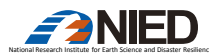


S-net及び次期システムについて

平成28年12月5日



国立研究開発法人 防災科学技術研究所

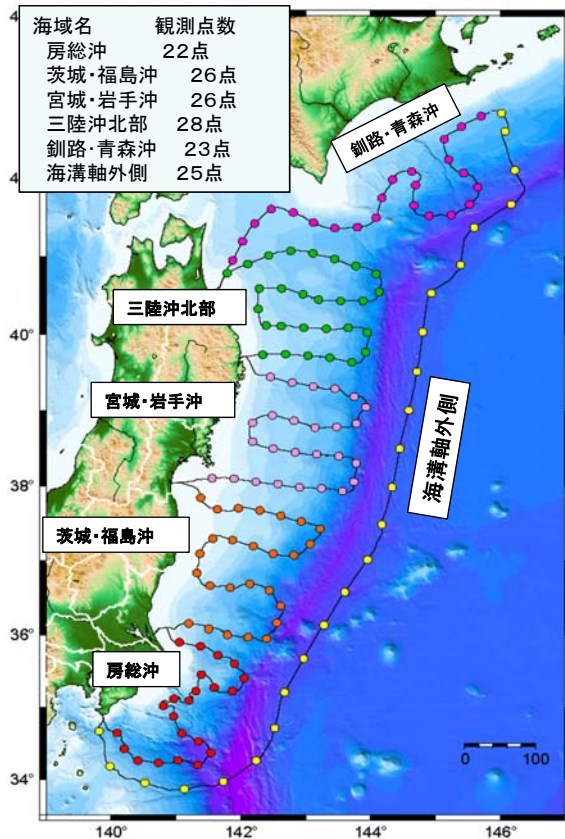
1

事務局からの依頼事項

- S-netの実績、概要等
- 現行の課題
- 南海トラフの西側に整備するにあたっての留意点
や実現したいこと等
- 次期システムの提案
- その他、コストなど(整備面、運用面)

2

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、5,700km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。

3

耐障害性

観測網を長年にわたり欠測することなく運用していくためには、高い耐障害性が必要。S-netにおいては高信頼性の要素技術によるシステムと冗長化とにより高い耐障害性を確保。

陸上局の冗長化

陸上局をケーブル両端に置き、**両端給電・双方向伝送**によりケーブル障害時の欠測回避を実施。**陸上局機能の冗長化**により局舎設備の障害時の欠測回避。

光海底ケーブル伝送路の冗長化

12心光ファイバコアによる6ペアの伝送路(内5ペアがデータ用途、1ペアが制御用途)と最大6波長による光多重伝送を組み合わせることによって、最大30台の**観測装置各々は専用の光伝送路**によって両端の陸上局に直結。よって、観測装置の障害が他に波及することを防止。光伝送により伝送時の電磁気的なノイズの混入を防止。

観測装置の冗長化

観測機器の命は**センサー部**である。これまでの地震計測、海底圧力計測において実績が十分にあるセンサーでも故障可能性は排除できない。このため、3成分4セットの地震センサー、2セットの海底水圧センサー(津波計測用途)による**冗長構成**により、センサー部の耐障害性の向上を図った。

また、地震センサーについては、計測原理の異なるセンサーによる冗長化とすることによって、同じ原因による故障発生を排除し、耐障害性をより高めた。

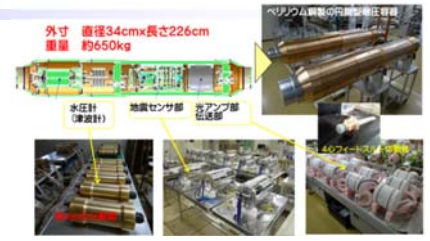


陸上局: 観測装置への給電と観測装置からのデータ受信・フィルタリング等の処理・データ配信を行う。
 データセンター: 各陸上局からのデータを集信し処理・蓄積を行う。

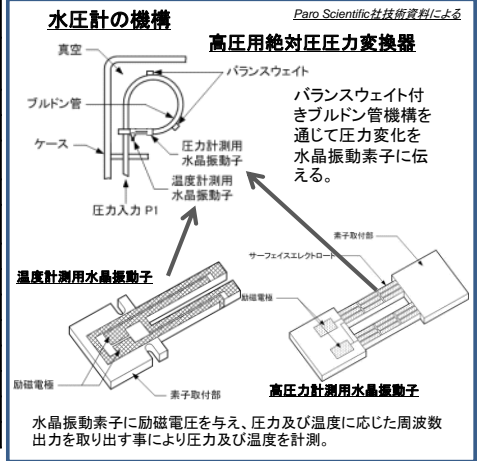
4

採用センサー(地震計、水圧計)

	加速度計	速度計	傾斜計	水圧計
メーカー	JAE	OYO GeoSpace	Paro Scientific	Paro Scientific
型番	JA5-Typelll-A	OMNI-2400	7000-2	887000-2-005 (水深7000mまで対応) 888000-2-005 (水深8000mまで対応)
写真				
方式	サーボ型 加速度計	動コイル型 速度計	水晶振動式 加速度センサ	水晶振動式 水圧センサ
出力信号 (FS: Full scale)	電流	電圧	周波数 (4Vpp矩形波) 3.3 kHz ± 10% for FS	周波数 (4Vpp矩形波) 30 to 42 kHz for FS
温度補正			温度補正要: 温度センサ付属 出力: 4Vpp矩形波 約172 kHz (±4kHz)	温度補正要: 温度センサ付属 出力: 4Vpp矩形波 約172 kHz (±4kHz)
概略寸法	Φ38 × 30 mm	Φ22.2 × 26.3 mm	Φ30 × 37.5 mm	Φ55 × 277 mm
重量	75 g typ.	44 g typ.	121 g	3.41 kg
感度	0.135 mA/(m/s ²) ± 10% (1.33mA/G ± 10%)	43.0-15/+5% V/(m/s), shunt時 52 V/(m/s), open時		
周波数応答	DC ~ 300 Hz			
測定範囲	≥ ±196 m/s ² (≥ ±20G)		± 20 m/s ² (± 2G)	0 ~ 7000mH ₂ O 0 ~ 8000mH ₂ O
分解能	≤ 9.81 × 10 ⁻⁶ m/s ² (≤ 1μG)			
零点温度係数	≤ 9.8 × 10 ⁻⁵ m/s ² / °C			
零点安定性	≤ 9.8 × 10 ⁻⁴ m/s ² / 年			
固有周波数		15Hz ± 5%		
ダンピング		0.7 (ダンピング抵抗で調整)		
許容傾斜角		0 ~ 180度 (全姿勢動作)		
圧力測定精度				35cmH ₂ Oもしくは 40cmH ₂ O
温度	-54 ~ +96°C	-40 ~ +100°C	0 ~ +50°C	-2 ~ +40°C



✓ 敷設時の衝撃に耐えるため、通信用中継器と同等の耐衝撃性50Gを確認。



観測ユニット構成 : 空中重量 約650kg、水中重量 約530kg

全てのセンサーは、耐振動: 1.5mm(pp), 5~55Hz, 耐衝撃: 50G (5~20ms) を満足する。

- 水圧センサ筐体 (水圧計)
- センサ部 (加速度計/速度計/周波数出力型加速度計)
- 光アンプ部、伝送部、電源部① (主電源系)、電源部② (制御系)

搭載センサー

- 周波数出力型水圧計: 2個(Paro Scientific社) 分解能: 数mm
- 加速度計: 3個x2式(JAE1: ±5G, JAE2L: ±2G/ H: ±0.0625G)
- 速度計: 3個x1式(OMNI: 固有周波数15Hz)
- 傾斜計(周波数出力型加速度計): 3個x1式(Paro) 分解能: 10⁻⁷~⁻⁶m/s²

水圧計

- ▶ 永年ドリフトはあるが分解能は下がらない。永年ドリフトは非常に長周期な成分のため津波観測には影響しない。
- ▶ 波浪による水圧への影響については、水深の深い場所では無い。水深の浅い部分についても津波に比べると短周期なので、フィルタリングを行う事により除去可能。
- ▶ センサー二本を圧力を感じる事が出来る筐体内に収容し、筐体内を油で充填する事により海水との接触を断ち、腐食に強い構造となっている。

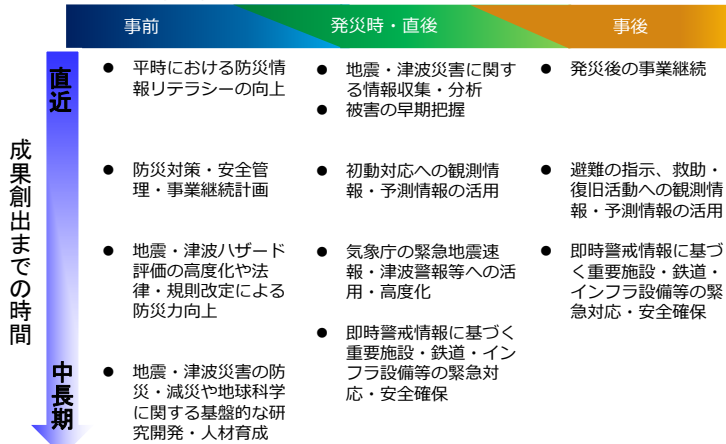
5

データの利活用

想定されるデータ利活用の内容

防災関係機関、自治体、大学、民間事業者の委員により構成される「海底地震津波観測データ利活用ワーキンググループ」の議論等を踏まえて、関係機関を主体としたS-netデータ利活用として想定される主なニーズは以下のようにまとめられる。防災科研は各機関における利活用について、協定や共同研究等の枠組みを活用し、技術的・制度的な支援を行う。

利活用の時間軸



データ利活用に向けた協力・連携の枠組

相手方	目的・枠組
気象庁	津波情報への活用(平成28年7月28日から)
自治体	地域の防災・減災力の向上を目的とした包括的な連携協力に関する協定等
鉄道総合技術研究所	効果的な鉄道の早期地震警報システムの構築を目的とした共同研究
電力事業者	発電所における津波を予測する手法の検討を目的とした共同研究(契約締結調整中)

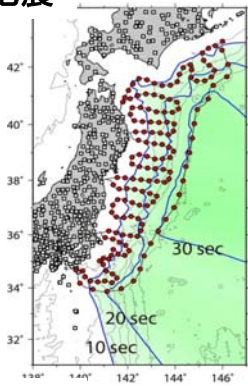
千葉県との連携(防災訓練における周知活動)



6

地震・津波即時予測への貢献

地震

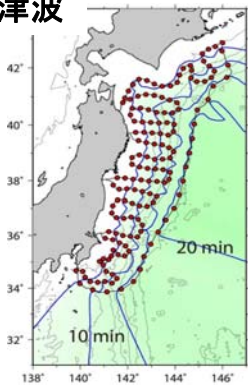


海底観測網を設置することによって、海溝型地震の発生を現状よりどれだけ早く検知できるか？(猶予時間)

シミュレーションの結果
(地震波の速度を秒速7kmに仮定)

最大30秒程度早く検知して、緊急地震速報に活用
 ⇒最大30秒ほど、緊急地震速報が早くなることが期待される。
 海溝型地震の震源近くで観測できることから、地震の規模(Mや深さ、位置)が正確にわかる。
 ⇒気象庁の津波警報等にも寄与することが期待される。
 (気象庁の津波警報等は、震源情報を基に事前に計算したデータベースから予測し、警報を出します)

津波

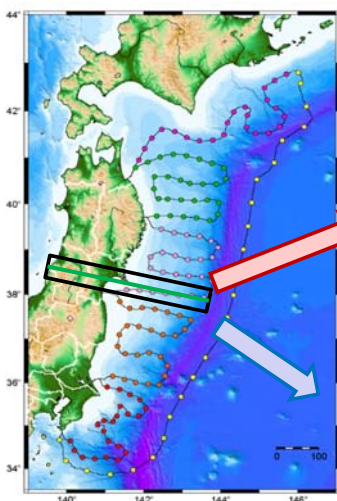


海底観測網を設置することによって、津波の発生を現状よりどれだけ早く検知できるか？

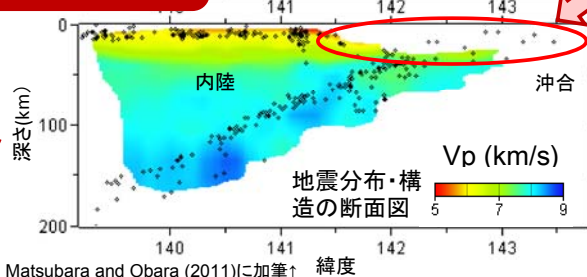
シミュレーションの結果
(津波の速度を時速623kmに仮定)

津波を現状より**最大20分程早く検知**して実測値の情報を発信
 (伝播する津波の実況)
 ⇒既存の津波の観測点(ブイなど)と比較し、実際の津波の検知が早くなります
 手法の開発をすすめて沿岸津波高と到達時刻を現状より精度高く迅速に予測して、災害を軽減する(津波即時予測の高度化)

地震・津波即時予測研究以外の地震・津波研究への貢献



通常の地震活動の把握



様々なスロー地震の検出

- 東北沖地震の震源付近では、1か月ほど前からスロー地震が継続
→大地震との関連性が指摘
- 周辺域では地震後に活発化
→周辺域への影響・現況評価に有効か

陸域の地震計だけでは把握できなかった東北沖の地震活動の詳細や、津波発生域の地下構造を解明可能に。

東北地方太平洋沖地震の地震像を解明し、巨大津波発生メカニズムの理解等、海溝型巨大地震とそのハザード評価の研究に貢献

スロー地震の発生状況を詳細に把握するとともに、発生メカニズムを解明。

海溝型巨大地震と密接な関係があるスロー地震を、数値シミュレーション等にも反映させ、巨大地震発生長期評価・予測に貢献

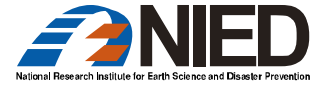
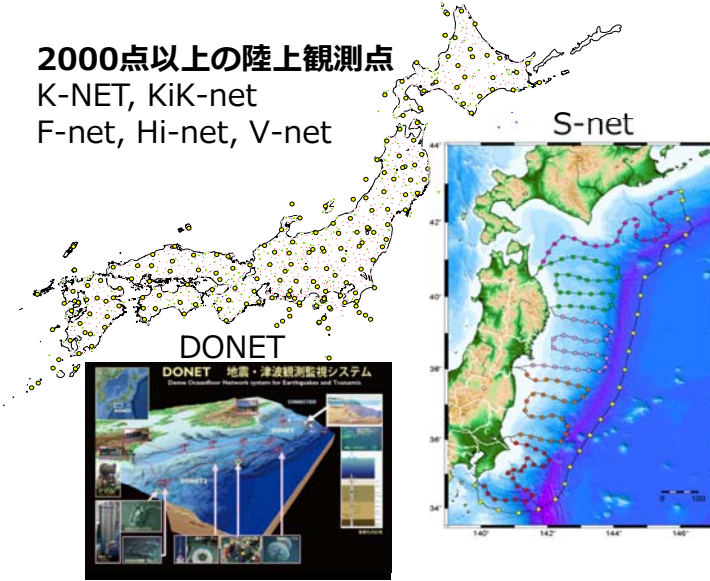
南海トラフを始め世界各地の大地震発生域でスロー地震が報告。近年東北沖で様々なスロー地震が発見されたが、詳細の把握には限界があった。
 ・超低周波地震 (Matsuzawa et al., 2015)
 ・スロースリップイベント (Kato et al., 2012; Ito et al., 2013)
 ・低周波微動 (Ito et al., 2015)



東北沖地震の大すべり域とその周辺でスロー地震が発生
 Matsuzawa et al. (2015)にデータ追加

防災科研における海陸統合観測網の運用

2000点以上の陸上観測点
K-NET, KiK-net
F-net, Hi-net, V-net



海陸観測網DB

Hi-net, F-net
K-NET, KiK-net
DONET, S-net
V-netその他
全国一元化



海陸ネットワーク統合
データ保存、観測一元管理

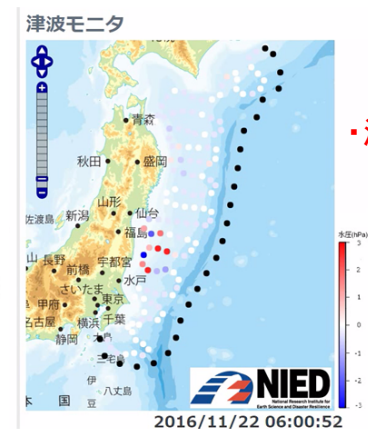
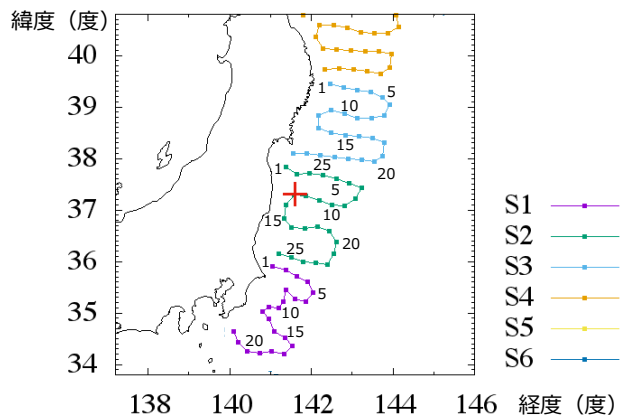
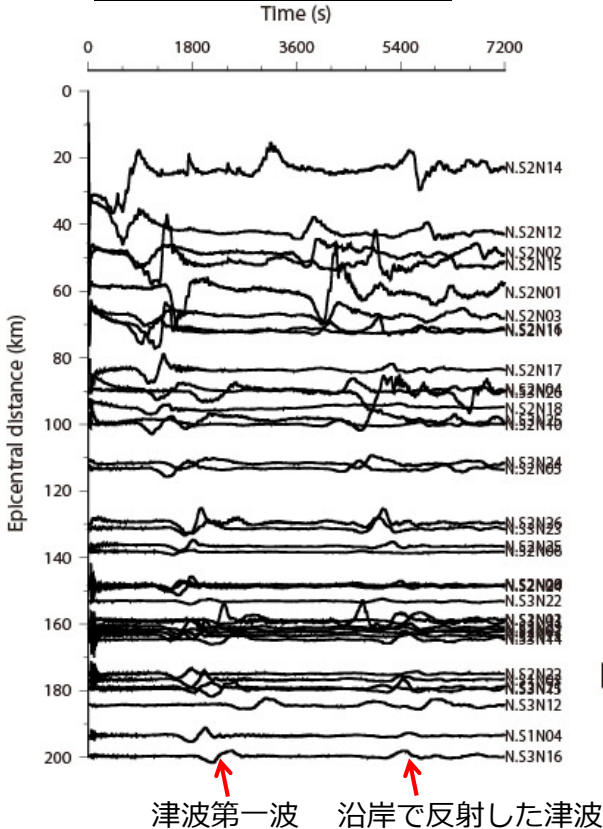


日本の海陸観測網を一括管理する 中核機関としての防災科学技術研究所

海陸ネットワークの受信システム統合
地震・津波モニタリング表示機能の統合
データ利活用促進へリソースの共有化
大容量のデータ配信に伴う効率化・コスト最適化

2016年11月22日福島県沖の地震(津波観測)

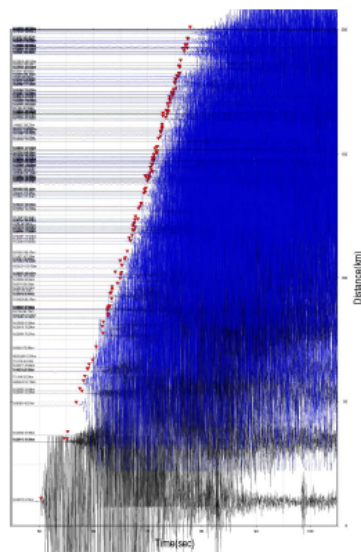
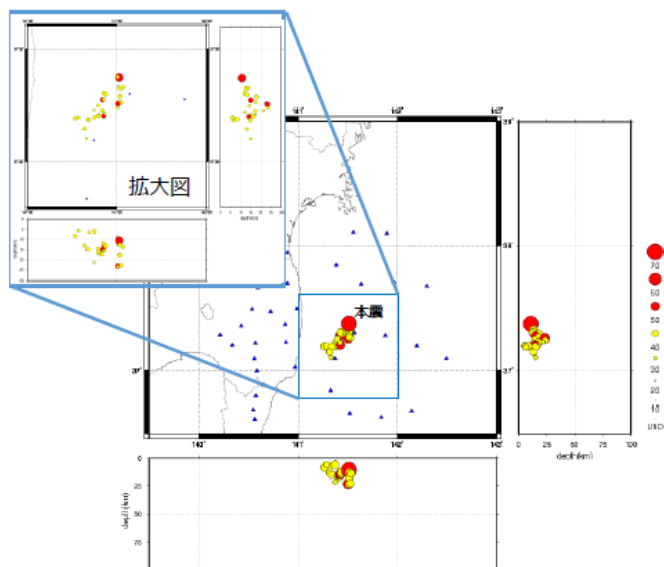
S-netで観測された津波



・津波においても
点から面の観測へ

2016年11月22日福島県沖の地震(地震観測)

S-net・Hi-netで観測された福島県沖の地震



海陸シームレスな観測
(S-net・Hi-net統合)

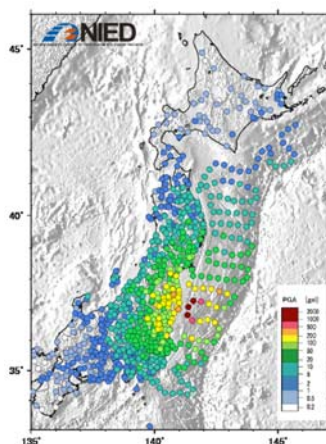
11/22 7:23までの30イベントの震源分布。赤丸はM5以上の地震を示す。震央距離100km以内の観測点のP波とS波の読み取り走時で震源決定、用いた地殻構造は過去の構造探査から作成した。走時残差を観測点補正項とし、5回のイタレーションを通じて解が安定したところで最終結果とした。

地震の観測波形を震央距離(縦軸)に応じて配置、赤三角印は読み取ったP波走時を示す。黒線と青線はそれぞれS-netとHi-netの観測点を示す。

南東傾斜の断層面に沿って震源が分布し、本震位置から南西側に震源が延伸した。

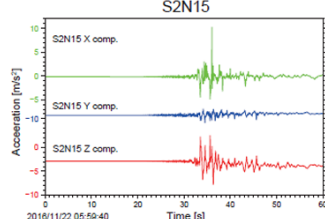
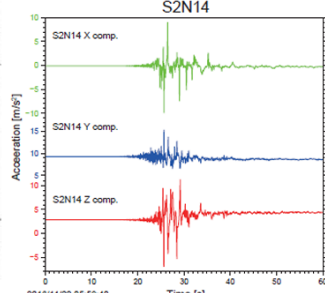
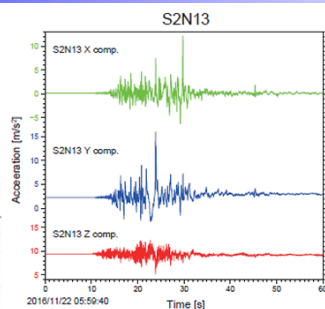
2016年11月22日福島県沖の地震(強震動)

震源のほぼ直上に位置するS2N13観測点及びその南南西に位置する2つのS-net観測点(S2N14、S2N15)にて、1,000 gal (10 m/s²)以上の最大加速度を記録し、その加速度波形にはスパイク状のフェイズが見られる。

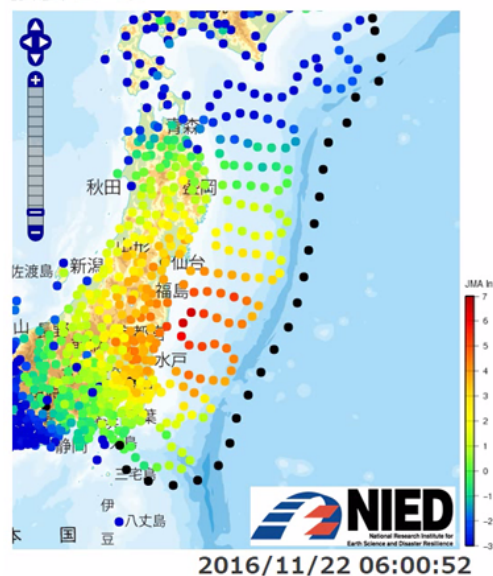


上図: 海域 S-net 125 点と相模湾ケーブル式地震観測施設 (K-NET) 6 点、陸域 K-NET 365 点、KiK-net 346 点で観測された最大加速度分布。灰色星印は震央位置を示す。

右図: 震源近傍の S-net 3 観測点における加速度波形。波形の色と縦軸のラベルが対応している。重力加速度によるオフセットは除去していない。



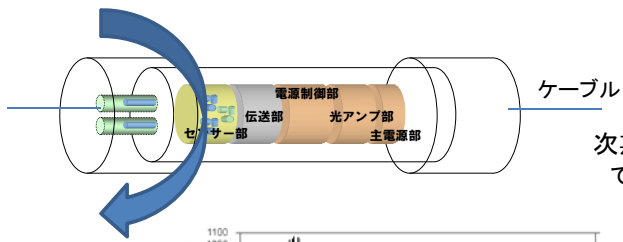
強震モニタ



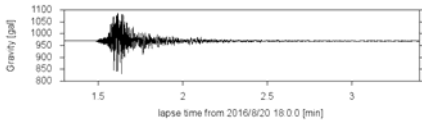
- ・海陸において面的な強震動分布を把握
- ・海域で1000galを超える強震動を観測

次期システムでの改良点(地震計の回転防止)

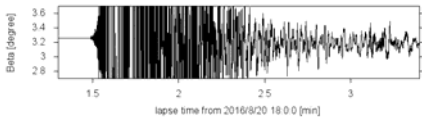
S-netにおける観測上の問題
(地震時に筐体がケーブル軸周りに回転?)



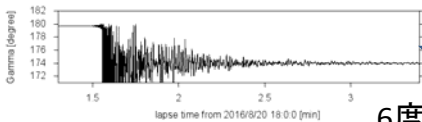
重力加速度



ケーブル直交
軸回り回転



ケーブル軸
回り回転



次期システム
での対策

カップリング向上治具

防災科研相模湾ケーブル(1993年)
気象庁東南海ケーブル(2008年)



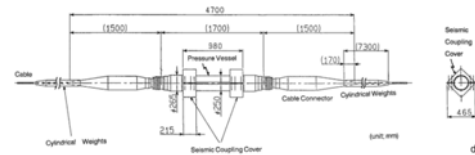
NEC(2009)

運用開始以来、緊急
地震速報処理で問題
が生じたことはない



相模湾ケーブルで
観測した最大記録
(469ガル)

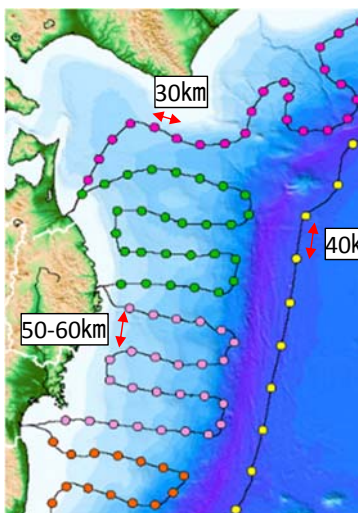
100ガル超の記録
(18波形)で特に問
題は生じていない



Eguchi et al.(1998)

6度回転
強震動は300ガル

次期システムでの改良点(自由な観測点配置)



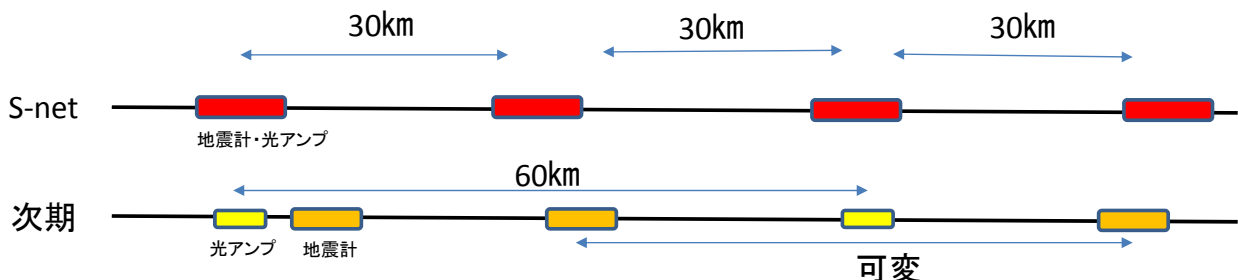
S-netでは観測点間隔が**固定(30kmまたは40km)**

地震計と津波計を一体化するとともに光アンプ部も一体化
→観測点間隔が固定



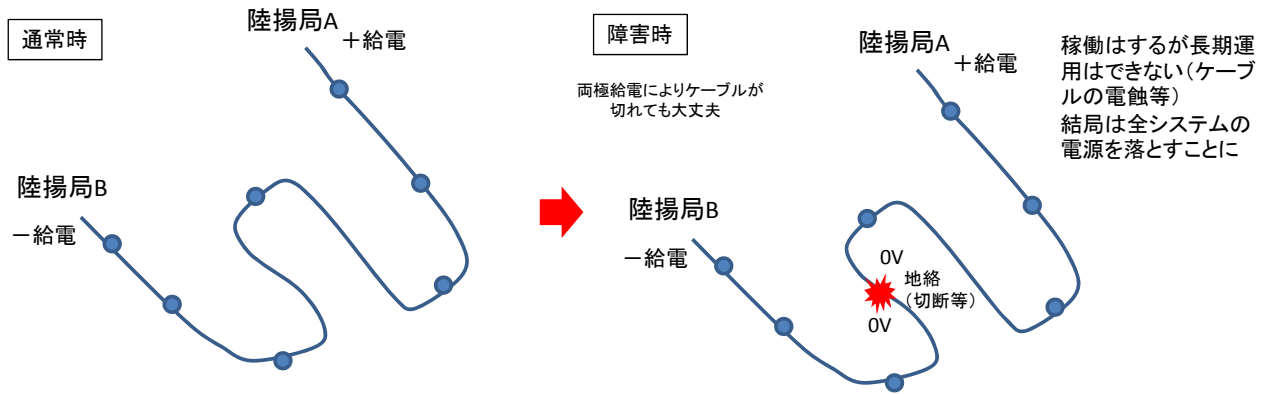
・次期システム

光アンプは別とし通信ケーブルと同じ汎用品(60km間隔)と
することで地震計は自由な間隔で配置できる。

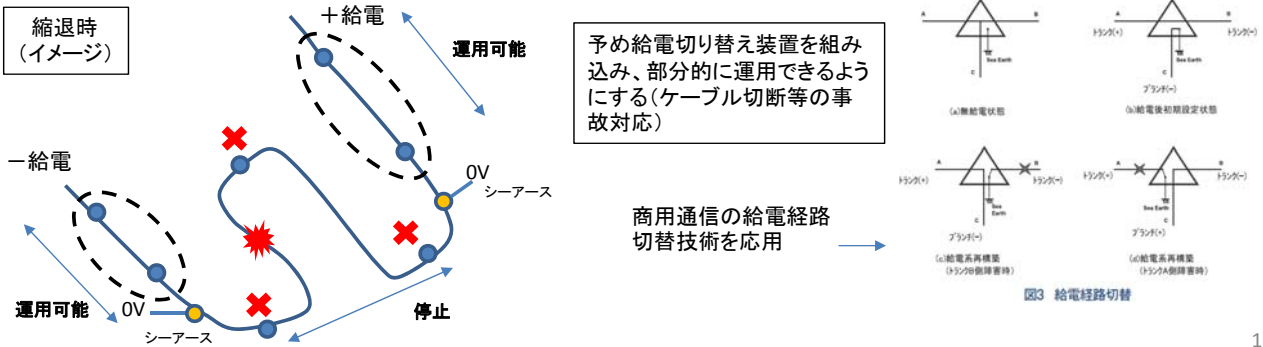


次期システムでの改良点(観測継続性の向上)

S-net

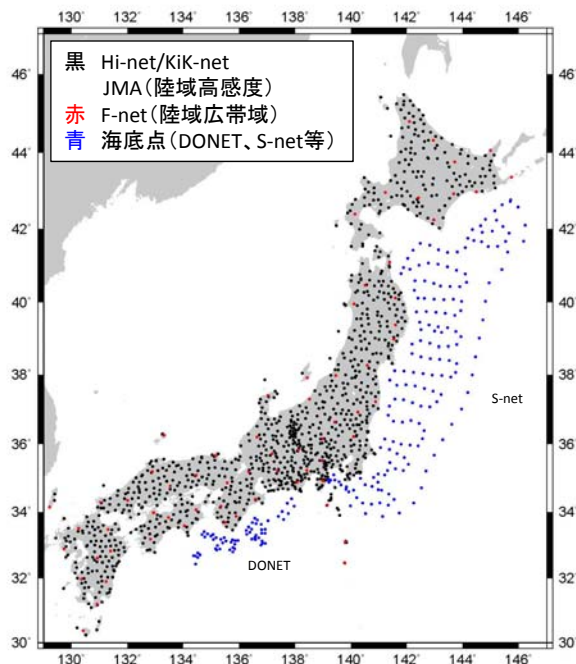


次期システム 観測網の部分的な運用(縮退)を可能にする



海域への基盤観測の延長

現在の観測点分布



<陸域>

調査観測計画・H26(地震本部)の基盤観測

- ・陸域高感度地震観測(Hi-net)
15~20km間隔の三角網を目安
- ・陸域広帯域地震観測(F-net)
約100km間隔の三角網を目安

<海域>

ケーブル式海底地震・津波計

- 20km程度の間隔を目指すことが望ましい
(技術的・費用的にそれが困難な場合には、観測点間隔を大きくする)
- 陸域と同様な広帯域、広ダイナミックレンジ観測が望ましい
- 津波計も併せて整備することが重要
- 整備や維持管理の費用を低減することを検討



一定密度を維持した海域基盤観測網の構築

次期システムの目的と観測項目の整理

防災

(地震・津波の早期検知)

- ・ 緊急地震速報、津波予報への利用
- ・ **面的に分布した地震計（強震計）、津波計**が必要
- ・ 地震計や津波計は可能な限り**二重化**が必要、稼働率が高いこと

(長期評価)

- ・ 陸域と同様に地震活動の常時監視への利用
- ・ 高精度な観測を行う**広帯域地震計**も必要
- ・ 広帯域地震計は可能な限り**低ノイズ環境**への設置が望ましい（埋設等）

学術

(地震発生予測等)

- ・ 傾斜、歪、微差圧等の地震・津波以外の観測項目（**マルチセンサ**）
- ・ 海底地殻変動の連続観測等への**拡張性**等

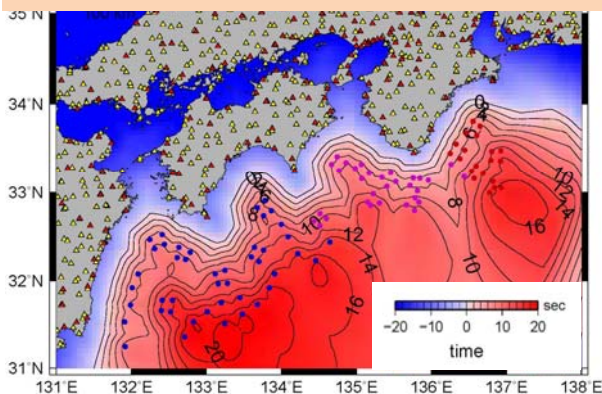
(観測技術高度化)

- ・ 将来有望な技術である**ICTシステム**等の試験観測**テストベッド**

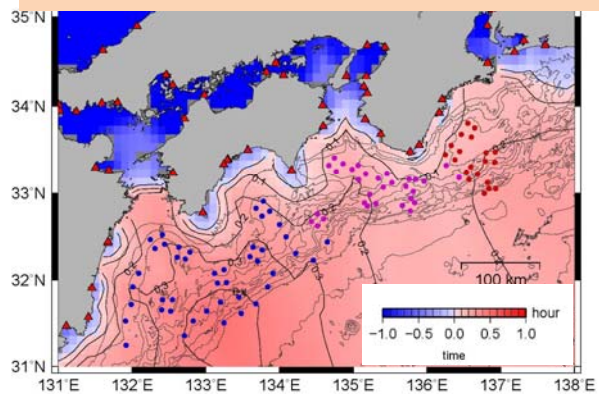
次期システムでは、観測性能に配慮しつつ、「**信頼性・拡張性・コストのバランス**」、「**防災と学術のバランス**」を最適化することが重要

次期システムによる防災への効果

地震：最大20秒程度の早期検知が可能

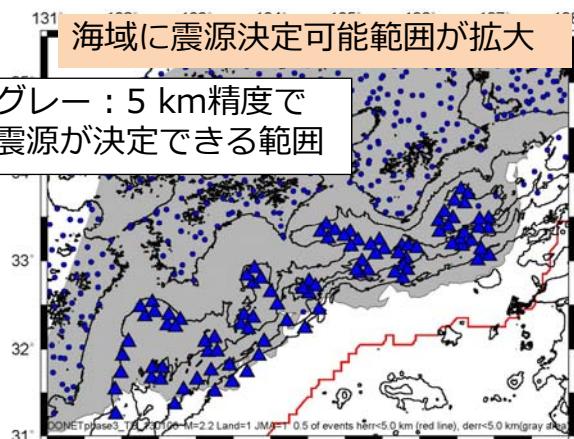


津波：最大25分程度の早期検知が可能

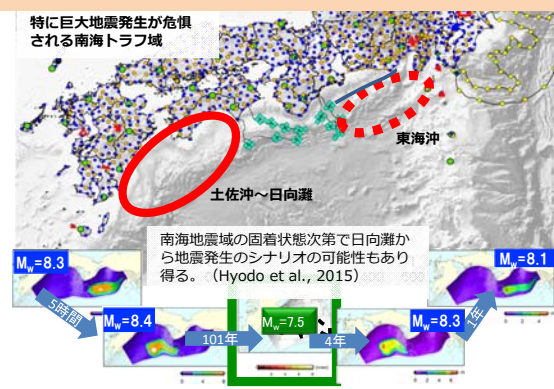


海域に震源決定可能範囲が拡大

グレー：5 km精度で震源が決定できる範囲

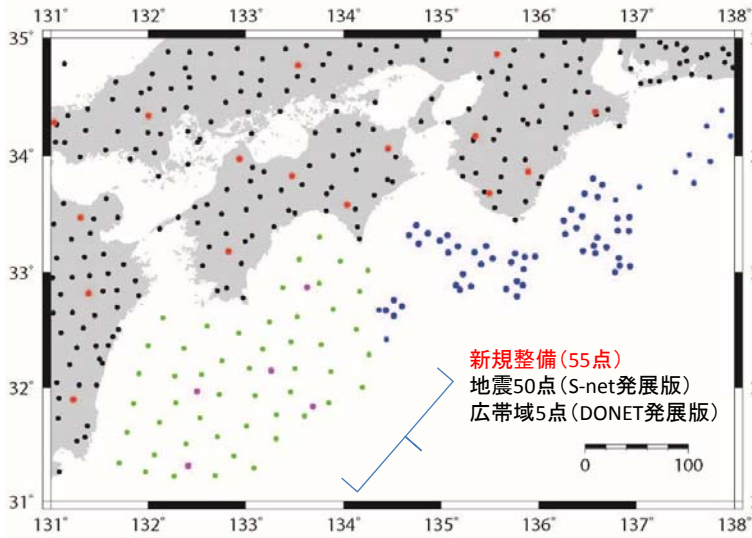


南海トラフ地震の長期評価への貢献



次期システムの提案

次期システム(基盤部分)



- 陸域高感度
- 海域高感度
- 既設海底(室戸、JMA等)
- 陸域広帯域
- 海域広帯域
- 既設海底(広帯域=DONET)

基本的な考え

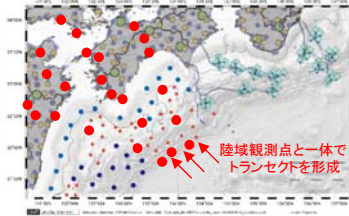
- ・観測点分布
- ＜約30kmの三角網＞
- 50点: 高感度、強震、津波(S-net発展版)
- ＜約100kmの三角網＞
- 5点: 広帯域+マルチセンサ(DONET発展版)

DONET2の西部海域に計55点程度の海底観測点を基盤観測の一部として整備
海陸シームレスな観測網を構築する
※目的に応じより高密度な観測点配置を検討
※長期孔内、海底地殻変動、ICTシステム等の観測拡充に対応した拡張性を持たせる

・予算規模概算

・開発要素

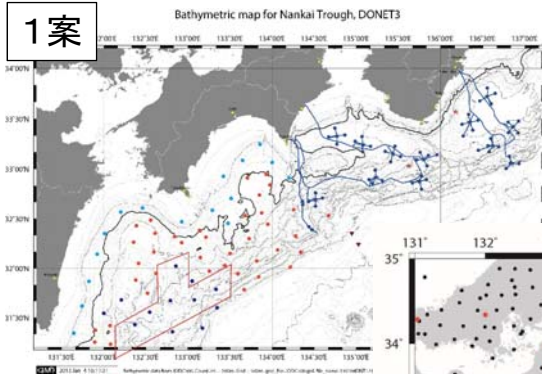
- ・海域状況による観測点配置の変更
- 漁業活動や航路等の海域特有の事情を考慮



19

次期システムの観測点案

1案



＜フルスペック＞

- 赤: ノード型39点(広帯域観測、地殻変動)
- 青: インライン型11点
- 水色: 浅部インライン17点

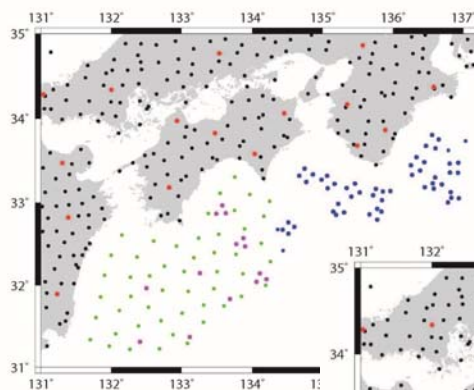
＜次期システム基盤部分＞

+ 広帯域増設

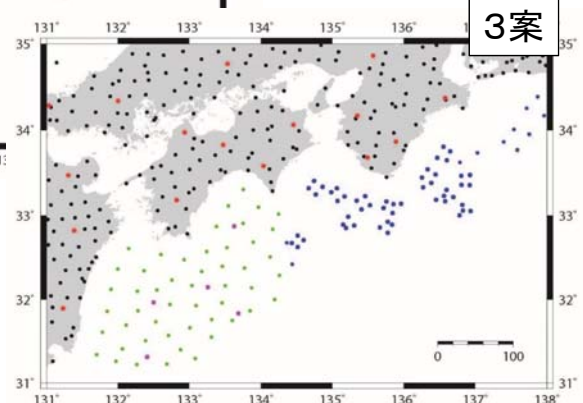
- 緑: 50点(地震、津波)
 - 紫: 14点(広帯域地震等)
- (点数は例示)

2案

(1案と3案の中間の例)



3案

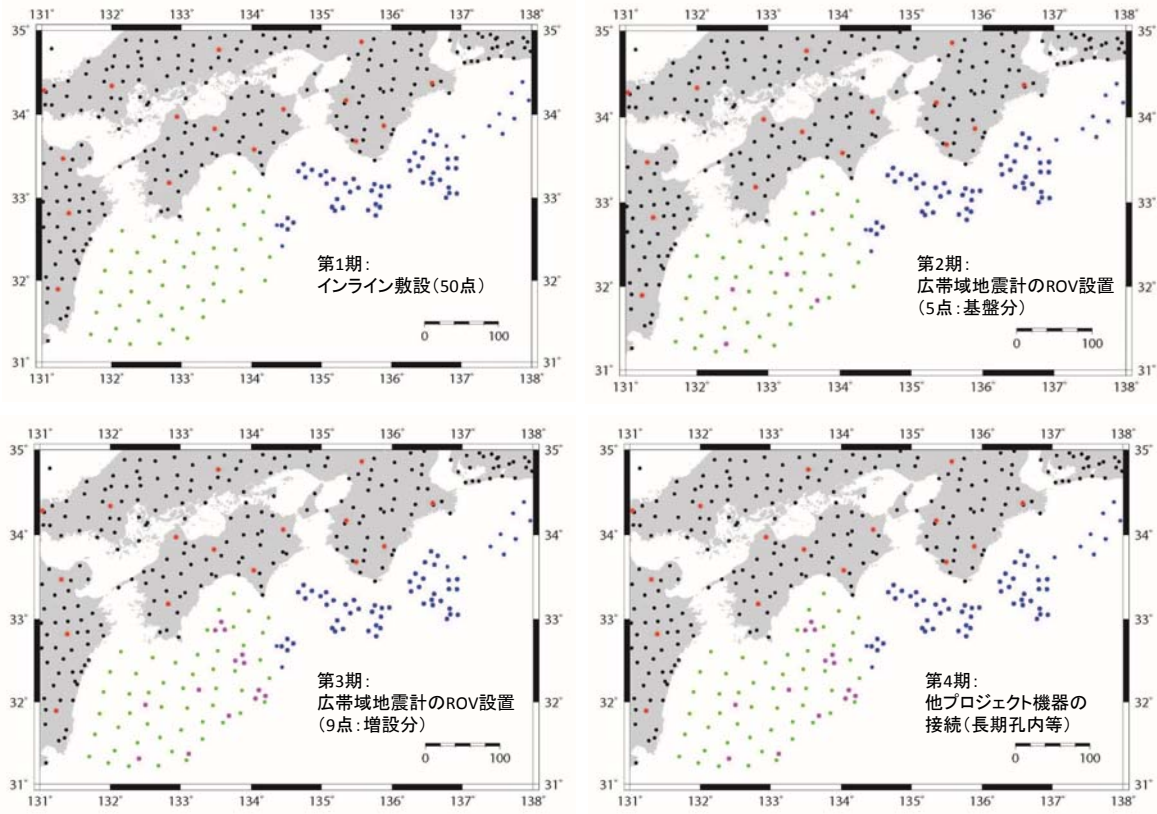


＜次期システム基盤部分＞

- 緑: 50点(地震、津波)
- 紫: 5点(広帯域地震等)

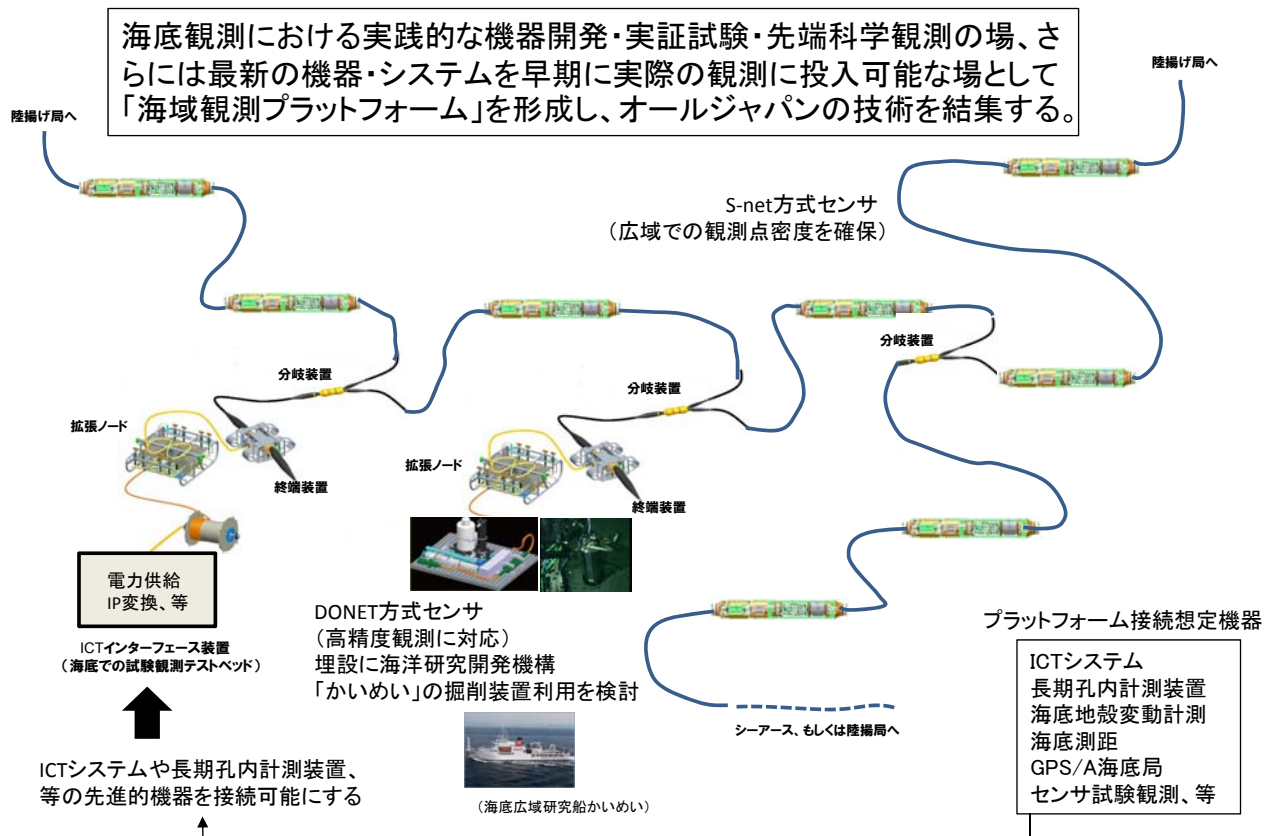
20

次期システムでの段階的な敷設案



21

海域観測プラットフォーム構想:オールジャパンの技術を結集



22

まとめ

- ・ S-netの実績の紹介
 - S-netの概要を紹介、現在S1～S5まで運用中。
 - 2016年11月22日の福島県沖の地震をはじめいくつかの地震で、地震および津波を観測
 - 気象庁の津波情報の発表（沖合の津波観測）での活用開始
- ・ 現行の課題
 - 次期システムでの改良点を紹介
- ・ 整備するにあたっての留意点
 - 海域における基盤観測網の概念
 - 目的と観測項目の整理
- ・ 次期システムの提案
 - S-net、DONETハイブリッドシステム+ICT拡張
 - 海域観測プラットフォーム構想