

海域に関する調査観測の 現状及び課題

海洋研究開発機構
地震津波・防災研究プロジェクト
金田 義行

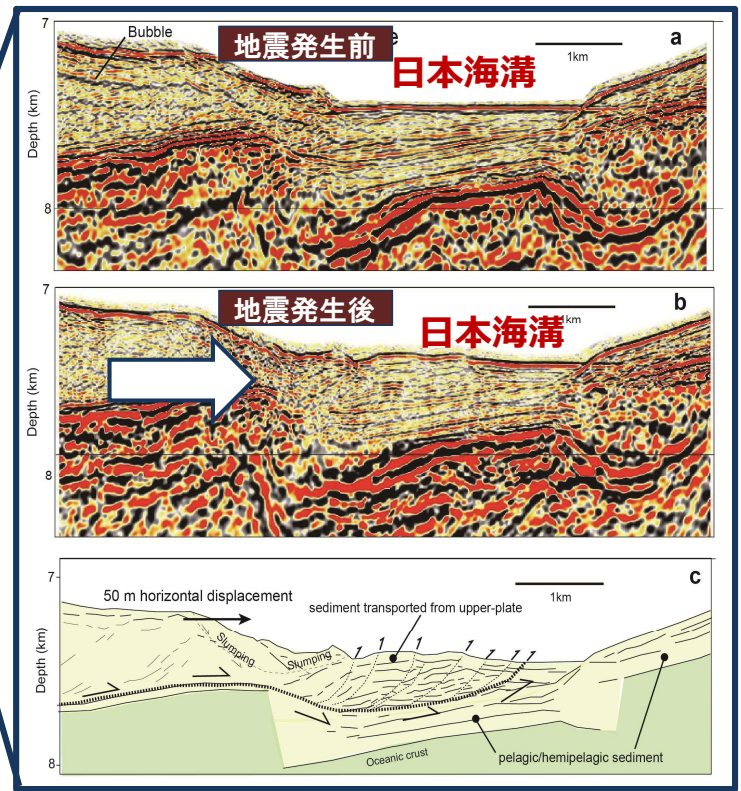
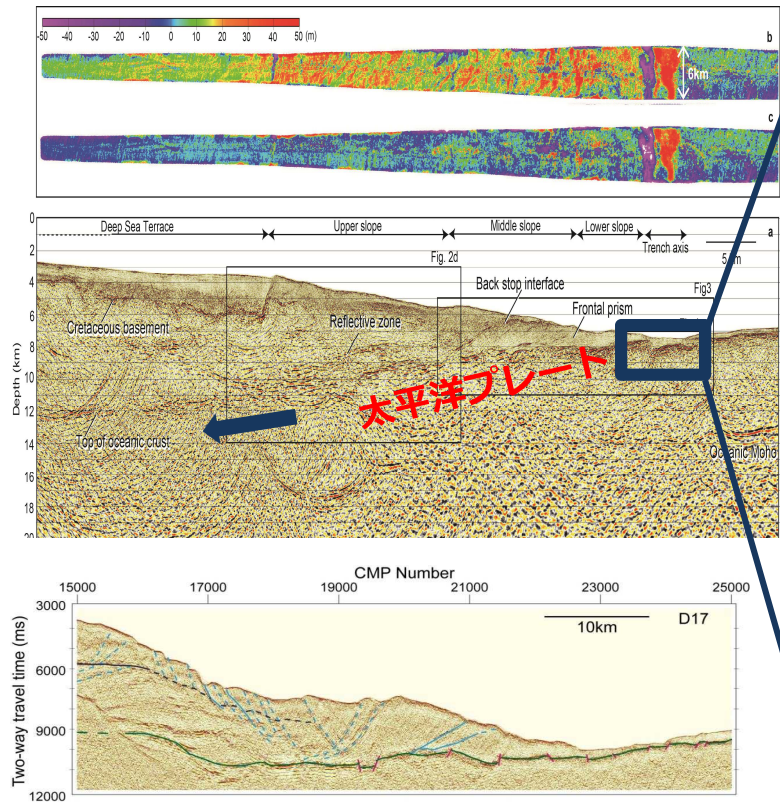
平成25年5月31日（金）
地震調査研究推進本部政策委員会
第59回調査観測計画部会



目次

- **東北地方太平洋沖地震**
- **日本海東縁ひずみ集中帯**
- **南海トラフ地震発生帯研究**
- **海域リアルモニタリング**
 - 地震・津波観測監視システム（DONET）—
- **今後の調査観測の方向性**

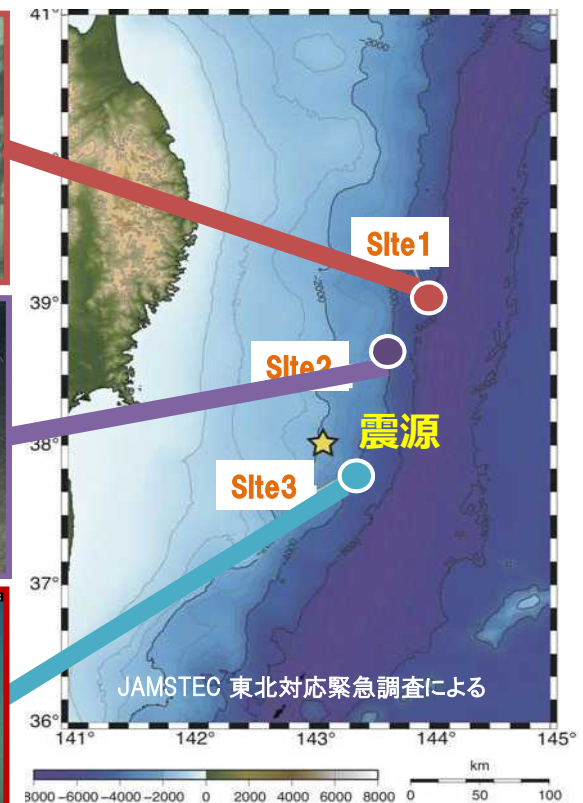
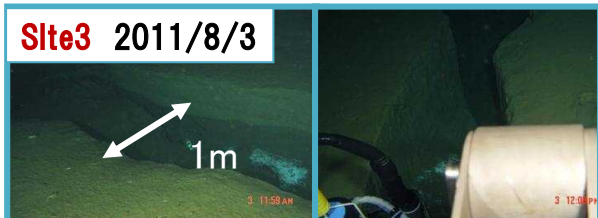
海底で起こった現象[地殻変動]



JAMSTEC 東北対応緊急調査による

3

震源域での海底で亀裂発見 - しんかい6500による潜航調査 -

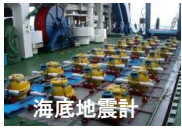


JAMSTEC 東北対応緊急調査による

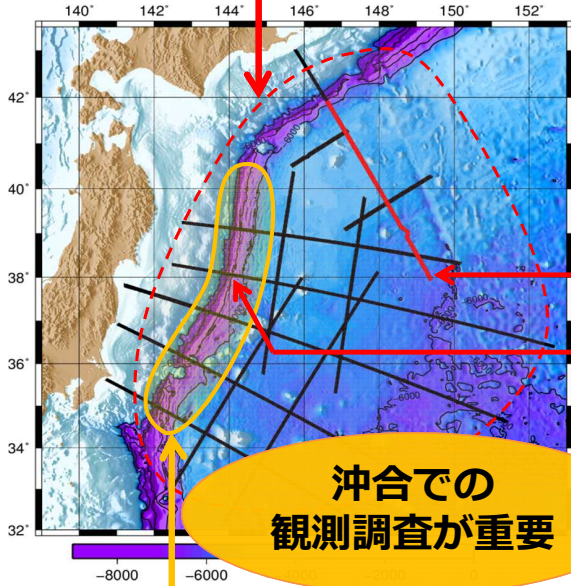
海底の大きな亀裂は2006年に同じ地点を観察した時には確認できなかったことから、3月11日の地震が、その後の余震による影響でできたと考えられる。

4

アウターライズ域での大規模構造調査 -高分解能反射法探査システムによる海溝軸詳細構造調査-



海底地震計を用いた
大規模構造探査



沖合での
観測調査が重要



可搬式MCSを用いた
稠密高分解能構造探査

アウターライズ構造調査

沈み込み帯

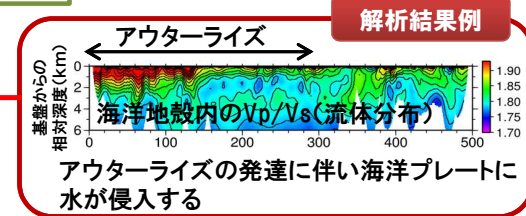
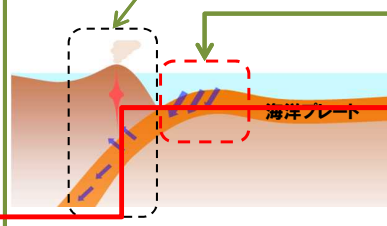
海洋プレートが水を放出。水の量は、地震活動・火山活動などに決定的な影響を与える。

アウターライズ

海洋プレートが沈み込む直前に大きく折れ曲がる場所。
・ 大津波を伴う地震が発生
・ 亀裂(断層)の発達・水の浸入

目的

アウターライズ地震発生場の解明。沈み込み帯に持ち込まれる水量と水分布の解明。



海溝軸詳細構造調査

従来の海溝型 巨大地震発生モデル

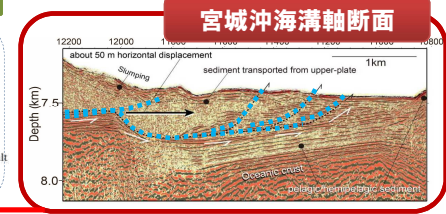
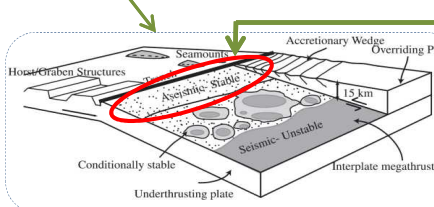
海溝軸近傍は定常滑り領域。地震時滑りは起こさないと考えられてきた。

東北地方太平洋沖地震

海溝軸近傍まで滑りが達したことを示す様々な観測・解析結果。その原因となったプレート境界断層の最浅部を宮城沖で確認。

目的

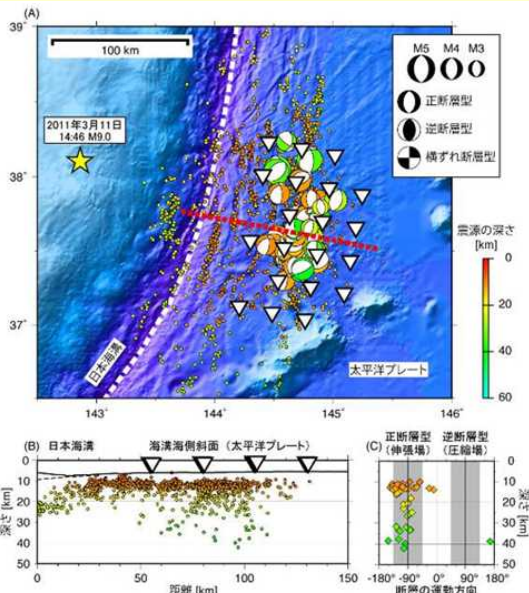
日本海溝全域での海溝軸近傍における断層・変形構造の把握。2011年のようなSlip to Trench型地震の発生場の解明。



海溝軸からアウターライズにおける地震観測

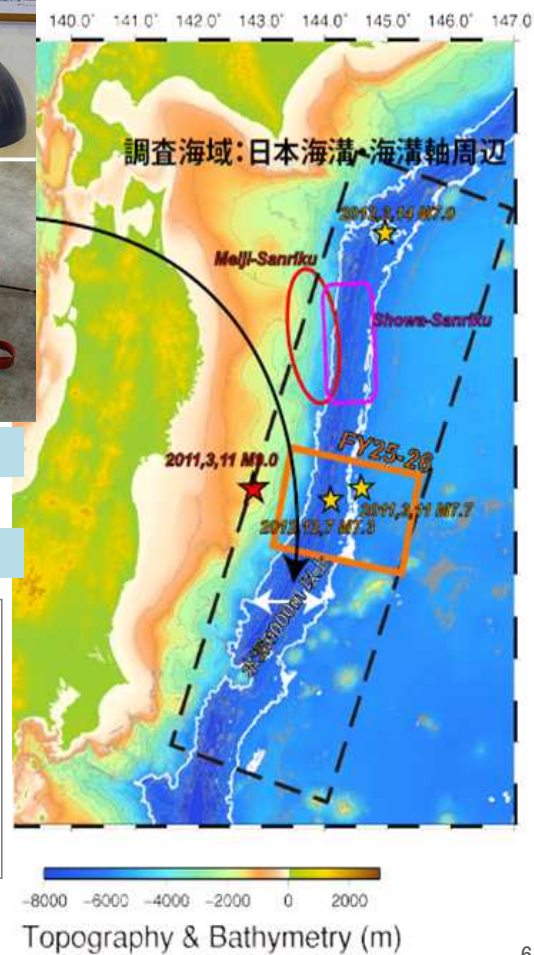
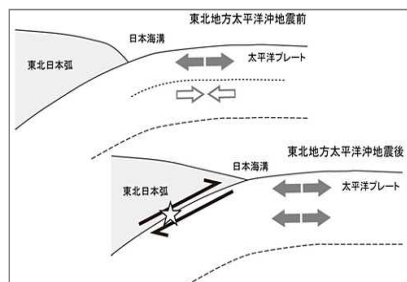
自然地震観測目的

- 応力場の時空間変化・巨大地震による応力変化の回復過程の解明
- 陸上観測網では捉えられない微小地震の検出による、地震活動の空間変化の把握



超深海型OBSの使用

海溝軸での観測



アウターライズにおける詳細な震源分布・メカニズム解推定の例

(Obana et al., 2012GRL)

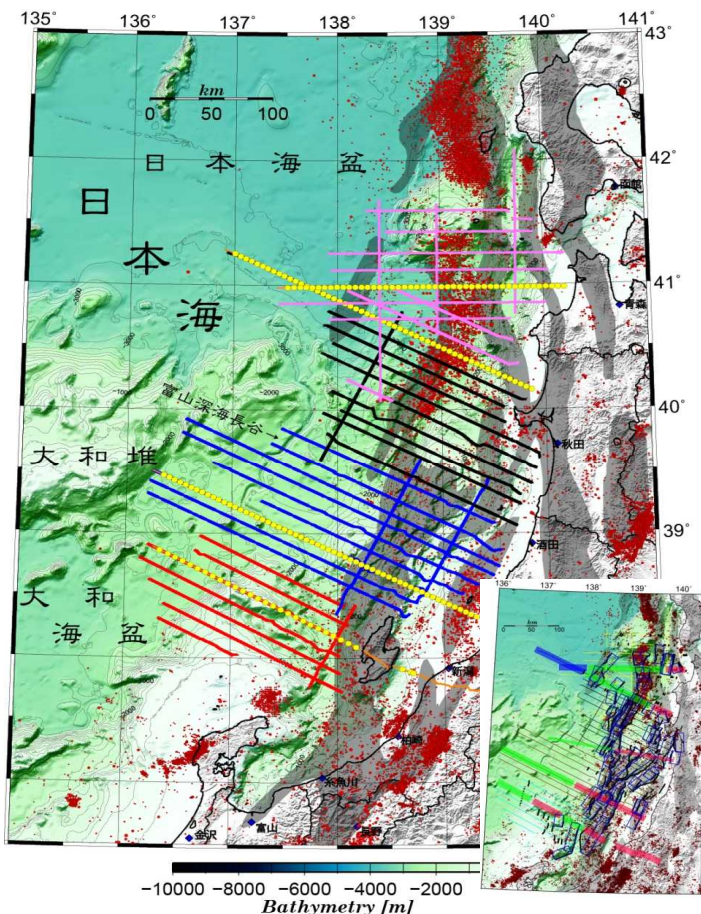
目次

- 東北地方太平洋沖地震
- **日本海東縁ひずみ集中帯**
- 南海トラフ地震発生帯研究
- 海域リアルモニタリング

—地震・津波観測監視システム (DONET) —

- 今後の調査観測の方向性

JAMSTECによる調査測線図 (2009~2012年度) 日本海東縁 ひずみ集中帯



2009年度 佐渡沖

- MCS探査 (8測線, 測線長1299 km)
- OBS探査 (1測線 [30台], 測線長250 km, 東大震研との海陸統合測線)

2010年度 新潟沖~庄内沖

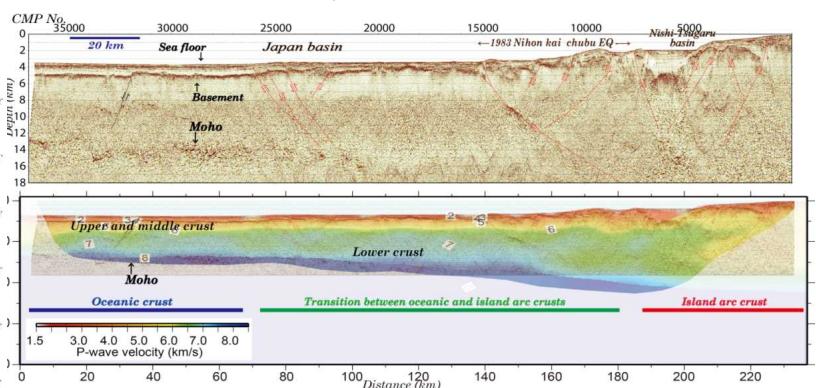
- MCS探査 (11測線, 測線長2812 km)
- OBS探査 (1測線 [58台], 測線長296 km)

2011年度 庄内沖~秋田沖

- MCS探査 (11測線, 測線長1924 km)
- OBS探査 (1測線 [55台], 測線長281 km)

2012年度 秋田沖~西津軽沖

- MCS探査 (13測線, 測線長1965 km)
- OBS探査 (1測線 [46台], 測線長235 km)



ひずみ集中帯の分布：岡村(2010)
震源分布：気象庁 (1923~2012)

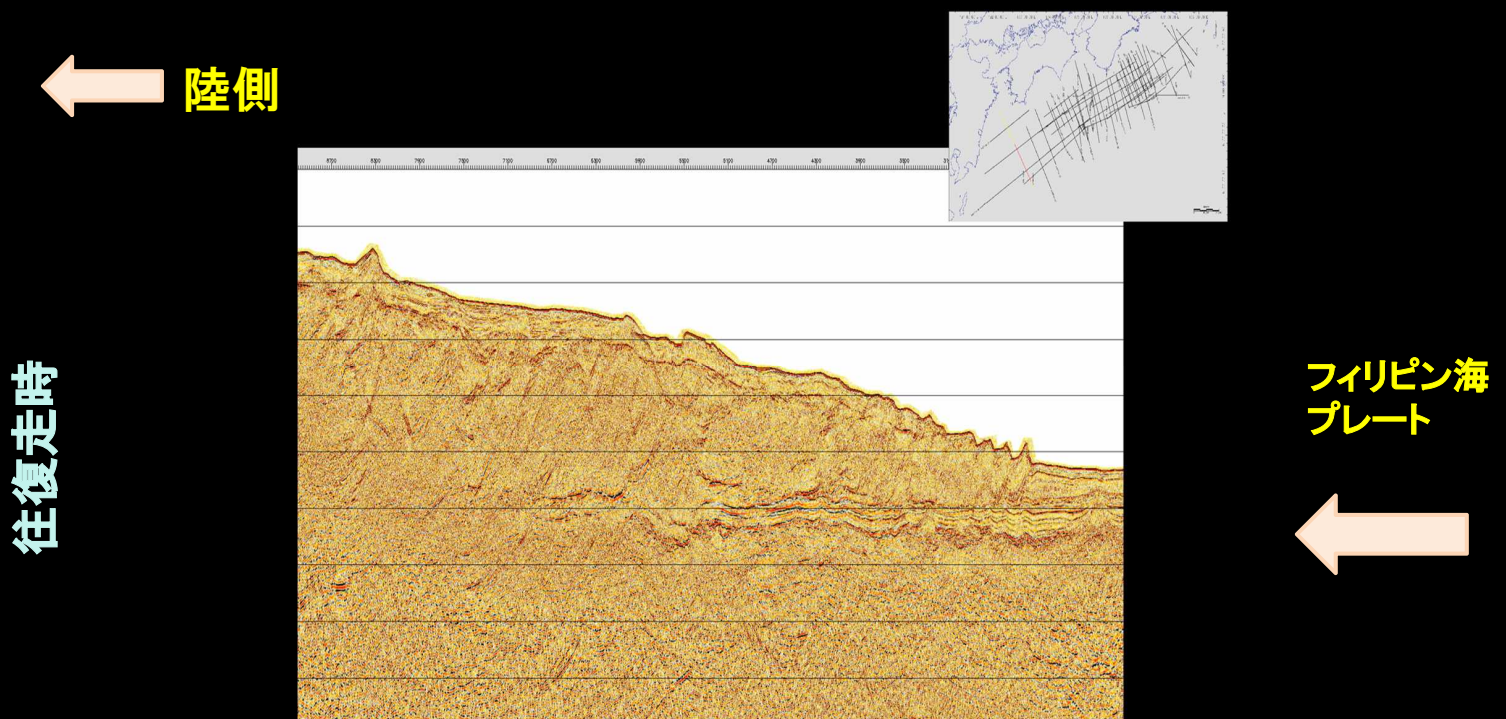
目次

- 東北地方太平洋沖地震
- 日本海東縁ひずみ集中帯
- 南海トラフ地震発生帯研究
- 海域リアルモニタリング
 - 地震・津波観測監視システム (DONET) —
- 今後の調査観測の方向性

9

南海トラフ沿いの地下構造

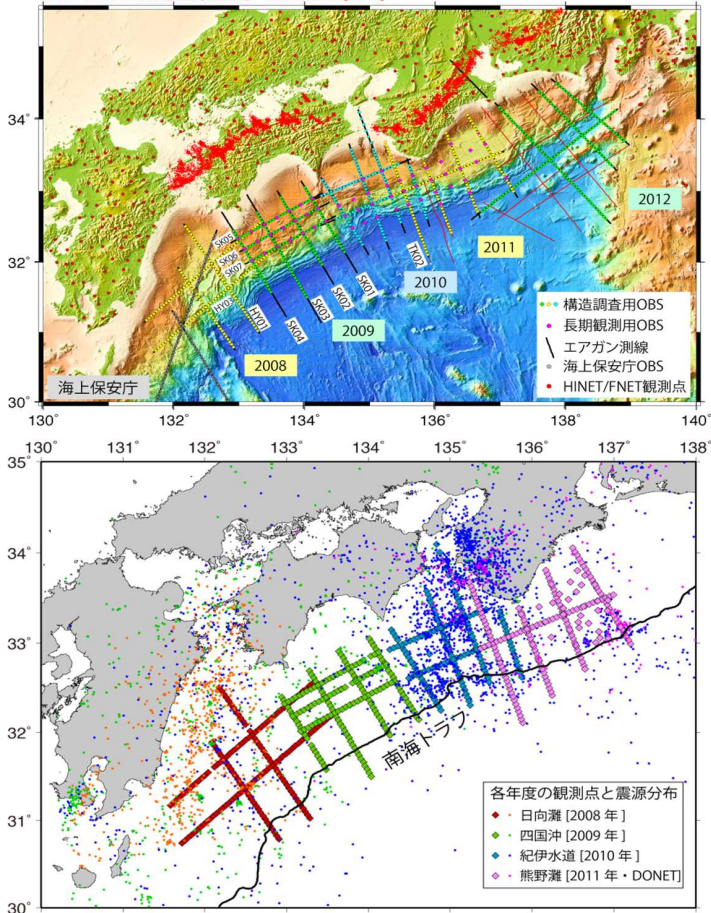
足摺沖から東海沖へスキャン 既往研究成果の活用



南海トラフ沿いの地殻構造探査

シミュレーション研究と連携した構造モデル構築

2001-2009年の深部低周波微動 Obara et al. [2010]



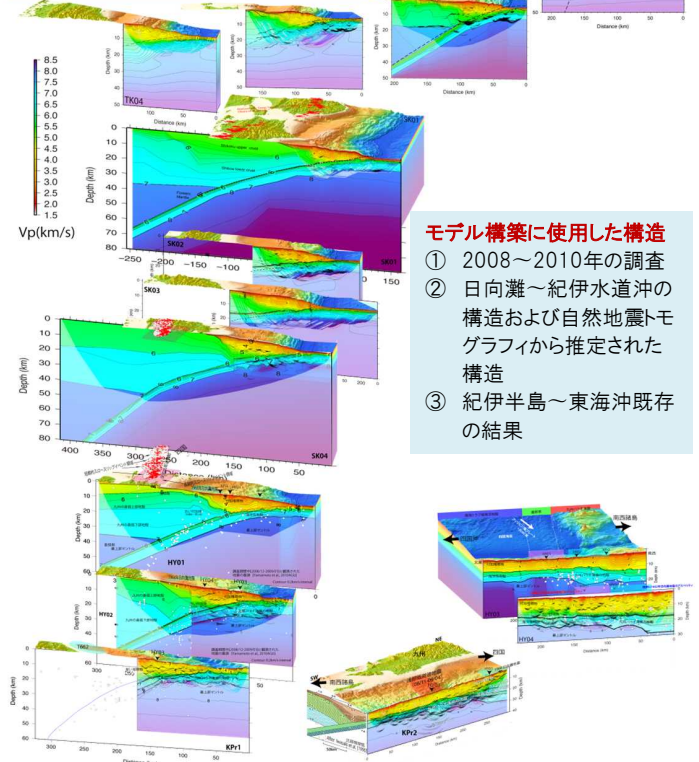
日向灘～紀伊水道沖までの沈み込むプレート周辺の深部構造

これまでの構造解析の成果

速度構造をカラースケールで表示
等速度線は0.2km/s ごとに表示

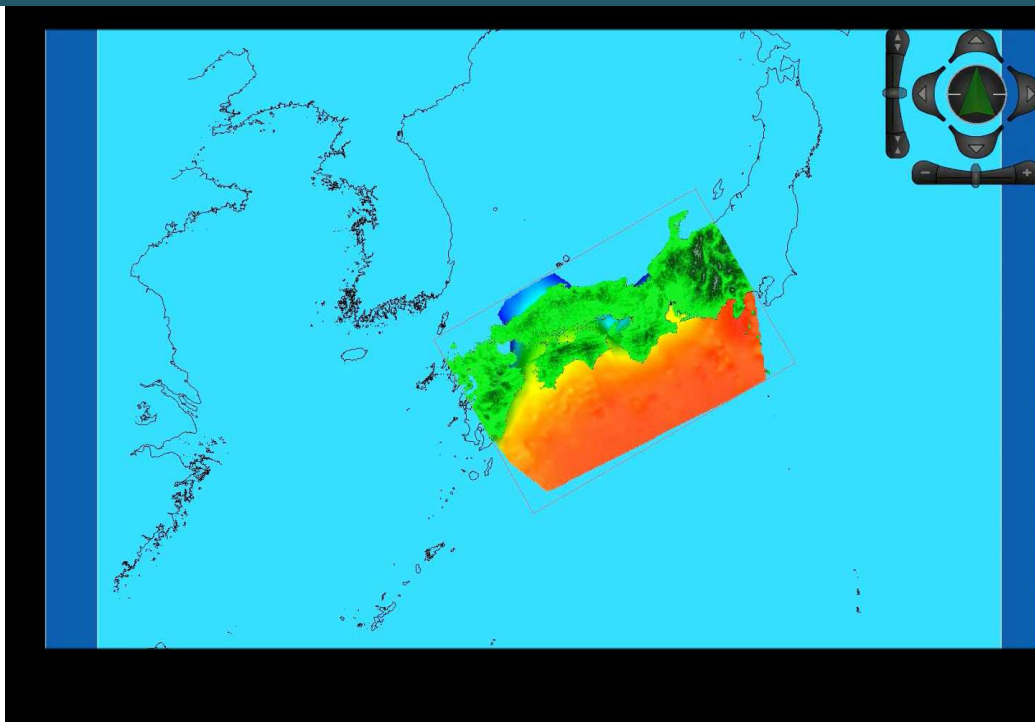
点線：計算科学（シミュレーション）で使用するプレート境界モデル

黒い影のようなイメージ：反射境界面



シミュレーション研究と連携した構造モデル構築

-南海トラフ 三次元地下構造-

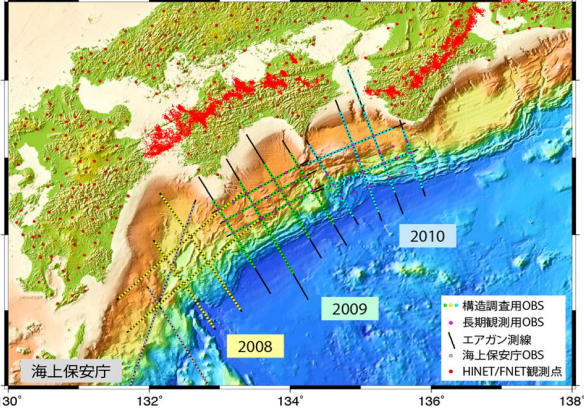


今後の課題:

- プレート形状含む構造モデルの信頼性の評価
- 琉球弧、房総沖への拡張
- 3次元的により均質な解像度の形状モデル・速度構造モデルの構築
- 変形や応力の計算のため、ポアソン比、ヤング率が必須→S波速度、密度への焼き直し

深部低周波微動・地震発生域の構造

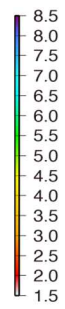
2001-2009年の深部低周波微動 Obara et al. [2010]



深部低周波微動・地震は巨大地震発生領域に隣接することから、巨大地震のトリガーとなる可能性があるだけでなく、巨大地震の連動性を解明する手がかりともなる[小原, 2009]。

シミュレーション研究から・・・
海溝型巨大地震が近づくと、深部低周波地震が活発化する、という試算もされている[Ariyoshi et al., 2012]。

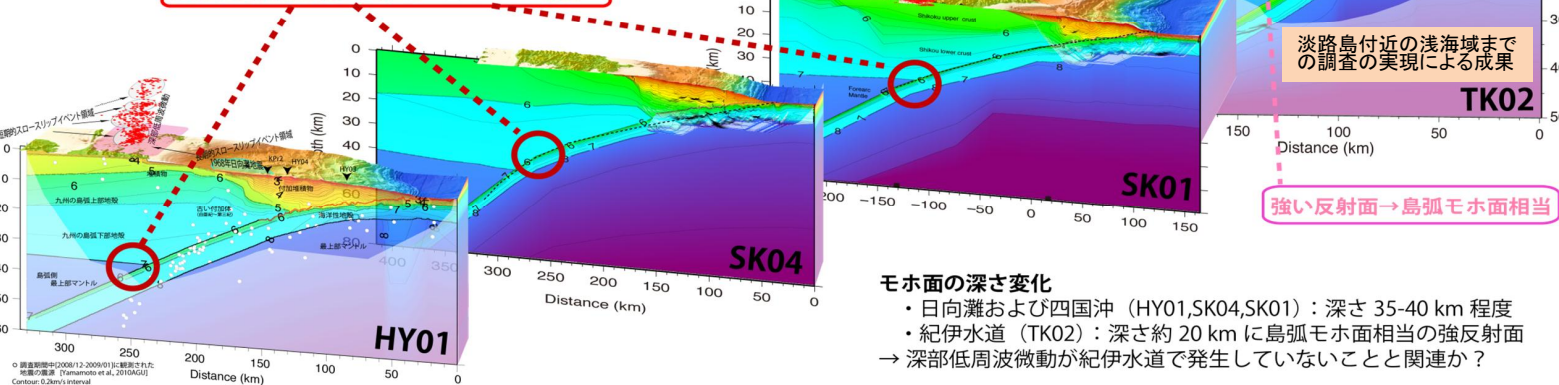
高精度海陸統合調査は、
今後実施すべき重要な課題



深部低周波微動現象発生域の構造

- 九州および四国中部 (HY01, SK01) → 島弧モホ面と沈み込むプレートの接合部
- 四国西部 (SK04) → 島弧モホ面接合部より浅いプレート境界 (上盤がマントルではない)

深部低周波微動発生域直下のプレート境界

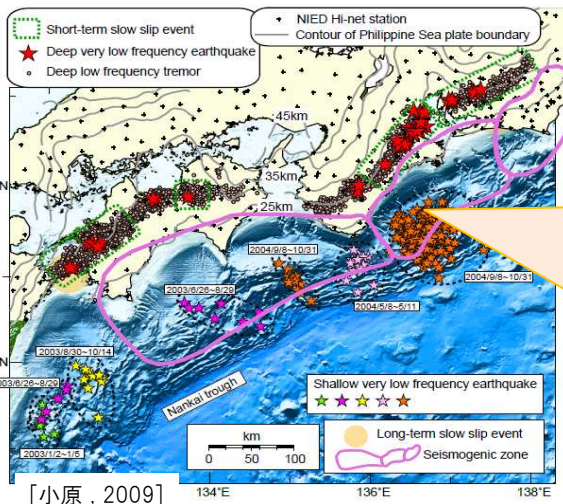


モホ面の深さ変化

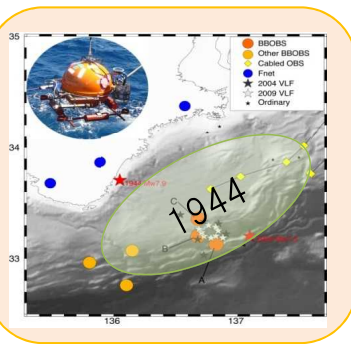
- 日向灘および四国沖 (HY01, SK04, SK01) : 深さ 35-40 km 程度
 - 紀伊水道 (TK02) : 深さ約 20 km に島弧モホ面相当の強反射面
- 深部低周波微動が紀伊水道で発生していないことと関連か？

陸上Hi-net観測点で取得したエアガンデータの使用による成果だが、... 決定精度は不十分

今後実施すべき新たな課題

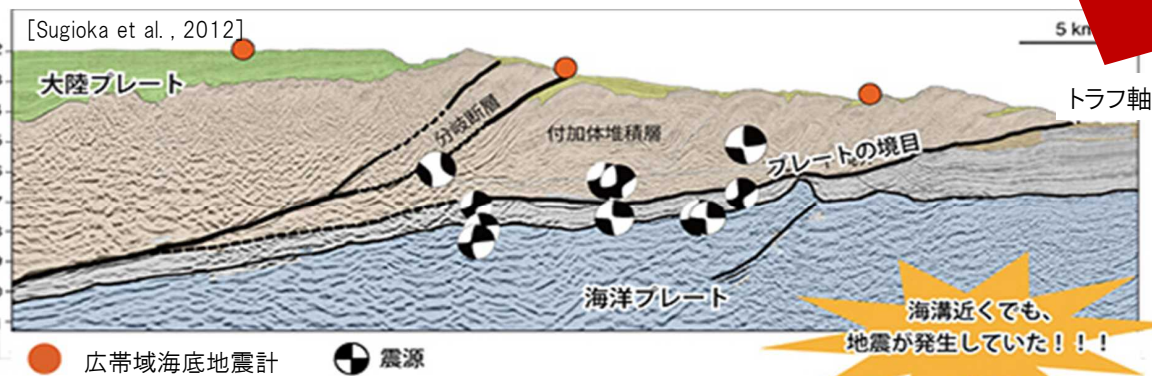
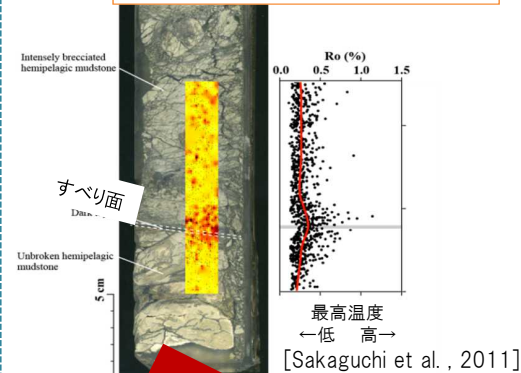


熊野灘で観測された浅部低周波地震は...
プレート境界で発生



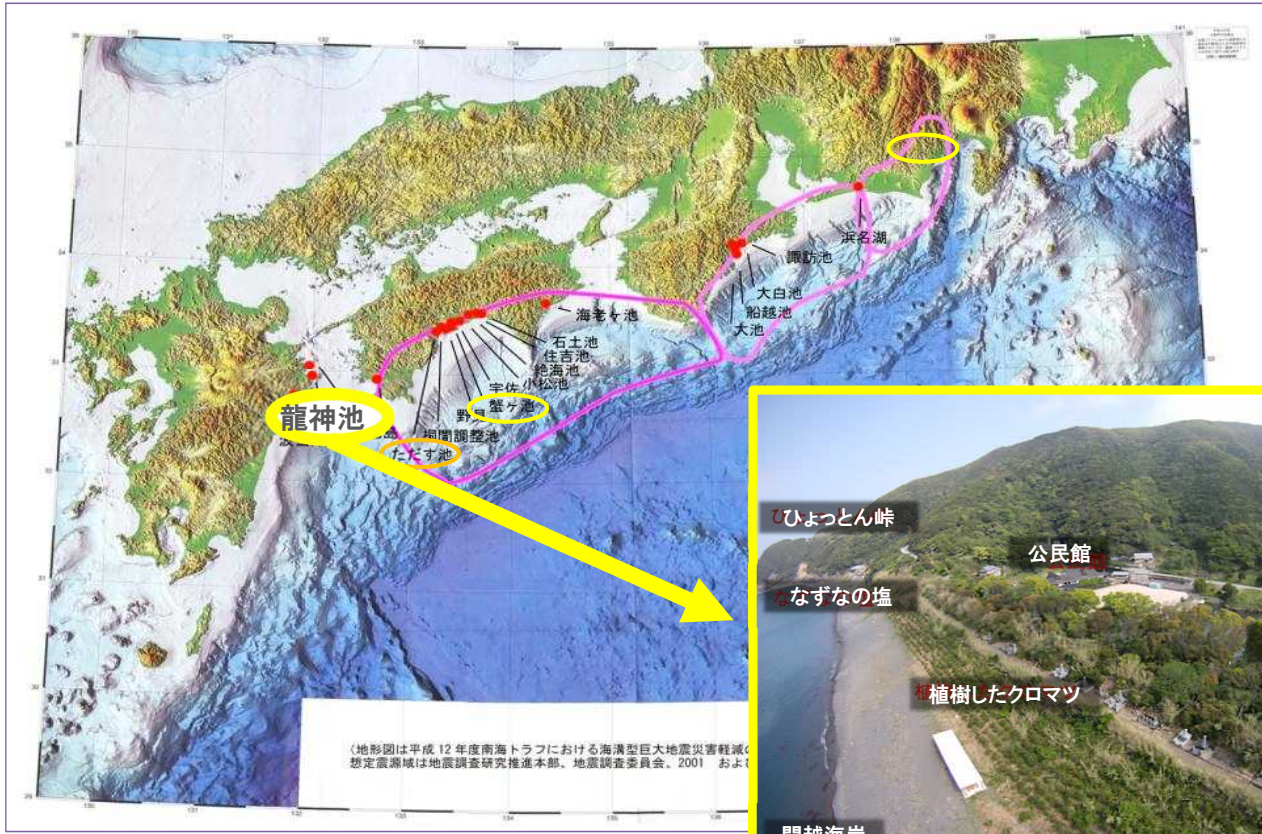
南海トラフ先端部での地震性すべりの可能性

プレート境界断層(海底下438m)



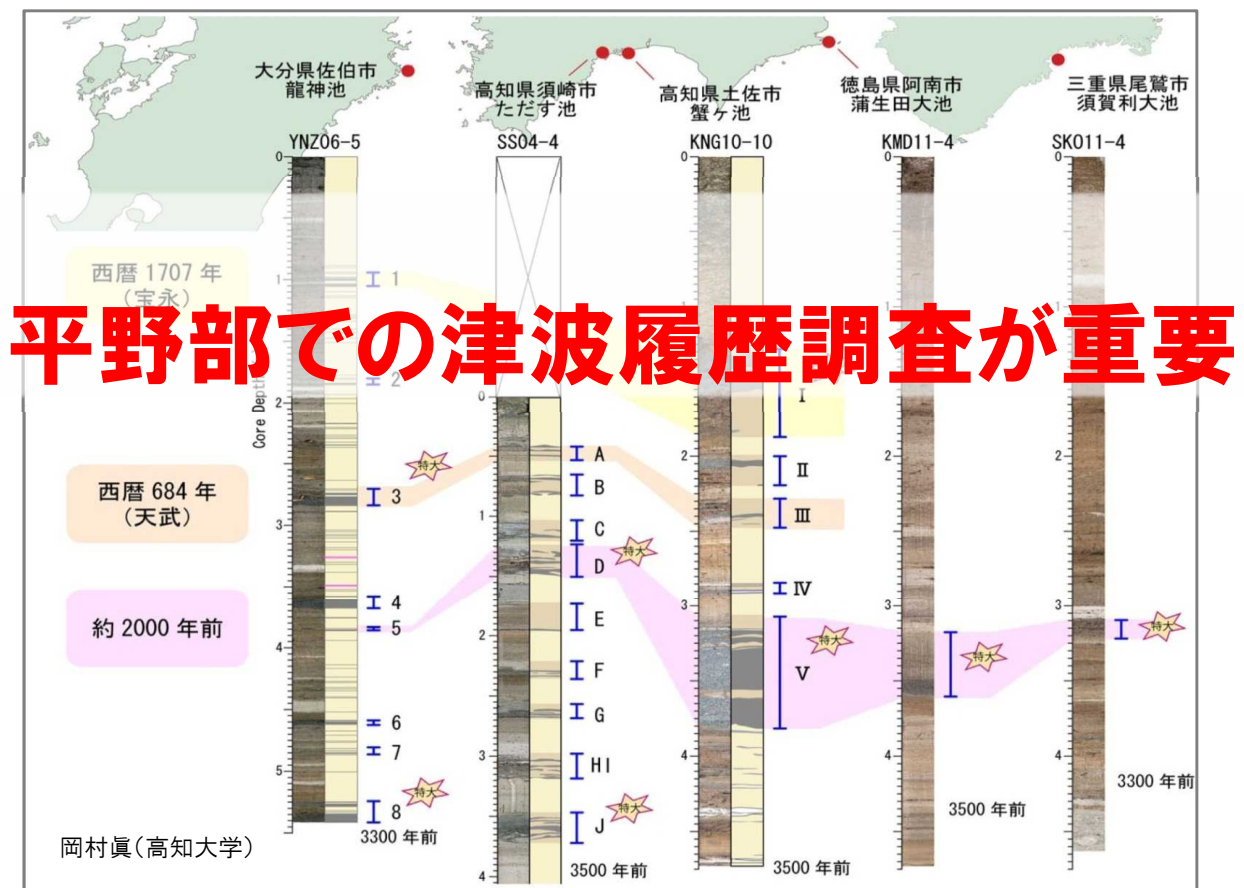
海域での広域的なサンプリングに基づく地震発生履歴の調査およびトラフ軸周辺での浅部低周波地震を含む地震活動のモニタリングが必要

歴史津波の痕跡 (津波堆積物・龍神池)



岡村眞(高知大学)

歴史津波の痕跡 (津波堆積物)



岡村眞(高知大学)

今後実施すべき新たな課題

- **海陸統合調査の実施** →巨大地震滑り域下限の構造の解明
- **海溝域浅部高精度探査の実施** →トラフ軸浅部すべりの評価
- **南海トラフ東西への調査の連続性** →東海沖～関東、琉球海溝
- **海底堆積物を用いた地震発生履歴調査の実施**
- **平野部での津波堆積物評価**
- **S波速度、密度などを取り入れた媒質モデルの構築や誤差の評価に取り組む**
- **構造研究に基づくモデルをシミュレーション研究に適用する**
- **最終モデルの広く一般への公表・活用**

17

目次

- **東北地方太平洋沖地震**
- **日本海東縁ひずみ集中帯**
- **南海トラフ地震発生帯研究**
- **海域リアルモニタリング**
 - 地震・津波観測監視システム (DONET) —
- **今後の調査観測の方向性**

18

DONET 地震・津波観測監視システム

Dense Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis

CONNECTED!

DONET

DONET2

Node-2A, Node-2B, Node-2C, Node-2D, Node-2E, Node-2F

C0009, C0002A, C0010

底層古江 陸上局

福岡まぜのおか 陸上局

神戸ジョイント 陸上局

海底で設置作業を行う ROV 無人探査機 ハイパードリフト

水圧センサシステム

地動センサシステム

拡張用分岐機構 (ノード)

基幹ケーブル

分岐装置

展張ケーブル

長期孔内計測

長期孔内観測システム 海底部とDONETインターフェース

展張ケーブルのボビン

DONETの構築のための観測技術開発

拡張性があり、とくに広域に展開する場合に適した高電圧システムの技術開発

高信頼性：

定常連続観測を実現可能なシステムデザイン

基幹ケーブルシステムには、高信頼設計を基本とする商用海底通信技術を用いるとともに、必要に応じて、高信頼性コンポーネントの新規開発を実施。
(給電岐路ケーブル、制御回路の高信頼性IC等)

冗長構成：

外的要因による障害、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

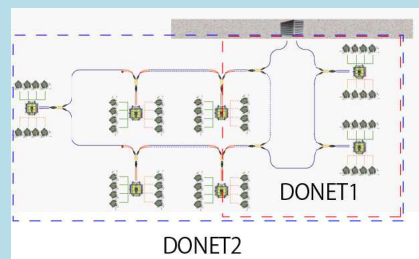
基幹ケーブルの両端を陸揚げし、それぞれの端から直流定電流給電をかけ、時計回り、反時計回りの2経路の伝送路を確保することにより冗長構成を実現。

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・アップグレード等の置換が可能なシステムデザイン

ノードや観測装置はそのインターフェースに水中着脱式コネクタを搭載することで海中で着脱を可能にする。

広域展開のためのシステム高度化



中電圧システム (DONET1)

さらに開発

高電圧システム (DONET2)

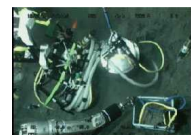
電圧システム： 3千V → 1万V
 ケーブル長： 300km → 1000km
 DONETタイプノード： 5式 → 10式



海底で設置作業を行うROV



海洋調査船「かいよう」



ROVで地震計設置

DONET構築
 最大水深
 3,500m~
 4,300m
 (C観測域)

第二期 (DONET2) 計画 展開案

展開案

■DONET2

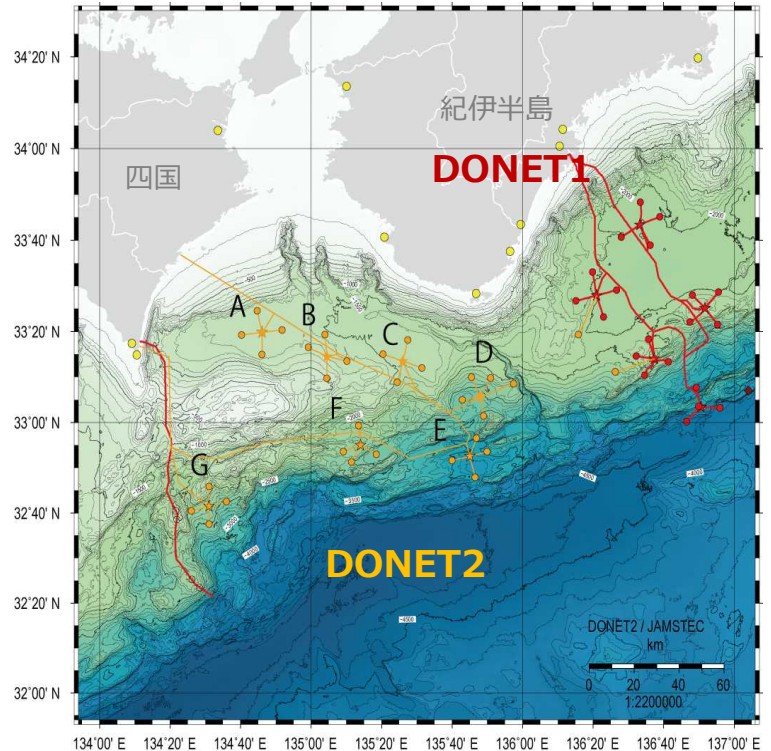
- 平成22年度以降、文部科学省の補助金事業として、当初は5年×2フェーズの計画 (第Ⅱ期)
 - >第1フェーズ: H22~H26
 - >第2フェーズ: H27~H31
- 平成24年度予算案において、前倒し予算が計上され、平成26年度までに一部データの取得、試験運用開始に向け整備を加速

■DONET1の運用・データ解析も合わせて実施

■システム構想 (カッコ内はDONET1)

- ・基幹ケーブル長: 約420km (約250km)
- ・分岐装置: 7式 (5式)
- ・ノード: 7式 (5式)
- ・観測装置: 29式 (20式) +2式

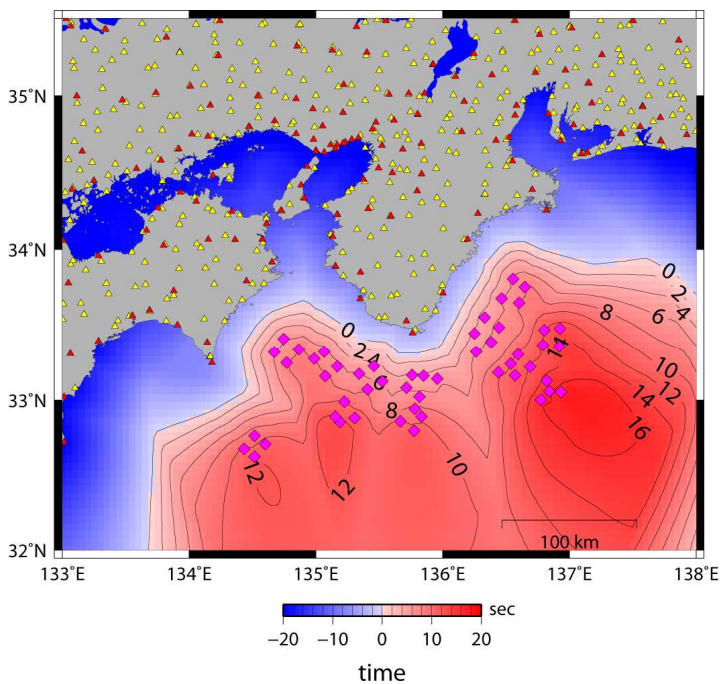
※展開案、設置機器内容については、ルート設計のための事前調査による変更もある。



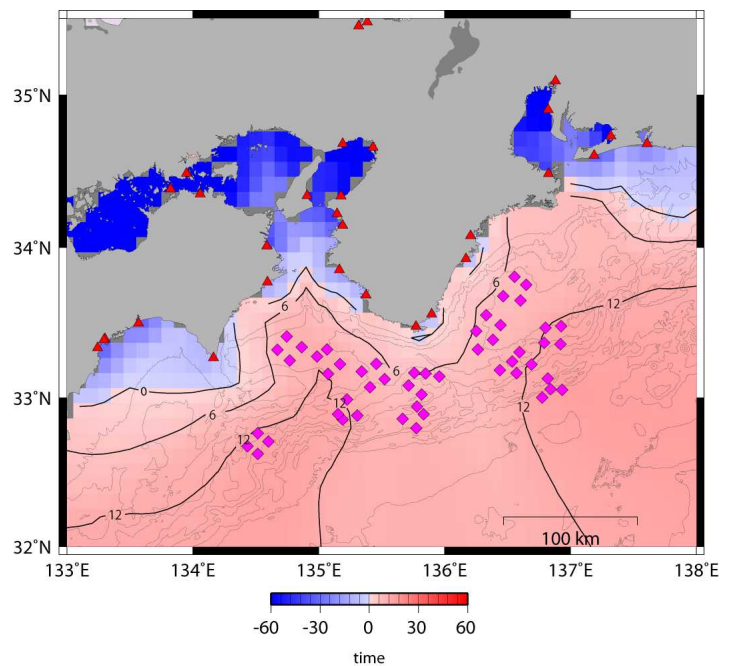
○ 南海地震の備えとして、想定される震源域における展開を目指し、平成22年度より着手。

21

地震及び津波の即時検知能力の向上



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

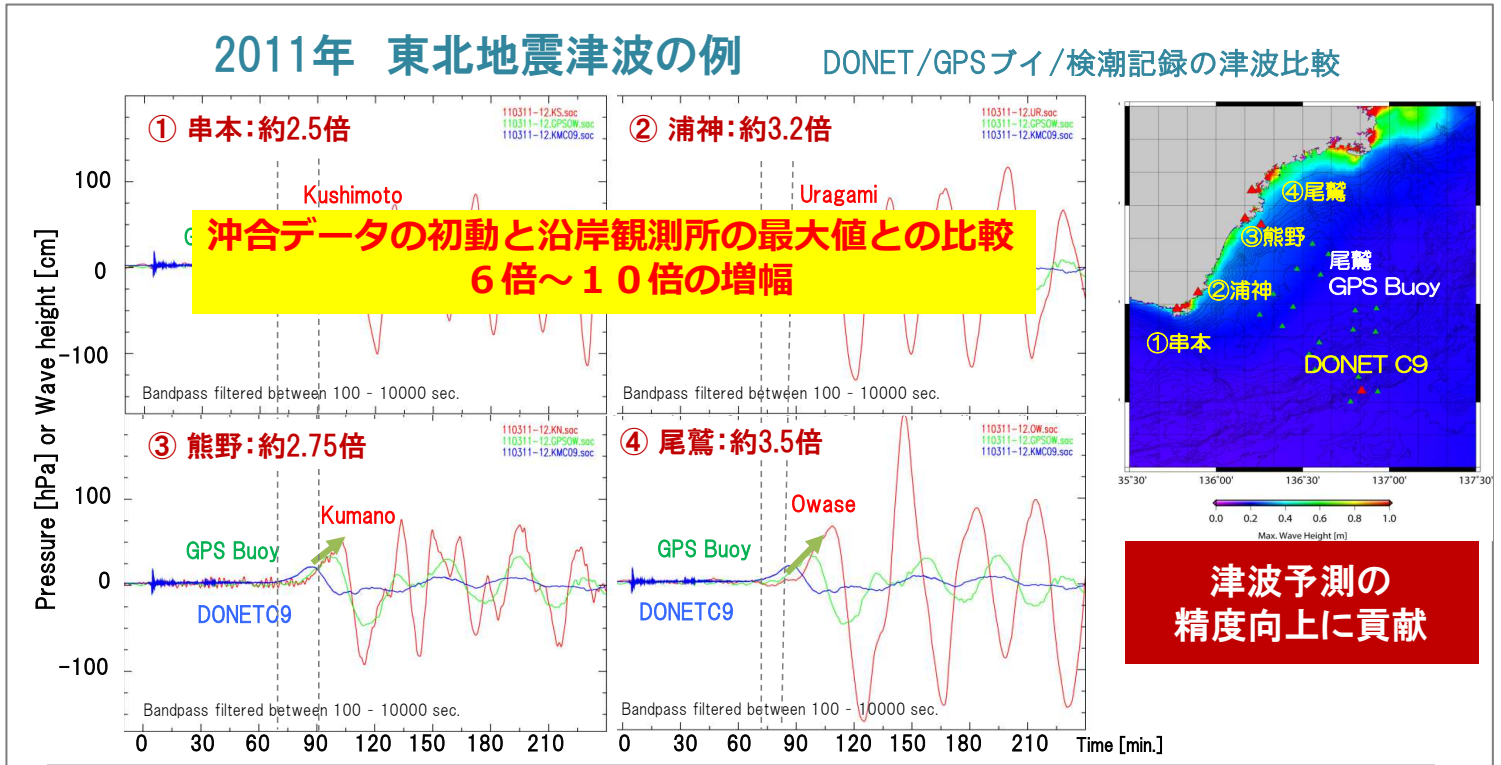


赤色の領域で津波が発生した場合、沿岸の検潮所よりも早く津波を検知する

22

沖合津波波形を用いた沿岸波高の推定

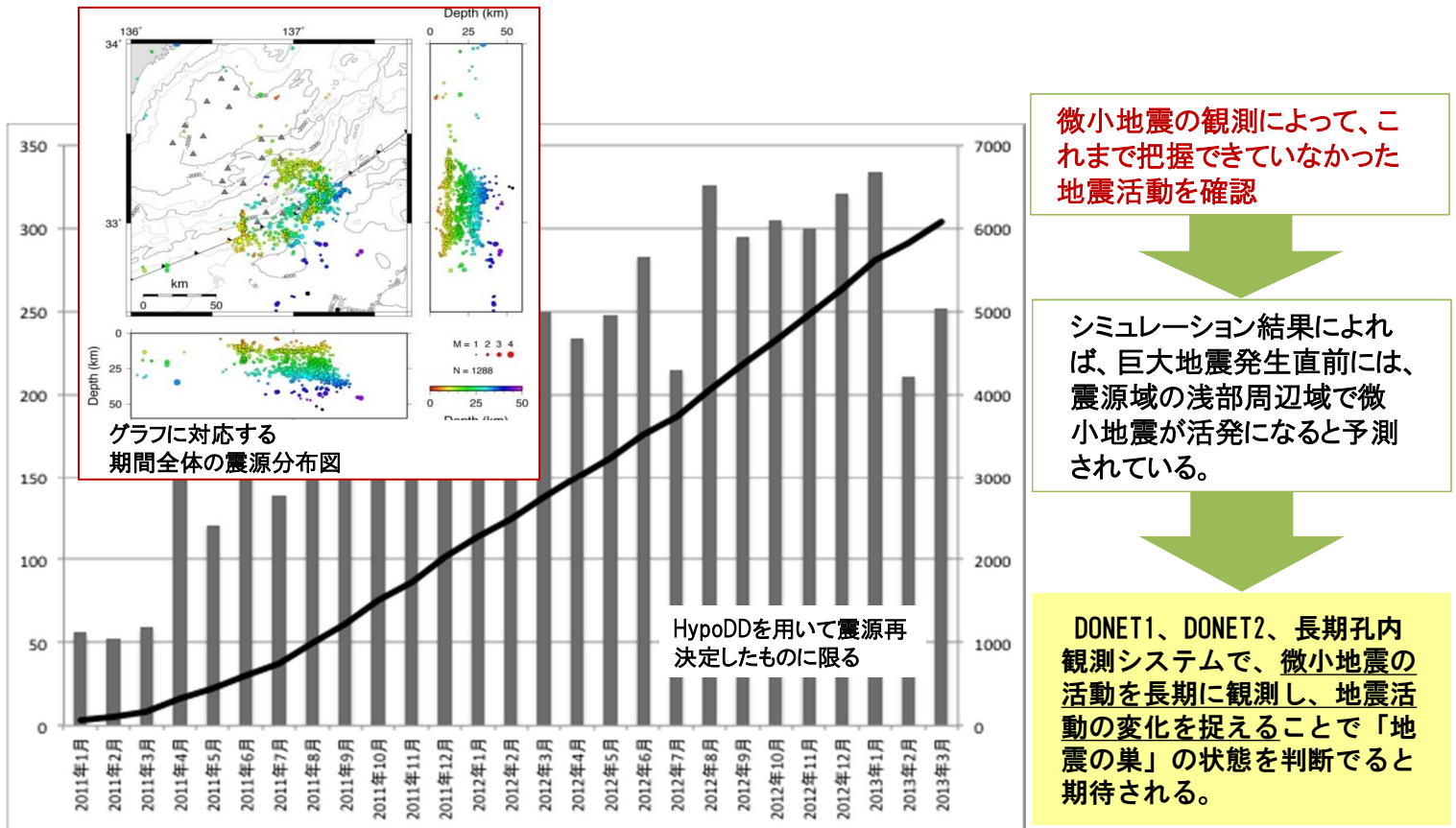
- ◆ 沿岸の検潮所より早く沖合津波波形を検知
- ◆ 沿岸での津波波高 = **増幅率** × DONETデータ



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

微小地震の累計

DONET1で観測された微小地震数の累計

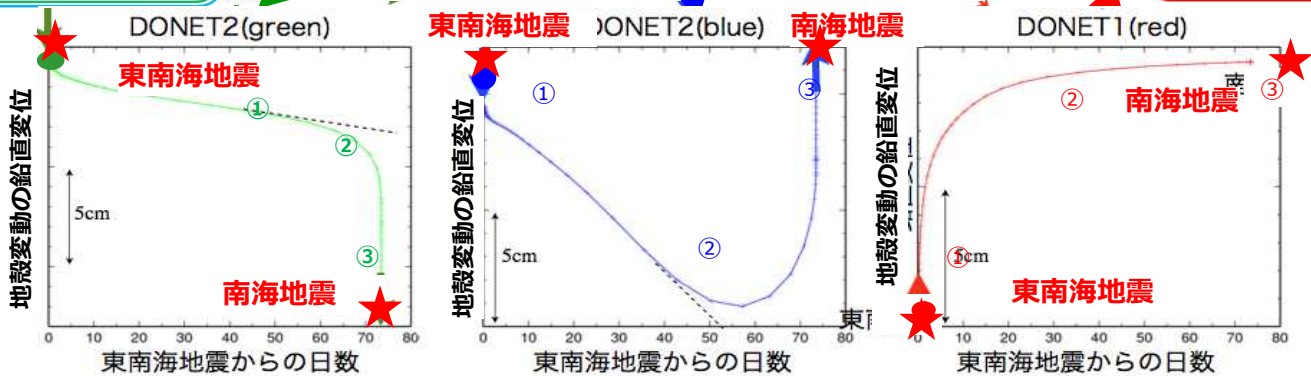
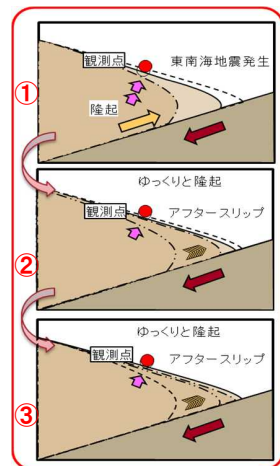
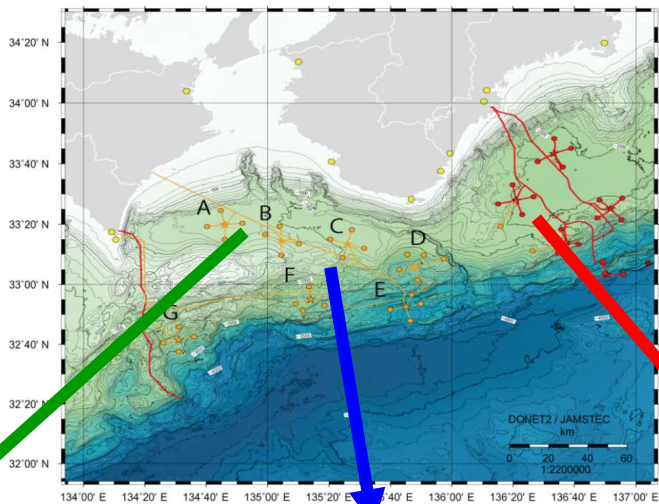
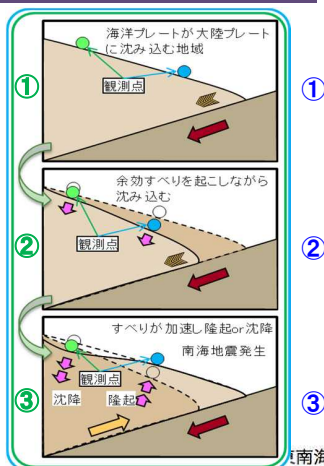


期待される地殻変動観測データ

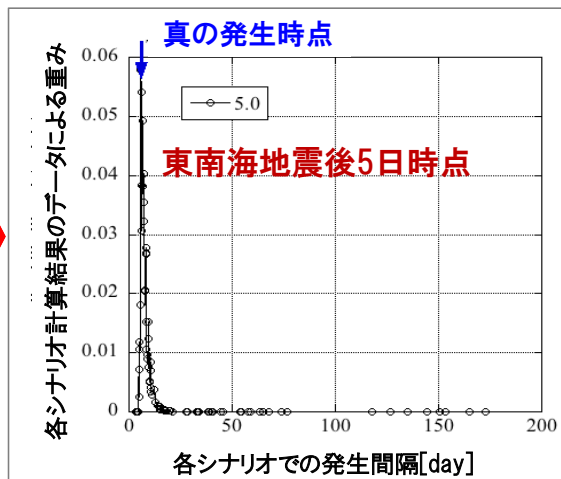
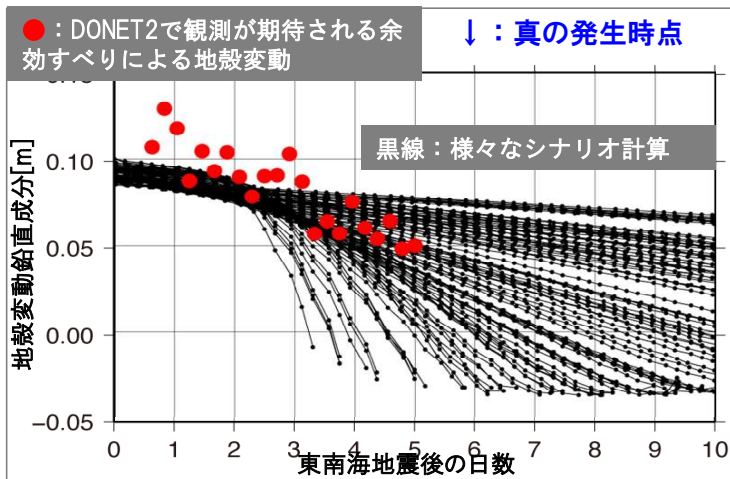
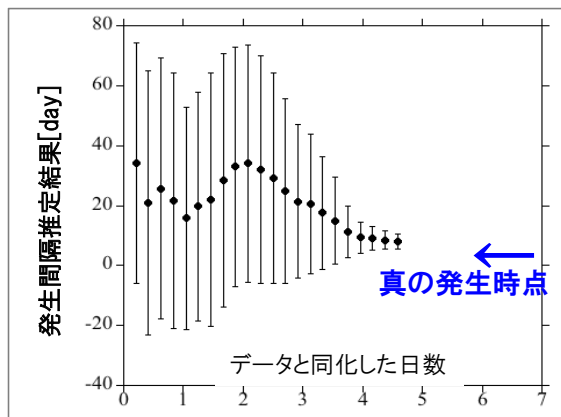
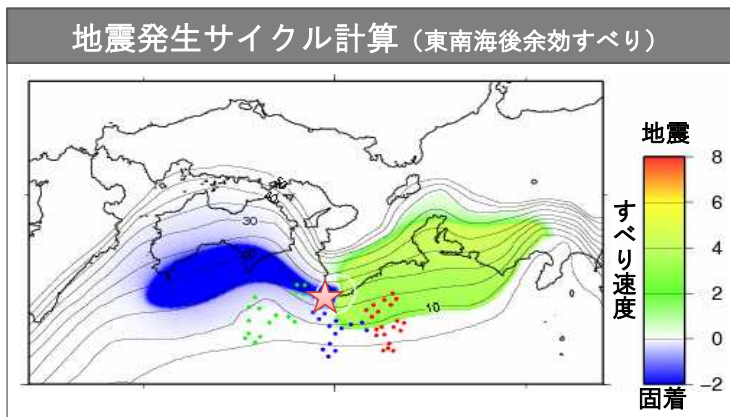
紀伊半島西沖では、東南海地震の余効すべり後の加速が観測できると期待される。

東南海地震発生後から南海地震発生に至るまで

熊野灘では東南海地震の余効すべりが観測される。

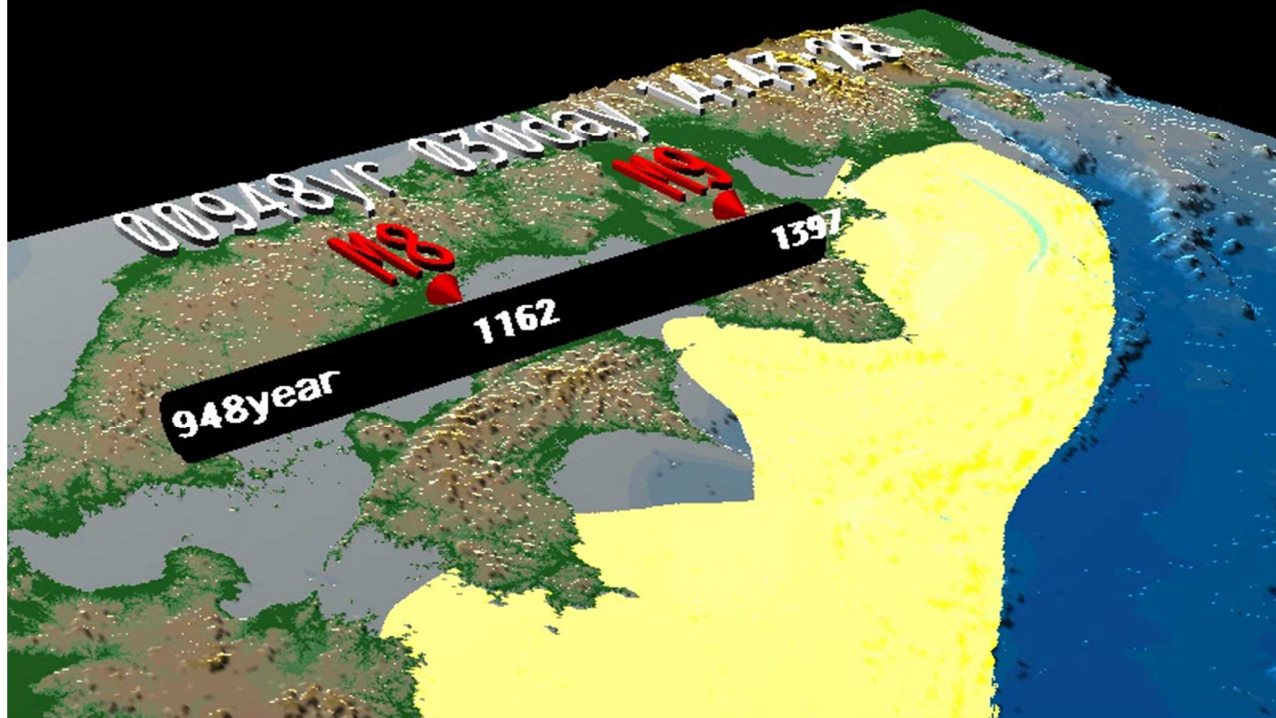


DONETデータを用いたデータ同化概念図



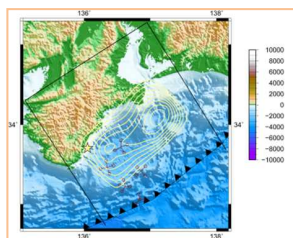
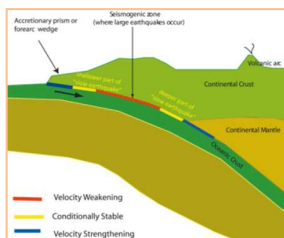
再来する南海トラフの巨大地震の発生サイクルシミュレーション

このシミュレーションを高度化するためには海底観測データが不可欠

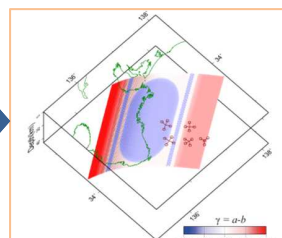


27
堀・兵藤 (JAMSTEC)

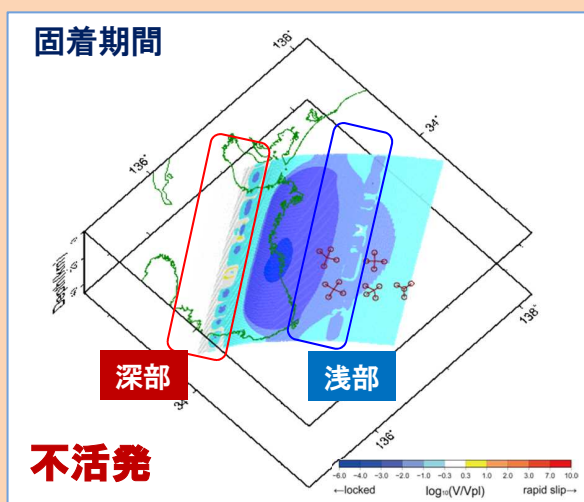
深部・浅部での低周波イベントの活動変化



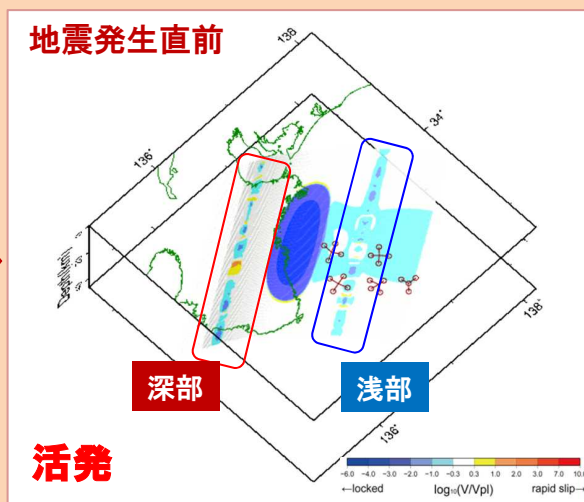
数値モデル化



形状: 構造探査の結果を適用
浅部: 5.4 km
深部: 30 km



約100年後

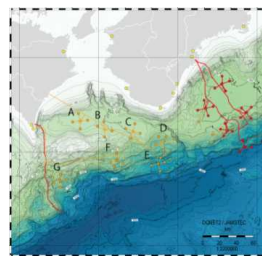


- ①固着期間(左図)・・・海溝型巨大地震震源域傍で浅部の低周波イベントが不活発
- ②地震発生直前(右図)・・・浅部でも活発化 → 深部との類似性が高まる
 - ★ 深部低周波イベントの理解 → 浅部低周波イベントへの応用が可能
 - ★ 浅部低周波イベントの観測 → 海溝型巨大地震に伴う前駆変化の検知ツール

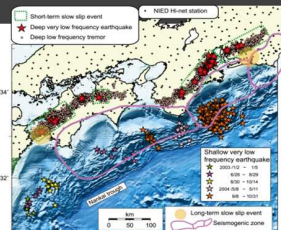
海底地震観測網によって説明が期待されること

■ 浅部でのゆっくり地震の活動：

巨大地震震源域の固着の影響を受けやすい
 固着が弱い or 震源域の縁⇒巨大地震後に活発化
 固着が強い and 震源域の中央⇒巨大地震後に静穏化



DONET



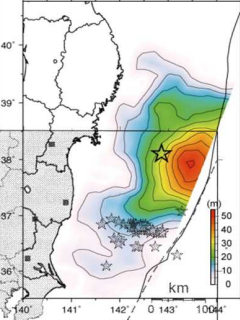
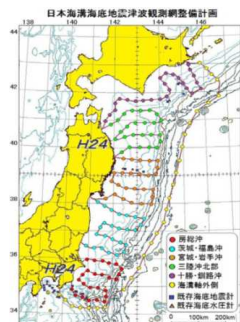
Obara & Shiomi (2009)

■ 巨大地震発生後のデータ検証：

【東北地方太平洋沖地震】 固着が強いところで不活発
 ⇒ 東北沖ケーブルの活用

■ 巨大地震発生前のデータ検証：

【東海・東南海・南海地震】 活動の活発化・伝播速度の変化
 ⇒ DONET/気象庁による海底観測データの活用

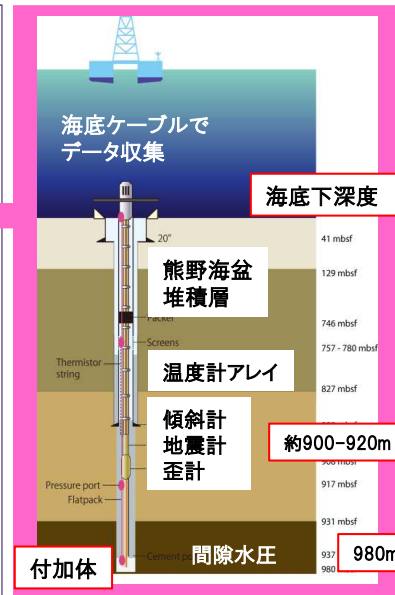
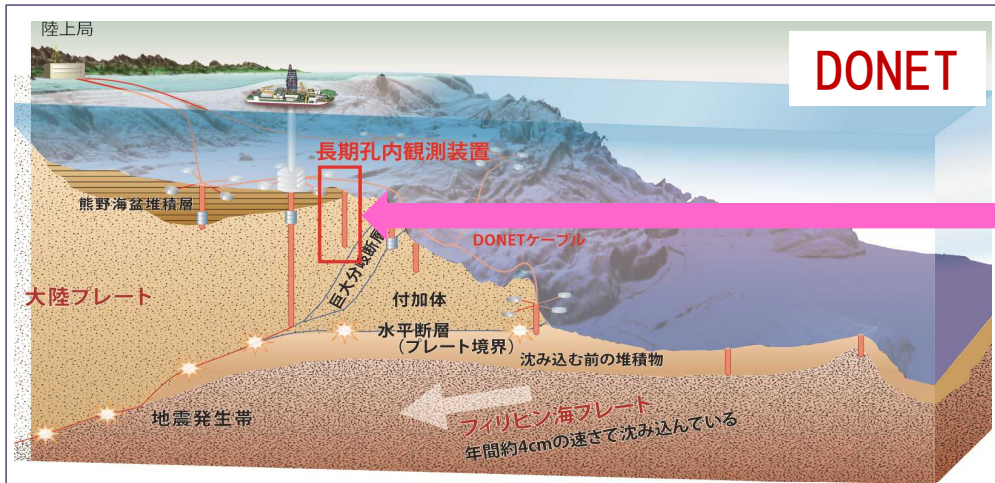
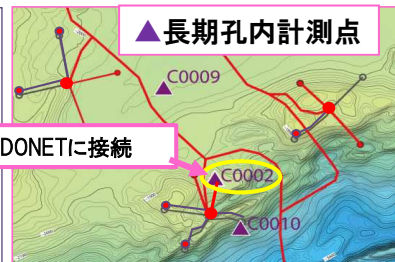
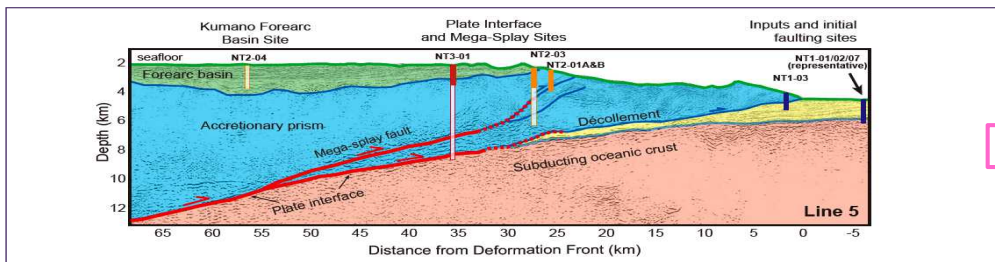


松澤・他(本大会)に八木(web)の結果を重ねたもの 29

■ 今後、複雑な地震サイクル条件下での検証を進める

孔内地震・地殻変動観測システムの接続

DONETと「ちきゅう」により掘削した長期孔内計測点の接続により、海底下でのリアルタイムモニタリングを実現する。



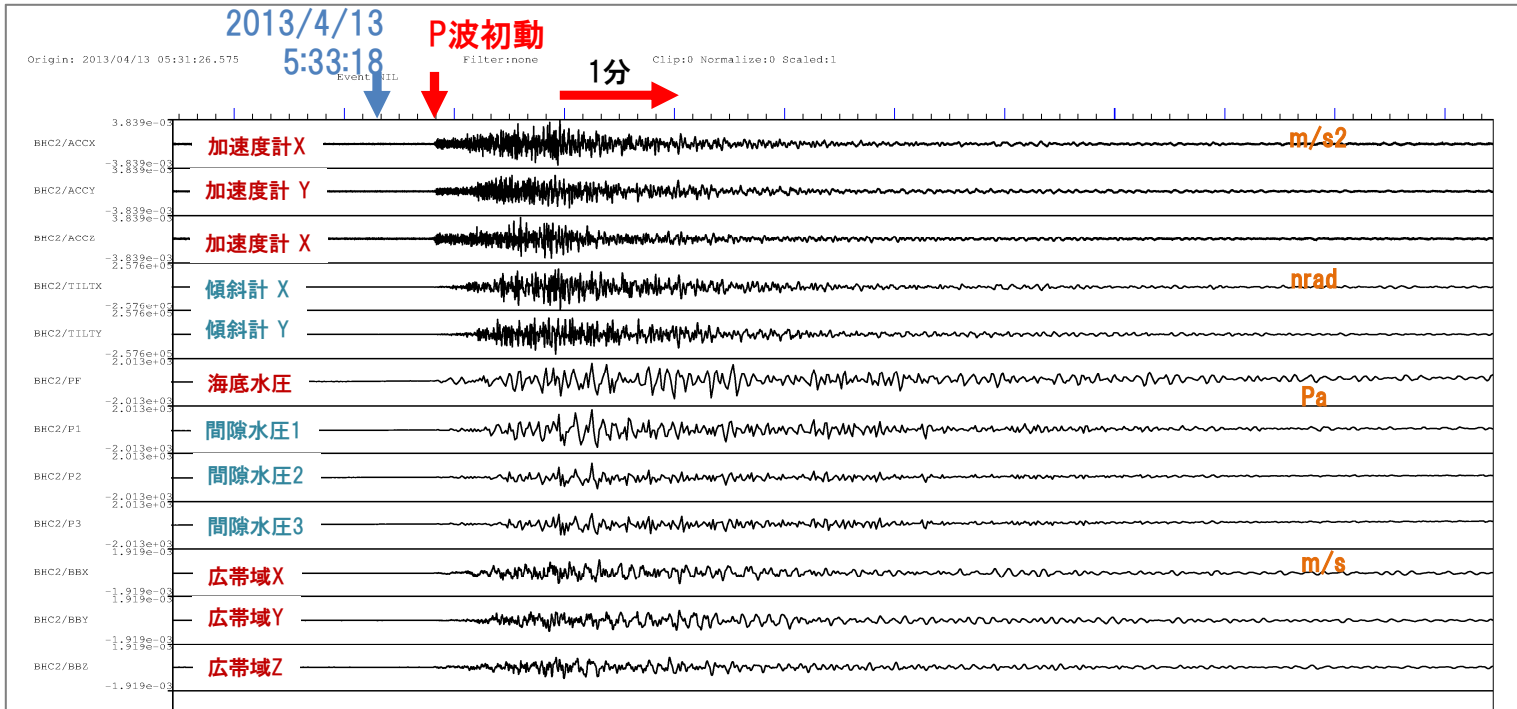
孔内計測点では、歪計や傾斜計によって、海底水圧計よりもさらに高感度で変動をとらえることが期待される

2013年4月13日に淡路島付近で発生した地震の記録

DONET1ならびに長期孔内観測システムで、今回の地震による波を明瞭にとらえた。各観測点では、地震発生から約30秒後にP波初動を観測。

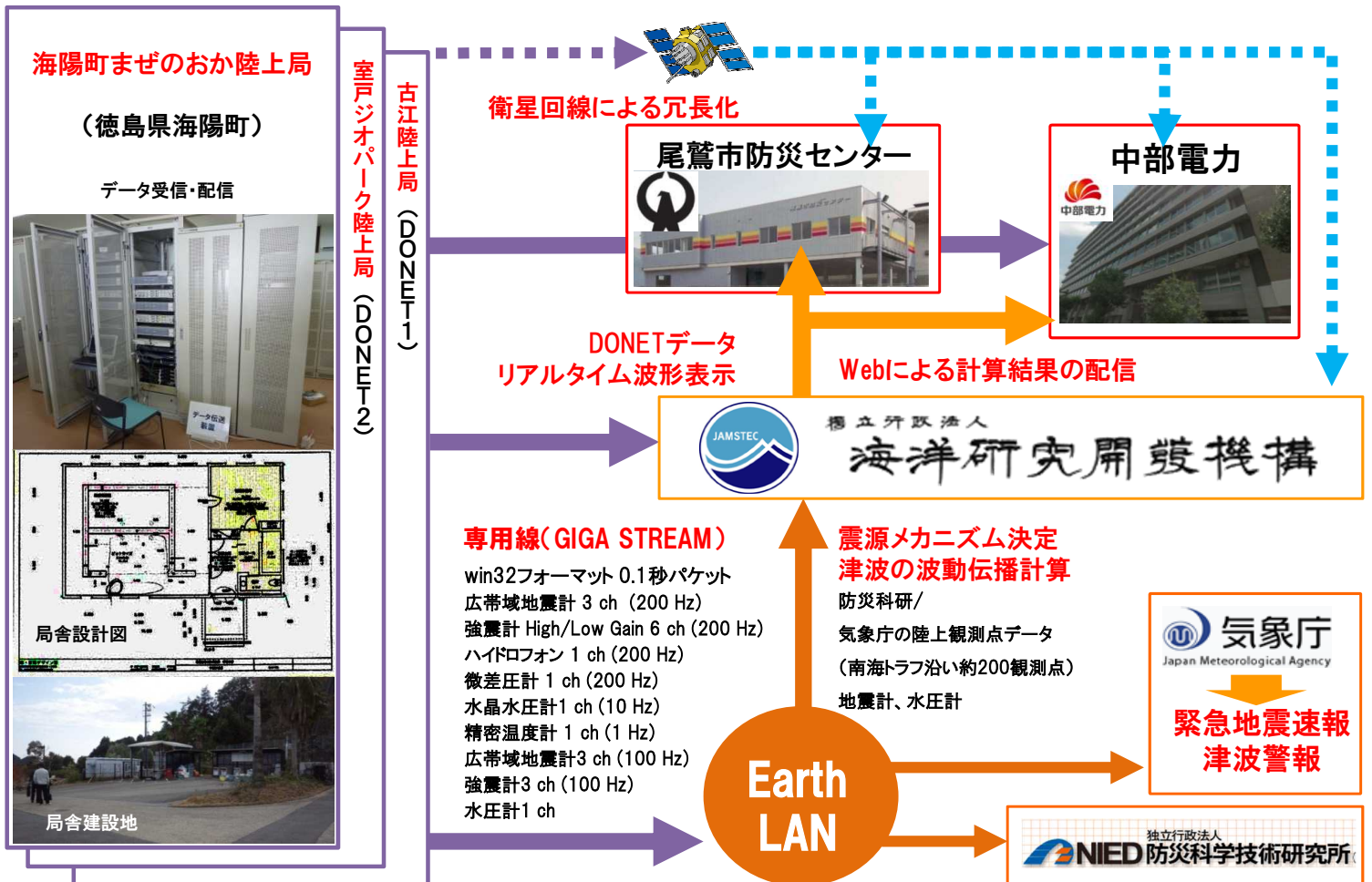
長期孔内観測システム (C2) 波形

フィルターなし



31

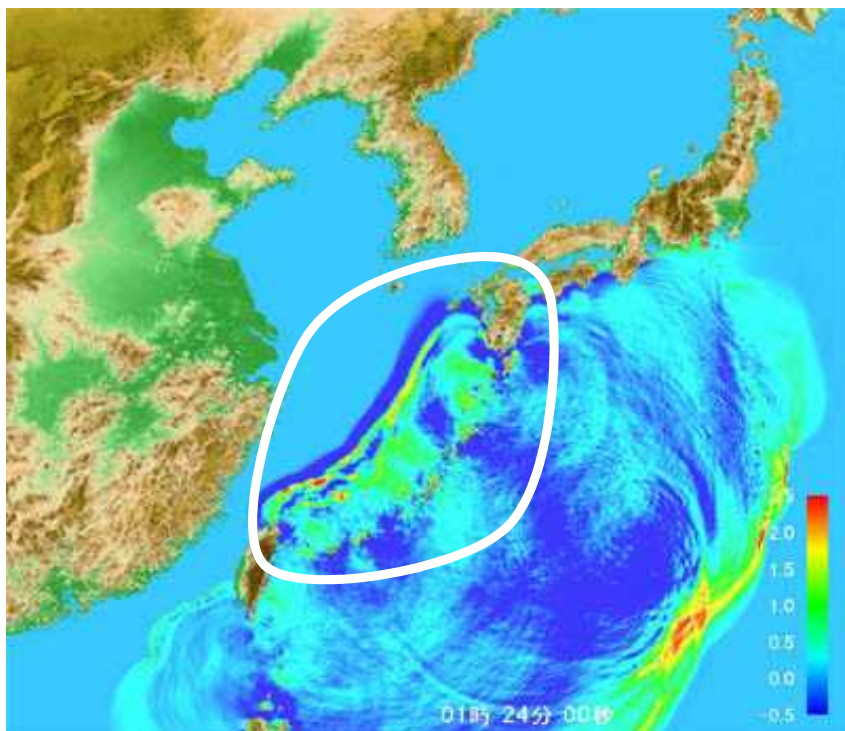
DONETのリアルタイム伝送構想例



32

南西諸島での巨大地震

九州沖から南西諸島までの超巨大地震の津波想定図

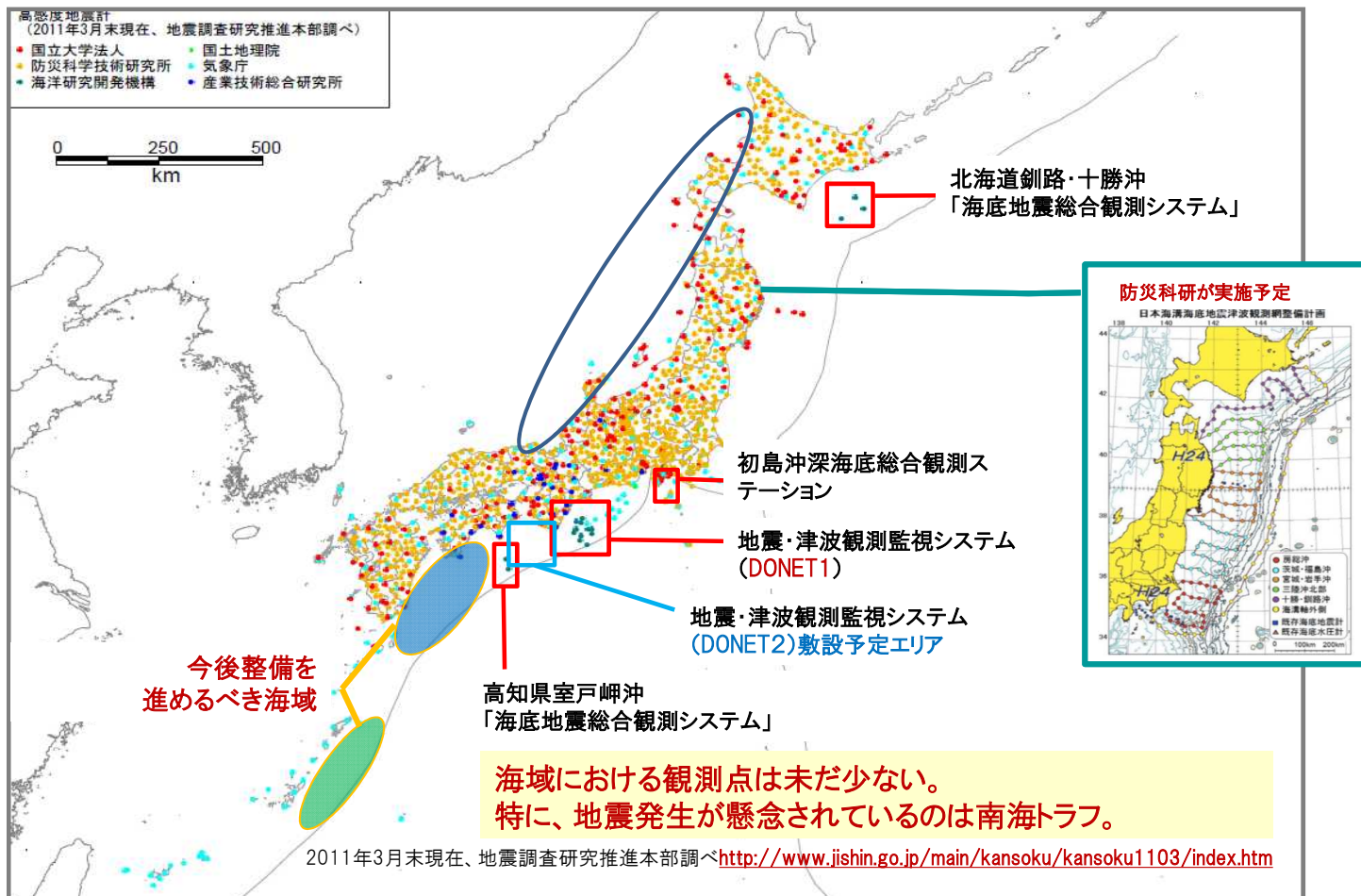


(株)地震工学研究開発センターによる計算

九州沖から南西諸島までのM9.3超巨大地震を想定

- 鹿児島や沖縄だけでなく九州の西側の熊本や長崎にも津波が押し寄せる。
- また、中国大陸と朝鮮半島に向けては、水深が浅いため(津波の速度は水深が深いと速く、浅いと遅くなる特性があるので)、津波が太平洋側よりゆっくりと進む。

海域観測網の整備

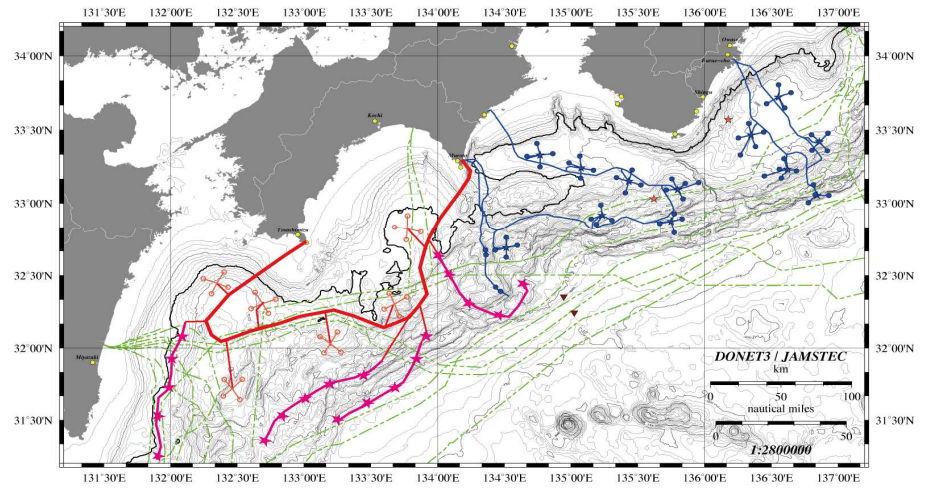


海域における観測点は未だ少ない。
特に、地震発生が懸念されているのは南海トラフ。

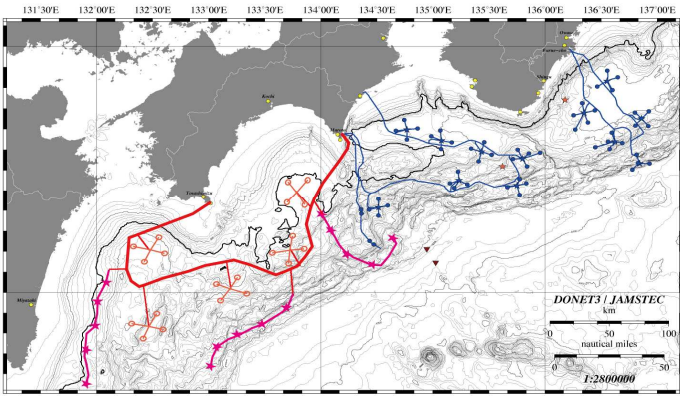
南海地震震源域のリアルタイム モニタリングシステムの整備

DONET3 試案例

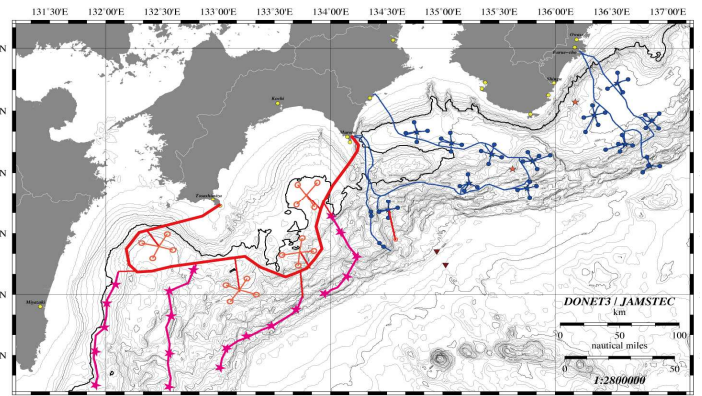
Bathymetric map for Nankai Trough, DONET3



DONET3 A案



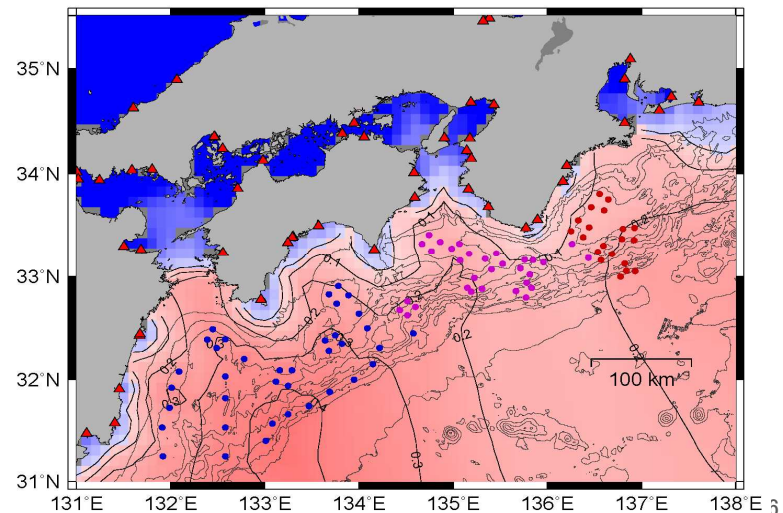
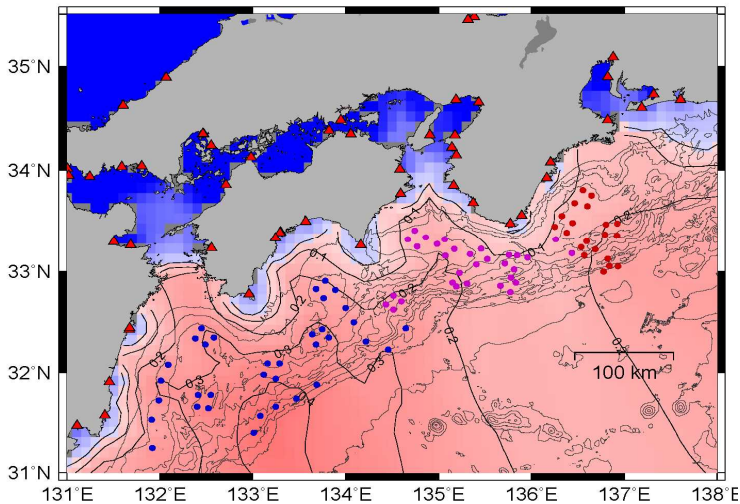
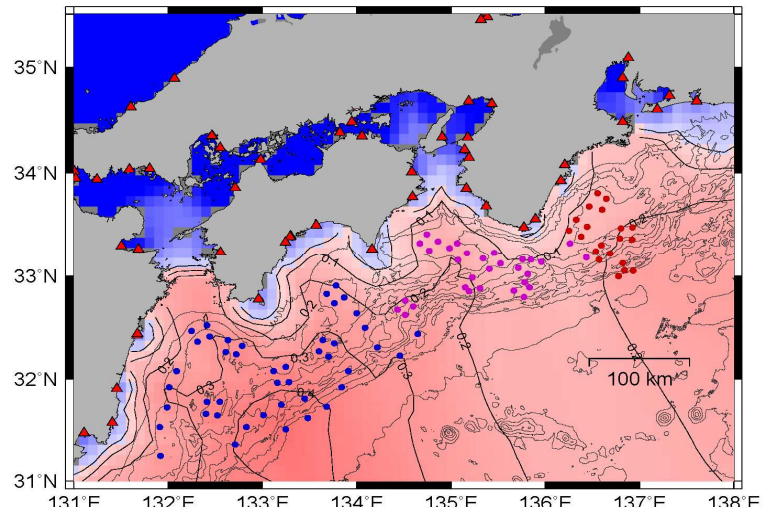
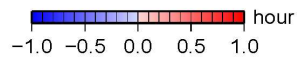
DONET3 B案



DONET3 C案

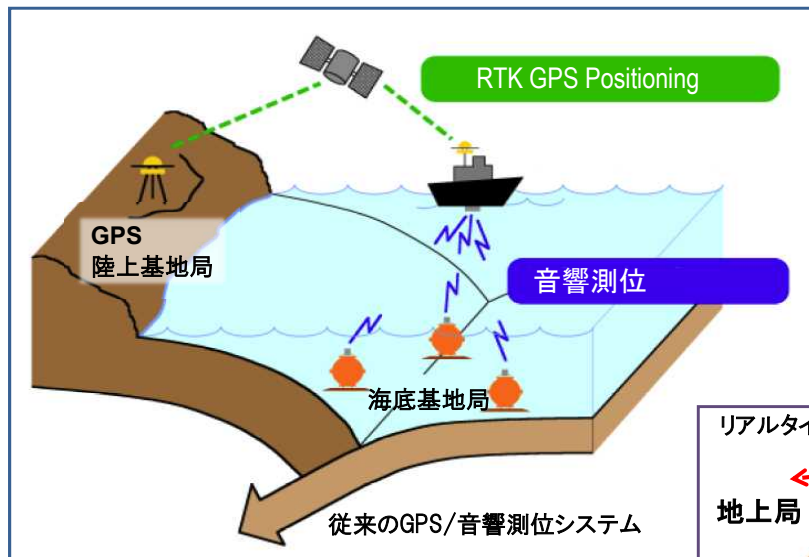
35

津波検知能力 の評価

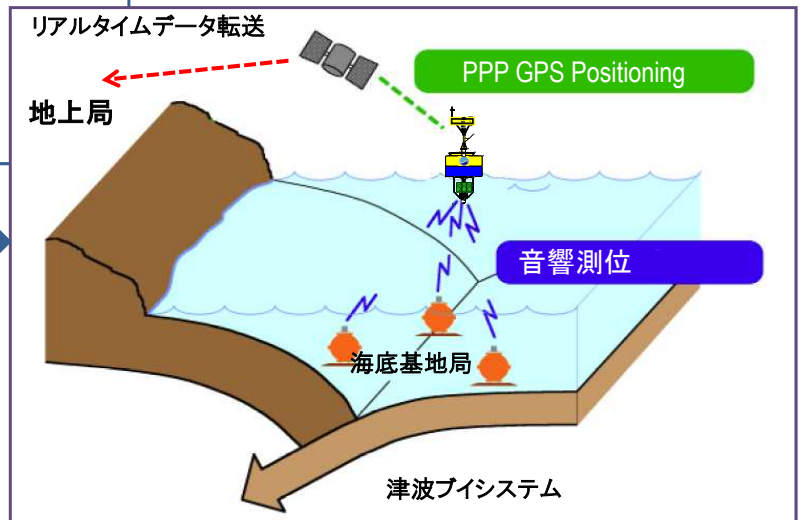


GPS/音響測位による海底地殻変動観測

即時展開性に優れたブイ形式の「津波警報システム」を展開



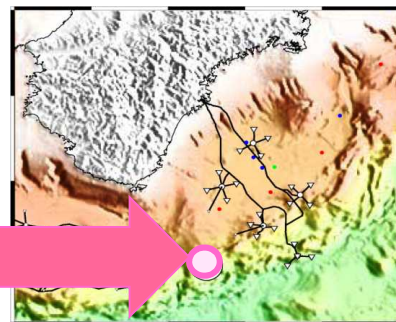
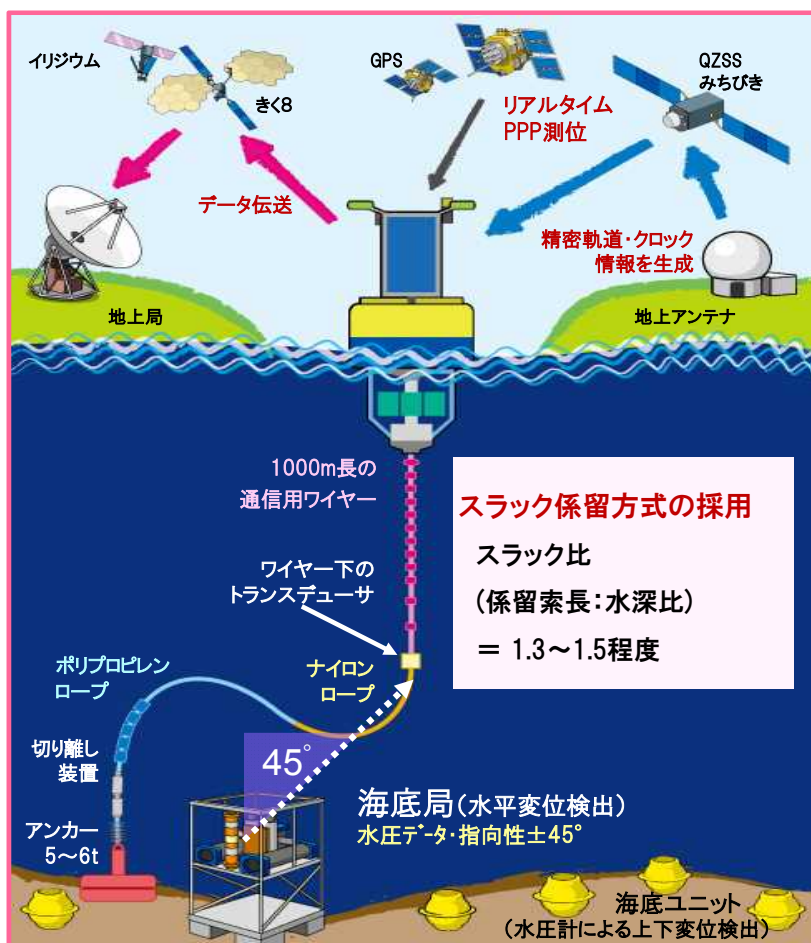
従来のGPS/音響測位システム



津波ブイシステム

- ① 海底に設置した水圧計によりデータ検出
- ② 船や陸上インフラに左右されない衛星を通じて津波データをリアルタイム通信 (津波の正確な到達時刻を計測可能)

ブイを用いた新観測システム 単独搬送波位相測位



水圧計と海底局を用いて
地殻変動観測

+

衛星を用いたPPP観測

||

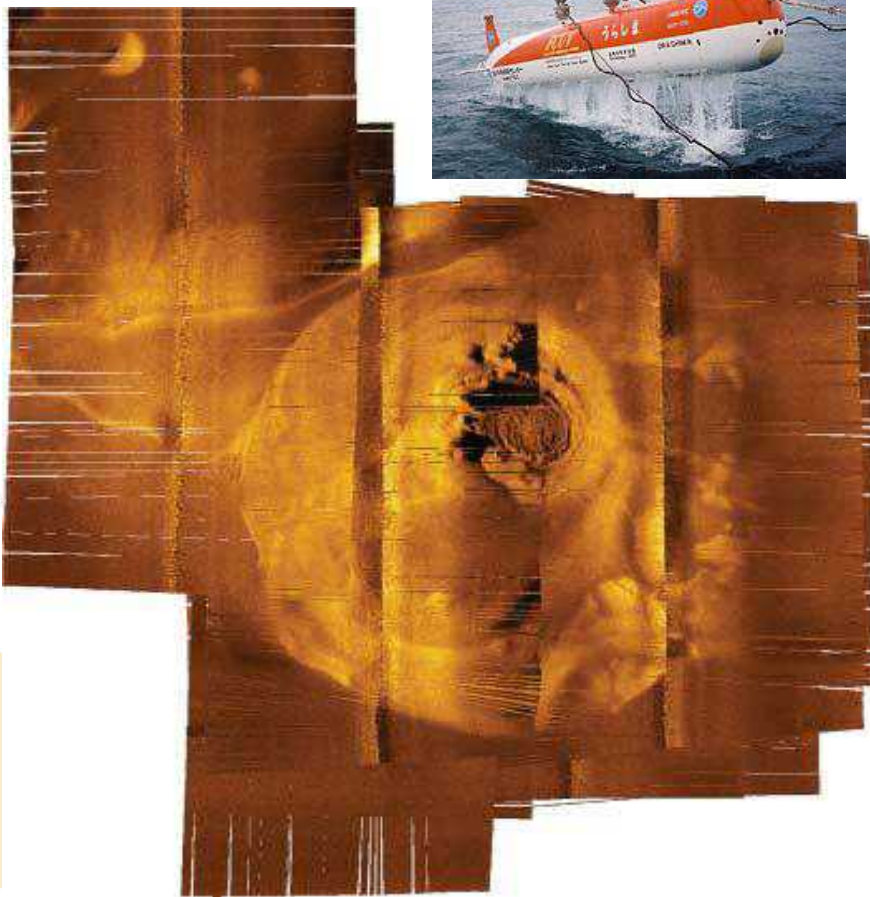
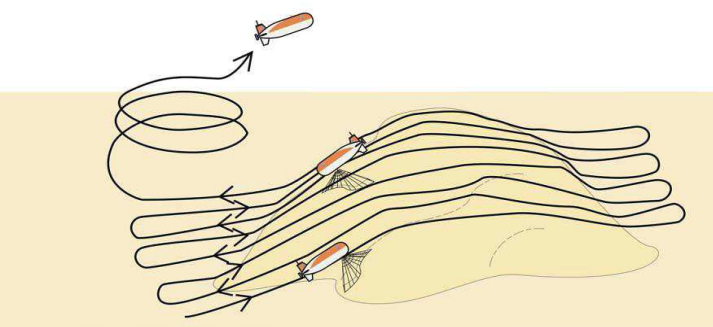
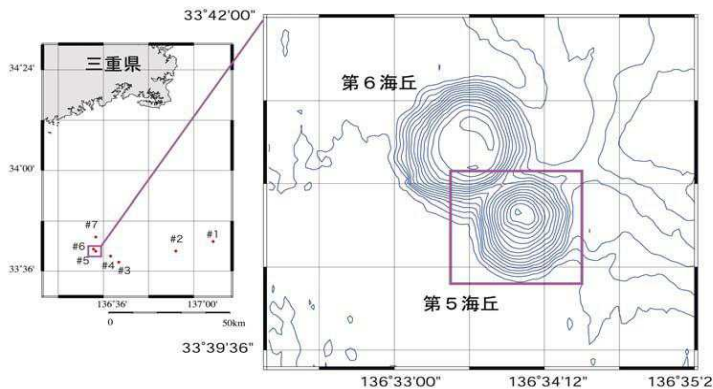
海底における地殻変動を
リアルタイムで検出へ

即時展開性に優れたブイ形式の
津波警報システムを展開

- ① 海底に設置した水圧計によりデータ検出
- ② 陸上インフラに左右されない衛星を通じて津波・地殻変動データをリアルタイム通信

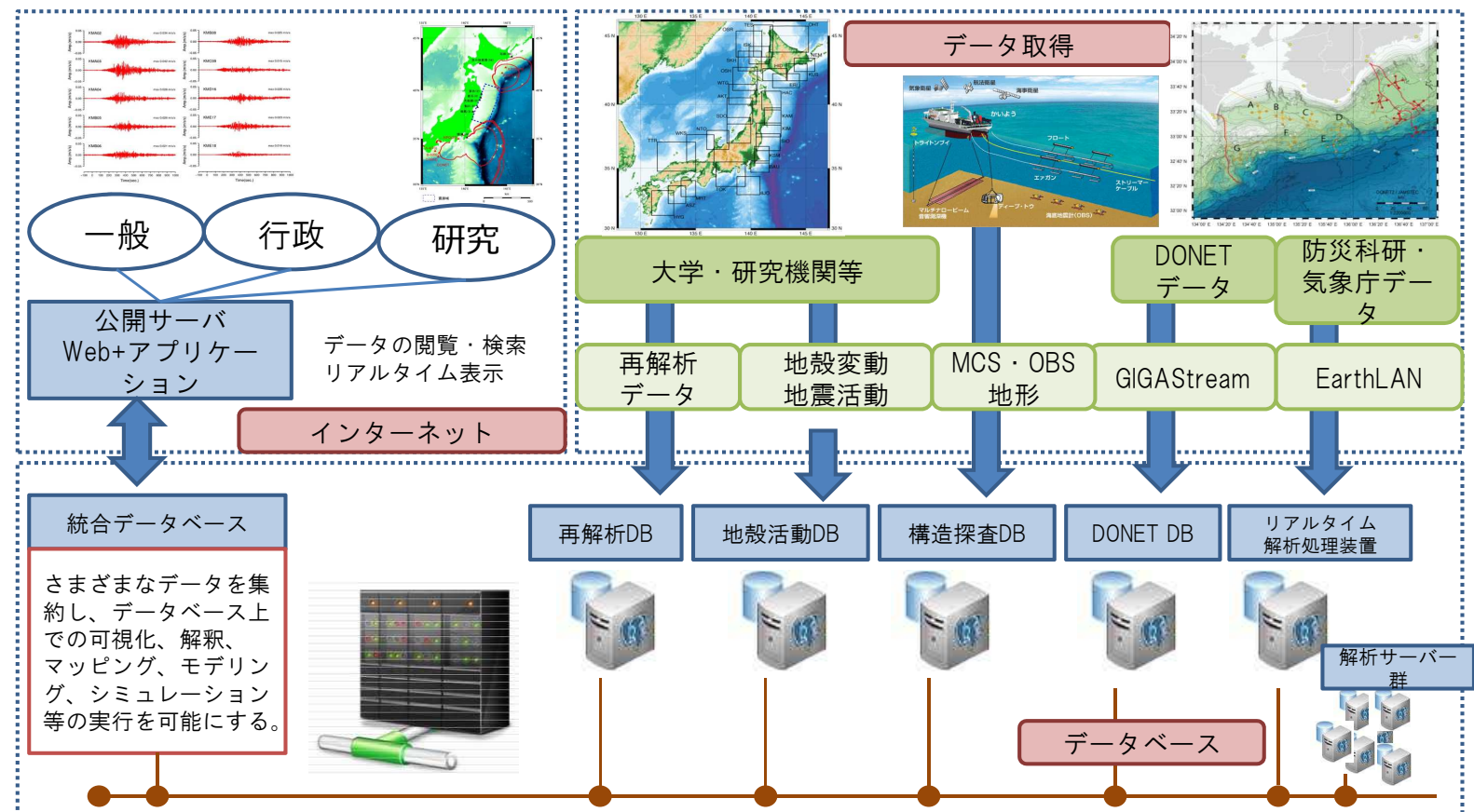
泥火山（泥ダイアピルの噴出）

AUVによる精緻な海底地形調査



39

地下構造・地殻活動データベースの構築



40

目次

- 東北地方太平洋沖地震
- 日本海東縁ひずみ集中帯
- 南海トラフ地震発生帯研究
- 海域リアルモニタリング

—地震・津波観測監視システム (DONET) —

■ 今後の調査観測の方向性

41

今後検討すべき震源域

今後検討すべき領域(海溝型地震)

- ・ 十勝～根室:17世紀前半タイプの再来
- ・ 青森沖:1968で破壊済み?
- ・ 宮城沖:アウターライズ?
- ・ 房総はるか沖:1677タイプの再来
- ・ 関東:元禄タイプの東側(房総半島下～沖合)
- ・ **南海:最大規模、多様性**
- ・ 日向:南海と連動or南への破壊の起点
- ・ 琉球:少なくとも八重山は過去に大津波
- ・ 伊豆小笠原:アウターライズを含めて1605年慶長地震の波源の可能性も

内陸地震。海域地震

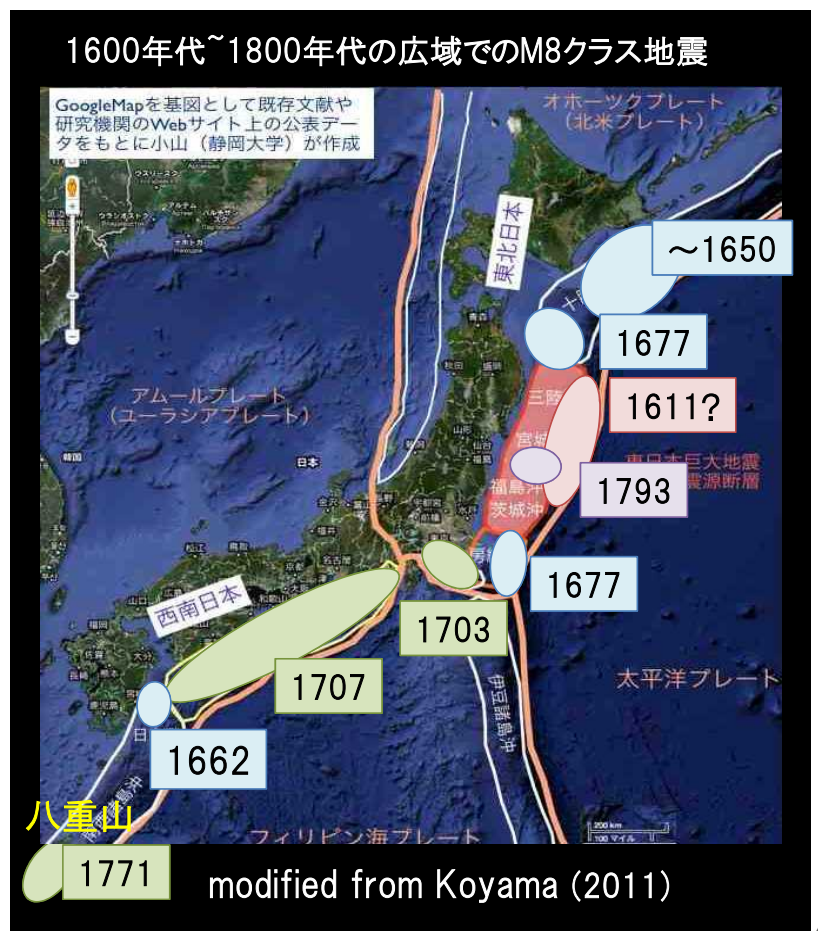
- ・ 西南日本、関東の活動期評価
- ・ 海域の断層構造

観測データが重要

- ・ 相似地震や海底地殻変動
- ・ 津波堆積物や隆起痕跡 etc.

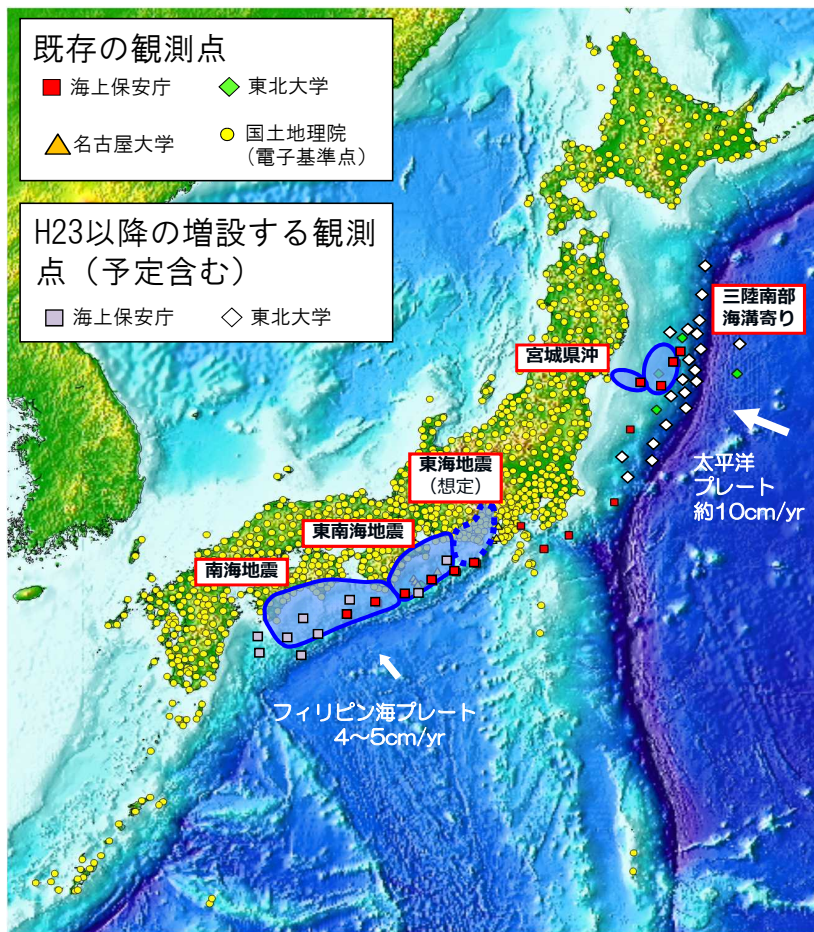
その上で

- ・ 各地域で数百年サイクルとより小規模との共存するモデル計算
- ・ すべり欠損分布からシナリオ地震計算
- ・ プレート境界すべりモニタリング



42

海底GPS観測点の増設



海上保安庁

- ・プレート境界型巨大地震が起こる可能性が高い太平洋側に設置
- ・定常観測

東北大学、名古屋大学

- ・大深度での観測や調査の効率的実施に関する技術開発
- ・宮城県沖および南海トラフにおける定常観測

■東北地方太平洋沖地震を受け、

- ・観測点 (基準点) の増設
→面的な観測へ
- ・宮城県沖における集中的観測の実施
→余効変動の時間変化、固着状態の推定