

# (6)船体構造モニタリングシステム の開発に関する研究

構造安全評価系 構造解析研究グループ長 岡 正義 \*  
構造解析研究グループ 馬 沖  
系長 越智 宏

# 研究の目的 1

## 船体構造の安全性確保

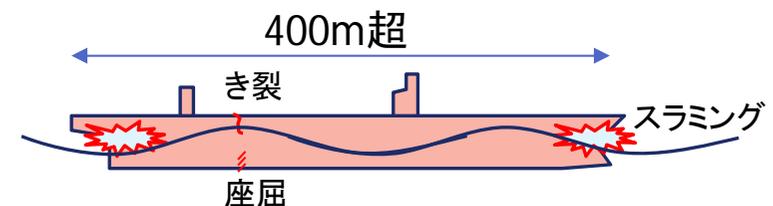
### -a. 安全運航のサポート

- ・ 船舶の大型化  
(輸送効率の向上、新パナマ運河開通)
- ・ 運航管理の品質向上  
(定時運航、港湾作業時短、省エネ運航 等)



(出典: 米澤他、Monohakobi Techno Forum 2017)

例) 大型船の船長が荒天時の安全監視を感覚 (船体運動) を基に経験的に行うと実状とのずれが生じる

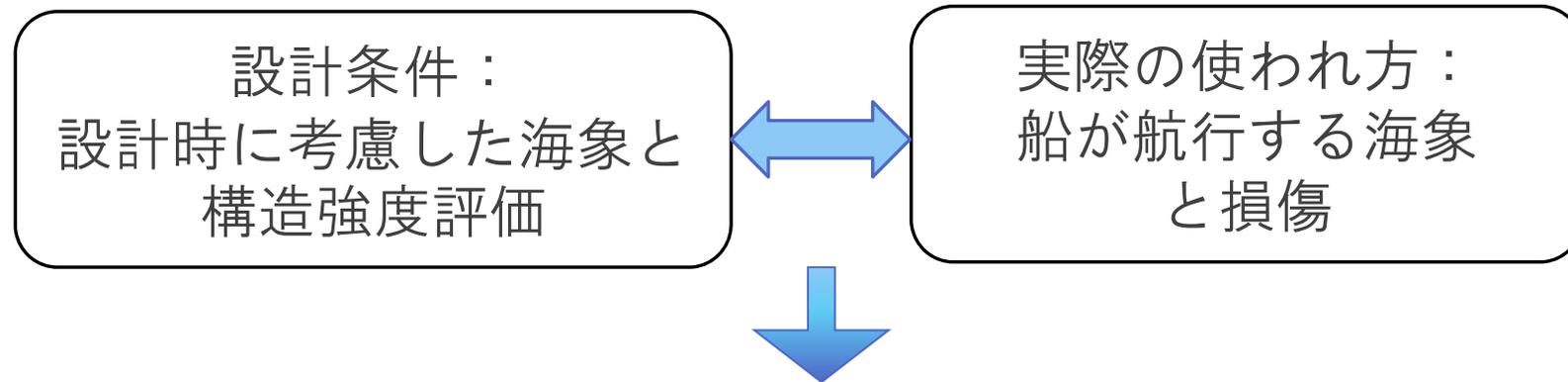


- ・ 船長の監視項目増加、陸上からの監視強化
- ・ 感覚的な状態管理から監視データに基づく管理へ

# 研究の目的 2

## 船体構造の安全性確保

### -b. 運航データの規則/設計へのフィードバック



- ・ 重大事故を減らすため、実際の運航を考慮に入れた構造強度規則/設計が必要

船舶IoT (IoS) とビッグデータの活用がキー

# 海技研の取り組み

## 重点2：先進的な船舶の荷重・構造強度評価手法と連携する船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究

- (1) 船体構造モニタリングシステムの開発
  - 1. 運航・性能モニタリングシステム等の一部として統合出来るシステム
  - 2. 安全性の観点からの減速及び変針等の操船判断の支援機能
- (2) 蓄積された実船計測データの活用

船体構造モニタリングシステム

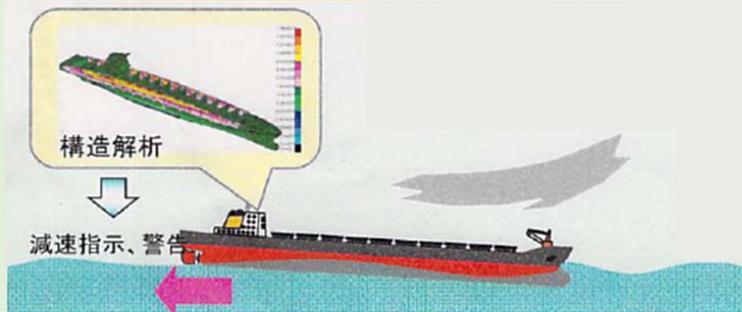
実船計測データ活用システム

IMO/ISO基準・ガイドライン等を提案  
(普及&標準化用任意ガイドライン)

効率的な保守、管理  
及び検査の実施

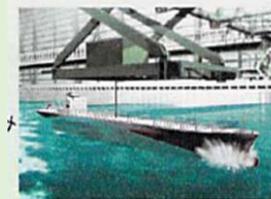
構造強度評価手法、  
規則フィードバック

海難事故防止



組み込み  
フィードバック  
(設計海象等)

重点①-1  
構造強度評価手法



極限海象時の強度評価

疲労強度  
評価手法

# 船体構造モニタリングシステム



本システムのコンセプト

## 1. 安全運航支援

高品質データ（高信頼度センサ/システム）

## 2. FE解析の有効利用

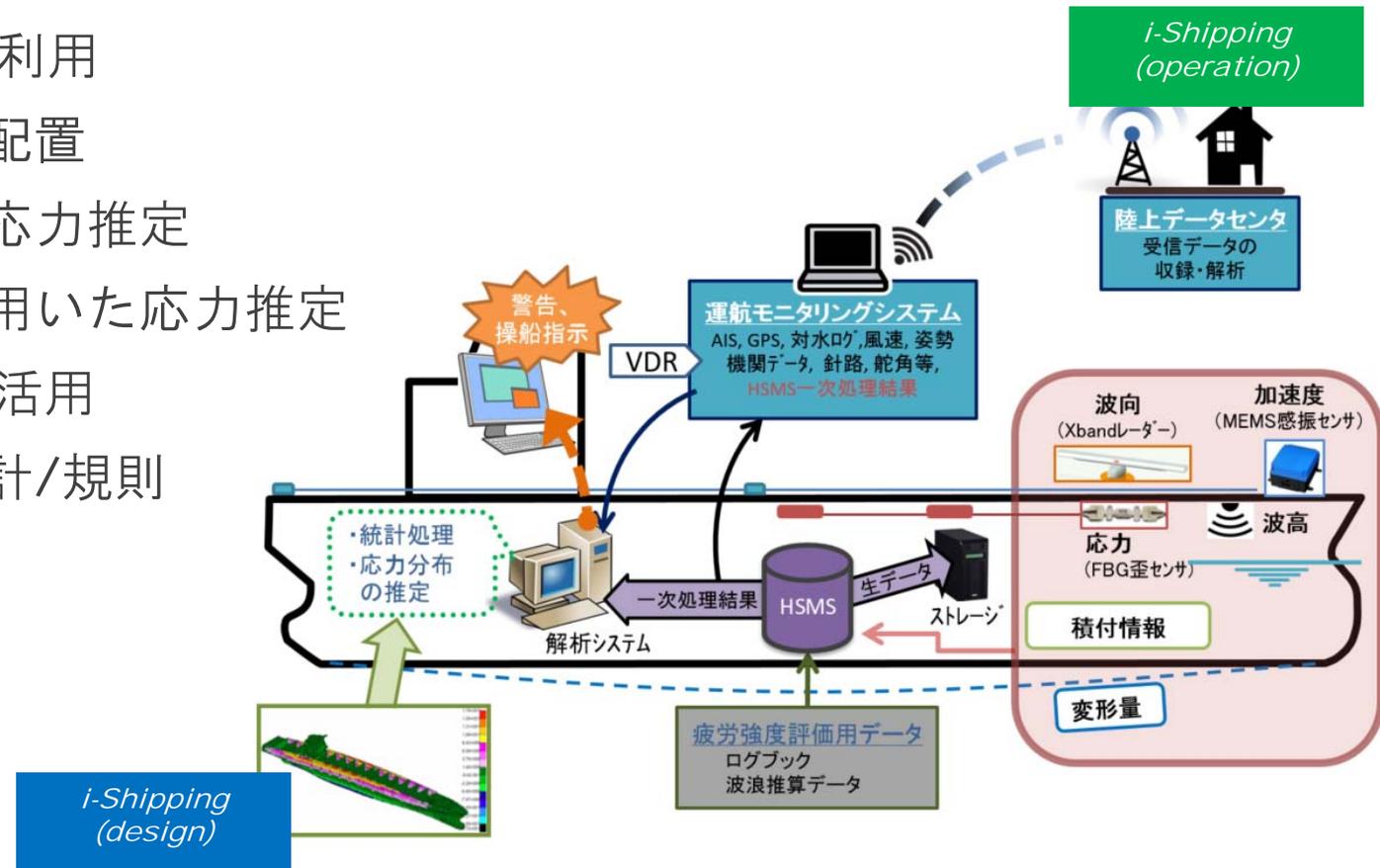
センサの最適配置

非計測箇所への応力推定

運航データを用いた応力推定

## 3. ビッグデータ活用

保守管理、設計/規則



## 船体構造モニタリングシステムのイメージ

(岡他、「ホイッピングを考慮した疲労寿命推定と船上モニタリング」平成28年度海技研発表会)

# システム開発に向けた調査研究①

## 操船者へのヒアリング

### — ユーザ視点に立ったシステム開発に向けて —

- 「荒天」とは、どのような状態ですか？
- 操船支援のため、どのような**情報**があると役に立つと思われませんか？
- **構造モニタリングの必要性**についてどう思われますか？
- **船体構造強度の全般**について

等

#### ヒアリング対象者の経歴

	船種 (荷)	サイズ	航路
1	PCC	6400RT	世界中
	LNG	15万m <sup>3</sup>	日本～インドネシア
2	PCC	6500RT (200m超)	PG, RS
	PCC	6500RT (200m超)	世界一周
	石炭	240m	日本～豪州東海岸
	PCC	6500RT (200m超)	日本～南米、イスラエル
3	コンテナ		北米東岸、欧州 (スエズ経由)、北米西岸
	VLCC	23万DWT	P.G./JPN
	VLCC	15万DWT	P.G./UK Channel
	鉱石運搬船		豪州、北米、アフリカ
	PCC	2000RT	北米東岸、北米西岸
4	在来型貨物船	10000～13000DW	欧州 (パナマ経由)、地中海、紅海
	LNG	MOSS	Indonesia、P/G、韓国
	コンテナ船	8000TEU	欧州、地中海～中国、極東
	LNG	メンブレン、	Indonesia～極東、
	LNG	MOSS	日本～Qatar
5	BC(小麦)	パナマックス	アジア～米国東海岸
	CS	4000TEU	日本～アジア～ヨーロッパ
	LPG		日本～PG
	CS	4500TEU	日本～アジア～北米西岸

# 操船者へのヒアリング（結果概要）



- 荒天の定義は経験した船種や船サイズによって異なる。また、速力低下が起こる場合を荒天とよぶこともある。概ねBF階級6、波高3-5m以上のようなようである。
- 台風の接近時にどうしても避けられないときや、スエズ運河等のトランジットやドック入りのスケジュール制約がある場合は、荒天でも航行する。
- 運航中に優先する順位としては、①船体安全、②復原性、③船内生活の安全、④スケジュール維持である。
- 荒天域では進路変更をすることがあるが転覆しないかどうか怖い。これを支援してくれるシステムが必要と感じる。
- 陸からの通信ということであれば、自船のまわりにいる他船の情報がほしいと思うことはある。
- 最近の大型船は大きすぎて操船者の感覚として、船体にとってどこまでが安全でどこからが危険か分からない。
- 例えば、船体の主要部材に歪み計などが設置されていて船体許容強度の何%なので安全とか危険とか表示されれば、避航操船において参考になると思う。
- 経年船の応力は気になる。
- しばらく前は、船体をもっと頑丈にして欲しいという感覚は無かったが、折損事故が起きたことで緊張感が高くなった。
- 応力モニタリングをしていることを理由に、船体強度が保証されていない船にさせられるのは困る。大型化も限度を超えないようにして欲しい。

# システム開発に向けた調査研究② 大型コンテナ船のハルモニタリングPJ



14000TEU型コンテナ船のシリーズ船  
10隻の応力計測

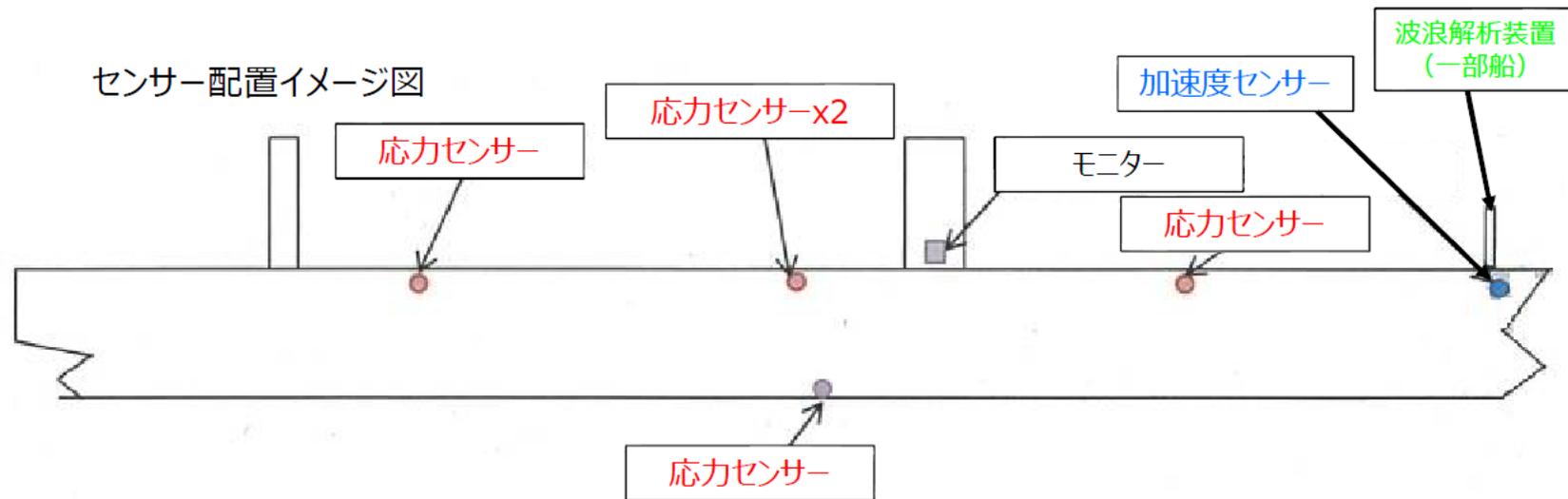
これまでの応力計測では、サンプル船の数と運航情報の不足等が原因で、計測結果に対して相対的な評価ができていなかった。

本共同研究において、複数の同型船で、応力等船体応答データに加えて、航海系データ・波浪データ・積付情報等を解析することにより、信頼性の高い安全評価を実現。

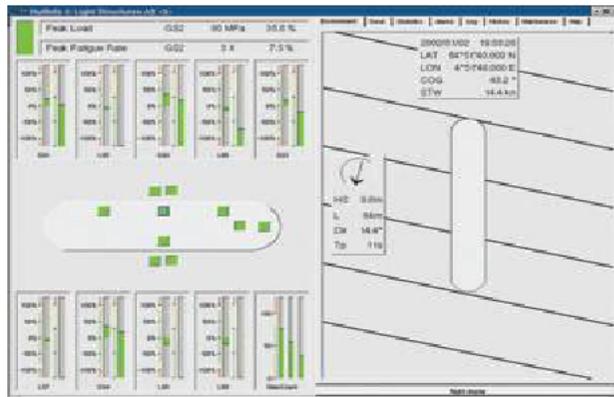


(出典: 米澤他, Monohakobi Techno Forum 2017)

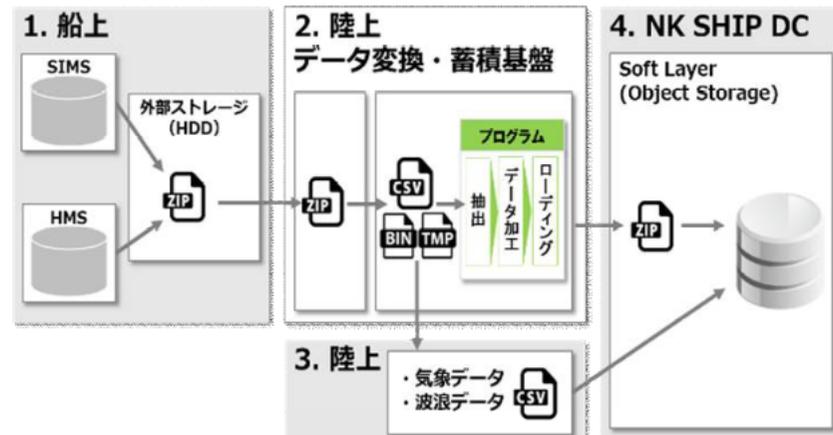
# ハルモニタリングの概要



システム画面イメージ図

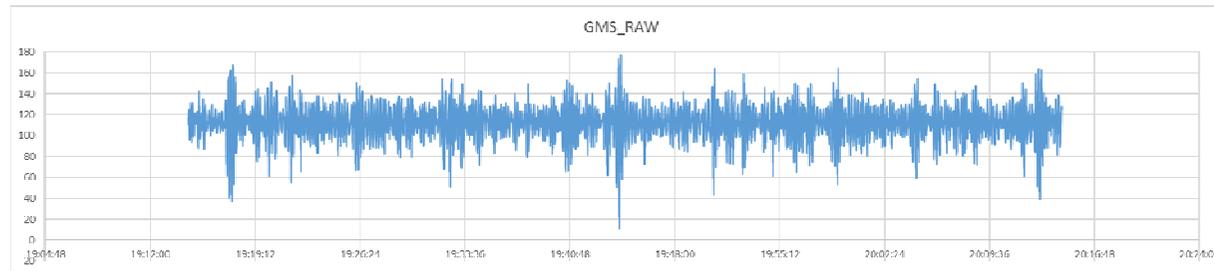


データの流れ

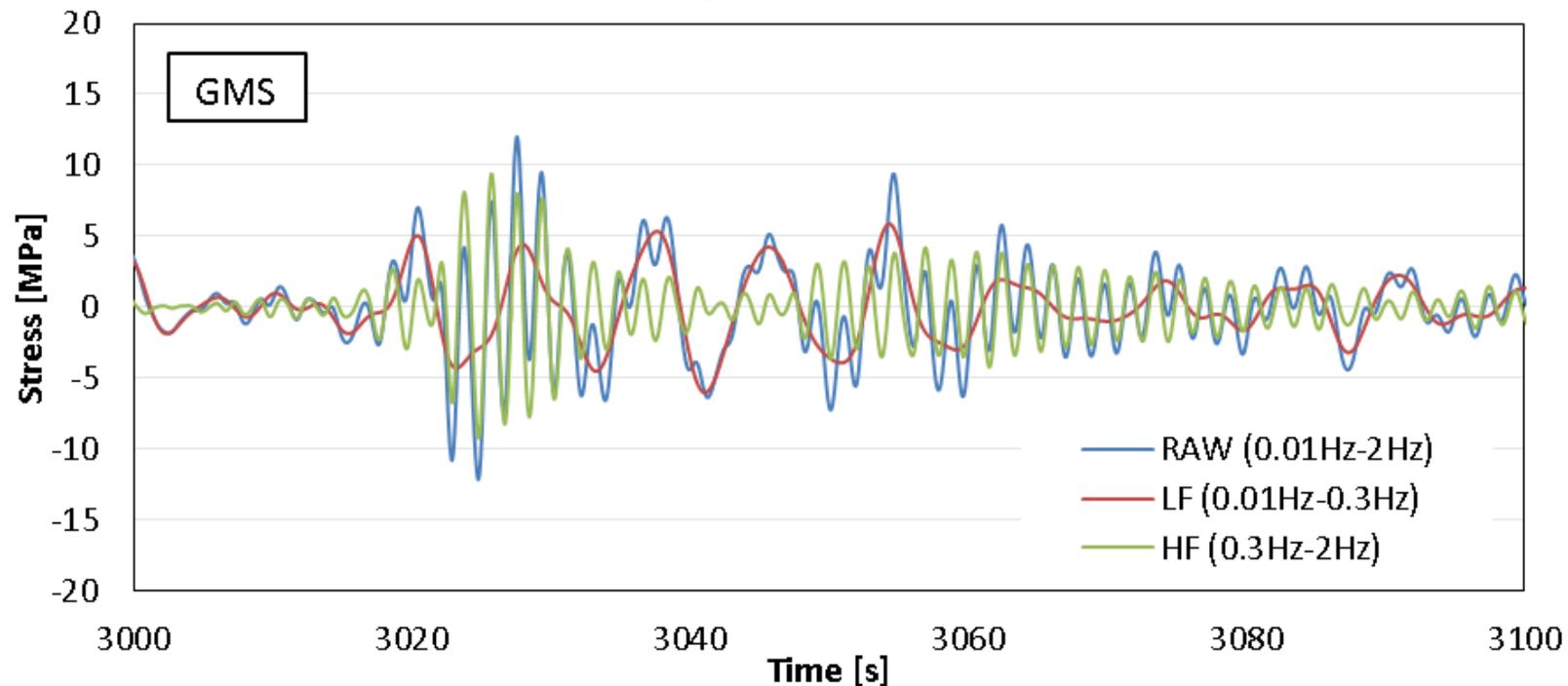


(出典:米澤他、Monohakobi Techno Forum 2017)

# 応力の計測結果の例



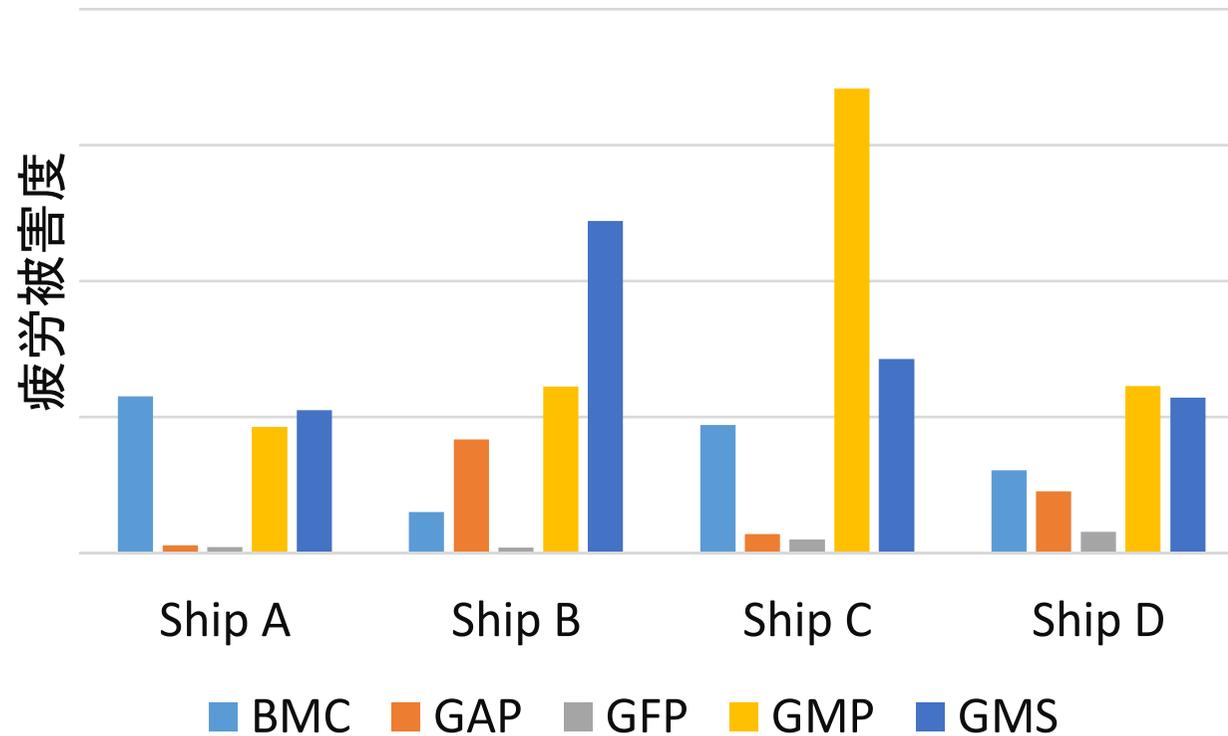
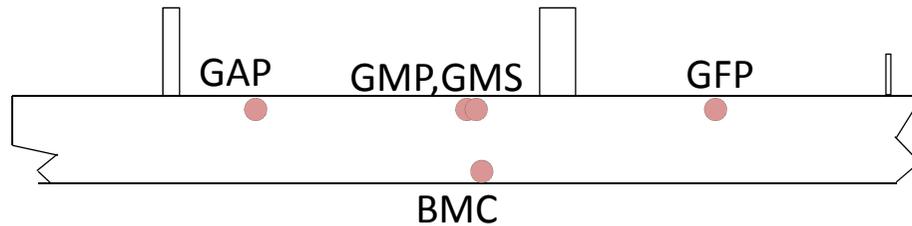
計測生波形(1時間分)



データ解析用波形(FFTフィルタ処理した波形)

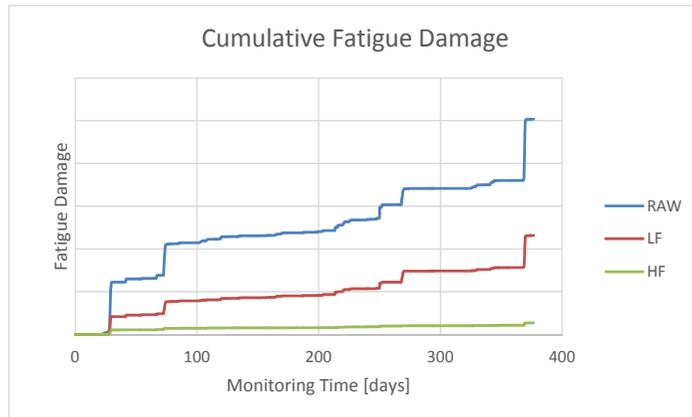
## ホイッピング波形の計測例とFFT周波数成分分離

# シリーズ船の疲労評価

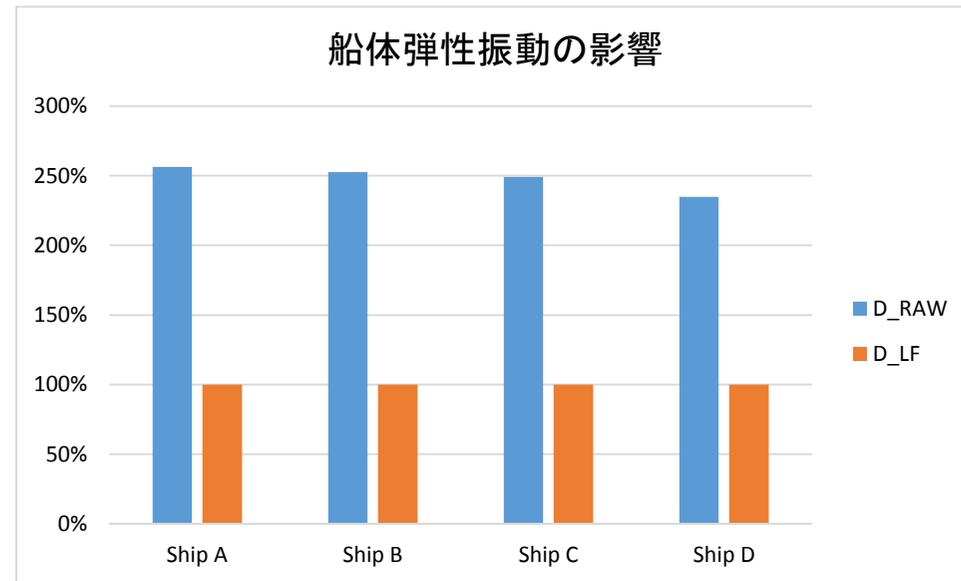


計測データに基づき予測した船齢25才時の疲労被害度

# 疲労評価に対する弾性振動の影響



疲労被害度の成長曲線  
 青:弾性振動を含む被害度 ( $D_{RAW}$ )  
 赤:弾性振動を除去した被害度 ( $D_{LF}$ )



$D_{LF}$ を1としたときの $D_{RAW}$

$$Hv_{effect} = \frac{D_{RAW}}{D_{LF}} - 1$$

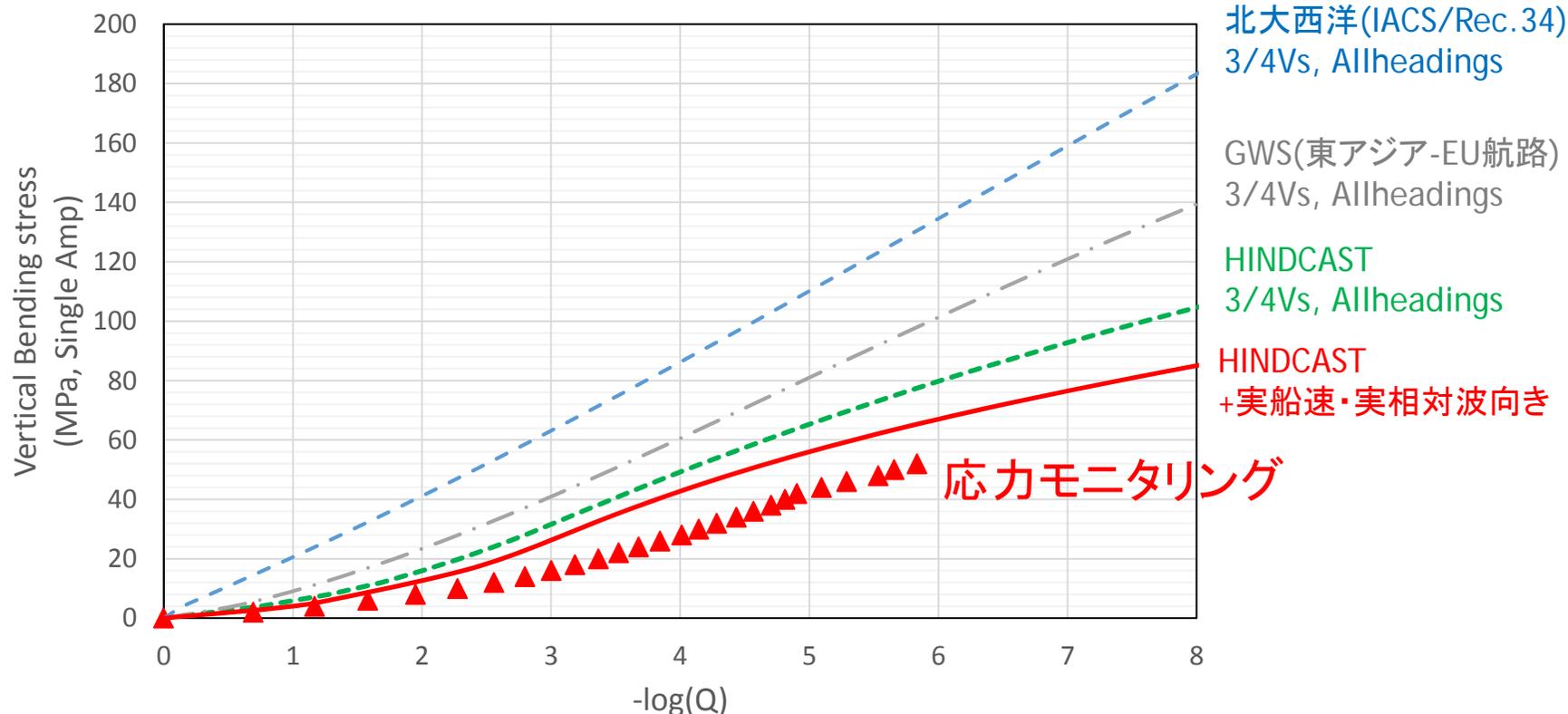
シリーズ船の弾性振動影響 ⇒ 約150%

# 運航と波浪荷重との関係

モニタリング : ゼロクロス統計解析

数値計算 : ストリップ法による長期予測

【数値計算での環境条件】



## 応力モニタリングと数値計算の比較

(横軸: 出会い波数を母数とした超過確率、縦軸: 船体中央縦曲げ応力の振幅)

→ 実遭遇環境(波高・波周期、船速、相対波向き)を考慮することで波浪荷重の推定精度を高めることができる

※HINDCAST(日本気象協会波浪推算データベース)

# システム開発に向けた調査研究③

## AISデータを用いた実運航船の波浪荷重推定

ハルモニタリングデータを解析した結果、実遭遇環境を考慮することで応力の推定精度を高めることができることを確認した。

すなわち、「遭遇環境が分かれば数値計算によって応力推定できる」可能性がある。（検証は今後随時行う）

ここではAISデータを利用して応力推定を行うシステムを構築し、実運航船に作用した波浪荷重を調べた。

# システム開発に向けた調査研究③

## AISデータを用いた実運航船の波浪荷重推定



AIS（船舶位置情報）データを利用した船体応力推定システム

### 【概要】

1. AIS及び波浪データを用いて遭遇環境（波高、波周期、相対波向き、船速）の履歴を求める



2. ストリップ法等の数値計算プログラムで荷重を求める

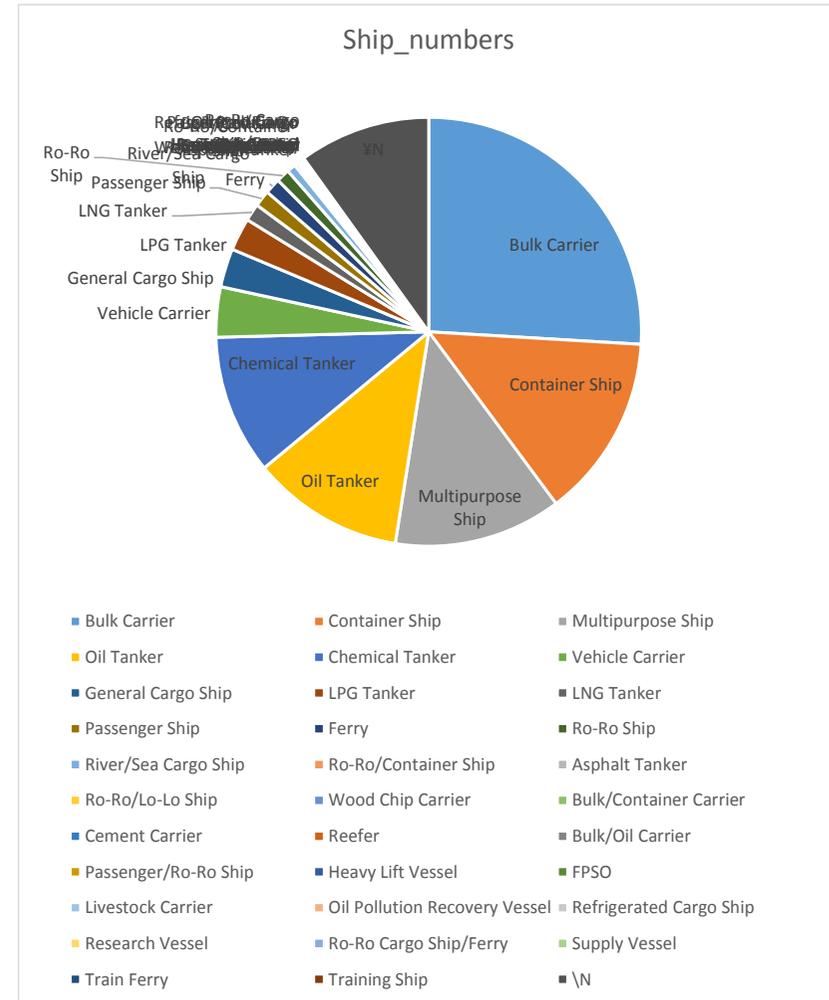


3. FEM等で応力を求める

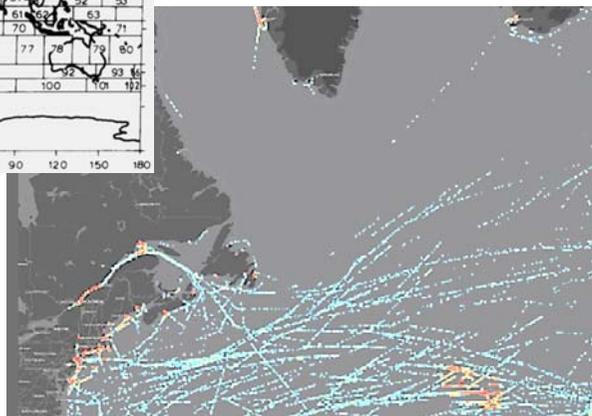
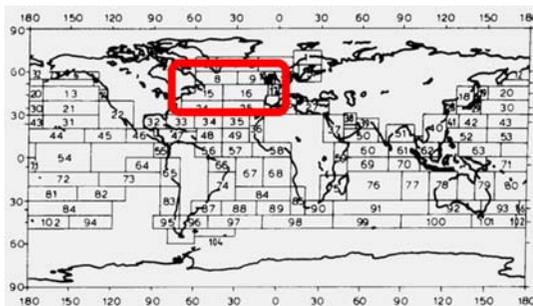
本講演では、  
過去1年分のデータを用いて“2.”まで実施した結果を報告

# 評価対象

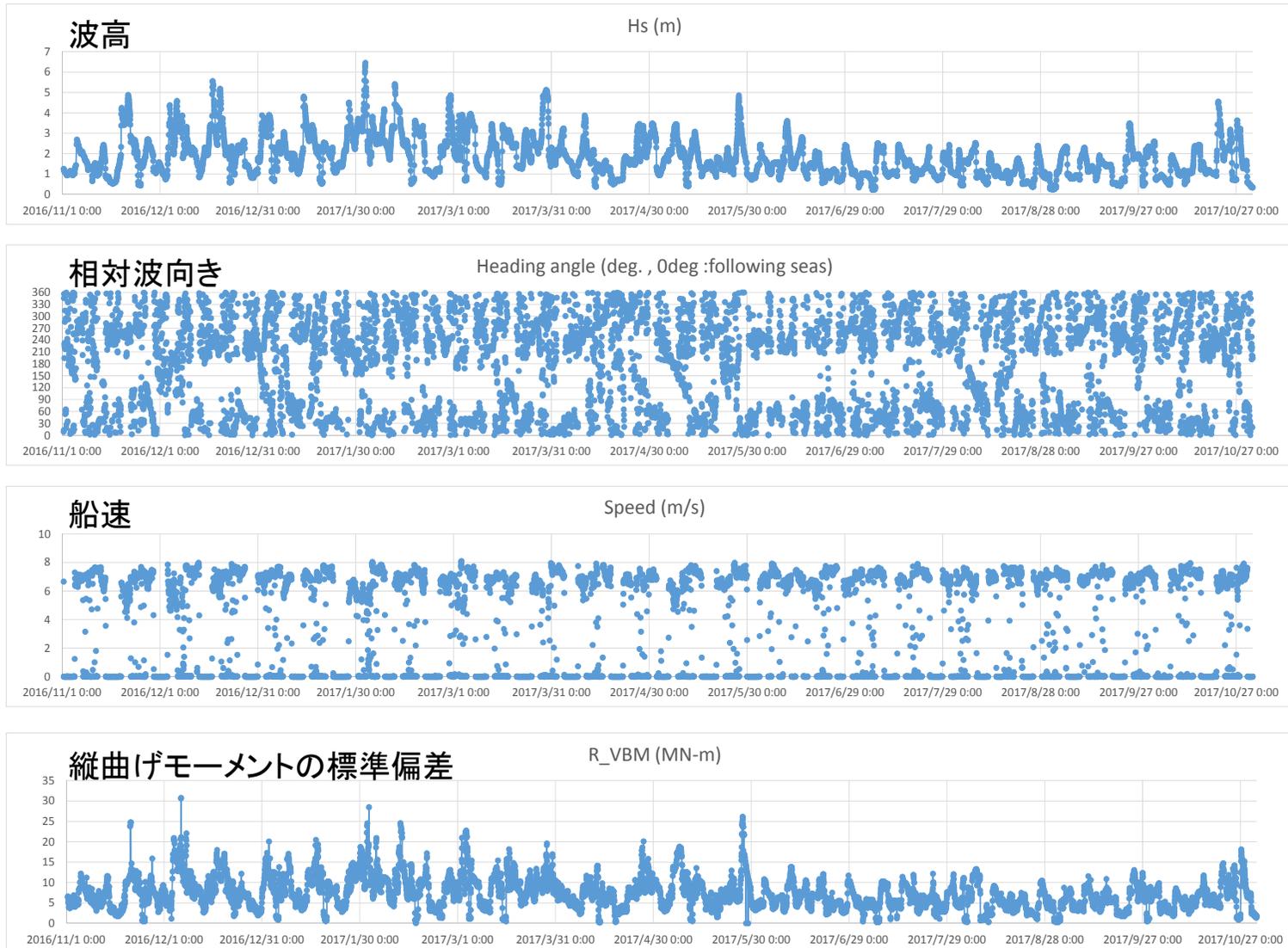
Period	2016/11/1/0:00~2017/10/31/23:59
Number of Ships	13,496
Area	N35.00~65.00, W0.00~75.00 (North Atlantic)
Elements	IMO number, latitude, longitude, course over ground, speed, h1/3, wave period, wave direction, h1/3Swell, swell period, swell direction, current speed, current direction, wind speed, wind direction, etc.



データ提供: NAPA.Inc



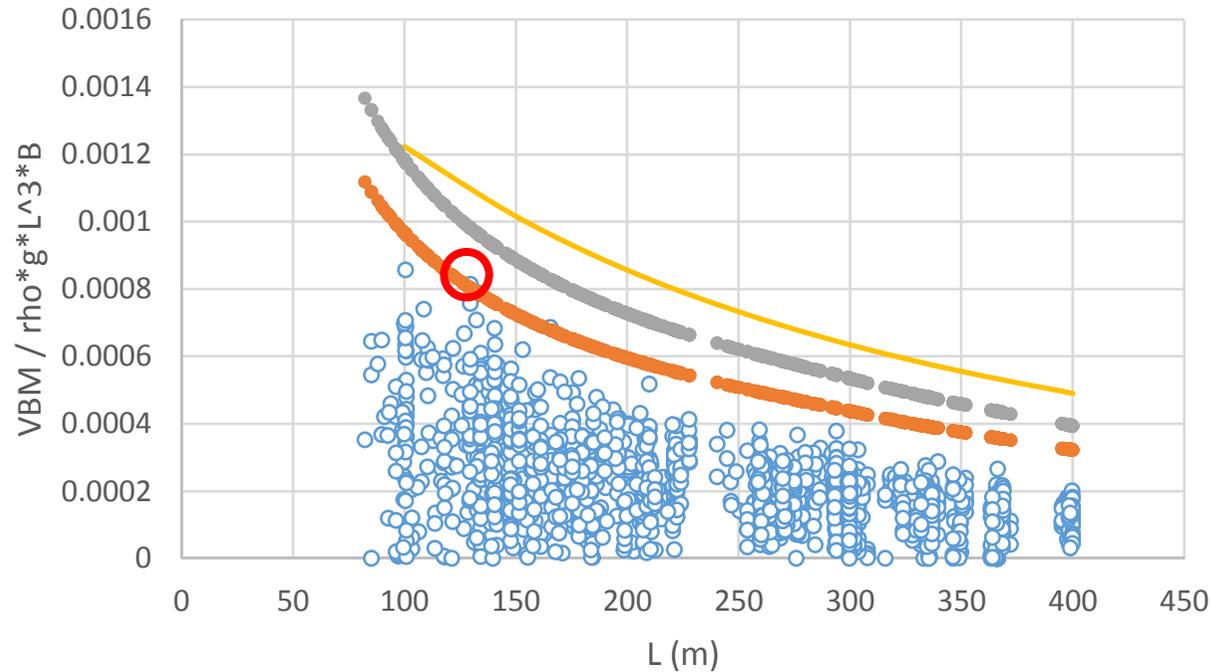
# 遭遇環境と推定荷重の時刻歴



遭遇環境と推定荷重の時刻歴の例 (L100mコンテナ船、約1年分)

# 最大荷重の推定値の分布

VBM of container ship in North Atrantic



— Long term prediction  $Q=10^{-8}$ ,  $V=5kt$ , Allheadings

○ Maximum value in 1year considering with actual sea state & operational cond.

● IACS/URS11 (Hogging moment)

● IACS/URS11 (Sagging moment)

約1800隻のコンテナ船を対象に最大荷重を推定をした例

→規則荷重にほぼ収まる

# 結論



1. ユーザ視点に立ったシステム開発に向けて、船長等海上実務者への聞き取り調査を行い結果を紹介した。

2. 船上モニタリングの先進的な取組として、シリーズ建造の14,000TEU型コンテナ船のハルモニタリングを紹介した。シリーズ船の疲労評価を行い船体弾性振動の影響を示すとともに、運航と波浪荷重との関係性を明確化した。

3. AISデータに基づく船体応力推定システムを構築し、北大西洋を就航するコンテナ船に作用した波浪荷重を推定した結果、最大荷重は規則荷重にほぼ収まることを確認した。今後、ハルモニタリングデータでシステムの検証を行う。

# 謝辞



本研究は、

- (一社) 日本船長協会の関係各位にご協力をいただきました。
- 先進船舶技術の研究開発 (i-Shipping Operation) に対する国土交通省の支援のもと、ジャパンマリンユナイテッド株式会社、日本海事協会、日本気象協会、横浜国立大学、海上技術安全研究所、日本郵船株式会社および株式会社MTI の共同研究「大型コンテナ船における船体構造ヘルスマニタリングに関する研究開発」として実施されました。
- 日本財団の助成事業である (一財) 日本船舶技術研究協会の2017年度の船舶の合理的な基準作成のためのデータ活用に関するグローバルストラテジーの検討 (グローバルストラテジー検討プロジェクト) として実施されました。

関係各位に謝意を表します。