

日本海溝海底地震津波観測網 (S-net) の運用と現状

国立研究開発法人防災科学技術研究所
地震津波火山ネットワークセンター
青井 真

1. S-net整備と現状
2. 観測網の一体運用
3. 今後の展望



地震津波火山 ネットワークセンター

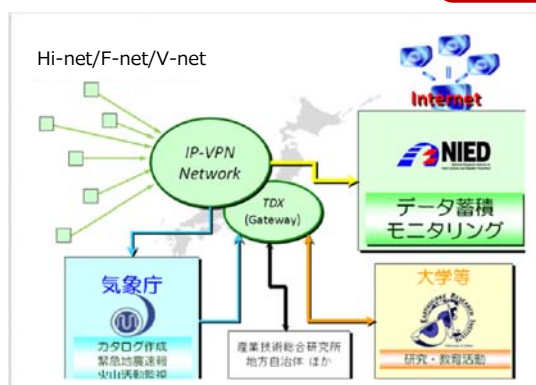
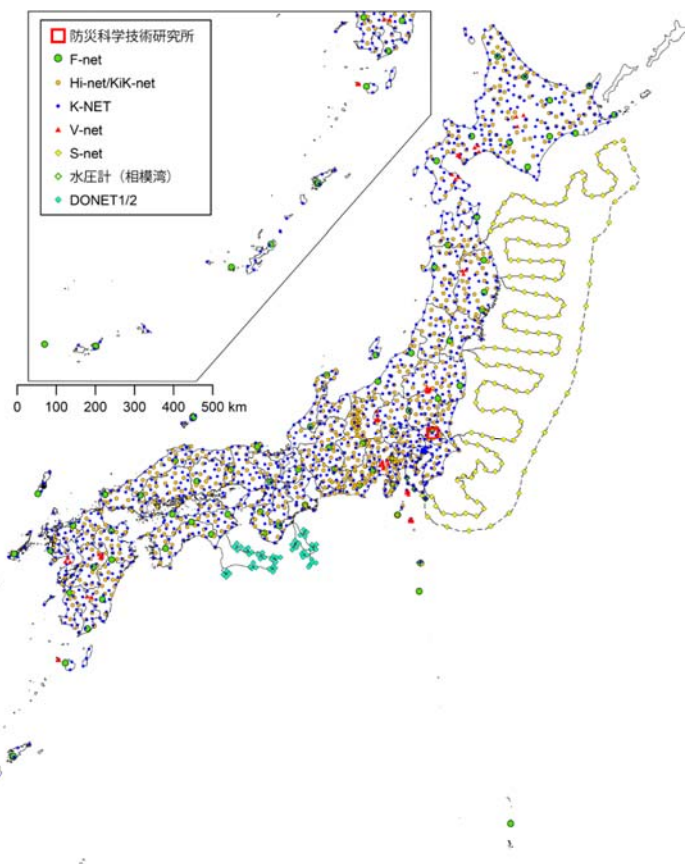
Hi-net

高感度
地震観
測網

F-net

広帯域
地震観
測網KiK-
netK-NET
強震地
震観測

V-net

火山観
測網S-net
DONET海底地
震津波
観測網

1. S-netの整備と現状

整備の背景・目的・推進体制

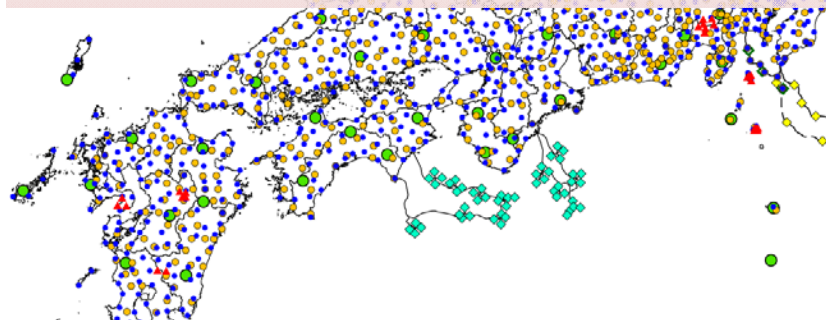
S-netのコンセプトと伝送システム

海洋敷設工事・陸上局の建設

S-net記録例（地震計・水圧計）

S-netを用いた津波即時予測

0 100 200 300 400 500 km

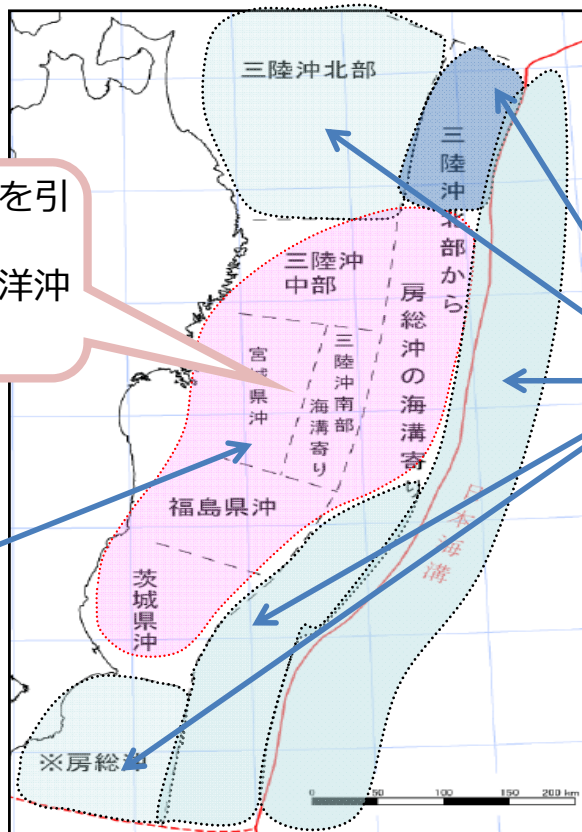


S-netの狙い

4

東日本大震災を引き起こした東北地方太平洋沖地震の震源域

余震のおそれ



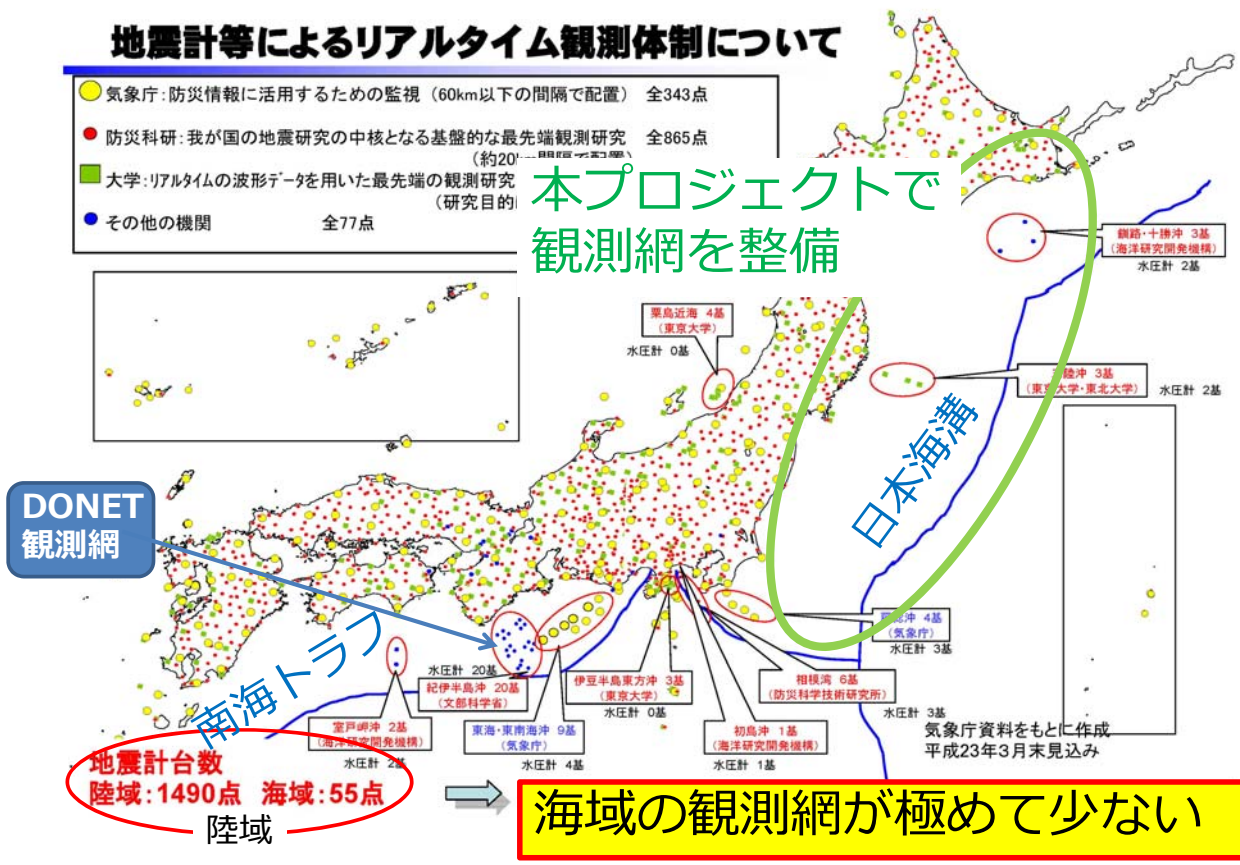
日本海溝・千島海溝沿いの今後の地震活動

誘発地震のおそれ

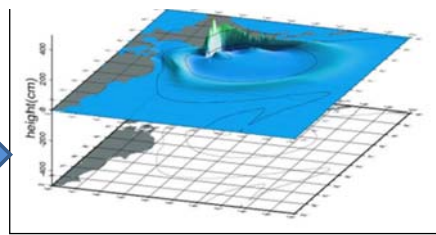
(地震調査研究推進本部による)

地震計等によるリアルタイム観測体制について

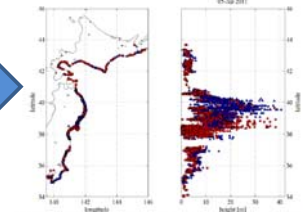
- 気象庁: 防災情報に活用するための監視 (60km以下の間隔で配置) 全343点
- 防災科研: 我が国の地震研究の中核となる基盤的な最先端観測研究 (約20%の観測網を構築) 全865点
- 大学: リアルタイムの波形データを用いた最先端の観測研究 (研究目的) **本プロジェクトで観測網を整備**
- その他の機関 全77点



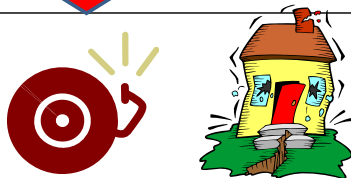
地震と津波を沖合150力所でリアルタイム観測



①津波即時予測への活用
津波の沿岸への到達前に津波高を高精度に即時予測

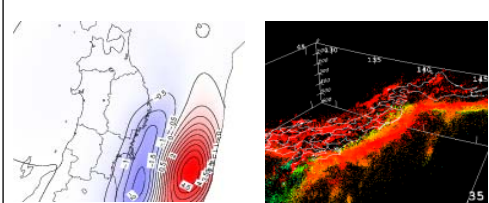


これまでより最大20分程度早く津波を実測・検知して情報の発信



②緊急地震速報への活用

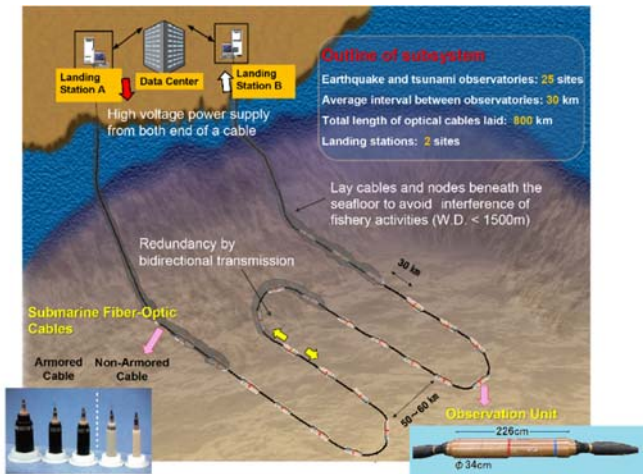
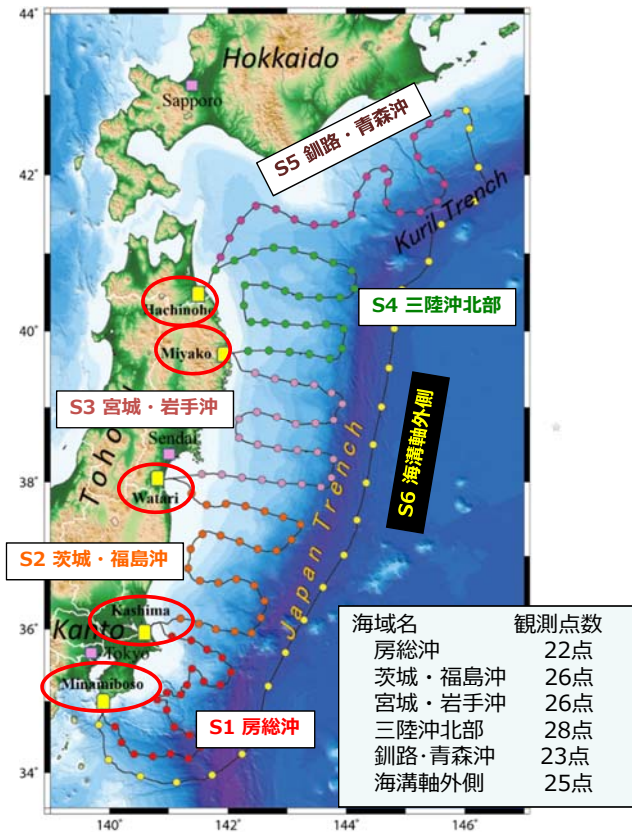
これまでより最大30秒程度早く地震の発生を検知 (平均的には15秒程度)



③地震像の解明

期待される成果

- 津波即時予測技術の開発及び津波情報提供の高精度化・迅速化
- 東北地方の地震像の解明
- 地殻変動 (鉛直方向) の観測
- 将来起きる地震の正確な予測
- 緊急地震速報の高度化 (最大30秒程度早く検知) 等



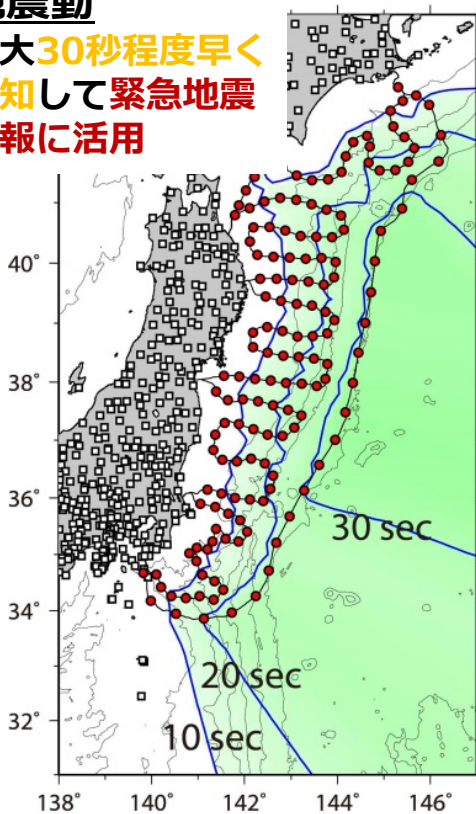
世界初の広域・多点のリアルタイム海底観測網

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

観測点の間隔は
 ほぼ東西方向 約30km間隔
 ほぼ南北方向 約50-60km間隔
 M7.5クラスの震源域程度の拡がりにも少なくとも1観測点が存在するよう観測網を構築。

地震動

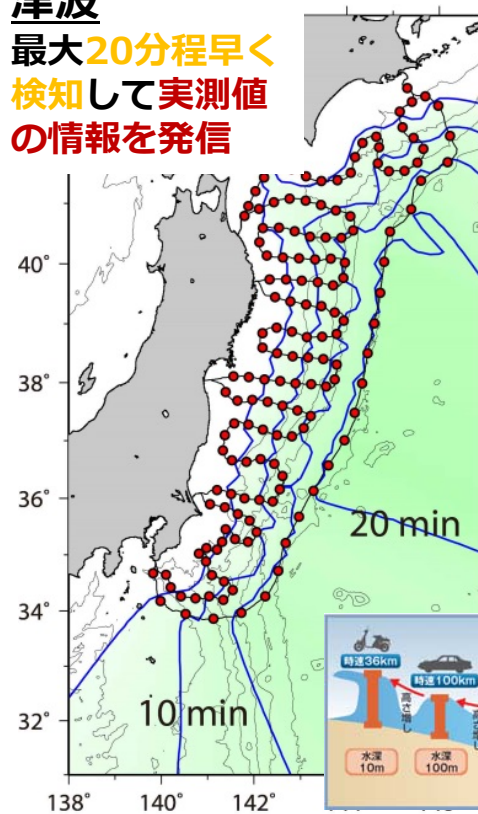
最大30秒程度早く
 検知して緊急地震
 速報に活用



地震波速度を7 km/sに仮定

津波

最大20分程早く
 検知して実測値
 の情報を発信



津波の速度を時速623 kmに仮定

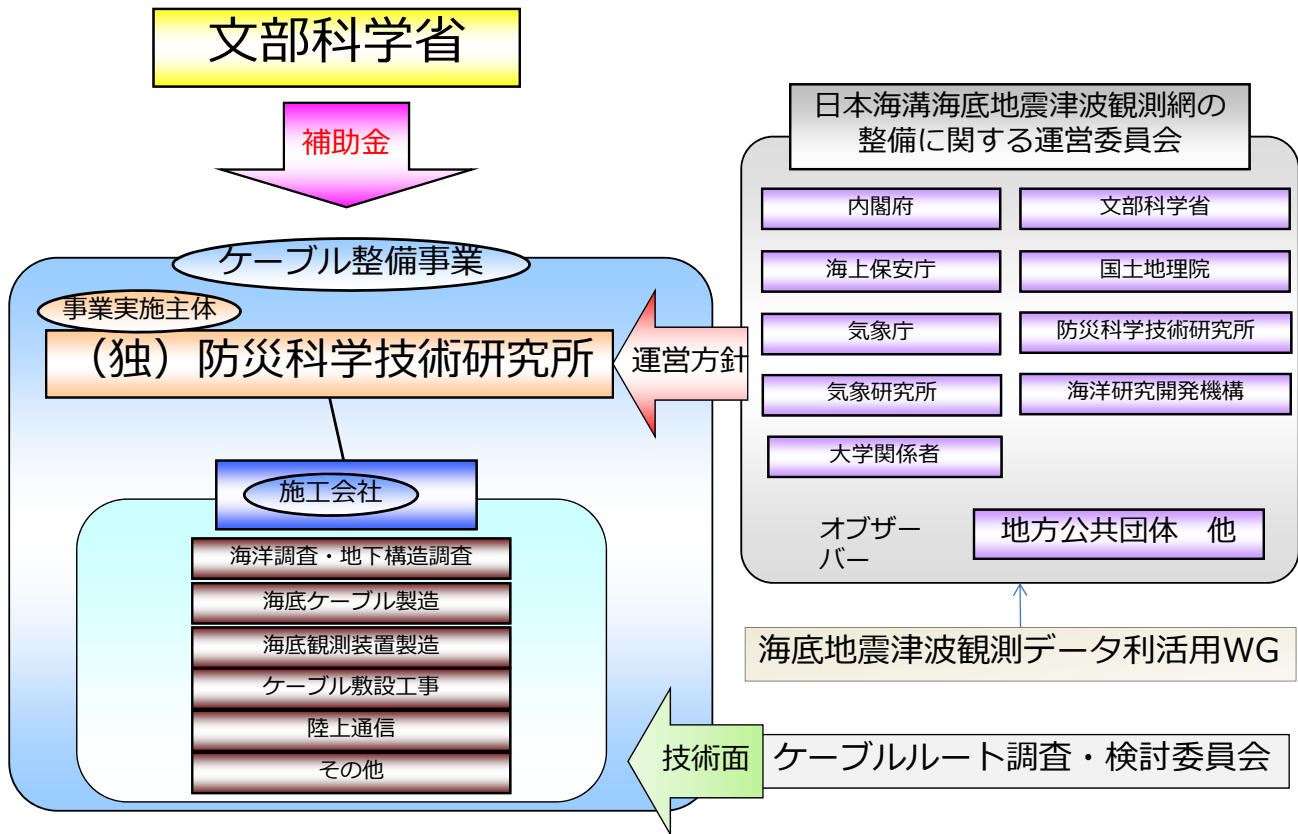
地震動予測

早い避難行動
 早い交通機関
 の停止
 早い操業機械
 の停止

津波即時予測 の高度化

沿岸津波高と到達時刻を迅速に
 予測，災害を軽減する





- **海溝軸外側から陸域までつなぐ広域・多点観測網**
(海底下埋設(水深1500 m以浅)による漁場への設置)
- **海底下埋設による高い観測品位**
(海底とのカップリングの向上、底層流起因雑音の低減)
- **同一地点・同一筐体での地震・水圧観測**
(コスト低減、コンタミネーションの推定)
- **複数の地震センサーによる冗長化・広帯域化**
- **強靱な観測システム**
 - ①ケーブル障害：双方向伝送・両端給電
 - ②停電：非常用電源で一週間対応
 - ③海底通信技術利用による高信頼性の海底観測装置の設計・製造
 - ④観測装置の故障：観測装置と陸上局間は1対1の対向伝送により他の観測装置のデータ伝送への影響を排除
 - ⑤陸上通信インフラ障害：局間冗長の開発、伝送の二重化
 - ⑥ケーブル切断リスクの回避：海底下埋設、ルート選定

陸上局：
なるべく高台に置く

陸揚げ局A 防災科学技術研究所 陸揚げ局B 佐賀県庁

マイナス給電 1500 ボルト

プラス給電 1500 ボルト

②インフラ障害：
非常用電源 (1週間分の燃料)

漁業操業海域 (1500 m以浅) では、ケーブルと海底観測所を海底下に埋設 (深さ1 m程度)

海底観測装置(地震計と津波計)の一体化によるコスト低減

30Km

房総沖は22台

給電電圧は1.1アンペアの定電流を給電するように自動制御 (最大3000ボルト出力の直流電源)

観測所

CS1 CS2 CS3

双方向にデータを送る

①ケーブル障害に強いシステム：
陸上局設備の冗長。両端給電と双方向データ伝送の採用

海底光ケーブル

外装ケーブル 無外装ケーブル

観測装置：
地震計と津波計の一体化によるローコスト化
最大水深8000mの海底に設置可能

外寸：直径34 cm x 長さ226 cm 重量：約650 kg

ベリリウム銅製の円筒型耐圧容器

水圧計 (津波計)

地震センサ部

光アンプ部 伝送部

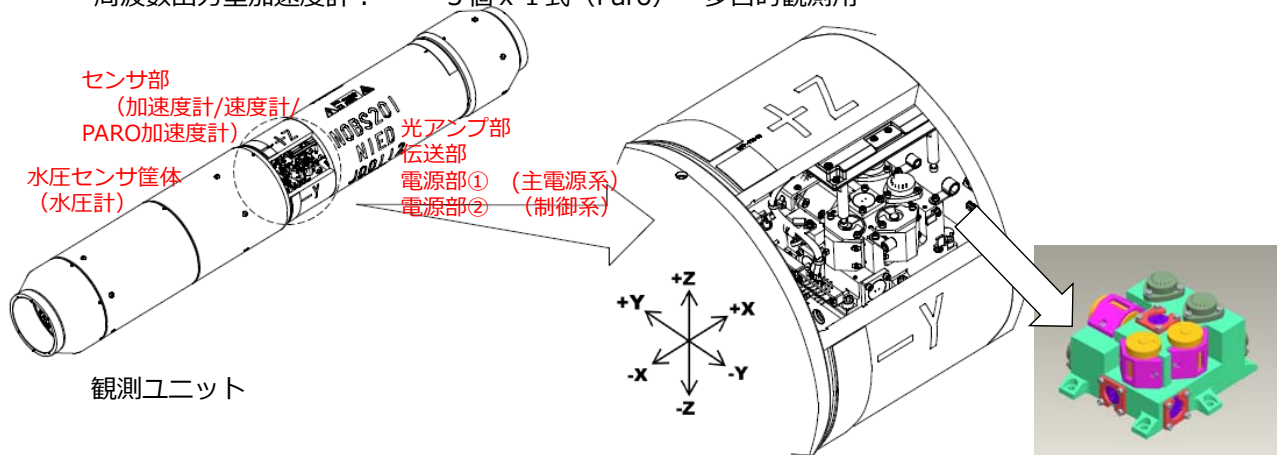
4心フィードスルーの開発

数mmの分解能

③高信頼性の装置

- 複数センサーによる冗長性 (海底水圧計2式、地震計4セット)
- 海底通信用中継器の製造環境・技術の採用
- 高信頼性部品の採用
- レーザ溶接による水密構造
- ベリリウム銅合金製の耐圧容器

- 観測ユニット構成** : 空中重量 約650kg、水中重量 約530kg
 - 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) 津波観測用、地殻変動観測用
 - 加速度計 : 3個 x 2式(JAE1 : ±5G , JAE2L : ±2G/ H : ±0.0625G) 地震観測用
 - 速度計 : 3個(OMNI : 固有周波数15Hz) 地震観測用
 - 周波数出力型加速度計 : 3個 x 1式 (Paro) 多目的観測用

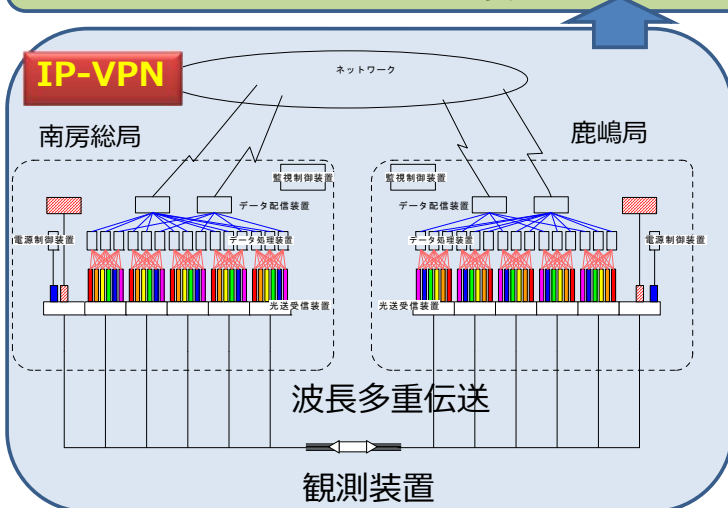


海中データ伝送方式の強靱化 :

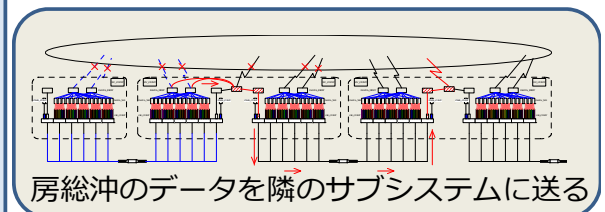
- 12芯の海底光ケーブル
- 5ファイバーペアを観測装置のデータ伝送、1ファイバーペアを観測装置制御に割り当て
- 5波長もしくは6波長の多重技術の採用
- 1ファイバーペア上に5台もしくは6台の観測装置

各観測装置は専用の波長により
陸上局と1対1の対向接続

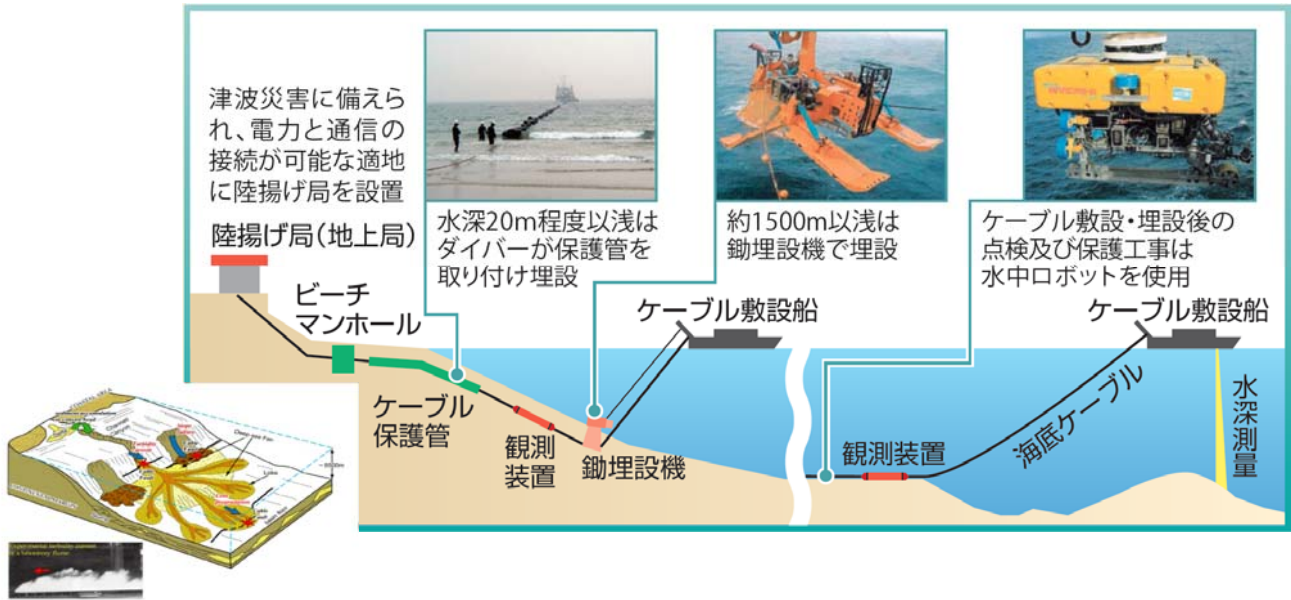
どの観測装置の障害も、他の観測装置のデータ伝送に影響を与えない



陸上通信インフラ障害への対応 : 局間冗長の開発

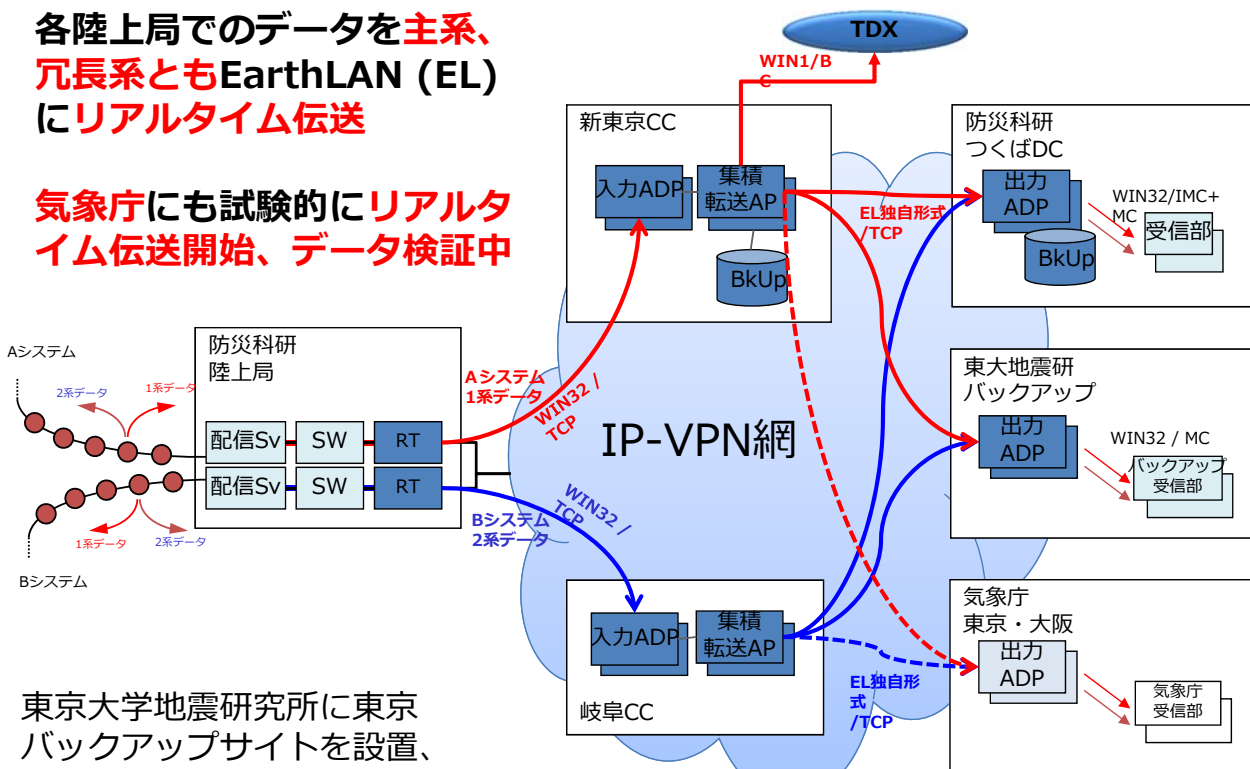


- その対策① 底曳漁・貝桁漁等の漁具および走錨によるケーブル損傷を避けるため、**ケーブル及び観測装置を海底下埋設（水深1500m以浅）**
- その対策② 海底地滑りや乱泥流の発生しそうな海底地形の場所を避けるように**ケーブルルートの選定**
- その対策③ 2011年東北地方太平洋沖地震による障害など過去の通信ケーブル障害情報を入手し、可能な限り、そのような場所を迂回するように**ケーブルルートおよび陸揚げ地の選定**



各陸上局でのデータを主系、冗長系ともEarthLAN (EL) にリアルタイム伝送

気象庁にも試験的にリアルタイム伝送開始、データ検証中



東京大学地震研究所に東京バックアップサイトを設置、運用について連携協定締結予定

● 海底ケーブル敷設船

KDDIパシフィックリンク (KPL)

- 総トン数 7,960トン
- 裁荷重量 6,597トン
- 全長X幅X深さ・Loa 109.0m X B 20.5m X D 9.0m
- 満載喫水 7.5m
- 最大搭載人員 58名
- 航海速力 10.5ノット (時速約19km)
- 航海日数 50日
- 船尾スラスト 800kw x 3基
- 発電機 1,600kw X 6基
- 主推進器 電動モータ (アジマスタイプ) X 2基
- 電動油圧ドラム式ケーブルエンジン 直径3.6m X 2台
- 電動油圧タイヤ (リニア) 式ケーブルエンジン . 20対 X 1台



敷設船



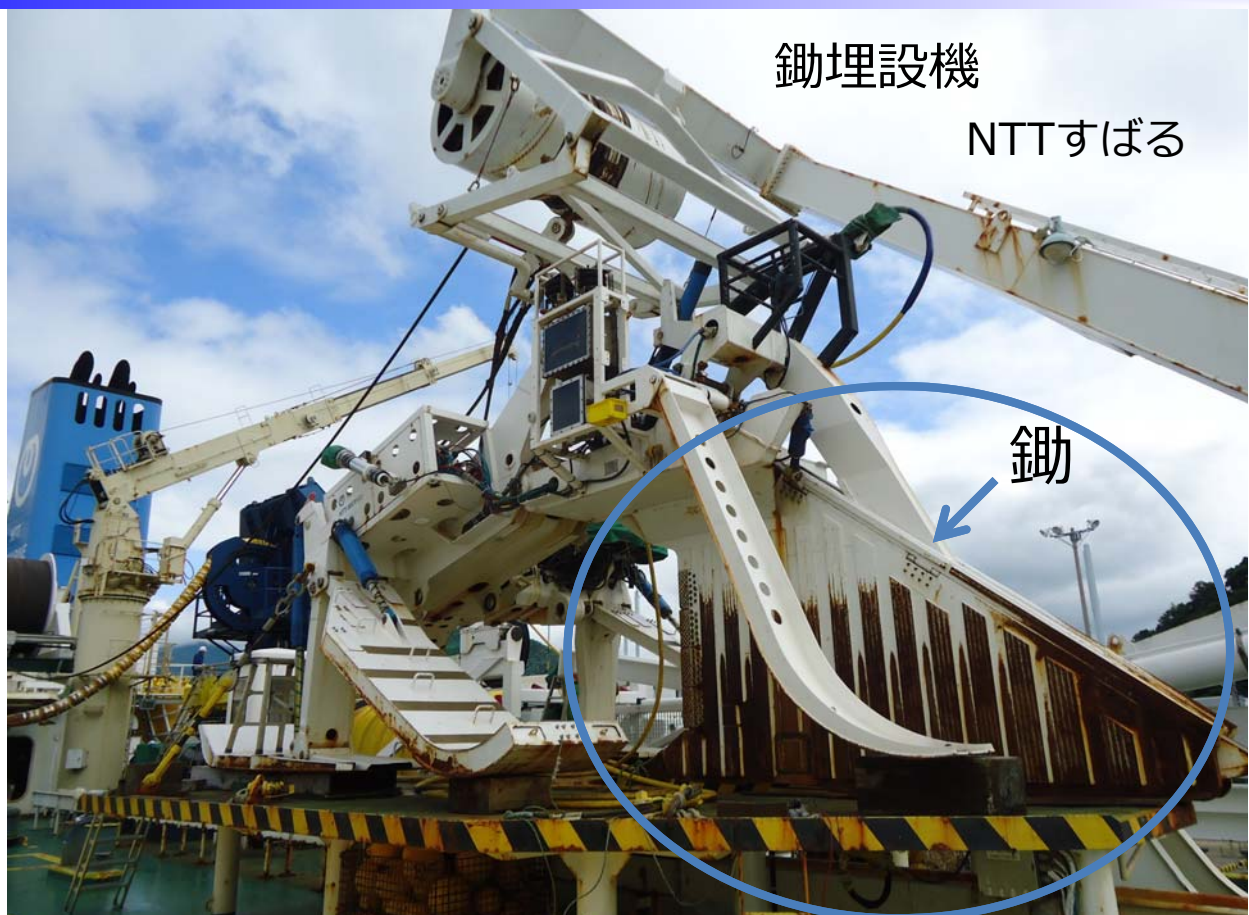
鋤埋設機

鋤式埋設機
「Cable Plow-II」 最大水深 1,500m

ROV (水中ロボット)
「MARCS-Ⅲ」 最大水深 2,500m ウォータージェット式
マニピュレーター 2基 ケーブルグリッパー/カッター搭載



MARCS-V



鋤埋設機

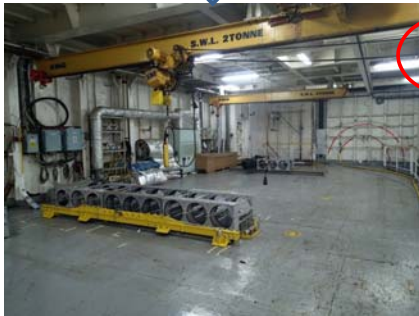
NTTすばる

鋤

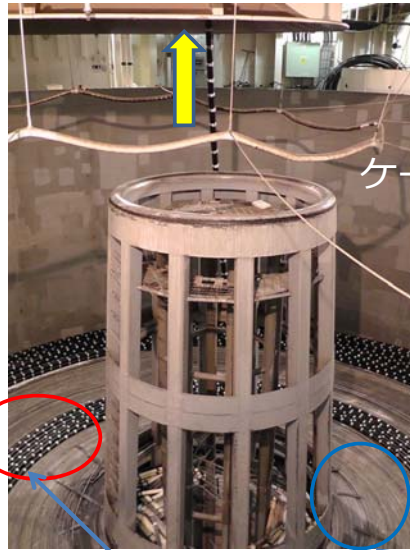
敷設船KDDIパシフィックリンク



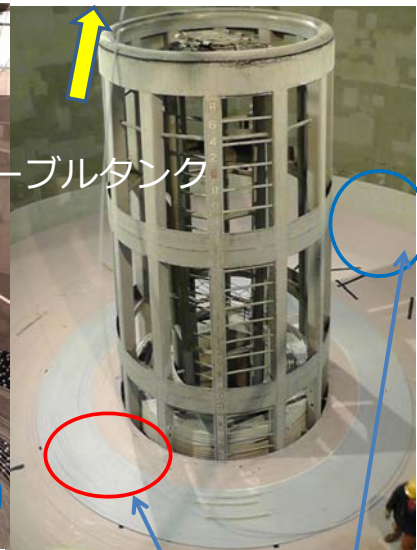
28台の観測装置
(手前17台、奥側11台)



観測装置はすべて敷設



ケーブルタンク



LWケーブル

LWSケーブル

DAケーブル/ポリウレタン防護管
陸揚げ部

SAケーブル



DAケーブル（直径41mm）に直径93mmの
ポリウレタン防護管を被せて繰り出し



KPL側から撮影



陸側から撮影



重機でケーブルを巻き取り



陸揚げに先立ち
ビーチマンホールの設置

敷設船KDDIパシフィックリンク



クレーンでトラフに移動



トラフにセット



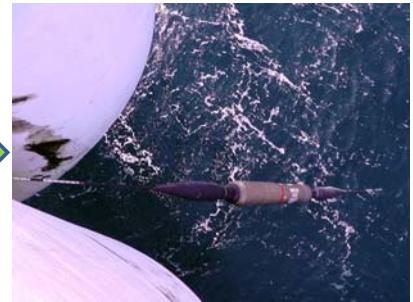
トラフ上を移動



リニアケーブルエンジンを通過



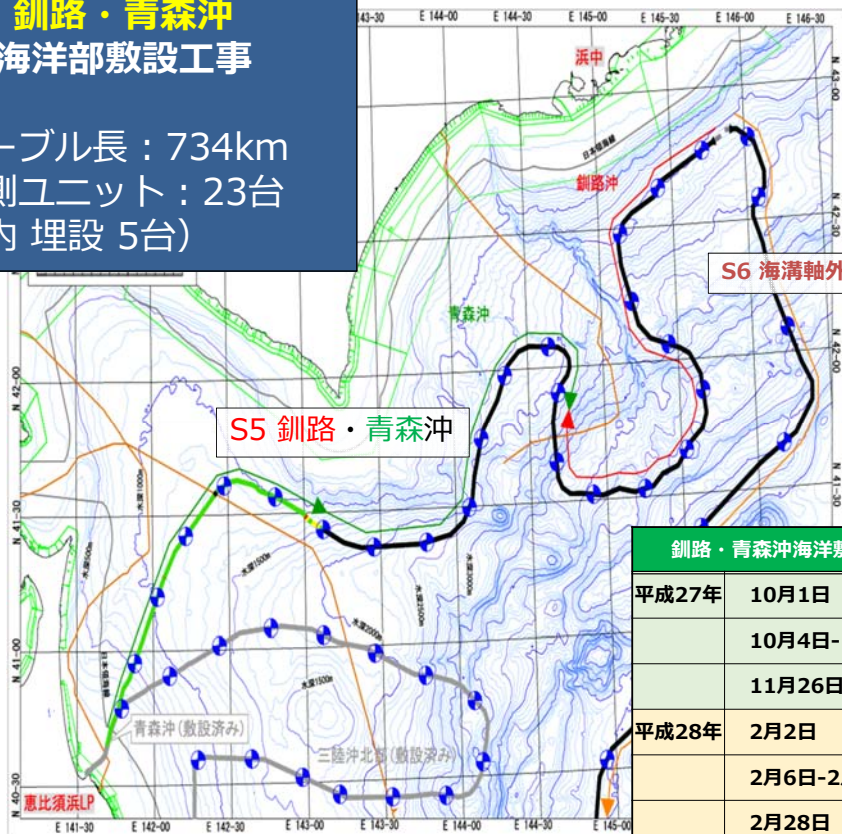
右舷シュータを通過



着水

釧路・青森沖 海洋部敷設工事

- ケーブル長：734km
- 観測ユニット：23台
(内 埋設 5台)



平成28年度
実施予定

釧路・青森沖海洋敷設工事 すばる(NTT-WEM)		
平成27年	10月1日	すばる 若松港出港
	10月4日-11月23日	敷設 (Lay2)
	11月26日	すばる 下関港入港
平成28年	2月2日	すばる 長崎港出港
	2月6日-2月25日	敷設 (Lay1)
	2月28日	すばる 長崎港入港



ケーブルヘブイの取り付け（KPL船上）



ケーブル端、汀線到達



ケーブル陸揚げ（旧海洋学院）



KPL船上より

伝送・制御系
 WME (6波長) , OE-Cont ,IP Converter,
 WS, GPS



直流高圧給電装置 (PFE)
 Supply voltage
 DC3000Vmax
 Constant current 1.1A

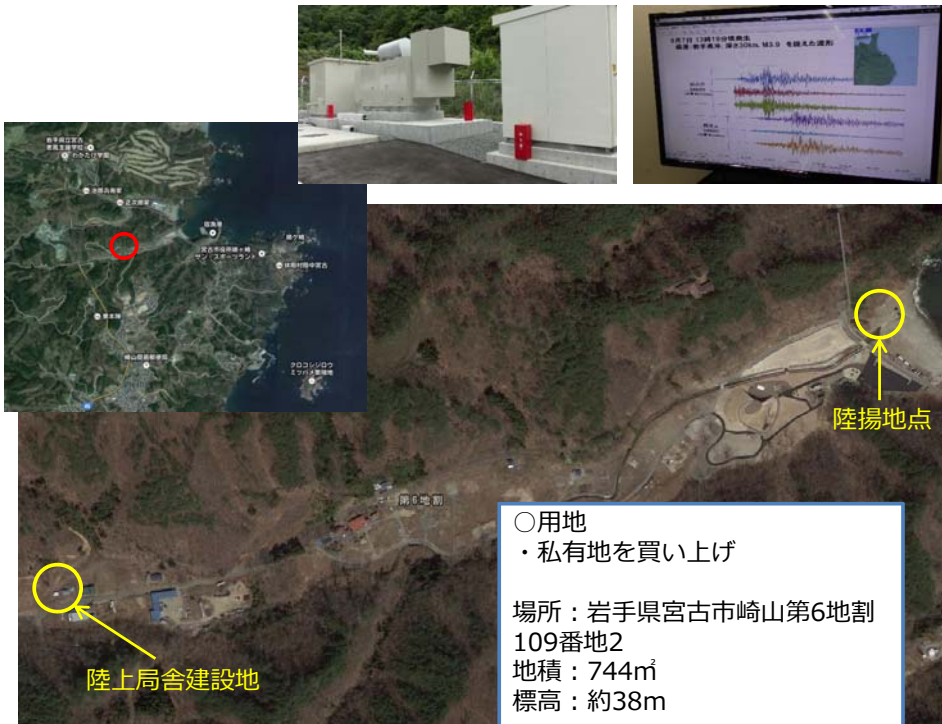




○用地
 ・ 私有地（旧海洋学院跡地）を買い上げ
 場所：青森県八戸市大字鮫町字下盲久保 25-131
 地積：1848.78㎡

○陸上局舎及び陸上管路
 ・ 平成 27 年 3 月完了

開所式（6月17日）



○用地
 ・ 私有地を買い上げ
 場所：岩手県宮古市崎山第6地割 109番地2
 地積：744㎡
 標高：約38m

○陸上局舎及び陸上管路
 ・ 平成 27 年 3 月完成

開所式（6月10日）



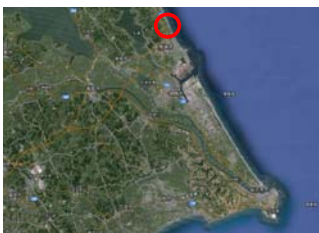
開所式（5月25日）

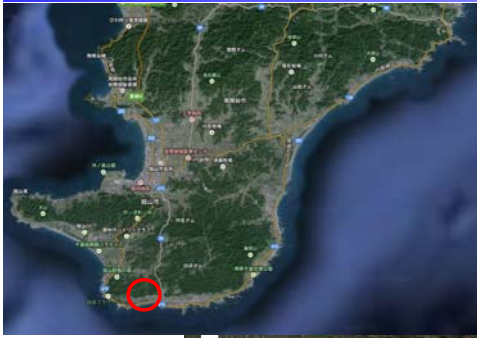


- 用地
 - ・鹿嶋市土地開発公社所有の土地を買い上げ。

場所：茨城県鹿嶋市明石字久保山564番5, 565番26
地積：約1,500 m²
標高：約30 m

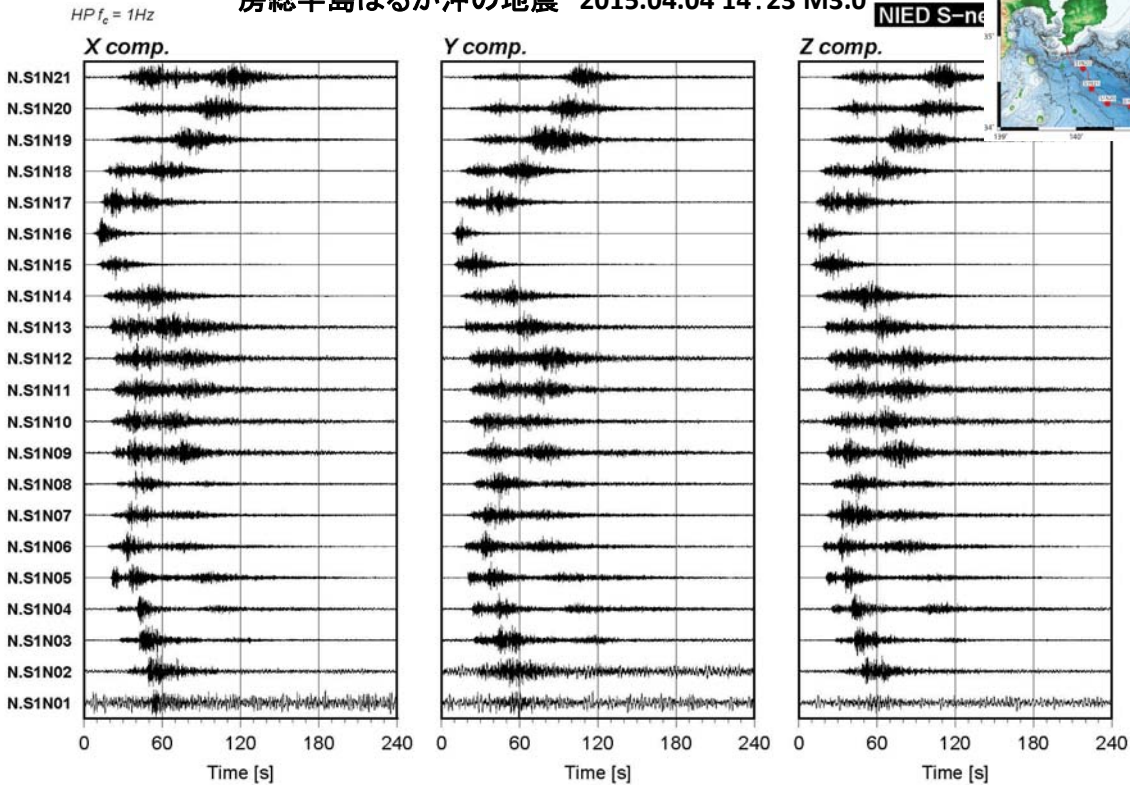
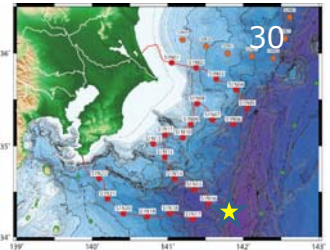
- 陸上局舎及び陸上管路
 - ・平成27年3月完成





- 用地
 - ・南房総市所有の土地を賃貸。
- 場所：千葉県南房総市
白浜町滝口字横手
5185番1
占有面積：622.43㎡
標高：約20 m
- 陸上局舎及び陸上管路
 - ・平成27年3月完成

房総半島はるか沖の地震 2015.04.04 14:23 M3.0

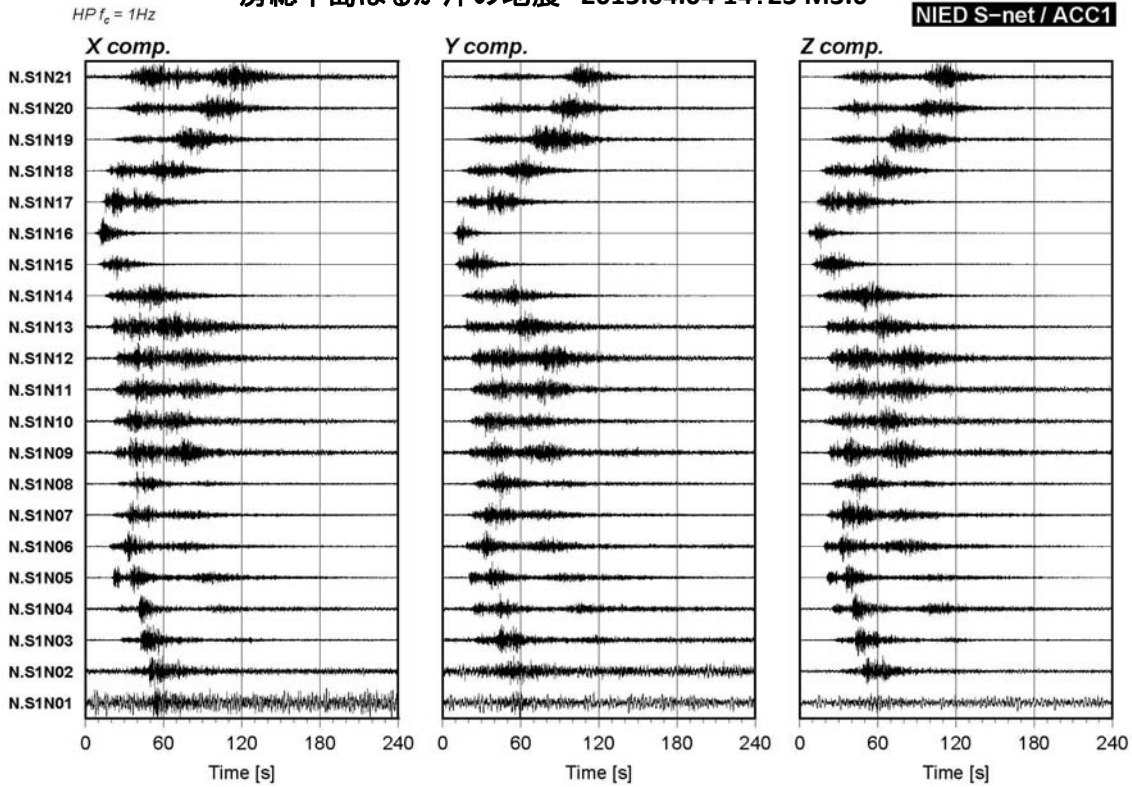


1秒ハイパスフィルター適用
縦軸は振幅で規格化

横軸は、震源時からの経過時間

房総半島はるか沖の地震 2015.04.04 14:23 M3.0

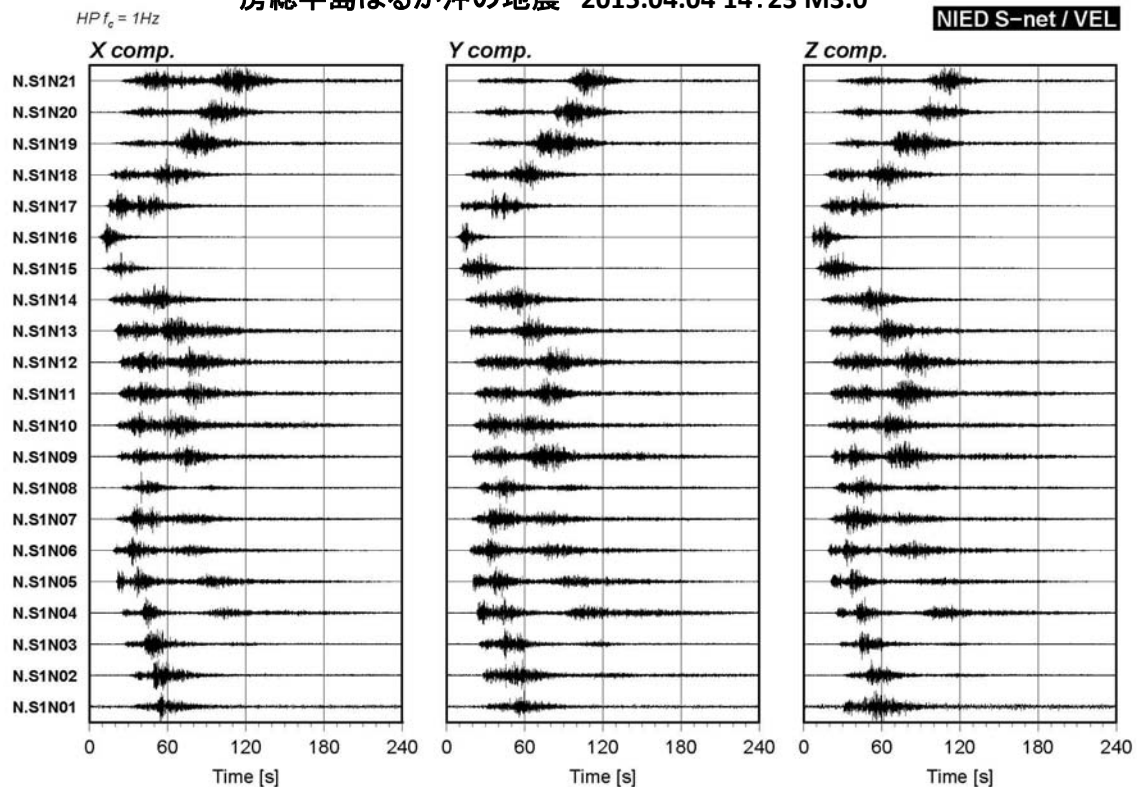
NIED S-net / ACC1



1秒ハイパスフィルター適用 縦軸は振幅で規格化
横軸は震源時からの経過時間

房総半島はるか沖の地震 2015.04.04 14:23 M3.0

NIED S-net / VEL

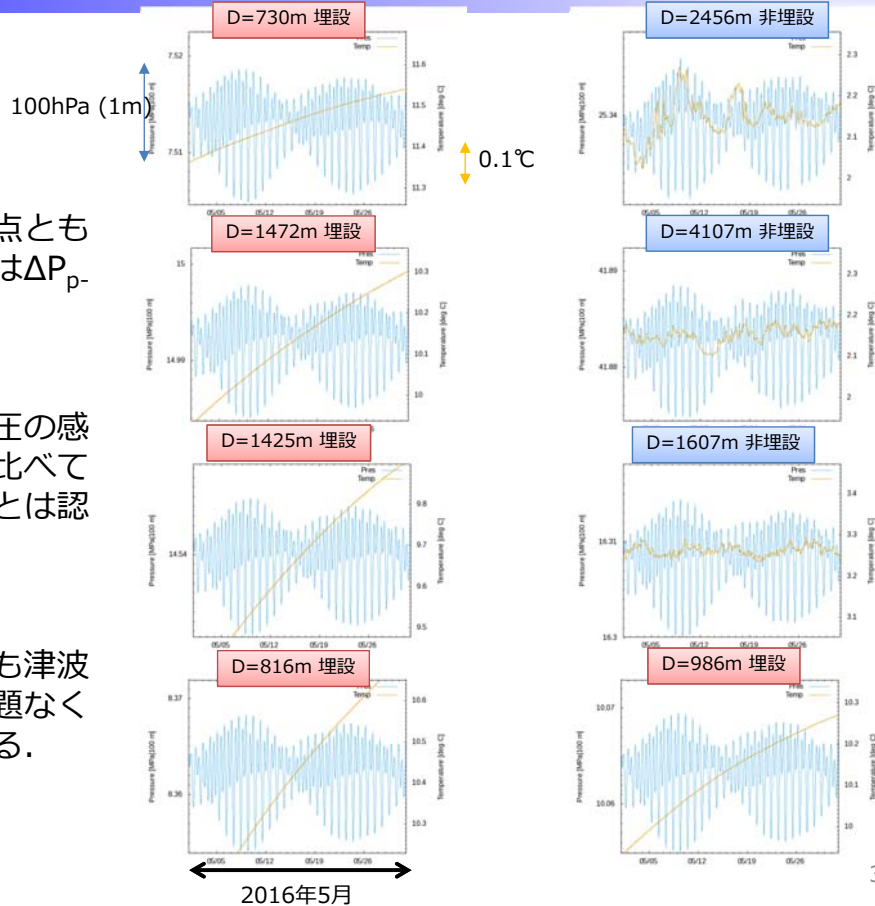


1秒ハイパスフィルター適用 縦軸は振幅で規格化
横軸は震源時からの経過時間

埋設・非埋設の観測点とも
潮汐に伴う水圧変化は ΔP_p
 $\rho = 100 \text{ hPa}$ 程度

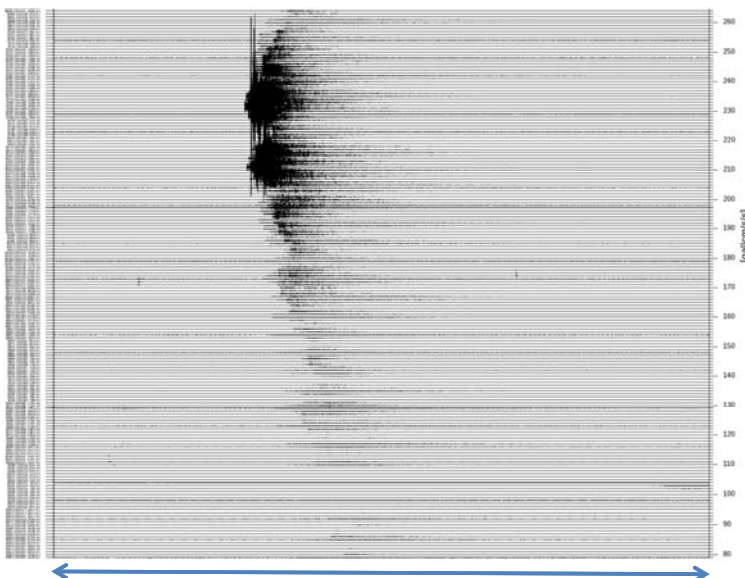
埋設した観測点の水圧の感
度は非埋設観測点と比べて
著しく変化しているとは認
められない。

⇒埋設した観測点でも津波
による水圧変化を問題なく
記録すると考えられる。

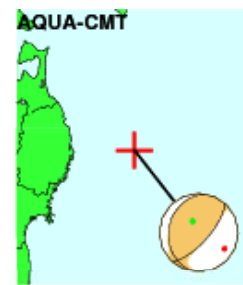


- AQUA-CMT
 - 震源 39.6N 143.5E 17km 三陸沖
 - Mw 4.1
 - 走向 188.9°/41.8° 傾斜 24.0°/69.5°
すべり角 59.4°/102.8°

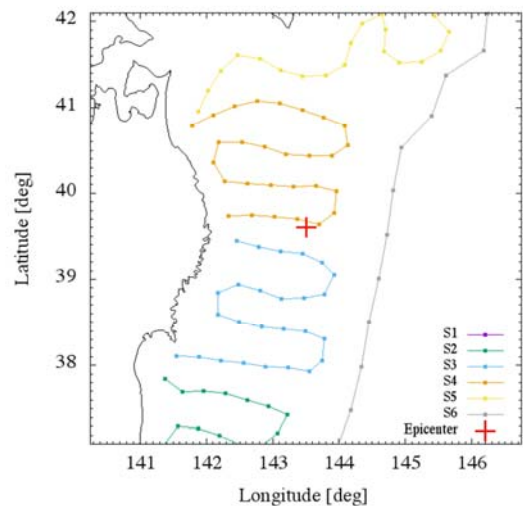
S4~S2の加速度計(±5G)のpaste up (XYZ成分混在)



10分間



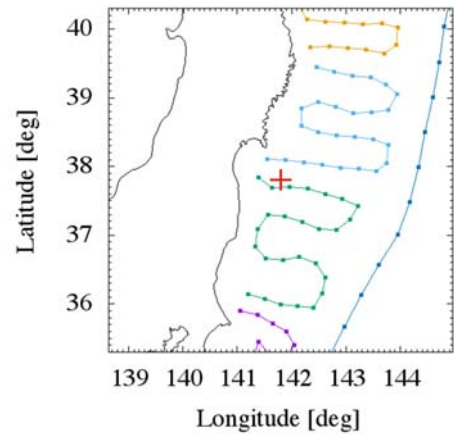
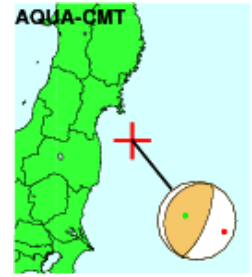
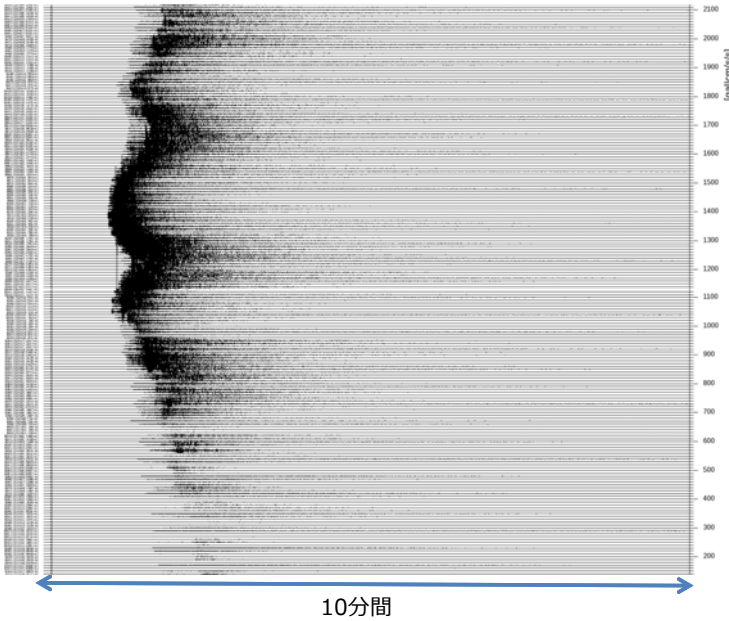
2016-04-09 09:22:51
Mw4.1. Depth=17km



AQUA-CMT

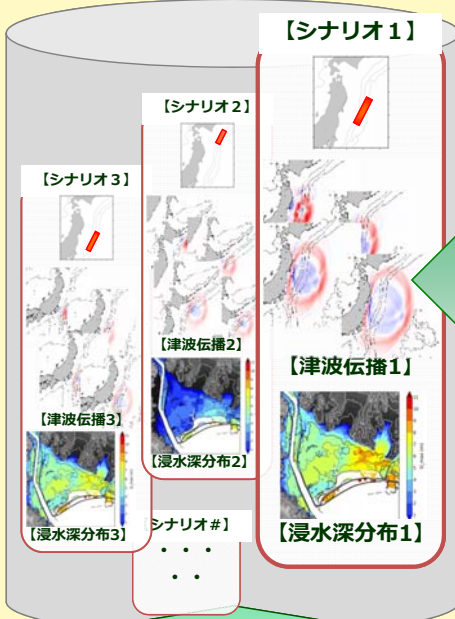
- 震源 : 37.8N 141.8E 49km 福島県沖
- Mw 5.9
- 走向 $198.1^\circ/22.3^\circ$ 傾斜 $19.3^\circ/70.7^\circ$
すべり角 $86.0^\circ/91.4^\circ$

S3~S2の加速度計(±5G)のpaste up (XYZ成分混在)



【津波シナリオバンク】

可能性のあるシナリオを網羅的に計算し、全地震シナリオについて津波伝播(時系列)と浸水深分布をデータベース化する

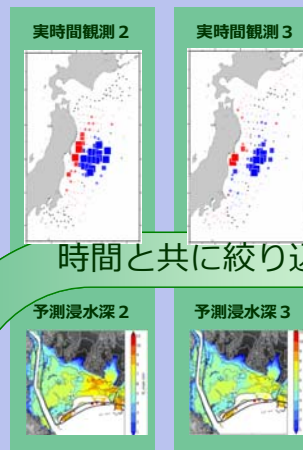
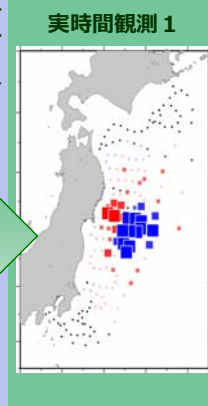


※ 時空間マッチング

事前にデータベース化された全地震シナリオによる津波伝播と観測される波高(水圧)分布を逐次時空間マッチングすることにより、似た波高分布を示すシナリオを探す。

時空間マッチング※

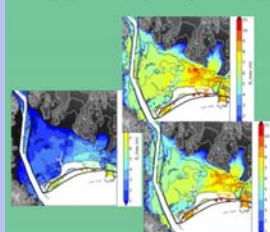
選別



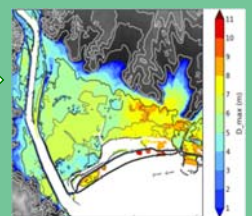
時間と共に絞り込み

時間の経過と共にシナリオが絞り込まれ、予測される浸水深分布の確度が高くなる

【選別されたシナリオ群】



観測データを説明可能な複数の津波シナリオを選別することで不確実性を取り込んだ予測を可能にする



防災情報としての予測浸水深分布

【地形バンク】

全国における津波遡上の予測計算のために防潮堤等の構造物も考慮した沿岸地形モデルを整備する

2. 観測網の一体運用

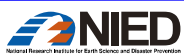
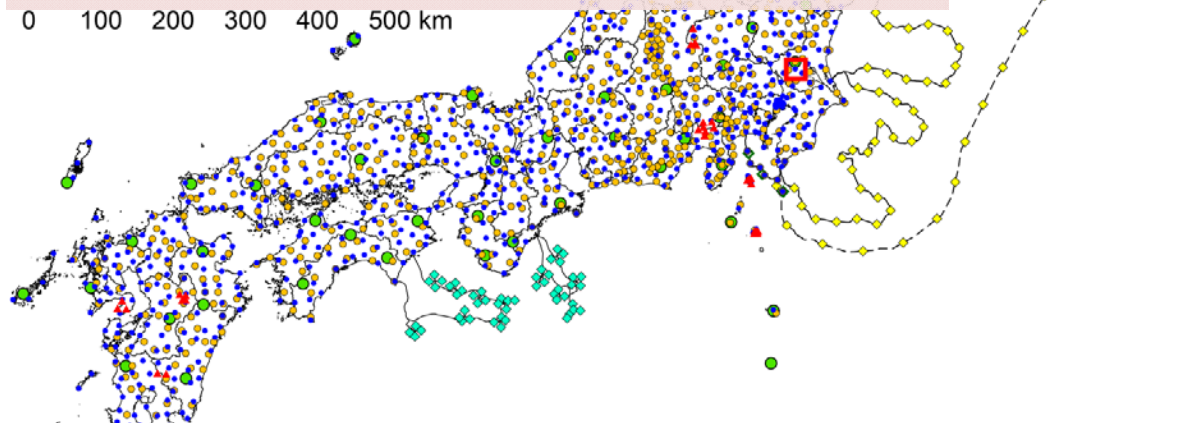
陸域観測網の維持・管理・運用

JAMSTECからDONETの移管

火山観測網の整備

中核機関として海陸観測網の一体運用

0 100 200 300 400 500 km



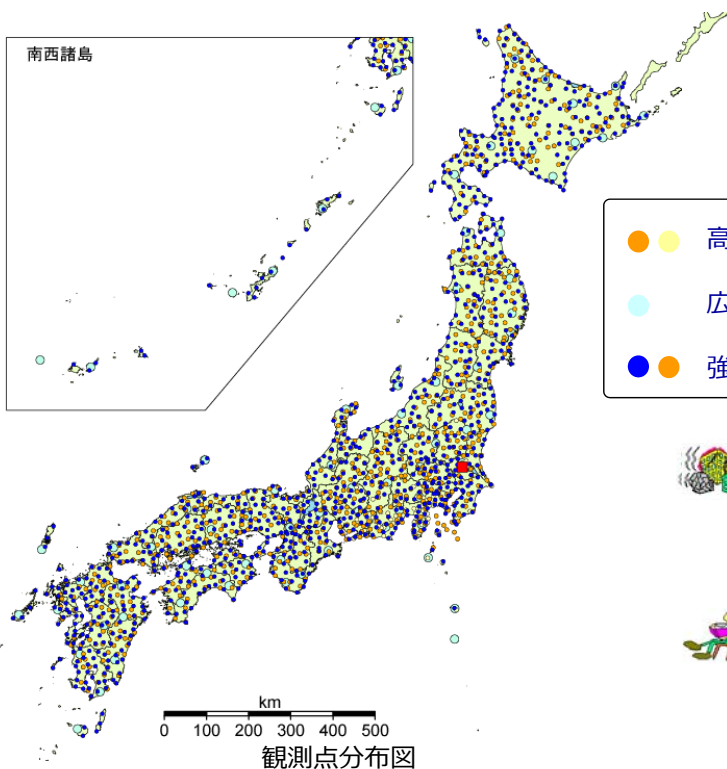
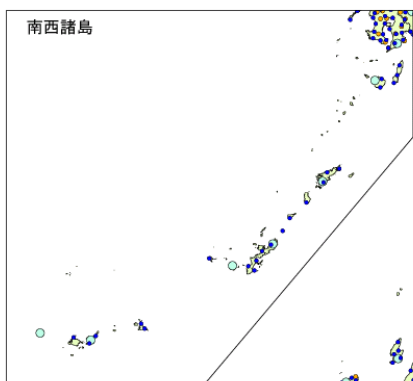
防災科研の地震観測網（陸域）

38

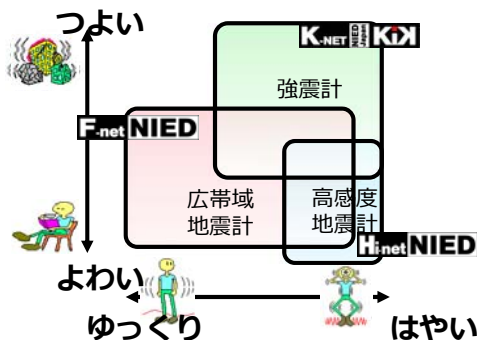
阪神・淡路大震災（H7年）を契機に地震調査研究推進本部が発足。地震に関する基盤的調査観測計画に基づき整備。

目的：地震による被害の軽減及び地震現象の解明

- 長期的な地震発生の可能性の評価
- 地殻活動の現状把握・評価
- 地震動の予測・津波予測の高度化
- 地震に関する情報の早期伝達

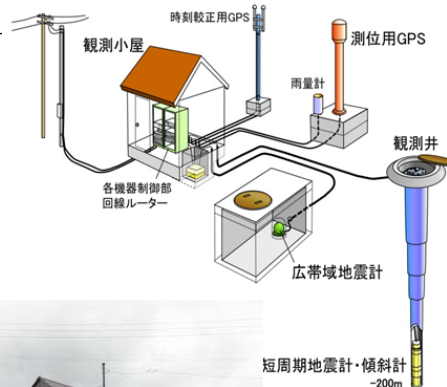
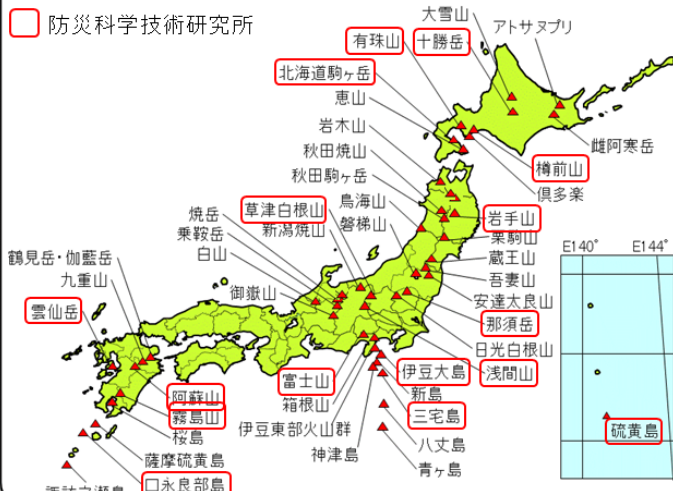


● ●	高感度地震観測網 (Hi-net)	Hi-net NIED
● ●	広帯域地震観測網 (F-net)	F-net NIED
● ●	強震観測網 (K-NET & KiK-net)	K-NET 強震計 KIK



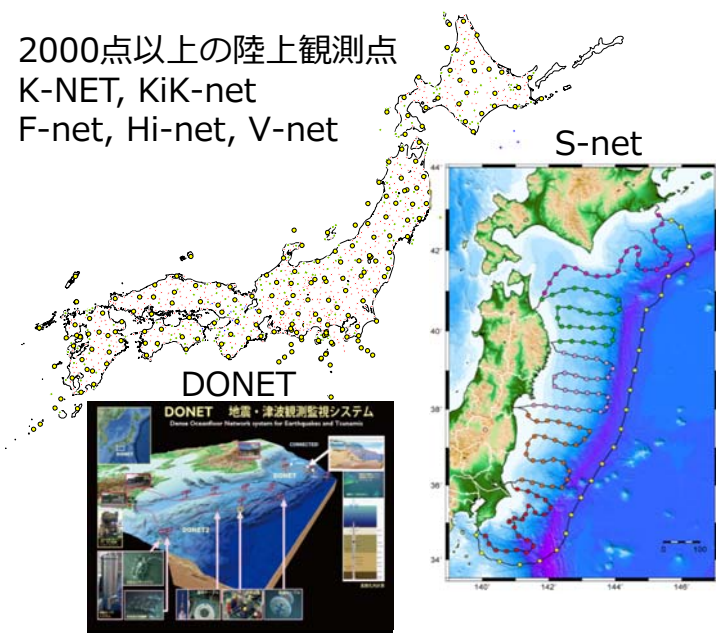
「火山防災のために監視・観測体制の充実等の必要がある火山」
として火山噴火予知連絡会によって選定された**50火山**

気象庁が常時監視を実施している50火山



GPS	傾斜計	高感度地震計	広帯域地震計
火山内部のマグマがどのくらい膨張しているかを推定するため、火山の地表の動き（地殻変動）を測定する装置。	マグマの上昇量の推定するため、マグマの上昇による火山本体の傾きを測定する装置。	マグマが移動時に周辺岩盤を破壊することにより発生する微小地震を検知する装置。検知した微小地震は、マグマの移動場所の推定に活用。	噴火活動の推移や噴火の規模を推定するため、噴火による長周期の振動を検出するための装置。

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

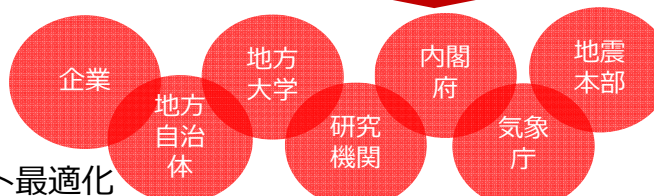
Hi-net, F-net
K-NET, KiK-net
DONET, S-net
V-netその他
全国一元化

配信の最適化

海陸ネットワーク統合
データ保存、観測一元管理

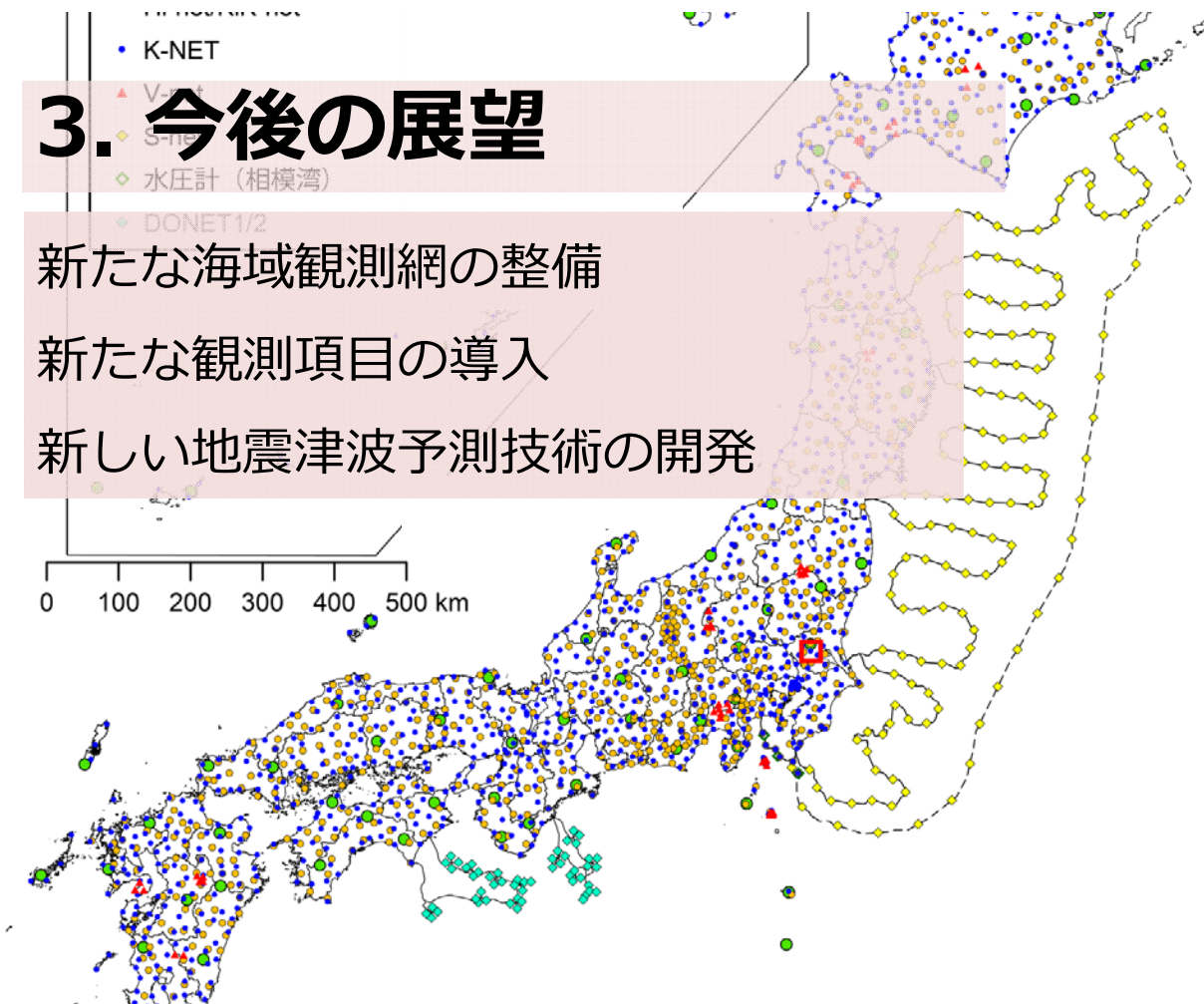
データ利活用

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

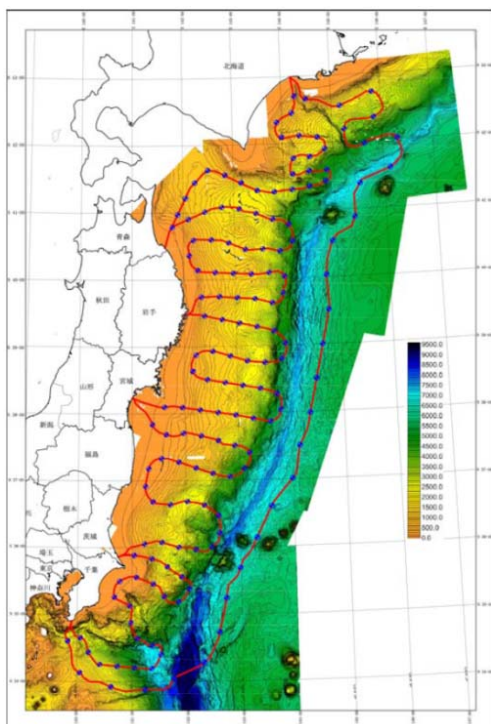


3. 今後の展望

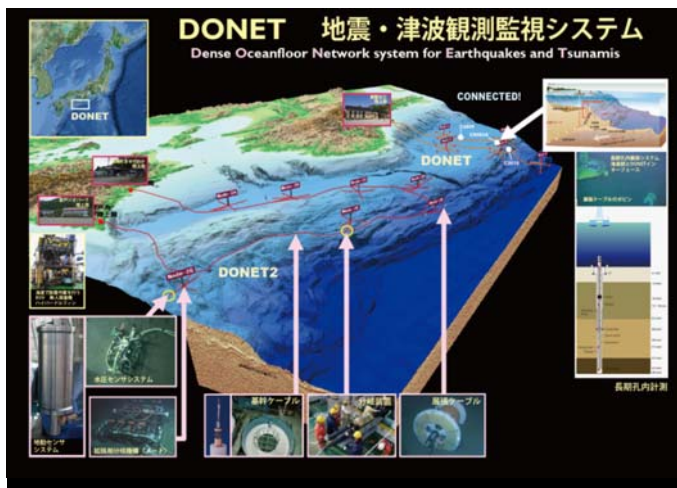
- K-NET
 - ▲ V-net
 - ◆ S-net
 - ◇ 水圧計 (相模湾)
 - ◆ DONET1/2
- 新たな海域観測網の整備
 新たな観測項目の導入
 新しい地震津波予測技術の開発



新規海底ケーブルシステムの開発



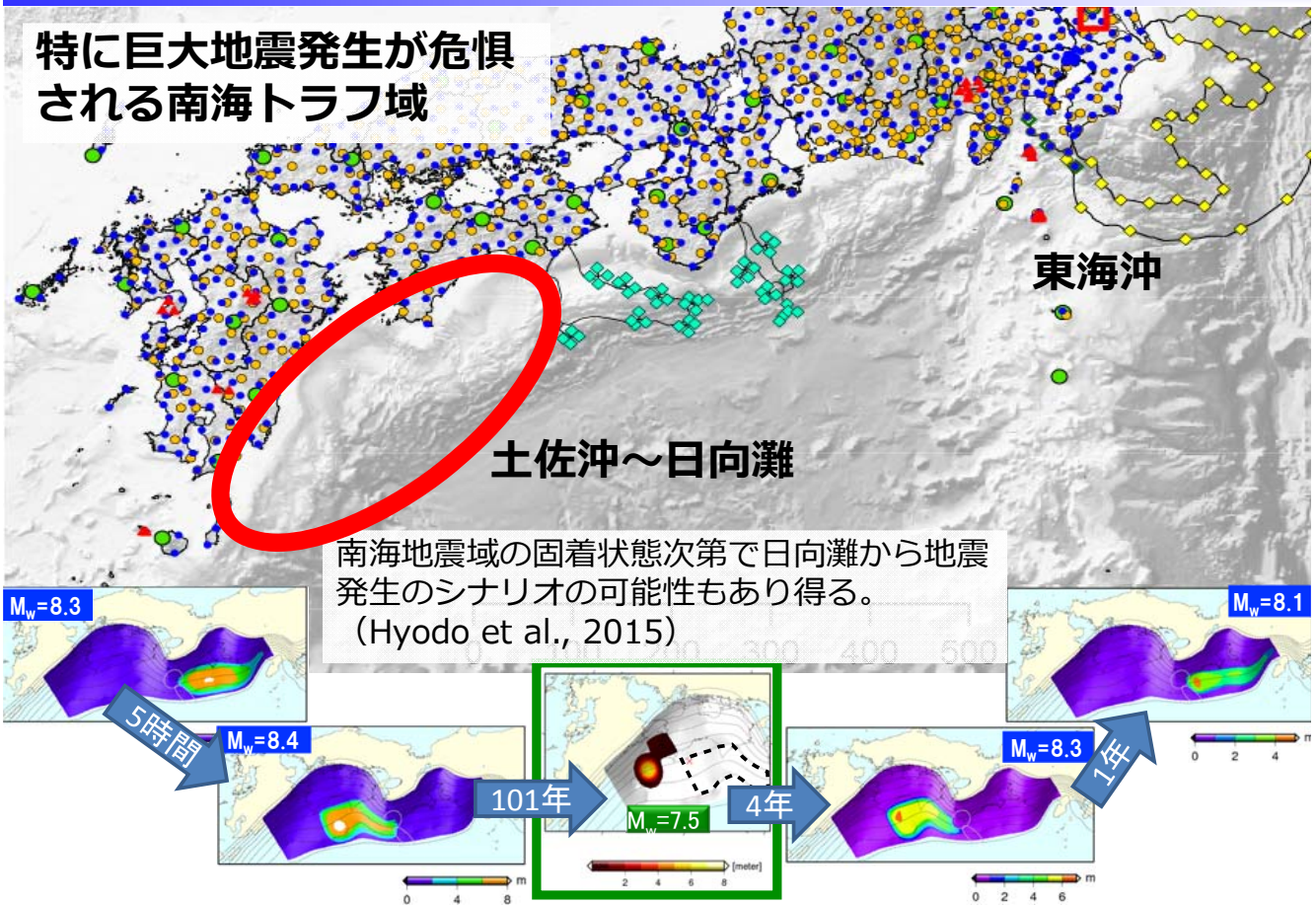
S-netの広域性・多点観測機能



DONETの拡張性・置換性・マルチセンサー化による広帯域性

- インライン方式とDONET方式の利点を取り入れる
- 観測ノード間通信に最新通信技術を検討
- 多数の観測点を接続可能とし、観測ノードの割り入れも容易に
- 交換できるインライン方式の検討

特に巨大地震発生が危惧される南海トラフ域



- S1-S5の5システムに関して観測網を整備・構築済み、S6は今年度中に敷設予定
- S-netの試験運用開始、気象庁へデータの試験的なリアルタイムを伝送開始
- データのクオリティコントロール実施中
- S-netを海陸統合観測網の一部として一体的に運用、地震・津波即時予測や長期評価に活かす
- 土佐沖から日向灘のエリア等の南海トラフ域を初めとする新たな海域における観測網構築に期待