

海技研DLSAセミナー2024

DLSA-Basic 非線形統計予測機能 及び クラウドアプリ“SPREME-web” 紹介



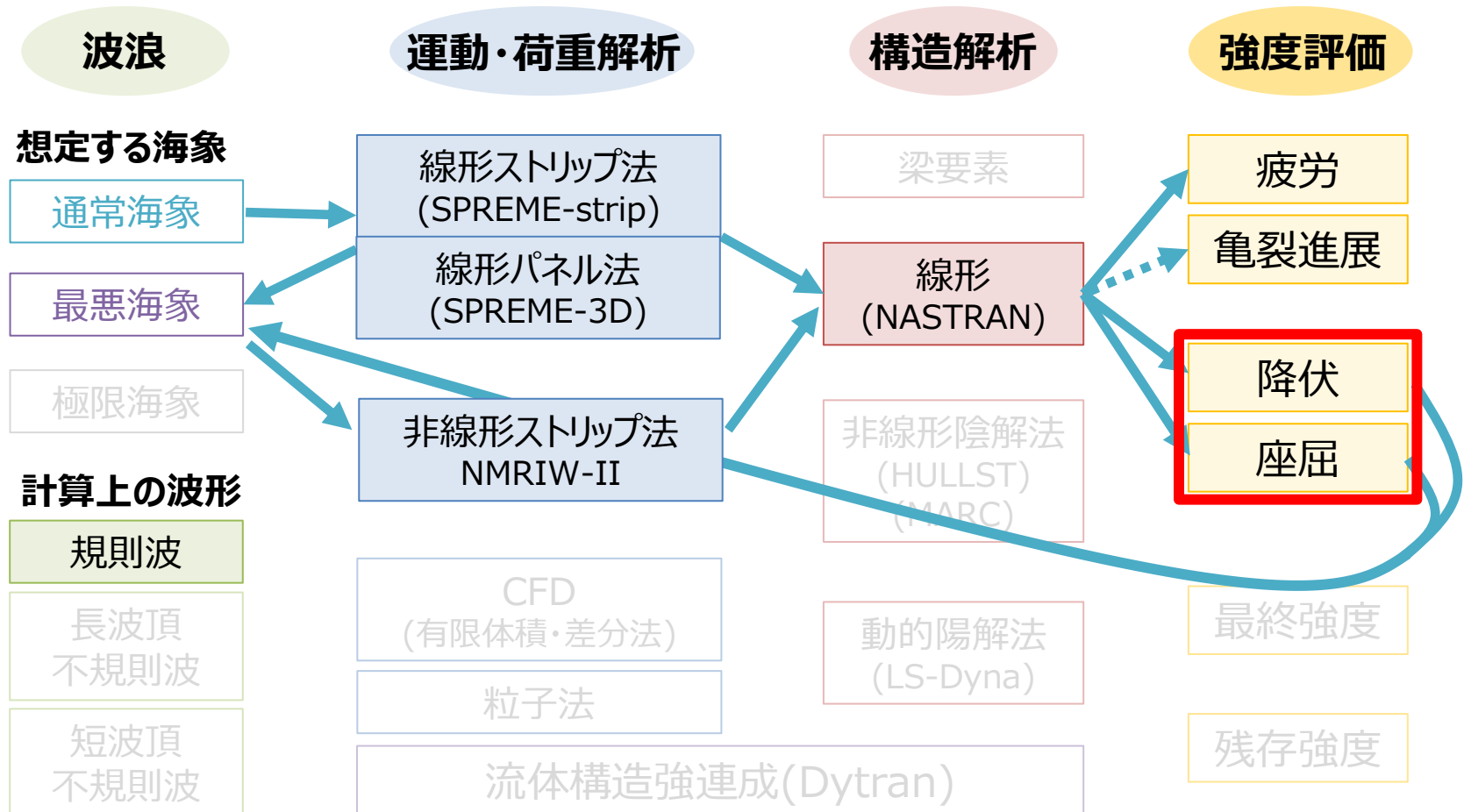
海上技術安全研究所 構造・産業システム系
荷重・構造研究グループ 松井貞興

DLSA-Basic 非線形統計予測機能 紹介

- ① **非線形応力**の統計予測
- ② **荷重の非線形影響**を考慮した統計予測

DLSA-Basic 非線形統計予測機能 紹介

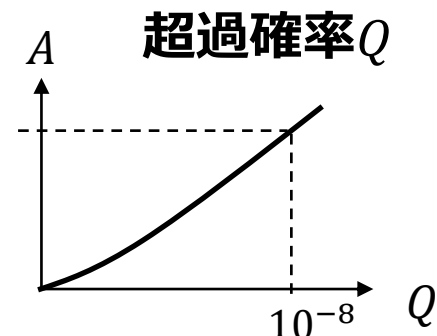
DLSA-Basic



一般的な短期・長期予測法

規則波中の応答
(応答関数)

短期海象中の応答
(応答スペクトル)



波スペクトル

波浪発現頻度表

平均波周期 T_z [s]

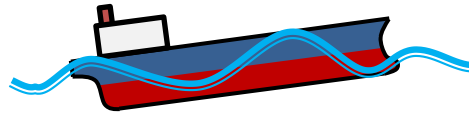
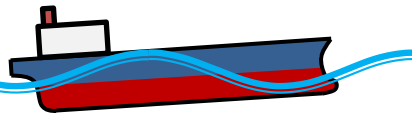
有義波高 H_s

H_s/T_z	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5
0.5	1.3	133.7	865.6	1186	634.2	186.3	36.9	5.6	0.7	0.1	0	0	0	0	0	0
1.5	0	29.3	986	4976	7738	5570	2376	703.5	160.7	30.5	5.1	0.8	0.1	0	0	0
2.5	0	2.2	197.5	2159	6230	7450	4860	2066	644.5	160.2	33.7	6.3	1.1	0.2	0	0
3.5	0	0.2	34.9	695.5	3227	5675	5099	2838	1114	337.7	84.3	18.2	3.5	0.6	0.1	0
4.5	0	0	6	196.1	1354	3289	3858	2686	1275	455.1	130.9	31.9	6.9	1.3	0.2	0
5.5	0	0	1	51	498.4	1603	2373	2008	1126	463.6	150.9	41	9.7	2.1	0.4	0.1
6.5	0	0	0.2	12.6	167	690.3	1258	1269	825.9	386.8	140.8	42.2	10.9	2.5	0.5	0.1
7.5	0	0	0	3	52.1	270.1	594.4	703.2	524.9	276.7	111.7	36.7	10.2	2.5	0.6	0.1
8.5	0	0	0	0.7	15.4	97.9	255.9	350.6	296.9	174.6	77.6	27.7	8.4	2.2	0.5	0.1
9.5	0	0	0	0.2	4.3	33.2	101.9	159.9	152.2	99.2	48.3	18.7	6.1	1.7	0.4	0.1
10.5	0	0	0	0	1.2	10.7	37.9	67.5	71.7	51.5	27.3	11.4	4	1.2	0.3	0.1
11.5	0	0	0	0	0.3	3.3	13.3	26.6	31.4	24.7	14.2	6.4	2.4	0.7	0.2	0.1
12.5	0	0	0	0	0.1	1	4.4	9.9	12.8	11	6.8	3.3	1.3	0.4	0.1	0
13.5	0	0	0	0	0	0.3	1.4	3.5	5	4.6	3.1	1.6	0.7	0.2	0.1	0
14.5	0	0	0	0	0	0.1	0.4	1.2	1.8	1.8	1.3	0.7	0.3	0.1	0	0
15.5	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.6	0.7	0.5	0.3	0.1	0.1	0	0
16.5	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0	0	0

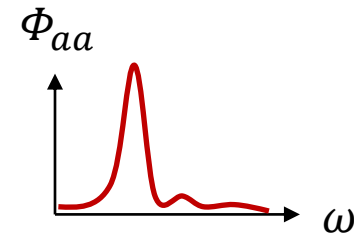
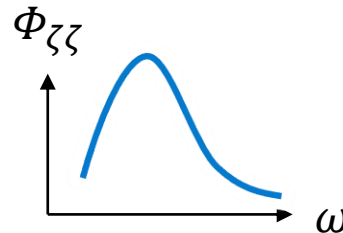
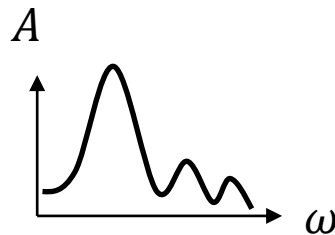
一般的な短期・長期予測法

規則波中の応答
(応答関数)

短期海象中の応答
(応答スペクトル)



$$(\text{応答関数})^2 \times (\text{波スペクトル}) = (\text{応答スペクトル})$$



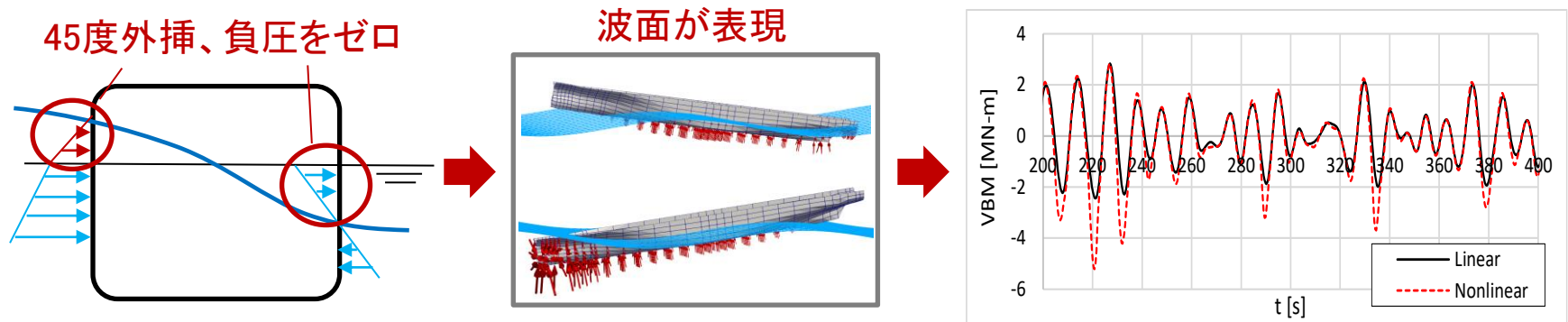
- ✓ 規則波中の応答を重ね合わせて不規則波中の応答を表現
→ **線形応答**(=重ね合わせ可能)を前提

非線形影響

①非線形応力

- Von-Mises応力 $\sigma_M = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau^2}$
- 合力応力 $\sigma_R = \sqrt{\sigma_x^2 + \tau^2}$
- その他、座屈の相当応力等

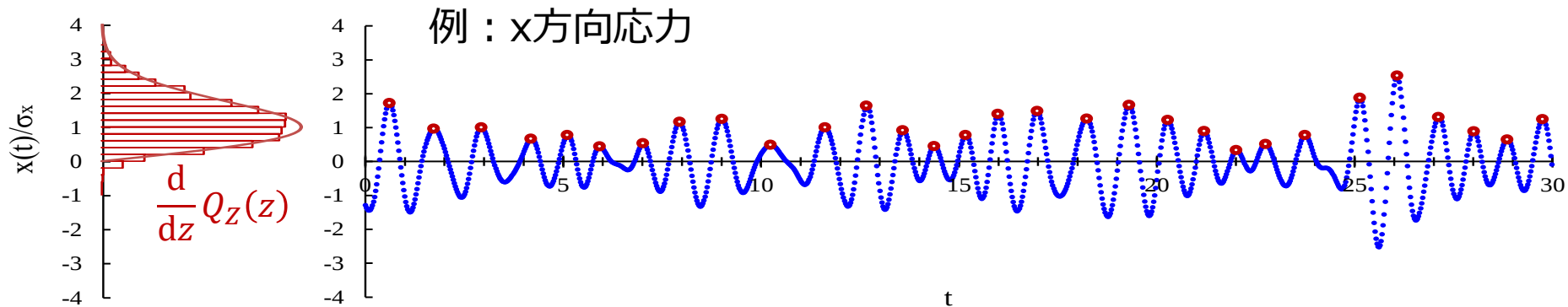
②荷重の非線形性 (例: VBMの形状非線形)



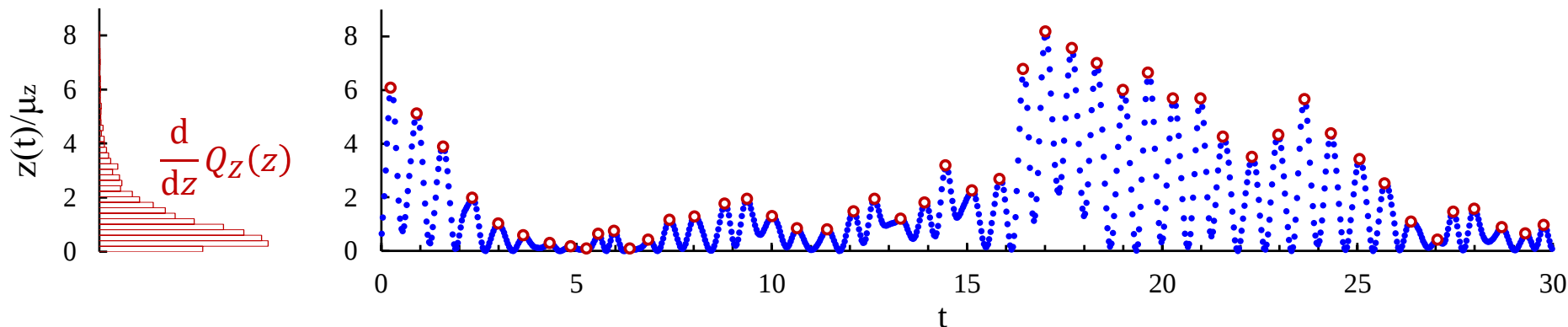
✓これらの非線形性は統計予測では考慮できないとされていた
(等価設計波法で代替)

①非線形応力の統計予測

✓線形応答の極値分布 = **Rayleigh分布** $Q_X(x) = \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma_X^2}\right]$



✓Mises応力の極値分布 = **??分布** $Q_X(x) = ??$



①非線形応力の統計予測

✓ Mises応力の極値分布の計算式 [Madsen 1985]

$$Q_Z(z) = T_Z z \int_0^\pi d\theta \sin \theta \int_0^{2\pi} d\phi f_Y(\mathbf{y}) \left[\frac{\mu_{\dot{y}_N}(\mathbf{y})}{2} \left\{ 1 + \operatorname{erf} \left[\frac{\mu_{\dot{y}_N}(\mathbf{y})}{\sqrt{2}\sigma_{\dot{y}_N}(\mathbf{y})} \right] \right\} + \frac{\sigma_{\dot{y}_N}(\mathbf{y})}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{\mu_{\dot{y}_N}(\mathbf{y})}{\sigma_{\dot{y}_N}(\mathbf{y})} \right\}^2 \right] \right]$$

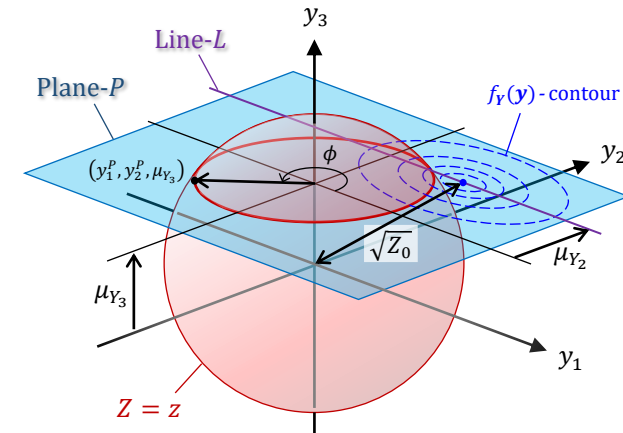
$$f_Y(\mathbf{y}) = \prod_{i=1}^3 \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{Y_i}} \exp \left[-\frac{(y_i - \mu_{Y_i})^2}{2\sigma_{Y_i}^2} \right]$$

$$\mu_{\dot{y}_N}(\mathbf{y}) = \{\mathbf{n}\}^T [\Sigma_{\dot{Y}\dot{Y}}] [\Sigma_{\dot{Y}\dot{Y}}]^{-1} (\{\mathbf{y}\} - \{\mu_Y\})$$

$$\sigma_{\dot{y}_N}(\mathbf{y})^2 = \{\mathbf{n}\}^T ([\Sigma_{\dot{Y}\dot{Y}}] - [\Sigma_{\dot{Y}\dot{Y}}] [\Sigma_{\dot{Y}\dot{Y}}]^{-1} [\Sigma_{\dot{Y}\dot{Y}}]) \{\mathbf{n}\}$$

$$\{\mathbf{y}\} = \begin{cases} \sqrt{z} \sin \theta \cos \phi \\ \sqrt{z} \sin \theta \sin \phi \\ \sqrt{z} \cos \theta \end{cases}$$

$$\{\mathbf{n}\} = \begin{cases} \sin \theta \cos \phi \\ \sin \theta \sin \phi \\ \cos \theta \end{cases}$$



積分計算が不要ように簡易化※

$$Q_Z(z) \cong \sqrt{\frac{c_{21}c_{31}}{1 - \frac{c_{12}|\mu_{Y_1}|}{y_1^M}}} \exp \left[-\frac{(y_2^M - \mu_{Y_2})^2}{2\sigma_{Y_2}^2} \right] \left\{ \exp \left[-\frac{(y_1^M + \mu_{Y_1})^2}{2\sigma_{Y_1}^2} \right] + \exp \left[-\frac{(y_1^M - \mu_{Y_1})^2}{2\sigma_{Y_1}^2} \right] \right\}$$

$$y_1^M = \sqrt{z^2 - \mu_{Y_3}^2 - y_2^{M^2}}$$

$$y_2^M = \frac{\mu_{Y_2}}{2\alpha} \left\{ \zeta - c_{12}|\mu_{Y_1}| + \alpha c_{21} - \sqrt{(\zeta - c_{12}|\mu_{Y_1}| + \alpha c_{21})^2 - 4\alpha c_{21}\zeta} \right\}$$

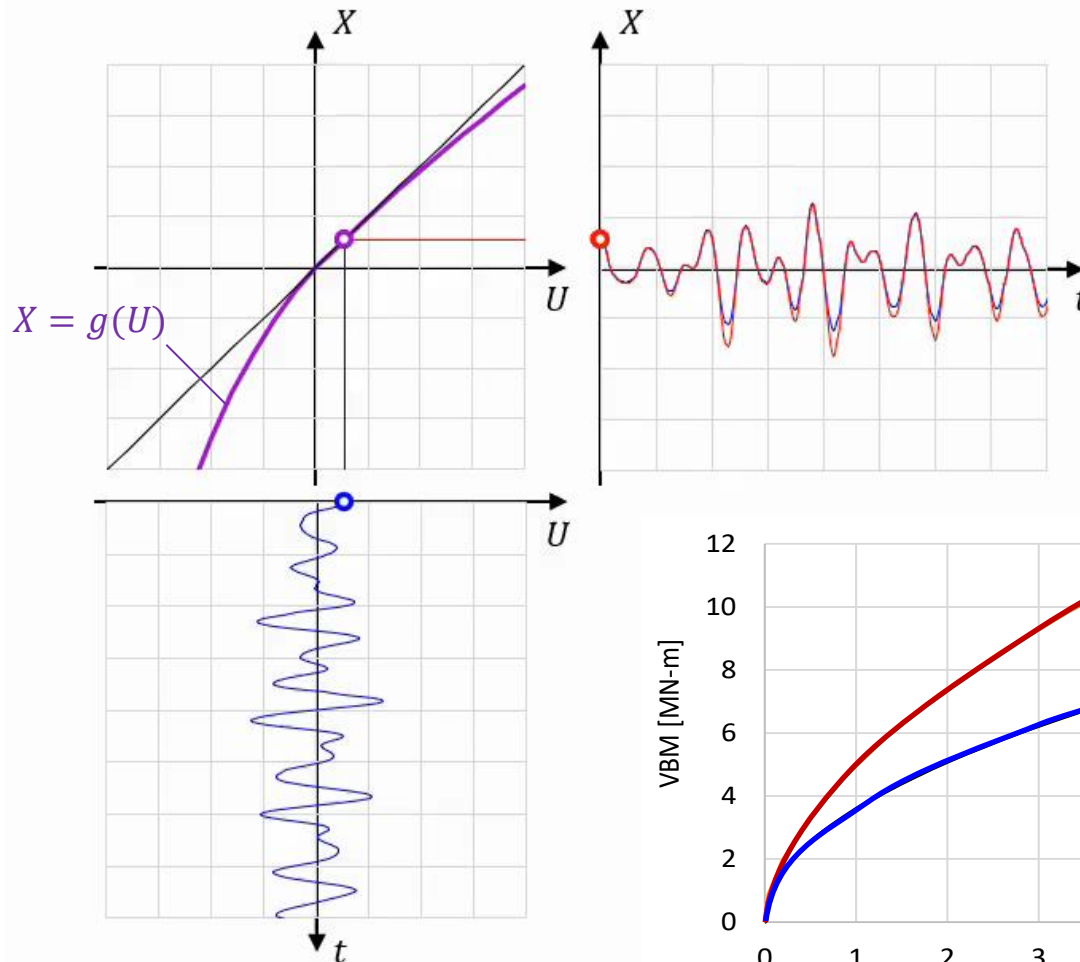
$$c_{ij} = \left\{ 1 - \left(\sigma_{Y_i}^2 / \sigma_{Y_j}^2 \right) \right\}^{-1}$$

$$\alpha = \sqrt{\mu_{Y_1}^2 + \mu_{Y_2}^2} - |\mu_{Y_1}|$$

②荷重の非線形影響

✓ Translation process法を応用した手法を開発

→ 非線形応答 X を「線形応答 U の非線形変換($X = g(U)$)」で近似

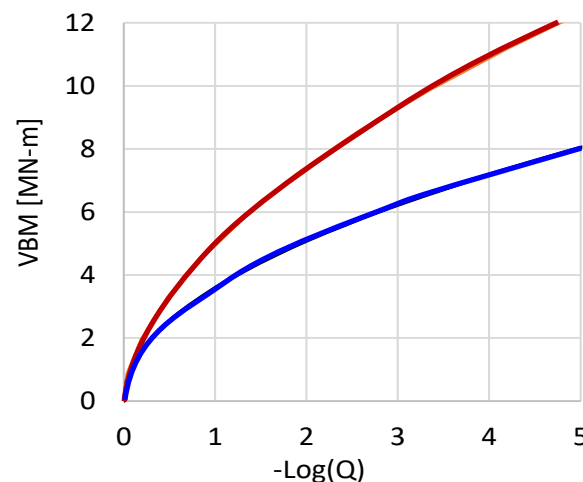


X の分布

$$Q_X(x) = \exp\left(-\frac{\{g^{-1}(x)\}^2}{2\sigma_U^2}\right)$$

U の分布

$$Q_U(u) = \exp\left(-\frac{u^2}{2\sigma_U^2}\right)$$

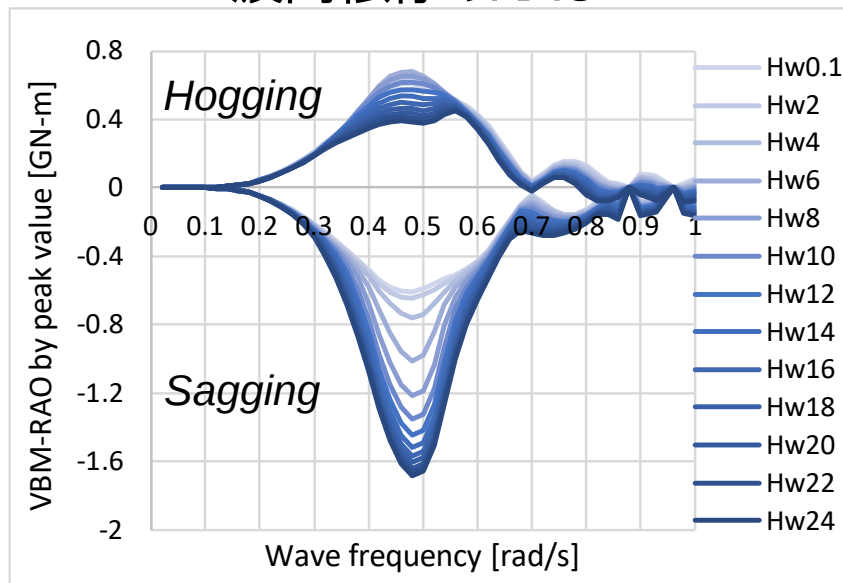


②荷重の非線形影響

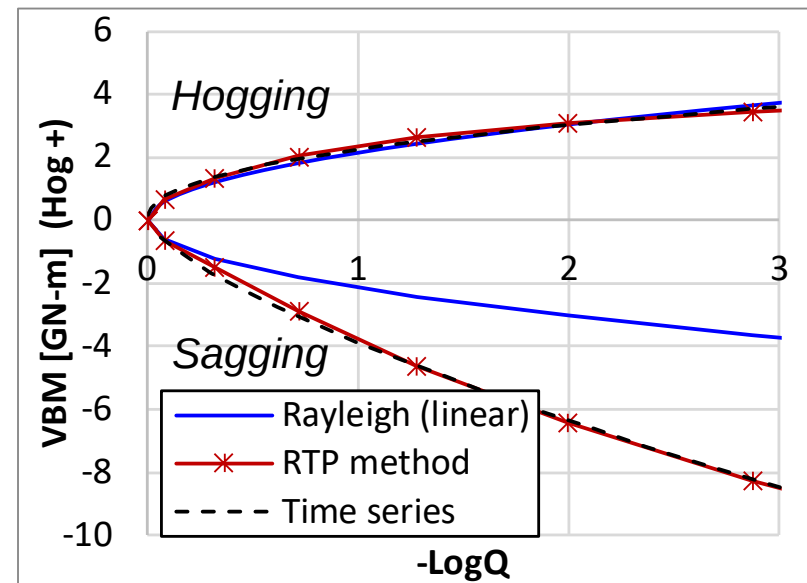
✓ 変換 g を、波高依存のRAOを用いて近似

→ **RTP(RAO-based translation process)法**と命名※

波高依存のRAO



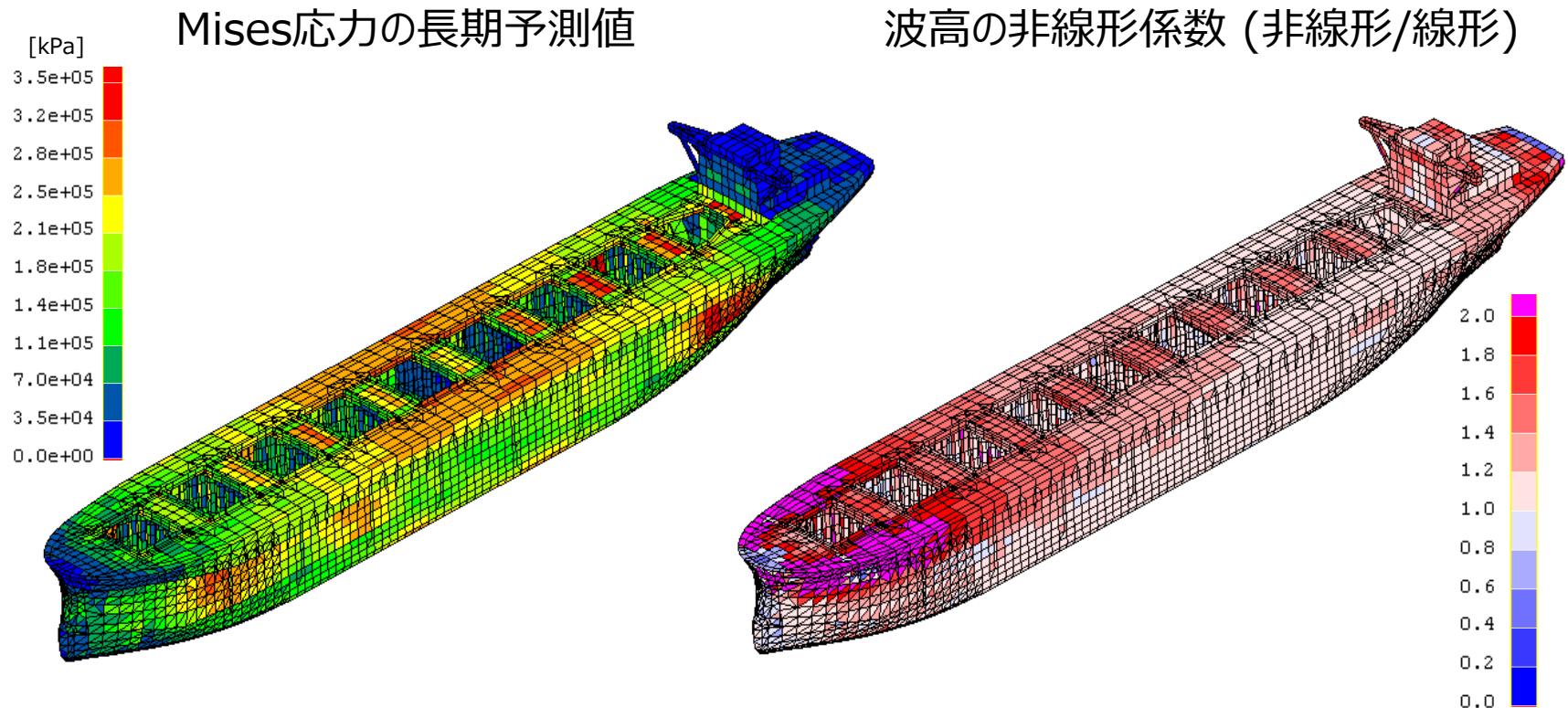
RTP法の極値分布



✓ 応力に対しても適用可能 → DLSA-Basicに導入

※Matsui. S: RAO-based translation process for estimating extreme value distribution of nonlinear ship response in irregular waves, JMST, 2023

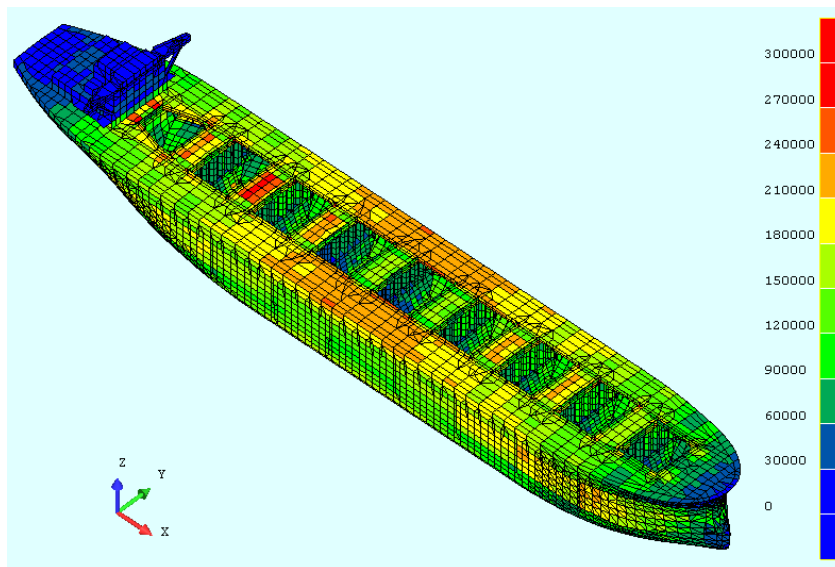
DLSA-Basic Projection機能による 非線形統計予測結果のマッピング



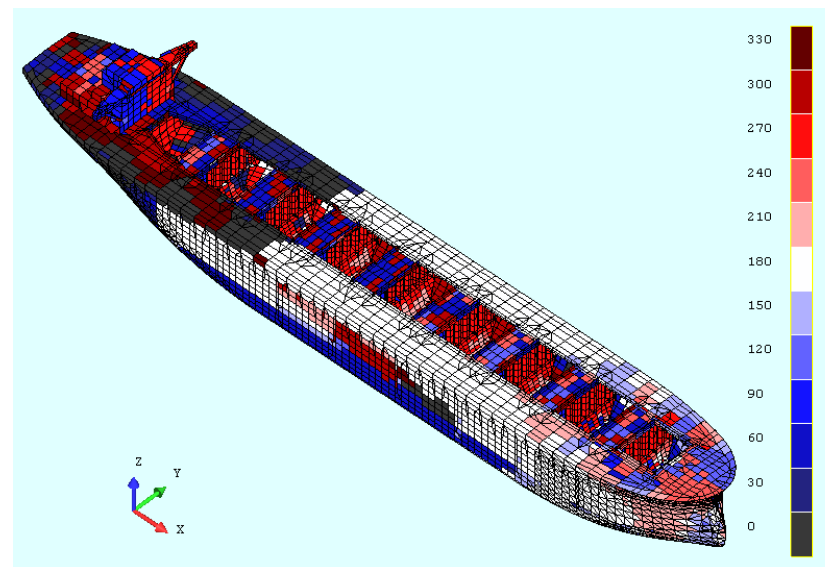
- ✓ 従来の線形統計予測結果の過不足を定量化
- ✓ 等価設計波を用いず、非線形応答を評価できる

DLSA-Basic Projection機能による 非線形統計予測結果のマッピング

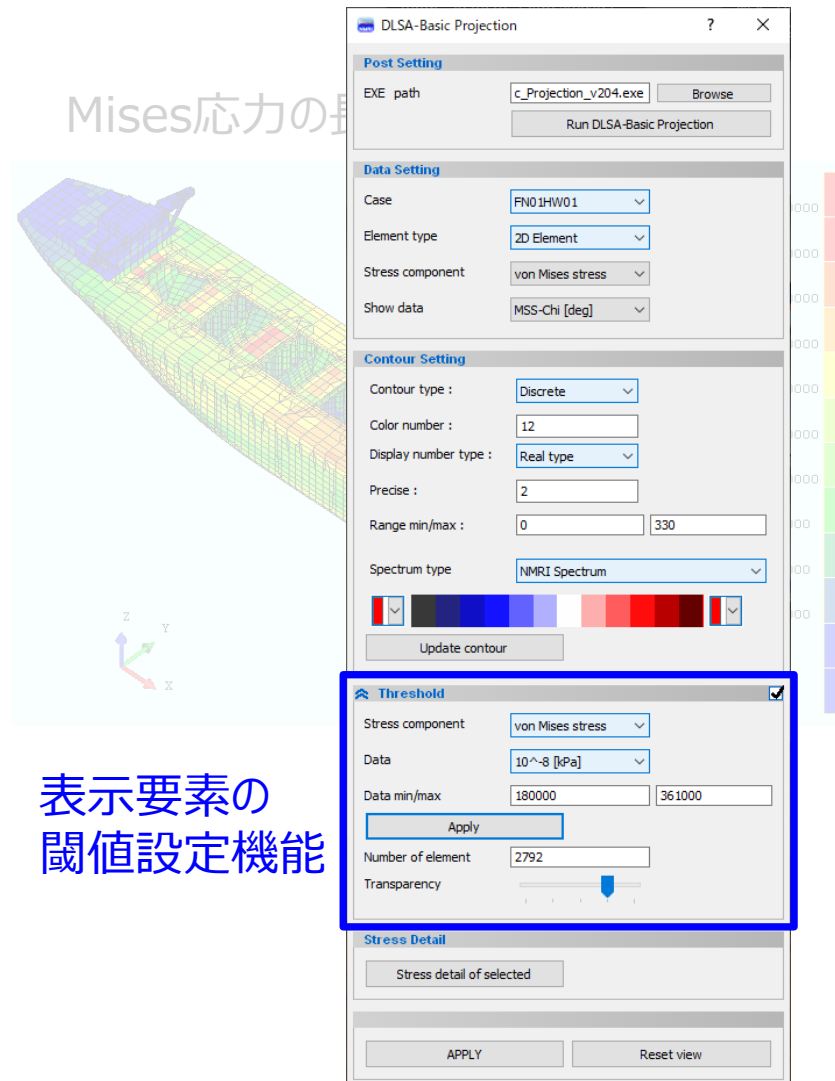
Mises応力の長期予測値



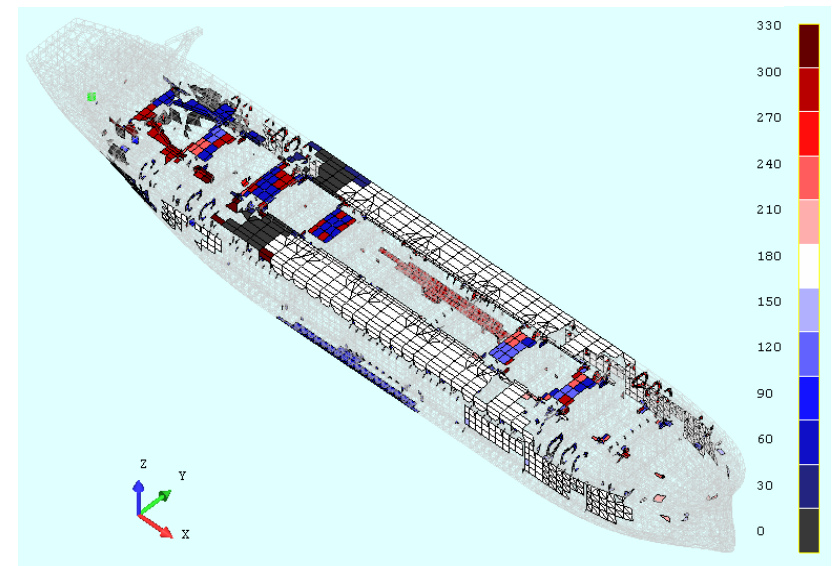
Mises応力の最悪海象の波向き[deg]



DLSA-Basic Projection機能による 非線形統計予測結果のマッピング



Mises応力の最悪海象の波向き[deg]



Mises応力の長期予測値が
180MPa以上になる要素のみ表示

→高応力要素の支配的な波条件など
容易に確認可能に

DLSA-Basic Projection 操作デモ

Jupiter-Pre - [NMRI_BC.jth5]

Home Geometry Meshing Mesh Cleanup Mesh Edit Hex Modeling Connections Boundary Conditions Properties Analysis Tools **DLSA Basic** NMRIW II NMRIW-Lite Search Function Style

NMRIW-Lite Import FEM model Working Folder Tank Info. Element Group Container Search Calculation Settings DLSA-Basic Bridge Balance Check Pressure Confirmation Output Setting Read OP2 DLSA-Basic POST

Dynamic_Load_and_Strength_Analysis

NMRI_BC.jth5

DLSA-Basic Projection

Post Setting

EXE path: c:\Projection_v204.exe Browse
Run DLSA-Basic Projection

Data Setting

Case: FN01HW01
Element type: 2D Element
Stress component: von Mises stress
Show data: 10^-8 [kPa]

Contour Setting

Contour type: Step
Color number: 10
Display number type: Real type
Precise: 2
Range min/max: 412.853 416728
Spectrum type: Rainbow Spectrum
Update contour

Threshold

Stress Detail

Stress detail of selected

APPLY Reset view

0 17.68
[m] [s] [t] [N] [rad] [K]

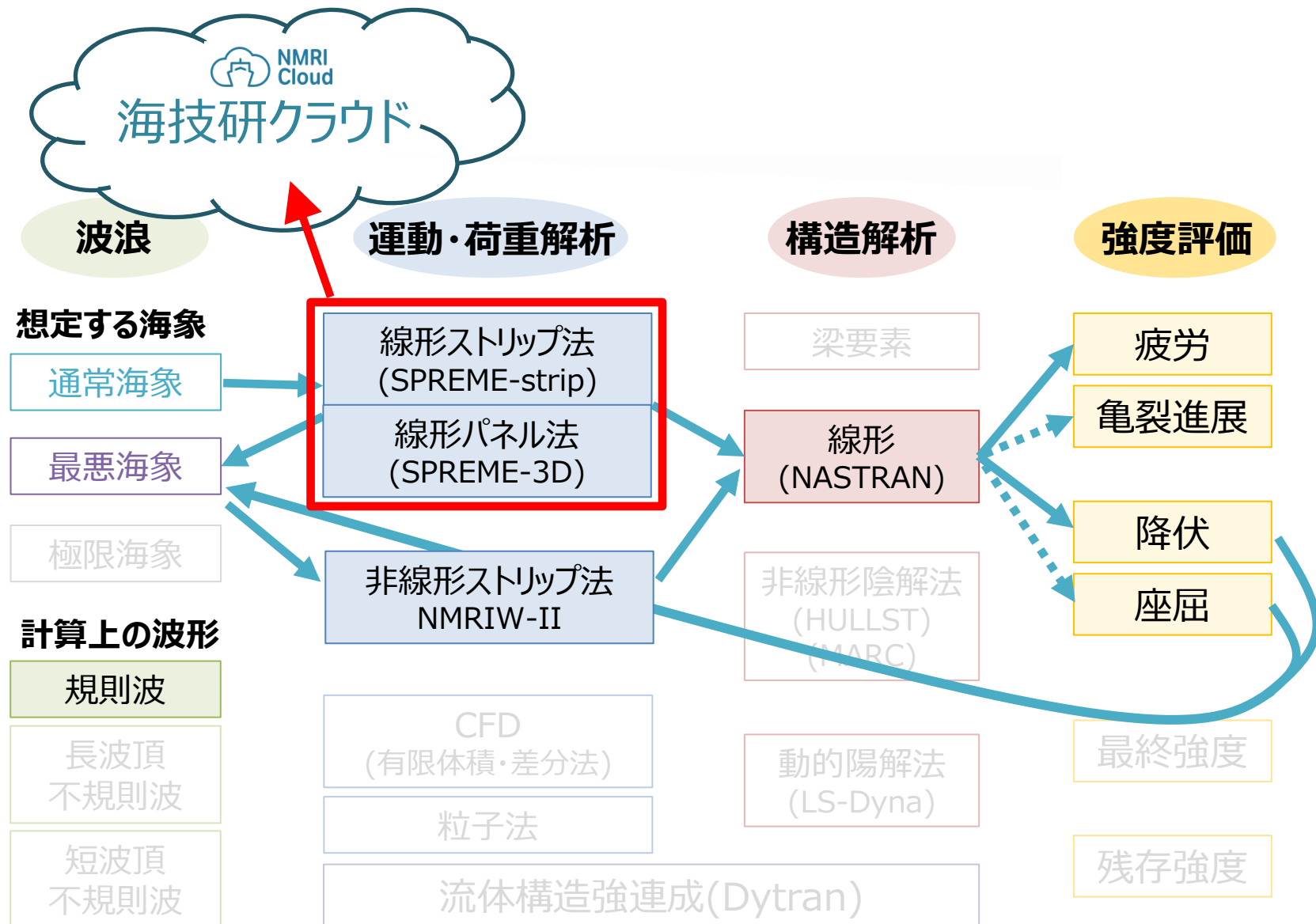
非線形統計予測機能 まとめ

- **非線形応力、および荷重の非線形性を考慮した統計予測を新たに提案し、DLSAシステムに実装**
- **従来法（線形統計予測, 等価設計波法）よりも合理性の高い応答評価が可能に**
- **等価設計波の定義が不要に**
- **構造要素マッピング機能と合わせ、支配海象の特定を含め、強力な設計支援ツールに**



海技研クラウドアプリ “SPREME-web” 紹介

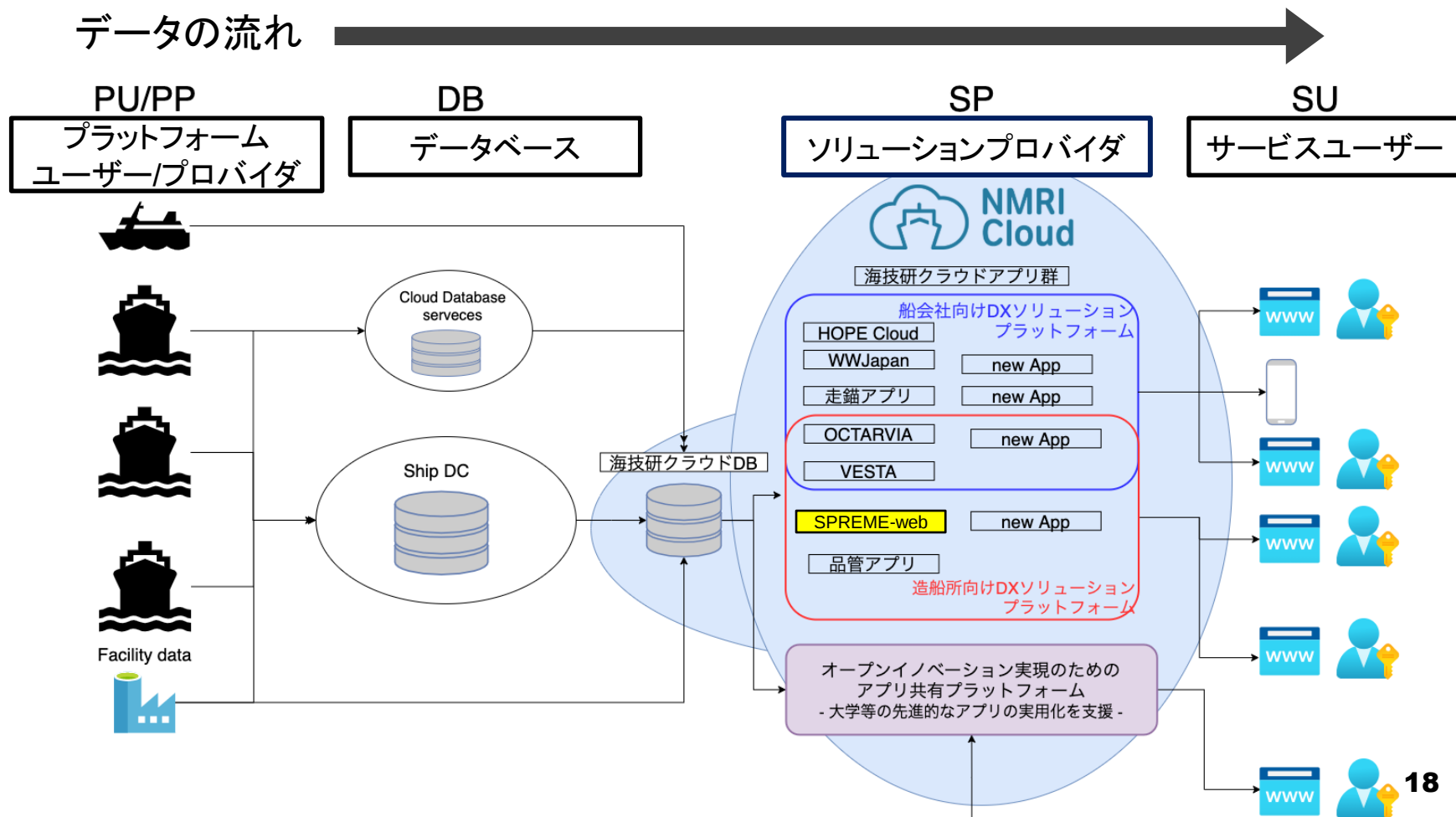
海技研クラウドアプリ “SPREME-web” の紹介



海技研クラウドとは

日本で唯一の海事総合研究所の強みを生かし、
個別サービスを統合したDXソリューション
プラットフォームとしてのサービスを提供

データの流れ



海技研クラウドポータルサイト <https://cloud.nmri.go.jp/portal/pub/top>

2021年度～ 稼働



海技研クラウドとは クラウドサービス紹介▼ よくある質問(FAQ) お問い合わせ

ログイン

会員登録

海事業界における
オープンイノベーションを加速



海事データはクラウドの時代へ

スマホ向けサイト表示



海事業界における
オープンイノベーションを加速



海事データはクラウドの時代へ

海技研クラウドとは

クラウドサービス紹介



日本近海の波と風のデータベース



HOPE Cloud (船舶性能簡易推定ツール)



錨ing (走錨リスク判定システム)



船舶推進性能データシステム



CRAS-AI (AI貨物輸送経路分析システム)

SPREME-webの紹介

- ✓ デスクトップ版と同機能(運動、加速度、断面力、水圧)
- ✓ Webブラウザ上でどこからでも簡単に操作可能、PCスペック不問

船体の断面形状および船首尾プロファイルの入力画面

The screenshot displays the SPREME-web interface with four main input windows. On the left is a vertical toolbar with icons for various functions. The windows are:

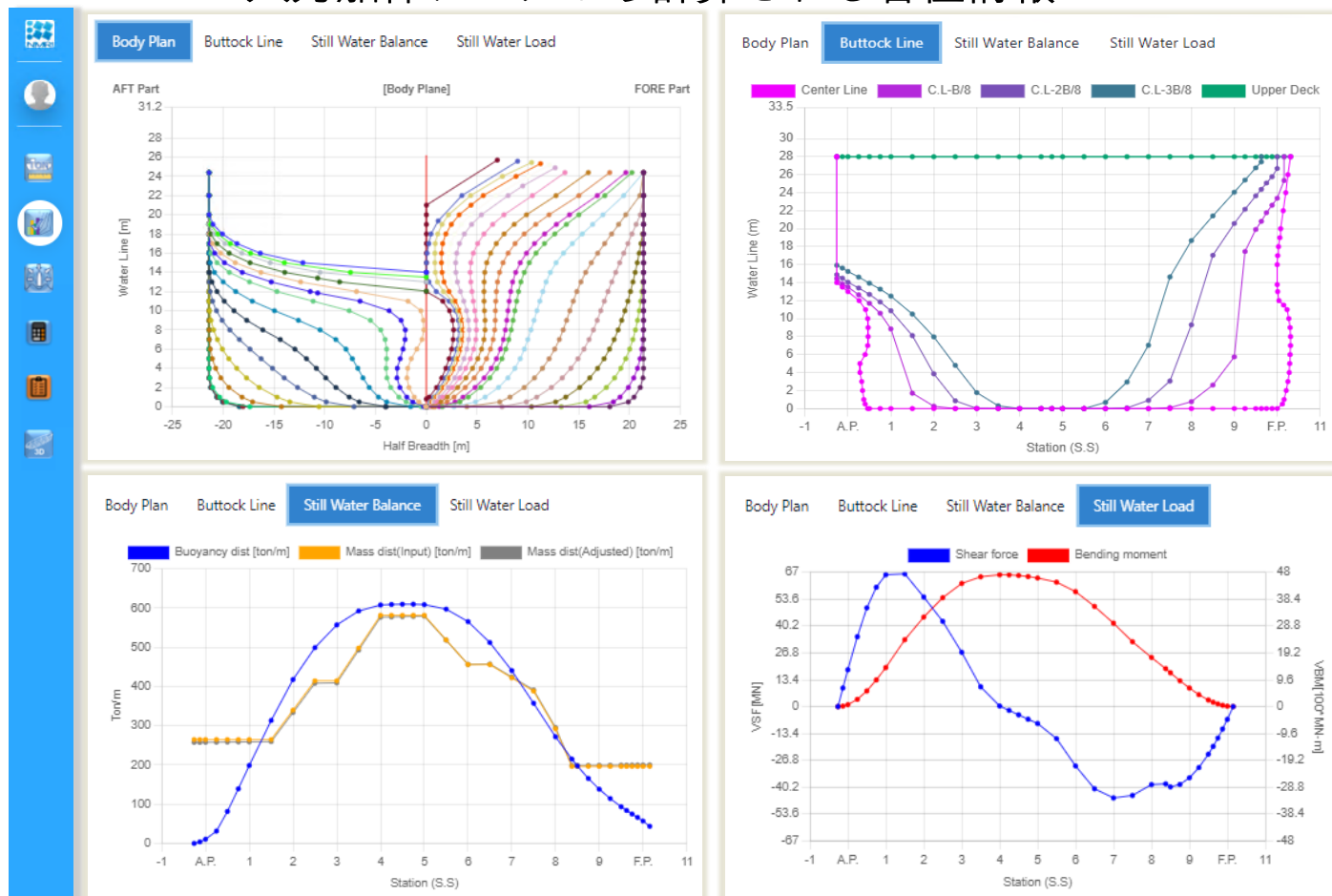
- SECTION NO. 8**: A table for inputting cross-section data for section 8 (S.S. 1.50). The table has columns for No., Half Breadth [m], and Water Line [m]. A graph to the right plots Water Line [m] against Half Breadth [m].
- SECTION NO. 32**: A table for inputting cross-section data for section 32 (S.S. 9.88). The table has columns for No., Half Breadth [m], and Water Line [m]. A graph to the right plots Water Line [m] against Half Breadth [m].
- AFT/FORE PROFILE**: A window for inputting the aft and fore profiles. It contains two sub-tables: **AFT PROFILE** (for profile 28) and **FORE PROFILE** (for profile 14). Each sub-table has columns for No., X from Midship [m], and Water Line [m]. Graphs to the right plot Water Line [m] against X from MS [m].

Each window includes an 'OK' button and a 'Cancel' button. The graphs show the resulting shape based on the input data.

SPREME-webの紹介

- ✓ デスクトップ版と同機能(運動、加速度、断面力、水圧)
- ✓ Webブラウザ上でどこからでも簡単に操作可能、PCスペック不問

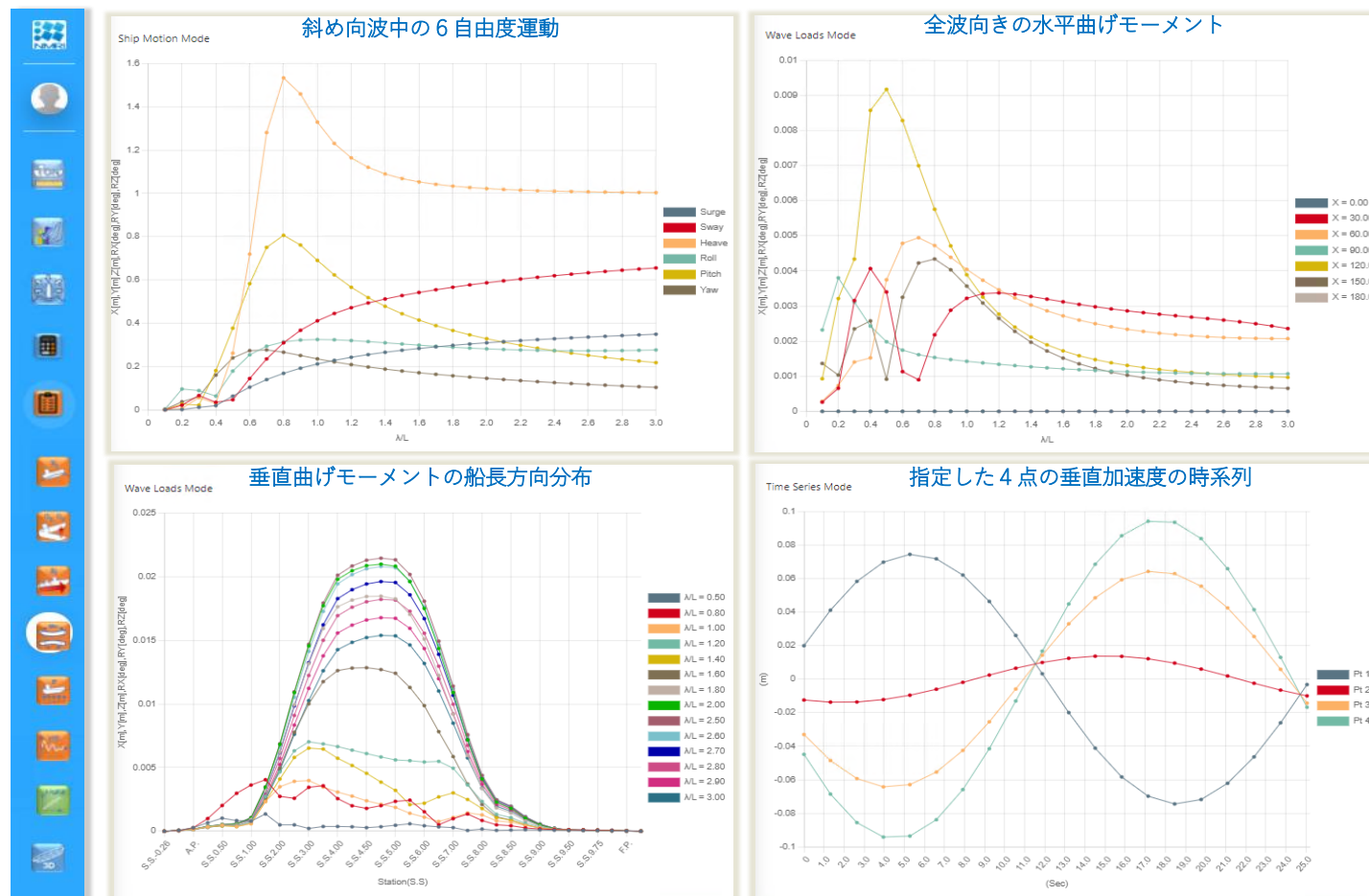
入力船体データから計算される各種情報



SPREME-webの紹介

- ✓ デスクトップ版と同機能(運動、加速度、断面力、水圧)
- ✓ Webブラウザ上でどこからでも簡単に操作可能、PCスペック不問

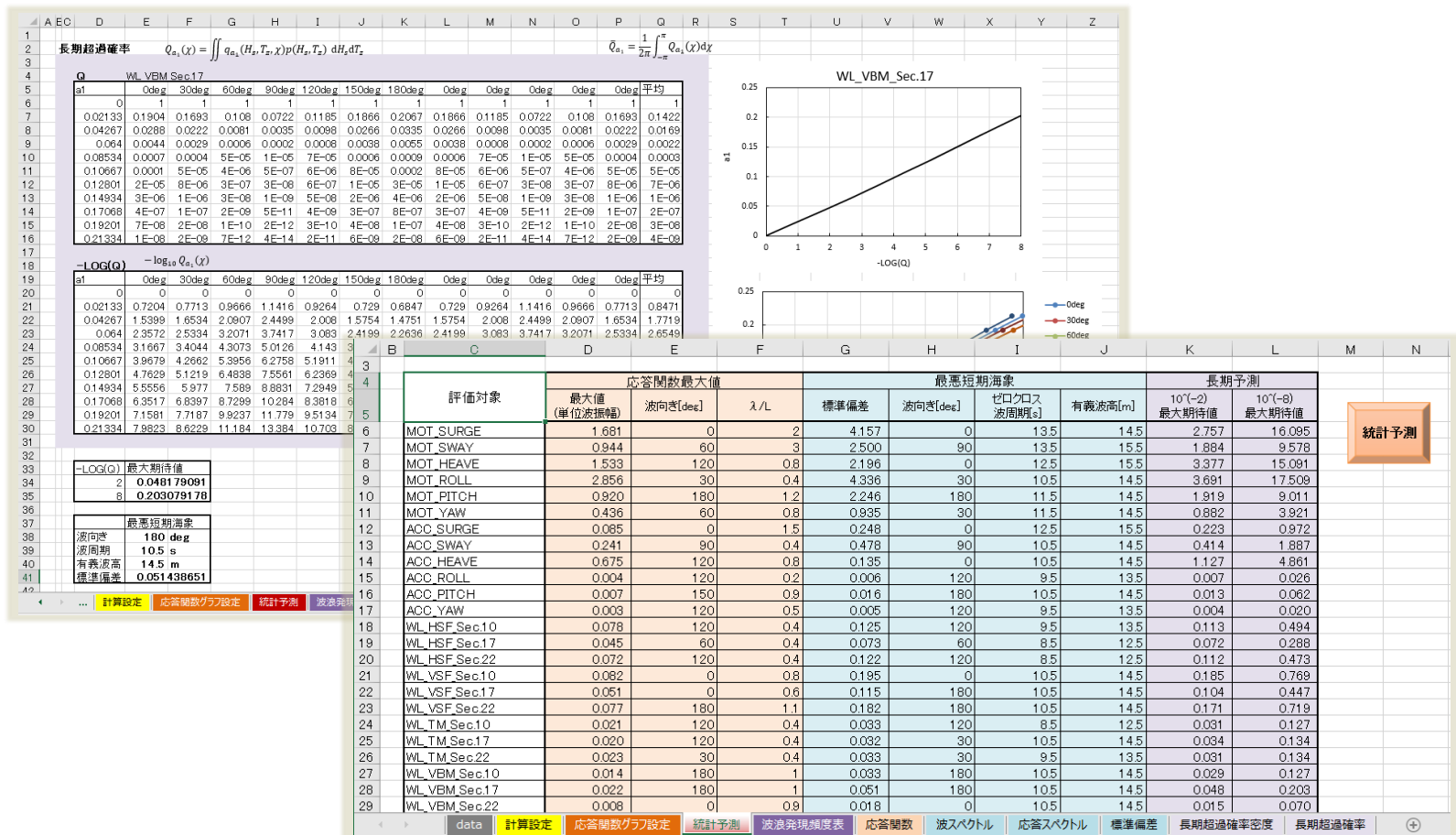
結果表示の例



SPREME-webの紹介

- ✓ デスクトップ版と同機能(運動、加速度、断面力、水圧)
- ✓ Webブラウザ上でどこからでも簡単に操作可能、PCスペック不問

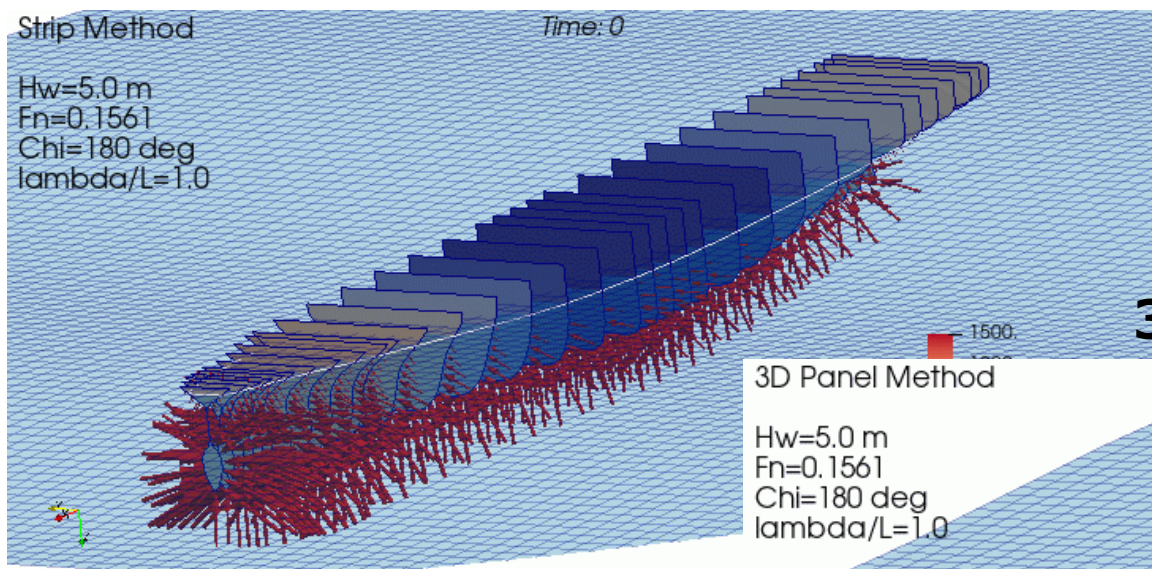
長期予測計算結果の例



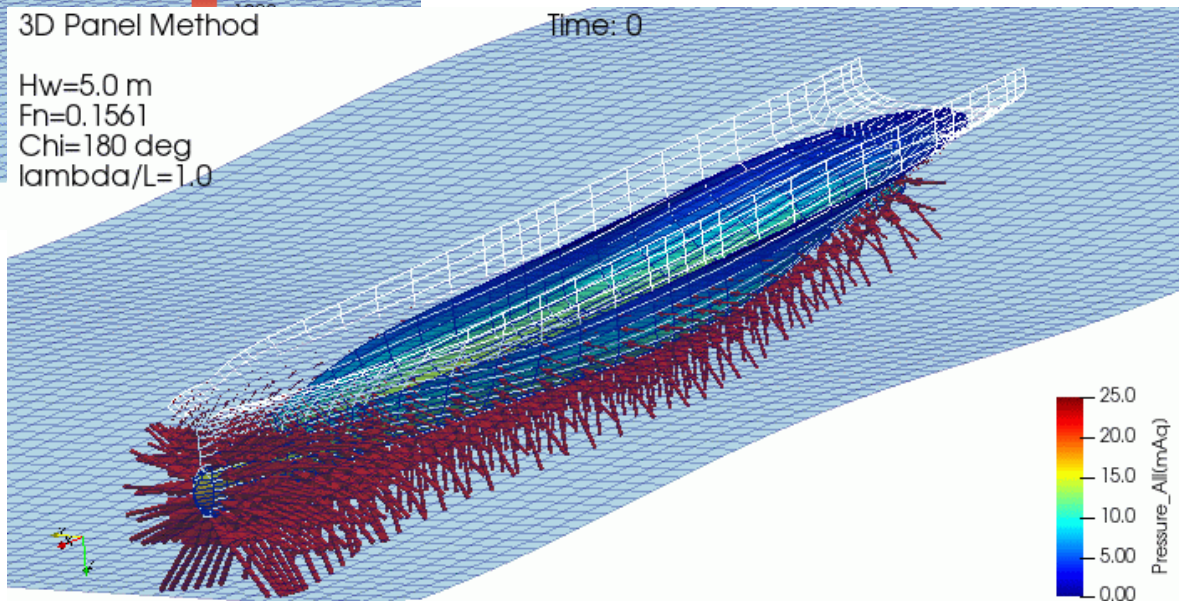
SPREME-webの紹介

- ✓ デスクトップ版と同機能(運動、加速度、断面力、水圧)
- ✓ Webブラウザ上でどこからでも簡単に操作可能、PCスペック不問

ストリップ法アニメーション



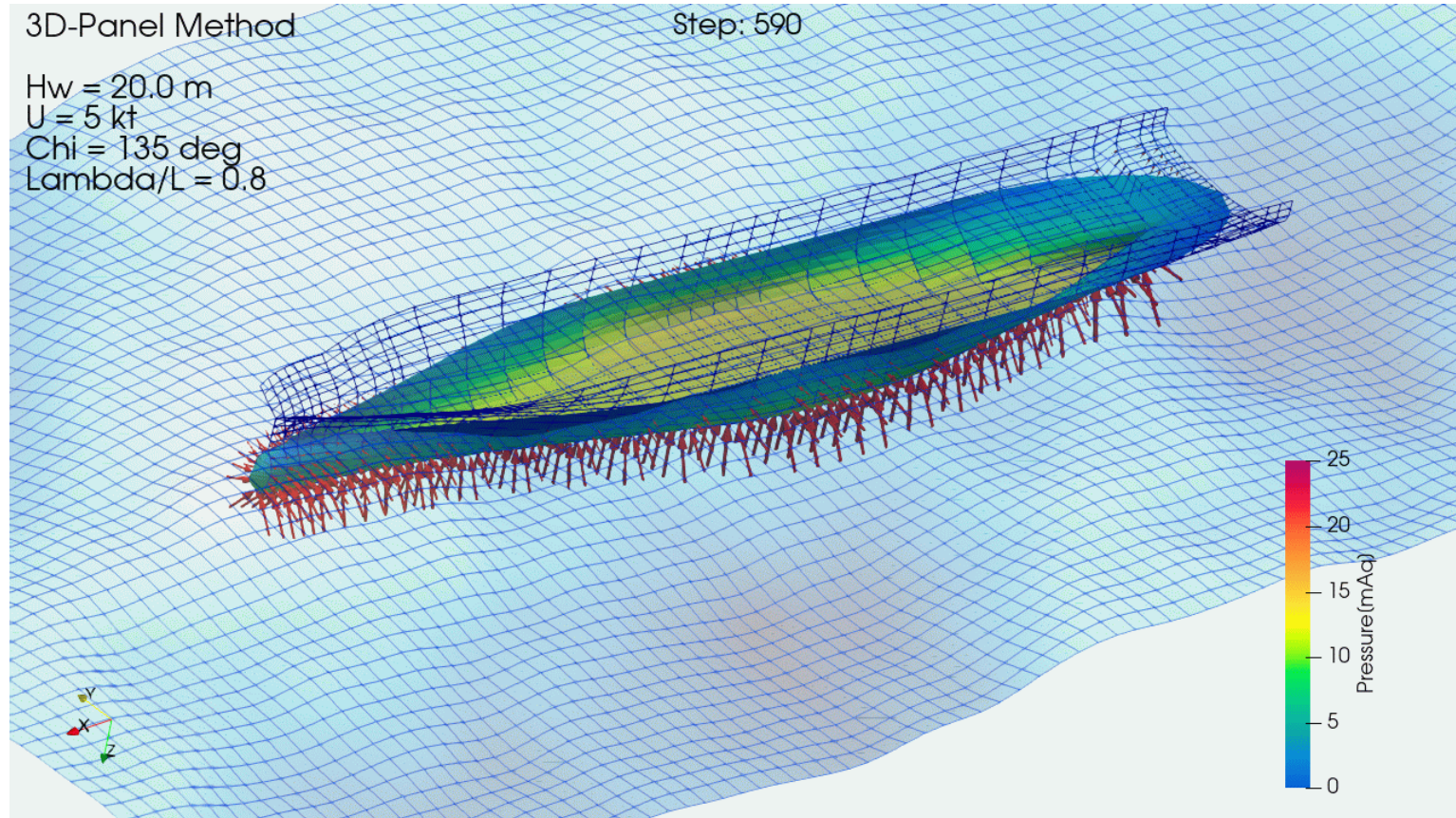
3Dパネル法アニメーション



{ ストリップ法
3Dパネル法

→ 同一のインターフェースで
ソルバーを選択可能

SPREME-webの新機能 ①不規則波中応答解析



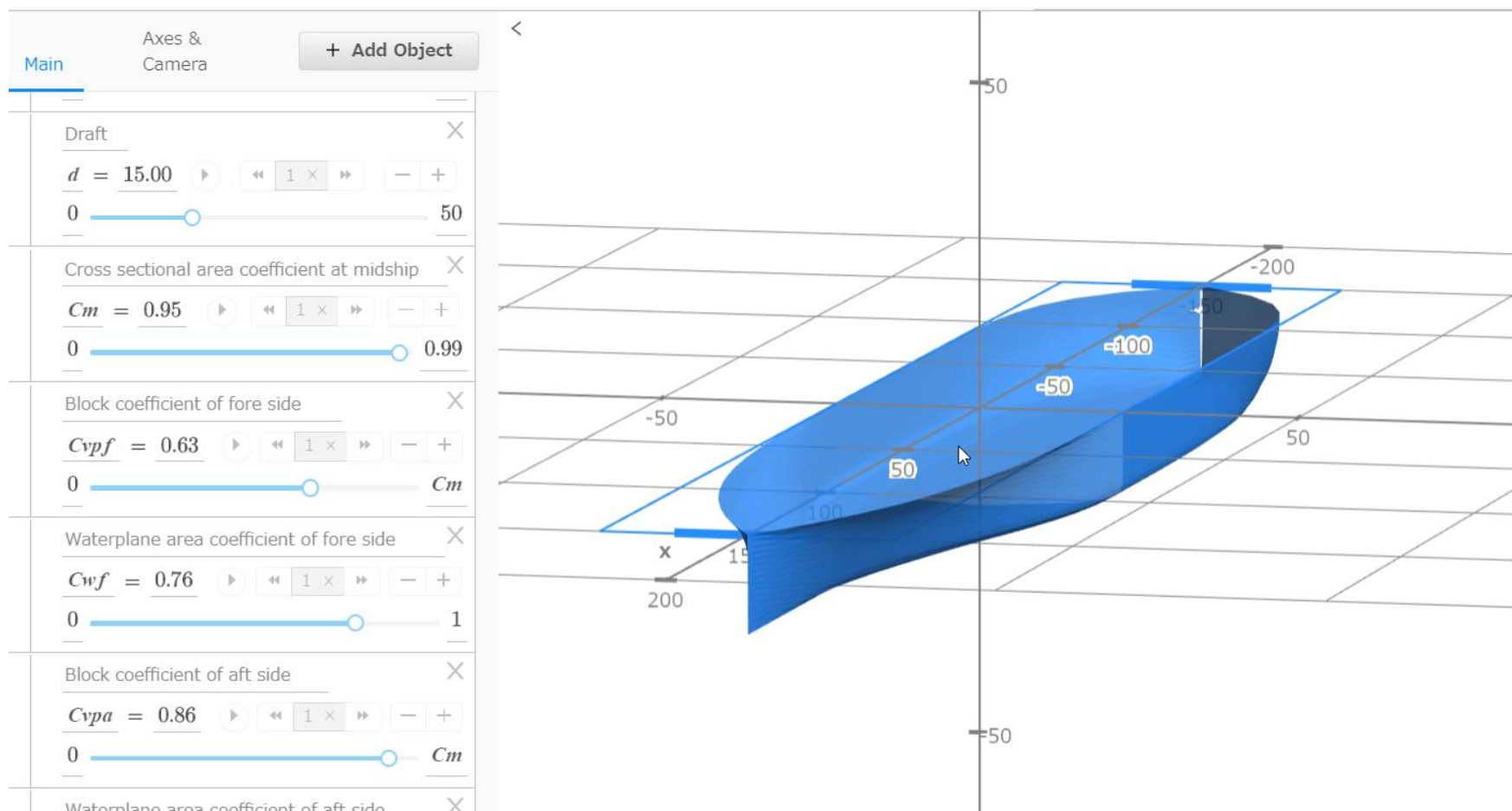
✓ 任意の不規則波を指定可能

→ **設計不規則波**を用いた荷重・構造解析が可能に

SPREME-webの新機能 ②数学船型の生成機能

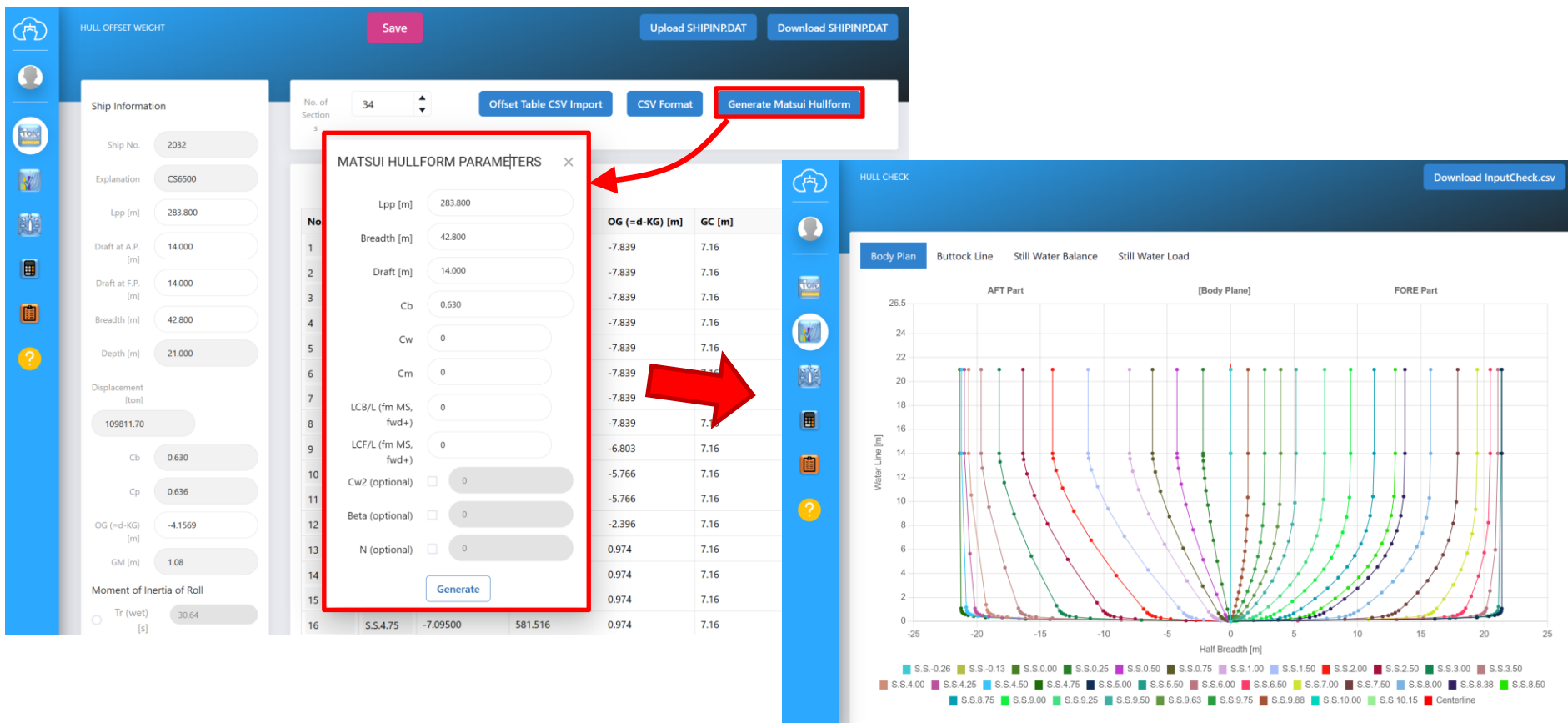
数学船型 *Matsui hull-form*※

→ 主要目($L, B, d, C_b, C_w, C_m, LCG, LCF$)のみから定まる船型



※Matsui, S: A new mathematical hull-form with 10-shape parameters for evaluation of ship response in waves, JMST, 2023

SPREME-webの新機能 ②数学船型の生成機能



✓ 主要目のみから荷重解析が可能

→ 設計初期段階での運動&荷重の評価が可能に
感度解析にも

SPREME-webの紹介

<付属資料> ハンズオンで学ぶ 波浪中船体応答

ハンズオンで学ぶ 波浪中船体応答

Ver. 1.0 2022/11/16
海上技術安全研究所 松井貞興

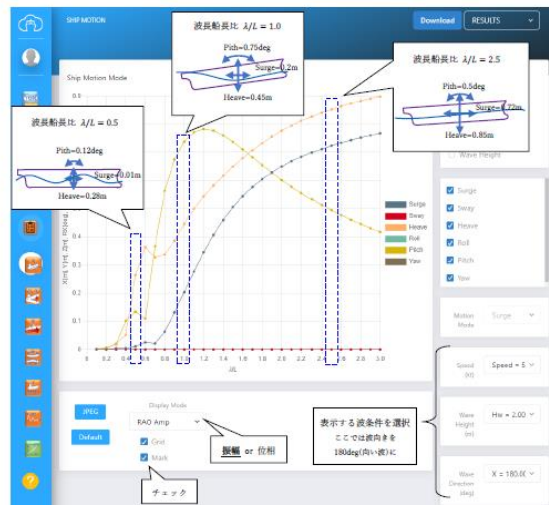
目次

1. はじめに.....	3
2. 実際に計算してみよう.....	4
2.1. 準備.....	4
2.2. 船体情報の入力.....	4
2.3. 時系列およびアニメーションの出力.....	9
2.4. 応答関数の出力.....	15
2.5. 短期・長期予測計算.....	20
3. 波浪中船体運動の応答関数の特徴を捉える.....	23
3.1. Heave 運動.....	23
3.2. Pitch 運動.....	26
3.3. Roll 運動.....	29
3.4. Surge, sway, yaw 運動.....	33
3.5. 運動加速度.....	34
3.6. 船体固定座標系の加速度.....	35
4. 波浪中ハルガード断面力の応答関数の特徴を捉える.....	37
4.1. 力のつり合いとハルガード断面力.....	37
4.2. 波浪中のハルガード断面力の考え方.....	38
4.3. 垂直曲げモーメント.....	39
4.4. 垂直せん断力.....	41
4.5. 振りモーメント.....	44
5. 短期・長期予測を理解する.....	48
5.1. 応答関数の真の役割.....	48
5.2. なぜ短期予測と長期予測の2段階に分けるのか.....	49
5.3. 短期予測①：波スペクトル.....	49
5.4. 短期予測②：応答スペクトル.....	52
5.5. 短期予測③：標準偏差、レイリー分布、1/n 最大期待値.....	53
5.6. 長期予測①：波浪発現頻度表.....	55
5.7. 長期予測②：長期予測値、最悪短期海象.....	55
6. 付録.....	58
6.1. 振動論の基礎.....	58
6.2. 流体力係数と波浪強制力.....	60
6.3. 運動モード間の連成.....	61
6.4. 線形とは何か.....	62

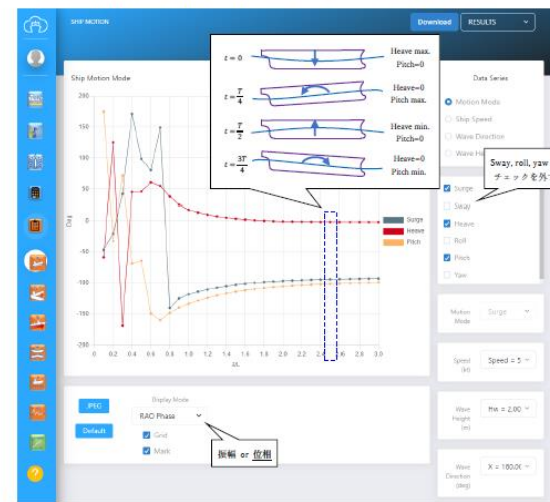
SPREME-webの紹介

＜付属資料＞ハンズオンで学ぶ 波浪中船体応答

- ⑥ [CALCULATION]タブからストリップ法 or 3D パネル法計算を実行する
- ⑦ [RESULTS]>[SHIP MOTION]から船体運動の応答関数を見る。[Display Mode]は[RAO Amp]に、[Wave direction]は[$\chi = 180\text{deg}$] (正面向い波)にする。
- ここで応答関数の見方を説明する。応答関数の横軸は (今回の場合) 波長船長比であり、グラフの左側はど波長が短く、右側はど波長の長い波の中の応答ということになる。縦軸は船体運動の振幅(m, deg)を表す。正面向い波なので、左右対称の縦運動である surge, heave, pitch 運動のみが生じている。波長船長比 0.5 (短波長) での運動はいずれも小さく、波長船長比 1.0 では pitch 運動が大きく、また波長船長比 2.5 (長波長) では heave, surge 運動が大きくなっている。



- ⑧ 次に、[Display Mode]を[RAO Phase]にして、位相を表示する。横運動(sway, roll, yaw)の位相があると見辛いので、右枠のチェックを外す。
- 位相の見方について説明しておく。まず、規則波中の応答は $y(t) = A \cos(\omega t + \epsilon)$ と表されると述べた。波長船長比 2.5 の heave 運動は $\epsilon = 0[\text{deg}]$ となっているが、これはすなわち $y(t) = A \cos(\omega t)$ なので $t = 0$ (船体の MS 位置に波の谷が来る瞬間) で heave が最大になるということである。heave は下方向への移動を正としているため、これは波の谷が来る瞬間に最も船が沈むという当たり前のことを表している。
- 次に波長船長比 2.5 の pitch 運動に着目すると、 $\epsilon = -90[\text{deg}] (= -\pi/2 [\text{rad}])$ となっている。これは、 $y(t) = A \cos(\omega t - \pi/2)$ であるため、 $\omega t - \pi/2 = 0 \leftrightarrow t = T/4$ ($T = 2\pi/\omega$ は周期[s]) のときに最大となる。すなわち、船体の MS 位置に波の谷が来る瞬間から 1/4 周期後の波傾斜が最大になる瞬間に pitch が最大 (船首上げ状態) になるという、こちらも当然のことを表している。
- 基準時間 $t = 0$ の定義はツールによって様々で、また応答の正負の定義もツールに依るため、出力される位相はツール間で値が異なることに注意が必要である。



SPREME-webの紹介

＜付属資料＞ハンズオンで学ぶ 波浪中船体応答

① 横波の $\lambda/L = 0.6$ 付近

まず着目したいのは、横波 ($\chi = 90^\circ$) の短波領域でピークをとっている部分である。このピークは同調現象であり、heave の固有周期 (波の無い状況で船を揺んで持ち上げ、放したときに自由に heave するときの周期) と波の周期が一致していることが原因である。Heave の振幅が 1.4m なので、振幅 1m の波の 1.4 倍大きな運動をしている。

② 全波向きの長波長域 $\lambda/L = 3.0$

長波長域に着目すると、いずれの波向きも波長が長いほど heave の振幅が 1m に近づいていくことがわかる。これは波振幅が 1m であることから、heave が波に乗ってゆっくりと上下する状況を意味する。非常に波長が長い規則波 ($\lambda/L = 5 \sim$) では、波というよりも水面がただ上下するだけ、といったような状況になる。

③ 全波向きの短波長域 $\lambda/L = 0.1$

短波長域に着目すると、いずれの波向きも heave 運動がほとんど生じていない。これは、波長が短すぎると船にかかる山谷の数が増え、上下の力がキャンセルされるためである。Heave 運動に限らず、一般に以下が言える。

ポイント#3 短波長域の船体応答

波浪変動圧力を除く船体応答 (運動、ハルガード断面力) は、波長が短いほど流体力のキャンセルが起こるため小さくなる

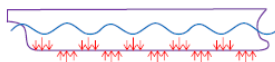


図 3.3 短波長規則波によって船に作用する力 (図の圧力は静水圧成分を除いている)

④ なぜ横波以外では同調現象の明確なピークがみられないのか？

この原因は、上記③と同じである。Heave の固有周期は波向きに依らず同じはずで、この船ではおよそ (船速ゼロで) $\lambda/L = 0.6$ 付近にある。しかし、 $\lambda/L = 0.6$ は向い波では、船にかかる波と山がおおよそ 2 つずつになり上下の力がほぼキャンセルされてしまっており、外力としては小さい状態になる (左下図)。一方で同じ $\lambda/L = 0.6$ の波でも、横波の場合は船にかかる波の山 or 谷は 1 つになって、キャンセルされずしっかりと上下力が船に作用する。

よって、横波以外でも同調現象は生じているはずなのだが、外力が小さくピークが顕在化しないというのが答えである。次のことは当たり前だが、船体運動を理解する上で特に重要な観点である。

ポイント#4 運動の応答関数のピーク

一般に、同調周期でかつ外力が大きい場合に運動が過大になる。同調周期であっても、その波から受ける外力が小さいと応答関数はピークをとらない

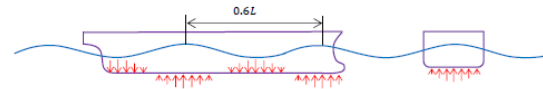


図 3.4 $\lambda/L = 0.6$ の規則波によって船に作用する力

ただし、船速が速い場合、向い波でも heave のピークが表れることがある。これは、heave の固有周期は船速が変わっても変化しないが、ドップラー効果によって heave の固有周期の動揺を生じる波長 λ が長くなるためである。 $\lambda/L = 1$ より長い波長で同調を起こす場合、波の山谷による上下力のキャンセルは起こらず、大きな heave が生じる。

ドップラー効果の最も分かりやすい例として、向い波において入射波の進むスピードと全く同じスピードで船が前進する状況を考える。この場合、同じ波長 λ の波でも船が実際に受ける波の周期 (出会い波周期と呼ぶ) は船が前進していない場合の半分になることがわかる。

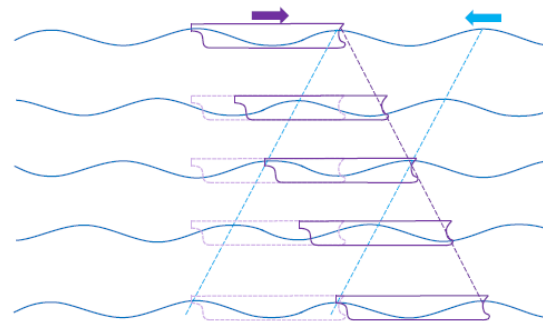


図 3.5 前進速度による向い波における出会い波周期の短縮 (船が入射波と同じスピードで前進する場合、船が前進しない場合の 2 倍の波を受け、出会い波周期は半分になる)

SPREME-webの紹介

＜付属資料＞ハンズオンで学ぶ 波浪中船体応答

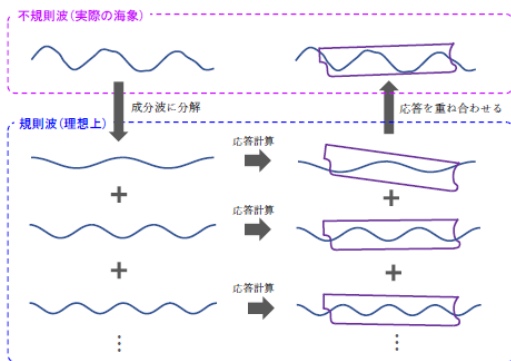


図 5.1 線形重ね合わせの原理に基づく不規則波中船体応答の計算法

5.2. なぜ短期予測と長期予測の2段階に分けるのか

この理由は、短期予測では

ポイント#24 短期海象中の応答の特徴

短期海象中の応答の極大値の確率分布はレイリー分布で近似できる

という非常に都合のよい統計的性質が成り立つからである。具体的には 5.5 節で後述するが、今は短期海象中の応答が計算上極めて有用な性質を持つということを理解しておけばよい。この性質は、主に3時間程度の短期期間では有義波高、平均波周期等の統計的性質は変化しない（定常）とみなせることに立脚している。よって、長期期間（約10⁵波）を約10⁵個の定常とみなせる短期期間（約1000波）に分割して、各短期海象での統計値を上記の性質を使って計算したのちに、それを合計して長期の統計値を予測するのである。

5.3. 短期予測①：波スペクトル

すでに用語として何度か登場した“波スペクトル”について具体的に説明しておく。不規則波は成分波に分解できると説明したが、その成分波の情報を集めて不規則波を特徴づけるものが波スペクトルである。

ポイント#25 波スペクトルの意味

波スペクトルは、不規則波を成分波に分解し、その成分波の周波数毎の振幅の大きさ（の二乗）の情報を集約した関数

具体的には、波スペクトルは波周波数 ω の関数 $\phi_{\zeta\zeta}(\omega)$ で表され、横軸を適当に分割したときの短冊の面積 $\phi_{\zeta\zeta}(\omega_i) \times \Delta\omega$ が、波周波数 ω_i の成分波の振幅の二乗を意味する（下図）。また、全面積 $\int_0^\infty \phi_{\zeta\zeta}(\omega) d\omega$ は不規則波変位 ζ の標準偏差（後述）の二乗に対応する。波スペクトルの記号 $\phi_{\zeta\zeta}$ で、 ϕ の下付き文字に ζ が2つ並んでいるのは“ ζ の二乗に対応するから”である。

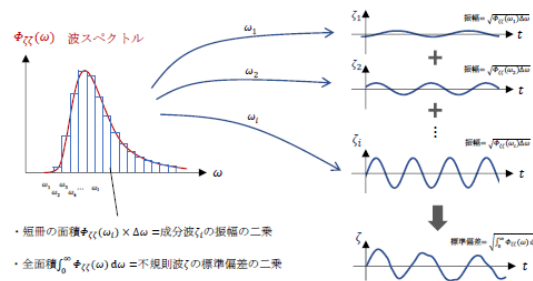


図 5.2 波スペクトルに対応する成分波と不規則波

なお、不規則波をなす成分波が全て一方向から来る場合を長波頂不規則波(Long-crested wave)とよび、方向的に分散している場合を短波頂不規則波(Short-crested wave)とよぶ（図 5.3）。実際の海象は当然後者であり、その場合波スペクトルは波周波数に加え波向き β も変数に持つ二変数関数 $\phi_{\zeta\zeta}(\omega, \beta)$ として表される。多くの場合は $\phi_{\zeta\zeta}(\omega, \beta) = \phi_{\zeta\zeta}(\omega) D(\beta)$ のように近似し、波スペクトル $\phi_{\zeta\zeta}(\omega)$ と方向分散の関数 $D(\beta)$ は別々に考慮される。

波スペクトルは実際の海象の観測データから決められる。種類は様々あるが、よく用いられるのはゼロアップクロス平均波周期 T_z と有義波高 H_z から定まる ISSC（ピアソン・モスコビッツ型）波スペクトルである。エクセルの[WaveSpectr]シートに、 T_z ごとの長波頂の ISSC 波スペクトル $\phi_{\zeta\zeta}(\omega)$ が計算されている（方向分散は後で考慮する¹⁴⁾）。これは有義波高 $H_z =$

¹⁴⁾ 波頂不規則波における計算については、波の方向分散（波スペクトルの β 依存性）は応答の標準偏差の段

SPREME-webの紹介

＜料金表＞（サブスクリプション形式）

期間	ストリップ法	3Dパネル法	ストリップ法 & 3Dパネル法
6か月	¥110,000	¥150,000	¥210,000
12か月	¥150,000	¥200,000	¥280,000



DLSA-Basic 非線形統計予測機能 及び クラウドアプリ“SPREME-web” 紹介

ご清聴ありがとうございました