

がれき等拡散シミュレーションについて

第6回石油基地等地震・津波対策検討会

平成30年10月16日

高知県危機管理・防災課

目次

1	がれき等の拡散・集積と津波火災の危険性に関する検討について.....	1
1.1	がれき等拡散シミュレーションについて.....	1
1.2	津波火災とは.....	2
1.3	調査範囲.....	2
2	がれき等の漂流物の発生条件・種類・発生量等の検討.....	3
2.1	建物.....	4
2.2	木材.....	7
2.3	車両.....	8
2.4	LP ガスボンベ.....	13
2.5	コンテナ.....	15
2.6	ドラム缶.....	16
2.7	船舶.....	18
2.8	油.....	21
3	津波シミュレーション・がれき等拡散シミュレーションの実施.....	23
3.1	津波シミュレーション.....	23
3.2	がれき等拡散シミュレーションの数値解析モデルの構築.....	29
4	がれき等の拡散に伴う津波火災による被害の分析.....	31
4.1	がれき等拡散の解析に際してのエリア分割.....	31
4.2	建物.....	33
4.3	木材.....	41
4.4	車両.....	43
4.5	LP ガスボンベ.....	50
4.6	コンテナ.....	53
4.7	ドラム缶.....	55
4.8	船舶.....	58
4.9	油.....	62
4.10	タンク周辺拡大検討.....	69
4.10.1	タナスカ地区.....	69
4.10.2	中の島地区.....	77
4.11	がれきと油の分布の重ね合わせによる検討.....	85
4.11.1	建物+木材がれきの分布.....	85
4.11.2	車両と建物+木材がれきの分布.....	88
4.11.3	建物+木材がれきと油の分布.....	89
	巻末.....	91

1 がれき等の拡散・集積と津波火災の危険性に関する検討について

1.1 がれき等拡散シミュレーションについて

南海トラフ地震を震源とする巨大地震は、概ね 100 年、150 年周期で発生しており、その都度、揺れや津波により、高知県に大きな被害をもたらしてきた。

特に浦戸湾沿岸周辺では、昭和の南海地震の際にも、地震による揺れや津波による被害に加え、広域地盤沈下による長期浸水による被害も発生しており、今後、発生が想定されている南海トラフ地震においても、強い揺れや津波による被害はもとより、広域地盤沈下による長期浸水する地域の発生が想定されている。

また、2011 年の東日本大震災では、宮城県気仙沼市をはじめ、多くの沿岸地域で津波に伴う被害だけではなく、複数の漂流物の衝突、がれき化による漂流・拡散および石油タンクなどから発生する油の流出・拡散による火災が発生し、市街地に燃え広がるといった被害が発生している。

浦戸湾沿岸地域においても、昭和南海地震以降に、石油の油槽所やガスの充てん所などが集積し、石油については県内の約 9 割の燃料を供給している状況であることから、同様の被害の恐れがあるところである。

石油・ガス施設や浦戸湾沿岸域における地震・津波対策は、避難した住民が火災に巻き込まれるといった最悪の事態を防ぐために大変重要であるとともに、復旧、復興のために必要となる燃料の確保対策として重要である。

高知県では、南海トラフ地震発生時における石油・ガス施設の地震・津波対策の検討のため、学識経験者等を委員とする「高知県石油基地等地震・津波対策検討会」を平成 25 年に設置し、地域の重要なエネルギー拠点となる石油・ガス施設の被害や、石油やがれき等の流出による被害を軽減するための対策の検討を行ってきた。

その検討会の中で、L1 地震動及び L2 地震動での石油・ガス施設の耐震照査を実施した。平成 26 年に実施した照査において L1 地震動では、液状化による被害はあるもののすべての施設の部材で耐震性能を有していることを確認し、平成 27 年に実施した照査において L2 地震動では、貯槽を支える部分の一部で耐力不足があったものの、すべての施設で貯槽本体は耐震性を有しており、致命的な被害は無いことを確認した。

他方、平成 28 年には、当検討会の委員から「がれき等拡散シミュレーション」の技術研究が進展したことを踏まえ、シミュレーション実施についての提言をいただいた。

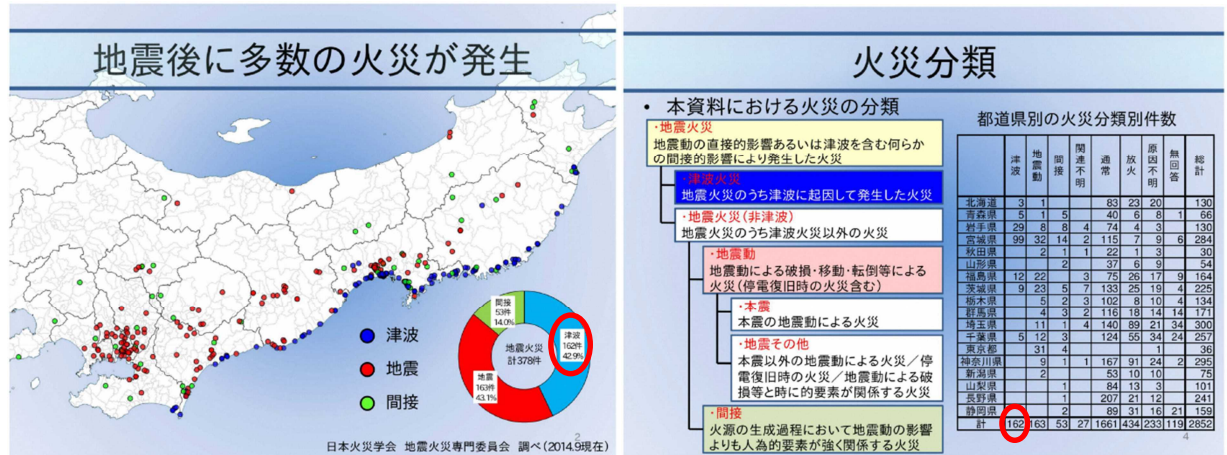
このことから、高知県浦戸湾全域において、津波により生じるがれき及び油等の拡散による被害状況等についてシミュレーションを実施し、今後、津波火災の被害軽減対策を検討していく上での基礎資料とすることとした。

なお、がれき等のシミュレーションを行うにあたり、複数の種類のがれきについて同時にシミュレーションすることは難しいため、がれきの種類別を実施し、その後拡散結果の重ね合わせ等により解析を実施した。

1.2 津波火災とは

北海道南西沖地震や東北地方太平洋沖地震などでは、津波に伴って多くの火災が発生しており、これを津波火災と呼んでいる。

日本火災学会の統計データでは、東日本大震災における地震に関連する火災計 378 件中、津波火災は 162 件発生したとされている。



出典：首都直下地震対策/大規模地震時の電気火災の発生抑制に関する検討会
 大規模地震時の電気火災の発生抑制に関する検討会（第1回）
 資料2-2 東日本大震災における火災の発生状況（岩見委員提供資料）

図 1.2.1 東日本大震災における津波火災

南海トラフ地震でも津波の発生が予測されており、津波火災についても検討し、対策を講じる必要があると考えられる。

1.3 調査範囲

高知県高知市を対象とする。

2 がれき等の漂流物の発生条件・種類・発生量等の検討

過去に発生した津波災害履歴（国内外）に関する資料を収集整理した結果、表 1.3.1に示すものをがれき等として設定した。

がれき等の発生条件、種類、量等については、各種公表データ、航空写真、現地踏査や関連企業に対するヒアリング資料等を用いて設定した。

使用した航空写真は以下のとおりである。

- ・平成 24 年 1～3 月 撮影写真（高知県所有）

業務名：都計第 1 号高知広域都市計画区域活力創出基盤整備総合交付金数値地形図作成委託業務

設定範囲は、津波高はそれほど高くないが発生頻度の高い津波（L 1）、発生頻度は低い最大クラスの津波（L 2）の浸水範囲とした。

表 1.3.1 がれき等の漂流物種類 設定一覧

がれき等種類	単位	発生時間	風速及び風向
建物	漂流点1点 = 1 t	昼夜区別無し	影響しない
木材	漂流点1点 = 1 t	昼夜区別無し	影響しない
車両	漂流点1点 = 1 台	昼間／夜間別に集計	影響しない
LPガスボンベ	漂流点1点 = 1 本	昼夜区別無し	影響しない
コンテナ	漂流点1点 = 1 個	昼夜区別無し	影響しない
ドラム缶	漂流点1点 = 1 缶	昼夜区別無し	影響しない
船舶	漂流点1点 = 1 隻	昼夜区別無し	影響しない
油	漂流点1点 = 1 kL [※]	昼夜区別無し	無風＋東西南北の5パターンを検討

※配管内の油についてのみ、漂流点1点 = 0.01 kL（参考資料参照）

各項目の諸元（大きさ、重さ、位置等）について次に示す。

2.1 建物

高知市が保有する都市計画図を作成するためのDM（デジタルマッピング）データから、L2津波の浸水域内で、漂流物設定範囲内の普通建物を集計すると52,239棟、建物の面積合計5,204,481m²となる。

以下の式で建物からのがれき発生量を求めると、がれき発生量はL2津波で約45万t、L1津波で約5万tとなった。

・木造建物がれき発生量

$$= \text{建物面積} \times \text{木造建物の比率} \times \text{木造の可燃物原単位} \times \text{建物被害率}$$

・鉄骨造建物がれき発生量

$$= \text{建物面積} \times \text{鉄骨造建物の比率} \times \text{鉄骨造の可燃物原単位} \times \text{建物被害率}$$

木造建物と鉄骨造建物の比率は固定資産税台帳データより町丁目界ごとに算出した。

災害廃棄物発生量の原単位は表 2.1.1 より、木造の可燃物を0.179t/m²、鉄骨造の可燃物を0.14t/m²とした。

表 2.1.1 がれき発生原単位

種類	可燃/不燃	ベース	単位	原単位
木造	可燃物	重量	t/m ²	0.179
		容量	m ³ /m ²	0.47
	不燃物（含金属）	重量	t/m ²	0.392
		容量	m ³ /m ²	0.37
RC造	可燃物	重量	t/m ²	0.14
		容量	m ³ /m ²	0.368
	不燃物（含金属）	重量	t/m ²	1.33
		容量	m ³ /m ²	0.832
鉄骨造	可燃物	重量	t/m ²	0.14
		容量	m ³ /m ²	0.368
	不燃物（含金属）	重量	t/m ²	1.13
		容量	m ³ /m ²	0.59

注 1995年6月19日兵庫県提示資料

『島岡隆行, 山本耕平 (2009) “災害廃棄物”, pp35, 表 2-6.』をもとに作成

出典：「災害廃棄物の発生原単位について（第一報）」震災対応ネットワーク（廃棄物・し尿等分野）、取り纏め：国立環境研究所

建物被害率は内閣府（平成24年）の津波浸水深ごとの値を用いた。

これによれば、浸水深が3mを越えるとほぼ100%全壊となる（図 2.1.1）。浸水深が3m

を下回る場合は、全壊率は100%を下回るが、建物1棟当たりの木材発生原単位に建物被害率を乗じて災害廃棄物を求める。

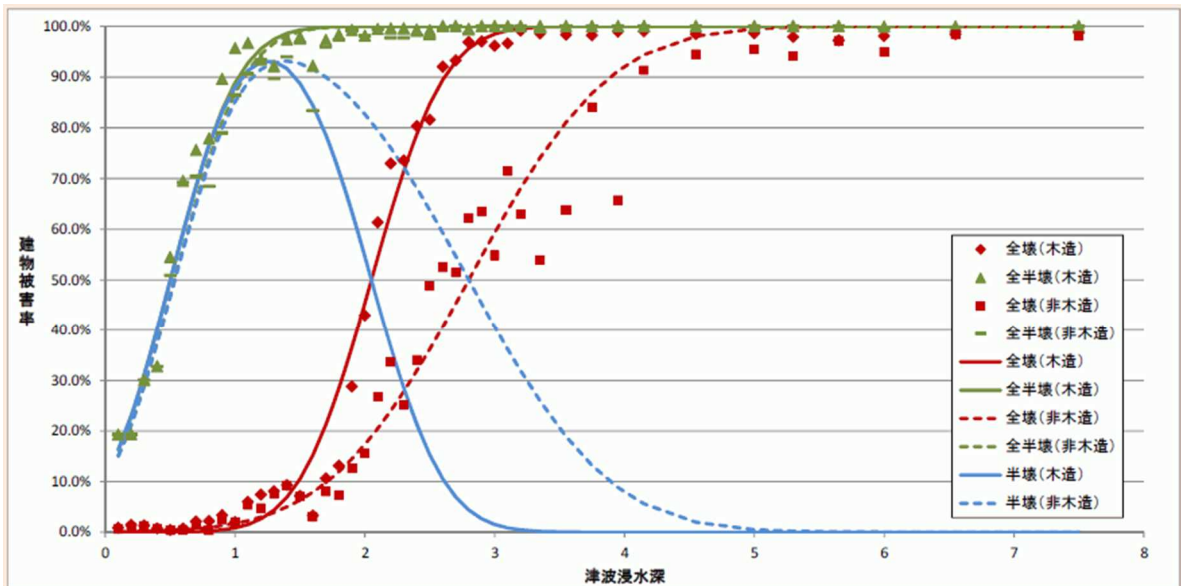


図 津波浸水深ごとの建物被害率(人口集中地区)

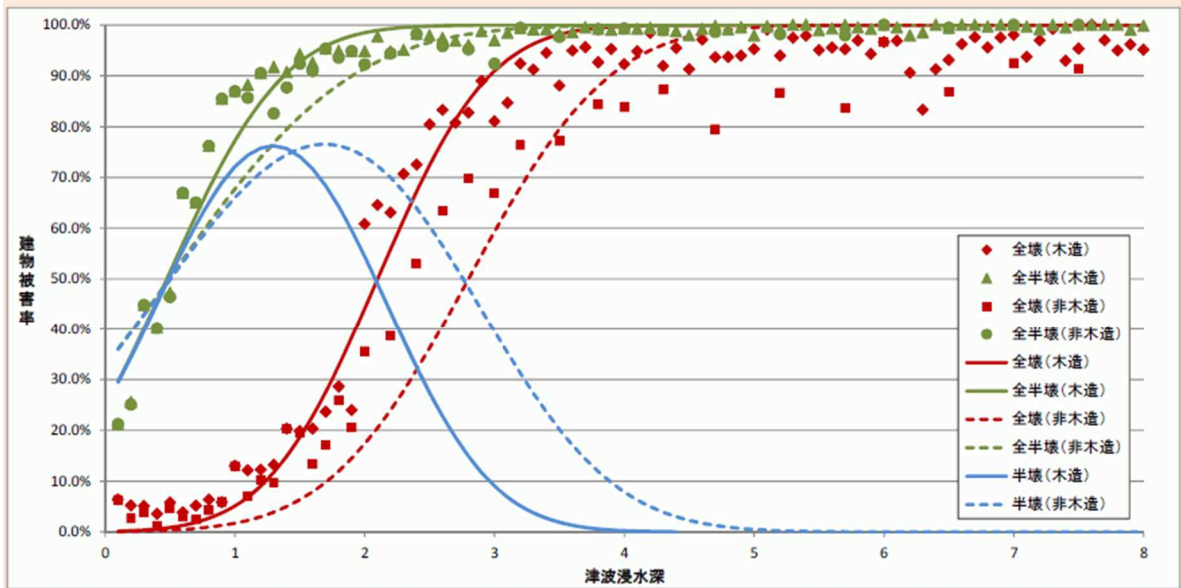


図 津波浸水深ごとの建物被害率(人口集中地区以外)

図 2.1.1 津波浸水深ごとの建物被害率

出典：「南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要」

南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ（第一次報告）（平成24年8月29日発表）

http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/20120829_gaiyou.pdf

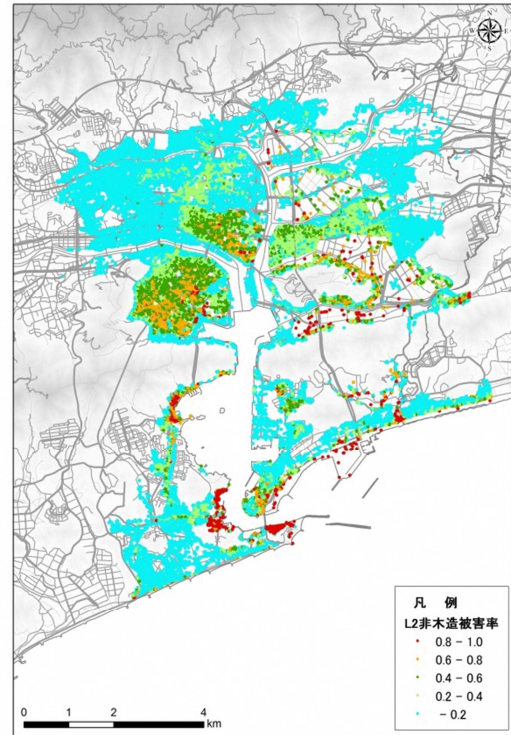
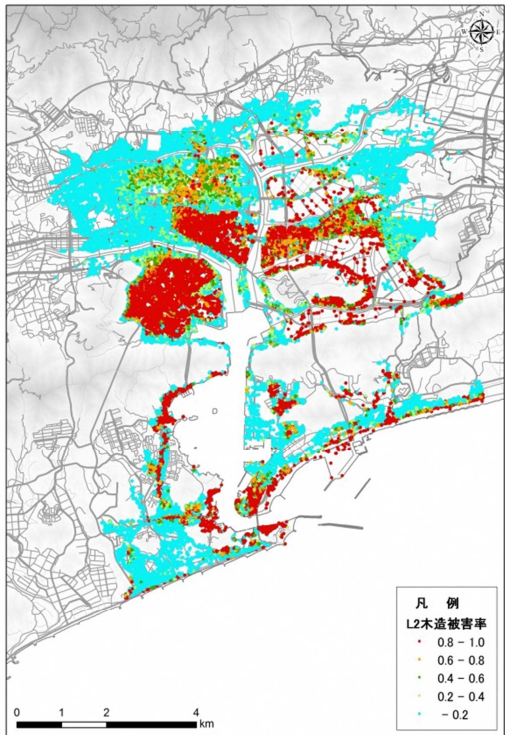
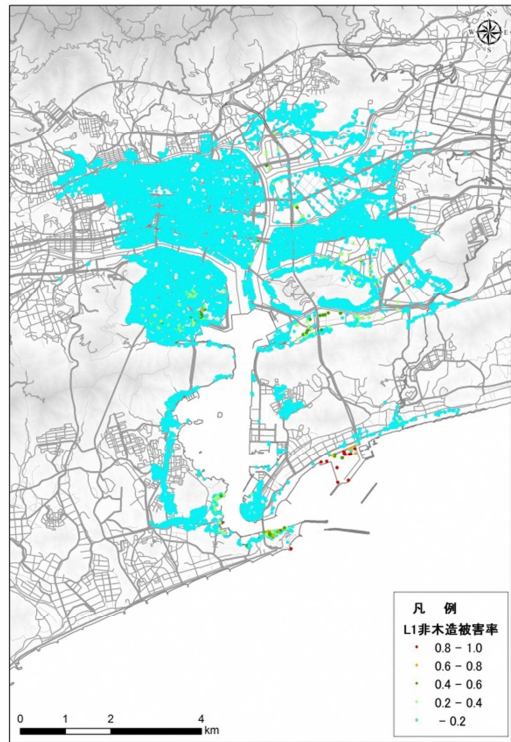
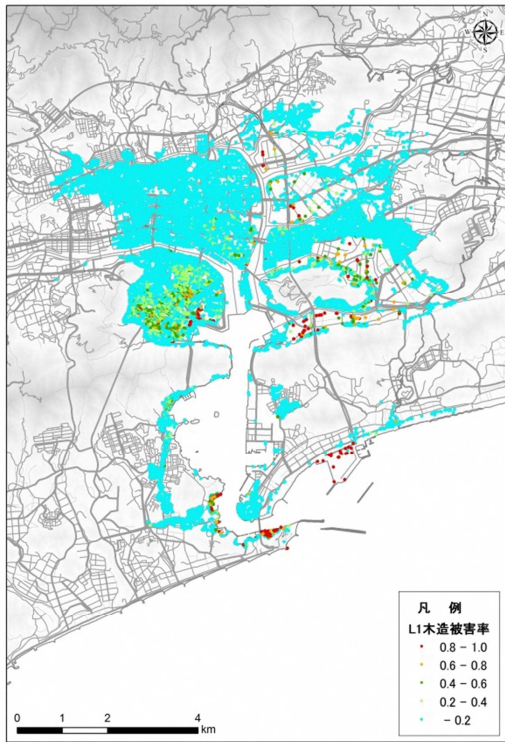


図 2.1.2 建物被害率（木造・非木造、L1・L2 別）

建物がれきについては 0.3m の角材を想定し、移動開始・停止水深は 0.12m とした。

2.2 木材

木材について各事業者にヒアリングした結果を表 2.2.1 に示す。

算出した木材重量は合計約 8,240t となった。

表 2.2.1 木材量の算定結果

事業者	量 (m ³)	木材種類	密度(g/cm ³)	木材量(t)
A 社	7,000	スギ：7 割 ヒノキ：3 割	スギ：0.40 ヒノキ：0.49	2,989
B 社	2,000	スギ：5 割 ヒノキ：5 割		890
C 社	最大:5,000	スギ：7 割 ヒノキ：3 割		2,135*
	通常:4,000			
D 社	1,500	スギ：5 割 ヒノキ：5 割	2,225	
合計				8,239

*最大時の木材量を示す。

木材は丸太の形状を想定し、材木の太さを現地踏査により確認し、移動開始・停止水深を0.2mとした。

2.3 車両

車両については、昼間と夜間で交通量、駐車状況が異なるため、昼間の活動ピーク時および夜間の静穏時の2パターンについて車両数の算定を行った。

車両の走行・駐車パターンとして、幹線道路を通行する車両と、細街路を通行する車両および駐車している車両について、設定を行った。

幹線道路とは、道路交通センサス対象の道路を差し、細街路はそれ以外の道路である。

1) 幹線道路（センサス対象道路）

幹線道路については、以下の手順で台数を算出した。

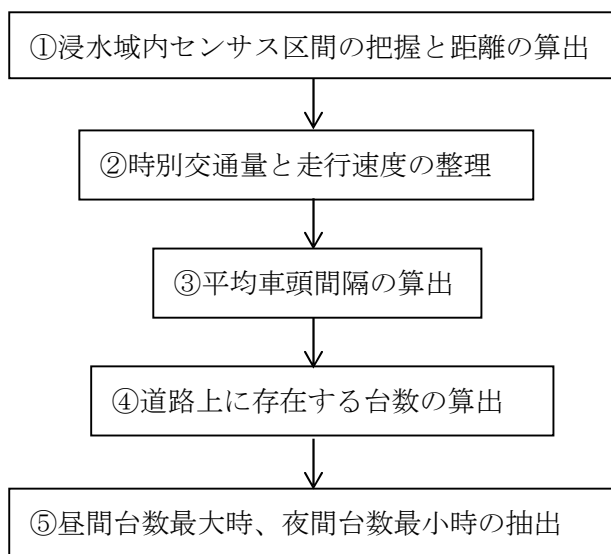


図 2.3.1 幹線道路における車両台数算定フロー

なお、調査対象範囲はセンサス区間、駐車場等、浸水域よりやや余裕をもって設定した上で、浸水範囲により抽出した。

① 浸水域内センサス区間の把握と距離の算出

車両台数算定には H27 年度道路交通センサスの交通量を用いるが、センサス区間位置の把握には H22 年度道路交通センサスデータを用い、センサス区間ごとに GIS 上で浸水域内のラインを設定して距離を算出した。

H27 年度道路交通センサスについては表以外の資料を入手することが出来ないため、センサス区間位置図については H22 年度データを用いたものである。ただし、国道 55 号および国道 195 号の新設区間については、交通量が大きいことが想定されるため、起終点の交差点名から推測してセンサス区間を設定した。

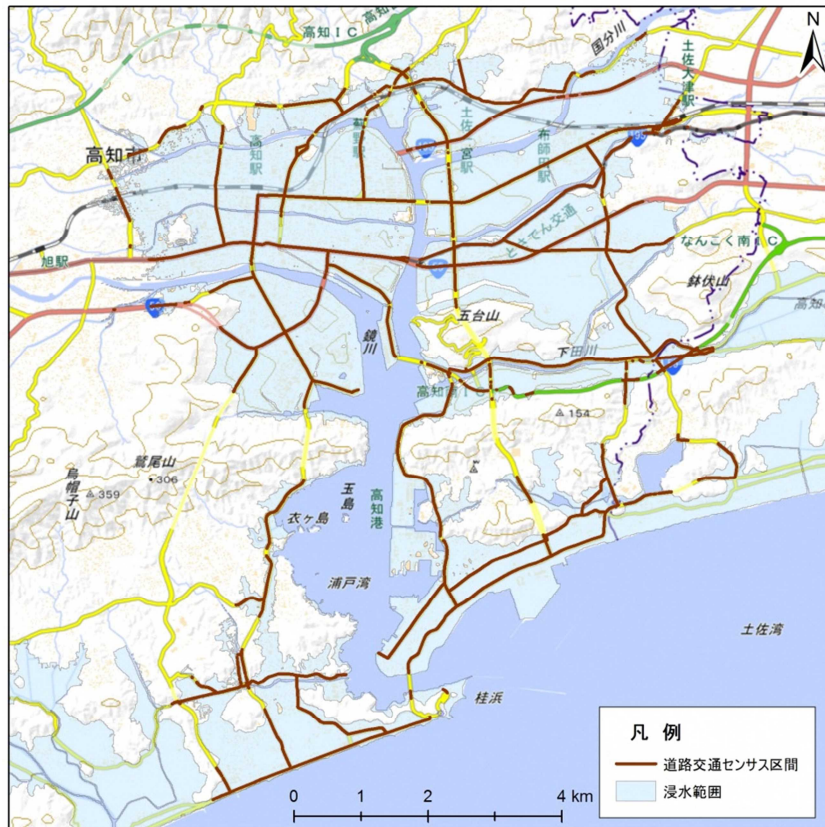


図 2.3.2 道路交通センサス区間の把握

② 時別交通量と走行速度の整理

①で把握した道路交通センサス区間について、各区間の時別交通量と走行速度について整理を行った。このとき、観測区間が12時間の区間については、公表されている24時間交通量と昼間12時間交通量から夜間交通量を算出して昼夜率を求め、昼夜率が同等と考えられる24時間観測区間を設定し、その24時間観測区間の夜間時別交通量の夜間交通量に対する比率をあてはめて夜間の時別交通量を設定した。

また、昼間の走行速度としては公表されている混雑時旅行速度を用い、夜間の走行速度としては指定最高速度を用いることとした。

③ 平均車頭間隔の算出

②で算出した走行速度および交通量から平均車頭間隔を算出した。

$$\text{平均車頭間隔 (km/台)} = \text{走行速度(km/h)} \div \text{交通量(台/h)}$$

④ 道路上に存在する車両台数の算出

①で求めた区間延長および③で算出した平均車頭間隔から、道路上に存在する車両台数を算出した。

$$\text{車両台数(台)} = \text{区間延長(km)} \div \text{平均車頭間隔(km/台)}$$

⑤ 昼間台数最大時、夜間台数最小時の抽出

昼間 7～19 時の間で車両台数の最大となる時刻、夜間 20～6 時の間で車両台数の最小となる時刻を抽出した。その結果、昼間最大は朝 8 時、夜間最小は深夜 2 時となった。

表 2.3.1 幹線道路上車両数 (台)

種別	昼間最大 (朝 8 時)	夜間最小 (深夜 2 時)
小型車	5,671	99
大型車	505	38
合計	6,176	137

2) 細街路を通行する車両および駐車車両

細街路を含む駐車車両は、平成 24 年 1～3 月撮影の高知県所有の航空写真から算定した。

大型駐車場に駐車している車両については、その駐車場が住居に属するものか非住居（商業施設等）に属するものかを航空写真から判別し、非住居に属する大型駐車場に駐車している車両及び細街路（センサス対象道路以外の道路）上の車両については、夜間は存在しないものとする。

整理した車両数は以下のとおりである。

表 2.3.2 駐車車両（細街路を含む）数（台）

種別	大型駐車場以外		住居系 大型駐車場	非住居系 大型駐車場
	細街路	駐車場等		
小型車	3,490	52,502	2,396	15,706
大型車	404	43	0	436
合計	3,894	52,545	2,396	16,142

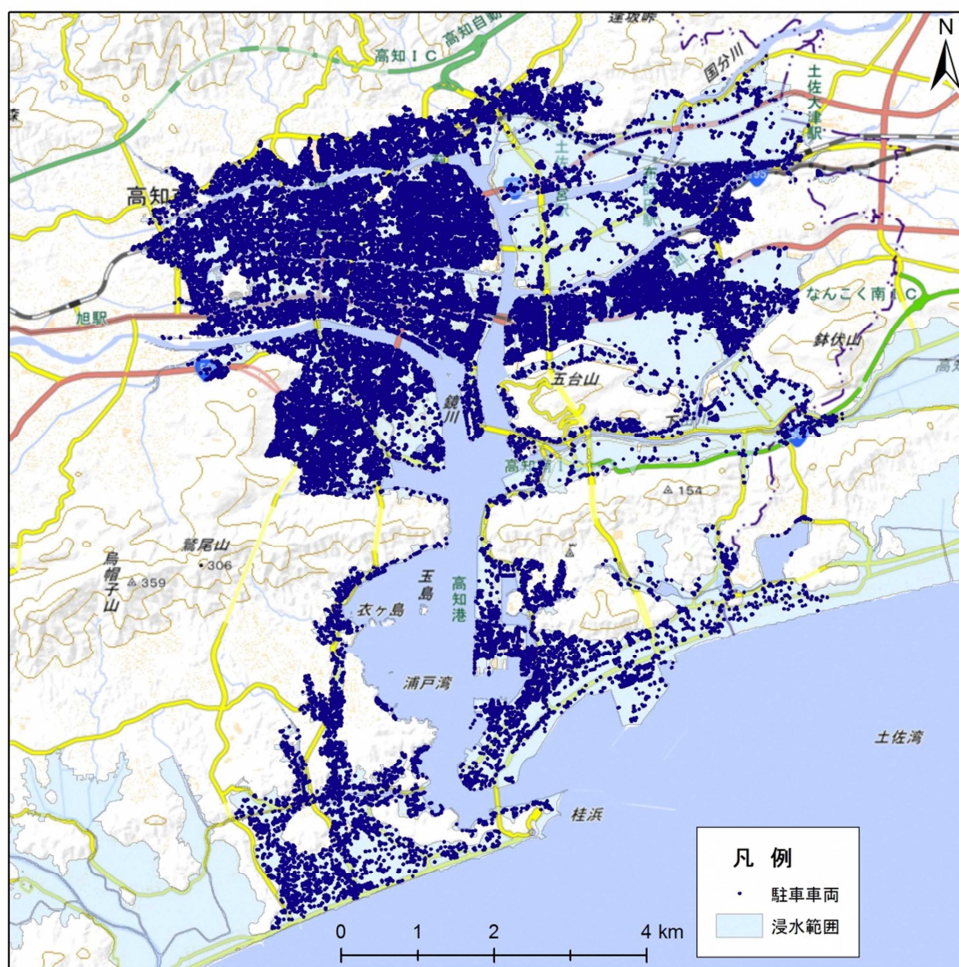


図 2.3.3 駐車車両（細街路含む）位置図

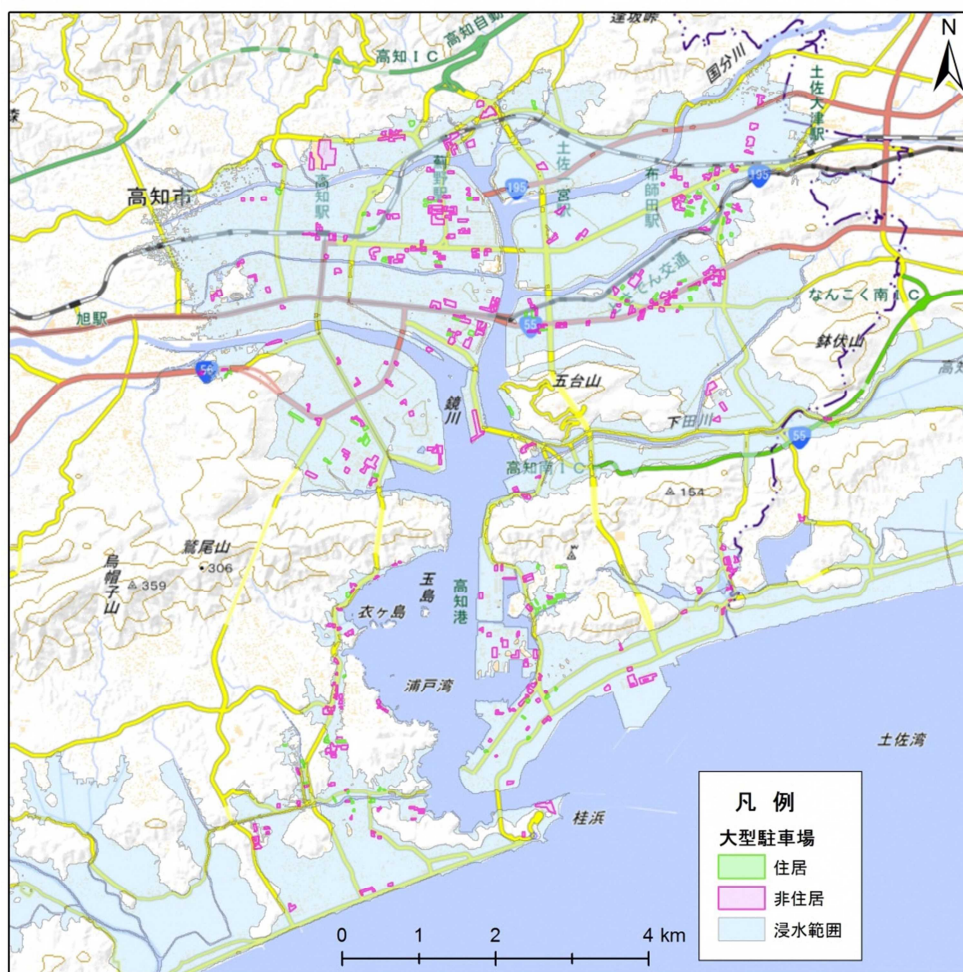


図 2.3.4 大型駐車場位置図

幹線道路および細街路を合計し、L2 浸水範囲を最大とし、浸水が入り組んだ箇所は漏れのないようにやや余裕をみて整理した車両台数は以下のとおりであった。

表 2.3.3 全合計車両数 (台)

種別	昼間	夜間
合計	81,153	55,078

移動開始・停止水深は、大型車 0.66m、小型車 0.37m とした (大型車のモデルをいすゞエルガノンステップバス、小型車のモデルを日産エルグランドとし、諸元から車を直方体として仮定して算出)。

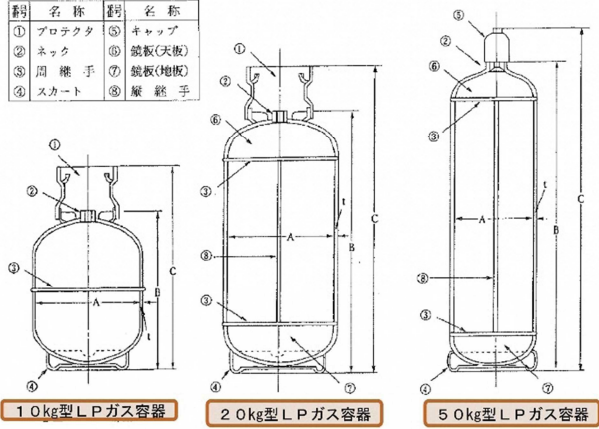
2.4 LP ガスボンベ

LP ガスボンベについて各事業者にヒアリングした結果を以下に示す。LP ガスボンベ数の総合計は10,907本となった。

表 2.4.1 LP ガスボンベヒアリング結果

事業者	LP ガス容器の種類	置き場所			
		①充填所		②容器検査所	③廃棄容器置場及び新規容器置場
		充填済み (本数)	残ガス (本数)	空容器 (本数)	空容器（廃棄、新規等） (本数)
A 社	50kg 型	430	20	0	430
	30kg 型	10	0	0	0
	20kg 型	580	20	0	170
	10kg 型	60	0	0	0
	その他（5.8kg 型）	10	0	0	0
B 社	50kg 型	300	20	200	180
	30kg 型	0	0	0	0
	20kg 型	350	20	300	300
	10kg 型	50	0	30	30
	その他（2～8kg 型）	20	0	20	20
C 社	50kg 型	1,300	300	0	0
	30kg 型	20	0	0	0
	20kg 型	500	100	0	0
	10kg 型	10	0	0	0
	その他（500kg 型）	8	0	0	0
D 社	50kg 型	300	230	0	0
	30kg 型	4	0	0	0
	20kg 型	350	200	0	0
	10kg 型	65	30	0	0
	その他（2～5kg 型）	0	10	0	0
E 社	50kg 型	1,200	150	100	100
	30kg 型	250	20	10	10
	20kg 型	1,300	150	130	100
	10kg 型	300	10	10	20
	その他（5kg 型）	50	0	0	0
合計		7,467	1,280	800	1,360

番号	名称	番号	名称
①	プロテクタ	⑤	キャップ
②	ネック	⑥	鏡板(天板)
③	肩 継 手	⑦	鏡板(地板)
④	スカート	⑧	麻 絲 手



代表的なLPガス容器の種別寸法

区分/容器の種別	10kg容器	20kg型容器 (軽量容器)	50kg型容器 (軽量容器)
基準内容積(L)	24	47	118
充てん質量(Kg)	10	20	50
基準外径A+2t (mm)	300~310	310~320	365~370
容器の肉厚 t (mm)	約 3.0	約 2.6	約 2.6
容器の質量(kg)	約 13	約 18	約 36
基準高さB(mm)	425~455	705~760	1230~1280
容器の全長C(mm)	約 520	約 990	約1410~1440

※A, B, C, tは下図による。

出典：兵庫県LPガス協会 (<http://www.hyogolpg.or.jp/info20131001.html>)

図 2.4.1 LP ガスボンベ諸元

LP ガスボンベについては、残ガス量および諸元より、移動開始水深はボンベが立っているものとして算出し、移動停止水深はボンベが横倒しとなっているものとして算出した。

2.5 コンテナ

航空写真よりコンテナ置き場を特定し、航空写真で位置を取得した。なお、航空写真から浦戸湾沿岸地域でのコンテナ置き場を探したところ、**図 2.5.1** に示す地点 1 か所であった。

コンテナ数は 120 個であった。



図 2.5.1 コンテナ置き場

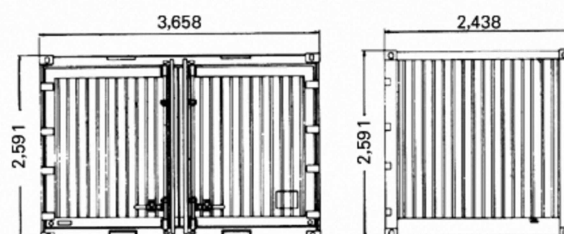
12フィート在来型



ご存知の通りこのコンテナサイズは町で見かける J R 型のコンテナです。移動性抜群で物流関係、自治会、商店街、工場、個人向け防災倉庫、物置機材収納、廃棄物維持保管に便利です。

外寸	高さ	2591mm
	幅	3658mm
	長さ	2438mm
内寸	高さ	2366mm
	幅	3586mm
	長さ	2288mm
ドア開口部	外扉 高さ	2238mm
	長さ	3577mm
収容能力	床面積 (坪)	2.5
	内容積 (m ³)	19.4
重量 (t)		1.6
材質	外板	スチール製
	内装 (壁)	スチール製
	天井	スチール製
	床	合板
	断熱材	無し

12フィートコンテナ全体図



	長さ mm	幅 mm	高さ mm
外法寸法	3,658	2,438	2,591
内法寸法	3,586	2,317	2,366
開口寸法	3,577	-	2,238
自重	1,630kg		
最大積載量	8,000kg & 10,000kg		
内容積	19.7m ³		

出典 : http://www.ukohcontainer.co.jp/02_container/all.html

図 2.5.2 コンテナ諸元

コンテナについては、諸元より移動開始・停止水深を 0.35m とした。

2.6 ドラム缶

・諸元：大きさ、重さ、位置等

ドラム缶について各事業者ヒアリングした結果を表 2.6.1 に示す。ドラム缶数は合計 380 缶であった。

表 2.6.1 ドラム缶数

事業者	ヒアリング結果
A 社	置いていない。
B 社	平積の置き場に多くて 70 缶程度 油種は、潤滑油（車のエンジンのギアオイル）で、満タンの状態である。
C 社	置いていても 10 缶程度である。
D 社	200ℓ 満タン：175 缶 空：65 缶 20ℓ（ペール缶） 60 缶

■ テーパーペール缶

※下記サイズは標準サイズとなります。メーカーにより若干サイズが異なります。
※その他のサイズをご希望の場合はご相談ください。

バンドタイプ、ラグタイプ、クリスタタイプ

容量 リットル	天外径 mm	地外径 mm	外高 mm
27	300	276	455
20	300	276	360
18	300	276	331

■ クローズタイプ(天地巻締タイプ)

※下記サイズは標準サイズとなります。メーカーによって若干サイズが異なります。

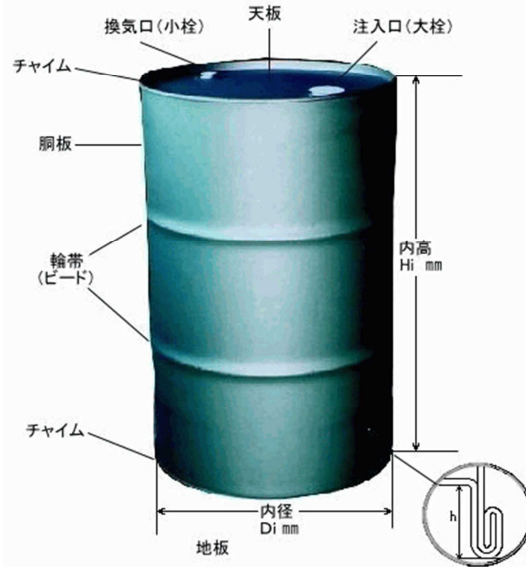
容量 リットル	天外径 mm	地外径 mm	外高 mm
20	277	290	376

出典：太陽シールパック株式会社 HP

<http://www.taiyosealpack.co.jp/product/detail/35.php>

図 2.6.1 ペール缶諸元

200L(液体用)クローズドラム



種 類		200Lオープンドラム缶 (JISZ1600)L						
級別	板厚 mm		内径 mm Di	内高 mm Hi	チャイム mm h	輪帯高 mm	容量 l	質量 kg
	胴	天地						
H級	1.6		567 ±3	830 ±10	24 ±3	7 以上	200 以上	27.0 以上
M級	1.2							20.0 以上
LM級	1.0	1.2						17.5 以上

出典：200L ドラム缶 - 横山容器工業株式会社

<http://www.yokoyama-youki.co.jp/200ldm.htm>

図 2.6.2 200L ドラム缶諸元

ドラム缶については、内容量別に諸元より、移動開始・停止水深を算出した。

2.7 船舶

船舶は泊地に停泊しているものとし、平成 24 年 1～3 月撮影の高知県所有の航空写真より、船首と船尾を結ぶラインで位置及び長さを取得した。

船を岸壁等につなぎとめるもやい綱の破断の検討を行うために、船舶長さから下記の論文にある分類で船舶を 1t、3t、5t、10t に分類した。表 2.7.1 で、L が船舶の長さとなる。分類にあたっては、8m 未満を 1t (1,269 隻)、8m 以上 10m 未満を 3t (193 隻)、10m 以上 12m 未満を 5t (118 隻)、12m 以上 30m 未満を 10t (326 隻) とした (合計 1,906 隻)。なお、30m 以上の長さの船舶は大型船舶として別途、破断の検討を行った (28 隻)。

表 2.7.1 船舶緒元

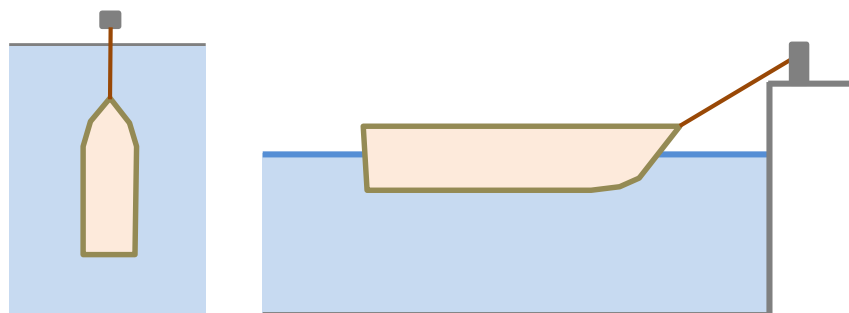
項目	値	備考
係留索の材質	クレモナ	図-5 アンケート結果より 係留索の材質より最多頻度の 3 割程度の回答
係留索のヤング率	$E=5.0 \times 10^8$ (N/m ²)	平成 18 年度 漁業地域における防災対策検討調査報告書 ³⁾ より設定
係留索の長さ	$l_0=3.0$ m	図-6 アンケート結果より 0～5mの中央値で設定
漁船の諸元 (質量, 長さ, 幅, 喫水)	1t, L= 7.0m, B=1.8m, D=1.0m 3t, L= 9.0m, B=2.4m, D=1.4m 5t, L=11.0m, B=2.8m, D=1.8m 10t, L=13.0m, B=3.5m, D=2.0m	図-7 アンケート結果より 10t 未満が 8 割以上を占めたため 漁船の諸元は、「漁港・漁場の施設の設計の手引」2003 年版 ²⁾ を参照

三宅健一・坪井幸雄・斎藤正文 津波時の漁船係留索に働く張力について、漁港漁場漁村総合研究所調査研究報告、No.19、69-75.

斎藤他(2009)の式*で、漁船のトン数 1t、3t、5t、10t について、破断流速 V_0 を求めたものを表 2.7.2 に示す。ただし、論文にならって、係留索は 30mm として、最大張力は 74kN としている。また、接岸は縦付けと仮定した。この流速以上の速度が生じた場合、船舶が漂流することとなる。

表 2.7.2 破断流速の算出結果

トン数	L[m]	B[m]	D[m]	E [N/m ²]	l_0 [m]	a [m ²]	m [kg]	m' (縦付け)	$\sqrt{(Ea(m+m'))/10}$	V_0 [m/s]
1	7	1.8	1	5E+08	3	0.000707	1,000	1,449	9,807	7.55
3	9	2.4	1.4	5E+08	3	0.000707	3,000	3,787	16,325	4.53
5	11	2.8	1.8	5E+08	3	0.000707	5,000	7,303	21,981	3.37
10	13	3.5	2	5E+08	3	0.000707	10,000	11,270	28,901	2.56



上から見た図

横から見た図

図 2.7.1 船舶係留イメージ図

また、タナスカ地区のプレジャーボート（66隻）は陸置きであるため、係留索による流速の条件（流速が閾値を超えると係留索が破断して漂流する）は設定せず、車両と同様に浸水深が喫水に到達した時点で漂流開始とした。

また、プレジャーボートは漁船よりも船の長さに対する喫水は浅くなる可能性があるため、各社公表のカタログ記載の喫水を調べた。小型のボートの場合、喫水は積荷の状況や船外機の設置状況等によっても異なるため、統計的にまとめられた資料はなく、カタログにも表記されていないことが多いが、ここでは入手出来た範囲での記載より漁船の諸元の設定と比較して以下のように整理した。

表 2.7.3 プレジャーボートの喫水設定

長さ	喫水（漁船）	喫水（プレジャーボート）
7.0m	1.0m	0.5m
9.0m	1.4m	0.8m
11.0m	1.8m	1.0m

なお、プレジャーボートは平常時は船台に載せてあるため、漂流開始前は喫水に0.6mを加算した高さであるとした。船台の高さは現地においてサンプルを確認した値である。

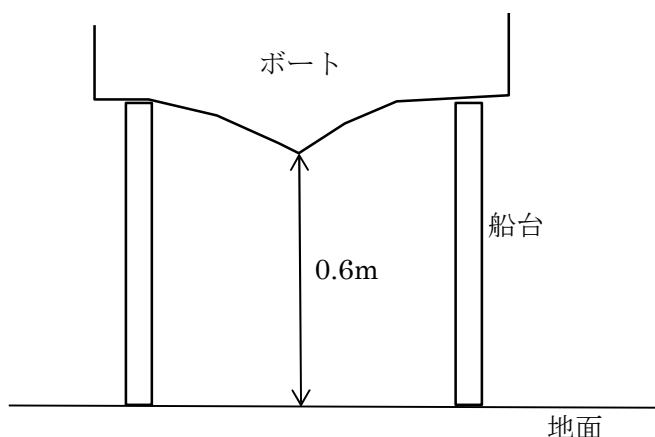


図 2.7.2 船台高さの設定

このことより陸置きプレジャーボートは、地震発生後、浸水深が喫水+0.6mに達した時点で漂流を開始し、その後は浸水深が喫水を下回ったところで漂流をやめ、再び浸水深が喫水を上回れば再漂流する、という設定とした。

大型船舶（28 隻）については、以下の考え方に基づいて破断条件を設定した。

「大地震及び大津波来襲時の航行安全対策に関する調査研究」（（社）日本海難防止協会、2014 年 4 月）では、係留動揺シミュレーション手法により津波高さ及び流速による係留限界を調査している。モデルとして検討している 3,000DWT（DWT:載貨重量トン）・全長 80m の一般船舶及び 10,000DWT・全長 113m の一般船舶に対しては、津波高さについては概ね 3～6m 程度、津波流速については概ね 12～13 ノット（6.2～6.7m/s）が係留限界となるとしている。このことより、本業務では全長 30m 以上の船舶は、津波高さ 3m 以上、津波流速 6m/s 以上で破断するとした。これにより、破断した大型船舶は L1 津波で 1 隻、L2 津波で 9 隻であった。

また、移動開始・停止水深（喫水）は、同資料より、全長 50m 以下が 3m、50m より大きい船舶を 5m とした。

2.8 油

油の流出元はタナスカ地区、中の島地区の2地区とした。

油の流出量は石油タンクがある企業へのヒアリングより、タンクの容量等をもとに以下の3パターンの発生条件を設定のうえ算出した。

・ 検討ケース①（最悪のケース）

タンクが満タンの状態で、全てのタンクが破損したケースを想定

（現実的ではないが他のケースとの対比の意味も含め最悪のケースを想定）

全てのタンクから許可容量の油が流出する

・ 検討ケース②（追加対策前のケース）

タンクに比べ破損し易い配管だけが全て破損したケースを想定

自動弁遮断があるタンクは、配管内の油だけが流出する

自動弁がないタンクは、配管高さより上の油が全て流出する

・ 検討ケース③（追加対策後のケース）

検討ケース②で、対策としてすべてのタンクに自動弁を設置したケースを想定

自動弁遮断により、配管内の油だけが流出する

検討ケース毎の油の流出量を算定した結果は、下表に示すとおりである。

表 2.8.1 検討ケース毎の油流出量 (kL)

検討ケース	油流出量
① 最悪のケース	35,274
② 追加対策前のケース	2,513
③ 追加対策後のケース	147

表 2.8.2 油タンク一覧

事業者名	許可容量	寸法		
		内径(m)	高さ(m)	
A社	496 KL	9.60	7.66	
	499 KL	9.60	7.66	
	496 KL	9.60	7.63	
	978 KL	13.56	7.61	
	978 KL	13.56	7.63	
	1,300 KL	11.62	13.70	
	2,000 KL	15.50	12.18	
	2,000 KL	15.50	12.18	
	2,000 KL	14.50	13.68	
	B社	199 KL	6.797	6.05
75 KL		4.800	4.50	
320 KL		7.720	7.50	
194 KL		6.742	6.05	
101 KL		4.830	6.04	
180 KL		6.500	5.88	
180 KL		6.500	5.88	
180 KL		6.500	5.88	
100 KL		5.000	5.50	
180 KL		6.500	5.88	
180 KL		6.500	5.88	
100 KL		5.000	5.50	
180 KL		6.500	5.88	
180 KL		6.500	5.88	
180 KL		6.500	5.88	
C社		495 KL	9.6	7.62
		495 KL	9.6	7.68
		496 KL	9.67	7.62
	997 KL	11.62	10.66	
	997 KL	11.62	10.66	
	495 KL	9.62	7.62	
	1,363 KL	11.62	13.70	
	320 KL	7.64	7.63	
	495 KL	9.6	7.66	
	990 KL	11.62	10.65	
	1,814 KL	13.56	13.68	
	317 KL	7.65	7.68	
	196 KL	6.68	6.16	
	950 KL	11.6	10.63	
	495 KL	9.67	7.60	
	256 KL	6.989	7.30	
	250 KL	6.76	7.60	
	998 KL	11.6	10.63	
	998 KL	11.6	10.63	
	256 KL	6.98	7.30	
495 KL	9.67	7.60		
870 KL	10.64	10.66		
870 KL	10.64	10.66		
995 KL	10.64	13.65		
995 KL	10.64	13.70		
995 KL	10.64	13.65		
995 KL	10.64	13.65		
1,990 KL	13.56	15.22		
195 KL	6.72	6.10		

風速及び風向については、無風時および4方向（東西南北）について、風速3.5m/sとした。

風速については、高知地方気象台における 2007 年～2016 年の 10 年間の季節別・時間別・風向別の平均風速の最大値の 3.5m/s を設定している。

4方位での季節別・時間別・風向別の平均風速の最大値は下記のようになり、それほど差はないことから、風速は風向に寄らず、3.5m/sの設定とする。

N 系 (NNW～NNE) : 3.5m/s (春、NNE、14 時)

E 系 (ENE～ESE) : 3.3m/s (秋、ESE、8 時)

S 系 (SSE～SSW) : 3.2m/s (春、S、7 時)

W 系 (WSW～WNW) : 3.5m/s (春、W、16 時)

3 津波シミュレーション・がれき等拡散シミュレーションの実施

3.1 津波シミュレーション

がれき等拡散シミュレーションの実施に必要な津波シミュレーションを実施し、使用する津波シミュレーションの妥当性について検証した。

1) 基本方程式

基本方程式は、非線形長波理論による式とし、「津波浸水想定の設定の手引き Ver.2.00、国土交通省水管理・国土保全局海岸室・国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室、平成24年10月」で指定された、各種現象が考慮可能なモデルを用いた。

2) メッシュ区分

計算メッシュは「【高知県版第2弾】南海トラフの巨大地震による震度分布・津波浸水予測について」で用いたメッシュ区分とし、浦戸湾内で最小10mとした。



図 3.1.1 計算メッシュ領域図

3) 津波条件

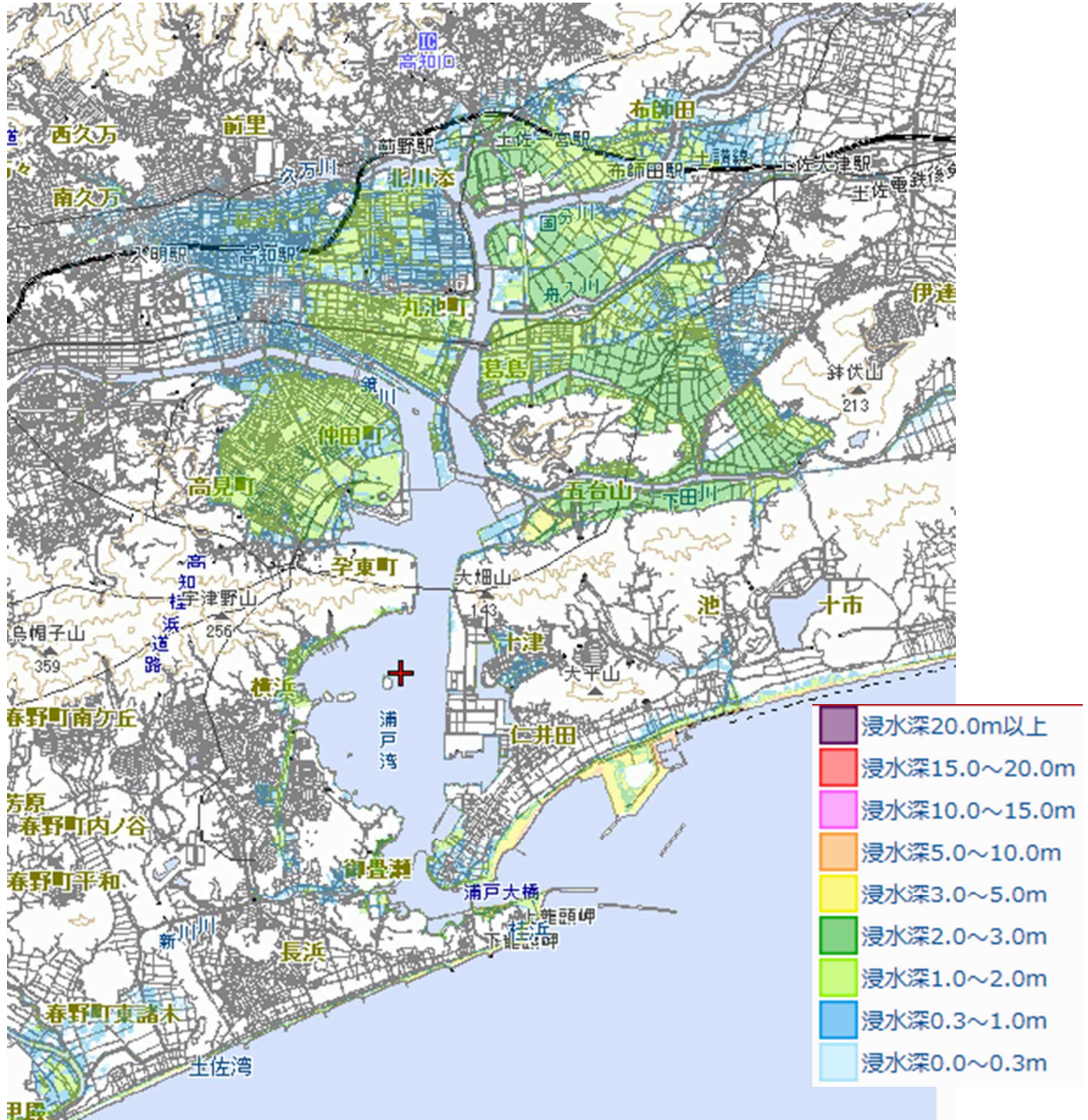
津波条件は、津波高はそれほど高くないが発生頻度の高い津波（L1）、発生頻度は低い
が最大クラスの津波（L2）を対象とした。

発生頻度の高い津波（L1）としては、「【高知県版第2弾】南海トラフの巨大地震による
震度分布・津波浸水予測について」（平成24年12月10日）に記されている、安政南海
地震クラスの地震による津波1ケースとした。

最大クラスの津波（L2）としては、「津波浸水想定（平成24年12月）」で浦戸湾地域
海岸において選定されている「南海トラフの巨大地震モデル検討会（内閣府）」の津波断層
モデル3ケース（ケース4、ケース5、ケース11、Mw9.1）のうち、浦戸湾で最大津波高
が最も高くなる領域の広いケース5とした。

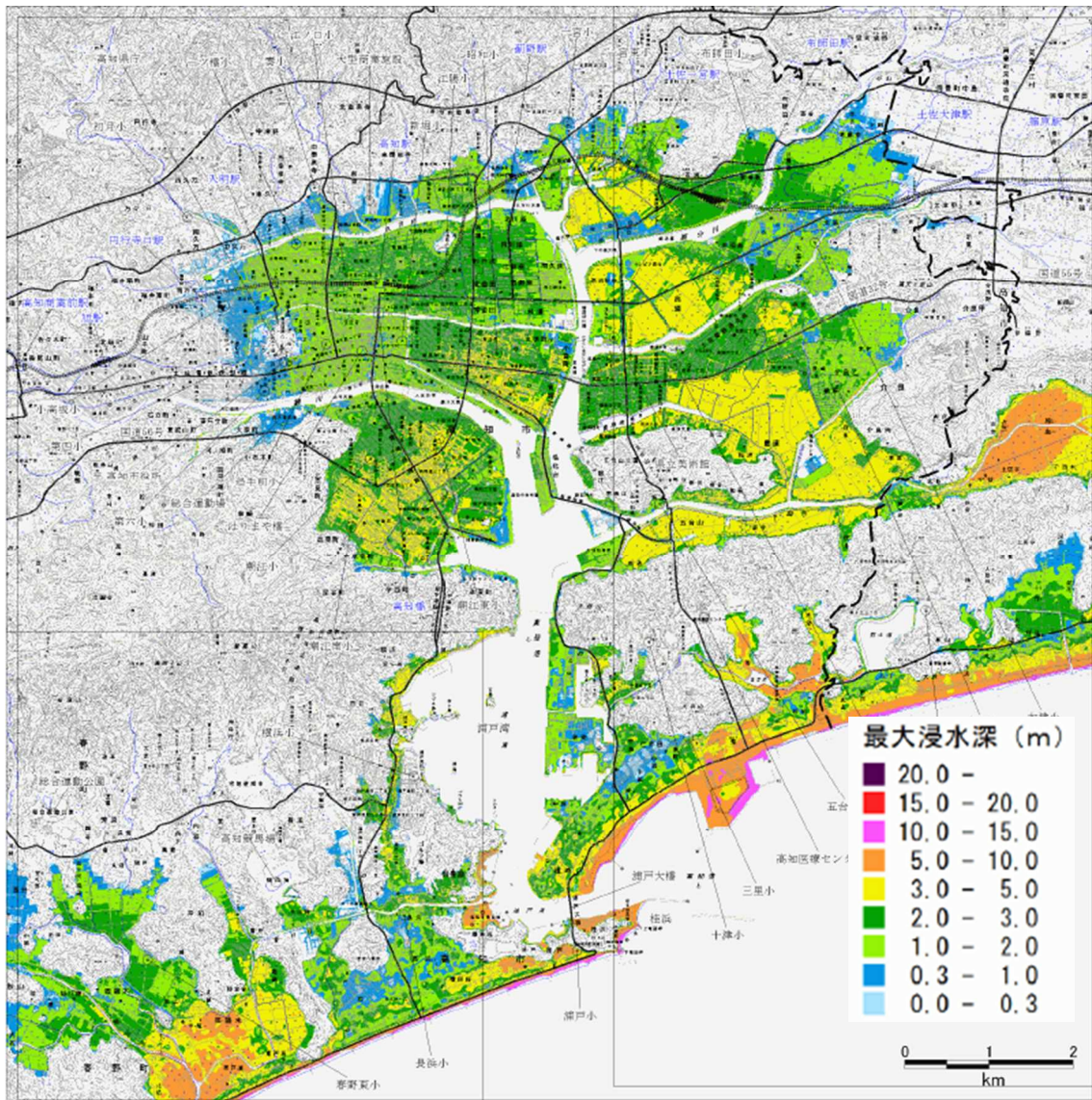


図 3.1.2 最大津波高が最も高くなる南海トラフの巨大地震津波断層モデル



出典：「高知県防災マップ」
<http://bousaimap.pref.kochi.lg.jp/kochi/top/select.asp?dtp=1&pl=3>

図 3.1.3 発生頻度の高いクラスの津波（L1） 最大浸水深分布



出典：「【高知県版第2弾】南海トラフの巨大地震による震度分布・津波浸水予測について」<http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/010201/nannkai-3.html>

図 3.1.4 最大クラスの津波（L2） 最大浸水深分布

4) 計算時間

計算時間は「【高知県版第2弾】南海トラフの巨大地震による震度分布・津波浸水予測」での設定が「最低12時間かつ津波が収束するまで」となっていることから、12時間として確認を行った。

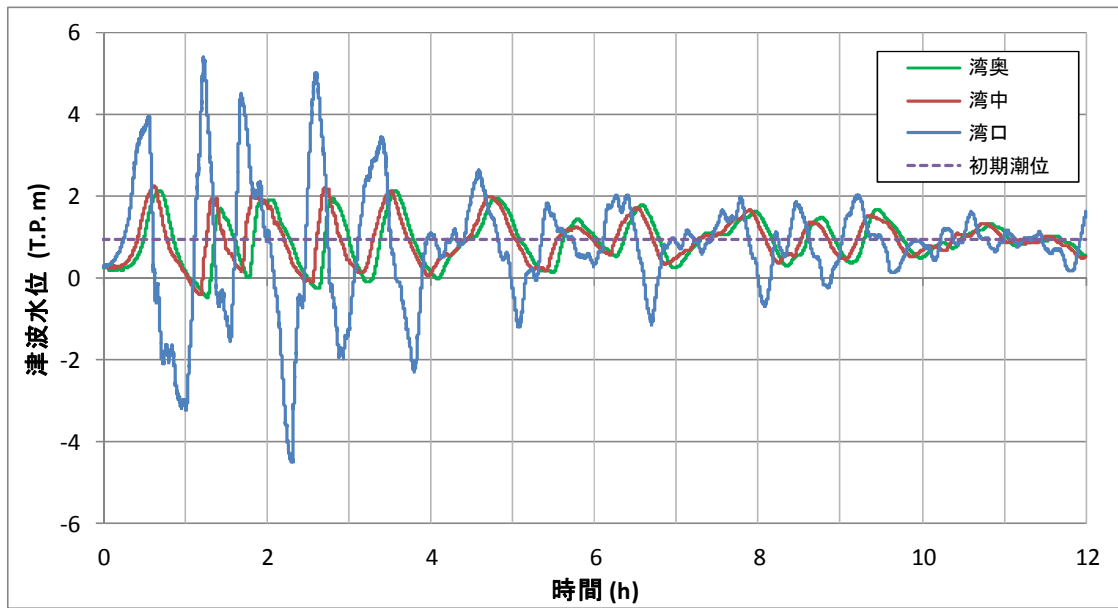
時間経過により津波水位を確認した結果を図3.1.6に示す。これによれば、L1津波もL2津波も第1波が地震発生後おおよそ30分未満で到達し、湾口部における最大津波水位はL1津波では第2波、L2津波では第3波となっていることがわかる。いずれも6時間経過するまでに約7回の波が到達しているが、その後は波高が小さくなり、10時間以降は初期潮位からの波高はおおよそ1m未満で収まっている状況である。

以上より、がれき等の漂流状況の把握について12時間後を最終時点と考え、以後12時間経過後の位置を「最終位置」と呼ぶこととした。



図 3.1.5 津波水位時系列取得地点

○ L1



○ L2

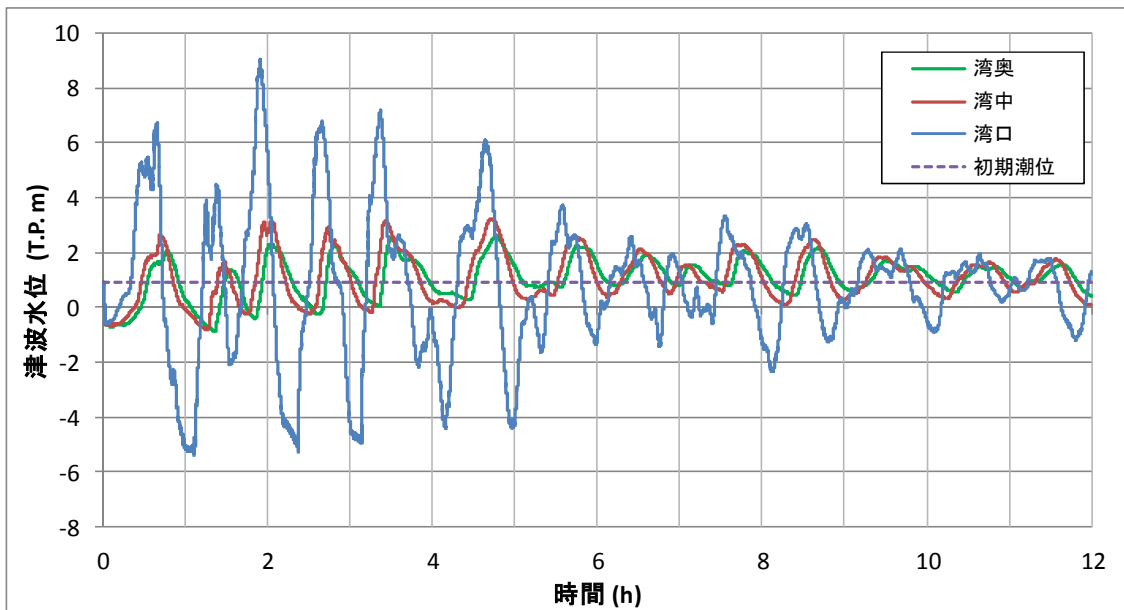


図 3.1.6 津波水位時系列グラフ

3.2 がれき等拡散シミュレーションの数値解析モデルの構築

津波シミュレーション結果から、がれき等の発生機構（建造物の倒壊、漂流物の発生機構など）・発生量を推定する数値解析モデルの構築を行った。

1) 複数のがれき等の漂流物の移動軌跡を推定する数値解析モデル

計算モデルは、津波数値シミュレーションから得られる流速と水位の時系列分布を用いて、浮力、慣性、水流の圧力勾配、付加質量、流速抵抗、拡散を考慮したモデル（後藤(1983)※）を用いた。

漂流物の形状は考慮せず粒子として扱い、漂流物同士の衝突は考慮しない。また、資料収集で得たがれき等の体積と重量に関する資料等から、漂流物の漂流開始・停止を計算に反映させた。

※後藤智明、津波による木材の流出に関する計算、第30回海岸工学講演会論文集、594-597、1983.

2) 油の拡散を追跡する数値解析モデル

計算モデルは、松崎・藤田(2016)※を用いた。

油は粒子の集合体に見立て、各々の粒子の位置を、移動速度に時間をかけて算出した。

移動速度は、津波による移流速度、風による移流速度、油の乱流拡散速度の和とした。

※松崎義孝・藤田勇、津波による油流出に関する数値計算法の開発、港湾空港技術研究所資料、No.1327、p19、2016.

がれき等拡散シミュレーションについて、実施したシミュレーション一覧を表 3.2.1 に示す。

表 3.2.1 シミュレーション一覧

がれき種類		ケース	津波シミュレーション	
			L1	L2
浸水		—	○	○
建物		—	○	○
木材		—	—	○
車両		昼	○	○
		夜	○	○
LPガスボンベ		—	○	○
コンテナ		—	—	○
ドラム缶		—	○	○
船舶		—	○	○
油	最悪のケース	無風	○	○
		東風	○	○
		西風	○	○
		南風	○	○
		北風	○	○
	追加対策前	無風	○	○
		東風	○	○
		西風	○	○
		南風	○	○
		北風	○	○
	追加対策後	無風	○	○
		東風	○	○
		西風	○	○
		南風	○	○
		北風	○	○

4 がれき等の拡散に伴う津波火災による被害の分析

4.1 がれき等拡散の解析に際してのエリア分割

始めに、今回対象とする地域の国土地理院 Web 地形図のデジタル標高地形図を図 4.1.1 に示す。後述する予測結果の考察において参照する場合がある。

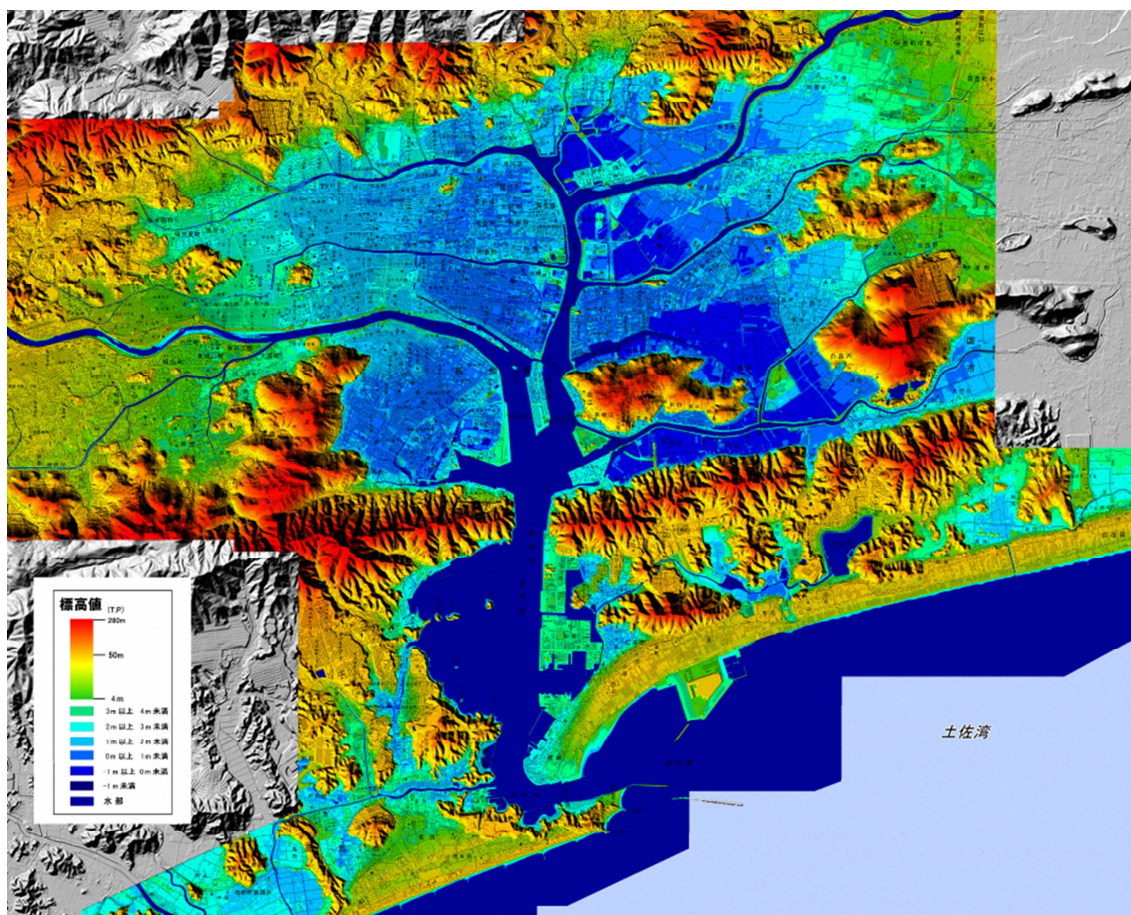


図 4.1.1 国土地理院 Web 地形図 (デジタル標高地形図 高知市)

がれきの種類である建物や車両などは、がれき等の発生量が多く、また広範囲に分布しており、軌跡や漂流後の位置を個別には把握しづらい。

そこで、がれき等発生域を複数のエリアに分割し、エリア単位でがれき等がどのように移動するか、流動の大まかな状況を把握し分析することとした。

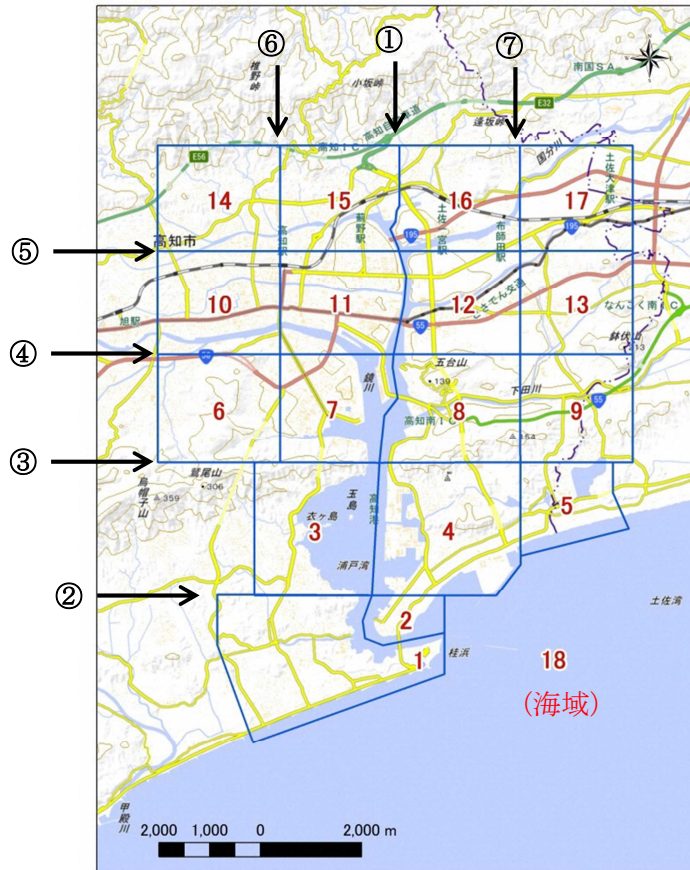


図 4.1.2 建物・車両がれき等分布エリアの分割

エリアの分割にあたっては、漂流物の発生範囲を包括することを考えたうえで、浦戸湾から国分川、久万川を通して北へ向かう線を東西を分割する中央ラインとした (①)。

南北への分割としては、南側から浦戸湾入口近くの御豊瀬の先を基準に1か所 (②)、中央部の大畑山付近で湾が狭くなっているところを基準に1か所 (③)、湾奥の国分川・鏡川の河口付近を基準に1か所 (④)、その北側は②と③の幅をみながら国分川の合流する付近を基準に1か所 (⑤) とした。

中央ラインの左右については、南北の分割との整合を考慮し、細かくなりすぎず大きくなり過ぎないことを考えつつおおむね2分割した (⑥、⑦) が、浸水域の状況によりエリア1とエリア3は分割しないこととした。

がれき等の漂流結果を解析する際に、海域に流出したデータを集計するためにエリア1～17外の海域をエリア18として設定した。

4.2 建物

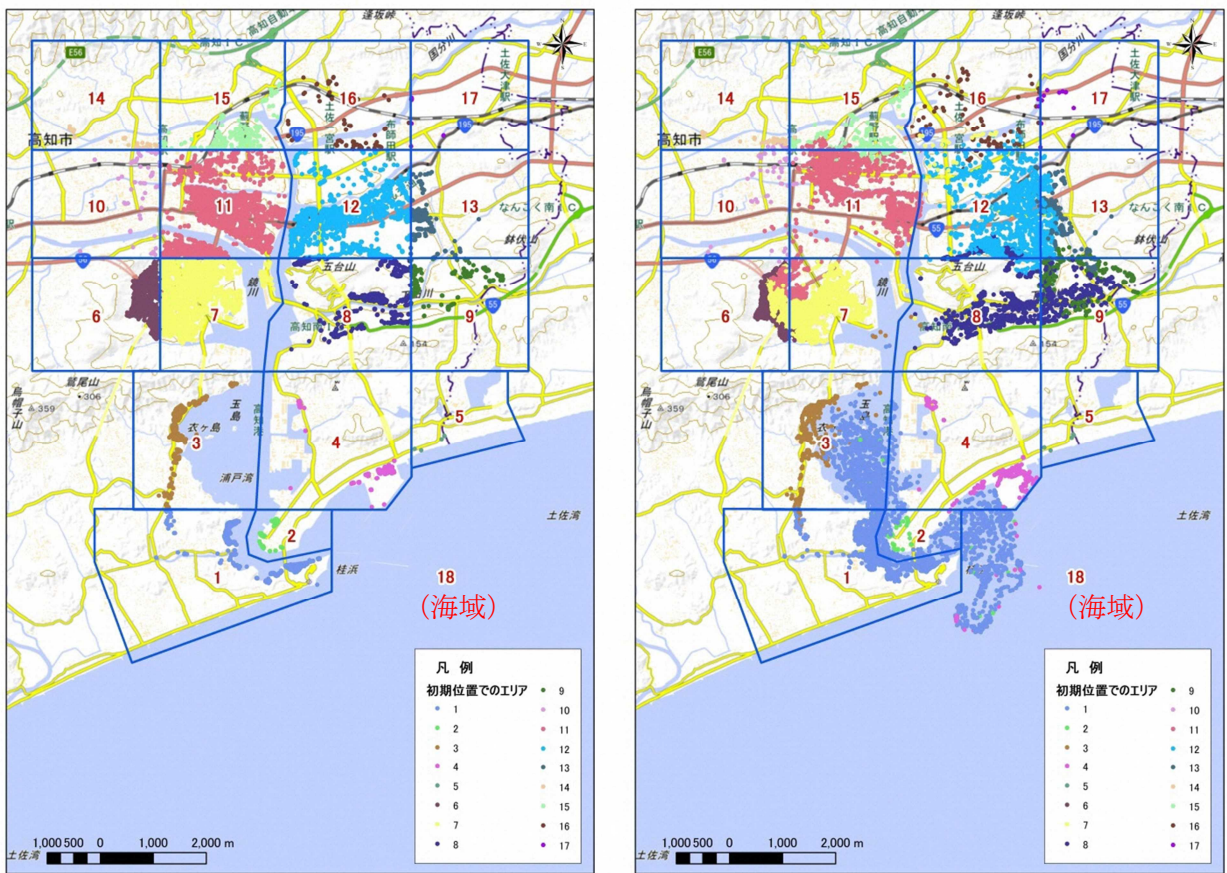
建物については、がれき発生量 1t あたり漂流点 1 点として解析を行った。

津波の規模により建物の被害率が異なるため、L2 と L1 では漂流点数が異なる。

初期エリア毎に色分けした建物がれきの初期・最終位置図を図 4.2.1、図 4.2.4 に示す。

(※L1 は図 4.2.1、L2 は図 4.2.4 に示す。)

建物がれきの漂流状況は L1 津波では浦戸湾入口付近の初期エリア 1 のものが大きく湾内および海域に流出しているが、湾奥からは海域のところまでは流出していない。下田川沿いの遡上により初期エリア 8 から 9 へ、山の裾野への集積により初期エリア 7 および 11 から 6 への移動が目立つ結果となっている。



【初期位置】

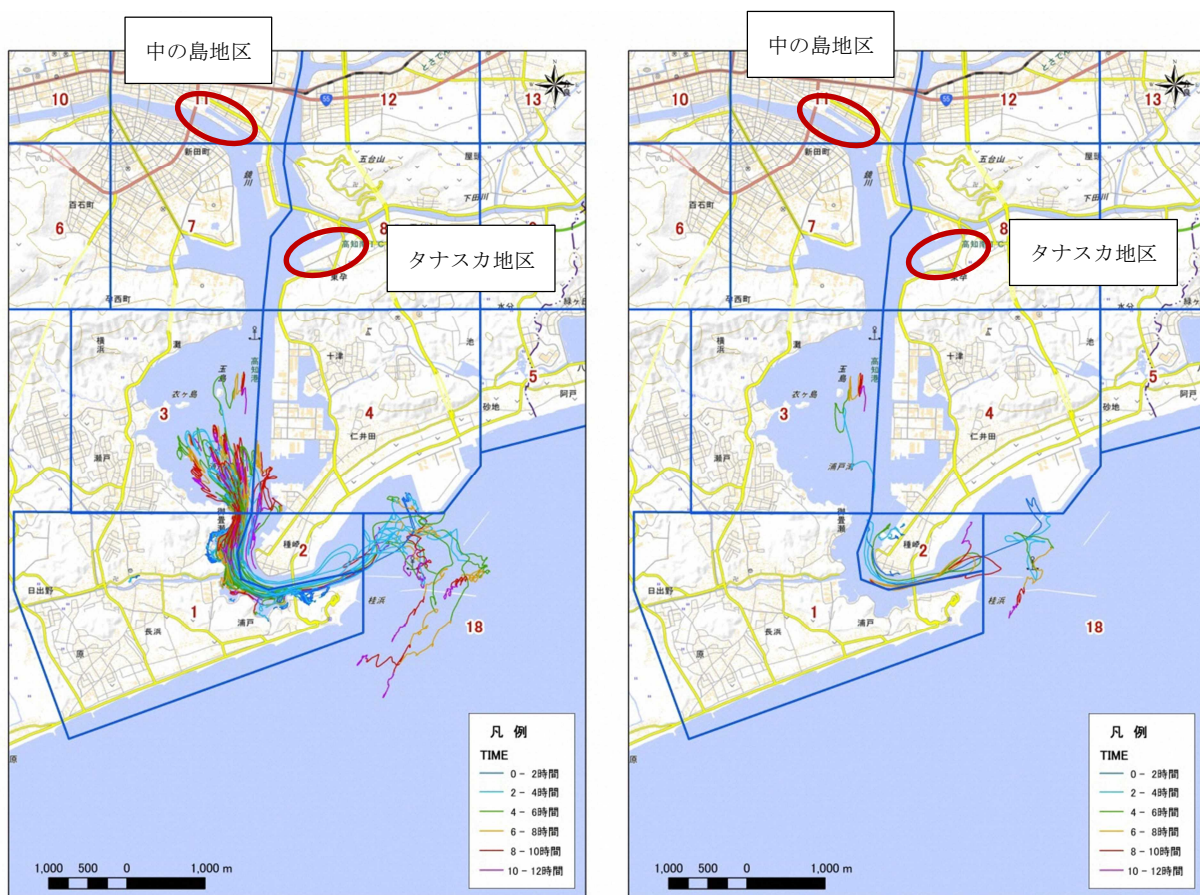
【最終位置】

図 4.2.1 建物がれき漂流結果図(L1)

L1 津波における初期エリア 1 および 2 からの軌跡を図 4.2.2、初期エリア 7 および 11 からの軌跡を図 4.2.3 に示す。

L1 津波ではおおむね初期エリアをまたぐほどの漂流は生じず、外海に面したエリア 1 から北側のエリア 3 または海域のエリア 18 へ、エリア 2 から海域のエリア 18 への漂流、またエリア 7 および 11 の鏡川右岸からエリア 6 の山の裾野への集積が見られる程度であった。

また、オイルタンクの存在するタナスカ地区および中の島地区のタンク周辺を通過する軌跡は生じない結果となった。



【エリア 1】

【エリア 2】

図 4.2.2 建物がれき初期エリアごとの軌跡図(L1) エリア 1、2 (抽出)



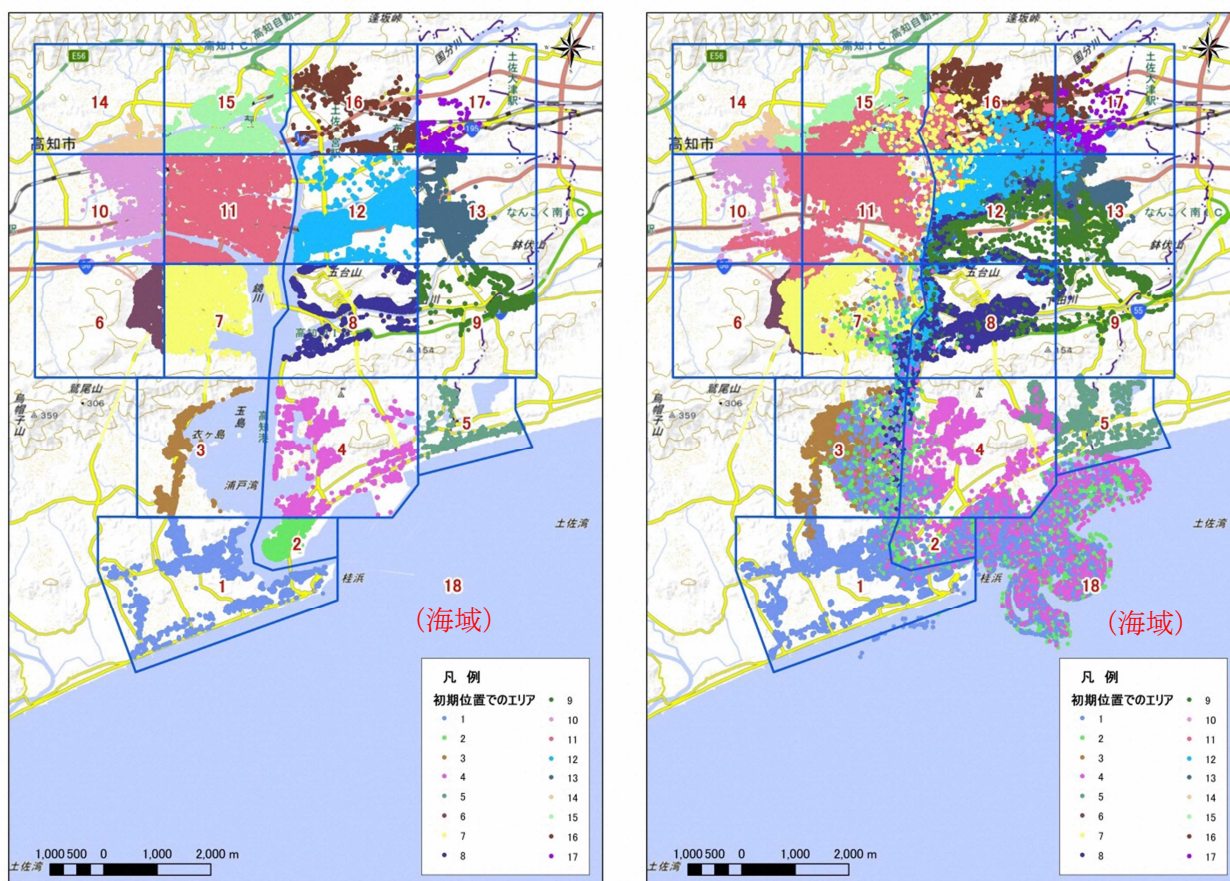
【エリア7】



【エリア11】

図 4.2.3 建物がれき初期エリアごとの軌跡図(L1) エリア7、11 (抽出)

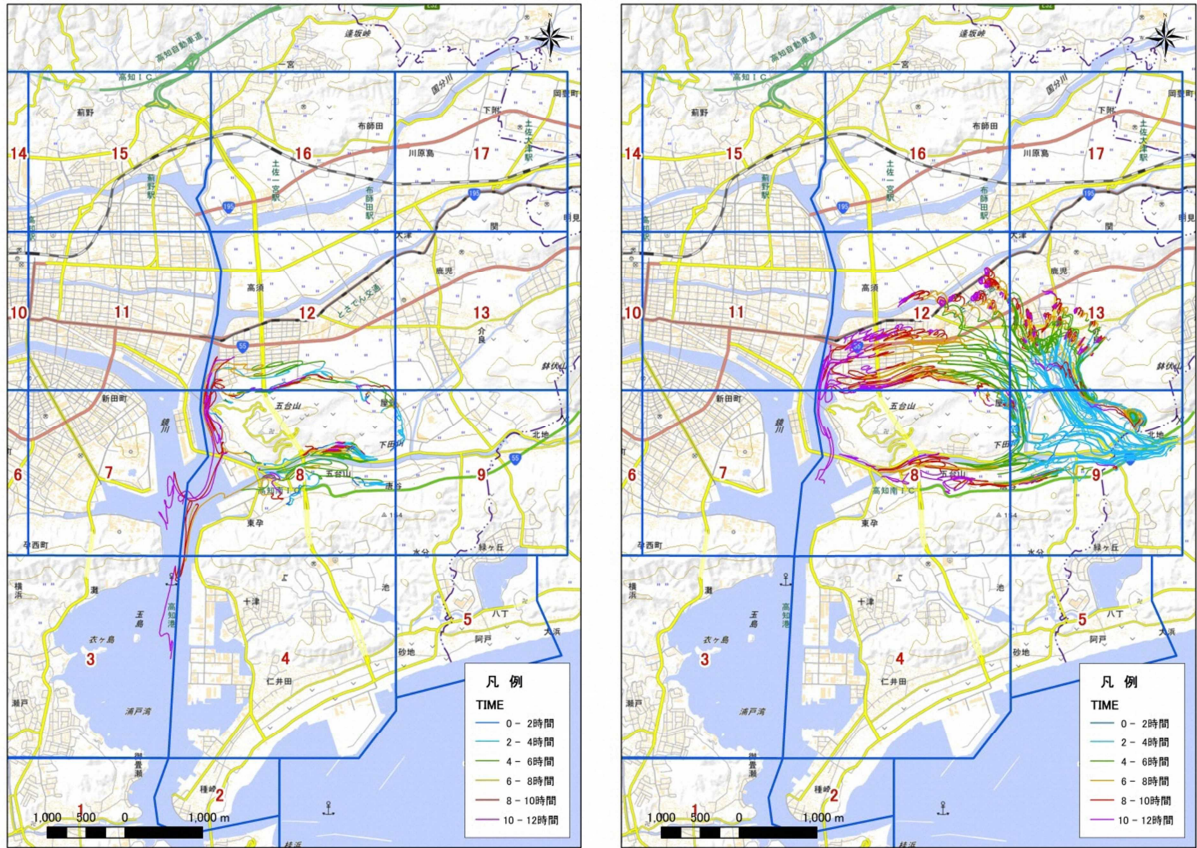
L2津波では、浸水深がL1津波よりも深くなることからがれき量もL1津波より多くなり、エリアをまたいでの移動も多くなっていることがわかる。下田川を遡上する津波によるエリア8から9および13を通過しての12への移動や、エリア9から12、13への移動、浦戸湾から国分川への遡上によるエリア7から北側への移動、鏡川周辺の遡上によるエリア7から6、エリア11から10や浸水域端部の15への移動も目立つ結果となっている。



【初期位置】 【最終位置】
 図 4.2.4 建物がれき漂流結果図(L2)

L2 津波における初期エリア 8 および 9 からの軌跡を図 4.2.5 に示す。

下田川周辺を遡上する津波によりエリア 8 から五台山をまわって 9 および 13 を通過しての 12 への移動やエリア 9 から 12、13 への移動が見られる。これは図 4.1.1 の地形図にも示したように、五台山の周辺に標高の低い地域が広がっているためであると考えられる。

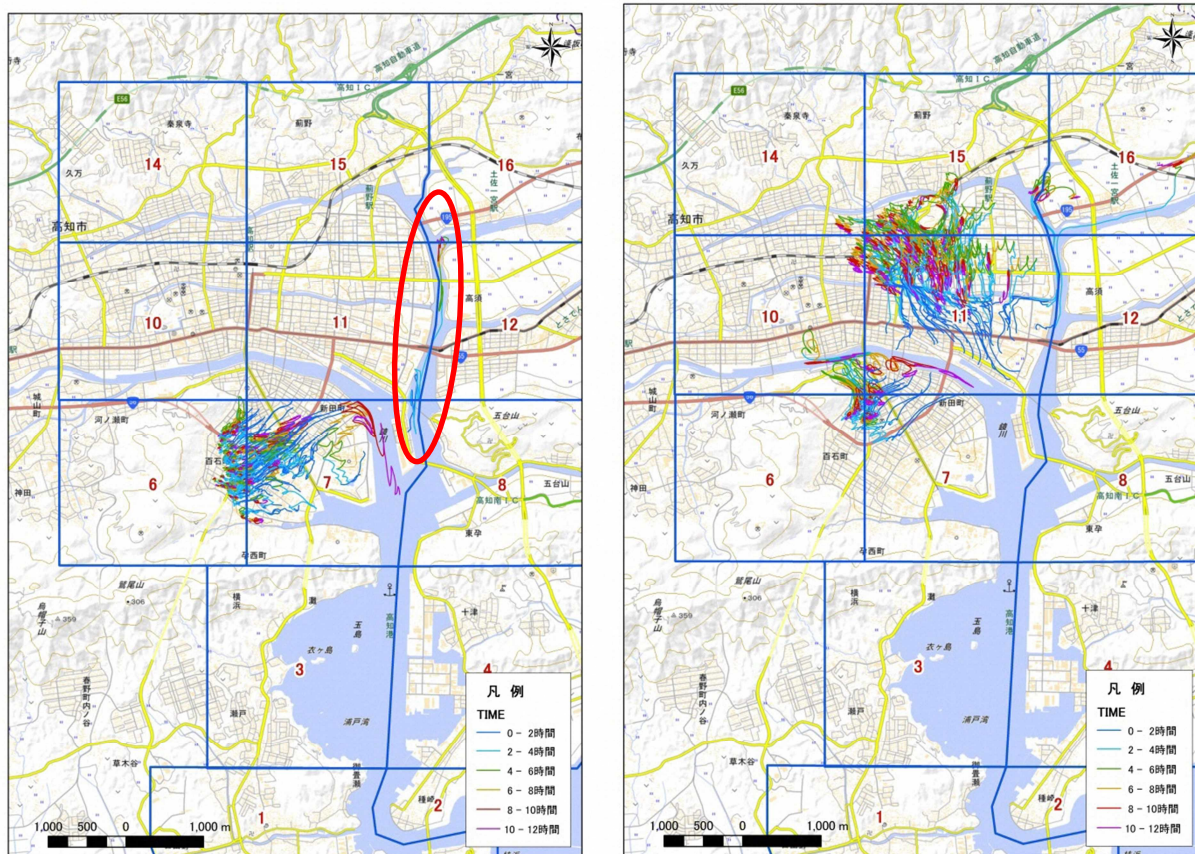


【エリア 8】

【エリア 9】

図 4.2.5 建物がれき初期エリアごとの軌跡図(L2) エリア 8、9 (抽出)

また、初期エリア7および11からの軌跡を図4.2.6に示す。浦戸湾から国分川への遡上によるエリア7の一部から北側への移動（図中赤丸付近）、鏡川周辺の遡上によるエリア7から6、エリア11から6や10、また浸水域端部の15への移動が見られる。



【エリア7】

【エリア11】

図4.2.6 建物がれき初期エリアごとの軌跡図(L2) エリア7、11 (抽出)

各エリアを初期位置とする建物がれきが、漂流後どのような分布になるかを集計した結果を表 4.2.1 に示す。

上段が漂流がれき量（単位は t）で、各初期エリアからどの最終エリアにいくつ移動したか、という値となっている。最下部の比は、エリアそれぞれについて、初期のがれき量全体に対し、最終的に集積したのがれき量がどれくらいの比率になるかを示した値である。1 未満の場合は減少、1 以上の場合は集積したことになり、値が大きいほどがれきが集積するエリアであると言える。

下段は上段のがれき量を割合で示したもの（単位は%）で、各初期エリアのがれきがどれくらい各最終エリアに漂流したか、という値である。

セル内に青く着色しているところは自分自身のエリアであるため、大きく移動していないがれき量を示している。

L1 津波では上段の漂流がれき量(t)の比で見ると、エリア 2、3、6、9、13、14、16 が大きくがれき量が増加していることがわかる。このうち、エリア 2 および 3 は 1 から流出したのがれきが漂流しているものをカウントしていると考えられる。エリア 6 は山の裾野であることから、がれきが集積しており、エリア 9、13、14、16 は浸水域の端部であることから、がれきが集積しているものと考えられる。

L2 津波では漂流がれき量(t)下段の比から、エリア 6、14、15、16、17 が大きくがれき量が増加している地域であり、エリア 6 は山の裾野、エリア 14~17 は浸水域の端部にがれきが集積しているものと考えられる。

割合表で見ると、初期エリア 1~4 は浦戸湾のはらみより南側の地域であり、はらみより北側の最終エリア 6~17 に至るがれきの割合は L1 では 0.1~0.5%、L2 では初期エリア 2 から 7 への漂流が 4.7%とやや多いものの、それ以外は漂流があっても 1%以下となっており、はらみの南側から北側への漂流はかなり限定的であるということが言える。

また、L2 津波の割合表において、当該エリア自身を除き 50%を超える唯一の箇所が初期エリア 7 から最終エリア 6 への漂流であり、先にも示した山の裾野へのがれきの集積度合がかなり高いことがうかがえる。

表 4.2.1 建物 初期～最終位置エリア分布

○L1

漂流がれき量 (ton)	最終エリア																		合計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	3039	398	1192	167			3											964	5763
2	1	57	4	1														15	78
3	38		1308				5	2											1353
4		2		1150														29	1181
5					6														6
6						7198	712												7910
7						5193	13184	2			4	19			4	22			18428
8								985	428			284							1697
9								7	568					38					613
10					4					56	5			33	2				100
11						1112	466			7	5704	82		1	59	1			7432
12								104	8			2473	579			28			3192
13									21			17	314						352
14														60	2				62
15											86				219				305
16												9				103			112
17																2	19		21
合計	3078	457	2504	1318	6	13507	14370	1100	1025	63	5799	2884	931	94	286	156	19	1008	48605
比	0.53	5.86	1.85	1.12	1.00	1.71	0.78	0.65	1.67	0.63	0.78	0.90	2.64	1.52	0.94	1.39	0.90	-	-

漂流がれき量
(t)

割合 (%)	最終エリア																		合計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	52.7	6.9	20.7	2.9			0.1											16.7	100.0
2	1.3	73.1	5.1	1.3														19.2	100.0
3	2.8		96.7				0.4	0.1											100.0
4		0.2		97.4														2.5	100.0
5					100.0														100.0
6						91.0	9.0												100.0
7						28.2	71.5	0.0			0.0	0.1			0.0	0.1			100.0
8								58.0	25.2			16.7							100.0
9								1.1	92.7				6.2						100.0
10					4.0					56.0	5.0			33.0	2.0				100.0
11					15.0	6.3				0.1	76.7	1.1		0.0	0.8	0.0			100.0
12								3.3	0.3			77.5	18.1				0.9		100.0
13									6.0			4.8	89.2						100.0
14														96.8	3.2				100.0
15											28.2				71.8				100.0
16												8.0				92.0			100.0
17																9.5	90.5		100.0

割合
(%)

○L2

漂流がれき量 (ton)	最終エリア																		合計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	23717	1005	2790	1208	15		324	69			27	2						6929	36109
2	1097	1209	2849	1352	34		661	64			1							6700	13967
3	941	98	18358	39			203	18			23							246	19926
4	256	383	380	12888	463		47	38			7							2372	16814
5				608	3199				50									6	3863
6						39099	891			11	4								40005
7			48	4		50376	25527	8			1391	81			105	261			77801
8	4	3	933	333			1015	13519	185		34	2706	26						18758
9							33	1724	2844		4	3936	2979						11520
10						432	49			6741	967			5038					13227
11				1		4376	5252	13		6496	58368	219		1390	15110	2759	4		93988
12			304	131				1232	7125	100		192	36781	3563	16	2876	385		52705
13										17			5049	10922		1109	520		17617
14											45				4730	6			4781
15											44	1543		3381	11656	1			16625
16													15		18	6087	1360		7480
17																236	745		983
合計	26015	2699	25663	16543	3711	94283	35234	22578	3196	13337	62561	48789	17492	14539	26933	13330	3014	16253	446169
比	0.72	0.19	1.29	0.98	0.96	2.36	0.45	1.20	0.28	1.01	0.67	0.93	0.99	3.04	1.62	1.78	3.07	-	-

漂流がれき量
(t)

割合 (%)	最終エリア																		合計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	65.7	2.8	7.7	3.3	0.0		0.9	0.2			0.1	0.0						19.2	100.0
2	7.9	8.7	20.4	9.7	0.2		4.7	0.5			0.0							48.0	100.0
3	4.7	0.5	92.1	0.2			1.0	0.1			0.1							1.2	100.0
4	1.5	2.3	2.3	76.5	2.8		0.3	0.2			0.0							14.1	100.0
5				15.7	82.8				1.3									0.2	100.0
6						97.7	2.2			0.0	0.0								100.0
7				0.1		64.7	32.8	0.0			1.8	0.1			0.1	0.3			100.0
8				5.0	1.8		5.4	72.1	1.0		0.2	14.4	0.1						100.0
9							0.3	15.0	24.7		0.0	34.2	25.9						100.0
10						3.3	0.4			51.0	7.3			38.1					100.0
11						4.7	5.6	0.0		6.9	62.1	0.2		1.5	16.1	2.9	0.0		100.0
12			0.6	0.2			2.3	13.5	0.2		0.4	69.8	6.8		0.0	5.5	0.7		100.0
13									0.1			28.7	62.0			6.3	3.0		100.0
14										0.9				98.9	0.1				100.0
15										0.3	9.3			20.3	70.1				100.0
16												0.2			81.4	18.2			100.0
17														0.2		24.0	75.8		100.0

割合
(%)

※比：エリアそれぞれについて、初期のがれき量全体に対し、最終的に集積したのがれき量がどれくらいになるかを示した値。1未満の場合は減少、1以上の場合は集積したことになる。

4.3 木材

木材についても、建物がれきと同様、1tあたり漂流点1点として解析を行った。なお、L1 津波においては木材置き場が浸水しなかったため、漂流は発生していない。

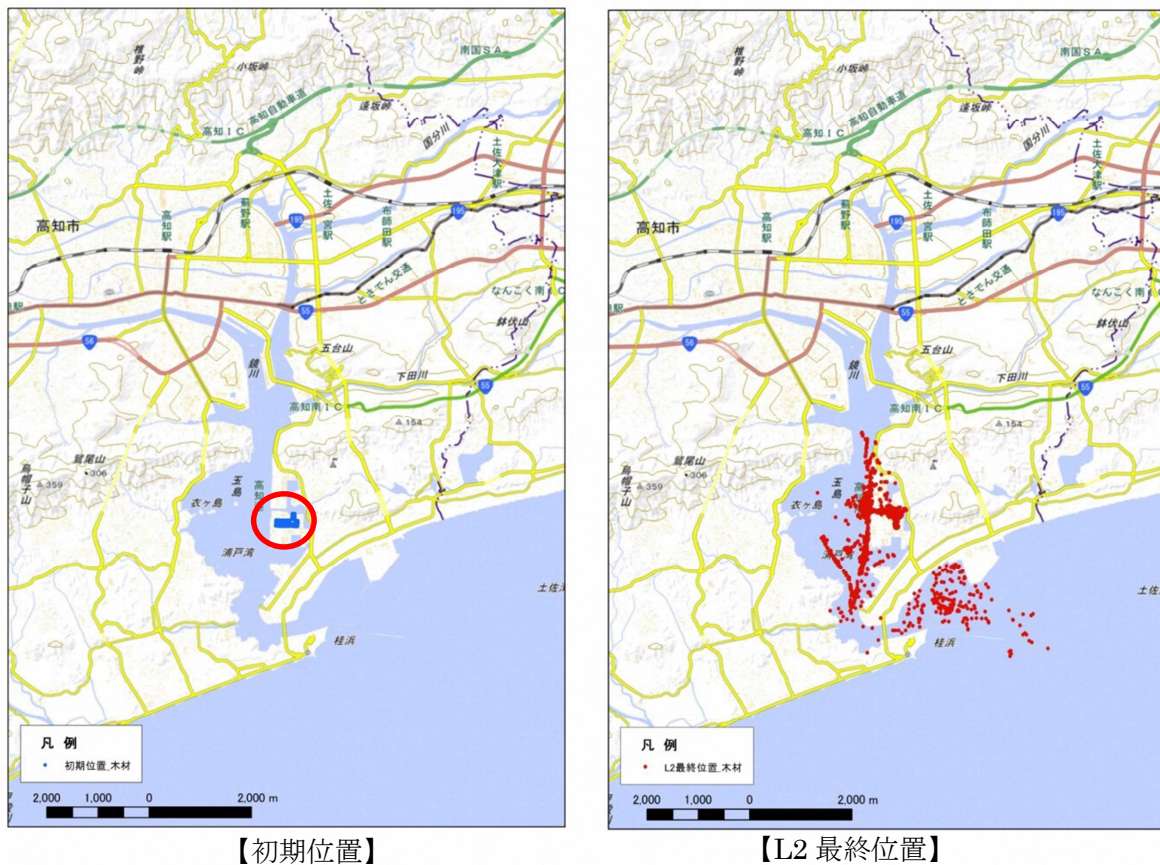


図 4.3.1 木材の漂流結果図(L2)

L2の場合、漂流は発生するが、木材の置き場が湾の南側であることもあり、海域に出るものが多く、本検討結果では油の貯蔵施設のあるタナスカ地区や中の島地区には到達しなかった(図 4.3.2)。



【L2 全漂流軌跡】



【L2 時間毎の経路 (抽出)】

図 4.3.2 木材の漂流軌跡図(L2)

4.4 車両

車両については、車両1台あたり漂流点1点として解析を行った。

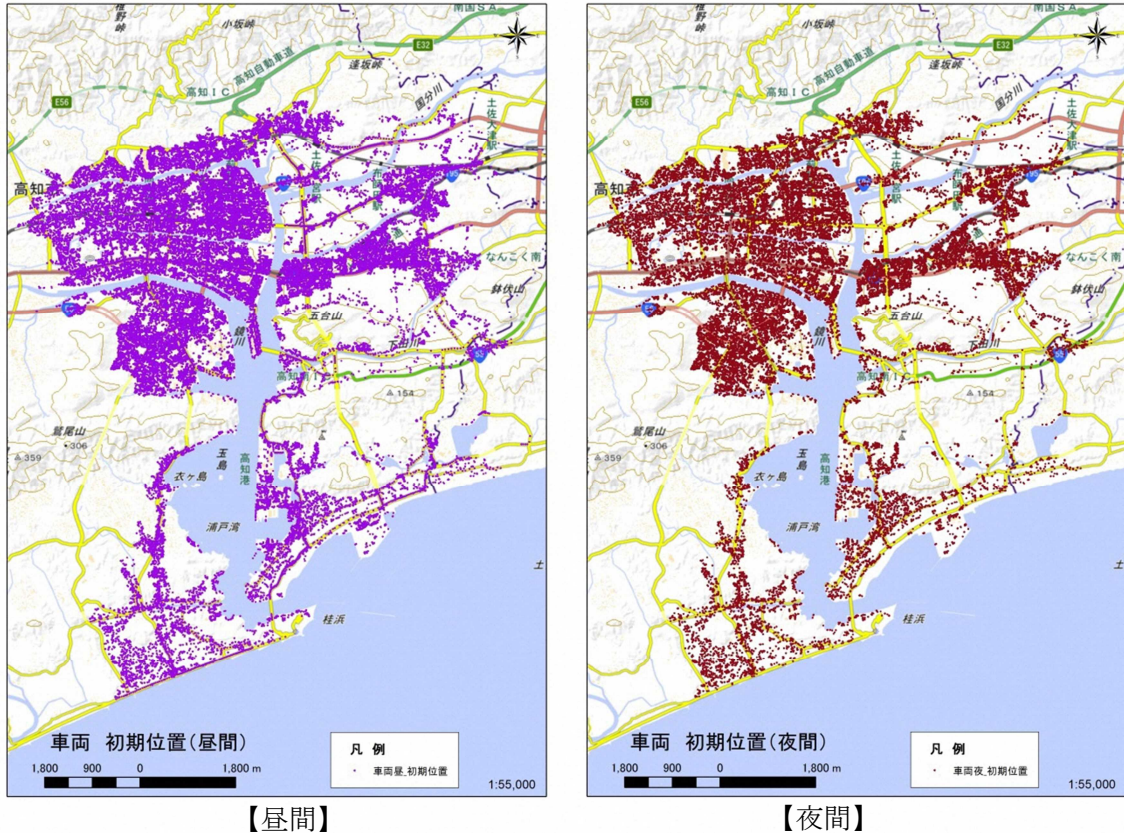


図 4.4.1 車両初期位置

昼間・夜間における車両の分布状況は図 4.4.1 に示すとおり大きな差が無く、津波による車両の漂流状況への影響は昼間・夜間とも同じと考えられるため、ここでは台数の多い昼間について解析を行った。

初期エリア毎に色分けした車両初期・最終分布を図 4.4.2 に示す。

L1 津波では、領域をまたぐ漂流は割合として少なく、おおむね同領域内に留まる状況であった。図 4.2.1 に示した建物の漂流状況とやや異なる理由としては、建物がれきのほうが漂流可能となる移動開始水深が低く (0.2m)、車両のほうが移動開始水深が高い (小型車 0.37m、大型車 0.66m) こと、および漂流中の抵抗の度合いの違い (漂流がれきの接水投影面積により抵抗係数が考慮されている) によると考えられる。

また、オイルタンクの存在するタナスカ地区については、タンク周辺を通過する軌跡は生じない結果となった。

L2 津波では L1 津波にくらべると漂流範囲が広くなり、エリア 2 およびエリア 4 からは海域へも多く漂流する状況、タナスカのあるエリア 8 やそこから河川上流にあたるエリア 9 から、エリア 13 を通過しエリア 12 までの漂流が見られた。また、中の島のあるエリア 7 から国分川への遡上により北側であるエリア 15、16 への移動も見られた。

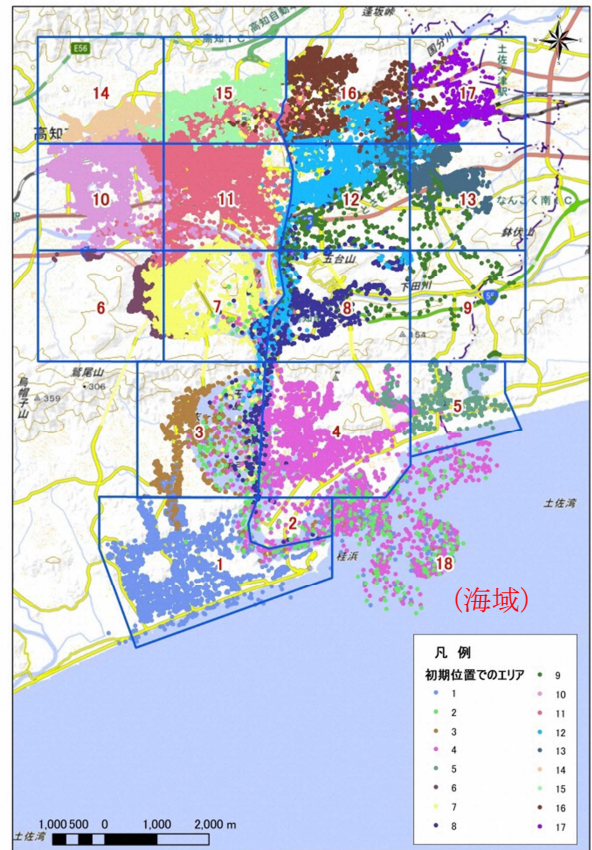
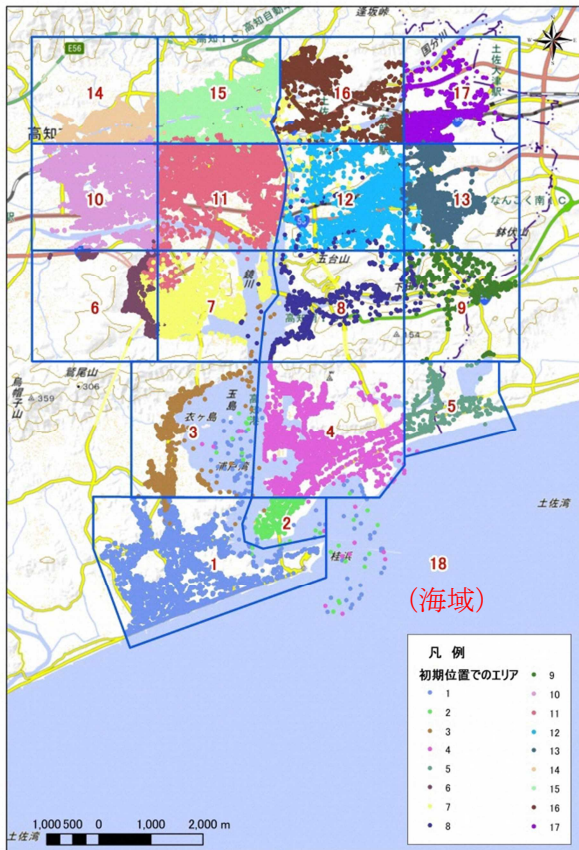
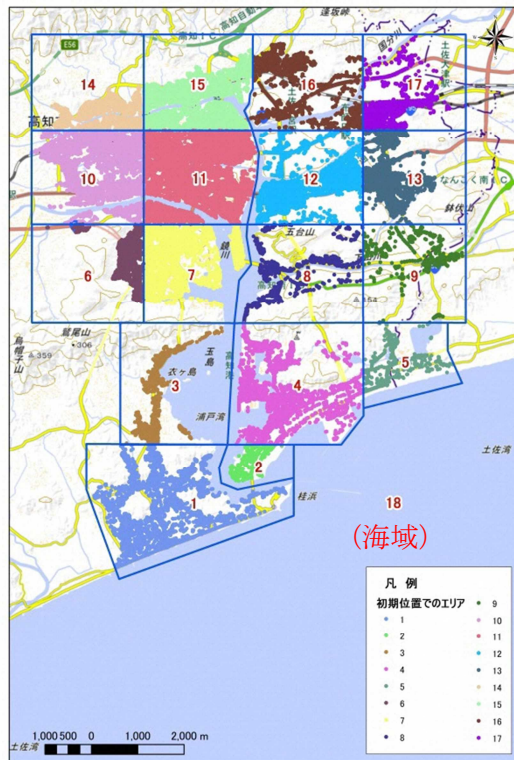


図 4.4.2 車両漂流結果図

次に、漂流軌跡を図 4.4.3～図 4.4.5 に示す。エリア 8 は下田川を遡上する津波により、L1 津波では上流域のエリア 9 へ、L2 津波では五台山をまわってエリア 13、12 へ漂流する様子がみられた。

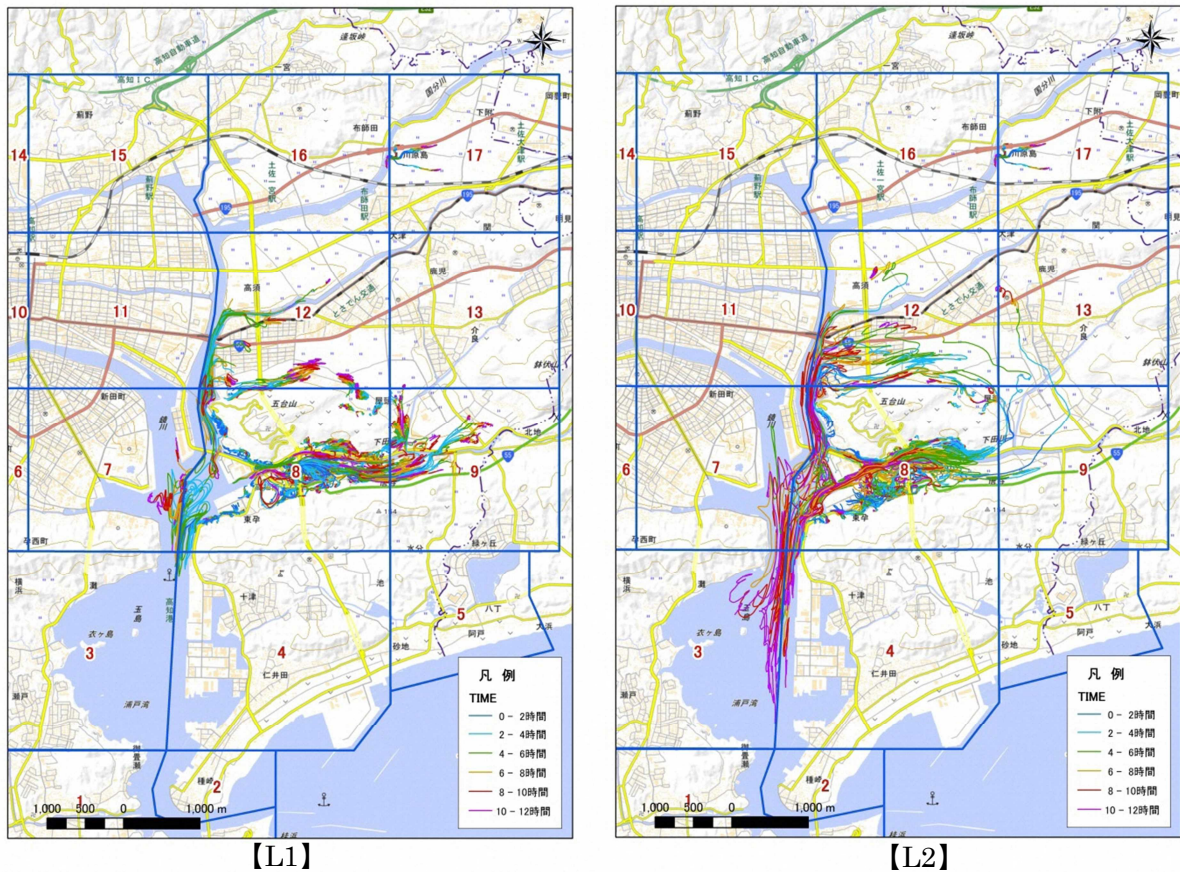


図 4.4.3 エリア 8 からの軌跡 (抽出)

その東側のエリア 9 (図 4.4.4) は L1 津波では他の領域に流出するがれきは多くはなかったが、L2 津波ではエリア 8 と同様に下田川を遡上した津波が五台山の東側をまわって北側に流れていくのに従い、その北側のエリア 13 および 12 に流出している状況がみられた。また、一部は下田川に沿って湾へ向かう引き波にのり、浦戸湾のほうへ流出したものもあった。

L1 津波においては、タナスカ地区のタンクエリアは通過しなかった。

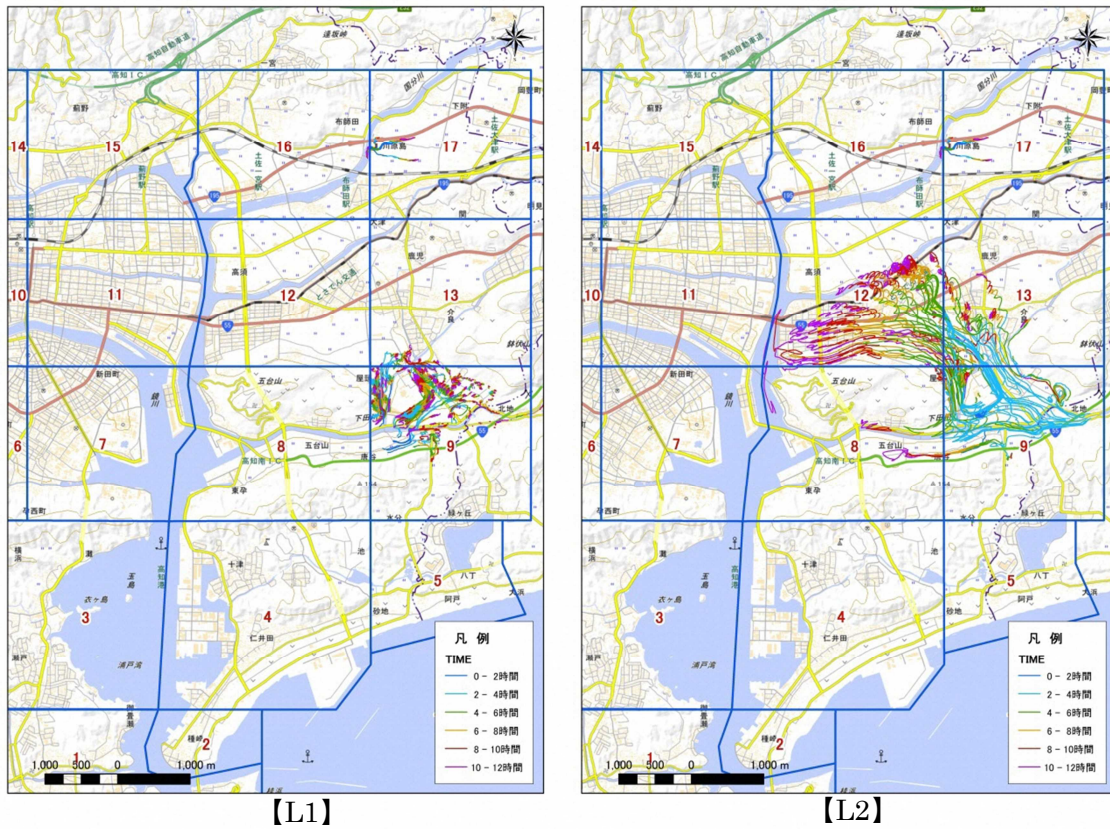


図 4.4.4 エリア 9 からの軌跡

また、エリア 6 および 7 の軌跡 (図 4.4.5) では、エリア 6 の山の裾野部分に漂流物が集積する様子がみられた。

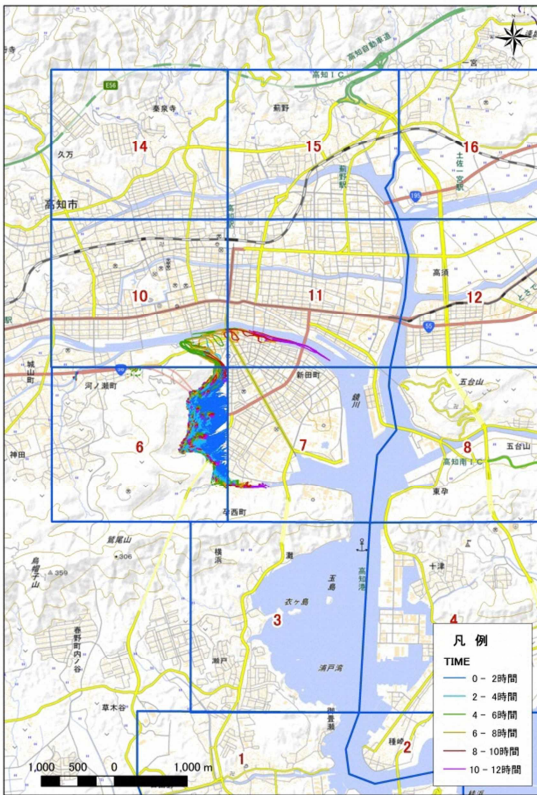


エリア 6



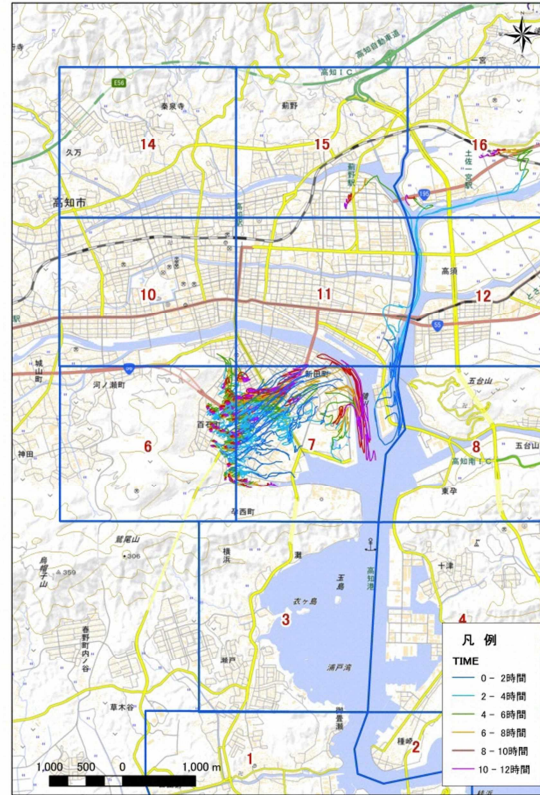
【L1】

エリア 7



エリア 6

【L2】



エリア 7

図 4.4.5 エリア 6、7 からの軌跡

各エリアを初期位置とする車両が、漂流後どのような分布になるかを集計した結果を表 4.4.1 に示す。

上段が漂流車両数（単位は台）で、各初期エリアからどの最終エリアにいくつ移動したか、という値となっている。最下部の割合は、最終エリア 1 の台数の初期エリア 1 の台数に対する割合で、割合の大きいエリアほど車両が集積する地域であると言える。

下段は上段の台数を割合で示したもの（単位は%）で、初期エリア内での車両がどれくらい最終エリアで分布したか、という値である。

セル内に青く着色しているところは自分自身のエリアであるため、大きく移動していない車両数を示している。

なお、最終エリアの「その他」については、エリア 1～18 の外側の陸域エリアである。

L1 津波では上段の漂流車両台数の比で見ると、エリア 6 が大きく車両数が増加していることがわかる。エリア 6 は山の裾野に車両が集積しているものと考えられる。

L2 津波では、エリア 6、14、15 が大きく車両数が増加している地域であり、エリア 6 は山の裾野、エリア 14 および 15 は浸水域の端部に車両が集積しているものと考えられる。

下段の割合表で見ると、初期エリア 1～4 は浦戸湾のはらみより南側の地域であり、はらみより北側の最終エリア 6～17 に至るがれきの割合は L1 では 0.1～0.6%、L2 では初期エリア 2 から 7 への漂流が 5.9%とやや多いものの、それ以外は漂流があっても 1%未満となっており、はらみの南側から北側への漂流はかなり限定的であるということが言える。

また、L2 津波の割合表において、建物がれきの漂流状況（表 4.2.1）と比較すると、浸水域端部のエリア 14～17 に他のエリアから漂流してくるがれきの割合はごく一部（エリア 12→16）を除きおおむね減少しており、移動開始水深および漂流中の抵抗の度合いの違いによるものと考えられる。

また、エリア 7 から国分川を遡上して北側のエリア 15、16 へ漂流するがれきは、漂流点数としては建物がれきよりも減少した（366→226）が、割合としては 0.1～0.3%→1.0～2.2%と増加しており、水深のある河川域を遡上する津波については車両の漂流への影響が建物がれきの場合よりも大きくなっていることがわかる。

建物がれきにおいては当該エリア自身を除き 50%を超える唯一の箇所が初期エリア 7 から最終エリア 6 への漂流であったが、車両においては同箇所の割合は 37.3%であった。これも先に述べた移動開始水深の違いによるものと考えられる。

なお、車両において当該エリア自身を除き 50%を超える唯一の箇所は初期エリア 9 から最終エリア 12 への漂流であり、五台山をまわって国分川へ至るまでの間に浸水深が下がって漂着しているものと考えられる。

表 4.4.1 車両 初期～最終位置エリア分布

○L1

漂流がれき量 (台)	最終エリア																		合計		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		その他	
1	4313																			27	4409
2		417																		11	440
3	107		1489					9	5												1614
4		2		5262																12	5283
5					877																877
6						2312	23			9											2344
7						1619	5148		5		17	80				12	73				6954
8								10	1093	55			63								1221
9									5	830				8							847
10							25				7317	187			86						7615
11							511	618			32	15929	73		4	463	1				17631
12									153	4			7978	493			57				8685
13										2			131	3492					7		3632
14											12				2716	50					2778
15												388			5	10225					10618
16													5				3265	2			3272
17																	1	2804			2805
合計	4422	430	1552	5274	880	4467	5808	1261	891	7370	16521	8330	3993	2811	10750	3398	2813	50	4	81025	
比	1.00	0.98	0.96	1.00	1.00	1.91	0.84	1.03	1.05	0.97	0.94	0.96	1.10	1.01	1.01	1.04	1.00	-	-	-	

漂流車両台数
(台)

割合(%)	最終エリア																		合計		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		その他	
1	97.8	0.2		1.1	0.2															0.6	100.0
2	0.5	94.8		2.0	0.2															2.5	100.0
3	6.6	0.1	92.3	0.1				0.6	0.3											0.1	100.0
4			0.0	0.1	99.6	0.1															100.0
5						100.0															100.0
6							98.6	1.0			0.4										100.0
7							23.3	74.0	0.1			0.2	1.2			0.2	1.0				100.0
8								0.8	89.5	4.5			5.2								100.0
9									0.6	98.0				0.9						0.5	100.0
10								0.3			96.1	2.5			1.1						100.0
11								2.9	3.5		0.2	90.3	0.4		0.0	2.6	0.0				100.0
12										1.8	0.0		91.9	5.7							100.0
13										0.1			3.6	96.1						0.2	100.0
14											0.4				97.8	1.8					100.0
15												3.7		0.0	96.3						100.0
16													0.2			99.8	0.1				100.0
17																0.0	100.0				100.0

割合
(%)

○L2

漂流がれき量 (台)	最終エリア																		合計			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		その他		
1	4088	25	100	31	1			9	1											150	4	4409
2	42	21	90	57	1			26	3												200	440
3	159	12	1376	13				14	1				4								35	1614
4	58	121	84	4340	47			9	4				1								619	5283
5				151	709						17											877
6						2202	137				2	3										2344
7	3	1	72	6		2594	3687	15			307	42				73	153				1	6954
8	4	9	106	46				58	926			3	69									1221
9					5			69	168			2	489	114								847
10						60	14				6656	325			560							7615
11			1	4		319	550	13			1566	12789	36		224	1591	536	2				17631
12				18	5			129	472	9			96	6525	302		4	1063	62			8685
13													585	2774				153	120			3632
14											12				2724	42						2778
15										7	1102				452	9043	14					10618
16												70	16			28	2983	175				3272
17													6				187	2612				2805
合計	4354	190	1850	4649	763	5175	4633	1504	194	8243	14632	7816	3212	3960	10781	5089	2971	1005	4		81025	
比	0.99	0.43	1.15	0.88	0.87	2.21	0.67	1.23	0.23	1.08	0.83	0.90	0.88	1.43	1.02	1.56	1.06	-	-	-	-	

漂流車両台数
(台)

割合(%)	最終エリア																		合計			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		その他		
1	92.7	0.6	2.3	0.7	0.0			0.2	0.0											3.4	0.1	100.0
2	9.5	4.8	20.5	13.0	0.2			5.9	0.7												45.5	100.0
3	9.9	0.7	85.3	0.8				0.9	0.1				0.2								2.2	100.0
4	1.1	2.3	1.6	82.2	0.9			0.2	0.1				0.0								11.7	100.0
5					17.2	80.8				1.9												100.0
6							93.9	5.8			0.1	0.1										100.0
7	0.0	0.0	1.0	0.1		37.3	53.0	0.2				4.4	0.6			1.0	2.2			0.0		100.0
8	0.3	0.7	8.7	3.8			4.8	75.8				0.2	5.7									100.0
9					0.6				8.1	19.8			0.2	57.7	13.5							100.0
10						0.8	0.2				87.4	4.3			7.4							100.0
11			0.0	0.0		1.8	3.1	0.1			8.9	72.5	0.2		1.3	9.0	3.0	0.0				100.0
12				0.2	0.1			1.5	5.4	0.1			1.1	75.1	3.5		0.0	12.2	0.7			100.0
13											0.4					98.1	1.5					100.0
14											0.1	10.4				4.3	85.2	0.1				100.0
15													2.1	0.5			91.2	5.3				100.0
16																	6.7	93.1				100.0
17																						100.0

割合
(%)

※比：エリアそれぞれについて、初期のがれき量全体に対し、最終的に集積したのがれき量がどれくらいかの比率になるかを示した値。1未満の場合は減少、1以上の場合は集積したことになる。

4.5 LP ガスボンベ

LP ガスボンベについては、1 本あたり漂流点 1 点として解析を行った。

初期エリア毎に色分けした LP ガスボンベ初期・最終分布を図 4.5.1 に示す。

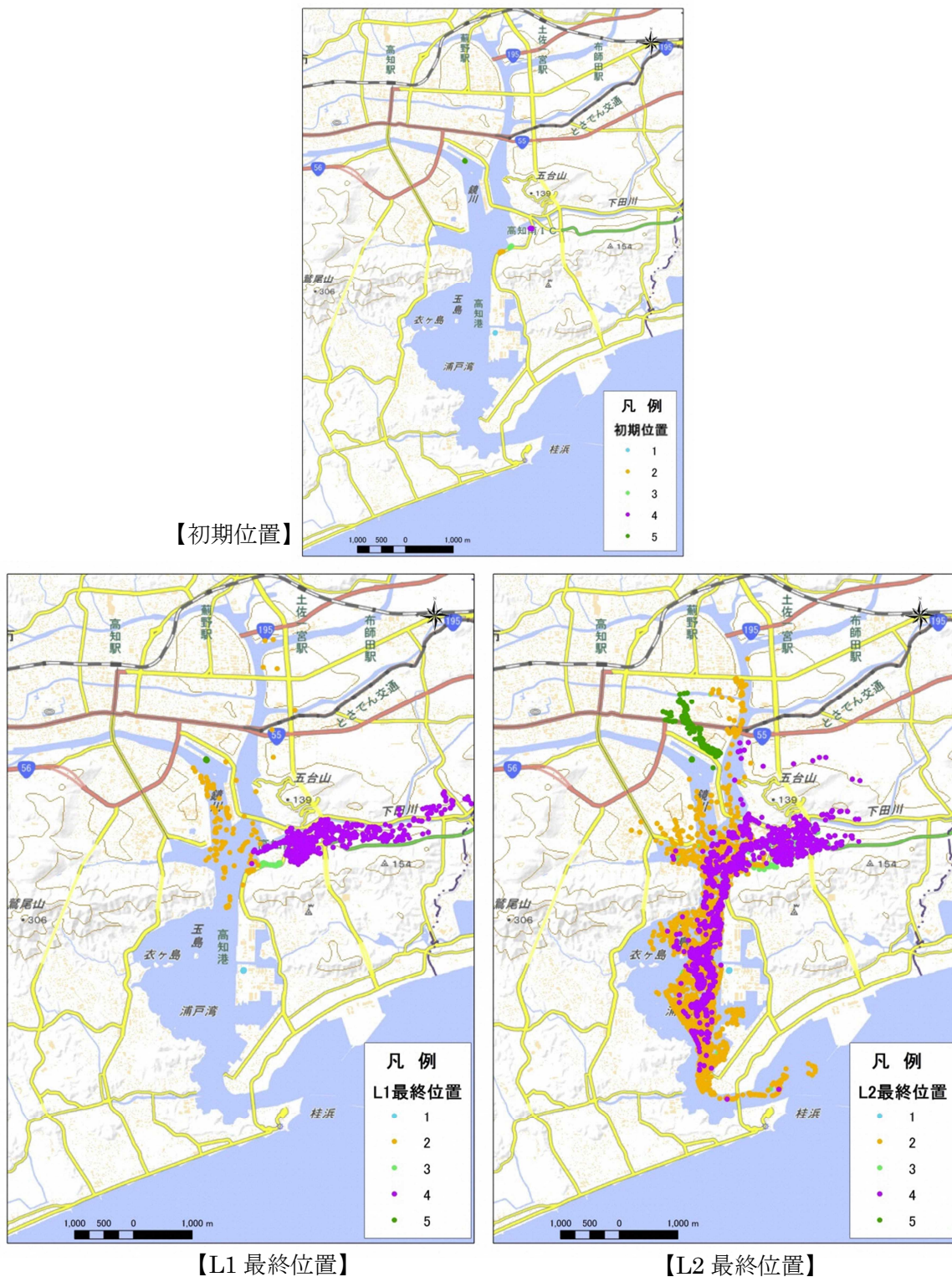


図 4.5.1 LP ガスボンベ漂流結果図

初期エリア1は、地面から一段高い床の上に並べられており、浸水深が移動開始水深（最小1.13m）に満たなかったため、漂流しない結果となった。このことより、LPガスボンベの日常の置き場高さを上げることが有効な津波対策であるということが言える。各会社の置き場の浸水深と比較すると、初期エリア4の置き場は浸水深が深いため、地表から3.6m以上の高さが必要な場所があった。初期エリア2では2.9m、初期エリア3では2.4m、初期エリア5では2.1mがそれぞれ最大必要な高さであったが、場所によってはこれよりも低くても漂流を防ぐことが可能などところもある。

また、LPガスボンベのプロテクターについての安全性の検証を行った。

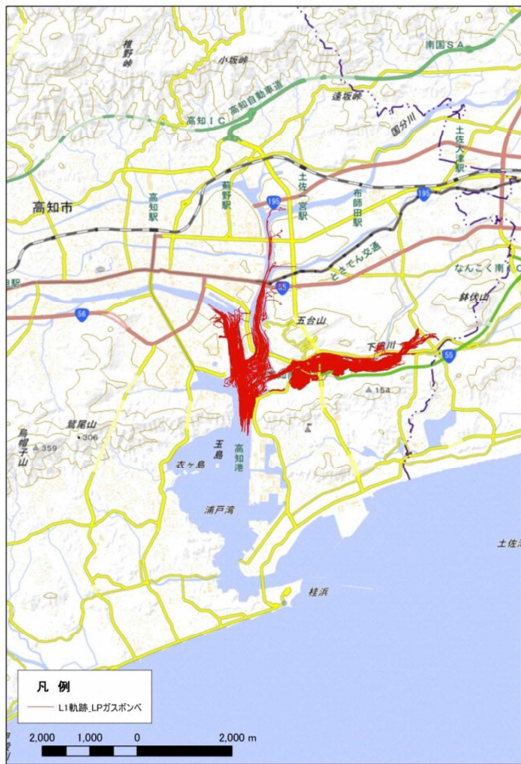
LPガスボンベの最大漂流速度を算出したところ、L2津波では最大2.57m/s、L1津波では最大2.03m/sであった。

バルブプロテクターの安全性に関する資料*のうち、「落下テスト」では、72kgのボンベを30度傾けて1.2mの高さから落とし、変形があるかないかの観察を行い、バルブプロテクターはバルブを適切に保護する、との結果を得ている。

試験の条件での落下時の速度を計算すると、落下時の速度は $\sqrt{2 \times 9.8 \times 1.2} = 4.85\text{m/s}$ となり、LPガスボンベの最大漂流速度を上回っており、安全性は高いと考えられる。

※バルブプロテクター強度テスト 試験結果報告書 2001年4月20日 (株)宮田製作所

このことから、LPガスボンベからの出火の危険性は高くないと思われるが、LPガスボンベが危険施設に衝突することによる影響については4.10（タンク周辺拡大検討）で考察する。



【L1 全漂流軌跡】



【L1 時間毎の経路 (抽出)】

図 4.5.2 LP ガスボンベ漂流軌跡図(L1)



【L2 全漂流軌跡】



【L2 時間毎の経路 (抽出)】

図 4.5.3 LP ガスボンベ漂流軌跡図(L2)

4.6 コンテナ

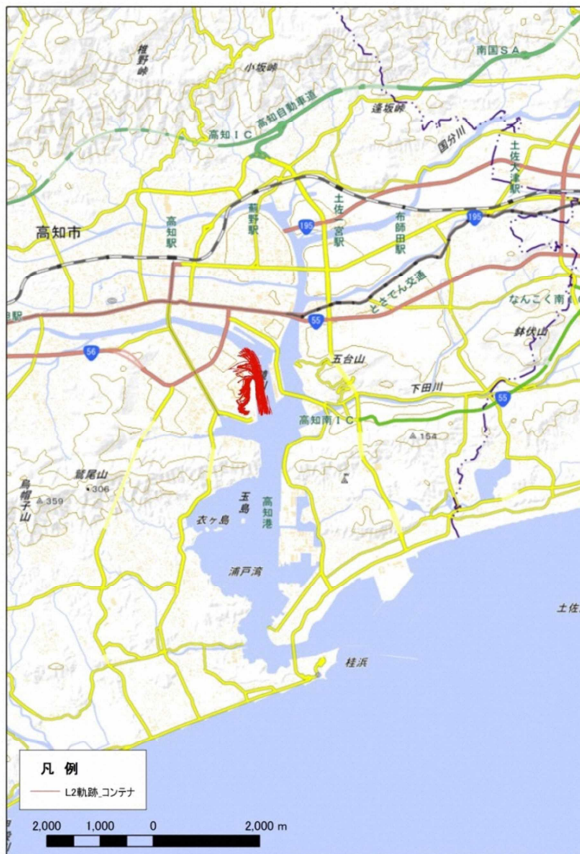
コンテナについては、1個あたり漂流点1点として解析を行った。

コンテナ初期・最終分布を図 4.6.1 に示す。なお、L1 津波においてはコンテナ置き場が浸水しなかったため、漂流は発生していない。



図 4.6.1 コンテナ漂流結果図

コンテナについても置き場が限定されており、L2 津波においても内陸への漂流は少なく、海域での漂流が多いと見込まれる。4.10 (タンク周辺拡大検討) でも触れるが、タナスカ地区、中の島地区付近へは到達しないと考えられる (図 4.6.2)。



【L2 全漂流軌跡】



【L2 時間毎の経路 (抽出)】

図 4.6.2 コンテナ漂流軌跡図

4.7 ドラム缶

ドラム缶については、1本あたり漂流点1点として解析を行った。

初期エリア毎に色分けしたドラム缶初期・最終分布を図 4.7.1 に示す。



図 4.7.1 ドラム缶漂流結果図

L1 津波では初期エリア 2 の置き場は浸水深が低いため、漂流しない結果となった。また、初期エリア 1 のドラム缶は漂流はするものの、ごく近傍に留まる結果となった。

ドラム缶は漂流物の数としては多くなく、L2 津波でも市街地への漂流は多くは見られないが、置き場の付近にあるタンクエリアへの衝突による影響が考えられる。これについては 4.10 (タンク周辺拡大検討) で考察する。

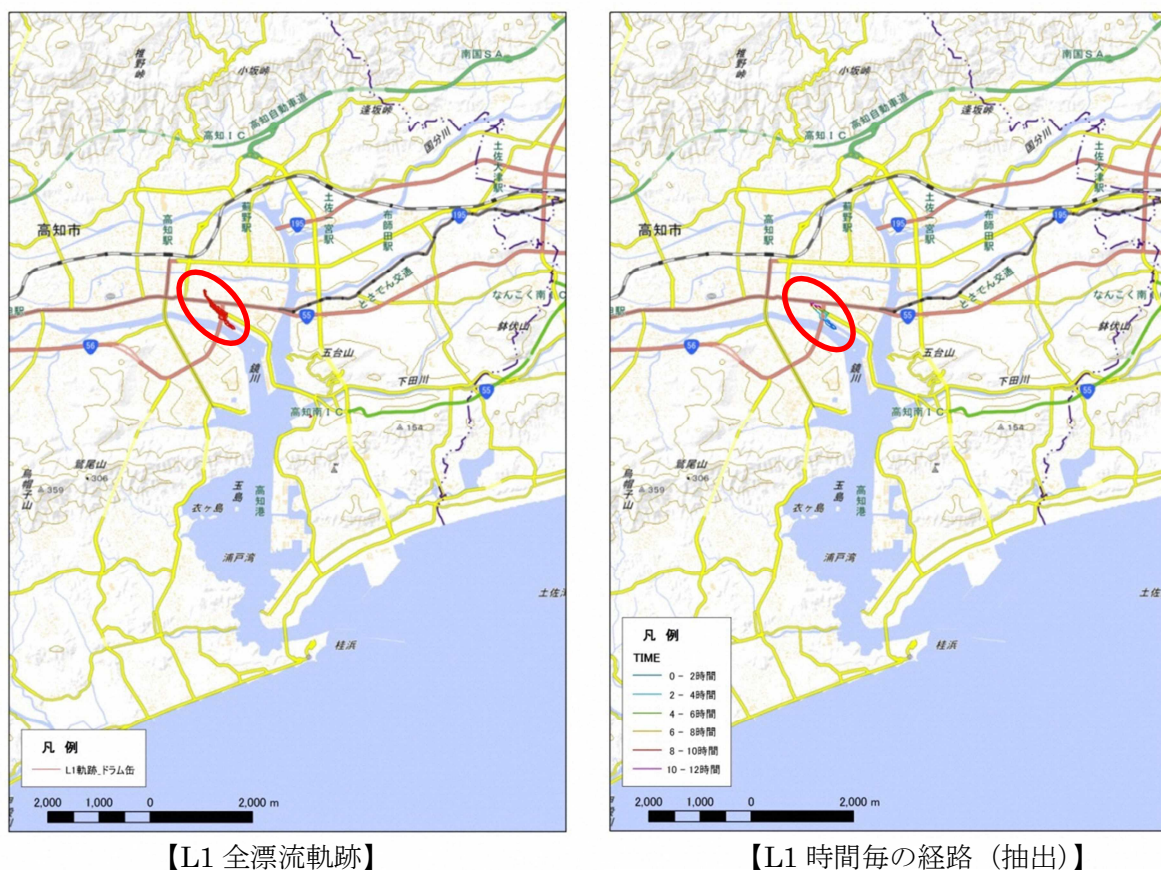
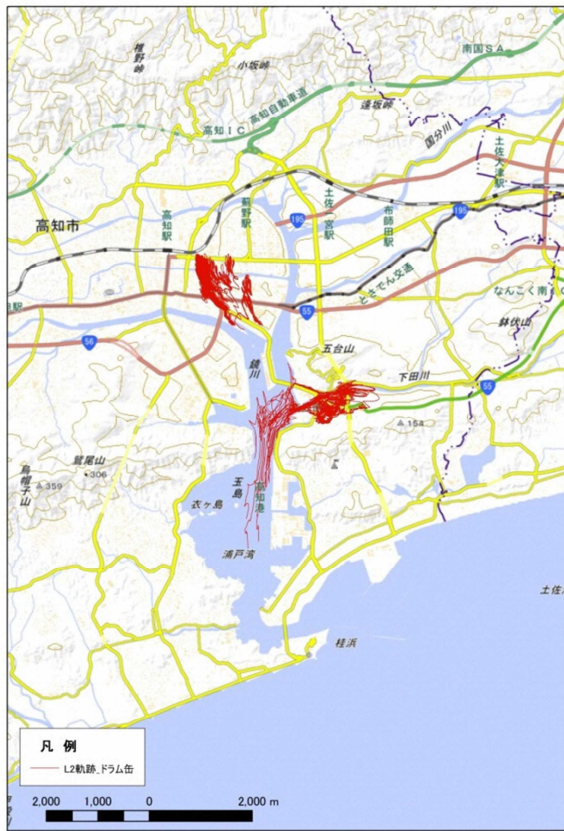


図 4.7.2 ドラム缶漂流軌跡図



【L2 全漂流軌跡】



【L2 時間毎の経路 (抽出)】

図 4.7.3 ドラム缶漂流軌跡図 (L2)

4.8 船舶

船舶については、1隻あたり漂流点1点として解析を行った。

小型船舶の初期・最終分布を図 4.8.1 に示す。また、漂流軌跡を図 4.8.2 に示す。

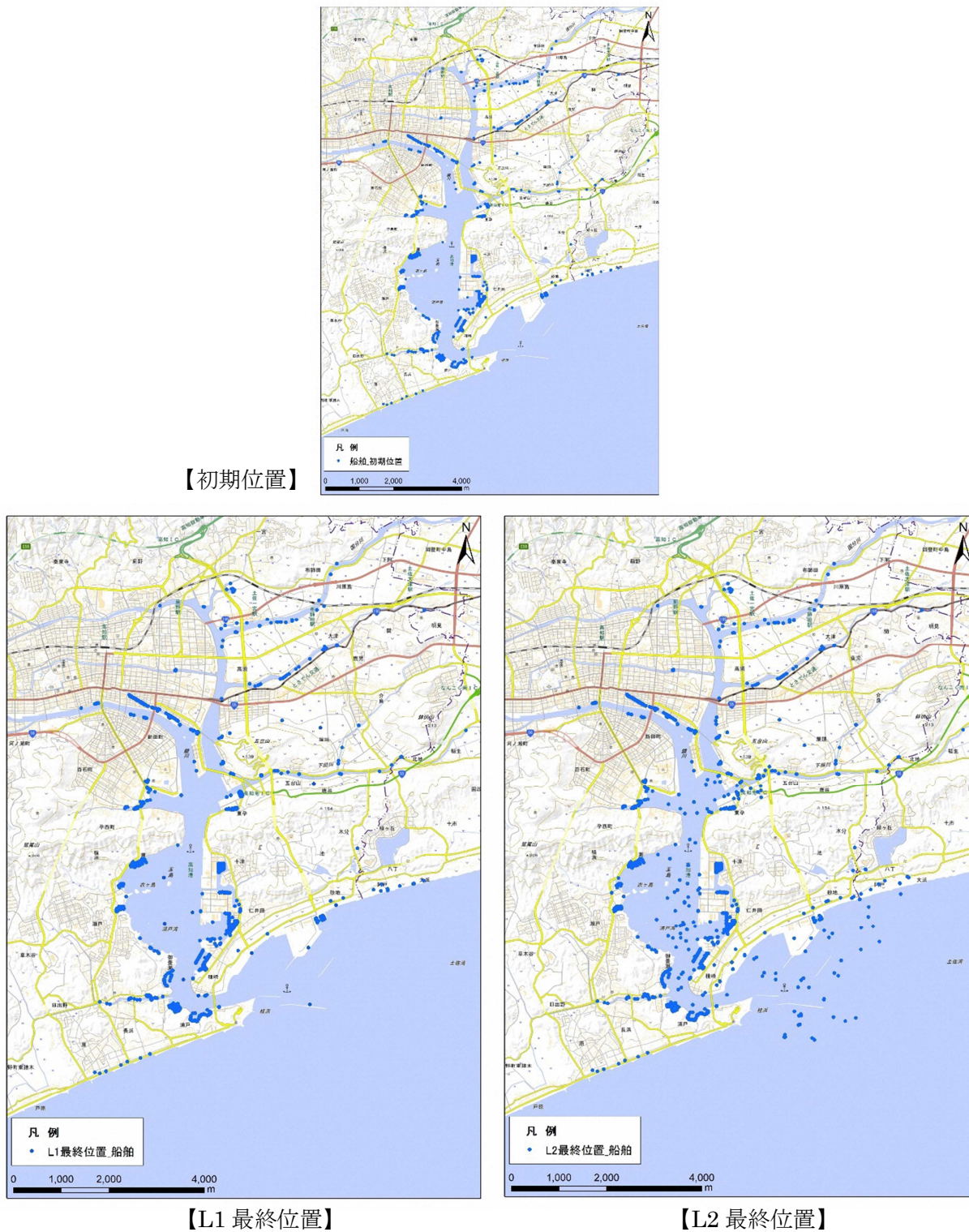
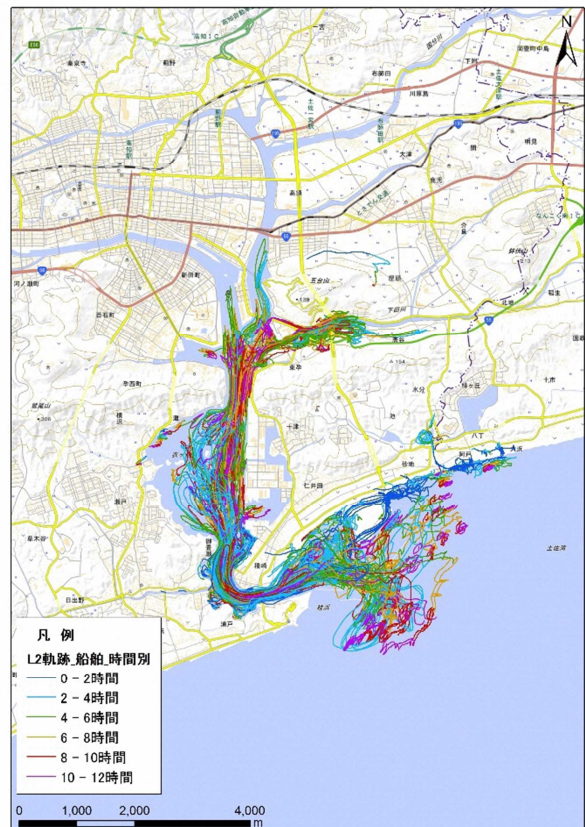


図 4.8.1 小型船舶漂流結果図



【L1 全漂流軌跡】



【L2 全漂流軌跡】

图 4.8.2 小型船舶漂流全軌跡图

タナスカ地区の油のタンクエリアに隣接した陸置き場にプレジャーボートが66隻あるが、係留索による流速の条件（流速が閾値を超えると係留索が破断して漂流する）は設定せず、車両等と同様に浸水深が喫水に到達した時点で漂流開始と考えることとした。

ただし、通常はプレジャーボートは船台に上架してあるため、地震発生時は船台の高さを0.6m加味し、喫水+0.6mの浸水が生じた時点で初めて漂流開始し、その後は喫水の深さで漂流停止・開始するものとした。

その結果、L2津波で7隻のボートがタンクエリアを通過する結果となった（図4.8.3）。小型船舶の漂流状況とタンクエリア通過有無を表4.8.1に示す。

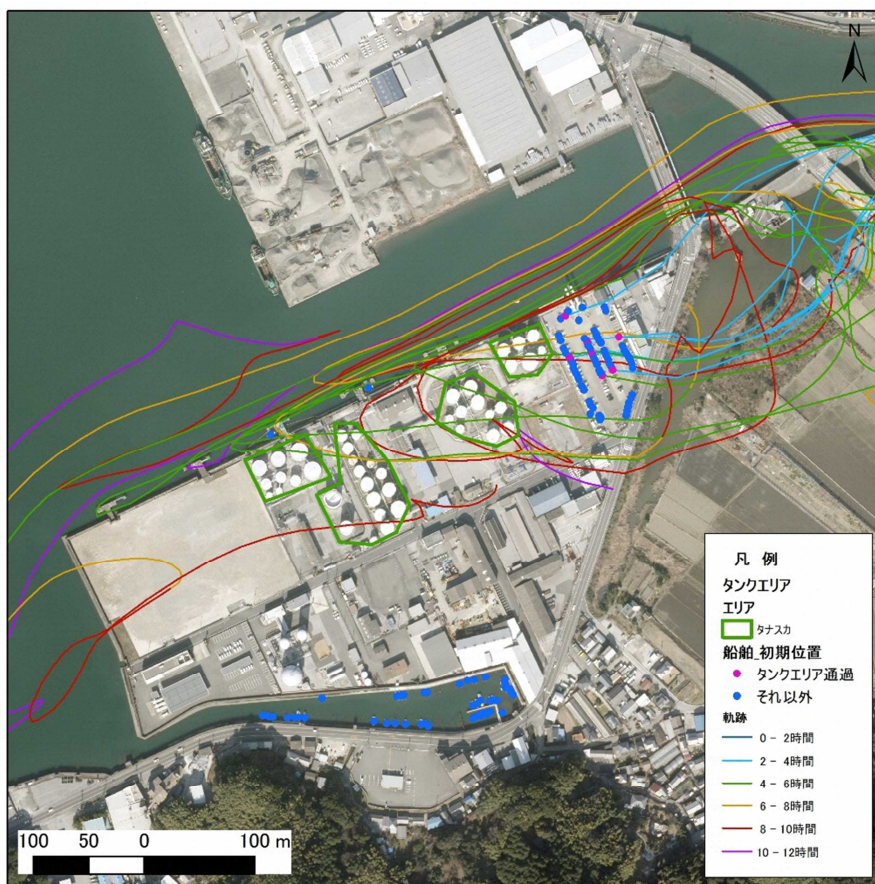


図 4.8.3 L2津波でタナスカ地区のタンクエリアを通過する船舶の軌跡（通過するもののみ抽出）

表 4.8.1 小型船舶の漂流状況とタンクエリア通過有無

		プレジャーボート	プレジャーボート以外
L1 津波	漂流	しない	する
	タンクエリア通過	しない	しない
L2 津波	漂流	する	する
	タンクエリア通過	する	しない

次に、大型船舶についての結果を図 4.8.4 に示す。大型船舶については破断条件の設定が小型船舶の設定とは別に、「大地震及び大津波来襲時の航行安全対策に関する調査研究」（社）日本海難防止協会、2014年4月）の手法を用いて決めており、全28隻のうち、係留索が破断して漂流する大型船舶は、L1津波では1隻、L2津波では9隻であった。



図 4.8.4 大型船舶漂流結果・軌跡図(L1、L2)

大型船舶はL1津波、L2津波ともに、油のタンクエリア（タナスカ地区、中の島地区）周辺には漂流しない結果となった。

4.9 油

油の流出については以下の3ケースを検討した。

・ 検討ケース①（最悪のケース）

タンクが満タンの状態で、全てのタンクが破損したケースを想定

（現実的ではないが他のケースとの対比の意味も含め最悪のケースを想定）

全てのタンクから許可容量の油が流出する

・ 検討ケース②（追加対策前のケース）

タンクに比べ破損し易い配管だけが全て破損したケースを想定

自動弁遮断があるタンクは、配管内の油だけが流出する

自動弁がないタンクは、配管高さより上の油が全て流出する

・ 検討ケース③（追加対策後のケース）

検討ケース②で、対策としてすべてのタンクに自動弁を設置したケースを想定

自動弁遮断により、配管内の油だけが流出する

油のケース①についての初期・最終分布を図 4.9.1～図 4.9.2 に示す。

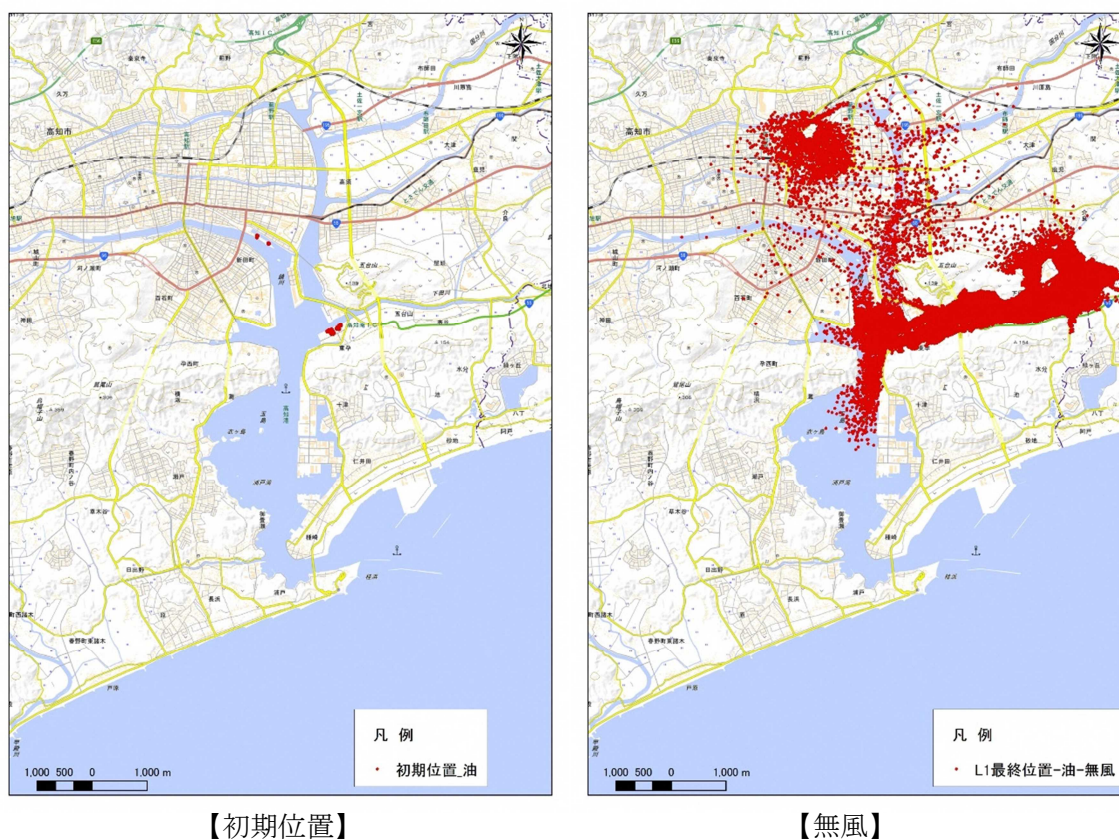
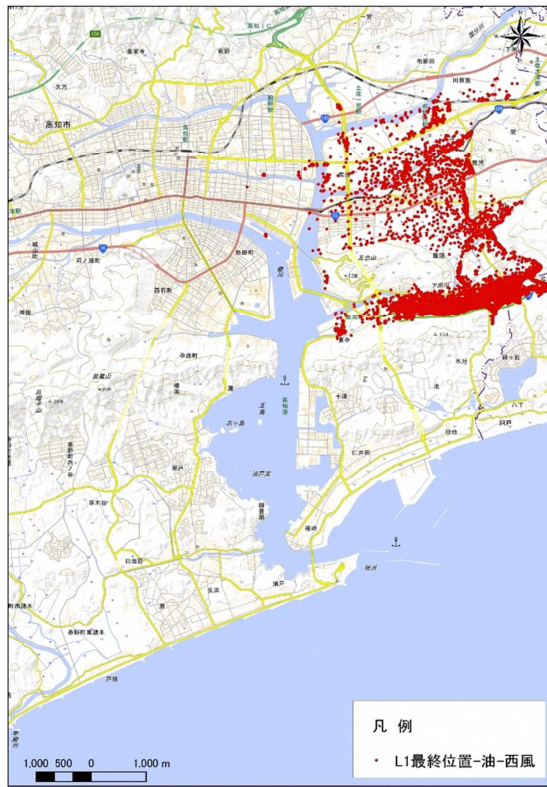
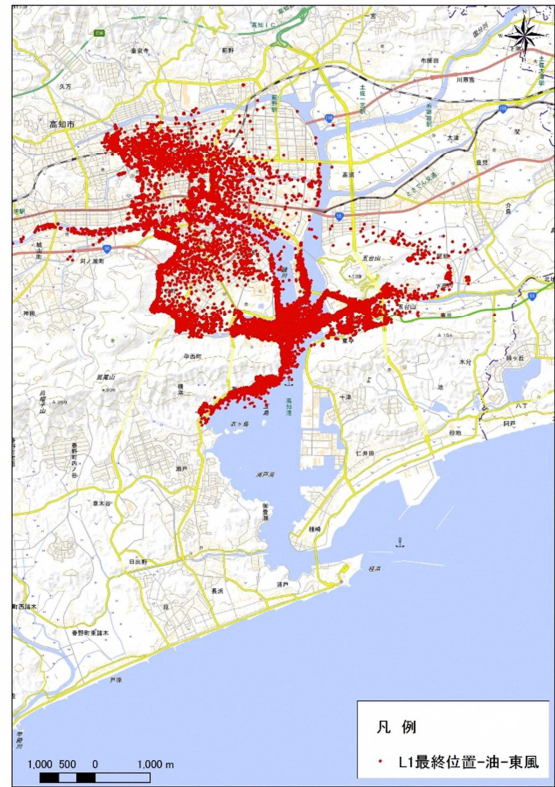


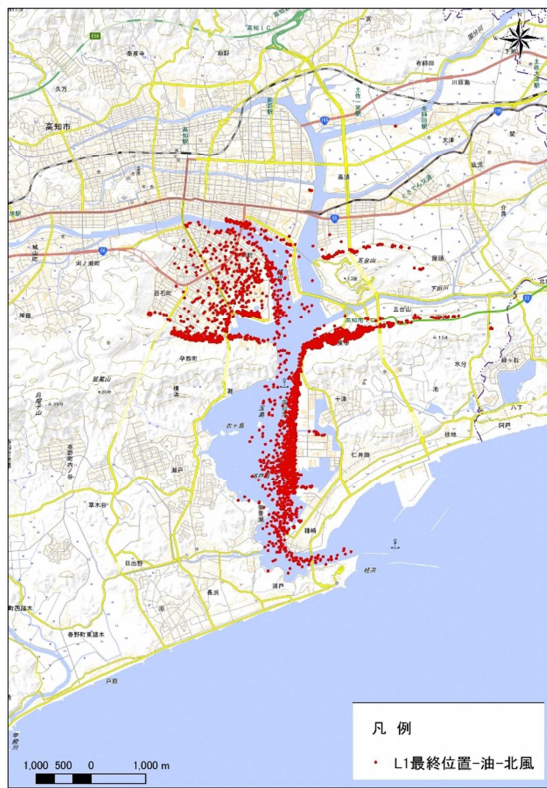
図 4.9.1(1) 油漂流結果図(ケース①-L1)



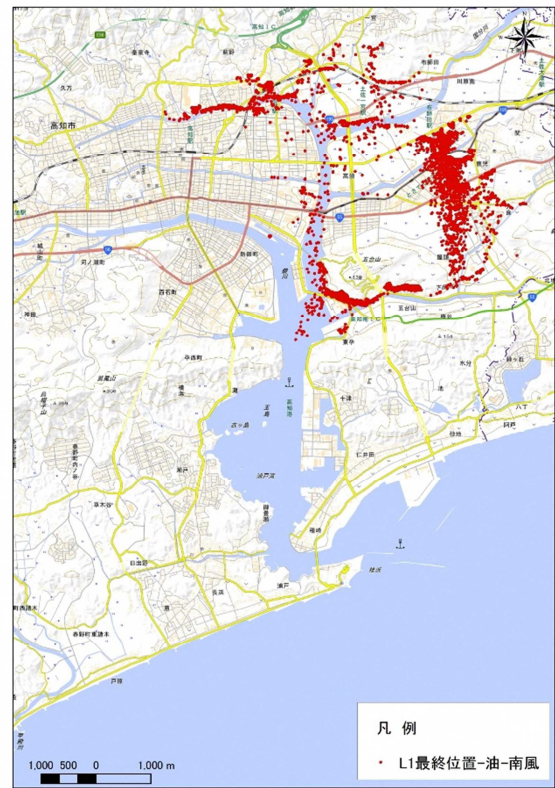
【西風】



【東風】

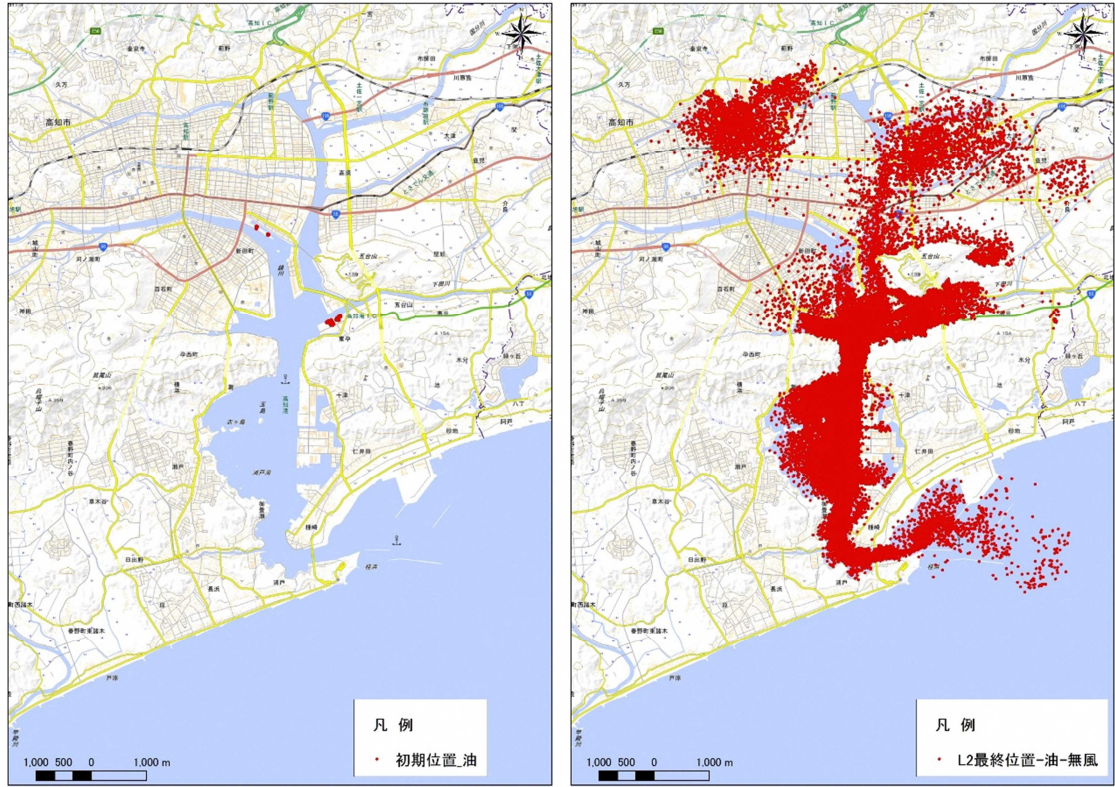


【北風】



【南風】

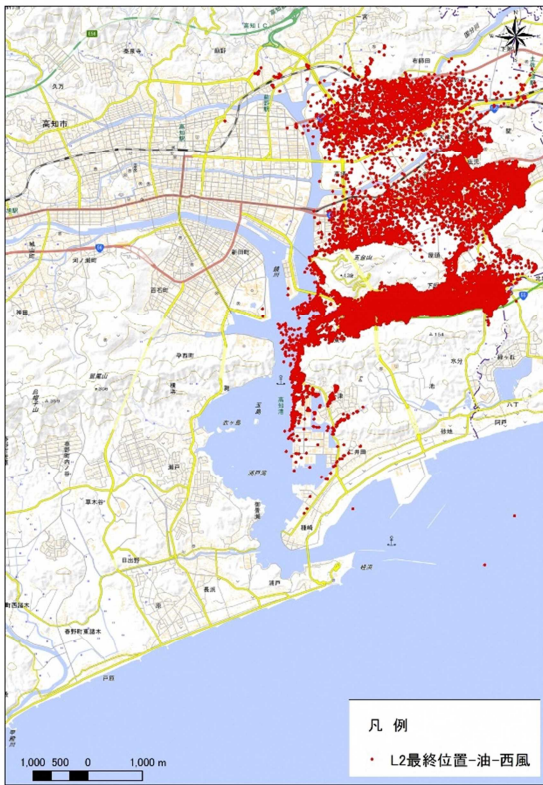
図 4.9.1(2) 油漂流結果図(ケース①-L1)



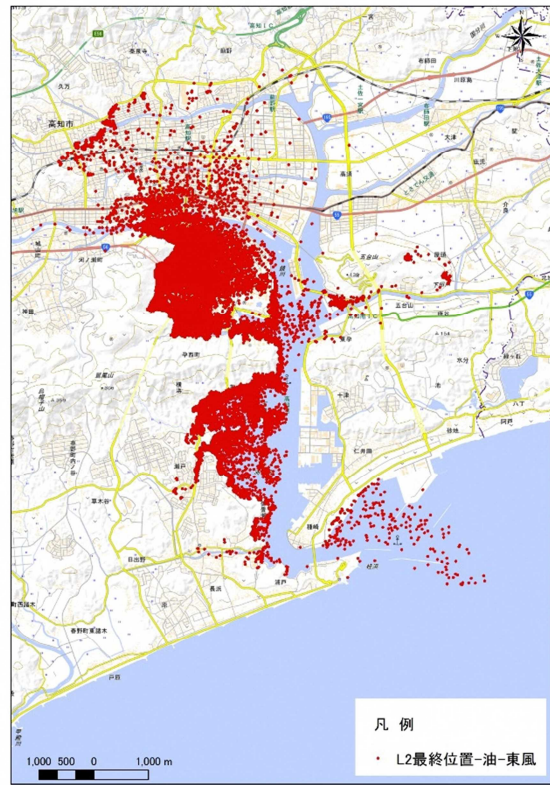
【初期位置】

【無風】

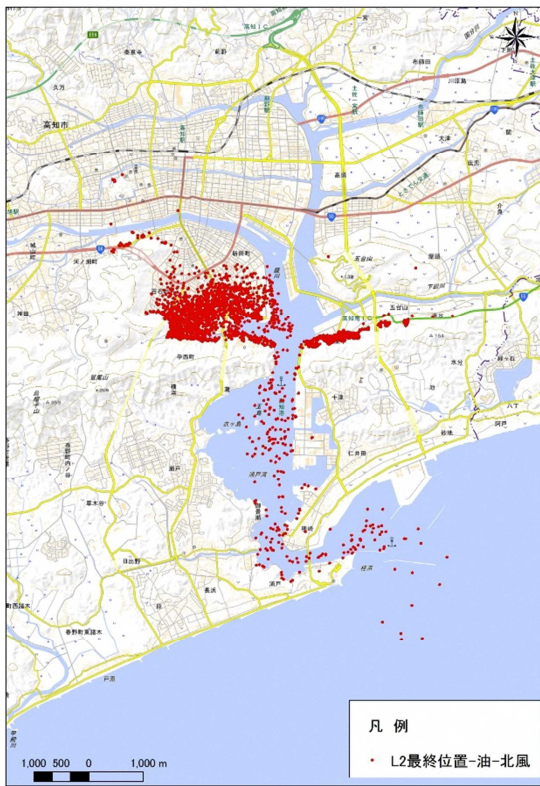
図 4.9.2(1) 油漂流結果図(ケース①-L2)



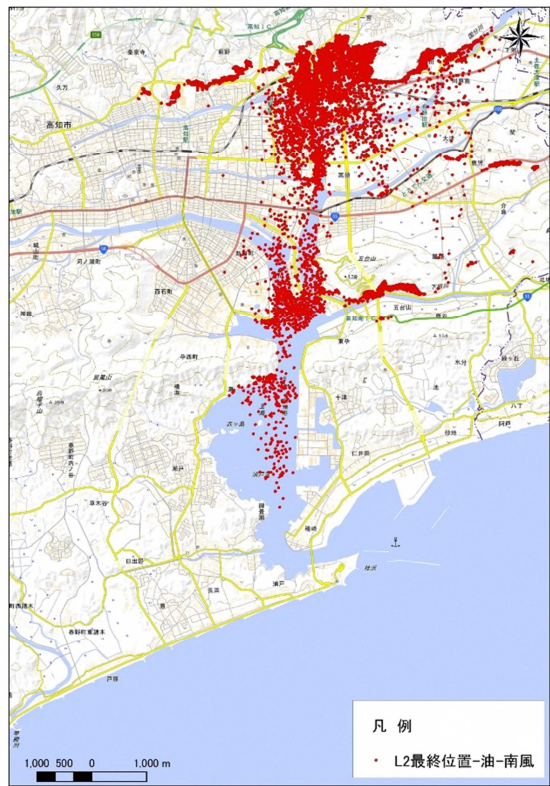
【西風】



【東風】



【北風】



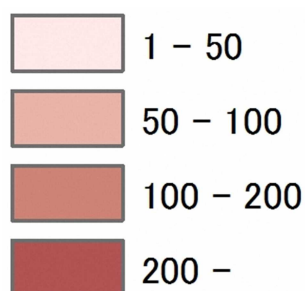
【南風】

図 4.9.2(2) 油漂流結果図(ケース①-L2)

上記で示した漂流結果図で漂流位置は把握できるが、漂流点が多く重なる箇所の油の量が把握しにくいいため、メッシュごとの油の量も算出することとした。油が多く集積するエリアを大まかに把握するために、100m 四方のメッシュごとの油の量を表す濃度グリッドを作成した。

ケース①（最悪のケースで全てのタンク容量の油が流出）の漂流結果濃度図を図 4.9.4 に示す。濃度の分け方としては、細かすぎない4 ランク程度にランク分けすることとし、ケース①、ケース②で濃淡のエリアが判別出来るように検討し、以下に示すランク分けとした。

油の濃度グリッド凡例



単位：kL

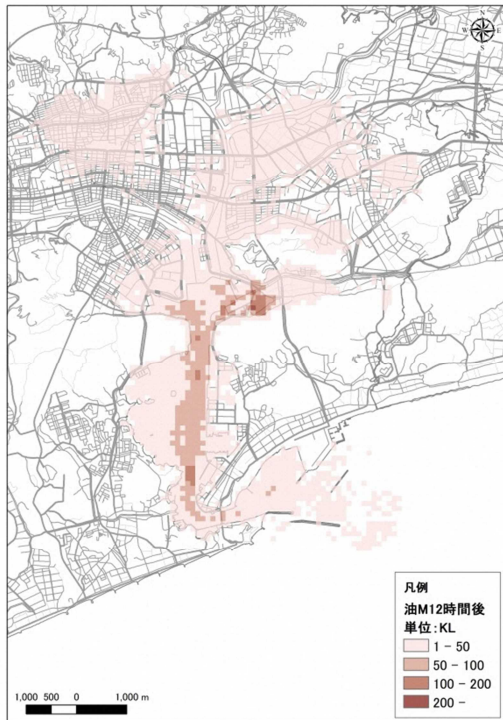
※100m×100m の正方形の中に何 kL の油が存在するかで色分けする

図 4.9.3 油の漂流結果濃度図の凡例

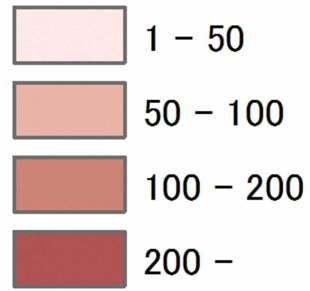
油の漂流拡散については、無風時以外は風の影響を受けるため、風向によって濃度分布が大きく異なり、吹き寄せられる方向の山の裾野や浸水域の端部に集積する傾向が見られる。

ケース①では、全ての風向きで、風で吹き寄せられる方向の山の裾野や浸水域の端部等で高濃度域が見られる。

ケース①の L1 津波およびケース②、③については、参考資料に示す。



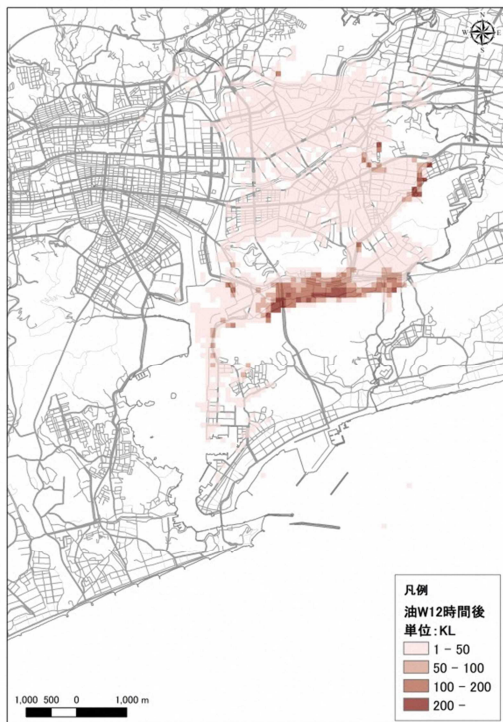
油の濃度グリッド凡例



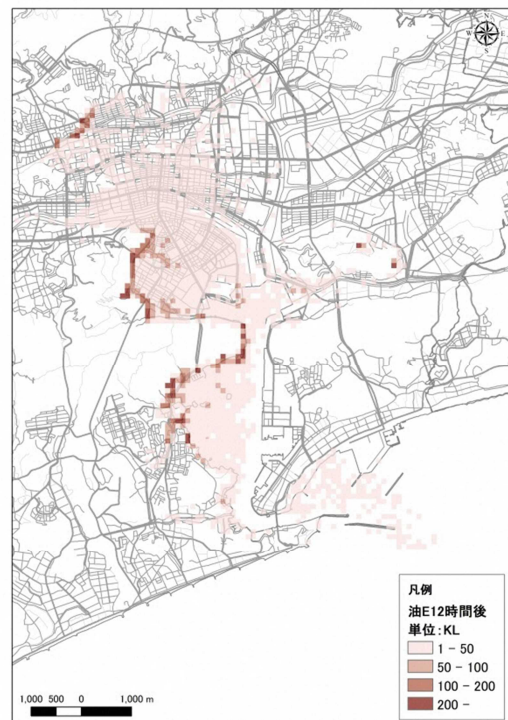
単位: kL

※100m×100m の正方形の中に何 kL の油が存在するかで色分けする

【無風】

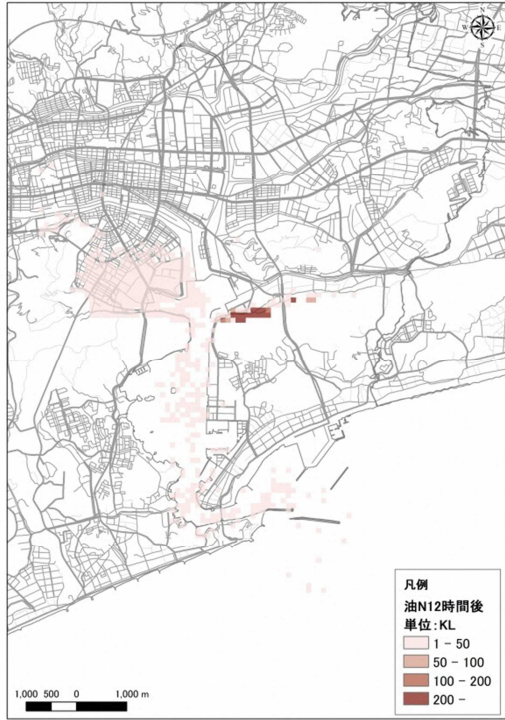


【西風】

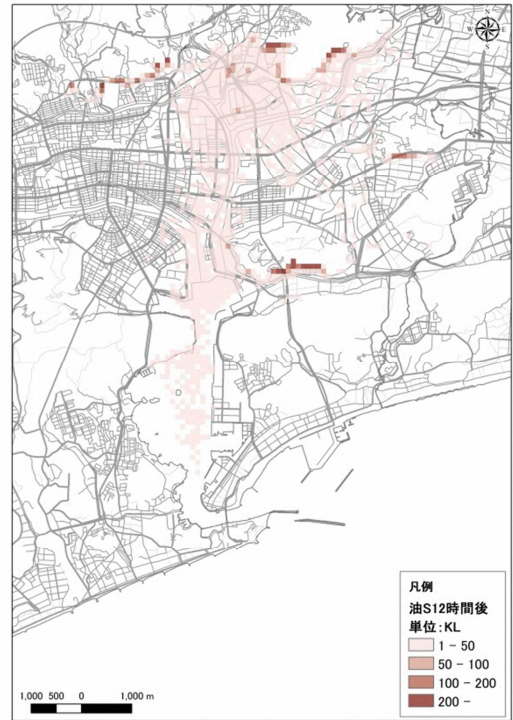


【東風】

図 4.9.4(1) 油漂流結果濃度図(ケース①-L2)



【北風】



【南風】

図 4.9.4(2) 油漂流結果濃度図(ケース①-L2)

4.10 タンク周辺拡大検討

4.10.1 タナスカ地区

① タンク周辺を通過しない軌跡

以下の項目のがれき等については、軌跡がタナスカ地区のタンクエリア周辺を通過しない結果となった。

- ・建物（L1）
- ・木材（L2、※L1は漂流せず）
- ・車両昼（L1）
- ・LPガスボンベ（L1）
- ・コンテナ（L2、※L1は漂流せず）
- ・ドラム缶（L1）
- ・船舶（L1）

がれき等の種類別に、タンクエリア周辺を通過する軌跡の有無について表 4.10.1 に示す。

表 4.10.1 タナスカ地区のタンクエリア周辺を通過する軌跡の有無

がれき等種類	L1津波	L2津波
建物	無	有
木材	—	無
車両	無	有
LPガスボンベ	無	有
コンテナ	—	無
ドラム缶	無	有
船舶	無	有※

※プレジャーボートのみ



図 4.10.1 タナスカ地区

② 建物：L2 タンク周辺を通過する建物がれきの初期位置

L2 津波でタンク周辺を通過する建物がれきの初期位置および軌跡を図 4.10.2、図 4.10.3 に示す。建物については、タナスカ地区周辺および下田川沿いの建物が主であるが、一部浦戸湾内を津波によって北上してきた建物がれきもタナスカ地区のタンクエリアに衝突する結果となっている。

建物がれきの初期エリア別集計表（表 4.2.1）によれば、浦戸湾南部の初期エリア 1～4 からの漂流がれきがタナスカ地区のあるエリア 8 に到達する割合はそれぞれ 0.1～0.5% 程度と割合としては低いものの、エリア 1～4 を合計した建物の量としては 189 トンとなることから、そのうちの一部（40 トン程度）がタナスカ地区のタンクエリアを通過する結果となった。



図 4.10.2 L2 建物初期位置※交差するデータのみ表示

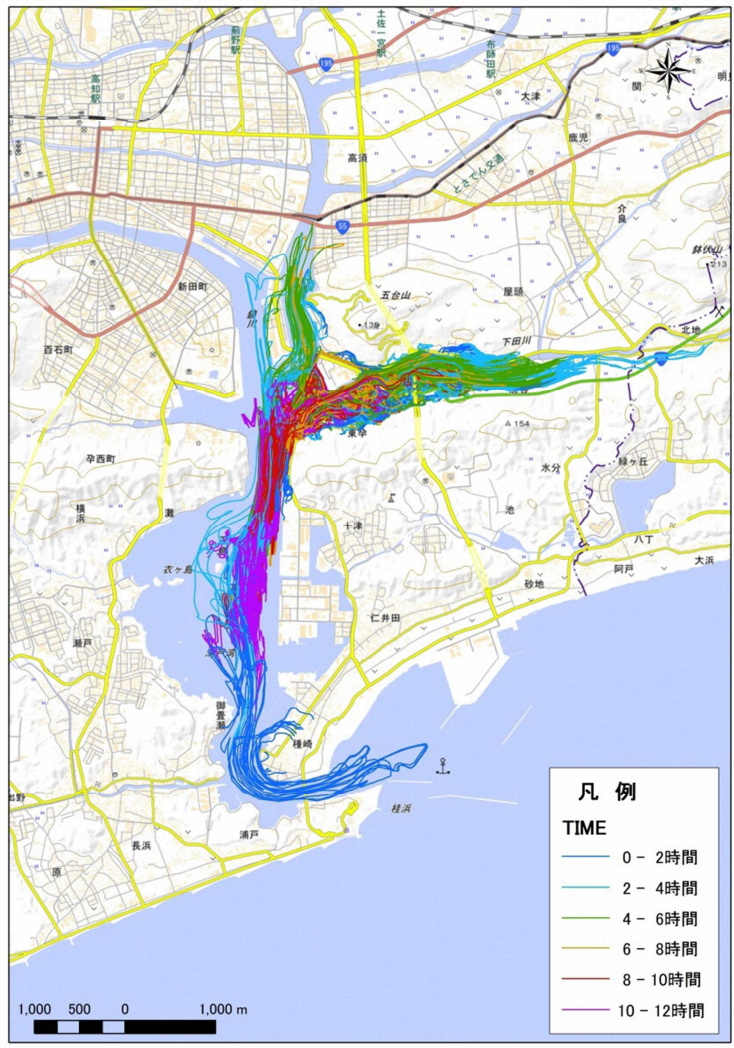


図 4.10.3 L2 建物軌跡※交差するデータのみ表示

③ 車両昼

L2 津波でタンク周辺を通過する車両昼の初期位置および軌跡を図 4.10.4、図 4.10.5 に示す。車両については主に建物同様にタンクエリア周辺および下田川沿いのものが衝突する結果となっている（車両数 27 台）。



図 4.10.4 L2 車両昼初期位置※交差するデータのみ表示

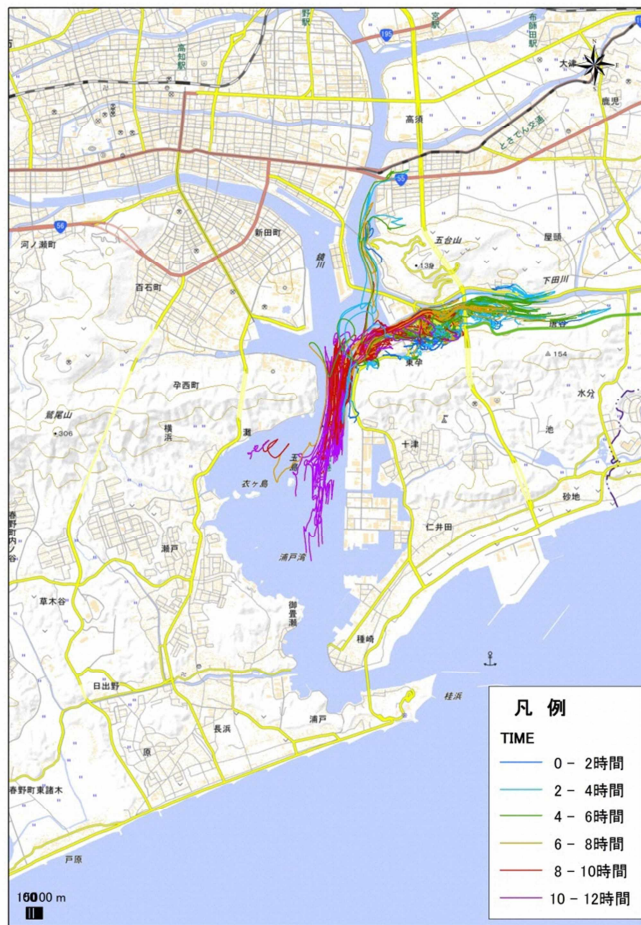
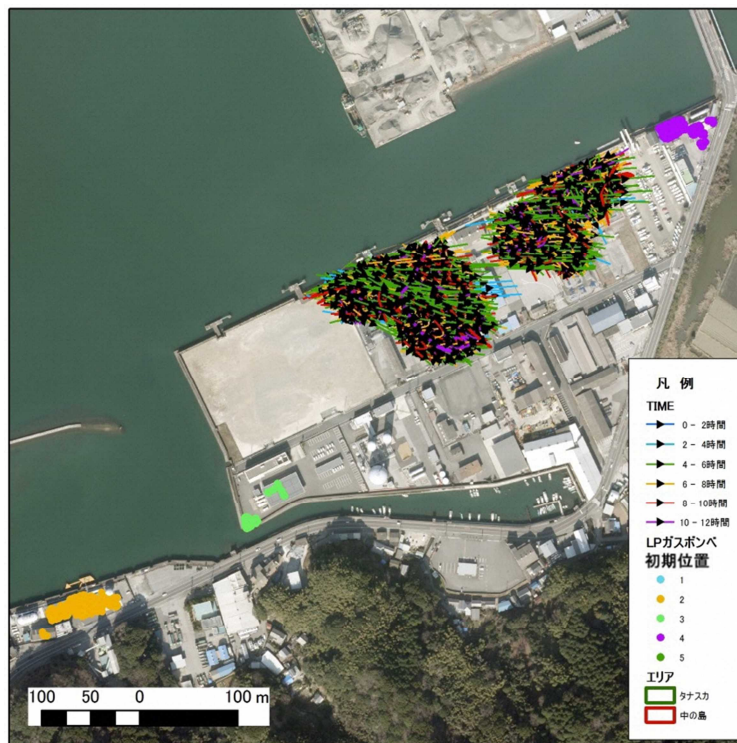


図 4.10.5 L2 車両昼軌跡※交差するデータのみ表示

④ LP ガスボンベ：L2 タンク周辺を通過する軌跡

L2 津波でタンク周辺を通過する LP ガスボンベの軌跡を図 4.10.6 に示す。

LP ガスボンベは置き場がタンクエリアに近接しており、直近の置き場の LP ガスボンベがタンクエリアに衝突する結果となっている。



※図ではタンクエリアを通過する軌跡のみを抽出し、その前後は省略している（すべて表示すると判別出来なくなるため）が、LP ガスボンベの漂流はそれぞれの初期位置から開始している。

図 4.10.6 LP ガスボンベ軌跡拡大図（方向矢印入り） ※初期位置、軌跡ともに交差するデータのみ表示

⑤ ドラム缶：L2 タンク周辺を通過する軌跡

L2津波でタンク周辺を通過するドラム缶の軌跡を図 4.10.7 に示す。ドラム缶についても置き場がタンクエリアに近接しており、直近の置き場のドラム缶が衝突する結果となっている。

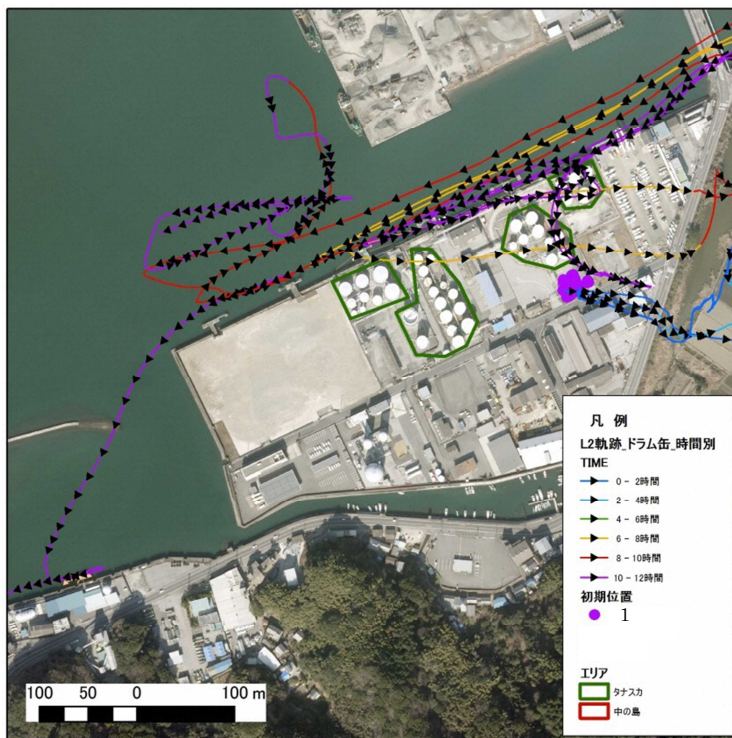


図 4.10.7 ドラム缶軌跡拡大図（方向矢印入り）※交差するのは5缶

⑥ 船舶：L2 タンク周辺を通過する軌跡

L2 津波でタンク周辺を通過する船舶の軌跡を図 4.10.8 に示す。タンクエリアを通過する船舶はタナスカ地区の陸置きプレジャーボートのうちの7隻であった。

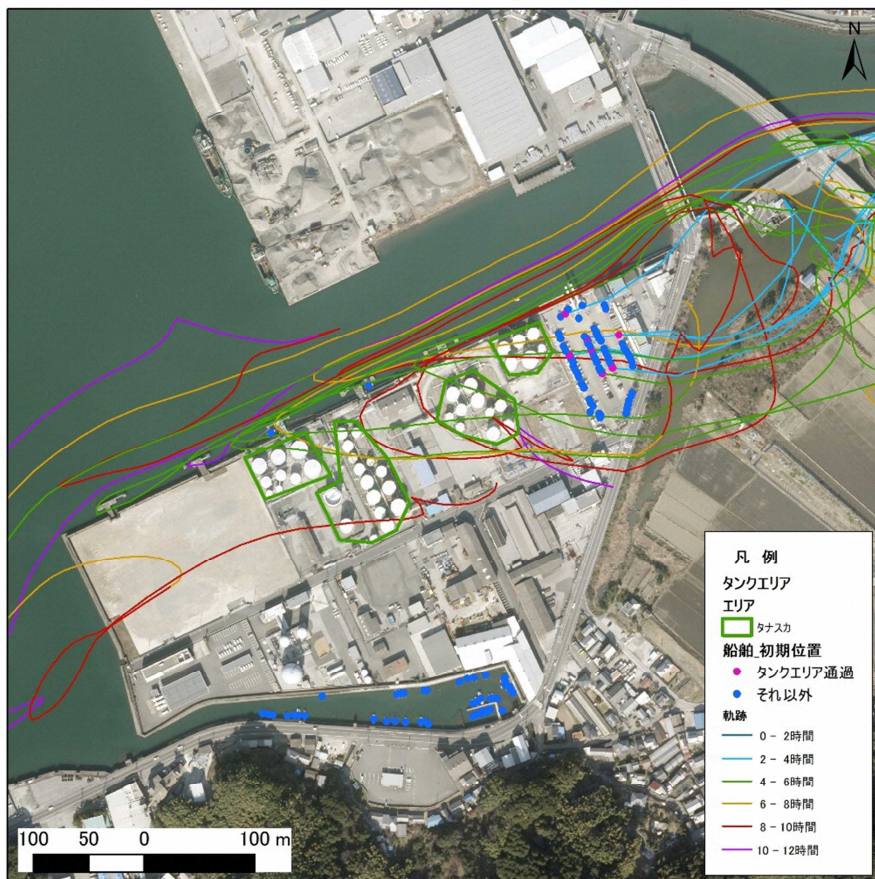


図 4.10.8 タナスカ地区タンクエリアを通過する船舶の軌跡（通過するもののみ抽出）

これらのプレジャーボートはタンクエリアに隣接して置かれており、設置位置を高くすることは現実的には難しいと考えられる。

⑦ 対策

ドラム缶、LP ガスボンベについては置き場を移動することは所有地の問題からなかなか難しいと思われるが、設置位置を高くすること、防護ネット等で流出・衝突を防ぐことで危険施設への被害を軽減することが可能と考えられる。

建物、車両および船舶については、タンクエリアのごく近傍の建物、車両および船舶が下田川を遡上したり逆に海へ戻ったりする津波に乗って移動する際にタンクエリアに衝突する状況である。タンクエリア周辺に防護柵を設置する等、なるべく外部からの衝突を防ぐ方策の検討が求められる。

また、船舶に関しては、油のタンクエリアに隣接していることを考慮し、日常的に固定することが出来れば、危険施設への被害を軽減することが可能となると考えられる。

4.10.2 中の島地区

① タンク周辺を通過しない軌跡

以下の項目のがれき等については、軌跡が中の島地区のタンクエリア周辺を通過しない結果となった。

- ・建物（L1）
- ・木材（L2、※L1は漂流せず）
- ・LPガスボンベ（L1）
- ・コンテナ（L2、※L1は漂流せず）
- ・船舶（L1、L2）

がれき等の種類別に、タンクエリア周辺を通過する軌跡の有無について表 4.10.2 に示す。

表 4.10.2 中の島地区のタンクエリア周辺を通過する軌跡の有無

がれき等種類	L1津波	L2津波
建物	無	有
木材	—	無
車両	有	有
LPガスボンベ	無	有
コンテナ	—	無
ドラム缶	有	有
船舶	無	無



図 4.10.9 中の島地区

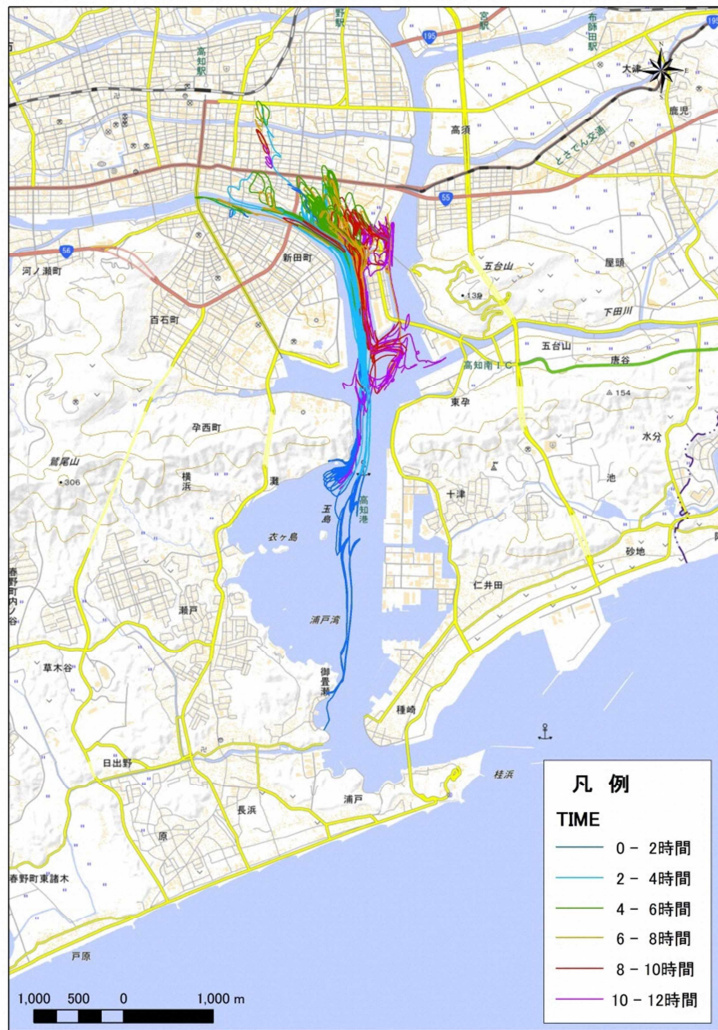


図 4.10.11 L2 建物軌跡※交差するデータのみ表示

③ 車両昼

L1 津波、L2 津波でタンク周辺を通過する車両昼の初期位置および軌跡を図 4.10.12～図 4.10.14 に示す。車両については主に中の島地区のタンクエリア周辺を初期位置とする車両が衝突する結果となっているが、L2 津波では建物同様に浦戸湾南側の車両も一部衝突している。



図 4.10.12 L1 車両昼初期位置※交差するデータのみ表示



図 4.10.13 L2 車両昼初期位置※交差するデータのみ表示



図 4.10.14 L1・L2 車両昼軌跡※交差するデータのみ表示

④ LP ガスボンベ

L2 津波でタンク周辺を通過する LP ガスボンベの軌跡を図 4.10.15 に示す。

LP ガスボンベは置き場がタンクエリアに近接しており、直近の置き場の LP ガスボンベがタンクエリアに衝突する結果となっている。

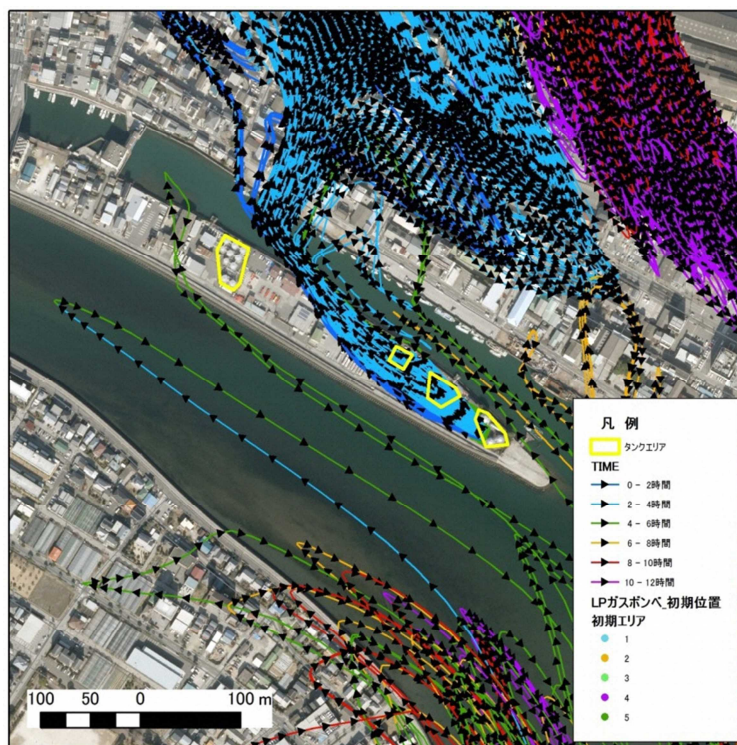


図 4.10.15 LP ガスボンベ軌跡拡大図（方向矢印入り）（通過するタンクの初期位置はエリア5）

⑤ ドラム缶

L1 津波、L2 津波でタンク周辺を通過するドラム缶の軌跡を図 4.10.16、図 4.10.17 に示す。ドラム缶についても置き場がタンクエリアに近接しており、直近の置き場のドラム缶が衝突する結果となっている。

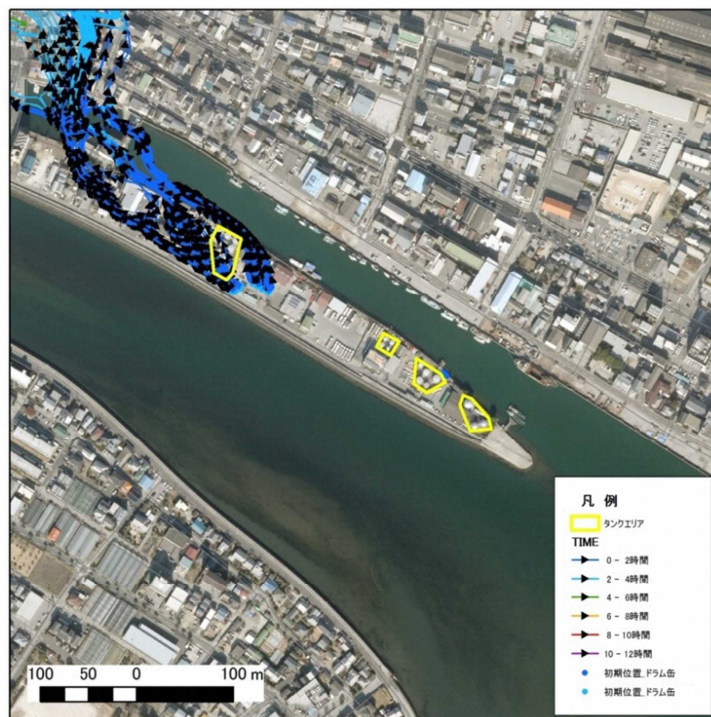


図 4.10.16 ドラム缶軌跡拡大図（方向矢印入り）（L1）

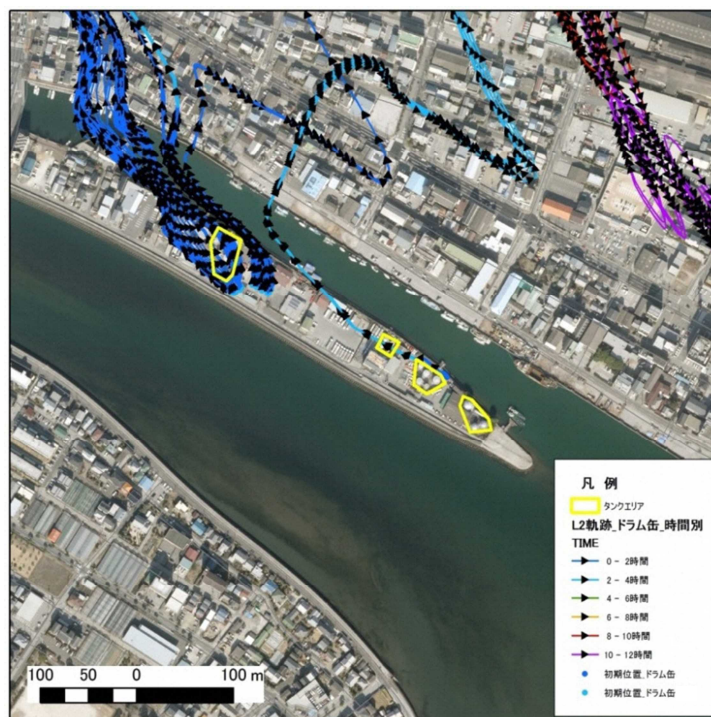


図 4.10.17 ドラム缶軌跡拡大図（方向矢印入り）（L2）

⑥ 対策

ドラム缶、LP ガスボンベについては置き場を移動することは敷地の問題からなかなか難しいと思われるが、設置位置を高くすること、防護ネット等で流出・衝突を防ぐことで危険施設への被害を軽減することが可能と考えられる。

建物および車両については、タンクエリア周辺に防護柵を設置する等、なるべく外部からの衝突を防ぐ方策の検討が求められる。

4.11 がれきと油の分布の重ね合わせによる検討

4.11.1 建物+木材がれきの分布

建物がれきと木材がれきについては、これらを加算し、その分布を 100m 四方のメッシュで濃度グリッドとしてデータを整理した。

「東日本大震災で発生した津波火災における地形的影響の考察と津波火災危険度評価指標の提案（今津ら、2014）※」より、発生可燃物密度が $30\text{kg}/\text{m}^2$ 以上集積すると火災危険度が高いことが示されていることより、 $30\text{kg}/\text{m}^2$ を閾値として抽出することとした。

漂流結果の検討時間は 12 時間後（最終位置）を基本とするが、途中経過を確認するため、6 時間後についてもデータを整理した。

※東日本大震災で発生した津波火災における地形的影響の考察と津波火災危険度評価指標の提案：
今津雄吾、野竹宏彰、北後明彦、今村文彦(2014) 自然災害科学 J.JSNDS 33-2 127-143

L1 津波では、浸水深が浅く、がれき発生量が少ないため、火災危険度が高い $30\text{kg}/\text{m}^2$ の地域は、がれきが集積する皿ヶ峰（高見山）の南西側の限定的なエリアであり、6 時間後と 12 時間後の分布は類似している（図 4.11.1）。

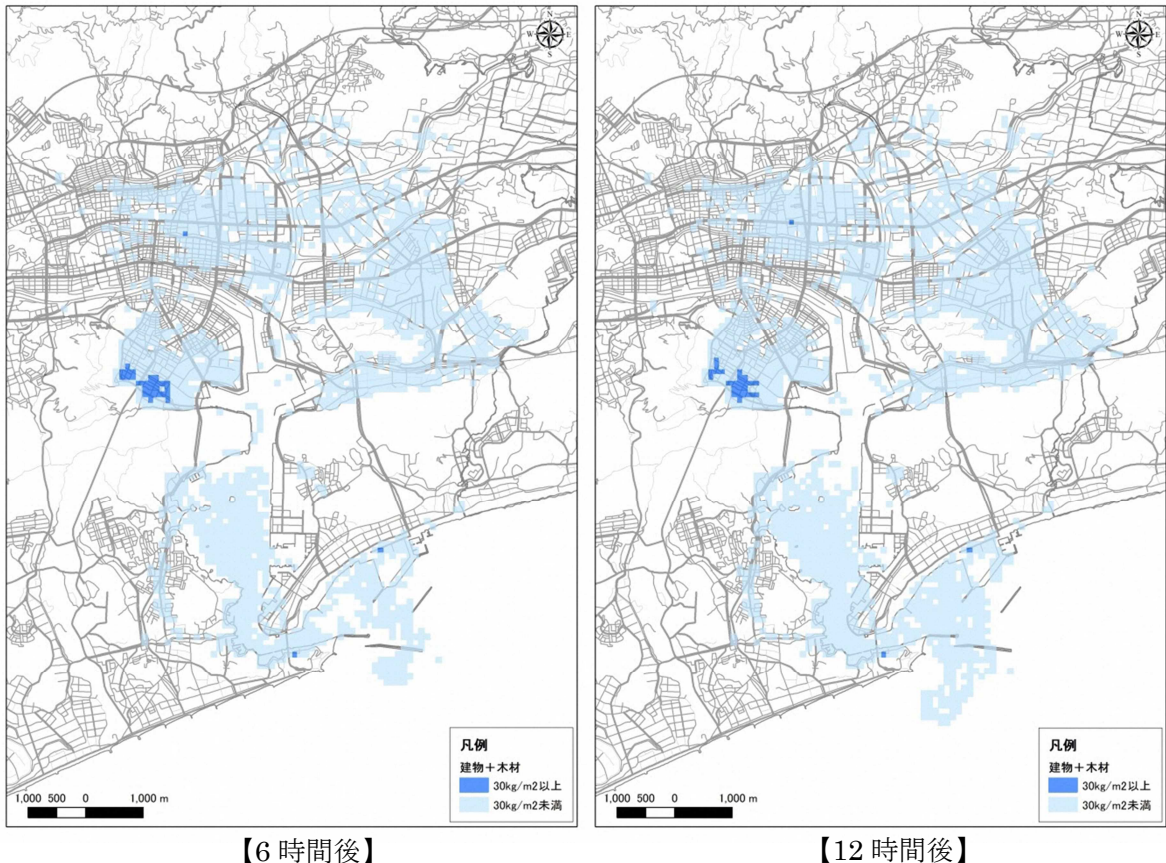
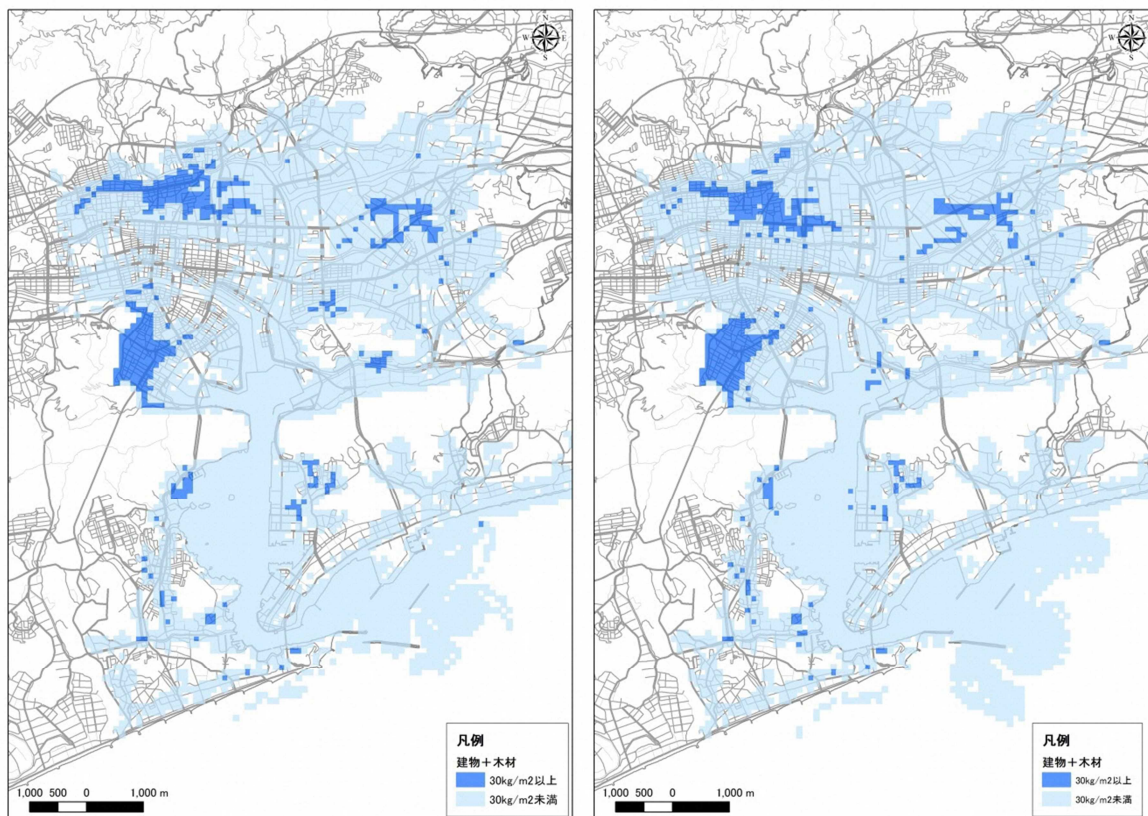


図 4.11.1 建物+木材がれき 漂流結果濃度グリッド図(L1)

L2津波では、火災危険度が高い $30\text{kg}/\text{m}^2$ の地域が広がっているエリアは、がれきが集積する皿ヶ峰（高見山）の東側と、がれき発生量の大きい地域の北側にあたる JR 高知駅を中心とする東西エリア、さらに北東部の大津バイパスから田辺島通駅付近の水田および住居エリアとなっており、6 時間後と 12 時間後の分布は類似している（図 4.11.2）。

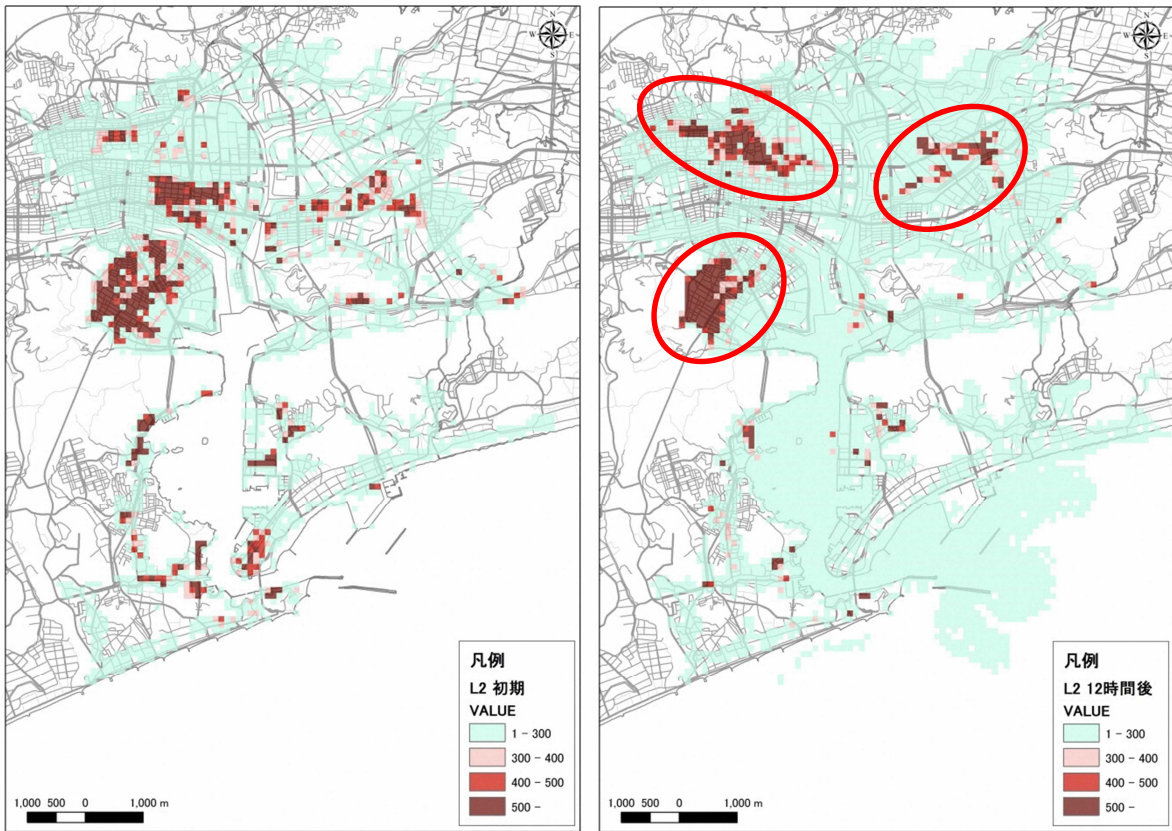


【6 時間後】

【12 時間後】

図 4.11.2 建物+木材がれき 漂流結果濃度グリッド図(L2)

なお、建物+木材がれき濃度の初期と 12 時間後の比較（図 4.11.3）をみると、もともと被害率が高くがれき量の多い地域に近く、12 時間後の赤丸の付近にそれらのがれきが集約していることがわかる。



【初期】

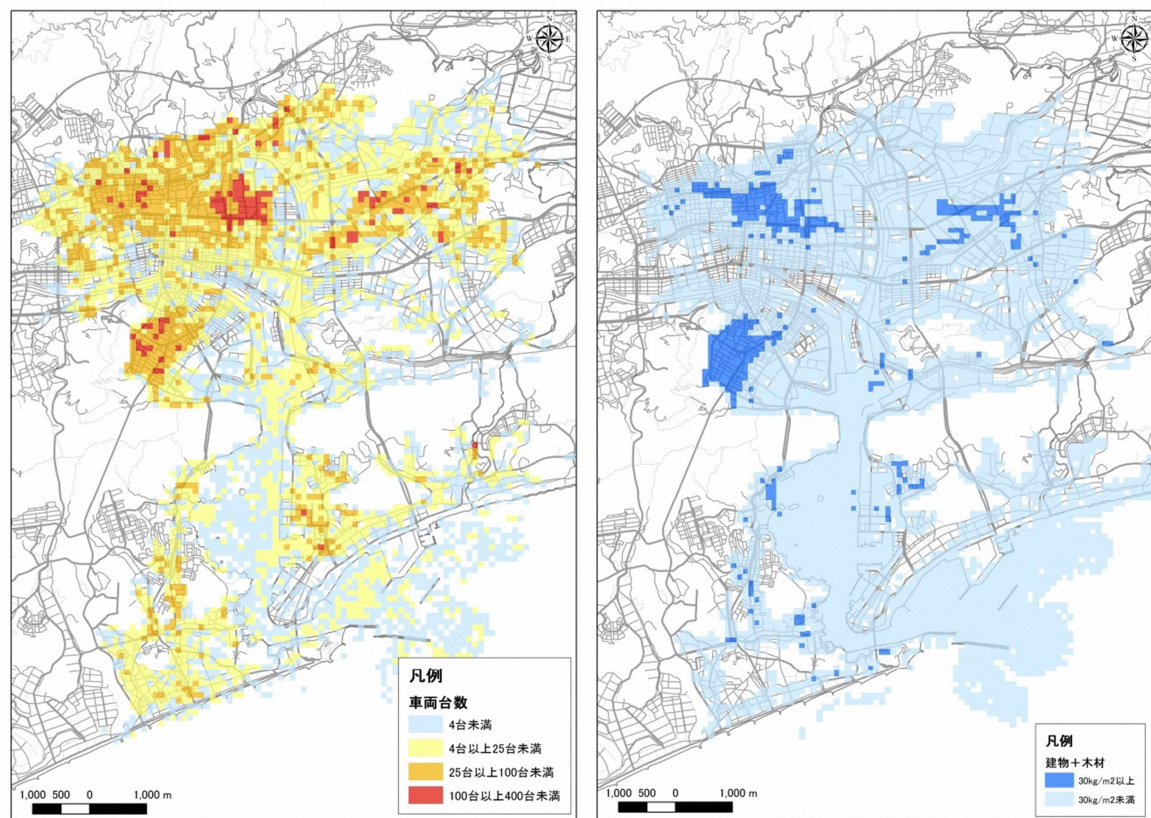
【12時間後】

図 4.11.3 建物+木材がれき 濃度グリッド図(L2) (単位:t)

4.11.2 車両と建物+木材がれきの分布

車両についても、建物+木材と同様に 100m 四方のメッシュで 12 時間後（最終位置）の濃度グリッド表示を行った。

車両には台数による火災危険度の閾値を示した文献がないが、例えば自動車の長さを 5m と仮定し、100m 四方で 400 台あれば敷き詰められることをふまえ、ぶつかりやすさの目安として 4 台、25 台、100 台、400 台を閾値として検討した（図 4.11.4）。



参考：車両の拡散結果

参考：建物+木材がれき拡散結果

図 4.11.4 車両屋 漂流結果濃度グリッド図(L2) 12 時間後

L2 津波における 100m メッシュグリッドの 12 時間後の車両台数の最大値は 255 台であった。

建物+木材がれき拡散結果と比較すると、多く集積するエリアは類似した分布となっている。このことより、油の分布との重ね合わせにおいても、危険地域は建物+木材がれきの検討結果と共通の傾向であることが考えられる。

4.11.3 建物+木材がれきと油の分布

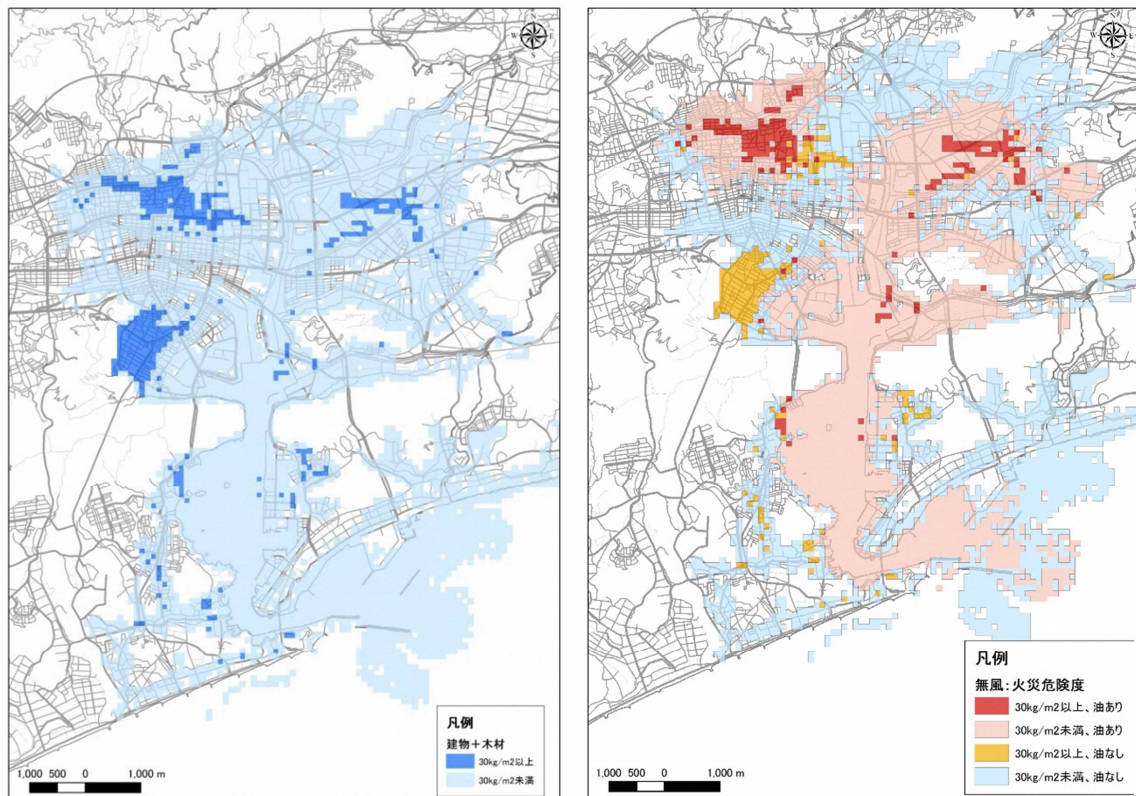
建物・木材がれきと油の分布を重ねることにより津波火災の発生危険度の高い地域を抽出した。建物・木材がれきの発生量が多いL2津波で、油の発生量が多いケース①（最悪のケースで全てのタンクの油が流出）を検討対象とした。

油については、火災危険度について濃度の閾値を示している文献資料がないため、油の存在の有無により地域を抽出することとした。

また、途中経過として、6時間後の時点においても確認した結果を参考資料に示す。

重ねあわせ図において、がれき量が $30\text{kg}/\text{m}^2$ 以上で油が存在する赤い地域が最も火災危険度が高いと考えられ、次のがれき量が $30\text{kg}/\text{m}^2$ 以上ではあるが油が存在しないオレンジの地域、がれき量が $30\text{kg}/\text{m}^2$ 未満ではあるが油が存在するピンクの地域も火災危険度として着目する地域である。薄い水色で示した、がれき量が $30\text{kg}/\text{m}^2$ 未満で油も漂流してきていない地域については、比較的火災危険度は低い地域であると考えられる。

最も火災危険度が高い地域は、油の漂流が風の影響を受けるため、一概には言えないが12時間後では、無風時は北西部と北東部の市街地、東風では北西部の市街地と皿ヶ峰（高見山）の東側、西風と南風では北東部の市街地、北風では皿ヶ峰（高見山）の東側の地域となっている。



建物+木材がれき拡散結果のみ※油漂流結果重ね合わせ前

【無風】

図 4.11.5(1) 建物・木材がれきと油漂流結果重ね合わせ(L2) 12時間後(1)

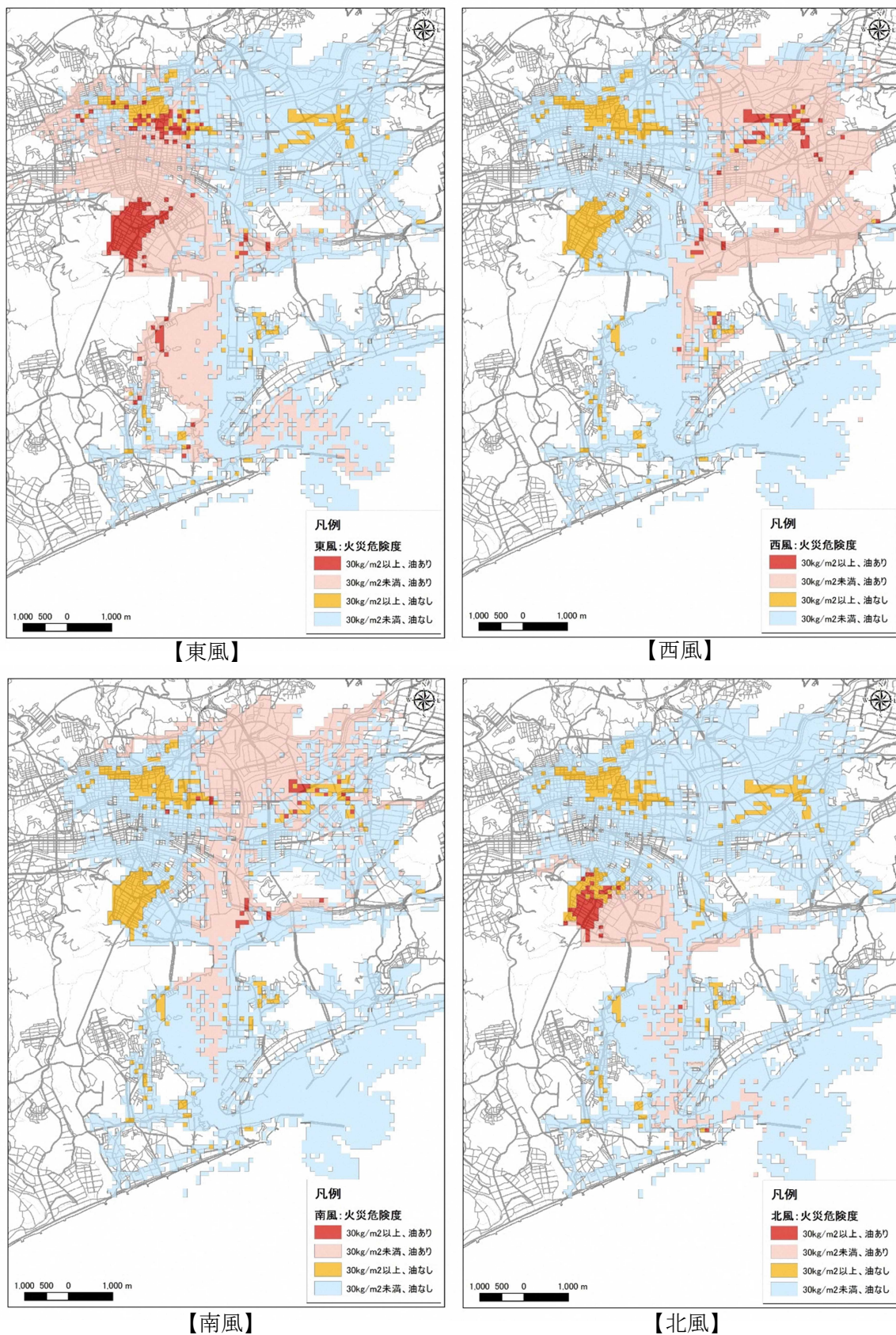


図 4.11.5 (2) 建物・木材がれきと油漂流結果重ね合わせ(L2) 12 時間後(2)

巻末

※1： 本資料における以下の地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の電子地形図（タイル）を複製したものである。（承認番号 平30情複、第853号）

なお、これらの地図を第三者が複製する場合には、国土地理院長の承認を得る必要がある。

ページ番号	図
9	図 2.3.2 道路交通センサス区間の把握
11	図 2.3.3 駐車車両（細街路含む）位置図
12	図 2.3.4 大型駐車場位置図
23	図 3.1.1 計算メッシュ領域図
24	図 3.1.2 最大津波高が最も高くなる南海トラフの巨大地震津波断層モデル
27	図 3.1.5 津波水位時系列取得地点
32	図 4.1.2 建物・車両がれき等分布エリアの分割
33	図 4.2.1 建物がれき漂流結果図(L1)
34	図 4.2.2 建物がれき初期エリアごとの軌跡図(L1) エリア1、2（抽出）
35	図 4.2.3 建物がれき初期エリアごとの軌跡図(L1) エリア7、11（抽出）
36	図 4.2.4 建物がれき漂流結果図(L2)
37	図 4.2.5 建物がれき初期エリアごとの軌跡図(L2) エリア8、9（抽出）
38	図 4.2.6 建物がれき初期エリアごとの軌跡図(L2) エリア7、11（抽出）
41	図 4.3.1 木材の漂流結果図(L2)
42	図 4.3.2 木材の漂流軌跡図(L2)
43	図 4.4.1 車両初期位置
44	図 4.4.2 車両漂流結果図
45	図 4.4.3 エリア8からの軌跡（抽出）
46	図 4.4.4 エリア9からの軌跡
47	図 4.4.5 エリア6、7からの軌跡
50	図 4.5.1 LPガスボンベ漂流結果図
52	図 4.5.2 LPガスボンベ漂流軌跡図(L1)
52	図 4.5.3 LPガスボンベ漂流軌跡図(L2)
53	図 4.6.1 コンテナ漂流結果図
54	図 4.6.2 コンテナ漂流軌跡図
55	図 4.7.1 ドラム缶漂流結果図
56	図 4.7.2 ドラム缶漂流軌跡図
57	図 4.7.3 ドラム缶漂流軌跡図(L2)
58	図 4.8.1 小型船舶漂流結果図
59	図 4.8.2 小型船舶漂流全軌跡図

ページ番号	図
61	図 4.8.4 大型船舶漂流結果・軌跡図(L1、L2)
62	図 4.9.1(1) 油漂流結果図(ケース①-L1)
63	図 4.9.1(2) 油漂流結果図(ケース①-L1)
64	図 4.9.2(1) 油漂流結果図(ケース①-L2)
65	図 4.9.2(2) 油漂流結果図(ケース①-L2)
69	図 4.10.1 タナスカ地区
70	図 4.10.2 L2 建物初期位置
71	図 4.10.3 L2 建物軌跡
72	図 4.10.4 L2 車両昼初期位置
73	図 4.10.5 L2 車両昼軌跡
77	図 4.10.9 中の島地区
78	図 4.10.10 L2 建物初期位置
79	図 4.10.11 L2 建物軌跡
80	図 4.10.12 L1 車両昼初期位置
80	図 4.10.13 L2 車両昼初期位置
81	図 4.10.14 L1・L2 車両昼軌跡

※2： 本資料における以下の地図の作成に当たっては、国土地理院長の承認を得て、同院発行の基盤地図情報を使用した。(承認番号 平30情使、第888号)

ページ番号	図
6	図 2.1.2 建物被害率(木造・非木造、L1・L2別)
67	図 4.9.4(1) 油漂流結果濃度図(ケース①-L2)
68	図 4.9.4(2) 油漂流結果濃度図(ケース①-L2)
85	図 4.11.1 建物+木材がれき漂流結果濃度グリッド図(L1)
86	図 4.11.2 建物+木材がれき漂流結果濃度グリッド図(L2)
87	図 4.11.3 建物+木材がれき濃度グリッド図(L2) (単位：t)
88	図 4.11.4 車両昼漂流結果濃度グリッド図(L2) 12時間後
89	図 4.11.5(1) 建物・木材がれきと油漂流結果重ね合わせ(L2) 12時間後(1)
90	図 4.11.5(2) 建物・木材がれきと油漂流結果重ね合わせ(L2) 12時間後(2)