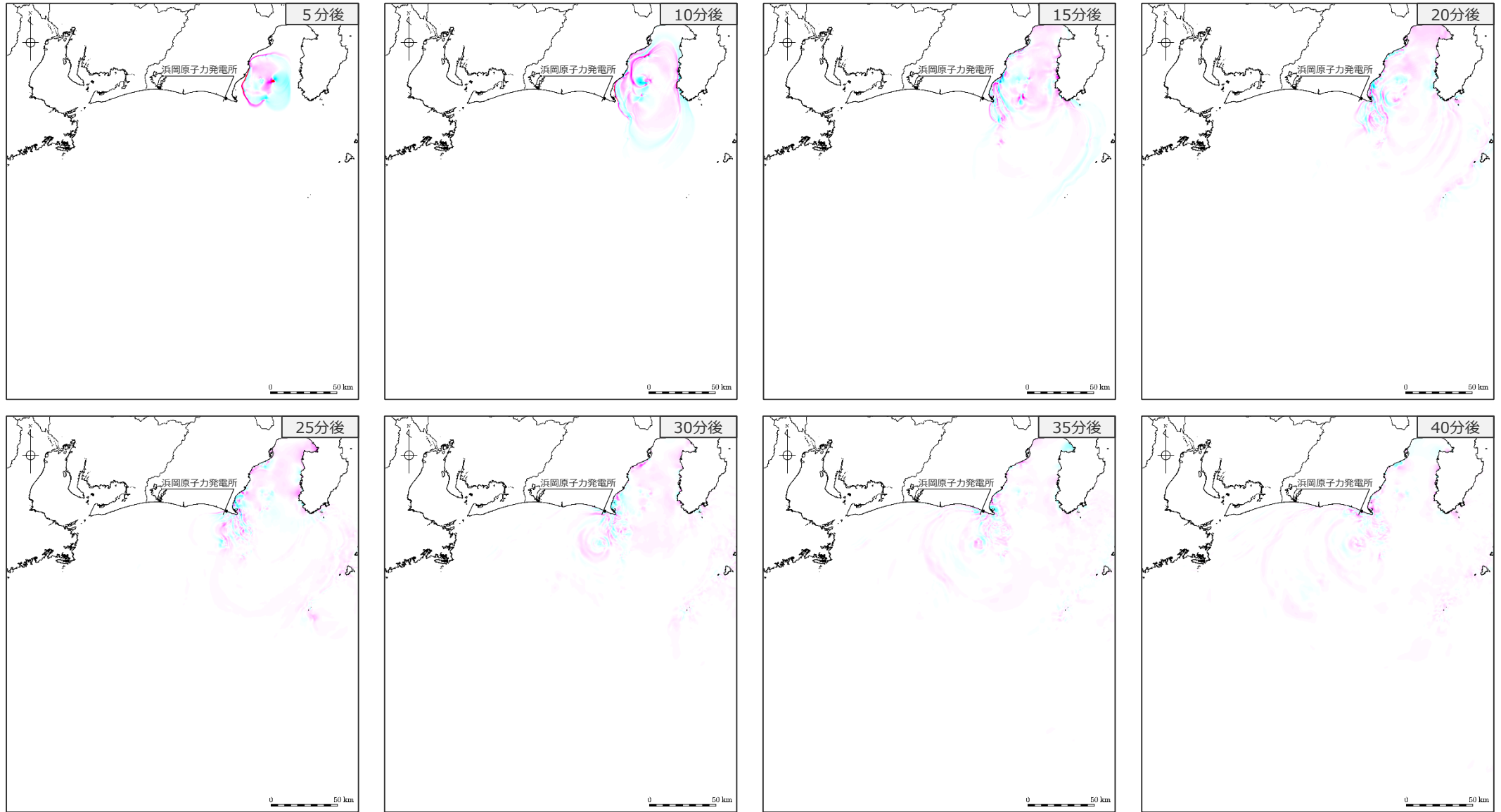


・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮



7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s3地点の海底地すべり（二層流モデル）

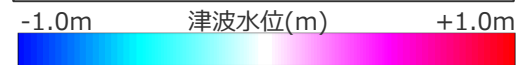
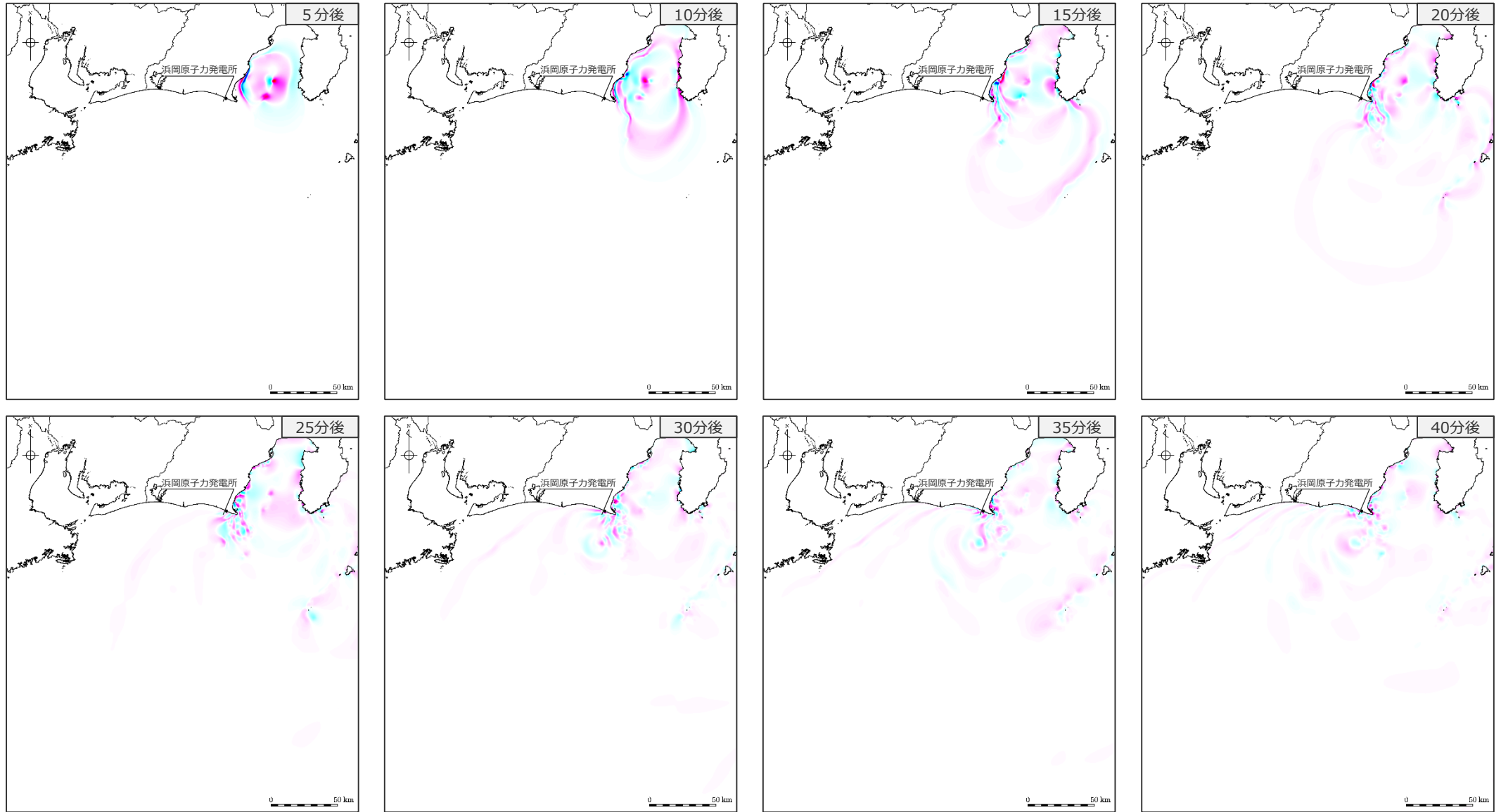
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s3地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

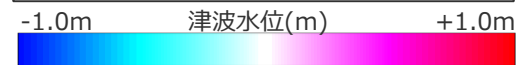
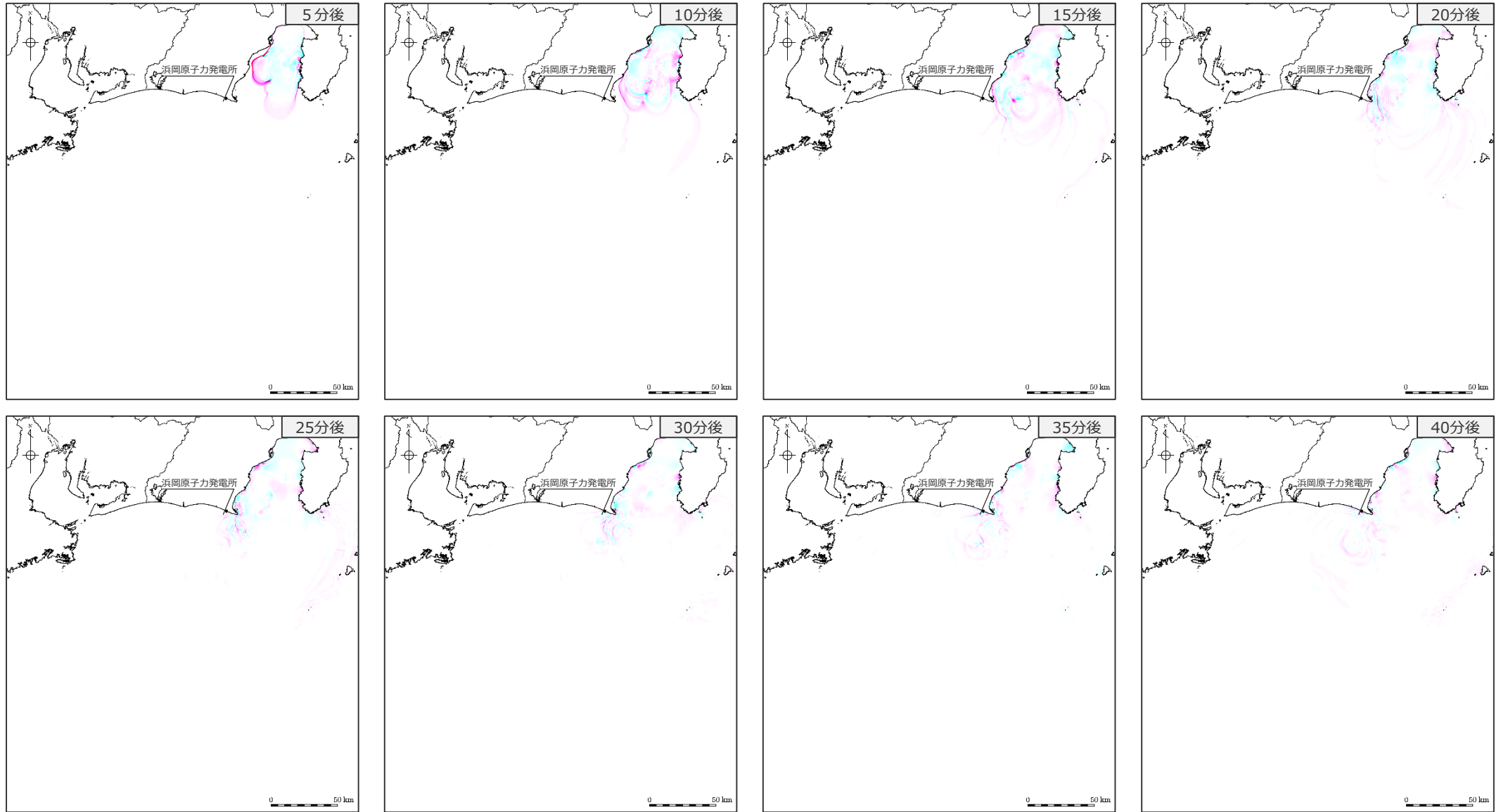
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s10地点の海底地すべり（二層流モデル）

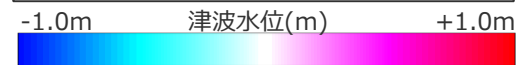
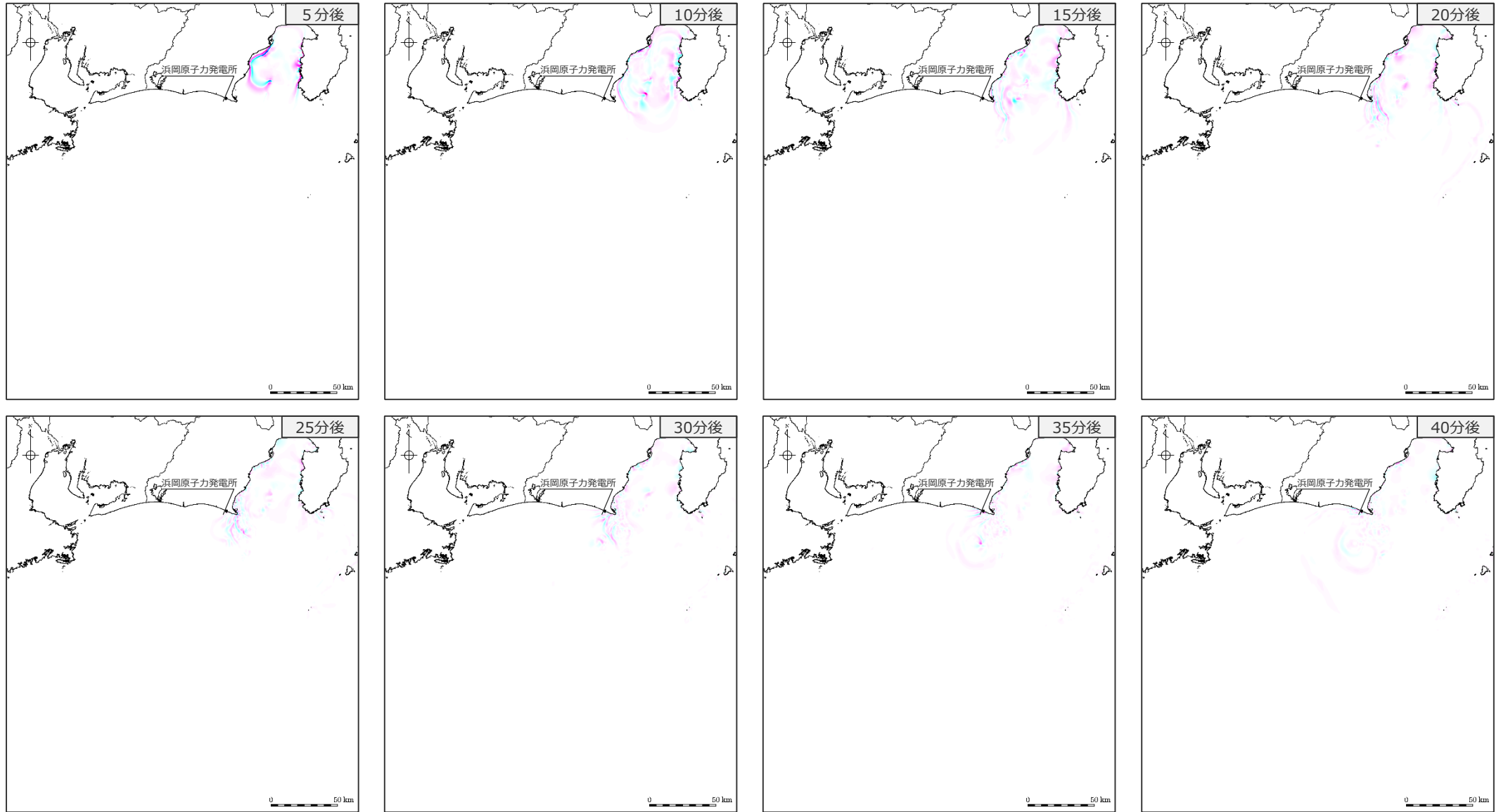
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

7 海底地すべりの津波伝播状況のスナップショット（2）水位下降側 s10地点の海底地すべり（Wattsほかの予測式）

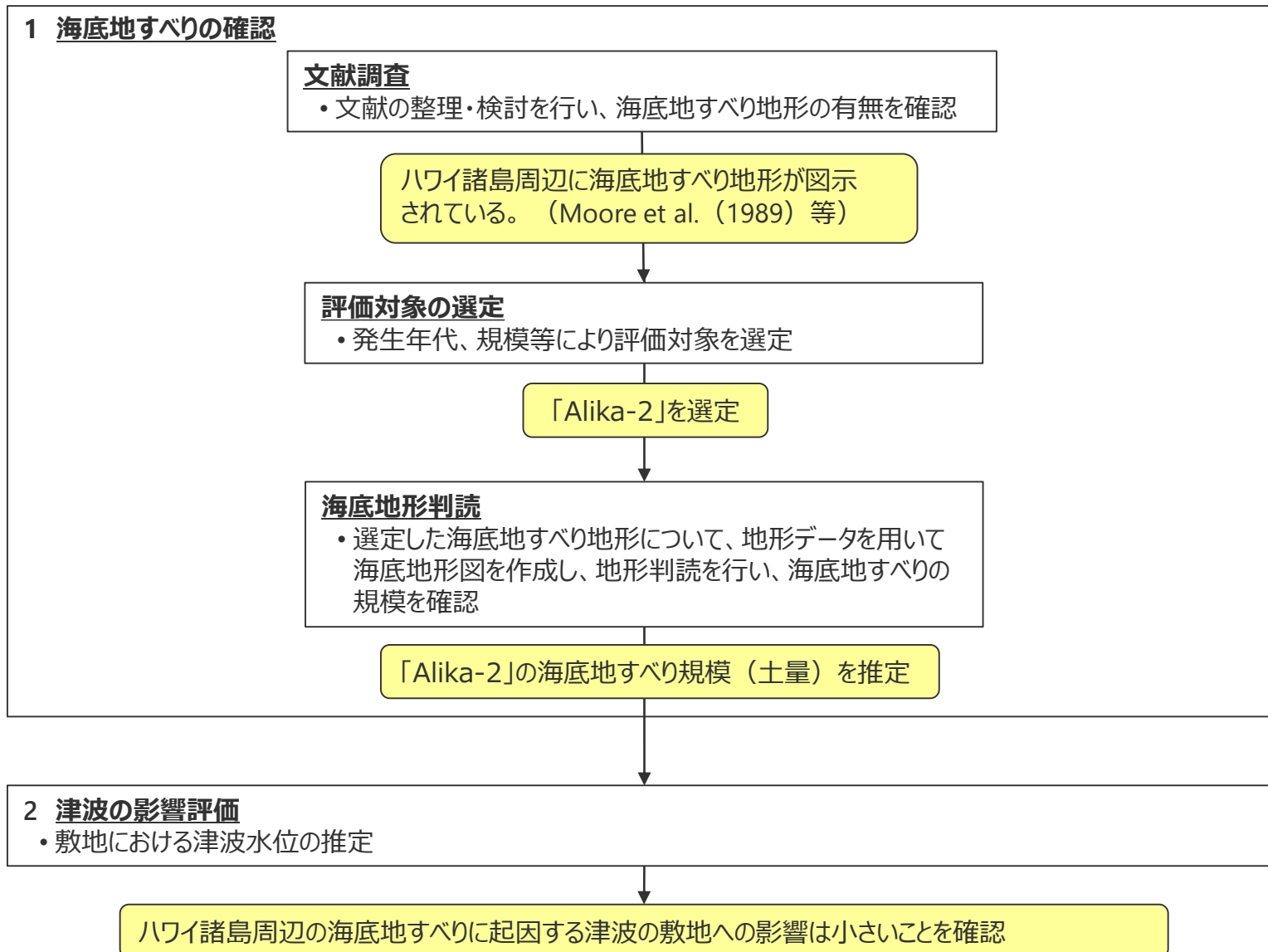
■ 5～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。



・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

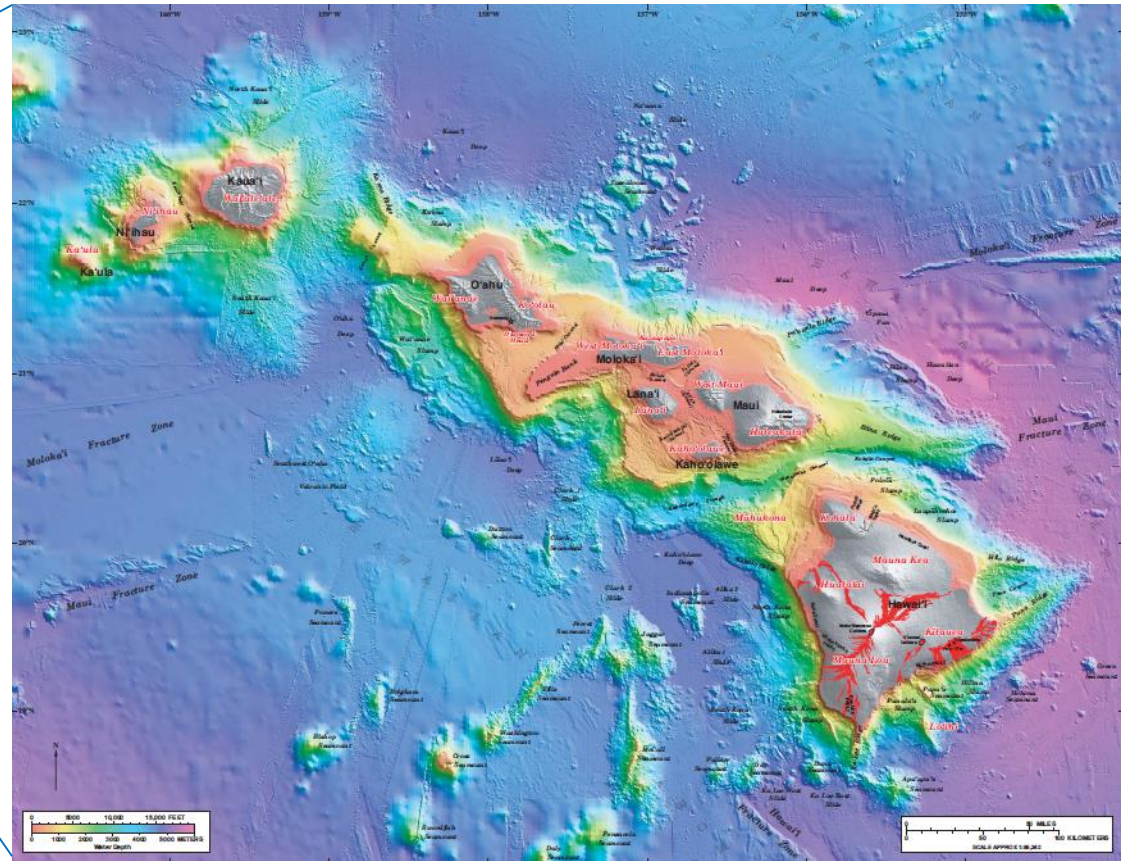
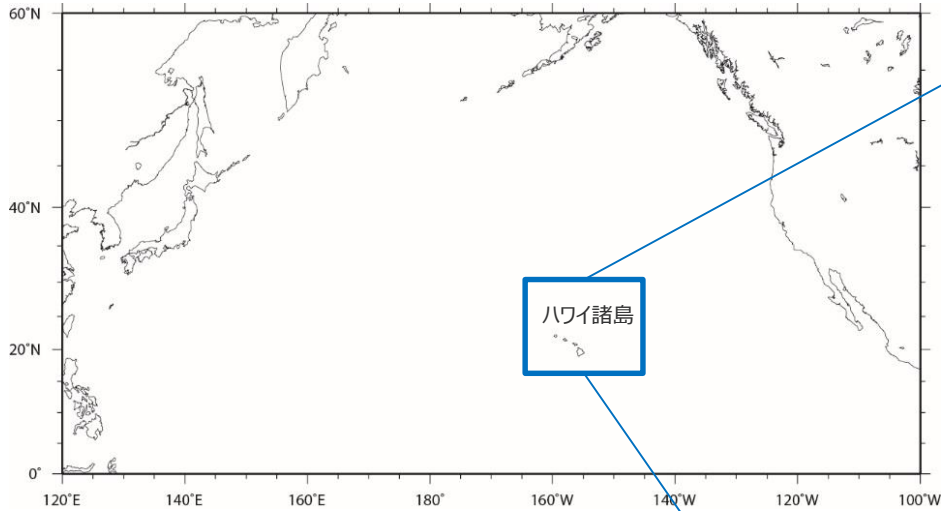
8 ハワイ付近の海底地すべりに関する検討

■以下のフローに従い、ハワイ付近の海底地すべりについて調査を実施し、津波水位の検討を行った。



8 ハワイ付近の海底地すべりに関する検討 ハワイ諸島の概要

- ハワイ諸島は日本の南東約6,400kmの太平洋上に位置しており、ハワイ島、マウイ島、オアフ島、カウアイ島、モロカイ島、ラナイ島、ニイハウ島、カホオラウエ島の8つの島のほか多数の島と環礁からなる。
- ハワイをのせる太平洋プレートは北西方向へ年間10cm程度の速さで動いているので、ハワイ諸島は北西へ行くほど古い(佐竹(1997))。



Ekins et. al. (2003)

8 ハワイ付近の海底地すべりに関する検討 既往津波に関する文献調査：1975年Kalapana津波

- 1975年にハワイ島南岸の Kalapana 付近に強震が起こり、日本沿岸各地で津波が観測された(羽鳥(1976))。
- 地震の規模は Nettles and Ekström (2004) のCMT解によればMw7.7である。
- 羽鳥 (1976) によれば、日本沿岸における検潮記録の最大全振幅の最大値は、宮城県鮎川における55cmであった。茨城県日立における最大全振幅は24cmであったと示されている。
- Day et al. (2005) によれば、ハワイ沿岸で最大15m弱の津波が観測された。

No.	Tide station	Initial wave					Maximum wave	
		A			B		Double ampl.	Occurred time, GMT
		Arrival time, GMT	Rise	Period	Arrival time, GMT	Rise		
1	Hanasaki	Nov. 30 8:48	cm 6	min 8	Nov. 30 7:56	cm 10	cm 27	Nov. 30 13:32
2	Kushiro	?					12	13:08
3	Hiroo	7:42	15	12			23	10:06
4	Urakawa	9:00	-6	15	7:42	3	12	12:11
5	Hakodate	?					17	13:30
6	Same	8:56	2	10	7:55	2	5	11:15
7	Miyako	8:50	-8	8	7:35	6	14	9:48
8	Enoshima	8:46	-4	10				
9	Ayukawa	9:00	-6	8	7:44	4	55	10:44
10	Onahama	8:10	4				21	9:20
11	Hitachi	7:27	5	16			24	10:14
12	Mera	8:28	5	16	7:22	4	19	11:22
13	Miyake Is.	8:22	4	7			24	10:15
14	Chichijima	6:53	6	18			18	10:18
15	Minami-Izu	7:20	3				20	11:46
16	Omaezaki	7:33	4	10			14	13:50
17	Owase	9:14	8	22	7:40	2	22	10:00
18	Kushimoto	10:00	7	12			22	17:00
19	Muroto	8:50	3	8			11	11:50
20	Tosa-Shimizu	8:00	8	22			23	16:23
21	Aburatsu	?					18	15:32
22	Naha	8:35	3	18			13	16:43

A: Evident wave commences. B: Wave front is indefinite. Wave front is determined with the aid of the refraction diagram.

羽鳥 (1976) による日本沿岸の検潮記録

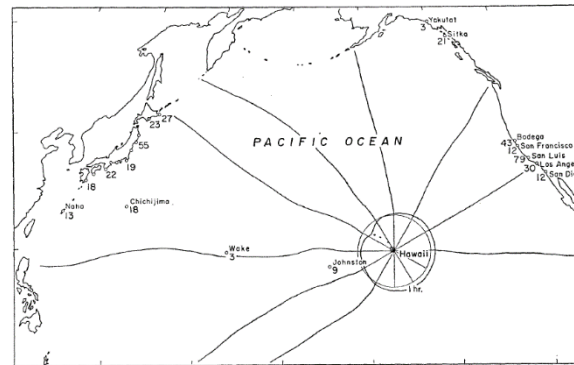


fig. 7. Distribution of the maximum double amplitude (unit: cm) and wave rays which are emitted from the origin subdivided into equal angles of 30 degrees.

羽鳥 (1976) による波向線
※米国沿岸における水位は日本沿岸と大差なく、指向性による影響はみられない



Day et al. (2005) によるハワイ沿岸の痕跡地点および遡上高

Location	Observed (m)
Honakahau (W)	2.1
Kailua (W)	3.4
Kahaluu (W)	1.8
Keauhou (W)	2.4
Napoopoo (W)	2.4
Honaunau (W)	1.8
Miloli (W)	<1.8
South Point (W)	6.7
Kaalualu (S)	4.0
Honuapo (S)	6.1
Punaluu (S)	6.1
Kalu (S)	9.4
Halape (S)	7.0
Apua Point (S)	14.6
Kamoamo (S)	6.4
Kalapana (S)	2.6
Pohoiki (S)	2.4
Cape Kumukahi (S)	3.4
Hilo (E)	3.0

8 ハワイ付近の海底地すべりに関する検討 既往津波に関する文献調査：1975年Kalapana津波

■ Ma et al. (1999) は、①海底地すべり、②低角逆断層のいずれでもハワイ周辺の検潮記録を説明できるとし、これらの組合せにより津波が発生したであろうとしている。

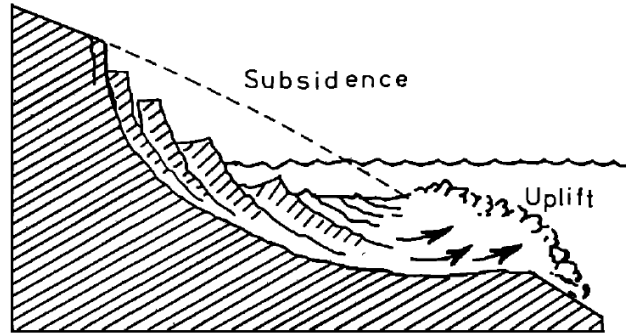
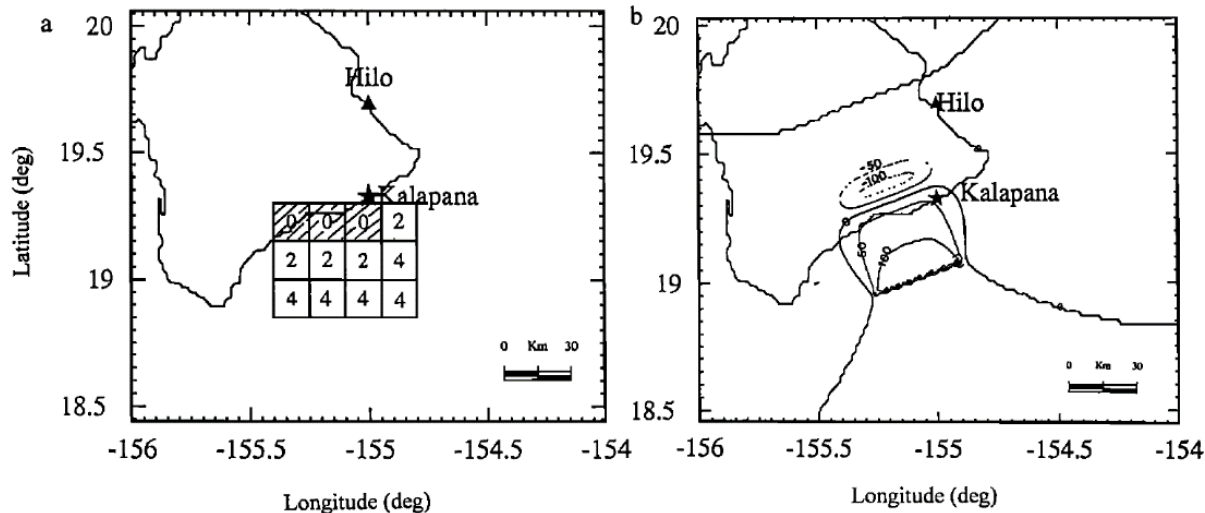


Figure 17. Schematic showing a rotational slumping that causes subsidence and uplift.



Ma et al. (1999) による1975年Kalapana津波のメカニズムの解釈（上）、地すべりの分布（左下）および低角逆断層による初期波形（右下）

いずれのモデルでも海面隆起量（=地すべりによる海底隆起量）=2.5km³としている。

左下図のハッチ部は沈降域、白抜き部は隆起域である。数字は時間遅れ（分）を表す。

8 ハワイ付近の海底地すべりに関する検討 海底地すべり地形に関する文献調査および評価対象の選定

- ハワイ付近の海底地すべりについて文献調査を実施した。
 - Moore et al. (1989) によれば、ハワイ諸島で発生した海底地すべりの数と特徴が示されている。
 - McMurtry et al. (2004) 等によれば、ハワイ諸島周辺の海底地すべりの発生年代が示されている。
 - 横瀬 (2007, 2010) によれば、詳細なDEM データに基づきハワイ諸島の流山地域の微地形解析から、ハワイ諸島で想定されている17の巨大海底地すべり堆積物の中で、巨大津波を伴った可能性があるのは、オアフ島東部のNuuanu 地すべり、ハワイ島西部のAlika-2地すべりそして南部の東Ka Lae 地すべりの3つに限定されるとの見解を示している。
 - Harbits et al.(2014)によれば、ハワイ諸島で発生した火山活動に伴う斜面崩壊は、火山の発達初期に生じたものであり、現在でも津波を励起させる可能性の有無には議論があると共に、遠方へ脅威となる津波となるかも議論があるとしている。
- 以上から、後期更新世以降に生じた地すべりのうち、巨大津波を伴った可能性があり、面積が大きい「Alika-2」を評価対象として選定した。

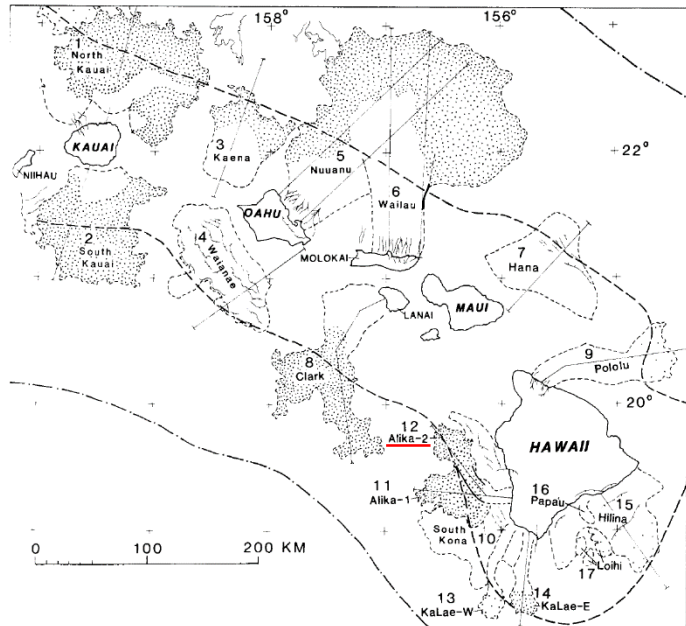


Fig. 2. Map of southeastern Hawaiian Ridge showing major slides bounded by dashed lines identified by number in text and Table 1; compare with Figure 1. Dotted area, hummocky ground (widely spaced where subdued); hachured lines, scarps; thin, downslope-directed lines, submarine canyons and their subaerial counterparts; heavy dashed line, axis of the Hawaiian Deep; dash-dotted line, crest of the Hawaiian Arch.

TABLE 1. Hawaiian Submarine Slides

No.	Name	Location	Area, km ²	Length, ^a km	Width, ^b km	Type ^c	年代 (Ma) ※1
1	North Kauai	North Kauai	14,000	140	100	D (0.6-0.9)	5.0
2	South Kauai	South Kauai	6,800	100	50	D (0.6-1.2)	5.0
3	Kaena	NE Oahu	3,900	80	45	D	3.6
4	Waianae	SW Oahu	6,100	50	80	S (1.0)	2.9-3.1
5	Nuuanu	NE Oahu	23,000	235	35	D (0.8-1)	2.1-2.2
6	Wailau	North Molokai	13,000?	<195	40	D (0.7)	1.0±0.1
7	Hana	NE Maui	4,900	85	110	S	0.86
8	Clark	SW Lanai	6,100	150	30	D (0.5-1)	1.3±0.06
9	Pololu	North Hawaii	3,500	130	20	D	0.254-0.306
10	South Kona	West Mauna Loa	4,600	80	80	S	0.200-0.240
11	Alika-1	West Mauna Loa	2,300	88	15	D (0.9-1)	>0.112-0.127
12	Alika-2	West Mauna Loa	1,700	95	15	D (2-5)	>0.112-0.127
13	Ka Lae, west	South Hawaii	850	85	10	D	>0.032-0.060?
14	Ka Lae, east	South Hawaii	950	75	10	D (2)	>0.032-0.060?
15	Hilina	South Hawaii	5,200	40	100	S	>0.010-0.100
16	Papa'u	South Hawaii	200	20	6	SF	0.001~0.005※2
17	Loihi	South Hawaii	500	15	10-30	L	0.001~0.115※3
Total			97,600				

Located by number in Figure 2.
^aLength of Waianae and South Kilauea landslides omits indistinct irregular topography beyond steep toe.
^bWidth at head of landslide.
^cD, Debris avalanche; (number) is average number of hummocks appearing in GLORIA images per square kilometer; S, Slump; SF, sand rubble flow; L, three unclassified landslides.

- : 後期更新世よりも前に生じた地すべり
- : 巨大津波を伴った可能性のある地すべり
- (red border) : 選定した地すべり

※1 McMurtry et al. (2004)
 ※2 Papa'u (No.16) の年代はMoore et al. (1989) の“several thousand years ago”との記述に基づく。
 ※3 Loihi (No.17) の年代はGuillou et al. (1997) がLoihi火山東斜面の試料から求めた5±4~102±13kaに基づく。

Moore et al. (1989) を基に作成

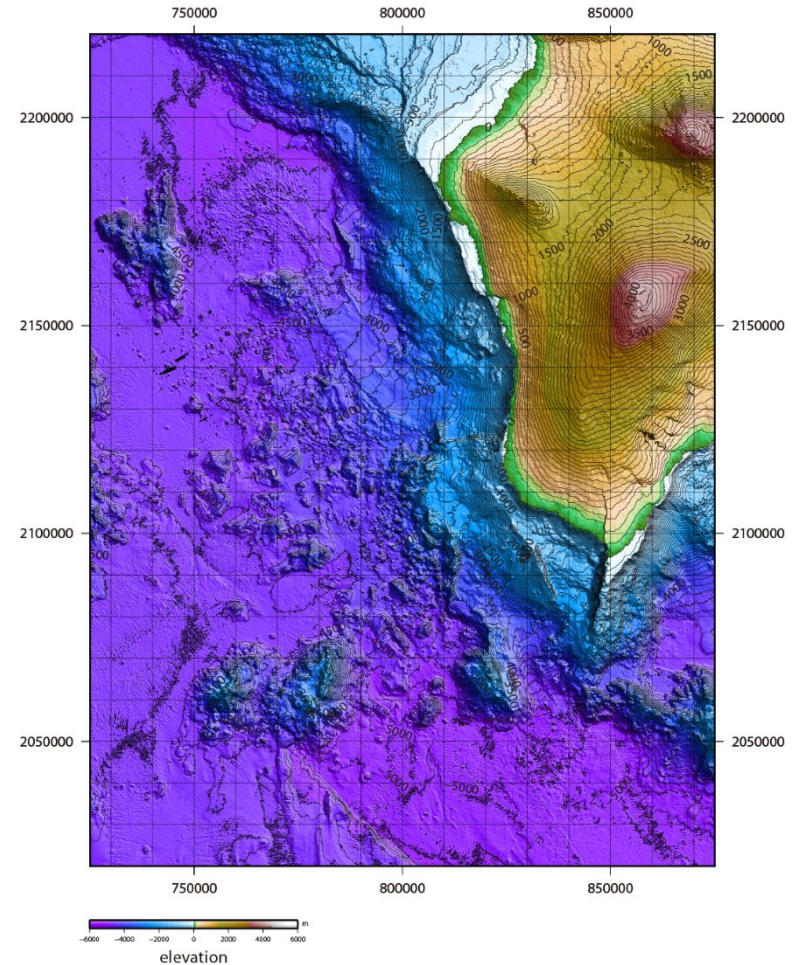
8 ハワイ付近の海底地すべりに関する検討 海底地すべり抽出における海底地形判読

- ハワイ島西部周辺（Alika-2地すべり周辺）について、ハワイ大学マノア校海洋地球科学技術学部（SOEST）による地形デジタルデータ（50mグリッド）を使用し、海底地形コンター図および標高段彩陰影図を作成し、海底地形判読を行った。
- 海底地形判読にあたっては、以下の判読基準等に従って、海底地すべりの可能性のある地形を抽出した。

○海底地すべり地形の判断基準

地すべり地形としては滑落崖とその基部にある地すべり土塊（滑落土塊）が対をなす。陸上の地すべりに比べて、大規模、薄く広がる傾向がある。薄く広がるケースでは土塊は認定しにくいので滑落崖だけを認定する。

<p>崩壊部 (滑落崖)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・馬蹄形、半円形、コの字形の平面形で、斜面下方へ開く急斜面 ・急斜面は平面的に出入りがなくスムーズな形状で、傾斜も一定傾向。また、地すべり土塊を囲んで側方にも連続することがある。 ・下方に地すべり土塊が対をなして存在することが重要
<p>堆積部 (地すべり土塊)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・滑落崖の基部にある扇状地状あるいは舌状の高まり。 ・細長い舌状の場合や台地状を呈することもある。 ・典型的な場合には、土塊の表面に不規則な凸凹、低崖、凹地があり、凸形縦断の斜面形を示す。

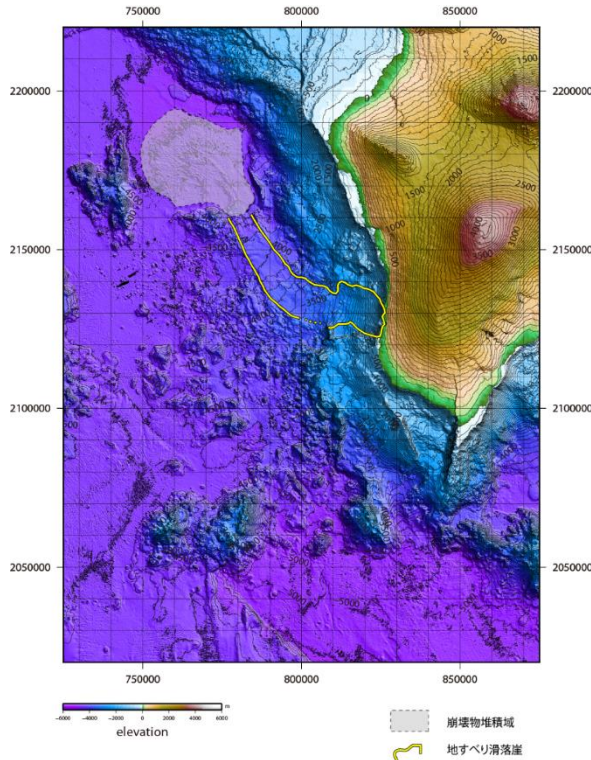


海底地形コンター図および標高段彩陰影図

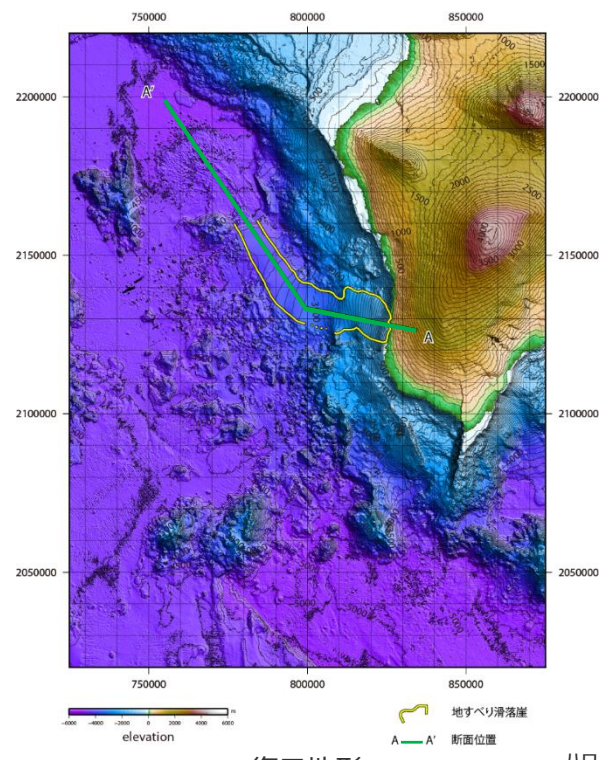
ハワイ大学マノア校海洋地球科学技術学部（SOEST）による海底地形デジタルデータを使用

8 ハワイ付近の海底地すべりに関する検討 海底地すべり抽出における海底地形判読

- 海底地形判読の結果、「Alika-2」付近に海底地すべりと判断される地形（滑落崖、崩壊物堆積域）が認められた（左図）。
- また、地すべり滑落崖周辺の現況地形から滑落崖を埋め戻し、地すべり崩壊前地形を復元した（右図）。
- 復元地形と現況地形との差から地すべり規模（土量）を算出した結果、地すべり規模（土量）は約105km³となった。

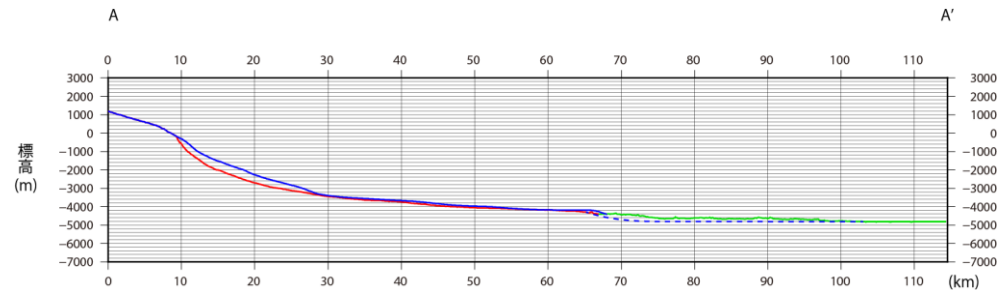


「Alika-2」の海底地すべり判読結果（現況地形）



復元地形

ハワイ大学マノア校海洋地球科学技術学部
(SOEST) による海底地形デジタルデータを使用

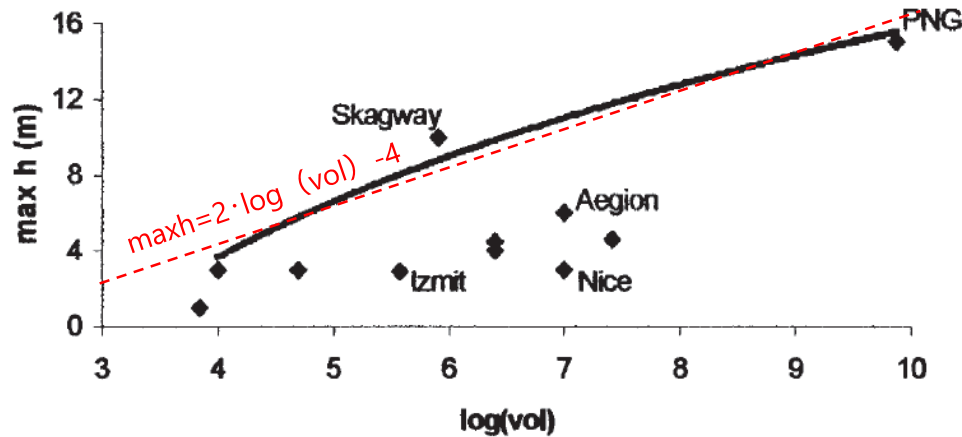


地形断面図 (H:V=1:2.5)

- : すべり面地形（現況地形）
- : 崩壊物堆積域（現況地形）
- - : 復元地形

8 ハワイ付近の海底地すべりに関する検討 評価結果

- 「Alika-2」の海底地すべりによる津波の敷地への影響を確認することを目的に、地すべり規模から津波水位を推定することを検討した。
- Papadopoulos and Kortekaas (2003) は20世紀以降に発生した世界の地すべり津波のデータを分析し、地すべり塊の体積が沿岸における津波の最高水位と関係があるとしている。この関係では、地すべり体積の対数値に比例して津波水位が大きくなる。
- Ma et al. (1999) より、1975年Kalapana津波の地すべり体積を2.5km³とし、その地すべりによる日本沿岸における津波水位を検潮記録最大全振幅の最大値である55cm（宮城県鮎川）と仮定する。
- Papadopoulos and Kortekaas (2003) による地すべり体積と津波水位の関係が、日本沿岸でも成立すると仮定すれば、「Alika-2」のような地すべり（地すべり体積約105km³）がハワイで発生した場合、日本沿岸における水位は3.8m程度と推定される。



Papadopoulos and Kortekaas (2003) を基に作成

地すべり体積 (m³) と沿岸における津波の最高水位の関係

※赤線は包絡線を直線近似して加筆したもの。
 ※PNG (1998パプアニューギニア) およびIzmit (1999トルコ) は断層運動による津波への寄与が含まれる。

- 地すべり1の体積をV1、日本沿岸における津波水位をh1とする。地すべり2の体積をV2、日本沿岸における津波水位をh2とする。
- Papadopoulos and Kortekaas (2003) の関係により、
 $h2 = a \cdot \log(V2) + b$
 $h1 = a \cdot \log(V1) + b$
 両式の差をとれば、
 $h2 - h1 = a (\log(V2) - \log(V1))$
 よって、
 $h2 = h1 + a \cdot \log(V2/V1)$
 となる。
- いま、添え字1を1975年Kalapana津波、添え字2を想定津波に対応させると、求めたい水位h2は以下ようになる。

1975年の日本沿岸における津波水位 h1	0.55m
Papadopoulos and Kortekaas (2003) に基づく比例定数 a	2
1975年の地すべり体積 V1	2.5km ³
想定津波の地すべり体積 V2	105 km ³
想定津波の日本沿岸における津波水位 h2	3.8m

- ・ 以上から、ハワイ諸島周辺の海底地すべりに起因する津波の敷地への影響は小さいことを確認した。

- 佐竹健治 (1997) 「ハワイの津波堆積物 –アメリカ地質学会コルディレラ分科会および巡検に参加して-」『地質ニュース』第518号, pp.21-28。
- 羽鳥徳太郎 (1976) 「1975年ハワイ島 (Kalapana) 津波と日本沿岸での挙動」『地震第2輯』第29巻, pp.355-363。
- 横瀬久芳 (2007) 「ハワイ諸島における巨大海底地すべり」『日本地質学会, 第114年学術大会』, S-10, 6p。
- 横瀬久芳 (2010) 「ハワイ諸島の巨大海底地すべり群と津波 – 流山の高さ分布におけるフラクタル次元 – 」『月刊地球号外』No.61, pp.71-80。

- Day, S. J., P. Watts, S.T. Grilli and J. T. Kirby(2005), "Mechanical models of the 1975 Kalapana, Hawaii earthquake and tsunami", Marine Geology, Vol.215, pp.59–92.
- Eakins, Barry W., Joel E. Robinson, Toshiya Kanamatsu, Jiro Naka, John R. Smith, Eiichi Takahashi, and David A. Clague(2003), "Hawaii's Volcanoes Revealed", U.S. Geological Survey.
- Guillou, H., L. Turpin, F. Garnier, S. Charbit, and D. M.Thomas (1997), "Unspiked K-Ar dating of Pleistocene tholeiitic basalts from the deep core SOH-4, Kilauea, Hawaii", Chemical Geology, Vol.140, pp.81–88.
- Harbitz, Carl B., Finn Løvholt, Hilmar Bungum(2014), "Submarine landslide tsunamis: how extreme and how likely?", Natural Hazards, Vol.72, pp.1341–1374.
- Ma, K-F., H. Kanamori and K. Satake(1999), "Mechanism of the 1975 Kalapana, Hawaii, earthquake inferred from tsunami data", Journal of Geophysical Research, Vol. 104, Issue B6, pp.13153–13167.
- McMurtry, G.M, P. Watts, G.J. Fryer, J.R. Smith, F. Imamura(2004), "Giant landslides, mega-tsunamis, and paleo-sea level in the Hawaiian Islands", Marine Geology, Vol. 203, Issues 3–4, pp.219–233.
- Moore, J. G., D. A. Clague, R. T. Holcomb, P. W. Lipman, W. R. Normark, and M. E. Torresan(1989), "Prodigious submarine landslides on the Hawaiian Ridge", Journal of Geophysical Research, Vol. 94, B12, pp.17465–17484.
- Nettles M. and Göran Ekström(2004), "Long-Period Source Characteristics of the 1975 Kalapana, Hawaii, Earthquake", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.94, No.2, pp.422–429.
- Papadopoulos, G. A. and S. Kortekaas(2003), "Characteristics of Landslide Generated Tsunamis from Observational Data", Submarine Mass Movements and Their Consequences, Vol. 19 of the series Advances in Natural and Technological Hazards Research, pp. 367-374.
- The School of Ocean and Earth Science and Technology The University of Hawaii at Manoa (2016), (<http://www.soest.hawaii.edu/HMRG/Multibeam/bathymetry.php>).