

日本海溝海底地震津波観測網等の活用について

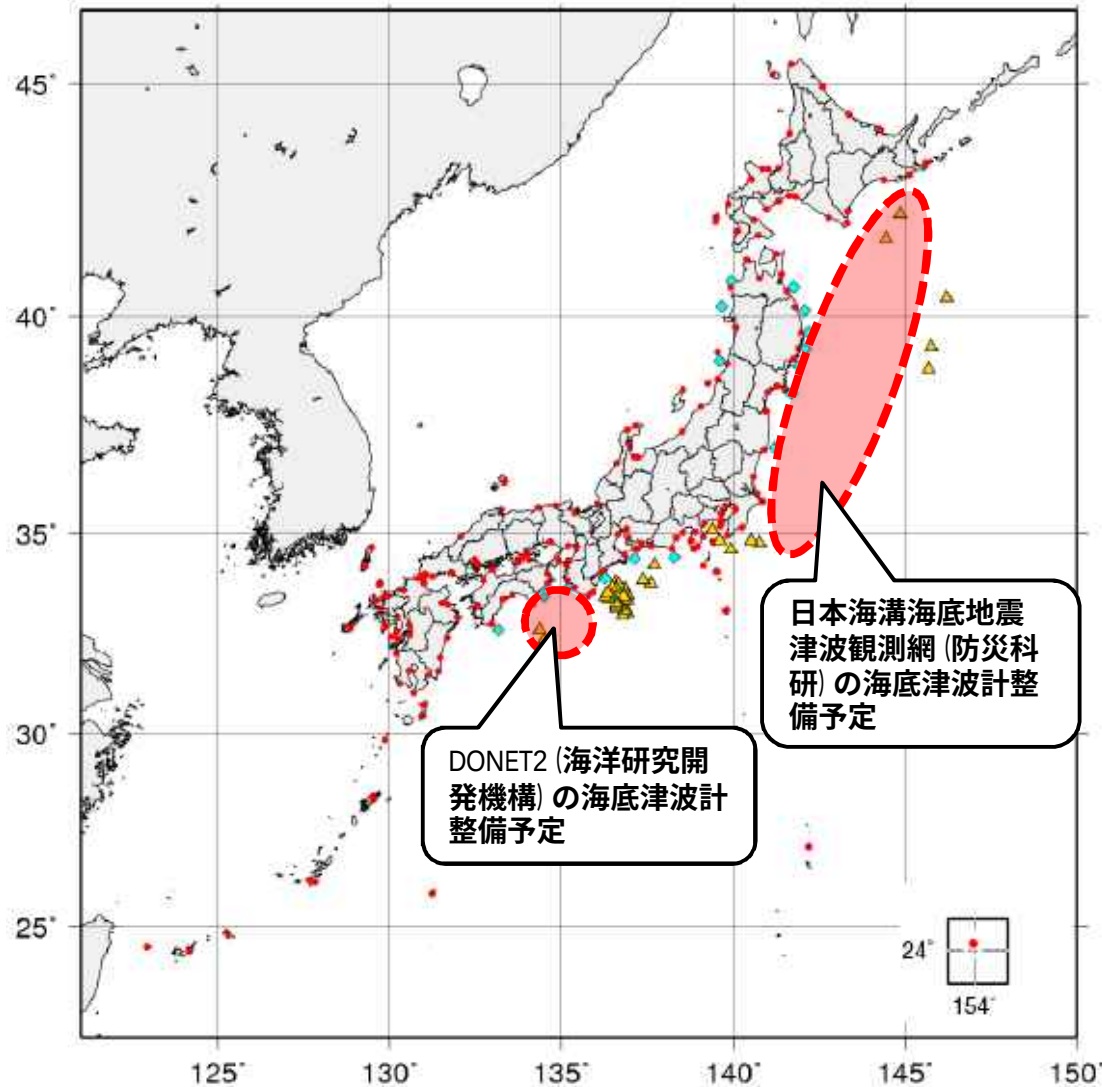
- ・沖合の観測点による津波監視及び情報発表の現状
- ・多数の海底津波計を活用した効率的な津波監視方法の検討
- ・海底津波計に記録される地震動の影響の除去について

平成26年3月5日

気象庁地震火山部地震津波監視課

沖合の観測網の整備の動向

気象庁が津波監視に用いている観測点と今後の各機関の整備予定



現在、防災科学研究所、海洋研究開発機構および気象庁が設置した海底津波計36地点およびGPS波浪計16地点を使って、リアルタイムで沖合の津波の波形を監視。



防災科学技術研究所が整備を進めている日本海溝海底地震津波観測網や海洋研究開発機構が整備を進めているDONET2が加わることで、近い将来、沖合の観測点の大幅な増加が見込まれる。



監視対象、情報発表対象の観測点の大幅な増加

沖合の観測点による津波監視及び情報発表の現状

○沖合の観測点による津波の監視

津波警報の高さ予想の更新が必要になるような津波を見逃さないよう沖合観測点全点で監視を行う。

○「沖合の津波観測に関する情報」の発表

- ・平成23年度に開催した津波警報改善に関する勉強会・検討会の議論をもとに、沖合で実際に津波が観測したことをいち早く伝え、津波警報等による避難行動をさらに促すよう、従来の観測情報とは別に新設。
- ・GPS波浪計、水圧式海底津波計（ケーブル式、ブイ式）の観測値と沿岸の推定値を発表。

「沖合の津波観測に関する情報」での沖合の観測値、沿岸の推定値の表現方法

発表中の 警報・注意報	観測値から推定される沿岸での津波の高さ	最大波の発表内容		
		沖合の観測値	沿岸の推定値 ^{※2}	
			警報等で予想高さを数値で発表中	警報等で予想高さを定性表現で発表中
大津波警報	3m超	数値	数値	「巨大」
	3m以下	「観測中」	「推定中」	「推定中」
津波警報	1m超	数値	数値	「高い」
	1m以下	「観測中」	「推定中」	「推定中」
津波注意報	(すべての場合)	数値 ^{※1}	数値	(表記なし)

※1 ごく小さい場合は「微弱」と発表

※2 沿岸からの距離が100km程度を超えるような沖合の観測点では、津波予報区との対応付けが難しいため、沿岸での推定値は発表しない

観測した値や沿岸の推定値が予想される高さに対して十分小さいうちは、定性表現で発表

情報発表する観測点

津波の監視は沖合観測点全点で行うが、情報発表に関しては、現状では以下のように観測点を選択して発表する運用としている。

◆GPS波浪計

津波を検知した観測点の全てを対象として発表する。

◆水圧式海底津波計（ケーブル式、ブイ式）

稠密に観測点が設置されている海域では、多くの観測点で津波が観測されることが想定され、それら全ての随時の発表は情報過多となり、必ずしも効果的ではない。

そのため、初めに津波を検知した観測点を中心に以下のように発表する。

・対応する津波予報区がある観測点（沿岸から約100km以内※）

津波予報区毎に初めに津波を検知した観測点を対象に発表する。

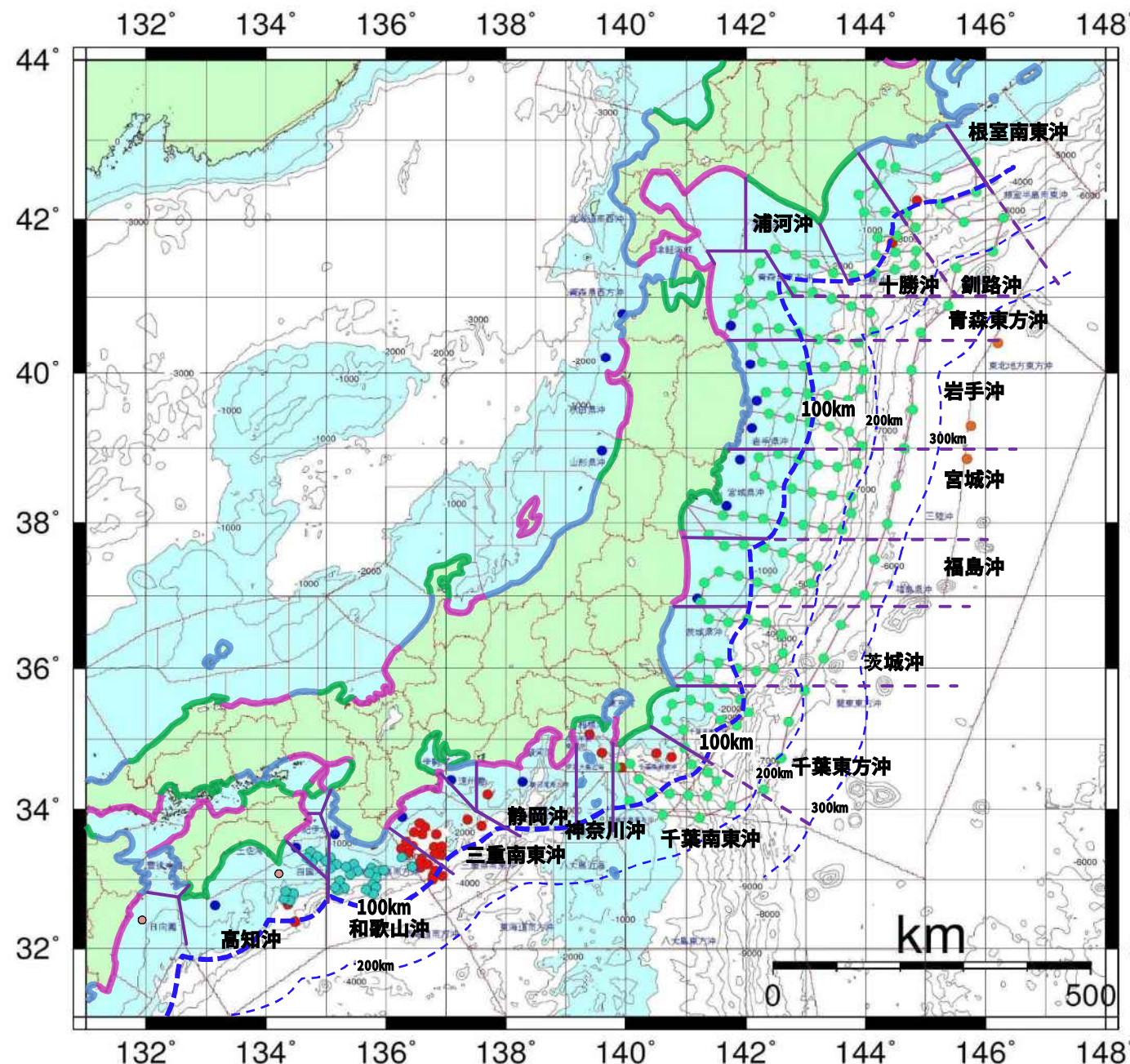
観測値から推定される沿岸での津波の高さが、発表中の高さ予想を上回るおそれがある場合は、津波警報等の更新後、その根拠とした観測点についても発表する。

・対応する津波予報区がない観測点（沿岸から100kmより遠い）

初めに津波を検知した観測点を発表するが、対応する津波予報区がある観測点で既に津波を観測している場合は発表しない。

※ 海底地形を考慮し、水深が急に深くなる場所等の対応づけが困難な観測点は除く。

沖合観測点の名称および津波予報区との対応



[沖合い観測点の名称]

◆GPS波浪計

県名+地域・市町村名+「沖」
(例: 岩手釜石沖)

◆海底水圧計

図に示す海域名+沿岸からの距離+位置を示すアルファベット
(例: 青森東方沖100kmB)

※ 自治体等と調整後に名称確定

[津波報区との対応]

GPS波浪計及び沿岸から約100km以内の海底水圧計の観測点は、津波予報区と対応付ける。



観測された津波の高さから当該津波予報区の沿岸での津波の高さを推定し情報で発表

- 活用中のGPS波浪計
- 活用中のケーブル式水圧計
- 活用中のブイ式海底津波計 (DART)
- 日本海溝海底地震津波観測網 (計画)
- DONET2水圧計 (計画)
- GPS波浪計 (計画)
- 沿岸からの距離
- 水深2000m以浅の海域

注) 計画中の観測点の位置等は確定したものではありません

沖合の津波観測に関する情報文(第1報)の例

(岩手県・宮城県には大津波警報を発表中)

津波情報(沖合の津波観測に関する情報)
平成25年12月18日14時51分 気象庁発表

高い津波を沖合で観測しました。
岩手沖90km、宮城沖130km

[沖合で観測した津波の観測値]
18日14時50分現在、沖合の観測値は次のとおりです。
+印は現在潮位が上昇中であることを表します。
沖合での観測値であり、沿岸では津波はさらに高くなります。

岩手沖90kmB		
第1波観測時刻	18日14時49分	押し
これまでの最大波	観測中	
宮城沖130kmA		
第1波観測時刻	18日14時48分	押し
これまでの最大波	18日14時50分	0.3m+

[沖合の観測値から推定される沿岸の津波の高さ]
沿岸での津波到達時刻および津波の高さは以下のとおりと推定されます。
\$印は優先度の高い重要な情報を示す記号です。
早いところでは、既に津波が到達していると推定されます。

岩手県	
第1波の推定到達時刻	18日15時04分
これまでの最大波の推定到達時刻	推定中
推定される津波の高さ	推定中

[震源、規模]
きょう18日14時46分頃地震がありました。
震源地は、三陸沖(北緯38.8度、東経142.6度、牡鹿半島の東北東150km付近)で、震源の深さは約10km、地震の規模(マグニチュード)は8を超える巨大地震と推定されます。

沖合の観測値から推定される沿岸での津波の高さが、津波警報基準(1m超)以上のとき見出し文に表記(位置を区別するアルファベットは省略)

沿岸から100kmより遠い観測点は、特定の津波予報区とは関連付けないが、いずれかの予報区に到達した場合の推定値を求め、1mを越える場合には、見出しに観測点名が出現

沖合の観測値から推定される沿岸での津波の高さが、数値で発表する基準に満たない場合は「観測中」と表現

沖合の観測値から推定される沿岸での津波の高さが、数値で発表する基準に満たない場合は「推定中」と表現する

Mj過小評価と判定し、予想される津波高さを定性表現で発表中は「8を超える巨大地震」と表現

沖合の津波観測に関する情報文(第2報)の例

(岩手県・宮城県には大津波警報を発表中)

津波情報(沖合の津波観測に関する情報)
平成25年12月18日15時00分 気象庁発表

高い津波を沖合で観測しました。
岩手沖30km、宮城沖60km、岩手沖90km、
宮城沖130km

[沖合で観測した津波の観測値]
18日14時59分現在、沖合の観測値は次のとおりです。
\$印は新たに高い津波を観測したことを表します。
#印は新たに発表、あるいは情報を更新した箇所です。
+印は現在潮位が上昇中であることを表します。
沖合での観測値であり、沿岸では津波はさらに高くなります。

岩手沖30kmC		
第1波観測時刻	# 18日14時55分	押し
これまでの最大波	\$ # 18日14時59分	1.2m
岩手沖90kmB		
第1波観測時刻	18日14時49分	押し
これまでの最大波	# 18日14時52分	0.8m
宮城沖60kmB		
第1波観測時刻	# 18日14時54分	押し
これまでの最大波	\$ # 18日14時58分	0.3m+
宮城沖130kmA		
第1波観測時刻	18日14時48分	押し
これまでの最大波	# 18日14時52分	0.6m

[沖合の観測値から推定される沿岸の津波の高さ]
沿岸での津波到達時刻および津波の高さは以下のとおりと推定されます。
\$印は優先度の高い重要な情報を示す記号です。
#印は新たに発表、あるいは情報を更新した箇所です。
早いところでは、既に津波が到達していると推定されます。

岩手県	
第1波の推定到達時刻	18日15時04分
これまでの最大波の推定到達時刻	# 18日15時08分
推定される津波の高さ	\$ # 10m
宮城県	
第1波の推定到達時刻	# 18日15時08分
これまでの最大波の推定到達時刻	# 18日15時12分
推定される津波の高さ	\$ # 10m

[震源、規模]
きょう18日14時46分頃地震がありました。
震源地は、三陸沖(北緯38.8度、東経142.6度、牡鹿半島の東北東
150km付近)で、震源の深さは約10km、地震の規模(マグニ
チュード)は8.1と推定されます。

Mj過小評価でない場合、またはMwにより警報等
を更新した場合は数値で発表

観測点名が見出し部に始めて出現する場合に
「\$」印を付加

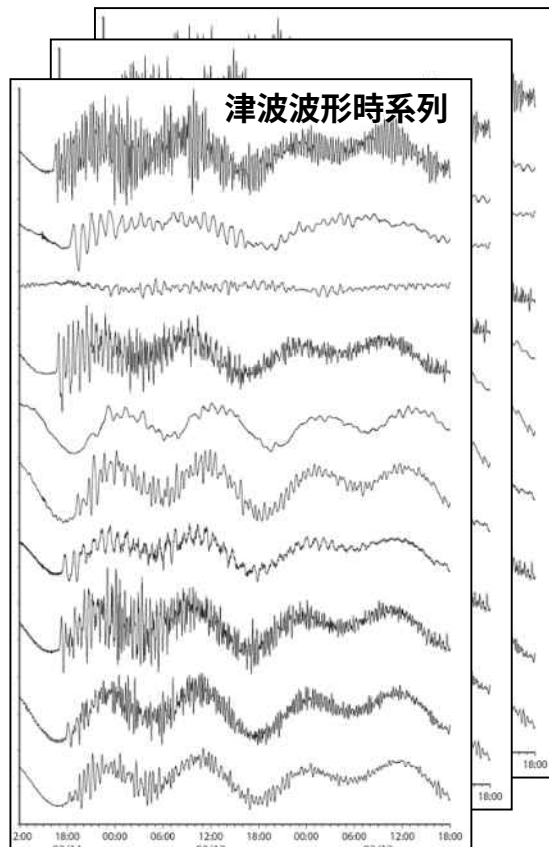
これまでの最大波が上昇中の場合「+」を付加

新たに発表となった場合や値が更新された場合
に「#」印を付加

推定される津波の高さは、高さ予想の区分[1m、
3m、5m、10m、10m超]を記述
予想される津波の高さを定性表現で発表中は
「巨大」、「高い」を記述

推定値が初めて大津波警報の高さ区分となった
(高さの切上げ含む)場合に「\$」印を付加

多数の海底津波計を活用した効率的な津波監視方法の検討



時系列的な監視のみの限界



現在、防災科学研究所、海洋研究開発機構および気象庁が設置した海底津波計36地点およびGPS波浪計16地点を使って、リアルタイムで沖合の津波の波形の時系列を監視。



日本海溝海底地震津波観測網のほか、海洋研究開発機構のDONET2などが加わると、沖合の津波観測点だけで200点以上。



面的に多数配置される海底津波計を効率的に津波監視作業に用いる方法について検討。

多数の海底津波計を活用した効率的な津波監視方法の検討(2)

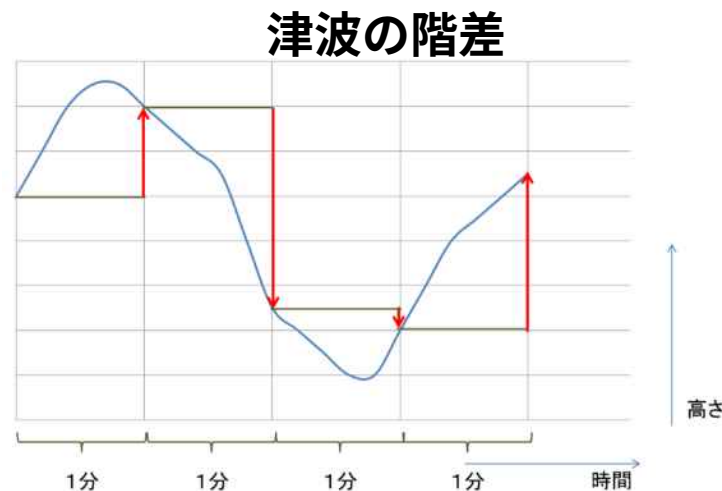
多数の観測点を利用して、面的に津波の発生や伝播状況を簡単に把握することを検討。



① 津波の高さ分布を面的に監視する。=>もっともシンプルな手法

② ①以外の手法として、津波の高さの階差(ひとつ前の時間での津波の高さとの差分)を面的に監視する。

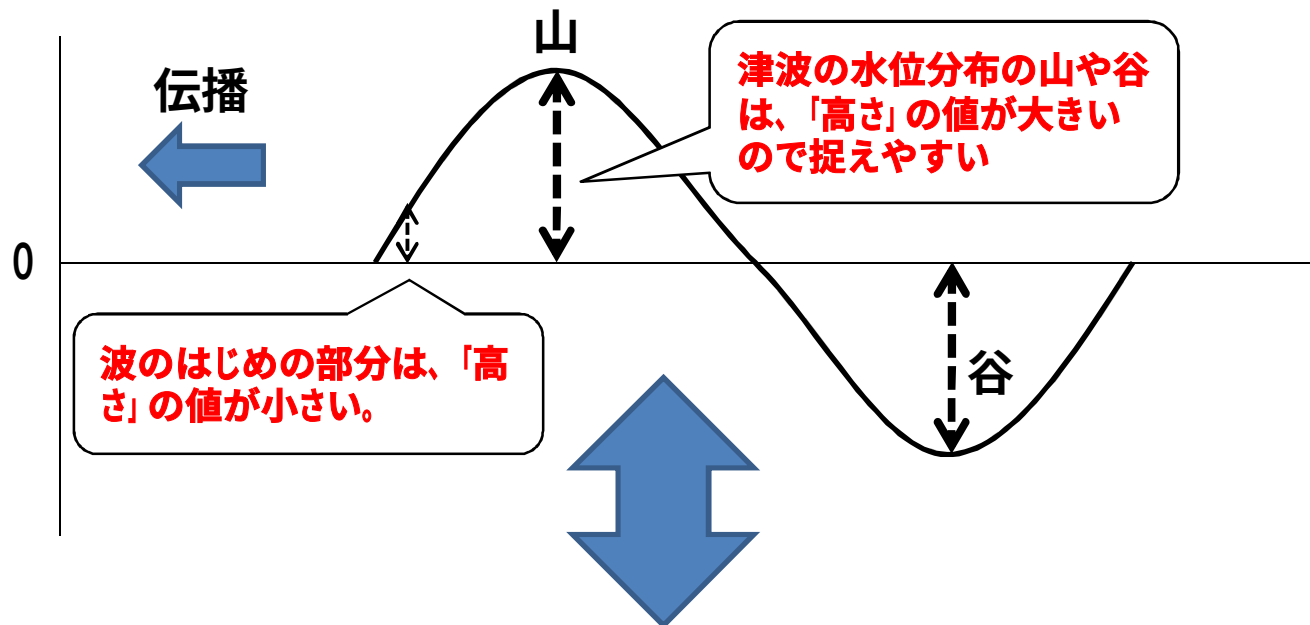
=> 海面の傾きを監視することに相当。高さでみるよりも波の前面を捉えやすい可能性。



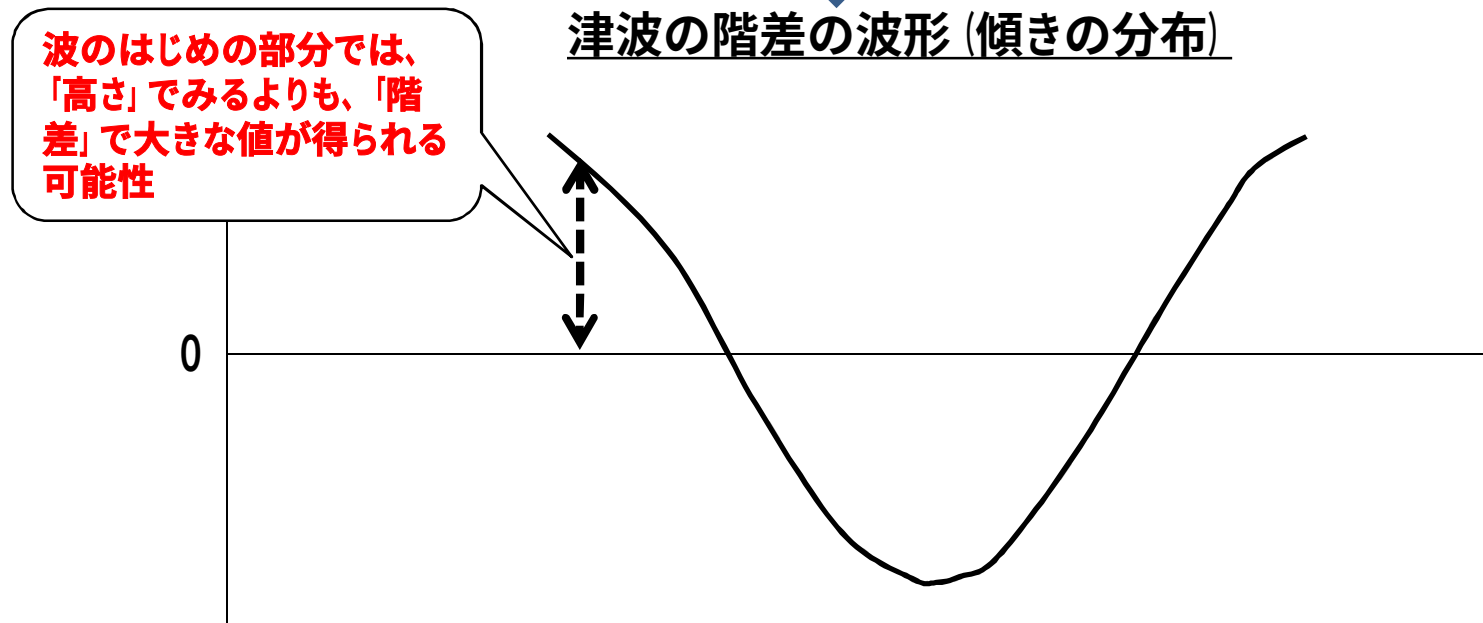
$$(\text{階差}) = (\text{現在の津波の高さ}) - (\text{1分前の津波の高さ})$$

「高さ」と「階差」での津波監視

津波の波形 (高さの分布)

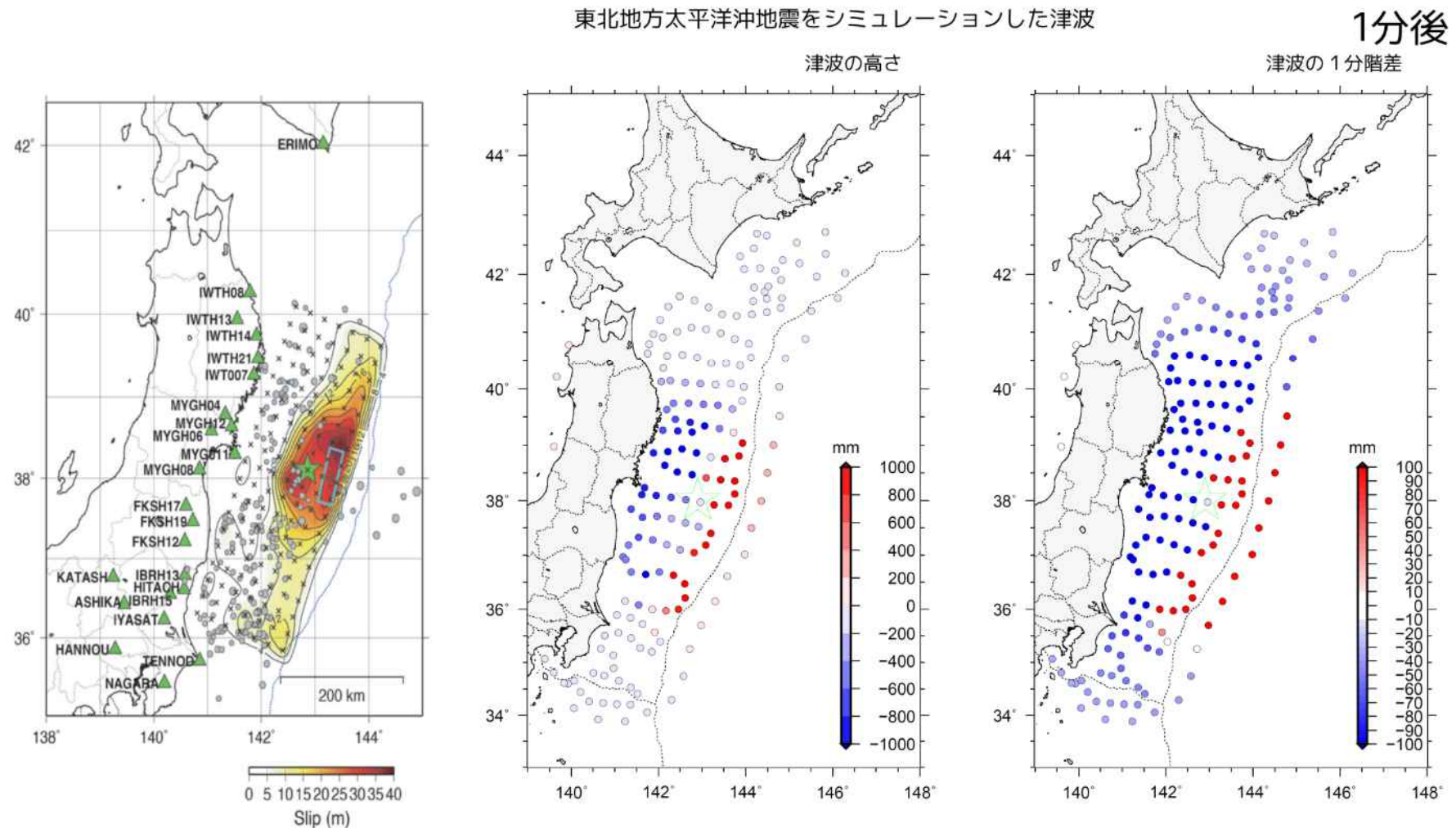


津波の階差の波形 (傾きの分布)



2011年(平成23年)3月11日東北地方太平洋沖地震を想定した場合①

設置予定の沖合いの観測点で、どのように津波の広がりが見えるか、「高さ」と「階差」での見え方をシミュレーションした。



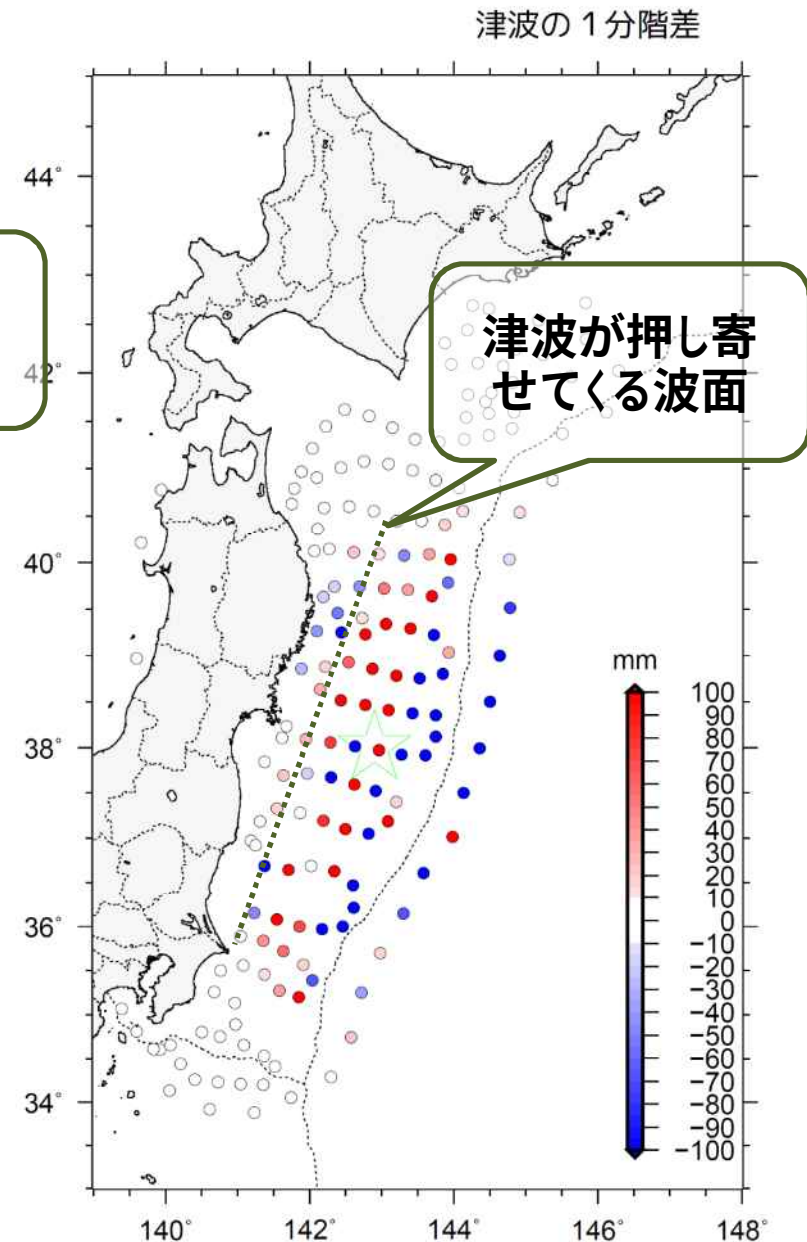
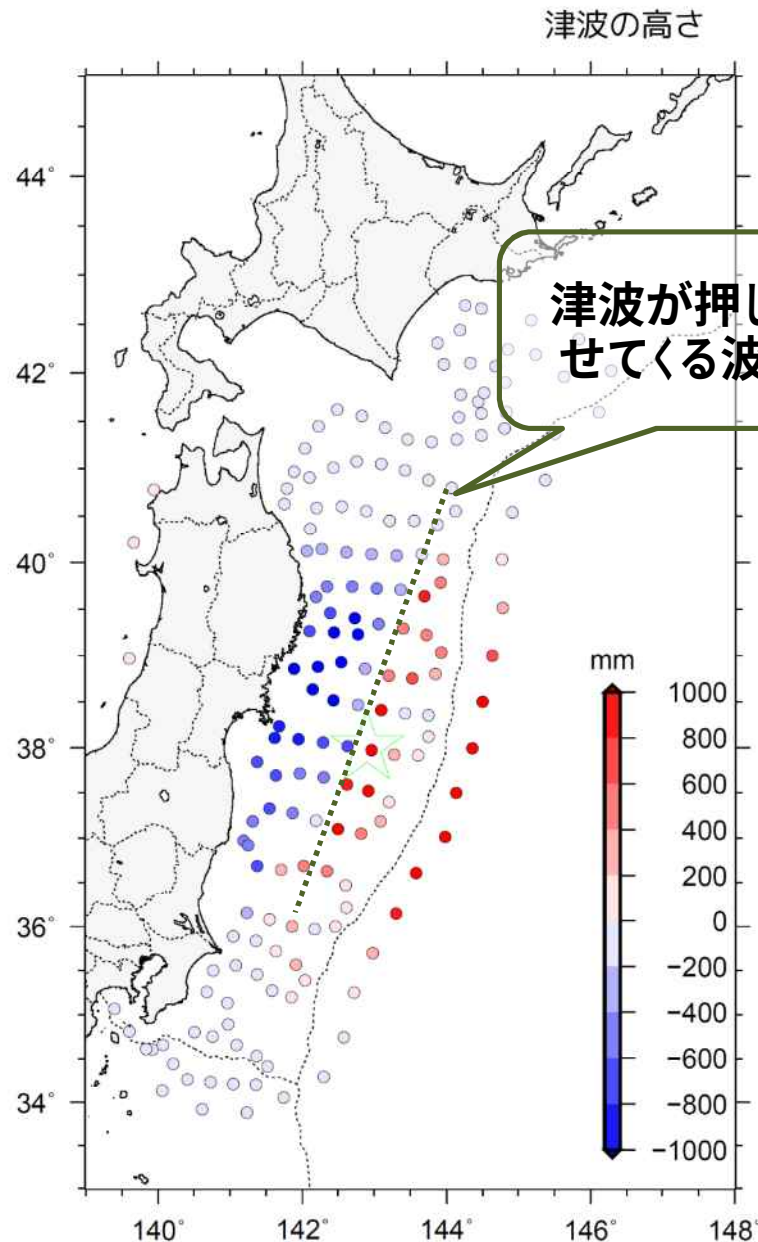
近地強震記録を使った震源過程解析結果

震源過程解析の結果を津波の初期波減と仮定し、設置予定地点での津波の時系列(津波波形)を計算して津波の高さと階差を求めて表示した。

2011年(平成23年)3月11日東北地方太平洋沖地震を想定した場合②

東北地方太平洋沖地震をシミュレーションした津波

5分後



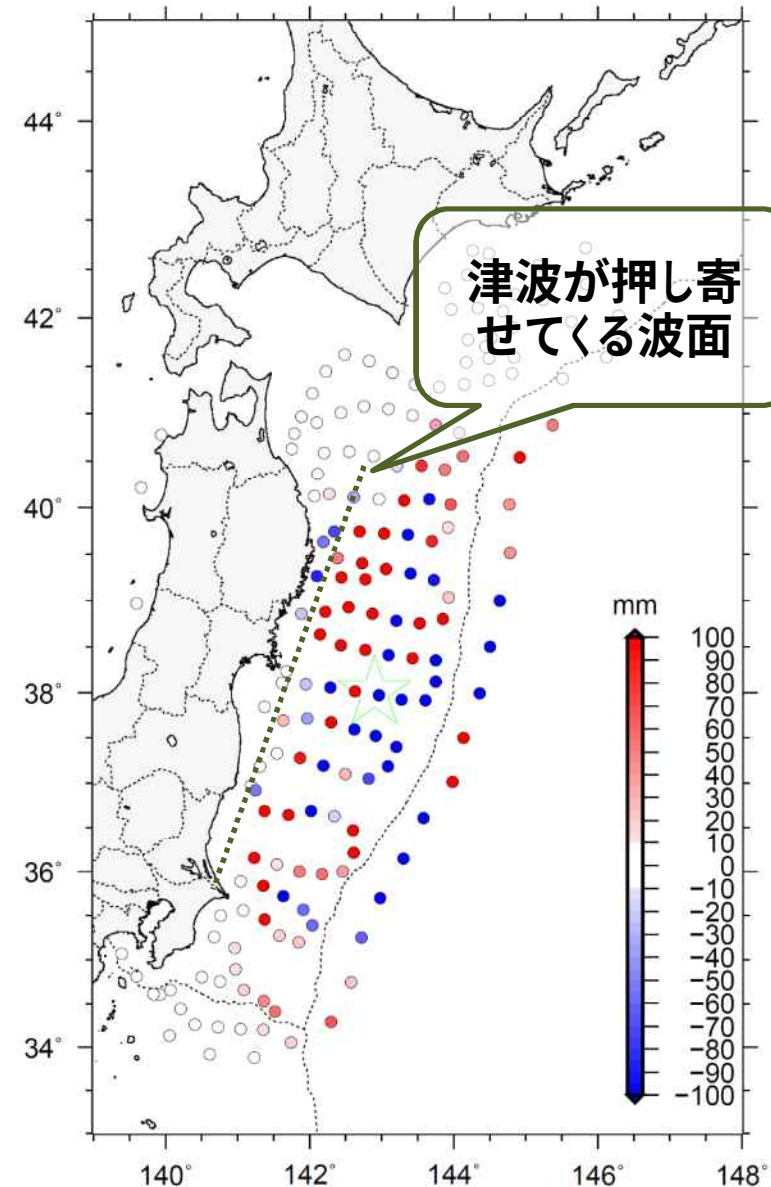
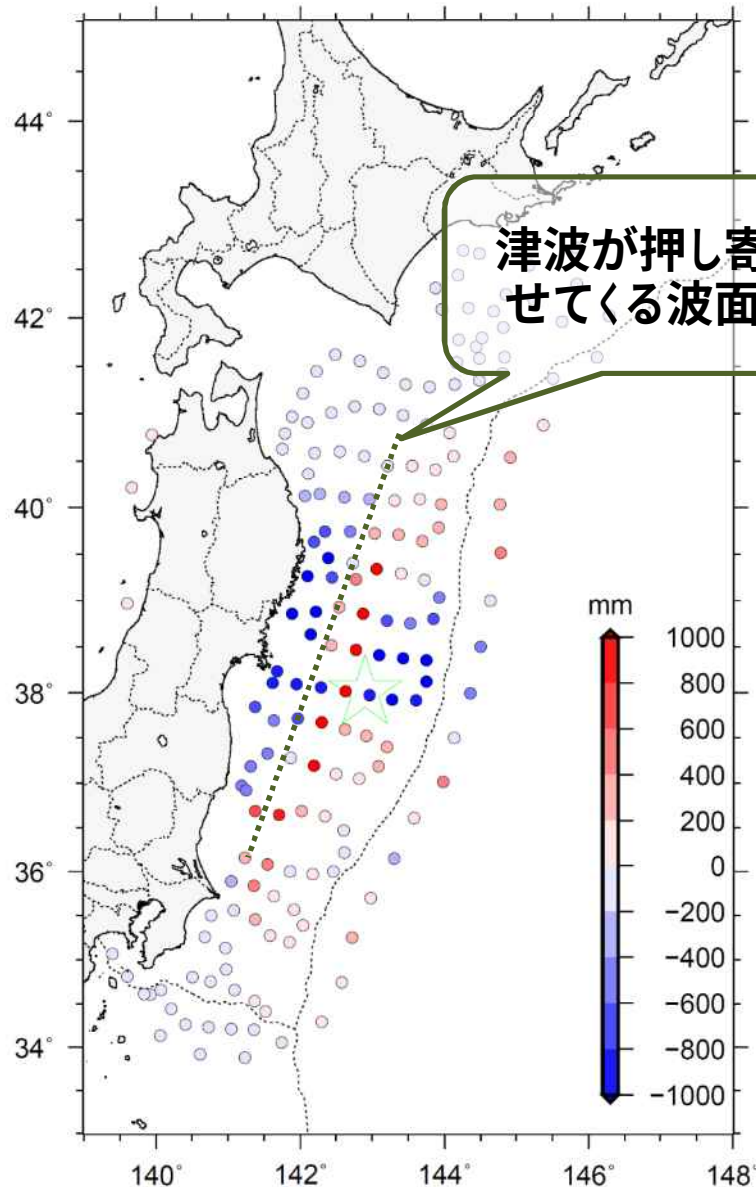
2011年(平成23年)3月11日東北地方太平洋沖地震を想定した場合③

東北地方太平洋沖地震をシミュレーションした津波

10分後

津波の高さ

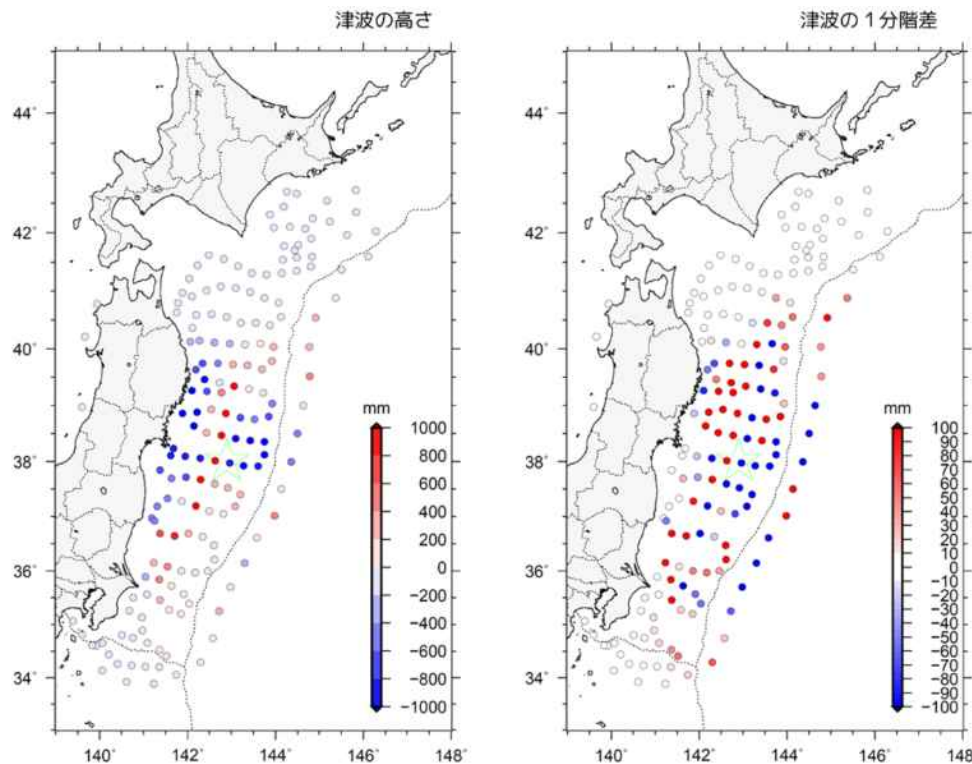
津波の1分階差



多数の海底津波計を活用した面的な津波監視

津波が押し寄せてくる波面に着目すると、「高さ」で示しているよりも、「階差」で示した方がより沿岸に到達する前に押し波で来ることが認識できた。

=> 「階差」で示した方が、津波の前面の部分をとらえやすい。



津波の「階差」の面的な監視により、より早いタイミングで、津波の広がりや伝播状況を把握し、監視や情報発表のために、どの観測点を優先的に検測すればよいかを判断できる可能性がある。

海底津波計に記録される地震動の影響の除去について

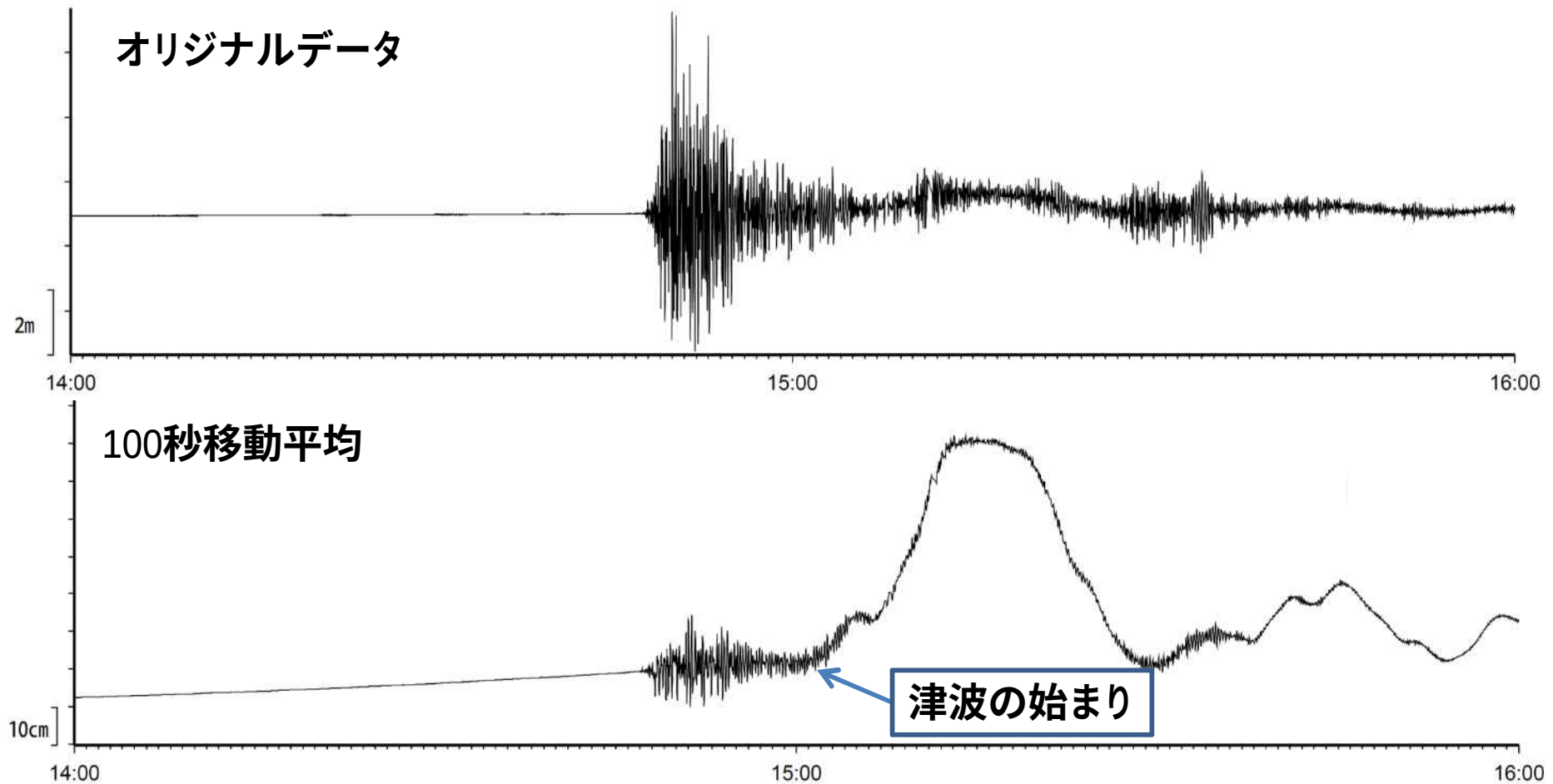
時系列的な監視 (現状) でも、面的な監視 (将来) においても、海底津波計の活用においては地震動の影響が大きな課題となる。



- 海底津波計のデータは、地震動等の津波以外の記録を含んでいるためそのままでは適切な津波の読み取りが出来ない場合がある。そのため、現在は100秒移動平均を行って、津波の読み取りを行っているが、地震動の影響を除去しきれない状況である。
- 今後、防災科学技術研究所の日本海溝海底地震津波観測網、海洋研究開発機構のDONET2の整備が進めば、大幅な観測点の増加が見込まれる。これら多数の観測点を効率的に監視し、情報発表するためには、地震動の影響をより低減することが望ましい。
- 平成27年度運用開始の次期システムで津波の自動検測等を運用することも念頭に、より短周期のデータを取り除くため、高周波成分を効果的に除去できるローパスフィルタであるバターワースフィルタを用いる効果を検討した。

2011年(平成23年)東北地方太平洋沖地震時の海底津波計の記録

釧路1の海底津波計(独)海洋研究開発機構の記録

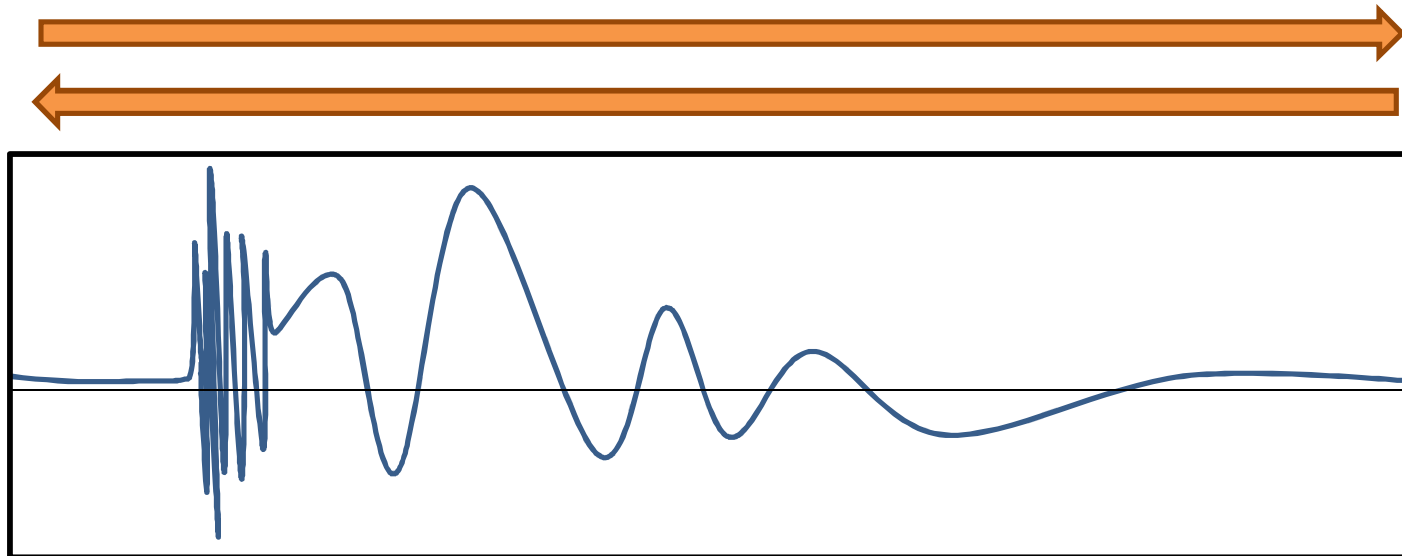


100秒移動平均の処理だけでは、地震動の影響が除去できず、津波の始まりが明確にわかりにくい。

バターワースフィルタの処理内容

カットオフ周波数（周波数特性が-3dBとなる周波数）を、それぞれ0.02Hz、0.01Hz、0.005Hz、次数をそれぞれ1次、2次、3次としたバターワース特性のローパスフィルタをある期間のデータに時間遅れ等による位相のずれが無いように前後から一回ずつ適用して、それぞれの効果を検証した。

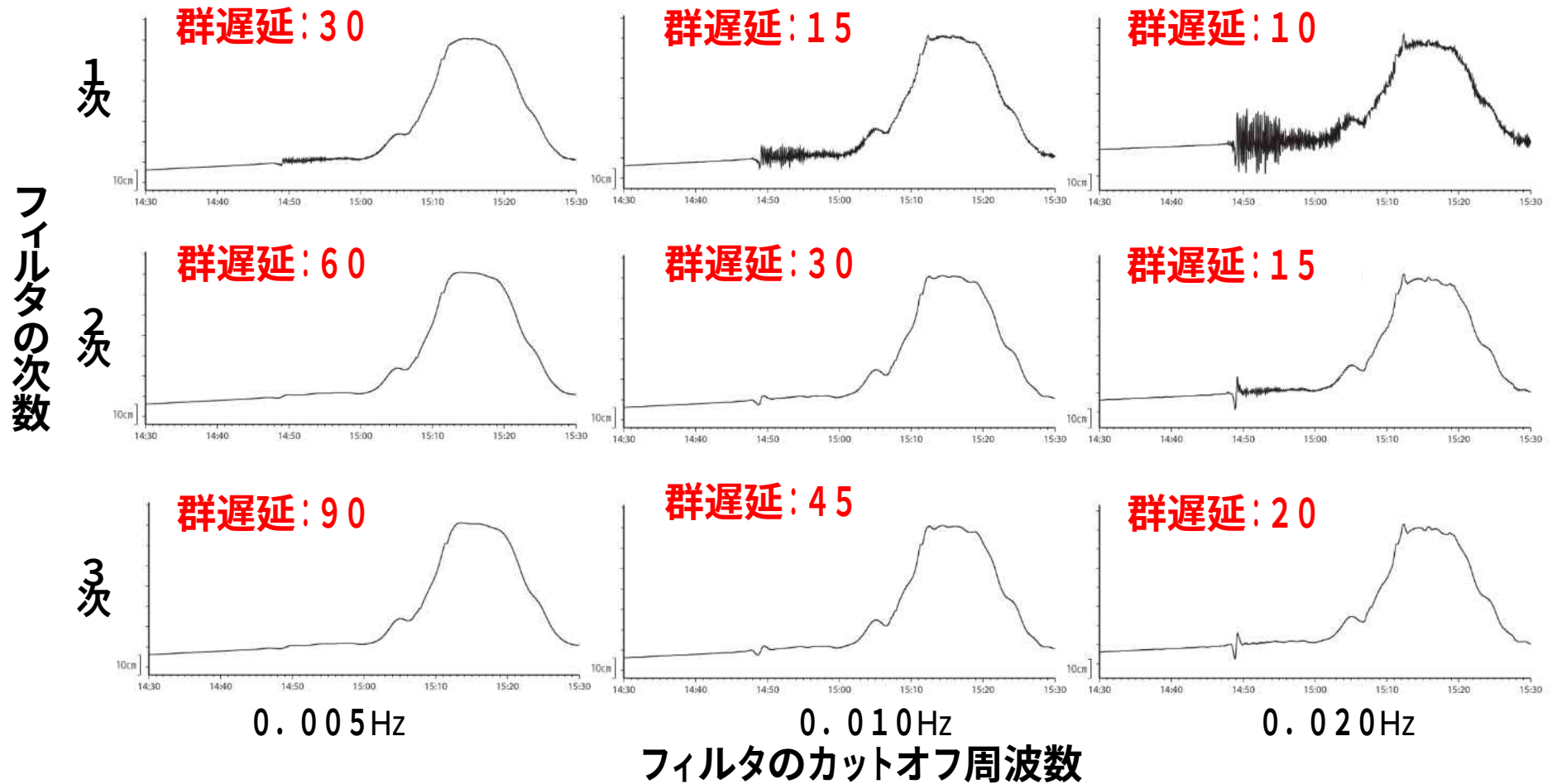
フィルタ処理



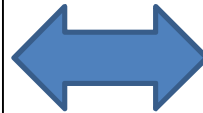
地震動が記録された海底津波計データ（イメージ）

バターワースフィルタ処理を行った結果

2011年(平成23年)東北地方太平洋沖地震の釧路1の海底津波計の記録にバターワースフィルタを適用した結果



- ①地震動の影響をより少なくする条件
- ・より高次のフィルタ。
 - ・カットオフ周波数のより小さいフィルタ。

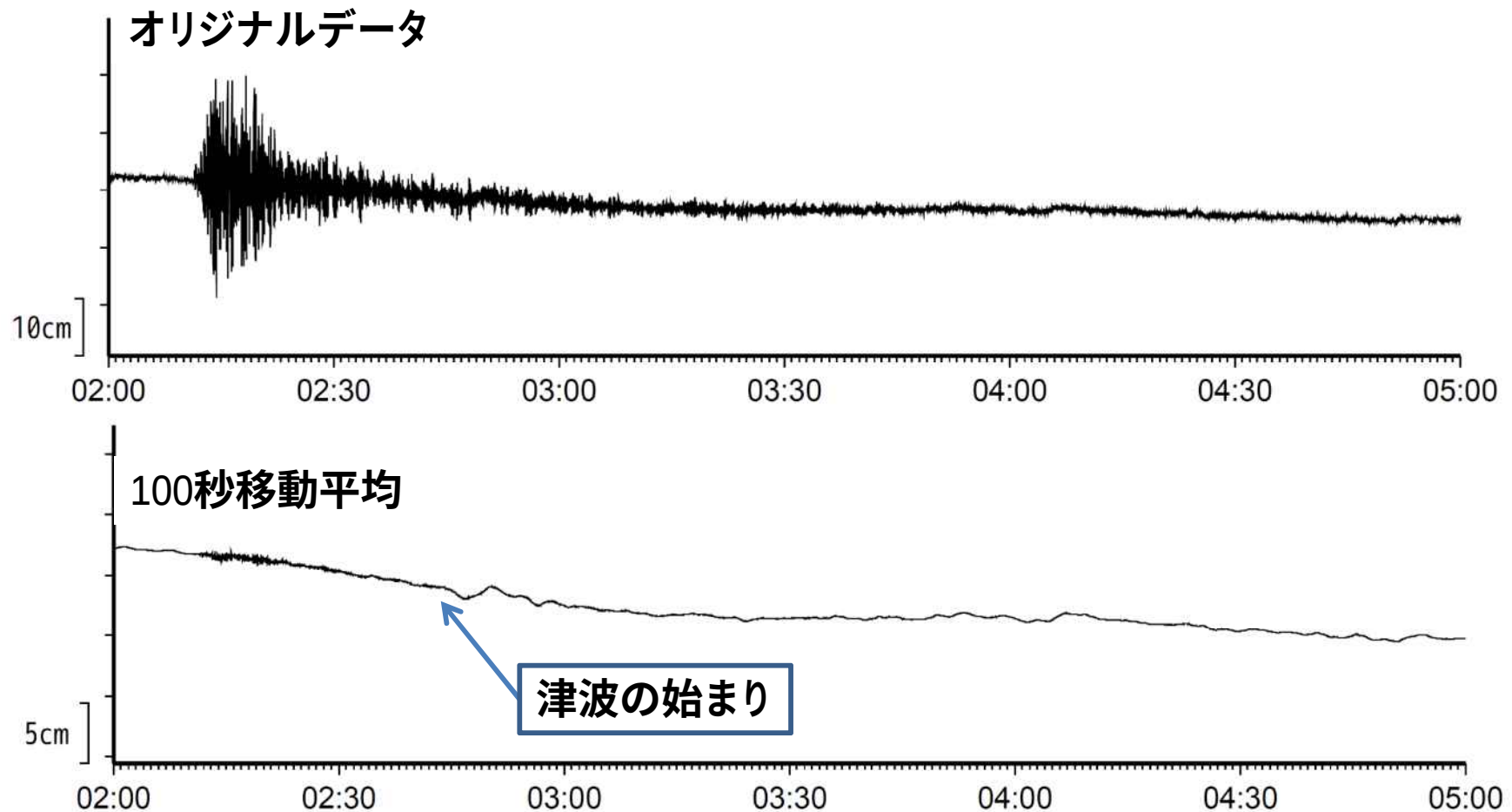


- ②リアルタイム処理で考慮すべき条件
- ・群遅延(*)の数値が小さいフィルタ。
 - ・高次になるほど、カットオフ周波数が小さくなるほど群遅延はおおきくなる。

(*)群遅延 フィルタ処理で取り扱うデータの始めと終わりの区間で、データの信頼性が落ちるデータ数

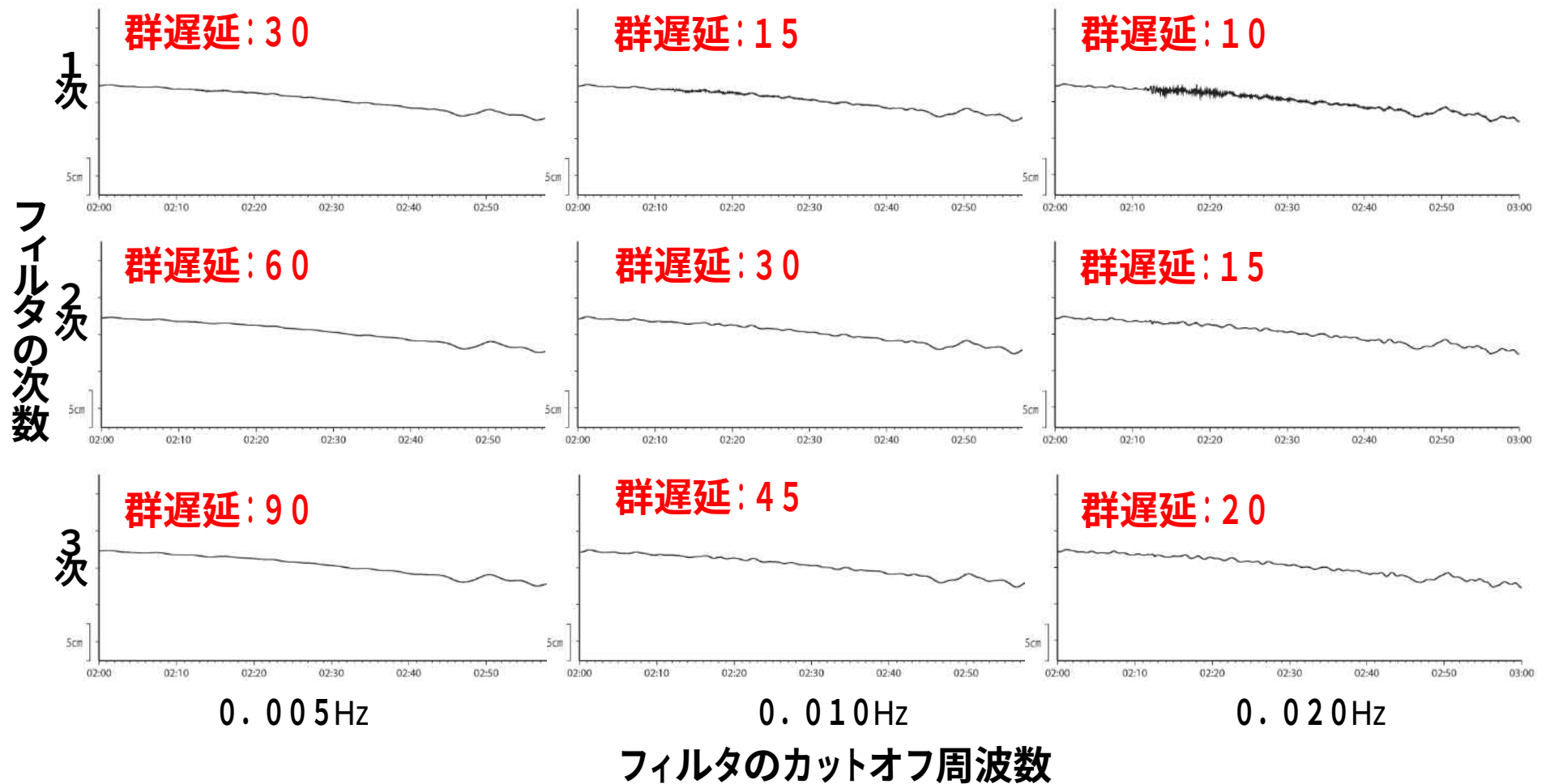
2013年10月26日の福島県沖の地震時の海底津波計の記録 (小さな津波の事例)

釧路1の海底津波計 (独) 海洋研究開発機構) の記録



この事例では、地震の発生場所と海底津波計が離れているため、100秒移動平均でも津波の判別は可能であるが、地震動の影響そのものは除去しきれていない。

バターワースフィルタ処理を行った結果



小さな津波に対しても、より高次で、よりカットオフ周波数の小さいフィルタで地震動の影響の除去ができることが分かった。

バターワースフィルタを用いた海底津波計データ処理の検討結果

- ① 海底津波計で地震動と津波が記録されているデータで、バターワースフィルタの効果を検討した結果、現行の100秒移動平均の結果よりも効果的に地震動の影響が除去できることが分かった。また、より高次でカットオフ周波数の小さいフィルタ (検討を行ったフィルターの中では、カットオフ周波数0.005Hzの3次のバターワースフィルタ) が地震動の除去と津波の再現性という観点からは適当であることが分かった。
- ② 一方、バターワースフィルタではデータの始まりの部分と終わりの部分で群遅延によるデータの劣化が生じるため、リアルタイム処理では、その群遅延の小さいフィルタを用いる必要がある。しかし、①の条件は群遅延を大きくする方向にある。
ただし、今回は1Hzデータで検討したが、将来的には10Hzデータの入手が見込まれるため、群遅延については高サンプリングデータで改善される可能性がある。
- ③ ①、②のようなフィルタ選択に関する相反する条件もあり、また地震動の影響を除去しても津波以外のノイズによる可能性の検討も必要であるため、現段階では、いくつかの種類のフィルタ処理を行ったデータを組み合わせて監視を行うことが現実的と考えられる。

今後、さらによりよいフィルタ処理の検討を行っていく予定。