

資料2 - 2

平成28年11月22日福島県沖の地震
における津波警報等の評価

気象庁

1. 地震と津波の概要

2. 情報発表の経過

3. 今回の津波の特徴についての考察

4. まとめ

1.地震と津波の概要

- 地震の概要
- 観測された津波波形
- 現地調査の結果

地震の概要

震源要素、発震機構解

震源要素 (津波警報発表時)

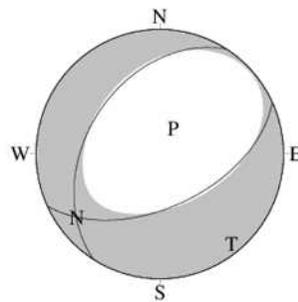
地震発生日時	2016年11月22日05時59分
震源要素	北緯37.3度 東経141.6度 深さ10km
マグニチュード (Mj)	7.3

震源要素 (暫定値)

地震発生日時	2016年11月22日05時59分
震源要素	北緯37度21.3分 東経141度36.3分 深さ25km
マグニチュード (Mj)	7.4

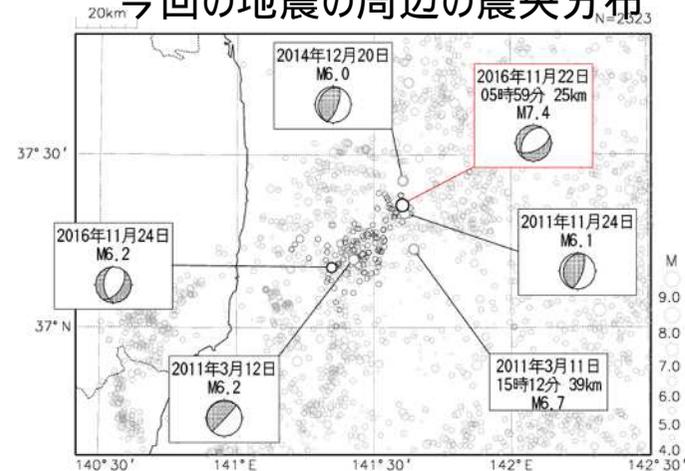
CMT解 (気象庁)

	走向	傾斜	すべり角
断層面1	65	55	-69
断層面2	212	40	-117
マグニチュード (Mw)	6.9		
セントロイド深さ	12km		
北西-南東方向に張力軸を持つ正断層型			

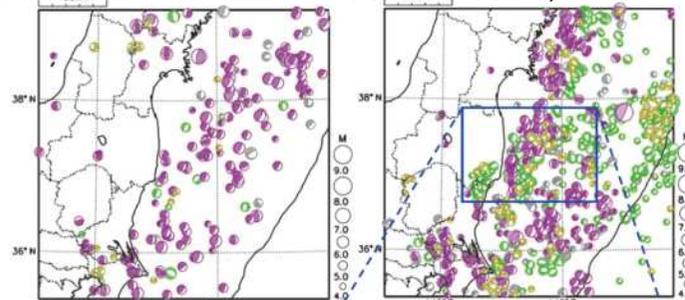


周辺の地震活動

今回の地震の周辺の震央分布



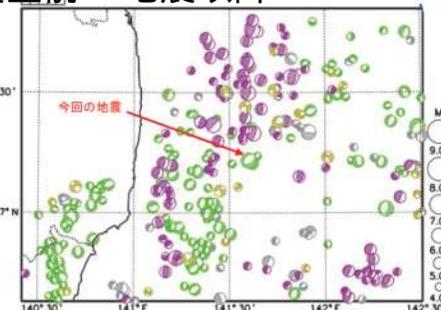
発震機構の傾向の変化 (東北地方太平洋沖地震以後、浅い地震で正断層型が増加)



1994年1月1日から東北地方太平洋沖地震直前

東北地方太平洋沖地震以降

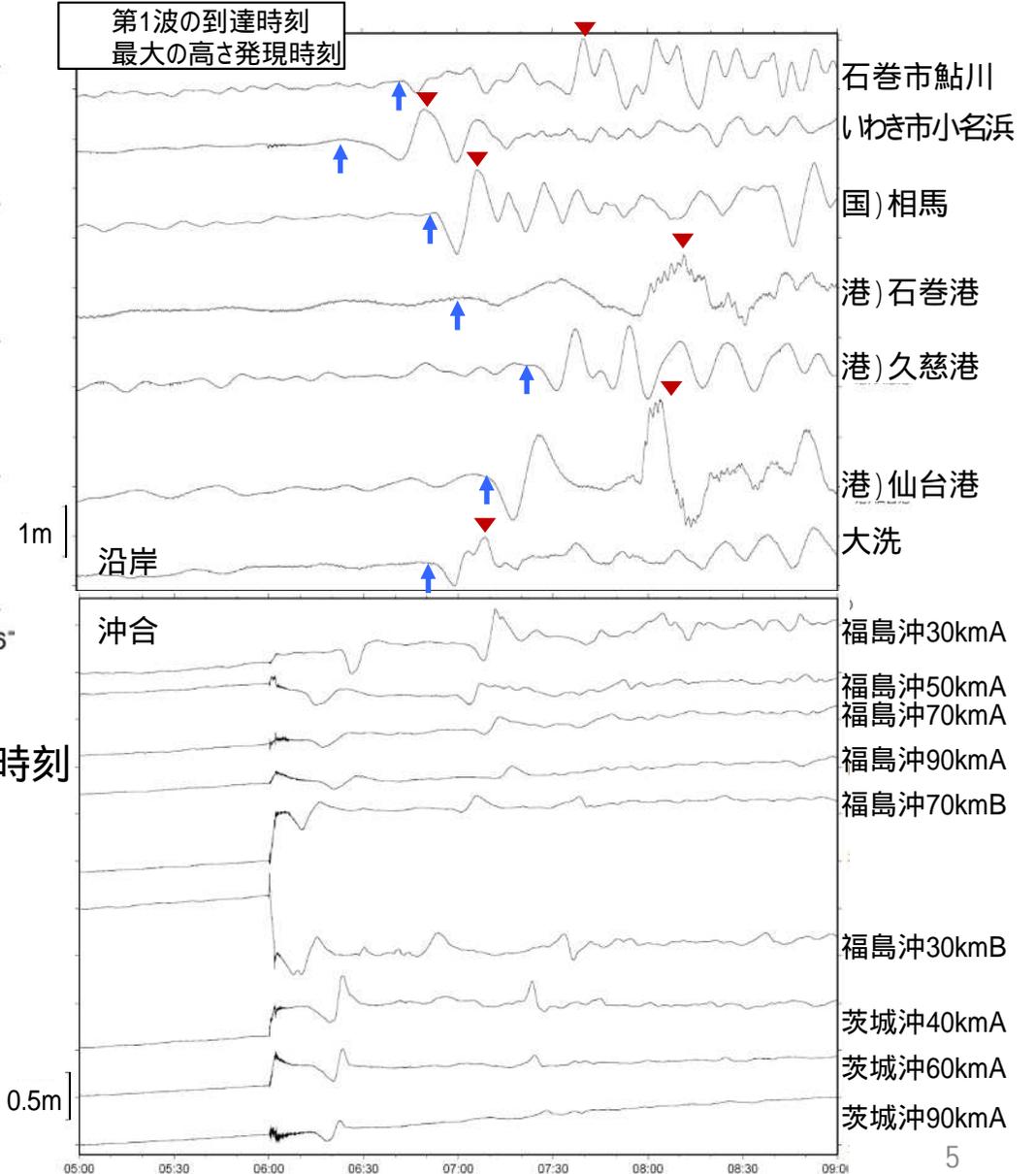
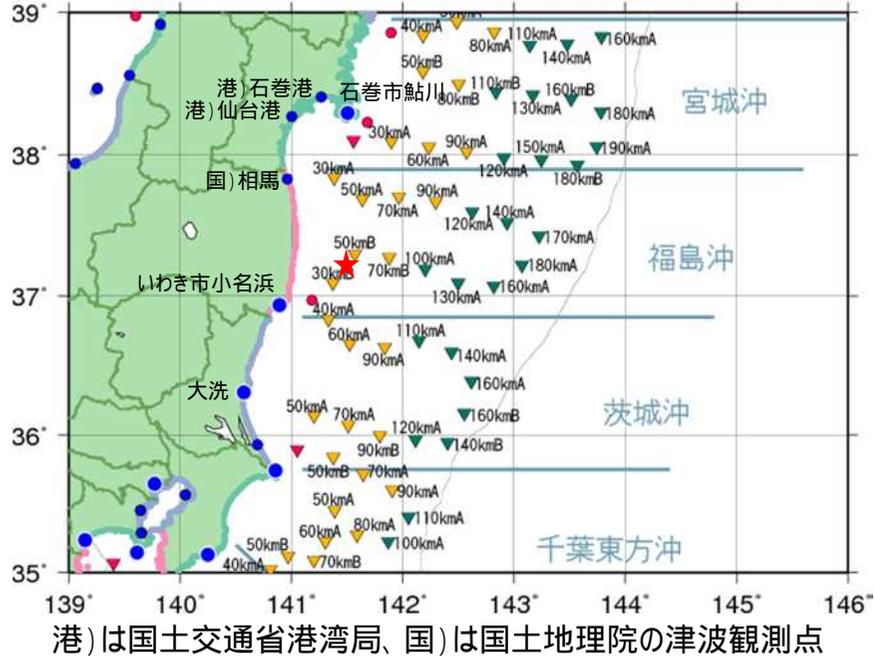
- : 逆断層型
- : 正断層型
- : 横ずれ断層型



観測された津波波形

- ・今回の地震で北海道から和歌山県にかけて広範囲で津波を観測
- ・もっとも高い津波を観測したのは仙台港の144cmであり、後続波であった

震源近傍の沿岸の津波観測点の配置図



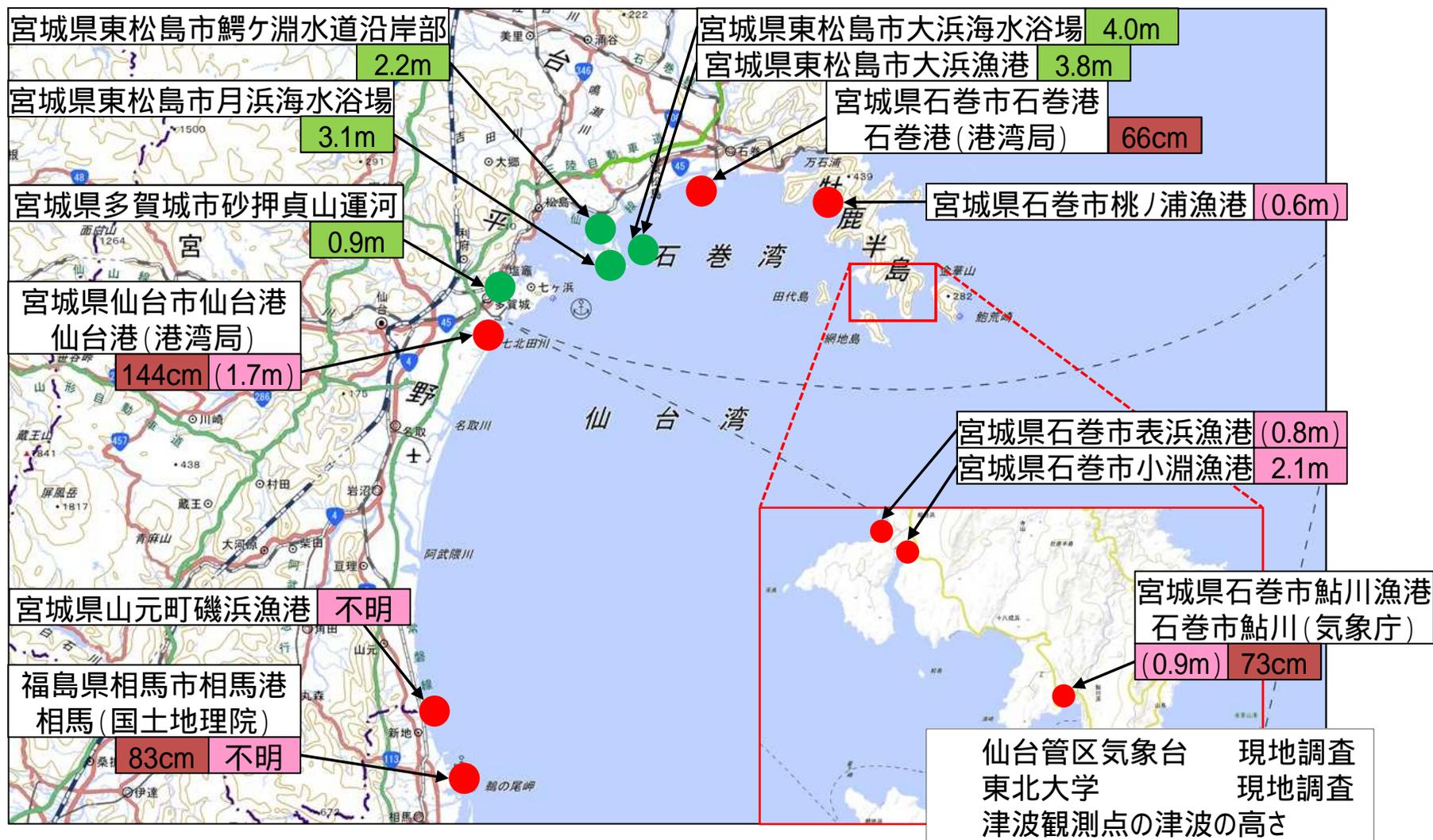
主な津波観測点で観測された最大の津波の高さと時刻

宮城県	仙台港	08時04分	144cm
福島県	相馬	07時06分	83cm
岩手県	久慈港	07時54分	79cm
宮城県	石巻市鮎川	07時39分	73cm
宮城県	石巻港	08時11分	66cm
福島県	いわき市小名浜	06時49分	60cm
茨城県	大洗	07時08分	49cm

現地調査の結果

仙台管区気象台と東北大学が行った現地調査結果によると、仙台湾全域で高い津波があったのではなく、東松島市などところにより高い場所があったと考えられる。

枠内の数値は遡上高、浸水高を含む現地調査結果、カッコ内の数値は聞き取りによる



東北大学の調査結果は、東北大学災害科学国際研究所「平成28年(2016年)福島県沖を震源とする地震・津波に関する調査報告会」より引用
<http://irides.tohoku.ac.jp/event/2016fukushimaeq.html>

2.情報発表の経過

- 津波警報等の発表状況
参考:地震発生時の津波警報発表及び更新のタイミング
- 津波予報DB、CMT解による津波警報等の判定
- 沖合津波観測点の活用とそれに伴う判定
参考:事後解析による沖合津波観測点の津波の高さと沿岸の予測値
- 沿岸の津波観測に基づく津波警報等の更新

津波警報等の発表状況

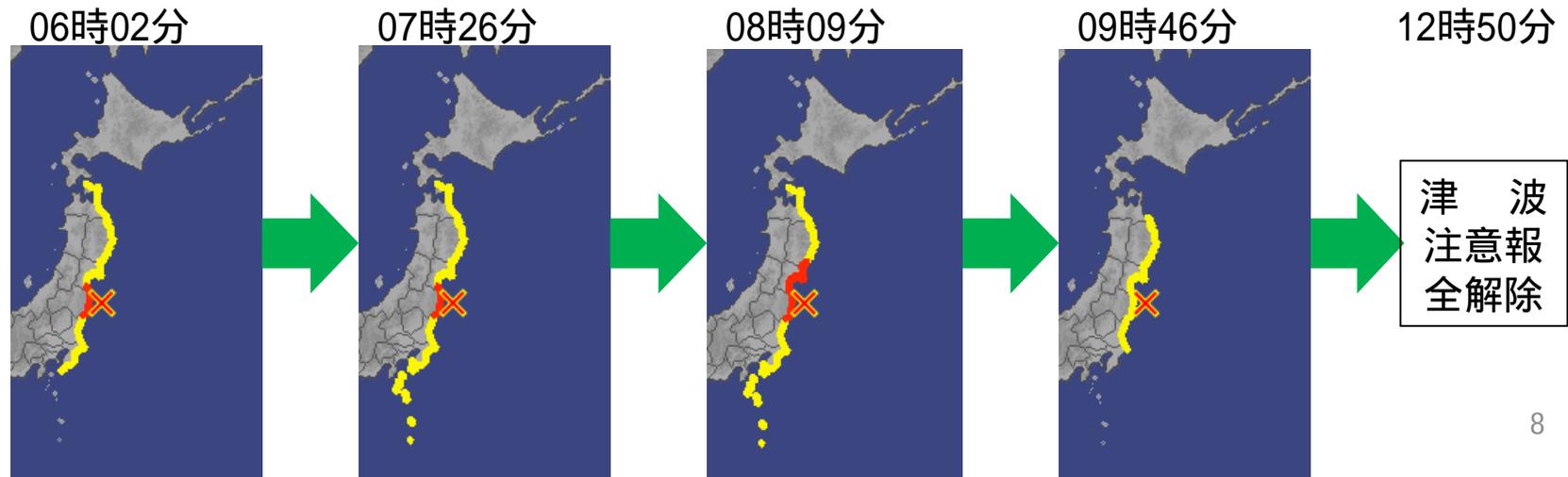
地震発生後3分で津波警報(第1報)を発表した
津波注意報の範囲拡大と津波警報への更新を続報として実施した

津波予報区	発表時刻				
	22日06時02分	22日07時26分	22日08時09分	22日09時46分	22日12時50分
青森県太平洋沿岸	津波注意	津波注意	津波注意	若干の海面変動	若干の海面変動
岩手県	津波注意	津波注意	津波注意	津波注意	若干の海面変動
宮城県	津波注意	津波注意	津波	津波注意	若干の海面変動
福島県	津波	津波	津波	津波注意	若干の海面変動
茨城県	津波注意	津波注意	津波注意	津波注意	若干の海面変動
千葉県九十九里・外房	津波注意	津波注意	津波注意	若干の海面変動	若干の海面変動
千葉県内房	若干の海面変動	津波注意	津波注意	若干の海面変動	若干の海面変動
伊豆諸島	若干の海面変動	津波注意	津波注意	若干の海面変動	若干の海面変動

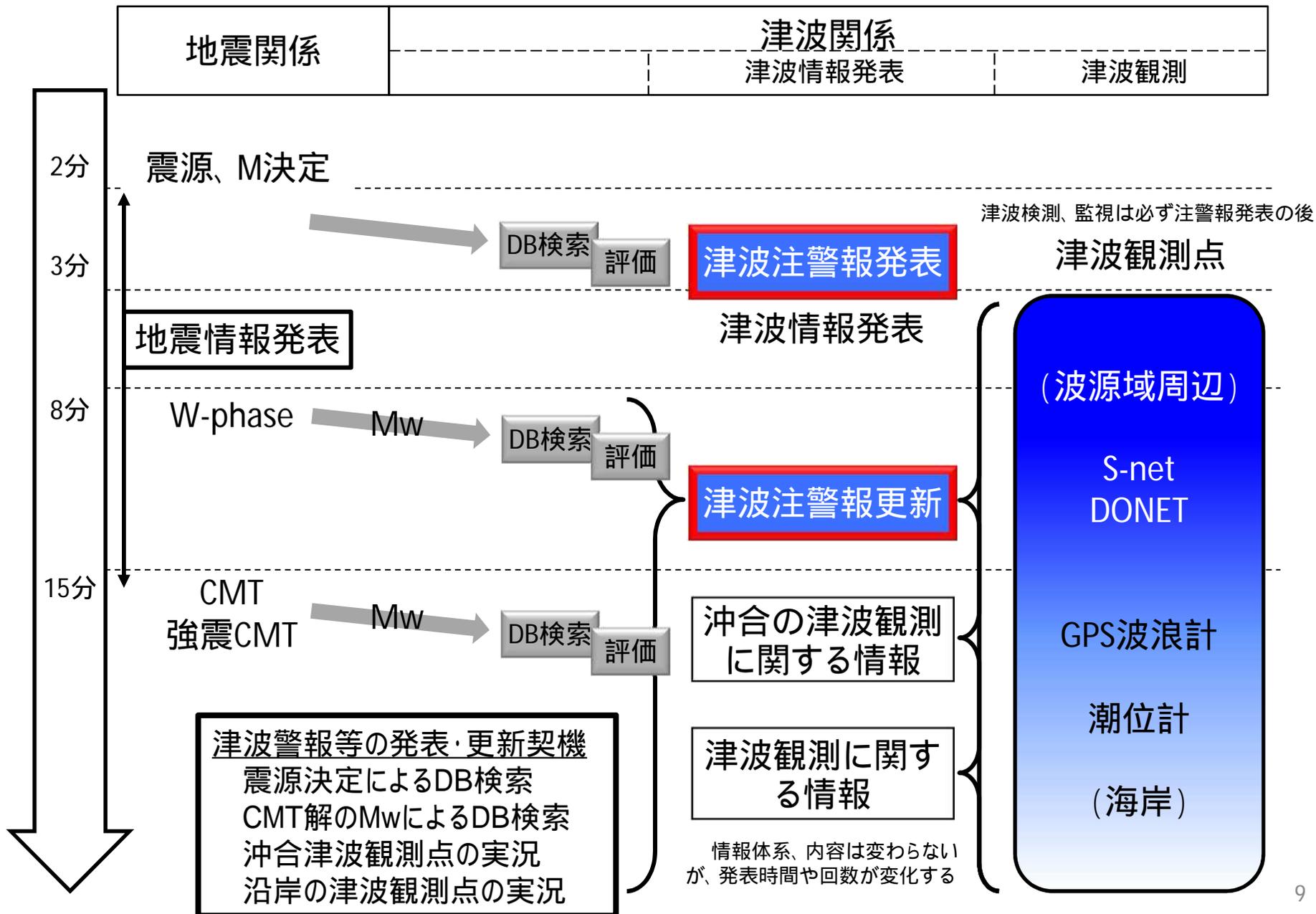
発表範囲拡大

警報へ更新

警報解除、
注意報一部解除



参考：地震発生時の津波警報発表及び更新のタイミング



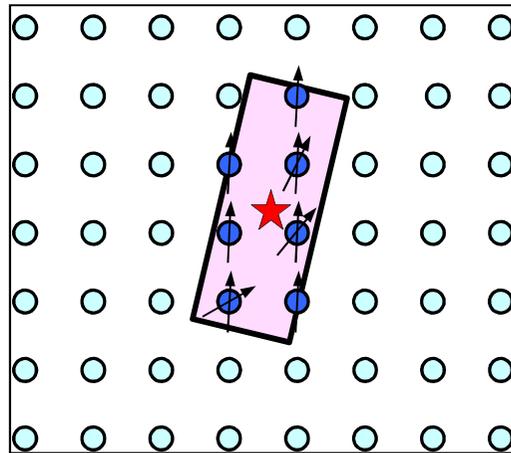
津波予報DB、CMT解による津波警報等の判定

- ・津波予報データベースで想定されていた断層の走向はほぼ南北方向
- ・CMT解によるMwは6.9であり、第1報のM7.3より小さいため警報更新には至らなかった

量的津波予報の手法

沿岸に近い場所で地震が発生した場合、各予測地点に対して、検索対象の全ての断層による津波の予測値の中から最大の結果を使う(最大危険度法)

最大危険度法で断層が選択される模式図



が震源位置、長方形はマグニチュードに応じた断層面を示し、長方形の内部がデータベースによる検索範囲である。

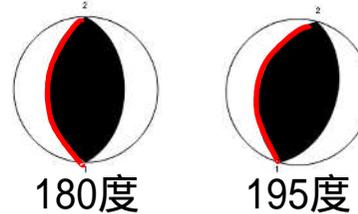
は検索対象となる想定断層の中心位置、上の矢印は断層の走向をそれぞれ示す

今回の地震における、津波予報データベースの検索対象地点と断層パラメータ

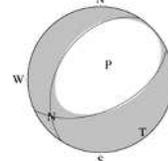
第1報 (M7.3) の判定
津波警報 福島県
津波注意報 宮城県

検索対象地点の断層パラメータ:

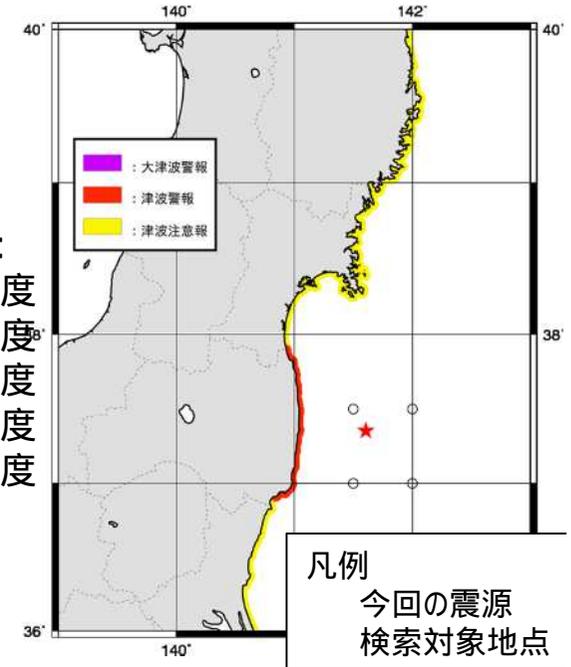
- 北緯37.0 東経141.5 走向195度
- 北緯37.0 東経142.0 走向180度
- 北緯37.0 東経142.0 走向195度
- 北緯37.5 東経141.5 走向195度
- 北緯37.5 東経142.0 走向195度



CMT解のMwは6.9で第1報のM7.3より小さく、更新には至らなかった



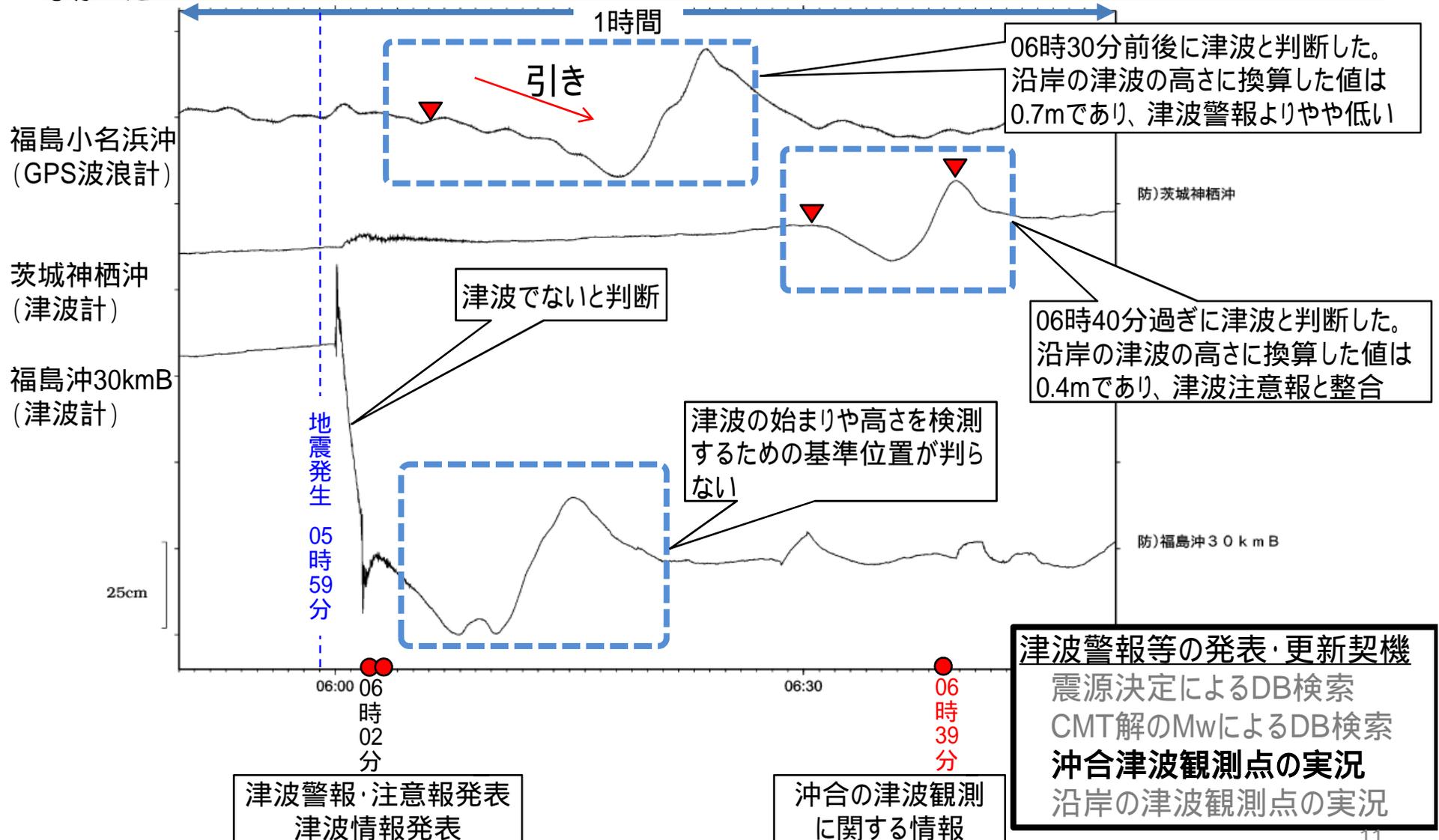
今回の地震のCMT解
 Mw6.9



津波警報等の発表・更新契機
 震源決定によるDB検索
 CMT解のMwによるDB検索
 沖合津波観測点の実況
 沿岸の津波観測点の実況

沖合津波観測点の活用とそれに伴う判定

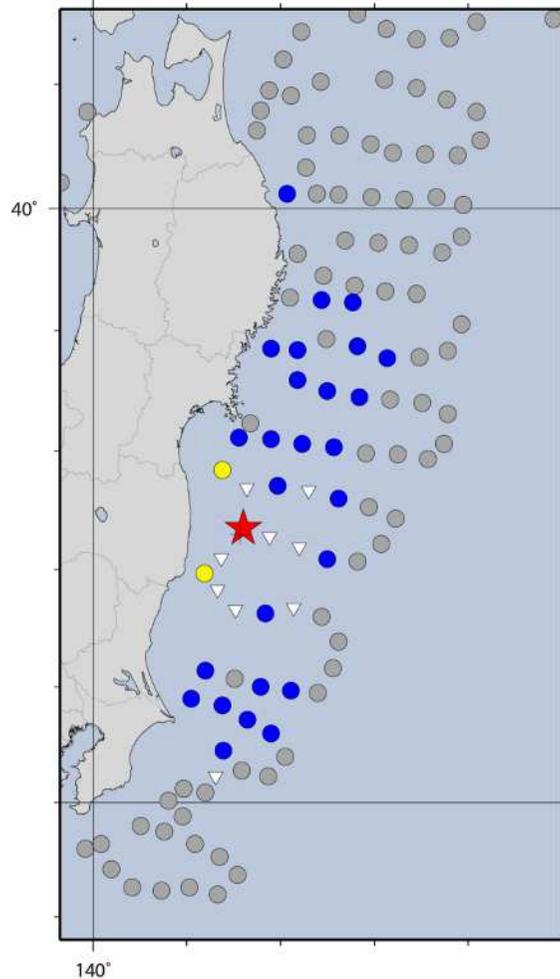
- ・地震後何らかの変化が発生した観測点もあったが、しばらくの間は明瞭に津波と判別することは難しかった
- ・観測された高さから沿岸の換算値を求めたが、発表した警報を更新する高い津波は推定されなかった



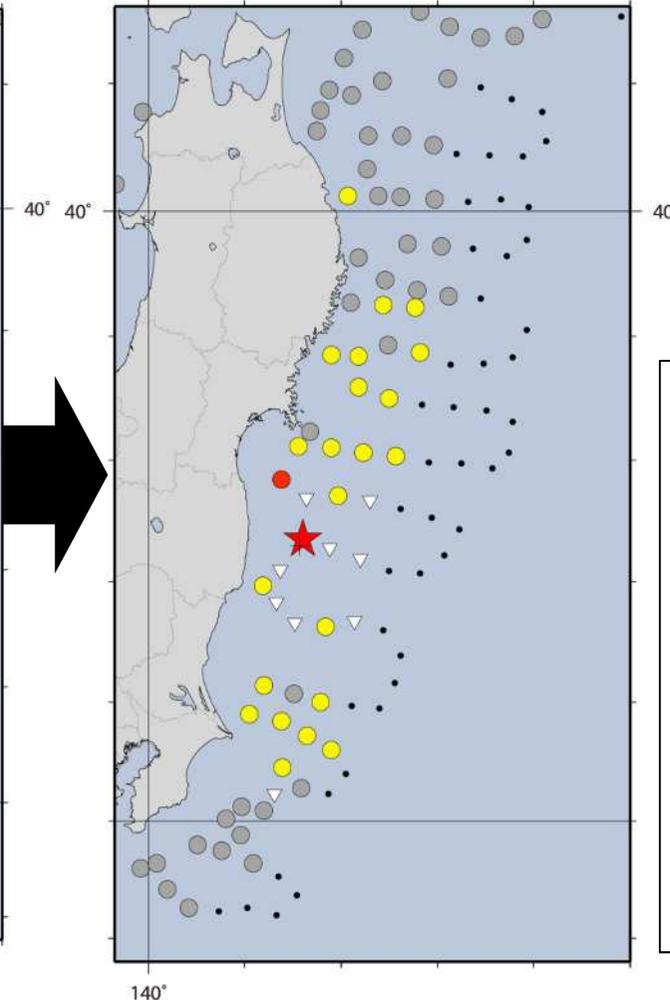
参考：事後解析による沖合津波観測点の津波の高さと沿岸の換算値

- ・事後解析で沖合津波観測点全点に対して津波の高さの精査を行い、沿岸の換算値を求めた
- ・第1報で発表した津波警報等と概ね整合していた

沖合津波観測点(GPS波浪計、海底津波計)の観測値



グリーンの法則を沿岸100km程度まで適用した沿岸の換算値



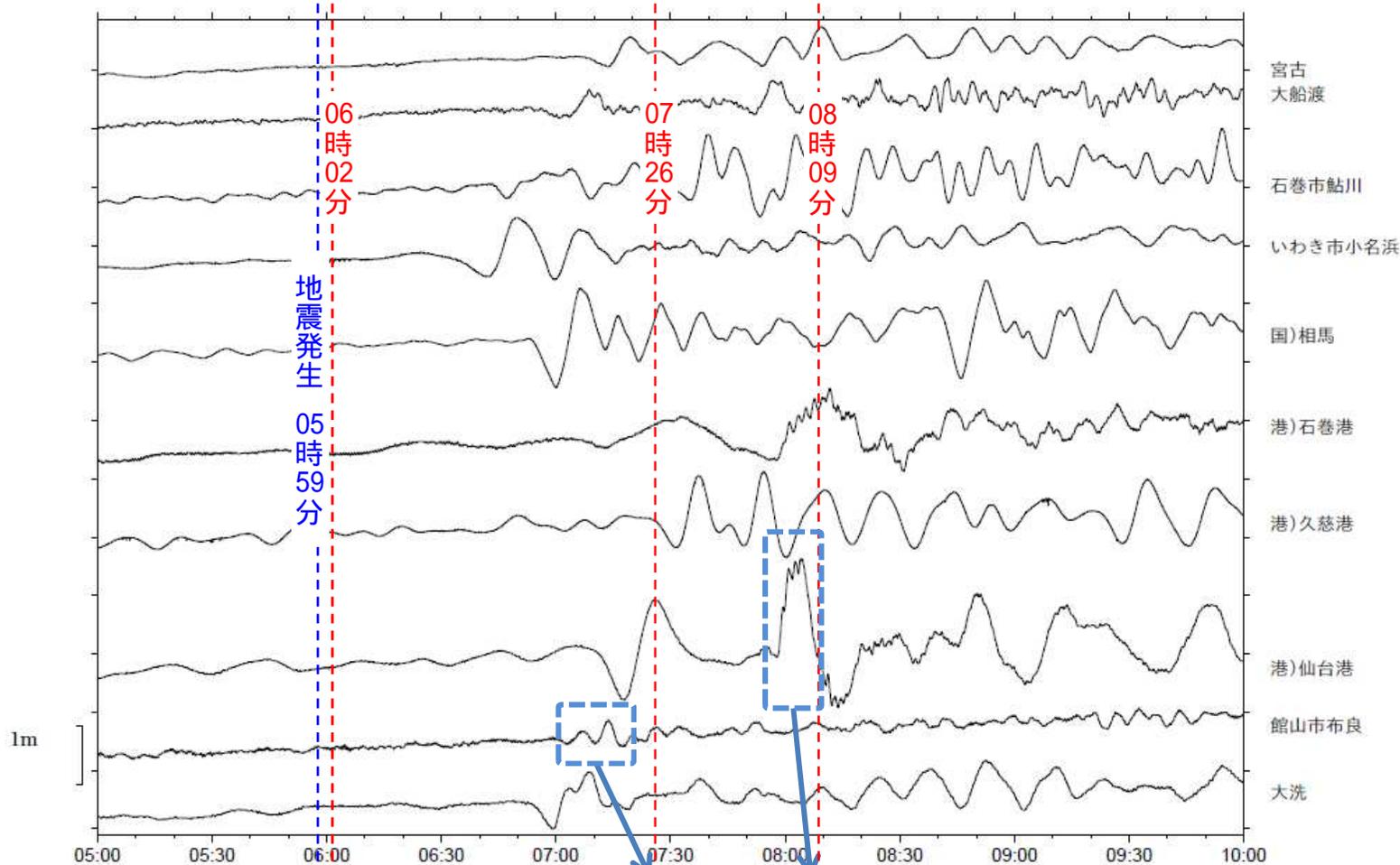
事後解析
(リアルタイムではない)

凡例

- 0.1m未満
- 0.1m以上0.2m未満
- 0.2m以上1.0m以下
- 1.0mより大きい
- 津波など潮汐以外の原因によると考えられる水圧変化が大きかったため読み取りができなかった
- + データ不良の観測点(震源近傍)
- ・100km以遠のため沿岸の高さへの換算を行っていない観測点

沿岸の津波観測に基づく津波警報等の更新

沿岸の津波観測値に基づき、津波注意報の範囲拡大及び津波警報への更新を行った



津波警報等
第1報発表

津波注意報
範囲拡大

宮城県を
津波警報へ更新

20cm程度の津波
が観測されたため

仙台港で高い津波
が観測されたため

津波警報等の発表・更新契機

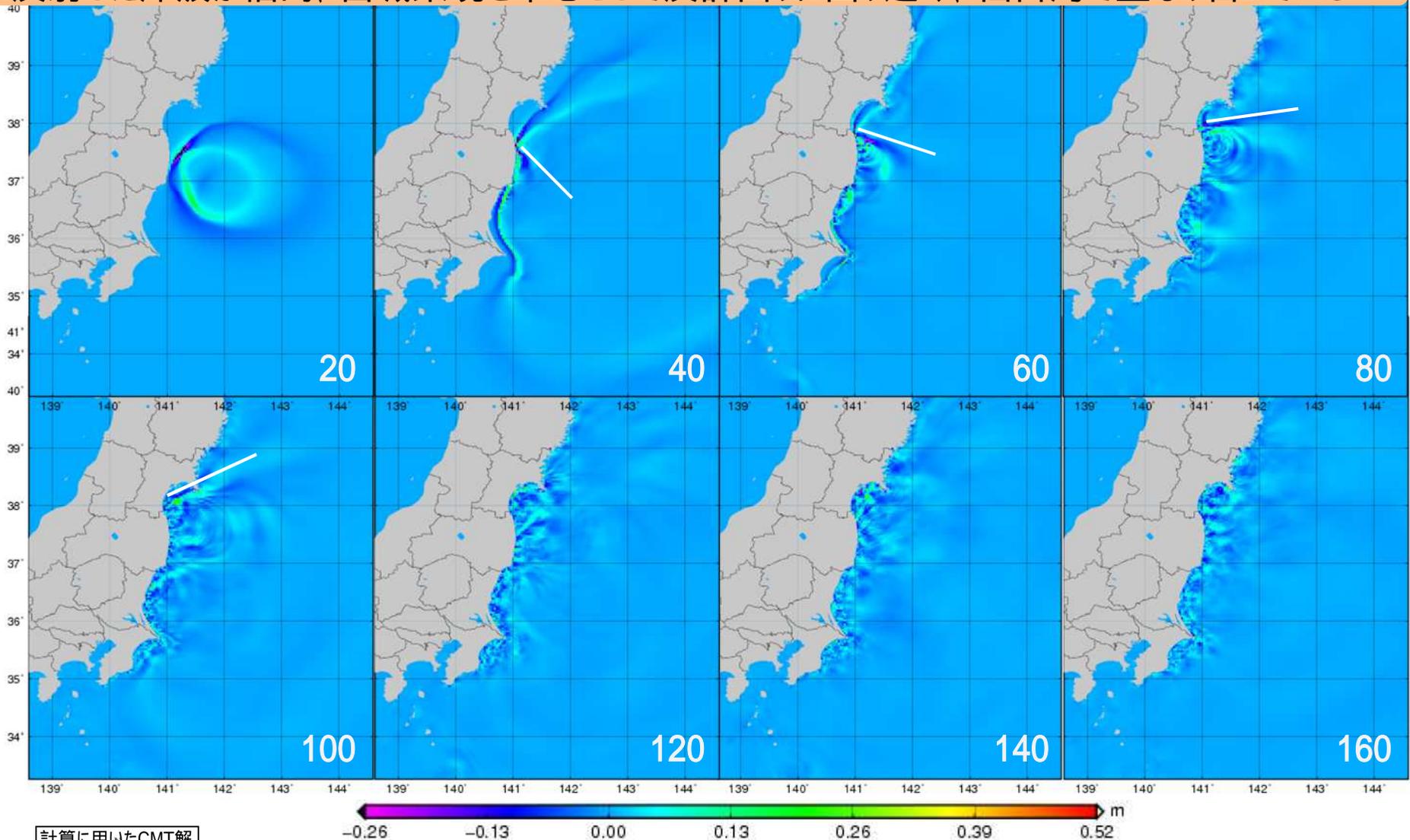
震源決定によるDB検索
CMT解のMwによるDB検索
沖合津波観測点の実況
沿岸の津波観測点の実況

3. 今回の津波の特徴についての考察

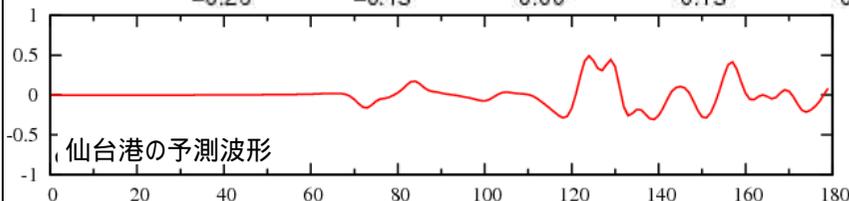
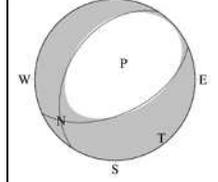
- なぜ後続波で仙台港の津波の高さが津波警報基準を上回ったか
- 断層面の走向による影響
- 今回の断層走向を追加した場合の津波予報データベースの結果
- 事後解析による波源域及び初期水位分布
- 事後に様々な条件をチューニングした津波シミュレーション

なぜ後続波で仙台港の津波の高さが津波警報基準を上回ったか

反射した津波が福島、宮城県境を中心として反時計回りに回り込み、仙台湾で重なり合っている



計算に用いたCMT解

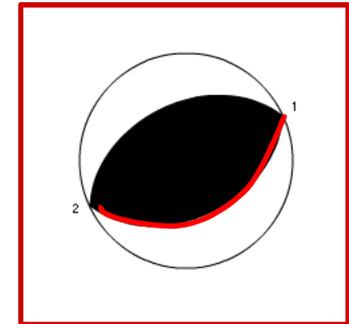
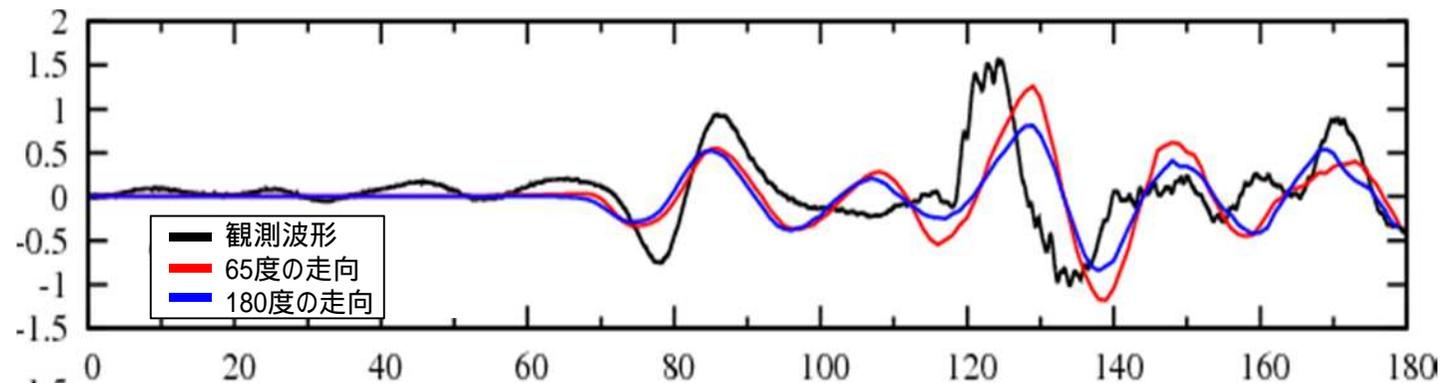


気象庁CMT (走向65度)を初期値
 シミュレーションは気象庁プログラムを使用
 メッシュサイズは一律30秒
 (緯度方向は約900m、経度方向は経度142度で約800m) 15

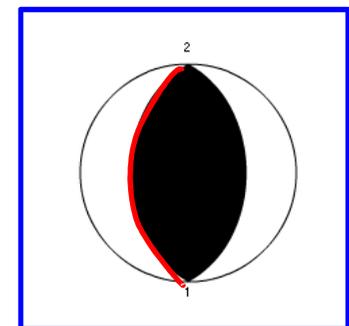
断層面の走向による影響

- ・津波予報データベースに用いた走向(180度、195度)でも第2波の予測はあったが、今回の地震の走向よりは小さな予測となった
- ・今回の地震の走向は仙台港に津波を高く予測する傾向である

仙台港の観測波形及び走向を変化させた予測波形



65度の走向

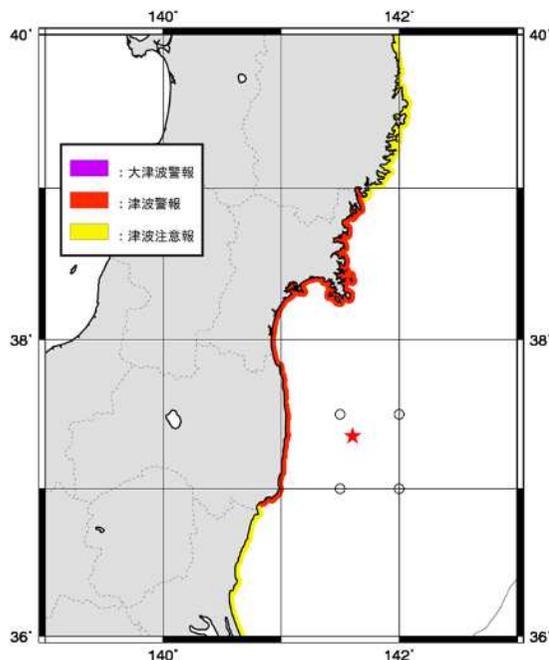


180度の走向

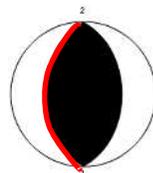
気象庁CMT (Mw6.9)のセントロイド位置で、走向以外の要素は傾斜角45度、すべり角90度の逆断層の位相を変化させたもの
シミュレーションプログラムは東北大のTUNAMI-N2を使用
メッシュサイズは1350m、450m、150mと領域接続

今回の断層走向を追加した場合の津波予報データベースの結果

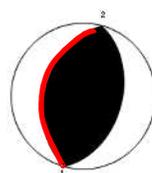
津波予報データベースに今回の地震と同様の走向を追加したところ、第1報の時点で宮城県に対して津波警報となることが確認できた



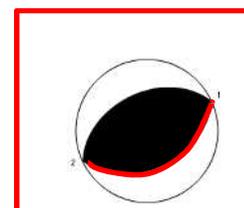
第1報 (M7.3) の予測
津波警報 宮城県、福島県



180度



195度



走向を追加
(65度)

- ・第1報の時点で適切な津波警報を発表するために、今回の地震が発生した領域周辺で、求めた断層の走向によるシミュレーション結果を津波予報データベースに取り込む
- ・他の地域で同様の事象がないか全国的な調査を行う

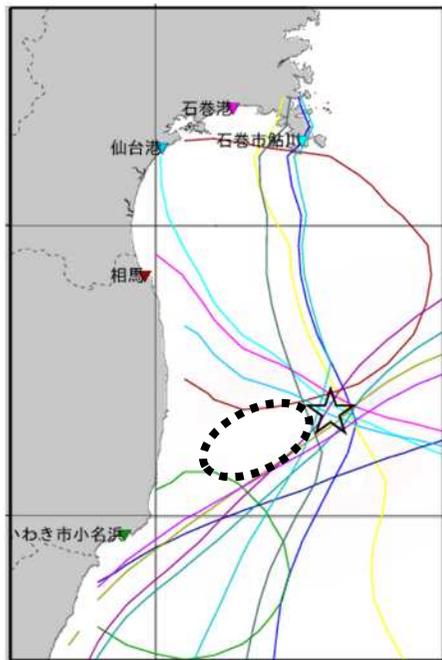
短期的な対応 今回の断層の走向を津波予報データベースに追加することで、第1報の時点から津波警報が発表できる

中長期的な対応 断層の走向等で予測高さに変化が出る観測点の全国的な調査

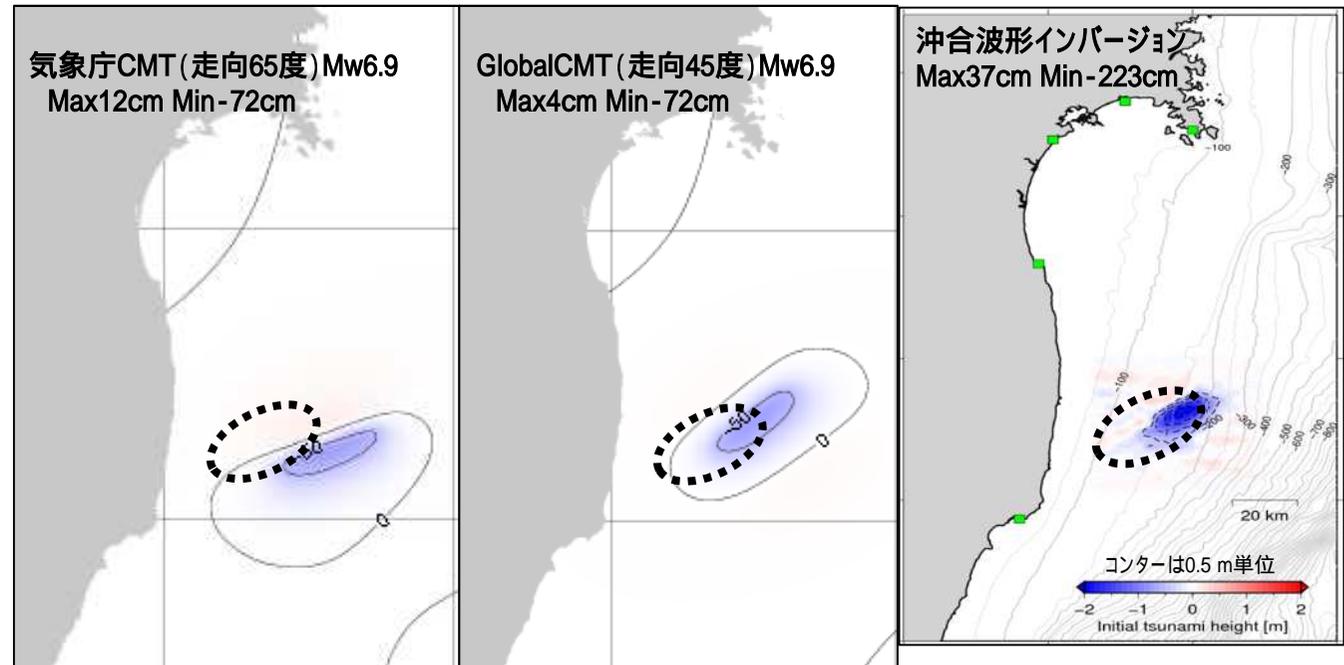
事後解析による波源域及び初期水位分布

- ・観測値、各種解析値を比較
- ・観測値から推定した波源域には沖合波形インバージョンによる初期水位分布が最も整合的

逆伝播図による波源域



各種解析による初期水位分布

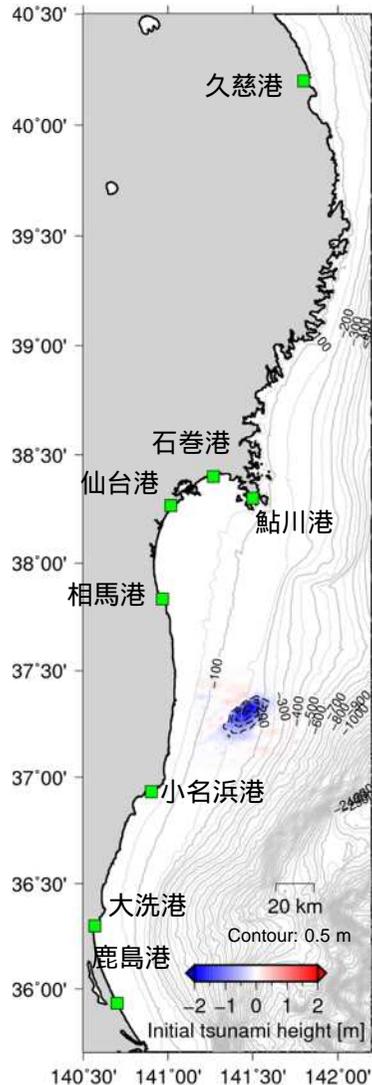


⦿ 逆伝播図より、波源と推定される領域

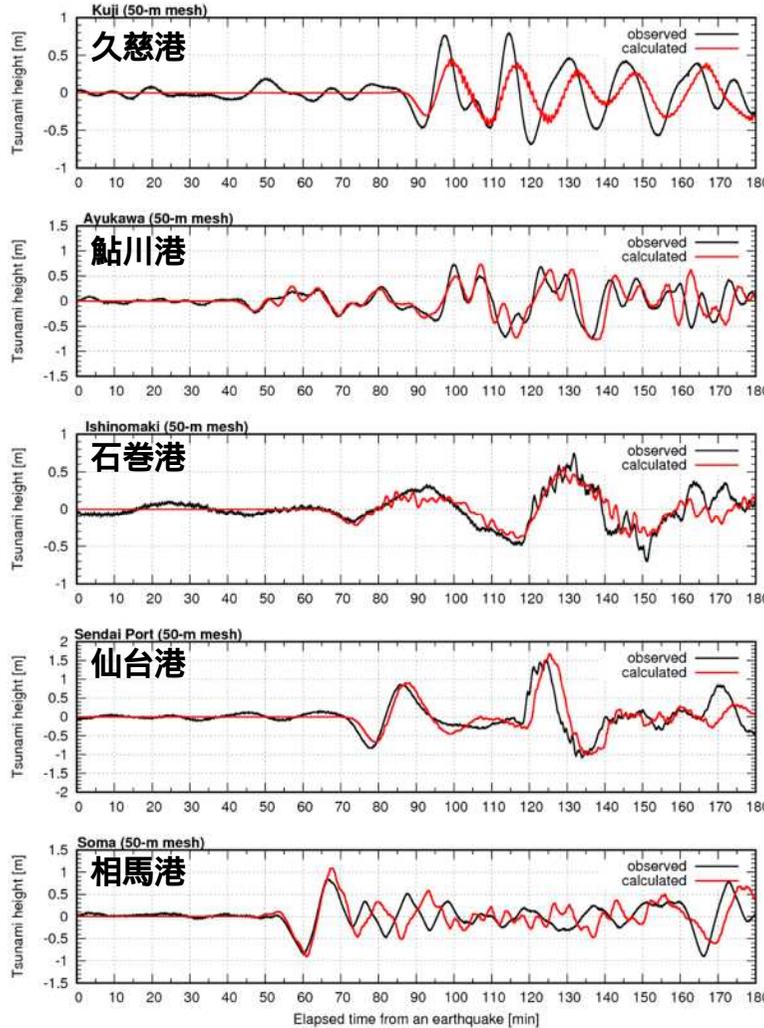
事後に様々な条件をチューニングした津波シミュレーション

事後解析となるが、沖合波形インバージョンを初期値とし、高解像度シミュレーションを行うことで観測波形をほぼ説明できる予測波形が得られた。

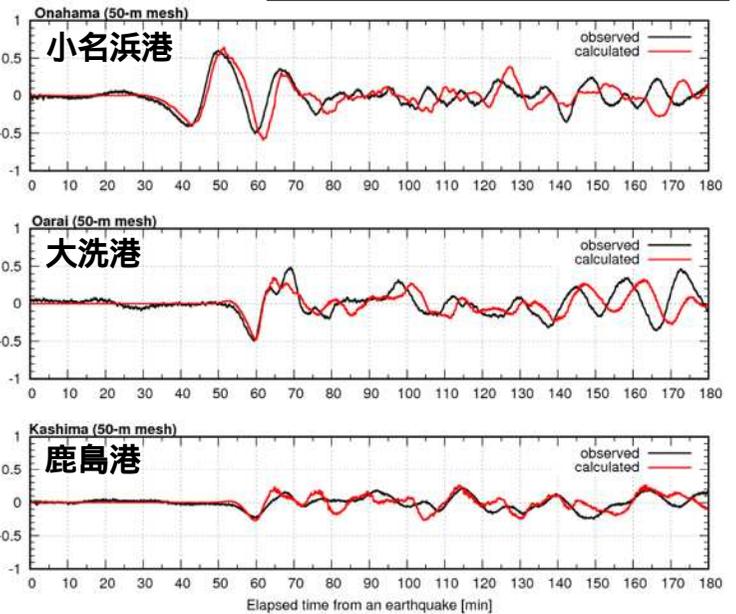
初期水位分布



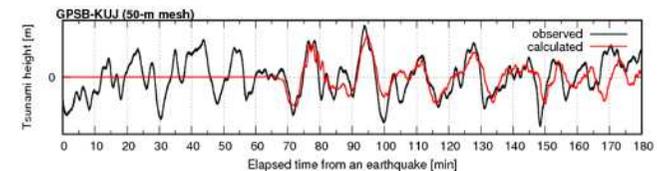
沿岸の津波波形 観測 / 計算



事後解析
(リアルタイムではない)



GPS波浪計 (久慈沖)



沖合波形インバージョン (tFISHではない) を初期値
シミュレーションはJAGURS (Baba et.al,2015) を使用
メッシュサイズは1350m、450m、150m、50mと領域接続
50mメッシュでは海岸構造物を考慮



4.まとめ

まとめ

2016年11月22日の福島県沖の地震では後続波が津波警報基準を超え、沿岸の実況で津波警報の更新を行った。

事後の解析による分析では以下のことが分かった。

- 最大振幅をもたらした後続波は、一度福島県の海岸で反射した波が海底地形の影響で仙台湾に回り込んだものである
- 今回の地震は、津波警報等で用いる津波データベースで想定していた地震と断層の走向が大きく異なっていた
- 津波予報データベースでは後続波の振幅は第1波の振幅と同程度にしかならないが、今回の断層の走向を取り入れると後続波の振幅は大きくなる
- さらに、沖合津波波形を用いたインバージョンで得られた初期水位分布を初期値として解像度の高い津波伝播シミュレーションを行うことで、今回の津波の推移をより高い精度で再現できた

これらのことから、以下の対応を行う

- 第1報の時点で適切な津波警報を発表するために、今回の地震が発生した領域周辺の津波予報データベースに今回の断層と同様の走向によるシミュレーション結果を取り込む
- さらに、津波予報データベースに搭載している断層の走向と異なる走向を持つ地震活動が近年発生していないか、全国的な調査を行い、必要に応じて津波予報データベースに取り込む

また、今回の原因分析において、沖合津波計のデータは精度の高い津波予測に有効であることが分かったため、引き続き津波警報等の更新への活用方法の高度化に取り組む