

津波予報と連動した津波ハザードマップに関する研究

Research on the Tsunami Hazard Map linked Tsunami Forecasting

本間基寛¹・片田敏孝²

Motohiro HONMA and Toshitaka KATADA

This study reviewed problems of tsunami hazard map from the view point of residents and municipalities, and pointed out an importance of the linkage between a tsunami forecast and a tsunami hazard map. And, the method of making tsunami hazard map linked the JMA tsunami quantitative information system was proposed. About 4000 tsunami propagation tsunami were calculated for Owase-city, and the fault parameters were categorized into 7 ranks of tsunami forecast height, then the maximum inundation area at each categories were evaluated by the run-up calculations. This hazard map could help municipalities to rapidly issue an evacuation warning, to reduce a failure of evacuation warning, and to extend the warning area in case of large tsunami.

表-1 現状の津波ハザードマップの問題点

津波ハザードマップの問題点	
住民	津波浸水リスクの理解に関する問題 (ハザードマップが住民の適切な避難行動につながらない)
行政	避難計画の検討に関する問題 (発災時に発表される情報(津波予報)との関係が不明確である)

と課題について整理するとともに、気象庁が発表する津波予報に対応した津波ハザードマップの作成方法及びその活用方策について提案する。

2. 津波ハザードマップの現状と課題

津波ハザードマップを平時から整備しておくことにより、住民の避難の際のマニュアルとして有効活用されるとともに、行政の避難計画検討及び発災時における避難誘導に資することが期待される。しかしながら、現状では津波ハザードマップが津波発生時における避難行動及び避難誘導に適切に活用されていない側面がある。

津波ハザードマップに関する現状の問題点を、津波ハザードマップを活用し避難する立場の住民と、住民の避難誘導を的確に実施する立場である行政のそれぞれの視点に立って整理したものが表-1である。本章では表-1の枠組みにそって、津波ハザードマップの活用に関する現状の問題点を考察する。

(1) 住民の浸水リスク理解にかかる課題

一般的な津波ハザードマップは、想定される地震の断面層面を仮定し、その地震が発生した場合における津波の浸水状況を数値計算によって予測し、その結果を想定浸水域及び浸水深として地図上に表記する。津波ハザードマップでは紙面の地図に予想浸水深がその区分に対応した色で表示されることが多い。片田ら(2007)は、紙面

1. はじめに

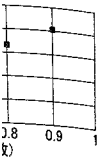
津波発生時における防災対応として津波ハザードマップの有用性が指摘され、近年各地でその整備が進められている。ハザードマップは、災害が発生した際にその災害による影響が及ぶと考えられる範囲ならびにその被害を地図上に示すことにより、災害発生時における円滑な避難行動を促進することを主たる目的としている。

津波ハザードマップの作成手法に関して、内閣府等(2004)が「津波・高潮ハザードマップマニュアル」を編纂しており、その中で最悪の浸水状況をもたらす外力条件として「想定最大津波(想定地震規模、最悪震源位置)」と「この外力条件のもとに津波浸水予測計算を行う」という方針を推奨している。しかし、想定とは異なる地震が発生した際には津波の浸水状況がどのようになるのかといふことが十分に把握しておかなければ、実際の地震津波発生時に津波ハザードマップを適切に活用することができなくなる可能性がある。

津波の襲来が懸念される際には気象庁から津波発生が発表されるが、津波ハザードマップで想定される地質条件とはどのような津波予報となるのかが示されていない場合が多い。地震発生直後に住民及び自治体へ提供される情報は「震源・震度に関する情報」と「津波予報に関する情報」であることから、津波ハザードマップを津波発生時に効果的に活用し、避難勧告・避難指示を適切に発令するためには、津波ハザードマップや避難計画を津波発生時に対応したものにすることが必要である。

本研究では、津波ハザードマップに関する現状

修(理) 群馬大学大学院工学研究科社会環境デザイン工学専攻
工博 群馬大学教授大学院工学研究科社会環境デザイン工学専攻



了時間の関係



離空間の設置
ド型津波避難
毎岸をテスト
々の機能が
ーションが

群集行動
各種パラ
かった定

木進歩
演司(20
と対策立
長, 第4

崎浩司
・住民
25巻,

図(オン
van/d

04)
ミユレ

系系第
ンラ
outer/2
行動
研究

行動
No

による洪水ハザードマップでは表現の制約上、氾濫流の流速を表示することができないため、住民はハザードマップに示された浸水深のみによって洪水の危険性を判断してしまう可能性を指摘している。津波の場合も同様に、浸水深が50cm程度であっても流速が大きかったり、瓦礫等の漂流物を伴ったりすることから、非常に危険である。津波の氾濫特性に関する知識が不十分な住民に対して想定浸水深を示したハザードマップを提示した場合、浸水深が50cm以下の浅いところでは安全であるという誤った認識を住民に与えてしまい、津波発生時にも避難しない意向を持ってしまう可能性がある。

(2) 行政の避難計画の検討に関する課題

a) 避難勧告の発令範囲の適正化

行政、とりわけ市町村は、整備した津波ハザードマップをもとに、浸水が予想されている地域に対して避難勧告等を発令するよう地域防災計画に定めているところが多く、避難勧告の発令において津波ハザードマップが果たす役割は大きい。

また、市町村が地震津波発生時に避難勧告の発令等を行う際の判断に必要な情報として、気象庁が発表する津波予報が挙げられる。2006年11月及び2007年1月に発生した千島列島東方の地震では、津波警報が発表された沿岸市町村の全てにおいて避難勧告が発令されており、津波予報は市町村における避難勧告・避難指示の発令判断に重要な役割を果たしているといえる。

一方で、避難勧告の発令範囲という側面では必ずしも津波予報の利点を十分に活用しきれていない点がある。前述の2006年11月の事例において、北海道根室市等では避難勧告の発令対象範囲を市内の全域とし、明らかに津波被害の危険性が低い地域も含まれていたために、避難率が10%未満と極めて低調な結果となった(群馬大学片田研究室, 2007)。その原因として、避難勧告の発令対象範囲に関する事前の検討が不十分であったことが挙げられる。津波被害の危険性が低い地域にまで避難勧告を発令し実際に被害が発生しなかった場合、住民の避難勧告に対する信頼性が低下してしまうことが懸念される。

気象庁の津波予報では、量的津波予報システム(館畑, 1998)により津波の高さを8段階に細分化された具体的な数値が発表されているが、これらは沿岸部における津波の高さを示した固定点情報である。津波予報を避難計画に効果的に活用するためには、この固定点情報を面的な情報へと変換し、津波予報において発表される予想高さの津波が襲来した場合にはどの範囲が浸水し得るのかを把握しておくことが必要である。それを活用することにより、津波予報で発表される津波高さに応じた避難勧告等の発令対象範囲を事前に検討しておくことが可能になる。

b) 想定外地震津波への対応

津波ハザードマップを作成する際には、想定最大津波の層面を仮定し、津波伝播の数値シミュレーション等によって浸水予測を行う。

津波・高潮ハザードマップマニュアル(内閣府等, 2009)は、津波ハザードマップ作成における外力条件として力レベル3(想定最大)を基本としている。ここで「想定最大津波」とは、中央防災会議の専門調査会等が検討された地震または既往最大地震の震源位置を当該津波高さが高くなるよう設定した地震である。ただし、現状での地震学の知見では震源メカニズムの解明が不十分地震もあり、想定地震が検討されていない地域では津波ハザードマップの作成が進んでいないところが多い。

例えば、北海道のオホーツク海沿岸の市町村では、これまでオホーツク海を震源とする地震によって発生した津波はほとんどなく、津波警報が発表されたことのない地域であった。したがって、これらの地域では津波ハザードマップが一切作成されておらず、事前に避難勧告の発令範囲を定めていた市町村は15.4%に留まっていた(片田・村澤, 2009)。2006年11月の千島列島沖を震源とする地震津波ではオホーツク海沿岸に津波警報(津波高さ2m)が発表されたが、津波ハザードマップが整備されていなかったために避難勧告発令範囲の決定に手間取り、発令が津波予報発表の約20分後と対応が遅れてしまった。

これまでに津波による被害を経験したことがなく想定地震の検討が十分になされていない地域においても、津波予報が発表された際に迅速かつ確かな判断により避難勧告を発令するためには、事前に津波浸水予測図を作成し、避難計画を検討しておくことが必要である。

3. 気象庁津波予報に対応した津波ハザードマップの提案

前章では、津波ハザードマップが住民の避難行動の促進及び行政の避難計画検討に有効活用されていない現状について述べた。津波発生時にハザードマップを有効活用するためには、津波ハザードマップや避難計画を気象庁が発表する津波予報と対応したものとすることが必要である。そこで本研究では、三重県尾鷲市を事例として、気象庁が発表する量的津波予報に対応した津波ハザードマップの作成手法を提案する。

(1) 気象庁津波予報に対応した津波ハザードマップの作成手法

マップの作成フローを図-1に示す。現在の津波予報高さは8段階であるので、各津波予報高さで最大となり得る津波浸水範囲をマップに表示し、それらを重ね合わせることを考える。

断面パラメータ
地点に津波
抽出する。
は、断面
定した断面
は45度、
いものとし
動もしくし
した。断面
位置した。
想定する地
4.5から8.3
幅W(km)
式でそれぞ
 $\log L =$
 $W = 0.$
 $\log D =$
これら震
た各断面パ
解析を行っ
b) 外洋
気象庁が
分間隔格子
項含む)に
的は、線形
津波高さ)
目的として
の断面パ
を行い、
域でどの
尾鷲市
し、そこ
より尾鷲
 η
ここで
は沿岸部
での津波
波予報
階の予
c) 選
7段階
各カテ
上計算
津波予
変換し
津波予

a) 断層パラメータの設定

対象地点に津波が来襲する可能性がある地震の震源位置を抽出する。抽出した震源の位置を図-2に示す。震源の位置は、断層上縁の中心とした。

設定した断層パラメータを表-2にまとめる。断層の傾斜角は45度、すべり角は90度とし、最も津波を励起しやすいものとした。断層の走向は図-2に示したように、海岸軸もしくは海岸線に平行になるよう領域に応じて設定した。断層上縁の深さは0kmから50kmまで10km刻みで配置した。

想定する地震規模は、モーメントマグニチュード M_w を6.5から8.3まで0.3刻みで設定した。断層長さ L (km)、断層幅 W (km)、すべり量 D (m) は、 M_w を用いて以下の式でそれぞれ算出した。

$$\log L = 0.5M_w - 1.9 \dots\dots\dots(1)$$

$$W = 0.5L \dots\dots\dots(2)$$

$$\log D = 0.5M_w - 3.4 \dots\dots\dots(3)$$

これら震央位置、深さ、マグニチュードを組み合わせた断層パラメータについて、約4000ケースの津波伝播計算を行った。

b) 外洋計算の実施

気象庁が発表する津波予報では、球面座標系緯経度1'間隔格子の地形データを用いて、線形長波理論(摩擦無視)により津波伝播計算を行っている。本研究の目的は線形長波理論で計算される津波予報値(沿岸での津波高さ)を遡上範囲という面的情報に変換することを行っている。そこで、解析対象である約4000ケースの断層パラメータについて線形長波理論による外洋計算を実施し、それぞれの断層パラメータでの条件では対象地帯のような津波予報が発表され得るのかを把握する。尾鷲市の沖合い約15km地点に仮定のGrid Pointを配置し、このGrid Pointでの津波高さから式(4)に示すグリーンの式に式(4)を用いて尾鷲市沿岸部の津波高さへ換算する。

$$h_1^{1/4} = \eta_2 h_2^{1/4} \dots\dots\dots(4)$$

h_1 は沿岸部での津波高さ(津波予報値)、 h_2 は沖合いGrid Pointでの水深(ここでは1m)、 η_2 は沖合いGrid Pointでの津波高さ、 h_2 はGrid Pointでの水深である。 η_1 を津波伝播係数とみなし、津波注意報(50cm未満)を除く7段階の津波高さにカテゴリー化する。

c) 遡上計算を実施する断層パラメータの抽出

断層パラメータをカテゴリーされた断層パラメータについて、各断層パラメータで遡上計算を実施し、遡上範囲が最も大きくなるものを抽出して遡上計算を実施する必要がある。ただし、ここで算出した津波高さは沖合いでの津波高さをグリーンの式により換算したものであることから、必ずしも各カテゴリーの最大であるものが遡上域最大となるとは限ら

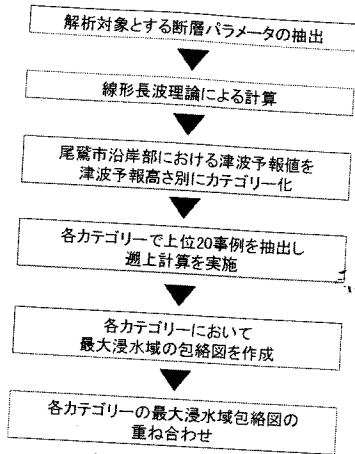


図-1 作成フロー

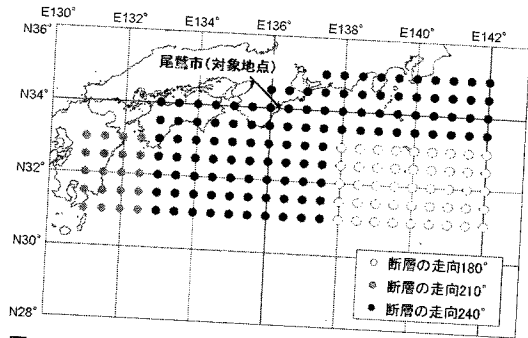


図-2 設定した震源断層の位置と断層パラメータの走向

表-2 断層パラメータ

パラメータ	設定方法
緯度	31.0° ~ 35.0° (0.5° 刻み)
経度	131.0° ~ 142.0° (0.5° 刻み)
深さ	0km ~ 50km (10km 刻み)
マグニチュード	6.5 ~ 8.3 (0.3 刻み)
走向	180°, 210°, 240° (領域に応じて設定)
傾斜角	45° (固定)
すべり角	90° (固定)

ない。そこで、各津波予報値カテゴリーに分類された断層パラメータのうちそれぞれ上位20ケースを抽出し、それらについて遡上計算を行うとともに、20ケース中の最大浸水域を算出することで、各津波予報値における最大浸水域図とすることにした。

d) 遡上計算の実施

各カテゴリーの上位20事例について、非線形長波理論による遡上計算を行った。計算格子サイズは1350m格子の領域Aから12.5m格子の領域Fまでとし、6段階ネステイング方式とした。計算手法及び計算条件を表-3に示す。なお、積分時間は最大浸水域を把握できる時間として3時間と設定した。

遡上計算より得られた最大浸水域の包絡図を作成し、その予想津波高さにおける最大浸水域図とした。本研究でのハザードマップは津波予報値に対応した住民避難計画の検討に資することを目的としていることから、浸水深の大きさは表示せず浸水域のみを表示することとした。

e) 最大浸水域包絡図の重ね合わせ

7種類の最大浸水域包絡図を重ね合わせるにより、津波予報高さに対応した浸水予測図とした。重ね合わせる際には津波予報値が高いものを下位レイヤーに、低いものを上位レイヤーとした。

尾鷲市を対象として試作した浸水予測図を図-3に示す。津波予報高さが4mと発表され得る地震津波が襲来した場合には最大で標高10m付近まで、8mと発表され得る地震津波が襲来した場合には最大で標高12m付近まで遡上する可能性があることが示されている。

(2) 従来型津波ハザードマップとの比較

従来型の津波ハザードマップである想定東南海・南海地震津波の浸水予測図を図-4に示す。両者を比較すると、想定東南海・南海地震津波の浸水範囲は津波予報高さが4m程度の場合の浸水範囲に対応することがわかる。また、想定とは異なる地震津波が予想される場合にはどういった範囲が避難対象地域となり得るかを明示することができている。

4. 運用及び活用方策とその課題

前章では、気象庁が発表する津波予報に対応した津波ハザードマップの作成方法を提案した。以下では、このような津波ハザードマップを作成することによる行政及び住民のそれぞれの視点からの利点を述べる。

本研究で提案した津波ハザードマップは、津波予報高さと同程度の津波が襲来した場合には最大でどの程度の浸水範囲になり得るかを示したものである。したがって、地域防災計画において、津波予報が発表された際の予想津波高さに応じた避難勧告等の発令範囲を事前に決定しておくことができ、発災時にも迅速な避難勧告の発令が可能になる。また、津波予報高さに応じて避難勧告等を発令する範囲を限定することは、避難勧告の空振りを軽減させることから、住民における誤報効果(オオカミ少年効果)の軽減に繋がることを期待される。さらには、中央防災会議等で想定されている規模を超えるような地

表-3 計算領域と計算条件

領域番号	領域A	領域B	領域C	領域D	領域E	領域F
格子間隔	1350m	450m	150m	50m	25m	12.5m
理論式	線形長波理論			非線形長波理論		
陸側境界条件	完全反射					

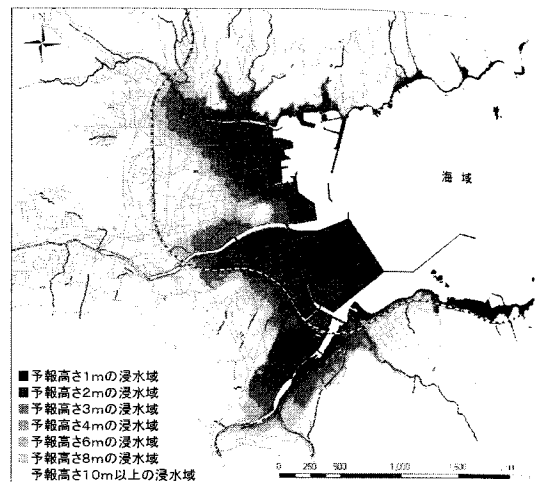


図-3 津波予報高さに対応した浸水予測図

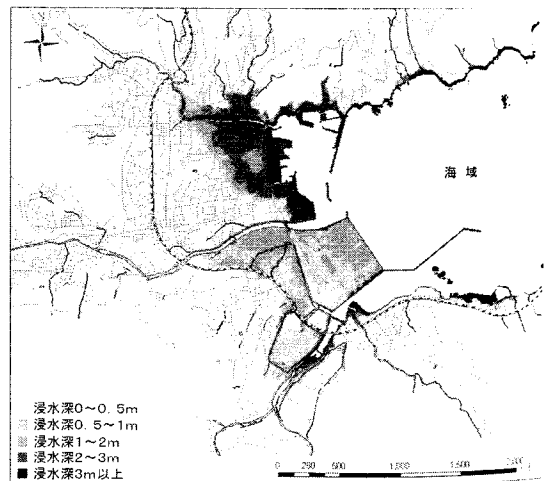


図-4 想定東南海・南海地震津波の浸水予測図

震津波が発生した場合にも、津波予報高さが高ければより広い範囲に避難勧告等を発令するといった対応が可能になる。

このような津波ハザードマップは、住民の避難判断の迅速化にも繋がることを期待される。住民が地震発生直後に津波予報を取得した際、予想される津波高さから避難の必要性がある範囲をハザードマップから把握することが可能となり、避難勧告等の発令及び取得を待たずし

て避難を判断することができると思われる。

一方で、本研究で提案した津波ハザードマップを活用するにあたっては、いくつかの課題も考えられる。

1つは「住民の情報依存度の増加」である。津波は地震発生後間もなく襲来することもあるので、住民は津波予報等の情報に依存することなく、強い揺れを感じたら即座に避難を開始することも求められる。地震発生直後に津波予報の情報取得行動を最優先し、避難開始が遅れることがないように周知することが必要である。

2つ目は、「災害イメージの固定化」である。従来の津波ハザードマップでは、単一の想定にもとづく津波浸水予測図を表示した場合、災害イメージの固定化をもたらす可能性があることが指摘されている（例えば、片田ら(2007)）。本研究で提案した津波ハザードマップでは、単一の想定地震にもとづく浸水範囲ではなく、7段階の津波予報高さに応じた浸水範囲を示していることから、地震の規模等によっては津波浸水範囲が変わり得ることについては理解されるものの、津波予報高さが住民の考える最大浸水範囲を規定することも考えられる。

しかし、津波予報では、地震発生直後に得られる震源情報（位置、深さ、マグニチュード等）をもとにデータベース検索方式により予想される津波高さを推定している。地震発生直後は正確な断層パラメータに関する情報取得することは困難であり、津波予報値にも不確実性が伴う。とりわけ、津波地震が発生した場合、地震発生後に短周期地震波から算出されるマグニチュードはマグニチュードに比べて低めになる可能性がある（首藤ら(2007)）。津波の高さを過小評価してしまう可能性がある。したがって、住民や行政担当者には津波予報の内容にも不確実性が伴うことや、周期の長い揺れが長時間続いた場合には津波地震である可能性があることを理解させることが必要である。このためには、津波発生メカニズムに及び津波現象への深い理解が必要で、そのような防災教育を平行して実施していくことが必要である。

気象庁では遠地津波を対象とした津波予報データベースも構築しているが、遠地津波は計算時間コストに大きいこと、また遠地地震は震源情報の精度が低く、不確実性が更に高いことから、本研究で提案する津波ハザードマップでは検討の対象外としている。遠地津波の取り扱いに関しては今後の課題としたい。

5. まとめ

津波ハザードマップに関する現状の課題を整理し、気象庁が発表する津波予報に対応した津波ハザードマップ及び津波避難計画の必要性を指摘した。それを踏まえ、気象庁の量的津波予報に対応した津波浸水予測図の作成手法を提案した。津波浸水予測図では、沿岸における津波高さを示した津波予報値を対象地域における最大浸水範囲に変換したものである。こうして作成された津波浸水予測図を活用することにより、津波予報の高さに応じて避難勧告等の発令範囲を検討することが可能となることが示された。

本研究で提案した津波ハザードマップを活用することにより、行政は避難勧告発令の適正化、具体的には①迅速な避難勧告等の発令、②避難勧告等の空振りの軽減、③想定を超える津波に対する避難勧告発令範囲拡張に繋がることが期待される。また、住民の避難判断の迅速化にも繋がることが期待される。一方、実際の地震津波発生時には、津波予報高さと異なる津波が襲来する可能性もあることから、津波予報には不確実性が伴うことを十分に理解した上で活用を図ることが重要である。

謝辞：本研究は、平成19年度科学研究費補助金・基盤研究(A)【課題名：災害に強い地域社会の形成技術に関する総合的研究、課題番号：19206055、研究代表：片田敏孝】の助成を頂いた。また、実施にあたっては、気象庁、尾鷲市からのご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 片田敏孝・木村秀治・児玉 真(2007)：災害リスク・コミュニケーションのための洪水ハザードマップのあり方に関する研究、土木学会論文集D, Vol. 63, No.4, pp. 498-508.
- 片田敏孝・村澤直樹(2009)：遠地津波に対する行政と住民の対応に関わる現状と課題、災害情報, No.7, pp. 94-103.
- 群馬大学大学院工学研究科片田研究室(2007)：平成18年11月15日千島列島の地震における北海道の行政と住民の津波対応に関する調査報告書。
- 首藤伸夫・今村文彦・越村俊一・佐竹健治・松富英夫編(2007)：津波の事典、朝倉書店, p.103.
- 館畑秀衛(1998)：津波数値計算技術の津波予報への応用、月刊海洋, 号外No. 15, pp. 23-30.
- 内閣府(防災担当)、農林水産省農林振興局・水産庁、国土交通省河川局・港湾局(2004)：津波・高潮ハザードマップマニュアル。

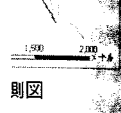
領域E	領域F
25m	12.5m
長波理論	
週上	



海域



海域



海域



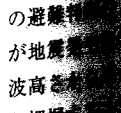
海域



海域



海域



海域



海域



海域



が高ければ対応が...
の避難...
が地震...
波高さ...
ら把握...
得を得...