

# 波浪データを活用した 新サービスに向けて

一般財団法人 日本海事協会 技術研究所

2022年10月

1. 目的・背景
2. 波浪モデルデータの概要
3. 波浪モデルデータを活用するために
4. 新船級サービスの検討
  - ① デジタルカルテ
  - ② 航路毎のコンテナ積付要件合理化  
および気象予報の活用
5. まとめ

1. 目的・背景
2. 波浪モデルデータの概要
3. 波浪モデルデータを活用するために
4. 新船級サービスの検討
  - ① デジタルカルテ
  - ② 航路毎のコンテナ積付要件合理化  
および気象予報の活用
5. まとめ

# 目的・背景

## 船舶の状態をきめ細やかに把握・予測するため 波浪データをより高度に活用



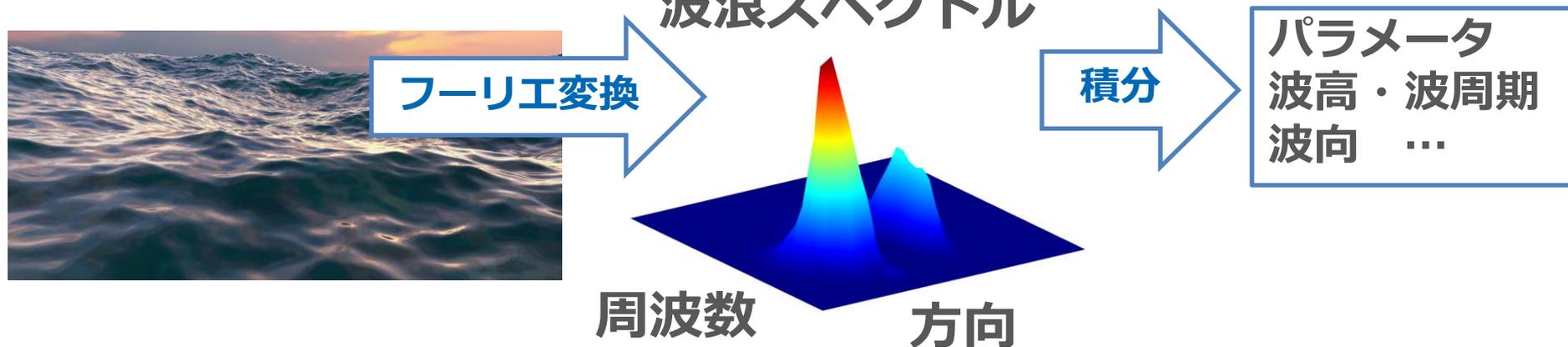
- 船体構造に関する船級規則（鋼船規則C編）の全面改正に向けた、北大西洋での遭遇海象の調査（昨年度の技術セミナーで紹介）
  - 波浪モデルデータ（追算値）の精度検証
  - （東京大学との共同研究）
- 各種 実船モニタリングプロジェクトへの参画
  - 波浪と（運動・応力など）船舶状態の関係の解析
  - 波浪モデルデータやレーダーデータを活用
- これまでの知見を活かし、新サービスのための技術開発に取り組む

# 波浪モデルデータの概要

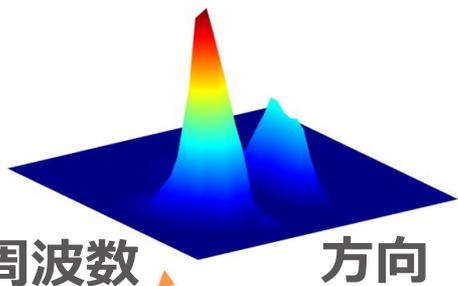
# 波浪モデルとは

- 波浪スペクトルとは、どの方向・どの周波数で波が来ているかを表したものである
- 波高などのパラメータが得られる
- 波浪モデルは、**波浪スペクトル**を予測する
- NK船級船に新サービスを提供するため、全球で安定的にデータを得られる**波浪モデル**を使用

## 空間的な波面



## 波浪スペクトル

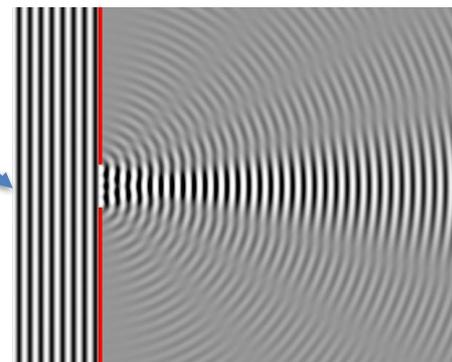


格子サイズは主に  
数km~50km程度

各格子で波浪スペク  
トルが計算される

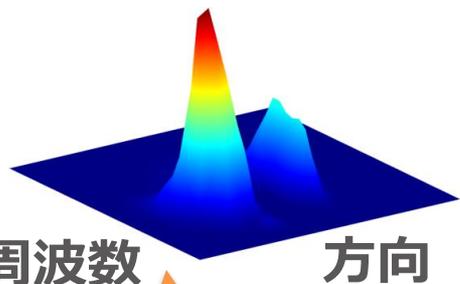
## 波スペクトルの時間発展

- = 風による力
- + 砕波による散逸
- + 波の屈折・回折
- + 分散（群速度）
- + 海流・潮流による移流
- + 非線形相互作用 + etc.



By Dicklyon at English Wikipedia - Transferred from en.wikipedia to Commons by Shizhao using CommonsHelper., Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5699291>

## 波浪スペクトル



各格子で波浪スペクトルが計算される

## 波スペクトルの時間発展

= 風による力

+ 砕波による散逸

+ 波の屈折・回折

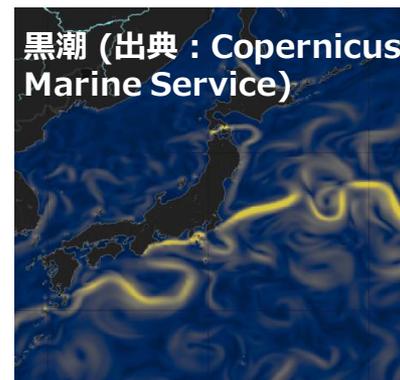
+ 分散（群速度）

+ 海流・潮流による移流

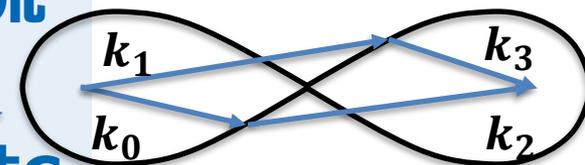
+ 非線形相互作用 + etc.

By Kraaiennest - Own work, CC BY-SA 4.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3651297>

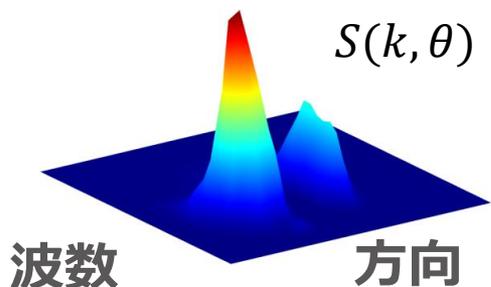
波の連なり（波群）が  
伝わる速度 = 群速度



4波によるエネルギー  
交換（共鳴）



## 波浪スペクトル



$S(k, \theta)$

波作用  $N \equiv S(k, \theta)/\sigma$  と呼ばれる保存量に関する方程式

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \dot{x}N + \frac{\partial}{\partial k} \dot{k}N + \frac{\partial}{\partial \theta} \dot{\theta}N = \frac{S_{force}}{\sigma}$$

## 波の移流に関する式

$$\dot{x} = c_g + U$$

分散 (群速度) 海流・潮流

## 波の角度と波数の変化に関する式

$$\dot{k} = -\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial s} - k \cdot \frac{\partial U}{\partial s}, \quad \dot{\theta} = -\frac{1}{k} \left[ \frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} - k \cdot \frac{\partial U}{\partial m} \right]$$

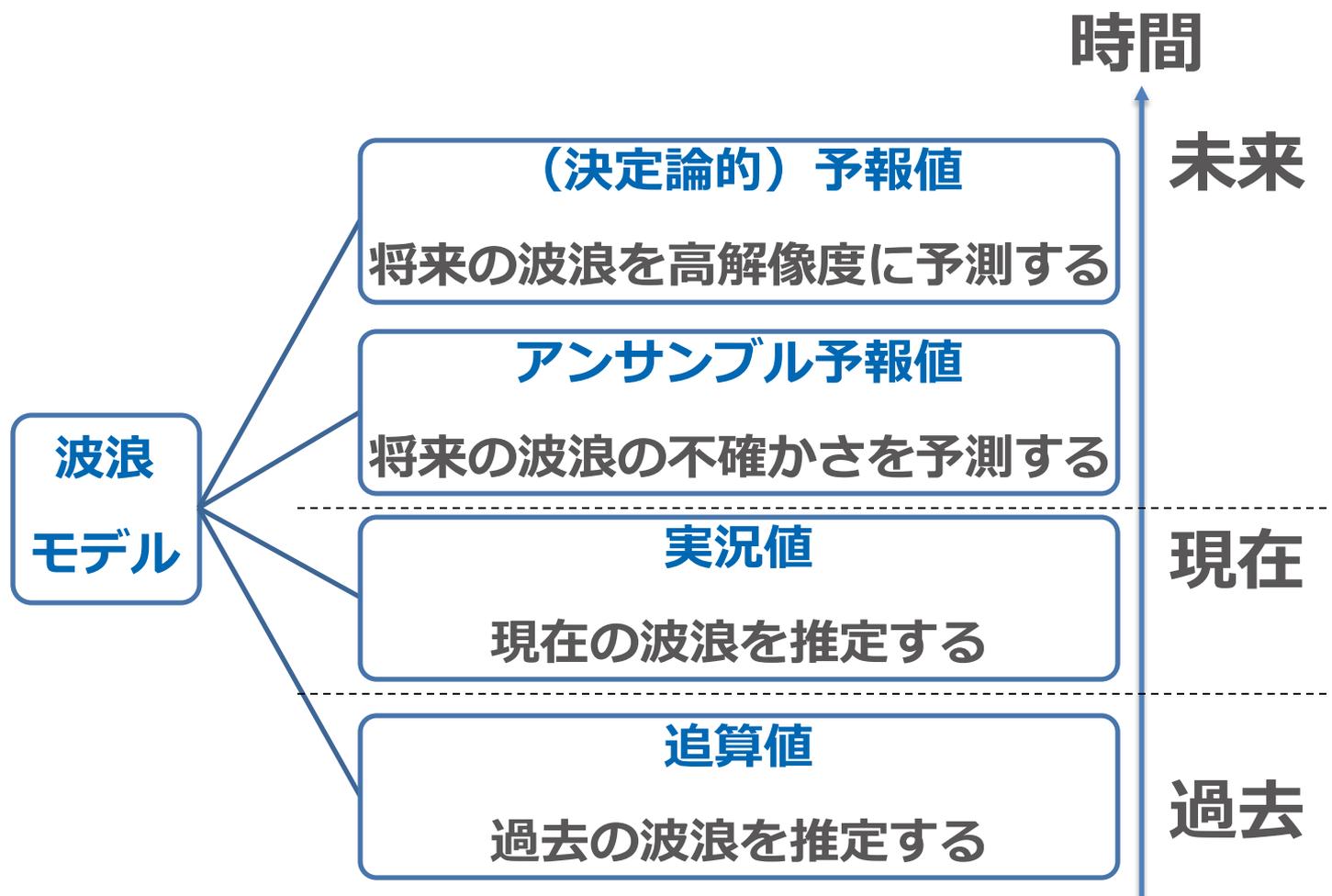
地形・海流・潮流による波の屈折・回折

## スペクトルを変化させる外力 (ソースターム)

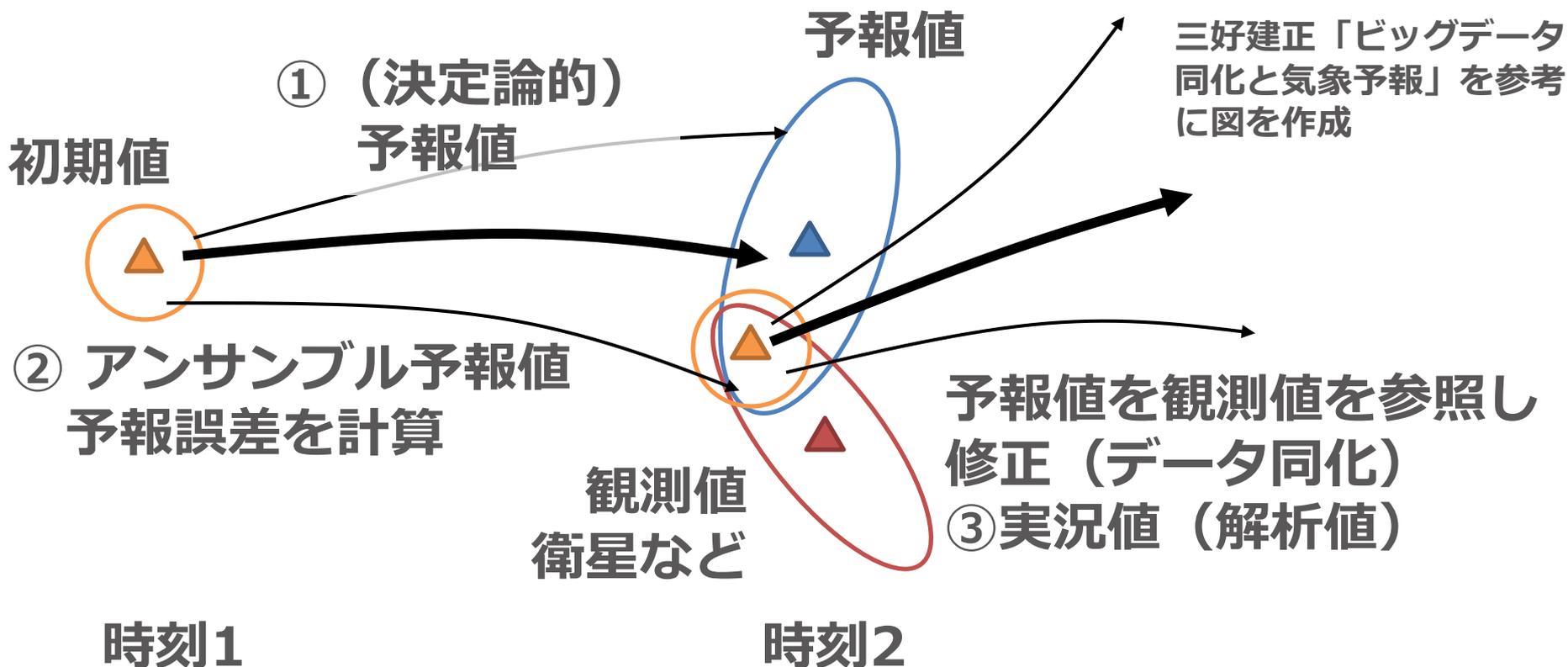
$$S_{force} = S_{in} + S_{ds} + S_{nl}$$

風による力 砕波による非線形相互作用  
散逸

## 波浪モデルデータを時間軸によって分類する



- 波浪モデルは風によって駆動され、気象予報の精度に依存
- 気象予報は予報期間が長くなるほど誤差が増大



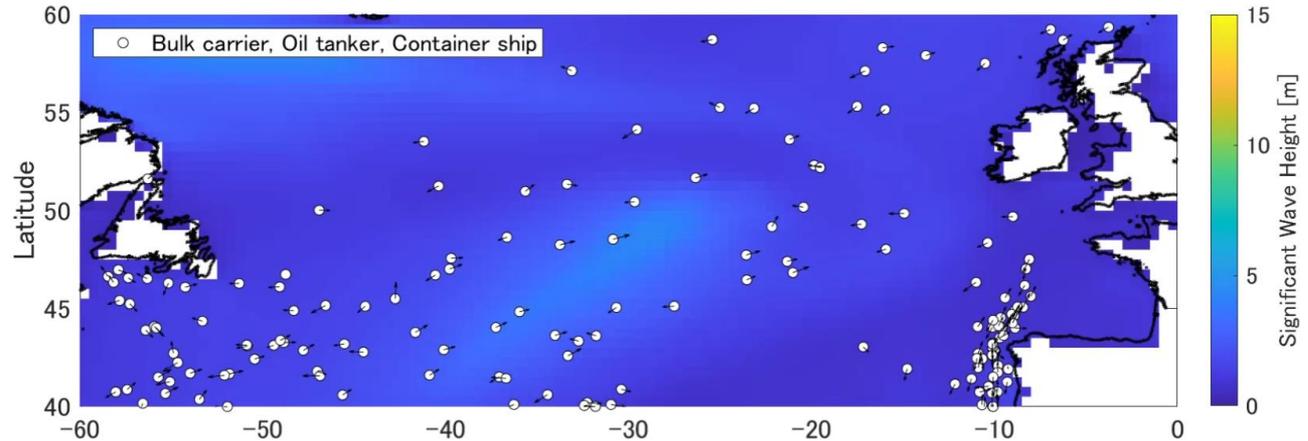
過去についてデータ同化したデータ = ④ 追算値  
使用できる観測値が多いので精度が他と比較して良いとされる

- Class NK技報 No. 6 にて下記記事を掲載  
「**実船モニタリングに向けた波浪情報の推定・活用**」
- 2022年12月頃発行予定
- 一般に普及している波浪データについて特徴を解説
  - 波浪モデル
  - レーダー
  - ブイ
  - 衛星
- 実船モニタリングへの活用について考察

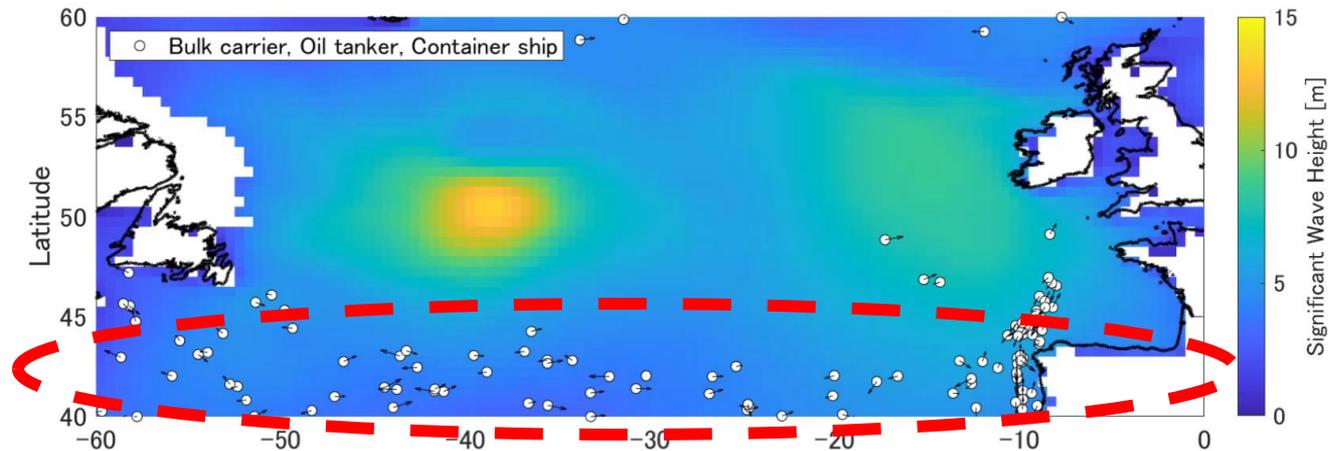
# 波浪モデルデータを 活用するために

## 船舶が遭遇した波浪を推定するには、船位が必要

波高は  
ヨーロッパ中期  
予報センター  
(ECMWF) の  
追算値ERA5を  
使用



北大西洋 平穏な海象下



北大西洋 荒天時

船舶が遭遇した波浪を推定するには、波浪モデルと船位が必要データと解析ソフトウェアを整備する

波浪



時間

船位



未来

（決定論的）予報値

将来の波浪を高解像度に予測する

アンサンブル予報値

将来の波浪の不確かさを予測する

ウェザー  
ルーティング

波浪  
モデル

実況値

現在の波浪を推定する

現在

追算値

過去の波浪を推定する

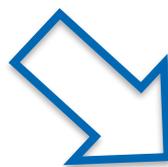
AISデータ

過去

NK船級船（約9000隻）  
のAISデータを取得



全球の波浪データ  
（実況値・追算値）を取得



過去の遭遇海象  
推定のための  
基礎データ

船舶が遭遇した波浪を推定するには、波浪モデルと船位が必要データと解析ソフトウェアを整備する

波浪



時間

船位



**（決定論的）予報値**

将来の波浪を高解像度に予測する

**アンサンブル予報値**

将来の波浪の不確かさを予測する

**実況値**

現在の波浪を推定する

**追算値**

過去の波浪を推定する

未来

ウェザー  
ルーティング

現在

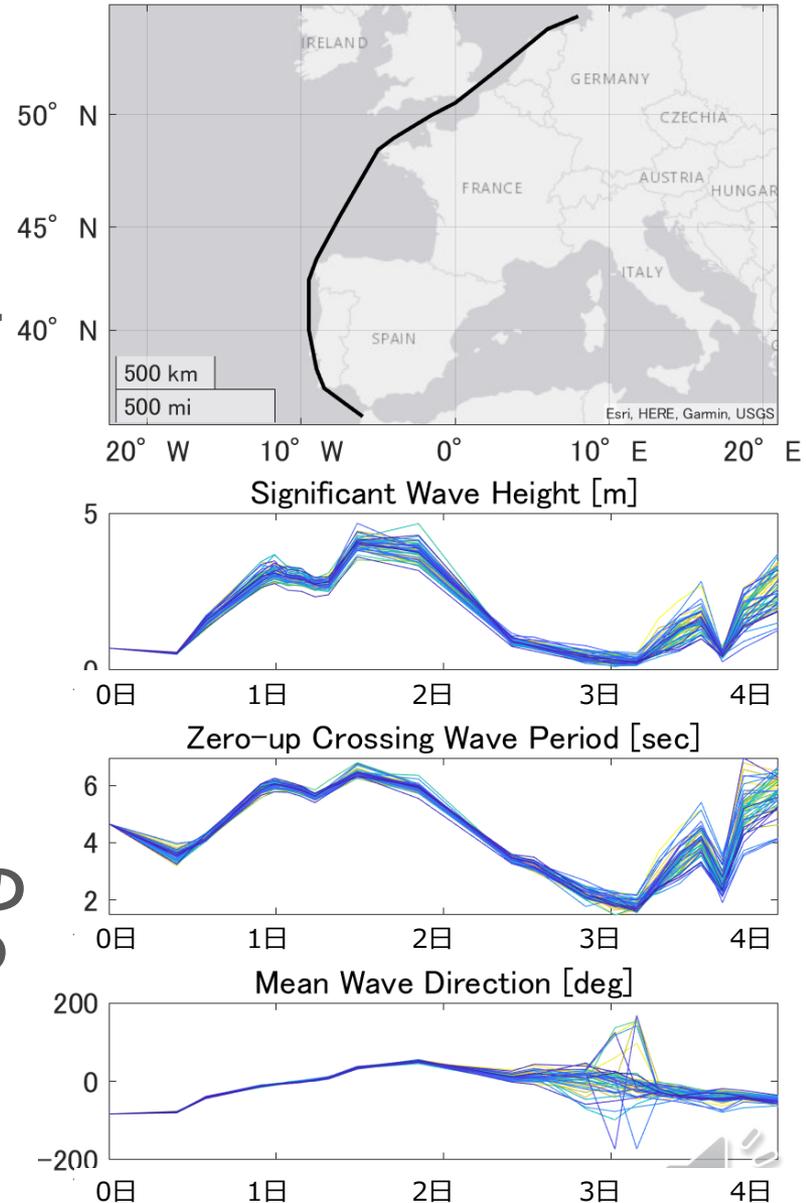
AISデータ

過去

波浪  
モデル

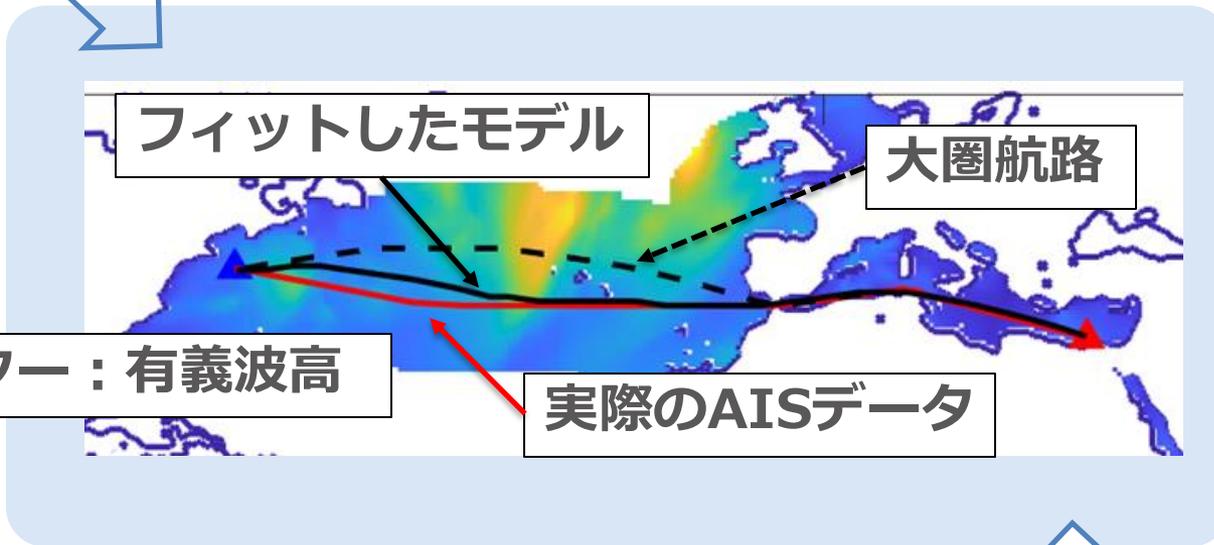
- 波浪予報値も取得
- 予報期間が長くなるほど波高の予報値のバラつきが増大
- 精度を検証中

右図：4日間航海におけるECMWFの波浪アンサンブル予報ENS-WAMのデータ例



AISデータ

簡易ウェザールーティングモデルを開発  
AISデータにフィットするようモデルの  
チューニング



令和3年度JASNAOE春季講演会で発表済

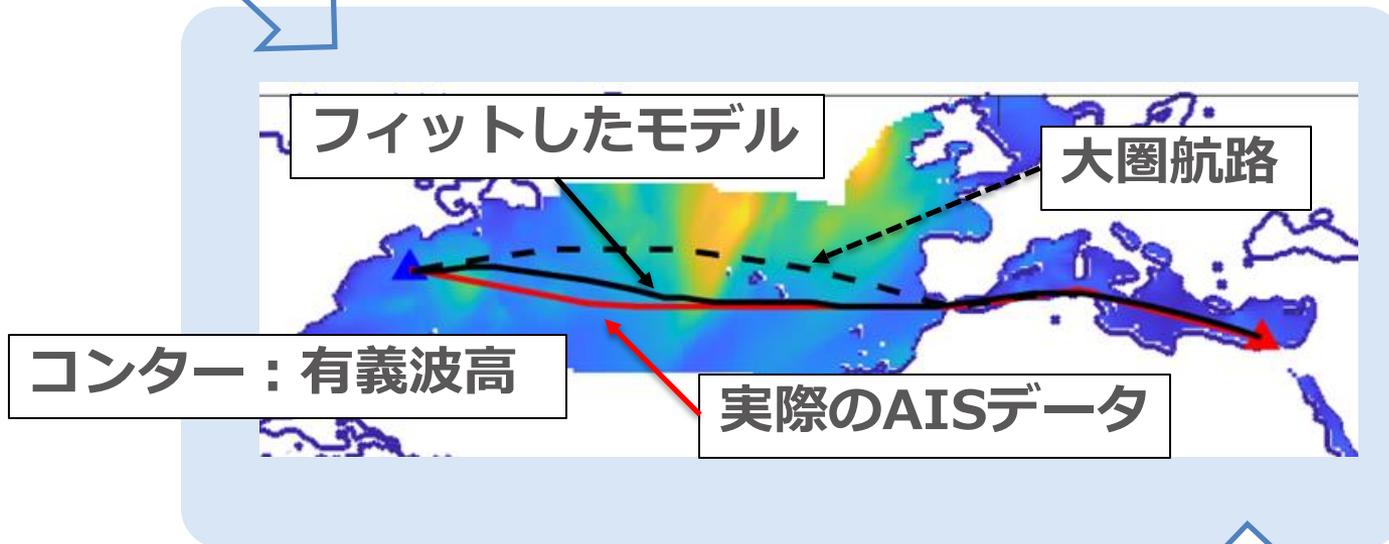
過去のAISデータを再現するようなモデルが得られる  
新船級サービスのための技術開発に活用

海象時系列



AISデータ

簡易ウェザールーティングモデルを開発  
AISデータにフィットするようモデルの  
チューニング



令和3年度JASNAOE春季講演会で発表済

過去のAISデータを再現するようなモデルが得られる  
新船級サービスのための技術開発に活用

海象時系列



# 新船級サービスの検討

過去・現在  
モニタリング

① デジタルカルテ  
(一般商船)



時間

未来 運航支援

コンテナの効率的運搬と  
安全性の両立に向けて



1週間～

数日

② 航路毎のコンテナ積付要件合理化  
気象予報の活用

実況値・追算値  
& AISデータ

予報値  
& ウェザールーティング

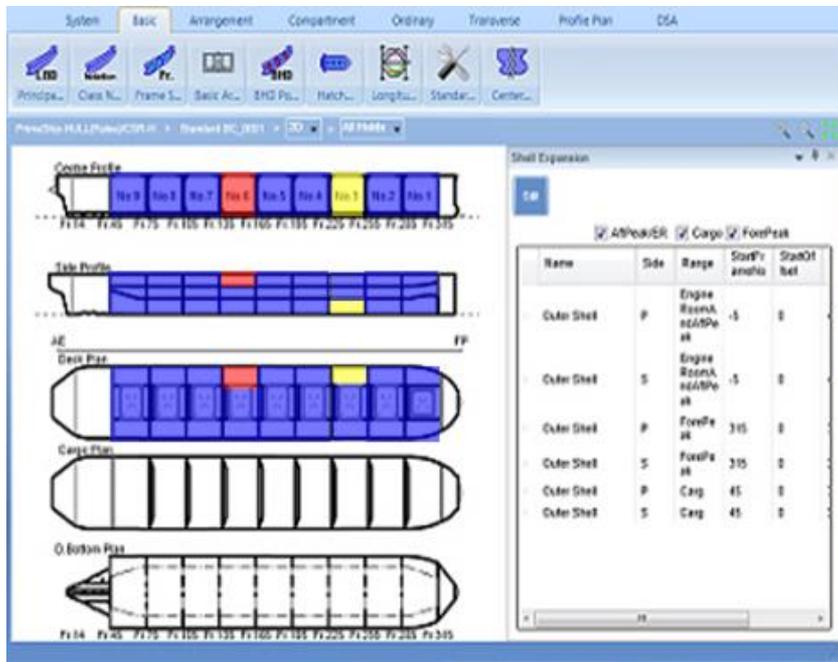
# 過去・現在のモニタリング

## ① デジタルカルテ

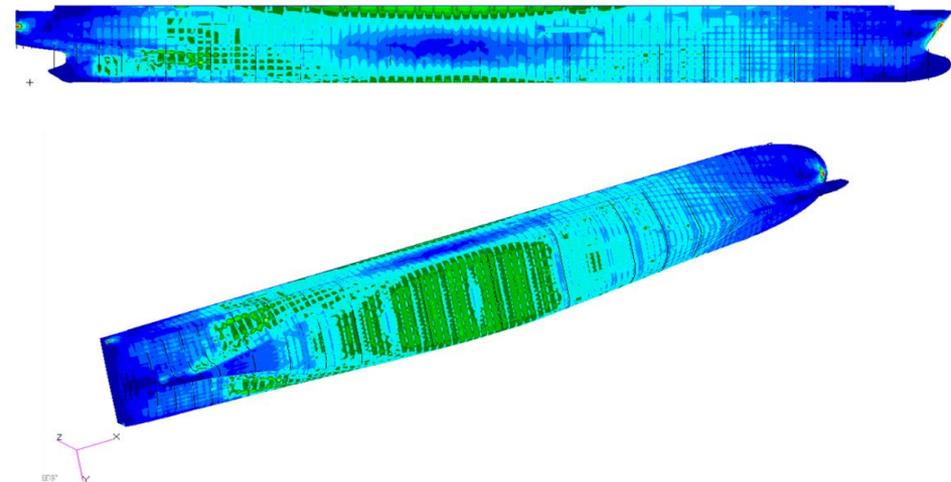
## 船体構造の状態を把握（疲労評価など）

## NK船級船をモニタリング，就航船検査

## （検査する区画の選定サポート等）



活用例：区画毎の損傷リスクを可視化

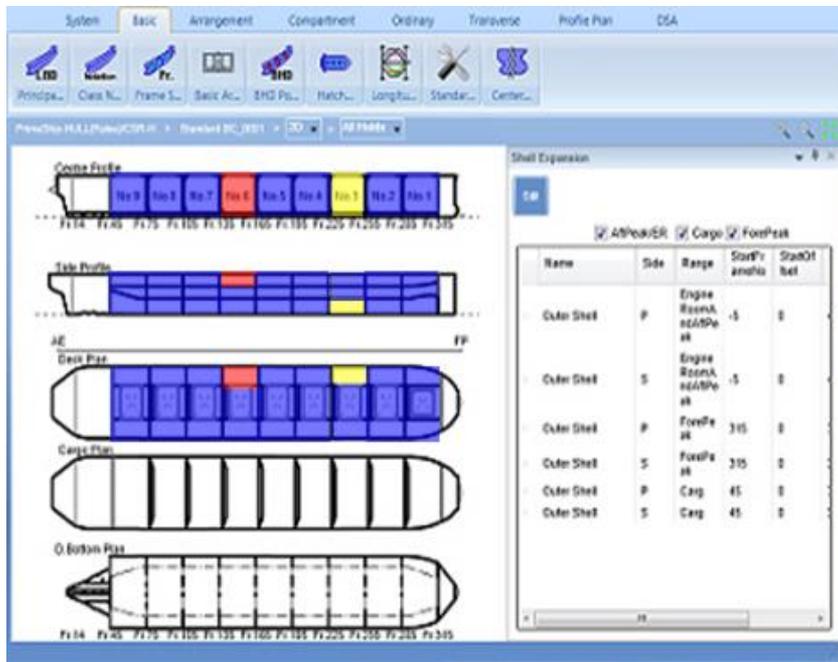


活用例：要検査箇所可視化

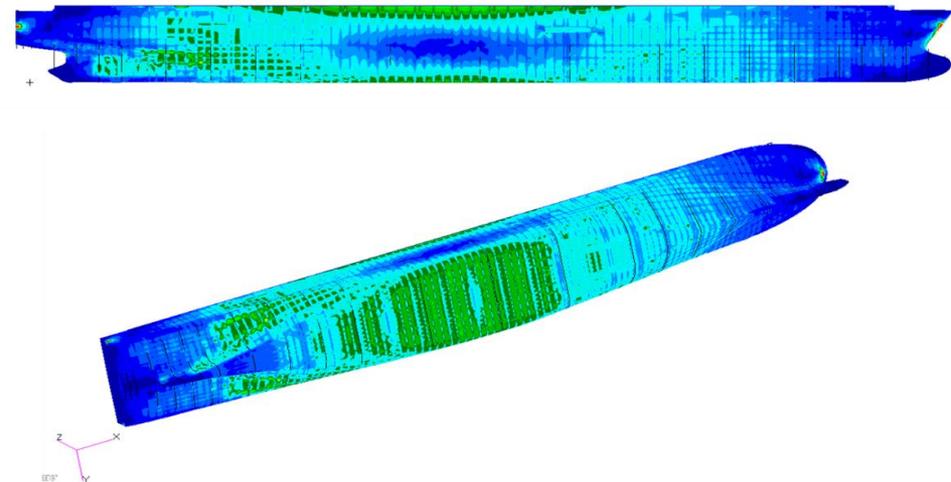
## 船体構造の状態を把握（疲労評価など）

## NK船級船をモニタリング，就航船検査

## （検査する区画の選定サポート等）

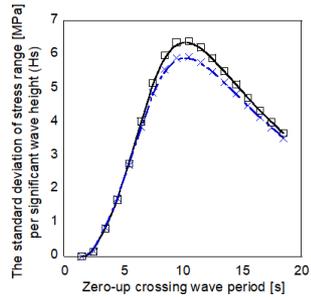


活用例：区画毎の損傷リスクを可視化



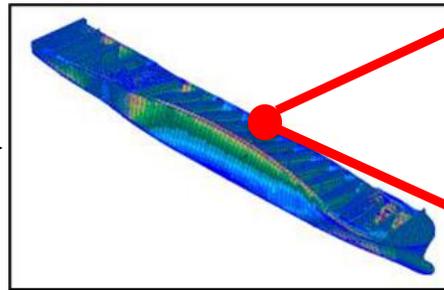
活用例：要検査箇所可視化

デジタルカルテを実現するためには、全船の応答履歴を把握する必要あり  
各種解析手法を計測データと比較し検証

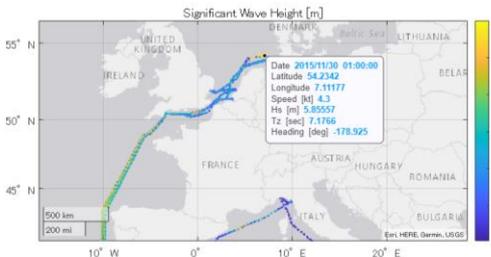


応力RAOデータ

全船の状態の推定

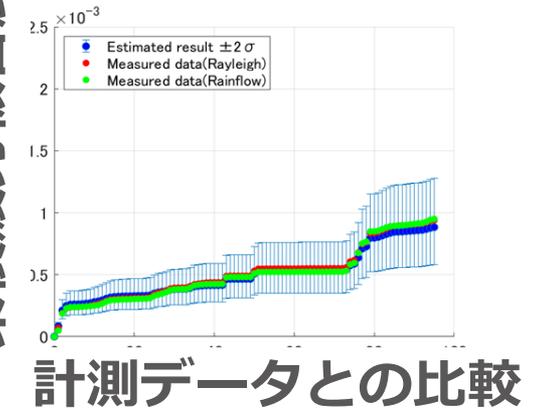
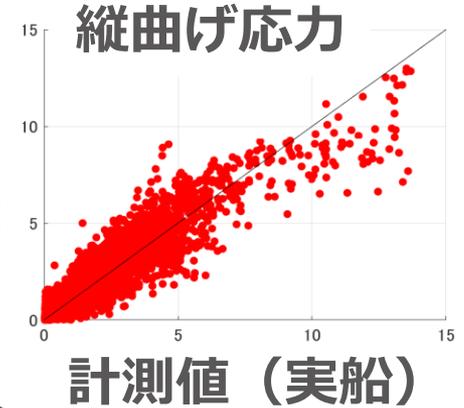


遭遇海象データ



解析値

累積疲労被害度



## AISデータと海象データを紐づけし、Web上で表示

The screenshot shows a web browser window with the URL `https://tid2021-451.classnk.or.jp/webapps/home/session.html?app=WaveVisualization`. The application interface includes a sidebar on the left with the following elements:

- IMO No. input field
- IMO No. button (highlighted in blue)
- Load button
- Geographical Map dropdown menu
- Start Date input field (format: yyyy/mm/dd)
- End Date input field (format: yyyy/mm/dd)
- Help button
- Show Log button

The main area is labeled "Plot" and is currently empty. A "Processing ..." dialog box with a progress bar is centered over the plot area. At the bottom of the interface, there is an "Hs threshold [m]" input field with the value "0" and a "Save" button.

## AISデータと海象データを紐づけし、Web上で表示

The screenshot displays a web application interface for visualizing wave data. On the left side, there is a control panel with the following elements:

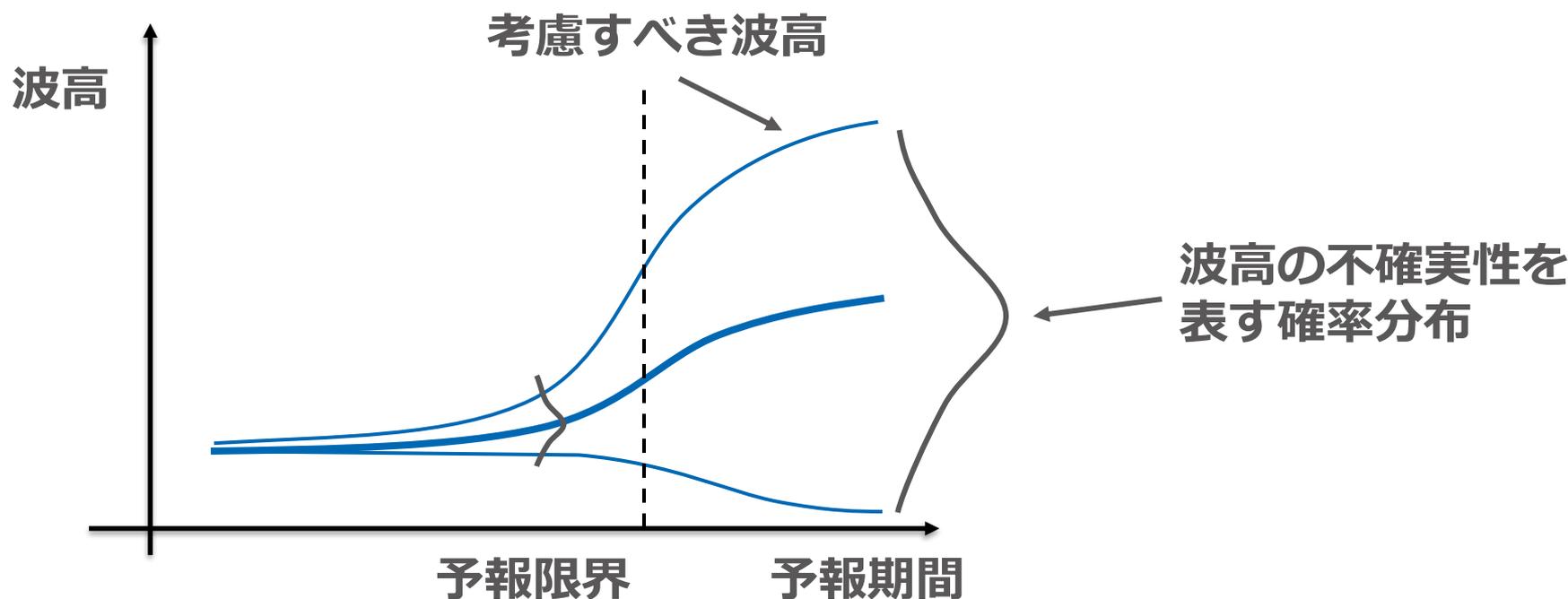
- IMO No.:** A text input field containing "IMO No." and a blue button labeled "IMO No." below it.
- Load:** A button to load the data.
- Timeseries:** A dropdown menu currently showing "Timeseries".
- Start Date:** A date selector showing "2018/03/26".
- End Date:** A date selector showing "2021/12/31".
- Help:** A button at the bottom of the control panel.
- Show Log:** A button at the very bottom left of the application.

The main area on the right is a large plot titled "Plot", which is currently empty. Below the plot, there is a "Hs threshold [m]" field with the value "0" and a "Save" button.

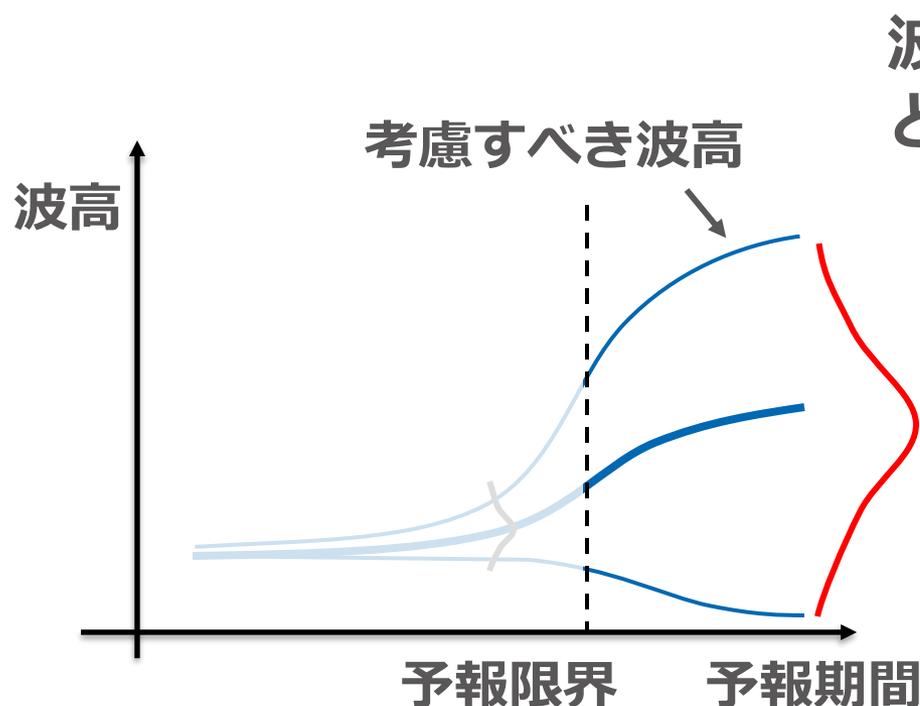
## 未来 運航支援

### ②航路毎のコンテナ積付要件合理化 および気象予報の活用

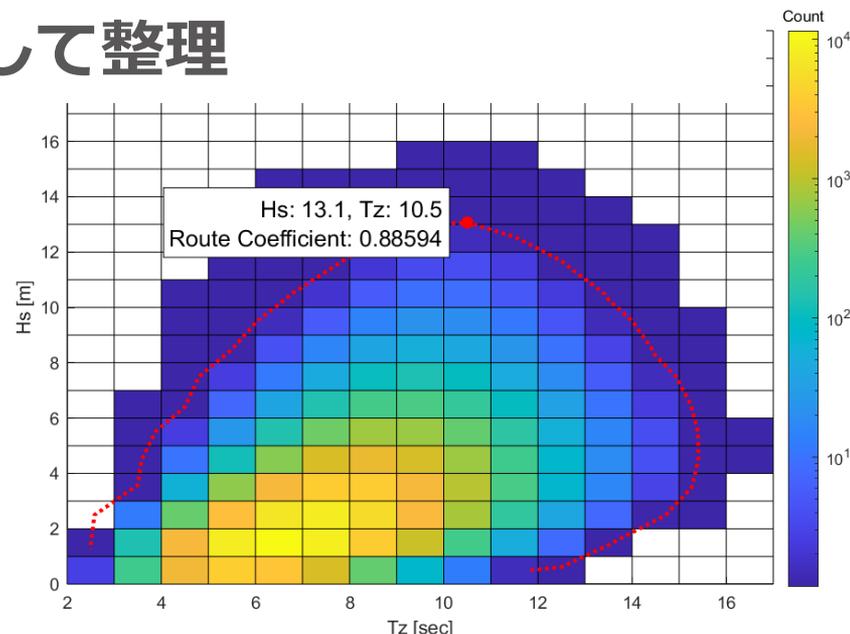
- 航海に伴う船体へのリスクを安全側に評価するため、航海中で最も厳しい海象を考慮する
- 予報期間が長くなるほど、波高の不確実性が増し考慮すべき波高も高くなる



- 波浪の不確実性が非常に大きい
  - 下図 **赤線**に相当
- 長期間の波浪データを統計解析して想定海象を設定
- NKではこれまでの取り組みにより、25年スケールの長期の波浪追算データを保有



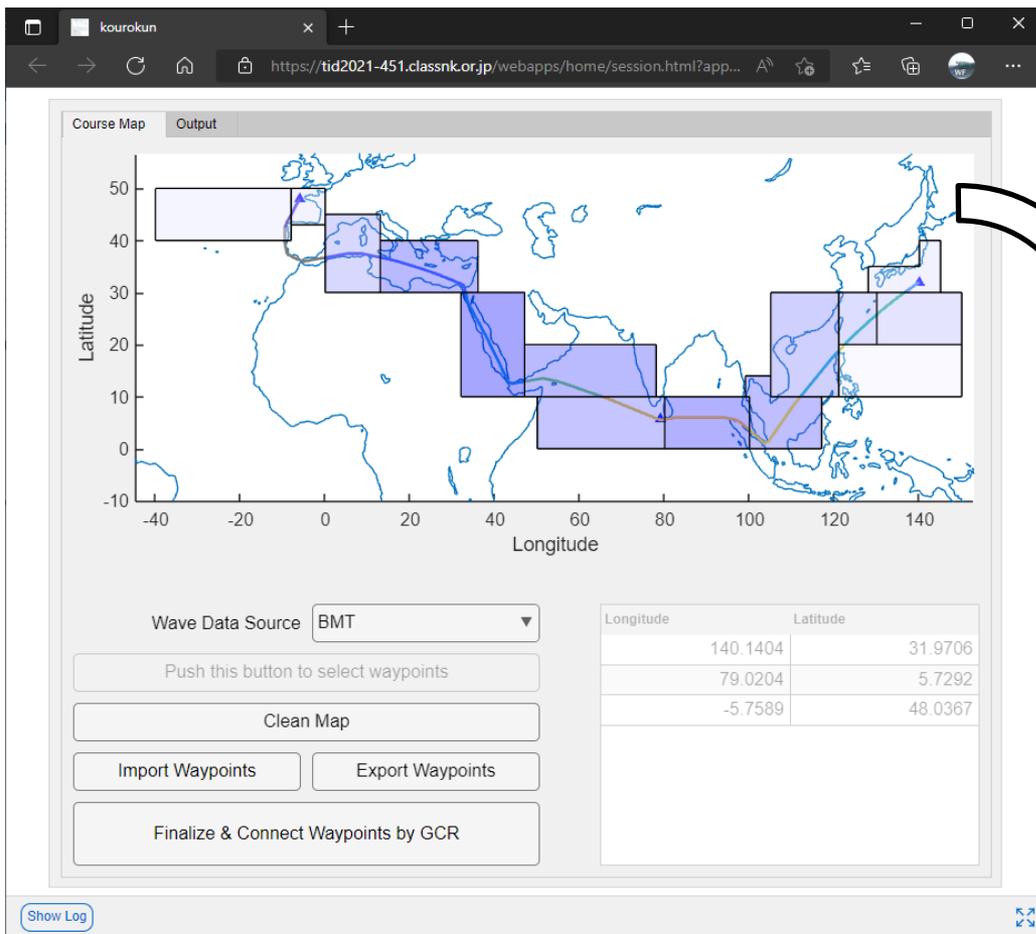
## 波高と波周期のヒストグラムとして整理



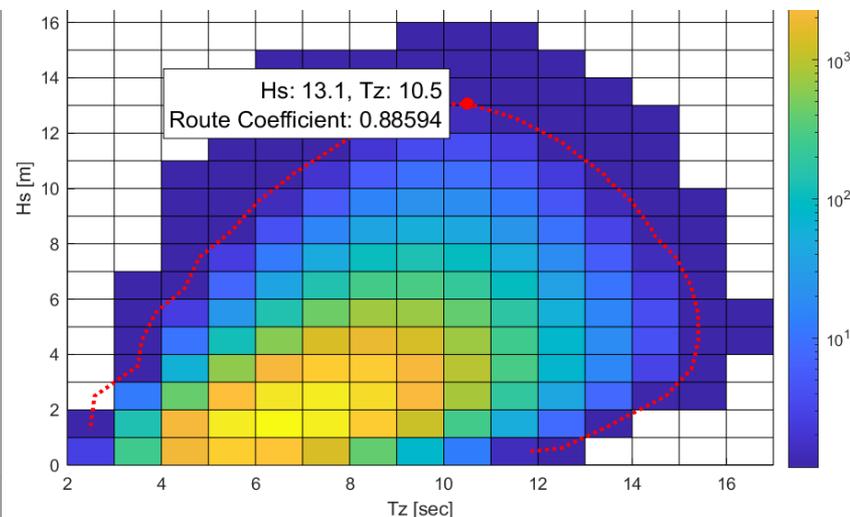
## 現行コンテナの積付け及び固縛に関するガイドライン

- 海象が穏やかな海域にてコンテナ固縛要件を緩和
- 想定航路に応じ、海象を設定

インストール不要で  
容易に使用可能な  
Webアプリを開発中



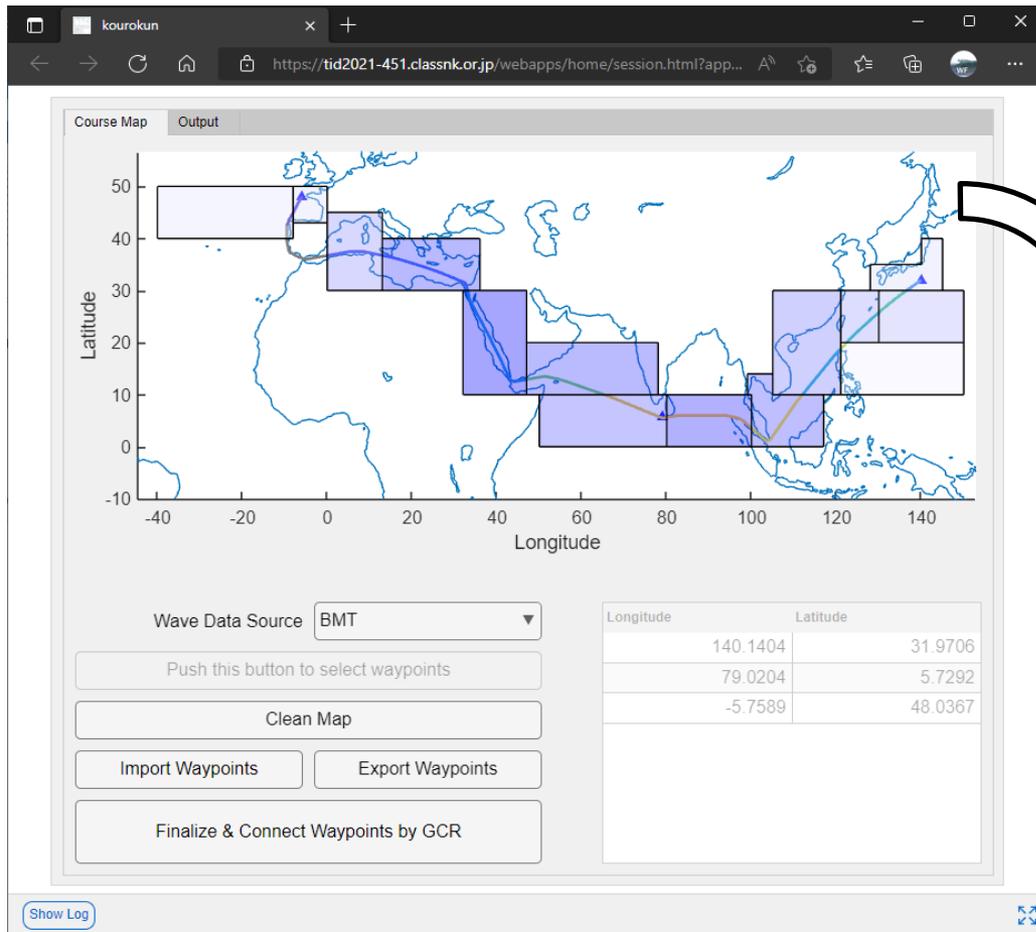
## 波高と波周期のヒストグラム



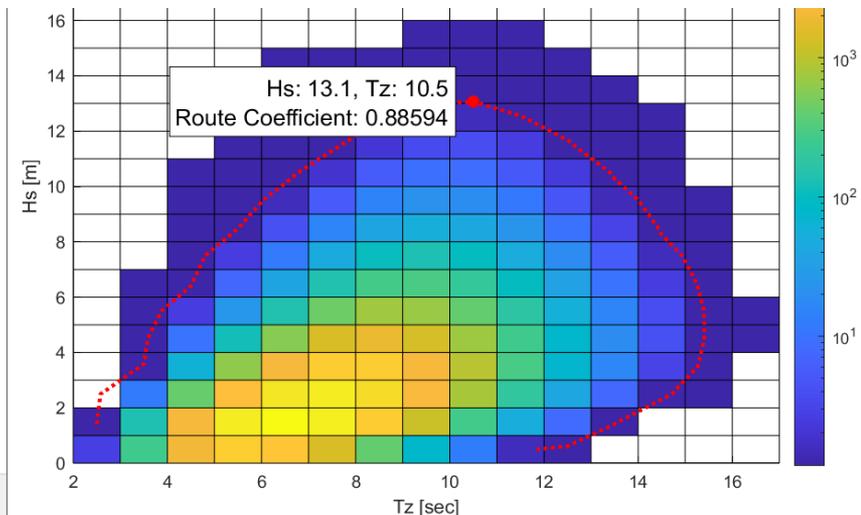
## 現行コンテナの積付け及び固縛に関するガイドライン

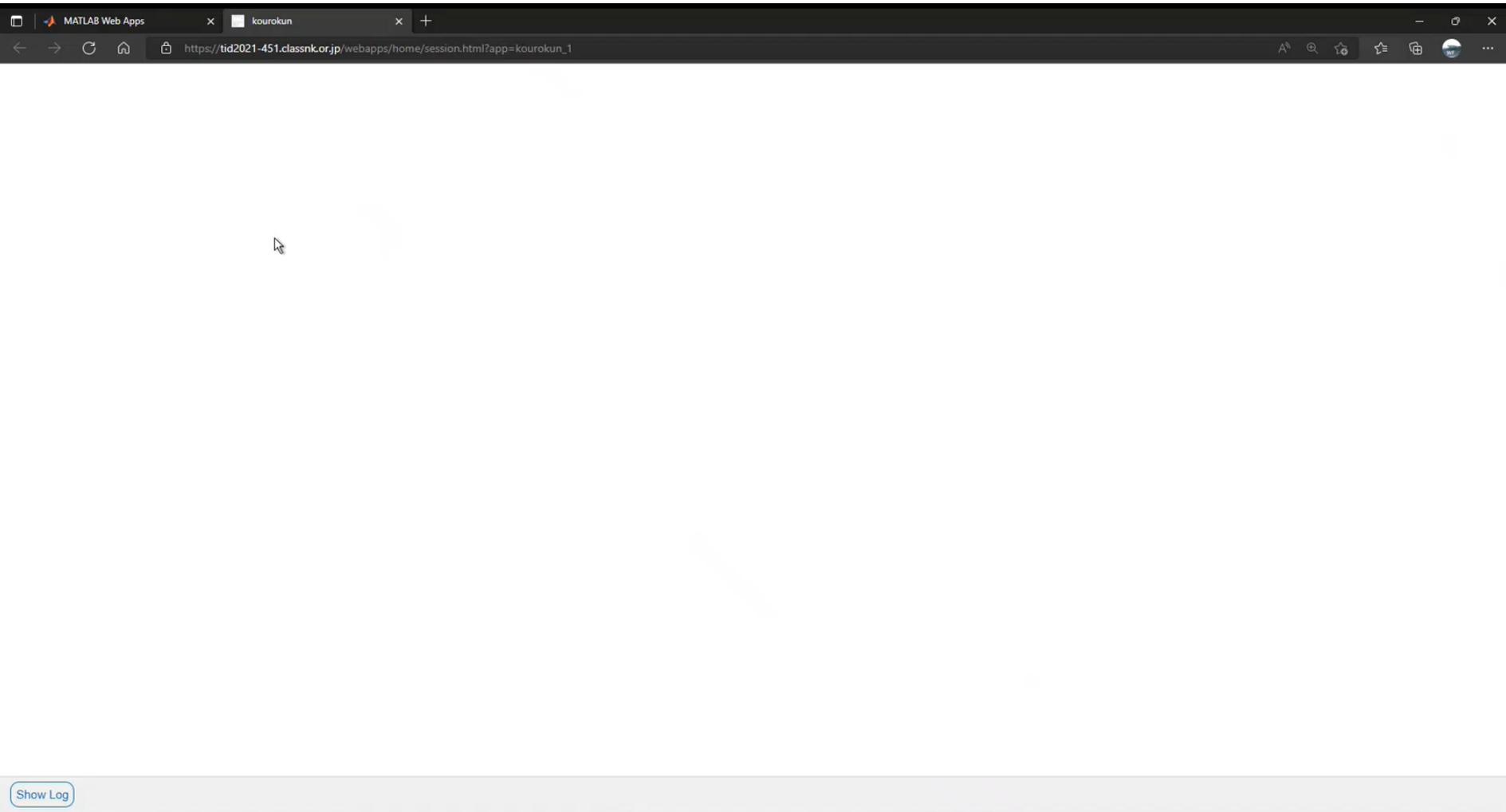
- 海象が穏やかな海域にてコンテナ固縛要件を緩和
- 想定航路に応じ、海象を設定

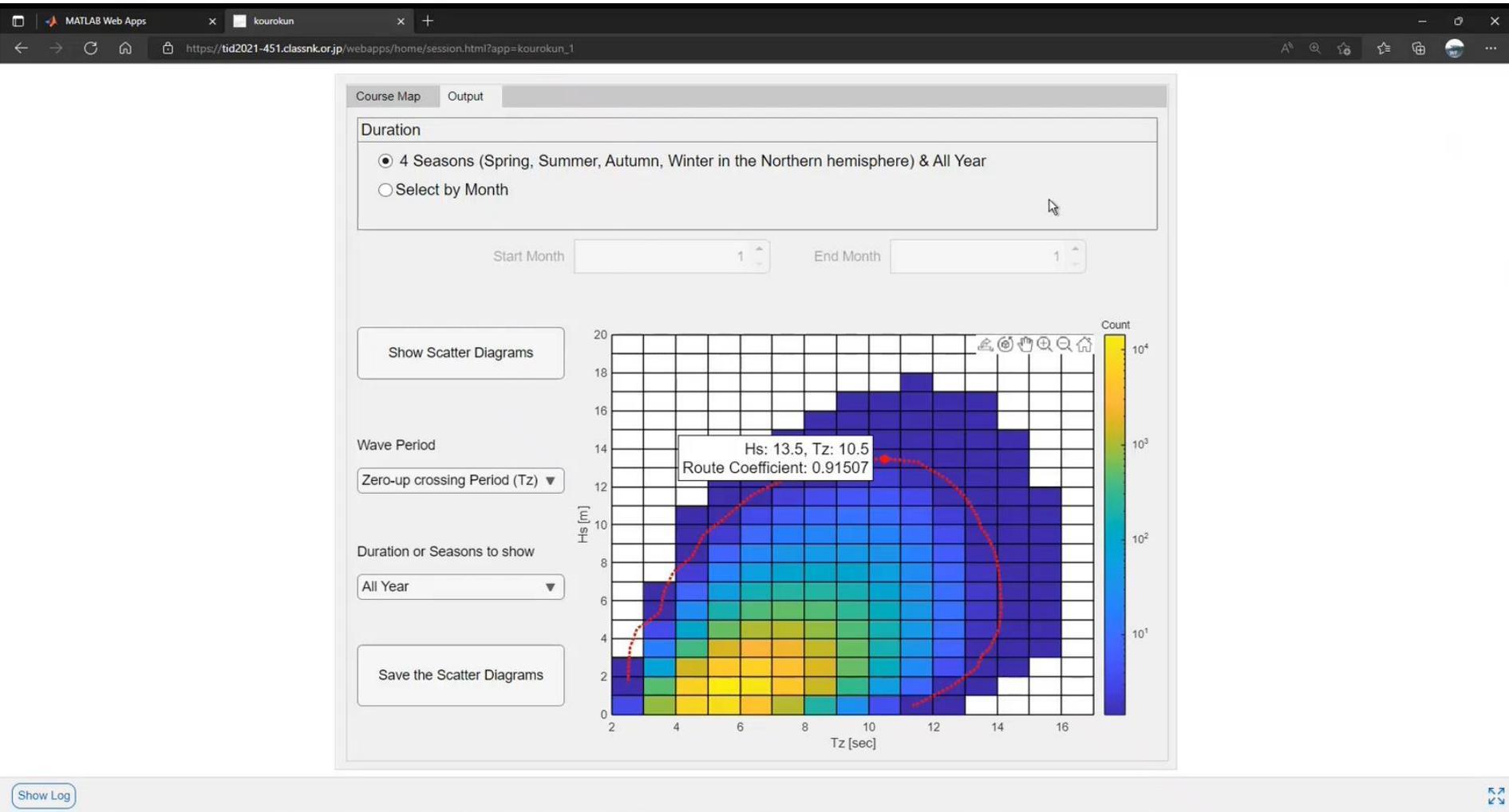
インストール不要で  
容易に使用可能な  
Webアプリを開発中

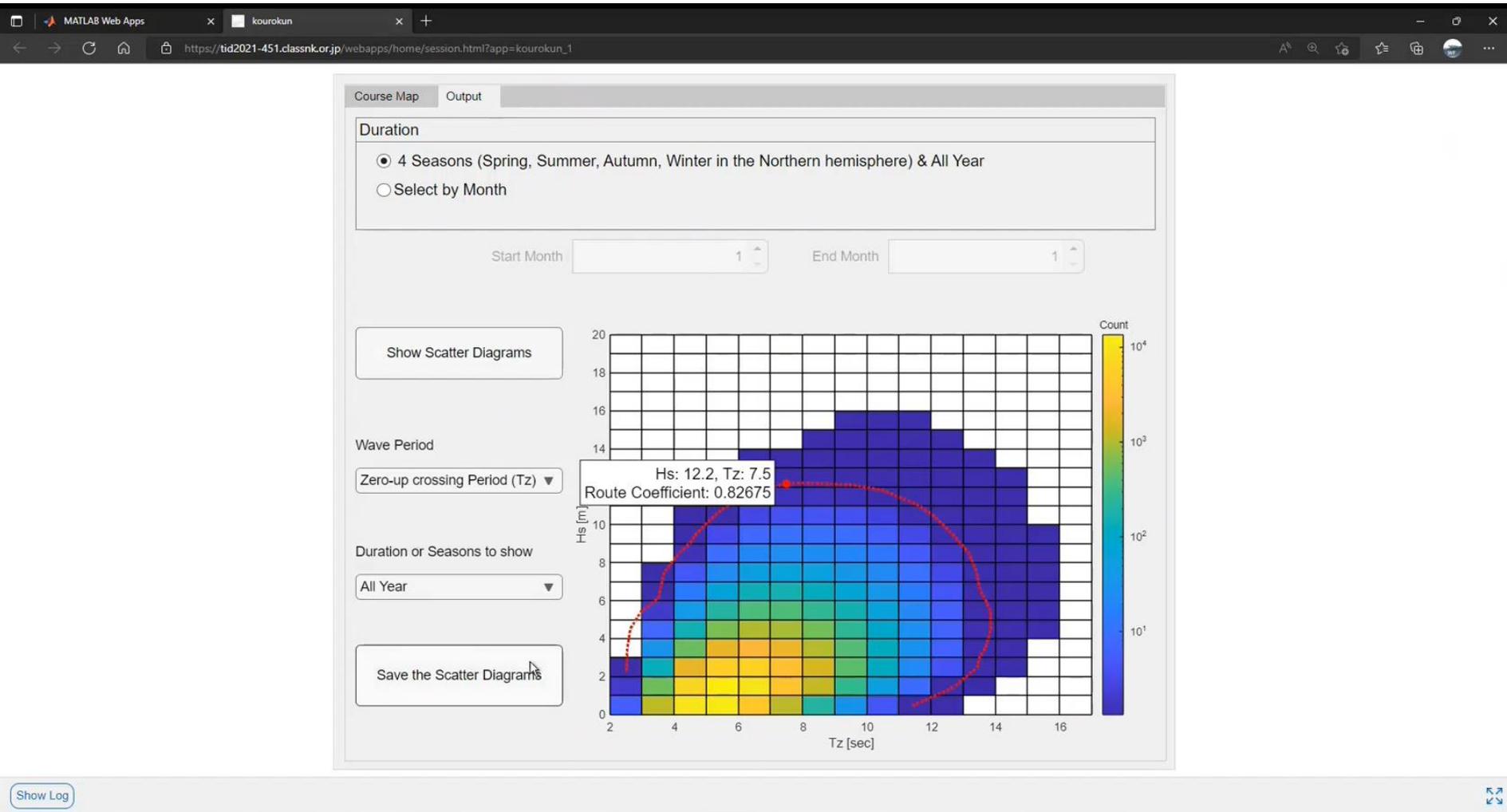


## 波高と波周期のヒストグラム

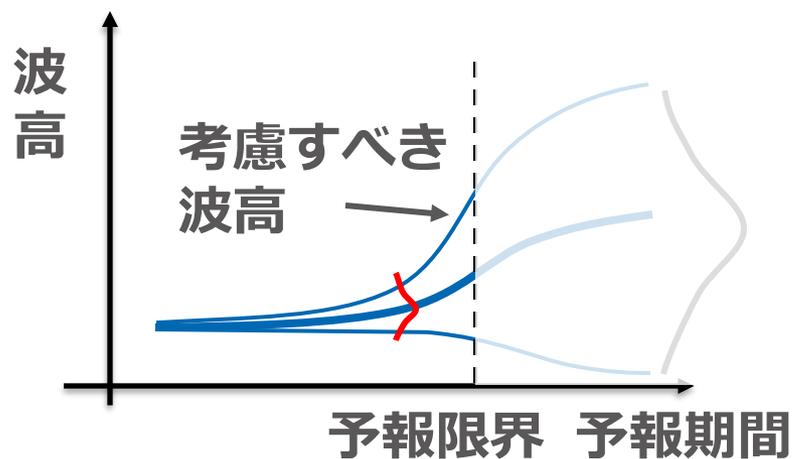




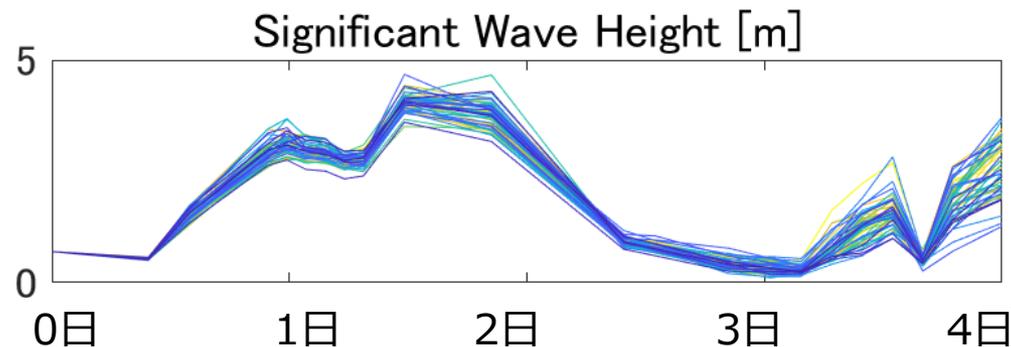




- 短期間（3日間程度）の航海において、波高が小さいことが気象予報から判明している場合がある
- 波浪予報値に対する安全余裕の設定方法を今後検討
  - 下図 **赤線**に相当
- コンテナ積付要件等の合理化に応用



参考：4日間航海における  
ECMWFの波浪アンサンブル予報  
ENS-WAMのデータ例



- 船舶の状態をきめ細やかに把握するための新船級サービスを検討中
- 波浪データは基礎データとして重要
- これまでもNKは波浪に関して研究に取り組み、一定の知見を蓄積し、波浪データを整備
- 船位データを推定するためのAISデータや簡易ウェザールーティングモデルも整備
- デジタルカルテや、運航支援サービスへ活用
- サービスを提供するためのアプリも開発

- 船舶の状態をきめ細やかに把握するための新船級サービスを検討中
- 波浪データは基礎データとして重要
- これまでもNKは波浪に関して研究に取り組み、一定の知見を蓄積し、波浪データを整備
- 船位データを推定するためのAISデータや簡易ウェザールーティングモデルも整備
- デジタルカルテや、運航支援サービスへ活用
- サービスを提供するためのアプリも開発

THANK YOU

for your kind attention

