

津波発生条件の相違による津波リスクの評価と避難への活用の提案

～沼津市、富士市、静岡市におけるケーススタディ～

Suggestion of the application to evacuation and evaluation of the tsunami risk by the difference in tsunami condition

阿部 郁男

ABE Ikuo

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北太平洋沖地震により甚大な被害となった東北地方太平洋岸はこれまでも幾多の津波災害を経験しており、東日本大震災の発生前から様々な津波対策が実施されていた。これらの対策の基礎となっているものが被害想定であり、宮城県では東日本大震災発生前に宮城県第3次地震被害想定が実施され（宮城県防災会議地震対策等専門部会，2004）、30年以内の発生確率が99%以上とされていた宮城県沖地震や1933年の昭和三陸地震の再来による被害想定が行われていた。また、岩手県においては宮城県沖地震だけではなく1896年の明治三陸津波の再来による被害想定も実施されていた（岩手県，2004）。これらの被害想定に基づいて、ハザードマップおよび避難計画の作成や防災教育が実施されていたが、それらの想定を超える津波が来襲したことにより、想定を超える地域にまで津波が到達し、ハザードマップ等で避難場所として設定されていた場所で多くの命が奪われたことに対する訴訟が行われている。

このように東日本大震災は被害想定のある方が改めて問われる災害となり、南海トラフで発生する可能性がある地震・津波においても見直しを実施され、それに基づく被害想定が様々な自治体から公表されている。今後、この被害想定に基づいて、ハザードマップや避難計画の作成、防災教育等の対策が実施されると思われるが、数ケース程度の津波の来襲予測の想定をもとに実施される津波防災対策は東日本大震災が発生する以前より岩手県、宮城県などでも行われていたことと同じであり、津波発生条件の相違に着目して地域ごとに異なる津波リスクの評価が十分に行われているとは言い難い。津波の来襲状況は、地震のマグニチュードではなく地形や地震断層パラメータの不確定性など、局所的な条件変化によって大きく変わることが知られており（阿部・今村，2009）、この局所性を適切に分析、理解して対策を講じなければ東日本大震災と同じような想定外の悲劇が繰り返される恐れがある。そこで、本稿では、津波発生条件の相違によって異なる津波の来襲状況を分析するとともに、それらの状況の相違をどのように把握して避難に役立てるべきかを、沼津市、富士市および静岡市の一部の地域を対象にケーススタディとして分析した結果を報告する。

2. 津波発生条件の相違が津波来襲状況に与える影響

マグニチュード8を超える巨大地震による津波の来襲状況は局所的な条件変化によって大きく異なることが知られている。例えば、東日本大震災を引き起こした東北太平洋沖地震においても地震断層の局所的なすべり量の分布について解析が行われており、その結果が纏められている（国土交通省，2011）。その中で紹介されているモデルとして、東北大学による Version1.0 のモデルでは長さ 100km、幅 100km の小断層ごとにすべり量が与えられており、その最大値は 35.0m、平均値は 9.45m となっている。また、藤井・佐竹モデル Version4.0 では長さ 50km、幅 50km の 40 個の小断層ごとにすべり量が与えられており、その最大値は 34.45m であり、それらの中ですべり量として 1.0m 以上が与えられている小断層を対象に平均値を求めると 11.45m である。さらに、これらの地震断層モデルについて、隣接する小断層間でのすべり量の比を求めてみると、東北大学モデルではプレートの浅部から深部に向かって小断層のすべり量の最大比は 20.0 であり、同一の深さで並ぶ小断層のすべり量の最大比は 6.0 である。同様に藤井・佐竹モデルについても分析を行うと、プレートの浅部から深部に向かって小断層のすべり量の最大比は 3.9 であり、同一の深さで並ぶ小断層のすべり量の最大比は 7.2 である。つまり、実際に発生した東北太平洋沖地震による津波においても津波の規模に大きな影響を与える地震断層の局所的なすべりは数倍の違いが生じることが明らかであり、これらの一様でないすべり量の分布は津波発生条件の不確定性を表していると考えられる。

一方、命を守るための避難に重要な役割を担う情報が気象庁により運用されている津波警報である。津波警報システムでは、津波警報を早期に出すという即時性を重視しているため、地震発生直後に得られる地震のマグニチュードから津波の高さを推定する方法が取られている。地震のマグニチュードから津波発生条件を推定する方法として、マグニチュードから地震断層の長さや幅およびすべり量を経験的に求める方法が知られており（防災科学技術研究所，2000）、その法則に従うと東北太平洋沖地震の規模であるマグニチュード 9.0 の地震断層の場合は、平均的なすべり量は約 20m と求められる。この平均的なすべり量と、東北太平洋沖地震における東北大学のモデルには最大で 1.75 倍の違いがあり、現在運用されている津波警報においても巨大地震発生時に見られる地震断層のすべり量の分布の不確定性を考慮することは困難である。

3. 津波からの避難における津波観測情報の重要性の検討

前述の通り津波の発生条件には局所性があり、その局所性によって津波来襲状況が大きく異なっている。例えば、長さ 120km、幅 50km で地震断層が一様 6m ずれ動いた場合のマグニチュードは 8.0 と求められる。もし、この地震断層に局所的なすべり量の相違が生じた場合には津波来襲状況はどのように変化するのであろうかという点に着目して、駿河湾内での津波発生を想定した津波シミュレーションにより、その違いを求めた結果を図 1 および図 2 に示す。なお、そのほかの地震断層の設定条件としては、上端の深さ 5km、すべり角 90 度、走向 188 度に設定し、最詳細 50m メッシュの地形データを利用して、防波堤などが存在する条件で津波シミュレーションを実施している。

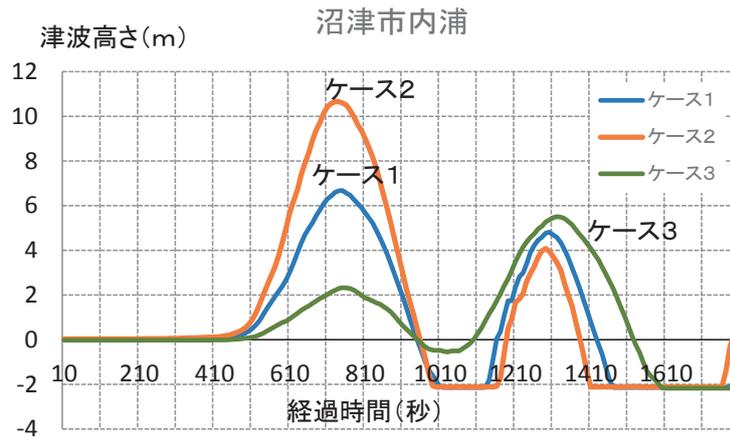


図1 津波発生条件の違いによる津波来襲状況の相違の分析（沼津市内浦）

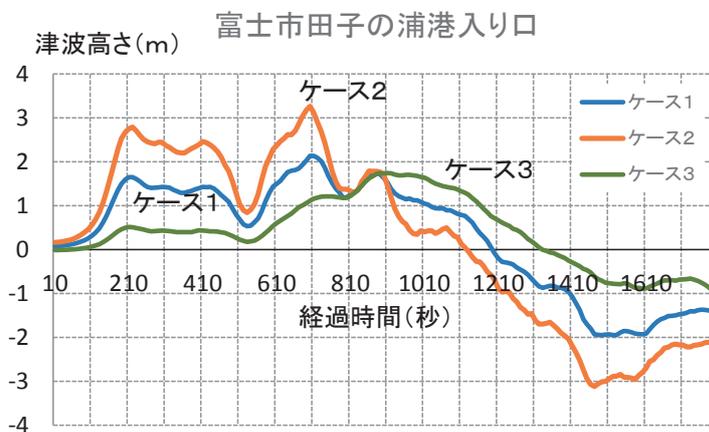


図2 津波発生条件の違いによる津波来襲状況の相違の分析（富士市田子の浦港）

図1および図2に示すケース1は、長さ120km、幅50kmの地震断層を一様に6.0m滑らせた結果であり、ケース2およびケース3は、地震断層を長さ60kmで南北2つの小断層に分割し、ケース2では北側断層のすべり量を10m、南側断層のすべり量を2mと設定したシミュレーション結果である。なお、ケース3では、南北のすべり量の設定を置き換えている。これらの地震のマグニチュードは何れも8.0となり、地震のマグニチュードから津波の高さを推定する方法を採用している津波警報システムでは識別が不可能な条件ではあるが、南北小断層のすべり量の比を5.0と抑えてあり、東北太平洋沖地震で求められた隣接する小断層のすべり量の最大比よりは小さな値となっている。つまり、巨大地震が発生した場合には今回設定したすべり量の差は起こりえない値ではないと考えられる。

図1および図2に示すように同じマグニチュード8.0の地震断層でも、すべり量の局所的な違いによって津波の来襲状況は大きく異なっている。図1の沼津市内浦地区では北側断層を大きく滑らせた場合の最大津波高さは10mを超えるが、全体を一様に滑らせた場合と南側の地震断層を大きく滑らせた場合には最大津波高さは6m前後である。同様に図2に示す富士市の田子の浦港入り口付近でも、北側断層を大きく滑らせた場合の影響が大きくなる。このように局所的な津波発生条件の違いによって津波の来襲状況は大きく異なるが、命を守るために重要な情報である津波警報では地震のマグニチュードから津

波の来襲状況を正確に把握することは困難である。津波発生状況の局所性を確認するためには津波を観測することが必要であり、例えば、富士市の海岸沿いにはJR東海道線の吉原駅があるが吉原駅に津波が来るか否かを知るためには津波が入ってくる方向にある田子の浦港にどの程度の津波が到達しているのかを確認できればおおよその見当がつけられるのではないかと考えられる。

4. 津波発生条件の不確定性を考慮した津波避難の検討

実際に地震・津波が発生した場合、発生直後に得られる情報は地震の震源情報であり、どの範囲で、どの程度の大きさの津波が発生したのかを知る方法は今のところ存在しない。仮にそのような観測網が構築された場合でも、情報の解析や伝達には多少の時間がかかることも想定され、南海トラフで津波が発生した場合には情報が届く前に津波が到達する危険性も十分に考えられる。また、これまでに述べたように津波の発生条件によって津波の規模は大きく異なるものであり、東日本大震災で指摘された「想定外」が発生しないような津波からの避難対策を検討する必要があると考えている。そこで本稿では、これまで行われている被害想定よりも多くの津波発生条件を設定した津波シミュレーションを行うことにより、津波来襲のリスクを適切に評価し、それらのデータを避難計画作りに役立てることを提案したいと考えている。

4.1. 津波シミュレーションの条件と検討対象とする場所

今回の検討では図3に示す7箇所での津波発生を想定したシミュレーションを行った。図3の①～⑤は南海トラフ沿い、⑥は銭洲、⑦は伊豆・小笠原海溝沿いに設定している。津波発生直後には、どの程度の津波が発生しているのかを知る方法がないため、気象庁の津波警報システムで採用されているような地震のマグニチュードに着目した条件設定ではなく、単純に津波の発生規模に対する各地域での津波来襲状況を分析するために、それぞれの海域で5m、10m、20m、30m、40mの津波が発生したことを想定し、陸域の隆起は考慮せずに津波シミュレーションを行った。今回の検討においてシミュレーションを行い分析の対象とした津波発生条件は195ケースである。また、検討対象としては、沼津市および静岡市の学校の中から、静岡県の津波想定浸水区域周辺の複数の学校を対象として設定した。

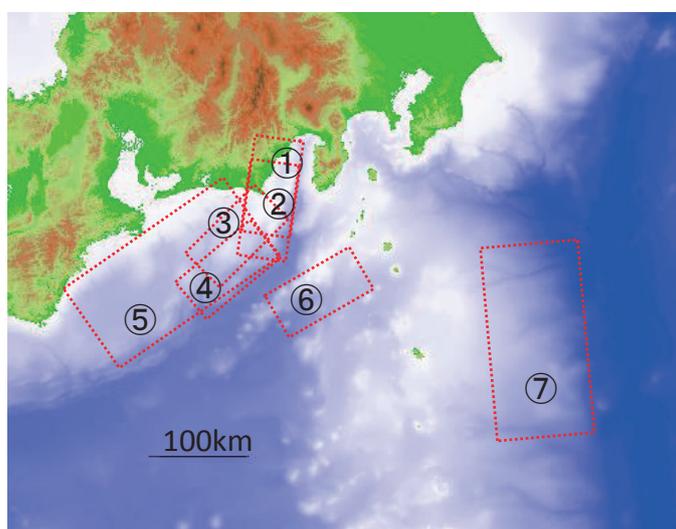


図3 津波発生を想定した海域

4.2. 沼津第一小学校および沼津第一中学校

沼津第一小学校および沼津第一中学校は図4に示すように静岡県内の浸水想定区域外に立地する学校である。海岸沿いに並ぶ学校であるが、富士市から沼津市にかけては防潮堤があるために津波は沼津港方面より入り込むことが想定される。また、津波は西方より来襲してくることが考えられるため、沼津港より先に大瀬崎に津波が到達すると考えられる。そこで、大瀬崎または沼津港に来襲する津波の高さを知ることができれば、沼津第一小学校および沼津第一中学校に津波が来るか否かを判断できる可能性があるのではないかと考えて、195ケースのシミュレーション結果から、これらの場所での津波高さの関係を分析した。図5に大瀬崎での津波高さと沼津第一小学校での浸水深さの関係を、図6には沼津第一中学校での浸水深さの関係を示した。

今回の分析対象である195ケースの中で沼津第一小学校に津波が到達する条件は102ケース、沼津第一中学校に津波が到達する条件は99ケース存在した。これらのデータについて大瀬崎での津波高さを抽出すると全て6mを超えるケースであることが分かった。大瀬崎で津波高さが6mを超える条件は113ケースであったため、その中の90%となる102ケースが沼津第一小学校、88%となる99ケースが沼津第一中学校まで津波が到達することを示していた。つまり、今回の分析から言えることは「大瀬崎での津波高さが6mを超えた場合には、沼津第一小学校および沼津第一中学校に津波が到達する危険性がある」ということである。

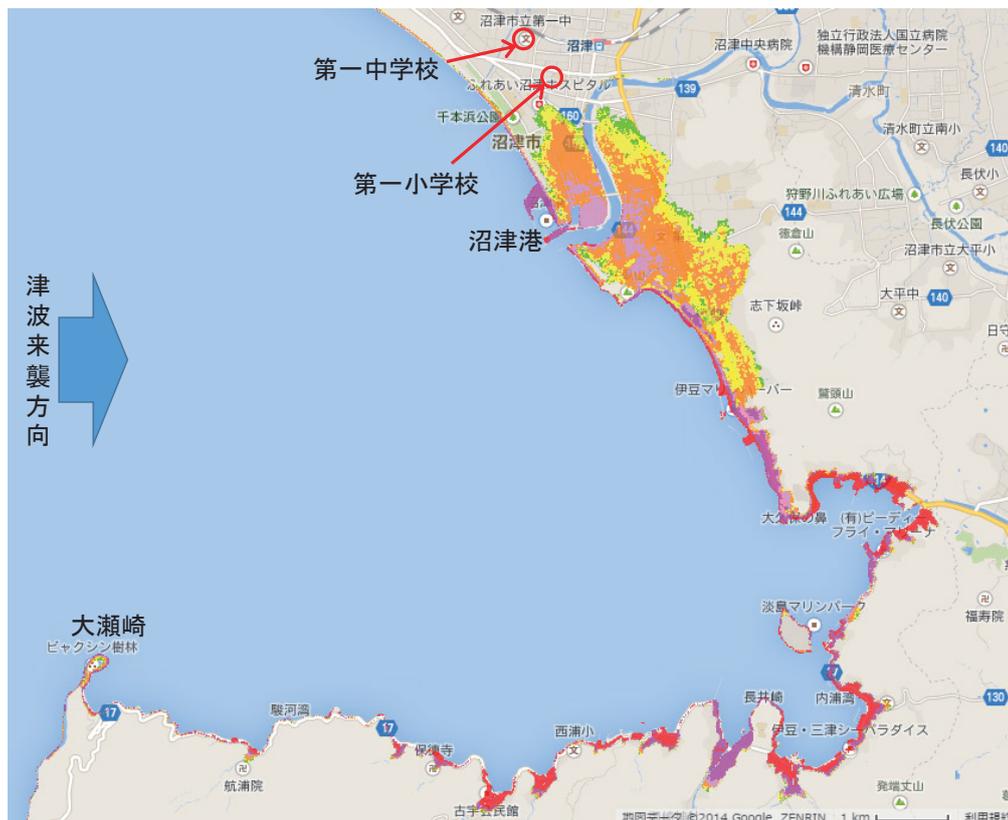


図4 沼津第一小学校および沼津第一中学校の位置

(静岡県統合基盤 GIS: <http://www.gis.pref.shizuoka.jp/> に場所を加筆)

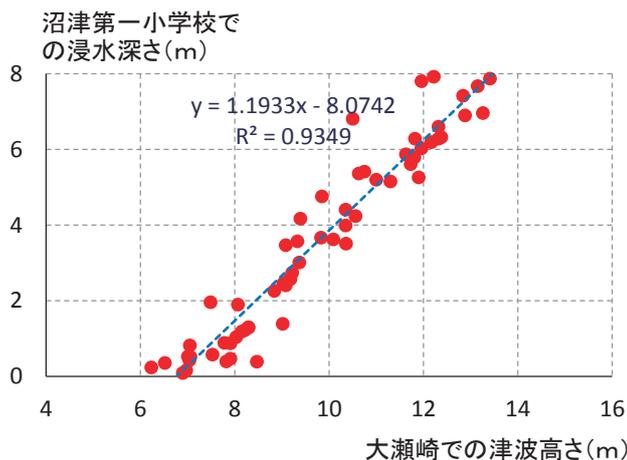


図5 大瀬崎での津波高さと沼津第一小学校での浸水深さの関係

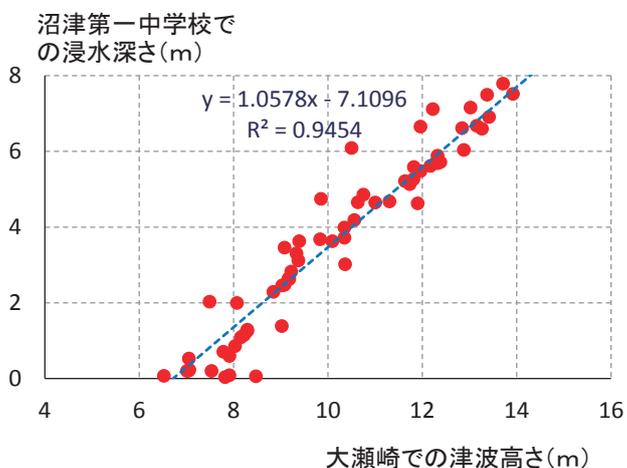


図6 大瀬崎での津波高さと沼津第一中学校での浸水深さの関係

次に、それぞれの学校での浸水深さと沼津港での津波高さの関係を図7および図8に示した。津波は地形の影響により局所的に高くなる可能性があるため、できるだけ近い場所で津波高さを確認できればより正確に判断できるのではないかと考えたためである。図7および図8に示したように、津波高さと浸水深さの関係を示す決定係数 R^2 が大瀬崎よりも沼津港での比較のほうが改善されるという結果が得られた。津波の規模を確認してから避難に利用できる猶予時間という視点での議論が必要であるが、近い場所で津波の規模を確認することが判断の改善に繋がることを示すデータが得られた。

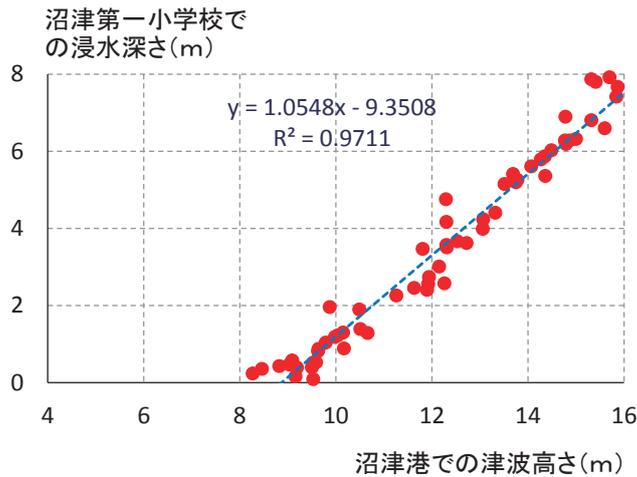


図7 沼津港での津波高さと沼津第一小学校での浸水深さの関係

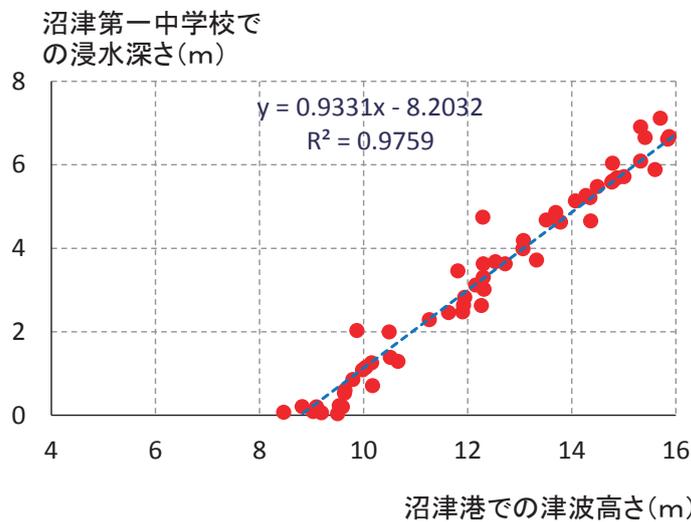


図8 沼津港での津波高さと沼津第一中学校での浸水深さの関係

以上の分析結果を纏めると、沼津第一小学校および沼津第一中学校は静岡県の想定では浸水区域外となっているが津波の発生条件の相違によっては津波が到達する可能性を否定できないため、津波の規模を確認し、それに合わせた避難方法を検討する必要があると考えられる。

4.3. 中島小学校および宮竹小学校

静岡市駿河区の中島小学校は図9に示すように静岡県の想定浸水区域に校庭の一部が僅かにかかっている。また、宮竹小学校は静岡県の浸水想定区域外に立地する学校である。これらの学校については、それらの地域の海岸部に立地する大浜公園での浸水深さとの関係を分析した。

今回の分析対象である195ケースの中で中島小学校に津波が到達する条件は130ケース、宮竹小学校に津波が到達する条件は136ケース存在した。これらのデータについて大浜公園での浸水深さを抽出すると中島小学校に津波が到達する条件の中で最も低い値は5.0mであり、宮竹小学校に津波が到達する条件では4.4mとなっていた。逆に、大浜公園での浸水深さ別に整理をすると、大浜公園での浸水深さ

が5mを超える条件は137ケースであり、中島小学校まで津波が到達するケースはそれらの中の95%、宮竹小学校まで津波が到達するケースは98%であった。つまり、今回の分析から言えることは「大浜公園での浸水深さ5mを超えた場合には、中島小学校および宮竹小学校に津波が到達する危険性がある」ということである。



図9 中島小学校および宮竹小学校の位置

(静岡県統合基盤 GIS: <http://www.gis.pref.shizuoka.jp/> に場所を加筆)

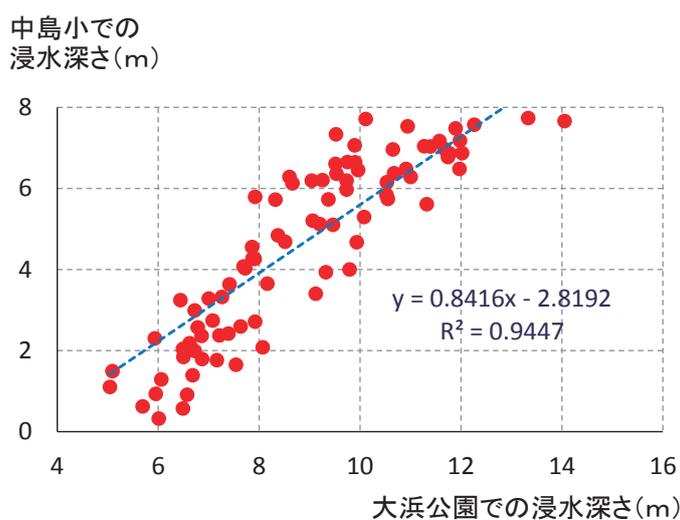


図10 大浜公園での浸水深さと中島小学校での浸水深さの関係

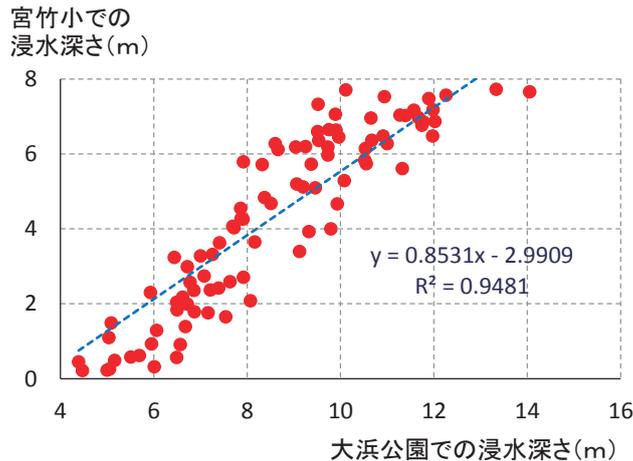


図 11 大浜公園での浸水深さと宮竹小学校での浸水深さの関係

以上の分析結果を纏めると、中島小学校および宮竹小学校では津波の発生条件の相違によっては津波が到達する可能性を否定できないため、津波の規模を確認し、それに合わせた避難方法を検討する必要があると考えられる。ただし、今回の検討で利用した大浜公園は距離が離れていないため、津波の規模を確認してから避難までの猶予時間がどの程度残されるかの検討も重要となってくる。

4.4. 津波高さの観測および情報伝達方法

これまで示したように大瀬崎や沼津港で津波の高さを観測することができれば沼津第一小学校および沼津第一中学校にどの程度の津波が来襲するのかが知ることが出来る。また、同様に大浜公園での津波の高さを観測することができれば中島小学校および宮竹小学校にどの程度の津波が来襲するのかが知ることが出来る。

東日本大震災では沖合に設置された GPS 波浪計によって想定を超える津波が観測されたことによって津波警報が切り上げられているだけではなく、それに基づいた津波浸水予測の可能性も示されている（阿部・今村，2012）。しかし、GPS 波浪計は設置可能な場所の制約がある上、設置や運用にも多額の経費が必要であるため、数多くの場所に設置することが大変難しい。そこで津波高さの観測方法として監視カメラの活用を提案したいと考えている。

現在、津波来襲状況の監視を目的とした監視カメラが静岡県沿岸各地に設置されており、この海岸監視カメラを津波高さの計測に利用できないかと考えている。例えば、多くの河川では氾濫の危険性を監視するために水位を計測する標識が監視カメラによって常時撮影されており、河川の氾濫監視と同様のことが津波にも適用可能であると考えている。そして、本報告で示したように大瀬崎や沼津港、大浜公園で観測された津波の高さと、それぞれの場所に来襲する津波の高さの関係性を整理しておけば、観測情報を防災無線やラジオなどで伝達することによって、想定を超える津波が来襲しても何らかの命を守る行動が行えるはずである。

4.5. 富士市の海岸部における避難場所の検討

富士市の海岸沿いには高さ 17m の防潮堤が建設されているが、市民向けの講座で「海岸方向に向かって避難することに抵抗がある」という質問をしばしば頂戴することがある。そこで、今回の津波シミュ

レーションで得られたデータを利用して富士市の海岸地域における避難場所の相対的なリスク比較を行った。今回のデータの中から17mの防潮堤を辛うじて越流する条件を抽出して得られた浸水範囲を図12に示した。

図12に示すように防潮堤を一部越流する条件の津波が発生した場合、津波の浸水範囲は国道1号線を超え新富士駅付近にまで到達している。また田子の浦港から入り込んだ津波は岳南原田駅周辺にまで及んでいることが分かる。今回の分析は相対的な評価に過ぎないが、岳南原田駅や新富士駅周辺に津波が到達する条件であっても、海岸沿いには津波が到達しない場所があることが分かる。つまり津波到達時間までに確実に浸水区域外に逃げ切れない場合には海岸沿いの防潮堤などを避難場所とすることも有効であると考えられる。

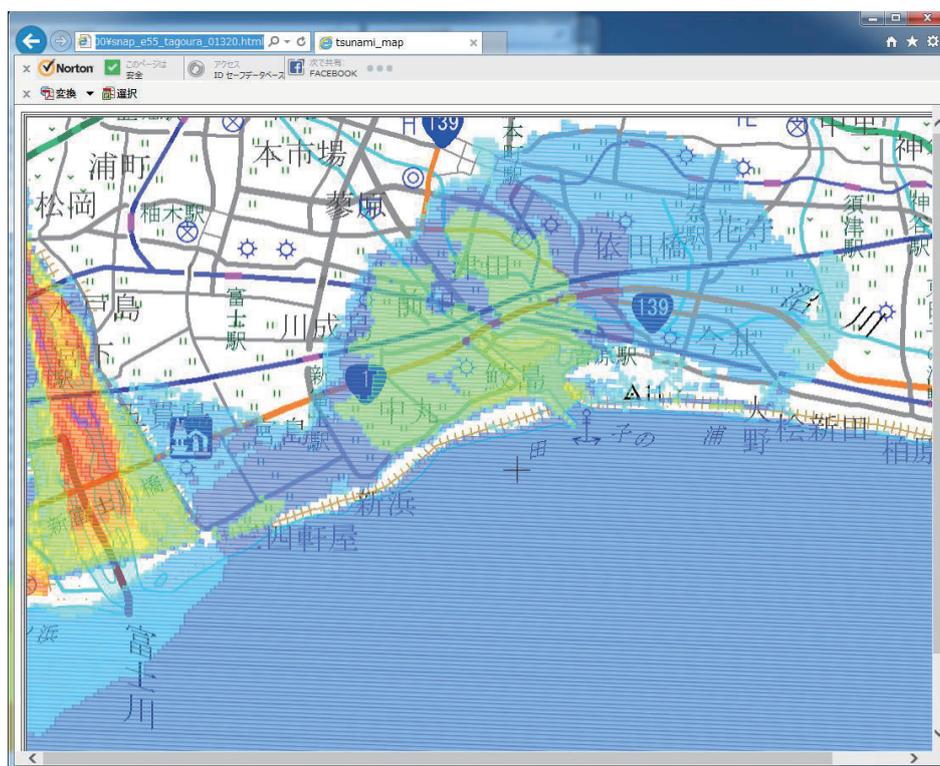


図12 富士市において防潮堤を越流する条件時の想定浸水範囲

5. まとめ

今回の検討では、静岡県被害想定で浸水区域外の場所であっても津波発生条件の相違によっては津波到達の危険性があることを示すことができた。ただし、僅か195ケースの分析であり、また50mメッシュというあまり細かい地形が考慮できていないデータでもあり、さらに加えて避難に利用できる猶予時間の検討も十分に行えていないことから具体的な避難方法の提案には至らなかった。これらは今後の課題でもある。一方、見方を変えると僅か195ケースの分析であっても、津波発生条件の相違による津波リスクの比較は行えるのではないかと思われた。現在はコンピュータも高性能になり、Core i7-4770SというCPUを搭載した1台のPCを利用した場合に6ケース同時計算を2時間で終わらせることができるようになっている。つまり、1日あたり72ケースの計算が可能であり、1年間計算を続けられ

ば 26,280 ケースの計算が可能な状況にある。これまでに述べてきたように津波発生条件は不確実性が大きい現象であるが、より多くのケースについて計算を行い、その結果を分析することで地域ごとに異なる津波リスクに適切に対応した避難計画が立案できるのではないかと考えており、今後、そのような提案を具体化してゆきたいと考えている。

参考文献

阿部郁男、今村文彦（2009）「地域ごとのリアルタイム津波予測における初期条件の影響評価と設定」『海岸工学論文集』第 56 巻 (1)、pp.336-340。

宮城県防災会議地震対策等専門部会（2004）「宮城県地震被害想定調査に関する報告書」、211p。

岩手県（2004）「岩手県地震・津波シミュレーション及び被害想定調査に関する報告書（概要版）」、191p。

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（2011）「平成 23 年東北地方太平洋沖地震による津波の対策のための津波シミュレーションの手引き」、28p。

防災科学技術研究所（2000）「強震動の基礎」、(<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/gk/publication/>、2014 年 7 月 20 日閲覧)。

阿部郁男、今村文彦（2012）「東北太平洋沖地震における GPS 波浪計を利用したリアルタイム津波浸水予測の検証」『土木学会論文集 B2 海岸工学』第 68 巻 (2)、pp.376-380。

