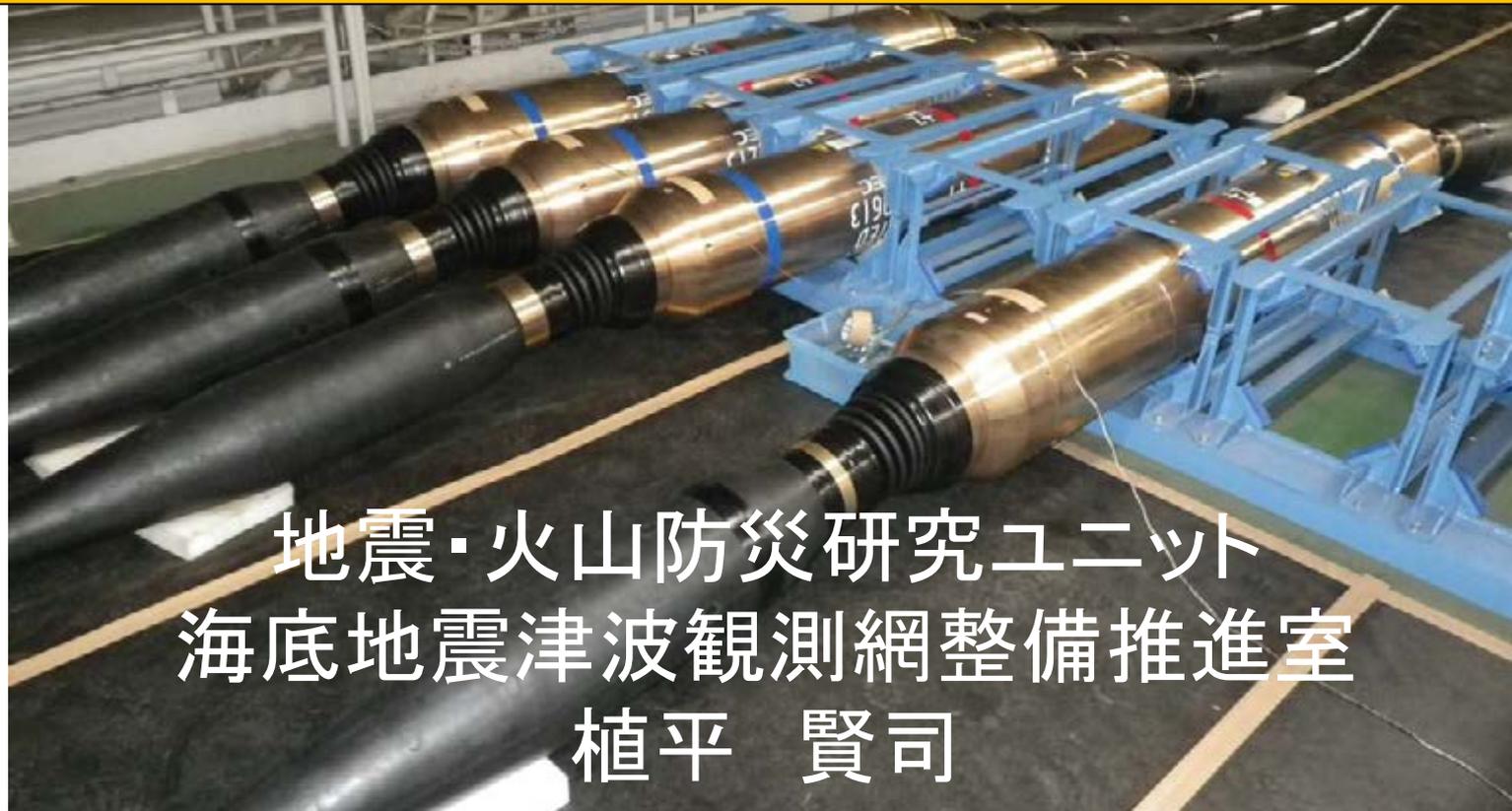


# 日本海溝海底地震津波観測網の整備と津波即時予測



地震・火山防災研究ユニット  
海底地震津波観測網整備推進室  
植平 賢司



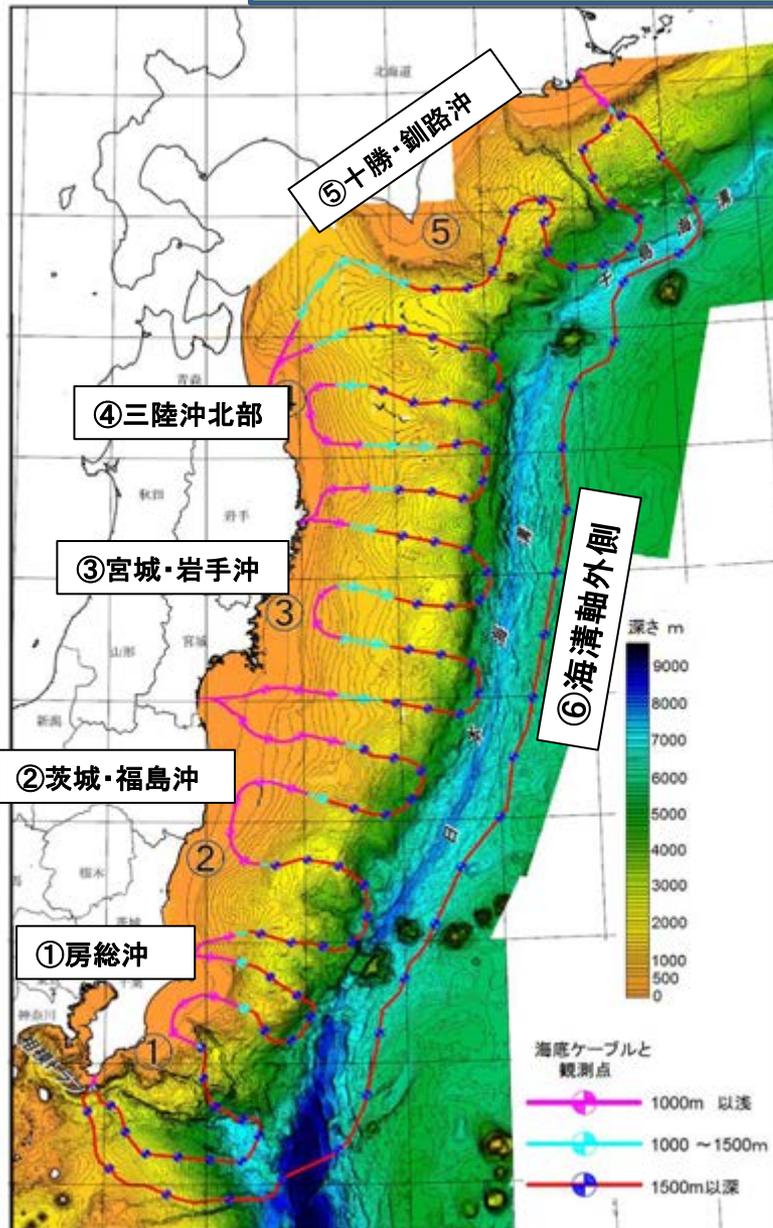
**NIED**

独立行政法人 防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

# 日本海溝海底地震津波観測網の配置

平成25年2月7日時点



150観測点

地震計と海底水圧計を装備

(海底水圧計で津波を実測)

5海域のシステム

(約25観測点, 30km間隔)

海溝軸外側のシステム

(25観測点, 60km間隔)

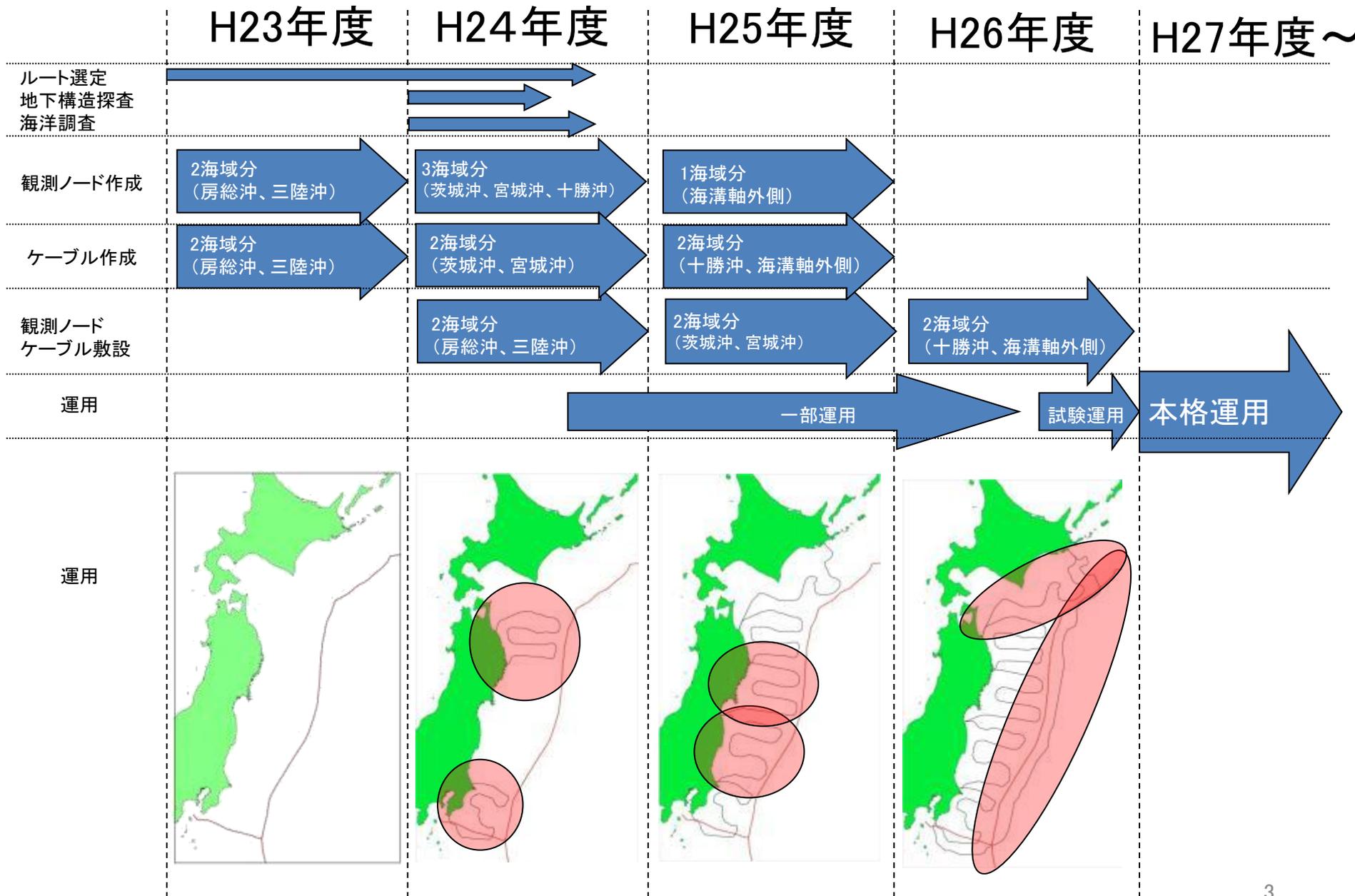
水深1500m以浅の海域では

ケーブルと観測装置を

深さ1m程度で海底埋設

マグニチュード(M)7.5クラスの震源域程度の  
拡がりに1観測点が存在する観測網を構築して、  
海陸一体的な観測を可能とするという  
コンセプト

# 日本海溝海底地震津波観測網スケジュール案



# 事業の体制

文部科学省

補助金

ケーブル整備事業

事業実施主体

(独)防災科学技術研究所

運営方針

施工会社

海洋調査・地下構造調査

海底ケーブル製造

海底観測装置製造

ケーブル敷設工事

陸上通信

その他

日本海溝海底地震津波観測網の  
整備に関する運営委員会

内閣府

文部科学省

海上保安庁

国土地理院

気象庁

(独)防災科学技術研究所

気象研究所

(独)海洋研究開発機構

大学関係者

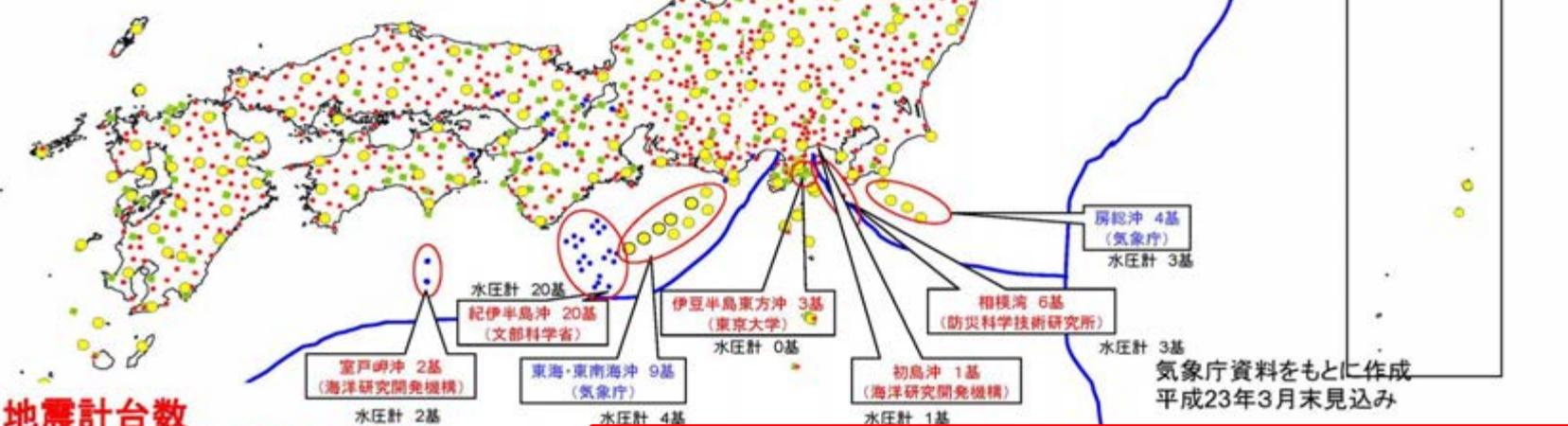
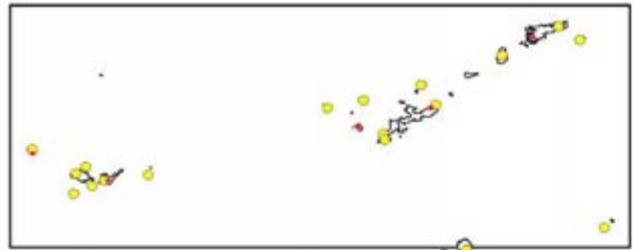
オブザーバー

地方公共団体

# (2011年東北地方太平洋沖地震発生時の状況)

## 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20km間隔で配置) 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 (研究目的に応じて配置※) 全260点  
※大学については一元化処理可能なもののみ掲載。
- その他の機関 全77点



気象庁資料をもとに作成  
平成23年3月末見込み

**地震計台数**  
陸域:1490点 海域:55点



**陸域の観測網と比べて海域の観測網は極めて少ない**

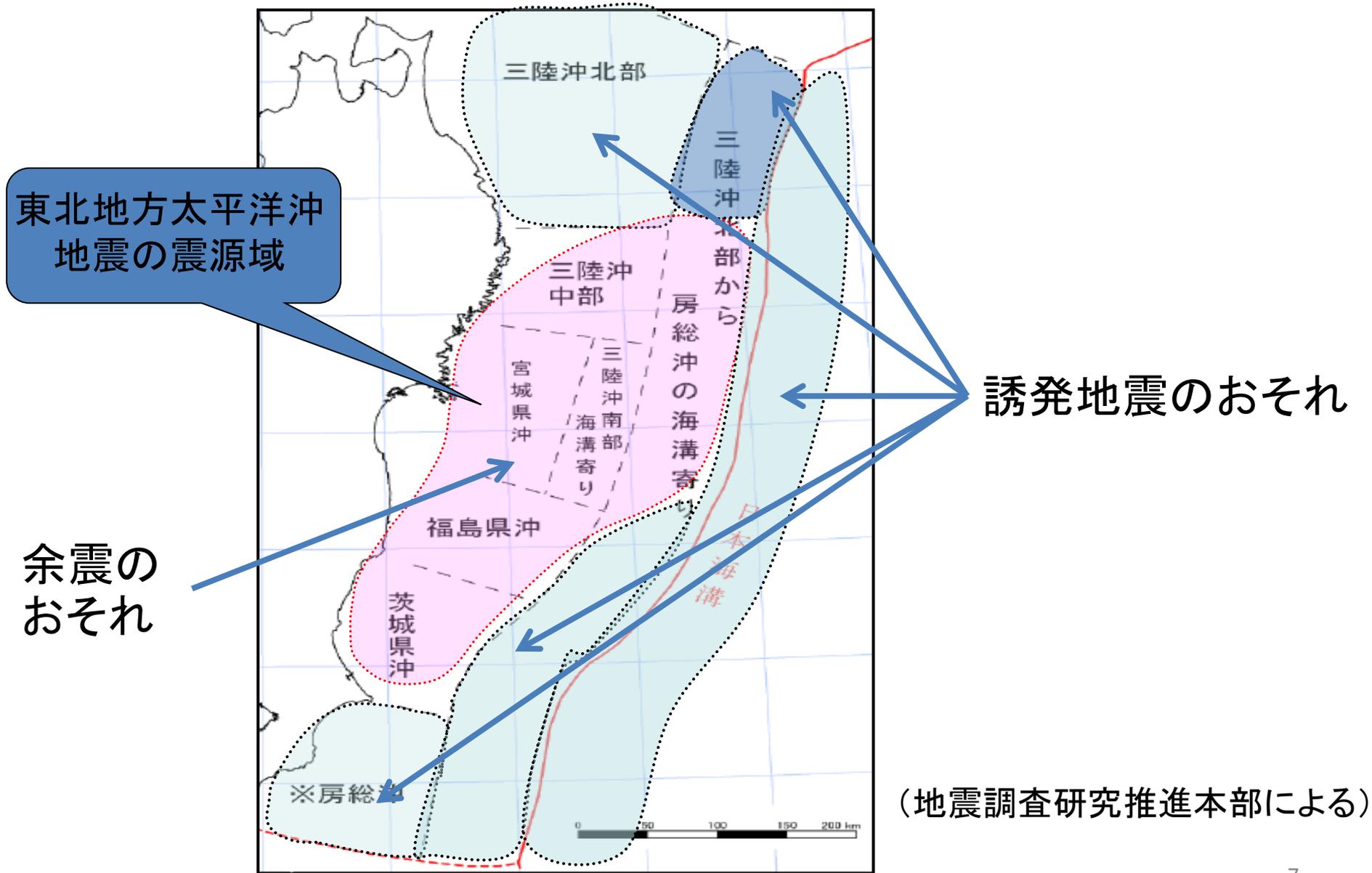
# 日本海溝海底地震津波観測網の整備の背景

○東北地方太平洋沖では引き続き規模の大きな海溝型地震が発生し、今後も強い揺れや高い津波に見舞われるおそれがある。地震・津波の観測網の整備及び正確な地震・津波情報の提供は、東北地方を地震・津波から守り、災害に強いまちづくりを進める上で極めて重要。

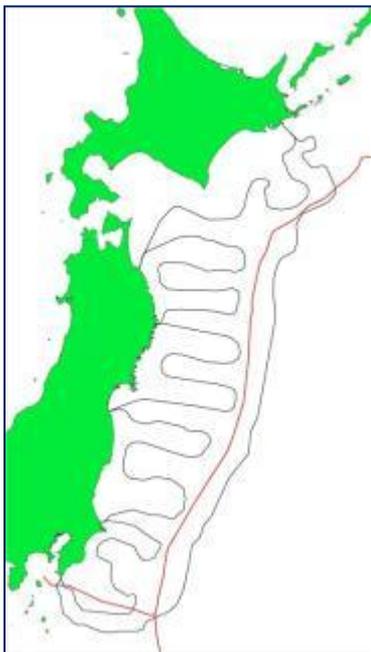
○現行の津波警報は、主に陸上の地震計により津波の高さを推定しているため精度に限界。このため、海域の観測網により津波を直接検知し、早期に正確な情報を提供することは、適切な防災・減災のために必要不可欠。

○東北地方太平洋沖で発生する詳細な地震像は明らかになっておらず、震源域に近い海域の観測網により、地震を連続観測して、精度高く地震像を解明することは、将来の地震発生予測に貢献するとともに、復興過程における被災地の都市計画、防災計画に貢献。

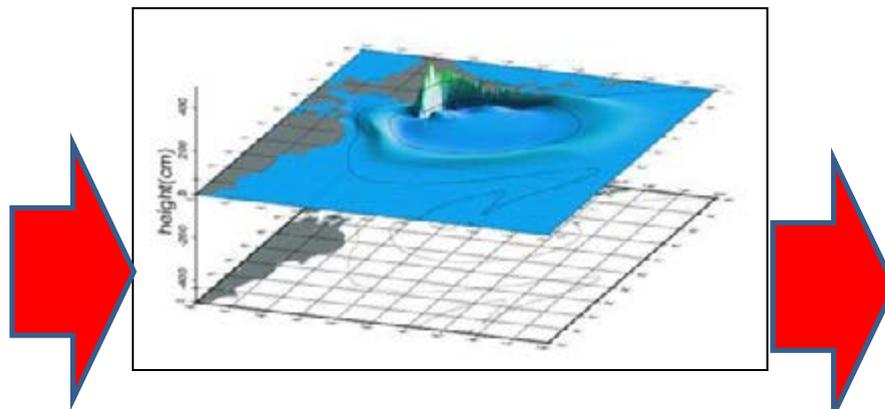
# 日本海溝・千島海溝沿いの今後の地震活動



# 150観測点



## 沖合いの実測データから高精度な津波即時予測



超高速スーパーコンピュータの利用  
高度な津波予測システムの開発

## 津波高、津波遡上高

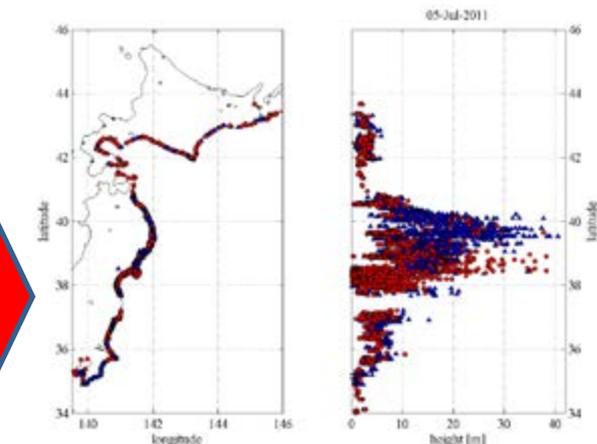
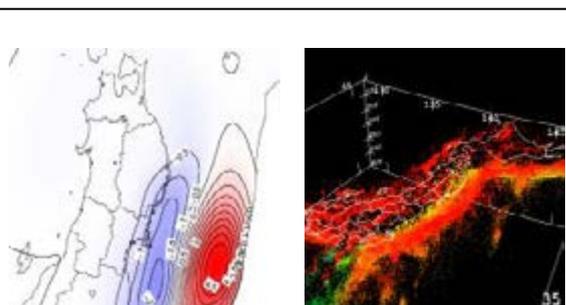
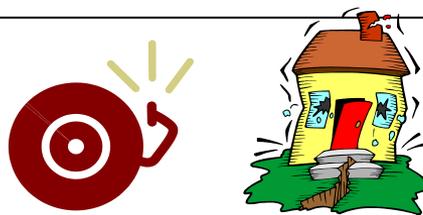


図 10-2 2011年東北地方太平洋沖地震の津波の高さ（遡上高）分布図  
（東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ、2011）



地震像の解明



緊急地震速報への活用

これまでより最大  
30秒程度早く情報の  
発信

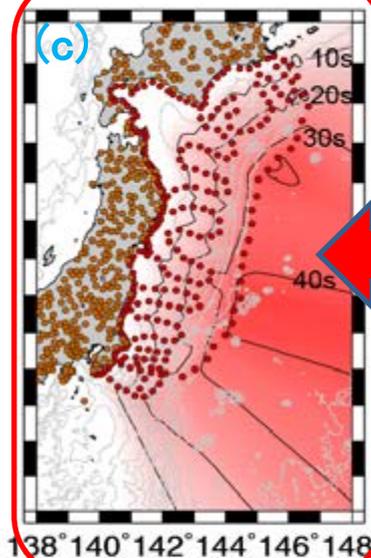
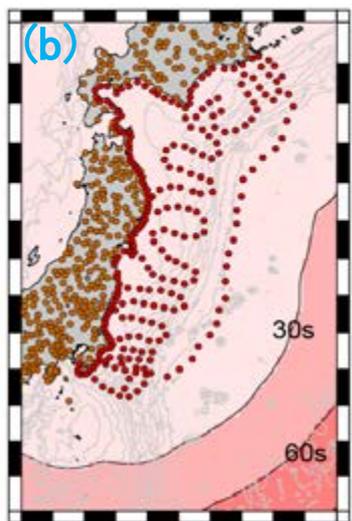
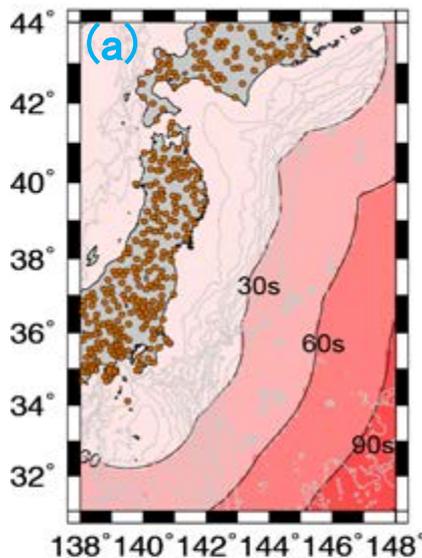
期待される  
成果

○津波即時予測技術の開発 ○東北地方の地震像の解明 ○地殻変動(垂直方向)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

# どれだけ早く検知できるか？

## 緊急地震速報への活用

Earthquake (V = 7 km/s)

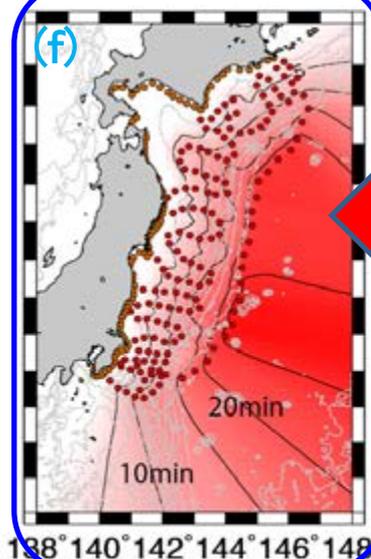
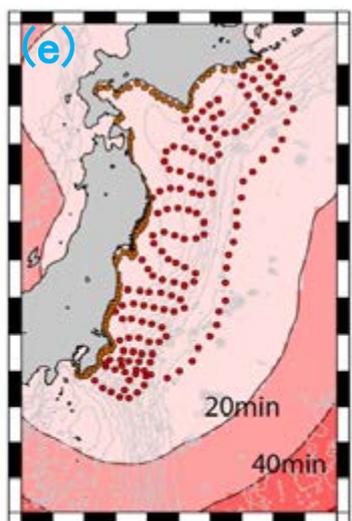
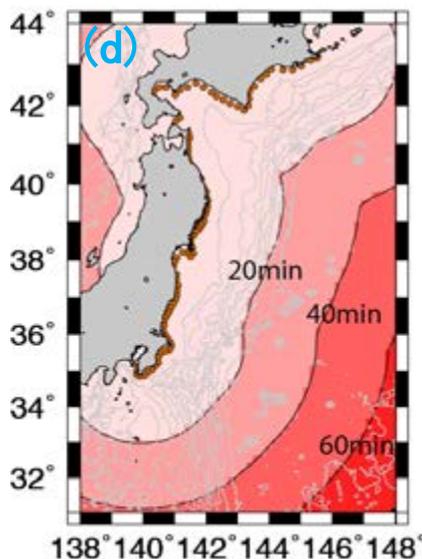


海域への地震観測網の設置によって、地震検知がどれだけ早くできるか？

- (a) [陸上観測網]のみ
- (b) [陸+海]
- (c) [陸+海]と[陸]の差

## 高精度な津波即時予測への活用

Tsunami (V = 173 m/s)



沖合の津波観測網の設置によって、津波検知がどれだけ早くできるか？

- (d) [陸上観測網]のみ
- (e) [陸+海]
- (f) [陸+海]と[陸]の差

水深3000mを仮定して計算

# 観測システムについて

# 日本海溝海底地震津波観測網 システム概要

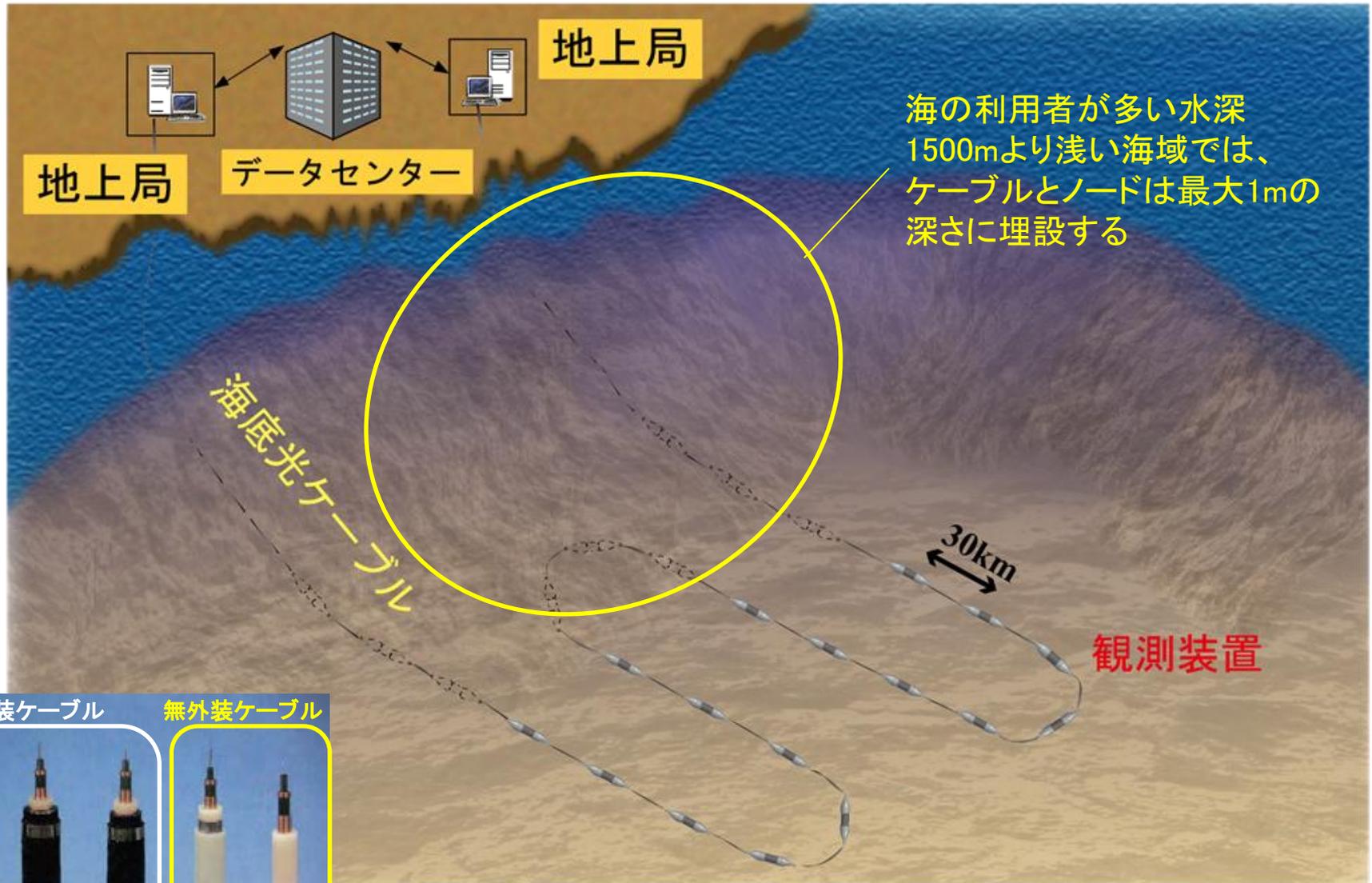
運用期間20～30年程度

- 現行の海底ケーブル通信技術の適用による信頼性の確保(光波長多重、光アンプ等)
- 海底下埋設による海陸一体的な観測網の構築(漁場への観測点の設置)
- 費用対効果の向上
- 地震計と津波計の一体化
- ケーブル両端陸揚げ(両端給電・双方向伝送)による欠測の回避

## 開発要素

- レーザービーム溶接による水密構造の耐圧容器(4芯フィードスルーの新規開発)
- センサー複数化による冗長化(5波長多重、6波長多重)

# 日本海溝海底地震津波観測網の1ルート構成



外装ケーブル

無外装ケーブル



# 観測ユニット(地震・津波計)

## ● ユニット構成

- 水圧センサ筐体 (津波計)
- センサ部 (加速度計/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

- 水圧計: 2個 津波計用
- 加速度計: 3個x2式(JAE) 地震計用
- 速度計: 3個 地震計用
- 加速度計: 3個x1式(Paro) 傾斜計用

## ● センサー信号処理

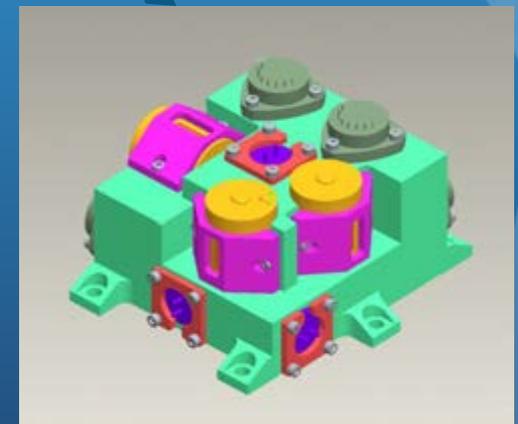
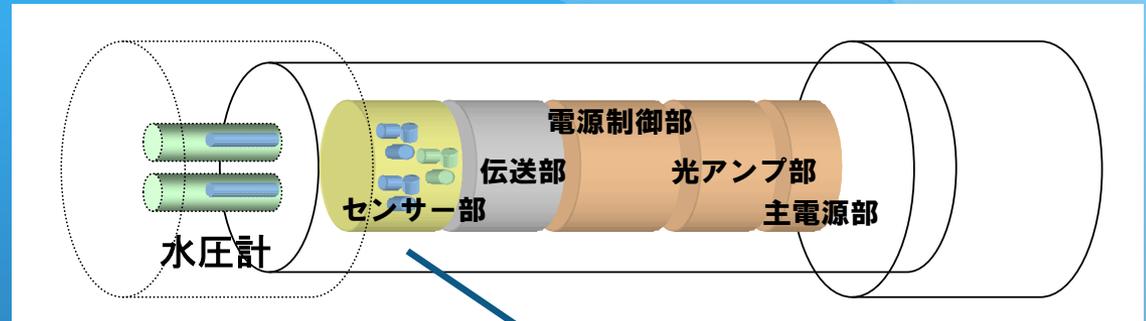
- A/D回路:  $\Delta \Sigma$  24BIT x 12ch以上
- カウンタ回路: 10ch (水圧計・温度計 / 加速度計・温度計)

## ■ 伝送方式

複数ファイバペアと波長分割多重方式の適用により、1システムあたり25台以上の観測ユニットと通信を実現

- ファイバペア : 6fp (5fp: 信号伝送用 / 1fp: 電源制御用)
- 波長多重 : 5~6 $\lambda$
- 主信号伝送速度 : 622Mbps (STM-4相当)
- タイムスタンプ情報 : SOHに挿入

## 観測ユニット構成イメージ



センサーブロック

### ■3成分加速度計を2セット(冗長性の確保)

○セットA:地震観測用 フルスケール ±2G 高感度・低感度

○セットB:地震観測用 フルスケール ±5G (緊急地震速報に利用可能)

(十勝沖、三陸沖、室戸沖、伊東沖、粟島沖のケーブルシステムで実績を持つセンサ)

## サーボ加速度計

### JA-5 TYPEⅢ形

JA-5シリーズの中で特に高精度、高信頼性を保証したサーボ加速度計です。自動温度、非共振帯域幅、零の温度係数と零の年間変動安定性を保証しています。精密な計測並みに制御に最適な製品です。またセンサの出力は電流となっており、外部誤取振を除去付けていただく事により、任意な出力感度を設定することができます。

**特長**

- 小型・軽量
- 0.01×10<sup>-6</sup>m/s<sup>2</sup> [1μg]以下の分解能力
- 自己加熱可能なセルフアスト熱応内蔵
- 温度センサ内蔵により正確な温度補正
- ±1000m/s<sup>2</sup> [±0.001]まで計測可能
- 優れたバイアス安定性



JA-5 TYPEⅢ形

**仕様**

項目	仕様
型番	J1100-A/J1100-B
基本出力(フルスケール)	0.100mA/V (0.100V/V)
感度	0.100mA/(m/s <sup>2</sup> ) [0.100mA/g] /フルスケール
線形性	±1.000% (0.100% / 0.100% / 0.100% / 0.100%) 以下
分解能	0.0100m/s <sup>2</sup> [0.0100μg]
帯域幅	DC~100Hz
共振帯域	300Vrms/TF
非共振帯域	300Vrms/TF
共振帯域(1/3線)	DC~100Hz
温度安定性	±0.001% / 年
自己加熱	±0.001% / 年
セルフアスト熱応	±0.001% / 年
セルフアスト熱応	±0.001% / 年
温度補正	温度補正付
温度補正係数	±180ppm/°C
温度補正範囲	0.100~1.000V (フルスケール)
消費電力	20mA (7.0mW)
動作温度	-55~+100°C
保存温度	-40~+125°C
材料	199.2m <sup>2</sup> / y <sup>2</sup> / P <sup>2</sup> / 100 / P <sup>2</sup> / 100~2000Hz
寸法	196.2m <sup>2</sup> / y <sup>2</sup> / P <sup>2</sup> / 100 / P <sup>2</sup> / 100~2000Hz
重量	200m <sup>2</sup> / C [1000] [1100] 以下

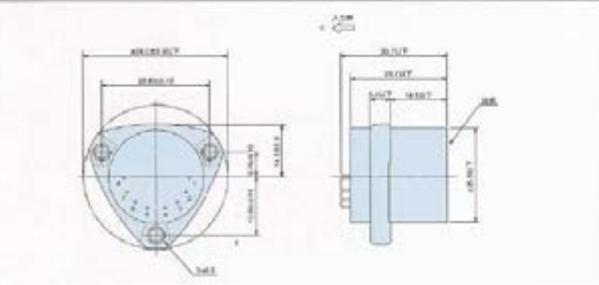
\*上記仕様は外部電源付の標準仕様です。DC電源は0.100V/V以下となります。  
 (注) 1.000% (0.100% / 0.100% / 0.100% / 0.100%) 以下の線形性は100ppm/V以下となります。

サーボ加速度計  
 JA-5 TYPEⅢ形

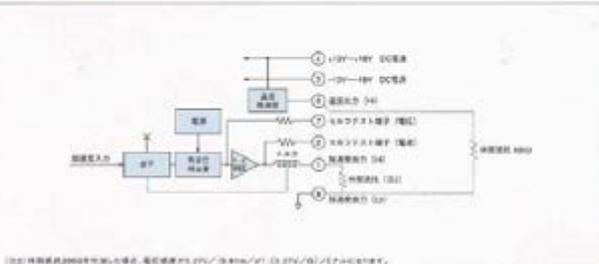
**別表**

	零点温度係数/°C			零点安定性/年		
	0.0100m/s <sup>2</sup> [0.0100μg]	0.1000m/s <sup>2</sup> [0.1000μg]	1.0000m/s <sup>2</sup> [1.0000μg]	0.0100m/s <sup>2</sup> [0.0100μg]	0.1000m/s <sup>2</sup> [0.1000μg]	1.0000m/s <sup>2</sup> [1.0000μg]
JA-501A	○			○		
0					○	
1						○
2						○
3						○
4						○
5						○
6						○

**外形寸法図**



**ピン配列**



OMNI-2400  
15 Hz  
2400 Ω  
OMNI

速度計(地震用)  
固有周波数: 15Hz  
ジンバル必要無し

# OMNI-2400

## Omni-Directional Geophone

### Features

- Unique omni-directional geophone design provides ideal vector fidelity response
- High output sensitivity (1.32 volt/in/sec)
- 200 °C temperature rating
- Ideal for multi-component, high resolution seismic and micro-seismic data recording and monitoring



The OMNI Series geophone provides an unique in-axis sensitivity regardless of tilt angle in space. Each OMNI element have the same specifications of sensitivity, impedance, phase, frequency response, and harmonic distortion providing an ideal vector fidelity response. The mathematical precision of the resulting measurements significantly improves the discrimination of plane wave measurements at the detector.

DESCRIPTION	SPECIFICATION	TOLERANCE
OPTIMUM ORIENTATION OPERATIONAL RANGE NATURAL FREQUENCY (F <sub>n</sub> )	OMNI 0° TO 180° 15 Hz 15 Hz	± 5 % -3% to +15%
① OPTIMUM ORIENTATION ② OPERATIONAL RANGE		
CLEAR BAND PASS (SPURIOUS REJECTION)	> 305 Hz	
DC RESISTANCE	2400 ohms	± 6%
INTRINSIC VOLTAGE SENSITIVITY (S <sub>v</sub> )	1.32 Volts/sec, 0.600 Volts/sec	± 6 % -16% to + 6%
① OPTIMUM ORIENTATION ② OPERATIONAL RANGE		
OPEN CIRCUIT DAMPING (B <sub>o</sub> )	.57 .57	± 15 % ±2% to + 10%
① OPTIMUM ORIENTATION ② OPERATIONAL RANGE		
MOVING MASS (M)	7.5 gr	± 5 %
HARMONIC DISTORTION	① 15 Hz WITH DRIVING VELOCITY OF 2 in/sec (1.8 cm/sec) P-P + 20 % < .75 %	
① OPTIMUM ORIENTATION ② OPERATIONAL RANGE		
DAMPING CONSTANT (B <sub>r</sub> )	2096	
STORAGE TEMPERATURE	-40 to +100 °C	
OPERATING TEMPERATURE	-40 to +200 °C	
DIMENSIONS		
WEIGHT	1.52 oz., ± .05 gr	
DIMETER	0.875 in., 2.22 cm	
HEIGHT	1.025 in., 2.63 cm	

## OYO GEOSPACE

1007 Khamsat • Houston, Texas, 77040 U.S.A. • [www.oyo-geospace.com](http://www.oyo-geospace.com)  
Tel: 713 984-4444 • Fax: 713 984-8723

GEOSPACE  
TECHNOLOGIES

GEOSPACE  
TECHNOLOGIES

GEOSPACE  
TECHNOLOGIES

OYO  
INDUSTRIAL INC.

Regional  
Office

OYO Geospace GmbH, Inc.  
2100 Pflanzweg 12  
Cologne, 50769, Germany  
Tel: 49 228 4488

OYO Geospace India Pvt. Ltd.  
Laxmi Nagar, 15  
M.G. Road, New Delhi - 110028  
Tel: 91 11 26121174

OYO Geospace China  
Room 1807, 18 Floor, Lixin Office Tower, Lixin Plaza  
Jiefang Road, Hong Kong, HONG KONG  
Tel: 852 24107910

OYO Geospace, Corporation  
7100 Westline Drive, Suite 100, Lubbock, Texas  
79424-1001 USA, Tel: 817 798  
Tel: 817 798 1100

# PARO加速度計

Quartz Seismic Sensors Inc.



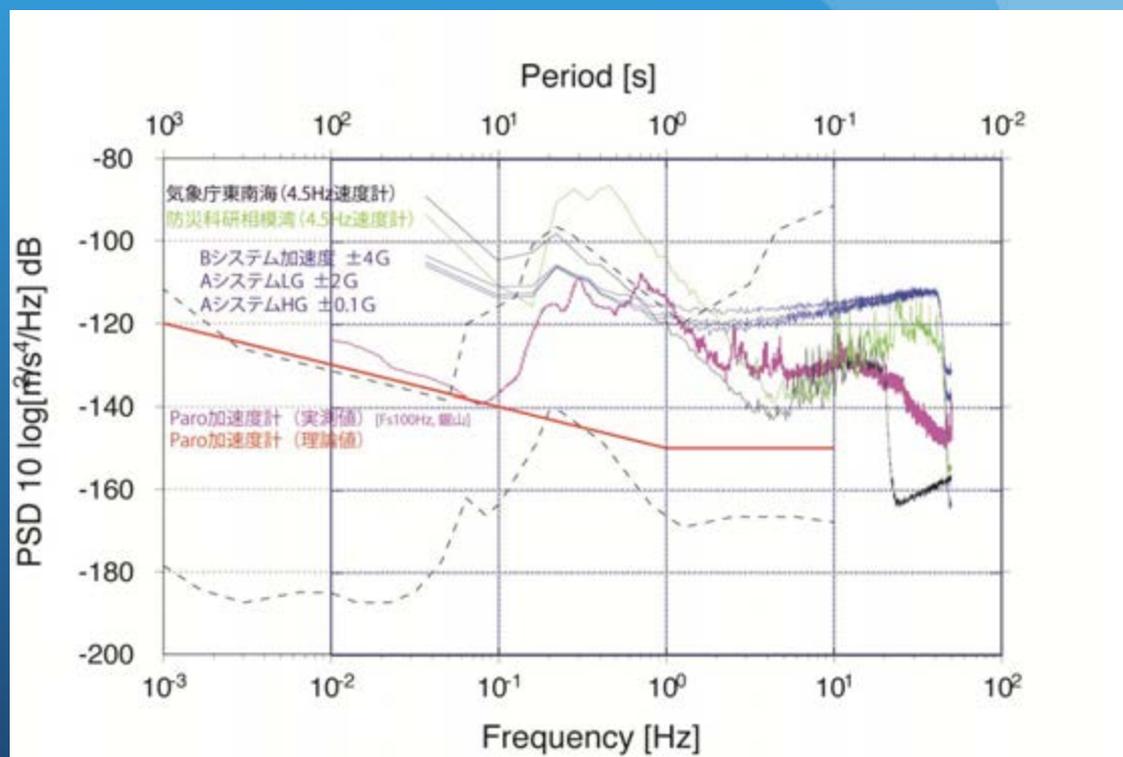
測定レンジ  $\pm 2G$  (変更可能)

加速度周波数出力 30-40 kHz

温度周波数出力  $172 \pm 2$  kHz

東京大学地震研究所鋸山観測壕で  
評価試験を実施

水圧計と同じセンサーを利用した加速度計  
観測帯域が稍広帯域であり、ジンバルを必要としない



# ■津波計測用水圧計センサー： 2セットによる冗長性の確保 (自己浮上式水圧計およびDONETで使用実績のあるセンサ)



## Submersible Depth Sensors

## Series 8000



### RANGES

#### Absolute

0-10 m H<sub>2</sub>O to 0-7000 m H<sub>2</sub>O

0-30 psia to 0-10,000 psia

#### Gauge

0-10 m H<sub>2</sub>O to 0-140 m H<sub>2</sub>O

0-15 psig to 0-200 psig

### FEATURES

0.01% Accuracy

1 x 10<sup>-4</sup> Resolution

Unique Anti-Fouling Port

Low Power Consumption

High Stability and Reliability

Fully Calibrated and Characterized

ISO 9001 Quality System – NIST Traceable

Frequency Outputs or Dual RS-232 and RS-485 Interfaces

### APPLICATION AREAS

Hydrology

Oceanography

Tsunami Detection

Wave and Tide Gauges

Offshore Platform Leveling

Dam and Reservoir Level Sensing

Underwater Pipe Laying and Surveying

Remotely Operated and Autonomous Underwater Vehicles

Digiquartz<sup>®</sup> Depth Sensors provide the ultimate precision in water level measurements. Typical application accuracy of 0.01% is achieved even under difficult environmental conditions. Desirable characteristics include excellent long-term stability, 1 x 10<sup>-4</sup> resolution, low power consumption, and high reliability.

The remarkable performance of these depth sensors is achieved through the use of a precision quartz crystal resonator whose frequency of oscillation varies with pressure-induced stress. A quartz crystal temperature signal is provided to thermally compensate the calculated pressure and achieve high accuracy over a broad range of temperatures. The depth sensors include waterproof housings with integral shock protection.

High accuracy, resolution, and stability make Digiquartz<sup>®</sup> Depth Sensors ideal for applications such as Tsunami detection, wave and tide gauges, platform leveling, underwater pipe laying, and as depth sensors in ROVs and AUVs.

All Depth Sensor ranges are available with either frequency outputs or integral intelligent electronics with bi-directional digital communications.

Dual RS-232 and RS-485 interfaces allow complete remote configuration and control of all operating parameters, including resolution, sample rate, and choice of engineering units, integration time, and sampling requests. Commands include: Single sample and send, synchronized sample and hold, continuous sample and send, and special burst sampling modes.

New and enhanced features include support for both serial loop and multi-drop networking, selectable baud rates up to 115,200 baud, synchronization of measurements with time-based integration, 2 or 4 wire RS-485 transmission distances greater than 1 kilometer, improved high-speed continuous pressure measurements, a power management "sleep" mode, data formatting features, and unit identification commands.

All Digiquartz<sup>®</sup> transducers come with a limited five-year warranty with the first two years covered at 100%.



Paroscientific, Inc.  
Digiquartz<sup>®</sup> Pressure Instrumentation



# 伝送データ項目の概要

## 高速伝送データ (100Hz サンプリング)

- 加速度計セットA 高感度 3ch
- 加速度計セットA 低感度 3ch
- 加速度計セットB 3ch
- 速度計 3ch
- ※高精度加速度計 加速度 3ch 温度補正済み加速度データに変換し伝送

## 低速伝送データ (10Hzサンプリング)

- ※水圧計 圧力 2ch 温度補正済み水深データに変換し伝送
- ※水圧計 温度 2ch 温度データに変換し伝送
- ※高精度加速度計 温度 3ch 温度データに変換し伝送

計22ch、※周波数出力

## 随時伝送データ

- 現地処理警報
- ステータス情報、等

# 観測ノード試作器

水圧センサ

地震センサ + 計測・伝送・制御部

光アンプ・主電源部

エンドキャップ

エンドキャップ

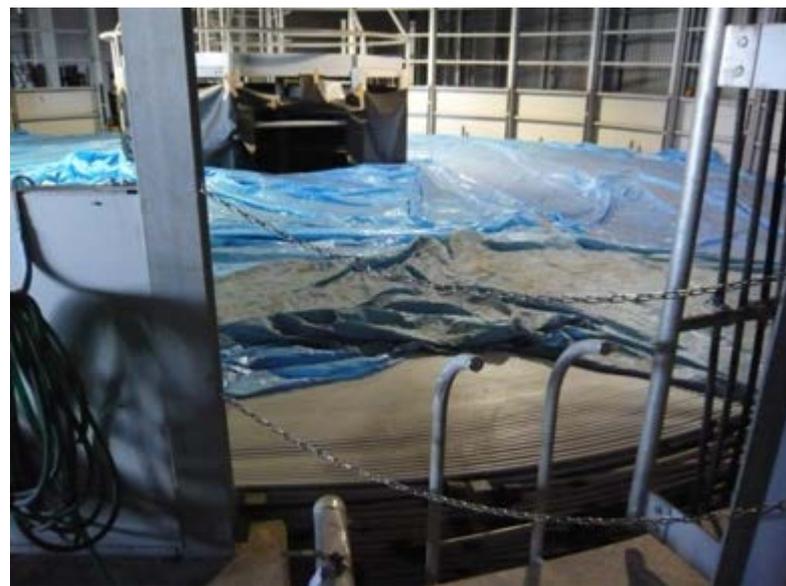
筐体の内部に收容される

観測ノードの筐体(試作のため鉄製)

外寸Φ 34cmx223cm

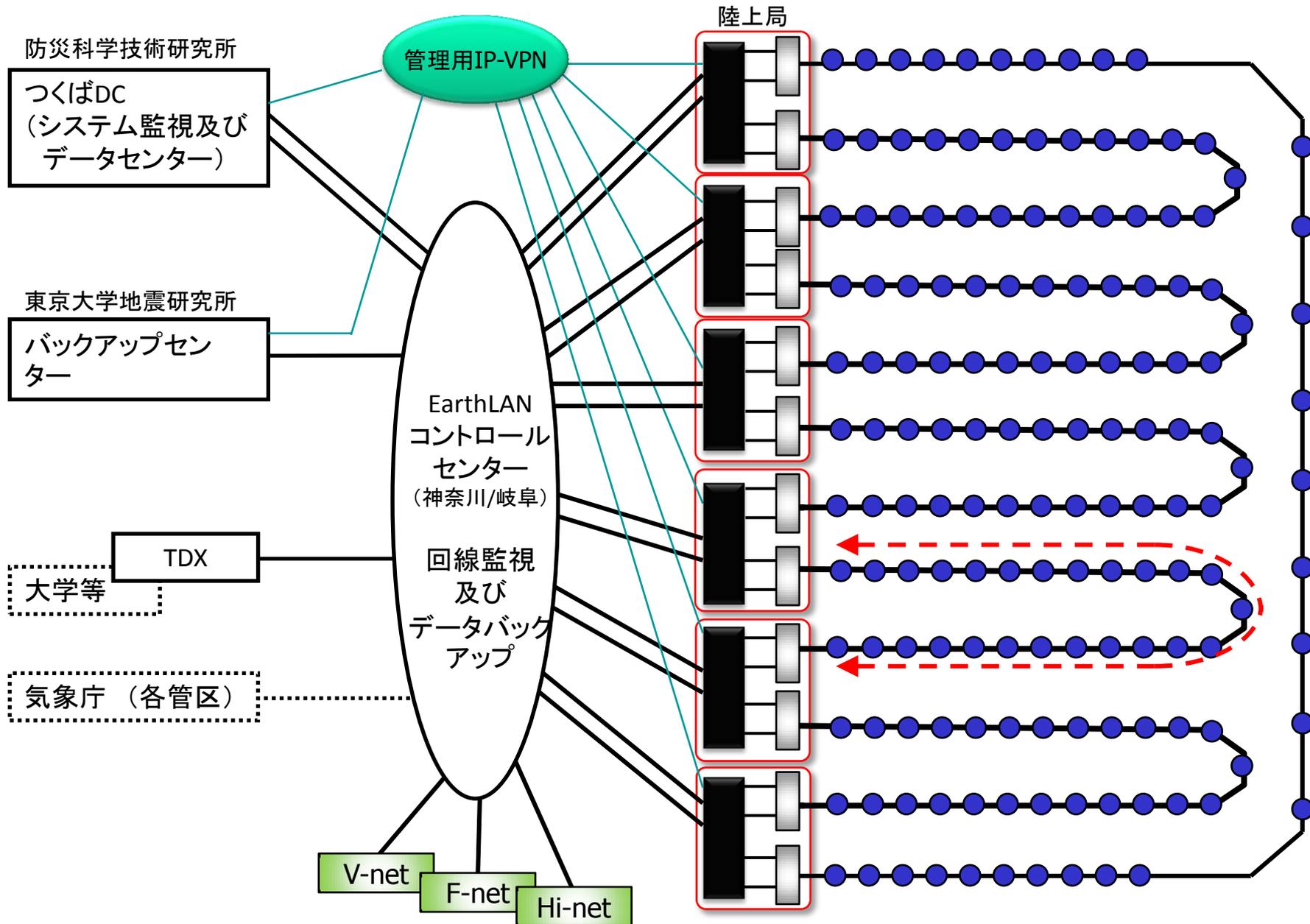
観測ノード(外寸Φ 34cmx223cm)は、水深1500m以浅の海域では、海底下に埋設する。

# ケーブル・ノードの製造状況



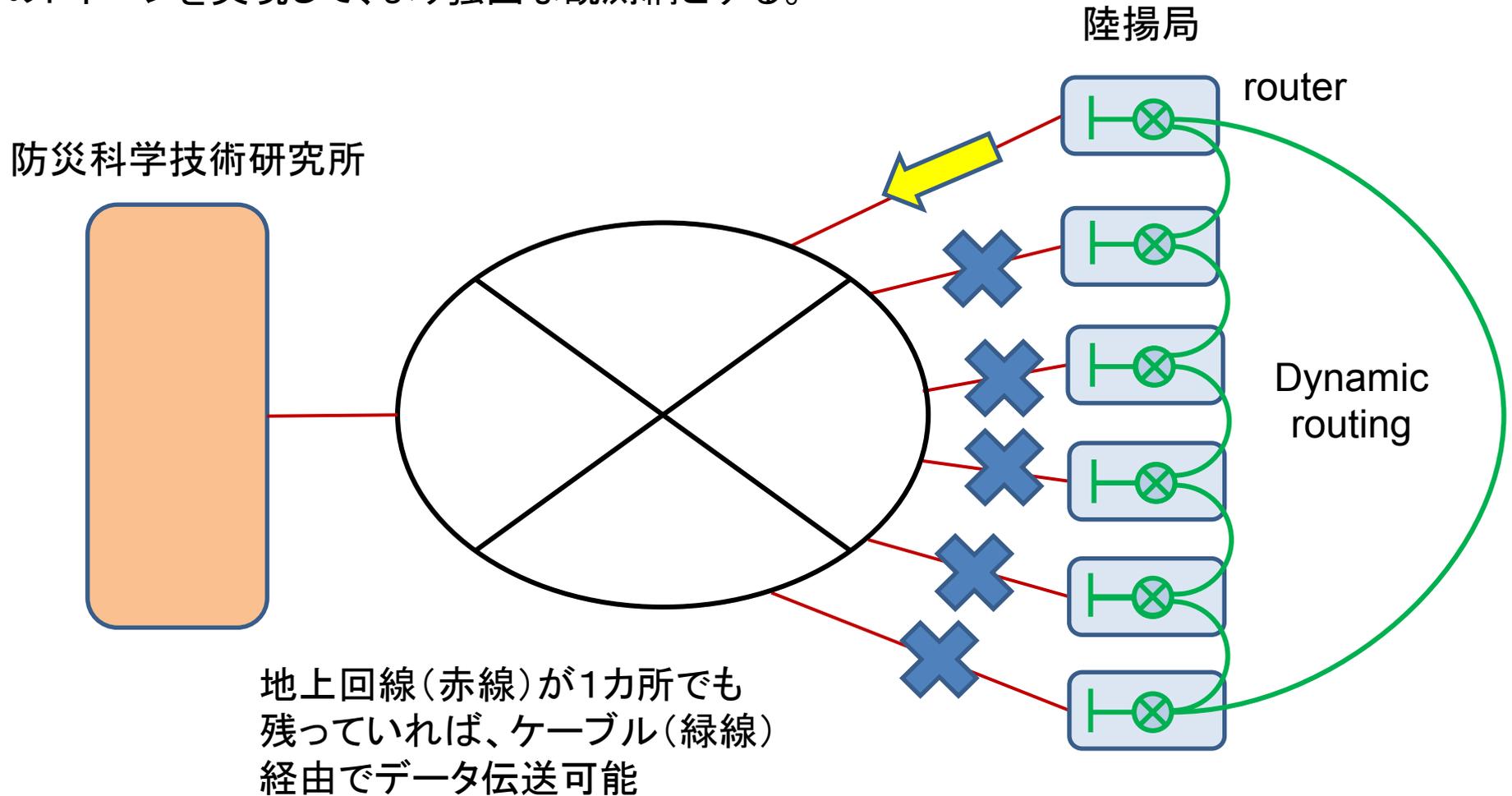
OCC@北九州

# 日本海溝海底地震津波観測網観測データの流れ(概要)



# 陸上通信回線断への対応

隣合うケーブルユニットを同一地点に陸揚げすることによって、下記のトポロジを実現して、より強固な観測網とする。



地上回線(赤線)が1カ所でも残っていれば、ケーブル(緑線)経由でデータ伝送可能

回線はループになっているのでルーティングはダイナミックに行う。1カ所のケーブル切断も問題無し。

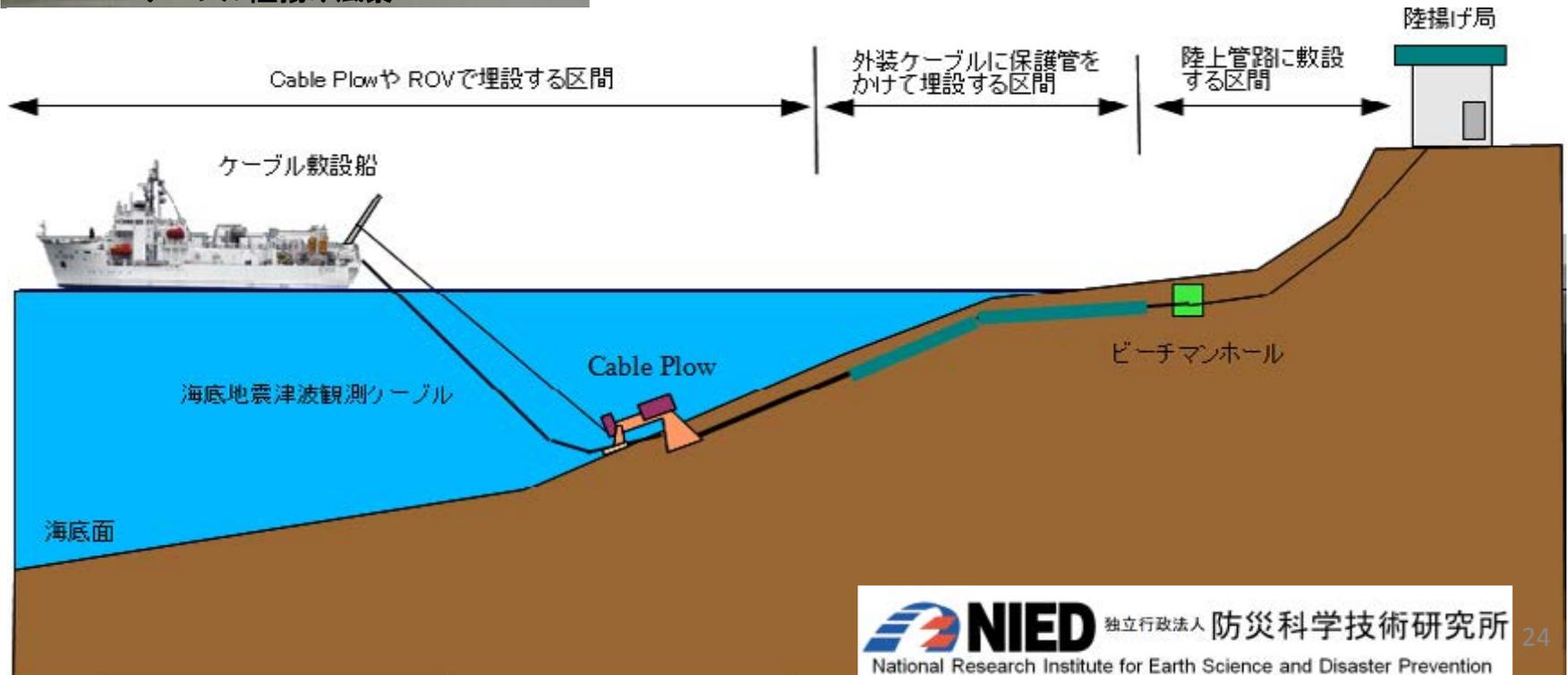
# 海洋敷設工事の概要

# 地震津波観測ケーブルの陸揚げ



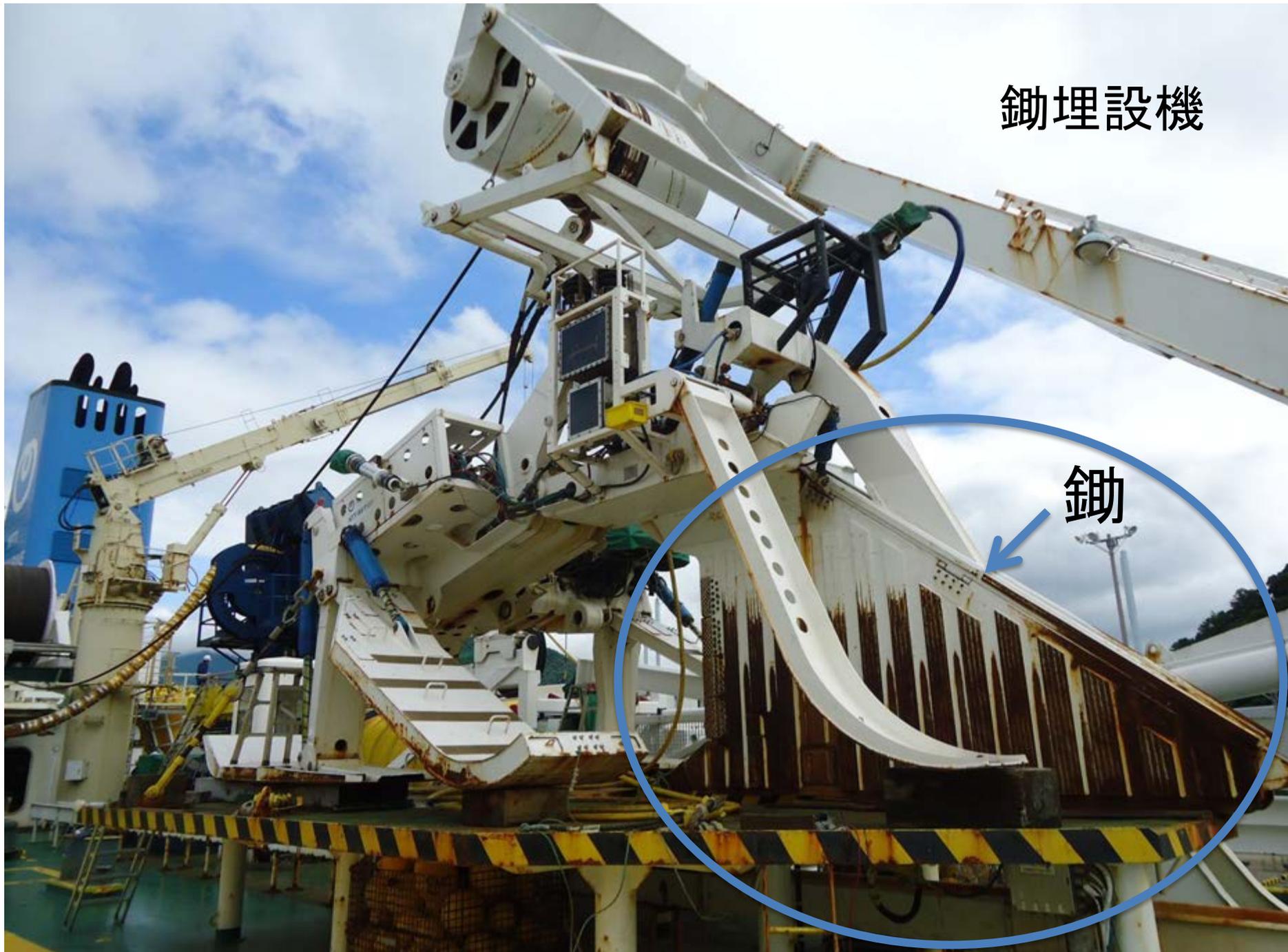
ケーブル陸揚げ風景

- (1) ケーブル船から観測ケーブル端末を繰り出し、ブイで浮かした状態で海岸まで引き込みます。
- (2) 海底の状況に合わせて、海岸側からダイバーでブイを切り離して、ケーブルを海底に降下・敷設します。
- (3) ケーブル船は、沖合に向かって敷設・埋設工事を開始します。
- (4) 陸揚げしたケーブルには、ダイバーで保護管を取り付け、海底下に埋設します(水深20m程度まで)。



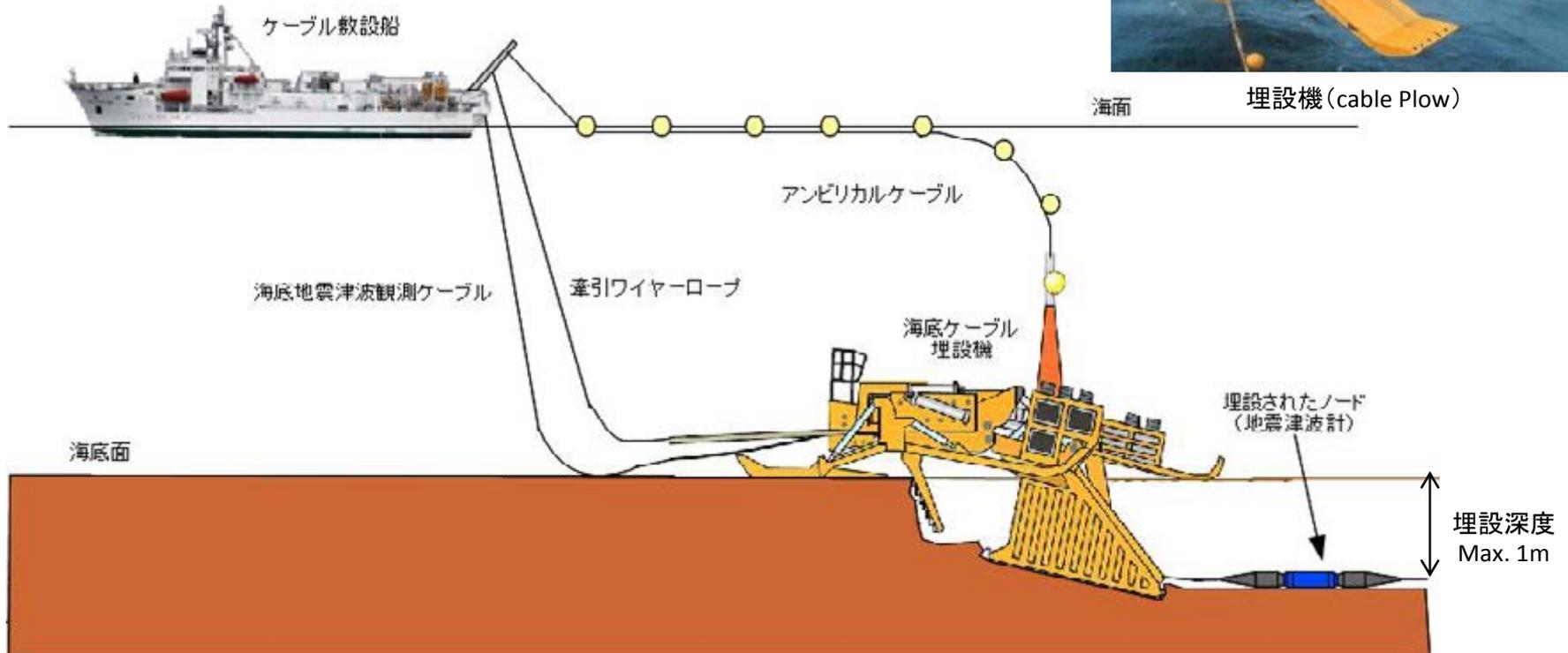
鋤埋設機

鋤

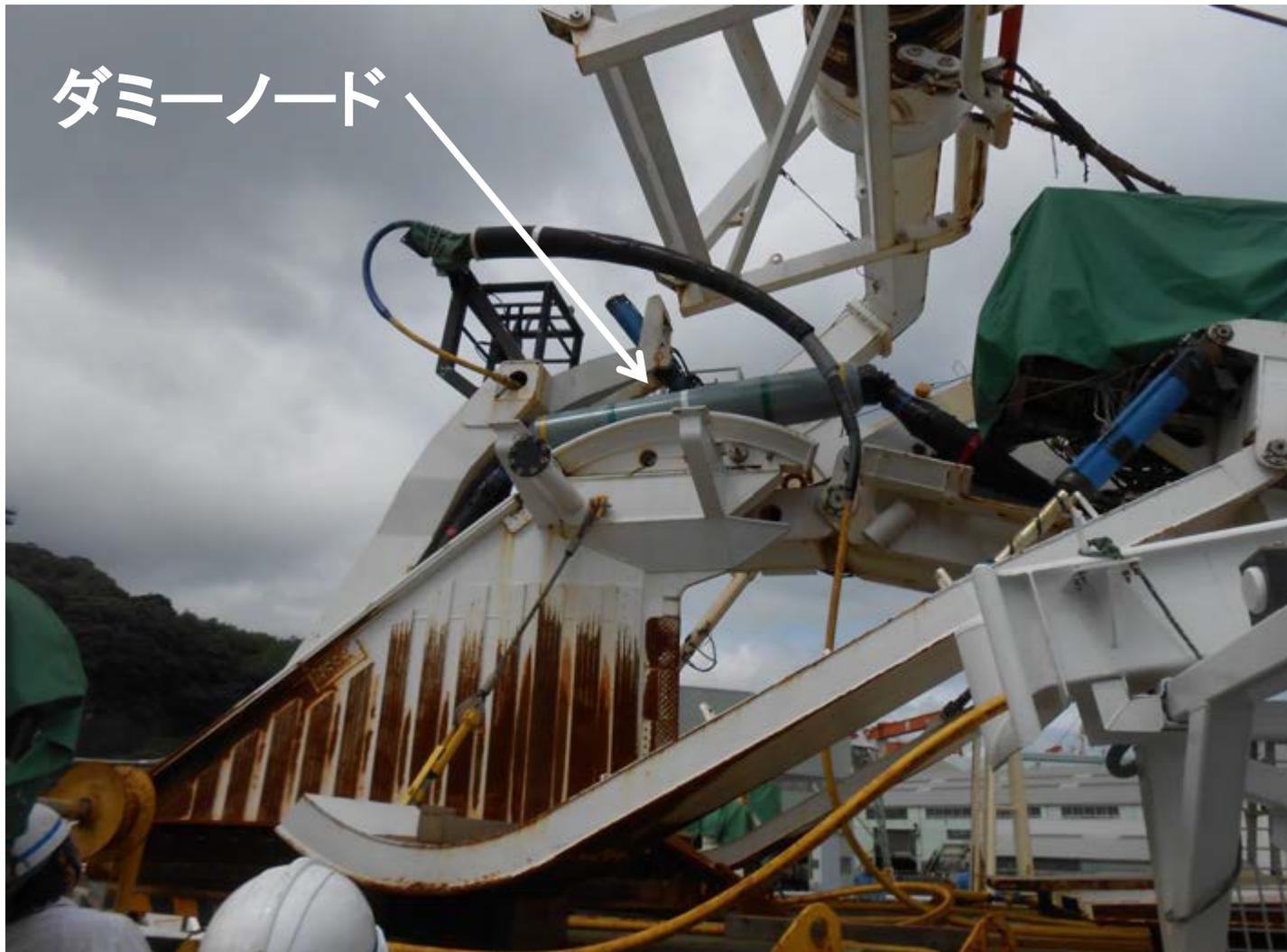


# 地震津波観測ケーブルとノードの埋設

ケーブルルートにおける漁業活動に支障が無いように、観測ケーブルとノードは、海底下に埋設し保護します。  
(漁業操業海域では、最大1mの深さに埋設します)



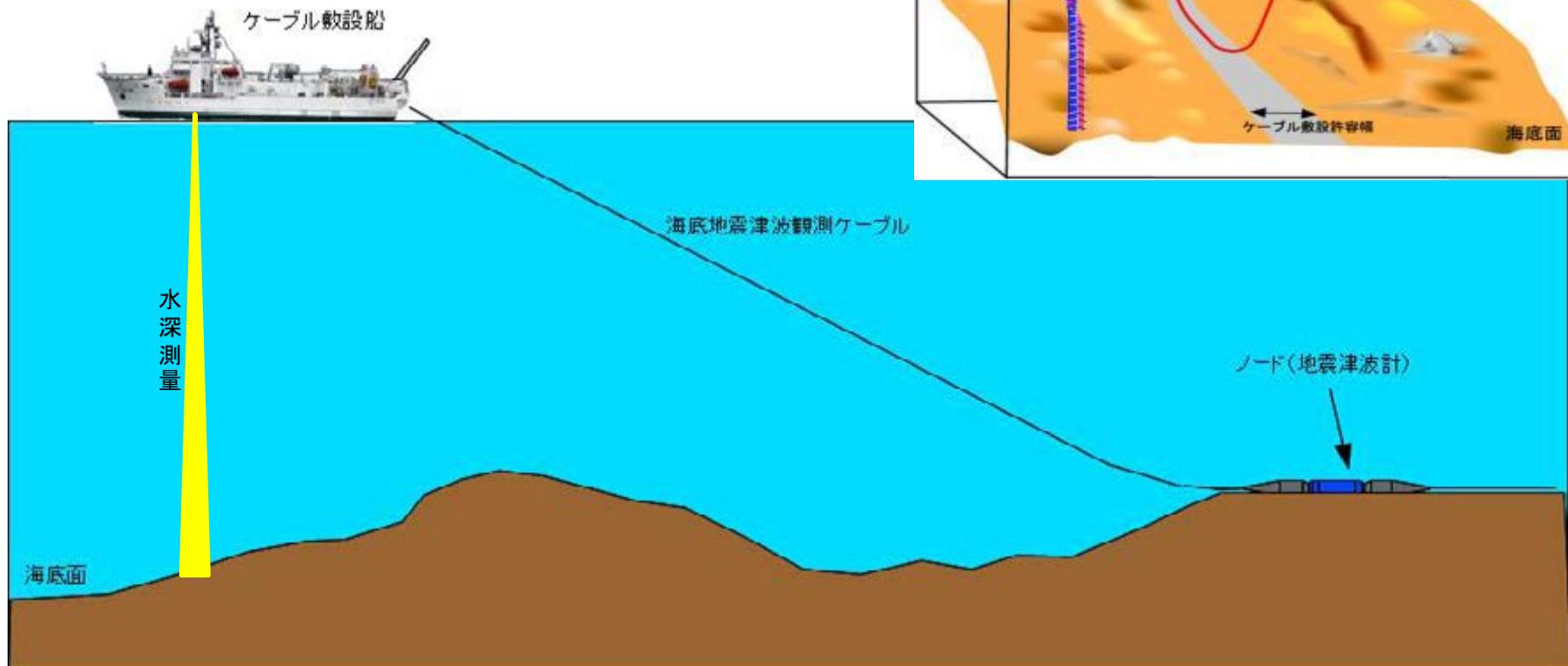
# 鋤埋設機へのノード通過実験



NTT-WEM「すばる」@長崎  
2012年6月28日

# 深海部での地震津波観測ケーブルの敷設方法

漁業操業海域外では、ケーブル敷設船から海底地形の起伏に合わせてケーブルを繰り出す深海敷設を行います。



# ケーブル敷設・埋設後の点検調査および保護工事 水中ロボット(ROV)を使用

- (1) Cable Plowで埋設できない場所でのケーブルやノードの埋設は、ROVで行います。
- (2) ケーブルルート上の障害物の撤去や、敷設埋設後のケーブルの状況確認調査もROVで行います。



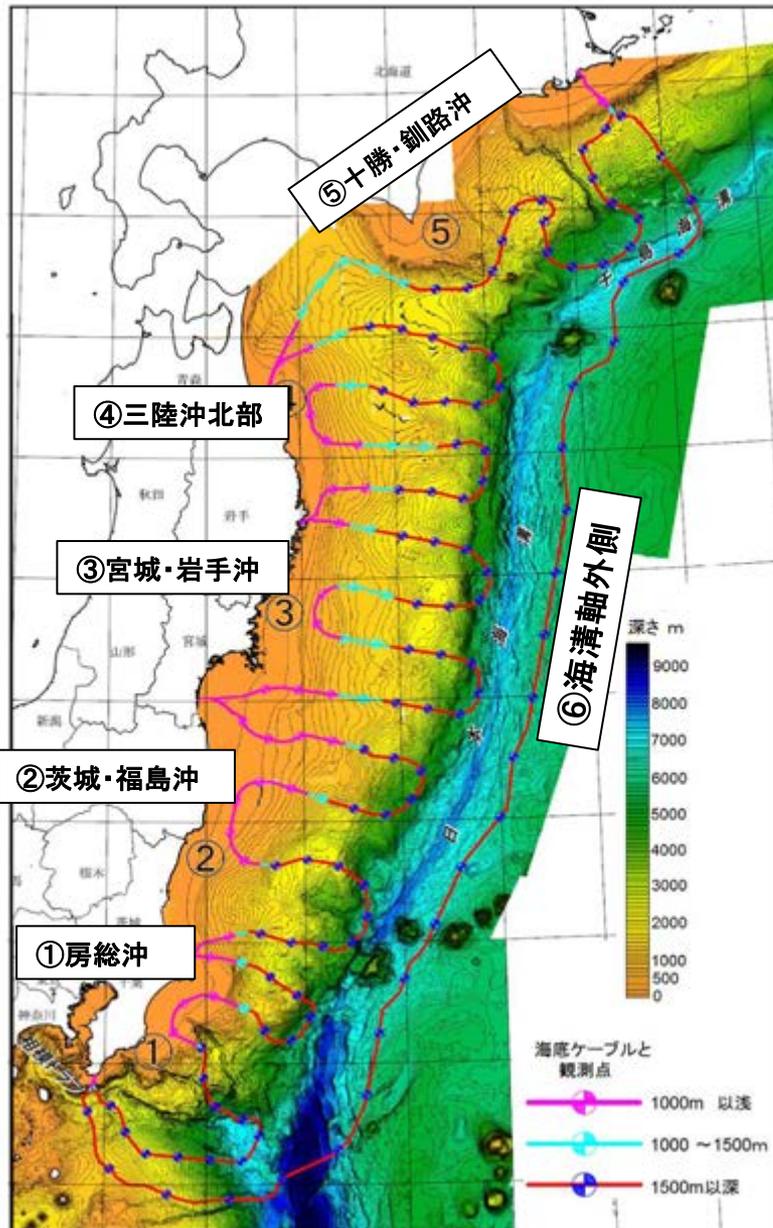
海底ケーブル工事に用いる深海作業ロボット(最大潜航深度2500m)の例

# 津波即時予測

- 対馬・他 tFISH 「近地津波予測手法」
- 前田・他 「リアルタイム津波データ同化手法による津波即時予測」
- 稲津・斉藤 **本成果発表会ポスター発表** 「稠密な海底圧力観測網から見る近地津波の初期時空間発展」

# まとめ

防災のための観測網を  
強く意識した仕様・構成



## 150観測点

地震計と海底水圧計を冗長装備

水深1500m以浅の海域では  
ケーブルと観測装置を海底埋設

マグニチュード(M)7.5クラスの震源域程度の  
拡がりに1観測点が存在する海陸一体的な観測

沖合いの実測データから高精度な津波即時  
予測へ ⇒ 現在、様々な手法を開発中  
地震像の解明に活用  
緊急地震速報への活用

平成27年度からの本格運用を目指す