

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：82102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25870380

研究課題名(和文)大規模数値実験による西日本海域の津波伝播特性に関する研究

研究課題名(英文)A Study on the Tsunami Propagation Characteristics of West Japan using Numerical Simulations

研究代表者

鈴木 進吾 (Suzuki, Shingo)

国立研究開発法人防災科学技術研究所・レジリエント防災・減災研究推進センター・主幹研究員

研究者番号：30443568

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：想定を大幅に超える津波の発生は甚大な人的被害を発生させる。次にどのような津波が発生するかを一意に決められない現状では、様々な津波の発生を想定してその結果として得られる脆弱性を勘案して防災計画を立てる必要がある。本研究では、西日本の沿岸域を対象として、多数の津波遡上を数値解析によって計算し、その結果をデータベース化して、各沿岸域の津波脆弱性を可視化した。またこれを使って避難計画などに資する情報を提供するための仕組みを検討した。

研究成果の概要(英文)：Huge tsunami which considerably exceeds predicted or assumed level causes serious damages to human lives. Under the condition that we cannot predict the level of next event surely, we should analyze vulnerability of coastal area based on many simulation results in order to establish evacuation plan. In this study, we conducted a lot of tsunami numerical simulations and visualize the tsunami inundation vulnerability at west coast of Japan based on the results of numerical simulations. And we developed a system to provide the information for evacuation planning using GIS servers.

研究分野：津波防災工学

キーワード：津波 数値解析 防災計画

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 平成 23 年東北地方太平洋沖地震津波は、従前から想定していた津波の高さを大幅に超えるものとなった。1 つないし数個の想定に基づいて作られたハザードマップでは、それを超える津波の発生には住民にとって安心情報となっていたきらいがあり、地域に来る津波の特徴を的確に教えて逃げ方を考えてもらう情報にはなっていなかった。このことから津波の想定情報の内容や提供方法を検討する必要があると考えられた。

(2) 次に発生する地震や津波がどのような規模になるか、次にどのような特性を持った津波が発生するかは一意に決められない不確実性がある。そのような不確実性がある状況においても、しかるべき対策を進めるための方法を研究する必要がある。とくに 1 つの想定にのみこだわってはいけないということが東日本大震災を経験した大きな教訓となっている。しかしながら、南海トラフ巨大地震の想定に関しては、依然として最大クラスの津波という固定された想定にこだわっており、小さいケースも含めて津波が浸水しやすい場所や、不確実性をどのように住民に理解してもらい、どのようによりよく避難を考えてもらうか、その情報がどのようなものかを明らかにする必要がある。

### 2. 研究の目的

(1) 地域の被害を効果的に軽減するための津波想定への補足情報として、想定されている以外の津波波源の発生ケースもできるだけ多く考えて数値実験を行い、地域内のどの場所が津波の時に危ないのか、どのように逃げるのがいいのかを考えられる情報を作成することを目指した。具体的には、どこでどのような地震が発生すれば、どの地域が危なくなるかを知ることができる、あるいは逆に、どの地域にとっては、どのような地震、どの海域でのどのくらいの規模の地震に注意すべきかを知ることができるような、西日本沿岸の津波伝播シミュレーションを行った結果のデータベースを作成し、充実させることで知見としての津波計算結果を集積していくことができるようなものとするを目的とした。

(2) しかしながら、上記のようなデータベース等を作成しても、それが専門的な知識を相当必要としたり、分かりづらかったりすると、住民に伝わらなくなり、住民の避難に役立つ情報とはならない。この点に注意を払いつつ、住民の避難に役立つツールを開発することを 2 つ目の目的とした。住民が思い立った時に、すぐに津波の想定を見られるよう、ウェブ等を用いて簡単な操作で情報を提供できるようにすること、自分で色々と想定を変更してみて、来襲する津波がどのようになるかを変更してみることができると津波の

特性などの教育にもつなげるようにすることなど、住民が津波をどのように捉えているのかを明らかにしながら機能要件を設定し、データベースの情報をわかりやすく伝えられるシステムを作成する。また、津波の人的被害軽減につながる避難訓練をより効果的に行うために、想定から読み取る避難のための情報を如何に配信するかを検討し、想定をわかりやすく伝えるツールを開発する。

### 3. 研究の方法

(1) 様々な津波波源からの津波の数値計算を実施する。このために、1 回の津波の数値計算にかかる時間をできるだけ短縮する必要がある。中央演算処理装置 (CPU) を用いた計算では、詳細な遡上計算を行うのに数時間から 10 時間程度かかるため、大量の計算には向いていない。そこで既存の CPU 用の非線形長波理論を用いた津波数値解析コードをベースとして、画像処理装置 (GPU) を用いて計算を行うプログラムを作成する。

(2) 現在の南海トラフ巨大地震の想定としての 11 ケースの想定結果を整理し、現在の想定における、地域ごとの浸水域の不確実性を調べる。浸水域の各地点において 11 ケースの想定を用いて、そのうちの浸水するケース数、浸水到達時間の最短と最長の幅、浸水深の幅やばらつき、浸水面積などのその他の指標の幅をそれぞれの地域でまとめ、わかりやすく可視化する。

(3) 南海トラフのプレート境界面上にマグニチュードと位置をずらしながら断層を設定し、それぞれの断層による津波の高さや到達時間を津波数値計算により求める。そして、位置やマグニチュードと計算結果の関係を整理しデータベースを作成する。また、計算した全ケースのばらつき (浸水深、到達時刻など) を計算し、ばらつきの多い箇所や、マグニチュードが小さくても高い津波が来やすい地域、ある地域にとって特に注意すべき津波波源などを把握する。

(4) 上記で作成したデータベースを地理情報システム (GIS) を用いたデータベースとし、地図上での表示と、検索、簡単な分析計算操作ができるような仕組みを開発する。そして、この仕組みを用いて、ユーザーがウェブブラウザを用いて計算結果を閲覧できるウェブサイトのプロトタイプを構築する。

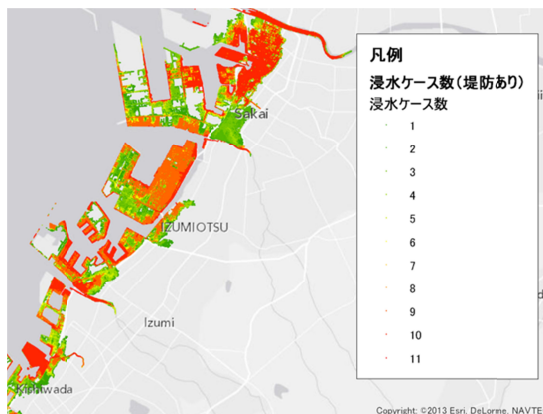
(5) 現状では地域の津波避難訓練と想定は直接リンクしていないことが多い。そこで、地域において、住民等がより津波浸水想定に基づいて想定を学びながら、理解しながら、津波避難訓練等を行えるよう、浸水想定情報を上記のシステムを用いてスマートフォン等の個人用デバイスに配信し、わかりやすく見せて避難訓練を高度化するための仕組みを

検討する。

#### 4. 研究成果

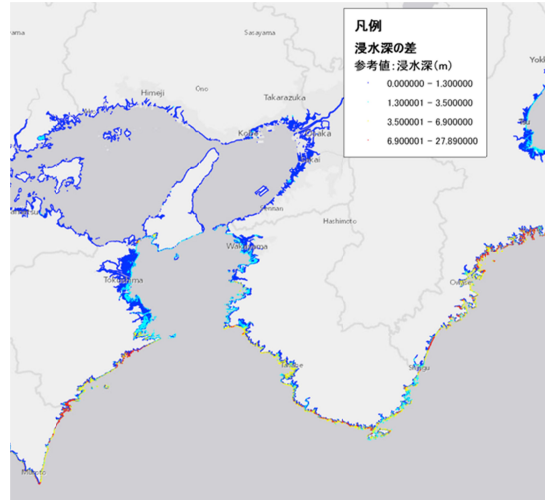
(1) 様々な津波波源からの津波の数値計算を実施するために、一般的な平面二次元非線形長波理論をスタッガード・リーブフロッグ法で差分化し津波遡上を計算するコードを画像処理装置(GPU)を用いて計算できるようにした。GPUを用いた計算コードでは通常CPUで行う空間格子1つずつの繰り返し計算を多数のコアを有するGPUの演算コアに割り当てて計算を行う。GPUのそれぞれのスレッドが連続的にメモリにアクセスできるようにし、また、ダイバーシティ分岐をできるだけ少なくすることにより、高速化を実現した。これにより、最小10mメッシュの空間格子で、地震発生後6時間をシミュレートする場合、これまでCPUでは10時間程度かかっていた計算が30分程度に短縮されるなど20倍程度の高速化ができた。地域の津波遡上を計算する場合には最小格子を細かくとる必要があるが、そうすることによって計算負荷が大きくなる。今後、1ケースあたりの計算時間をいかに短縮できるかが、膨大なケースを計算して、地域に到達する津波の特性を活かした防災計画を作成するためには重要となる。

(2) 地域に到達する津波の不確定性は現在の南海トラフ巨大地震の想定にも存在する。南海トラフ巨大地震の想定では11ケース想定されており、どのケースでどのくらい浸水するかは変わってくる。そこでまずこの11ケースについて津波浸水計算を実施し結果を整理した。その結果下図のようにほとんどのケースで浸水する地域、数ケースでのみ浸水する地域などがパッチ状に存在することがわかった。これは地域の脆弱性を示しており、確実に浸水する地域、浸水する可能性のある地域をゾーニングしてそれぞれ対策を行う必要があることを示している。

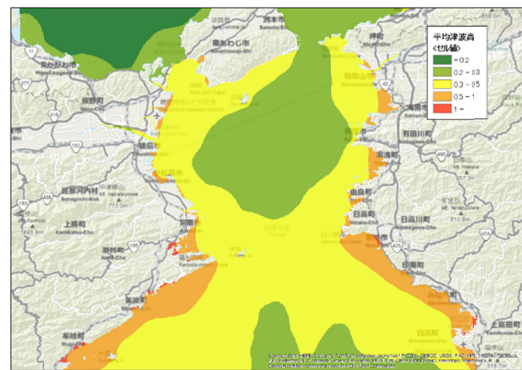


また、11ケースでどのくらい浸水深が異なるかを計算した結果、次の図のように、太平洋側で大きく異なる地域があることがわかった。太平洋側の地域では巨大な津波の想定に諦めることなく、中規模程度の津波が発生した時に確実に逃げられるようにしておく

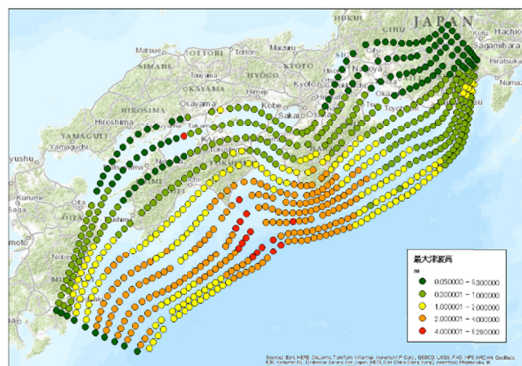
必要がある。



(3) 南海トラフのプレート境界面上にマグニチュードと位置をずらしながら断層を設定し、それぞれの断層による津波の高さや到達時間を津波数値計算により求めた。プレート境界面の形状は政府の南海トラフ巨大地震の想定モデルを基本とした。そして、位置を一定距離ごとに走行方向と傾斜方向にずらして設定し、マグニチュードについては0.2刻みで設定した。これによって作成された2000ケースの断層モデルについて最小格子を90mとした津波伝播計算を実施し、その結果と断層モデルを関係づけたデータベースを作成した。下図はマグニチュード8.4の地震が発生する場合、多数の波源が考えられる中での各地の平均の津波高を示しており、津波が高くなりやすい場所を示している。

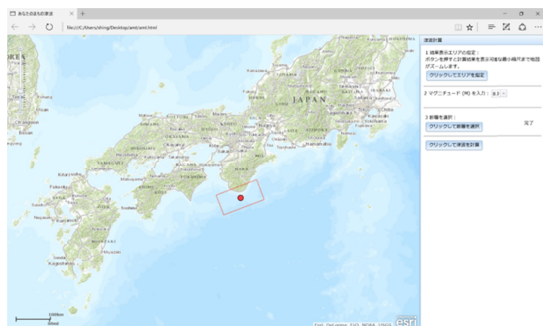


また、マグニチュードが8.0の場合、紀伊水道沿岸地域で津波が高くなりやすい波源の位置をプロットしたものが上図になる。こ

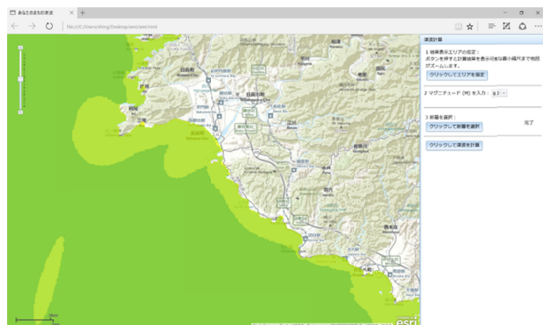


の図を見ると、室戸岬沖で発生する津波、紀伊半島沖で発生する津波が紀伊水道沿岸においては高くなる傾向があることがわかる。

(4) 上記で作成したデータベースを地理情報システム(GIS)を用いたデータベースとし、地図上での表示と、検索、簡単な分析計算操作ができるような仕組みを開発した。この仕組みは GIS データをウェブサービスとして公開するマップサービスと、そのウェブサービスとして公開されたデータを用いて空間情報処理を行うジオプロセッシングサービスを組み合わせるものである。今回は多数の計算結果として得られている津波高分布と浸水深分布、到達時間分布をマップサービスとして公開した。また、膨大な計算ケースからユーザーが必要になるケースを検索処理するジオプロセッシングサービスを公開した。この仕組みを用いて、ユーザーがウェブブラウザを用いて、自分の関心とする地域を指定し、マグニチュードと地震発生場所を指定すると、即時に計算結果を閲覧できるウェブサイトのプロトタイプを構築した。下図がそのウェブサイトの画面で、ユーザーが南海トラフ上で地震発生点をクリックするとそれに近い断層モデルが選択されるようになっている。



また、下図は結果を表示させた画面である。膨大な断層群から瞬時に結果を表示させることが可能となっている。



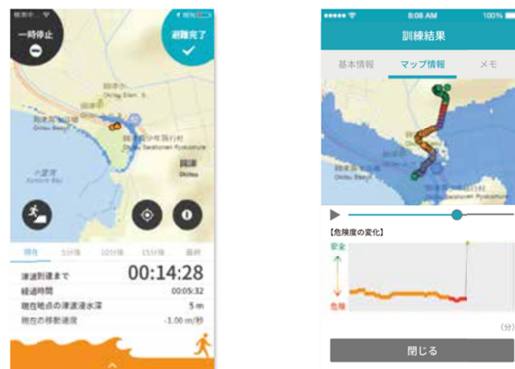
このようなシステムを作ることにより、ユーザーは、どこで、どのような津波が発生すると自分の地域で津波が大きくなりやすいかを実際に操作しながら学ぶことができ、津波の伝播特性を含めた地域の脆弱性をよりよく知ることができる機会が生まれる。

津波のイメージを固定化してしまうことで、避難が妨げられる場合もある。様々な津波の起こり方や特性を理解するツールを用

いて防災教育を行っていくことが重要であると考えられる。

(5) 現状では地域の津波避難訓練と想定は直接リンクしていないことが多い。いくら想定を行っても、その結果が直接、避難につながるなければ人的被害の軽減につながらない。避難につなげるためには地域が定期的に行っている津波避難訓練で、津波の地域における遡上特性(どこから浸水し始めるか、どこが危ないか)などを知り、どこにいた場合、どのルートで、どこに逃げるべきかを想定や伝播特性と照らし合わせながら確認しておくべきだろう。

そこで、地域において、住民等がより津波浸水想定に基づいて想定を学びながら、理解しながら、津波避難訓練等を行えるよう、浸水想定情報を上記のシステムを用いてスマートフォン等の個人用デバイスに配信し、わかりやすく見せながら、避難訓練を高度化するためのアプリを検討した。個人用デバイスには、上記(4)で構築したサービスから訓練実行時に逐次浸水想定情報が送られる。ユーザーは個人用デバイス上に表示された地図で現在位置を確認し、さらに、現在の津波浸水範囲がどこまで来ているかを確認し、さらに10分後や15分後の津波浸水範囲がどうなるかを確認し、津波の遡上の挙動を確認しながらどのルートで逃げるかを学びながら避難訓練を行うことができるようになった。下図はアプリの画面スナップショットである。



このアプリは「逃げトレ」という名称で、研究中盤より、内閣府の戦略的イノベーション創造プロジェクトにおける研究開発として拡大し、進化を続けている。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

鈴木進吾, 河田恵昭, 高橋智幸: 縄文時代早期の大阪湾とその周辺陸域における津波解析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 69(2), pp.1346-1350, 2013.

Shingo Suzuki, Haruo Hayashi, Masafumi Hosokawa, Development of Urban Resilience GeoPortal Online for the Better

Understanding of Disaster Scenarios,  
Journal of Disaster Research, Vol.9, No.2,  
pp.128-138, 2014

6 . 研究組織

(1)研究代表者

鈴木 進吾 (SUZUKI, Shingo)

国立研究開発法人 防災科学技術研究  
所・レジリエント防災・減災研究推進セン  
ター・主幹研究員

研究者番号：30443568