

津波来襲時の海上ハザードマップ作成要件の検討

Design of a Tsunami Hazard Map on the Sea to Reduce Fishing Boat User's Damage

大橋太郎¹・越村俊一²・今村文彦³

Taro OHASHI, Shunichi KOSHIMURA and Fumihiko IMAMURA

The fishing boat damage and its reduction plan are discussed in the present study through developing hazard maps in the sea. Although the countermeasures on the land against the tsunami attack have been developed by constructing sea walls and creating hazard maps, but one in the sea is less at the present. The evacuation flow for fishing boat is discussed by the process of issuing warning and making decision and action, depending on the location of occurrence of tsunami and that time. A hazard map on the sea could be made by adding the information of tsunami arrival time, maximum water level and velocity and boat damage index developed in the present study.

1. はじめに

我が国においては、東海、東南海・南海、宮城県沖地震などによる津波発生懸念の中、各地でハザードマップを利用した防災啓発や避難体制の検討が展開されている。現状では、これらのマップの対象は陸上域、特に堤内が中心となっているが、漁船やプレジャーボートなど海域での船舶被害も懸念され、過去多くの被害を受けている。これまで、海上保安庁は在港船舶等に対する避難勧告の問題について、水産庁は漁港での避難の考え方をそれぞれ整理しているが、避難に必要な海上ハザードマップの作成は一部の地域（海上保安庁作成の塩釜港津波ハザードマップなど）に留まっている。陸上とは異なる要素が海域にはあり、特に港内外での適切な避難行動の基準となる海上ハザードマップの作成要件について合理的に検討することが求められている。

海域での津波被害軽減で重要となるのは、津波到達までの余裕時間内に沖合の安全な場所に避難または係留を完了することである。しかしながら、危険を伴うこのような対応を行うためには、事前から津波発生時に行う対応行動に係る必要時間や安全海域を利用者それぞれが認識し、避難できない場合に予想される被害やその場所について理解しておくことが必要である。漁船利用者の避難方法に関する様々な研究（高橋ら, 2003；大橋・今村, 2005；水産庁漁港漁場整備部, 2006）が行われているが、これらの研究は発展途上の段階であり、海上ハザードマップは未整備である。

本研究では、漁船を津波から守るための被害軽減行動（沖だし、係留・引き揚げ作業、停泊位置の変更など）が、津波到達時間と対応に係る所要時間との比較により

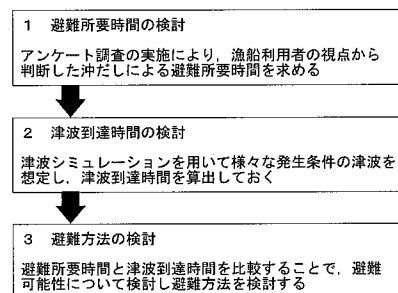


図-1 海上津波ハザードマップ開発の流れ

理解・判断でき、誤った判断による避難行動・対応がもたらす漁船利用者の人的被害の軽減を図ることを目的とした海上津波ハザードマップの開発を行うことを目的とする。海上津波ハザードマップ開発の流れを図-1に示す。

2. アンケートによる漁船避難実態と避難過程の把握

(1) アンケート調査と避難の実態把握

本研究では、図-2に示す宮城県気仙沼湾の漁港をモデル地区として選定し、避難行動の実態把握を行った。海上ハザードマップの対象地域は一自治体の中ではあるが、漁港の規模、位置、歴史、利用状況などが様々にある。アンケート調査は、波路上地区、松岩地区、鹿折地区において、地区漁業協同組合の正組合員 643 人、6 漁港を対象として実施した。有効回答数は 643 人中 108 人（回答率 17%）であった。調査内容は、表-1の漁船被害の要素を考慮して、津波発生時の津波情報入手状況、避難に関する意識、沖合避難プロセス等（安全海域、避難所要時間）、漁業の種類、操業期間、船舶の規模などについてである。

図-3に例示するのは、津波情報の内容によって、漁

1 株式会社コガネイ
2 正会員 博(工) 東北大学准教授 大学院工学研究科
3 正会員 工博 東北大学教授 大学院工学研究科

表-1 漁船被害の被害要素

事柄	要素
津波の状況	津波高, 津波周期, 津波流速, 到達時間, 津波の形状, 来襲方向
港湾の状況	港湾の形状, 泊地水深, 防波堤・岸壁の天端高
船舶の状況	船種・船型, 作業・荷役の形態, 在泊船舶数, 停泊・係留位置, 停泊・係留の形態
船舶の対処	港外避難行動, 避難経路選択, 係留補強, 上架



図-2 気仙沼湾におけるアンケート対象漁港の位置

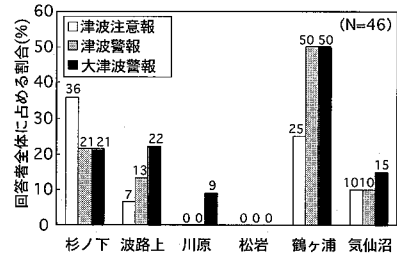


図-3 漁港にいた場合の沖だし行動を迷う割合

しかし避難準備時間については、経験や漁船種類によりかなり個人差によるバラツキが大きい。そこで、移動時間に関しては、安全海域を設定した後漁船の種類（規模）により数値的に推定できるモデルを検討し、一方、準備時間に関しては、平均値を求め1つの漁港毎に代表的な値を出すこととした。その結果を表-3に示す。なお、個人差は十分に検討しなければならないが、本研究では移動時間について理論式と今回のアンケート結果（認識による値）との比較により把握することとする。

3. 沖合避難移動時間の推定

(1) 避難移動時間の数値的検討

各漁港からの沖合い避難所要時間の平均値を図-4にまとめる。この結果を見ると、最も時間を費やす対応行動は漁港から安全（避難）海域までの移動であることがわかる。沖合での船舶移動時間については、日本小型船舶検査機構による速度の簡易式により求めた漁船の移動時間を利用する（高橋ら，2003）。

$$v = 0.755 \sqrt{l \times (ps/G.T.)^{0.623}} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 l は船の全長、 $G.T.$ は総トン数、 ps は馬力である。なお、アンケート調査により、全長、総トン数、馬力の関係はが分かっており（大橋ら，2007）、(1)式を用いることで、利用者が考える安全海域までの平均移動時間を、漁船の総トン数ごとに図-5のように算出した。

(2) 漁船移動速度と時間の実測値との比較

(1)式の値（経験値と呼ぶ）を推定した後、実際の漁船の平均移動時間と比較して、どの程度信頼できるのか検討をする必要がある。そのため、気仙沼市川原漁港において漁船の移動速度について実測調査を行った。調査漁船は、 $G.T.=0.8t$ 、 $ps=20$ 馬力、 $l=5m$ であり、漁船の船主および作業員の方による水深30m海域までの移動時間を測定した。実測調査による値（以後、実測値と呼ぶ）と経験値を比較した結果を表-4に示す。この結果より実測値の移動速度の方が経験値よりも若干速いことが分かる。しかしながら、津波発生時は、平常時

船利用者の沖出し避難に対する考え方がどのように変化するかを調査した結果である。漁港にいる時に大津波警報・津波警報・注意報がそれぞれ発令された場合に、「沖だし避難を行うかどうか迷う」と回答した人の割合を示している。津波規模の情報だけでは漁船の沖出しを決定する判断材料としては不十分であり、津波の到達時間までの時間的余裕という情報も重要な判断材料として必要であることを示唆している。また、自由記述には、「日ごろからシケ対策で十分な準備はしている。しかし、津波の場合は同じ対応ではないとは思っているが具体的にどのように違うは分からない。携帯電話はあるが沖合に確実に伝える手段がないので不安である」とする声が多数上がった。

(2) 被害軽減行動と所要時間の推定

沖合避難などの被害軽減行動の開始は、(1)自宅など陸上にいる場合、(2)漁港内に停泊している場合、(3)海域に移動や作業などを行っている場合、に大きく分類できる。それぞれの状況で想定できる対応行動とそれに対する必要時間をアンケート調査結果に基づき推定する。

集計結果の整理として、最大・最小値、平均と標準偏差を各漁港で求め、変化の状況を把握した。表-2に、代表事例として波路上漁港での結果を示す。陸域や海域での移動時間は、距離と速度の想定の違いにより多少バラツキはあるが、物理的な推定法で把握出来そうである。

表-2 波路上漁港におけるアンケート結果

避難行動のプロセス		最大値	最小値	平均値	標準偏差	変動係数
避難準備時間 (分)	曳き上げ	60.0	5.0	14.0	11.2	0.8
	係留作業	30.0	1.0	8.5	6.6	0.77
	漁船稼働 (係留から)	25.0	1.0	5.8	5.0	0.87
	漁船稼働 (曳き上げから)	30.0	1.0	7.4	5.9	0.79
	操業中止	40.0	1.0	9.8	9.5	0.98
避難移動時間 (分)	自宅から漁港への移動	30.0	1.0	7.9	6.3	0.8
	漁港から避難海域への移動	45.0	7.0	20.1	9.0	0.45
	漁港から避難地 (陸) への移動	20.0	1.0	5.3	3.8	0.71
	自宅から避難地 (陸) への移動	15.0	0.0	3.5	3.3	0.93
	自宅から避難海域への移動	70.0	13.0	33.7	14.3	0.43

表-3 各漁港からの避難所要時間

避難所要時間の分類		杉ノ下	波路上	川原	松岩	鶴ヶ浦	気仙沼
避難準備時間 (分)	曳き上げ	6.7	14.0	16.5	9.2		13.9
	係留作業	6.3	8.5	8.3	7.1	6.8	10.1
	漁船稼働 (係留から)	4.0	5.8	9.8	4.0	4.8	6.6
	漁船稼働 (曳き上げから)	4.7	7.4	10.3	5.1		8.7
	操業中止	3.3	9.8	6.9	8.4	10.0	11.3
避難移動時間 (分)	自宅から漁港への移動	2.7	7.9	9.0	5.6	2.3	6.0
	漁港から避難海域への移動	16.7	20.1	24.5	26.4	36.3	37.9
	漁港から避難地 (陸) への移動	20.0	1.0	5.3	3.8	0.71	0.8
	自宅から避難地 (陸) への移動	3.3	5.3	7.5	5.6	4.3	9.0
	自宅から避難海域への移動	2.0	3.5	6.7	5.1	3.3	6.0

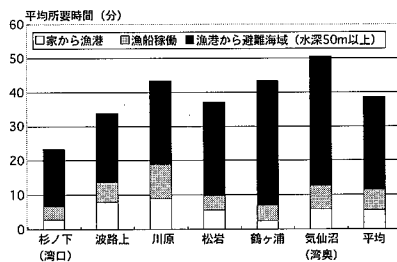


図-4 アンケートから推定された平均避難時間

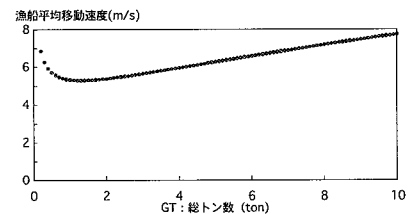


図-5 漁船の総トン数ごとの平均移動速度

よりも沖合避難が困難であると考えた場合、この経験値は安全側の推定値として妥当であると考ええる。

次に、この経験値を津波発生時の基準として、漁船利用者の考える避難所要時間との比較を行う。漁船稼働後から避難 (水深 50 m 以上) 海域への移動時間において、各漁港でアンケート値と経験値との間に図-6 のようなバラツキが出た。これは、同じ移動速度であっても小型漁船の方が海上の天候状態に左右されやすく、移動時間も変化しやすいという認識をもっているためと推測できる。さらに表-3 を見てみると、湾奥の漁港ほどバラツキの平均が大きくなっている。これは、移動距離が増えれば、より海上の天候状態に影響を受け、移動時間も距離の関係以上に長くなるという認識をもっているためと推測できる。このようなバラツキを加えて、避難所要時間を推定することとする。

4. 海上ハザードマップ記載情報の要点と工夫

(1) 記載情報の要件

陸域と異なり、海上でのハザードマップには、様々な可能性のある津波に対して安全である海域を示す必要がある。これをどのように評価し表示するかが課題の1つである。次に、津波の予想時間の表示であるが、これは、想定津波を設定できれば数値シミュレーションで評価できる。ただし、津波第1波の到達なのか、船体に影響や被害を及ぼす波の到達する時間なのかは区別しておく必要がある。最後は、地震発生から被害軽減行動を完了するまでの必要時間の表示である。これは、対象漁港や船舶により異なるために工夫が必要である。前章の検討により、船舶の移動時間を記載情報として考える場合、個人差などにより、以下の3点に注意する必要があることが分かった。

- 避難海域までの距離が遠ければ、移動時間のバラツキも大きくなる。

表-4 実測値と経験値との比較

移動距離 (m)	往路 (分)	復路 (分)	平均時間 (分)	実測値 (m/s)	経験値 (m/s)
5800	15.0	17.0	16.0	6.04	5.41

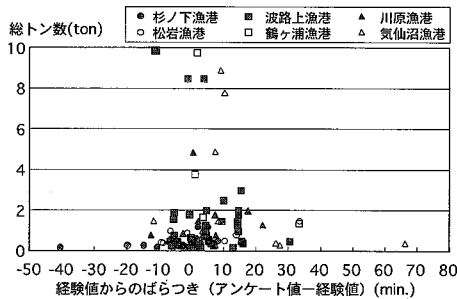


図-6 安全海域までの移動時間についての個人差

- ・漁船トン数が小さくなれば海上状態に左右されやすく、バラツキも大きくなる。
- ・(1) 式の経験値は平常時における値であって、津波発生時にはこれより移動速度が遅くなり得る。

これらを踏まえた上で記載情報の具体的内容を検討する。

(2) 記載情報の検討

まず、各漁港の移動時間の目安となる情報を図-7 のように表示する。これは波路上漁港からの安全海域までの移動時間について(1) 式の結果に加えて、図-6 に示した個人差によるバラツキ(経験値とアンケート回答値の差)の平均を考慮した結果である。表-5 に漁港毎のバラツキの平均値を示す。小さい漁船ほど、海域の状況に左右されやすいことから、「小さい漁船ほど、これ以上の時間がかかることが予想されます」等の情報を表示する。次に避難海域、航路等の海域情報を地図に記載する。これらの検討により、具体的なハザードマップを作成する。

5. 津波予想到達時間と安全海域の推定

(1) 津波予想到達時間の設定

大垣ら(2006)の手法に基づき、対象地域に襲来する津波をあらかじめ計算しておき、データベース化する。ここでは、対象地震毎の津波第1波の到達時間と、計算時間ステップ毎の領域内津波高についてデータベース化を行った。津波到達時間および漁船被害評価のために使用する断層位置は、気象庁量の津波予測で想定している断層を参考に、気仙沼沖計56点を設定した。各断層で発生させる地震規模・断層パラメータを表-6に示す。津波到達時間は±30 cmの初期海面変動観測時間とした。

(2) 漁船被害評価方法

以下の条件により津波来襲時の漁船被害の有無を評価

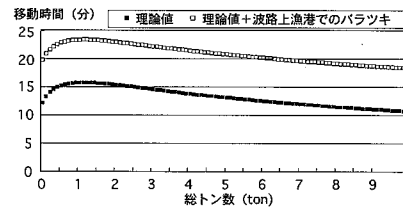


図-7 波路上漁港からの移動時間の目安

表-5 各漁港でのバラツキの幅(単位: 分)

漁 港 名	最大値	最小値	平均値
杉の下 (湾口)	40.76	0.76	9.29
波路上	30.43	0.06	7.63
川原	22.04	0.53	7.62
松岩	33.32	0.12	7.34
鶴ヶ浦	33.28	1.02	9.83
気仙沼 (湾奥)	66.12	2.61	15.92

する。

a) 係留漁船の被害が発生する津波高

首藤(1987)が提案した日本海中部地震津波時の港内における漁船被害と港内津波高との関係に基づき、ここでは、港内における係留漁船の被害が発生する限界津波高を1 m以上とする。

b) 航行漁船の漂流条件

津波流速によって漁船が操縦不能となる限界流速を求めするために、日本海難防止協会が一般貨物船の保針限界について試算した結果(日本海海難防止協会, 1998)を利用する。この試算によれば、船速が津波流速の5倍以上であれば斜め12度の流れに対して保針可能となる。小型船の場合はさらに操縦性が良いため、保針は容易となる。これを参考にすると、津波流速が1 m/s以下の場合に、船舶の速力が5 m/s(約18.5 km/h)程度であれば、保針が可能となる。したがって図-5より、すべての漁船が平均5 m/s以上で移動できることから、1 m/s以上の流速を漂流条件流速とする。

c) 碎波が発生する水深条件

水産庁漁港漁場整備部(2006)によると、津波波高 H が水深 h の7割前後のところで碎波に至った報告があることから、碎波の条件を次式で設定する。

$$0.7h \leq H \dots\dots\dots (2)$$

d) 被害発生頻度に関する検討

津波来襲に伴う被害発生頻度を表す指標として、越村ら(2002)に倣い、次式に示す漁船被害インデックス $H_D = T_D / T_I$ を導入して、漁船被害発生頻度を求める。

表-6 想定地震の規模と断層パラメータ

マグニチュード	6.8	7.1	7.4	7.7	8.0
断層長さ(km)	33	47	66	93	132
断層幅(km)	17	23	33	47	66
滑り量(m)	1.0	1.4	2.0	2.8	4.0

これは、計算領域の各計算グリッドにおいて、津波第一波到達後からの総計算時間 T_t に対する、漁船被害が見込まれる時間 T_b の比で表され、計算領域内において相対的に漁船被害を引き起こす危険性の度合いを表している。

6. まとめ—海上津波ハザードマップの作成—

図-8 は気仙沼湾湾口での漁港へのマグニチュード 8 クラスの地震津波の発生を想定した津波到達時間、避難

所要時間と漁船被害の目安となる海上ハザードマップの例である。図の上は M8 の地震を想定した津波到達時間マップで、○で示した地震の発生位置ごとに対象領域（ここでは気仙沼湾）に到達する津波第 1 波の到達時間を示している。下の図は、避難海域と漁船被害の予想発生頻度 H_D を示したマップである。想定津波到達時間と図-7 に示した移動時間を参照しながら、安全海域への沖だし避難の実施の有無についての意思決定を行うものである。

本研究では、多くの不確実性が伴うが故に開発が遅れていた海上津波ハザードマップの作成要件について検討を行った。様々な地域の条件や想定される津波の規模・来襲状況に応じ、1つのマップに情報をどのように掲載し周知するかについては今後も詳細に検討していく必要がある。

参 考 文 献

- 大垣圭一・安間友輔・越村俊一・今村文彦(2006):リアルタイム観測情報を用いた津波予報の段階的修正法, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp. 216-220.
- 大橋太郎・今村文彦(2005):被害軽減のための海上津波ハザードマップの作成, 土木学会東北支部技術研究発表講演概要集, pp. 334-335.
- 大橋太郎・越村俊一・今村文彦(2007):気仙沼湾における漁船利用者の津波避難行動に関するアンケート調査, 土木学会東北支部技術研究発表講演概要集 (CD-ROM).
- 越村俊一・Harold Mofield・片田敏孝・河田恵照(2002):津波の市街地氾濫による人的被害に関する一評価法—米国シアトルウォーターフロントにおけるケーススタディー, 海岸工学論文集, 第 49 巻, pp. 1441-1445.
- 水産庁漁港漁場整備部(2006):災害に強い漁業地域づくりガイドライン, 165p.
- 高橋智幸・小池信昭・田中亮平(2003):市町村単位の津波防災支援を目的とした津波危険度評価手法の提案に関する研究, 大都市大震災軽減化特別プロジェクト平成 15 年度成果報告書 (WEB 版), 26p., <http://www.ddt33.dpri.kyoto-u.ac.jp/>
- 日本海海難防止協会(1998):日本海北部海域における津波発生時の港湾在泊船舶の安全確保に関する調査研究, 223p.

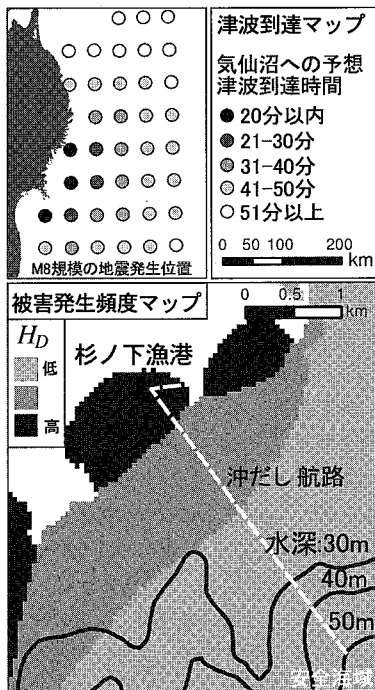


図-8 海上ハザードマップ作成例 (杉ノ下地区)