



津波に対する沿岸防災の強化 に関する研究

国土技術政策総合研究所

沿岸海洋・防災研究部

高田直和



研究の背景・目的

背景

東日本大震災における港湾の被害の影響

- 港湾地域における被害甚大（臨海部に経済基盤集中）
→ 社会経済に影響大
（直後の緊急支援物資輸送、復旧・復興関連物資供給）



○津波避難計画の作成，津波の早期検知等の重要性認識

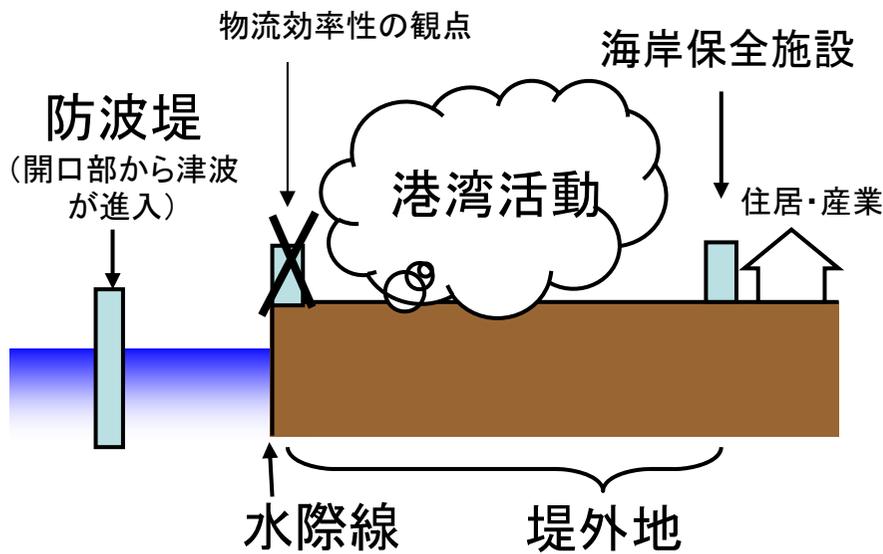
目的

港湾地域を対象

- より高度な津波検知による津波情報の提供
- 津波避難計画の作成手法の高度化
- 漂流物対策等の津波対策に関する知見の蓄積

港湾地域(堤外地)の特性

水際線に防潮施設を設置する等の「構造物による対策」が困難



防波堤の開口部等から進入してくる津波の防護は困難(浸水に対し無防備な状態)

港湾関連企業の労働者, 旅客・来訪者等が多数存在



←製鉄会社(製造・物流部門)の労働者

釜石製鉄所HPより



↑魚市場の労働者

<http://kamaishi.blog15.fc2.com/blog-entry-380.html>より

←旅客船の旅客・来訪者

国土交通省釜石港湾事務所HPより

労働者, 旅客・来訪者等の港湾地域(堤外地)における安全性確保

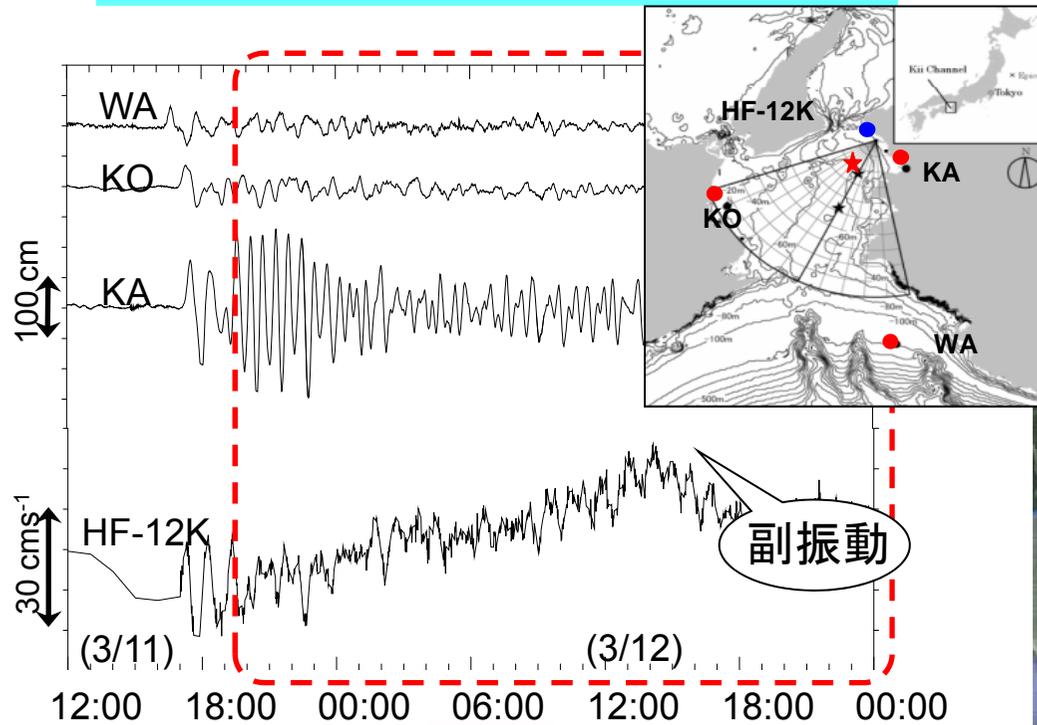
津波に対する沿岸防災の強化に関する研究課題

- ①レーダ技術を活用した津波観測技術の開発
- ②津波避難シミュレーションの高度化・体系化
- ③漂流物(コンテナ流出)調査

短波海洋レーダ技術を活用した津波・副振動観測手法の開発

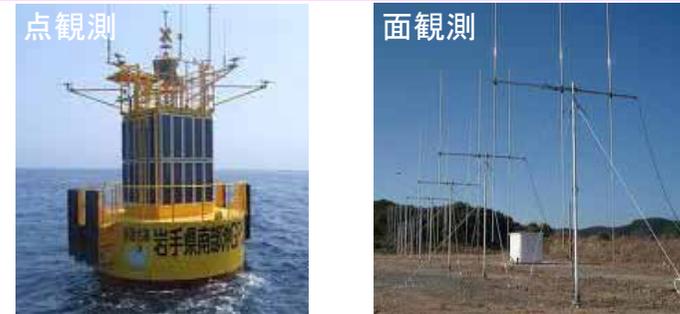
港湾域の特性

津波発生後に副振動が発生、
湾形状によっては最大波となる

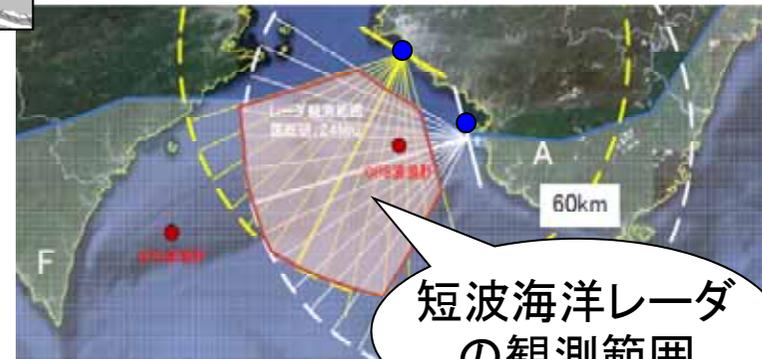


津波観測手法の特性

波高計による点観測では、
複雑な平面分布を把握困難



● 波高計 (GPS波浪計) ● 短波海洋レーダ



港湾沖合での津波伝播状況を短波海洋レーダでリアルタイムに
モニタリングし、副振動の発達・減衰状況を把握

短波海洋レーダ技術を活用した津波・副振動観測手法の開発

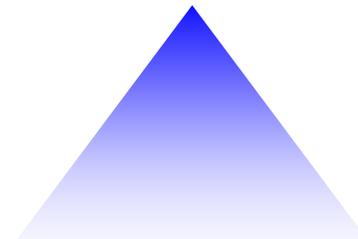
短波海洋レーダ

アンテナ



制御装置

- ・海洋レーダハードウェアの改良
- ・レーダ観測データを利用した津波・副振動検知アルゴリズムの改良

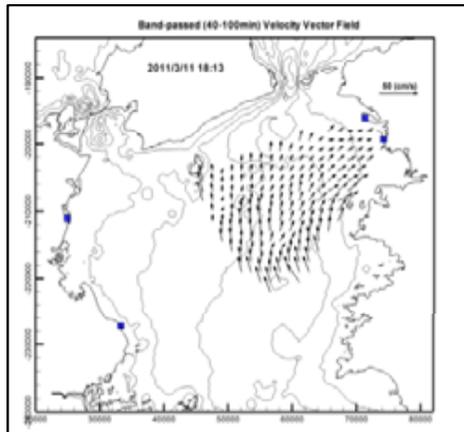


東北地方太平洋沖地震津波観測実績

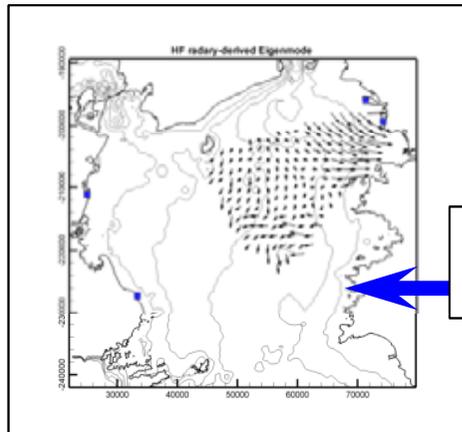
レーダシステム
リアルタイム化

数値計算(理論計算)

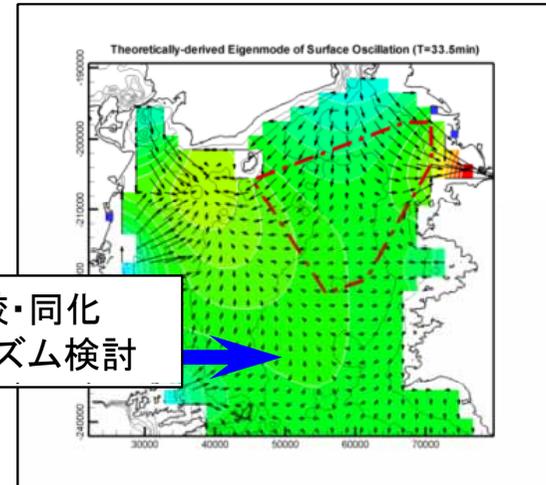
津波(進行波)



副振動モード



比較・同化
メカニズム検討



○津波波源インバージョンの取り組み

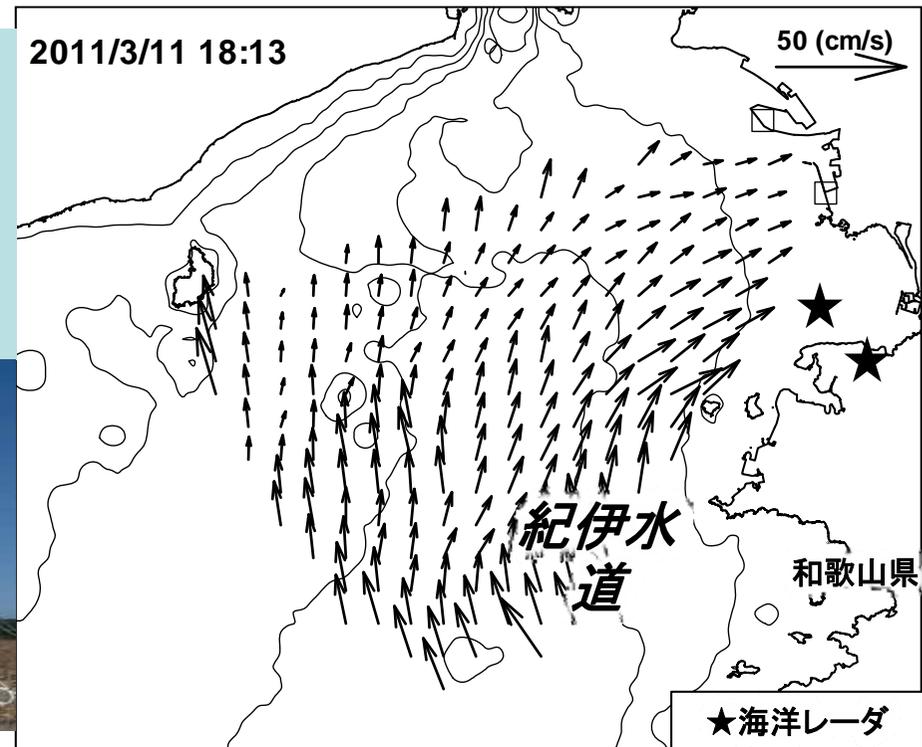
- 海洋レーダの視線方向流速データから津波初期水位を推定
→海洋レーダの利用(紀伊水道における津波観測実績等)
- 応答関数を流速データとし解法は同様(線形仮定, 最小二乗法)
- レーダの特性を活かした推定手法の検討

海洋レーダのメリット

- 観測密度が高い(面的な情報)
- 沖合情報を捉えられる(50km~)
- 相対的に低コスト



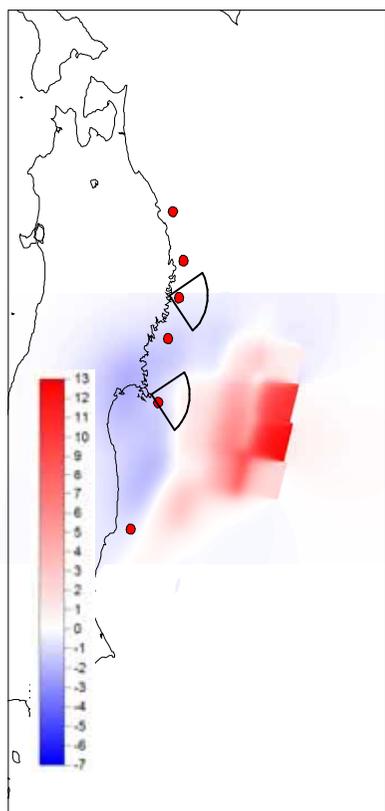
(九州大学RIAM HP)



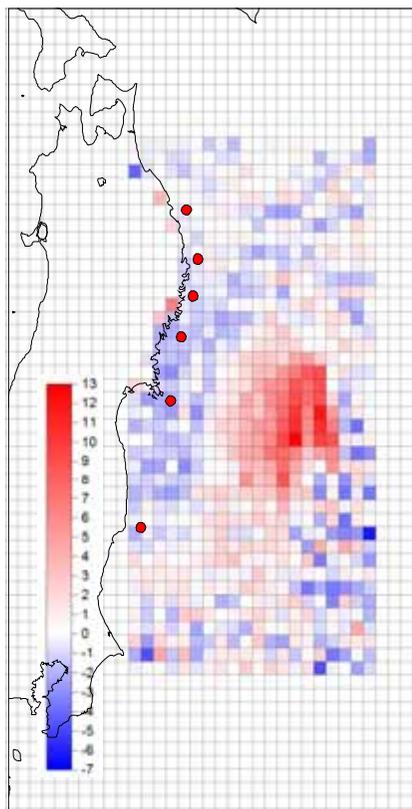
(日向ら, 海講, 2012)

津波初期水位分布(計算例)

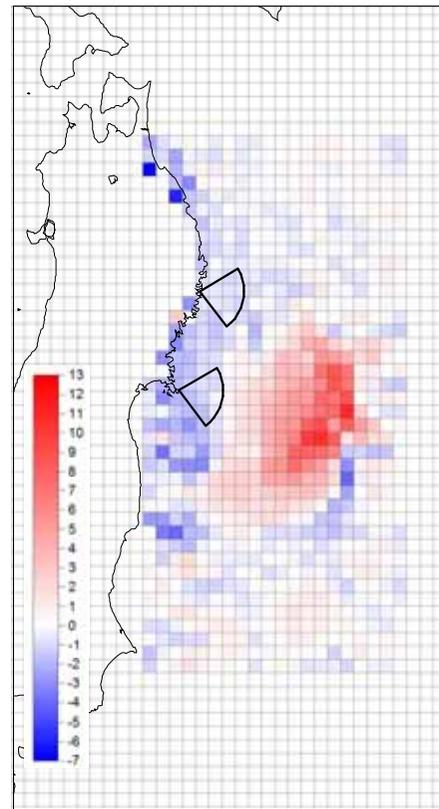
真値



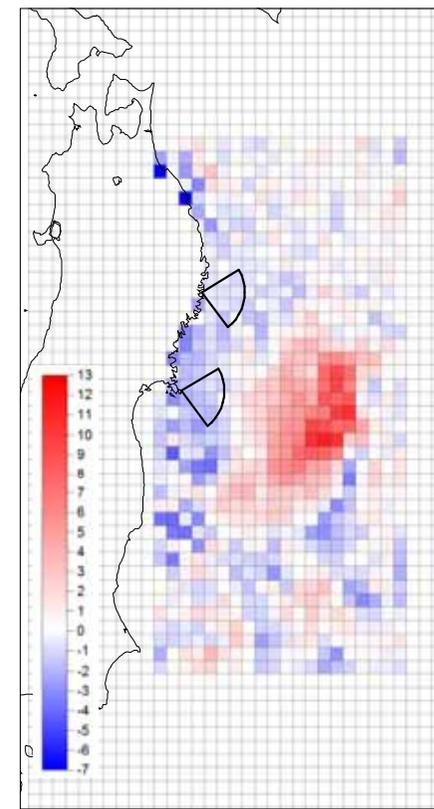
Case①GPS水位
(10秒間隔サンプリング)



Case②レーダ流速
(10秒間隔サンプリング)



Case③レーダ流速(2分
移動平均→1分サンプリング)



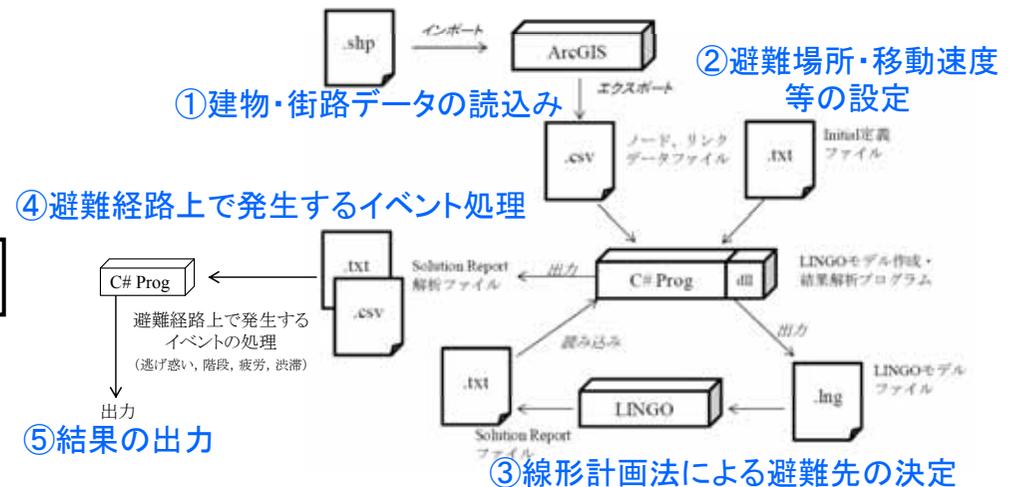
津波避難シミュレーション

目的	津波避難シミュレーションの適用性の検証 (東日本大震災の避難行動をシミュレーションでどこまで再現できるか?)
対象	リアス式海岸沿岸部の市街地(東西約2km×南北1.5km, 約4,700人)*1 (平野部については今回対象としていない(別途実施中))
方法	1) アンケート結果の分析 2) 避難シミュレーションによる再現計算 3) 比較・検証
備考	津波避難シミュレーションシステム「NILIM-TES2」*2を利用

岩手・宮城・福島の地形区分*3



津波避難シミュレーションの構造*2

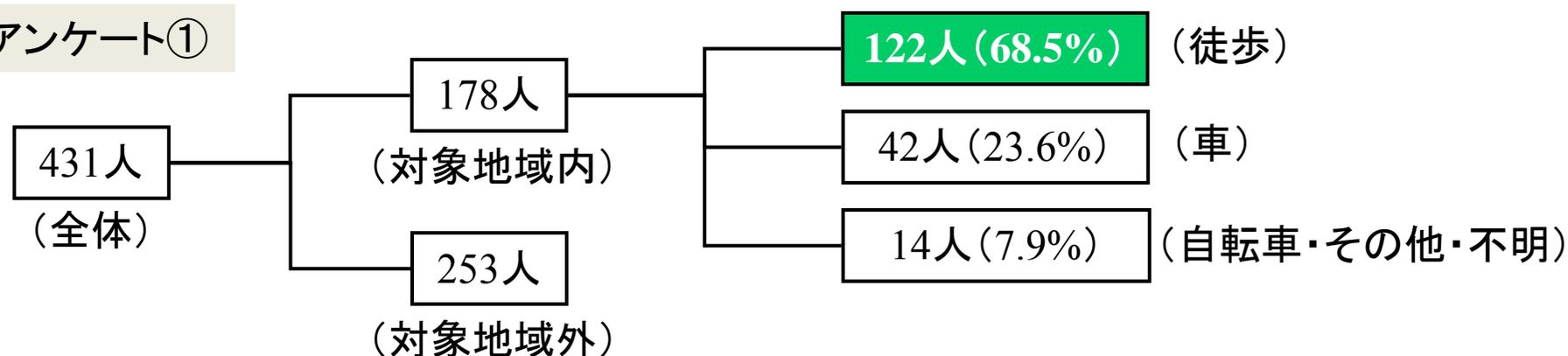


*1 土木計画学研究発表会, 2013. *2 国土技術政策総合研究所資料No.675(2012)を一部改良したもの. *3 鈴木・林(地域安全学会論文集, No.15, 2011)を参考として作成した

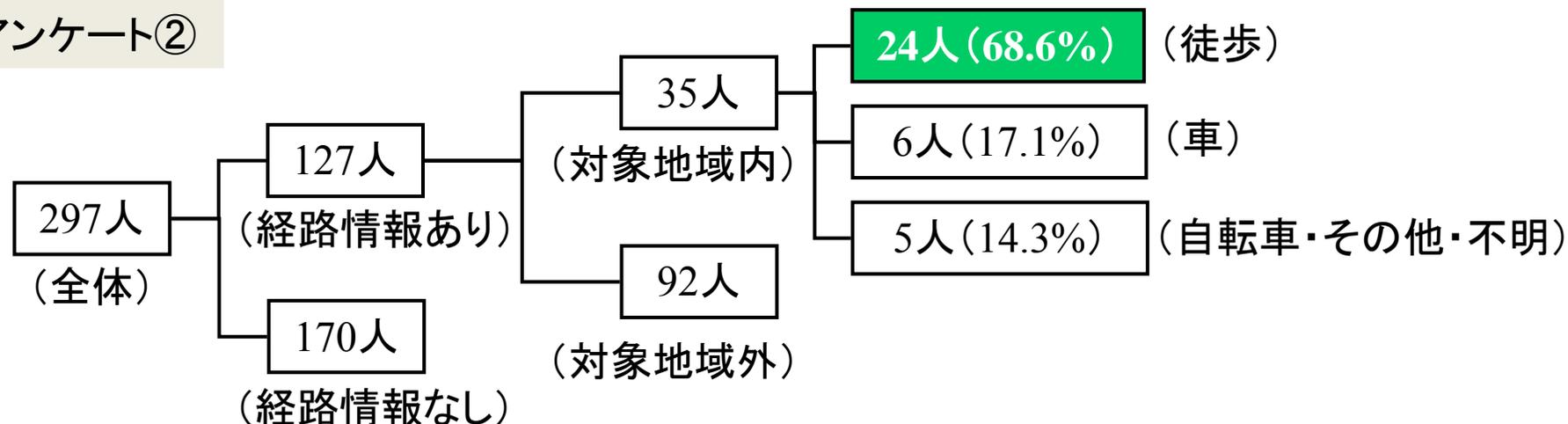
再現計算の対象としたアンケート

- ・①釜石港湾事務所・釜石市, ②国土交通省都市局にデータ提供して頂いた
- ・「地震時に対象地域内に所在」かつ「徒歩避難者」を満たす計146人を抽出・分析
- ・避難手段で分けると, 約7割が徒歩避難者

アンケート①



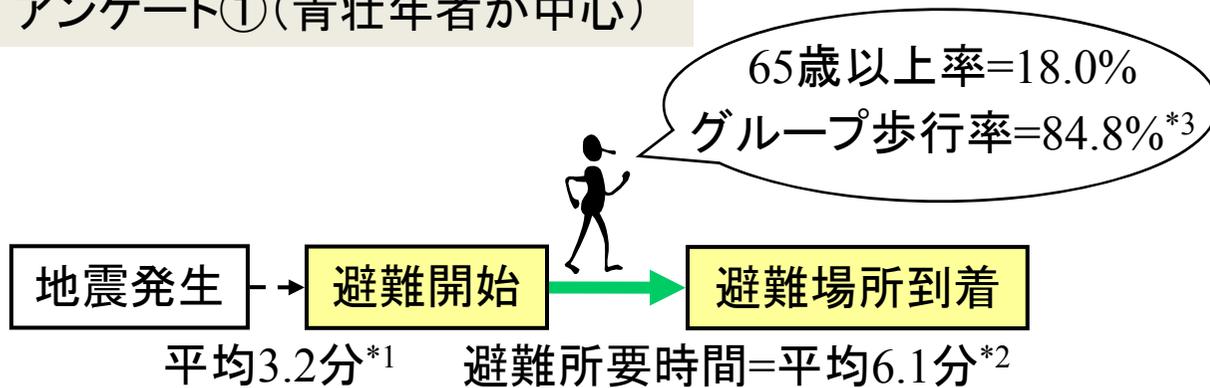
アンケート②



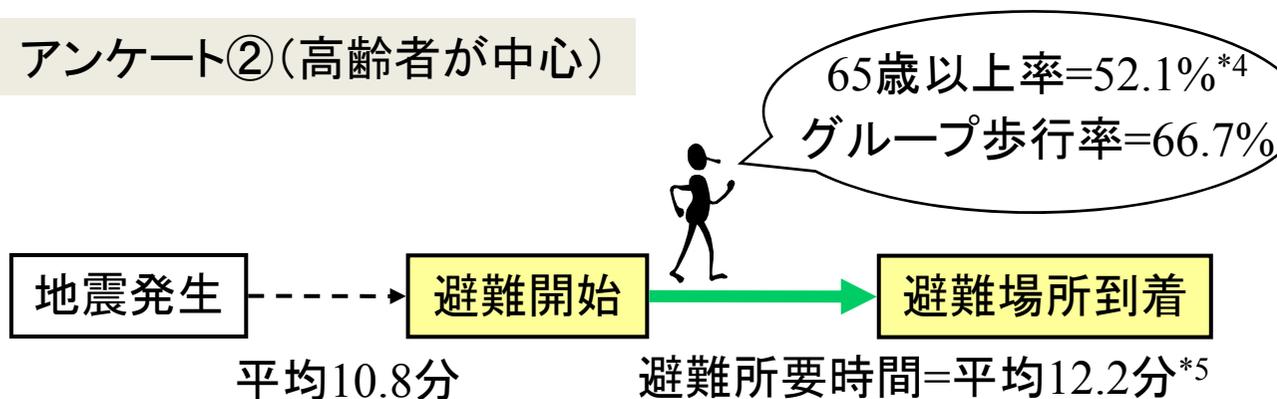
徒歩避難者の属性

- ・アンケートより、「65歳以上率」及び「グループ歩行率」を徒歩避難者の属性として算出
- ・2つの属性の平均値を、歩行速度を決定するパラメータとして避難シミュレーションに入力

アンケート①(青壮年者が中心)



アンケート②(高齢者が中心)



①と②の平均値

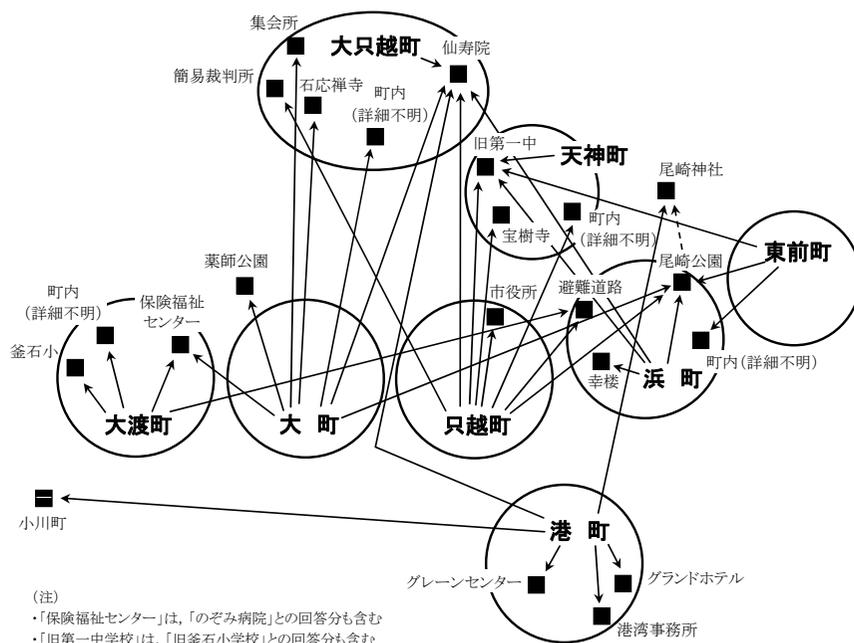
65歳以上率=35%
グループ歩行率=75%

避難シミュレーションに
入力(歩行速度を決定
するパラメータ)

*1 不明の1名を除く。*2 60分超(4名)及び不明(3名)を除く。*3 不明の40名を除く。*4 不明の2名を除く。*5 アンケート票選択枝が10歳刻みのため、「60代」の回答のうち半数を65歳以上と仮定。

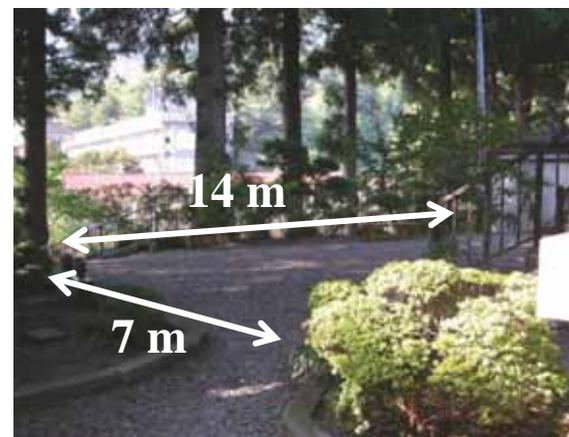
避難場所の選択モデル(条件つきp-メディアン問題)

- ・避難距離が500m未満^{*1}の避難者が約9割(①の回答票数ベース)
→概ね最適行動がとられていると推定し、「収容可能人数を上限とした総避難距離最小化問題」(条件つきp-メディアン問題)による避難場所の選択モデル^{*2}を採用
- ・避難場所の収容可能人数は現地測量の結果に基づき設定
- ・リアス式海岸沿岸部では、避難場所の手前に階段が設置されていることが多く、その場合は一律に速度低下させた。



徒歩避難者の出発地と避難場所(アンケート①より)

収容可能人数の算定例 (宝樹寺境内)



幅14 m × 奥行7 m 100 m²
 →1人/m²として^{*3}, 100人収容可能

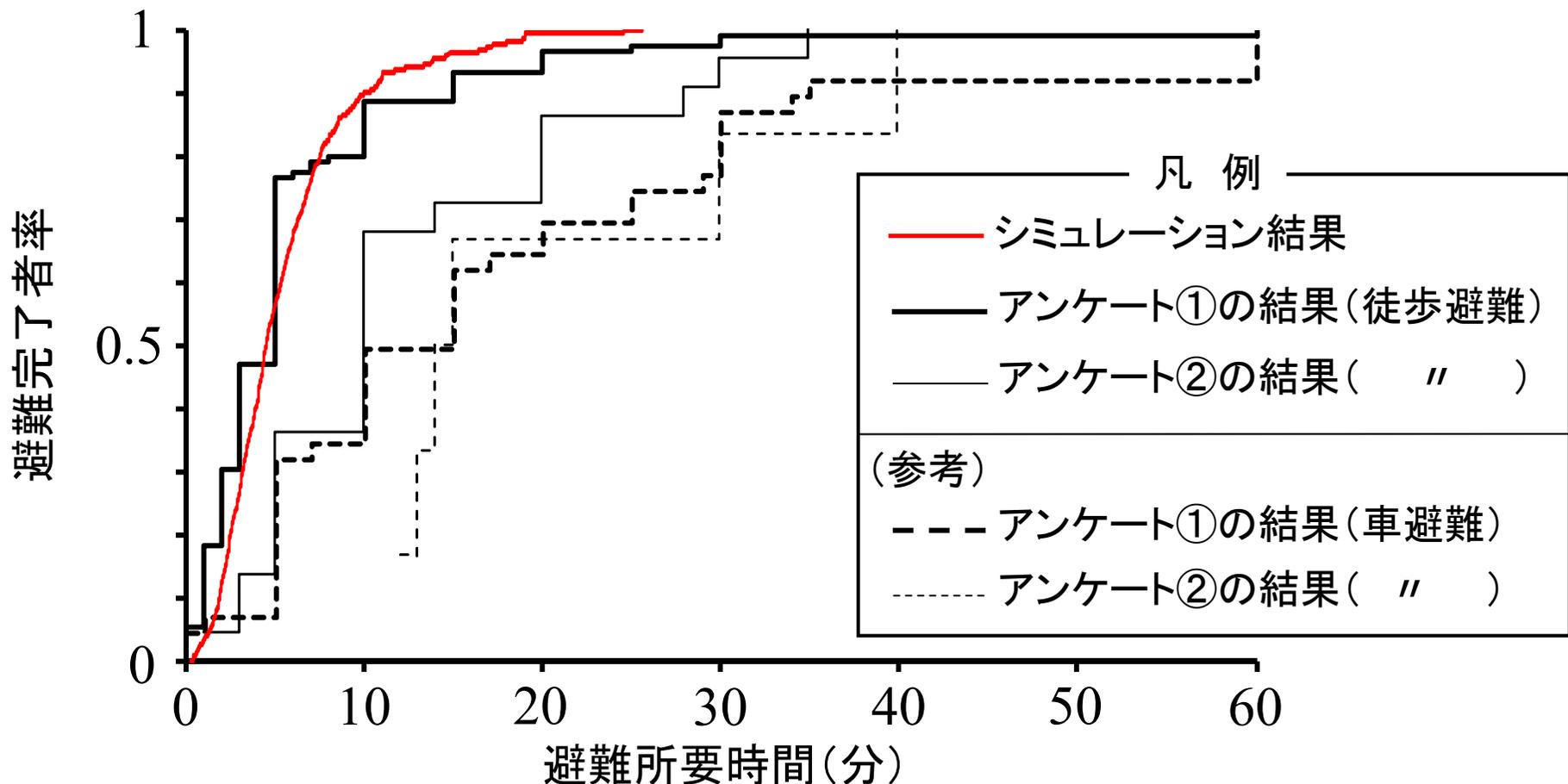
*1 「避難できる限界の距離は最長でも500m程度を目安とする」(津波対策推進マニュアル検討報告書, 2002年3月). *2 大江・山田・渡邊・熊谷(2012), 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会. *3 津波避難ビル等に係るガイドライン(2005)

シミュレーション結果

(アンケート結果との比較による適用性の検証)

・東北地方太平洋沖地震津波の避難行動を再現する津波避難シミュレーションを行い、適用性を検証した。その結果、避難完了者の時間的増加を示す曲線は、青壮年が中心のアンケート結果と同様の形状を示した。

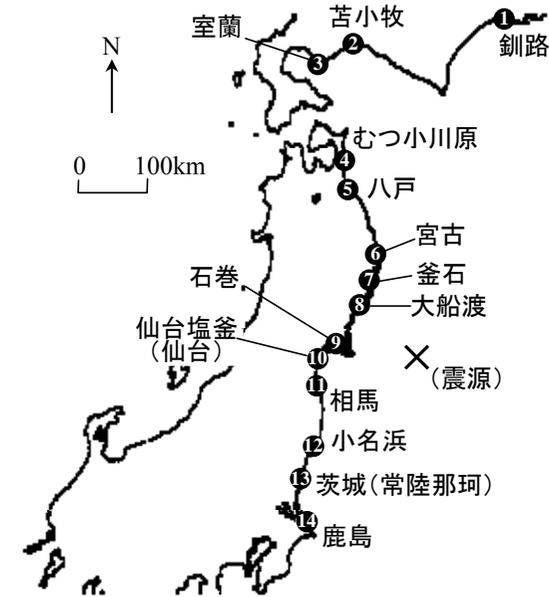
・長距離を避難する避難行動は十分に再現できていないが、リアス式海岸沿岸部の徒歩避難者の避難行動とシミュレーション結果とは比較的よい近似を示すことが分かった。



漂流物(コンテナ流出)調査*

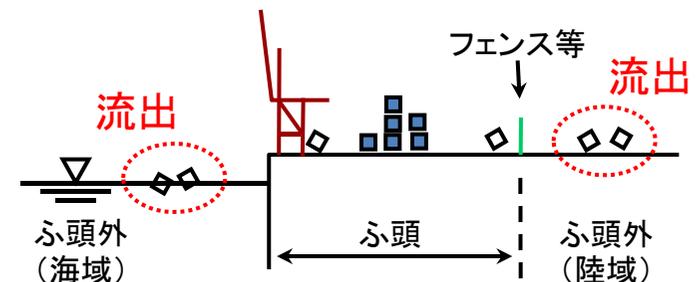
調査の概要

目的	2011年東北地方太平洋沖地震津波による海上貨物コンテナの総流出量の把握
対象	北海道～茨城県の太平洋岸に位置し 2010年にコンテナ取扱のある6道県14港湾
方法	現地調査・ヒアリング (一部は、既往の報道資料等を利用した)
項目	<ul style="list-style-type: none"> ・蔵置数, 流出数 ・形状, 質量, 蔵置位置, 段積み数 ・最終的な到達範囲 ・ふ頭境界のフェンスの被害状況 ・回収状況
時期	平成24年6月～25年3月



本調査における「流出」の定義

→ ふ頭に蔵置してあったコンテナが津波によりふ頭外の陸域または海域に出てしまう現象



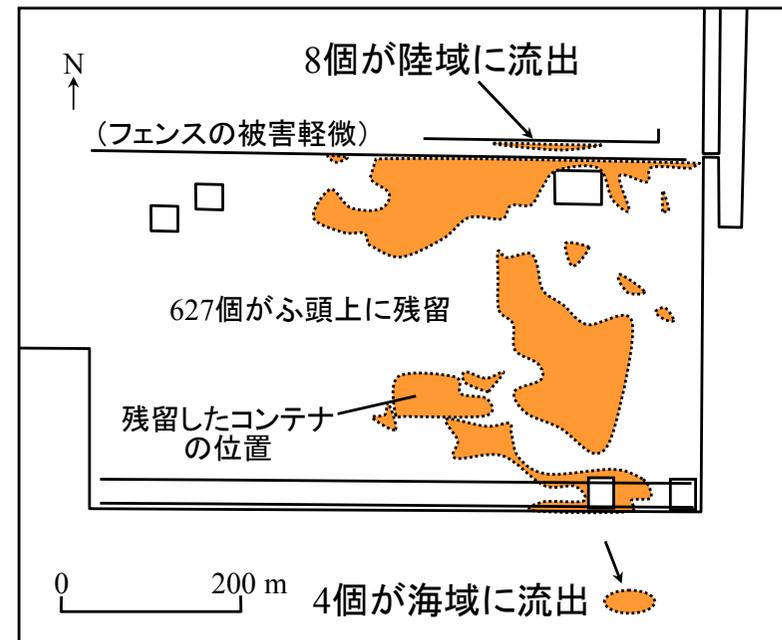
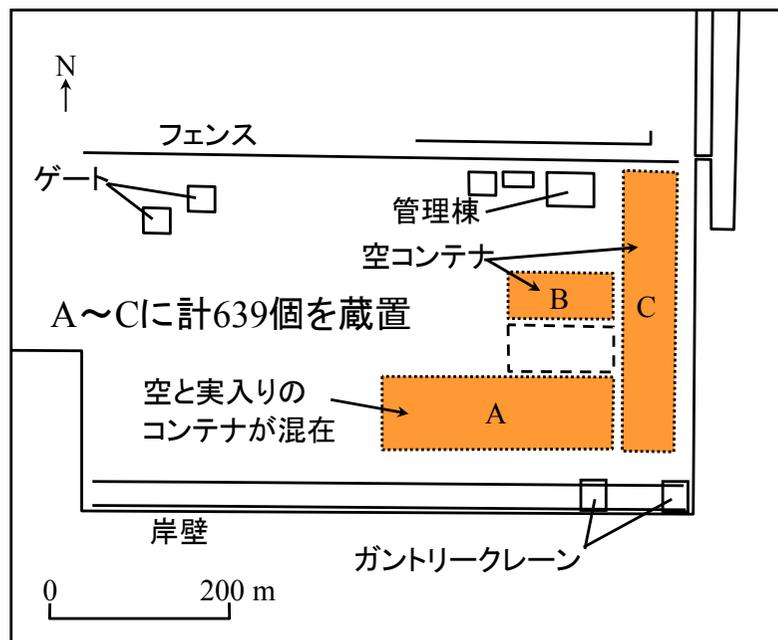
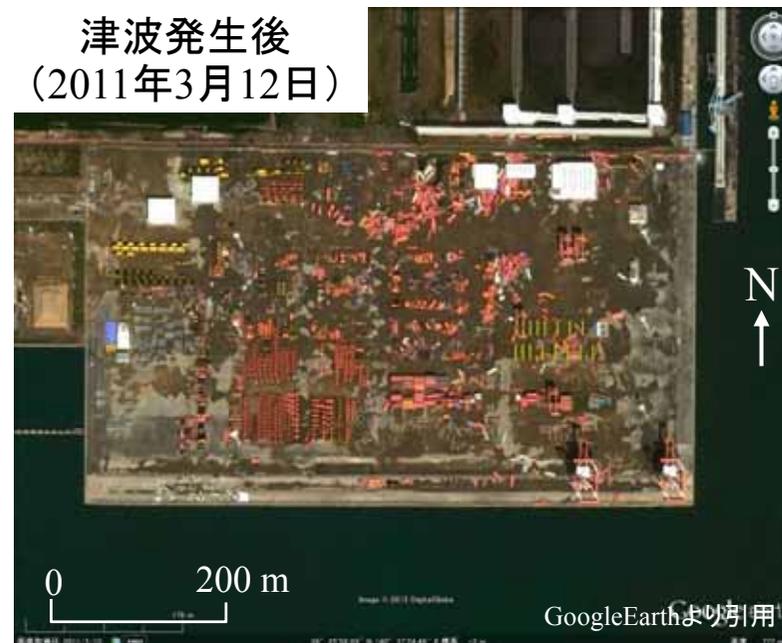
*本報告は、「2011年東北地方太平洋沖地震津波による漂流物被害」(熊谷兼太郎・桜庭雅明・後岡寿成, 第23回海洋工学シンポジウム, 2012年)の内容に追加・修正を加えて発表するものである。

コンテナ流出の事例 (浸水深が2~3m程度・フェンス被害が軽微な場合)

津波発生前
(2009年10月21日)



津波発生後
(2011年3月12日)



海上コンテナの総流出数(暫定値)

No.	港湾名	2010年の年間 取扱数(TEU)*1	東日本大震災による 流出数*2(個)
1	釧路	31,731	0
2	苫小牧	322,128	0
3	室蘭	5,482	0
4	むつ小川原	245	0
5	八戸	45,430	701
6	宮古	100	7
7	釜石	119	0
8	大船渡	2,839	72
9	石巻	4,024	40
10	仙台塩釜(仙台)	155,611	2,000*3
11	相馬	622	6
12	小名浜	22,352	0
13	茨城(常陸那珂)	21,261	12
14	鹿島	6,189	456
計		618,133	3,294

岩手・宮城・福島の
3県で2,119個*4

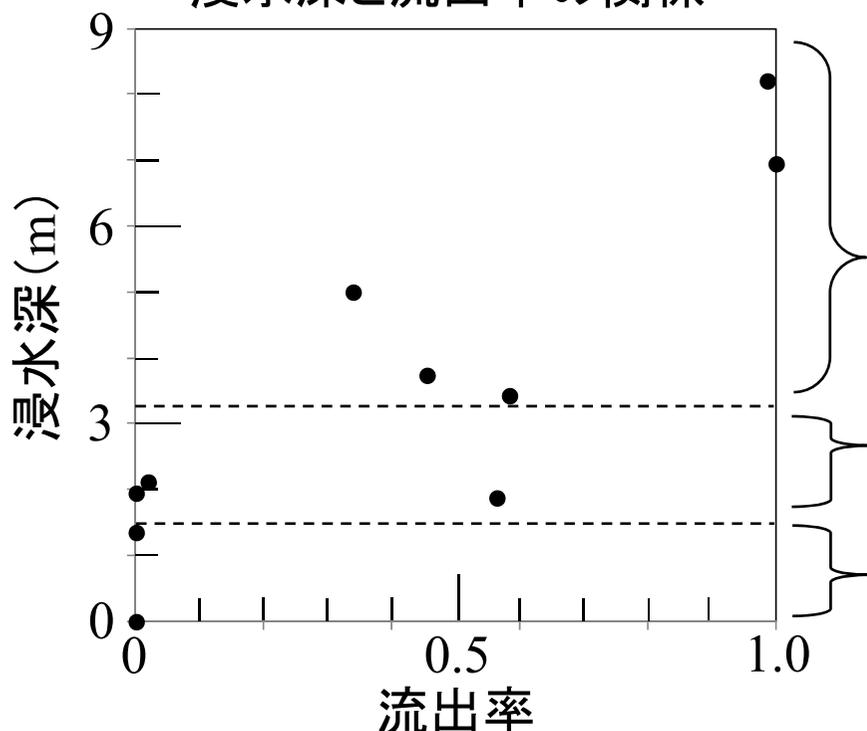
総流出数
(暫定値)

*1 国土交通省「港湾統計・港湾貨物取扱量等の現況(平成22年分)」による。単位はTwenty-foot Equivalent Unitの略で、20フィートコンテナ換算の数量。*2 海上貨物コンテナに関する長さの規格は2種類(20フィートと40フィート)があるが、両者を区別せず実際の数で示す。*3 暫定値(精査中)。*4 環境省の推計では岩手・宮城・福島の3県で1,959個としていて(2012年3月9日付報道発表資料他)、推計方法の違いを考慮すると、今回のとりまとめた値と整合している。

浸水深と流出率の関係

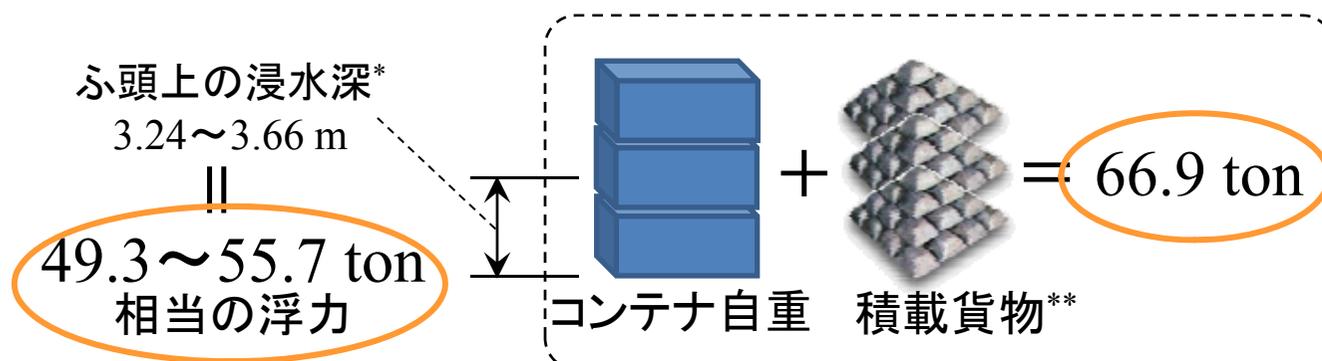
浸水深と流出率の関係

この図・表は暫定版であり、今後修正される可能性があります



浸水深	流出率
3.2m以上	流出率は0.3よりも大 (特に浸水深7.0m以上では流出率はほぼ1.0)
3.2m未満 ~1.4m以上	フェンス残存の有無により流出率が大きく変化
1.4m未満	流出率は小さく、ふ頭から流出したものは僅かか皆無

浮き上がらずふ頭に残留した事例(八戸港の3段積み・積載貨物あり・20footコンテナ)



(国総研が2011年3月17日撮影)

*八戸港湾運送社屋の痕跡高, 土木学会・日本地球惑星科学連合の合同調査グループの痕跡高から, 国総研の現地調査で得られたふ頭天端高を差し引いて算出した. **積載貨物であるフェロニッケル塊のイメージ図は, 太平洋金属ホームページより引用

海岸に漂着した範囲*

- ・海上に流出したコンテナは、ふ頭から南北両方向に広がって海岸に漂着
- ・八戸港から大洗町まで、直線距離で約480 kmを漂流した事例あり

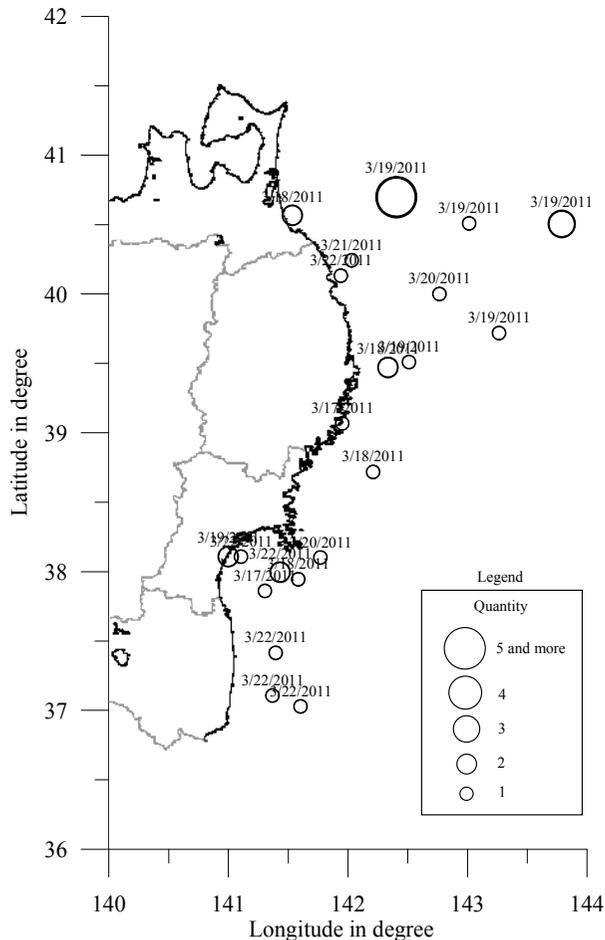


*国土技術政策総合研究所沿岸防災研究室によるヒアリング・調査の結果である

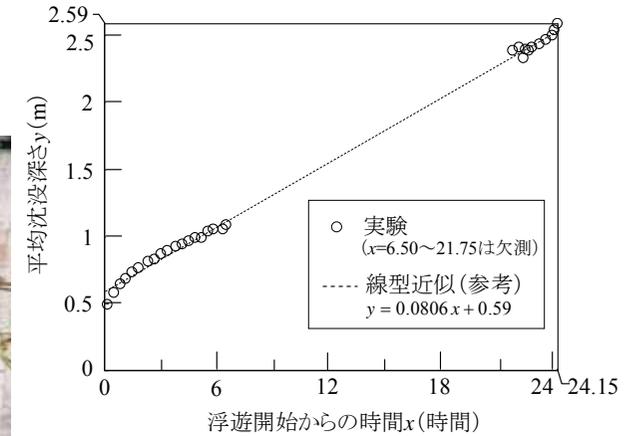
**図中に示した数値は、ふ頭から漂着場所までの直線距離である

流出したコンテナの沈没限界時間

地震発生から11日後(3/22)まで海上で発見されていて、それ以降は発見なし*。
 実物実験**では約1日で沈没。沈没限界時間は1~11日程度でばらつきがある



コンテナの海上での発見位置と数*



実物コンテナを用いた沈没限界時間を測定する実験**



海上を浮遊するコンテナ (仙台湾, 撮影日不明, 海上保安庁提供)

*海上保安庁交通部「航路障害物状況参考イメージ図」の国総研沿岸防災研究室による分析結果である。 **熊谷兼太郎他:コンテナ沈没挙動測定の現地実験と港湾における漂流数値シミュレーション, 海岸工学論文集, 土木学会, 第55巻, pp.271-275, 2008.

参考資料

(海洋レーダ)

- 1) Hinata, H., Fujii, S., Furukawa, K., Kataoka, T., Miyata, M., Kobayashi, T., Mizutani, M., Kokai, T., Kanatsu, N.: Propagating tsunami wave and subsequent resonant response signals detected by HF radar in the Kii Channel, Japan, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 95, 268-273, doi:10.1016/j.ecss.2011.08.009, 2011.
- 2) 日向博文, 藤良太郎, 藤井智史, 藤田裕一, 花土弘, 片岡智哉, 水谷雅裕, 高橋智幸: 紀伊水道における短波海洋レーダを用いた津波・副振動観測, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.68, No.2, I_196-I_200
- 3) 藤良太郎, 日向博文, 高橋智幸: 海洋レーダ観測データに基づく副振動解析と波源インバージョン, 日本海洋学会秋季大会講演要旨集, p104, 2012

(津波波避難シミュレーション・漂流物調査)

- 1) 熊谷兼太郎: 2011年東北地方太平洋沖地震津波の避難行動への津波避難シミュレーションの適用性, 第47回土木計画学研究発表会, 土木学会, 2013.
- 2) 熊谷兼太郎・桜庭雅明・後岡寿成: 2011年東北地方太平洋沖地震津波による漂流物被害, 第23回海洋工学シンポジウム講演集, 日本海洋工学会・日本船舶海洋工学会, CD-ROM, No.OES23-015, 2012.
- 3) Appendix to Report No. 112-2010, "Mitigation of Tsunami Disasters in Ports", The World Association for Waterborne Transport Infrastructure, 2013.

謝 辞

(海洋レーダ)

本研究の一部は関西大学研究拠点形成支援経費「東日本大震災を踏まえた観測およびシミュレーションが連携した津波減災技術の開発(代表:高橋智幸)」およびJSPS科研費「24560525(代表:藤井智史)」の一部援助を受けています。記して謝意を表します。

海洋レーダ設置にあたり、国土交通省近畿地方整備局、和歌山県、和歌山県美浜町、和歌山県白浜町ほか、関係者の皆様にお世話になりました。ここに記して、御礼を申し上げます。

(津波避難シミュレーション)

本研究にあたり、釜石市危機管理監防災危機管理課、国土交通省東北地方整備局釜石港湾事務所、国土技術政策総合研究所都市研究部都市防災研究室ほか、関係者の皆様にお世話になりました。ここに記して、御礼を申し上げます。

(漂流物調査)

本調査にあたり、環境省水・大気環境局水環境課海洋環境室、国土交通省北海道開発局釧路開発建設部、同室蘭開発建設部、同室蘭開発建設部苫小牧港湾事務所、八戸港湾運送株式会社コンテナ事業部、日本製紙株式会社、岩手県、宮城県仙台港湾事務所港政班、国土交通省東北地方整備局八戸港湾・空港整備事務所、釜石港湾事務所、塩釜港湾・空港整備事務所、小名浜港湾事務所相馬港出張所、株式会社茨城ポートオーソリティ港湾部、常陸那珂コンテナターミナル株式会社、茨城県土木部港湾建設課建設・漁港グループ、鹿島埠頭株式会社、国土交通省関東地方整備局鹿島港湾・空港整備事務所ほか、関係者の皆様にお世話になりました。ここに記して、御礼を申し上げます。

