

2-1 津波予測の高精度化と 近地津波へのリアルタイム シミュレーションの活用策

気象庁 地震火山部 地震火山技術・調査課

気象庁 地震火山部 地震津波監視課

近地津波へのリアルタイムシミュレーションの導入について

●リアルタイムシミュレーションは自動システム化し、2012年に遠地津波への業務に導入済。

●近地津波へは、自動システムで実行しているが、沿岸の地形解像度が高くなく、時系列波形は定量的には使用せず、参考利用にとどめていた。

●後続波の時系列予測につなげるため、沿岸部の地形解像度を上げ、近地津波へのリアルタイムシミュレーションを本格的に導入する。

●これまでの勉強会の内容を振り返り、課題を確認するとともに、導入した場合の活用策の案について取り上げる。

今後の予測体系

現在

| | | |
|-------------|-----------------|-----------------|
| 予測 プロダクト | RTS | 近地津波： 定性的な利用 |
| | | (遠地津波：導入済) |
| | DB | 海岸の平均的な予測 |
| 予測方法 | 沖合予測点 + グリーンの法則 | |
| 計算コード | 非線形長波、並列化 | |
| 計算機 | 汎用サーバ | |

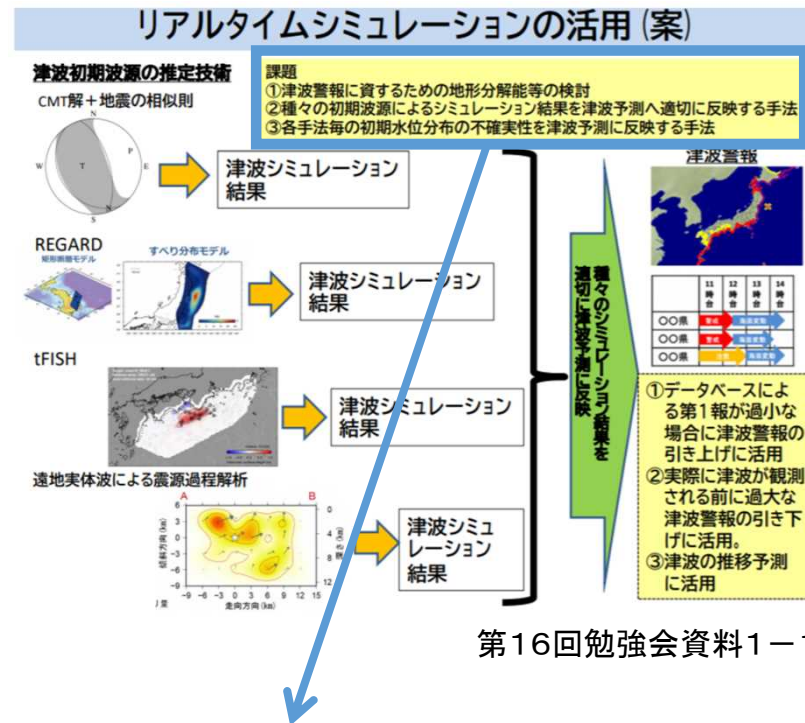


今後の方向性

| | | |
|-------------|------------|---------------------------------|
| 予測 プロダクト | RTS | 近地津波： 沿岸の詳細な予測 (より定量的な予測) |
| | | (遠地津波：導入済) |
| | DB | 沿岸の詳細な予測 |
| 予測方法 | 沿岸の津波を直接予測 | |
| 計算コード | 非線形長波、並列化 | |
| 計算機 | 気象庁スパコン活用 | |

※ここで、RTSはリアルタイム津波シミュレーション、
DBはデータベースを意味する

導入に向けての課題（前回までの勉強会振り返り）



課題

- ①津波警報に資するための地形分解能等の検討
- ②種々の初期波源によるシミュレーション結果を津波予測へ適切に反映する手法
- ③各手法毎の初期水位分布の不確実性を津波予測に反映する手法

①の課題について、第16回と第17回勉強会で、検討を行った。

1. 所要の予測精度の得られる、計算メッシュサイズ(第17回勉強会)
2. 計算にかかる時間(第16回勉強会)

1. 所要の予測精度の得られる計算メッシュサイズ(第17回勉強会)

第17回勉強会資料1-2 結論抜粋

前回・今回の調査結果のまとめ (沿岸の津波の再現に必要な地形分解能)

| | Mw | 沿岸観測点での最大津波高 | 沿岸観測点での波形の再現精度 (第一波到達~最大波) |
|--|-----|---------------------------------|--------------------------------|
| 2016年福島県沖の地震 S-net水圧データによる波源 | 6.9 | 450 m程度 | 150 m程度 |
| 2003年十勝沖地震 谷岡・他 [2004, 地震] | 8.3 | 450 m程度 | 150 m程度 |
| 2011年東北地方太平洋沖地震 Satake et al. [2013, BSSA] | 9.0 | 450 m程度 1350 m値も 一定の精度はある | 150 m程度 450 m値も 一定の精度はある |

シミュレーションのメッシュサイズについて、Mw 6.9以上の過去地震3事例について実観測データで調べた結果、沿岸波形の予測のためには、150m程度で妥当な結果が得られることが分かった。

● 第17回勉強会で挙げたご意見

- ・津波シミュレーションを行う際に津波の再現性を確保しつつ 沿岸の地形分解能をどこまで粗くできるかについて、各沿岸地域の形状によって、津波を適切に表現できる分解能は異なるので、そのような観点でも評価を行うとよい。(資料1-2)
- ・2003年十勝沖地震については、シミュレーションの水位の スナップショットにおいて、エッジ波が伝わっている様子が再現されているか否かが、そのシミュレーションの妥当性を判断するうえでの1つの材料になる。たとえば、現象に比して計算格子が粗い場合はエッジ波が再現されない。(資料1-2)



● 対応

- ・おおむね県単位の津波予報区の平均的な津波の高さを得ることを目標とし、津波シミュレーションの振幅が精度良く得られることを第一の目的とする。ただし、観測データとの比較の観点では、小さい港湾の地形解像の困難な地点については、確認の上、進める。
- ・シミュレーションの活用に関して、今後の地震事象時の不確定性のある波源の検討においても、エッジ波等の後続波の特徴が出ているかに留意する。

2. 計算にかかる時間について(第16回勉強会)

第16回勉強会資料1-2 結論抜粋追記

計算時間

今回: 計算領域を東日本に限定

| | | |
|--------|---|----------------------|
| 50 m | → | 実時間の約 0.54 倍 |
| 150 m | → | 実時間の約 0.06 倍 |
| 450 m | → | 実時間の約 0.03 倍 |
| 1350 m | → | 実時間の約 0.003 倍 |

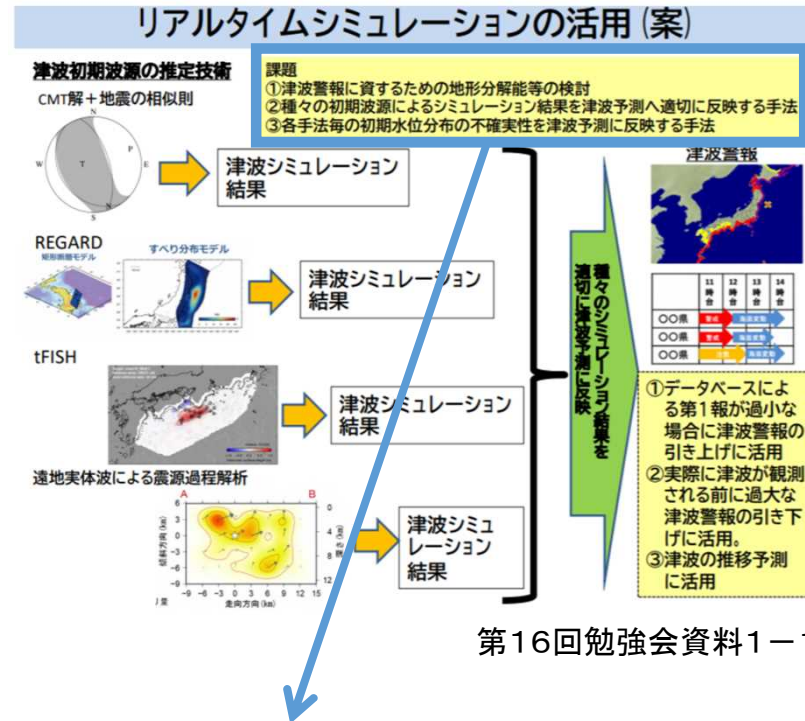
4ノードを使用した計算で、150mメッシュ(ネスティングあり)の計算であれば、計算領域を東日本に設定して、実時間の約0.06倍
例えば、3時間分の計算が約10分で終了する

9/10

計算メッシュについて、150mメッシュ程度であれば、マグニチュードの大小等に応じて、計算領域や積分時間を目的の範囲に設定することで、シミュレーション計算を10分程度で完了させる目途が立つ見込み

⇒ 沿岸部のメッシュサイズは、150mメッシュ相当を基本とする。津波予報区単位の予測値を得ることを第一の目標とする。ただし、観測波形との比較地点が港湾内にあると、地形の解像が難しい場合があること等に留意する。

導入に向けての課題（前回までの勉強会振り返り）



課題

- ①津波警報に資するための地形分解能等の検討
- ②種々の初期波源によるシミュレーション結果を津波予測へ適切に反映する手法
- ③各手法毎の初期水位分布の不確実性を津波予測に反映する手法

残された課題

②と③の課題については、今後、導入までに引き続き検討を行い、初期水位分布の不確実性の中での精度等を考慮の上、後続波の予測の仕方を検討する。

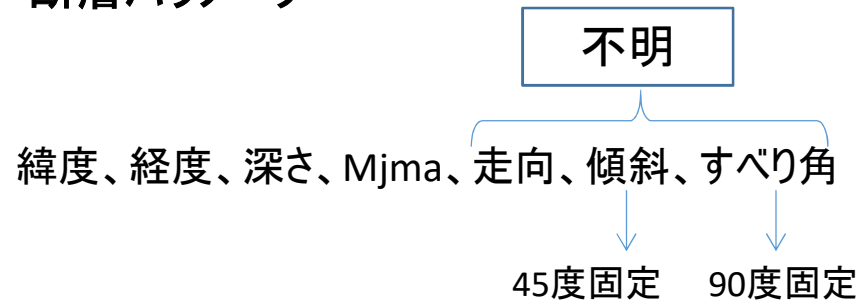
活用策

- ① 第一波警戒強化
- ② 後続波警戒強化

活用策① 第一波警戒強化

震源、M決定直後のDB検索

断層パラメータ



- ・断層のメカニズムは不明のため、傾斜、すべり角は津波が発生しやすい値に設定
- ・震源(破壊開始点)からみた断層面の広がり方向が不明のため、可能性のある複数の予測結果を併合して予測に使用

CMT解決後のリアルタイム津波シミュレーション等による予測

断層パラメータ



現在

- ・横ずれ断層の場合、横ずれ断層用DB検索結果と津波観測を活用して、速やかな津波警報・注意報解除
- ・Mw > Mjmaの場合、津波警報・注意報更新の検討

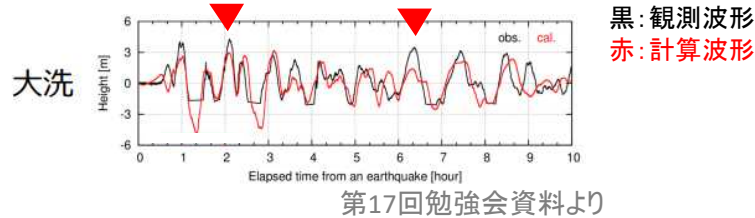
リアルタイムシミュレーションに期待される効果

DB未格納の断層パラメータを用いたリアルタイム津波シミュレーションを行い、それによる予測値が大きい場合は、津波警報・注意報を更新

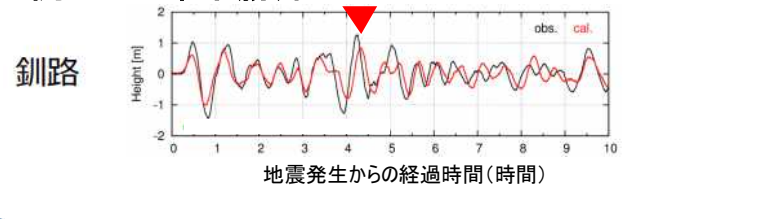
なお、CMT解の断層パラメータが次期DB(地震発生領域配置型DB)に格納されたものに類似する場合は、DB検索結果を活用することもありうる(次期DB作成時は、高解像度の津波シミュレーションを活用する予定)

活用策② 後続波警戒強化

例：2011年東北沖地震



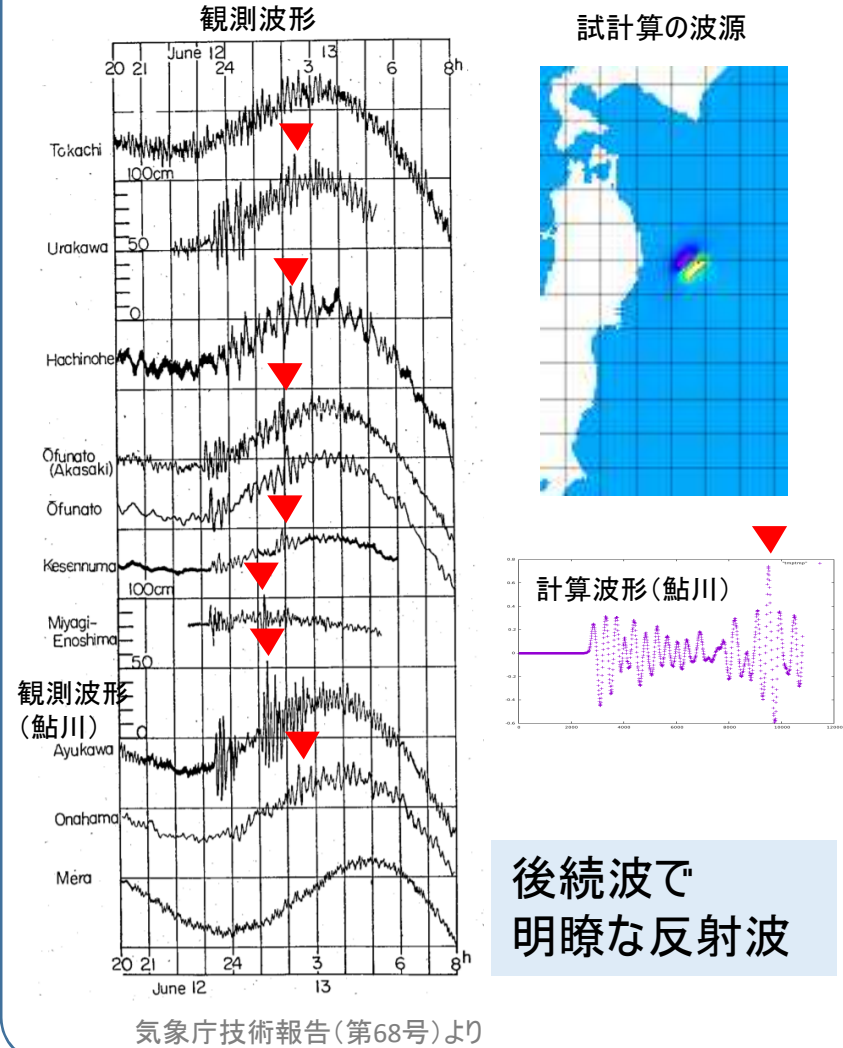
例：2003年十勝沖



▼：第二波以降に第一波と同等の振幅の波が観測

地震発生から数時間経過後にも最大波と同等の振幅の波が観測

例：1968年十勝沖の余震



リアルタイムシミュレーションの予測波形やDB保存予測波形等を活用し、後続での高い波が予測される場合に、津波警報による避難の継続を促す

まとめ

- ハードウェアやソフトウェアの環境が整ってきたことから、近地津波へのリアルタイム シミュレーションの導入に向けて引き続き進める。
- 予測体系は、グリーンの法則による予測から、沿岸部の地形解像度を上げた沿岸の津波の直接予測に変更する。
- EPOSシステムへは、既に導入済のリアルタイムシミュレーションの枠組みのうち、津波シミュレーションの部分を入れ替える。
- 沿岸部のメッシュサイズは、150mメッシュ相当を基本とする。津波予報区の予測を得るための第一の目標とし、運用にあたっては、波形比較地点の港湾の解像が難しい場合等に留意する。
- リアルタイムに得られる初期水位分布の不確実性の精度を考慮に入れた上で予測を用いる。
- 活用策
 - ・第一波への警戒強化として、震源・Mによる時点よりも絞り込んだ予測による津波監視強化や、DBに想定のない断層の場合に津波警報を更新
 - ・後続波への警戒強化として、後続での高い波が予測される場合に、予測時系列波形等を活用し、津波警報による避難の継続を促す