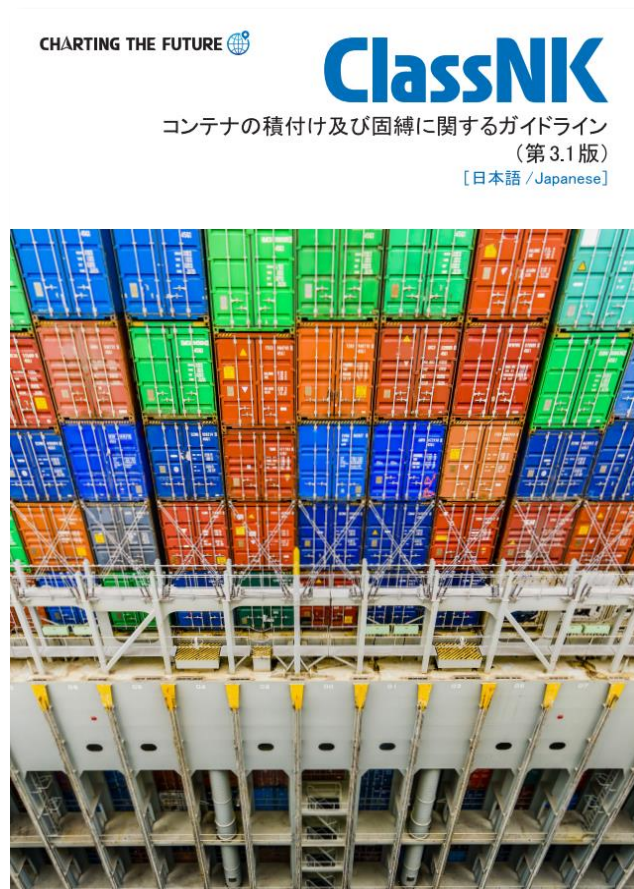


# コンテナ船の安全運航支援に関する 取り組み

日本海事協会 技術研究所

進化を続けるコンテナ船の安全運航に資する2種のガイドラインを本年2月に公表

コンテナの積付け及び固縛に関するガイドライン  
(第3.1版)

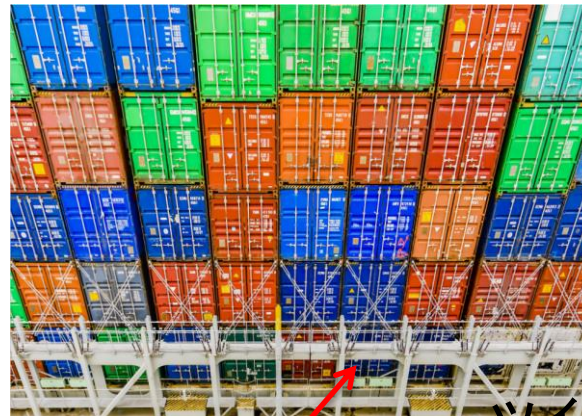
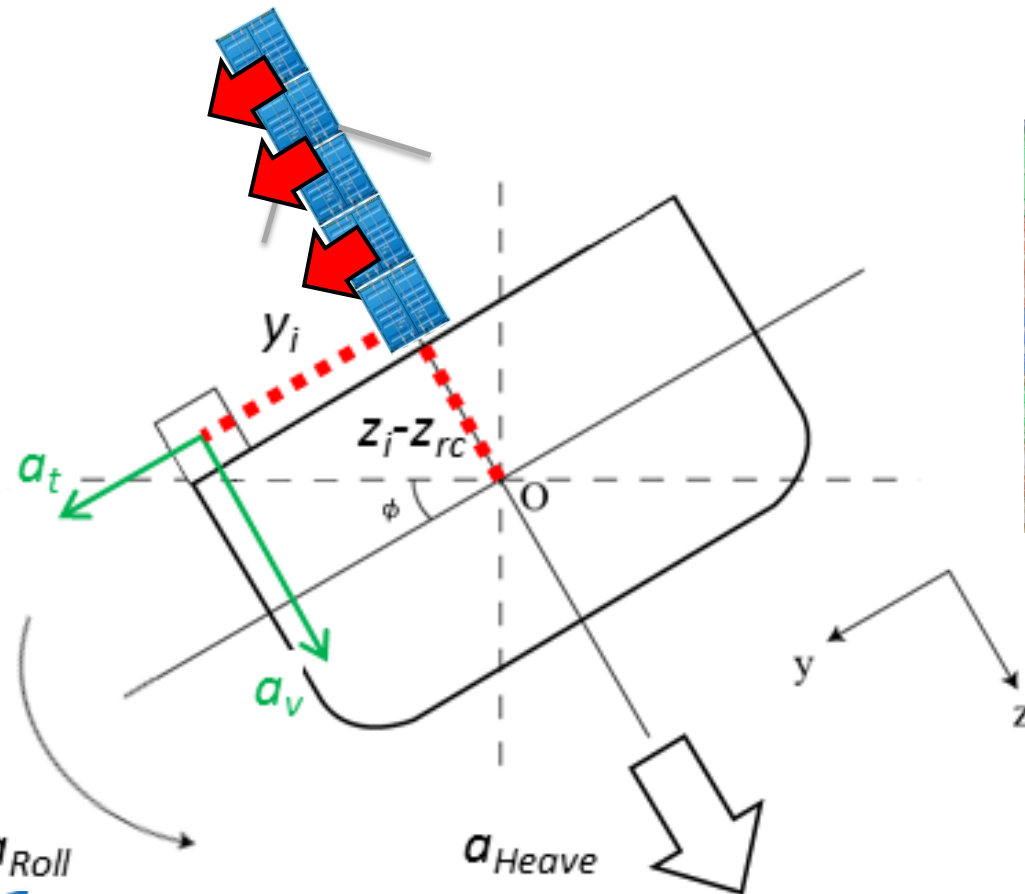


パラメトリックロール対策のためのガイドライン  
(第1.0版)



# コンテナの固縛

- コンテナ船のデッキ上に搭載されるコンテナは、船体運動や風による荷重に耐えられるよう固縛される
- 特に横波に対するロール運動によるラッキング変形に耐えられるよう、コンテナスタックの重量分布が計算される→横揺れ角の合理的な推定と、高精度な強度評価法が必要



ラッシングブリッジ

ツイストロック



MacGregor社 ACV-1

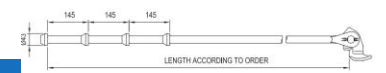
コーナーキャスティング



ラッシングロッド



MacGregor社 LB-11

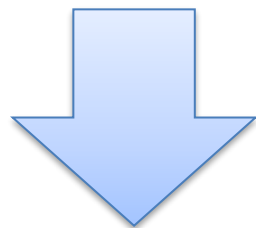


NKは、コンテナ固縛強度評価手法を規定した  
「**コンテナの積付及び固縛に関するガイドライン**」を開発、発行してきた

**2009年 コンテナの積付及び固縛に関するガイドライン 第1版**

**2014年 航路修正係数を考慮できるよう、ガイドライン第2版を発行**

- ✓ ラッシングコンピュータを搭載した船舶に対する船級符号'CSSA'を設定
- ✓ 特定航路に対する航路修正係数を設定し、当係数を考慮可能なラッシングコンピュータを搭載した船舶に対する船級符号'CSSA-R'を設定



- ✓ コンテナ船の継続的な大型化
- ✓ コンテナスタックの段数の増加
- ✓ 研究開発活動の成果(含む:C編全面改正)

**2023年 ガイドライン第3.1版を発行し、多段化したコンテナスタックに対応し、より合理的な積み付けを実現**

評価方法の複雑化を踏まえ、ガイドラインを確実に活用するための**アプリ・ツール類**を提供

## 主な改正点

- 1章 コンテナの積付け及び固縛の概要
- 2章 コンテナ及び固縛金物の強度
- 3章 積付け及び固縛における船体強度上の注意点
- 4章 積付け及び固縛についての強度評価手法
- 5章 積付け及び固縛強度検討に用いる設計荷重
- 6章 コンテナの積付け及び固縛強度評価
- 7章 ラッシング計算プログラム
- 8章 コンテナ固縛作業の為の安全設計

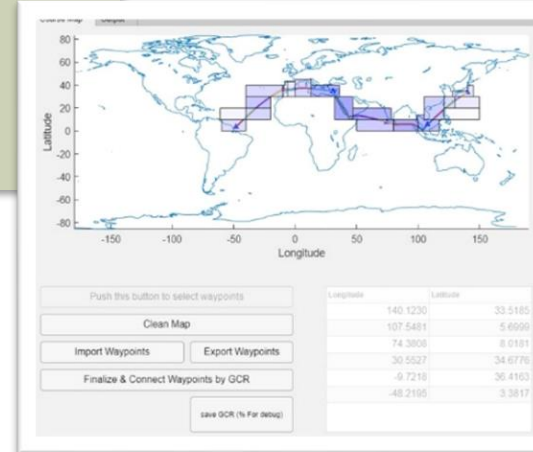
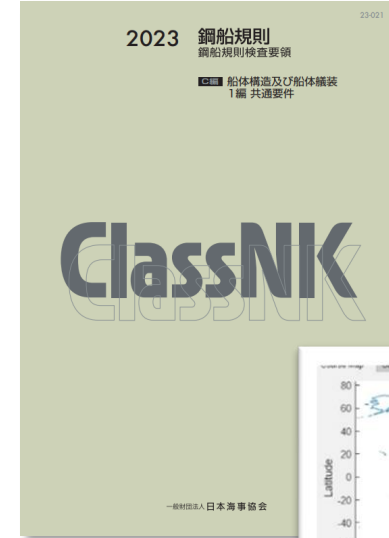


## ①運動・荷重算式の見直し

- ✓ 新しいC編で採用された高精度な荷重算式を導入

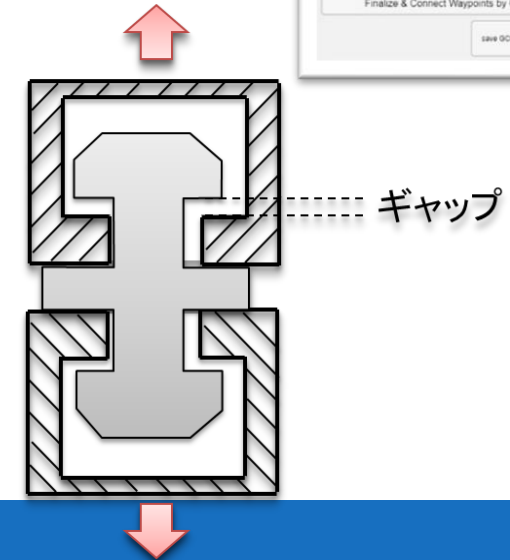
## ②航路修正係数の見直し

- ✓ 航路だけではなく、季節の影響を考慮した航路修正係数を使用可能に
- ✓ 任意の航路・季節に対する航路修正係数を計算可能なWebアプリを開発



## ③コンテナ固縛強度計算法を高精度化

- ✓ ツイストロッカーコーナーキャスティング間のギャップによる非線形影響を考慮
- ✓ コンテナスタックの高段数化に対応



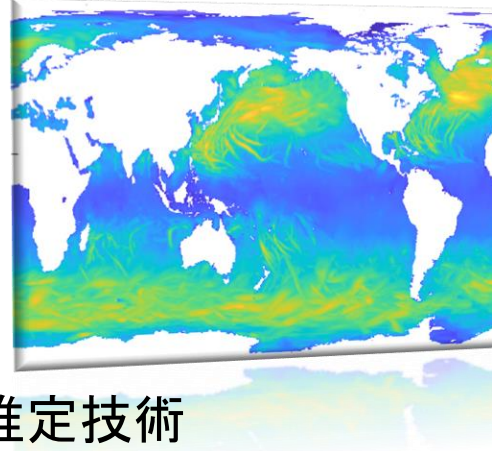
# ① 運動・荷重算式の見直し

海象データベース及び船舶位置情報のビックデータを活用した遭遇海象モデル  
と最新の船舶海洋工学技術に基づく船体運動推定法を採用

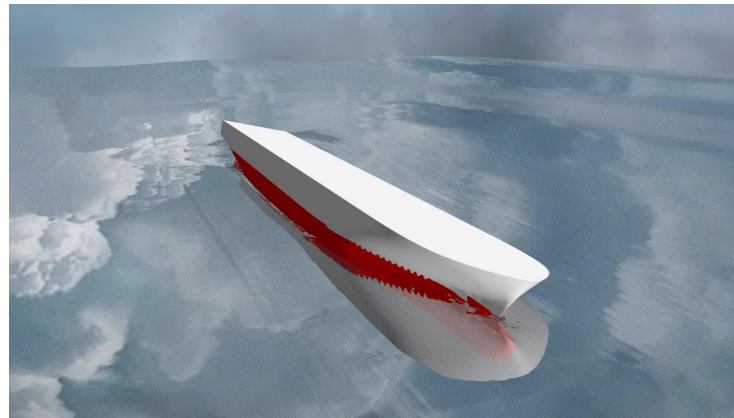
航路データベース



海象データベース

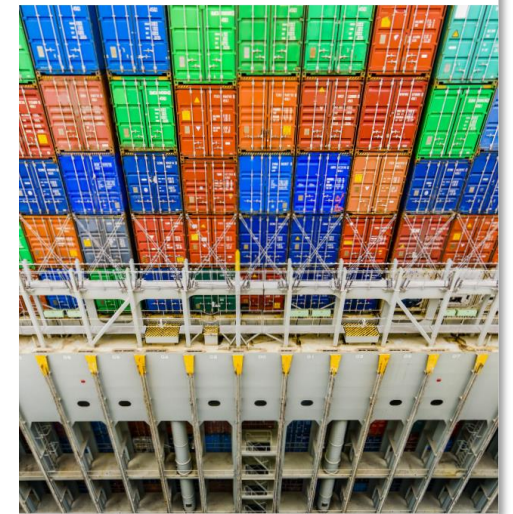


船体応答推定技術

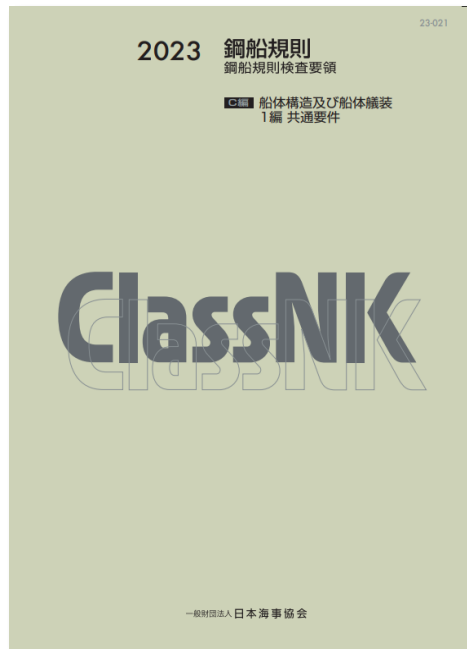


コンテナ固縛に関する  
ガイドライン

CHARTING THE FUTURE   
コンテナの積付け及び固縛に関するガイドライン  
(第3.1版)  
[日本語 / Japanese]



新しい鋼船規則C編

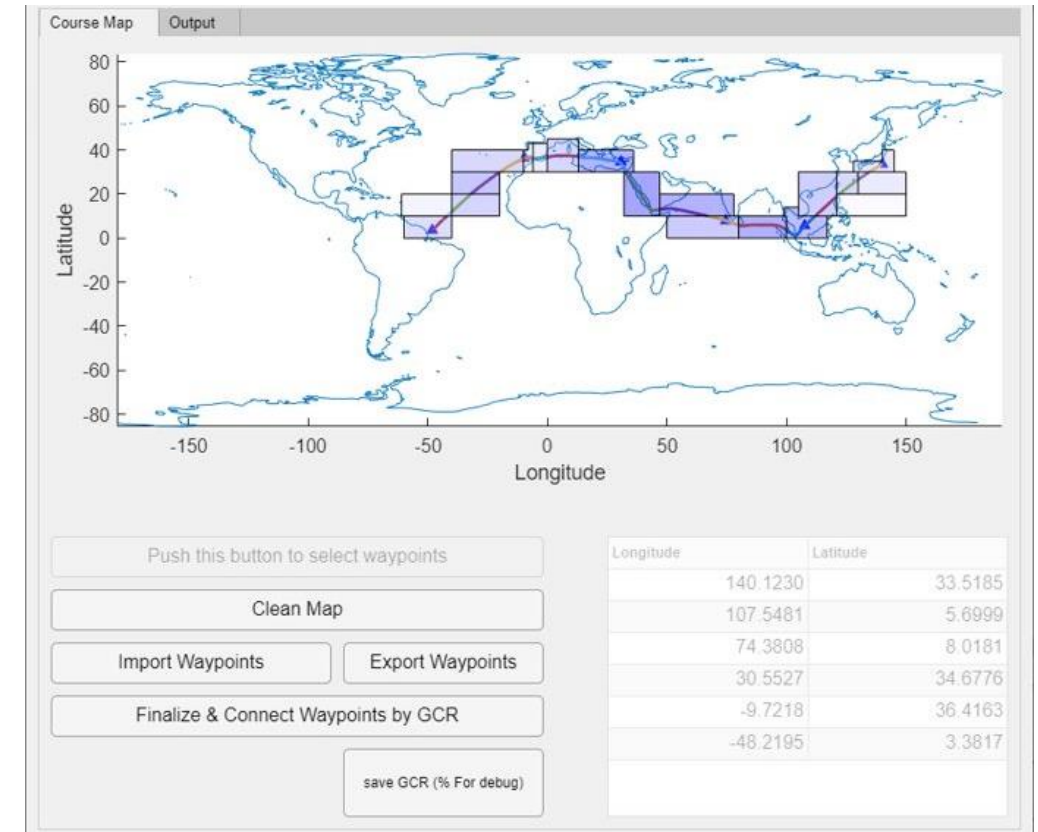
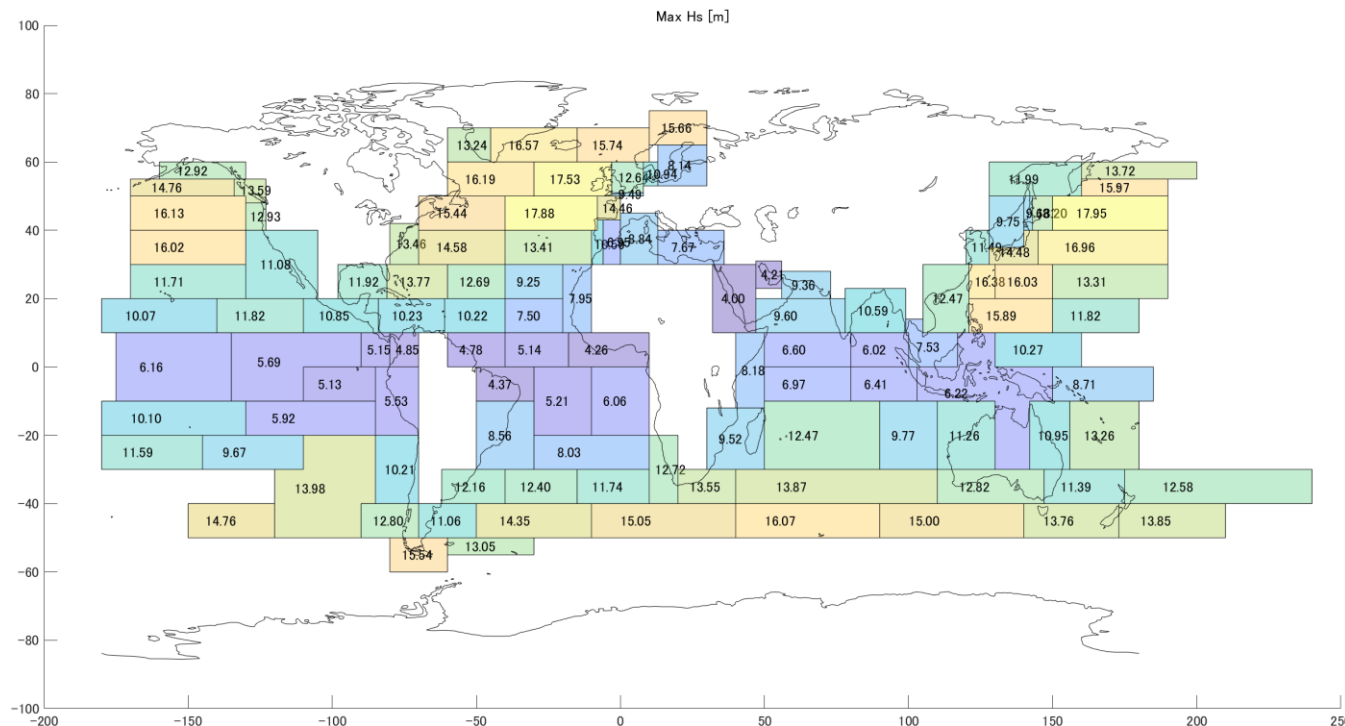


## ② 航路修正係数の見直し

### 航路修正係数とは

予定する航路における最大荷重の大きさを示す係数。北大西洋での最大荷重を1.0とする。  
本修正係数を用いて固縛強度計算を実施 → 航路に応じたコンテナ搭載が可能

- ✓ 任意の航路及び季節に対して航路修正係数を計算する方法を開発
- ✓ Webアプリを用いて、個船に応じて計算可能な計算ツールを提供予定

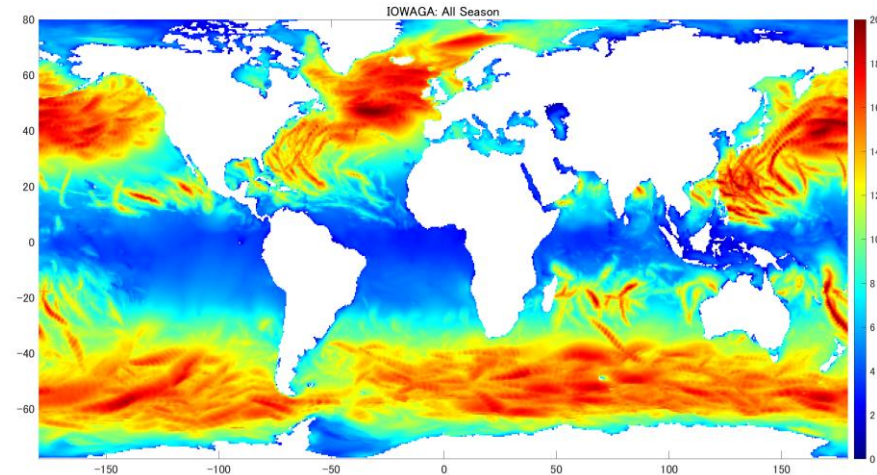




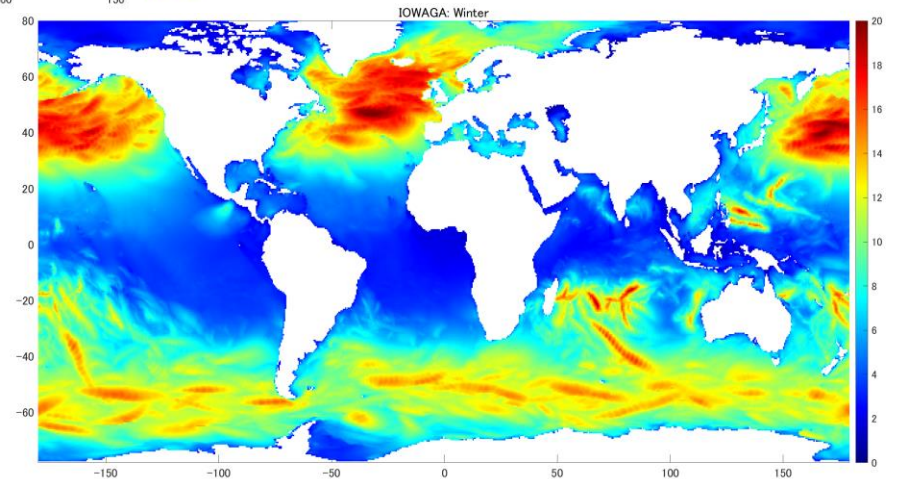
# 季節の影響

- ✓ 同じ航路であっても、季節によって海象は大きく異なる。
- ✓ 遭遇海象データを用いて、季節を考慮した航路修正係数を計算する方法を確立
- ✓ 'CSSA-RS'を「季節影響を加味した航路修正係数を考慮したラッシングコンピュータを搭載する船舶」に付与

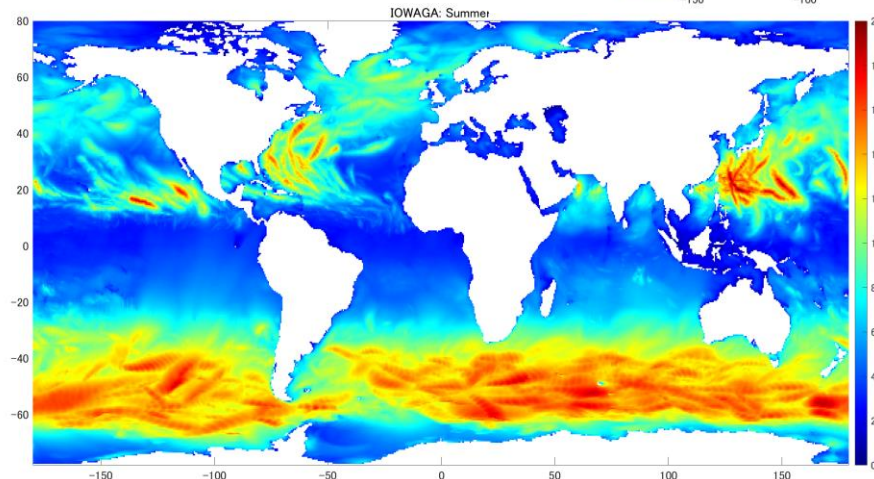
All season



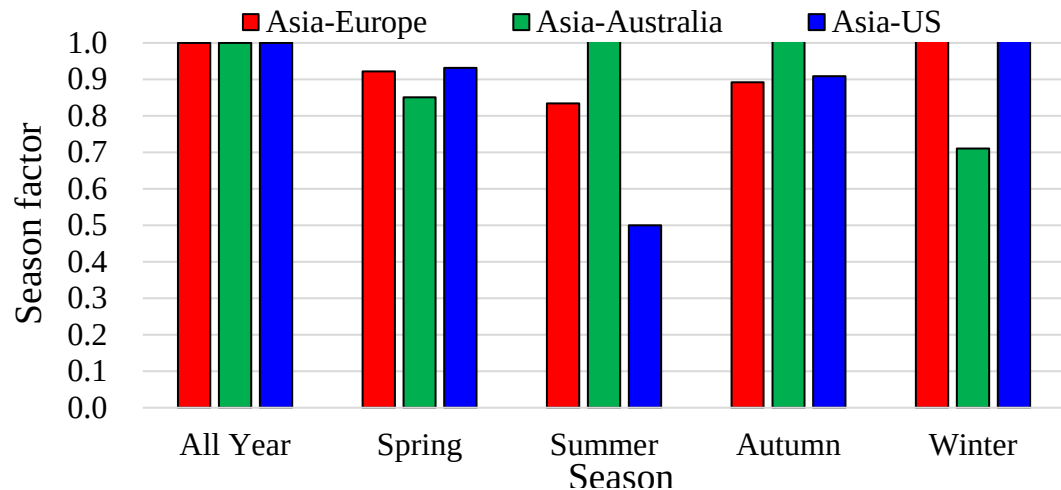
Winter



Summer

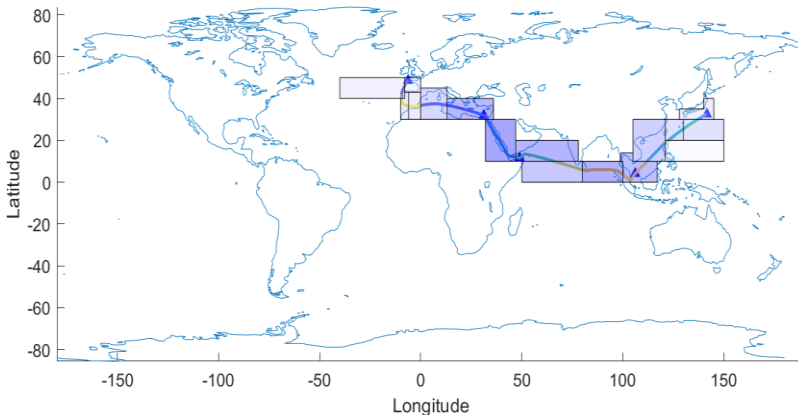


Season factor for abt.14k TEU class

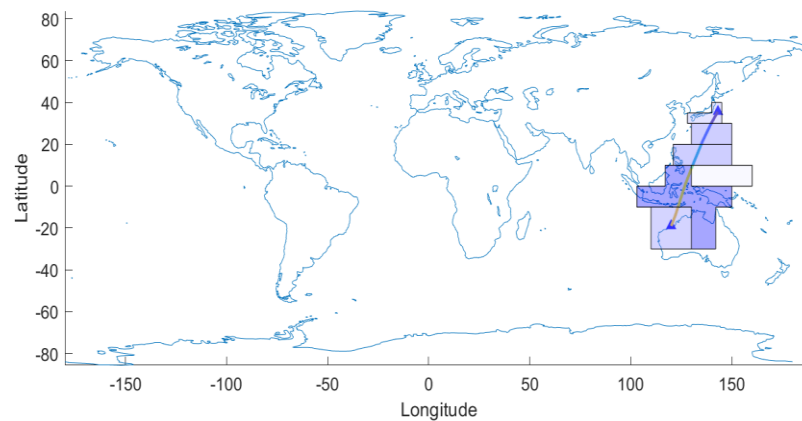


夏季において多くの航路で航路修正係数が低減し、より多くのコンテナを積載することが可能となる。

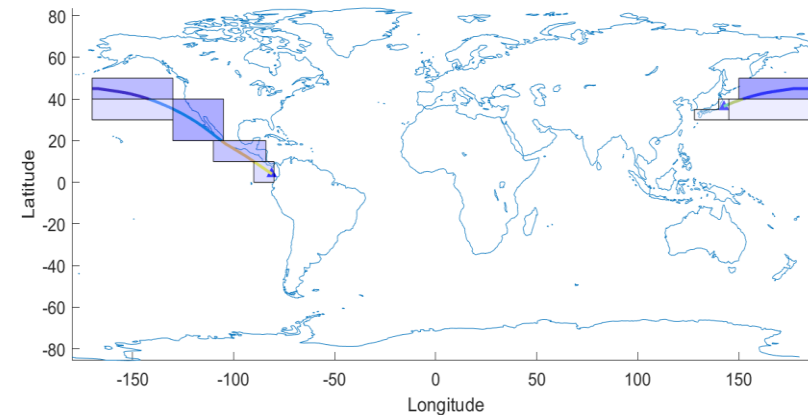
Asia-Europe



Asia-Australia



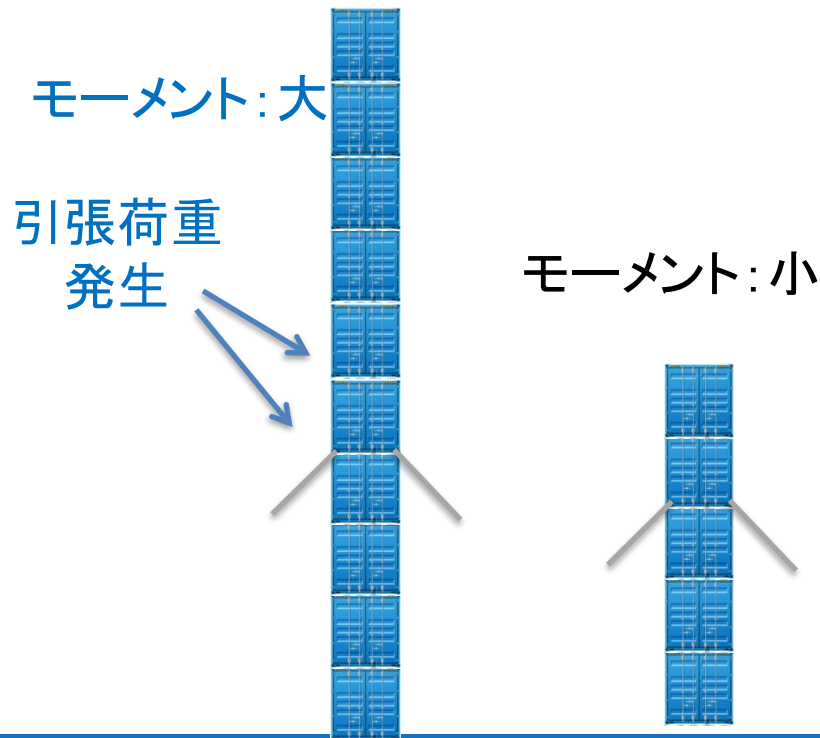
Asia-US



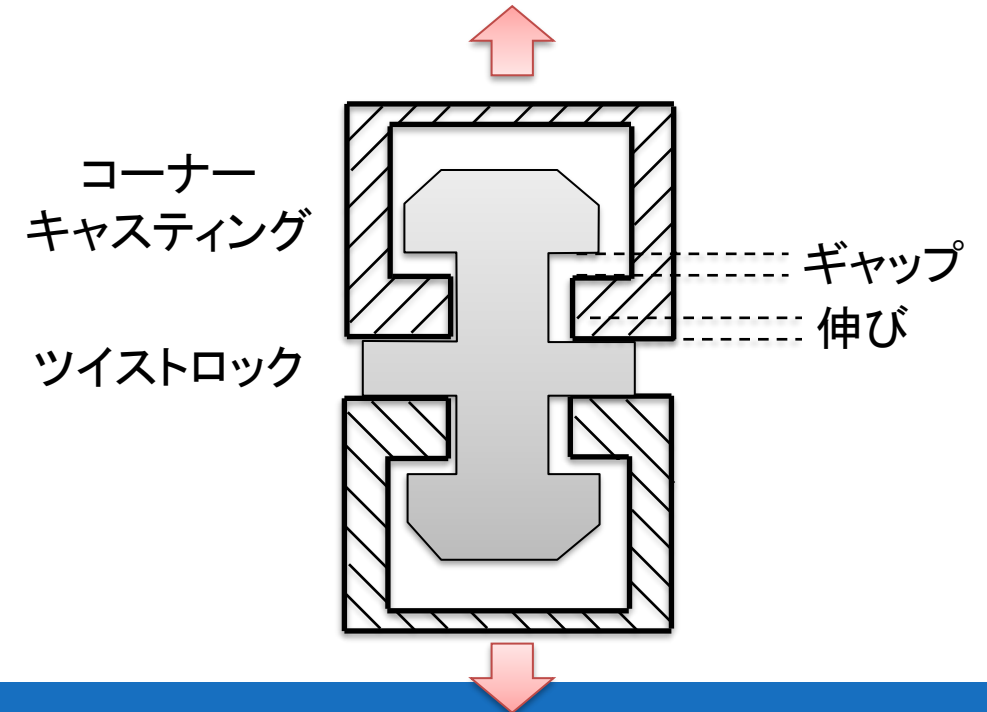
### ③ コンテナ固縛強度計算法を高精度化

- コンテナスタックの高段数化による引張荷重の増大
- コーナーキャスティングとツイストロックの間にあるギャップにより生ずる非線形影響を考慮することで、実挙動に従った強度評価を実現

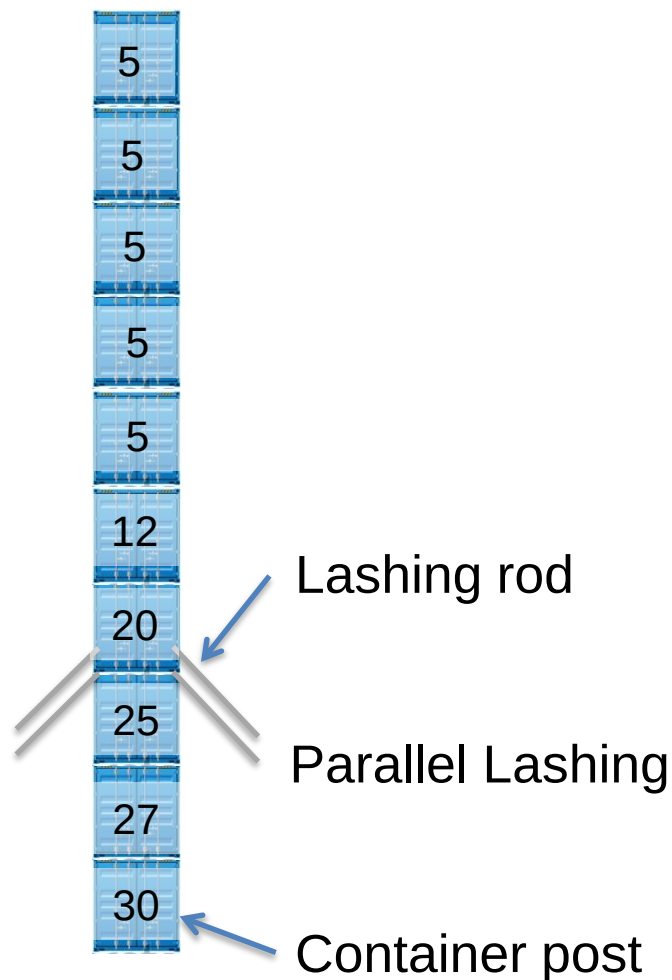
- ✓ 積付段数が増加すると、曲げモーメントの影響が大きくなり、コンテナ間に引張荷重が働く。



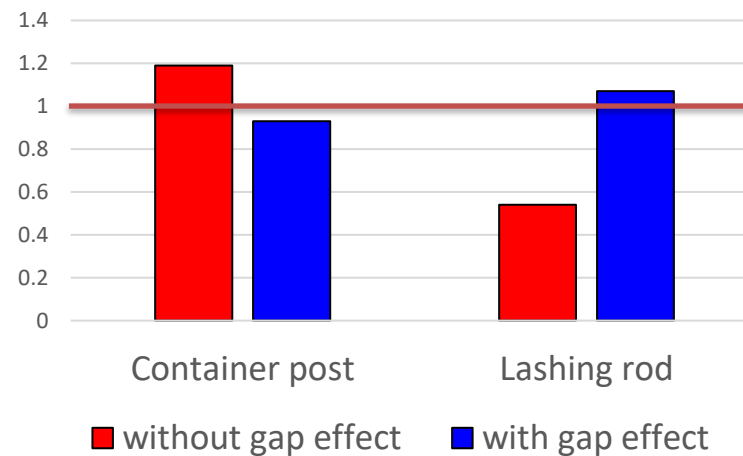
- ✓ 引張荷重によりコーナキャスティングとツイストロック間のギャップにより、数mm伸びる。
- ✓ コンテナスタックとラッシングロッドに流れる荷重の割合が大幅に変化する非線形影響が発生



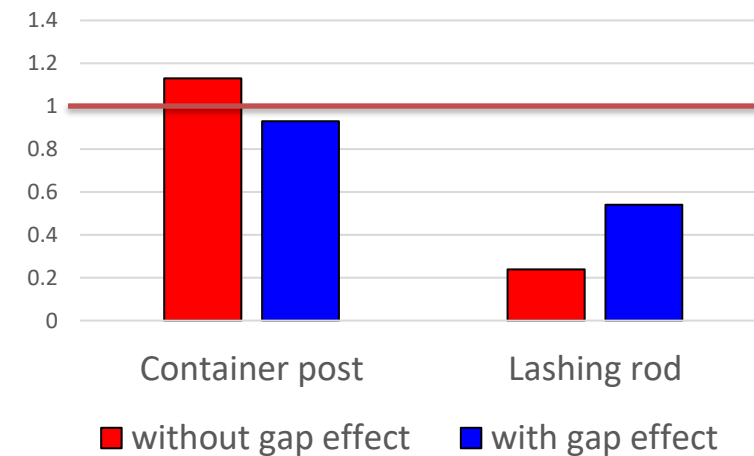
## コンテナ積載例



External Lashing



External parallel lashing



ギャップ効果の考慮



ラッシングロッドの荷重増大  
コンテナポストの荷重減少

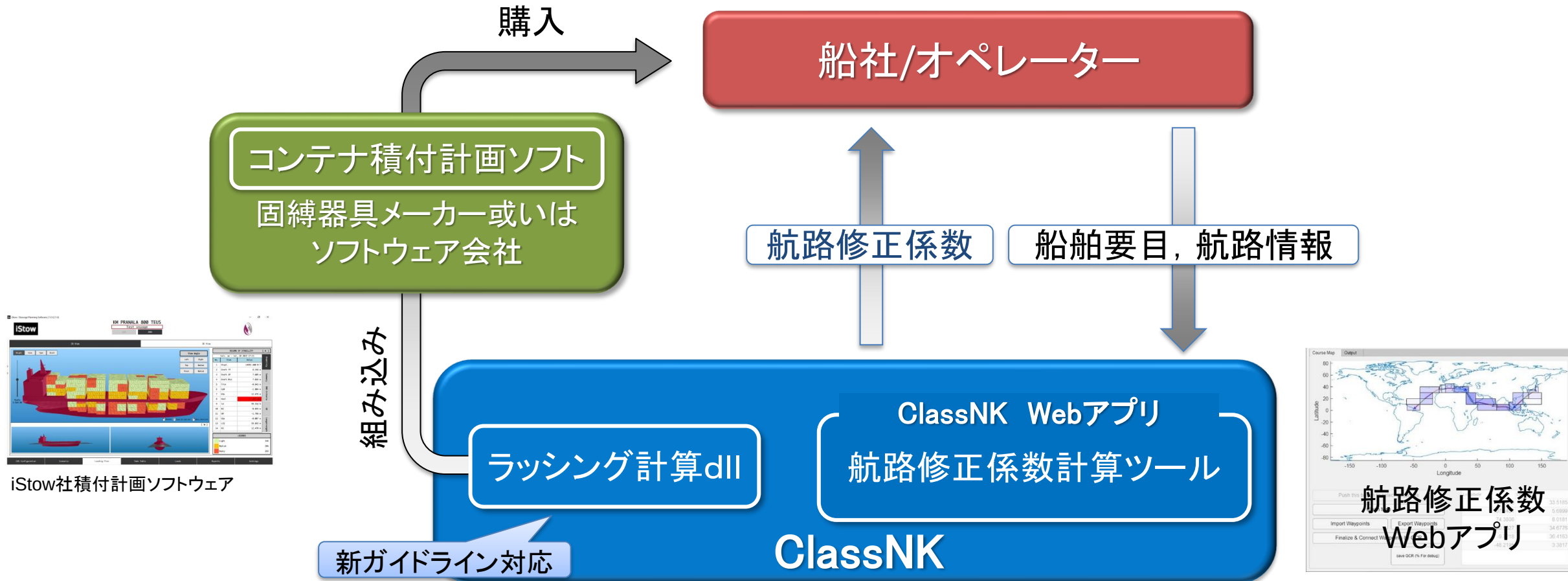
ラッシングロッドに働く荷重は, Parallel lashingにより低減可

ギャップ効果を考慮するためには, 複雑なアルゴリズムが必要



# ラッシング計算ツールの提供方法

- ✓ NKがラッシング計算ソルバー(DLL)を提供
- ✓ ラッシングソフトメーカーは、当ソルバーを組み込んでラッシングソフトを開発
- ✓ 航路修正係数計算ツールはクラウド上のWebアプリで提供



## パラメトリック横揺れによる事故

- ✓ この10年程度でコンテナ流出事故は報道されているだけでも10件以上発生
  - ✓ その多くが原因が必ずしも明らかではないものの、パラメトリック横揺れに起因すると事故調査レポートで言及されているものがある
- パラメトリックロールによる大傾斜を防ぐためのガイドラインを発行



Maersk Essen (L=367m)  
(2020年, 689個のコンテナが流出)

写真出典: DMAIB Marine Accident Report on Maersk Essen's Loss of Cargo on 16 January 2021

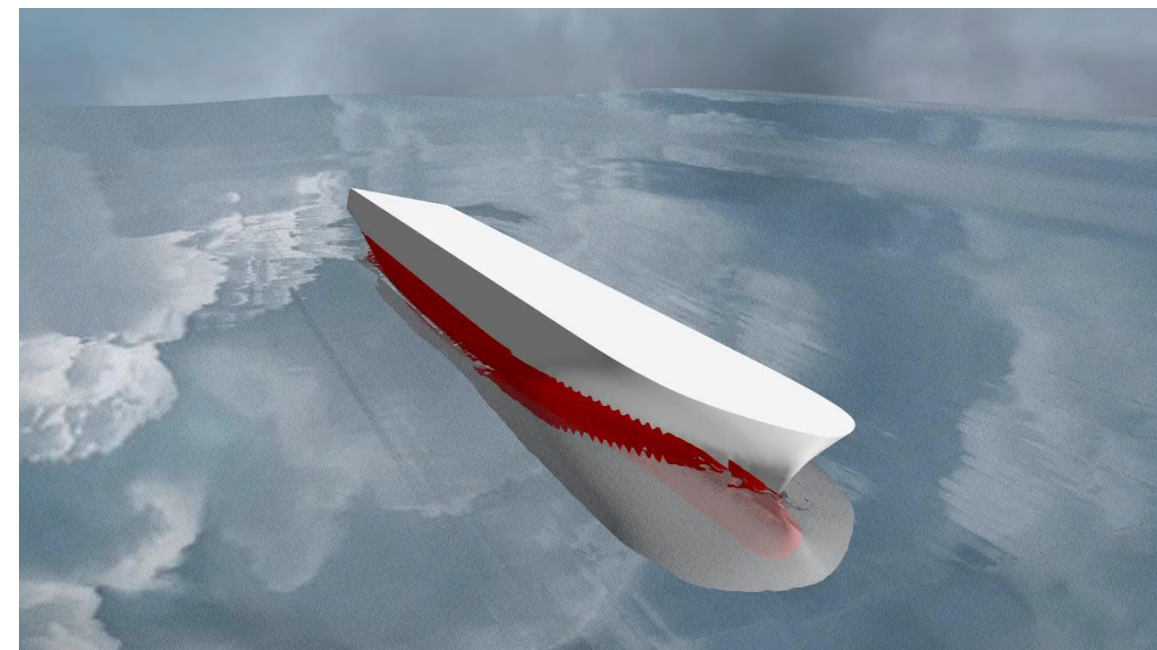


CMA CGM G. Washington (L=366m)  
(2018年, 137個のコンテナが流出)

写真出典: Report on the investigation into the loss of 137 containers from the container ship CMA CGM G. Washington in the North Pacific Ocean on 20 January 2018

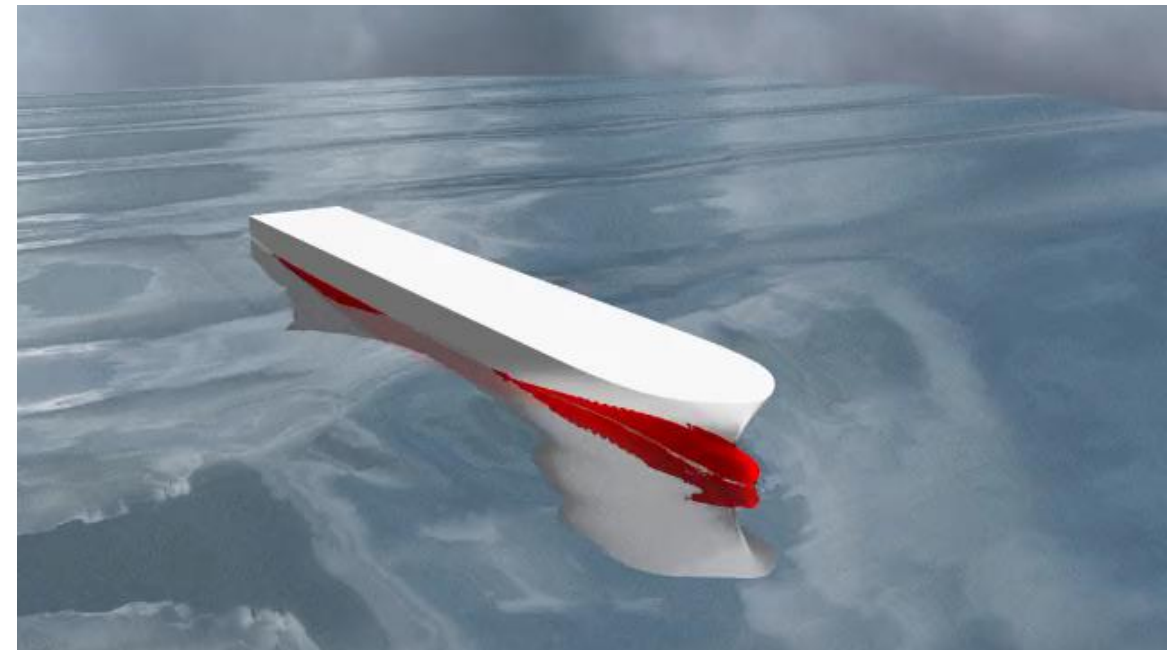
## シンクロナスロール

- 主に横波を受ける船舶が生じる横揺れ現象
- ロール固有周期と出会い波周期が一致することで発生
- 波高が低ければ生じるロール角は小さい



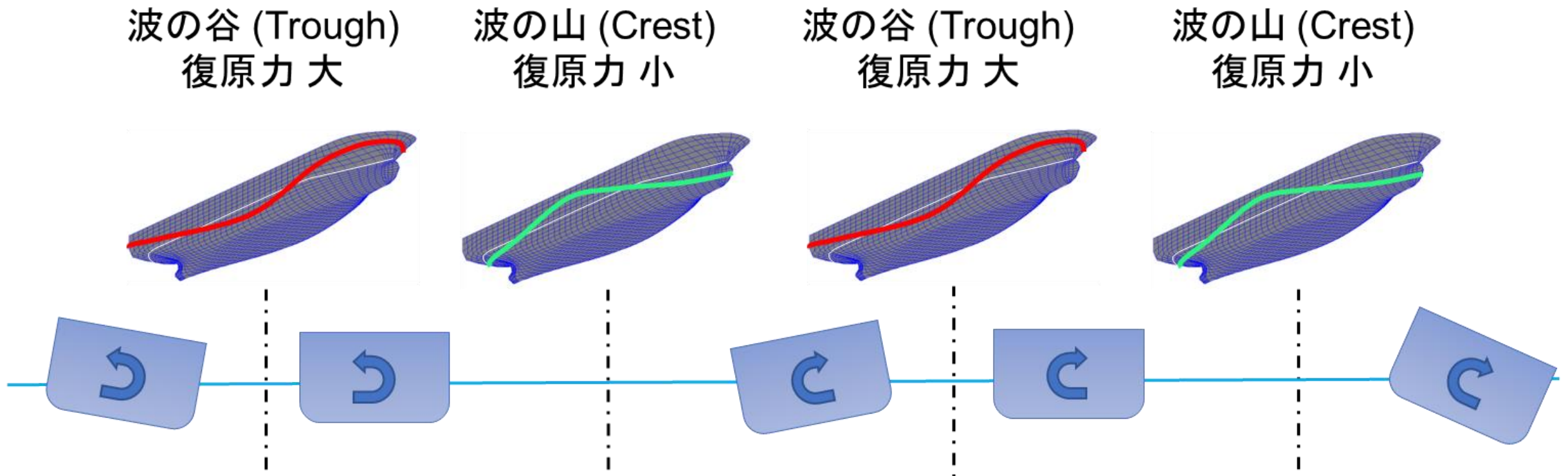
## パラメトリックロール

- 主に追い波や向波, 斜め追い波で発生する横揺れ現象
- ロール固有周期の半分の出会い波周期中で発生することが知られている
- 比較的低波高の海象であっても大きなロール角が生じる



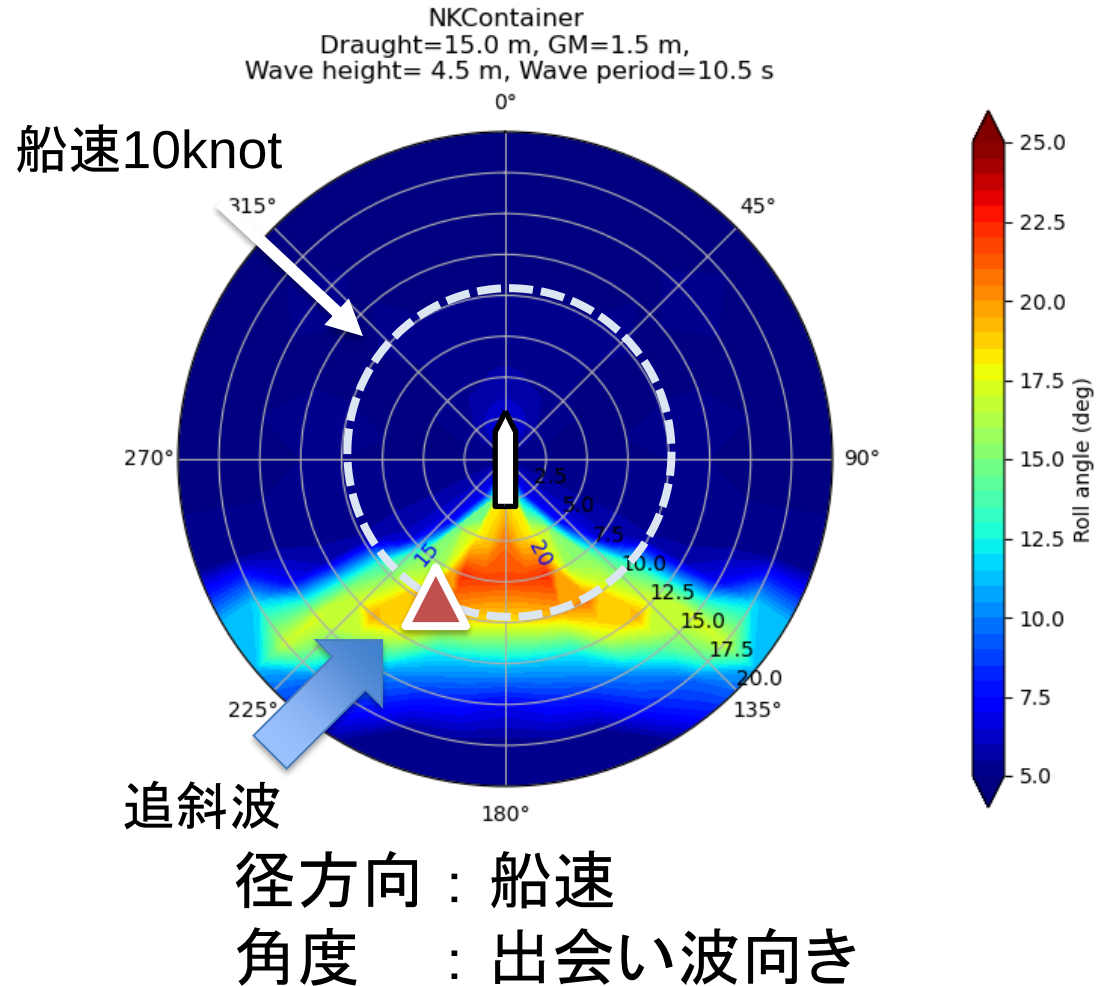


- ✓ 痩せた船型では、波の山/谷に応じて復原力が大きく変動する
- ✓ ロール固有周期が出会い波周期のおよそ2倍 ( $T_{roll} \approx 2T_e$ ) の場合、ロール運動に応じて両舷から交互に増大した復原力による力を受けることでロール角が増大していく
- ✓ コンテナ船を始めとする痩せた船型でパラメトリックロールが発生しやすい

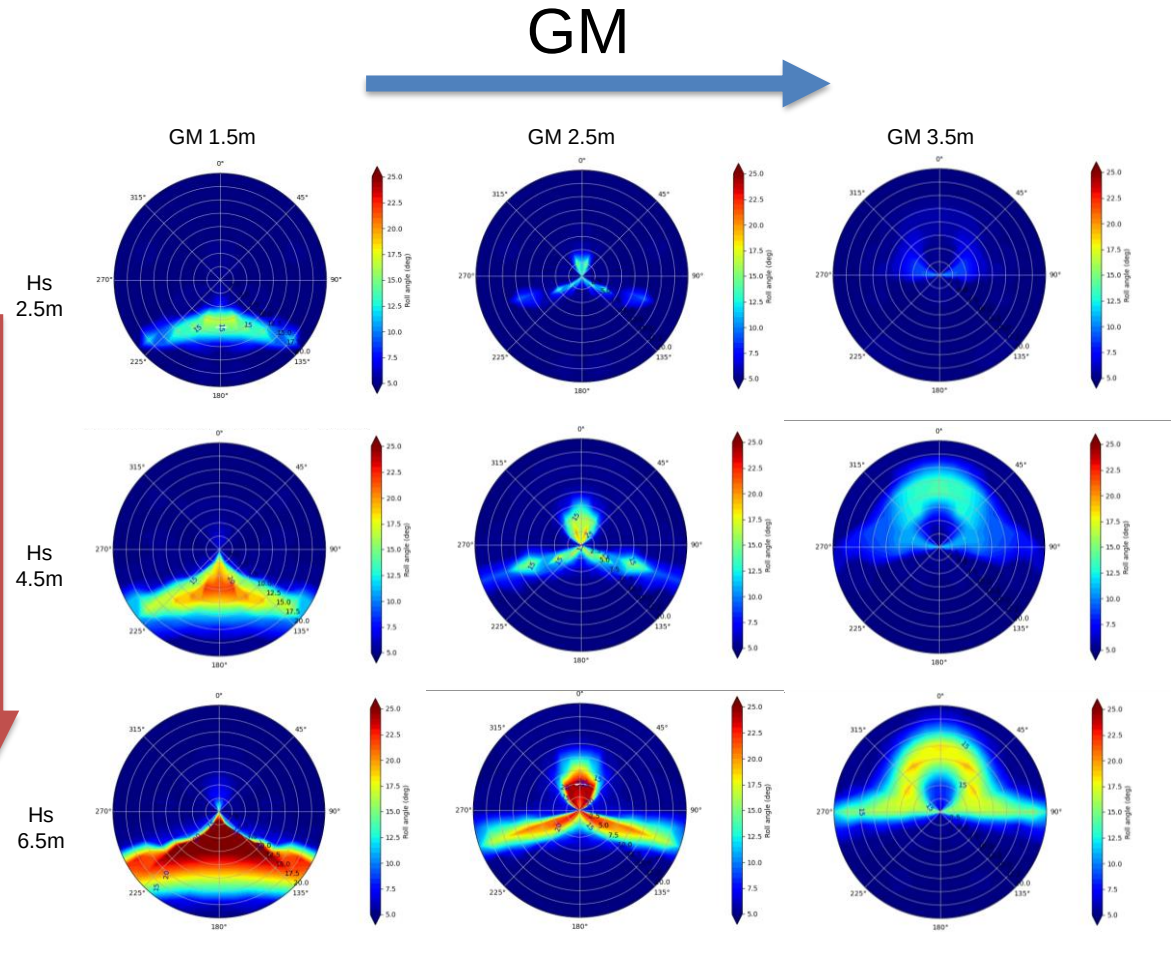




パラメトリックロールを起こす危険性のある  
船速及び波出会い角の組み合わせ示すチャート



有義波高

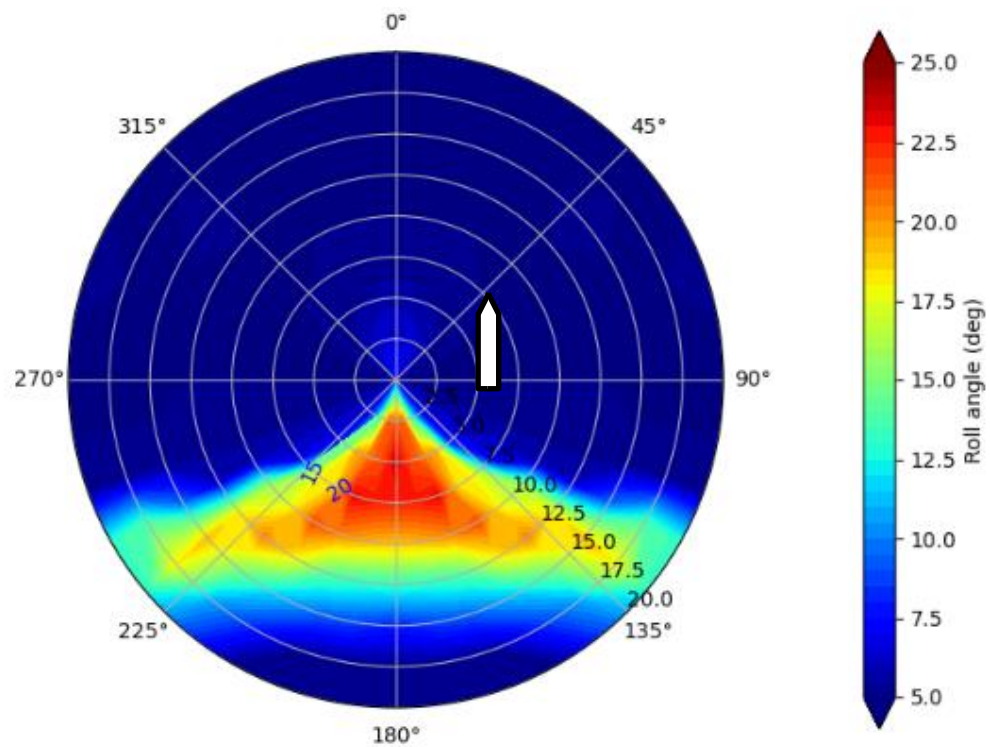


パラメトリックロールを防ぐためには、適切な  
GM値を保つ必要がある。

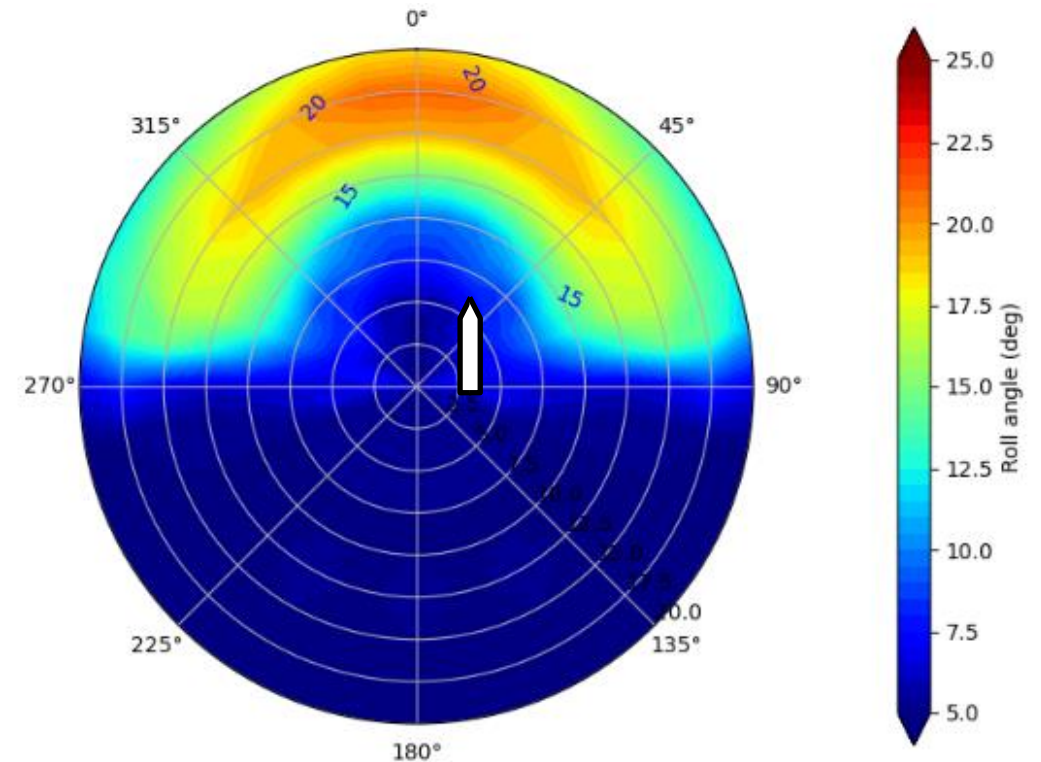
# パラメトリックロールが生じやすい条件

- GMが小さい場合、相対的な復原力変動が大きくなり、パラメトリックロールに繋がる
- 大型コンテナ船は追波、斜追波で、出会い波周期がロール固有周期の約半分になりやすい
- パラメトリックロールは比較的低波高でも大きなロール角を生じるため、**避航**あるいは**ロールの減衰**が必要になる→新発行ガイドラインでサポート

メガコンテナ船, 横揺れ固有周期 約33秒



フィーダークラスコンテナ船, 横揺れ固有周期 約18秒





- 1章 総則
  - 1.1 一般
    - 1.1.1 適用
    - 1.1.2 船級符号への付記
    - 1.1.3 付記の削除

## 2章 検査

- 3章 機能要件
  - 3.1 一般
    - 3.1.1 パラメトリックロール対策の種類
    - 3.1.2 復原性の確保
    - 3.1.3 SGIScへの適合
    - 3.1.4 パラメトリックロール防止及び軽減装置の搭載
    - 3.1.5 運航手法によるパラメトリックロールの回避

- App1 パラメトリックロールの発生メカニズム及び特性
- App2 パラメトリックロール回避のための注意点
- App3 SGISc※<sup>1</sup>評価基準の概要
- App4 パラメトリックロール回避手法及び対策
- App5 パラメトリックロール応答計算に関する基本原則
- App6 オペレーションガイダンス用ポーラーチャートの作成方法

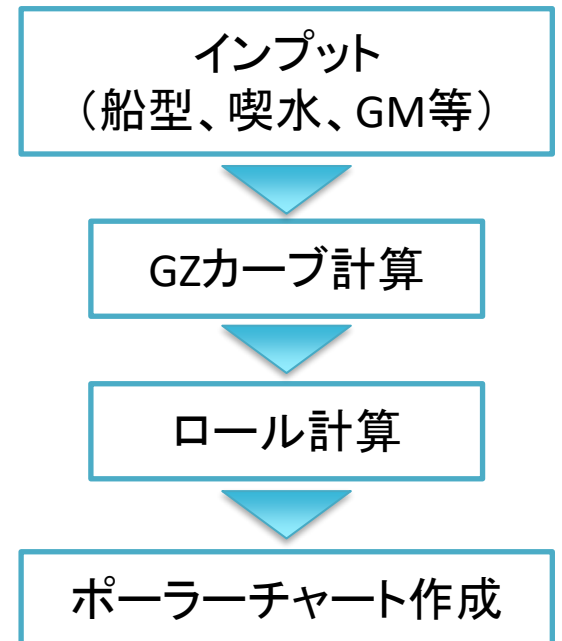
第2世代非損傷時復原性基準で採用されている評価方法を拡張した  
ポーラーチャート作成方法

各種対策と船級符号

## Notation: “Parametric Roll Preventive Measure (PRPM)”

- ✓ パラメトリックロール防止及び軽減装置の搭載: *PRPM (Device)*
  - アンチローリングタンク(ART)
  - フィンスタビライザー
  - 舵減揺システム
  
- ✓ 運航手法によるパラメトリックロールの回避: *PRPM (Operation)*
  - オペレーションガイダンス (ポラーチャート)
  - ウェザーサービス
  - 警報システム 等

ガイドラインに記載されている手順に従い, NKCSにて作成, 提供が可能

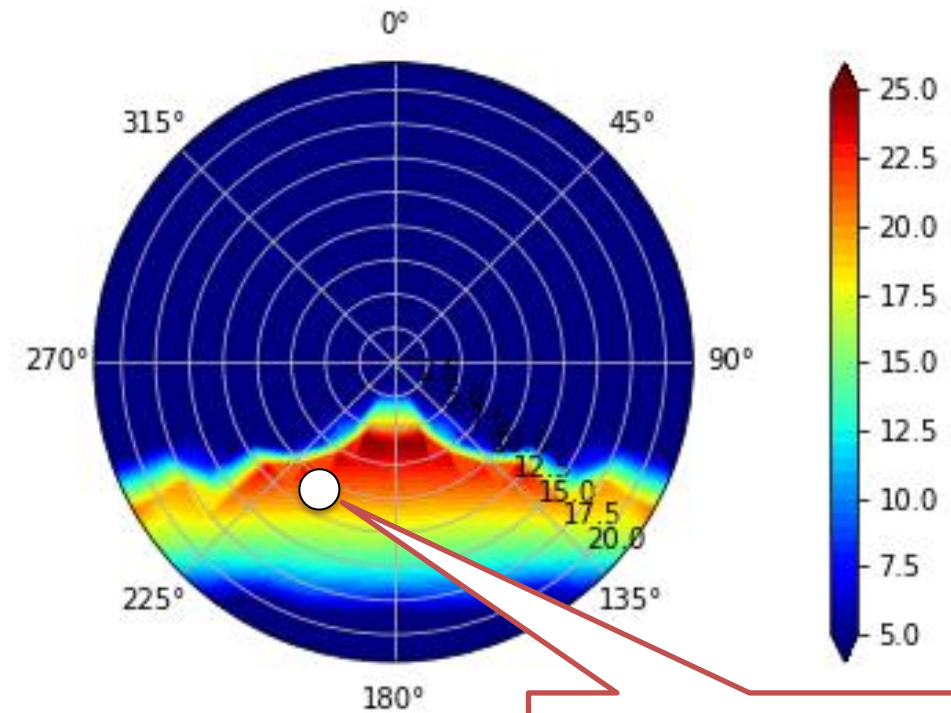




- ✓ NKのポーラーチャート作成手順に則り, 14k TEUクラスコンテナ船(仮想船型)でポーラーチャートを作成
- ✓ 同程度のコンテナ船のパラメトリックロールに起因すると考えられた事故時の海象と比較の結果, パラメトリックロール発生を判定
- ✓ ポーラーチャートの事故回避の有効性を確認



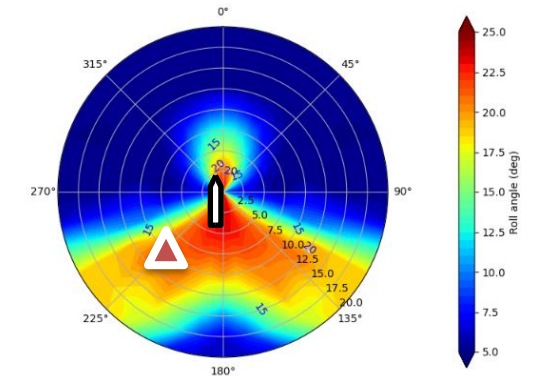
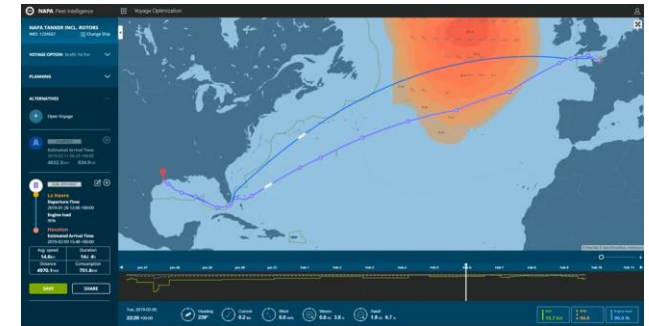
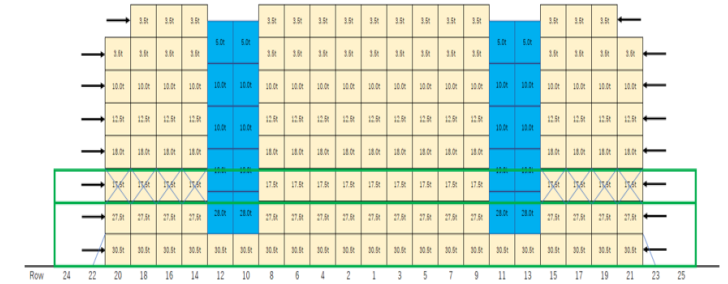
DMAIB: MAERSK ESSEN – Marine accident report on loss of cargo on 16 January 2021



事故時  
(船速 10~12 kt, 斜追波)

場面に応じた次の3つの活用法が考えられる。

- ✓ コンテナの配置により、パラメトリックロール(PR)が起きにくい適切なGMを与える。
- ✓ ウェザールーティングによりパラメトリックロールが発生する海象を避ける。
- ✓ 変針，減速等によりパラメトリックロールの発生を防ぐ。

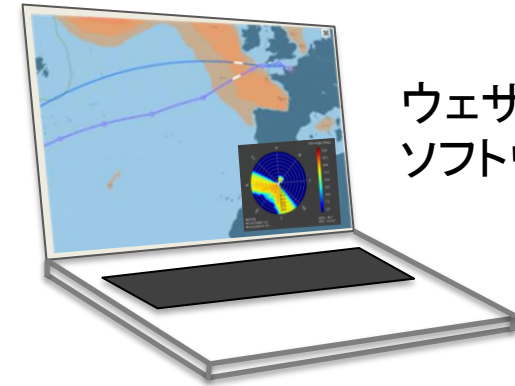
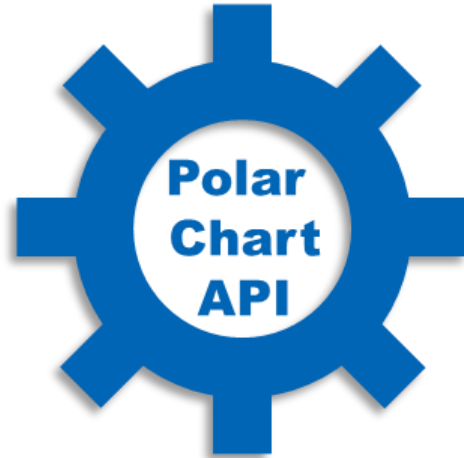


船上の航海機器やウェザールーティングソフト等とデータ連携し、  
船舶の状態や海象状況に応じたポーラーチャートを表示可能なAPIを開発

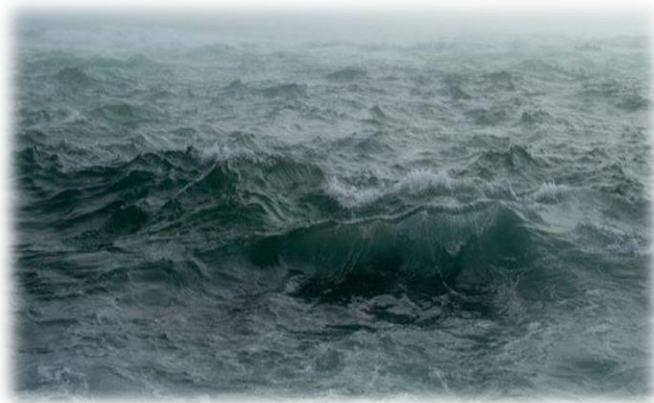


船舶情報

ClassNK  
Polar Chart API

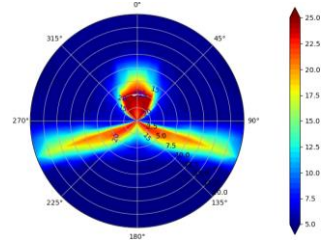


ウェザールーティング  
ソフトウェア

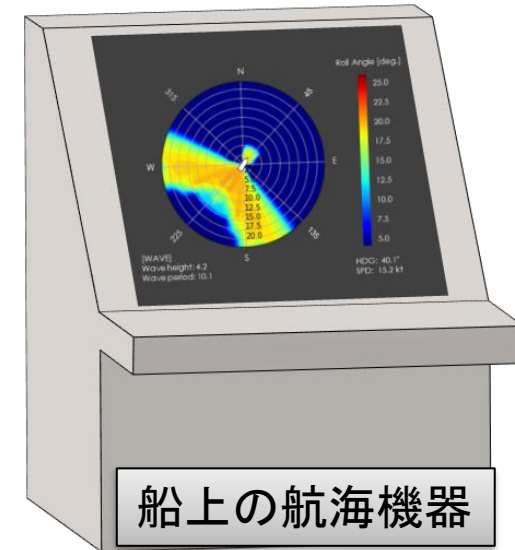


波情報

海象予報, 航海用レーダーより入手



made by NKCS



船上の航海機器





## コンテナ固縛強度評価法

- ✓ 個船の事情に応じた積付を実現する固縛強度評価法を開発
- ✓ 高速計算可能なソルバーをNKより提供

## パラメトリックロール対策

- ✓ 妥当性が検証されたポーラーチャートの作成法を確立
- ✓ NKCSにて作成の受託が可能
- ✓ 航海機器の活用をサポートするAPI

ご質問・ご相談は

[ri@classnk.or.jp](mailto:ri@classnk.or.jp) (担当: 柳本・武田)  
までご連絡ください

