

大学が整備した ケーブル式海底地震・津波 観測システムと次期システム



篠原雅尚

東京大学地震研究所

地震調査研究推進本部政策委員会

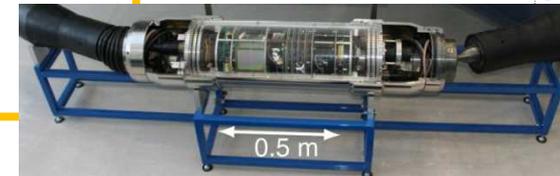
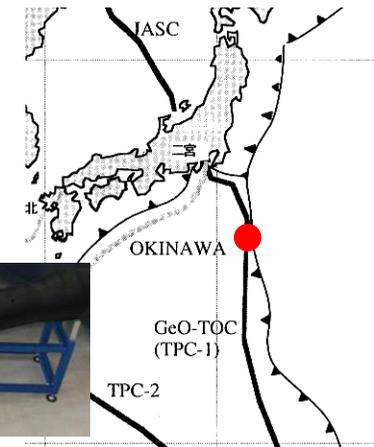
調査観測計画部会

第1回海域観測に関する検討WG

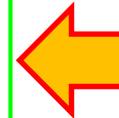
平成28年11月25日

ケーブル式海底地震津波観測システム

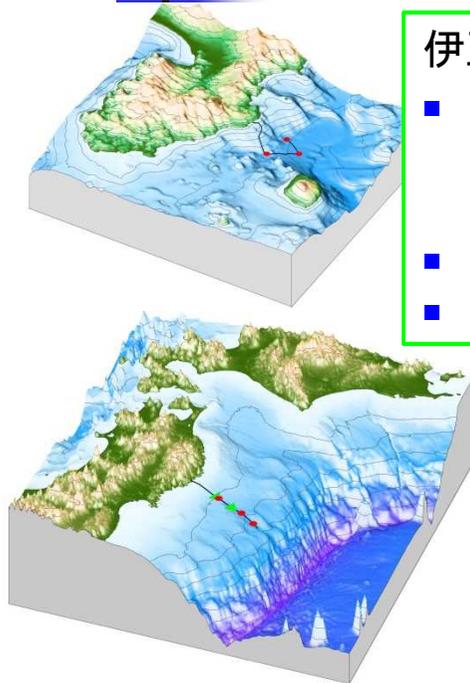
- 電信電話技術によるデータ伝送・部品レベルでの信頼性確保・同軸銅線(アナログ)(第1世代)
 - 1980年代より
 - 通信海底ケーブル技術を全面的に利用
 - 気象庁房総沖・御前崎沖、TPC1



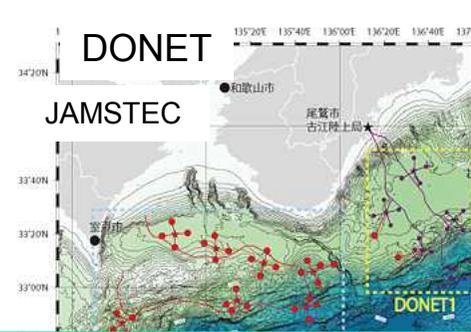
- ### 伊豆半島東方沖システム
- 光ファイバーを用いた日本では最初のデジタルシステム
 - 1993年に設置
 - センサーは地震計



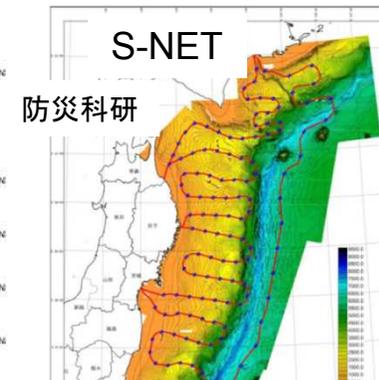
- 電信電話技術によるデータ伝送・部品レベルでの信頼性確保・光ファイバー(デジタル)(第2世代)
 - 光ファイバー利用による容量拡大・通信安定性
 - 1993年地震研伊豆半島沖ケーブルが最初
 - 現在主流の海底ケーブル観測システム
 - DONETやS-NETによる大規模化



- ### 釜石沖システム
- 光ファイバーを用いた地震津波観測システム
 - 1996年に設置
 - 東北沖地震の解明に寄与したが、津波により、陸上局が被災、復旧



- 基幹ケーブルは第2世代システム
- ノードによる拡張性
- ROVによるケーブル展開



- 第2世代システム
- インライン式による広域展開

地震研究所が新規開発したケーブル式観測システムのコンセプト - 広域・高密度・柔軟性 -

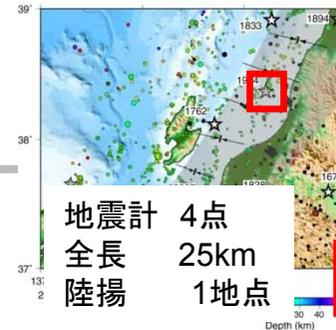
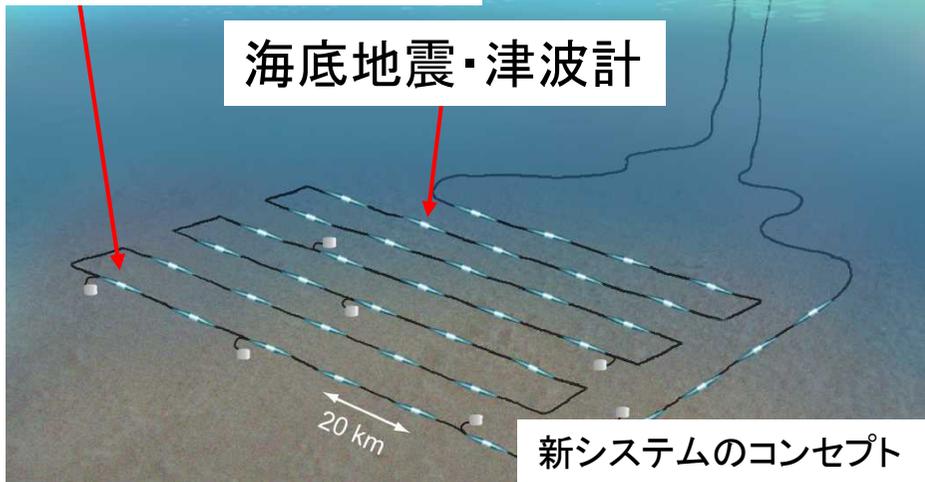


第3世代システムをめざして

地震計+拡張ポート

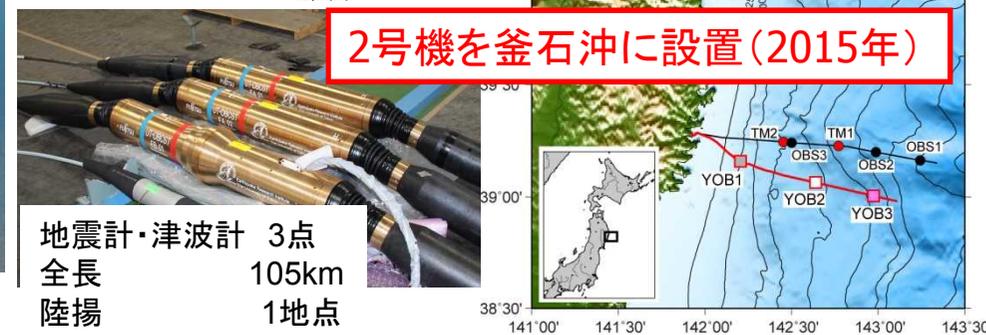
Landing Station Data Center

海底地震・津波計



1号機を日本海に設置(2010年)

2号機を釜石沖に設置(2015年)



- 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



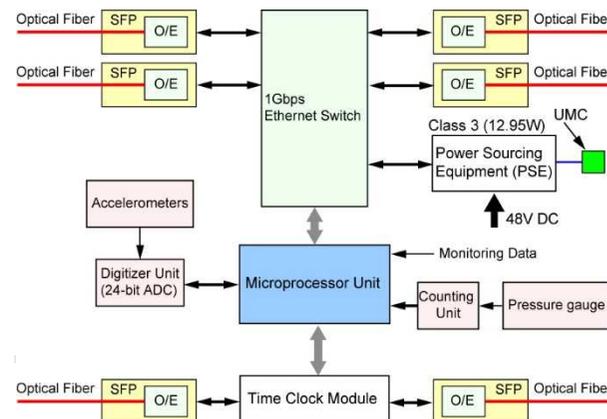
- システム全体のコストダウン
- 多数の観測点が接続可能
- 拡張ポートや計測の変更可能

- 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

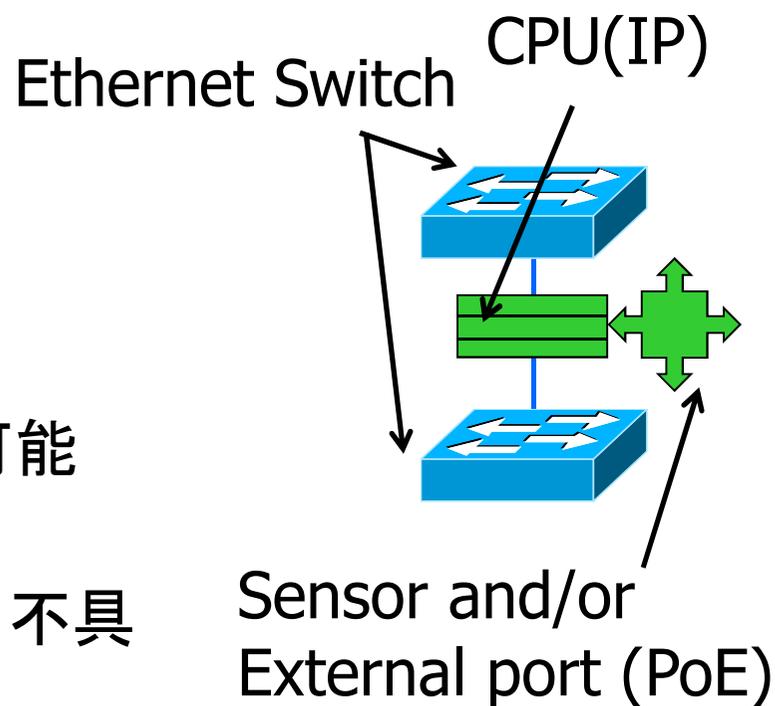
最新エレクトロニクス技術・ICT技術の導入

ICT導入の利点

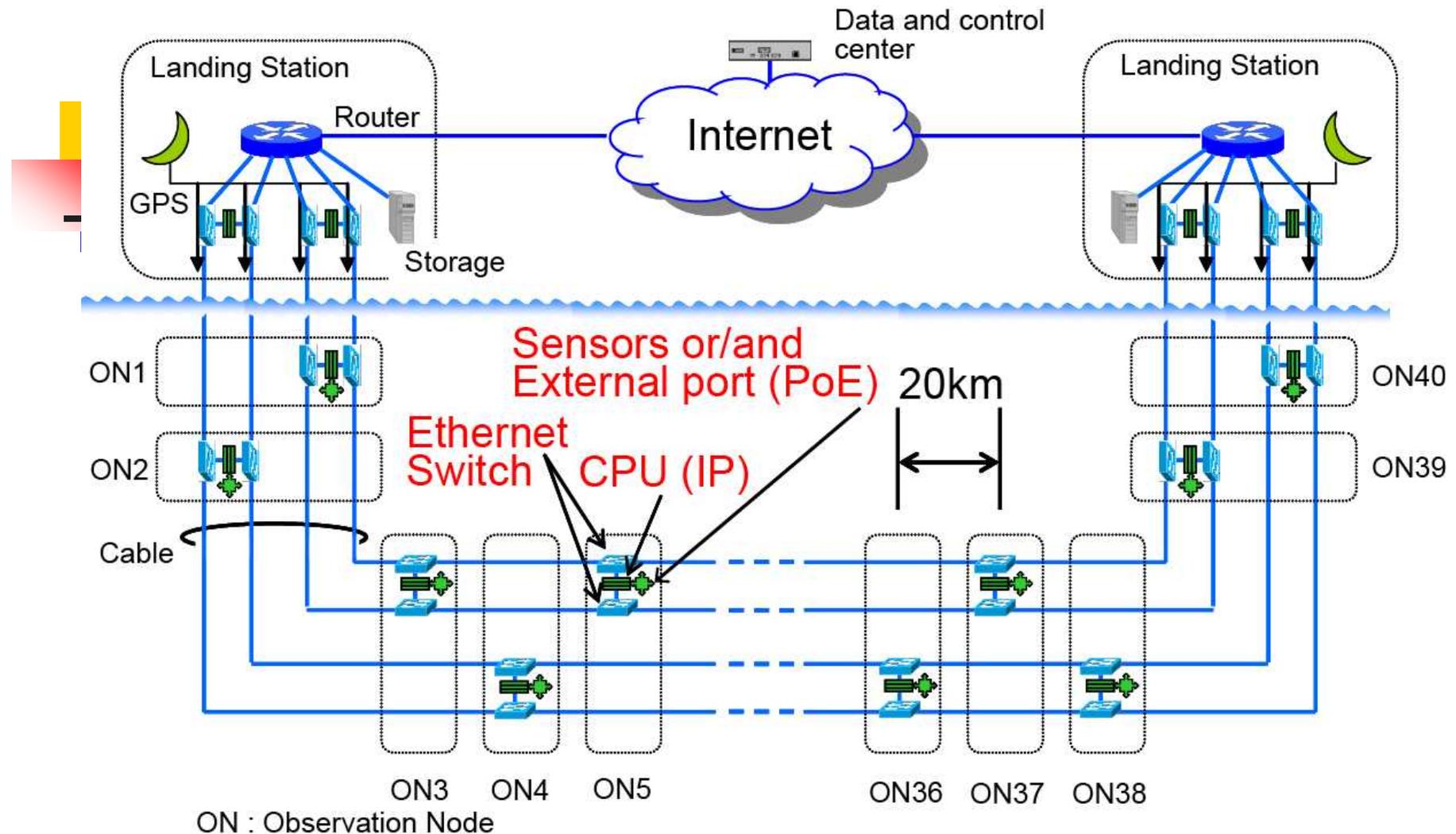
- 小型化
 - ハードウェアの処理を、ソフトウェアにより実現することで可能
 - 設置時の損傷リスク回避
- 低コスト化
 - CPUとLSIにより、回路とパーツ数を削減
 - 冗長構成で信頼性を確保する
- IPアクセス
 - 観測ノードとの様々な通信が可能
 - 冗長構成が容易
 - 拡張ポートの装備も容易
- ソフトウェアアップグレード可能
 - 観測パラメータを変更することが可能
- 容易なメンテナンス
 - ソフトウェアで観測ノードを監視し、不具合回避対応が可能



マイクロプロセッサとFGPA
を、観測ノードに導入



ICTを用いたケーブルシステムの構成

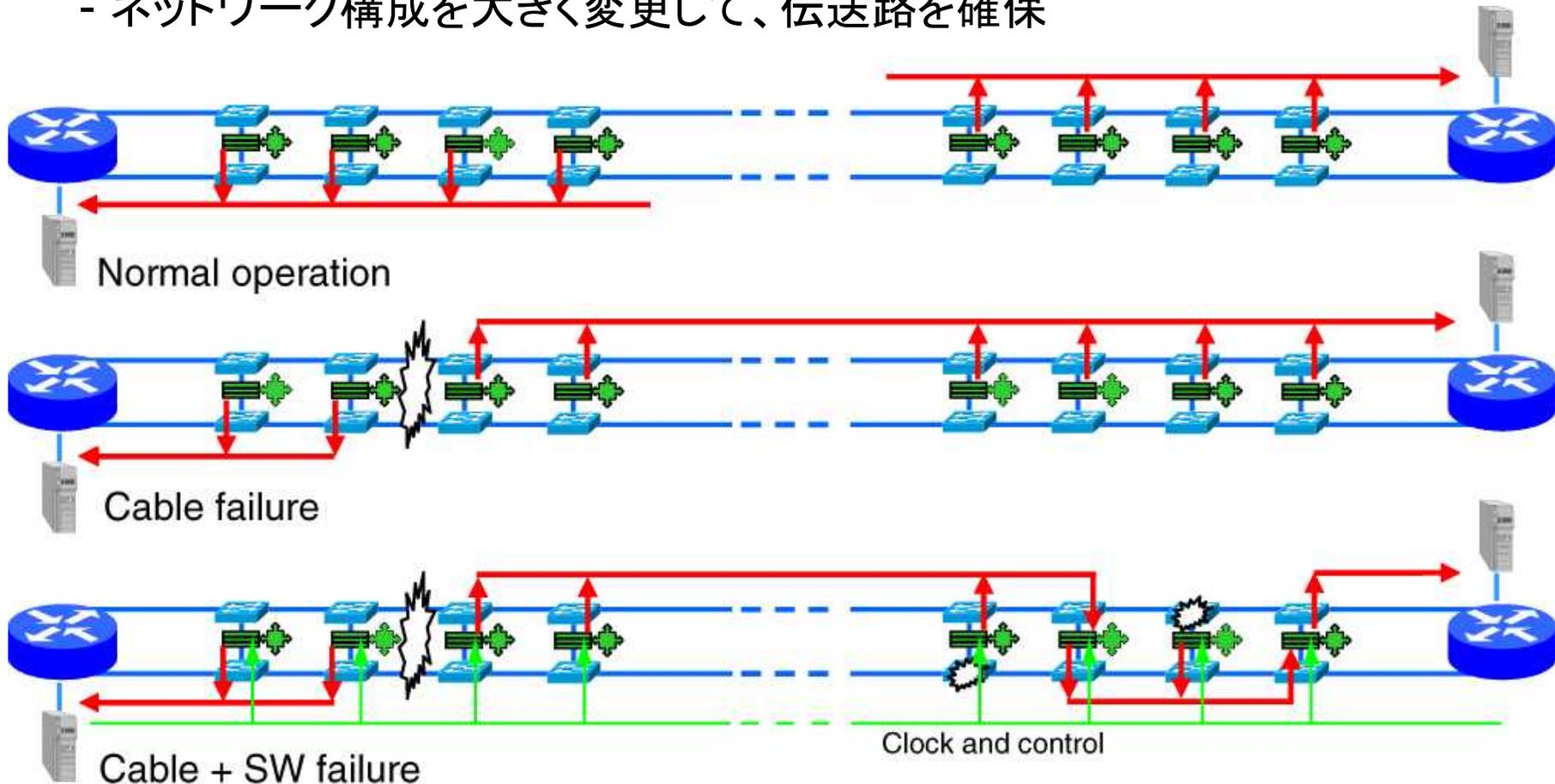


システムの信頼性確保とコストパフォーマンスの向上

1. リング構成のイーサネットワーク
2. 2重リング構成により40台以上の観測ノードを接続可能
3. 観測ノードの制御にソフトウェア (UNIX) を導入

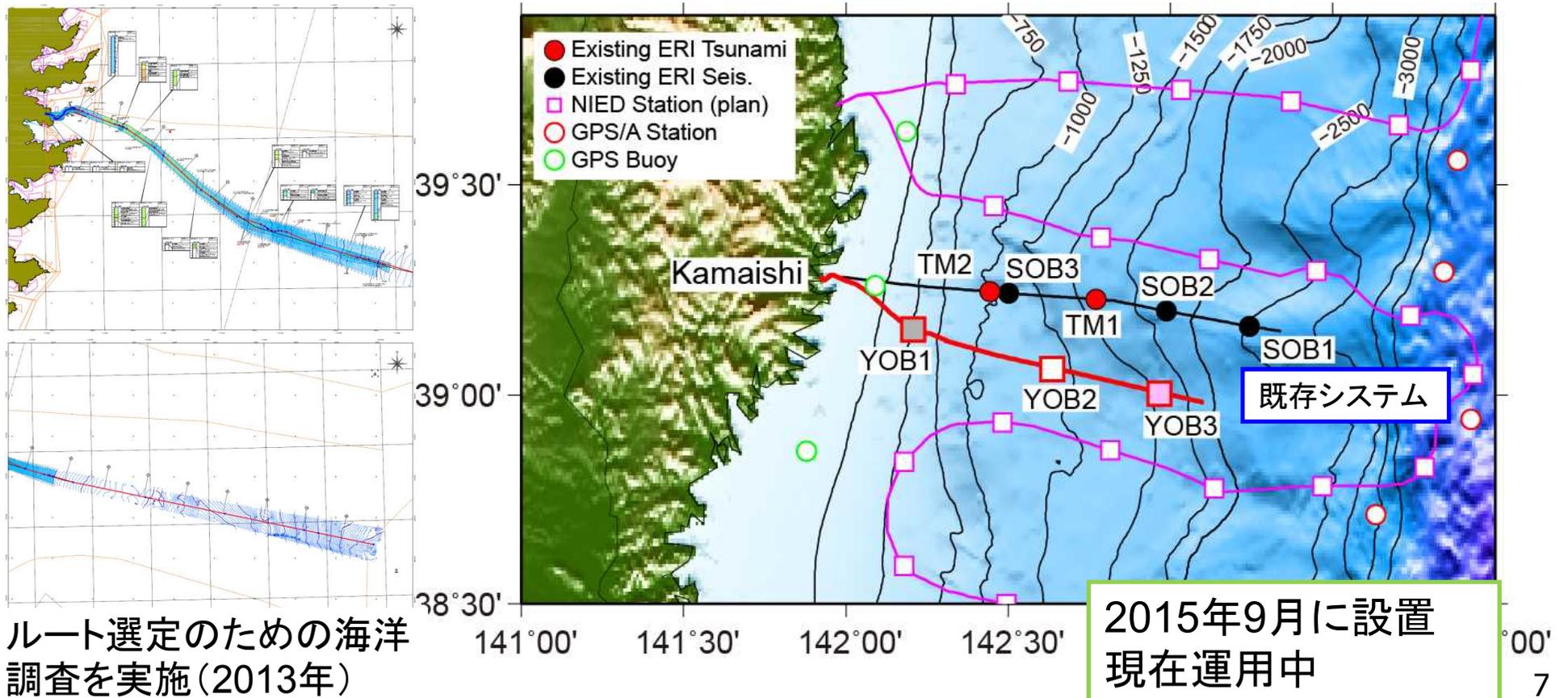
ネットワーク運用

- 通常運用時
 - 各観測点からのデータは、ネットワーク負荷を考慮して、経路を選択
- 海底ケーブルの故障時
 - 故障箇所を回避する経路を設定
- 海底ケーブルに加えて、イーサネットスイッチの故障時
 - ネットワーク構成を大きく変更して、伝送路を確保



三陸釜石沖ケーブル観測システム (ICTシステム)

- TCP/IP方式 (粟島システムの高度化システム)
インライン、TCP/IPの積極的な利用による低コスト高信頼システム
- 観測ノードには3成分加速度と圧力計 (YOB1, YOB2) または3成分加速度とPoEポート (YOB3) を搭載
- ケーブル長は105km、陸揚げは既存システムと同一



ICTシステム全体

光海底ケーブル総長105km

観測センサー

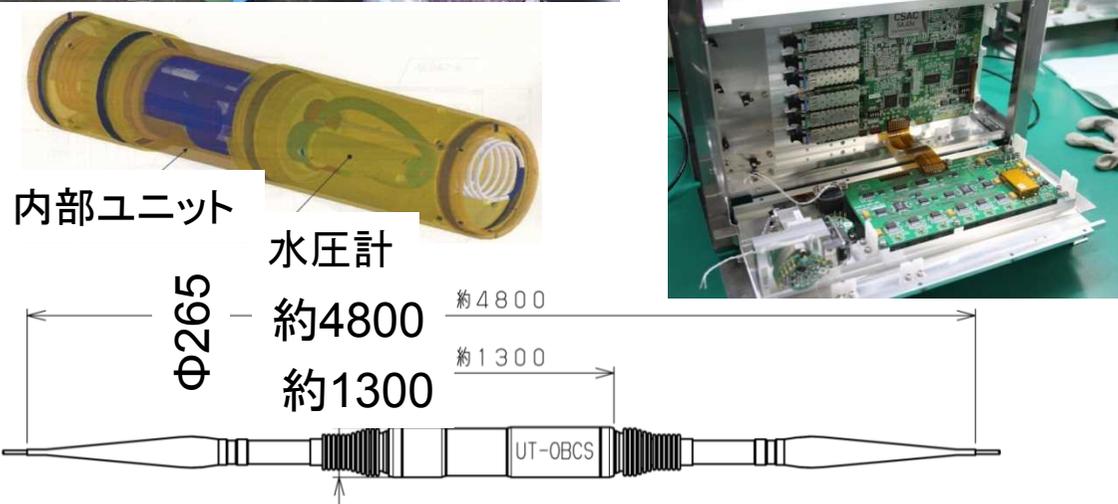
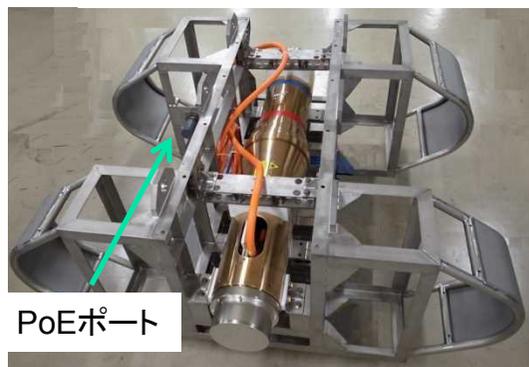
- 3成分加速度計(すべてのノードに装備)
- 高精度水圧計(FA型)または、PoEポート(FB型)



PoE観測ノードのフレーム構造



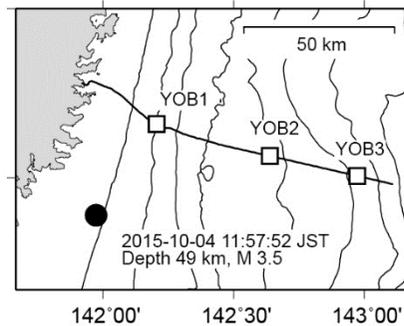
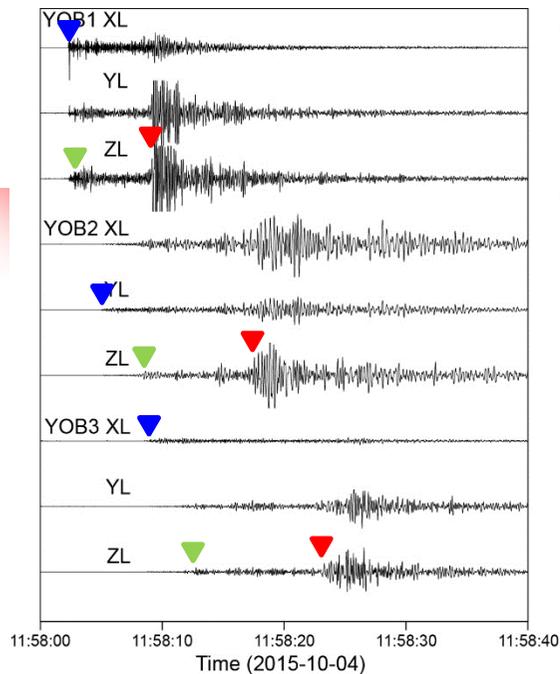
デジタル出力水圧計をPoEポートに取り付けた状態で敷設



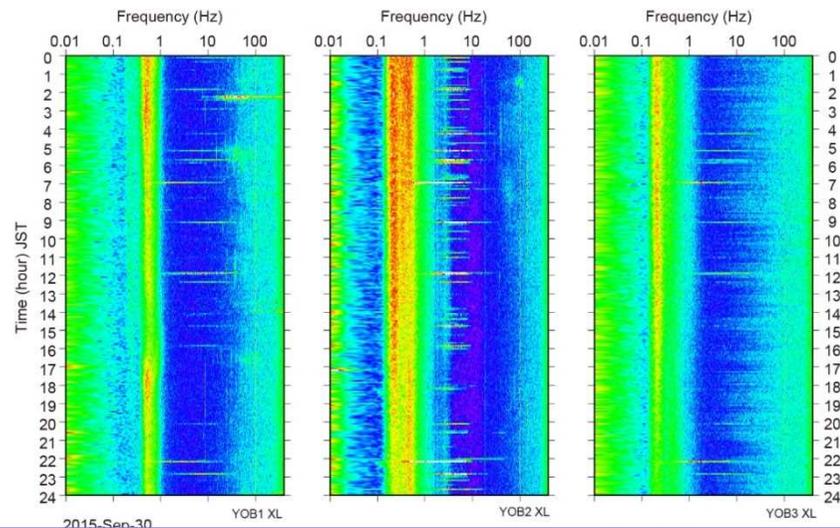
観測ノード筐体の新設計

- 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

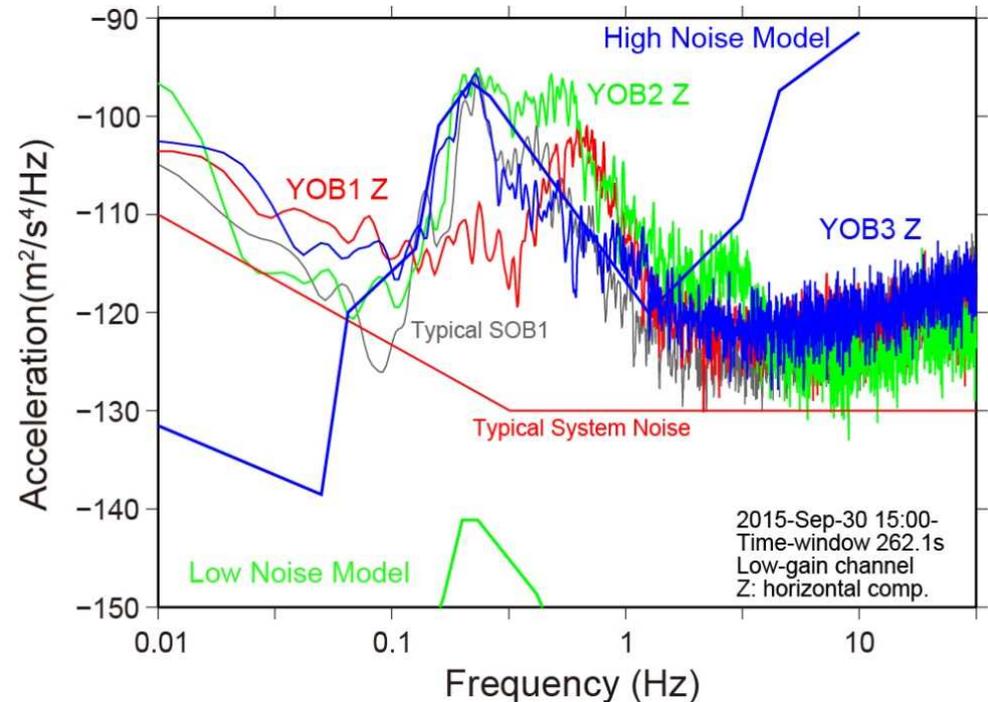
記録された地震データ



- センサー JA-5TypeIII
- A/D 24 bits Δ - Σ 方式、1kHz
- センサー直結と25秒HPFの10倍増幅の2チャンネルを取得
- 最小ステップ $4 \times 10^{-6} \text{m/s}^2$ 、フルスケール2.5GのA/D変換
- 陸上局で、100Hzに変換し、伝送



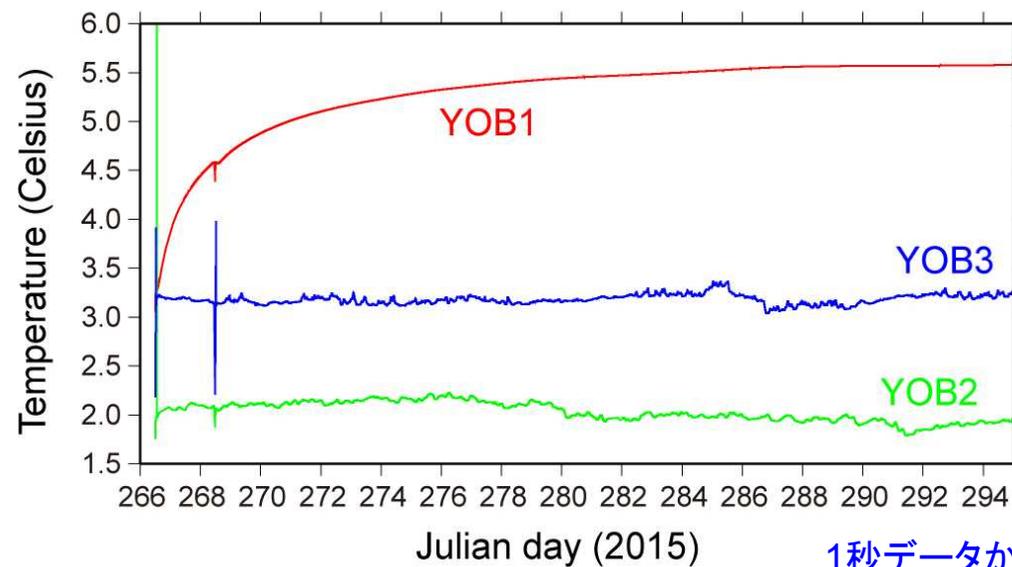
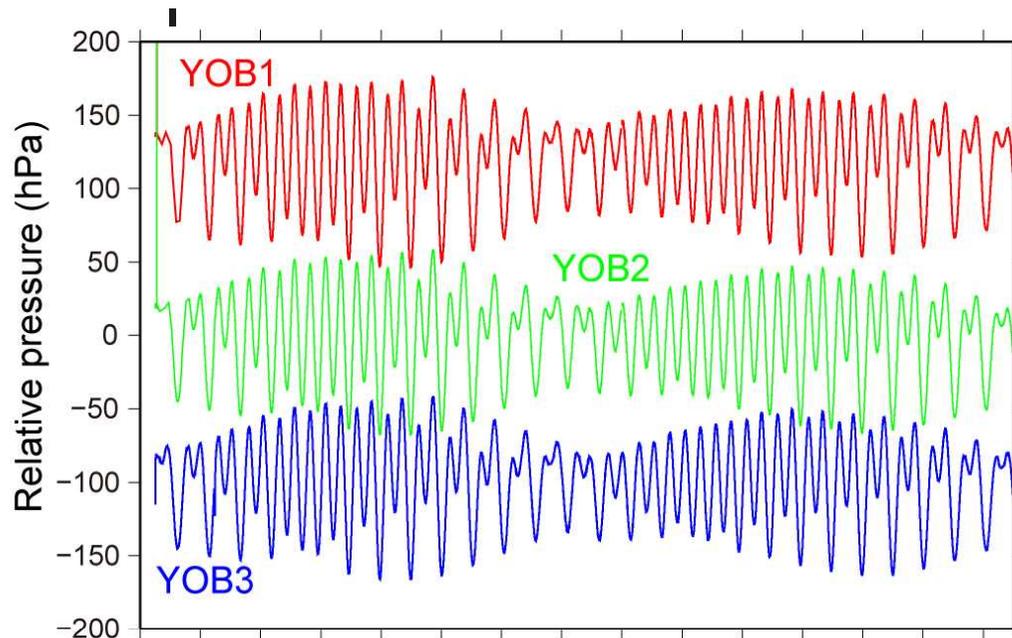
- 2015年9月30日の1日間のランニングスペクトル
- 埋設した観測点が最もノイズが小さい



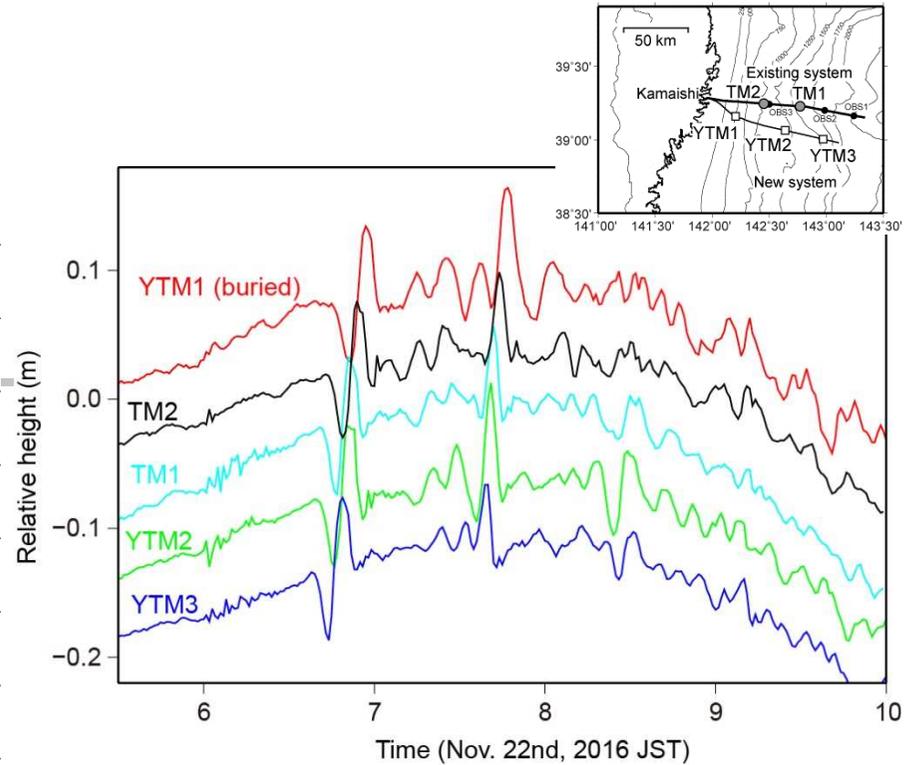
地震学的ノイズスペクトル

- 既設システムと同等のノイズレベル
- 埋設した観測点では、脈動のレベルが20db程度低くなる

記録された水圧データ



1秒データから、60秒間平均を計算



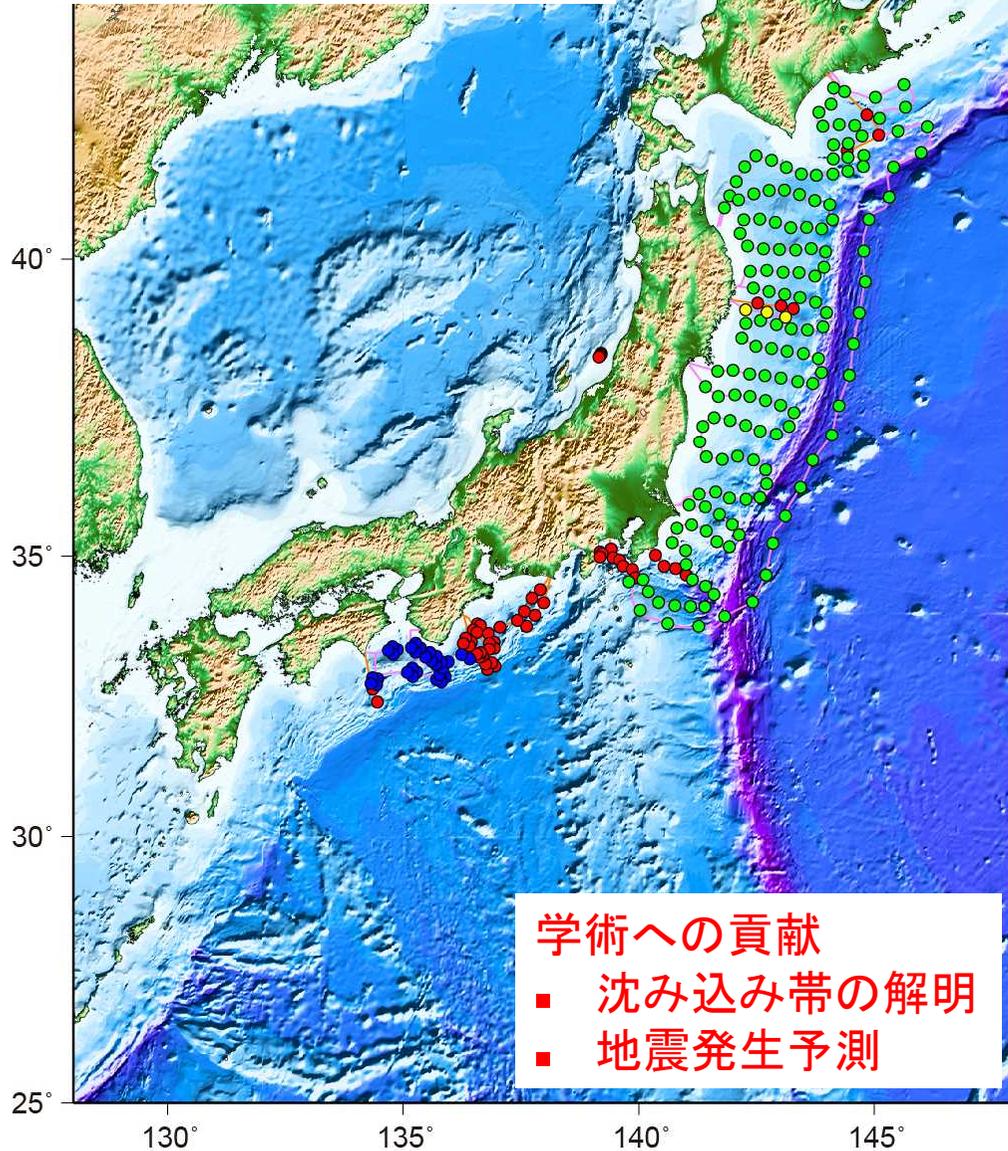
水圧計の記録

- 埋設した観測点の水圧計の温度は地震と共に増加するが、短時間の時間変化は小さい
- 海底に設置された水圧計の温度は、海水の温度変化に起因すると思われる変動がある。
- 埋設した観測点の水圧計の感度が、海底面の水圧計に比べて、著しく変化しているとは認められない。

社会への貢献

- 緊急地震速報の高度化
- 津波に関する即時警報
- 現状把握の高度化

4!



学術への貢献

- 沈み込み帯の解明
- 地震発生予測

これまでの観測網展開 とこれからの課題

- 最初のシステムは、気象庁による御前崎沖・房総沖システム
- 1990年代から、大学を中心として、システム開発が行われ、第2世代システムに移行
- その後、S-netやDONETなどの大規模システムが展開された
- 大学は、2000年代からICT技術を用いた次世代システムを、開発・設置

- 観測網が存在しない領域がまだ存在する
- 大規模システムが展開された領域でも、空間的な観測点密度は、陸上に比べるとまだ低い
- 多様化・複合化する観測に対応するシステムが必要
- ICTシステムに対する実績

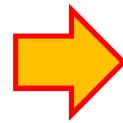
今後の展望

■ 観測システムの技術開発

- 防災的な観点と、地震発生予測研究の観点からの観測・システム開発
- これまでに展開された各システムの長所を活かした新しい観測システム開発

開発すべきシステムのコンセプト

- 性能・信頼性などは下げずに、コストを下げる



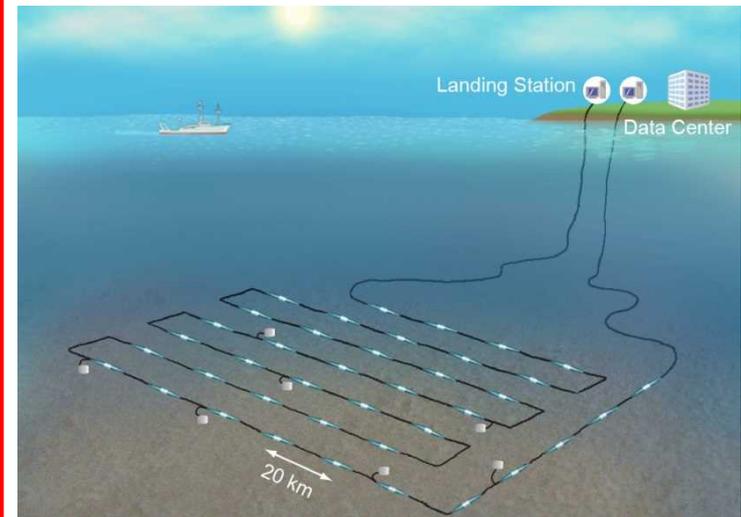
- 空間的に高密度な観測
- 多数の領域に設置可能
- 設置後の観測継続性

■ 観測システムの技術開発

- 最適な観測センサーの評価・選択・開発
- ICT化・ソフトウェアベース化による海底部システムの低消費電力化、低コスト化、多点化
- 上記に伴う陸上装置の小型化、低コスト化

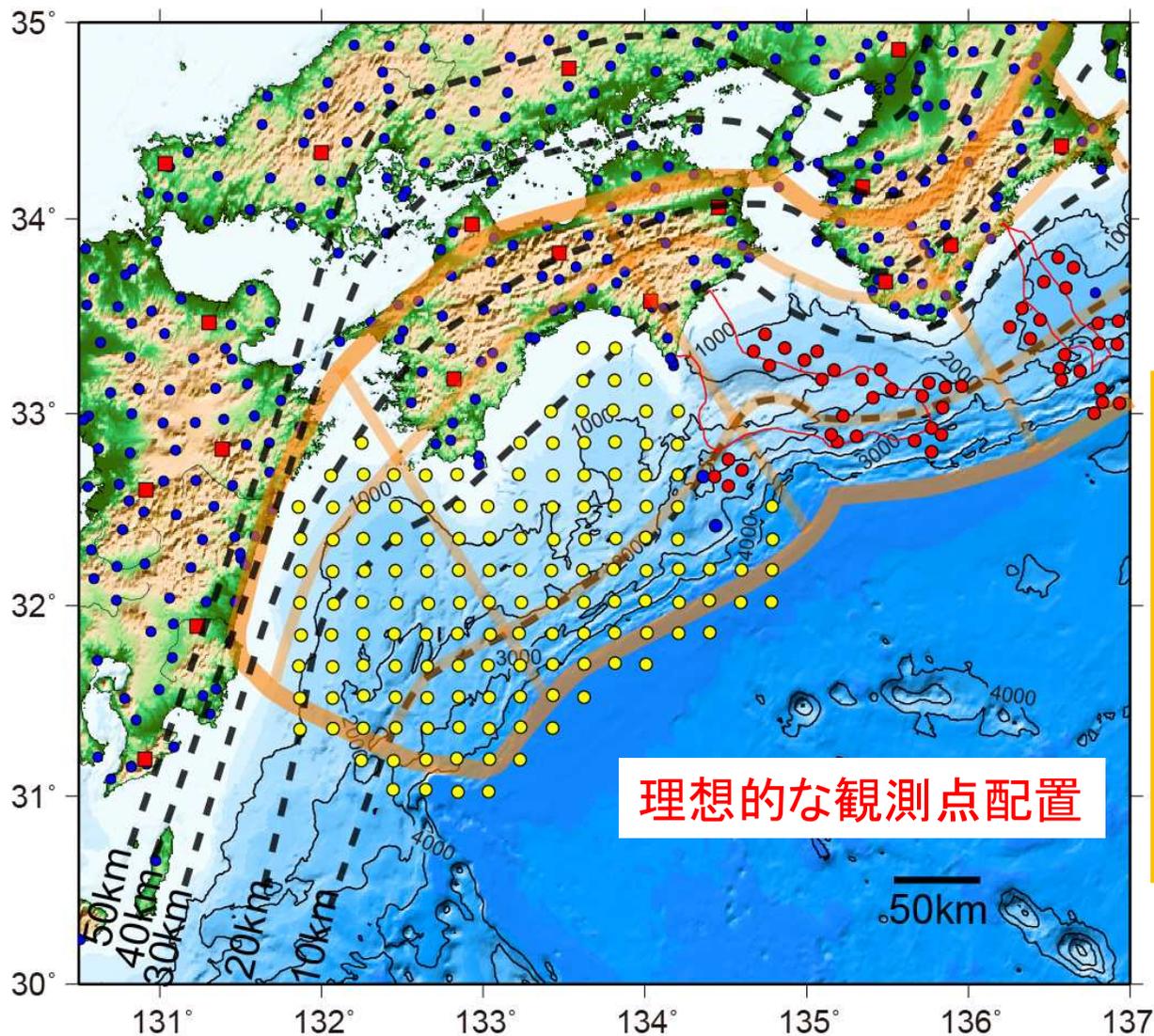
■ 設置・回収・メンテナンスなどの海洋技術開発

- より大規模な展開が可能となる技術開発
- 容易な設置・回収・メンテナンス技術の開発



大学・研究機関・企業の研究者・技術者で議論を行い、次期システムの技術的仕様を策定する体制

南海トラフの西側への整備について



陸域における観測網 (Hi-net, K-net, F-net, GEONET など) と同等の観測点密度を確保することが理想

■ 観測システム

- 防災的な観点と、地震発生予測研究の観点からの観測
- 対象領域全域を、できるだけ均等にカバーする

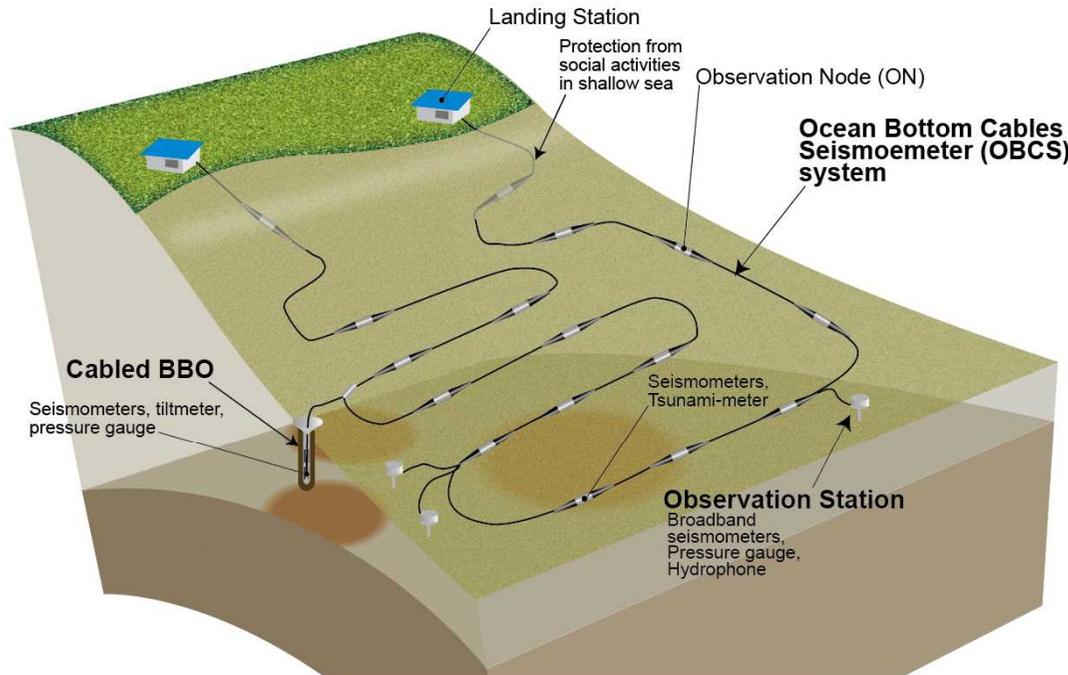
- 緊急地震速報および津波の警報に寄与
- 発生する地震・スロー地震を精度良く決定
- 津波観測・海底上下変動観測
- 拡張ポートを用いた他項目観測

上記のために

- 地震計 (加速度計)
- 精密水圧計

については、どの観測点も最低限装備する

次期システムの提案



整備するシステム

- 信頼性・拡張・コストの確保

今後の検討課題

- 陸上局からのデータ伝送システムの改良による運用コストの低減
- 故障時のメンテナンスが容易(低コスト)な体制を構築
- 拡張ポートシステムの信頼性確保
- 最適なケーブルシステムの伝送方式

■ インライン+拡張ポートシステム

- 信頼性およびコストを重要視して、インラインシステムをベース
- 拡張ポートを装備して、拡張性も確保する

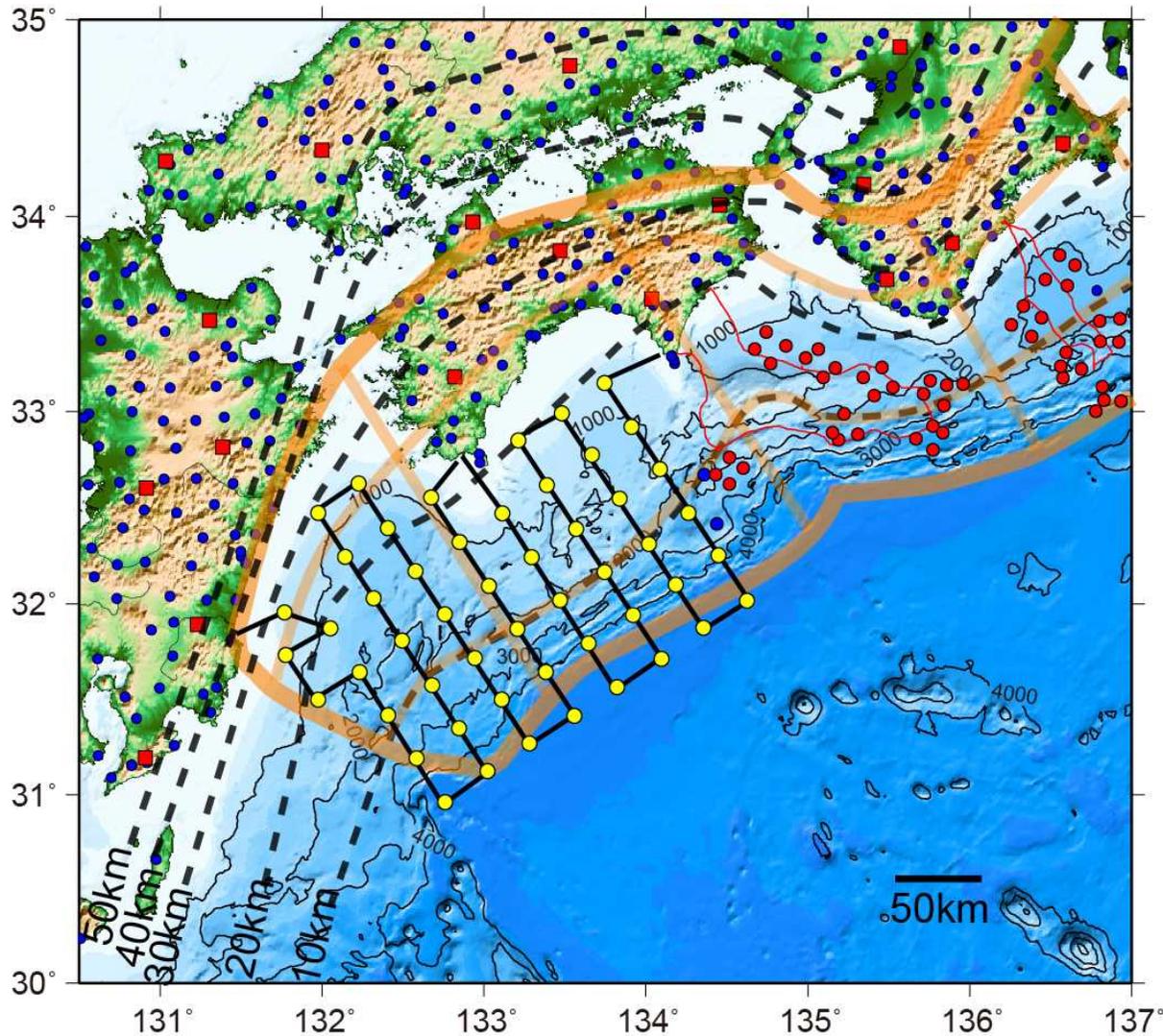
インライン式の利点

- これまでに十分な実績
- 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

拡張ポートの装備

- 高精度観測点(高感度広帯域地震計など)の配置
- 海底掘削孔内観測点のリアルタイム観測

次期システムの設置案例



- 全51観測点(拡張ポート装備観測点を含む)
- 3箇所の陸揚げ点と2つのサブシステム
- ケーブル総延長約1,100km

インライン+拡張ポートシステム

- 想定南海地震震源域の西部をほぼカバーする
- 大きな津波を発生するM7クラスの地震震源域に最低1つの観測点が存在するように、30km間隔とする
- 震源域と陸域が近いため、高密度な観測網とする
- 観測点のうち、いくつかには拡張ポートを装備して、高精度観測点の配置や、観測点の空間密度の増大を図る
- 3点の陸揚げ点と2つのサブシステムとするが、伝送方式によっては、1つのシステムでも設置可能

ケーブル観測システムに関する今後

■ データ解析技術の開発

- 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

解析技術開発については、大学・研究機関による(学術的な)研究を、技術移転する体制が期待される

■ ケーブル観測システムのさらなる展開

- 南海トラフ沿いでは、東海・東南海沖、海溝軸外側についても、観測網の充実が必要

