

2006 年 11 月 15 日千島列島津波を事例としたリアルタイム津波予測の可能性

阿部 郁男*, 今村 文彦*

1. はじめに

2006 年 11 月 15 日に千島列島で発生した地震によって発生した津波では、漁船転覆などの漁業被害が発生している。この津波では、地震発生後、およそ 15 分で津波警報・注意報が発表され、地震発生後 5 時間を過ぎた 16 日 1 時 30 分には、全ての津波警報・注意報が解除された。しかし、津波警報解除後に、各地での津波の最大波が観測されたり、漁船転覆の被害が発生しており、季節や天候によっては重大な被害が発生する危険性があった。特に、住民の避難率が極めて低かったこと、更には避難勧告などの行政対応が隣接する市町村でも統一されていないなどの問題が報道されている。

* 東北大学大学院工学研究科 附属災害制御研究センター 津波工学研究室

このような課題を解決するためには、リアルタイム津波予測と津波観測を併用して、避難勧告・指示、解除判断、救助・復旧などの判断を適切に行うことが重要であると考えられる。今回、いくつかの課題を提起した 2006 年千島列島津波を対象として、リアルタイム津波予測の可能性について報告する。

2. 千島列島津波の概要

千島列島地震は、北米プレートの下に太平洋プレートが沈み込む千島海溝付近で発生した典型的なプレート境界の逆断層地震である。地震発生後の 1 時間 15 分後には根室で 0.4m の第一波が観測されたほか、名瀬や那覇でも津波が観測された遠地津波である。この地震発生に伴い、気象庁から発表された津波予報および震源情報の一覧を以下に掲載する。

表 1. 津波予報発表の状況

20:29	津波警報, 北海道太平洋沿岸東部, 北海道オホーツク海沿岸, 高いところで 2m
	津波注意報, 北海道から静岡県, 高いところで 0.5m
23:30	津波警報→津波注意報へ切替, オホーツク海沿岸, 静岡県
01:30	全ての津波注意報を解除

表 2. 震源情報

	M	緯度	経度	深さ
速報値	8.1	46.6	153.6	30km
暫定値	7.9	46.7	154.05	30km

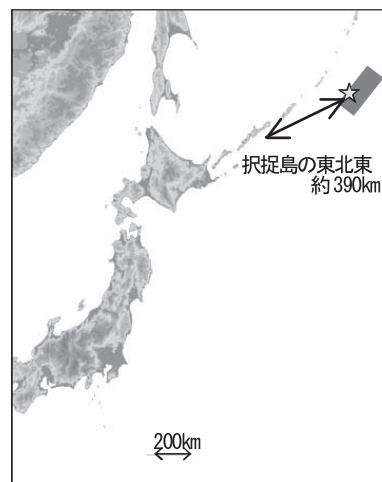


図 1. 震源と断層位置

3. 計算条件

地震発生後に気象庁から発表される震源情報には、速報値、暫定値、確定値の3種類がある。速報値は、地震発生直後に得られる情報であるが、暫定値は数時間後、確定値は数ヵ月後の発表にもなるため、リアルタイム津波予測には利用できない。そこで、地震発生直後に得られる速報値を利用して津波予測を行うことを試みた。速報値には、断層の大きさや走向などの津波数値解析に必要な情報が含まれない。また、震源が断層原点と一致するとは限らないために、津波数値解析の断層パラメータを設定する際には、最も危険なケースを想定できるように配慮することが必要となる。そこで、震源位置を四隅に設定した4枚の断層を元に津波数値解析を実施して、波高が高くなるケース、到達時間が早くなるケースを津波予測のケースとして求める。そのほかの断層パラメータは表3の通り設定する。

表3. 速報値による断層パラメータの推定

断層長	141.2km	断層の相似則から 設定 (M8.1)
断層幅	70.6km	
すべり量	7.08m	
走向	223度	1963 択捉島沖地震 の研究実績から設 定
傾斜角	22度	
すべり角	90度	

計算領域は、震源域が十分に含まれるよう設定し、短時間で広域的な津波伝播を把握することを目的とした格子サイズ 1350m の計算領域と、より詳細な解析を目的とした格子サイズ 450m の計算領域を設定した。また、リアルタイム津波予測では早期の情報発信が必要であるため、計算時間を短縮できるような線形長波方程式と CFL 安定条件を満たす計算時間間隔を設定した。

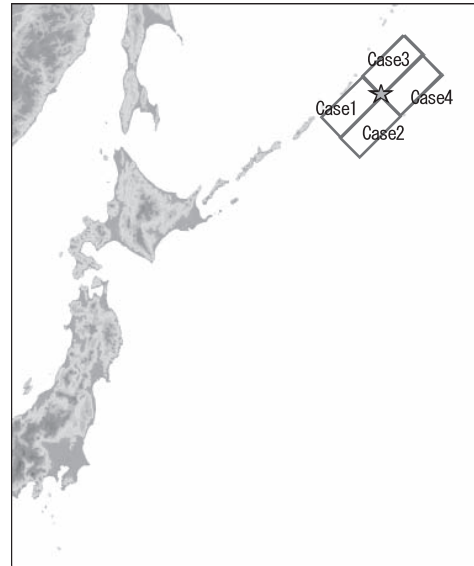


図2. リアルタイム津波予測で設定した断層

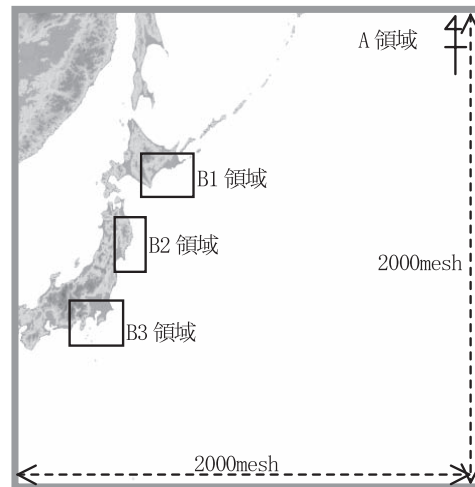


図3. 計算領域の設定

表4. 計算条件

		A 領域	B1 領域	B2 領域	B3 領域
領域	格子サイズ	1350m	450m	450m	450m
	格子数	2000 × 2000	780 × 630	420 × 840	720 × 600
計算時間間隔		1.5 秒	0.5 秒		
支配方程式		線形長波理論			
陸側境界条件		完全反射			

表5. 計算機の緒元

CPU	Intel Core 2 Duo E6400 (2.13GHz)
メモリ	2GB
OS	Vine Linux 4.0
コンパイラ	g77 -O3

が到達する 65 分より早く計算を完了させるために計算時間を 1 時間と設定してリアルタイム津波予測の限界となる再現時間を求めた。計算時間を測定した結果、各ケースを個別の PC で計算することにより実時間の約 3 分の 1 で計算を完了することができたため、再現時間を 3 時間に設定して最大波高を求めた。

2006 年千島列島津波では東北太平洋沿岸全域に 0.5m の津波注意報が発表されたが、今回の検討によって気象庁の量的津波予報のようなデータベース検索による地域ブロックごとの津波予測に加えて、地域ごとにより詳細な津波予測情報をリアルタイムで提供することが可能であることが分かった。

4. 計算結果

4.1. 震源速報値による計算結果

A 領域（格子サイズ 1350m）の計算には 4 台の PC を利用した。4 つのケースのうち、震源に最も近い北海道太平洋沿岸東部に津波

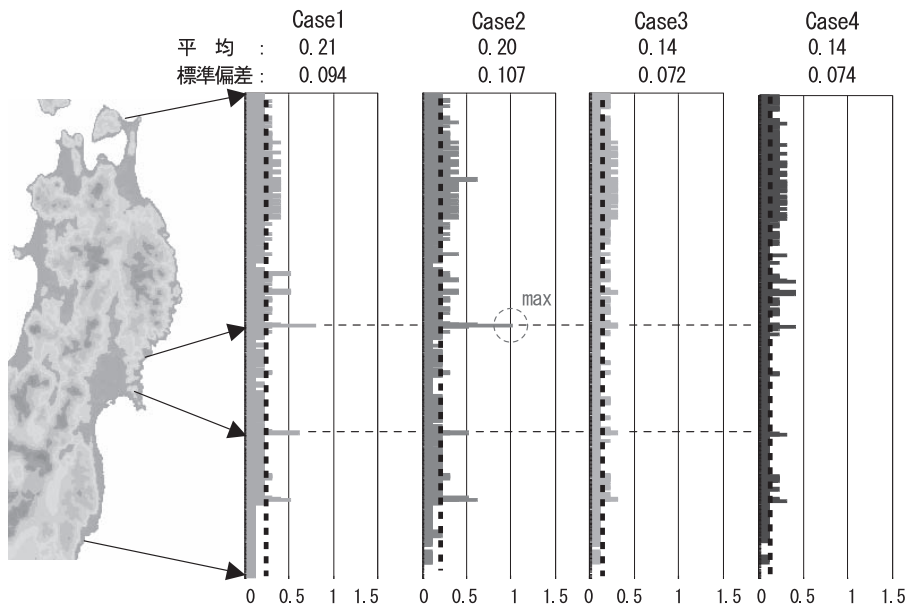


図4. 1350m メッシュでの東北地方の最大波高分布

今回の検討では、東北地方における最大波高かつ最も早く到達するケースは Case2 であり、その波高は概ね注意報レベルの 0.5m 以下であったが、局所的には 1m に達する場所もあった。さらに、格子サイズ 450m の領域における数値計算結果を気象庁の検潮記録と

も比較したところ、震源速報値から相似則により求めた初期波源では、東北地方では到達時間は計算結果のほうが遅く、波高も小さくなった。図 5 は気象庁のホームページで公開されていた検潮データ (画像) ファイルを、数値解析の結果と合成したものである。

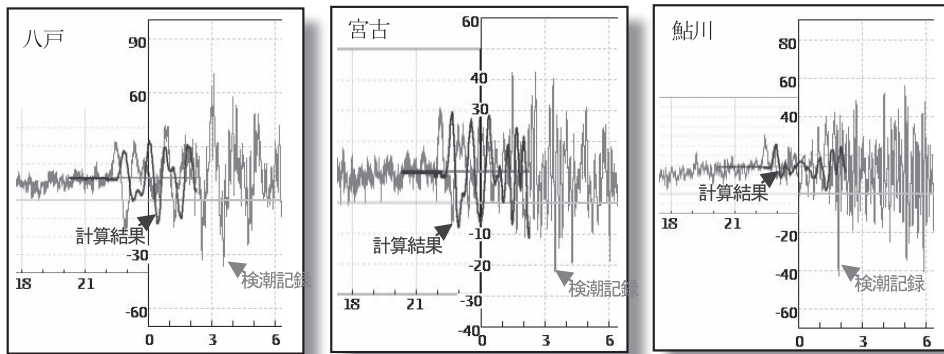


図 5. 東北地方での計算結果 (Case2) と検潮記録との比較

4.2. 地震動解析による断層パラメータ決定後の計算結果

地震発生後、数十分で断層パラメータの詳細が決定されるため、より正確な数値解析が可能となる。今回の津波においては東京大学地震研究所 EIC 地震学ノート No.183 に掲載

された断層モデルを利用して、断層パラメータ決定後の再現計算も実施した。

断層パラメータ決定後の計算結果は、第一波の到達時間および波高において、検潮記録に近い値となった。

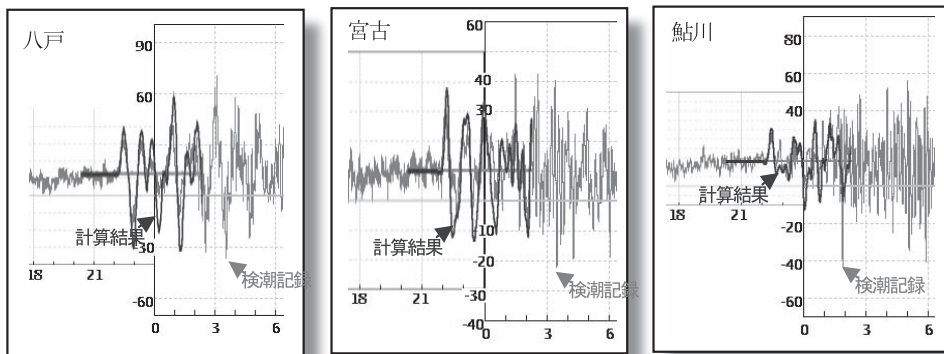


図 6. 断層パラメータ決定後の計算結果と検潮記録との比較

4.3. 震源速報値と断層パラメータ決定後の計算結果の比較

震源速報値から相似則により断層パラメータを決定した断層モデルでは、到達時間が実際のものより遅く、また波高が小さくなるという結果が得られた。

到達時間については、地震動解析によるモデルのほうが、断層長が1.4倍も長く、その

波源域が日本列島により近くまで延びているためと考えられる。また、波高についても、地震動解析によるモデルのほうが、すべり量が1.3倍も大きく設定されたこと、および断層サイズが大きくなったことが影響し、相似則による推定より波高が大きくなり、検潮記録とより一致するようになったと考えられる。

表6. 震源速報と地震動解析による断層パラメータの比較

	震源速報値からの推定	地震動解析による推定	地震動解析／震源速報の比
断層長	141.2km	200km	141.6%
断層幅	70.6km	50km	70.8%
すべり量	7.08m	9.4m	132.8%
走向	223度	225度	—
傾斜角	22度	30度	—
すべり角	90度	94度	—

このように今回の検討結果では、震源速報値に基づく推定が過小評価となった。これは、全ての地震を概観するような相似則によって設定した断層パラメータと、実際に個々の地震動を解析することによって得られたパラメータの相違を示すものであるが、このような震源速報の不確か性による影響を取り除くためにも、事例検証により推定できる精度の幅を検討して、それらを見込んだ数通りの計算を行うことがリアルタイム津波予測の精度を確保する点で重要である。

5. まとめ（段階的計算方法の提案）

震源速報値を元にリアルタイムで津波予測を行った場合、今回の検討条件では過小評価となることが確認された。しかし、表7に示すように、安価なPCを利用した場合でも、全ての計算領域において実時間の40%以内で計算を完了することができ、リアルタイム津波予測の可能性を示すことができた。

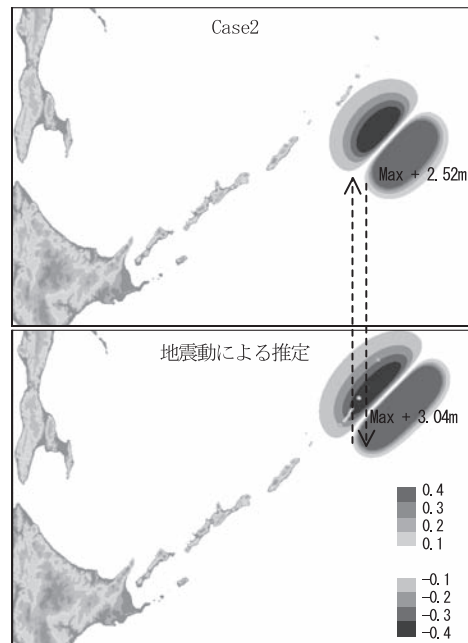


図7. 震源速報値と地震動解析による初期波源域の比較

表 7. 各領域の数値解析に必要な時間

	再現 1 時間あたりの計算時間	再現時間との比
A 領域 (格子サイズ 1350m)	18 分	29.8%
A 領域拡大 (格子サイズ 1350m) ^{※1}	23 分	37.9%
B1 領域 (格子サイズ 450m)	24 分	39.1%
B2 領域 (格子サイズ 450m)	22 分	35.5%
B3 領域 (格子サイズ 450m)	23 分	37.5%

※1 A 領域拡大は、天皇海山群までを含んだ領域を設定した場合

今回の津波では天皇海山群による散乱波により、最大波高の出現が遅れたことが報道されているが、天皇海山群までを含めた広い範囲で数値計算を行った場合においても、必要な計算時間は実時間の 37.9% となった。これまでのリアルタイム津波予報は、気象庁の津波警報システム（事前の数値計算によるデータベース）のみであったが、計算機の高性能化に伴い、複数台の PC を同時に利用して、領域や役割を分担することによって、より詳

細な格子サイズでリアルタイムに数値解析が可能であることが分かった。複数台の PC を利用した場合の領域や役割分担の提案について図 8 にまとめる。

また、今回の検討で示したように、リアルタイム数値解析の精度を上げるためには、地震動の解析によるメカニズム情報の早期取得が大変重要であるが、津波観測データを利用した精度の向上も必要と考えられ、今後、検討を進めてゆく必要がある。

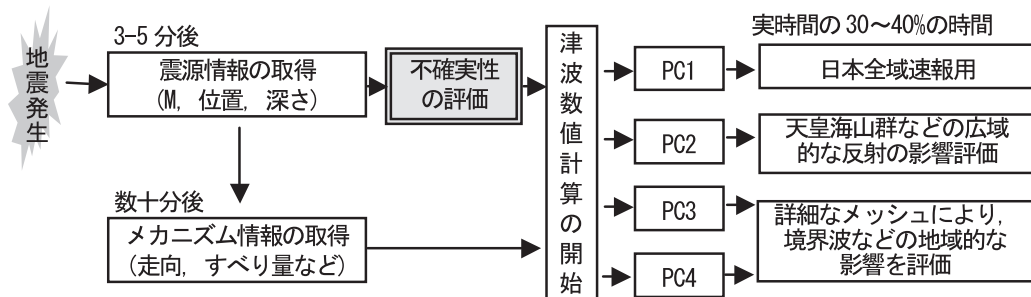


図 8. 複数台の PC による並列分担処理

参考文献

- 1) 鹿島出版会 (1989) : 日本の地震断層パラメータ・ハンドブック, pp. 230-235
- 2) 防災科学技術研究所 : 強震動の基礎, <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/gk/publication/>

- 3) 気象庁 : 津波予報, <http://www.jma.go.jp/jp/tsunami/>
- 4) 東京大学 地震研究所 : EIC 地震学ノート No. 3, http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2006/EIC183.html