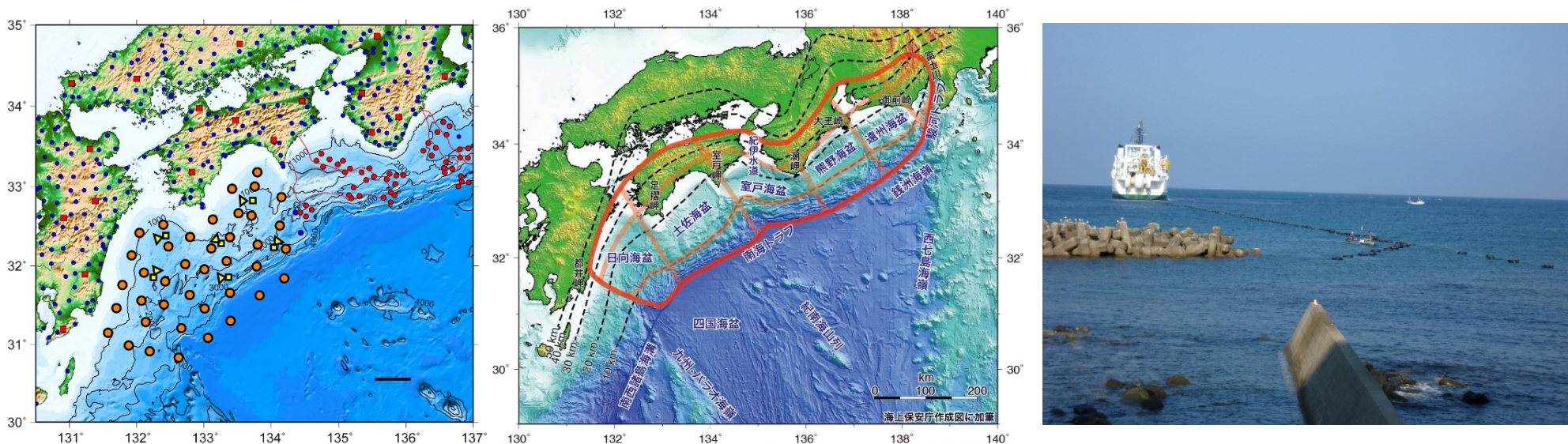


# 新しいケーブル式 海底地震・津波観測システム - 日向灘への設置に向けて -



篠原雅尚

東京大学地震研究所

海底ケーブルの科学利用と関連技術に関する将来展望

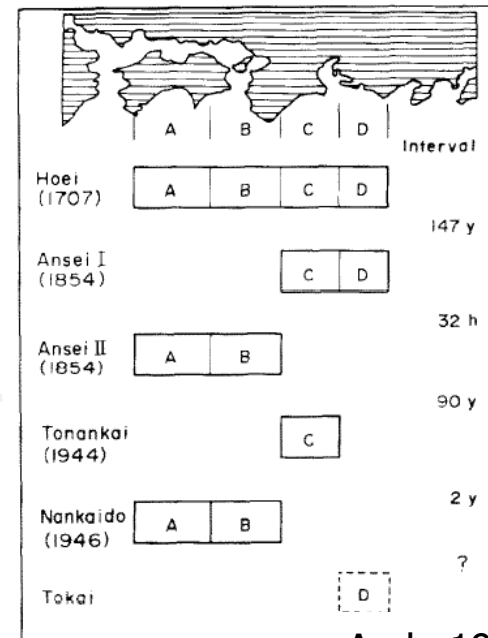
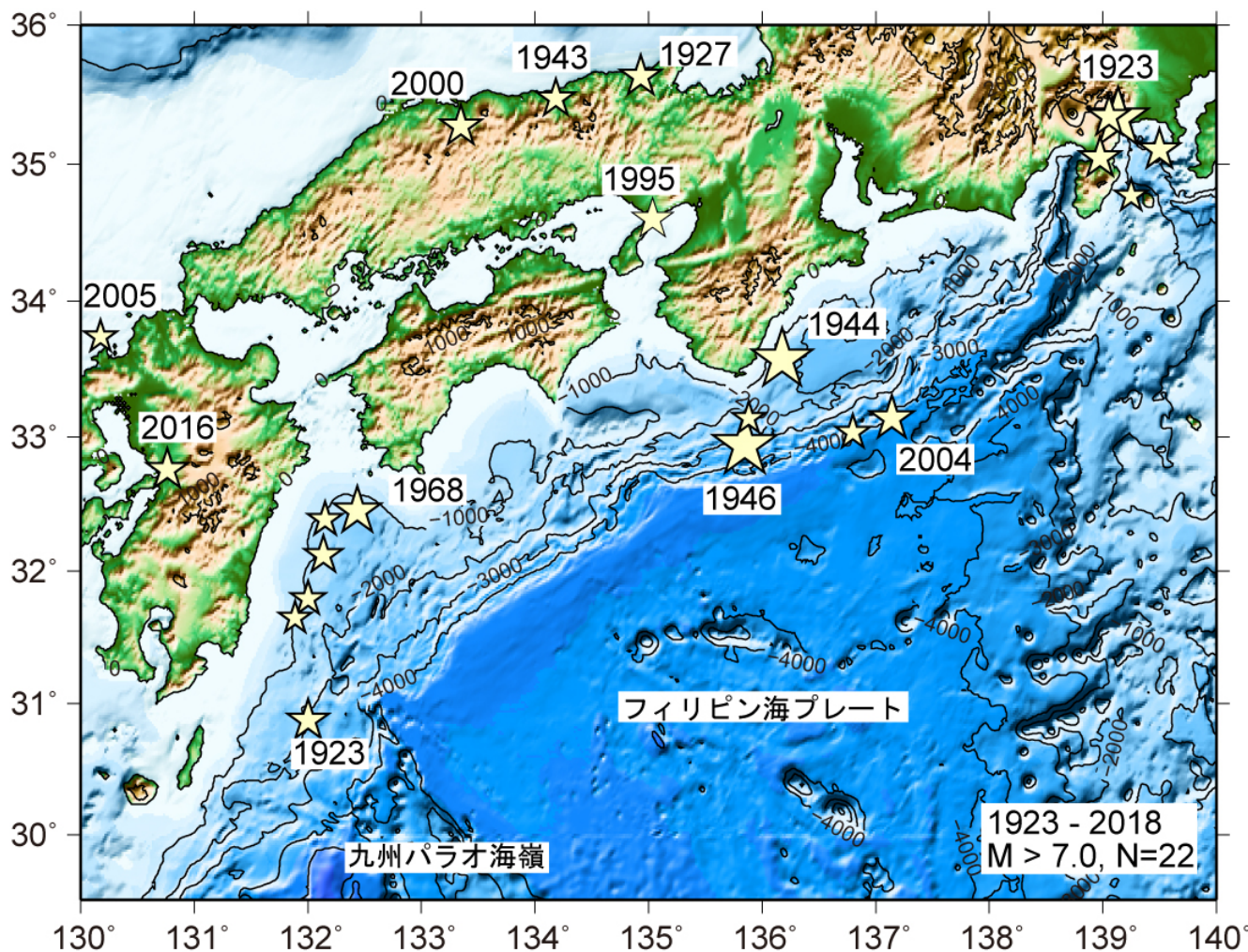
現行システムと今後の展望

東京大学生産技術研究所 An 棟 2F コンベンションホール「ハリコット」

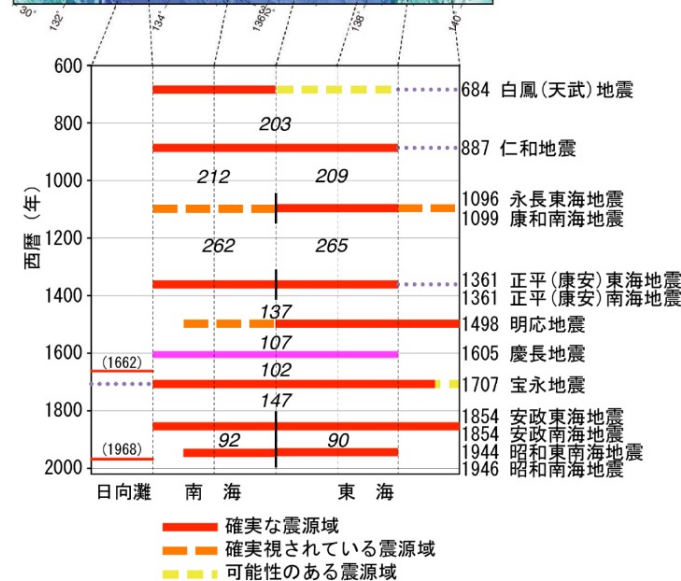
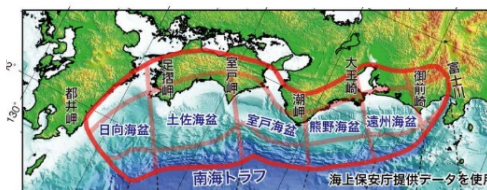
平成30年9月19日(水) 13:35-13:50

# 南海トラフ

- フィリピン海プレートが西南日本の下に沈み込んでいる
- M8クラスの大地震が繰り返し、発生している
- 前回の巨大地震は、1944年12月7日東南海地震(M7.9)、1946年12月21日南海地震(M8.0)
- 震源域は、分けられているように見える

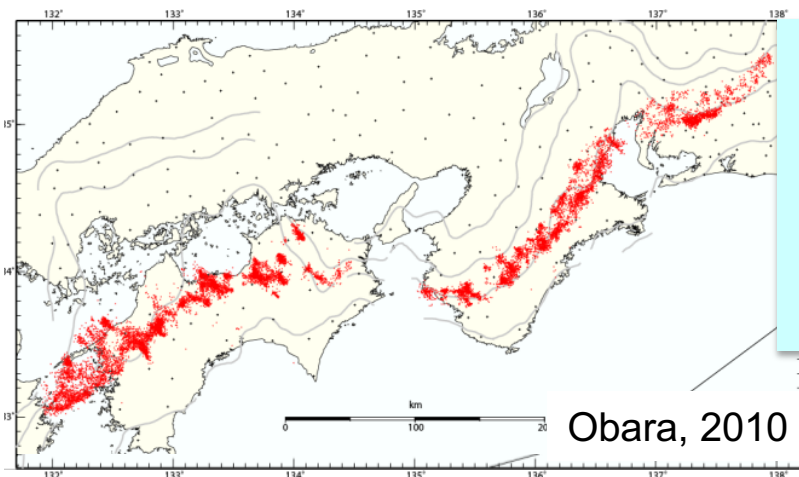
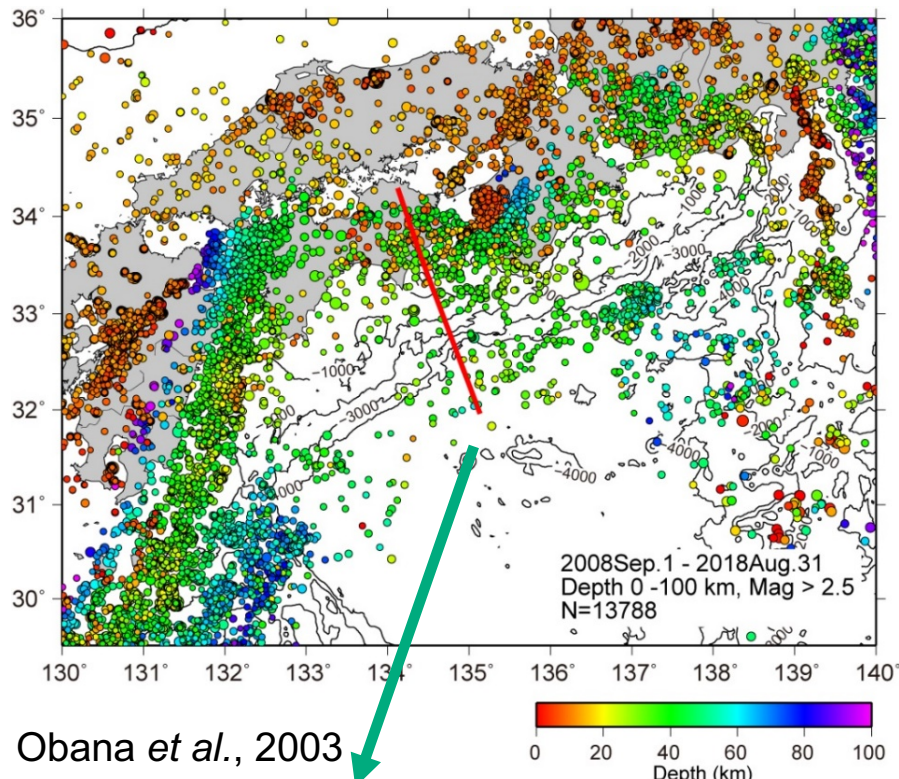


Ando 1975

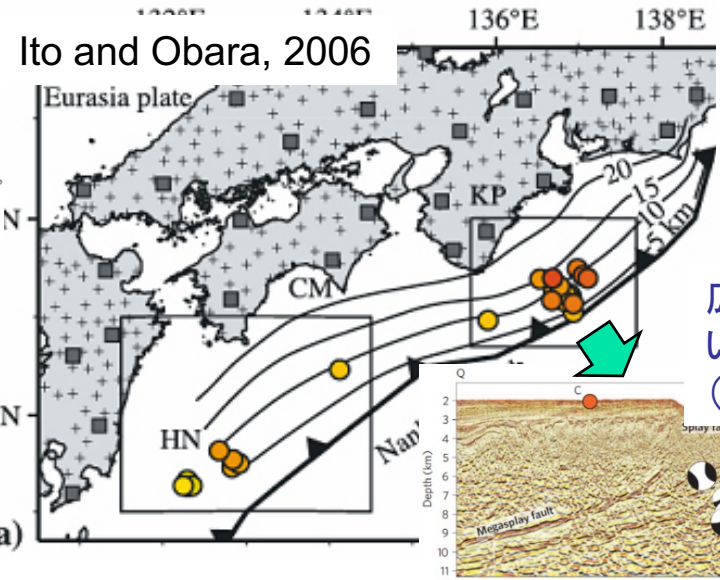
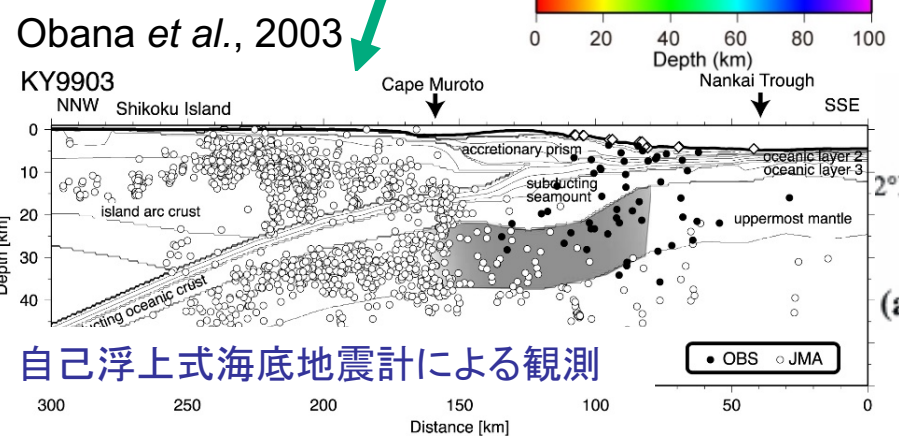


地震調査研究推進本部, 2013  
[https://www.jishin.go.jp/main/chousa/13\\_may\\_nankai/nankai2\\_shubun.pdf](https://www.jishin.go.jp/main/chousa/13_may_nankai/nankai2_shubun.pdf)

# 地震・スロー地震活動

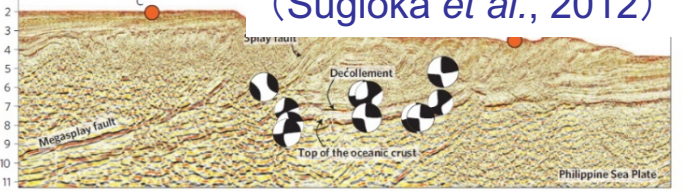


プレート境界  
深度30-40km  
でスロー地震・  
スロースリップ  
が発生



震源域周辺部における  
低周波地震活動の発  
見(陸域からの観測)

広帯域海底地震計を用  
いたメカニズム推定  
(Sugioka *et al.*, 2012)



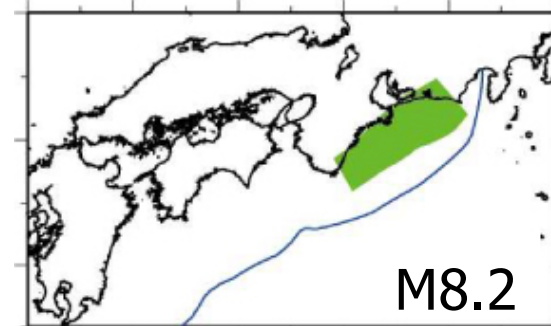
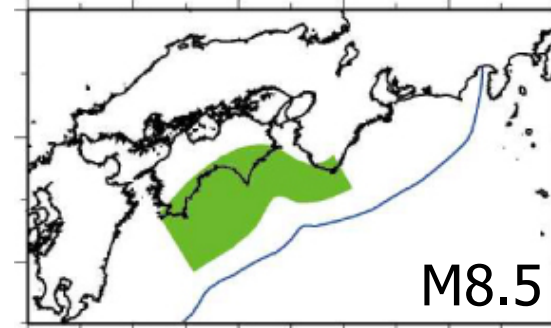
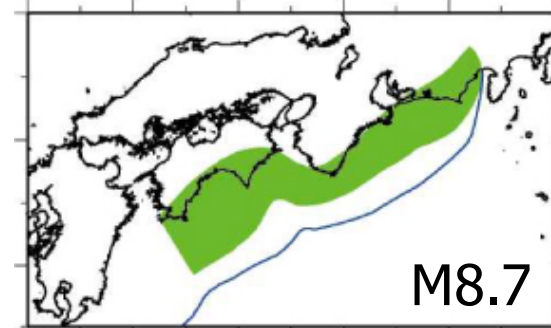
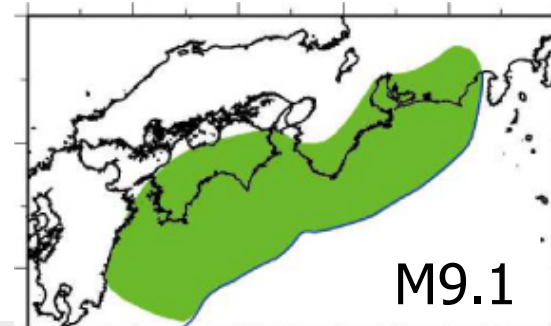
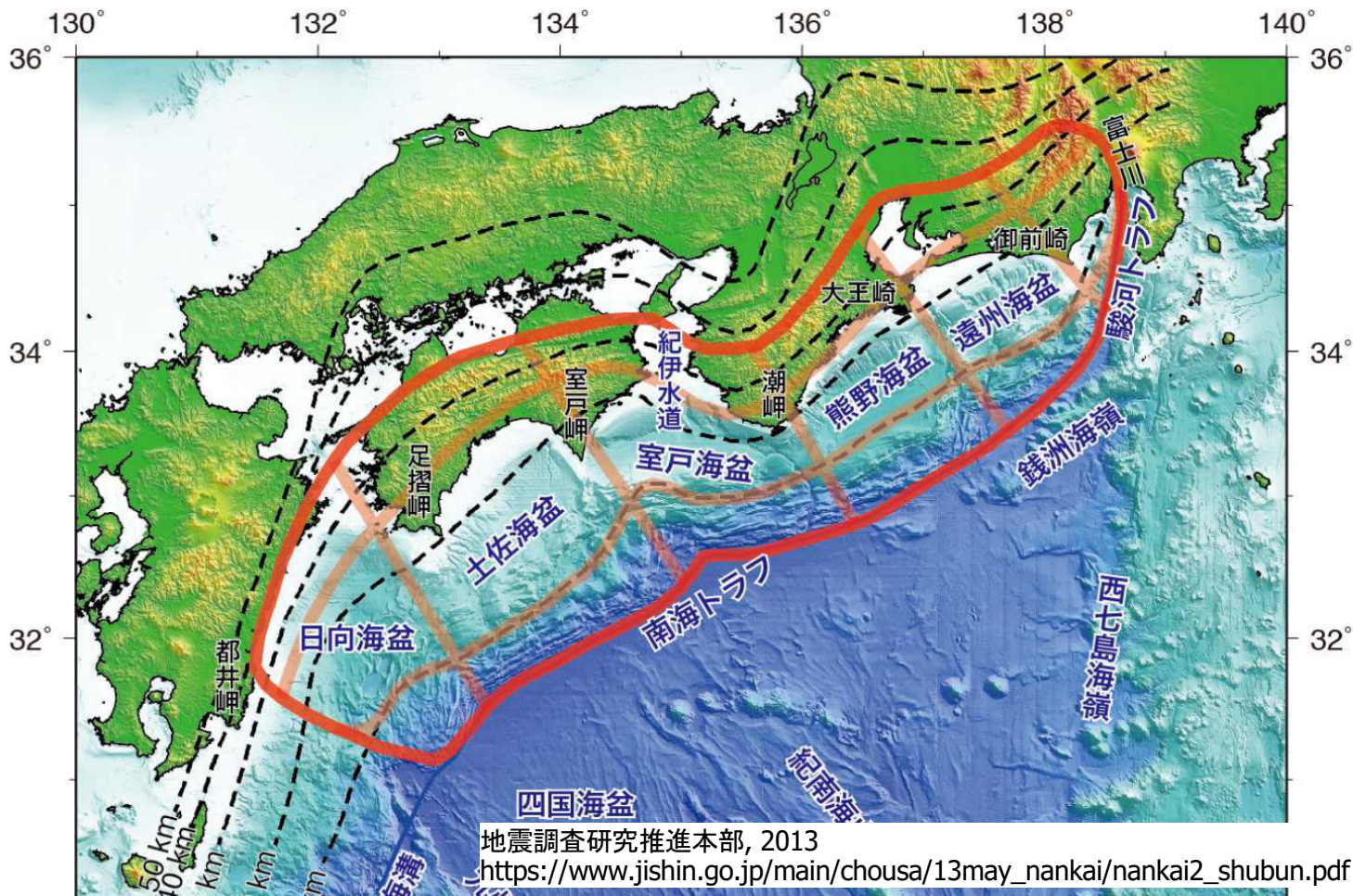
プレート境界では、地震活動が少なく、  
陸側プレート内と沈み込む海洋プレート  
内で地震が発生している

- トラフ付近の境界浅部域においても、スロー地震活動が確認された
- 空間的には不均質に発生
- トラフ付近の超低周波地震は低角逆断層解



# 南海トラフ地震発生予測

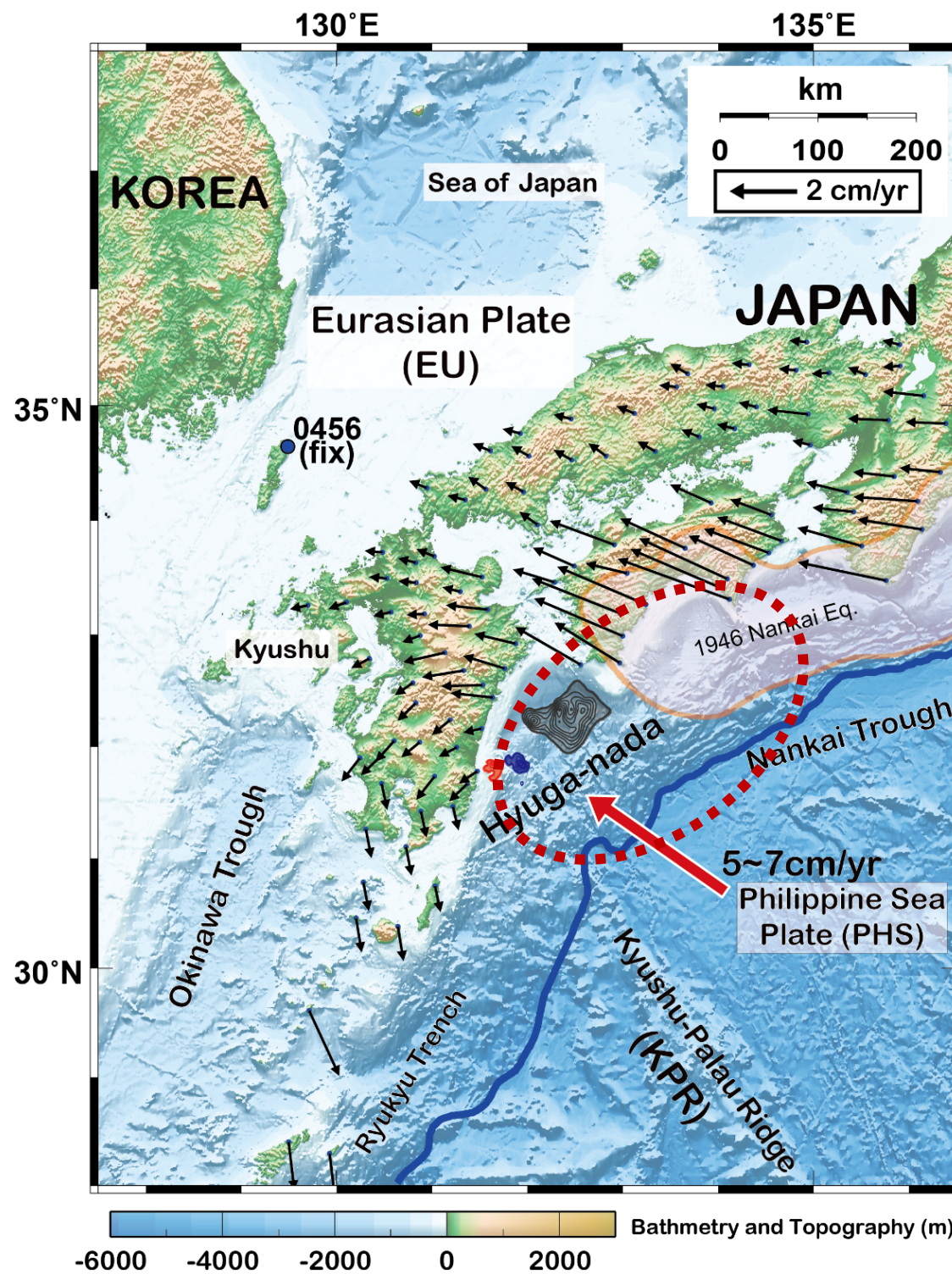
多様な発生パターン



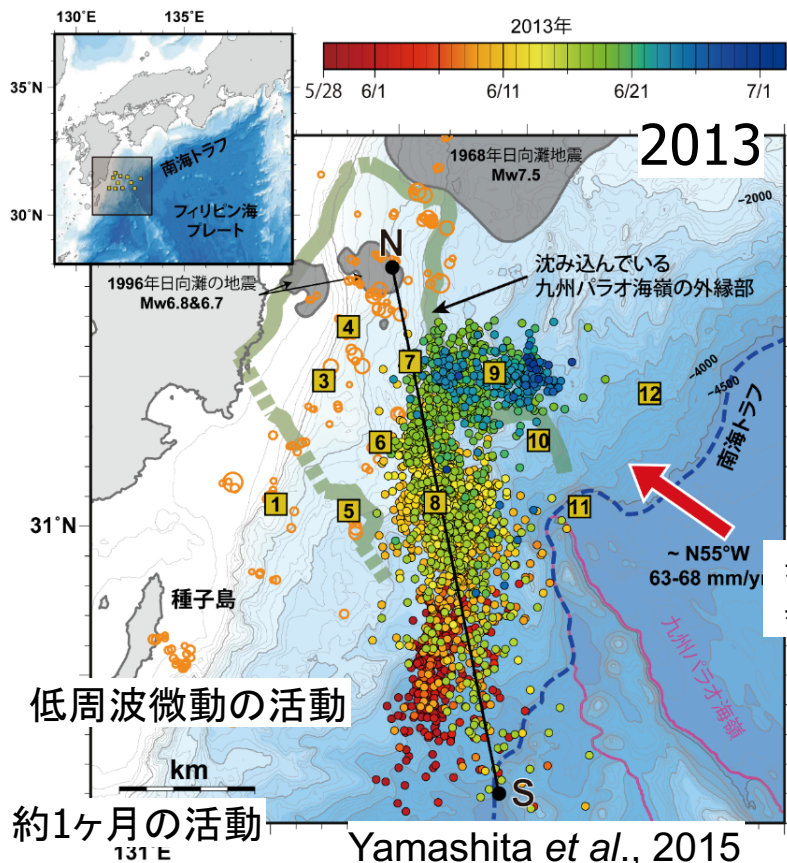
- 震源域の広がり予測することは困難
- 2領域は、時間的に近接して破壊することが多い
- これまでの繰り返し周期は90-150年、時間予測モデルからは前回の地震から次の地震まで、88.2年
- 現在前回の地震から約70年経過
- 今後30年間でM8-9の発生確率は60-70% (2013年時点)

# 南海トラフ西部

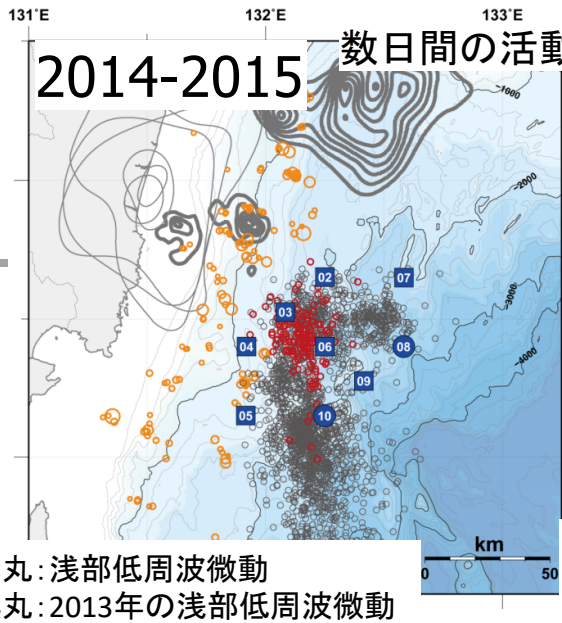
- 南海トラフの巨大地震震源域の西部及びその西方に位置する。フィリピン海プレートがユーラシアプレート下に  $\sim 7$  cm/yr で沈み込む
- 海底山脈である九州パラオ海嶺が沈み込んでいる
- 数十年間隔でM7級のプレート境界地震が発生する
- 海底下であるプレート境界浅部領域において、「スロー地震」の1つ「浅部超低周波地震」の活動が活発であり、近年自己浮上測器を用いた海域観測が実施されている



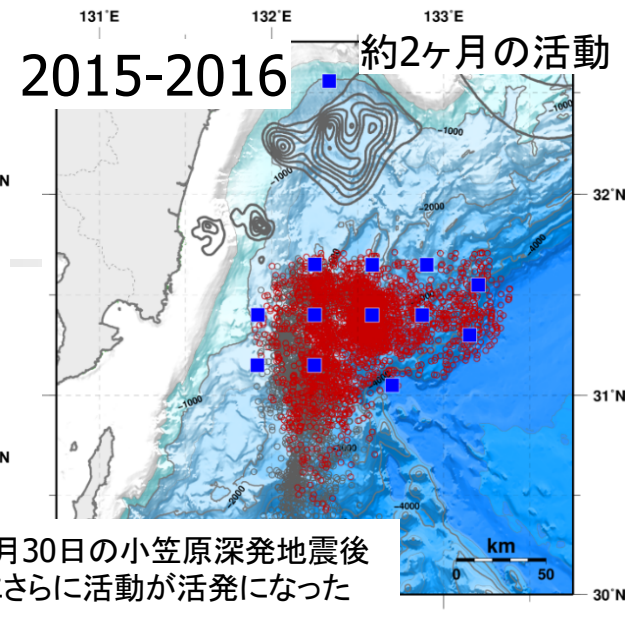
# 日向灘における活発な浅部低周波微動



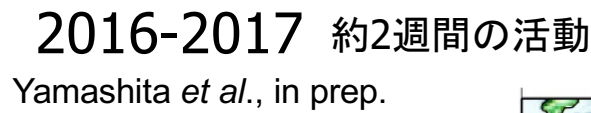
Yamashita et al., 2015



赤丸: 浅部低周波微動  
黒丸: 2013年の浅部低周波微動



5月30日の小笠原深発地震後にさらに活動が活発になった

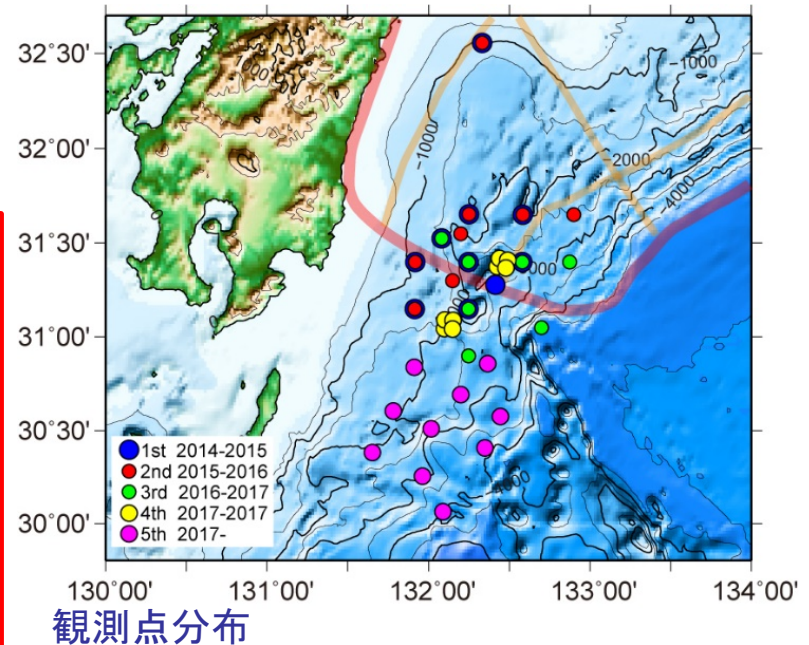


Yamashita et al., in prep.

4月14日の熊本地震により活動が励起され、2週間ほど続いた。

すべて自己浮上式海底地震計による観測

- 日向灘沖のスロー地震活動の時空間分布
  - 1年間にほぼ1回程度の活動頻度である
  - 1回の活動期間は数日から数ヶ月
  - 低周波微動の活動域はほぼ同じ領域である。活動期間が長いと、活動域が広がる傾向がある
  - 遠方の大地震に活動が励起される傾向がある
  - 活動域は想定震源域の端にあたる

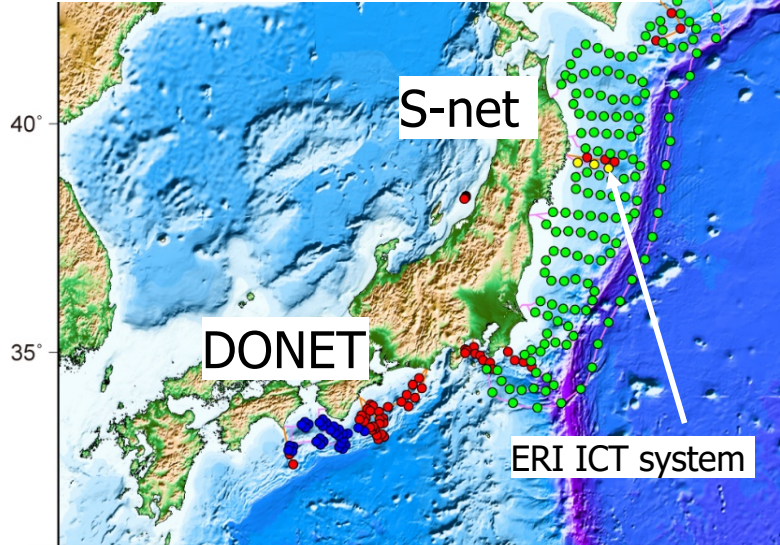


# 南海トラフ地震震源域における定常海底観測

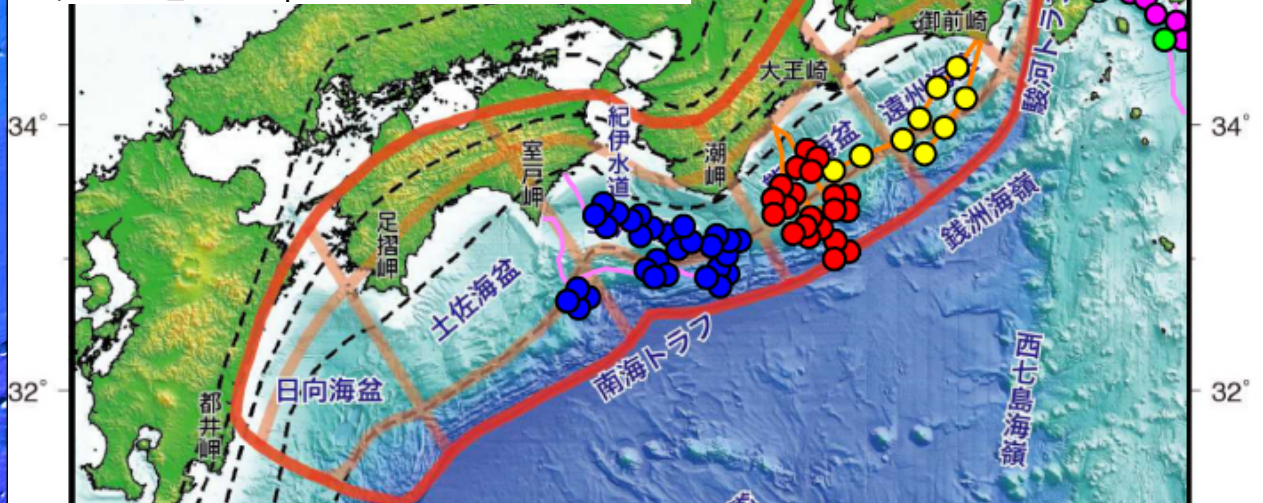
海域におけるリアルタイム定常観測網の必要性

- 大地震発生 の 早期検出 及び 津波 の 発生状況 の 即時把握
- 地震発生予測のためのモニタリング観測(地震および地殻変動)

現在の日本周辺における海底観測網



地震調査研究推進本部, 2013に加筆  
[https://www.jishin.go.jp/main/chousa/13may\\_nankai/nankai2\\_shubun.pdf](https://www.jishin.go.jp/main/chousa/13may_nankai/nankai2_shubun.pdf)



- 想定南海トラフ地震の震源域内東部には、気象庁東海・東南海沖ケーブル式観測システム及びDONETが常時観測を実施
- 想定震源域内西部には定常観測は整備されていない

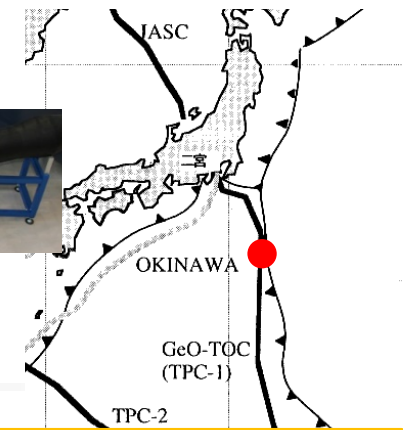
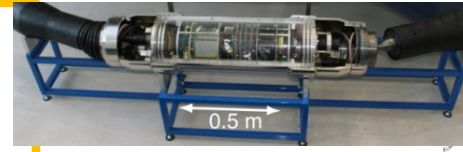
地震調査研究推進本部政策委員会 調査観測計画部会 海域観測に関する検討ワーキンググループにより、震源域西部の定常観測網について検討

- 平成28年11月より、現在(平成30年9月)までに11回開催
  - 防災の観点から広範囲かつ空間的に均等
  - ケーブル設置後のセンサー追加や観測パラメータ変更に対応



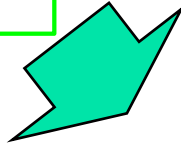
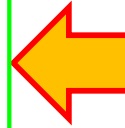
# ケーブル式海底地震津波観測システム

- 電信電話技術によるデータ伝送・部品レベルでの信頼性確保・同軸銅線(アナログ)(第1世代)
  - 1980年代より
  - 通信海底ケーブル技術を全面的に利用
  - 気象庁房総沖・御前崎沖、TPC1



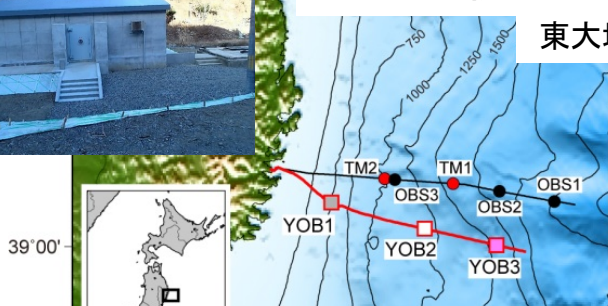
- 電信電話技術によるデータ伝送・部品レベルでの信頼性確保・光ファイバー(デジタル)(第2世代)
  - 光ファイバー利用による容量拡大・通信安定性
  - 1993年地震研伊豆半島沖ケーブルが最初
  - 現在主流の海底ケーブル観測システム
  - 高度化・大規模化が進展中

- 伊豆半島東方沖システム(1993)
  - 光ファイバーを用いた日本では最初のデジタルシステム
- 釜石沖システム(1996)
  - 最初の光ファイバー地震津波観測システム



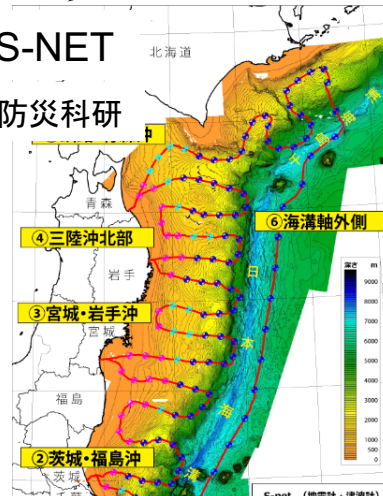
## 釜石沖新システム

東大地震研



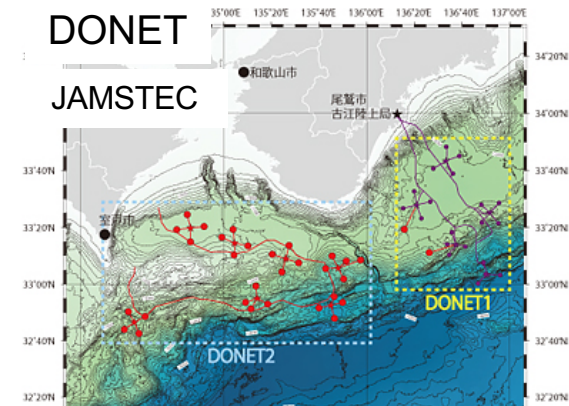
- インターネット技術によるデータ伝送・冗長構成による高信頼性確保
  - コストおよび設置後の状況変化を考慮し、より大規模展開をめざしたソフトウェアベースのシステム

## S-NET 防災科研



- 大規模インライン式による広域展開

## DONET JAMSTEC



- ノードによる拡張性
- ROVによるケーブル展開

# 地震・津波観測監視システム (DONET) 概要

海溝型地震震源域におけるリアルタイムモニタリングシステム

Dense Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis: DONET

## ①地震津波の早期検知・評価

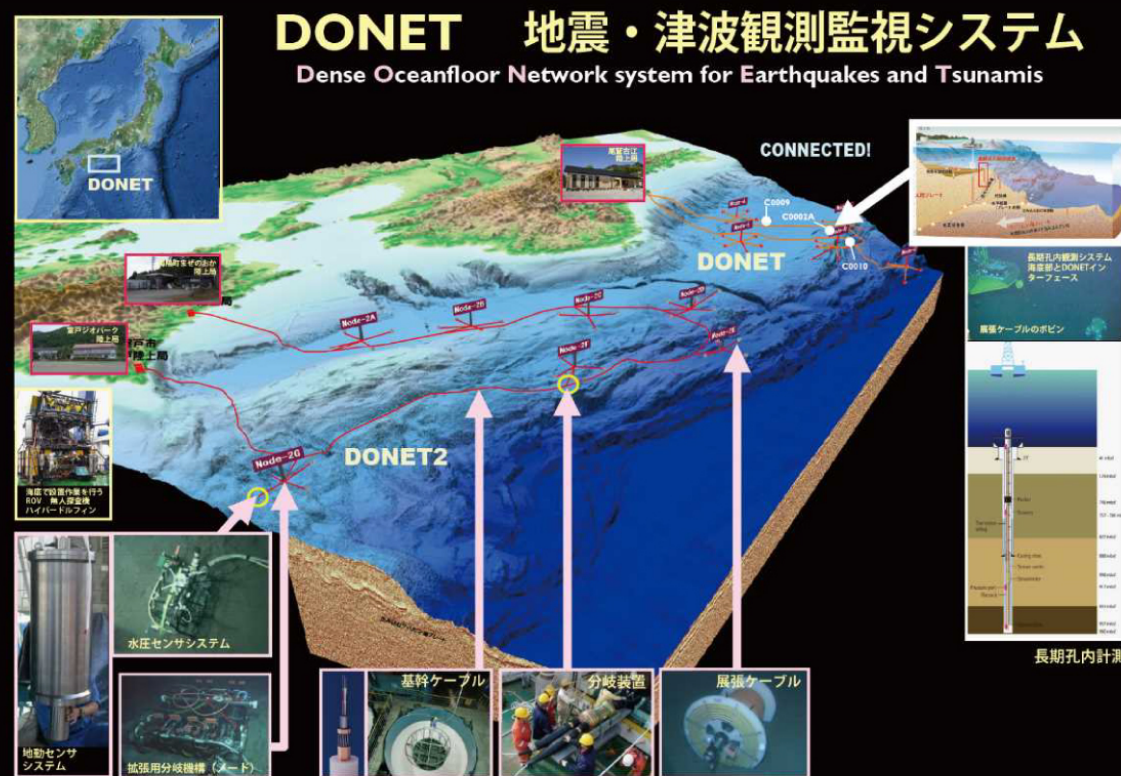
いち早く地震・津波をキャッチし、緊急地震速報・津波警報の高度化に貢献。

## ②地震発生予測モデルの高精度化

震源域の常時観測データを用いて、南海トラフ巨大地震発生予測の高精度化を図る。

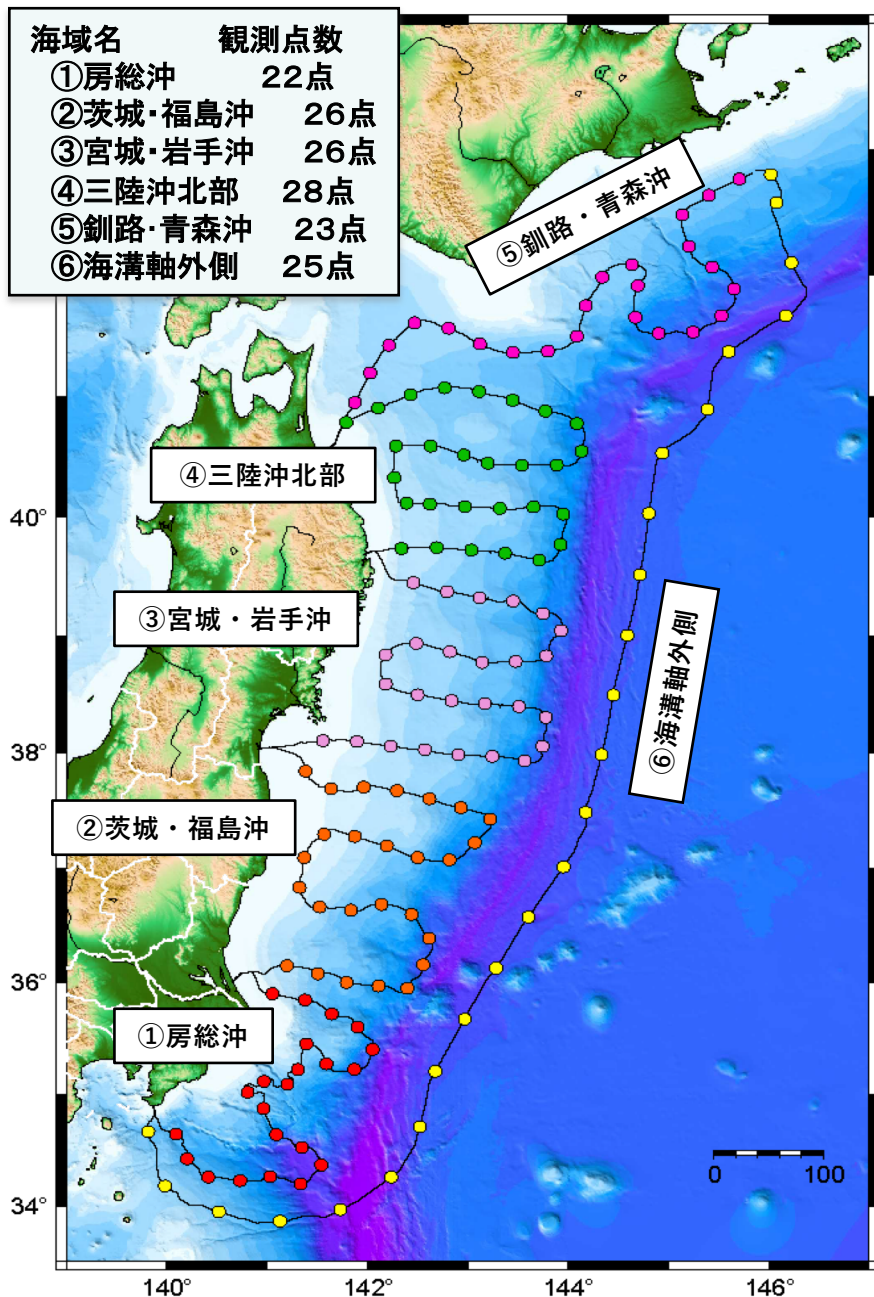
## ③最先端の海底観測技術の開発

世界初の高精度で高密度な観測を実施。また、冗長性を持ったケーブル展開、拡張機能を持った分岐装置等の先進技術を装備。



DONET は 51ヶ所の観測点、ケーブル総延長約 700kmから構成されるリアルタイムネットワーク。

# 日本海溝海底地震津波観測網(S-net)整備事業概要



- 地震・津波に関する正確な情報の迅速な提供や、海域で発生する地震メカニズムの解明を目的として、海域において地震・津波を直接観測することが可能となる、ケーブル式観測網(地震計・水圧計)を日本海溝沿いに整備する。
- 本事業は、平成23年度より、防災科学技術研究所が実施(文部科学省補助金)。

150観測点(地震計と海底水圧計を装備)を、5,500kmの海底光ケーブルにより陸上と結び、リアルタイムで観測

世界初の広域・多点のリアルタイム海底観測網

6海域に分けて整備

- ケーブル切断等の耐障害性を高めるため。
- 観測装置の耐電圧の制約 → 観測装置の台数が増えると給電圧が高くなるため。
- 光波長多重通信における波長の制約 → 1本当たりの最大観測装置台数 6波長×5ファイバペア=30台

観測点の間隔は

ほぼ東西方向 30km間隔

ほぼ南北方向 50-60km間隔

マグニチュード7.5クラスの震源域程度の拡がりに少なくとも1観測点が存在するよう観測網を構築。

# ICTを用いたケーブル式観測システム

## - 広域・高密度・柔軟性をめざして -

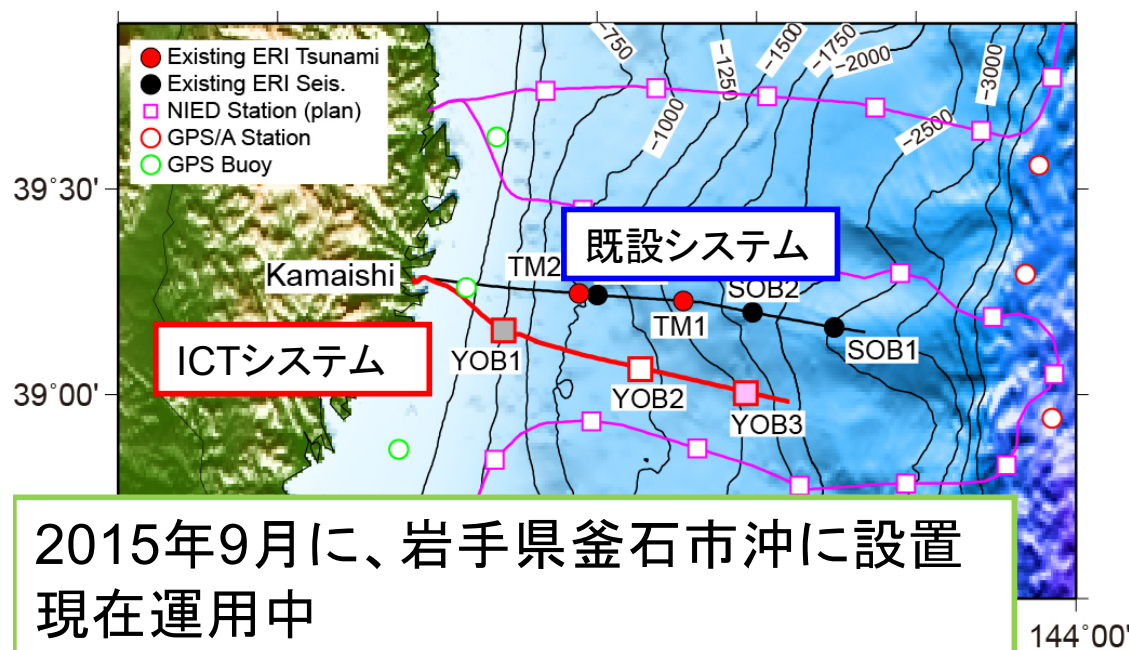
- 広域に展開
- より空間的に高密度な観測網
- メンテナンス性・拡張性



- システム全体のコストダウン
- 多数の観測点が接続可能
- 拡張ポートや計測の変更可能

- コストおよび設置の迅速性を考慮し、インライン式を採用
- 小型化とともに汎用技術を用いるが、信頼性は下げない
- ソフトウェアベースのシステムとして、設置後の状況変化にも対応

### 最新エレクトロニクス技術・ICT技術の導入



#### ICT導入の利点

- 小型化・低コスト化
- TCP/IPアクセス・UNIX搭載
- ソフトウェアアップグレード可能
- メンテナンス性の向上

#### システムの信頼性確保

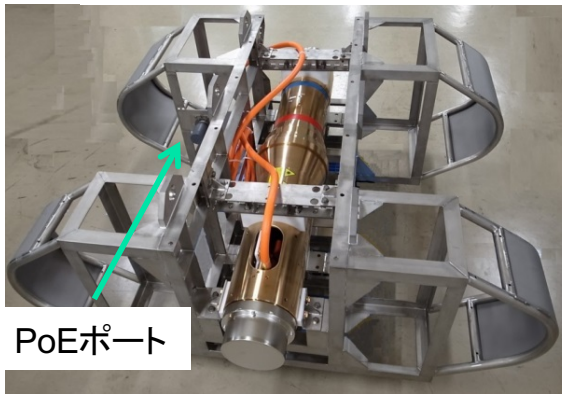
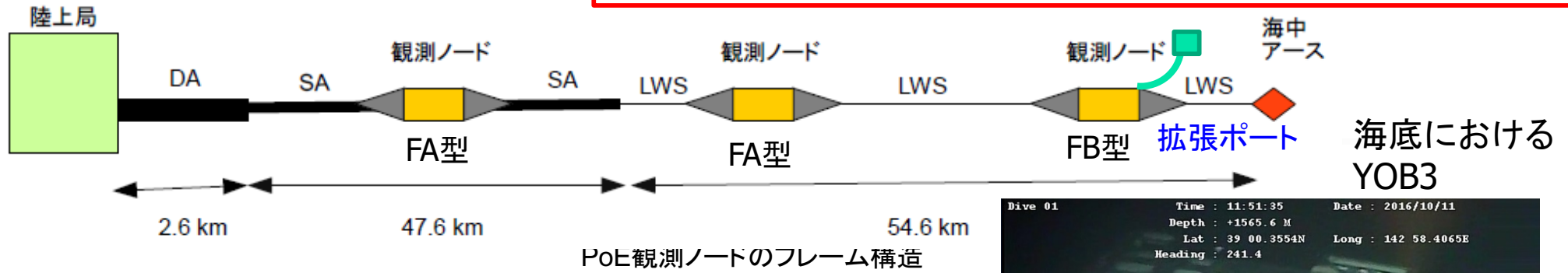
- 通信路および構成要素の冗長化
- システムの詳細な監視

# 釜石沖ICTシステム

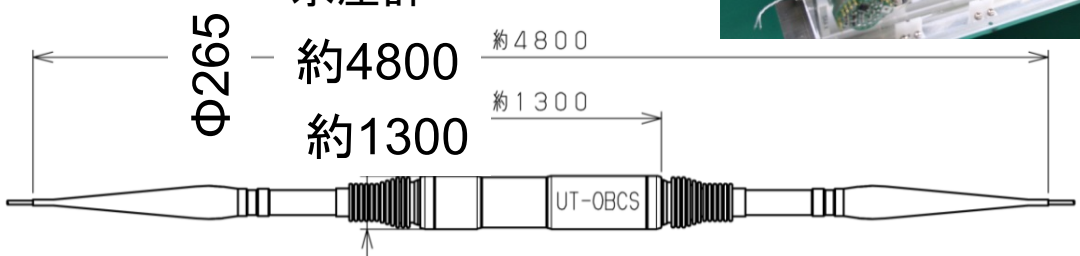
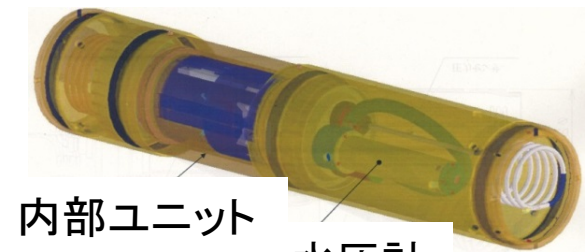
光海底ケーブル総長105km

## 観測センサー

- 3成分加速度計(すべてのノードに装備)
- 高精度水圧計(FA型)または、PoEポート(FB型)



デジタル出力水圧計をPoEポートに取り付けた状態で敷設



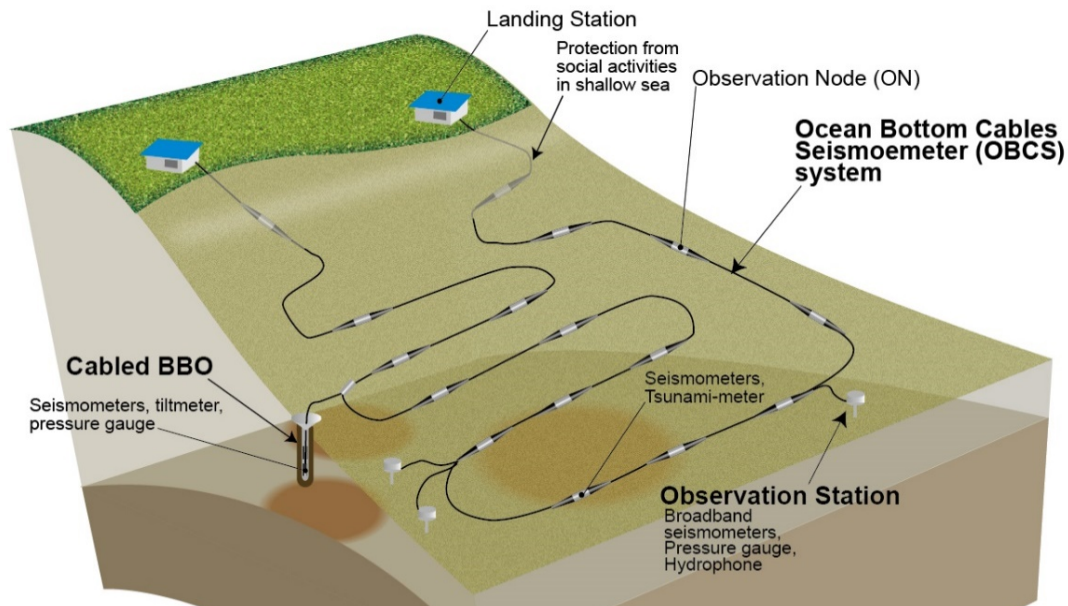
- ### 観測ノード筐体の新設計
- 中継器用規格化筐体を利用
  - 溶接封止の導入
  - フィードスルー方式の導入
  - 精密圧力計またはUMCの搭載

# 日向灘へ設置する次期システムのコンセプト

- 防災的な観点と、地震発生予測研究の観点からの観測項目と観測網
- これまでに展開された各システムの長所を活かした観測システム

## ■ インライン+ノードシステム

- 観測範囲および設置コストなどを考慮して、インラインシステムをベースとする
- ノード(拡張用分岐装置)を装備して、拡張性を確保する



## 整備するシステム

- 信頼性・拡張性の確保と低コスト化

国立研究開発法人 防災科学技術研究所 を中心として、システム構築・設置を検討・実施

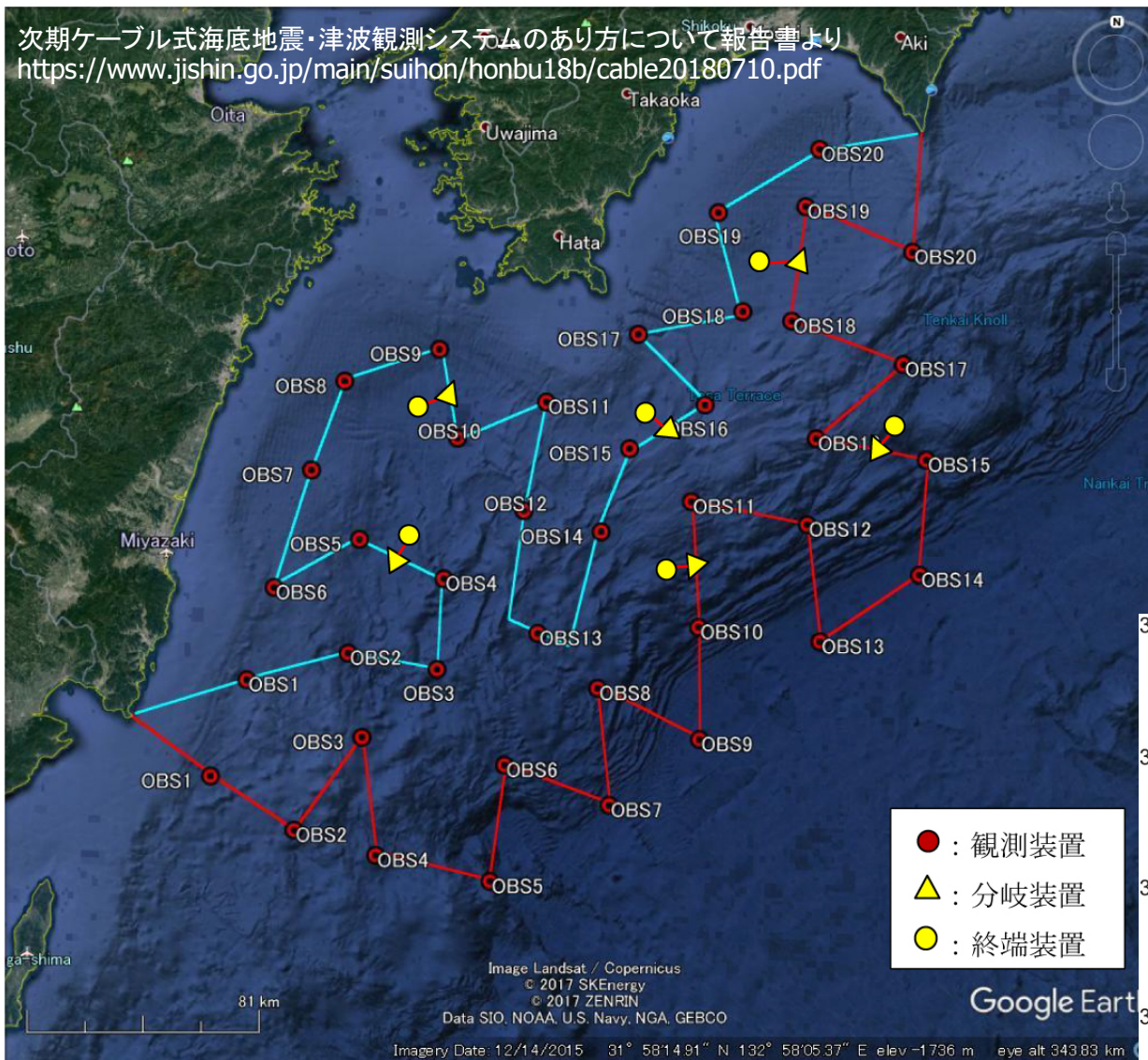
## インラインシステムの利点

- 広域に均等な展開が可能
- 設置コストが低く、迅速な設置が可能
- 設置後に速やかに観測を開始
- 埋設により、浅海部まで観測点の配置が可能

## ノードシステムの利点

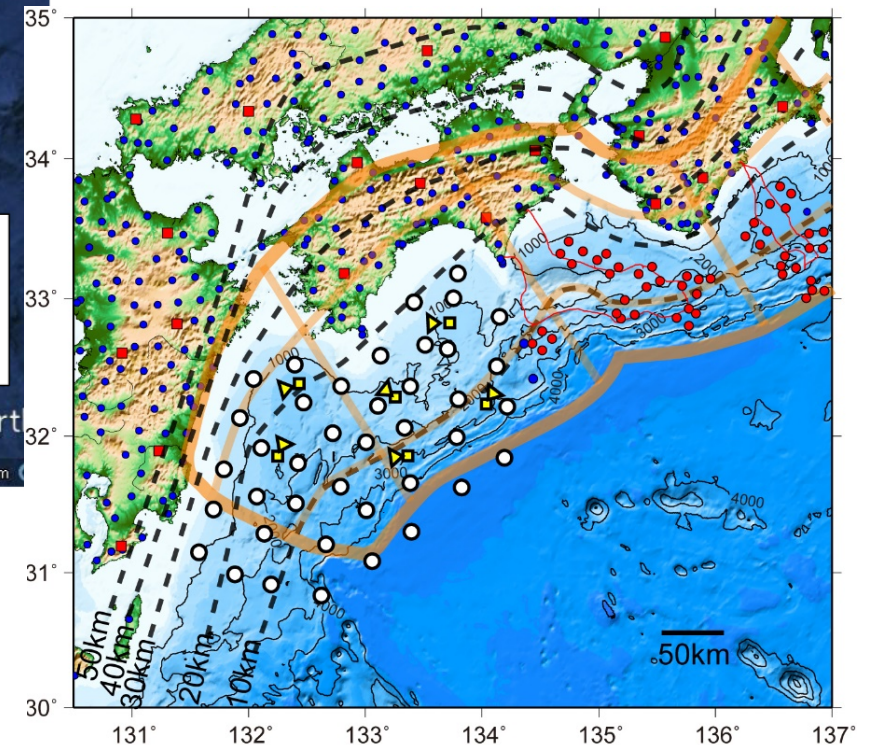
- ケーブル設置後に観測装置の設置・追加が可能
- 設置との同時展開が難しいセンサーを接続

# 次期システムの設置案例



- 40インライン観測点およびノード(分岐装置)6点
- 2箇所の陸揚げ点と2つのサブシステム
- インライン観測点には、地震計と水圧計を装備

- インライン観測点により想定南海地震震源域の西部をほぼ均等にカバーする
- 大きな津波を発生する恐れがあるM7クラス地震の震源域に観測点があることをこう書いて、観測点観測約40km間隔
- ノード(拡張用分岐装置)は、主に地殻変動観測を考慮して、設置位置を決定



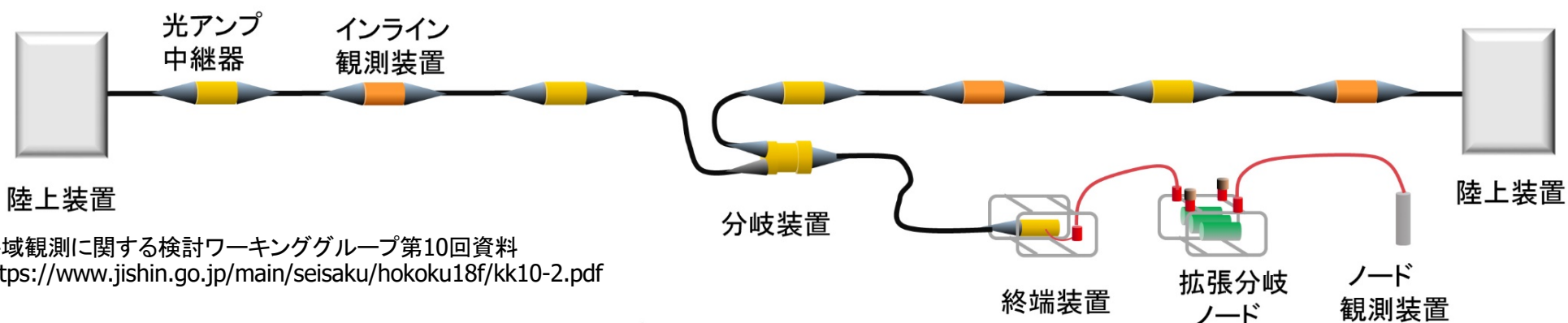
# 次期システムの構成

## ■ インライン観測点

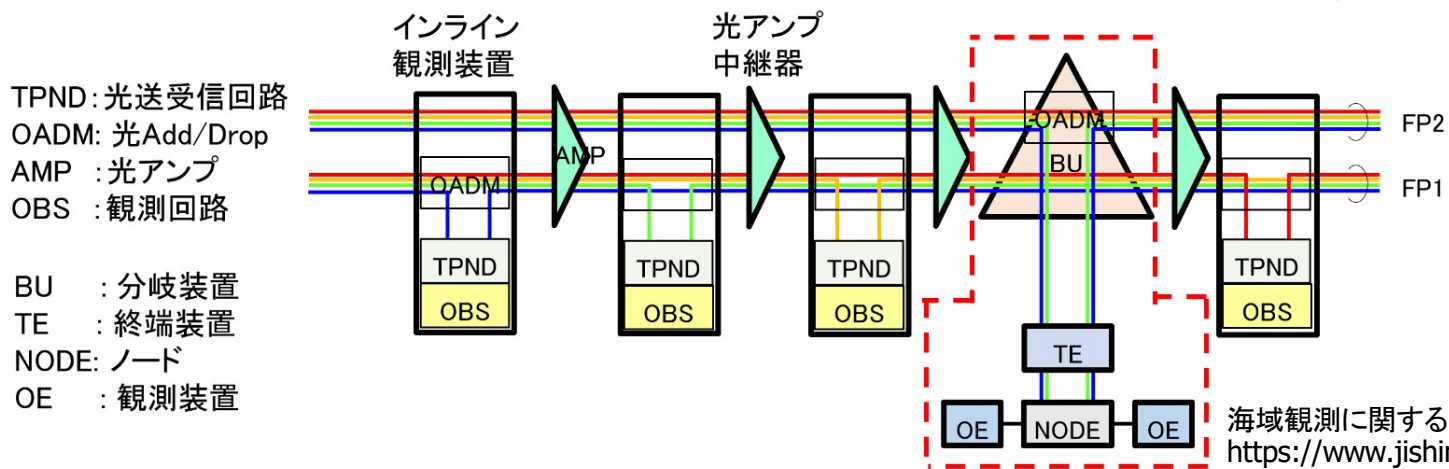
- S-netの観測ノードをベースとするが、以下の改良・変更を考慮
  - 配置の自由度拡大および筐体のサイズ縮小のために光アンプと観測装置を分離する
  - 観測ノード筐体の海底における回転を極力避ける装置を導入する
  - ICT化およびソフトウェアベースシステム化をできるだけ図る
  - 陸上装置の小型化、低コスト化

## ■ ノード(拡張用分岐装置)

- DONETの分岐装置を採用する方針とし、開発要素をできるだけ減らし、低コスト化



海域観測に関する検討ワーキンググループ第10回資料  
<https://www.jishin.go.jp/main/seisaku/hokoku18f/kk10-2.pdf>



海域観測に関する検討ワーキンググループ第10回資料  
<https://www.jishin.go.jp/main/seisaku/hokoku18f/kk10-2.pdf> 16

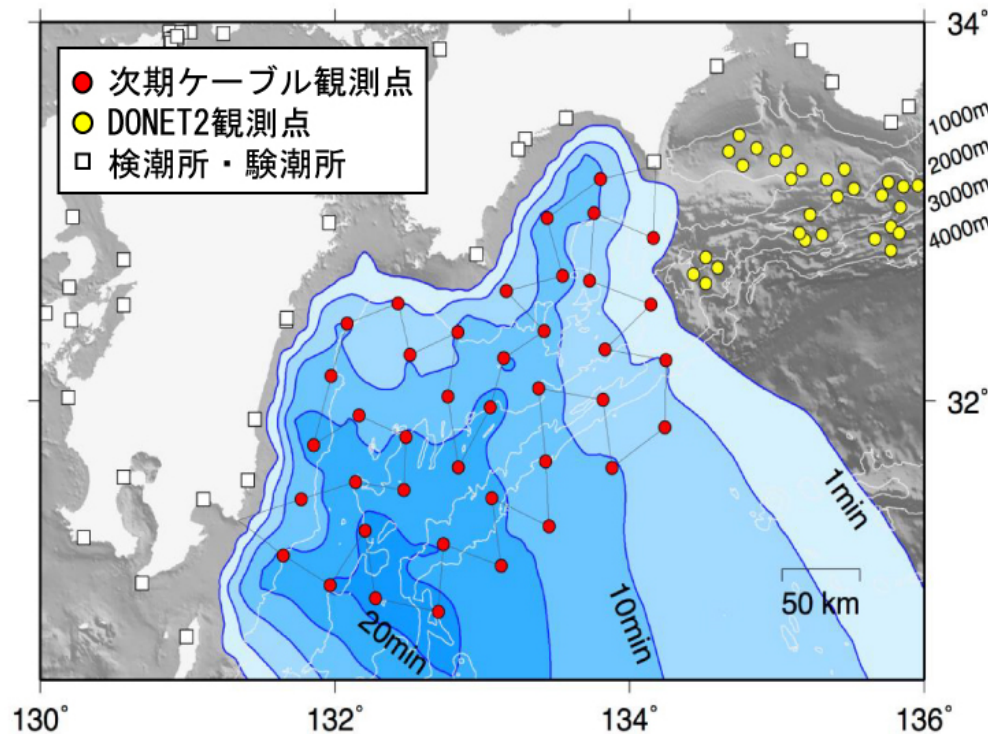


# 地震・津波検知時間短縮への貢献

次期ケーブルの整備による地震波と津波を検知するまでの時間の短縮(=猶予時間の増大)

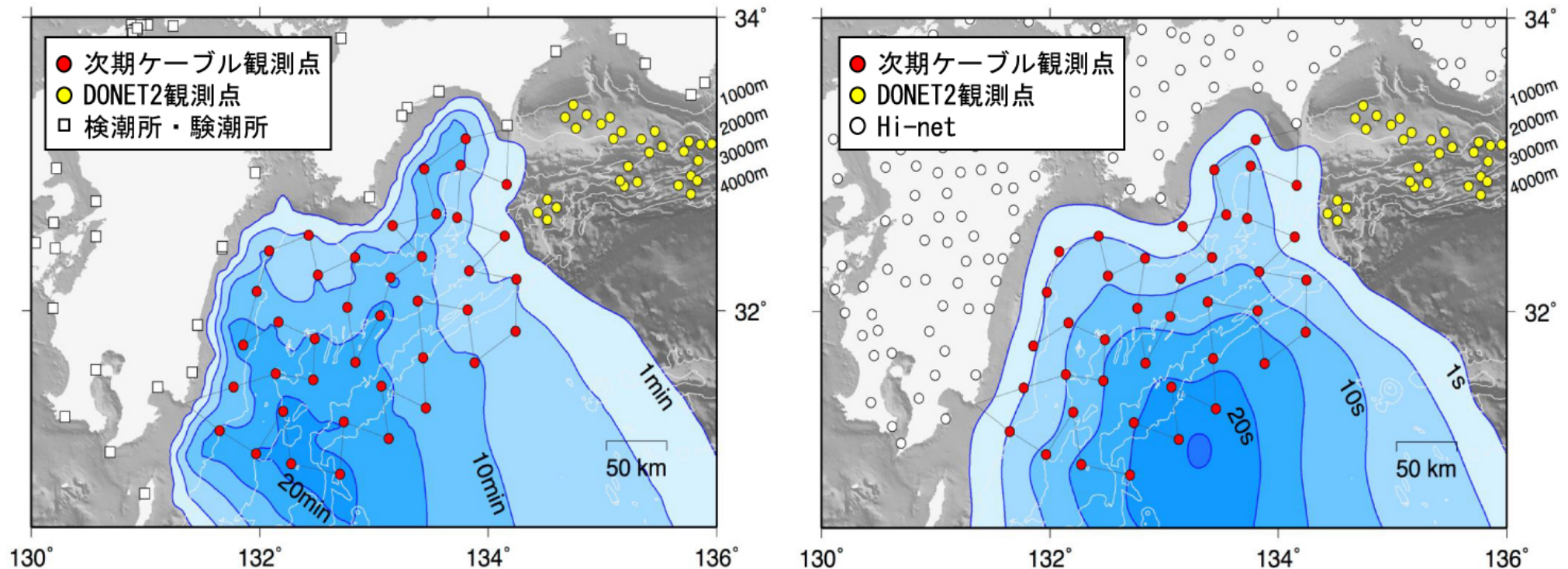
## 津波

最大20分程早く検知して  
実測値の情報を発信



## 地震動

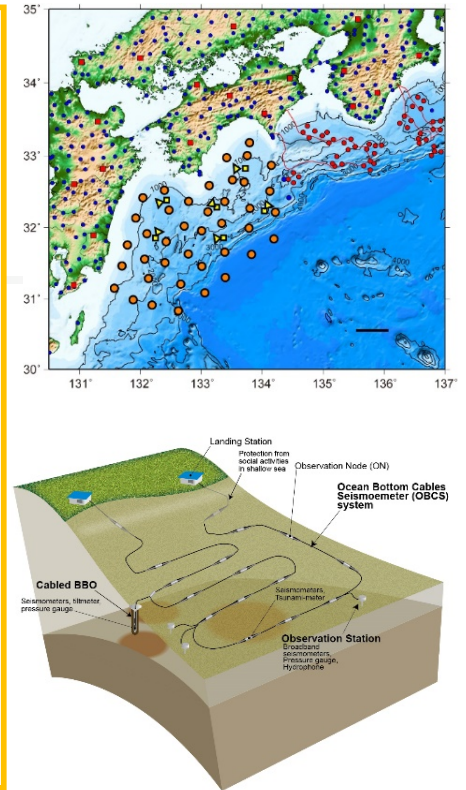
最大20秒程度早く検知して  
緊急地震速報などに活用



注: 暫定値ですので今後の検討により修正される可能性があります。

# まとめ

- 南海トラフでは、今後大きな地震発生が予想されている
- 地震発生時の緊急対策および地震発生予測研究のためには、想定震源域直上である海底における地震及び地殻変動のリアルタイム定常観測が必要である
- 南海トラフ地震震源域西部である高知沖から宮崎沖にかけては、リアルタイム定常観測網がなく設置が望まれており、検討が始まっている
- 設置するシステムは、観測目的を達成するために、インライン方式と拡張ノード方式をハイブリッドしたシステムが提案されている



## 今後のデータ解析技術開発

- 海陸データを統合して、正確な震源、震源解を迅速に求める技術開発
- 津波のリアルタイム監視・即時予測を行う解析技術開発
- 即時でなくてもよいが、リアルタイム性を生かした解析技術の開発も、学術としては、重要

## 今後の観測システム開発

- 広帯域かつ、空間的に高密度に観測できる低コストのシステム
- 日本周辺におけるさらなる観測網の充実が期待される