

# 不規則波中の船舶性能を 再現する規則波条件を 決定するための一手法

北川 泰士(海上技術安全研究所)

蓮池 伸宏(ナカシマプロペラ株式会社)

# 背景

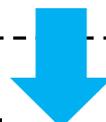
- ✓ 海上技術安全研究所とナカシマプロペラは“模型実験による波浪中プロペラトルク変動の評価方法”に関する研究を実施中
- ✓ 構築する実験法の最終的な狙い⇒長水槽において（一方向造波で）、実船の波浪中船速低下を再現してプロペラ負荷を実船相当にして、プロペラ負荷変動を評価できることが望ましい
- ✓ 問題提起:「 $f_w$ の評価に適用可能な規則波条件を決定することは可能か？」

# 背景(2)～不規則波特性を考慮した規則波の造波

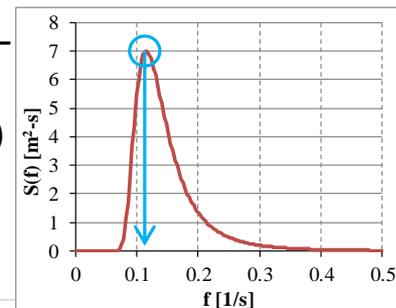
簡易な検討では...

不規則波情報  
@実船スケール

	有義波高[m]	平均波周期 [s]		平均波高[m]	ピーク波高 [m]	ゼロアップクロス周期[s]	極値間周期 [s]	ピーク周期 [s]
B.S 5	2.0	5.5	⇒	1.25	1.60	5.32	4.12	7.14
B.S 6	3.0	6.7		1.88	2.65	6.38	4.69	8.70
B.S 7	4.0	7.7		2.50	3.78	7.28	5.17	10.00



フルード則で換算  
(模型縮尺: 1/47.3)



規則波条件として  
設定する波振幅と  
波周期  
@模型スケール

	有義波高 [cm]	平均波高 [cm]	ピーク波高 [cm]	波長船長比に換算				
B.S 5	4.23	2.64	3.38	from 平均波周期	fromゼロアップクロス周期	from 極値間周期	from ピーク周期	
B.S 6	6.34	3.96	5.59	0.22	0.20	0.12	0.37	
B.S 7	8.45	5.29	7.99	0.32	0.29	0.16	0.54	
	平均波周期 [s]	ゼロアップクロス周期[s]	極値間周期 [s]	ピーク周期 [s]	波長船長比に換算			
B.S 5	0.80	0.77	0.60	1.04	from 平均波周期	fromゼロアップクロス周期	from 極値間周期	from ピーク周期
B.S 6	0.97	0.93	0.68	1.26	0.43	0.38	0.19	0.72
B.S 7	1.12	1.06	0.75	1.45				

✓ 他に、高石ら<sup>1)</sup>は船体動揺及び転覆の実験的評価に関する研究で、適切な条件設定により不規則波中の出会い群波を規則波で模擬できることに言及

1) 高石敬史, 梅田直哉, 他: 追波中の水槽実験における波浪条件について, 関西造船協会誌, 第225号, pp.107-114, 1996.

# 背景(3) $f_w$ の計算と想定海象

- ✓  $f_w \Rightarrow$  EEDIweather計算に必要なパラメータの一つ。  
75%MCRにおける、対象の不規則海象における船速と平水中船速の比を意味する<sup>2)</sup>
- ✓ 想定海象：ビューフォート風力等級6の多方向不規則波、周波数スペクトルはISSC型・方向分布関数は $\cos^2$ 型、出会い波向きは波主方向、風向は向風
- ✓  $f_w$ の計算過程：不規則波中抵抗増加・風圧抵抗・75%MCRの主機特性・プロペラ特性を介して計算

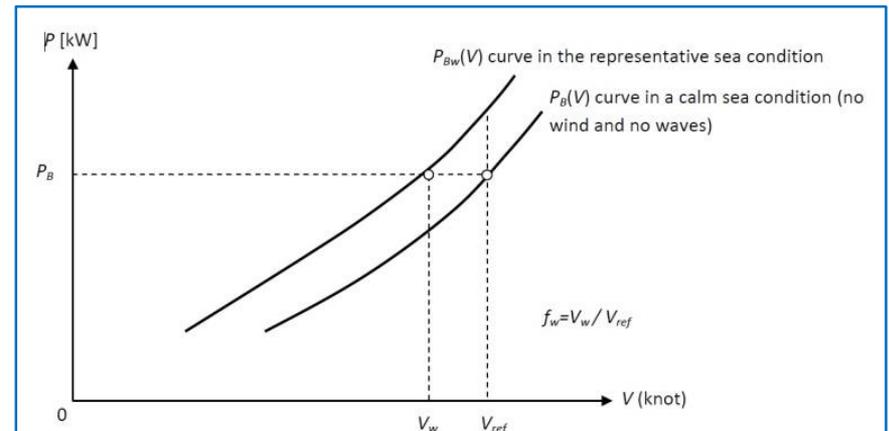


Figure 1.2: Relation between power and the decrease in ship speed

# 研究目的

**妥協点:** 与えられた不規則海象の性質のみから、模型船で $f_w$ と同じ船速低下となる規則波条件を決定することは(おそらく)不可能  
 $\uparrow f_w$ は船舶性能・プロペラ性能によって決定するため

当初の狙い: 実船相当の船速低下 + プロペラ負荷状況を再現できる一方向規則波の条件を検討する

想定不規則波を航走中の実船と...

1. 相似な抵抗増加量を与える規則波条件
2. 船体動揺の代表値と相似な動揺を与える規則波条件

以降、不規則波中の船舶性能を再現する規則波→相当規則波とする 5

# 実海象中外乱による抵抗増加

**問題:** 想定海象中の抵抗増加を与える規則波条件を決定する

→外乱による抵抗量が相似となれば船速低下量も基本的には相似と言える  
(ただし、主機特性を考慮したプロペラ回転数応答は別途考慮が必要)

	B.S 5	B.S 6	B.S 7
実船スケール			
有義波高[m]	2.0	3.0	4.0
平均波周期[s]	5.5	6.7	7.7
平均風速[m/s]	9.8	12.6	15.7

- 想定海象中の波浪中抵抗増加と風圧抵抗は計算で推定可能
- 抵抗増加量の合計値と相似な抵抗増加量をもたらす規則波条件は求められる

# 実海象中抵抗増加を与える規則波条件

$$\begin{cases}
 X_{W|Irregular} + X_A = X_{W|Regular} \\
 X_{W|Irregular} = 2 \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{X_{W|Reg.} [\omega, \chi, u]}{\zeta_w^2} E[\omega, \chi; H_w, T_w, \theta_{main}] d\omega d\chi \\
 X_A = \frac{1}{2} \rho_A A_T U_A^2 [u, U_{wind}, \psi_{wind}] \cdot C_X [\psi_A] \\
 X_{W|Regular} [\omega, \chi, u] = 4 \rho g \zeta_w^2 B^2 / L \cdot K_{AW} [\omega, \chi, u]
 \end{cases}$$

- 波浪中抵抗増加及び風圧抵抗は船速に依存→船速をまず決定する必要あり
- 船速を指定すれば相当規則波の条件を波長(あるいは周期)と波高の1本のラインとして求められる
- 想定する船速( $f_w$ など)を何らかの手法で予め求める

# 対象船(パナマックスバルクキャリア)

## 対象船 主要情報



Item	Full	Model
Principal Parameter		
$L_{pp}$ [m]	217	4.585
$B$ [m]	32.26	0.682
$d$ [m]	12.2	0.258
$C_b$	0.840	
$D_p$ [m]	7.100	0.150
Service Speed		
$V_S$ [m/s]	7.459	1.084
Subject Engine		
Output (MCR) [kW]	9065	12.15
$n_e$ (MCR) [rps]	1.467	10.09
For Wind Pressure Force		
$A_T$ [m <sup>2</sup> ]	443.5	0.198
$C_X$ (Head)	0.826	

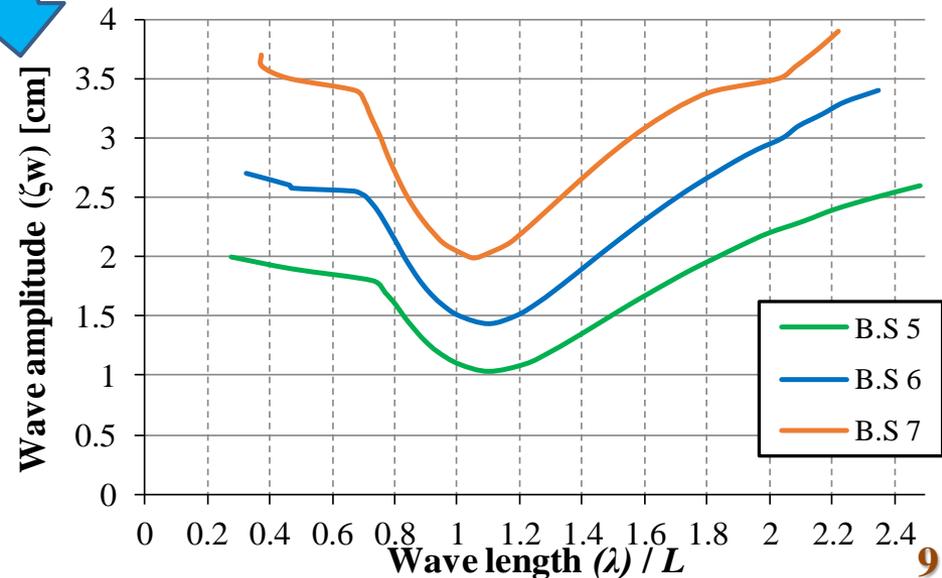
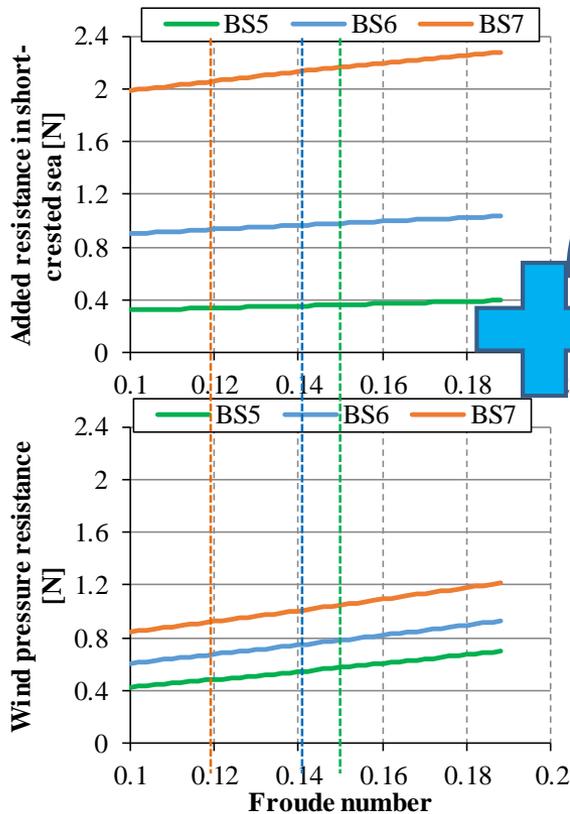
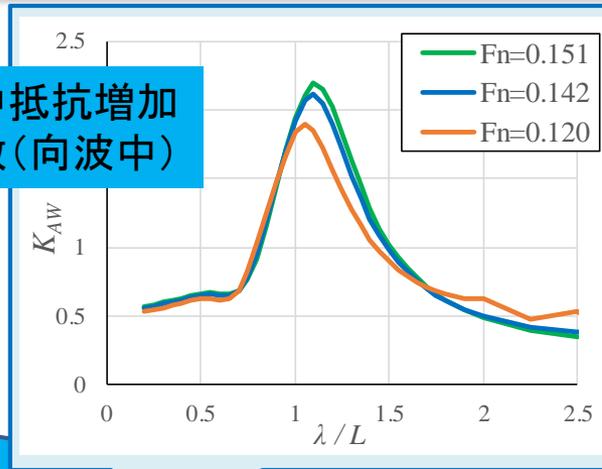
✓ 海技研で設計したパナマックスサイズのバルクキャリア(実船建造は無し)

# 相当規則波条件 (相似:実海象中抵抗増加)

VESTA<sup>3</sup>による船速低下  
の推定結果

	$F_n$ @75%MCR	$V_W / V_S$
B.S 5	0.151	0.932
B.S 6	0.142	0.881
B.S 7	0.120	0.740

規則波中抵抗増加  
応答関数(向波中)



# 追加の相当規則波条件

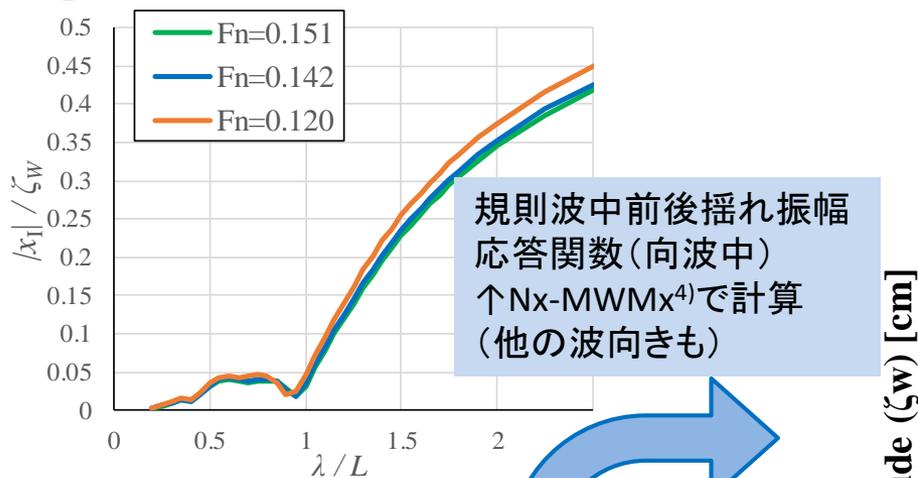
- 想定海象中の風波中抵抗増加に相当する抵抗増加を与える規則波の波振幅－波長カーブは得られた
- →カーブ上のどのポイントを選んでも良く、条件は無数
- 不規則波中の船体運動振幅の有義値など、他の相似条件から別のラインを引く→交差点は両方の相似を満たす
- 波浪中プロペラトルク変動の評価のため、プロペラ流入速度変動に影響の大きい船体前後揺れの相似を検討する

$$m_0 = \int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} |H_1[\omega, \chi; u]|^2 \cdot E[\omega, \chi; H_w, T_w, \theta_{main}] d\omega d\chi$$

$$\text{短期予測値} \Rightarrow \begin{cases} 1/3 \text{最大平均値 (有義振幅)} = 2.002\sqrt{m_0} \\ \text{平均振幅} = 1.253\sqrt{m_0} \\ 1/10 \text{最大平均値} = 3.336\sqrt{m_0} \end{cases}$$

# 相当規則波条件

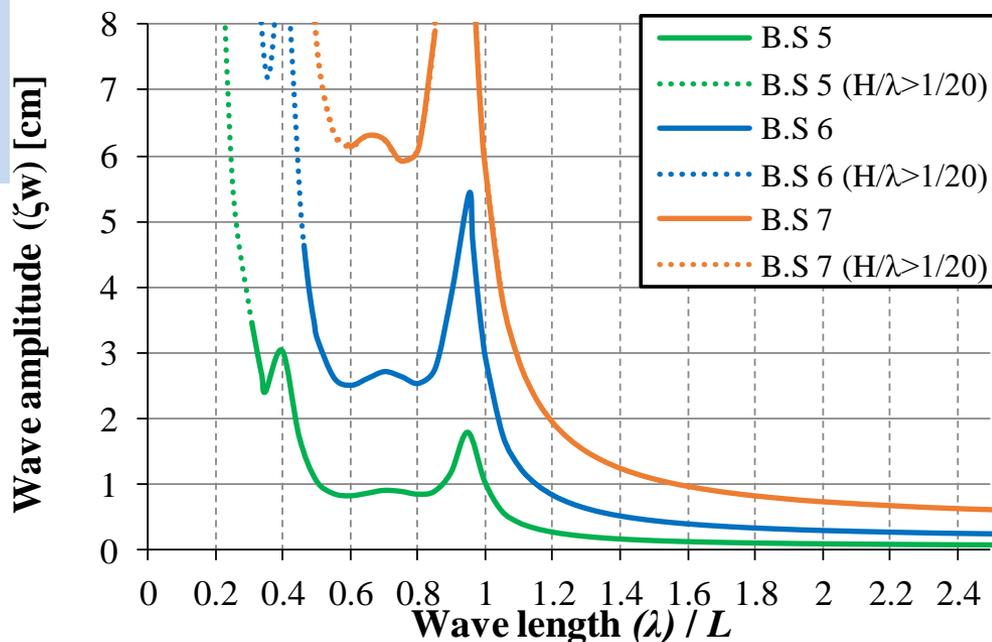
(相似: 実海象中前後揺れ振幅)



短期予測

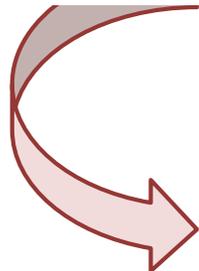
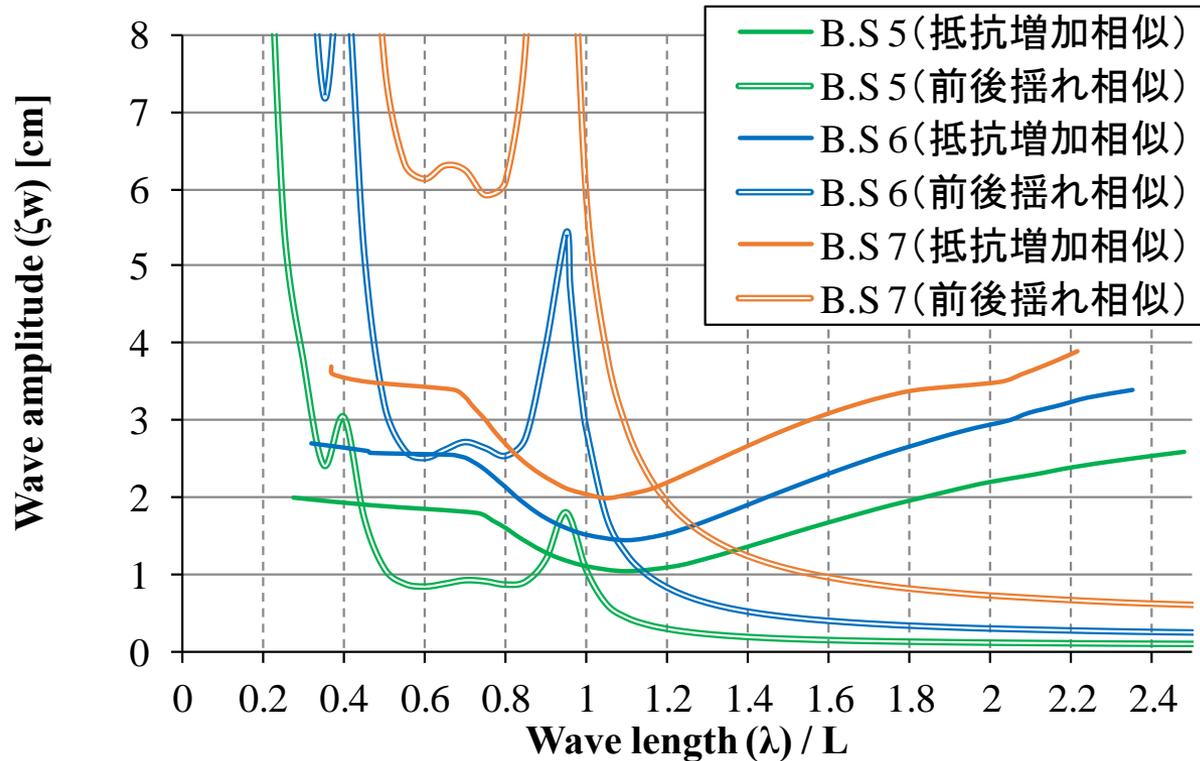
有義振幅  
から算出

Item		Full	Model
B.S 5	有義振幅 [m]	1.57E-02	3.32E-04
	平均振幅 [m]	9.84E-03	2.08E-04
	1/10 最大平均 [m]	2.00E-02	4.23E-04
B.S 6	有義振幅 [m]	4.92E-02	1.04E-03
	平均振幅 [m]	3.08E-02	6.51E-04
	1/10 最大平均 [m]	6.26E-02	1.32E-03
B.S 7	有義振幅 [m]	1.30E-01	2.75E-03
	平均振幅 [m]	8.15E-02	1.72E-03
	1/10 最大平均 [m]	1.66E-01	3.50E-03



# 相当規則波条件

(相似: 実海象中抵抗増加と前後揺れ)

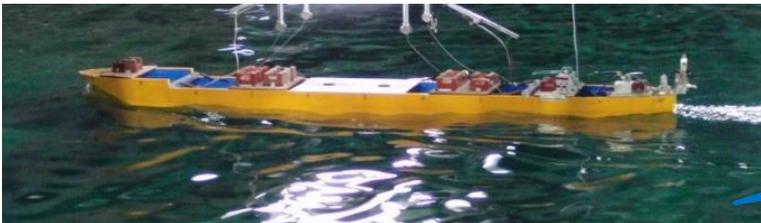


Beaufort Scale		$\lambda / L$	$\lambda$ [m]	$\zeta_w$ [cm]	$H_w / \lambda$
B.S 5	(1)	0.442	2.027	1.913	1.89E-02
	(2)	0.908	4.163	1.266	6.08E-03
	(3)	0.996	4.565	1.103	4.83E-03
B.S 6	(1)	0.561	2.573	2.548	1.98E-02
	(2)	0.609	2.791	2.528	1.81E-02
	(3)	1.081	4.955	1.438	5.81E-03
B.S 7	(1)	1.173	5.380	2.133	7.93E-03

# まとめ

- ✓ 想定海象中の実船相当プロペラ負荷状況を一方向規則波で再現することを狙いとして、想定海象中の船舶性能を再現する規則波(相当規則波)の条件決定方法について検討した
- ✓ 相似条件を想定海象中の(1)風波中抵抗増加、(2)前後揺れの有義振幅、としてバルクキャリア船を対象に試算を実施

例えば自由航走試験では...



プロペラ回転数と摩擦修正量相当を適切に与えれば、実船相当の船速でプロペラトルク変動を評価できる

# 謝 辞

本研究はナカシマプロペラ株式会社との共同研究の  
成果であり、研究費の一部に助成を受けています

ご清聴ありがとうございました

# 参考文献

1. 高石敬史, 梅田直哉, 他: 追波中の水槽実験における波浪条件について, 関西造船協会誌, 第225号, pp.107-114, 1996.
2. MEPC.1/Circ.796, “Interim guidelines for the calculation of the coefficient  $f_w$  for decrease in ship speed in representative sea condition for trial use”, 2012.
3. 辻本勝, 粉原直人, 他: 実運航シミュレータ VESTA, 海上技術安全研究所報告, 第15巻 第4号, pp.449-459, 2016.
4. Kitagawa Y., Kashiwagi M.: A Strip Method Including  $n_x$ -Related Terms and Its Effects on Propeller Inflow Velocity in Waves, 日本船舶海洋工学会論文集, 第29号, pp.39-50, 2019.