

2016年の福島県沖地震での津波予報と伊豆における課題の検討

Investigation about Tsunami warning of the 2016 Fukushima earthquake and the issue in Izu

阿部 郁男¹
Ikuo ABE¹

¹ 常葉大学大学院環境防災研究科

Graduate School of Environment and Disaster Research, Tokoha University

At the 2016 Fukushima earthquake, the tsunami advisory was changed to a tsunami warning two hours after the earthquake occurred. Accuracy of the tsunami forecast is an important issue as the countermeasures for each region changes depending on whether it is an advisory or a warning. Recently, as computer performance has improved, the accuracy of the tsunami forecast may also be improved. Therefore, I investigated the possibility that a tsunami warning will be issued in this earthquake. As a result, I showed that the tsunami warning could have been issued earlier than the warning level tsunami observation. Furthermore, I investigated about Izu, and I also showed that similar situations might occur in Izu.

Key Words : 2016 Fukushima earthquake, tsunami warning, tsunami simulation, Izu

1. はじめに

2016年11月22日に福島県沖を震源とするマグニチュード7.3(速報値)の地震が発生し、それに伴い津波警報および注意報が東北地方の大平洋沿岸などに発表された。この地震の際、宮城県に発表されていた津波注意報が、地震発生約2時間後に警報に切り上げられたことが大きく報道されていた。津波注意報が警報により自治体の対応が変わる場合があり、すでに津波が到達している状況で警報に切り上げられたことについての問題点を指摘する報道が見られた。しかし、震源情報に基づく初期の津波予測には精度上の限界があり、その後の津波観測によって津波警報等の見直しが行われることは気象庁のホームページ上¹⁾にも公表されていることである。このような状況を踏まえ、本研究では福島県沖地震による津波の波源モデルを解析し、仙台港で警報クラスの津波到達が観測されるまでの間の警報発表の可能性について検討することとした。さらに、同様の事案がほかにも発生する可能性があると思われるので、伊豆半島東岸(相模湾西部)に着目した分析を試みた。

震源分布図を作成し、断層のサイズや配置を試行錯誤しながら小名浜沖 GPS 波浪計での観測データに最も近い計算結果が得られた地震断層パラメータを表1のように得ることができた。また、11月22日に発生した震源の分布と、今回の検討で求められた断層の配置を図1に示した。小名浜沖 GPS 波浪計では地震発生20分後に-0.1m、26分後に+0.2mを僅かに超える津波が観測されており³⁾、今回の解析結果として第一波の引きのピークが19分後、+0.2mのピークを26分後とする断層モデルを求めることができた。図1に示すように断層のサイズが余震分布より小さいものが求められているが、断層サイズを大きくした場合には、第一波の引きと押しの時間差が大きくなるため、図1に示したケースが最適であると考えた。

表1 断層パラメータ

断層原点	37.3749/141.6871	上端深さ	11.5km
断層長さ	20.0km	断層幅	6.0km
走向	228	傾斜角	25
すべり角	-93	すべり量	10.0m

2. 2011年11月22日の福島県沖地震津波の解析

福島県沖地震による津波の数値解析を最詳細150mメッシュの地形データを用いて行った。堤防等は震災などで大きく被災したことにより多くの場所で再建中であり、現況のデータは入手できなかったため堤防等の構造物はすべて取り除いた条件で数値解析を行い、構造物等の影響を受けない小名浜沖 GPS 波浪計で観測された水位変動を再現できることを第一目標に設定し、小名浜港、相馬港、仙台港において津波到達時間と規模が大よそ合うように断層パラメータの設定を試行錯誤しながら合計44ケースの数値解析を行った。走向、傾斜角、すべり角についてはUSGSの解析結果をベースとし、気象庁の震源リスト²⁾より同日(11月22日)に福島県沖で発生した25kmより震源が浅いすべての地震344個について



図1 11月22日の地震の震源分布と断層配置

表 1 に示すケースによって仙台港での水位変化を算出したところ図 2 に示すように第一波の到達時間および後続波の方が大きくなる特徴を確認することができた。なお、図 2 は気象庁の資料³⁾に計算結果を加筆して作成した。

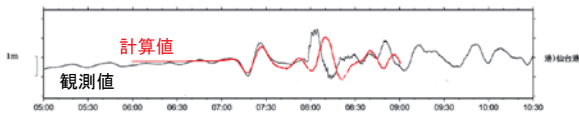


図 2 仙台港での津波観測データと計算値との比較

3. 福島県沖地震における津波予測の可能性

仙台港で警報レベルの津波が観測されたのは地震発生 2 時間後である。近年、計算機の性能向上により津波伝播計算を短時間で行うことが可能となっている。そこで、地震発生直後に得られる震源情報を活用して仙台港へ警報レベルの津波が来襲することを津波到達前に予測できなかったのかについて検証を行うこととした。

基本的な地震断層パラメータとして地震のスケール則⁴⁾を適用し、震源情報のマグニチュードから断層のサイズとすべり量を求めた。図 3 に示すように震源を断層中央に配置し、マグニチュード 7.3 のスケール則から断層長 56km、断層幅 28km、すべり量 2.8m と設定した。また、走向は 195 度と、USGS の解析値に近い 225 度を設定し、最詳細 150m メッシュの非線形計算により 3 時間の津波伝播状況を解析した。その結果、図 4 に示すように仙台港、牡鹿半島周辺で警報レベルとなる 1m を超える津波到達を算出することができた。また、気象庁の津波警報システムは沖合予測点からグリーンの法則により沿岸での津波高を予測している。この沖合予測点の詳細な位置情報は公開されていないため、今回の解析で用いた 450m メッシュの全メッシュでの津波高からグリーン法則を利用して沿岸での津波高を予測する方法についても分析を行った。その結果、図 5 に示すように、450m メッシュのほとんど全てのメッシュにおいて海岸での津波高を 1.5~2.0m と予測可能であることが分かった。なお、これらの解析には表 2 に示すようなコンパクトな構成の安価な PC を利用している。そのような計算環境でも 150m メッシュでの解析には 29 分、450m メッシュでの解析は 2 分で計算を完了することが可能である。つまり、震源情報からスケール則によって断層パラメータを求めて津波伝播解析を行った場合でも、グリーン法則を利用した場合でも宮城県に警報レベルの津波が到達することは仙台港で津波警報レベルの津波が観測される前に予測できたのではないかと考えられる。

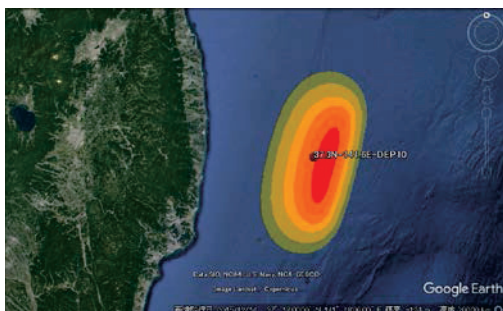


図 3 震源情報からスケール則により推定した断層配置

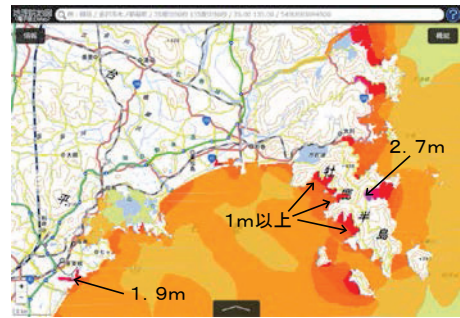


図 4 走向 195 度のケースでの最大津波高の分布



図 5 グリーンの法則により求められる海岸での津波高

表 2 解析に利用した計算環境

CPU	Core i7-4785T(2.20GHz)
メモリ	16GB
コンパイラ	Intel Fortran version 12.1.0
コンパイルオプション	-O3 -i-static

4. 伊豆半島東部における課題の検討

今回の福島県沖地震による津波では警報レベルの津波が観測されたことにより津波注意報が警報に切り上げられている。津波注意報なのか警報なのかにより地域の対応が変わる可能性があるため津波予報の精度向上とともにその限界を把握することは重要な課題であり、津波伝播の指向性や験潮所との位置関係から今回の福島県沖地震と同じような事案が他地域でも生じうる可能性があるのではないかと考えた。

そこで伊豆半島東部に着目して検討を行うこととした。伊豆半島東部が面する相模湾には伊豆半島前面の相模湾西部に断層運動による変異があるとされており⁵⁾、この相模湾西部で発生した津波の波源モデルも推定され⁶⁾、約 73 年の繰り返し間隔と 1923 年の関東地震でも活動した可能性が指摘されている。すでに 94 年が経つため警戒が必要な場所ではないかと考えられる。中央防災会議⁷⁾においても西相模灘として Mw=7.3 の地震が想定されているが、横ずれ型であるとの見解から津波の評価は行われていない。

今回の検討では相模湾西部の海底地形の変異が見られる場所に断層を設定し、相田のモデルを参考とした表 3 に示す断層条件を設定した。

表 3 断層パラメータ

断層原点	35.0748/139.2640	上端深さ	2.0km
断層長さ	12.0km	断層幅	8.0km
走向	197	傾斜角	80
すべり角	90	すべり量	4.0m

なお、表 3 で示すパラメータでは剛性率を 30GPa とすると $M_w=6.6$ となる。気象庁の津波予報に採用されているスケーリング則よりは断層サイズを小さく、すべり量を大きく設定しているが、福島県沖地震でも求められた断層のすべり量はスケーリング則よりも大きくなっている点および今回の検討のベースとした相田のモデルでは 4m 以上のすべり量が求められている点などを考慮して断層条件の設定を行った。走向は海底地形の崖に沿って設定した。断層面を投影した位置を図 6 に示す。

以上のような断層条件での津波伝播解析を行い、伊豆半島東岸地域への津波来襲状況を分析した。図 6 には、伊豆半島東岸での地震発生後 1 時間以内の最大津波水位の分布も示した。

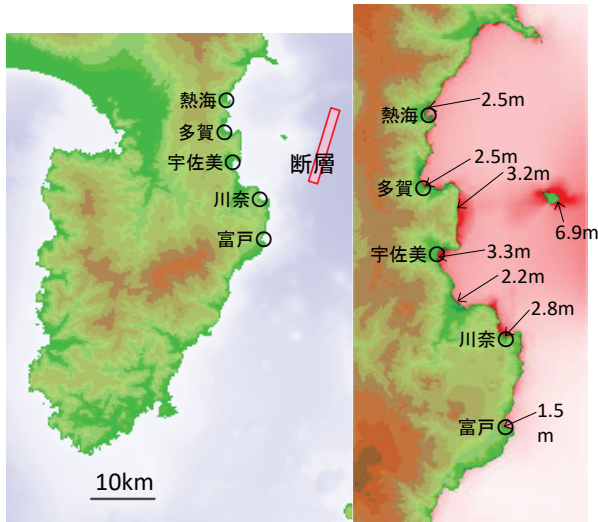


図 6 断層の配置と最大津波水位の分布

今回の検討対象地域では富戸に験潮所がある。図 7 に示すように富戸への第一波の到達は非常に小さく数 cm の変動から始まり約 9 分後に 40cm 程度となる。水位変動を繰り返しながら徐々に水位が高くなってゆくがしばらくの間は津波注意報に該当する 60cm 程度であり、42 分後に津波高さが 1m を超える。津波観測情報に基づいて津波警報への切り上げが行われるとすれば、このタイミングなると思われる。

しかし、図 6 に示すように伊豆半島東岸の各地には津波警報に相当する高さの津波が来襲する状況が算出されている。そこで、各地での津波水位の時間変化を図 8～図 11 に示した。熱海では地震発生後 5 分で水位が 1.0m、10 分で 1.8m となる。多賀、宇佐美も同様の傾向を示し、地震発生後 5～6 分で 1m、10～11 分で 2m を超える水位となる。川奈では 14 分後に 1.8m の水位となり、他の地点より最大水位の到達が少し遅れる傾向にあることが分かる。

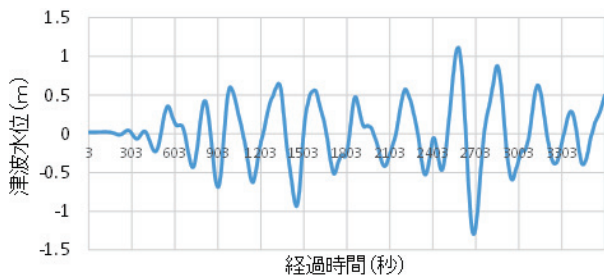


図 7 富戸（験潮所）での津波水位の変化

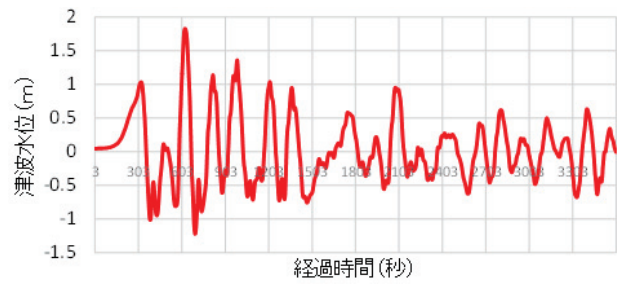


図 8 熱海での津波水位の変化

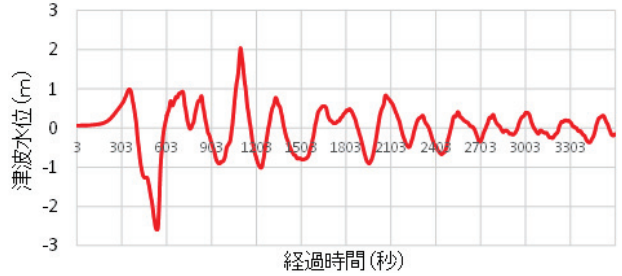


図 9 多賀での津波水位の変化

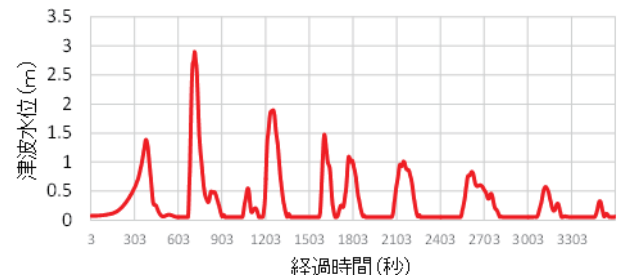


図 10 宇佐美での津波水位の変化

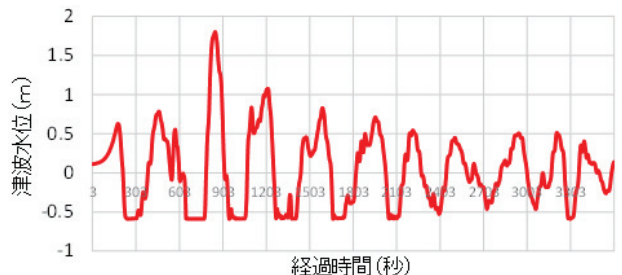


図 11 川奈での津波水位の変化

以上のように、今回の検討ケースでは験潮所がある富戸に警報レベルの津波が到達するより早く、各地域に警報レベルの津波が到達する状況が明らかとなった。これは断層パラメータの設定と大きく関係しているように思われる。図 6 に示すように今回設定した断層の長軸方向が富戸を向いており、短軸方向は熱海から川奈に向いている。断層の短軸方向に津波が強い指向性を持つことが知られているため富戸よりも熱海、多賀などの各地へ高い津波が到達することとなる。さらに図 12 に示したように初島で津波が回折することにより、初島の背後で津波が高くなる状況が明らかとなり、熱海、多賀、宇佐美、川奈、何れの地域でも後続波が最も高くなるのは初島による回折の影響である。このような特徴がある地域であることを理解した上で津波避難対策などを検討する必要がある。

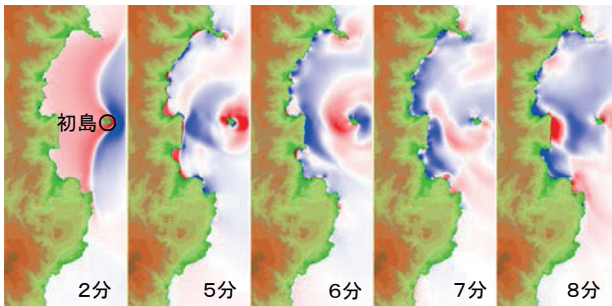


図 12 津波伝播の状況

5. まとめ

今回の検討では、2016年11月22日に発生した福島県沖地震に伴う津波について、小名浜沖に設置されたGPS波浪計による津波観測データと一致する津波波源のモデルを提案した。現況の地形や堤防等のデータがなかったため、仙台港や相馬港などで観測された津波水位の時間変化を完全に再現できるモデルには至っていないが、地震発生約2時間後に仙台港に到達する津波が津波警報に相当するレベルに達する状況であることは再現できた。また、今回の地震では、津波警報への切り上げが津波の観測後に行われているが、震源情報からスケーリング則を用いて地震断層パラメータを推定して津波伝播解析を行うことにより、安価なPCであっても津波到達前に警報レベルの津波が到達することを算出できることを示すことができた。さらに、同様の状況が伊豆半島東岸でも発生する可能性があると考えて津波伝播解析を行ったところ、験潮所のある富戸に警報レベルの津波が到達するより早く、熱海、多賀、宇佐美、川奈など多くの場所で地震発生の数分後には警報レベルの津波が到達する危険性があることを明らかにできた。これらの地域は海岸でのレジャー活動が盛んな場所であり、そのような特性がある地域であることを周知する必要があると考える。

参考文献

- 1) 気象庁：津波を予測する仕組み, <http://www.data.jma.go.jp/sv/d/eqev/data/tsunami/ryoteki.html> (参照 2017.04.17)
- 2) 気象庁：震源リスト, http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/daily_map/index.html (参照 2016.11.30)
- 3) 気象庁：「平成23年(2011年)東北太平洋沖地震」について(第79報)-平成28年11月22日05時59分頃の福島県沖の地震-,7p.,2016.
- 4) 林豊：津波予報への数値シミュレーション技術の活用, <http://www.metsoc.jp/kyoikuhukyu/resume/Hayashi.pdf> (参照 2016.12.19)
- 5) 泉 紀明, 西澤あずさ, 堀内大嗣, 木戸ゆかり, 中田 高, 後藤秀昭, 渡辺満久, 鈴木康弘：150m グリッド DEM から作成した相模トラフから三重会合点周辺の3D海底地形, 海洋情報部研究報告, 第50号, pp.126-139, 2013.
- 6) 相田 勇：相模湾北西部に起こった歴史津波とその波源数値モデル, 地学雑誌, 102(4), pp.427-436, 1993.
- 7) 中央防災会議：首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等に関する図表集, 33p., 2013.