

海洋レーダによる津波予測における A I 技術の適用

2019年 12月 2日

原子力安全技術研究所 地震・津波・防災G

横洲 弘武・橋詰 正広

- 気象庁の津波警報は静岡県が単一区画であるため、**詳細な津波予想（当該地点の津波到達時間高さ）に関する情報を得ることはできない。**
- そこで、津波発生時の緊急時対応や避難の確実性の向上、迅速な点検・復旧計画の立案に役立てるため、沖合で観測されたリアルタイムデータから、津波の襲来を予測する「**津波監視システム（HTOPS※）**」を開発。

○津波の発生を早期に検知し、到達時刻・高さを迅速に予測

→ 津波襲来時、確実な緊急時対応が可能

（防水扉閉止などの作業を慌てず確実に行い、退避できるよう周知が可能）

（被害の有無や範囲が想定でき、優先すべき点検・復旧作業箇所を選定が可能）

○発生後の津波を継続監視し、収束時期を予測

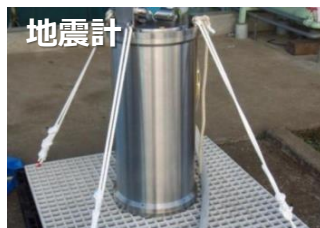
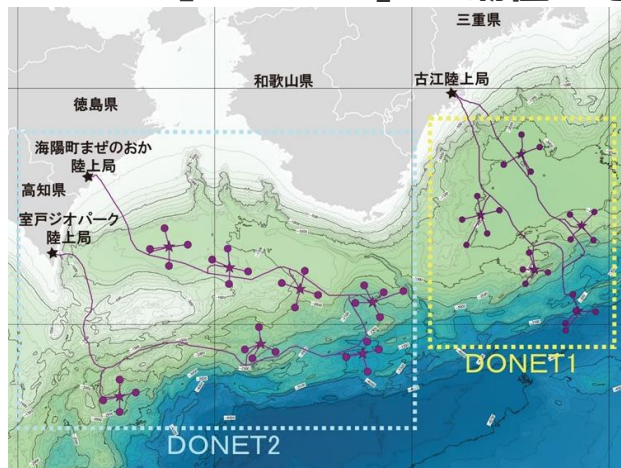
→ 現場作業開始判断の目安となる

（安全を確保した点検・復旧作業が可能）

※： **H**amaoka **T**sunami **O**bservation and **P**rediction **S**ystem

国などの機関からデータを受信

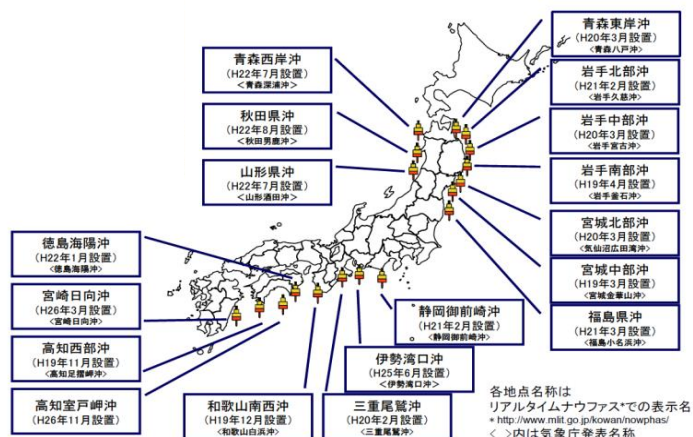
【DONET】 潮位・地震動を観測



地震・津波観測監視システム (Dence Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis)

画像提供：国立研究開発法人 海洋研究開発機構 (JAMSTEC)

【GPS波浪計】 潮位を観測



GPS波浪計
(御前崎沖)

画像提供：国土交通省 中部地方整備局

浜岡原子力発電所で独自に観測

【海洋レーダ】 海面流速を観測



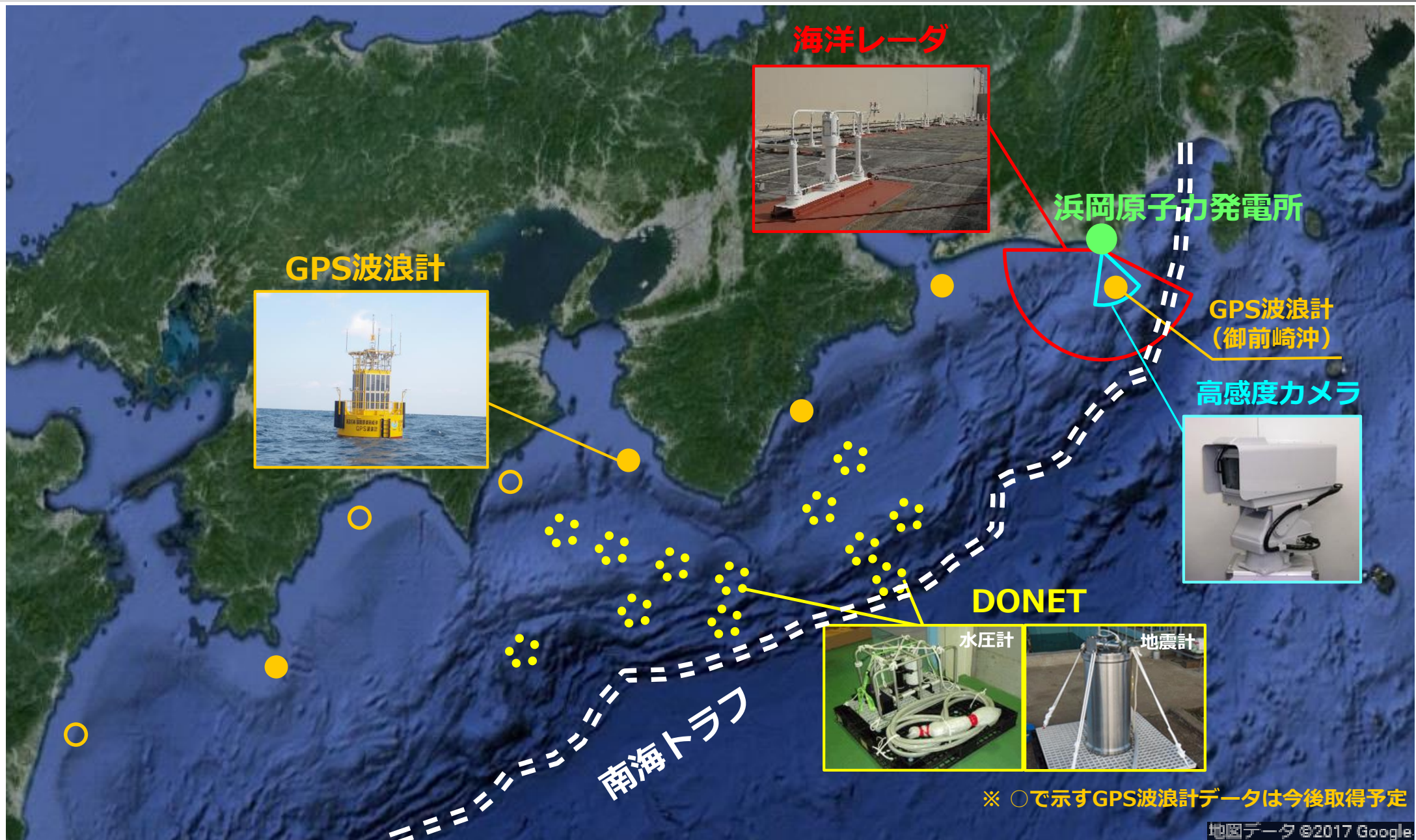
海洋レーダ (5号機屋上)

【高感度カメラ】 潮位変動を観測

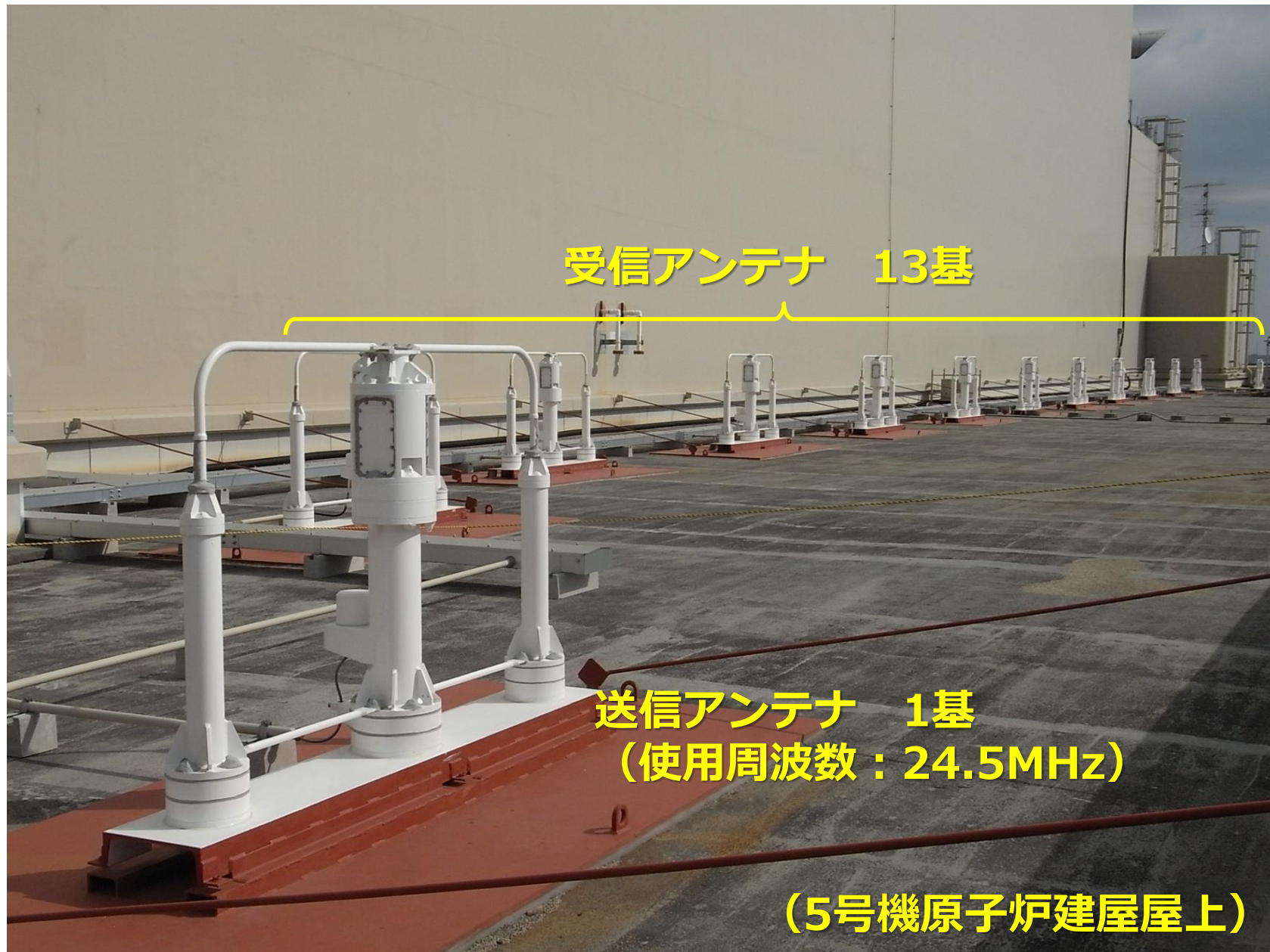


高感度カメラ
(5号機屋上)

03 | 各観測装置の配置状況



04 | 海洋レーダの概要（浜岡原子力発電所設置状況）



受信アンテナ 13基

送信アンテナ 1基
(使用周波数 : 24.5MHz)

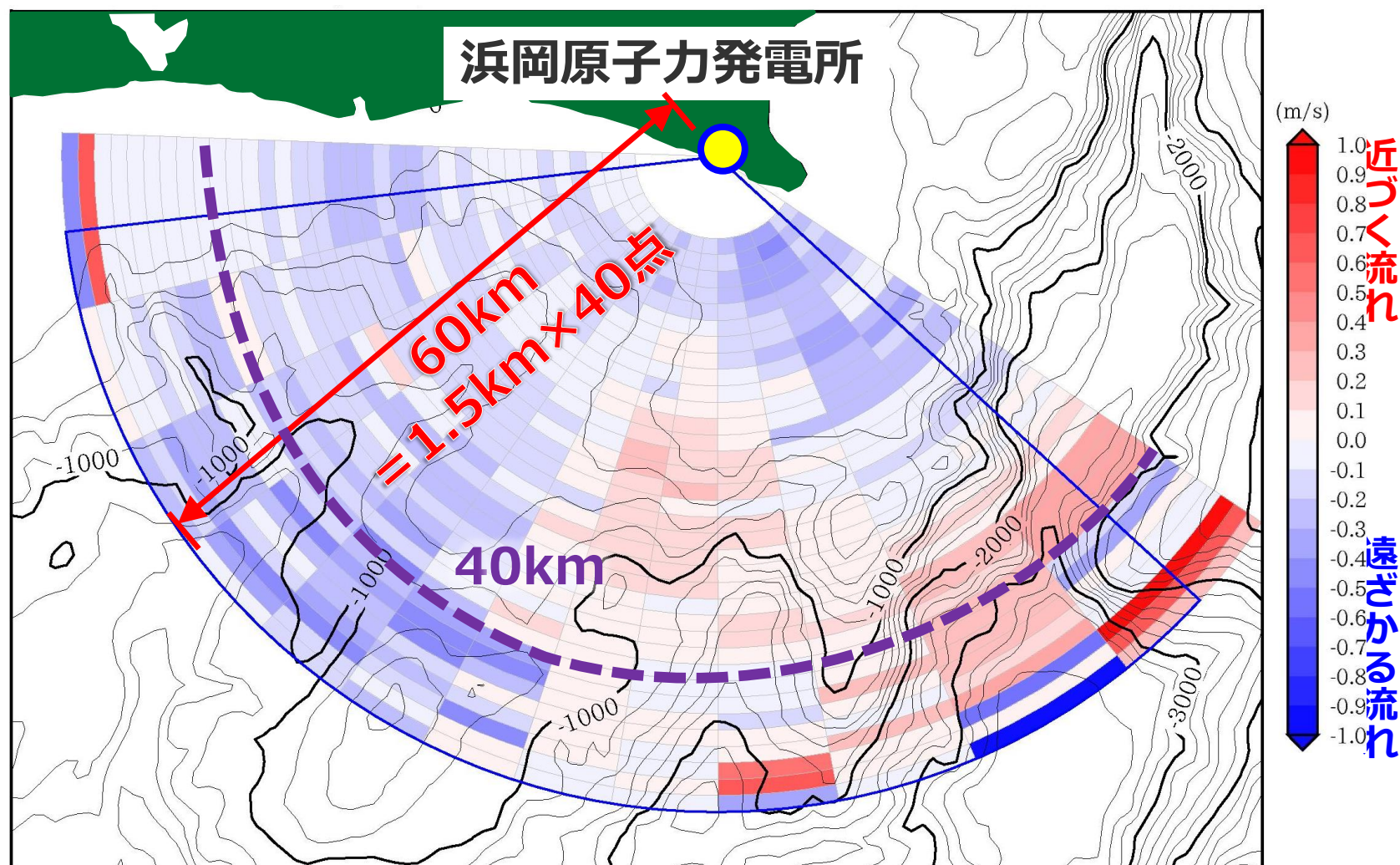
(5号機原子炉建屋屋上)

05 | 海洋レーダの概要（観測範囲）

- ・ 浜岡の海洋レーダ 観測時間を 1分間に短縮、常設では “世界初”の津波対応機

<基本仕様>

- ・ 中心周波数
24.5MHz
- ・ 観測距離（実測）
沖合40km程度
- ・ 測線
13本
- ・ 観測点数
520点

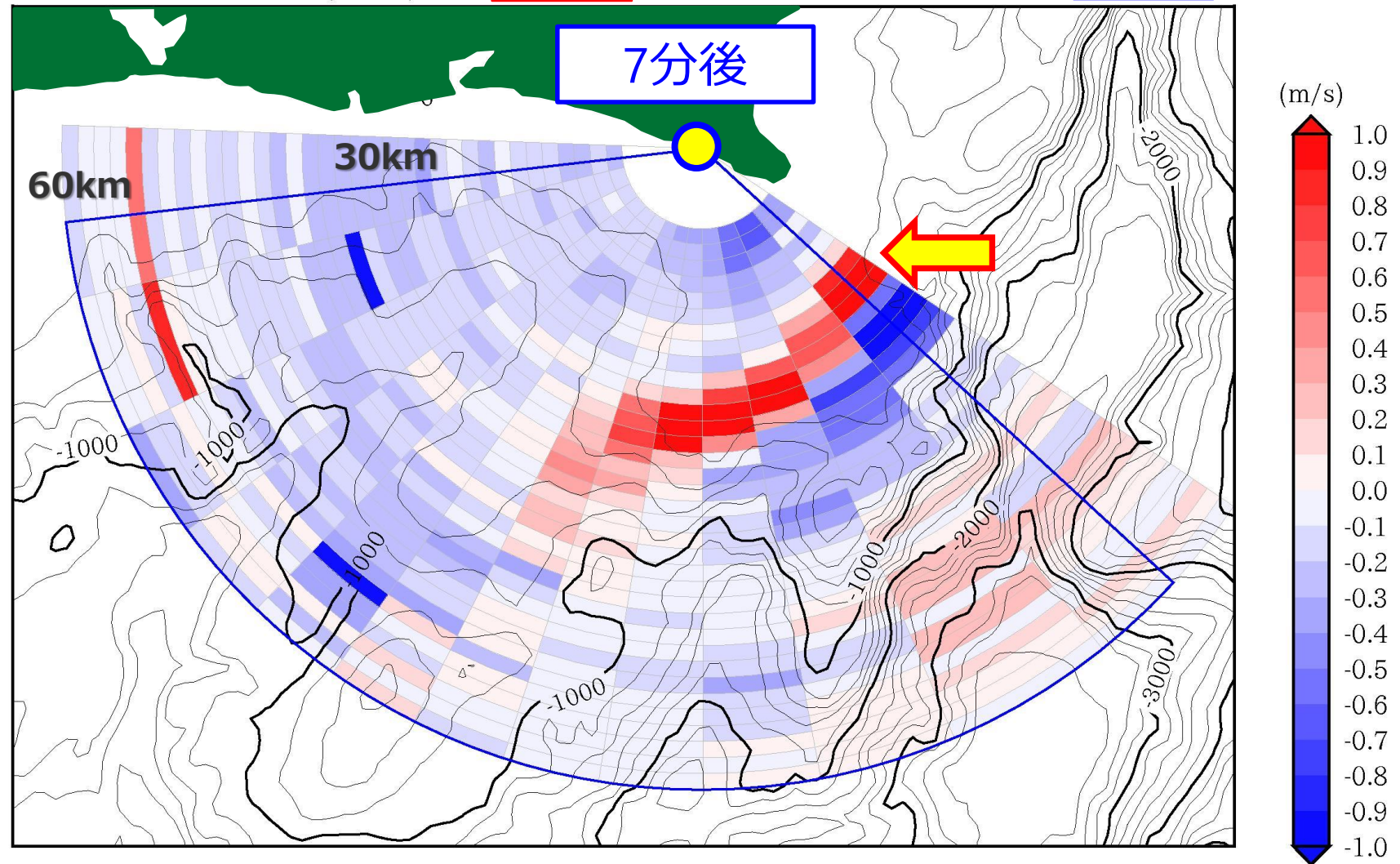


06 | 海洋レーダの概要（津波シミュレーション）

20m級津波（内閣府ケース①） × 平常風況時

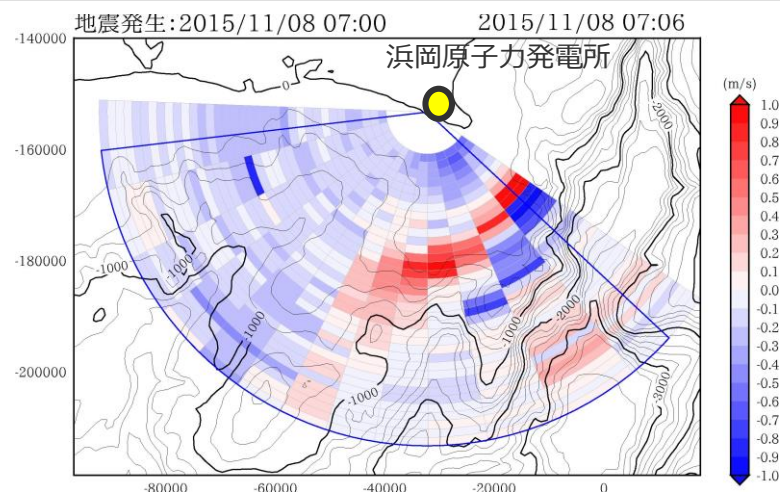
地震発生: 2015/11/08 07:00

2015/11/08 07:07



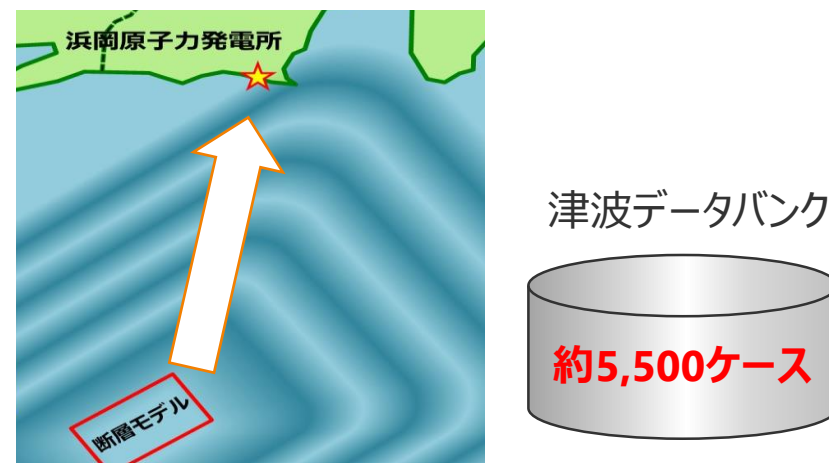
<背景>

① 海洋レーダによる観測（視線方向流速）



海洋レーダは、面的な広域情報（視線方向流速）を
時々刻々連続的に取得可能

② 津波解析データ（ビッグデータ）



これまで膨大な津波数値シミュレーションを実施し、
津波データベースを構築（ビッグデータ）

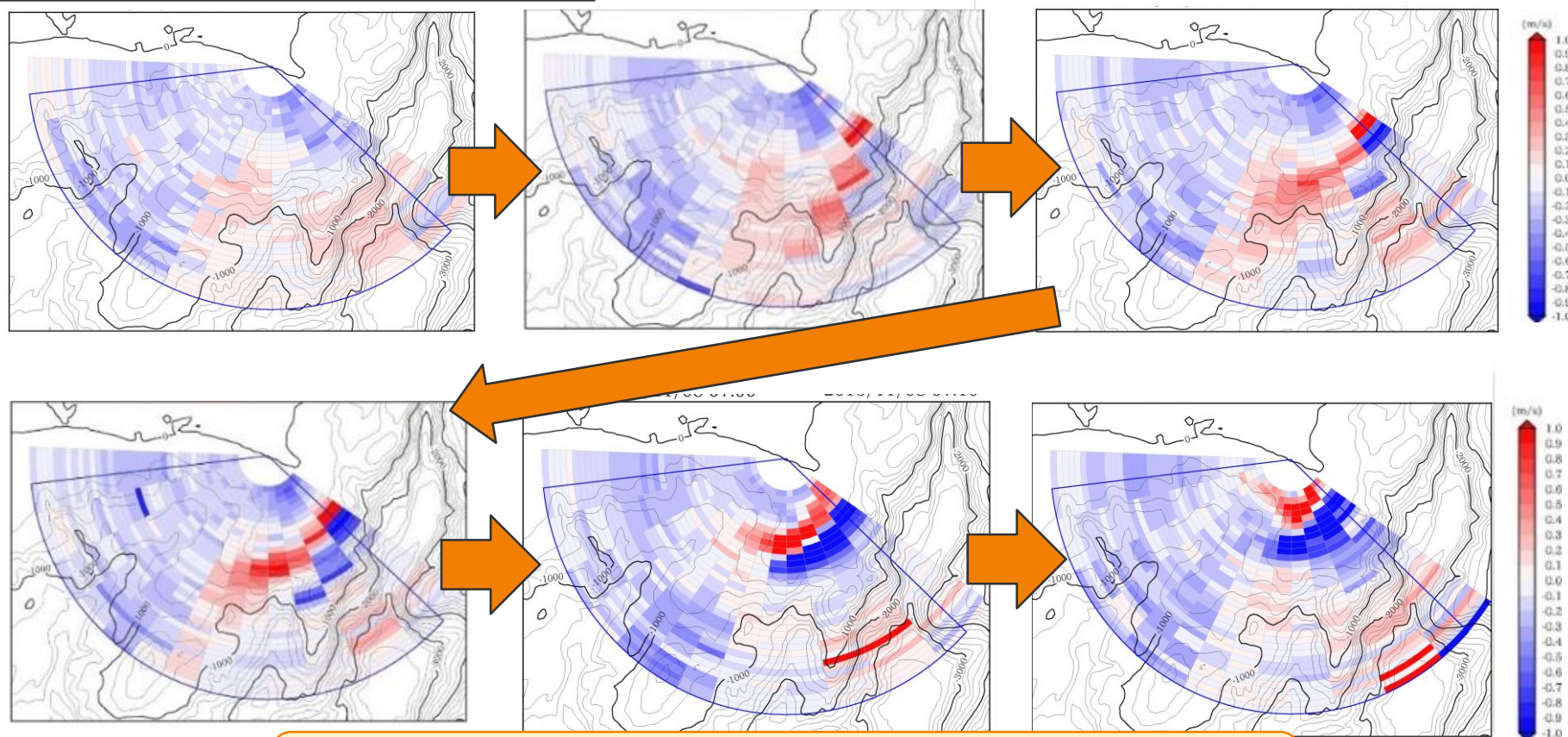
+

③ 近年、ビッグデータの活用が得意なAI技術が急速に発展

<目的>

海洋レーダ観測による津波の接近状況をA Iに学習させることにより、浜岡原子力発電所に到来する津波第一波ピークの津波高・到達時間の予測を検討

海洋レーダによる津波の接近状況

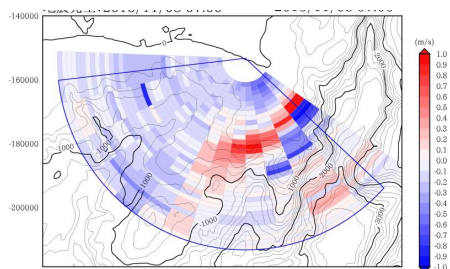


・海洋レーダでは津波を「**画像**」と捉えることが可能。

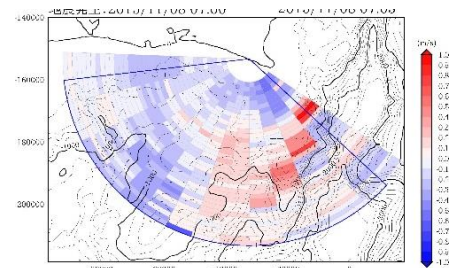
＜使用するAI技術＞

画像の識別が得意な A I ⇒ AlexNet (深層学習) を活用

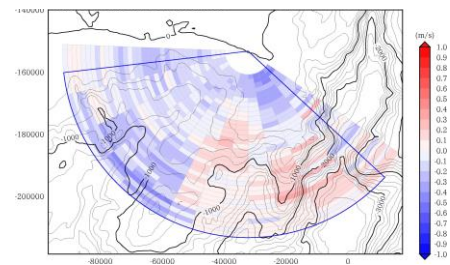
・AI（AlexNet）に津波の接近状況のパターンを学習させ、未知の津波を海洋レーダで捉えた時に予測できるか検討。



パターン①
津波高：20m
到達時間：15分



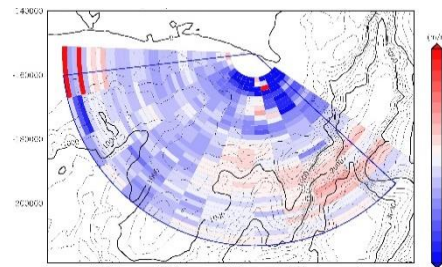
パターン②
津波高：10m
到達時間：20分



パターン③
津波高：5m
到達時間：20分

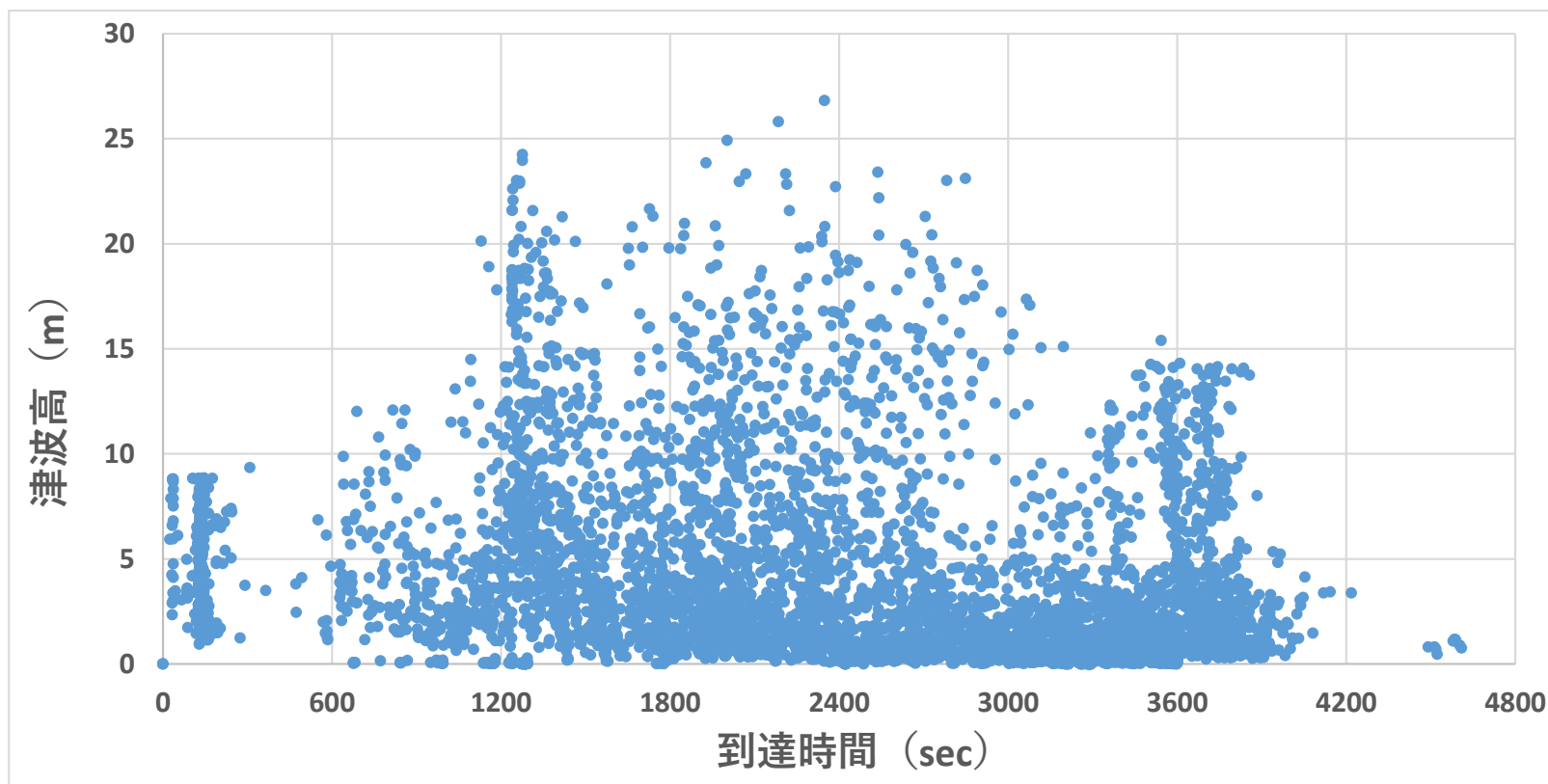
学習

AI



未知の津波（画像）

① 学習データ数および分布

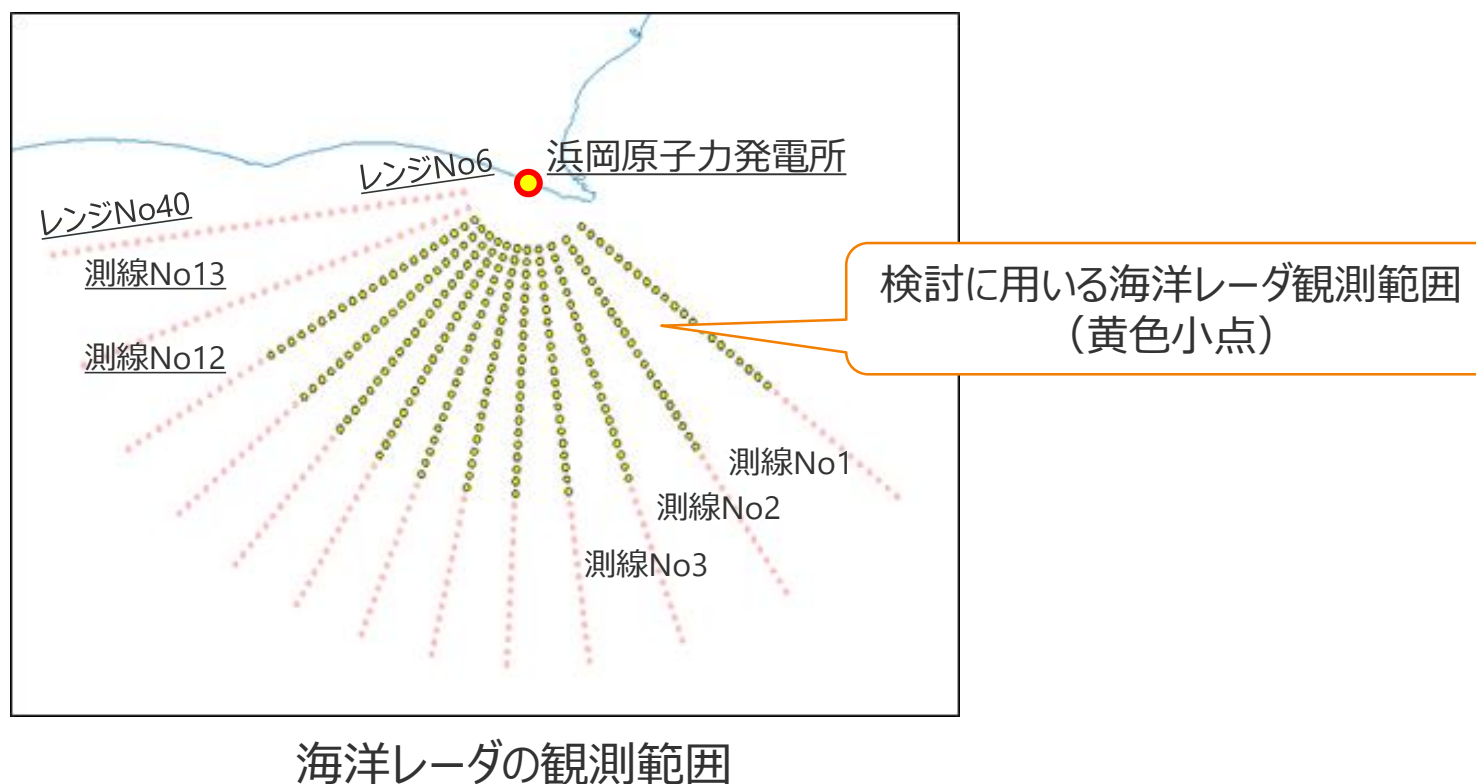


津波高-到達時間グラフ

- データ数は国の想定も含めた全5,500ケース（防波壁T.P.22m超過のケースも含）
- 津波高、到達時間とも幅広く分布していることを確認

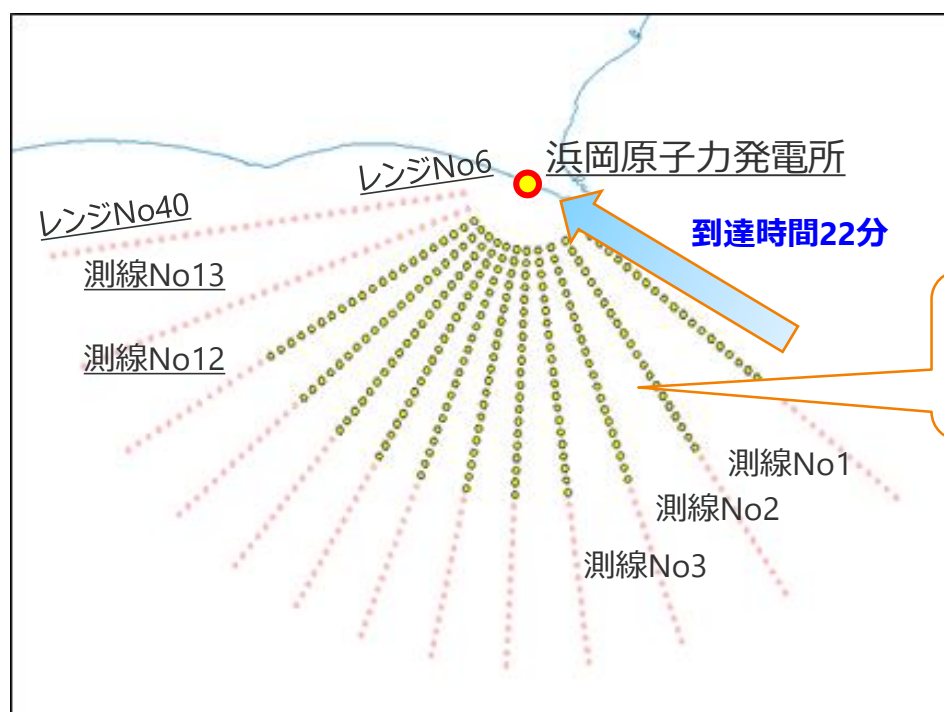
② 観測範囲

- 測線No12,13は陸地からの反射影響により乱れるケースを確認
⇒ 測線No12,13は除外
- これまでの研究および観測実績より、沖合約40kmまでは安定かつ信頼度の高いデータが得られる。 ⇒ 沖合 9km～39km（6レンジ～26レンジ）の範囲のデータを使用



③ 学習時間

- 海洋レーダで津波を検知後、浜岡に到達するまでの時間は最も遅くて22分（逆伝播計算）
 - ⇒ 浜岡原子力発電所に到達する時間を基準に22分前までのデータを使用
- 流速変化の特徴を捉えやすくするため、3時刻分の流速データを使用
 - ⇒ 時刻 t の流速に加え、時刻 $t-1$ 、 $t-2$ の流速も同時に学習



各点の時刻 t の流速に加え、 $t-1$ 、 $t-2$ を加えた3時刻分の流速を使用

海洋レーダの観測範囲

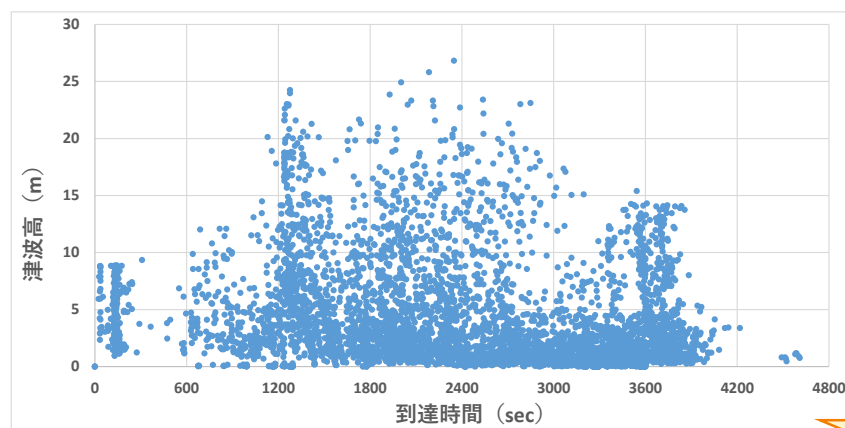
① 予測の単位

	10m未満	10m以上
津波高 (m)	1	2
到達時間 (分)	1	1

- 津波高22m以上および津波高5m未満はそれぞれ1括り（22m以上、5m未満）とし詳細予測は行わない。

② 予測のフロー

学習データの分布状況



- 津波高10m以上に比べ、10m未満が少なくバラつきが大きいことを確認
- 一回のAI解析で津波を予測する場合、予測精度が偏る可能性

予測の結果を徐々に絞りながら、最終的に津波高・到達時間を求める方法を検討

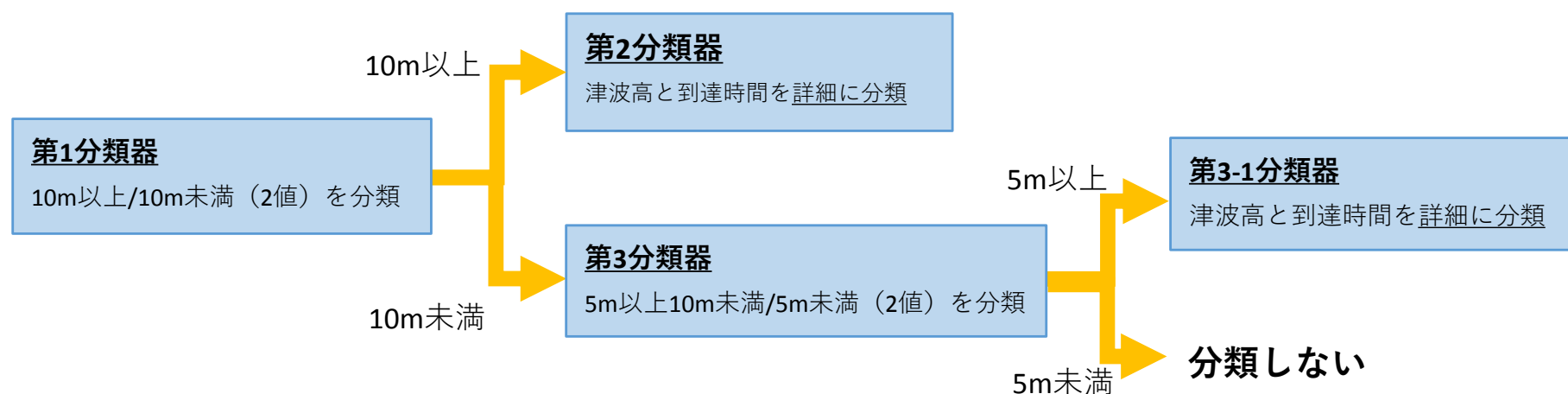
以下の4つの分類（第1～第3-1分類）を設け、予測の偏りを抑えることとした。

第1分類：10m以上/10m未満を分類（2値）

第2分類：10m以上の津波について、津波高・到達時間を予測

第3分類：10m未満の津波について、5m以上10m未満/5m未満を分類（2値）

第3-1分類：5m以上10m未満の津波について、津波高・到達時間を予測



津波予測のフロー（分類モデル）

(用語定義)

学習データ : シミュレーションデータ 約 5,500ケース

訓練データ : 学習データのうち、AIに学習させるデータ 約 4,400ケース (学習データ×約80%)

検証データ : 学習データのうち、検証に用いるAI未学習のデータ 約 1,100ケース (学習データ×約20%)

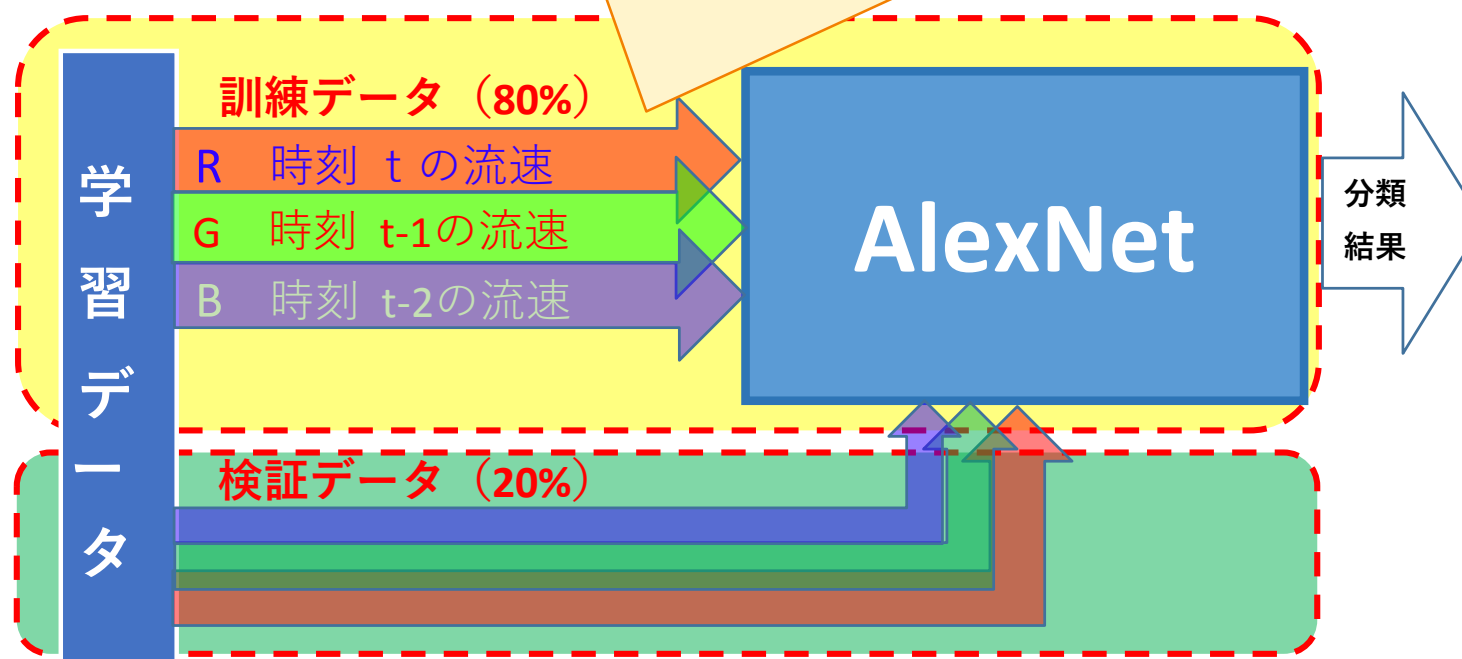
④ モデルフロー

AlexNetは3種類の画像を同時に設定可能。

⇒ 連続した3つの時間に応用し、津波の変化（動き）を考慮

予測手法検討

予測精度検証



① 正解率の整理

津波高	正解率
10m未満 (5m未満分類なし)	約 67%
10m以上	約 77%

＜予測結果の分析＞

- 津波高の正解値は良いことを確認
- 到達時間は正解値から1分（前後）ズれているものが多いことを確認



到達時間が1分前後しても大勢に影響はないため、正解の1分前後も正解とした場合を整理

② 正解率の整理（その2）

津波高	AlexNet	
	正解率	正解率（1分誤差含）
10m未満 （5m未満分類なし）	約 67%	約 88%
10m以上	約 77%	約 94%

海洋レーダによる津波の接近状況をAI学習することで、精度の良い津波予測が可能であることを確認



特許出願

海洋レーダ観測データを用いた画像認識技術による津波予測手法

更なる精度向上に向け、以下について検討中（今後検討含）

- 学習データの見直し
 - ⇒ 震源域毎に分けることにより、対象地震（東海）の予測精度を向上
- 時系列毎の予測結果の整理
 - ⇒ 時間経過による予測結果の正解率を把握
- 観測ノイズを含めた検討
 - ⇒ 予測手法構築後、仮想津波観測実験にて検証予定

