

2030年の津波予報業務のための技術開発について ～前回(第16回)勉強会の振り返り～

気象庁 地震火山部 地震津波監視課

気象分科会提言「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」

(平成30年8月20日)

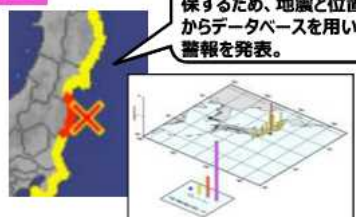
前回勉強会以降、気象分科会提言「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」で示された2030年の津波予報業務に必要な技術開発事項についてご検討いただいている。

目標と取組の具体的内容【津波】

目標② 防災行動・防災対応を支援するため、津波の時間的推移や解除の見通しについて提供

◎最大波の高さや第1波の到達予想時刻だけでなく、第1波・最大波から減衰するまで津波の全体像について情報を提供することで、避難の見通しを立てることが可能となるとともに、第1波の到達予想時刻を過ぎても津波への警戒心を継続することが可能。

現在



【順次発表される津波に関する警報・情報】

大津波警報・津波警報・津波注意報
津波の到達予想時刻
津波の高さに関する情報
津波観測に関する情報
沖合の津波観測に関する情報

<津波警報>

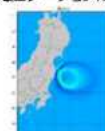
〇〇県
予想される津波の高さ 3 m
第1波の到達予想時刻 〇時〇分

最大波の高さや第1波の到達予想時刻は記載されているが、減衰までの時間推移がわからない。

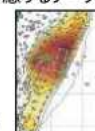
2030年

- 津波警報を発表した後で、津波の第1波・最大波から減衰まで、津波の時間的推移を提供するとともに、警報・注意報解除の見通しをお知らせ。
- 天文潮位も考慮した津波の高さの予測を実施。

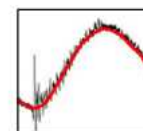
シミュレーションにあたって考慮するデータ



津波の伝播分布

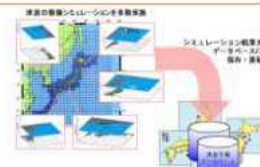


すべりの分布



天文潮位

- 津波警報の第1報はこれまでと同様、迅速性を確保する観点から、引き続き、津波データベースを用いて発表。津波データベースの改良による予測精度向上を目指す。



	11時台	12時台	13時台	14時台
〇〇県	警戒	海面変動	警戒	海面変動
〇〇県	警戒	海面変動	警戒	海面変動
〇〇県	注意	海面変動	警戒	海面変動

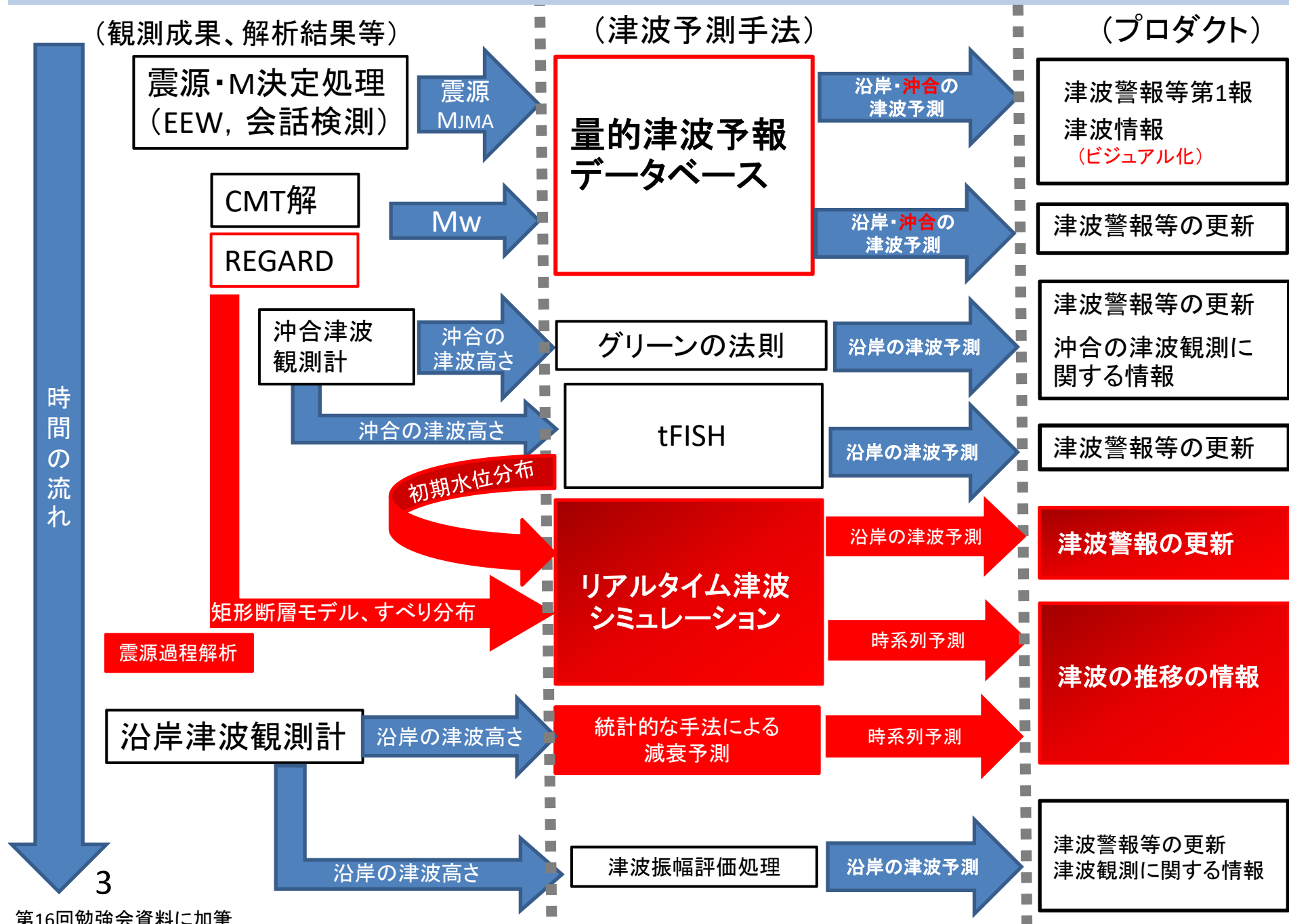
実現に向け②：様々な主体による観測データの有効活用

- 引き続き、気象庁の潮位観測データだけでなく、大学、研究機関等、様々な主体が実施する潮位観測データや海底津波計等を有効活用



16

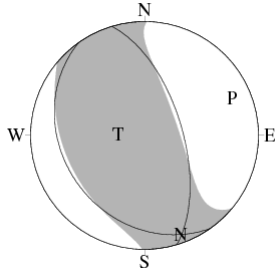
今後の津波警報、津波情報(赤色の部分が今後導入や開発を考えている部分)



リアルタイムシミュレーションの活用

津波初期波源の推定技術

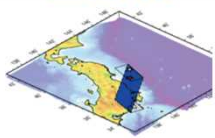
CMT解+地震の相似則



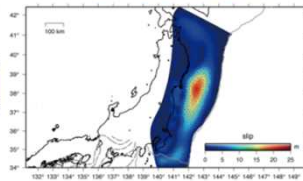
津波シミュレーション
結果

REGARD

矩形断層モデル

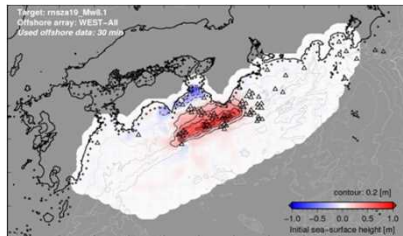


すべり分布モデル



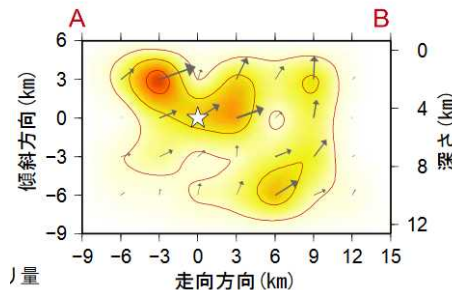
津波シミュレーション
結果

tFISH



津波シミュレーション
結果

遠地実体波による震源過程解析

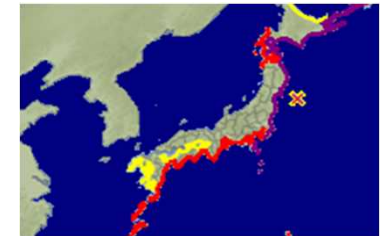


津波シミュ
レーション
結果

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

津波警報



	11 時 台	12 時 台	13 時 台	14 時 台
〇〇県	警戒	海面変動		
〇〇県	警戒	海面変動		
〇〇県	注意	海面変動		

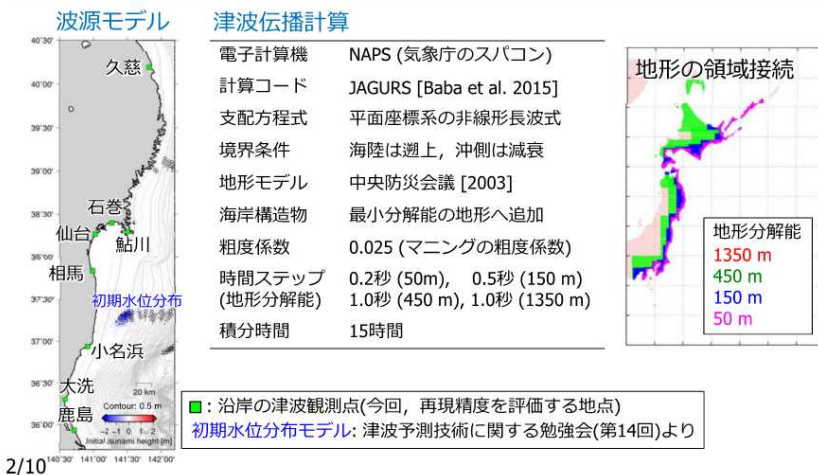
種々のシミュレーション結果を
適切に津波予測に反映

- ①データベースによる第1報が過小な場合に津波警報の引き上げに活用
- ②実際に津波が観測される前に過大な津波警報の引き下げに活用。
- ③津波の推移予測に活用

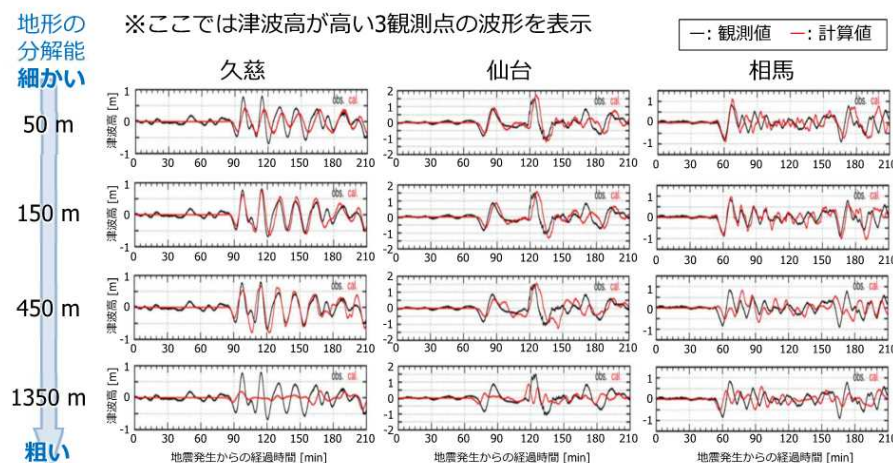
前回勉強会の検討・意見(リアルタイムシミュレーション)

津波シミュレーションの概要

2016年福島県沖の地震(Mw 6.9)を対象として、沖合の津波観測波形データから推定された初期水位分布と、詳細な地形モデルを用いた津波シミュレーションを行い、沿岸の津波波形の再現精度を調べた。



地形分解能が沿岸の津波波形の再現に与える影響



地形分解能を150 mまで粗くしても、津波波形の再現度の変化は小さい。450 mまで粗くすると、津波波形の再現度が悪くなる観測点がある。

前回いただいた主なご意見

○津波の一波長に対する空間分解能と、津波の屈折の効果を正しく表現できるような地形に対する空間分解能の両方を考慮してリアルタイム数値シミュレーションを行うとよい。

→2011年東北地方太平洋沖地震や2003年十勝沖地震でも検証(資料1-2)

○2006年や2007年の千島列島の地震では天皇海山列での反射により津波の最大波が地震発生からかなり遅れて出現したこともあるため、計算領域の範囲や計算再現時間についても留意が必要である。

→計算条件(特に積分範囲や積分時間)の検討を行う際に留意(資料1-4)

○数値シミュレーション計算速度への影響が大きいのは、シミュレーションプログラムのベクトル化効率とハードウェアのメモリバンド幅である。

○数値シミュレーションにおいて、内側の細かいメッシュ領域と外側の粗いメッシュ領域を接続する境界部分を工夫しないと、短波長の津波が内側から外側に行けず、再現精度が低下する。

→今後の改善の際にご指摘の点に留意

津波の減衰予測

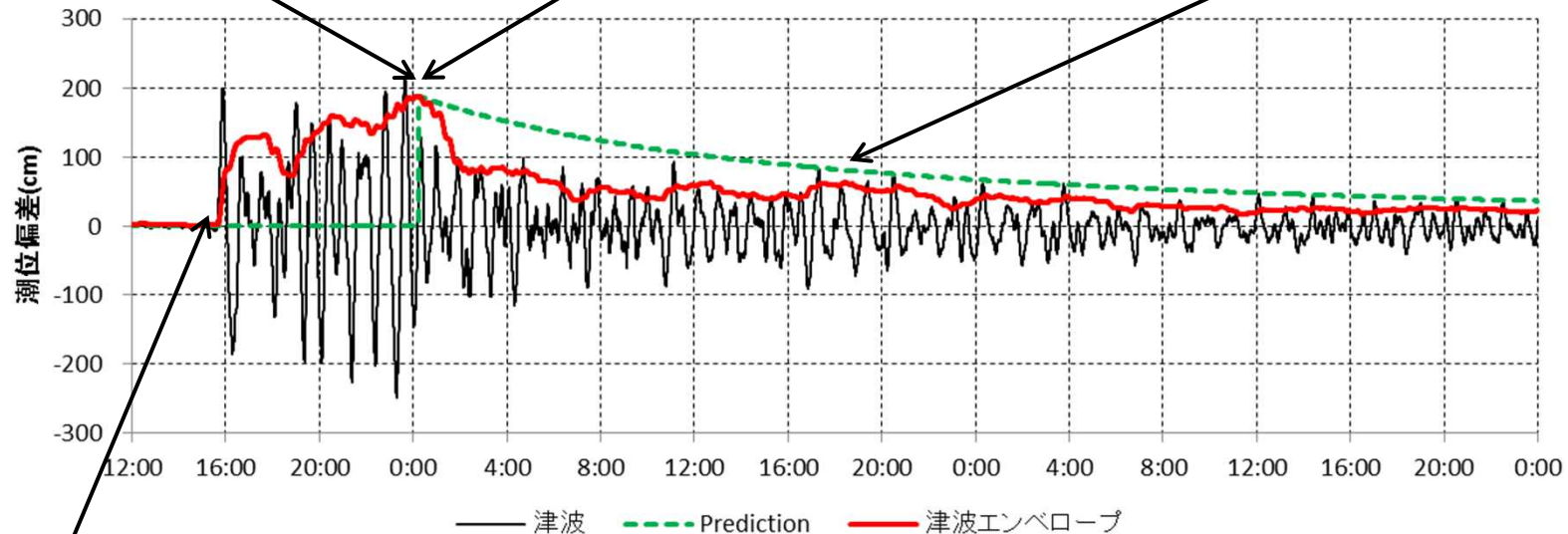
津波の推移や津波警報等の解除の見込みを提供し、さらに天文潮を考慮した津波の高さを予測するには、最大波の出現時刻や減衰特性を精度よく予測する必要がある。

	11 時台	12 時台	13 時台	14 時台
〇〇県	警戒	海面変動	海面変動	海面変動
〇〇県	警戒	海面変動	海面変動	海面変動
〇〇県	注意	海面変動	海面変動	海面変動

最大波の高さ

最大波の出現時刻

最大波出現以後の減衰特性



第1波の到達時刻

黒実線枠: 現在予測している要素

赤破線枠: 実現のために予測すべき要素

課題

- ①最大波の出現以後の減衰を統計的に予測する手法の開発
- ②減衰や後続波を予測するための長時間シミュレーションの活用可能性の検討

前回勉強会の検討・意見(減衰予測)

課題③：津波の最大の高さの出現時期及び前半部から後半部に移行するまでの時間の特定

課題③に対して、シミュレーションの活用可能性を検討

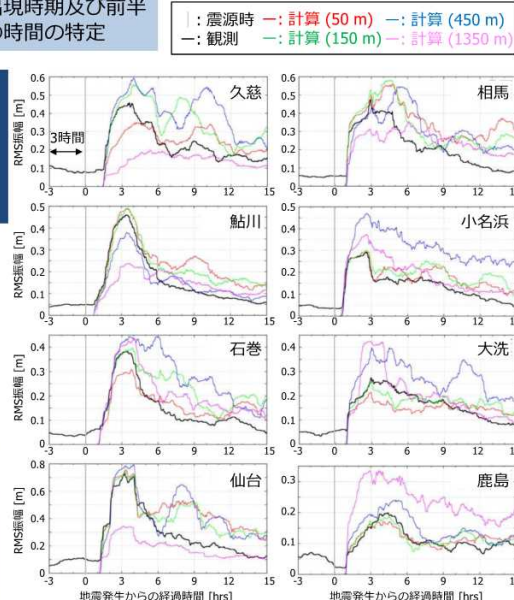
2016年11月22日福島県沖の地震による津波に対する様々な格子サイズのシミュレーションによるエンベロープと観測との比較(資料1-2より抜粋)

最大波以降について、波形ではなくエンベロープなら精度よく予測できるか

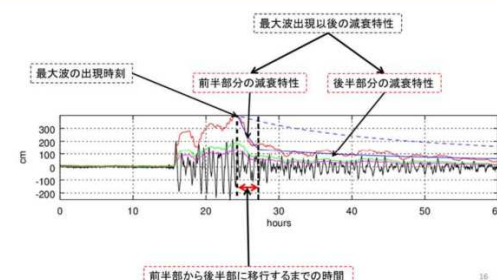
時間窓幅2時間のエンベロープの観測値と計算値を比較

最大波以降のエンベロープ形状の再現は困難

分解能450, 1350 mでは、50, 150 mのエンベロープ形状からの乖離が大きい



- 近地津波では、減衰の早い前半部分と減衰の遅い後半部分の2つに分かれる傾向を持つ観測点と分かれぬ観測点がある。
- 最大波の出現時期は、シミュレーションを活用できそうだが、前半部分から後半部分に移行する時間を特定することや減衰を予測することは、シミュレーションでは、難しそうである。
- 最大波の出現以後の津波の減衰はシミュレーションに用いる地形の分解能をあげても困難。
- 後半部分の開始時期がわかれば、林(2010)の手法で減衰予測は可能。パラメータや減衰形式の調査は必要。



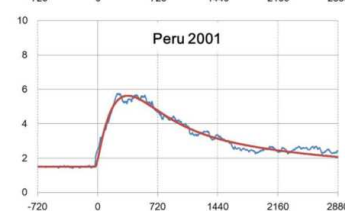
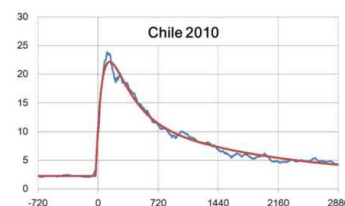
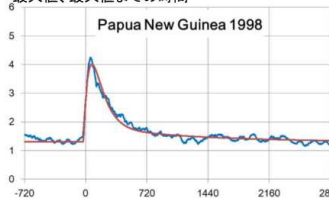
MRMS振幅変化への関数の近似

第1波到達から最大波到達を経て減衰していく過程を簡単な関数で表現するため、次式のような3つの異なる時定数をもつ指数関数からなる関数で近似する。

$$A_{MRMS} = \left(1 - e^{-\frac{t}{T_0}}\right) \left(A_1 e^{-\frac{t}{T_1}} + A_2 e^{-\frac{t}{T_2}}\right)$$

立ち上がり 初期の減衰 後期の減衰

最大値、最大値までの時間



横軸: 第1波到達時刻からの経過時間(分)
縦軸: MRMS振幅(cm)

青: MRMS振幅
赤: 近似曲線

平成31年2月20日 津波予測技術に関する勉強会

8

前回いただいた主なご意見

○近地津波が急激に減衰したのちに緩やかな減衰に変わるという点について、後者は実際に減衰の様子を示していると思うが、前者はそれぞれの地形や津波の伝播経路によるものと思う。
→津波の全体像を予測するにあたって、前者は津波シミュレーション、後者は統計的な手法で担うなど手法の特性を踏まえて検討(資料1-3)

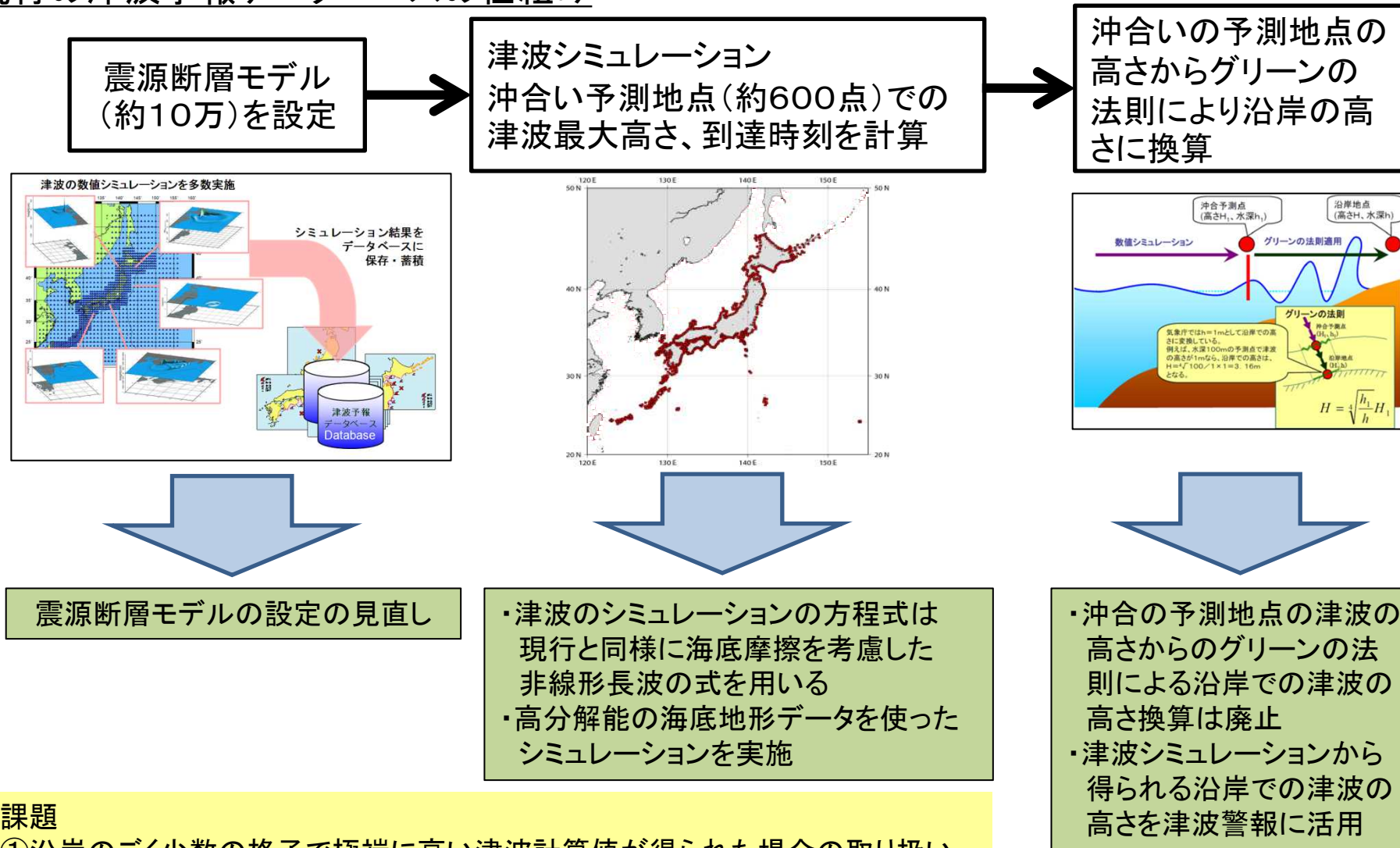
○津波の後続波が観測値と計算値とで合わないのは、沿岸で津波が反射するときのエネルギーの損失を数値シミュレーションの中で考慮していないからだと思う。波長が長いほど多く反射し、波長が短いほどあまり反射しない。この効果を数値シミュレーションに導入するためには、簡易な方法ではあるが、水深が浅いところは粗度係数を大きくするなど、粗度係数を水深に応じて変える方法が考えられる。

→今後、シミュレーションによる減衰予測を改良する際に留意

津波予報データベース改善

第16回勉強会資料より

現行の津波予報データベースの仕組み



前回勉強会の検討・意見(データベース)

震源断層モデルの設定

沿岸の津波予測対象地点の設定方法の変更等を考慮し、断層パラメータもそれに適したものに設定する方向で検討

断層パラメータ設定の一案 以下の内容から検討を開始し、適宜追加

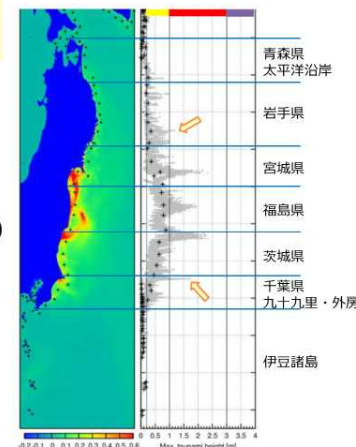
水平位置	: 予備的なパラメータスタディに基づいて決める
深さ	: 予備的なパラメータスタディに基づいて決める
走向	: 海岸線か海溝軸に平行、地震活動を考慮した走向も追加
傾斜角	: 45度(固定)
すべり角	: 90度(固定)
マグニチュード	: 予備的なパラメータスタディに基づいて決める
断層長と幅	: 断層パラメータの相似則(津波レシピ[地震本部])
すべり量	: 津波レシピ[地震本部]の考え方に則る

パラメータスタディに基づいて決める予定
最近の知見を活用

沿岸地点の設定と予報区の高さの作成方法

次期DBでは、FP(沖合地点)を用いず、沿岸地点のシミュレーション結果から津波高の予測値を作成する。

最大津波高分布(2016年福島県沖の地震)
S-net水圧データから推定した波源を初期値にし
計算領域全体一律150 m分解能で15時間積分した



沿岸地点の選定【検討中】

配慮すべき観点として考えられること

- ・ 地形的特徴
- ・ 各予報区に紐づく地点が減りすぎない
(各市町村に最低1地点は含まれるようにする等)

予報区の津波高さの作成方法【検討中】

- ・ 予報区内の沿岸地点の最大値を採用すると、少数の極端な値によって、予報区としての代表性が失われるおそれがある(右図の矢印部)。
- ・ 極端な値を除外して平均値+2σの値を採用する(遠地津波データベースで採用している方法)等の工夫が必要

●: シミュレーションによる沿岸の津波高(水深1-10 m地点)
+: FPからグリーンズの法則で換算した沿岸の津波高

7/8

前回いただいた主なご意見

- 現在は沖合津波観測網が充実しているので、改善後の量的津波予報データベースにおいては、沖合で津波観測値が得られた際に、それと適合するようにデータベースの検索結果を補正するような方式も検討するとよいと思う。
- データの保存容量が許容範囲内であるという条件付きだろうが、津波シミュレーション結果の最大高や押し波のピーク値だけを保存するよりも、計算波形そのものをデータベースとして保存しておけば、データ同化に使うなど様々な道が開けると思う。
→最新の技術動向も踏まえつつ、可能な限り対応できるようデータベースへ格納する要素を検討(資料1-4)
- 現行の量的津波予報データベースに数値シミュレーション結果を格納しているのはマグニチュード8の地震までであり、それを超える地震については、データベース格納値を外挿することによって津波予測値を得ると認識している。しかし、そうした大規模な地震ほど津波被害を及ぼすので、より大きな地震津波についてのシミュレーション結果もデータベースに格納するようにするとよいと思う。
→より大きな地震のシミュレーション方法について、シナリオバンクの知見も踏まえて検討(資料1-4および1-5)

本日の勉強会での「津波予測技術の高度化」

- (1) 近地津波へのリアルタイム津波シミュレーションの活用
- (2) 津波の減衰予測に向けて
- (3) 量的津波予報データベースの改善に向けた検討
 - ・量的津波予報データベースの改善の方向性
 - ・津波シナリオバンクにおける
波源断層モデルの設定の検討(鈴木委員講演)