

DONET

地震・津波観測監視システムの概要
と
連続リアルタイム海底地殻変動観測
システムへの展望

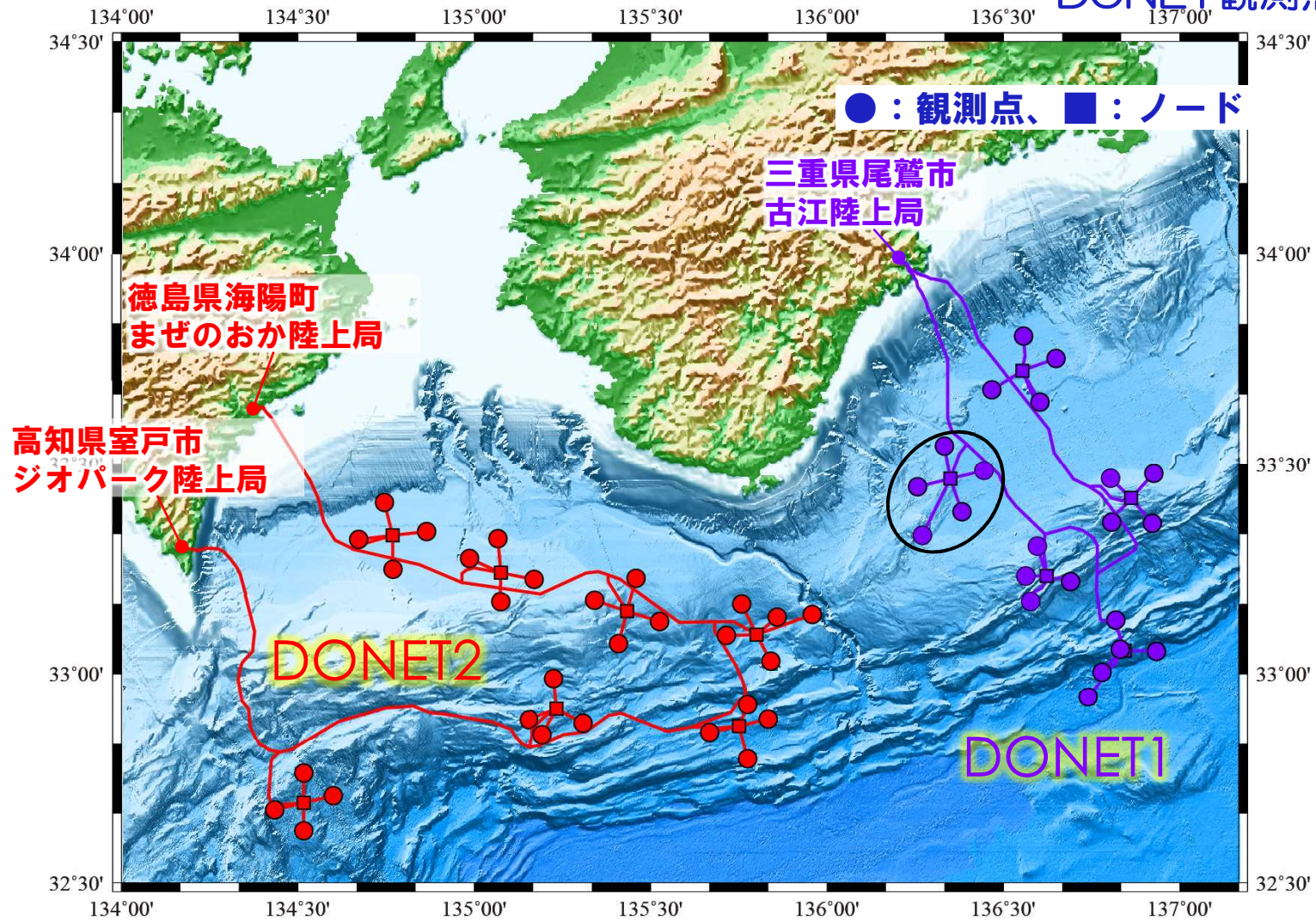


発表内容

- 開発コンセプト・観測技術
- 地震津波検知能力
- 津波即時予測システム
- 連続リアルタイム海底地殻変動観測に向けて



DONET観測点構築状況



DONET1 : 5ノード22観測点、5ノード、ケーブル長 320km
 DONET2 : 7ノード29観測点、7ノード、ケーブル長 500km



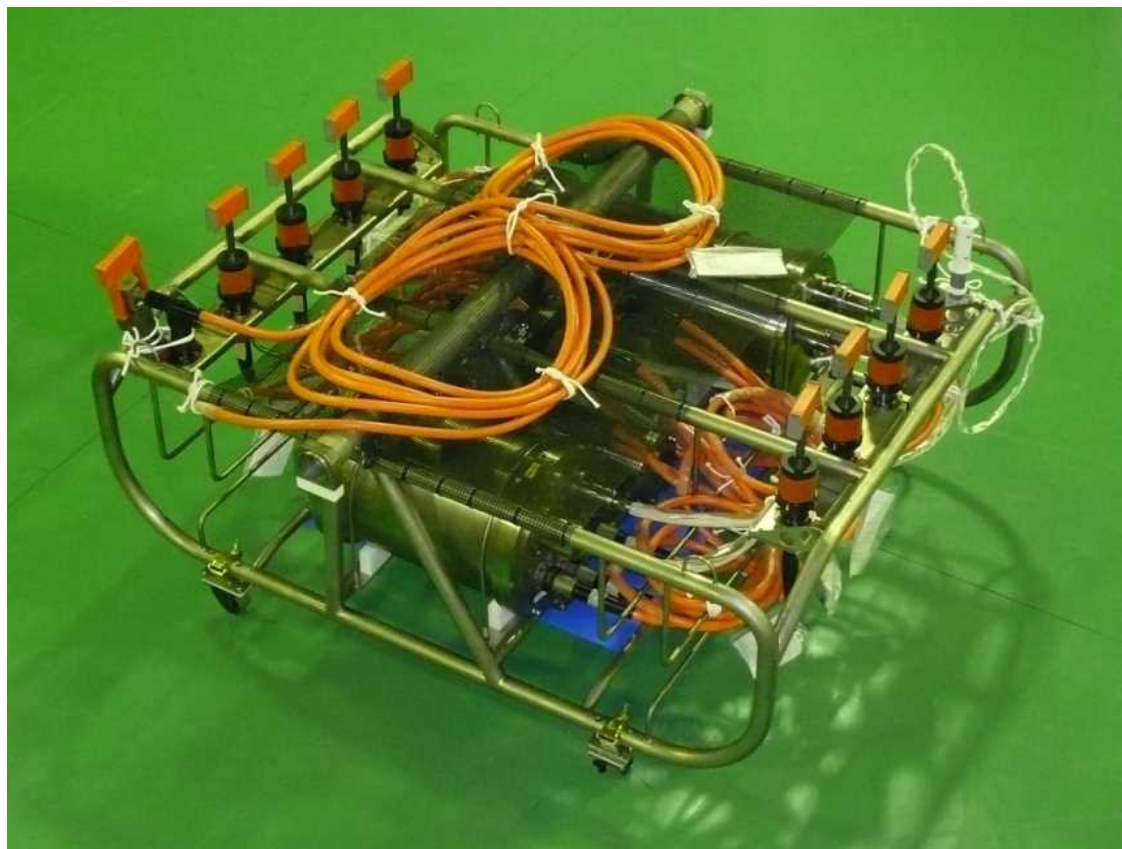
開発コンセプト

高信頼性：20年程度の定常連続観測を実現可能なシステムデザインの導入

冗長構成：地震に伴う地殻変動や乱泥流、海域での人的な活動等による外的要因の障害、もしくは想定外の内因による部分的な障害の発生に対して耐力のあるシステムデザインの導入、システムの調整、改修、機能向上についても有効

置換機能：障害を起こしたり老朽化したコンポーネントについて適宜、交換・整備・アップグレード等が可能なシステムデザインの導入

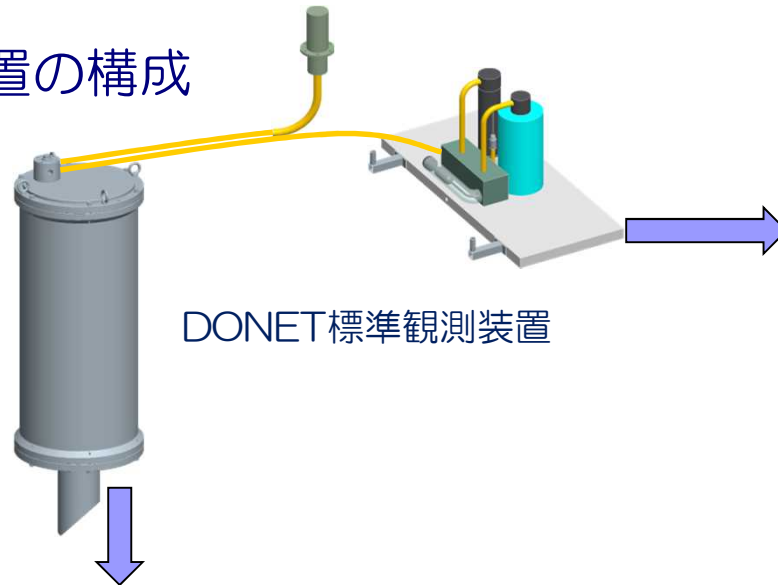
観測ネットワークを実現するための主要技術 1. 分岐装置



1. 保守性と置換機能
2. 時刻同期
3. 電力分岐

観測ネットワークを実現するための主要技術 2. 観測装置

観測装置の構成



DONET標準観測装置



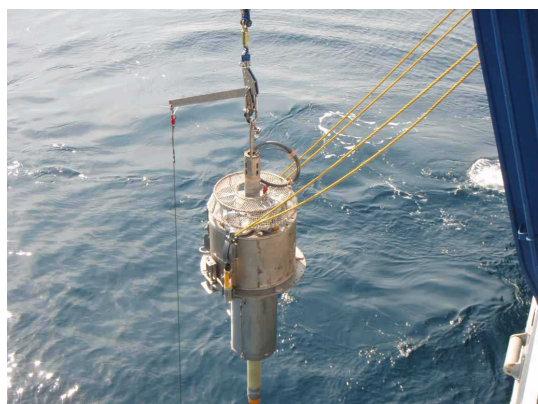
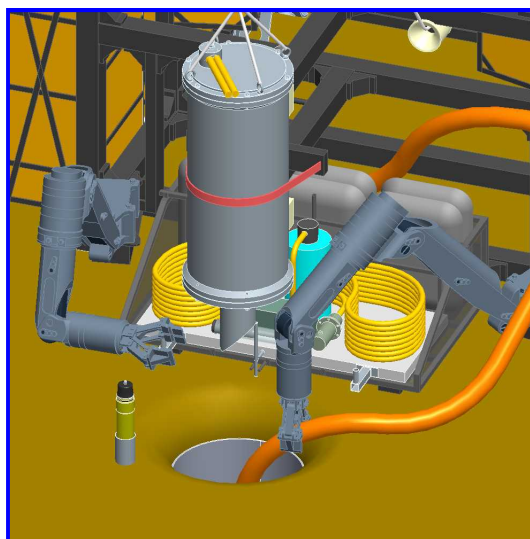
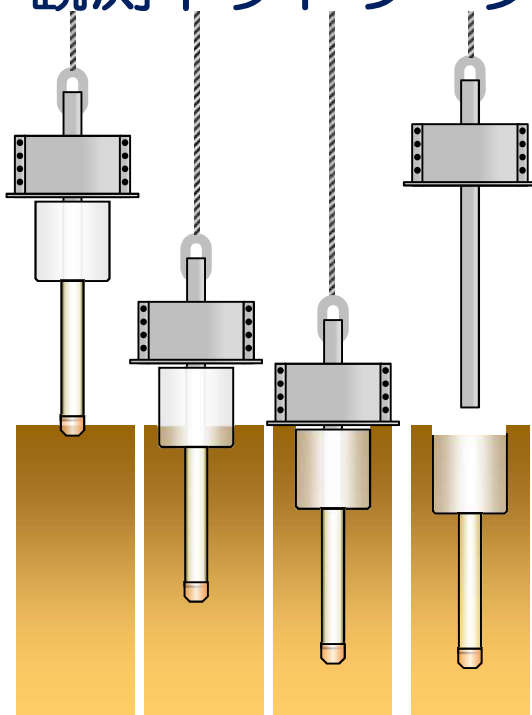
圧力センサシステム



地動センサシステム

Sensor	Type	Manufacturer
Broadband seismometer	CMG-3T.RH	Guralp Systems
Strong motion accelerometer	TSA-100S	Metrozet
Hydrophone	HTI-99-DY	HIGH TECH, INC.
Pressure gauge	8B7000-2	Paroscientific, Inc
Differential pressure gauge	Sensor: NPH-8-007GH NeedleType: N731-PT-2 6/PK	Sensor: NOVA Sensor Needle: GL Sciences
Thermometer		NGK

観測ネットワークを実現するための主要技術 3. 設置技術



ケーシング設置



ケーシング内清掃



地動センサシステム設置



観測ネットワークを実現するための主要技術 3. 設置技術

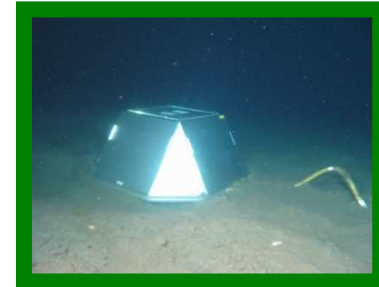
観測環境の制御（広帯域地震計における表層埋設の効果）



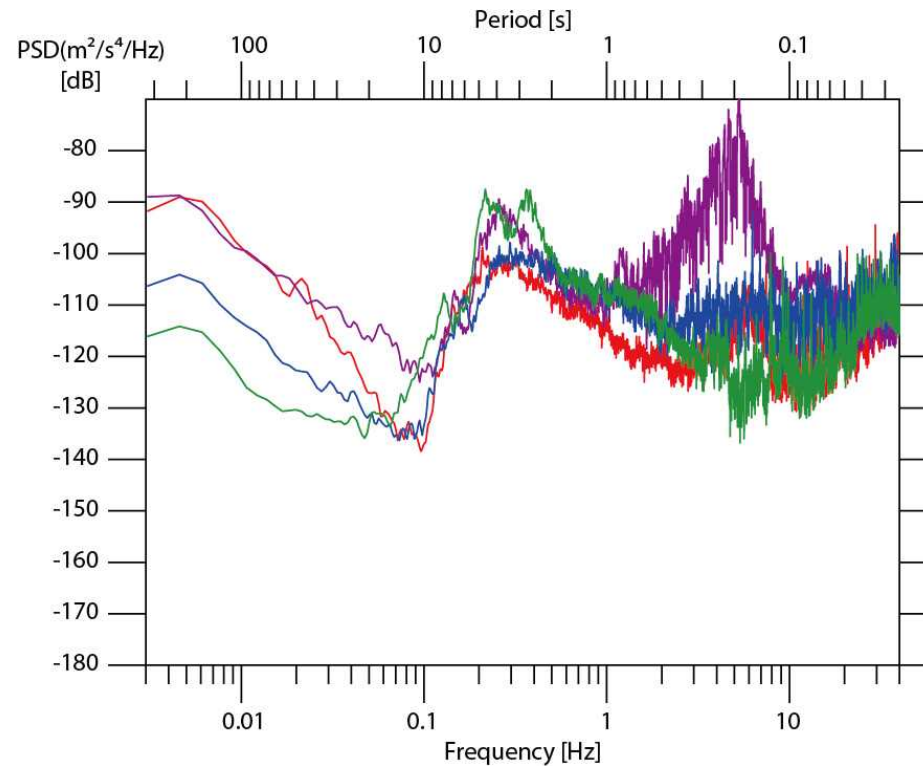
球体容器

円筒容器
海底での広帯域地震計の設置状況

円筒容器埋設

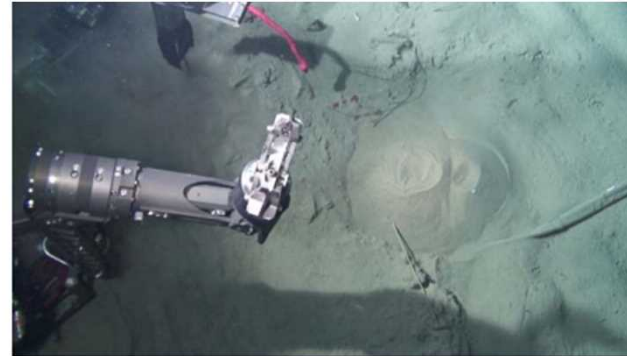


埋設後キャップ

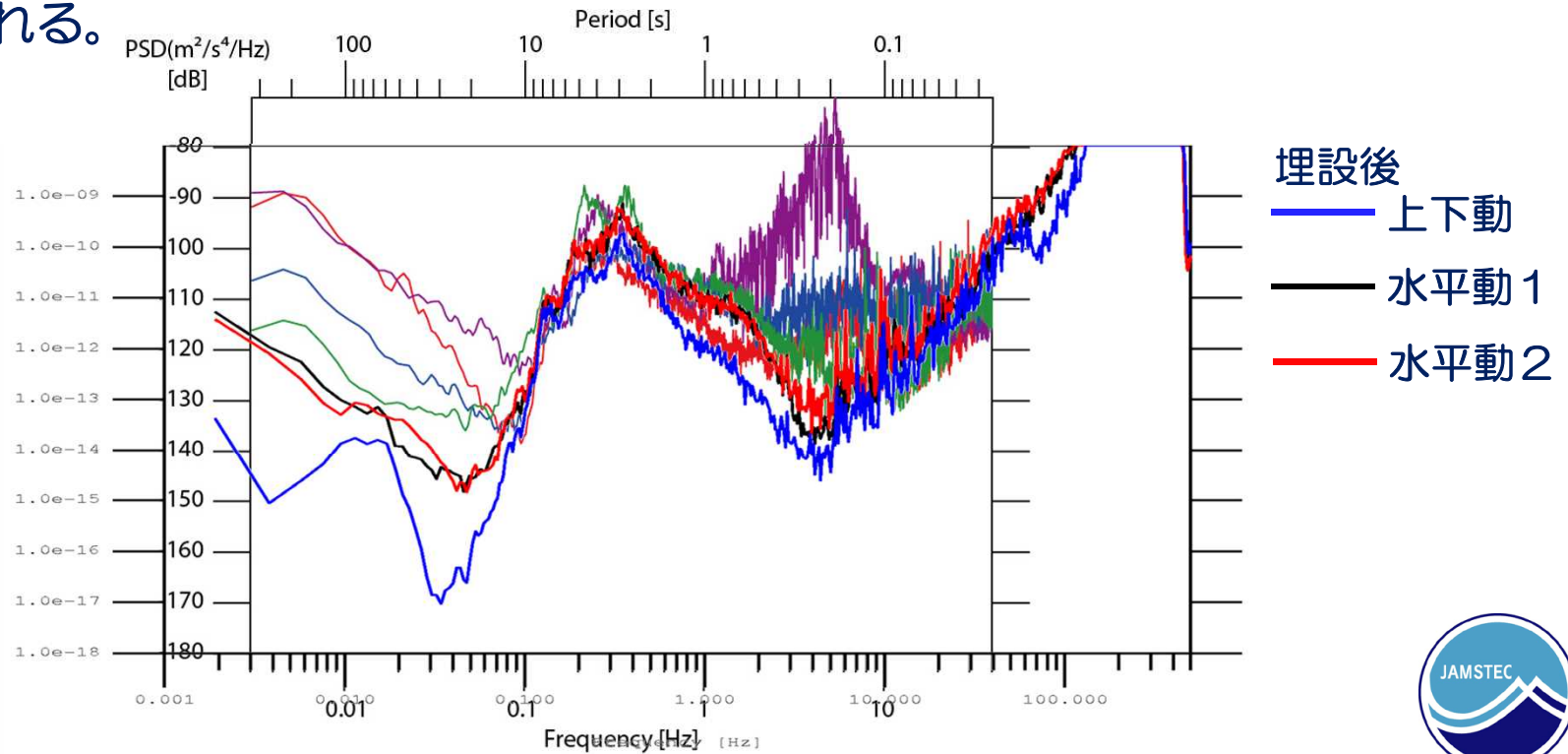


観測ネットワークを実現するための主要技術 3. 設置技術

観測環境の制御（広帯域地震計における表層埋設の効果）



埋設後砂埋め：20-40db-> 10-100 倍バックグラウンドノイズフロアの低減が認められる。



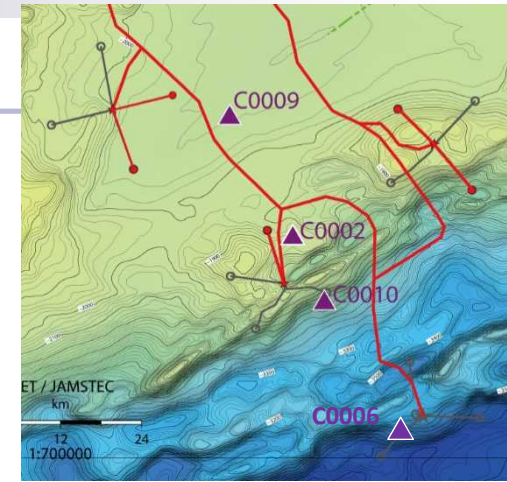
孔内観測点構築とリアルタイム化

H27年度

- 孔内観測点およびDONET観測点周辺でのエアガン発振(かいいい, 6月)
- 既設のC0002観測点のWebからのデータ公開(15年7月)
- 今後設置を予定する孔内観測点(C0010,C0006)用の機材の整備・試験(振動・水圧・長期安定性)

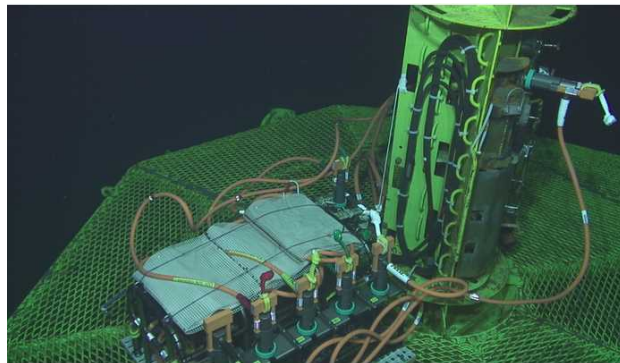
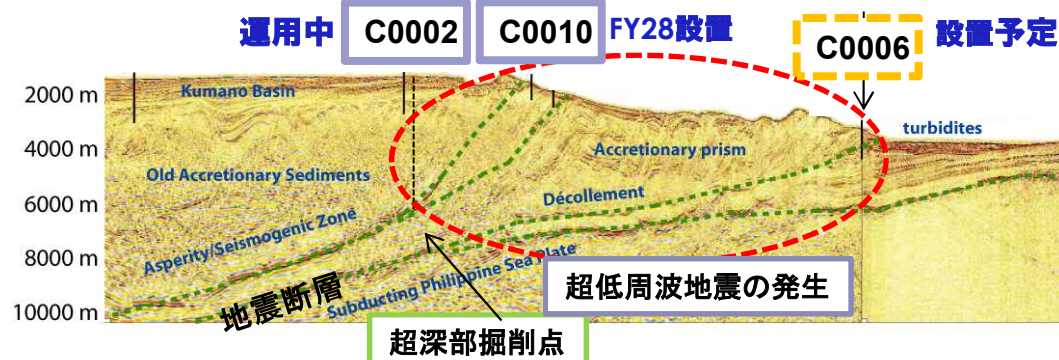
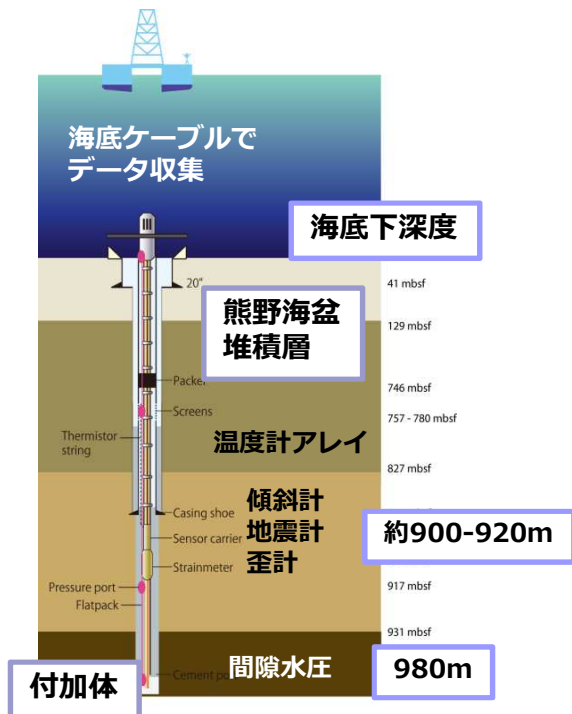
H28年度

- C0010 孔内観測点の設置 (ちきゅうIODP Exp 365, 3~4月)
- C0010とDONETとの接続(新青丸/ハイパードルフィン, 6月) → データ公開



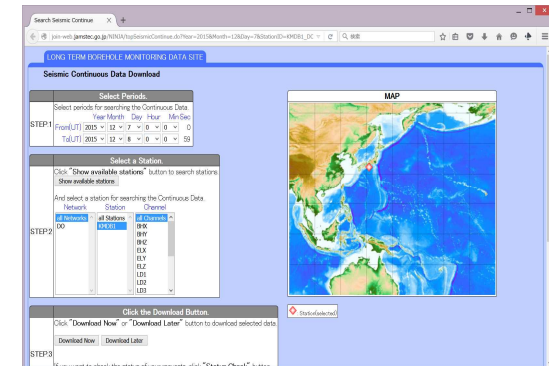
▲ 孔内観測点、含む設置予定点

C0002孔内観測点



運用中のC0002孔内観測点

(DONETとの接続) URL: http://join-web.jamstec.go.jp/borehole/borehole_top_e.html



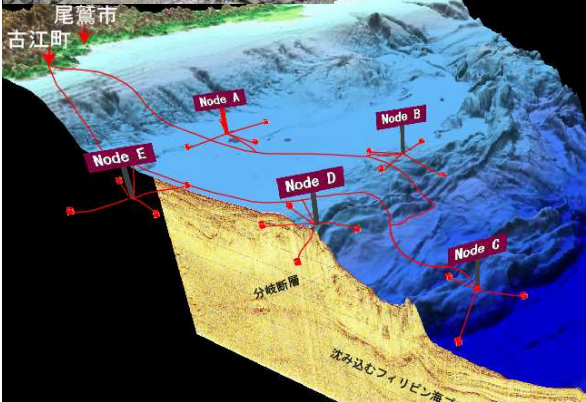
孔内観測データ公開Web

DONETデータ配信

DONETデータ
リアルタイム伝送
津波即時予測

古江陸上局
(三重県尾鷲市)

データ受信・配信

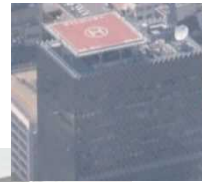


共同研究開発



尾鷲市防災センター

和歌山県庁



中部電力

国土地理院

徳島県
高知県
香川県
愛媛県
三重県
海陽町
室戸市
NIED
ERI

専用線

win32フォーマット
0.1秒パケット
全データ



国立研究開発法人

海洋研究開発機構

リアルタイム波形表示
即時震源情報

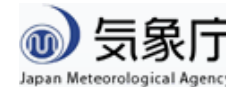
防災科研/気象庁の陸上観測点データ
(南海トラフ沿い約200観測点)

DONET補助金事業

Earth LAN

水圧計1 ch
強震計3 ch (100 Hz)
広帯域地震計3 ch (100 Hz)

大学・
研究機関



気象庁
Japan Meteorological Agency

NIED 国立研究開発法人 防災科学技術研究所

- 緊急地震速報
- 津波警報
- 気象庁一元化震源



発表内容

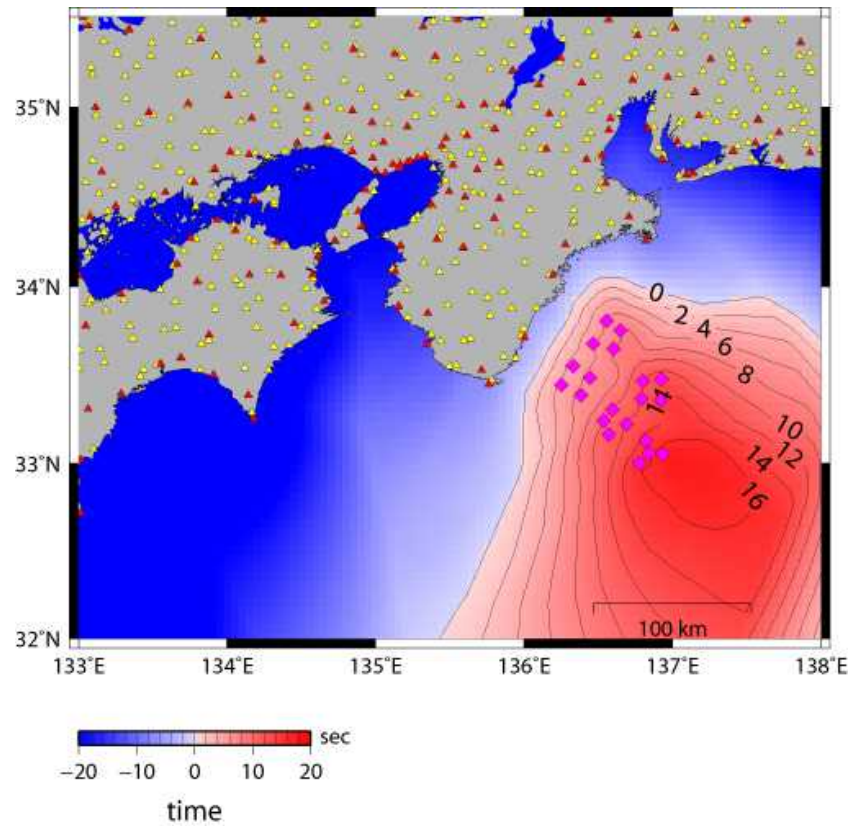
- 開発コンセプト・観測技術
- 地震津波検知能力
- 津波即時予測システム
- 連続リアルタイム海底地殻変動観測に向けて



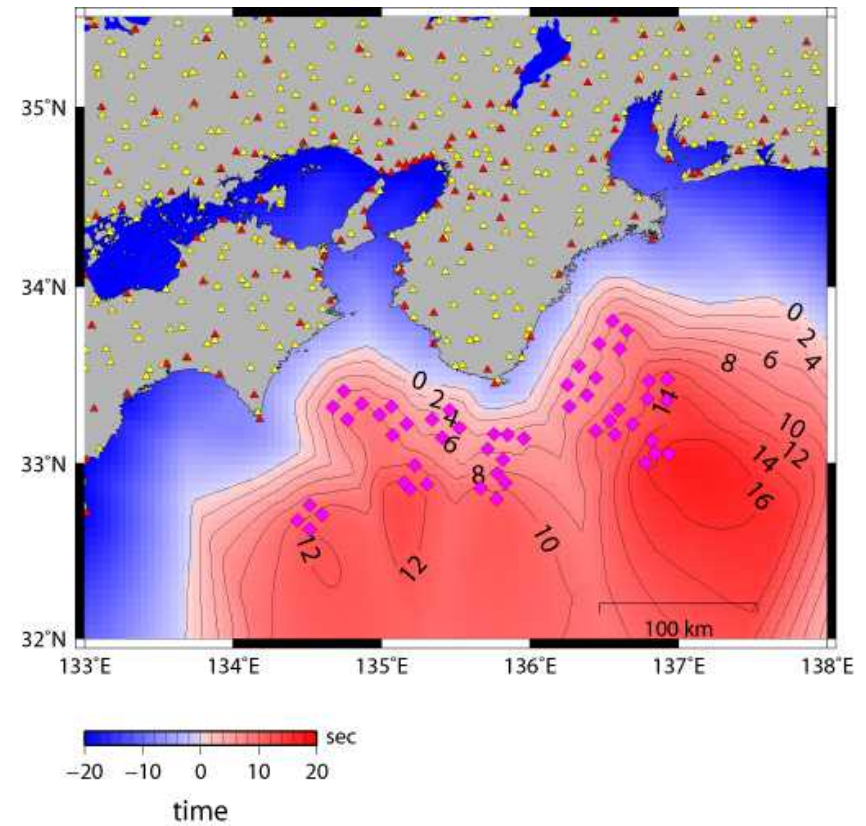
海域観測点の拡充に伴うP波検知の迅速化

赤色の領域で地震が発生した場合、陸域観測網よりも早くP波を検知する

DONET1のみ



DONET1+DONET2

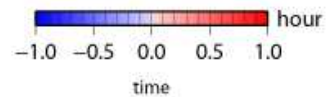
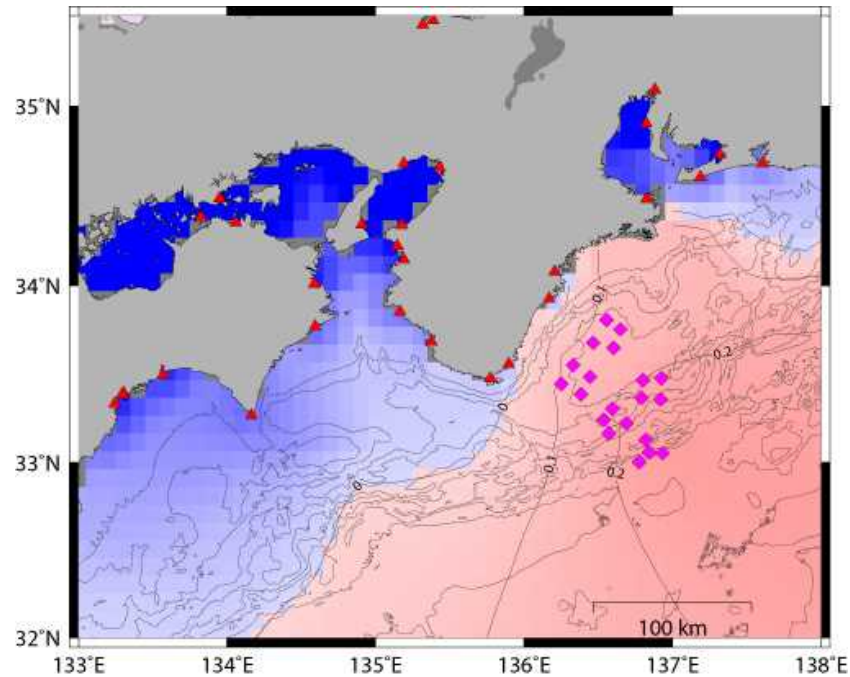


- ▲ 気象庁地震観測点（または験潮所）
- HiNET観測点
- ◆ 海底観測点

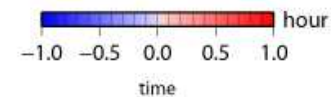
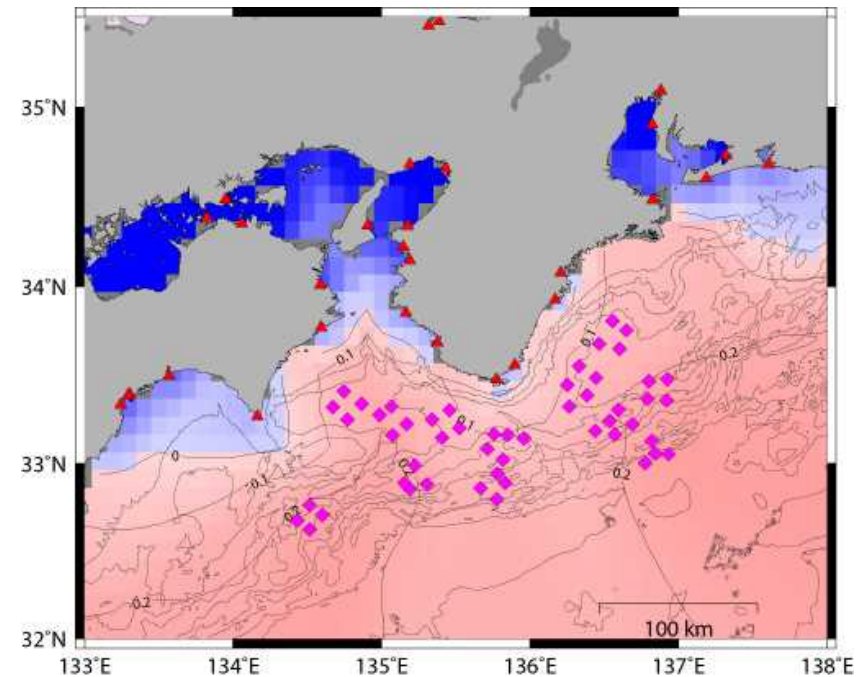
海域観測点の拡充に伴う津波の早期検知能力の向上

赤色の領域で津波が発生した場合、沿岸の検潮所よりも早く津波を検知する

DONET1のみ

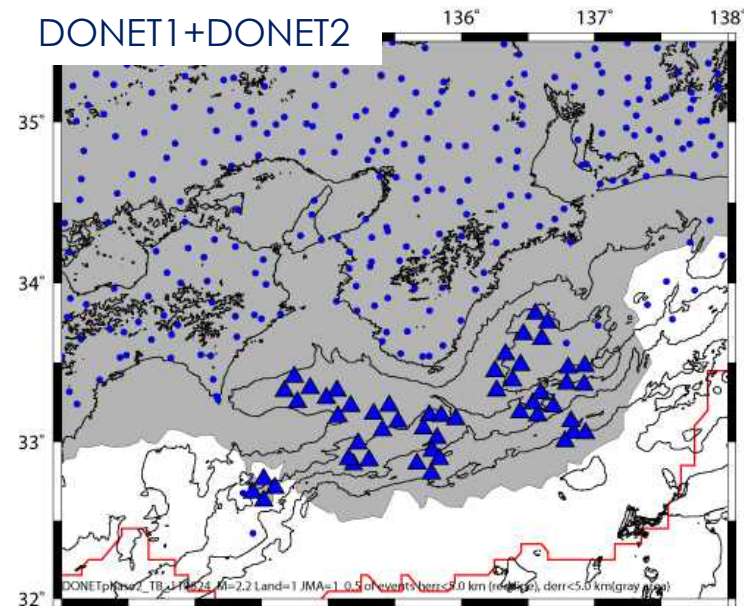
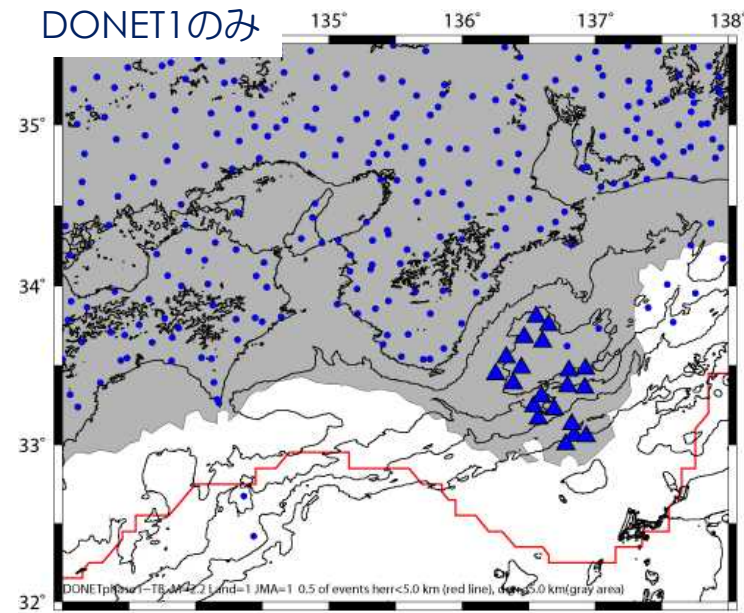
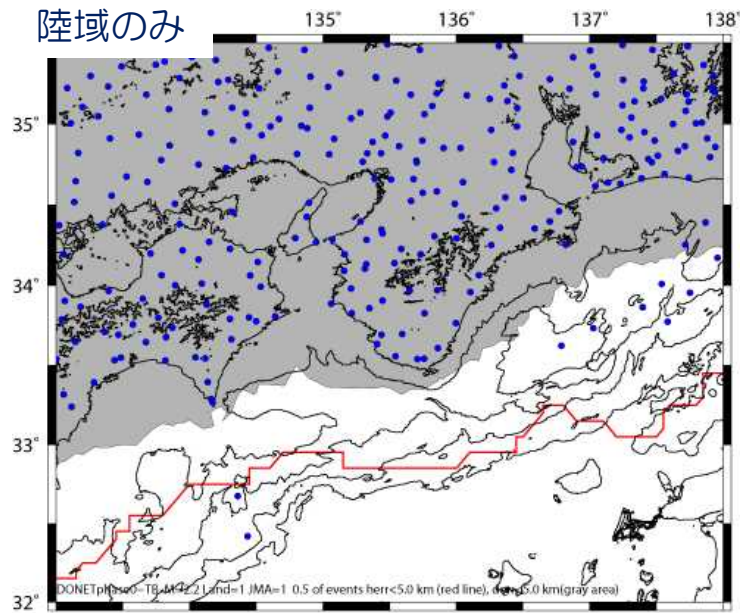


DONET1+DONET2



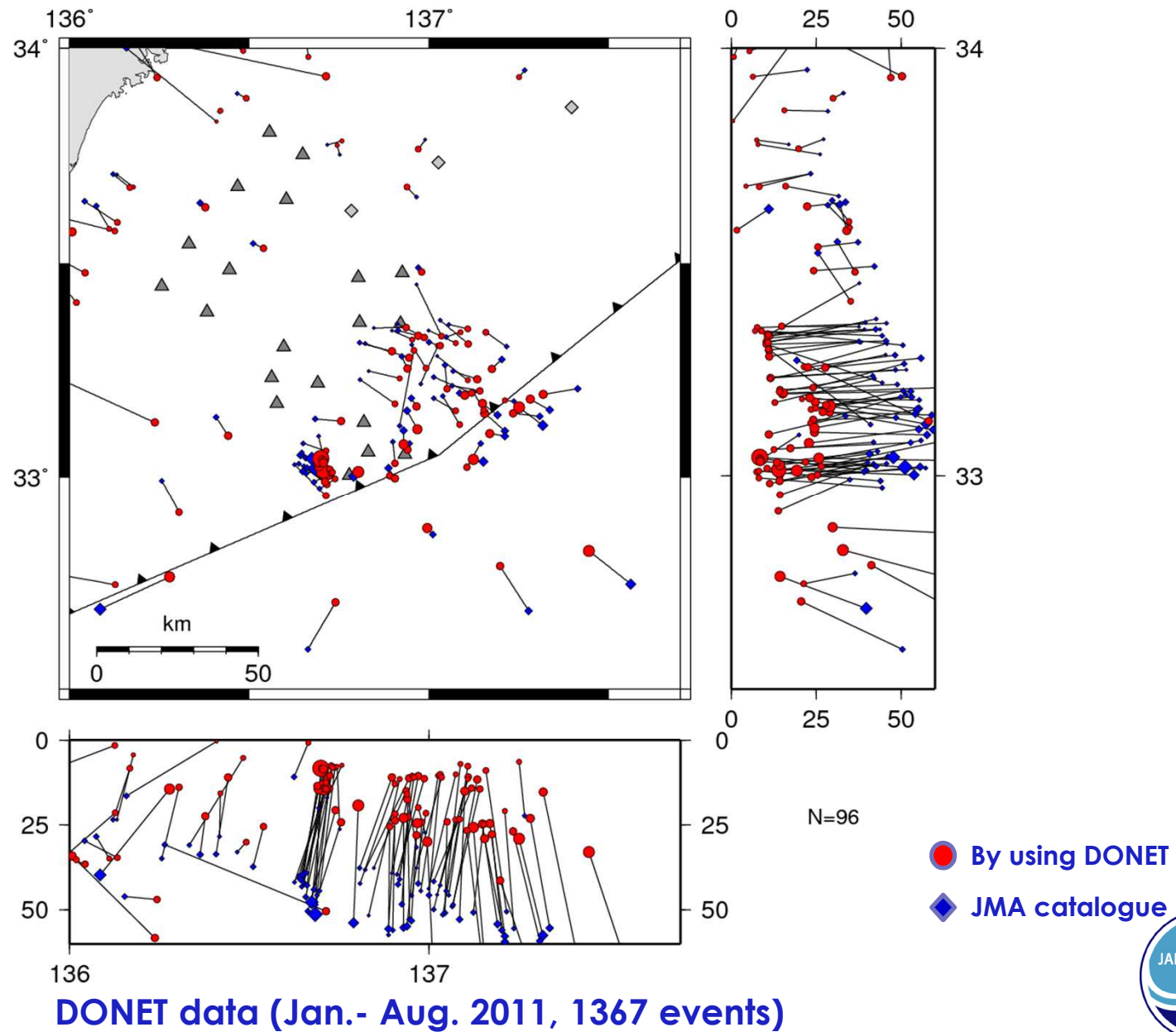
- ▲ 気象庁地震観測点（または験潮所）
- HiNET観測点
- ◆ 海底観測点

海域観測点の拡充に伴う震源決定精度の向上



赤線：プレート境界面上で発生した地震の震源を水平方向5 km以内の精度で決定できる範囲
 灰色領域：水平、鉛直ともに5 km以内の精度で決定できる領域

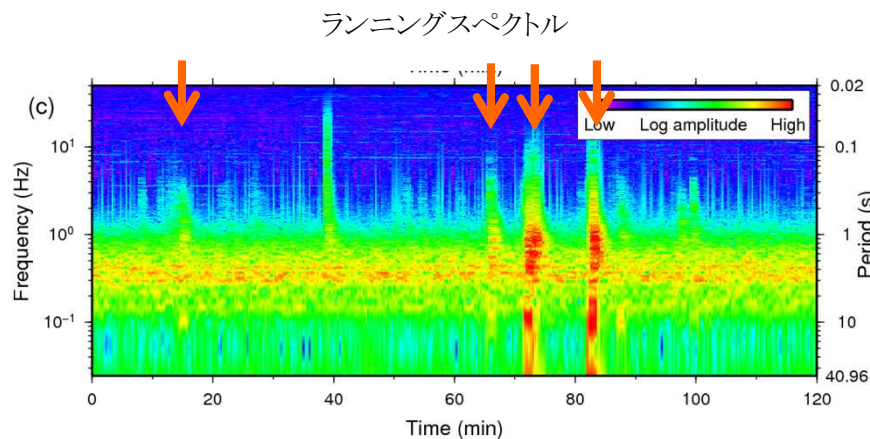
海域観測点の拡充に伴う震源決定精度の向上



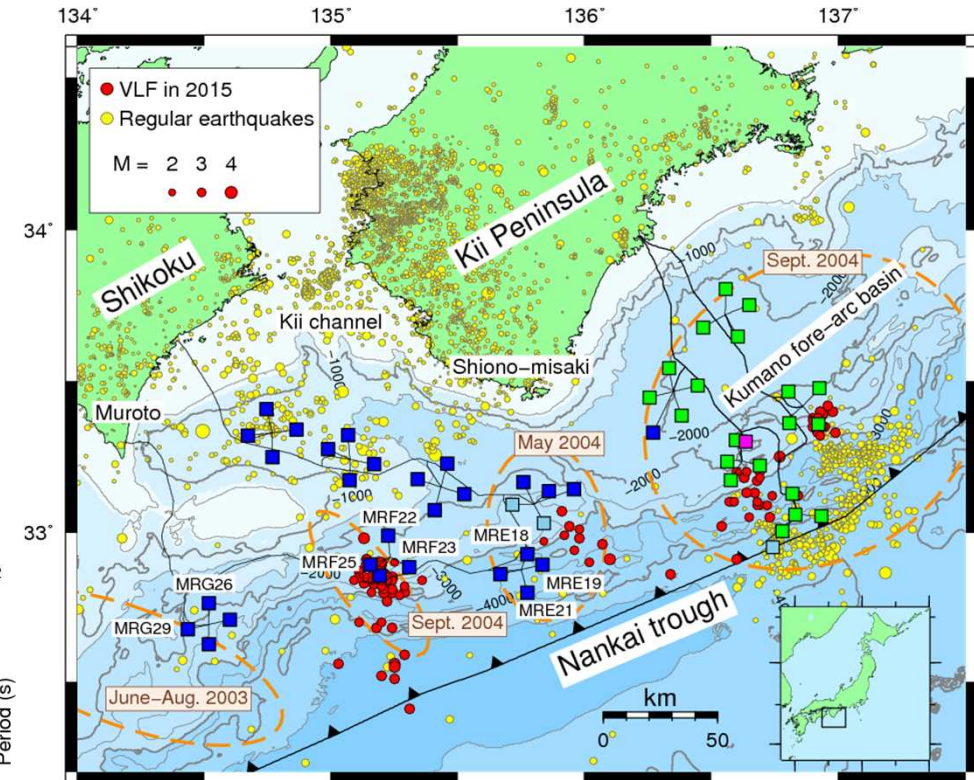
地震津波検知評価: 地震発生帯浅部での超低周波地震活動

DONET2観測開始後の2015年8月から10月にかけて、紀伊水道沖、潮岬沖、熊野海盆の順に、浅部超低周波地震が発生を震源域直上のDONET1と2で、相次いで捉えた。震源深さ、断層メカニズム解から、付加体底部のプレート境界すべりと推定した。

(Nakano et al., EOS, 2016)



超低周波地震 (↓) のランニングスペクトルの例。広い帯域に渡ってエネルギーを出していることがわかる。



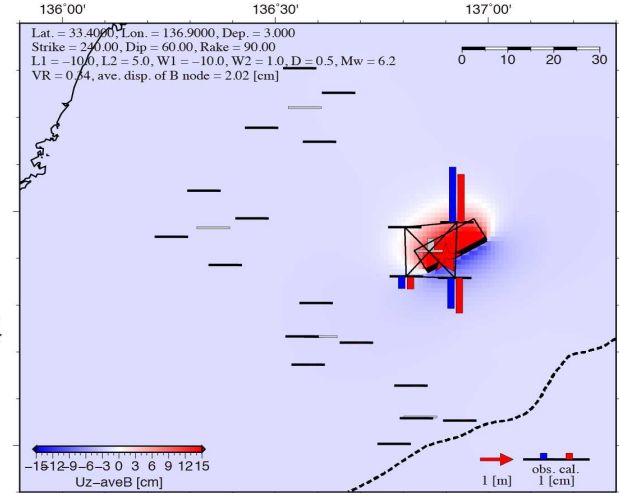
DONET観測網と震央の分布。超低周波地震 (赤) と通常地震 (黄) の比較。相補的に見える。

地震津波検知評価：ゆっくりすべり検知

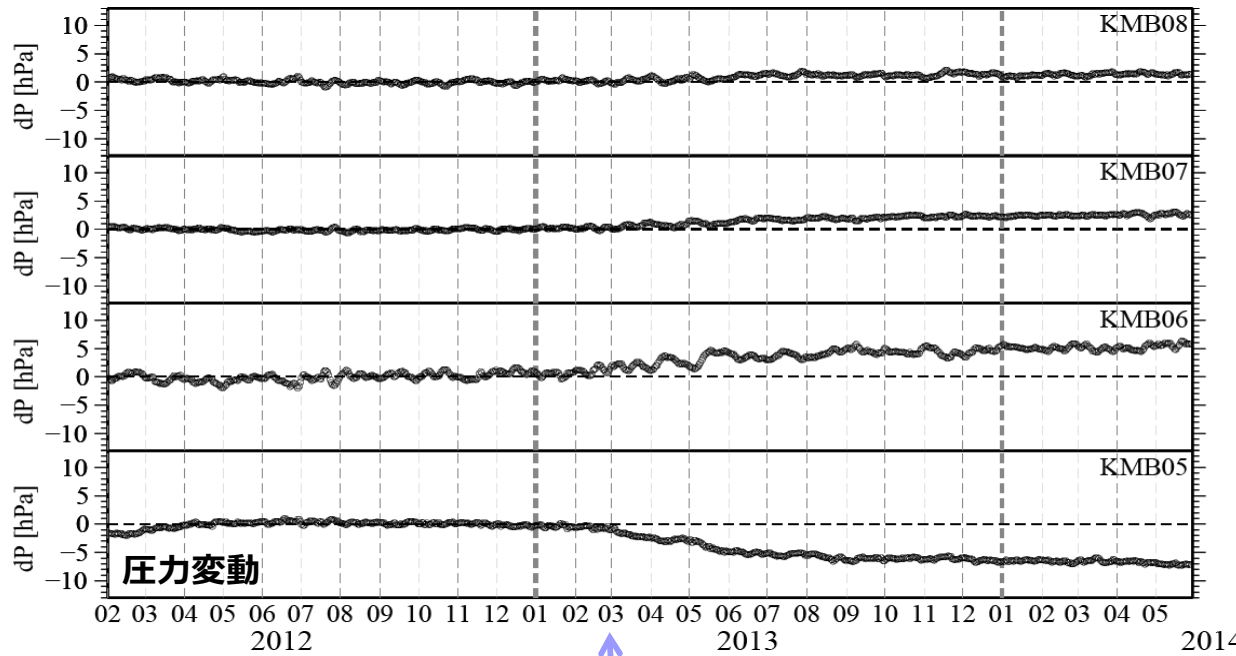
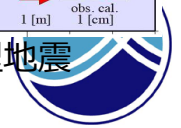
- KMB08において圧力変動なし・静水圧平衡を仮定した場合の海底面の上下変動
 - ✓ KMB05: 9 cm
 - ✓ KMB06: -5 cm
 - ✓ KMB07: -2 cm
- 地震活動の低下が発生
 - ✓ 2013年03月付近から開始?
 - ✓ 2013年06月18日M_{JMA} 3.5の地震以降地震活動の低下顕著



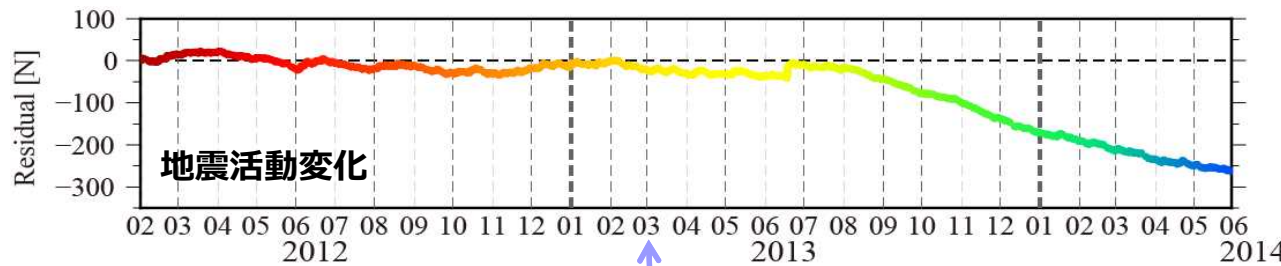
スロースリップの断層面推定



分岐断層沿いの逆断層型地震



圧力変動の開始時期



地震活動変化の開始時期?

図. (上) Bノードに接続されている圧力計の記録. (下) 観測された地震とETASモデルで見積もられる地震の積算個数の差.

地震津波検知評価：チリ・イキケ地震のマイクロ津波を観測

2011年イキケ地震断層モデル

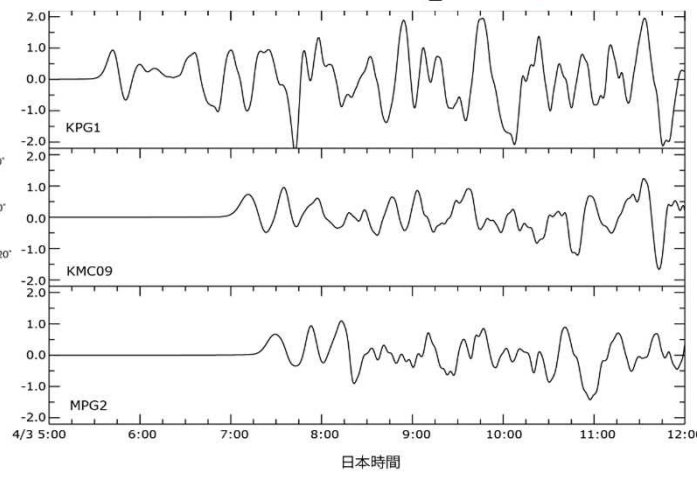
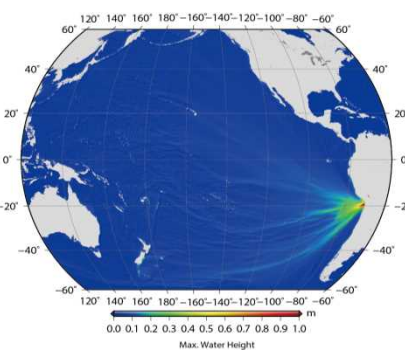
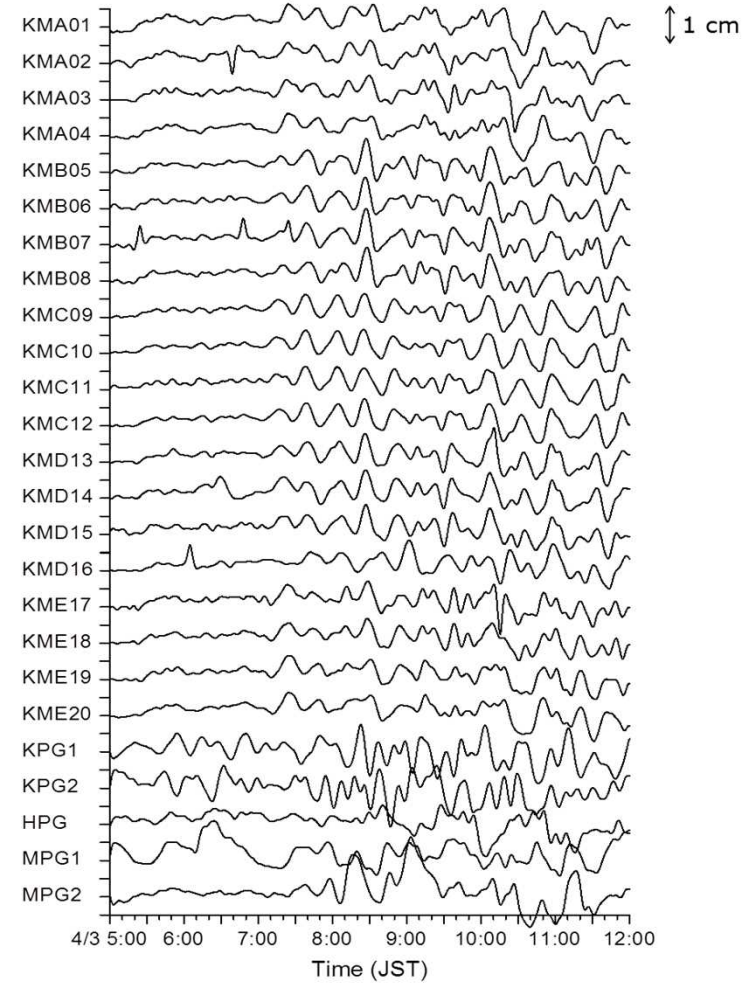
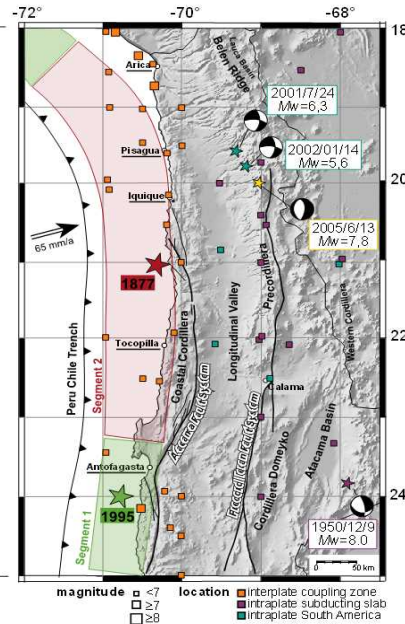
Time: 2014-04-01 23:46:46 UTC
 Mw: 8.1 (0846:46 JST)
 Centroid Location: 19.642S, 70.817W
 Centroid Depth: 33.0 km
 Seismic Moment: 2.10×10^{21} Nm
 (L, W, S) = (112km, 56km, 8.37m)
 (Str. Dip. Rake) = (340°, 14°, 74°)
 (USGS CMT解を参考にして定義)

津波計算モデル

平面2次元線形長波モデル
 スタッガード格子, リーフログ差分法による計算
 空間分解能2分 (GEBCOを使用)
 地震発生から48時間分の津波を計算

Return periods

Southern Peru 122 +/- 41 y
 (five events 1513, 1604, 1784, 1868 and 2001)
Northern Chile 112 +/- 22 y
 (five events 1408-1449, 1543, 1615, 1768 and 1877)



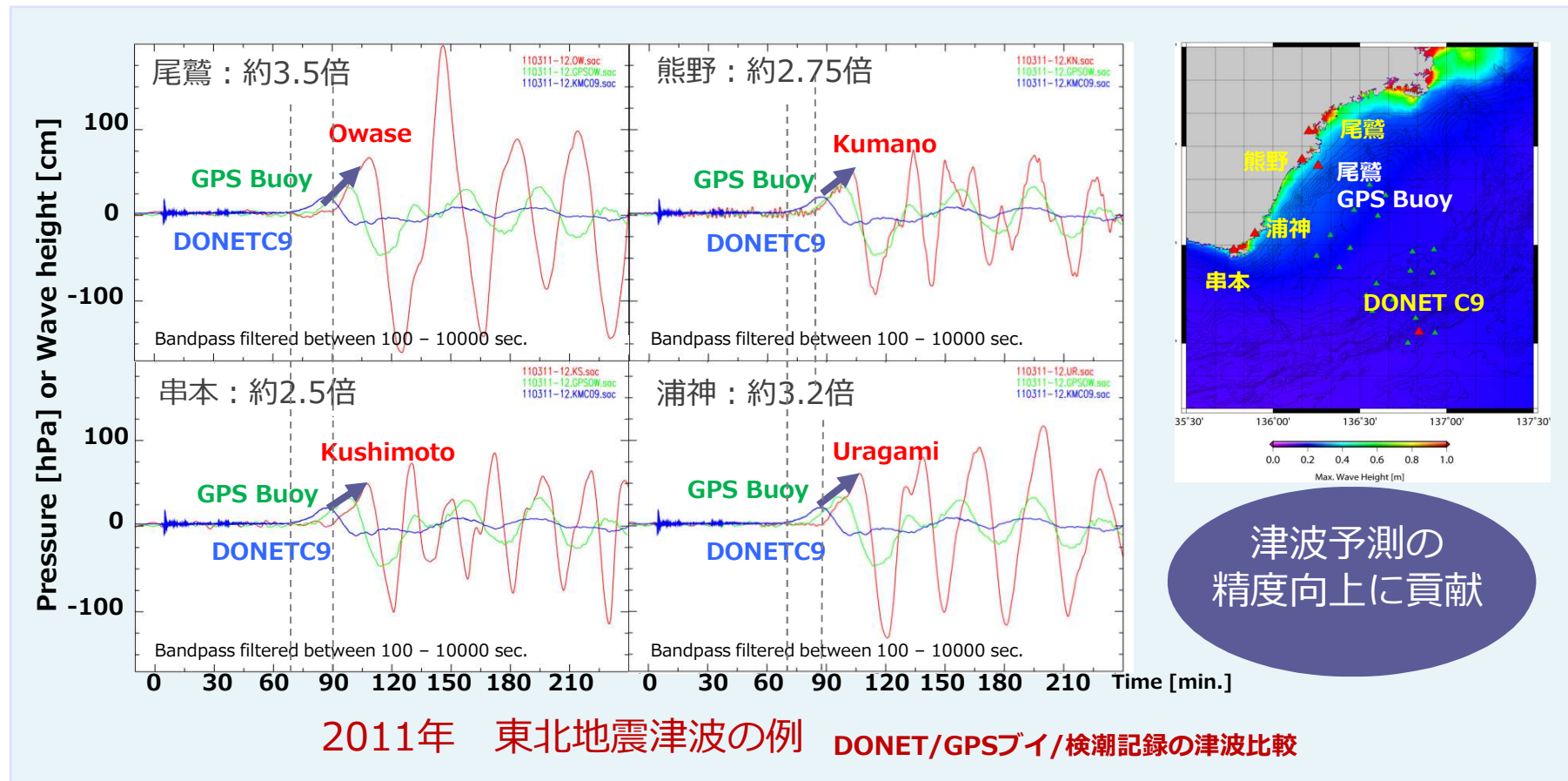
津波理論計算(釧路1、DONET9、室戸2)

海底ネットワークシステムによる津波観測波形



地震津波検知評価：2011年東北地震太平洋沖地震の津波検知

- ◆ 沿岸の検潮所より早く沖合津波波形を検知
- ◆ 沿岸での津波波高 = 増幅率 × DONETデータ



津波増幅率は、津波の入射方向や震源距離、地域によって異なる

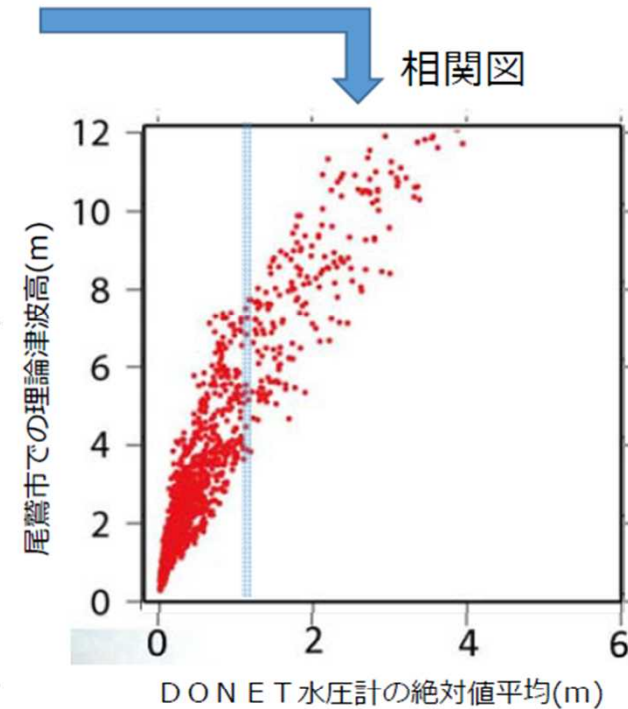
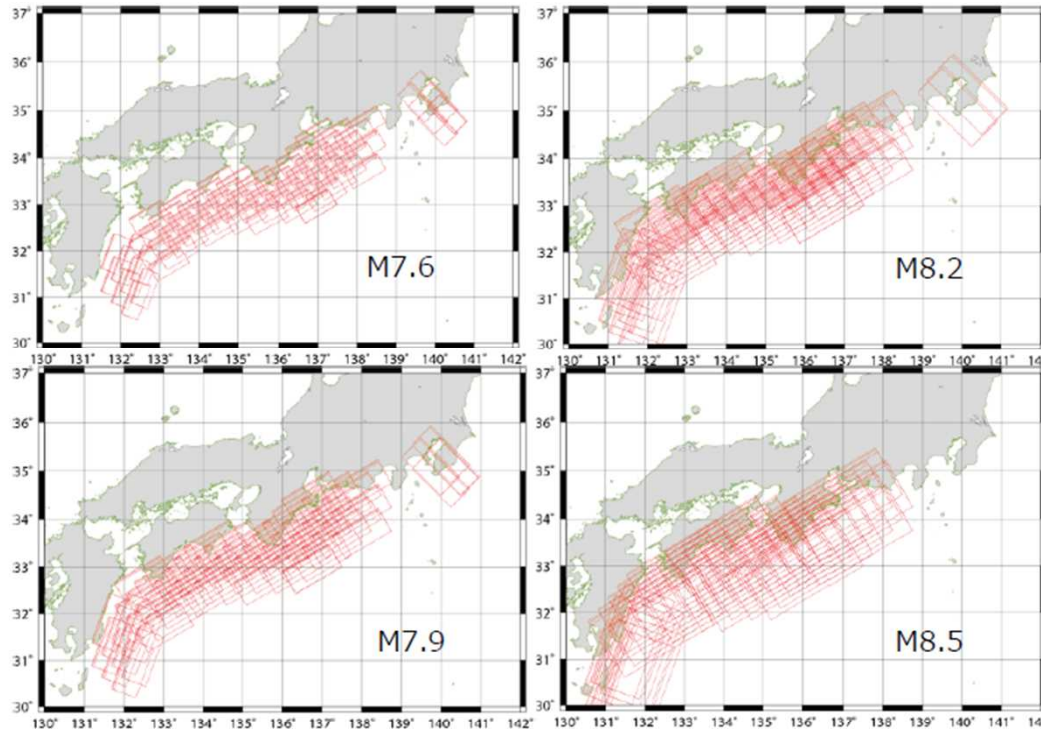


発表内容

- 開発コンセプト・観測技術
- 地震津波検知能力
- 津波即時予測システム
- 連続リアルタイム海底地殻変動観測に向けて



津波即時予測システム

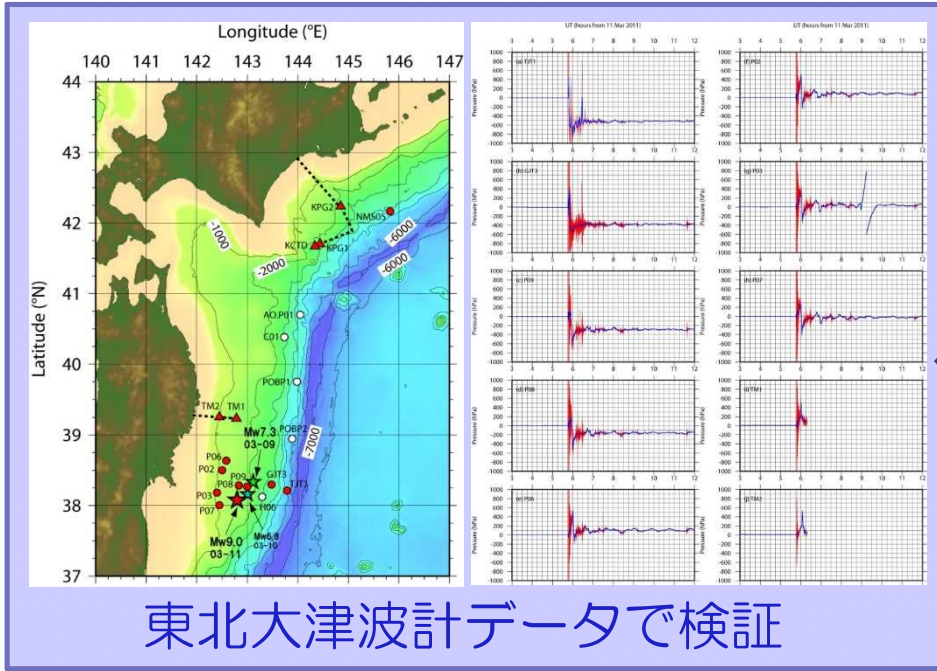


- ①計算モデル：平面2次元非線形長波モデルによる遡上計算
- ②対象断層：1506断層 (M7.9-M8.5) + 既往断層(宝永、安政、昭和、2003中防、2012内閣府)
- ③地形・粗度データ：最小10m格子
- ④対象地点：静岡県、三重県、和歌山県の海岸線沿いの地域 + 潮位計 + 津波ブイ等
- ⑤構造物：線境界条件として設定
- ⑥計算時間：第1波到達時から12時間後まで (最大振幅とDONETを比較)

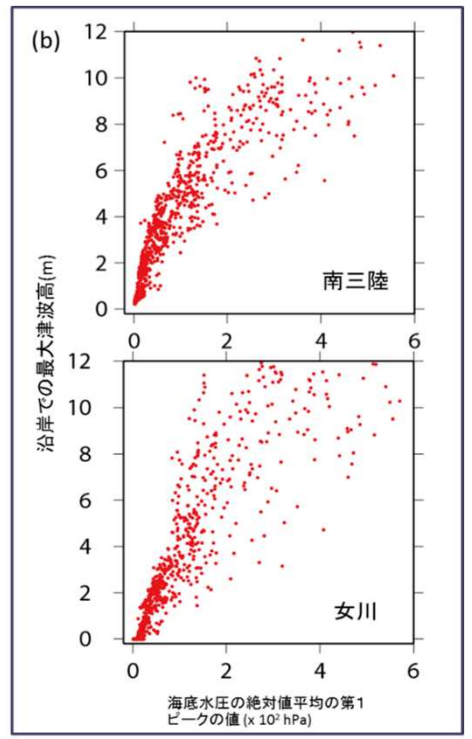
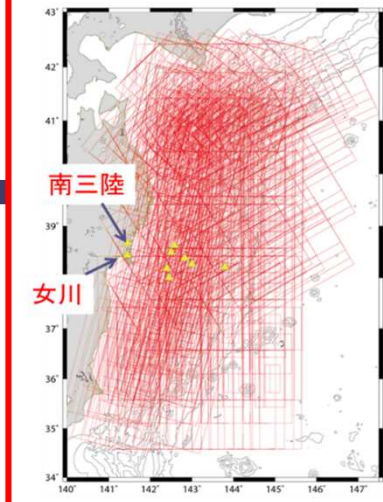
1500ケース以上の想定断層による津波波形に関してDONETでの観測水圧と沿岸の津波波高を計算し増幅率をデータベース化



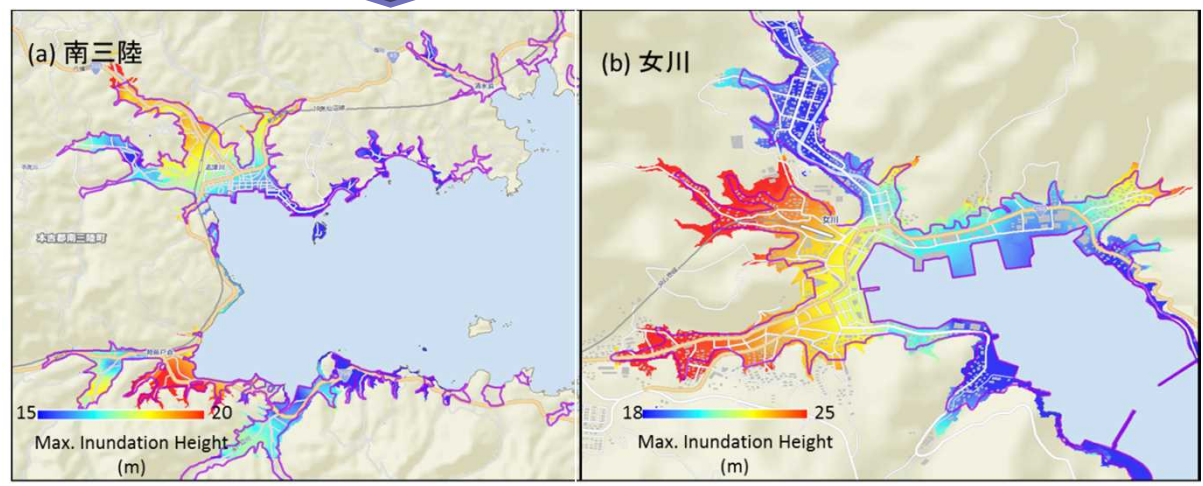
津波即時予測システム：東北地方太平洋沖地震津波で検証



多数の断層モデルで津波計算、最大振幅相関 (a)



結果

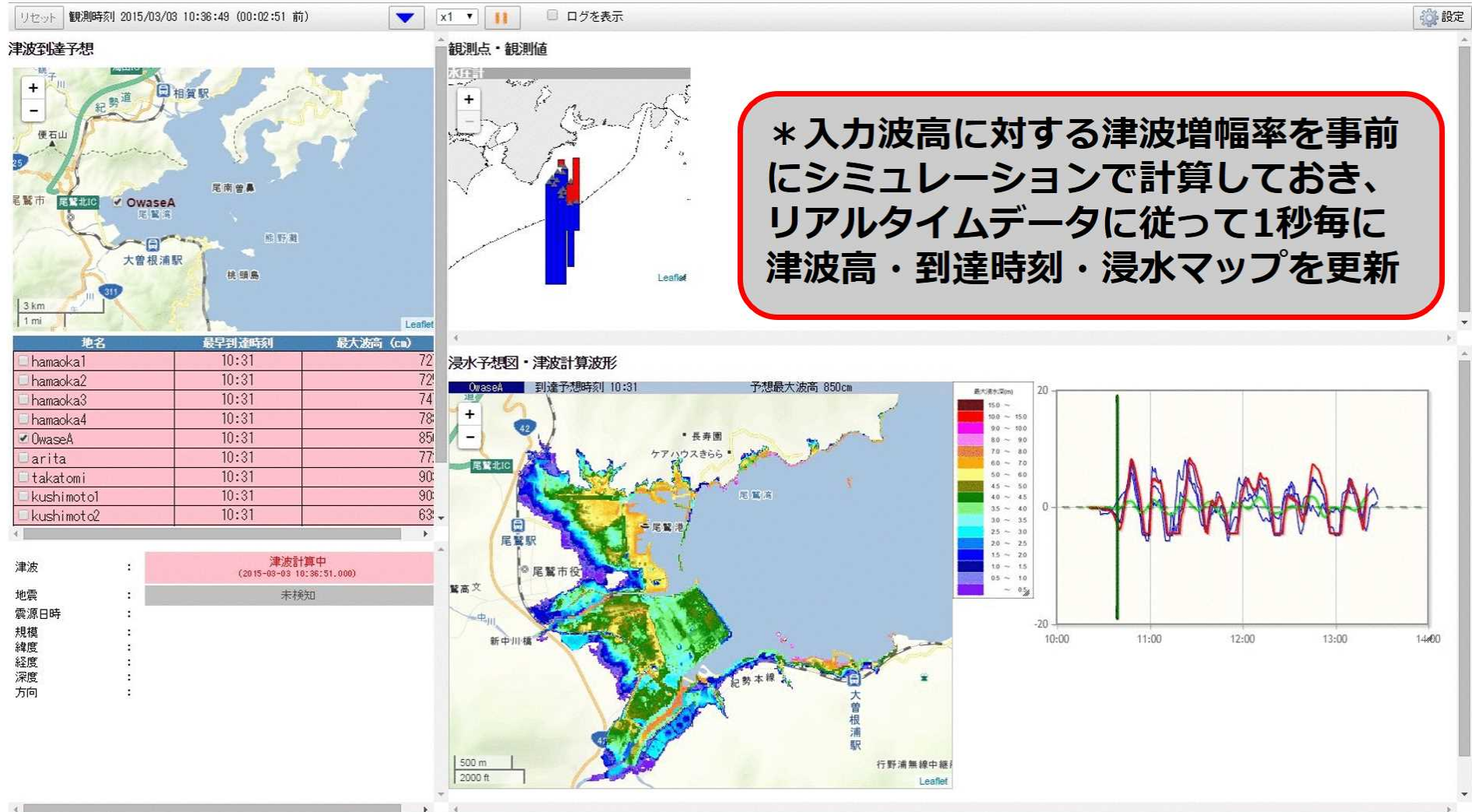


相関図の平均から、実際の浸水限界と予測とを比較、おおむね整合的



DONETデータを用いた即時津波予測

1944東南海地震（Baba et al., 2005）の震源モデルを入れたケース

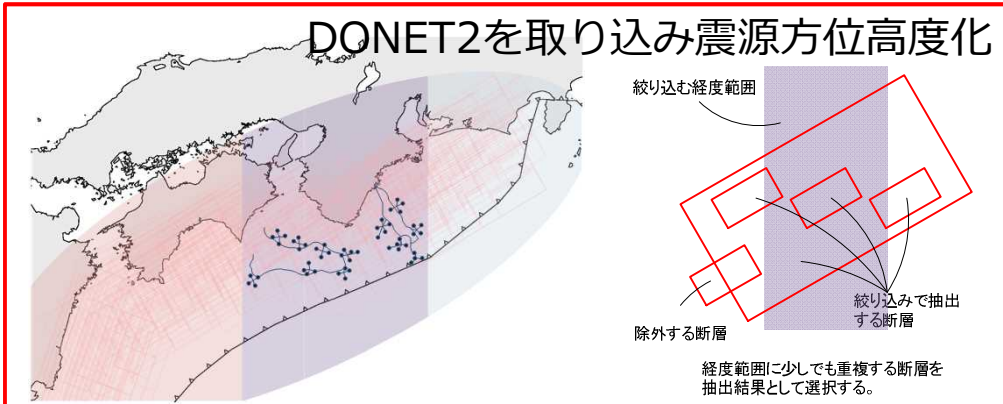


* 入力波高に対する津波増幅率を事前にシミュレーションで計算しておき、リアルタイムデータに従って1秒毎に津波高・到達時刻・浸水マップを更新

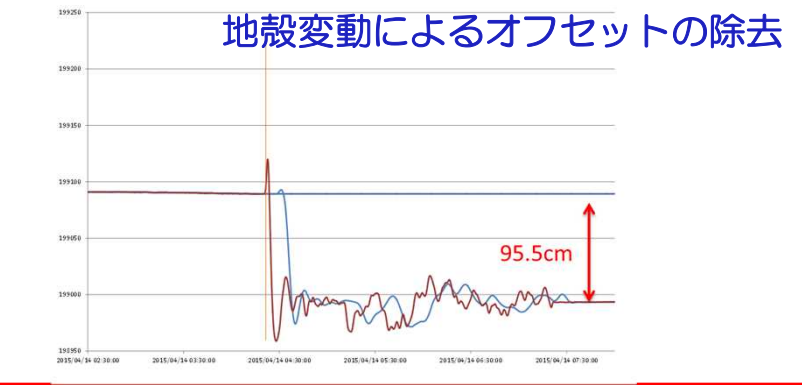
即時津波予測の高度化に 向けての取り組み

Takahashi et al., OES, 2015

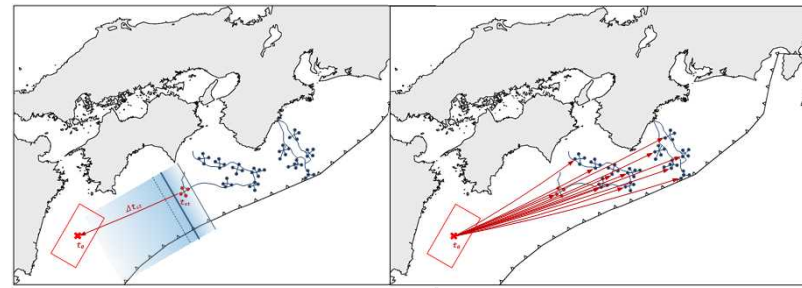
DONET2を取り込み震源方位高度化



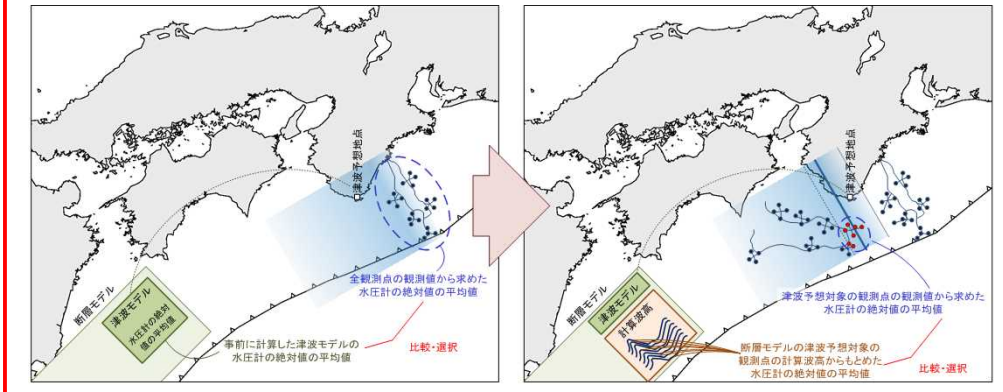
連動発生に備えた沖合の津波収束判定 地殻変動によるオフセットの除去



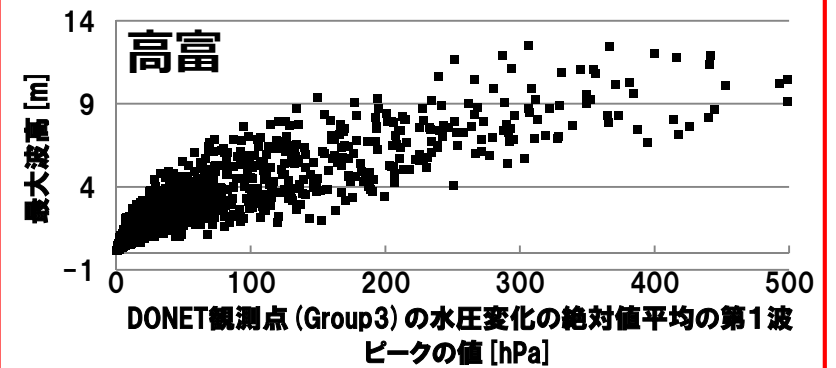
津波トリガーされた観測点分布から 津波方位判定



津波トリガーされた観測点の中で観測点を動的選択



観測点動的選択などによる相関分布の改良



即時津波予測システムの社会実装：現状と課題

■ 現状の実装状況

□ 和歌山県

- 気象業務許可を一部取得、市町に予測情報を提供

□ 三重県

- 現在、県庁内で利用

□ 中部電力

- ドップラーレーダーシステムと統合

□ 尾鷲市

- 防災センター内で利用

■ 課題

□ 遠地津波への対応

□ 各ユーザーの体制に合わせたシステム調整



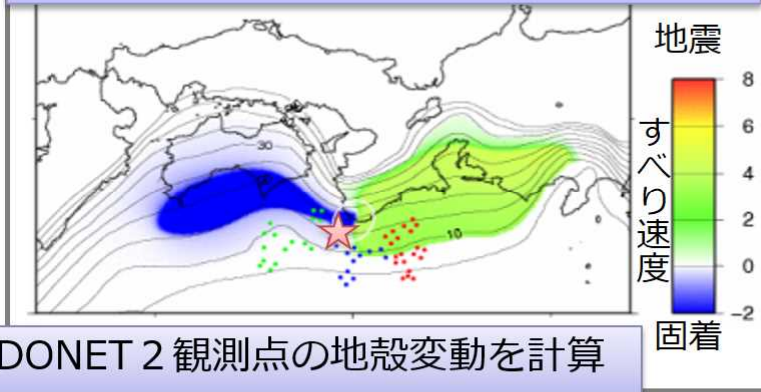
発表内容

- 開発コンセプト・観測技術
- 地震津波検知能力
- 津波即時予測システム
- 連続リアルタイム海底地殻変動観測に向けて



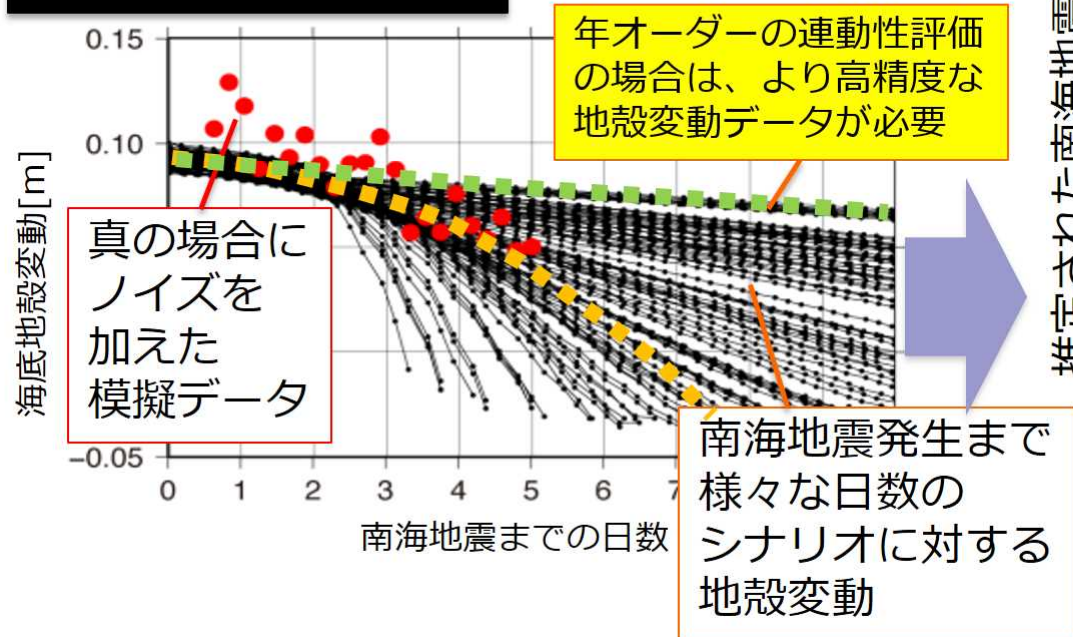
地震発生予測に向けて、リアルタイム連続地殻変動観測の必要性

地震発生サイクルシミュレーションでの余効すべりの伝播



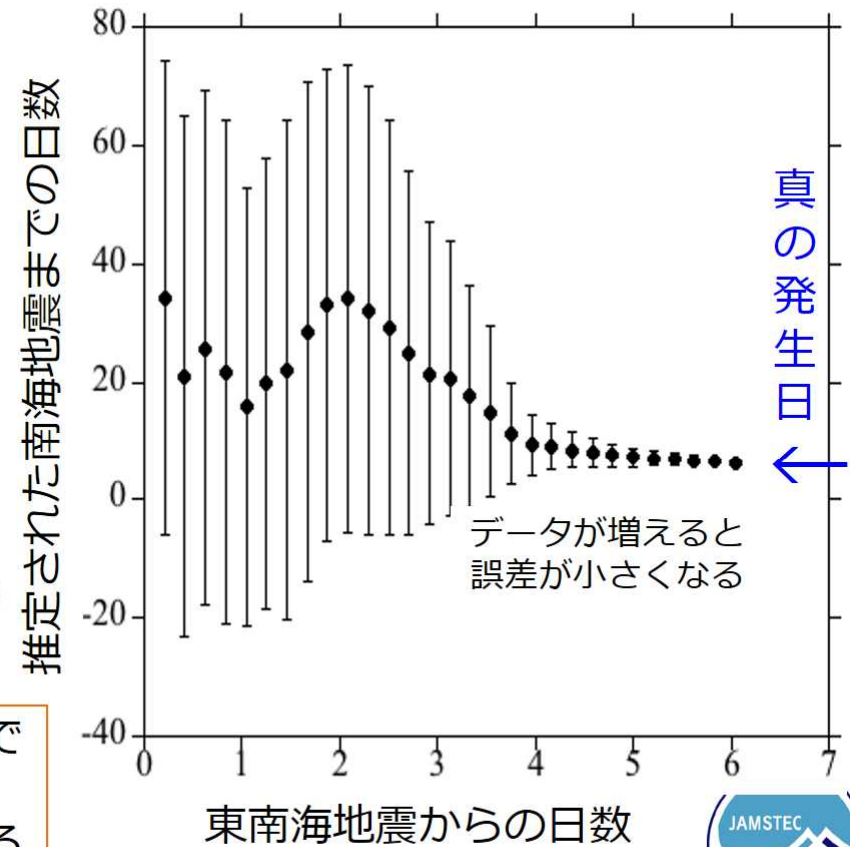
DONET 2 観測点の地殻変動を計算

1 観測点 (☆) での計算例



余効すべりによる連動予測実験

データとの差に応じた重みをつけて南海地震発生までの日数の平均と分散を推定



将来の海底地震・津波・地殻変動観測網へ向けた技術開発



連携研究協定



地震津波観測監視システム：DONET 1/DONET 2
高度化に関する研究開発

海底地震津波・地殻変動観測網への技術開発

- ①既設の観測点の機能向上：
 - 水圧計による長期地殻上下変動計測
 - 海底水圧計現場校正方式の研究開発
- ②海底での長期連続地殻変動計測の実現を
目指した研究開発
 - 海底傾斜観測方式
 - 光干渉計による地殻変動観測
- ③観測環境をローコストに実現する工法開発
 - 埋設孔掘削・観測装置同時設置システム
 - 全自動ケーブル展張技術

④長期孔内計測技術の開発

- IODP南海掘削計画における
孔内センサの開発と設置
- DONET への接続によるリアルタイム化
- DONETセンサー埋設設置方式への
寄与

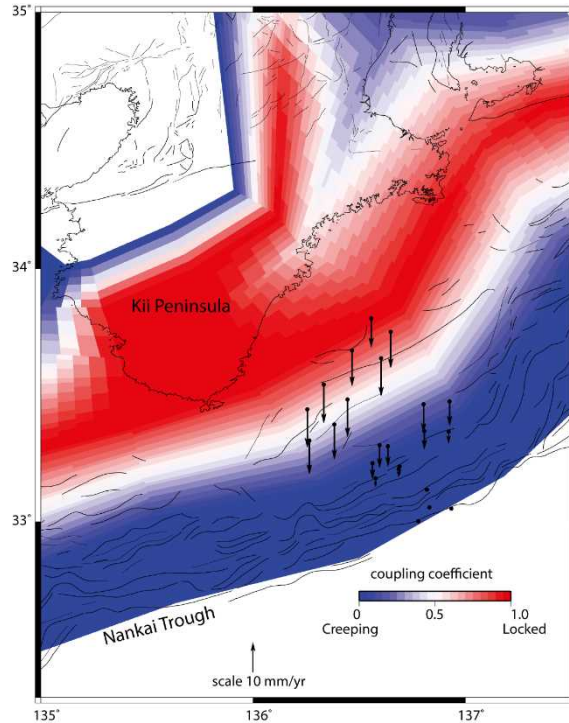
連続・リアルタイム海底地殻変動観測に向けたその他の取り組み

- ⑤ 海底測距の高精度化（東北大と連携）
- ⑥ 地殻変動ブイの開発と広域展開（SIP防災と連携）

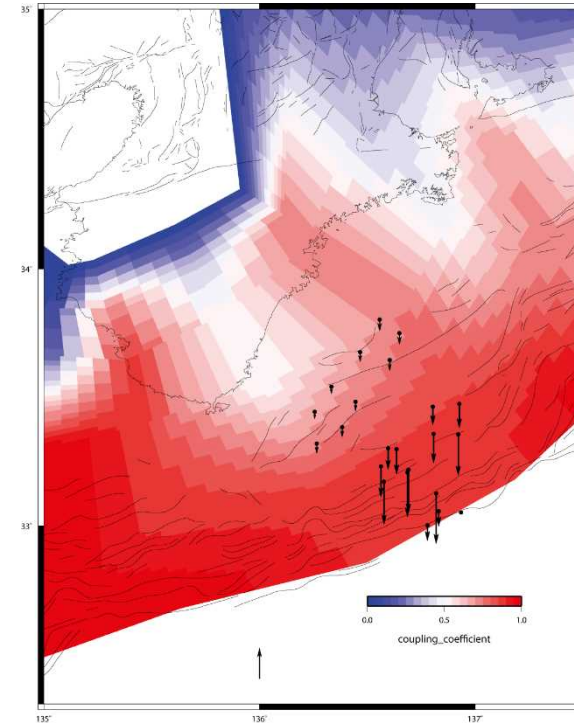


①既設の観測点の機能向上：水圧計による長期地殻上下変動計測

プレート間固着モデルと海底上下変動



沖合クリーピング:
ノードA, ノードBで1cm/年 の沈降



海溝軸まで固着:
ノードB, ノードDの南側で1cm/年 の沈降

モデル計算: L. Wallace による

現状では、水圧計の測器ドリフト(10cm/年程度)があるため困難であるが、水圧計の定期的校正を行い、1cmの精度で水圧変動を把握することで、南海トラフ沖合の地域の固着状態とその時間変化を評価できる可能性が高い。

①既設の観測点の機能向上：水圧計による長期地殻上下変動計測

海底水圧計現場校正方式の研究開発

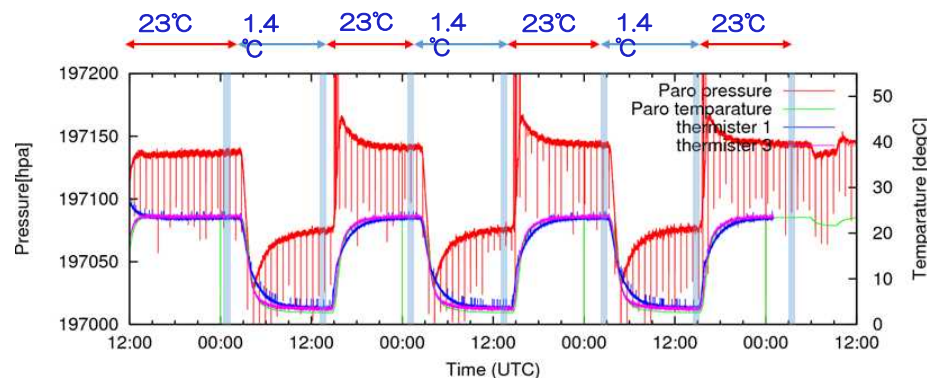
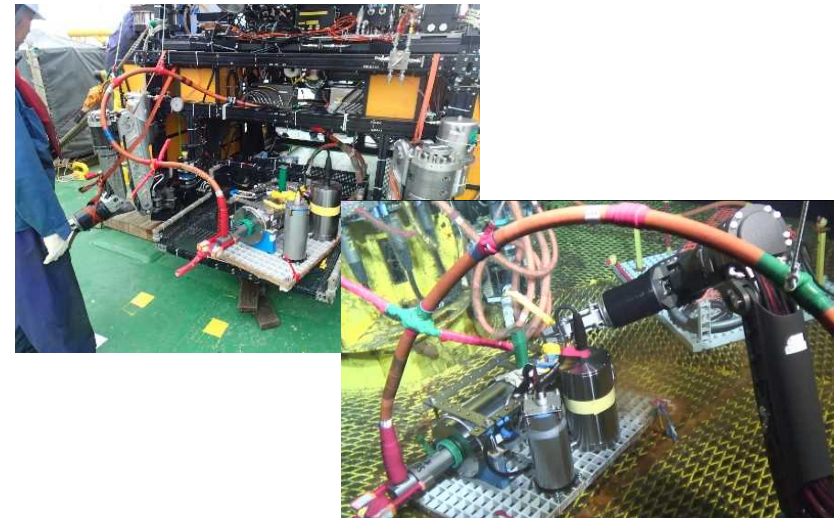
陸上の基準で校正した、移動式基準水圧計を海底に運搬、海底の水圧計と比較することによって、**既設の海底水圧計等の現場校正を1hPa (=1cm)の精度で実現**することを目指し研究開発を進めている。

移動型基準水圧計の精度維持に温度・圧力・姿勢の変化が及ぼす影響について実験室や実海域試験に基づき評価を行い、移動中も高精度に基準が維持できる移動型基準水圧計の試作検討を実施している。

また、繰り返し現場校正時の水圧計の水準差を計測するための水準測量装置の試作検討も実施している。



JAMSTECの運用する圧力基準（重錘天秤）



水圧計の温度変化の影響検証試験結果（町田他, 2015）

孔内観測点プラットフォームを使った
繰り返し水圧計現場校正技術の検証



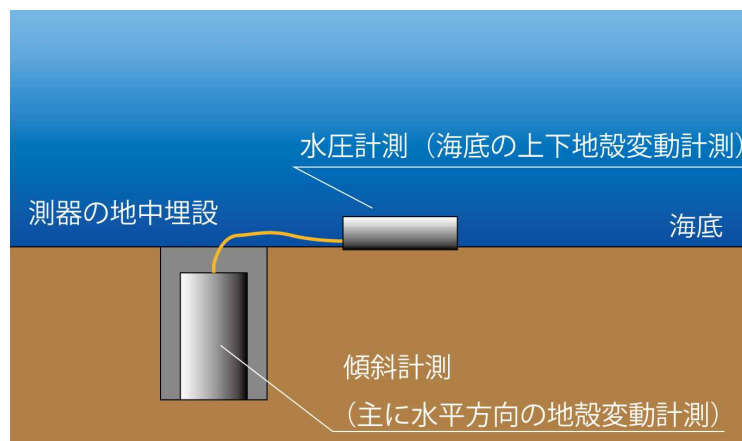
- ②海底での長期連続地殻変動計測の実現を目指した研究開発
- ③今以上に安定な観測環境をローコストに実現する工法開発

現在のDONETでの観測項目（地震・津波）に加え、連続的に地殻変動を観測できるシステムを目指し、海底で傾斜・水圧変動を高精度に観測できる観測方式の研究開発を実施中。 →DONETへの接続によりリアルタイム化

開発中の埋設孔内センサ設置装置（試作品）

DONETでの実績に基づき、底層流に影響を受けない安定な海底傾斜観測のために、より深い深度へセンサを埋設し、地中へのカップリングのより一層の改善を図る。（強震観測にも有効と考えられる）埋設孔の掘削と同時にセンサを孔内設置することにより深部(数m)へのセンサ設置を実現しつつ設置コスト削減を図る。

他に神岡鉱山内の検証環境を利用した光干渉計利用の地殻変動観測方式（傾斜・歪）の検討を実施中。



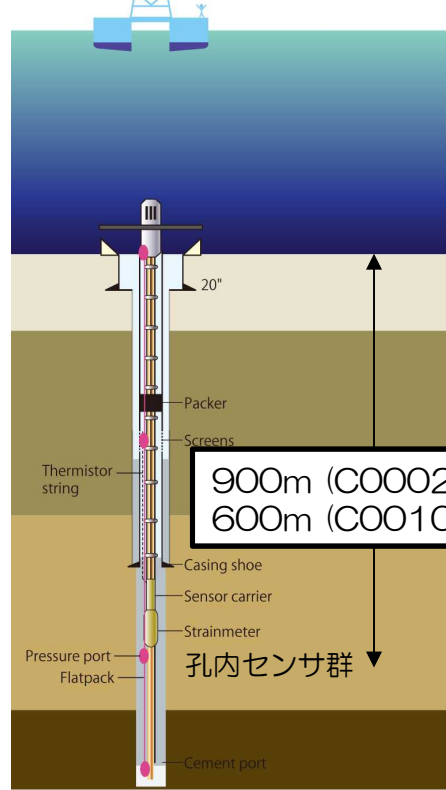
傾斜・水圧による海底連続地殻変動計測の概念



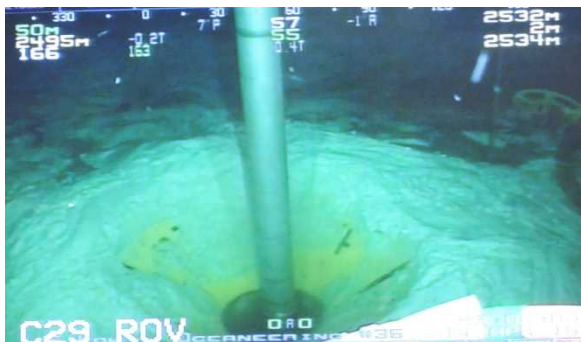
神岡鉱山壕内長期検証環境



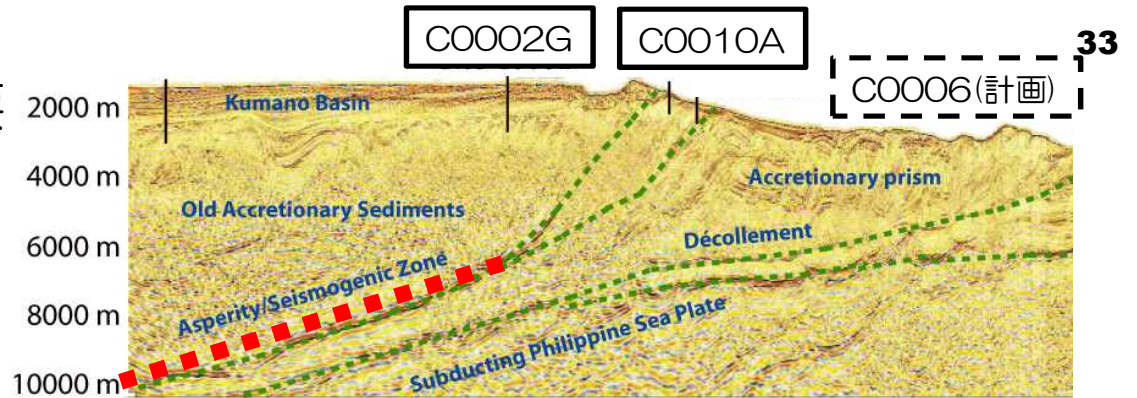
④長期孔内計測技術開発：概要



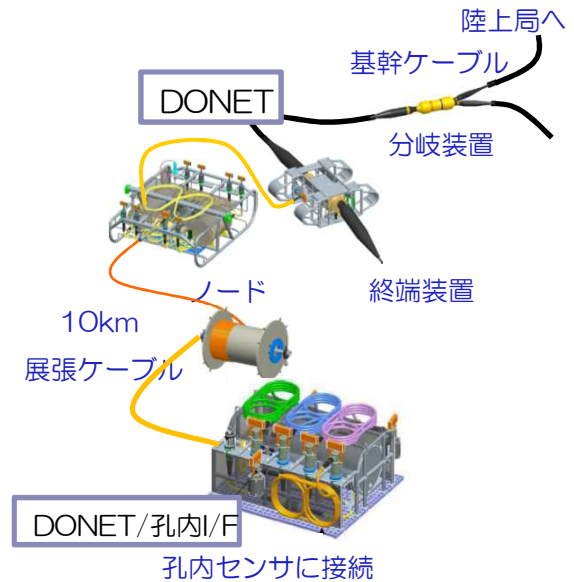
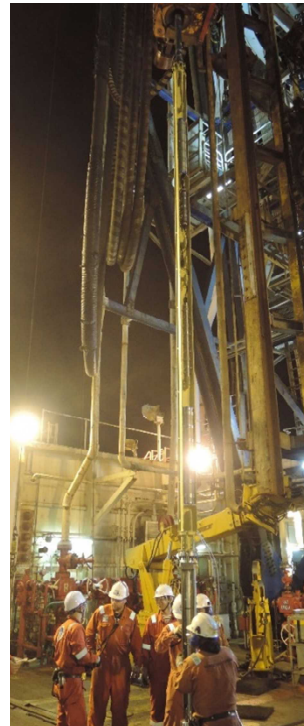
孔内観測システムの構成



孔内に降下中の孔内歪計、ちきゅう船上での組み立て（右）



海底下400-1km の孔内で間隙水圧・歪・傾斜・地震動・温度を計測できる長期孔内観測システムを開発。これまで、IODP 南海掘削計画において**固着域(C0002G)・分岐断層帯(C0010A)の2点へ設置成功**。将来の超深部掘削(5km+)においては、地震断層ごく近傍での歪・地震・間隙水圧等の測定を計画している。

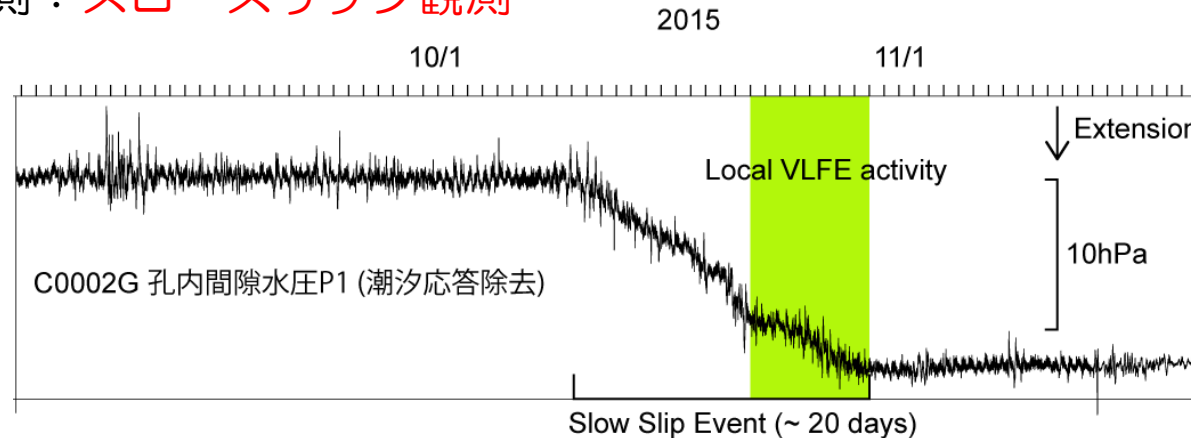


孔内センサーをDONETへ接続することで、高度な海底地殻活動のリアルタイム観測が実現できる。



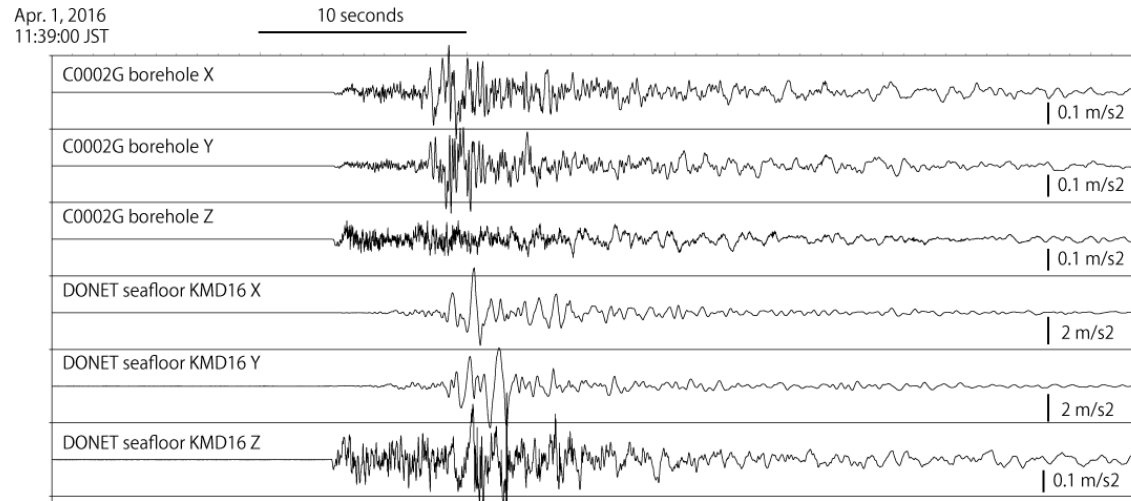
④孔内計測技術開発：観測例

1) 地殻変動の観測：スロースリップ観測



2015年10月熊野灘でのVLFE発生時に孔内間隙水圧で先行したスロースリップを観測 (Araki et al., JpGU, 2016).

2) 強震観測：堆積層での増幅の影響が軽微 震源過程の解析に有効と考えられる



海底(KMD16)と孔内(C0002G)の2016/4/1 M6.1 地震の観測波形比較
海底では水平動の振幅が非常に大きい。

