

「津波即時予測技術の開発及び津波予測に関する調査観測の強化」に関する実績等について

平成29年6月27日  
地震本部事務局

# 次期総合基本施策を見据え、レビューにあたって ご議論いただきたい観点(案)

## 【成果・実績、課題】

- ・当該分野に、この他の重要な成果、実績がないか。
- ・当該分野は、計画当初に期待されていた成果が創出されてきたか。されていないとすれば、課題は何か。
- ・当該分野の調査研究は、我が国の防災力の向上に貢献したか。していないとすれば、課題は何か。

## 【今後の方向性】

- ・当該分野の調査研究が、今後我が国の防災力の向上に貢献するために、どのような調査研究や取組が必要か。
- ・また、それらの優先順位をどのように考えるべきか。

○基本目標

海域における津波観測網の整備及び調査観測の充実

高精度な津波即時予測技術の開発

津波波源モデルの高精度化等による津波予測技術の高度化

○総合的に推進すべきとされている事項

海域における津波観測網の整備

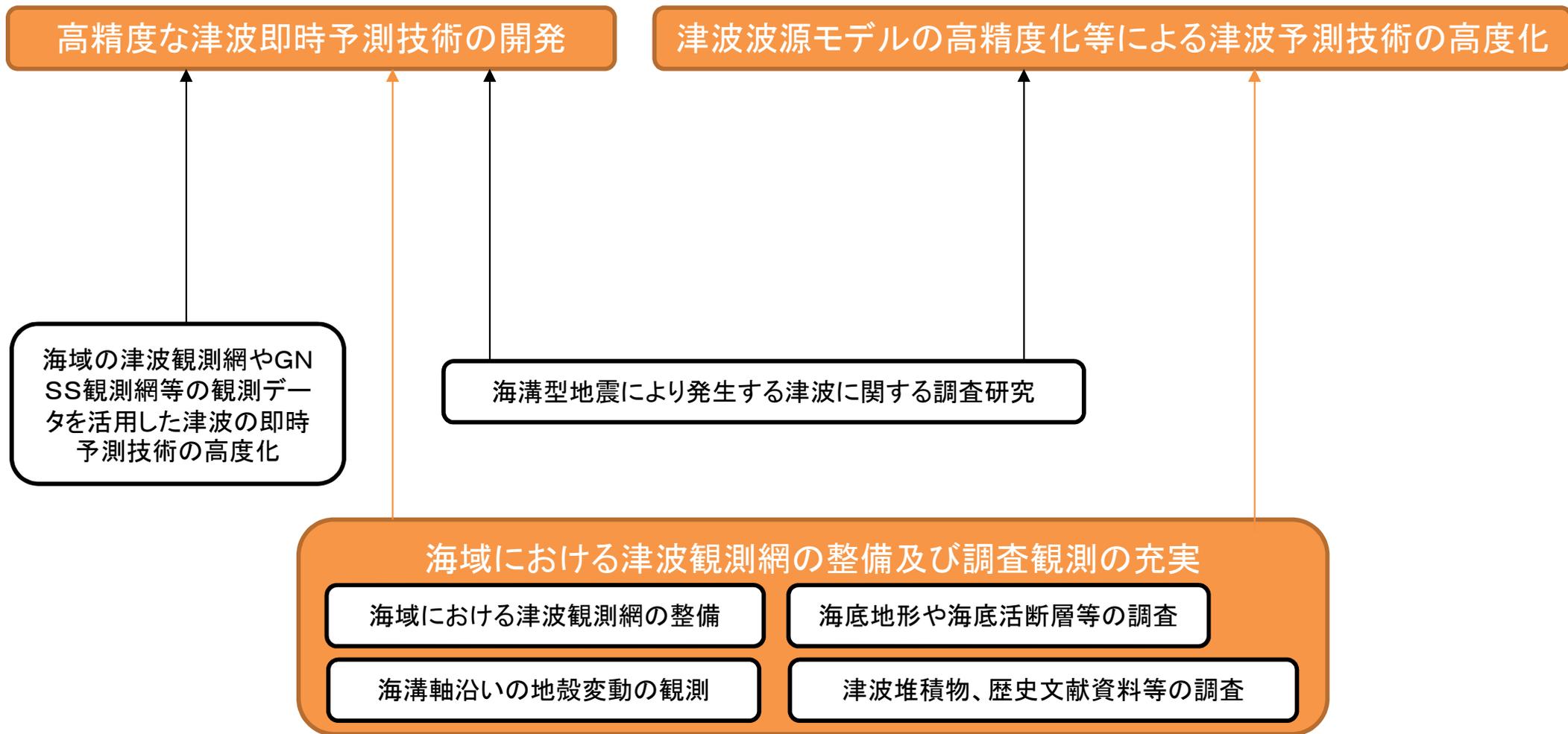
津波堆積物、歴史文献資料等の調査

海底地形や海底活断層等の調査

海溝軸沿いの地殻変動の観測

海溝型地震により発生する津波に関する調査研究

海域の津波観測網やGNSS観測網等の観測データを活用した津波の即時予測技術の高度化



## (2)津波即時予測技術の開発及び津波予測に関する調査観測の強化

我が国は地震多発地域に位置し、かつ四方を海に囲まれるという地理的特徴を持っているため、常に津波の危険性にさらされている。現に、東北地方太平洋沖地震に伴う大規模な津波による甚大な被害は、改めて津波の危険性を正しく認識することの重要性を国民に示した。今後も、東海・東南海・南海地震等をはじめ、巨大な海溝型地震が発生した場合には、我が国は広域にわたって大規模な津波に襲われる可能性が高い。これらを踏まえ、平成21年4月に策定した新総合基本施策では、「津波予測技術の高度化」を掲げてきたが、これに基づく十分な取組がなされていなかった。

津波災害の軽減のために必要となる津波予測には、地震発生直後に出される津波即時予測(津波予報警報)と、地震が発生する前に提供する津波予測がある。

前者については、現在は地震発生後数分程度で津波予報警報が気象庁から発表されるが、地震計で得られるデータに基づく推定のため、その精度は必ずしも良いとは言えない。東北地方太平洋沖地震発生時には、GPS波浪計が津波を直接検知し、津波警報の更新に活用されたが、沿岸から約20kmの距離に設置されていることから津波が沿岸域に到達する少し前に同警報を更新することとなったため、住民に情報が十分に伝達できていなかったことが指摘されている。また、沖合の津波計については、一部の観測網が津波を検知するなど有効性が示されたが、その活用が十分ではなかったことが問題点として指摘されている。最近では、震源域近傍において津波の直接観測を可能とする海域の観測網の整備が一定の進捗を見せているとともに、GNSS観測網を用いて地震規模や震源域を即時に推定することが可能となることも見込まれているところである。これらの観測データを併用することにより、津波即時予測の精度は格段に向上することが期待される。

後者については、将来発生するであろう津波を地域住民や地方公共団体が正しく認識できることによって、防災・減災対策や実際に津波が発生した場合の避難行動や安全な土地利用を促す効果がある。そのため、過去の津波発生履歴を把握するための津波堆積物や歴史文献資料等の調査、津波発生の要因になり得る海底活断層の把握、巨大津波発生の要因となる海溝軸沿いの応力やひずみを把握するための地殻変動の観測、浅海域の詳細な地形データの取得、各種観測データを取り入れた波源モデルの構築等による津波予測技術の高度化を図る必要がある。

このため、基本目標として、

○海域における津波観測網の整備及び調査観測の充実

○高精度な津波即時予測技術の開発

○津波波源モデルの高精度化等による津波予測技術の高度化

を設定する。

基本目標の達成に向けて、

- ・海域における津波観測網の整備
- ・津波堆積物、歴史文献資料等の調査
- ・海底地形や海底活断層等の調査
- ・海溝軸沿いの地殻変動の観測
- ・海溝型地震により発生する津波に関する調査研究
- ・海域の津波観測網やGNSS観測網等の観測データを活用した津波の即時予測技術の高度化

等を総合的に推進する。

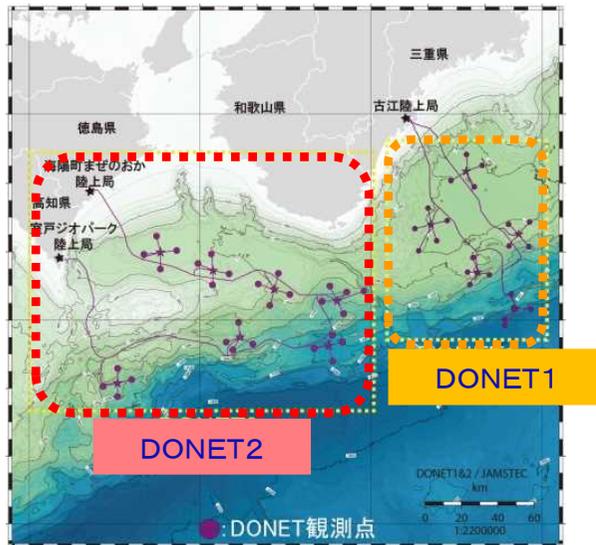
襲来する可能性のある津波を地域住民や地方公共団体が正しく認識できるようにするとともに、より正確な津波予報警報が実現すればその減災効果は、極めて高くなるものと考えられる。

なお、これらの取組に当たっては、地震や津波発生の不確実性も考慮しつつ、受け取り手である国民や地方公共団体が災害対応や防災対策に活用できるよう情報提供を行っていくことが重要であることに留意する必要がある。

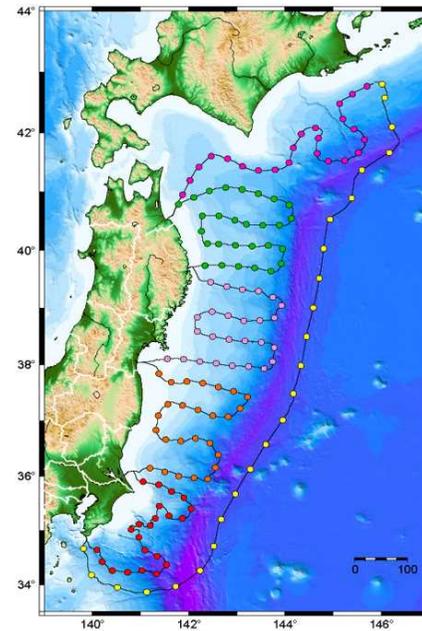
- **海域における津波観測網の整備**
- 津波堆積物、歴史文献資料等の調査
- 海底地形や海底活断層等の調査
- 海溝軸沿いの地殻変動の観測
- 海溝型地震により発生する津波に関する調査研究
- 海域の津波観測網やGNSS観測網等の観測データを活用した津波の即時予測技術の高度化

## 概要

海域で発生する地震・津波を広域かつ多点でリアルタイムに観測するため、南海トラフ巨大地震の想定震源域に地震・津波観測監視システム(DONET1,2)、及び東北地方太平洋沖を中心とする日本海溝沿いに日本海溝海底地震津波観測網(S-net)を整備・運用する。



地震・津波観測監視システム(DONET1,2)  
 DONET1: 地震計・津波計等を22点設置  
 DONET2: 地震計・津波計等を29点設置

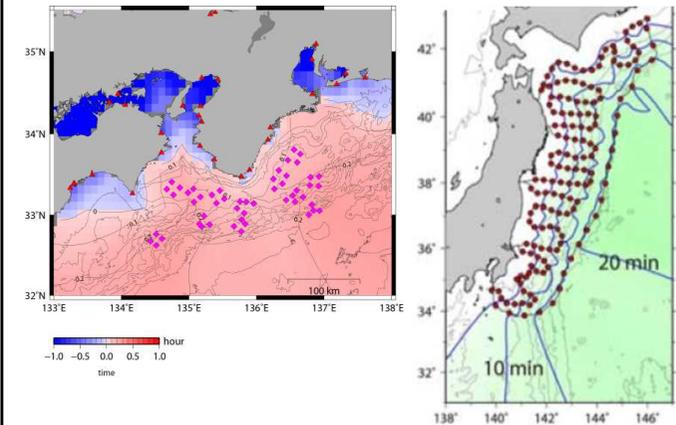


日本海溝海底地震津波観測網(S-net)  
 地震計・津波計等を150点設置

## 主な成果

○海域における地震・津波観測点数の増加  
 整備前: 地震計28点、津波計15点  
 整備後: 地震計229点、津波計216点  
 →10倍近くの大増により、海域における稠密な観測を実施

○地震・津波の早期検知  
 →観測網の海域周辺で発生する地震について、陸上の観測点と比較して、地震は最大30秒、津波は最大20分早く検知



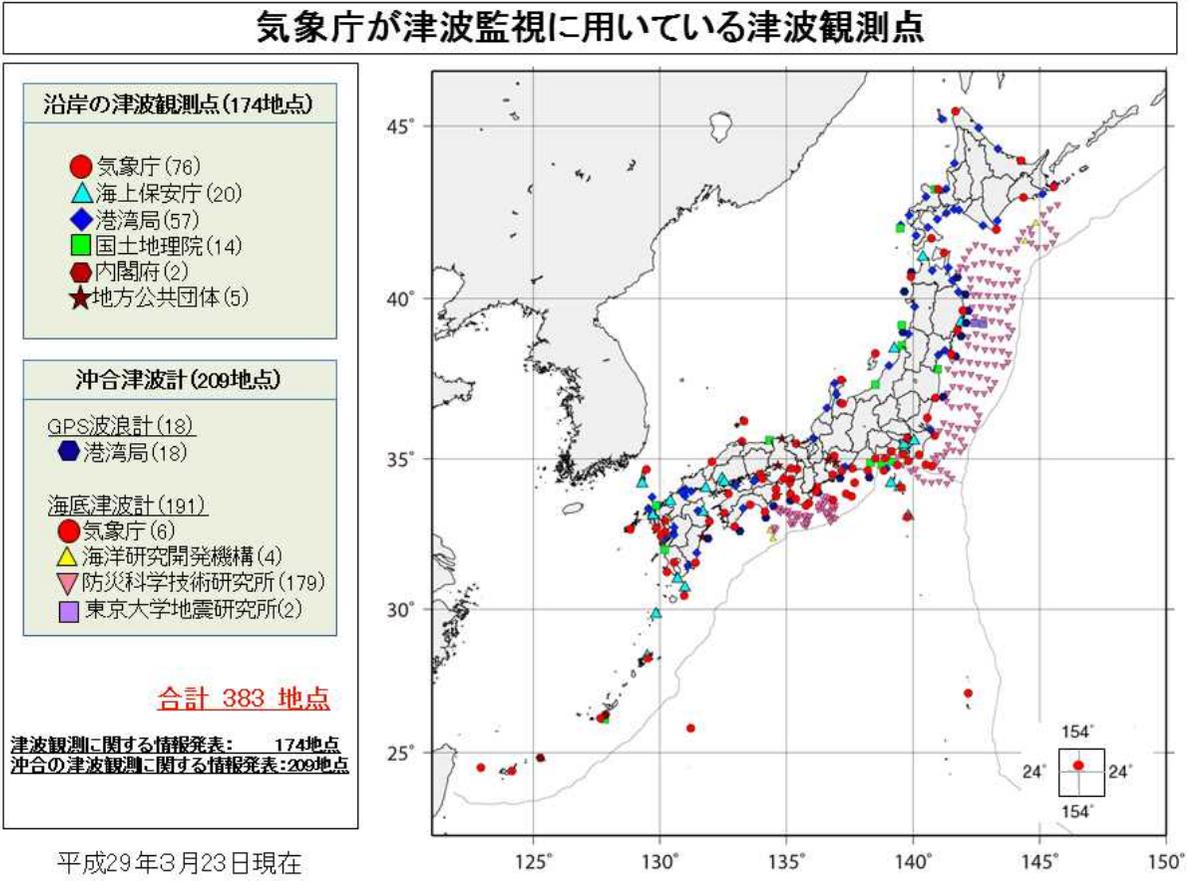
## 社会への貢献事例

- ・ 緊急地震速報への活用(DONET1の一部の地震計にて導入、DONET2及びS-netは活用に向けて検証中)に伴う、より迅速かつ正確な速報の発表
- ・ 津波警報等の更新及び津波情報への活用(DONET1,2の全ての津波計及びS-netの一部の津波計にて導入)に伴う、より迅速かつ正確な情報の発表
- ・ 本観測網のデータを用いた即時津波予測システムの地方公共団体や民間企業での活用  
 DONET: 和歌山県・三重県・尾鷲市・中部電力、S-net: 千葉県(予定)

# 海底津波計の津波監視への活用

## 概要

各機関が整備した海底津波計を津波警報の更新や沖合津波観測情報の発表に活用し、適切な津波防災情報の発表に資する。  
 (平成29年6月現在、**191点**の海底津波計を津波監視に活用)



## 主な成果

○平成24年3月に沖合の海底津波計によるリアルタイム津波観測データを津波の観測監視や警報更新に利用するための技術的改善を行い、同年3月より海底津波計(**35点**)の津波警報更新への活用を開始した。

○平成28年7月よりS-net(**125点**)及びDONET(**31点**)を新たに津波監視への活用を開始した。

※なお、3基のブイ式海底津波計(気象庁整備)について、津波警報更新への活用を平成24年12月より順次開始し、平成28年8月に運用終了した。

## 社会への貢献事例

- ・ 津波警報や津波情報のより適切な発表を通じ、津波による災害から国民の生命、身体及び財産を保護する。

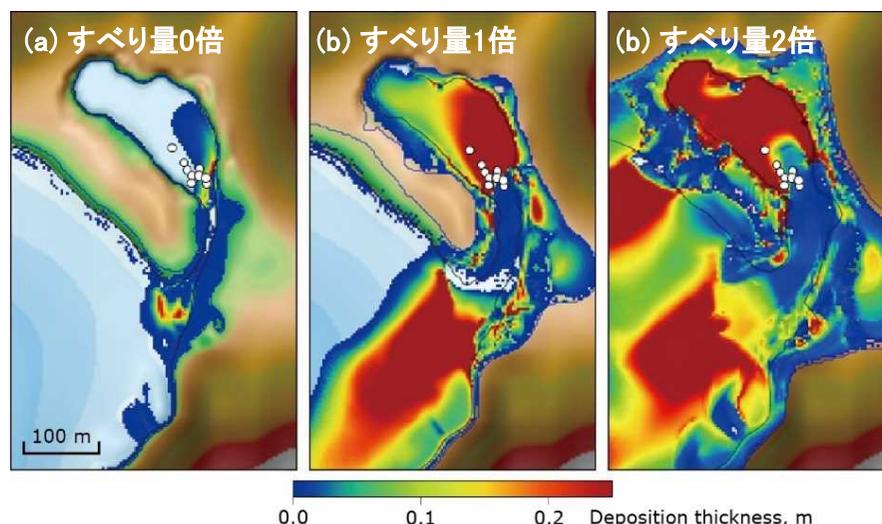
- 海域における津波観測網の整備
- **津波堆積物、歴史文献資料等の調査**
- 海底地形や海底活断層等の調査
- 海溝軸沿いの地殻変動の観測
- 海溝型地震により発生する津波に関する調査研究
- 海域の津波観測網やGNSS観測網等の観測データを活用した津波の即時予測技術の高度化

# 津波堆積物、歴史文献資料等による波源推定と津波高再評価

## 概要

### 津波堆積物を用いた波源規模の拘束条件に関する検討

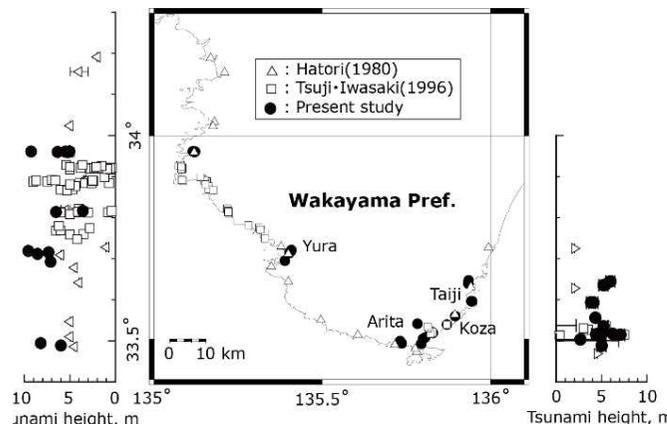
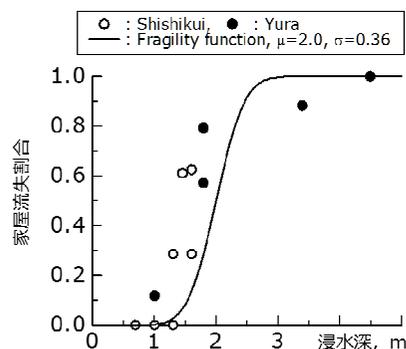
- 沿岸湖沼には保存状態のよい津波堆積物が形成されることが多いが、津波規模と堆積状況(層厚、堆積分布)の関係は未解明な点が多い。
- 1707年宝永地震による大分県龍神池の津波堆積物の形成過程を津波土砂移動解析で検討。
- 解析結果観測結果(岡村ら, 2012)の比較から、津波堆積物の形成は日向灘セグメントのすべり量次第で決まることを明らかにした。



日向灘セグメントのすべり量に応じた大分県龍神池周辺の土砂堆積分布の変化。○は津波堆積物が発見された位置

### 1854年安政東海・南海地震の波源推定に関わる史料解析と津波高再評価に関する検討

- 安政の東海地震と南海地震の波源境界明確化。
- 津波被害状況を記した絵図を利用して、歴史時代の民家に関する被害関数構築を試みた。
- 和歌山県における歴史文献資料の再精査を行い、津波痕跡高の評価を行った。



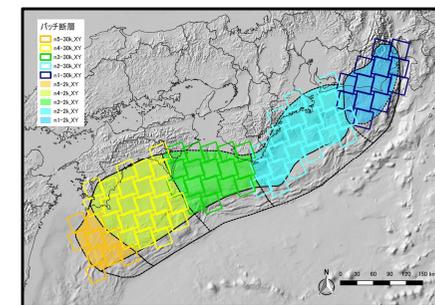
1854年安政東海・南海地震における和歌山県沿岸の津波痕跡高分布。●は新出の津波痕跡点

## 主な成果

- 地形特性にもよるが、津波来襲の状況証拠である津波堆積物が波源規模推定の鍵となり得ることを定量的に示した。
- 浸水「点」以外の津波痕跡を定量的津波高情報にできる被害関数を構築した。
- 和歌山県南部の安政東海・南海地震の津波痕跡高再評価を行った。

### 今後の展開

- 地震史料集に基づく静岡県、三重県、和歌山県の史料再精査
- 史料再精査結果に基づく安政東海・南海地震の津波痕跡調査
- 既往研究に基づいたプレート境界モデルを利用した波源推定を行い、安政の東海地震と南海地震の波源境界について検討



既往研究に基づいたプレート境界モデルと副断層の設定例

## 社会への貢献事例

- ・ 歴史津波の規模評価高度化と諸相再評価
- ・ 津波防災対策における履歴情報提供
- ・ 長期評価(津波ハザードカーブなど)の高度化に資する基礎情報の提供

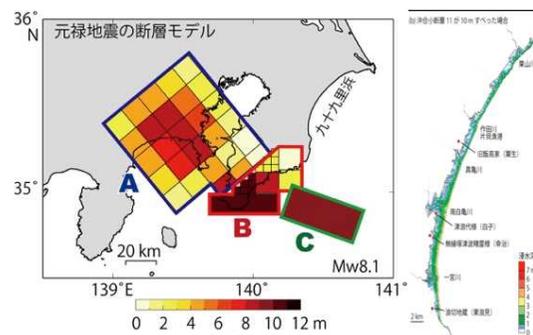
# 津波堆積物等調査に基づく津波浸水履歴の解明とデータ公開

## 概要

史料や地形、地質に記録された過去の海溝型巨大地震の履歴を解明し、津波浸水域や地殻変動を復元することで、断層モデルを推定し、提案する、将来起こりうる巨大地震の長期的な発生予測と規模の想定に資するデータを提供。また津波堆積物データベースを通して一般に公開する。



## 断層モデルと津波浸水域の提示



行谷ほか(2011)

## 津波堆積物データベース



一般に津波浸水履歴情報を公開

## 主な成果

○869年貞観地震および1454年享徳の断層モデルと東北地方南部沿岸の津波浸水履歴を解明 (Sawai et al., 2012, 2015; Namegaya and Satake, 2014)

○隆起痕跡による地殻変動データと歴史記録による津波浸水データから1703年元禄関東地震の断層モデルを提示 (行谷ほか, 2011)

○津波堆積物データベースを構築し、青森県太平洋沿岸、仙台平野、石巻平野、福島県北部沿岸、茨城県北部沿岸、および静岡県、三重県、和歌山県の一部沿岸地域における津波堆積物の採取位置と地質柱状図のデータをwebで一般に公開

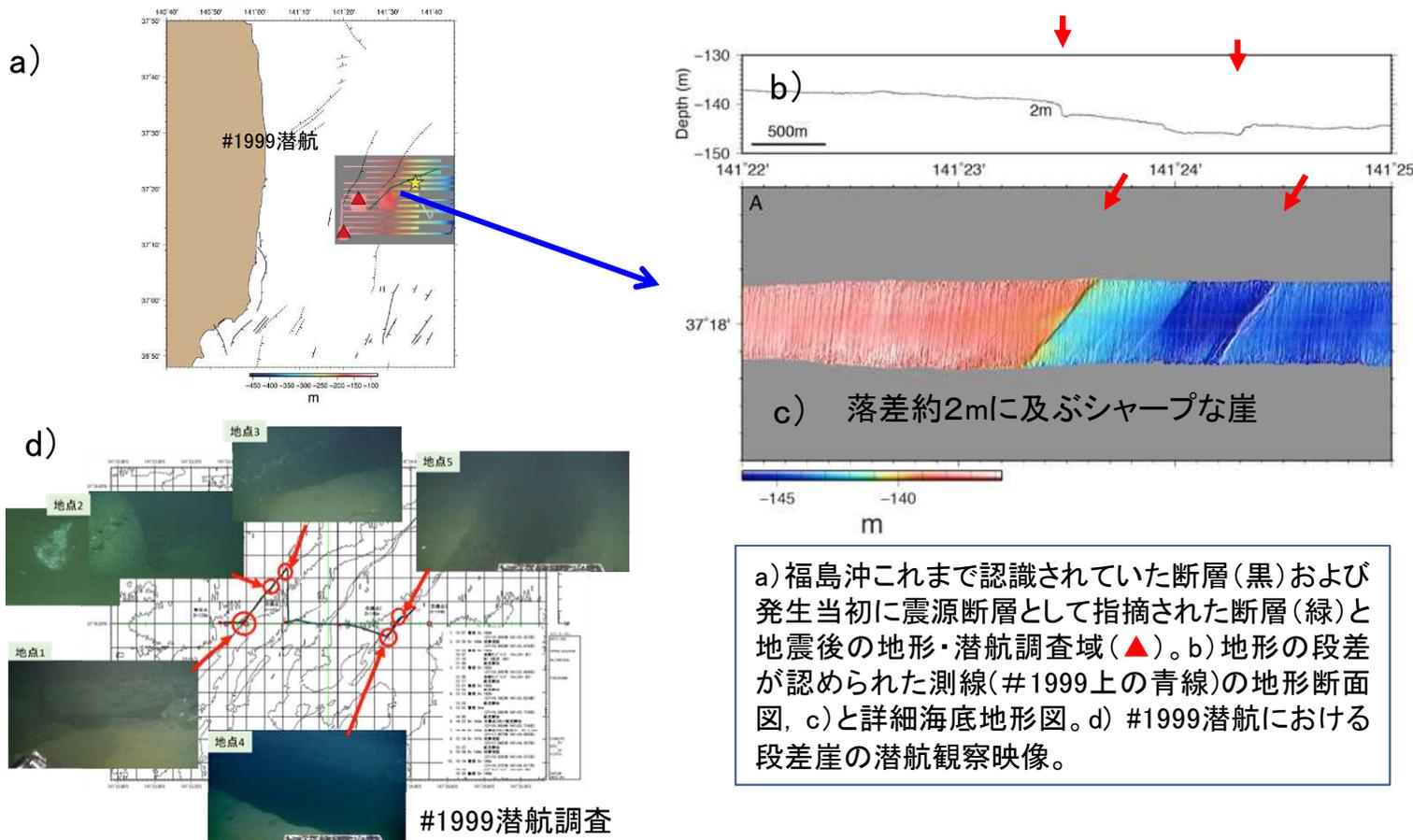
## 社会への貢献事例

- ・東京都・千葉県・神奈川県・静岡県などの自治体が津波被害想定において行谷ほか(2011)の元禄地震断層モデルを採用
- ・調査結果が地震調査研究推進本部における海溝型地震の長期評価に反映
- ・津波堆積物データベースにより、専門家や国・自治体関係者だけでなく、広く一般に津波浸水履歴情報を提供

- 海域における津波観測網の整備
- 津波堆積物、歴史文献資料等の調査
- **海底地形や海底活断層等の調査**
- 海溝軸沿いの地殻変動の観測
- 海溝型地震により発生する津波に関する調査研究
- 海域の津波観測網やGNSS観測網等の観測データを活用した津波の即時予測技術の高度化

## 概要

2016年11月22日福島沖の震源域で、津波を発生させた海底変動を把握するため、海域地形調査・海底観察を実施した。取得された地形データの解析から、余震分布に平行な北東—南西走行を持つ連続した崖地形を発見。また、潜航調査で地震断層崖を目視で確認し、津波を引き起こした可能のある海底変動を地震後、速やかに把握した。なお、本研究は東北マリンサイエンス拠点形成事業により得たデータを利用している。



a) 福島沖これまで認識されていた断層(黒)および発生当初に震源断層として指摘された断層(緑)と地震後の地形・潜航調査域(▲)。b) 地形の段差が認められた測線(#1999上の青線)の地形断面図、c)と詳細海底地形図。d) #1999潜航における段差崖の潜航観察映像。

## 主な成果

○2016年11月22日に発生した津波を伴う地震の震源断層により形成された崖地形を発見

## 社会への貢献事例

- ・ これまで未確認であった、津波を引き起こす断層を特定した。国や自治体での津波に対する防災・減災対策への活用が期待される。

# 沿岸海域の地質・活断層情報の整備

## 概要

調査の難しさから地質情報の空白域であった沿岸域において、浅海域の高分解能音波探査、沿岸域の地質地盤データの収集等を実施し、海洋ー沿岸ー陸域におけるシームレスな地質情報の整備を行っている。



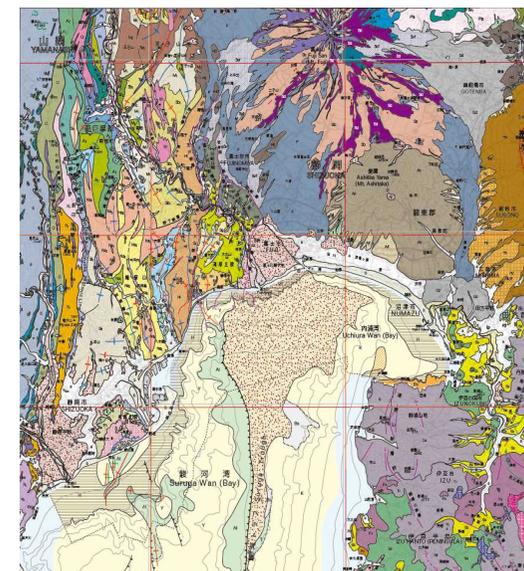
2008年から、沿岸域に活断層の存在が予想され、その実体が十分に解明されていない場所を選んで調査を実施。

## 主な成果

○日本海沿岸域で実施した調査結果は、**国や自治体の津波想定や地震想定に活用された。**

○調査沿岸域の海陸の連続的な活断層図や地質情報の発信

○駿河湾北部の海陸沿岸地質図  
→駿河トラフ北部から富士川河口断層帯の断層形状の変化を図示した。



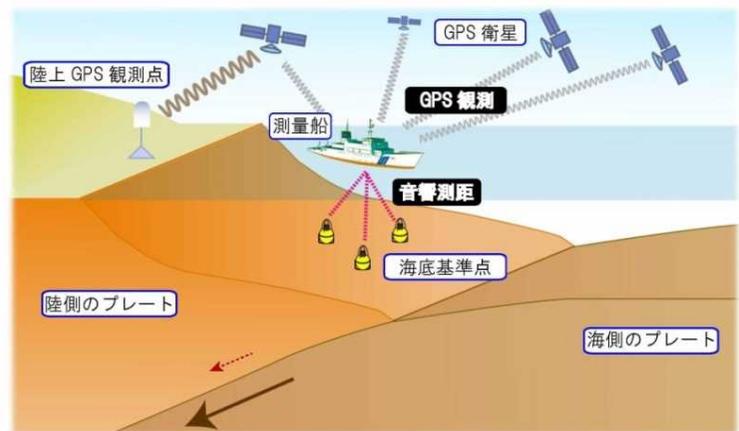
## 社会への貢献事例

- ・ 国や自治体による日本海の最大クラスの津波想定に断層のデータを活用
- ・ 収集・整理した沿岸域の地質・活断層情報やデータ等を自治体等に還元

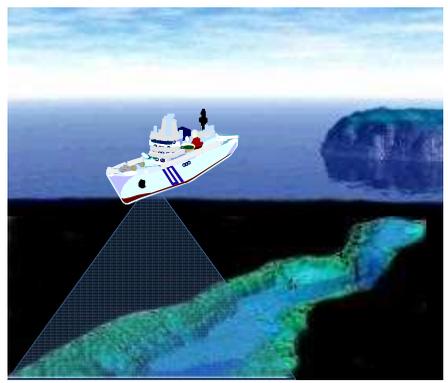
# 海底地殻変動観測等の推進

## 概要

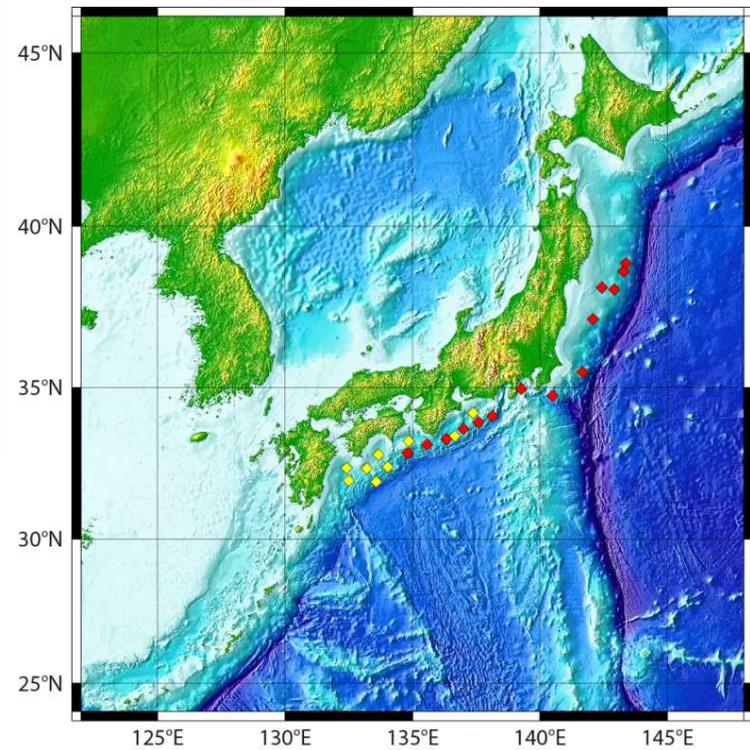
巨大地震の発生が懸念されるプレート境界域等において、プレート境界の固着状態を把握するための海底地殻変動観測及び変動地形・活断層分布・浅部地殻構造を明らかにするための海底地形・活断層調査等の総合的な調査を実施する。



GNSS-音響測距結合方式による海底地殻変動観測



マルチビーム音響測深による海底地形調査

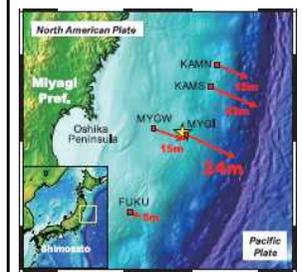


海底地殻変動観測点  
(黄色は東北地方太平洋沖地震後の新設点)

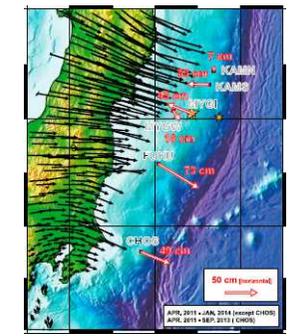
## 主な成果

○観測点数の増加  
東北地方太平洋沖地震後に南海トラフ地震想定震源域内に海底地殻変動の観測点を9点新設

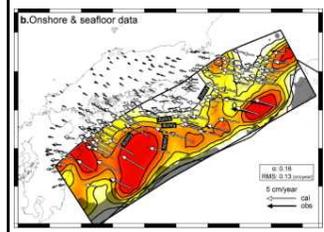
○観測成果



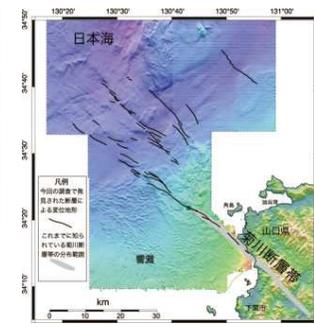
東北地方太平洋沖地震時の海底の変動



東北地方太平洋沖地震後の海底の余効変動



海底の地殻変動から推定されたプレート境界のすべり欠損速度分布



海底地形調査から確認された菊川断層帯の延長部

## 社会への貢献事例

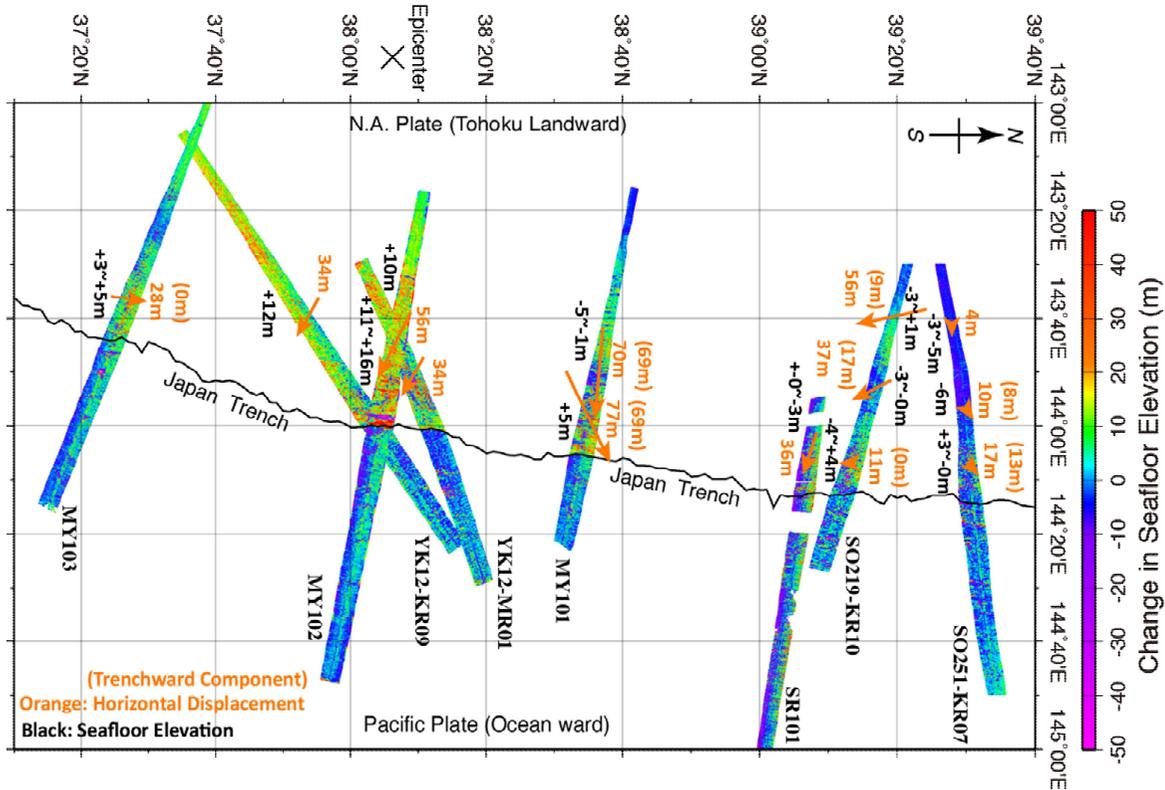
- ・ 海底地殻変動観測の成果は、地震調査委員会及び地震予知連絡会へ報告すると共に、ホームページで公開
- ・ 海底地形図、活断層図等を作成し、ホームページで公開
- ・ 海底地形調査の成果は、地震調査研究推進本部の活断層の長期評価に活用
- ・ 国・地方公共団体等における津波防災の取組を支援するため、海底地形データを提供

- 海域における津波観測網の整備
- 津波堆積物、歴史文献資料等の調査
- 海底地形や海底活断層等の調査
- **海溝軸沿いの地殻変動の観測**
- 海溝型地震により発生する津波に関する調査研究
- 海域の津波観測網やGNSS観測網等の観測データを活用した津波の即時予測技術の高度化

# 福島沖から三陸沖日本海溝 海溝軸沿いの海底地形変動の観測

## 概要

2011年東北地方太平洋沖地震前後で取得された同一測線上の海底地形を比較し変化を見ることにより、2011年東北地方太平洋沖地震時に起こったと思われる海底地形変動を調べた。現在までに、福島沖から三陸沖までの海溝軸沿いの海底地形変動分布を観測した。



福島沖(北緯37.4度)から三陸沖(北緯39.5度)の日本海溝の海溝軸付近の海底地形変動分布。カラーは測線上の高さ変化の分布を表す。数値と矢印は各測線あるいは測線内区間での変動値を示す。黒字が上下変動(隆起・沈降)、オレンジ色は水平変動の値と向きを示す。

## 主な成果

○海溝軸付近の巨大すべりの観測  
海溝軸付近のプレート境界断層の浅部では地震性すべりは起こりにくいと考えられていたが、**巨大なすべりが起こりえることが観測事例としてわかった。**

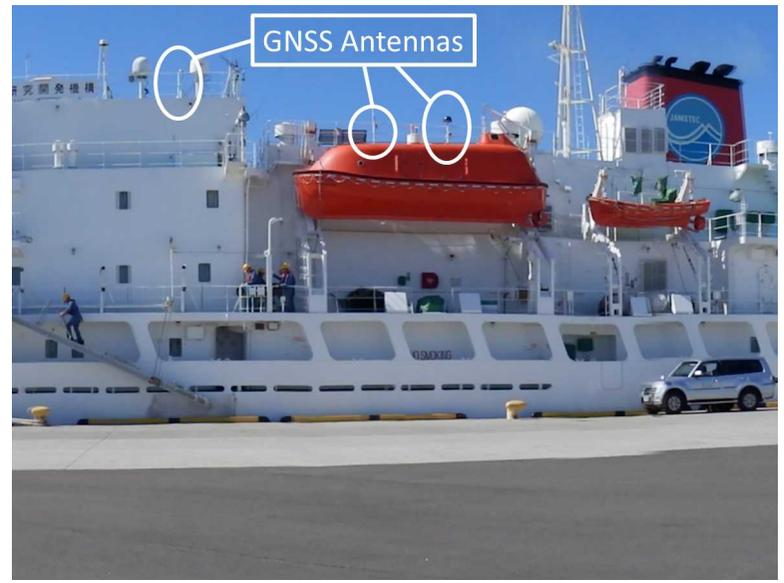
○津波波源解明に資する海底地形変動分布  
東北地方太平洋沖地震津波のなかで、波高の高い津波は海溝軸沿いの海底変動が要因とされるが、**海溝軸沿いの海底地形変動の、福島沖から三陸沖までの分布を観測した。**

## 社会への貢献事例

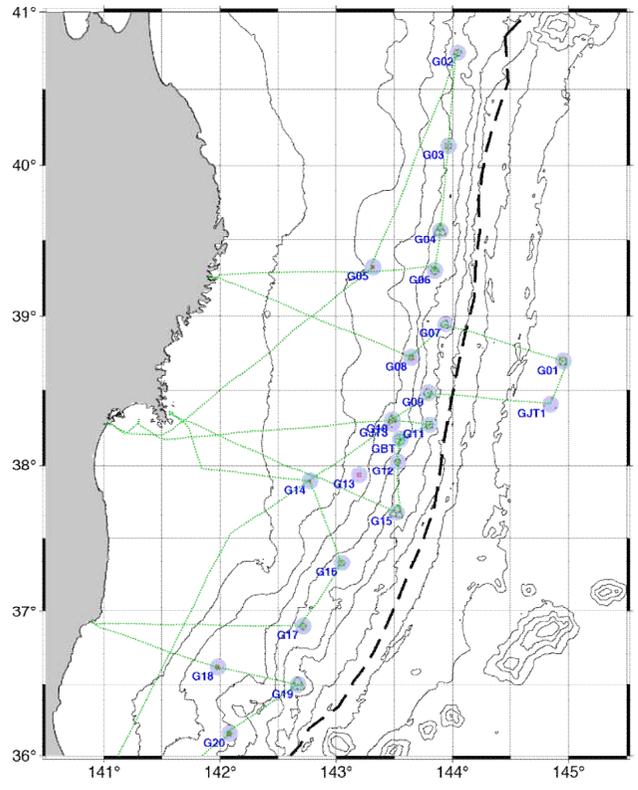
- ・本研究の成果はJAMSTECより3度プレスリリースが行われ、新聞等への掲載、理科の副読本への掲載、また博物館展への展示協力などにより、得られた知見の普及が成された。

概要

GNSS・音響測距結合方式の海底地殻変動観測を実施可能とすべく、機構の船舶に音響送受波器・GNSSアンテナ等の機器を整備する。東北地方太平洋沖地震の余効変動検出のため、関東・東北地方沖合の日本海溝沿いに設置されている海底地殻変動観測点における繰り返し観測を実施し、各点での変位速度を検出する。



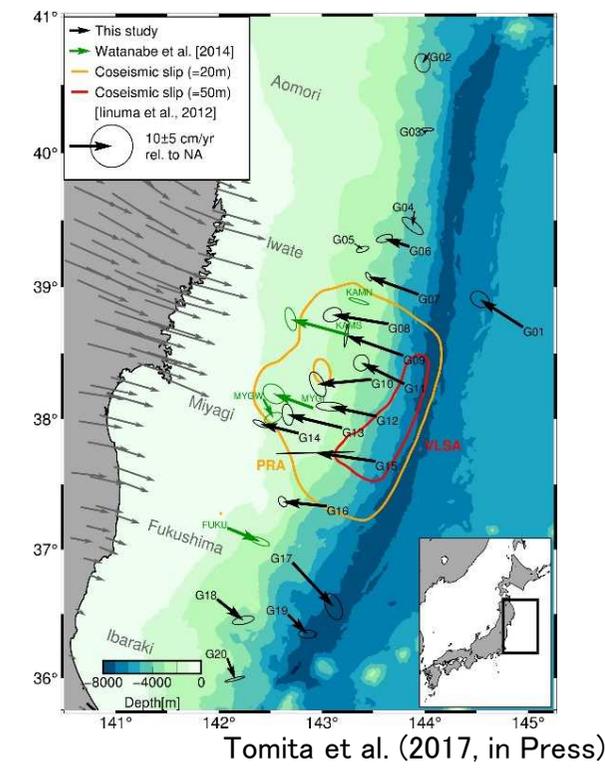
深海潜水調査船支援母船「よこすか」に装備された、GNSS・音響測距結合方式の海底地殻変動観測用のGNSSアンテナ  
 音響送受波器の船底装備も行い、GNSS/A観測を実施できる船舶の一つとなった。



「よこすか」を用いて行われた日本海溝沿いの海底地殻変動観測航海(YK16-02)の航跡図

主な成果

○2012年9月~2016年5月までの海底地殻変動場の検出  
 YK16-02航海の実施により、日本海溝沿いの海底地殻変動観測点(全20点)での繰り返し観測回数が、少ない点でも4回となり、変位速度の検出に十分なデータが蓄積され、海底での余効変動の空間的変化が明らかになった。



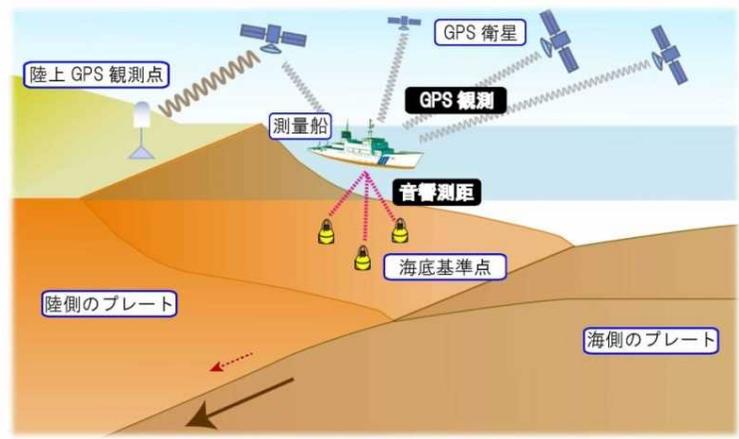
社会への貢献事例

- ・ 第212回地震予知連絡会 重点検討課題「余効変動と粘弾性 -日本列島広域地殻活動予測に向けて-」において、検出された海底地殻変動場を基にした、2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動に関する議論が行われた。
- ・ 2016年11月22日の福島県沖の地震の発生メカニズムを考慮するにあたり、同地震の震源域が伸長場となっていることが実際の海底地殻変動場にも表れており、各種報道や機構のコラム等で発信された。

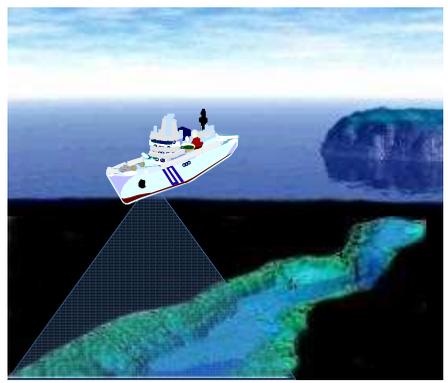
# (再掲) 海底地殻変動観測等の推進

## 概要

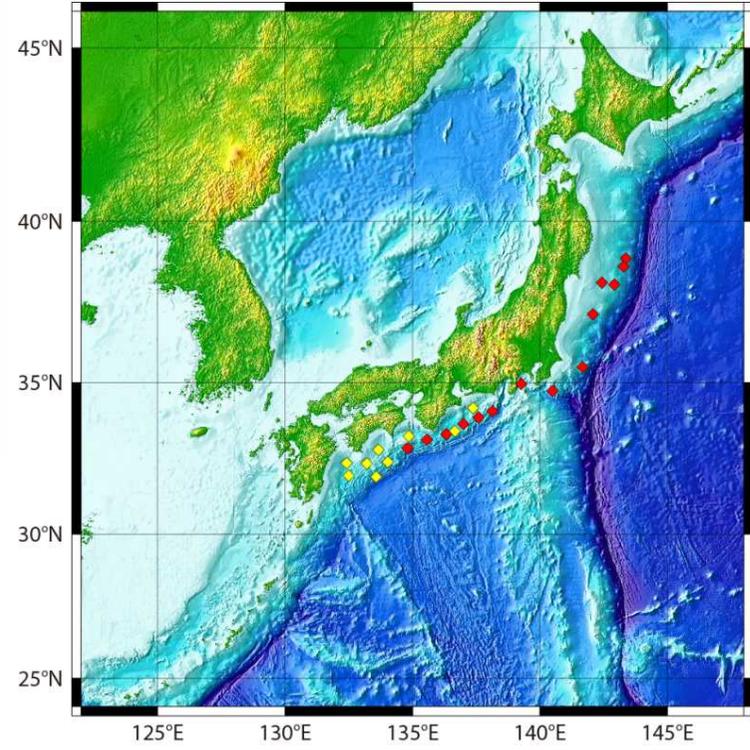
巨大地震の発生が懸念されるプレート境界域等において、プレート境界の固着状態を把握するための海底地殻変動観測及び変動地形・活断層分布・浅部地殻構造を明らかにするための海底地形・活断層調査等の総合的な調査を実施する。



GNSS-音響測距結合方式による海底地殻変動観測



マルチビーム音響測深による海底地形調査

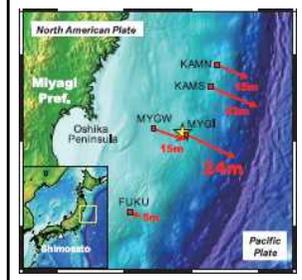


海底地殻変動観測点  
(黄色は東北地方太平洋沖地震後の新設点)

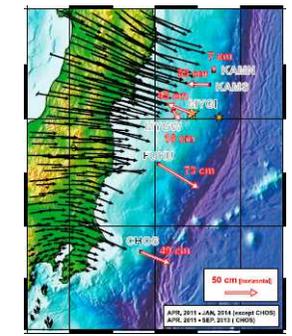
## 主な成果

○観測点数の増加  
東北地方太平洋沖地震後に南海トラフ地震想定震源域内に海底地殻変動の観測点を9点新設

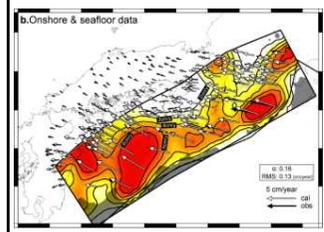
○観測成果



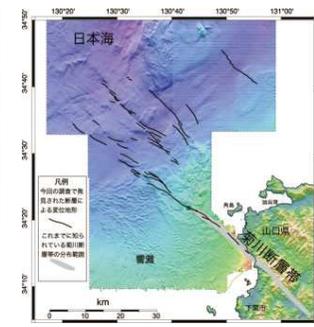
東北地方太平洋沖地震時の海底の変動



東北地方太平洋沖地震後の海底の余効変動



海底の地殻変動から推定されたプレート境界のすべり欠損速度分布



海底地形調査から確認された菊川断層帯の延長部

## 社会への貢献事例

- ・ 海底地殻変動観測の成果は、地震調査委員会及び地震予知連絡会へ報告すると共に、ホームページで公開
- ・ 海底地形図、活断層図等を作成し、ホームページで公開
- ・ 海底地形調査の成果は、地震調査研究推進本部の活断層の長期評価に活用
- ・ 国・地方公共団体等における津波防災の取組を支援するため、海底地形データを提供

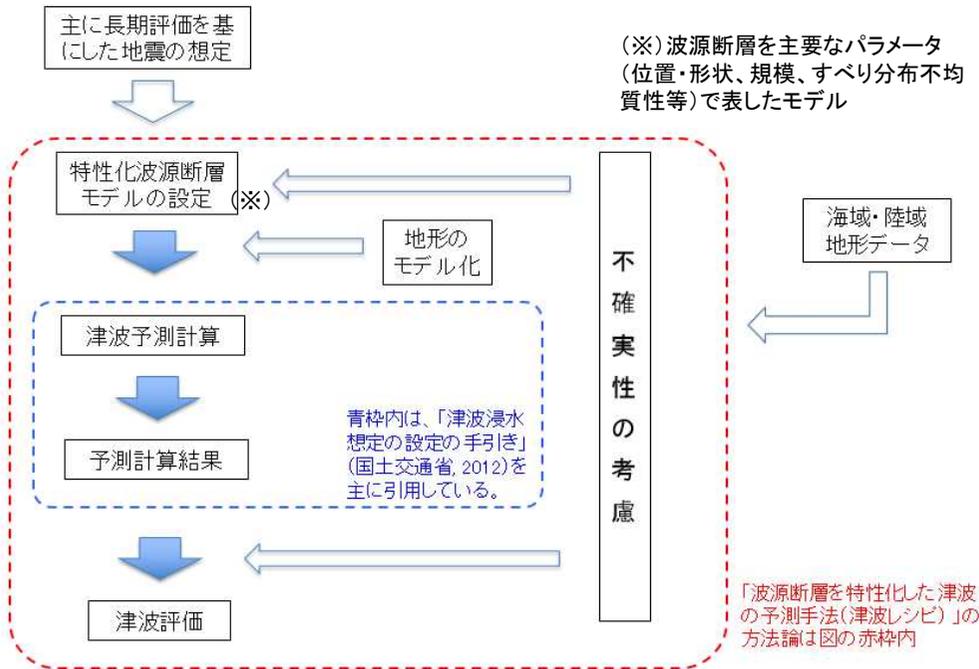
- 海域における津波観測網の整備
- 津波堆積物、歴史文献資料等の調査
- 海底地形や海底活断層等の調査
- 海溝軸沿いの地殻変動の観測
- **海溝型地震により発生する津波に関する調査研究**
- 海域の津波観測網やGNSS観測網等の観測データを活用した津波の即時予測技術の高度化

# 波源断層を特性化した津波の予測手法(津波レシピ)の作成

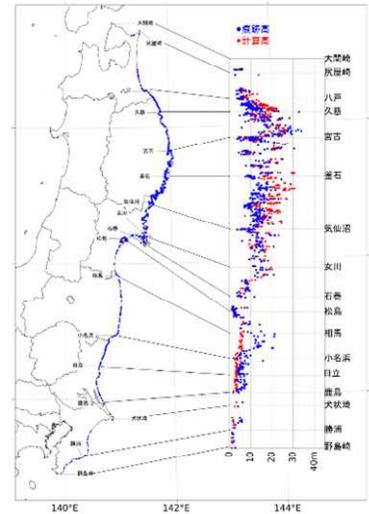
## 概要

- ・津波評価部会での検討を経て2017年1月に公表  
[http://www.jishin.go.jp/evaluation/tsunami\\_evaluation/](http://www.jishin.go.jp/evaluation/tsunami_evaluation/)
- ・地震調査委員会における津波予測の手順を標準化したもの
- ・最大クラスの津波のみならず、それよりも津波の高さは低いものの発生頻度は高く被害をもたらす津波も対象
- ・津波レシピに基づいて計算を行うことで、地震調査委員会と同様の結果を得られるようにするためのものであり、更に、地方公共団体等で独自に個別の知見を付加して津波の推定を行うことも可能

### ○津波レシピによる津波予測・評価の流れ



### ○東北地方太平洋沖地震のデータを使って手法の妥当性を確認



## 主な成果

○内閣府では防災対策を行う観点から、一般に、最大クラスの地震・津波を想定しており、南海トラフや相模トラフについては既に公表済みであった。

一方、本手法を用いることにより、プレート間地震について、将来発生する地震の多様性や、最大クラスよりも発生頻度が高いひとまわり小さな規模の地震を考慮する場合など、より多様な対策を考えられるようになった。

○長期評価が行われている海域について、津波の予測や評価へ順次適用

→平成29年度は津波評価部会において、津波レシピに基づいて南海トラフの評価を行う予定

## 社会への貢献事例

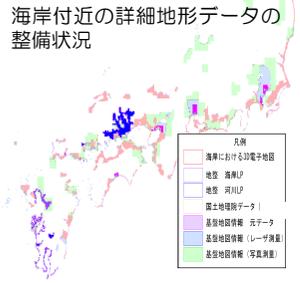
- ・自治体等で避難計画や施設整備等の津波防災対策を検討する上で津波の推定を行う際の利活用が見込まれる。

# 全国を対象とした津波ハザード評価手法の開発

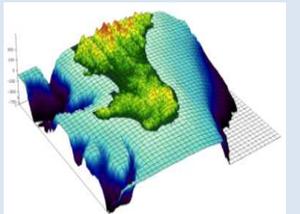
## 概要

### 全国津波ハザード評価のためのデータ整理及び計算用モデルの作成

○日本全国を対象として、津波計算を実施するために必要な海域地形モデル、沿岸域地形モデル等を作成するため、海図、沿岸海域地形図等のデータ収集・整理。



○全国津波ハザード評価手法の構築・手法検証のため、東北地方太平洋沖地震による津波高の逆推定のため、東北地方太平洋沖地震の津波観測記録、浸水域実測データ等を収集・整理。



海域・沿岸域地形モデル(イメージ)

○ハザード評価の信頼性の向上・地域連携強化のため、自治体の津波ハザードマップに関する情報を収集・整理し、計算用モデルに反映。

### 全国津波ハザード評価のための波源域(震源)の検討

地震本部による長期評価を踏まえ、全国地震動予測地図で用いられている震源モデルとの整合性をとりつつ、海溝型地震(日本海溝、南海トラフ、相模トラフ、千島海溝、日本海東縁、南西諸島)、沿岸活断層の地震、及び、震源断層を特定しにくい地震を対象として、津波計算用波源域(震源)の検討を実施。



波源域の検討

### 全国を対象とした津波ハザード評価手法の検討

○既往研究手法を既往津波(歴史津波、東北地方太平洋沖地震)を用いて検証。

○地震本部による長期評価を踏まえ、地震発生確率を考慮することにより、日本全国で起こりうる全ての地震を対象として、確率論的手法を用いることにより、日本全国の確率論的津波ハザードの計算手法を開発。

○評価手法を津波ハザード評価のレシピ(評価手法マニュアル)としてとりまとめる。

### 全国で想定される津波高さを評価

地震本部による長期評価を踏まえ、確率論評価を用いて、海溝型地震に随伴する津波の津波高さを評価し、「津波ハザード評価」を実施

(対象地震)  
日本海溝の地震、南海トラフの地震  
千島海溝の地震、相模トラフの地震  
南西諸島の地震、  
日本海側の地震(日本海東縁、活断層)



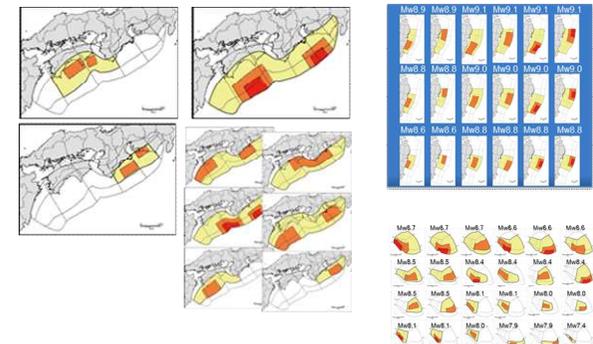
※沿岸活断層による地震、津波については、活断層の評価作業の進捗を勘案しつつ検討

## 主な成果

○波源断層と特定した津波予測手法(津波レシピ)の公表

○津波ハザード評価の実施(日本海溝の地震、相模トラフの地震、南海トラフの地震)

○津波ハザード情報の利活用に関する報告書のとりまとめ



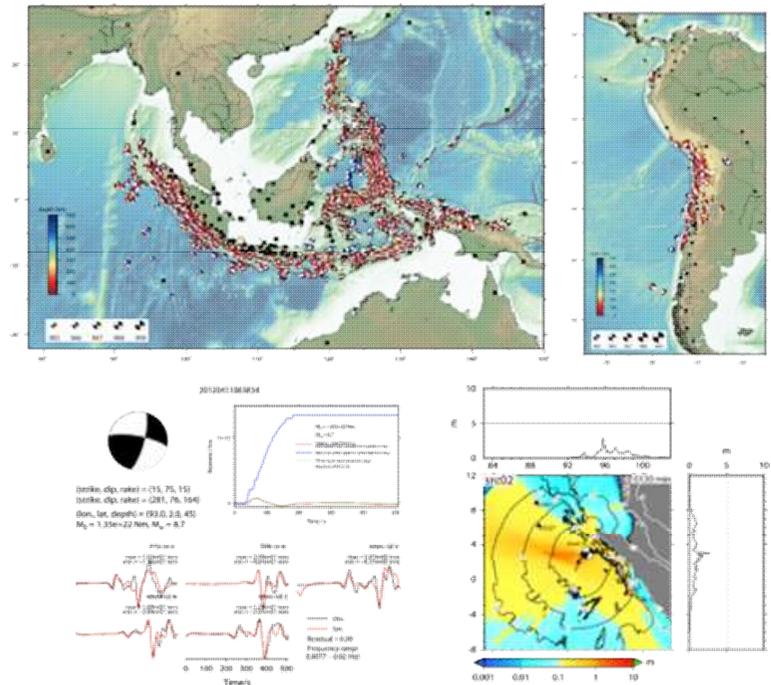
## 社会への貢献事例

- ・ 波源断層と特定した津波予測手法(津波レシピ)の公表

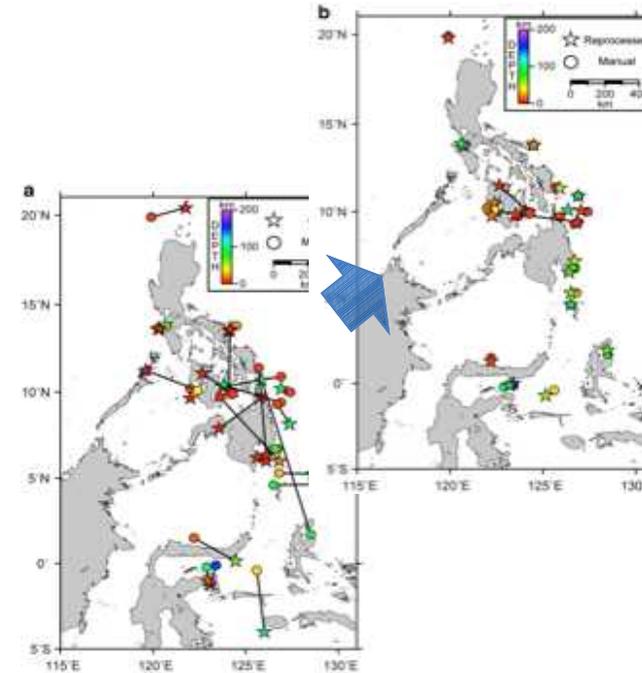
# SWIFT-TSUNAMI システムの開発と運用

## 概要

インドネシア・フィリピン・チリの広帯域地震計によるリアルタイム連続地震波形データを用いて、自動的に地震位置、メカニズム、規模を推定するSWIFTシステムが運用されている。この地震メカニズム解から、自動的に津波を計算するシステムとして、SWIFT-TSUNAMIシステムを新たに開発した (Inazu et al. 2016 EPS)。津波を引き起こす大地震 (>M7) での解析能力を向上させるためのアルゴリズム開発、および、機器ノイズが解析に与える影響を低減するための前処理アルゴリズム (Sakai et al. 2016 EPS)を開発した。



SWIFT-TSUNAMIによる2012/04/11 北スマトラ沖の地震 Mw8.7  
の地震メカニズムパラメタ及び津波の解析結果(Inazu et al., 2016)



解の安定性向上

## 主な成果

- M7以上の地震における地震メカニズム解・マグニチュード推定のアルゴリズム改良による精度向上
- 機器ノイズの影響を低減し、自動解析の安定性を向上
- M7以上の地震の場合、沿岸津波波高を自動予測するアルゴリズム・システムの開発
- インドネシア・フィリピン・チリにおいてSWIFT-TSUNAMIを運用

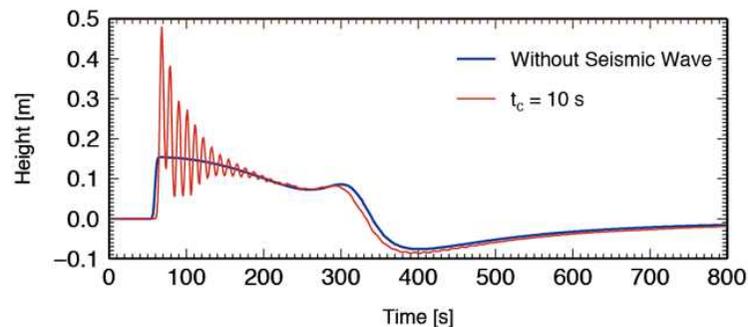
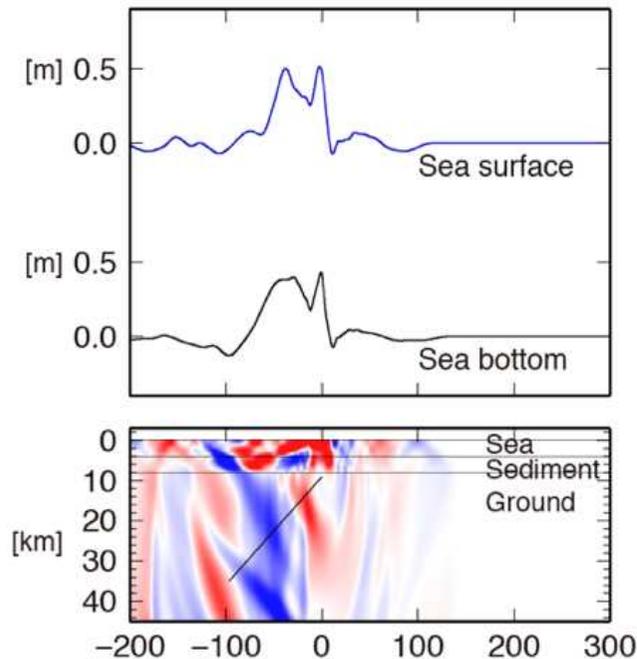
## 社会への貢献事例

- ・ インドネシア・フィリピン・チリにおいて、リアルタイム地震津波推定システム(SWIFT-TSUNAMI)を運用 <http://www.isn.bosai.go.jp/index.html>

# 地震波・海洋音響波・津波を考慮した海底水圧記録の理論合成

## 概要

基盤観測網(DONET・S-net)等によって、海域で発生する地震・津波のリアルタイム観測が実現し、特に、巨大地震の震源直近観測によって、迅速かつ信頼度の高い津波即時予測が期待されている。巨大地震震源域内では、地震波・海洋音響波と津波が同時に存在するために、震源域内の記録を高精度に再現するためには、固液複合系における波動現象を理解することが重要となる。地震波・海洋音響波と津波が混在する場合の、理論合成方法を新たに開発した(Saito and Tsushima 2016 JGR)。



巨大地震震源域内では、地震波・海洋音響波と津波が混在する。

地震波成分を津波信号と間違え解析すると、津波予測は不正確になる。

従来の理論: 地震波と津波は別々

新しい理論: 地震波と津波を同時に考慮する理論

## 主な成果

- 震源域内の海底水圧記録の理論合成方法を開発
- 津波・地震波・海洋音響波・海底地殻変動が、海底水圧記録へ与えるメカニズムの解明と影響の定量評価
- 巨大地震時の海底水圧記録を合成し、津波即時解析アルゴリズム(tFISH)の性能評価に利用

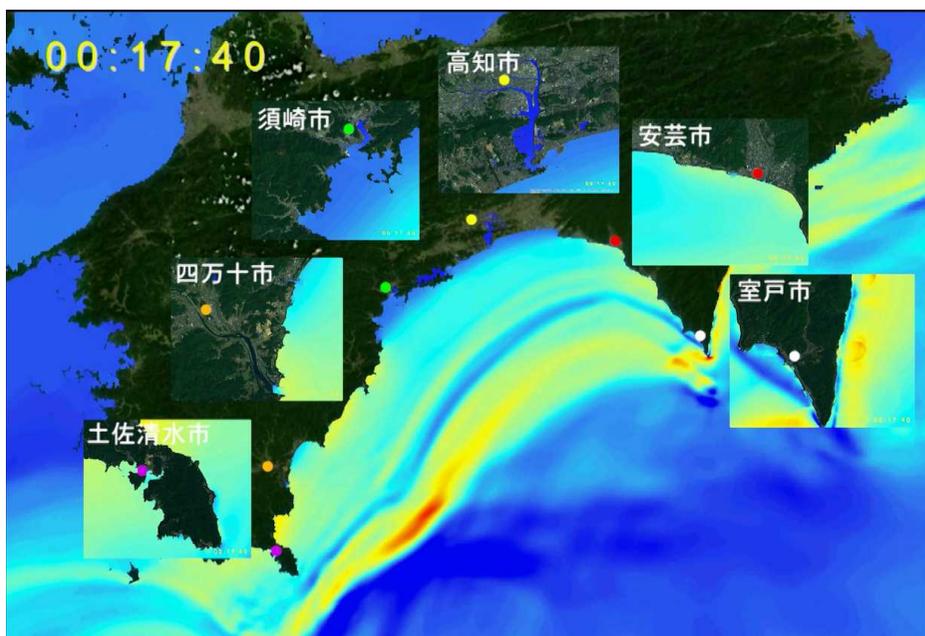
## 社会への貢献事例

- ・ 海底水圧計データの基本原理を与えることで 正確度の高い津波即時予測へ貢献

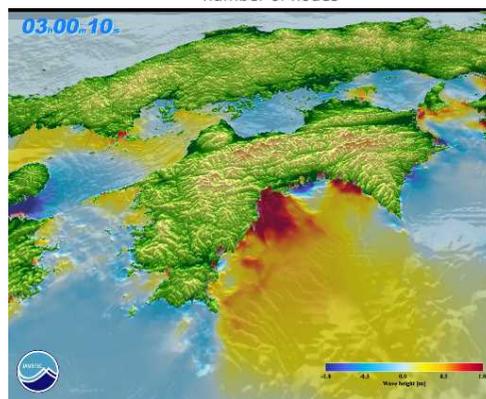
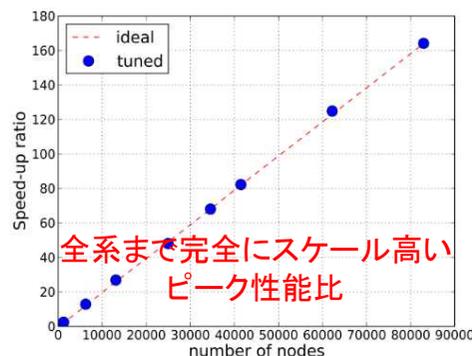
# 高精度な津波解析コード開発

## 概要

高精度な津波解析を目的として、JAGURS(津波コード)の開発を行った。JAGURSの特徴として、津波の実用計算として信頼性の高い非線形長波方程式を基本とし、津波の周期によって伝わる速さが異なる分散性や海面変動による地殻の変形効果を考慮し、伝播・氾濫の高精度化を実現した。さらに、地球シミュレータや京コンピュータのスーパーコンピュータ向けのチューニングも行っており、超並列(8万ノード並列@京, 5120並列@ES3)計算による高速津波解析を可能とした。



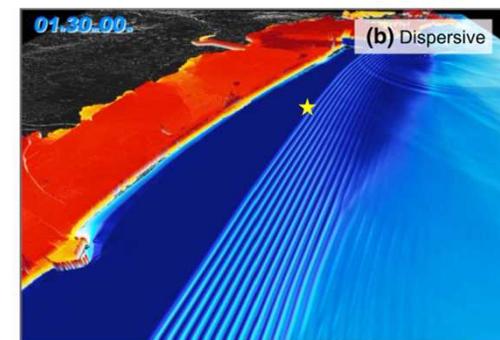
高知県全域5m分解能での高速津波解析を実現



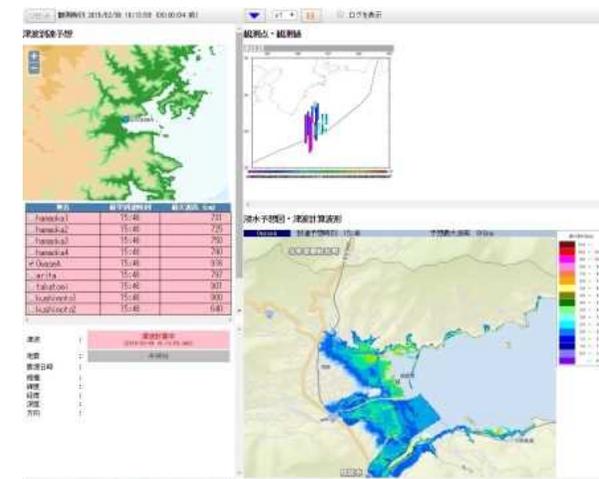
様々なシナリオでの地震発生シミュレーション結果とそれによる津波解析

## 主な成果

○2011年東北地方太平洋沖地震津波の高精度再現・遠地津波予測精度向上を実現



○DONETを利用した津波即時予測システムの開発と社会実装(和歌山県など)



## 社会への貢献事例

- ・和歌山県などに実装されているDONET水圧計データを用いた津波即時予測システムの元になるデータベースはJAGURSを用いて計算されている。
- ・計算コードを公開し、広く普及しつつある。
- ・大学などの津波解析に関する教育ツールとして利用されている。

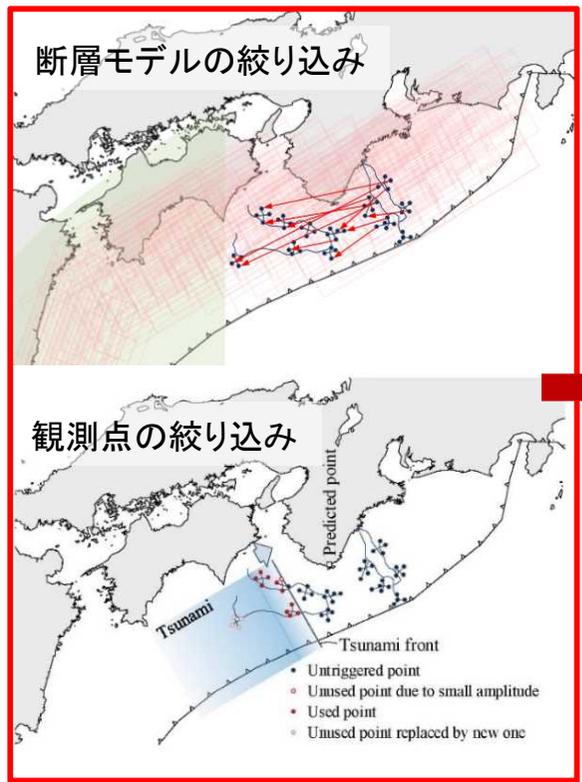
- 海域における津波観測網の整備
- 津波堆積物、歴史文献資料等の調査
- 海底地形や海底活断層等の調査
- 海溝軸沿いの地殻変動の観測
- 海溝型地震により発生する津波に関する調査研究
- **海域の津波観測網やGNSS観測網等の観測データを活用した津波の即時予測技術の高度化**



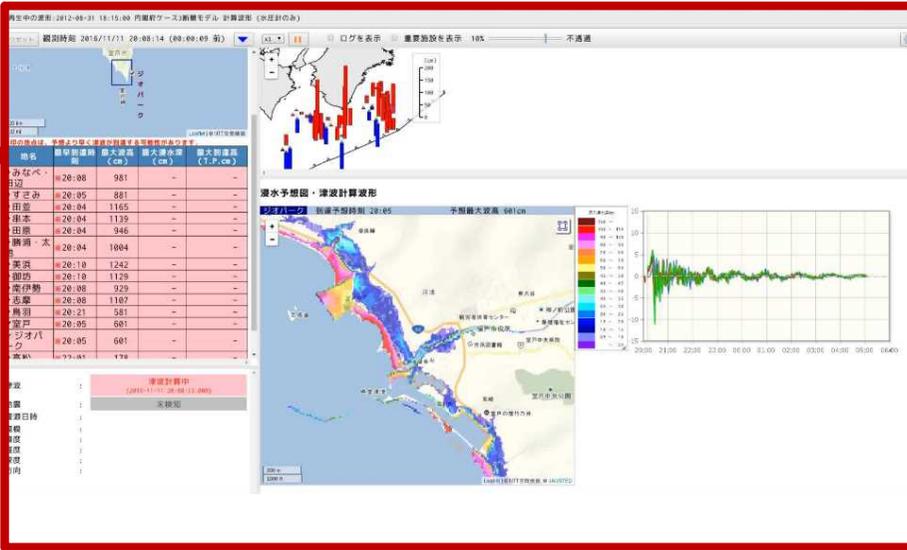
# 津波増幅率によるDONETを用いた津波遡上即時予測システム開発

## 概要

海洋研究開発機構、中部電力、和歌山県との共同で、DONETを用いた津波遡上即時予測システムを改良・実装した。このシステムは津波伝播に沿って増幅される津波高に着目したもので、事前に構築したデータベースから、予測対象地点ごとに適切な津波高のモデルを抽出し、津波の到達時刻、津波高、浸水エリアを可視化、DONETで観測した水圧計の振幅に合わせて随時改訂するシステムである。DONET2の観測開始を受けて、DONET1と2の両方の観測点を用いて、データベース上の断層モデルの絞り込みと予測に用いる観測点の最適化を図った。

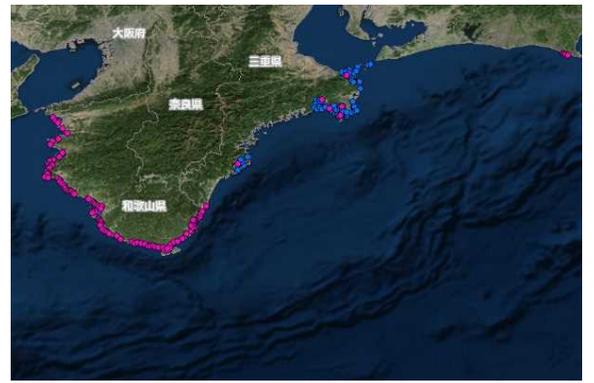


可視化画面例。左側に予測地点のリストとそれぞれの津波到達時刻と津波高等の情報、右上にリアルタイムのDONETの水圧値、右下に予想浸水エリアとこの浸水エリアのもととなる断層モデルによる津波理論波形を表示している。



## 主な成果

○これまでDONET1のみ用いた即時津波予測では、紀伊半島西側において南海地震による浸水予測ができなかったが、今回のDONET2導入と絞り込みの新ロジック導入により、東南海地震、南海地震とも予測が可能になるとともに、予測精度が向上した。



和歌山県96か所、三重県5か所、中部電力と尾鷲市沖に予測対象地点を設定、システムを構築した(紫丸印の地点、青丸は導入検討地点)。

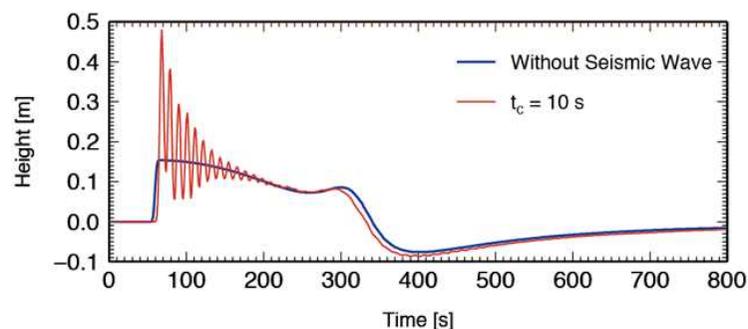
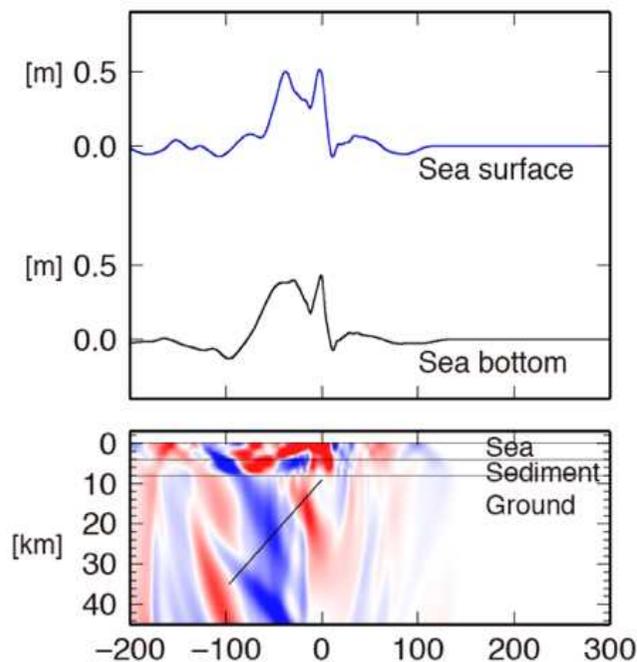
○DONETにおける津波検知と水圧観測値から住民向けにエリアメールを送信するシステムを組み込んでいる。理論津波波形を導入し、三重県では本システムを避難訓練にも使用している。

## 社会への貢献事例

- ・ 現在、和歌山県、三重県、中部電力、尾鷲市がすでに導入済み。和歌山県は、この改良前のシステムで津波の予報業務許可を取得、運用中。三重県は県内全土に拡張する予定、また、千葉県がS-netを用いた本システム実装を検討中。

## 概要

基盤観測網(DONET・S-net)等によって、海域で発生する地震・津波のリアルタイム観測が実現し、特に、巨大地震の震源直近観測によって、迅速かつ信頼度の高い津波即時予測が期待されている。巨大地震震源域内では、地震波・海洋音響波と津波が同時に存在するために、震源域内の記録を高精度に再現するためには、固液複合系における波動現象を理解することが重要となる。地震波・海洋音響波と津波が混在する場合の、理論合成方法を新たに開発した(Saito and Tsushima 2016 JGR)。



巨大地震震源域内では、地震波・海洋音響波と津波が混在する。

地震波成分を津波信号と間違え解析すると、津波予測は不正確になる。

従来の理論: 地震波と津波は別々

新しい理論: 地震波と津波を同時に考慮する理論

## 主な成果

- 震源域内の海底水圧記録の理論合成方法を開発
- 津波・地震波・海洋音響波・海底地殻変動が、海底水圧記録へ与えるメカニズムの解明と影響の定量評価
- 巨大地震時の海底水圧記録を合成し、津波即時解析アルゴリズム(tFISH)の性能評価に利用

## 社会への貢献事例

- ・ 海底水圧計データの基本原理を与えることで 正確度の高い津波即時予測へ貢献

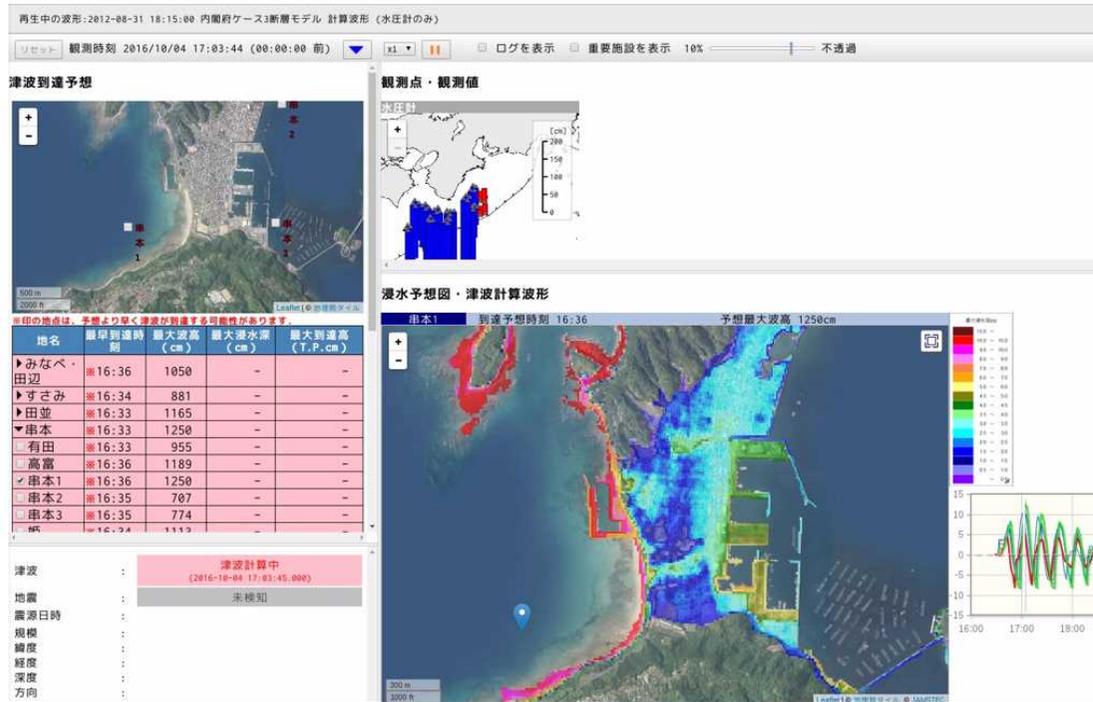
# DONETデータを用いた津波即時予測システムの社会実装

## 概要

### 津波即時予測システムの高度化・社会実装・水平展開

DONETのリアルタイム観測データを利用し、対象地点の津波到達時刻と津波高、浸水エリアを予測するシステムを開発した。予測の手法としては、リアルタイムで入力されるDONETの津波高に合わせ、事前に評価した1506断層モデルから、条件にマッチする津波到達時刻、津波高、浸水マップ、理論津波波形を表示する。この津波即時予測システムを中部電力・尾鷲市防災センター・和歌山県・三重県に実装し、各々の拠点にリアルタイムでDONETデータの伝送を行い、津波の即時検知と予測情報利用体制をとっている。なお、DONETは平成28年度に国立研究開発法人防災科学技術に移管後は、連携して事業の継続を行っている。

#### 津波予測モニター

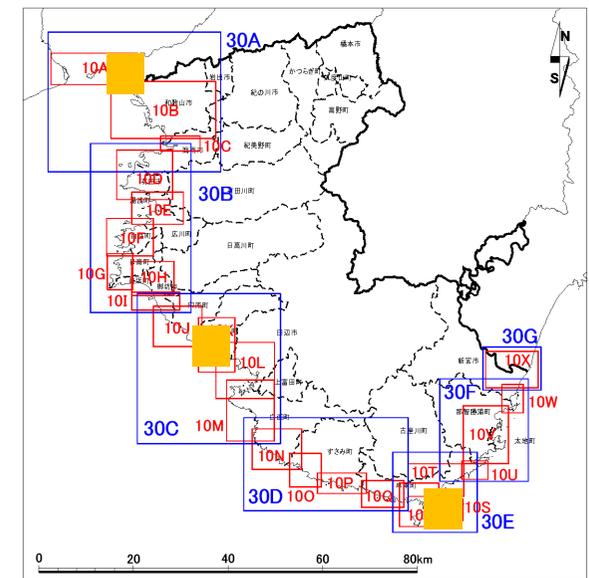


津波即時予測システムの和歌山県串本町の例。左上に全体地図、左下は各地域の津波到達時刻と津波高を表示、右上はDONETの水圧計データのリアルタイム表示、右下は浸水エリアとこの浸水マップ計算に使用した断層モデルによる串本町でも理論津波波形。

## 主な成果

ODONETの水圧データは気象庁に伝送され、津波警報・注意報の発表に使用されているが、それ以外の有効な観測データの活用の一つとして「津波即時予測システム」を構築した。

○予測対象地点も和歌山県では3点増強した(下図、オレンジのエリア)。



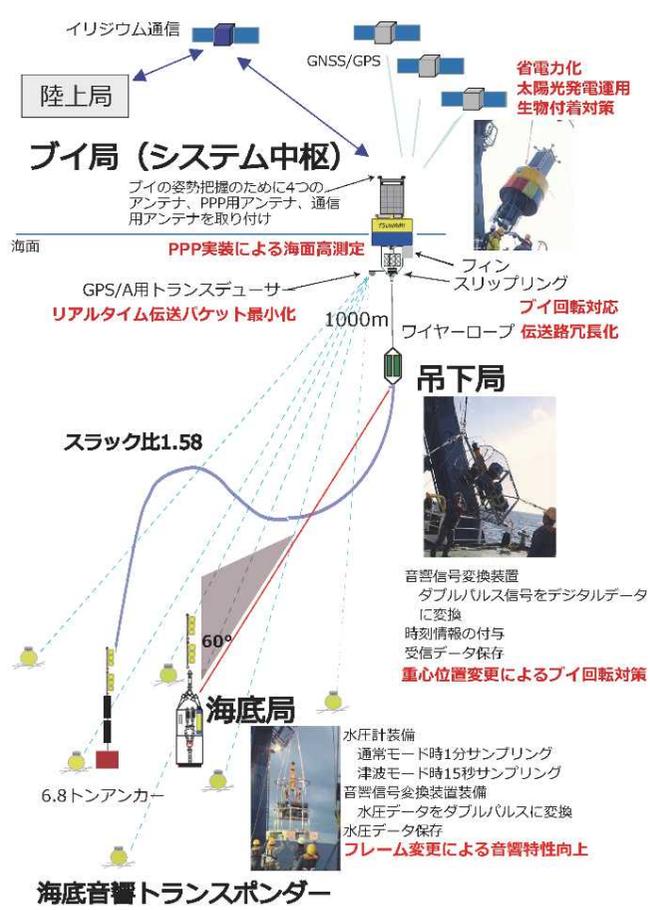
○現在もDONET2に対応することで、地域や観測ポイントを拡大させ、より広範囲の即時予測を可能としている。

## 社会への貢献事例

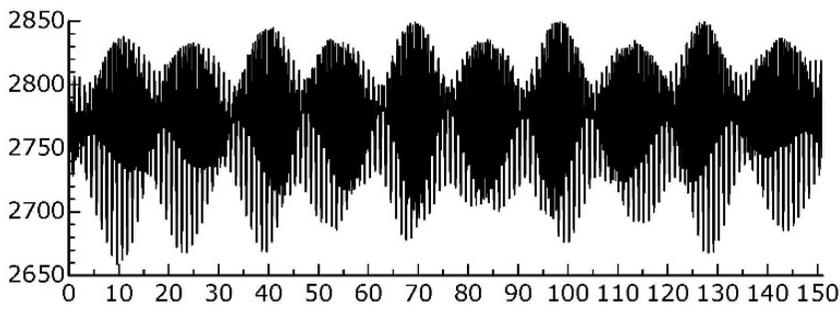
- ・本津波即時予測システムは、和歌山県、三重県及び中部電力株式会社といった地方自治体や民間企業で実装された。
- ・本取り組みは、伊勢志摩サミット(主要国首脳会議)でも先進的な防災技術の一つとして世界に発信された。

# モバイル型のリアルタイム津波・地殻変動バイ観測システム開発

## 概要



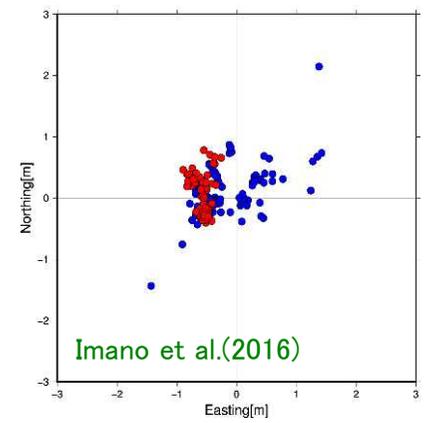
DONETのようなケーブルシステムが構築されていないエリアがまだ存在する。そのような場所において津波を検知し、即時予測につなげるために、バイを用いた観測システムを開発した。これは、水圧計をとりつけた海底局を海底に設置し、海面に係留したバイまでデータを音響伝送し、衛星回線でバイから陸上局まで水圧データを伝送するシステムである。バイにはGNSSが設置されており、海面高も10cm以下の精度で測定することが可能である。これにより、津波と地殻変動上下成分の分離もしやすくなる。現在、システムの高度化と検証を進めている。このシステムは機動性を持つ。DONETのようなケーブルシステムが設置されていない海域に、必要に応じて、必要なだけ設置することが可能である。



海底局の水圧計によって観測されたデータ  
(横軸は日、縦軸はm)

## 主な成果

- 水圧値、地殻変動観測地の準リアルタイム観測とオンデマンドで地殻変動観測に成功した。
- 数10cmのデータの観測精度を実現した。
- 安定した長期観測実現のため、ケーブルに損傷を与えるバイの回転の抑止手法の効果を検証し、反射波による音響伝送の誤認提言や混入するスパイクの渦の原因を追究した。
- 地殻変動観測に最適となるスラック比となる表面バイ形状を検討した。



初期アレイ形状を修正することで、任意の位置からの測距ではRMS 0.5m以下の精度が得た。

## 社会への貢献事例

- ・ 海底地殻変動観測バイシステムを実用化することで、現在、年数回しか観測できない地殻変動観測の回数を増やし、高精度な地殻変動観測への貢献が期待される。強潮流下においても設置可能で、フレキシブルな地殻変動・津波観測の展開が可能になる。
- ・ SIP防災の一環としての位置づけでもあり、製品化の上、民間に運用を委託することも開発コンセプトに入っている。現状では実際に社会実装には至っていないが、今後、試験運用を通して、製品化を進める。

# 電子基準点リアルタイム解析システム(REGARD)の整備・運用

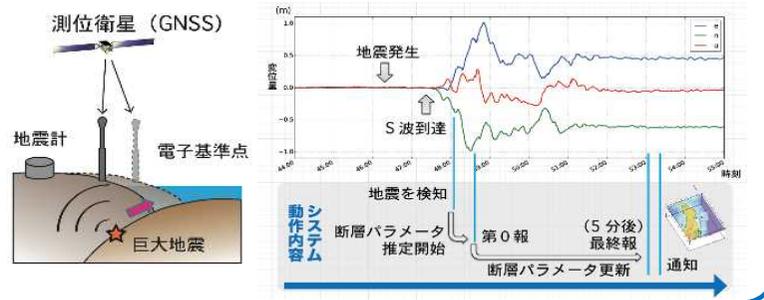
## 概要

全国約1,300か所でGNSSの連続観測を実施している電子基準点のデータを、リアルタイムで常時解析することで、巨大地震発生時の地殻変動量及び地震規模を即時に求め、関係機関に情報提供することを目的とした電子基準点リアルタイム解析システム(REGARD: REal-time GEONET Analysis system for Rapid Deformation monitoring)を整備・運用している。

### システムの概要

全国約1,300か所に設置された電子基準点を用いて数分以内に巨大地震の規模を推定可能

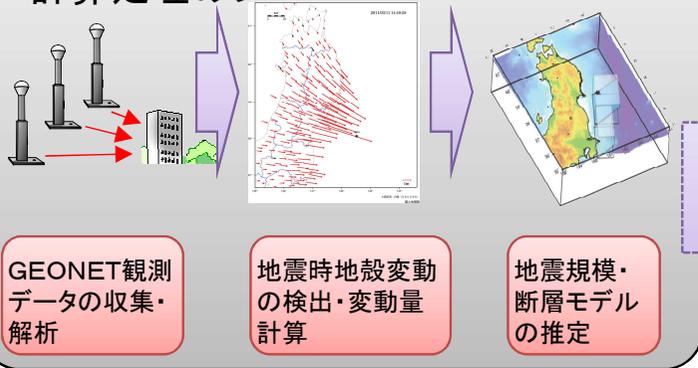
- 概略の地殻変動
- 矩形断層モデル、すべり分布モデル
- 地震規模(モーメントマグニチュード)を即時(5分以内を目安)に提供



## 主な成果

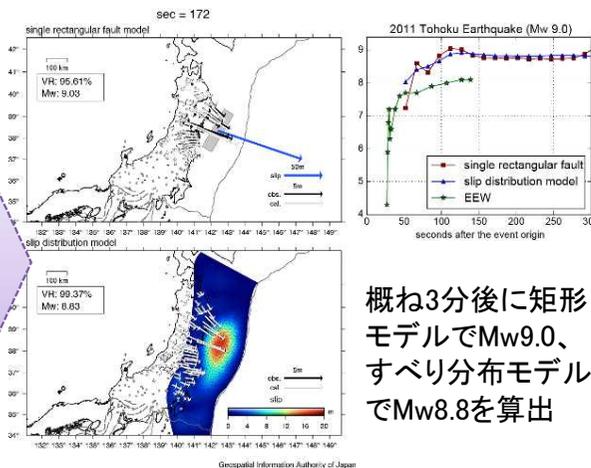
- これまで数時間かかっていた巨大地震発生時の地殻変動把握、断層モデル推定を即時に行えるようにした。
- 過去のMw8.0を超える巨大地震に対して、後処理で検証し、動作を確認。**概ね3分後に実際の規模に近い地震規模を推定。**
- 平成28年熊本地震において、迅速に地殻変動を把握し、関係機関へ情報提供。また、発生約7時間後にホームページにおいて結果を公開。

### 計算処理のフロー



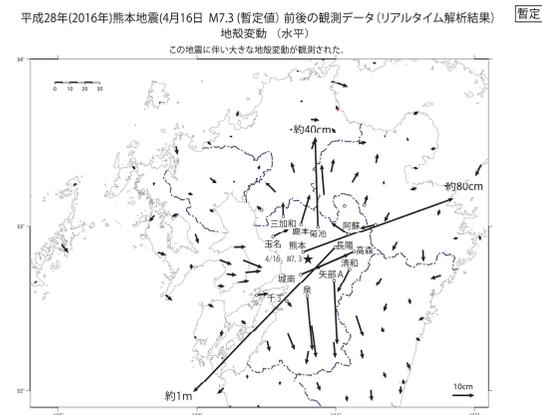
これらの処理を即時に自動で実施

関係機関等へ  
情報提供



概ね3分後に矩形モデルでMw9.0、すべり分布モデルでMw8.8を算出

東北地方太平洋沖地震発生時のデータを用いて、後処理で検証した例



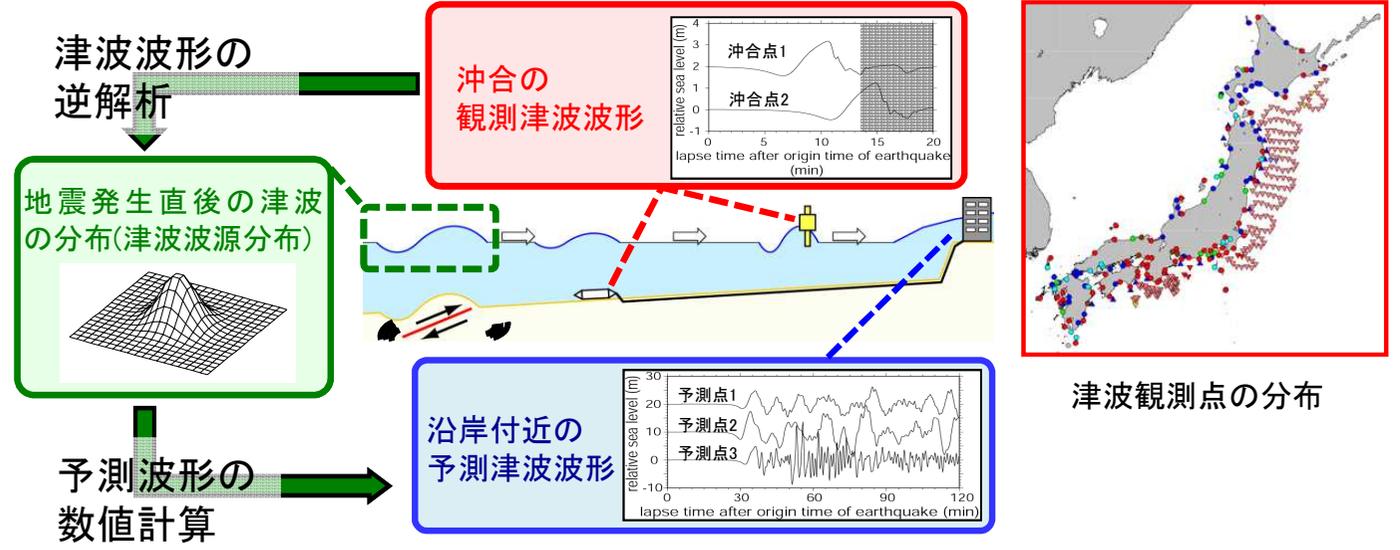
## 社会への貢献事例

- ・平成28年熊本地震時の迅速な地殻変動情報の提供(国土地理院ホームページ、国土交通省の非常災害対策本部会議、地震調査委員会)
- ・解析結果を提供することで、津波予測をはじめとする地震災害軽減のための研究開発に貢献(東北大、気象研究所)

# 津波の予測手法の高度化に関する研究

## 概要

GPS波浪計やケーブル式海底水圧計等、沖合における多点の津波観測データを活用して、津波伝播の状況を即時に面的把握する手法を開発するとともに、沿岸に到達する津波の即時予測手法の開発・高度化を行う。



また、後続波を含めた津波伝播過程の高精度な再現を図り、津波減衰過程のモデル化を行う。



## 社会への貢献事例

・ 開発した津波即時予測手法は、現在、実際の津波観測による検証中であり、今後、気象庁の津波警報等の更新に活用される予定。

## 主な成果

- 沖合観測データに基づく津波即時予測手法を開発し、沖合観測点の増加に応じて解析条件の最適化を行うなど手法を改良
- 時々刻々更新する津波即時予測結果の妥当性評価のため、予測精度を即時評価する指標を開発
- これらの手法等により、多数の沖合観測点が設置されている海域で発生する津波について、**地震発生後最短10分程度で、沿岸津波高を予測可能**
- 日本の沿岸で観測される津波の減衰過程を定量的に解析する指標を導入して、実観測データを系統的に解析し、減衰過程の一般的特徴を明らかにした。