

データベースを利用した津波避難のための閾値の可能性 ～東日本大震災の事例を通して～

阿部 郁男*

1. 本研究の背景

東日本大震災の発生前より東北地方は地震と津波の発生による被害が懸念されており、様々な地震・津波への対策が行われてきた。その一つの取り組みが GPS 波浪計による沖合津波観測網の構築である。GPS 波浪計による沖合津波観測網の構築は、2005 年に東北地方整備局が主体となった東北における津波防災情報連絡協議会の設立によって設置場所や情報の利活用についての検討が行われてきている。その取り組みの一つが津波浸

水予測マップ検索システムの開発である。津波浸水予測マップ検索システムとは、いわば GPS 波浪計で観測された津波の高さに対応した津波ハザードマップを表示するシステムである。このシステムは、岩手県宮古市から福島県相馬市の沿岸域を対象地域として、3,600 ケースの地震発生を想定し、堤防あり・なしの 2 条件について最詳細 50m メッシュで津波浸水シミュレーションを実施したデータに基づいて作成されている。津波浸水予測マップ検索システムの概要を図 1 に示した。

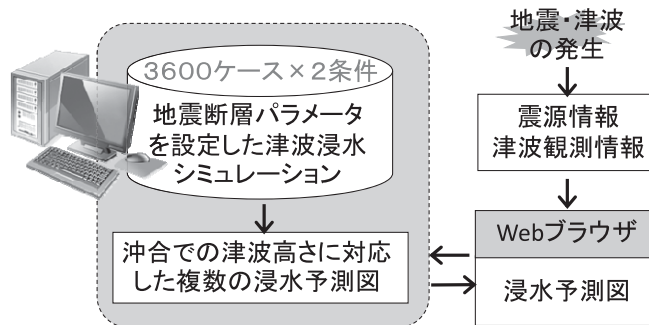


図 1 津波浸水予測マップ検索システムの概要

東北地方太平洋側の GPS 波浪計は 2008 年までに配置が完了した。津波浸水予測マップシステムは協議会において停電時の対応や自動化処理などに対する要望はあったものの、開発費等の諸問題により Web 上でユーザによる津波高さの入力などの操作が必要なシステムが最初のバージョンとして開発され、2011 年 1 月 20 日に対象となる県および市町の防災担当者を集めた利用講習会を開催していた。つまり、東日本大震災の発生する 1 か月半ほ

ど前には暫定的ではあるが利用可能な状態になっていた。しかし、東北太平洋沖地震の発生により大規模な停電が発生し、さらには自治体の防災担当者も多忙を極めたことにより津波浸水予測マップ検索システムが津波からの避難に利用されることはなかった。もし、GPS 波浪計による沖合津波観測や津波浸水予測マップ検索システムの情報が避難誘導などに利用されていれば人的被害を減らすことができたのではないかと考えている。例えば、東北太平洋沖地震の際の津波浸水予測マップ検索システムの表示結果では、陸前高田市の

*常葉大学社会環境学部

市街地が完全に水没する結果が表示され、多くの児童が尊い命を奪われる悲劇となった大川小学校、震災直後には釜石の奇跡と称賛された小中学校においても津波到達の危険性を直前には示すことができたはずであった。図 2 には、東日本大震災発生前に構築されていた津波浸水予測データベースから釜石沖

GPS 波浪計での津波高さが 5.5m 以上となるケースの津波浸水予測図を示した。実際に東日本大震災発生時に発表された津波観測情報は 6.8m であり、この津波高さは、東日本大震災発生前に登録されていたデータの最大値を超えていたが 5.5m を超える条件でも当該小中学校には津波到達を示すことができた。



図 2 釜石沖 GPS 波浪計での津波高さが 5.5m を超えた条件での津波浸水予測図

2. 研究の目的

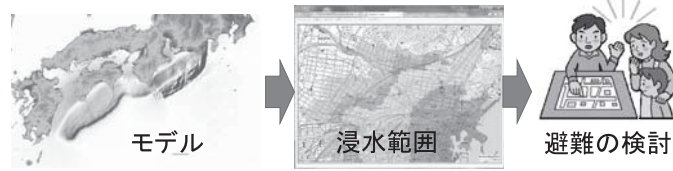
東日本大震災では GPS 波浪計によって巨大な津波が観測され津波警報の切り上げが行われており、観測された巨大な津波の高さは津波到達前にリアルタイムで気象庁から発表されていた。しかし、これらの津波観測情報が住民の避難行動に直接繋がることはなかったと思われる。

それでは、どのような情報が提供できれば避難が行われたのであろうか。岩手県、宮城県でそれぞれ一つの予報として発表される津波警報や事前に作成されたハザードマップだけでは避難が適切に行われなかったことが東日本大震災の甚大な被害に繋がったと考えられる。これまでの津波避難に関する検討は、対象となる津波のモデルを決定して津波ハザードマップを作成し、それに基づいて防災教育や避難訓練などを行っていた。しかし、

実際に発生する津波は津波ハザードマップで想定した条件で発生するとは限らない。むしろ、想定通りの津波が発生することがまれである。どの程度の津波がどこで発生しているのか、その全容は地震や津波の発生直後には分からないものの、どの場所で何 m の津波が観測されたのかは、様々な情報伝達手段を利用して容易に住民に伝えることができる。もし、図 3 に示すように、この津波の観測情報と住民の避難判断を結びつけることができれば、より確実に津波による人的被害を減らすことができるはずである。

そこで、今回の研究では津波浸水予測マップ検索システム開発時に構築されたデータベースを利用し、避難開始を判断できるトリガーとなる情報を提供する可能性について東日本大震災で人的被害が発生した数か所を対象に検証することとした。

■これまでの津波避難の検討



■津波観測情報による津波避難



図3 これまでの津波避難の検討と津波観測に対応した津波避難のイメージ

3. 研究方法

今回の研究では東日本大震災発生前に構築されていた津波浸水予測データベースを分析対象とした。津波浸水予測データベースには、表1に示す条件で津波浸水シミュレーションを行ったデータが格納されている。これらの

データをもとに、GPS 波浪計での津波高さや各地点での津波高さや到達時間を比較することによって、GPS 波浪計で観測される津波高さの情報が津波避難の判断材料となるか否かの検討を行った。なお、GPS 波浪計で観測される津波高さとしては、初期水位を0とした上昇量として扱っている。

表1 津波浸水予測データベース構築時のシミュレーション条件

項目	内容
地震断層の配置	宮城県沖地震および明治三陸津波の波源域が含まれるように地震断層の原点（北東端）を緯度経度 0.5 度の間隔で配置。
地震断層の長さや幅	地震のマグニチュードに対応した相似則から求める。ただし、過去の地震津波での知見から、幅と長さについて 1 対 2, 1 対 3, 1 対 4 の 3 通りを設定。
地震断層のすべり量	地震のマグニチュードに対応した相似則から求める。
地震断層の走向	日本海溝の向きに合わせて 180 度および 195 度の 2 通りを設定。
地震断層のすべり角	90 度
地震断層の傾斜角	20 度, 45 度
地震断層の上端深さ	1km, 10km
マグニチュード	7.6 ～ 8.4 の範囲について 0.2 間隔で設定。
構造物の設定	構造物あり・なしの 2 条件
地形データ	最詳細 50m メッシュ

4. 避難判断の閾値となる GPS 波浪計での津波高さの分析結果

4.1. 山元町における津波判断の閾値

山元町の事例として図 4 に示す場所について検討を行った。Y1 地点は津波来襲の予見に関する訴訟が行われた場所である。Y1 地点での津波浸水深さと GPS 波浪計での津波高さの関係を図 5 および図 6 に示した。

図 5 では牡鹿半島沖 GPS 波浪計での津波高さが 2m、図 6 では広田半島沖 GPS 波浪計での津波高さが 1m 程度から Y1 地点での津波浸水となるケースが現れはじめていく様子を知ることができる。これらの分析のもととなったデータには、堤防あり・なしの 2 条件で津波浸水シミュレーションを行った結果が含まれているため、それぞれの条件について Y1 地点に津波が到達するケースの中から GPS 波浪計での津波高さが最低となる値を抽出した結果を図 5 および図 6 には書き加えている。津波の来襲状況は様々な条件によって違ってくるが、今回の分析対象となったデータだけでも Y1 地点には津波来襲のリスクがあったことが示されており、この最低値が津波避難判断の閾値と考えることができる。そのような視点に立つと、Y1 地点における津波からの避難判断の閾値は「牡鹿半島沖 GPS 波浪計で 2.2m」「広田湾沖 GPS 波浪計

で 1.1m」となる。なお、避難判断の閾値を「堤防あり」の条件と設定した場合は、それぞれの閾値は「牡鹿半島沖 GPS 波浪計で 3.1m」「広田湾沖 GPS 波浪計で 1.5m」である。

このように津波来襲状況は僅かな条件の変化で大きく変わってくる。これを示すデータを図 7 に示した。図 7 は、牡鹿半島沖 GPS 波浪計での津波高さごとに Y1 地点に津波が到達するケースが含まれる数と割合を示したものであるが、牡鹿半島沖 GPS 波浪計での津波高さが大きくなるに従いケース数は減少し、逆に Y1 地点に津波が到達する割合は増加することが分かる。また、図 8 には津波を観測する場所ごとの津波の高さごとに Y1 地点に津波が到達するケースの割合を示したものであるが、Y1 地点から遠方にある広田湾沖 GPS 波浪計での観測情報よりも Y1 地点に近い相馬港 NOWPHAS のほうが津波到達の危険性を的確に判断できる可能性を示している。これらのデータは津波来襲状況が僅かな要因の変化で違う、所謂、津波の不確定性を示しているデータであり、津波からの避難を検討する際には限定された条件で検討されたハザードマップだけでは不十分であり、このような不確定性を示すデータを利用しながらリスクコミュニケーションを進めてゆく必要があると考える。

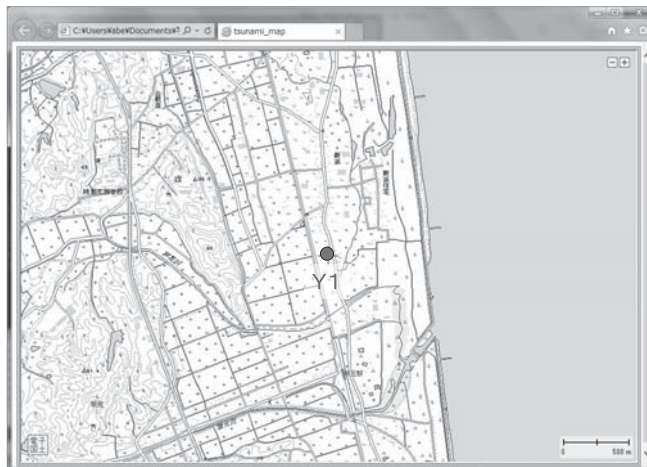


図 4 山元町での検討対象地点

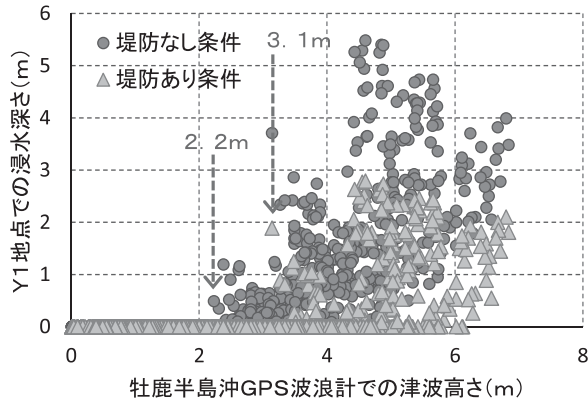


図5 Y1地点と牡鹿半島沖GPS波浪計での津波高さの関係

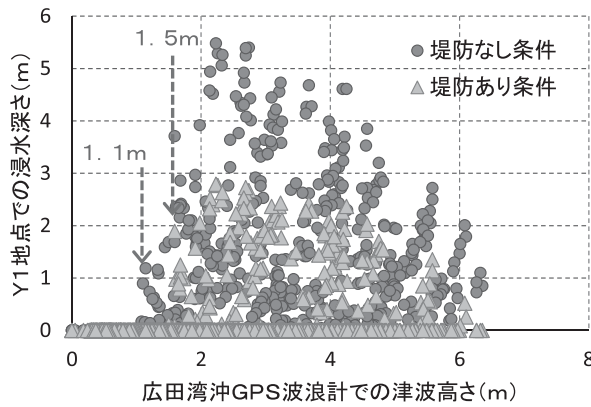


図6 Y1地点と広田湾沖GPS波浪計での津波高さの関係

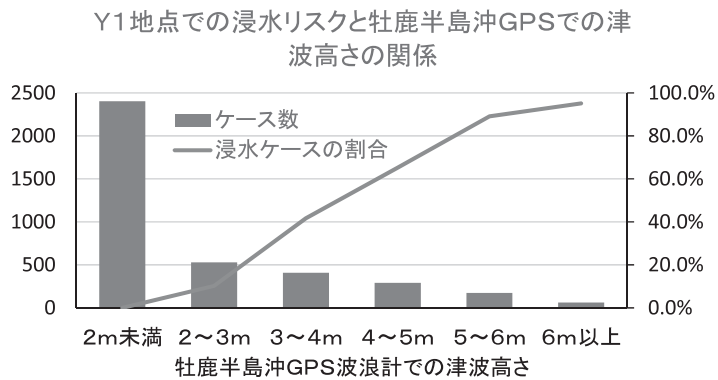


図7 牡鹿半島沖GPS波浪計での津波高さとしてY1地点での津波浸水の割合の関係

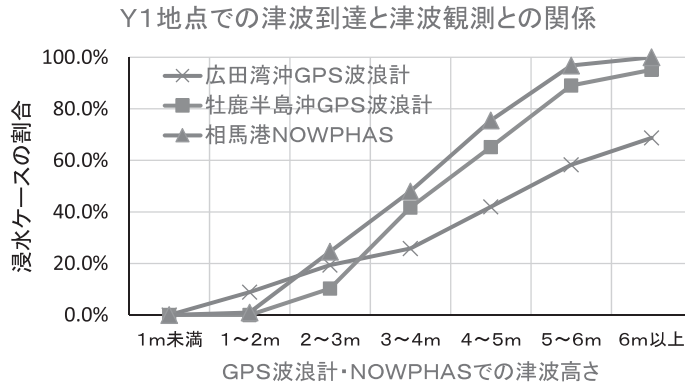


図 8 津波観測場所と Y1 地点での津波浸水の割合の関係

次に、津波到達時間の分析結果を図 9 に示す。一般的に津波の速度は水深によって決まるとされているため、浸水深が大きくなる津波は早く到達する可能性があると考え、浸水深と到達時間の関係を図示したものである。図 9 では、浸水深が小さい場合ほど到達時間が遅くなるが、浸水深が大きくなった場合でも到達時間は極端に早くならず収束してゆく様子が伺える。なお、Y1 地点に津波が到達するケースの中で到達時間が最短となるものは 3803 秒である。この数値は津波発生時刻を起点としているため、津波発生時刻を 14 時 47 分と設定すると津波浸水予測データ

ベースに基づく最短津波到達時間は 15 時 50 分となる。産経ニュースによると、津波到達時刻は 15 時 52 分頃とされており、津波到達時刻についても津波からの避難に有益な情報を提供できたと考えられる。

東北太平洋沖地震においては、広田半島沖 GPS 波浪計で 6m の津波が観測されていることが 15 時 25 分に気象庁より発表されており、津波浸水予測データベースの分析によって予め避難判断の閾値を決めておけば、気象庁から発表される津波観測情報をもとに津波来襲を判断できたと思われる。

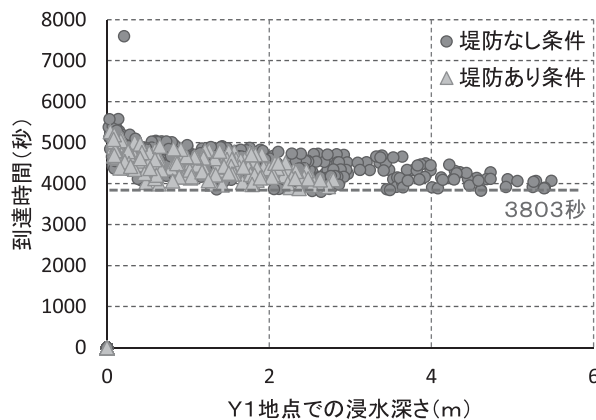


図 9 Y1 地点での津波の浸水深さと到達時間の関係

4.2. 名取市での検討

名取市の事例として図10に示すY3地点について検討を行った。山元町での事例と同様に、Y3地点での津波浸水深さとGPS波浪計での津波高さの関係を図11および図12に示した。これらのデータから避難判断の閾値は「牡鹿半島沖GPS波浪計で0.5m」「広田湾沖GPS波浪計で0.8m」となる。なお、避難判断の閾値を「堤防あり」の条件と設定した場合は、それぞれの閾値は「牡鹿半島沖GPS波浪計で1.7m」「広田湾沖GPS波浪計で1.1m」である。

津波到達時間の分析結果については図13に示した。Y3地点に津波が到達するケースの中で到達時間が最短となるものは3914秒である。この数値は津波発生時刻を起点としているため、津波発生時刻を14時47分と設定すると津波浸水予測データベースに基づく最短津波到達時間は15時52分となる。名取市の第三者委員会報告書によると、津波到達時刻は15時55分～56分頃とされており、津波到達時刻についても津波からの避難に有益な情報を提供できたと考えられる。

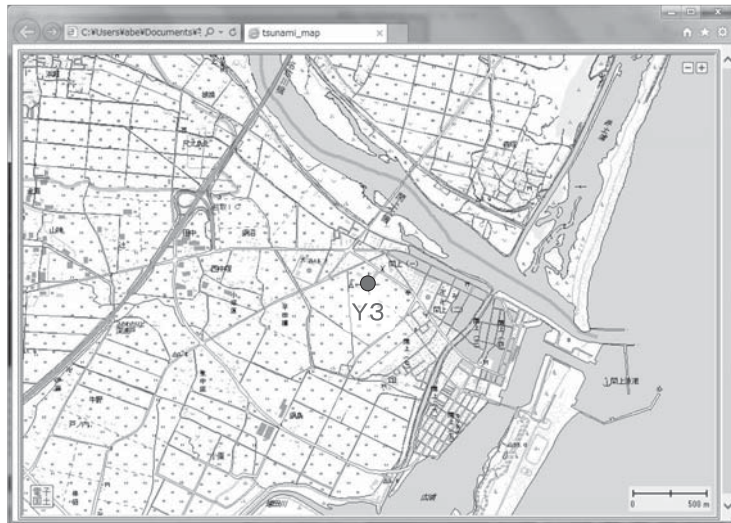


図10 名取市での検討対象地点

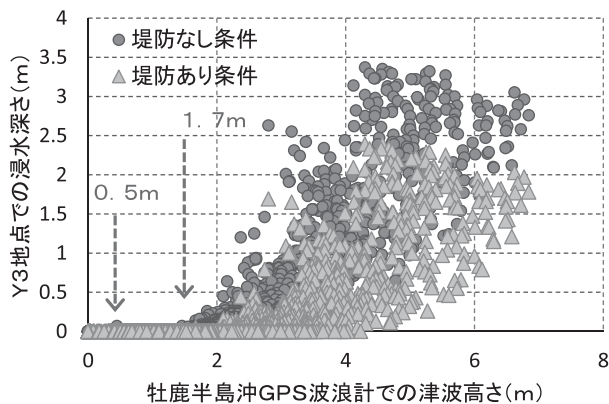


図11 Y3地点と牡鹿半島沖GPS波浪計での津波高さの関係

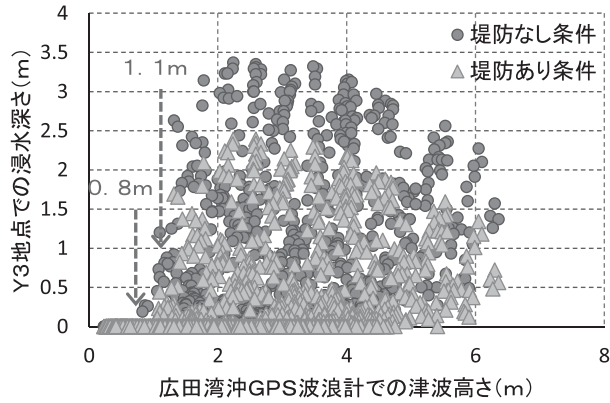


図 12 Y3 地点と広田湾沖 GPS 波浪計での津波高さの関係

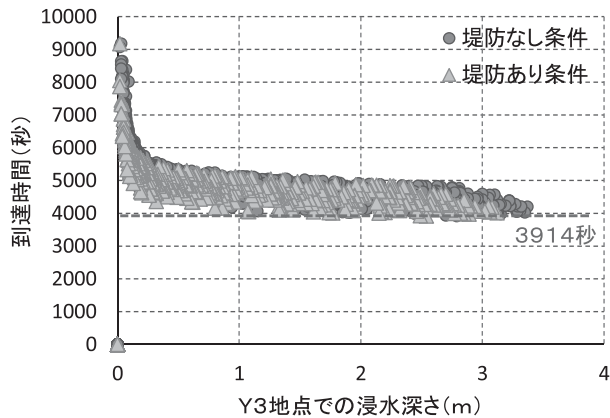


図 13 Y3 地点での津波の浸水深さと到達時間の関係

4.3. 東松島市での検討

東松島市の事例として図 14 に示す N1 地点について検討を行った。N1 地点では避難者を屋内体育館へ誘導したことをめぐり訴訟が行われた。これまでの事例と同様に、N1 地点での津波浸水深さと GPS 波浪計での津波高さの関係を図 15 および図 16 に示した。これらのデータから避難判断の閾値は「牡鹿半島沖 GPS 波浪計で 2.6m」「広田湾沖 GPS 波浪計で 1.3m」となる。なお、避難判断の閾値を「堤防あり」の条件と設定した場合は、それぞれの閾値は「牡鹿半島沖 GPS 波浪計で 4.3m」「広田湾沖 GPS 波浪計で 2.2m」で

ある。

津波到達時間の分析結果については図 17 に示した。N1 地点に津波が到達するケースの中で到達時間が最短となるものは 3681 秒である。この数値は津波発生時刻を起点としているため、津波発生時刻を 14 時 47 分と設定すると津波浸水予測データベースに基づく最短津波到達時間は 15 時 48 分となる。中央防災会議の津波対策推進会議での資料によると、N1 地点での津波到達時刻は 15 時 52 分頃とされており、津波到達時刻についても津波からの避難に有益な情報を提供できたと考えられる。

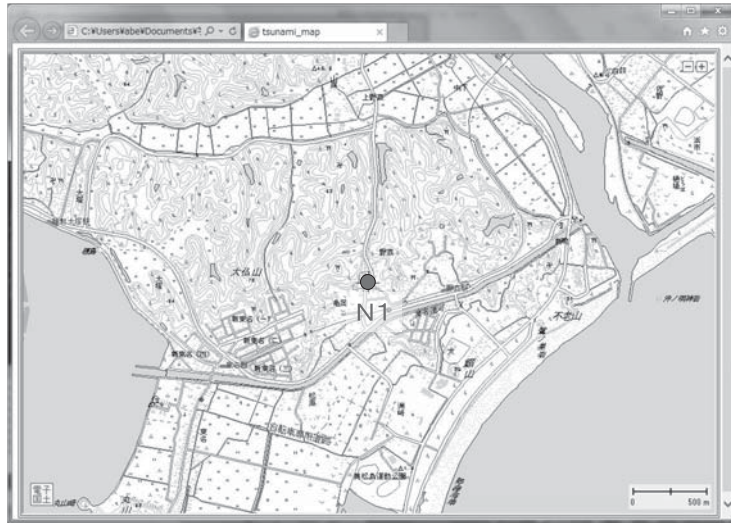


図 14 東松島市での検討対象地点

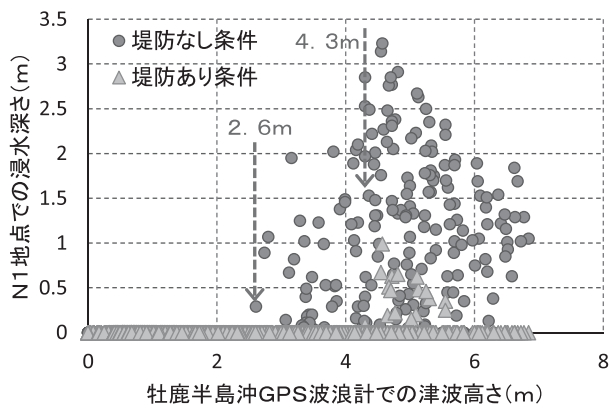


図 15 N1 点と牡鹿半島沖 GPS 波浪計での津波高さの関係

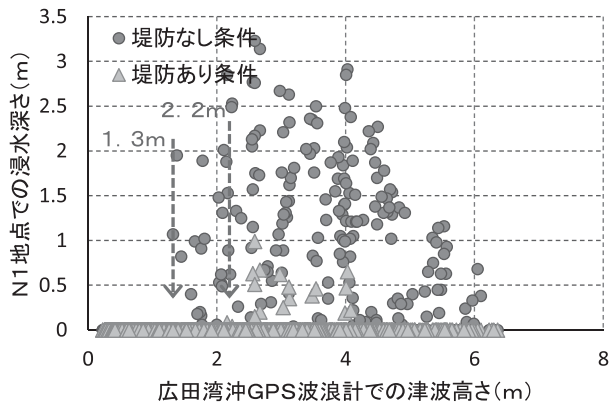


図 16 N1 地点と広田湾沖 GPS 波浪計での津波高さの関係

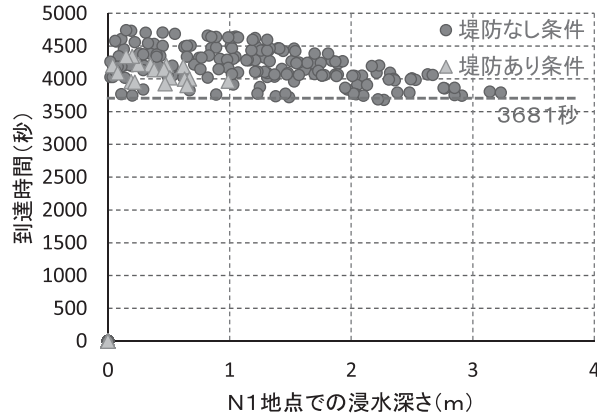


図 17 N1 地点での津波の浸水深さと到達時間の関係

4.4. 南三陸町での検討

南三陸町の事例として図 18 に示す S1 地点について検討を行った。S1 地点は職員の高台への避難判断をめぐって訴訟が行われた場所である。これまでの事例と同様に、S1 地点での津波浸水深さと GPS 波浪計での津波高さの関係を図 19 に示した。堤防なしの条件では、広田湾沖 GPS 波浪計での津波高さが 0m 付近でも S1 地点が浸水するケースが存在するが、これは今回の研究では GPS 波浪計での津波高さを初期水位からの上昇量として扱っているためである。これらのケースは GPS 波浪計が波源域の中に含まれているため、初期水位が最大となるケースである。しかし、これらのケースを除外して考えても堤防なしの条件では、広田湾沖 GPS 津波計での津波高さが 0.5m より小さい段階でも多くの浸水ケースが生じることが分かる。一方、堤防ありの条件での避難判断の閾値は「広田湾沖 GPS 波浪計で 0.5m」となる。

また、S1 地点では避難場所とされた建屋の屋上を超える大津波が襲来したことで多くの犠牲者が生じているため浸水深さについても言及したいと考える。S1 地点での浸水深は東京大学生産技術研究所の中埜研究室の報告書によると 12.2m とされている。東日本大震災前に構築されていたデータベースは地震

の規模が M8.4 までの設定であったため、それらのデータからは浸水深さが 12m を超える値は得られない。ただし、図 19 に示すように広田湾沖 GPS 波浪計での津波高さが 4m 程度の場合でも 10m 前後の浸水となるケースが存在する。そこで、おおよその上限と下限を取り、この幅を津波来襲状況の不確実性がもたらす範囲と考え、広田湾沖 GPS 波浪計での津波高さ 5.7m から浸水深さの範囲を推定すると S1 地点での最大浸水深さは 13m 程度になる。

津波到達時間の分析結果については図 20 に示した。S1 地点に津波が到達するケースの中で到達時間が最短となるものは 1132 秒である。この数値は津波発生時刻を起点としているため、津波発生時刻を 14 時 47 分と設定すると津波浸水予測データベースに基づく最短津波到達時間は 15 時 05 分となる。朝日新聞デジタルによると、S1 地点で屋上を超える巨大な津波が来襲した状況が撮影された時刻が 15 時 34 分頃であったとの報告もあり、14 時 47 分を起点と考えると 2820 秒経過していることとなる。図 20 で示した津波到達時間は 2000 ～ 3000 秒の範囲内に多くのケースが分布しており、巨大な津波が撮影された時刻も範囲内に含まれている。

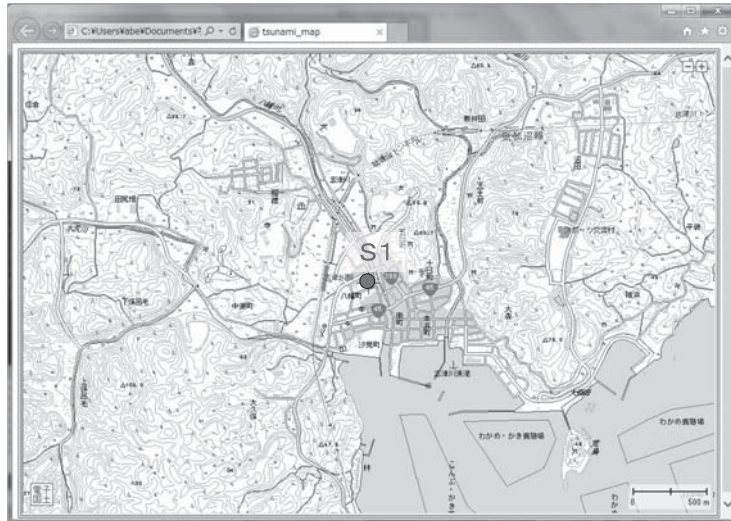


図 18 南三陸町での検討対象地点

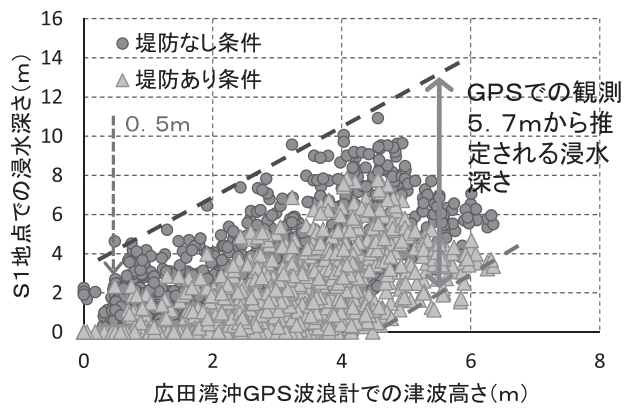


図 19 S1 地点と広田湾沖 GPS 波浪計での津波高さの関係

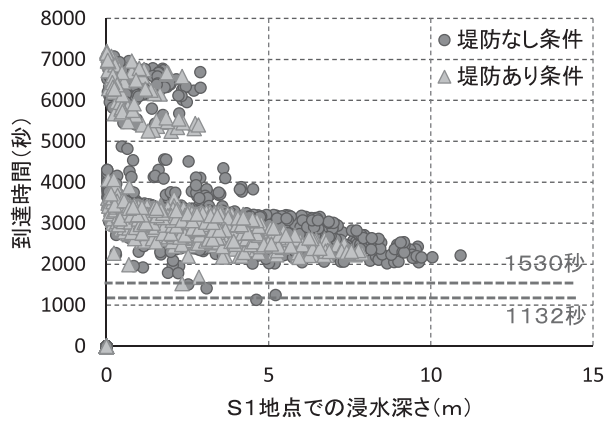


図 20 S1 地点での津波の浸水深さと到達時間の関係

4.5. 気仙沼市での検討

気仙沼市の事例として図 21 に示す K1 地点について検討を行った。K1 地点は市が指定する一時避難場所となっていたが避難した人のおよそ 60 名が犠牲となったことが NHK により報道されている。その他の事例と同様に、K1 地点での津波浸水深さと GPS 波浪計での津波高さの関係を図 22 に示した。これらのデータから避難判断の閾値は「広田湾沖 GPS 波浪計で 4.9m」となる。なお、K1 地区においては堤防あり・なしの条件の違いに係

らずその値は「広田湾沖 GPS 波浪計で 4.9m」である。これは K1 地点の特徴を示していると考えられる。

津波到達時間の分析結果については図 23 に示した。K1 地点に津波が到達するケースの中で到達時間が最短となるものは 2424 秒である。この数値は津波発生時刻を起点としているため、津波発生時刻を 14 時 47 分と設定すると津波浸水予測データベースに基づく最短津波到達時間は 15 時 27 分となる。



図 21 気仙沼市での検討対象地点

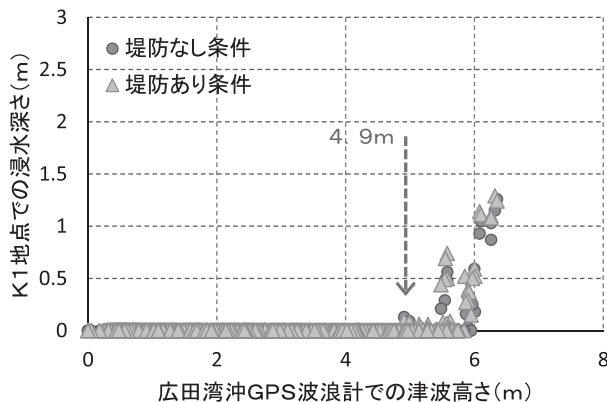


図 22 K1 地点と広田湾沖 GPS 波浪計での津波高さの関係

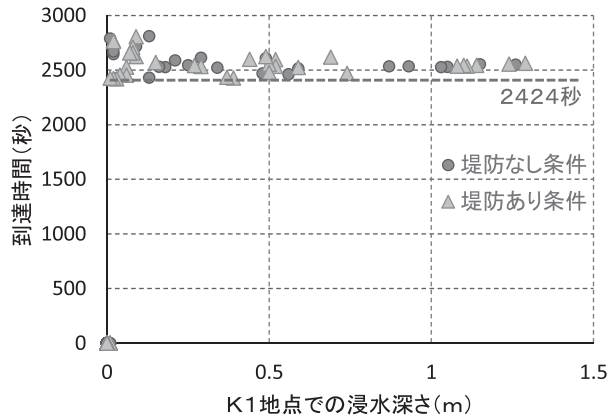


図 23 K1 地点での津波の浸水深さと到達時間の関係

5. まとめ

今回の研究では、東日本大震災発生前に構築していた津波浸水予測データベースを利用し、津波観測情報が避難判断の材料となり得る情報であるかという点について、東日本大震災のいくつかの被災地に着目した分析を行った結果を報告した。

津波の来襲状況は地域ごとによって大きく違ってくるのが考えられ、また GPS 波浪計による沖合津波観測も、地域ごとの予測に最適な場所で行われているとは言い切れない。このような不確実性の高い状況であるものの、津波浸水予測データベースを分析し、津波が来襲する可能性と津波観測情報の対応付けを整理しておくことにより避難判断に役立つ情報を提供できる可能性があることを示すことができた。津波観測情報であれば、音声や文字として伝達可能であるため、ラジオ、テレビ、防災無線、エリアメール、Twitter などの様々な情報伝達手段を利用することができるため多くの場所や状況下においても避難判断の材料となる情報を提供することが可能である。

東日本大震災以降、地震や津波の規模を引き上げた様々な想定が行われており、それらの引き上げられた想定に基づくハザードマップや避難計画などが作成されているが、それらの多くは限定された条件で検討が行われて

いるのが実態である。今回の研究で示したように津波の来襲状況は僅かな条件の変化で大きく変わるものであり、東日本大震災の悲劇を繰り返さないためにも、これまで行われているような防災教育や防災計画づくりだけではなく、地域ごとに津波観測情報に対応した計画づくりを進める必要があると考える。

謝辞：

津波浸水予測データベースの構築においては、東北における津波防災情報連絡協議会の関係者から多くのご支援を頂いている。ここに記して厚く御礼申し上げる

参考文献

- 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 卷 (2), pp.376-380.
- 東京大学 生産技術研究所 中埜研究室 (2014) : 津波避難施設の建設に資する情報収集を目的とした東日本大震災被災地調査報告書, Ver. 1.0, p.40.
- 中央防災会議 (2012) : 津波からできるだけ短時間で円滑に避難できる方策, 防災対策

推進会議, 津波避難対策検討ワーキンググループ第 6 回会合, 参考資料 3
産経ニュース, <http://www.sankei.com/region/news/150126/rgn1501260010-n1.html>
(2015.1.26 掲載)
三陸河北新報社, <http://ishinomaki.kahoku.co.jp/news/2014/02/20140214t13009.htm>
(2014.2.14 掲載)

朝日新聞デジタル, <http://www.asahi.com/special/10005/TKY201105210191.html>
(2011.5.11 掲載)
NHK 東日本大震災アーカイブス, <http://www9.nhk.or.jp/311shogen/link/program1.html>