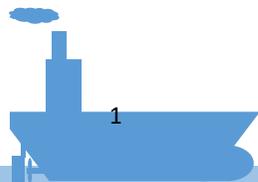


# 実海域性能シミュレーションによる 船体応答の長期予測

大阪大学 箕浦宗彦



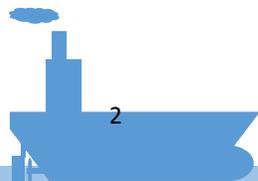
# 実海域性能シミュレーション

---

実海域(波・風・流れあり)を航行する船にはたらく定常流体力と推進器(プロペラ)による定常推力のつりあいから、遭遇海象下での平均船速、斜航角、軸回転数、軸トルクなどを求める。遭遇海象を現実在即して変化させることで、

- 長期的な経済性、安全性、信頼性の評価
- 運航方針・運航シナリオの検証
- 運航モニタリングデータとの比較
- 性能の経年劣化の推定
- 最適航路の選定
- 事故原因の調査

などができる。

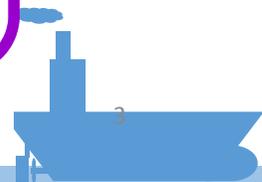
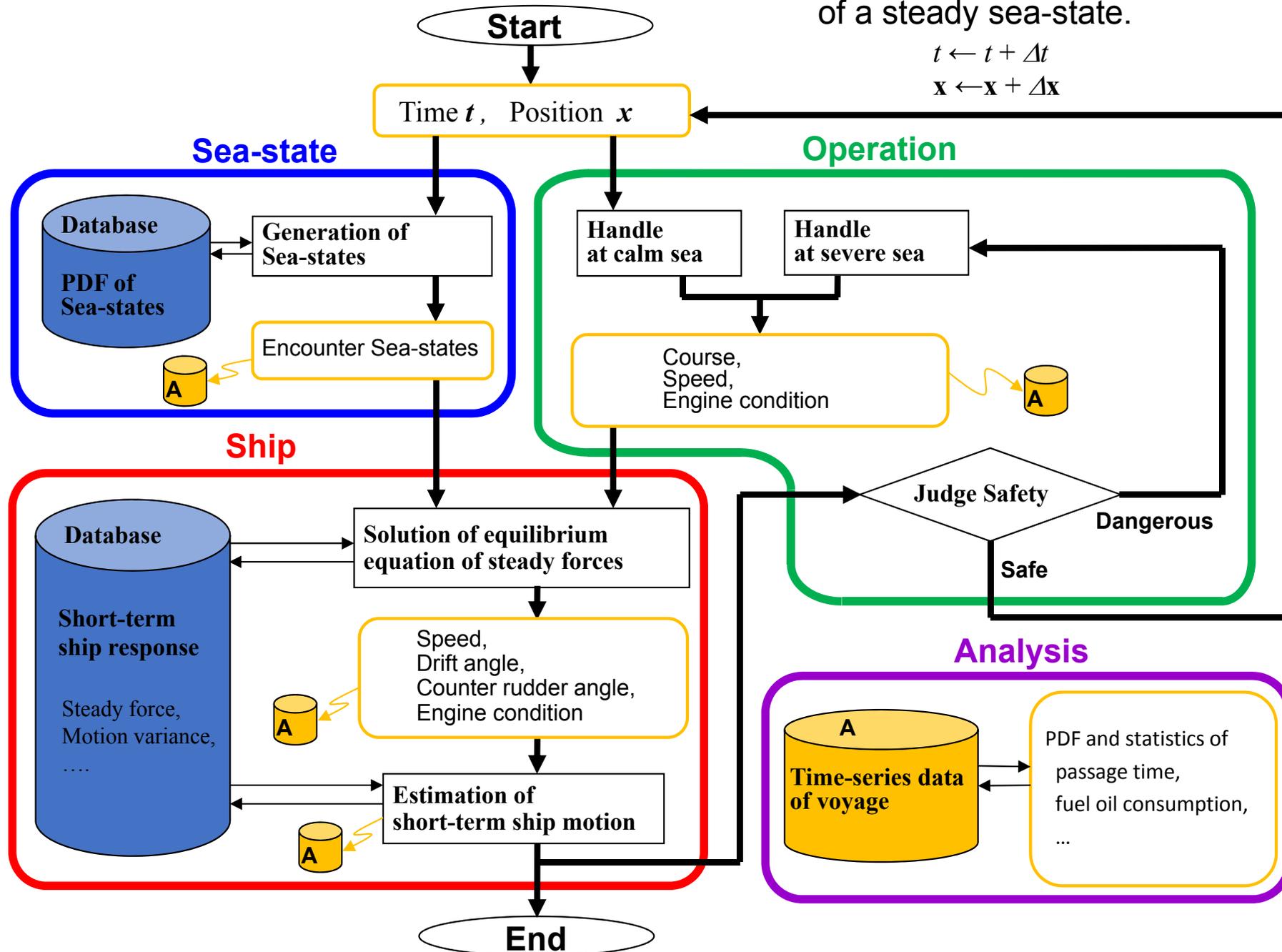


# シミュレーションフロー

Time steps in the persistent duration of a steady sea-state.

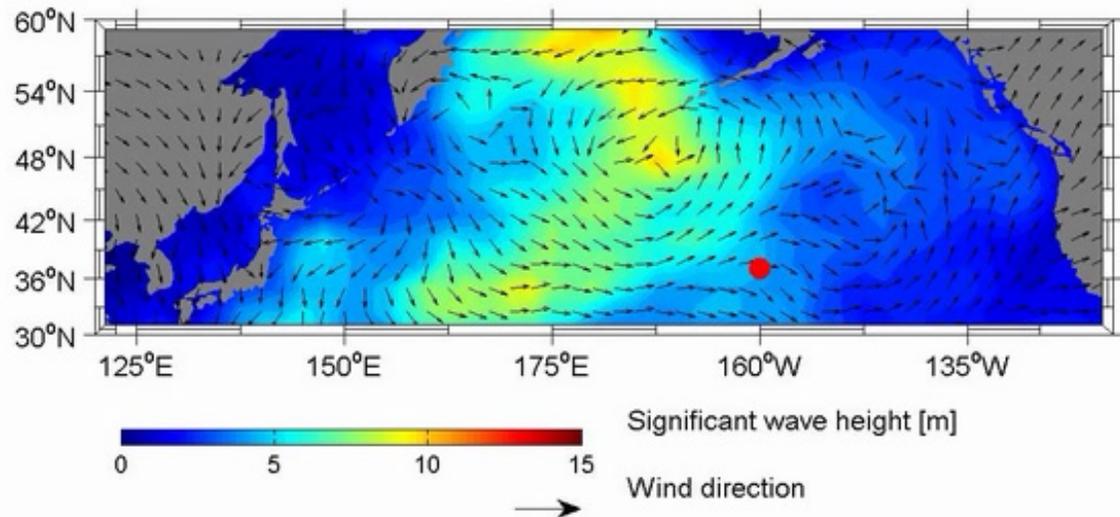
$$t \leftarrow t + \Delta t$$

$$\mathbf{x} \leftarrow \mathbf{x} + \Delta \mathbf{x}$$

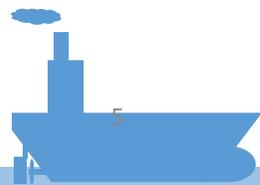




# 実海域性能シミュレーション



Voyage period	5.11 days				
<b>Sea state</b>		<b>Ship condition</b>	<b>Engine condition</b>		
Wave height [m]	4.61	Speed [kts]	24.56	Power [W]	35998500.00
period [s]	10.20	Course [deg]	89.51	Torque [Nm]	4822340.00
direction [deg]	285.25	Drift [deg]	0.16	Speed [rpm]	71.28
Wind speed [m/s]	12.35	Rudder [deg]	1.11		
direction [deg]	220.77				
Current speed [m/s]	0.03				
direction [deg]	283.76				



# 運航条件

---

- ◆ 未知数  $V, \beta, \delta, N_P, \Lambda$
- ◆ 方程式 4つ + 運航条件

## 運航条件

1) 回転数一定

$$\Delta N_E = 0$$

2) 燃料投入量一定

$$\Delta \Lambda = 0$$

3) トルク一定

$$\Delta Q_E = \left. \frac{\partial Q_E}{\partial N_E} \right|_{\hat{N}_E} \Delta N_E + \left. \frac{\partial Q_E}{\partial \Lambda} \right|_{\hat{\Lambda}} \Delta \Lambda = 0$$

4) 出力(馬力)一定

$$\Delta P = \left. \frac{\partial P}{\partial N_E} \right|_{\hat{N}_E} \Delta N_E + \left. \frac{\partial P}{\partial \Lambda} \right|_{\hat{\Lambda}} \Delta \Lambda = 0$$

5) 船速一定

$$\Delta V = 0$$



# 長期予測の統計モデル

長期間の運航において、船体応答がある閾値 $x_{cr}$ を超過する確率を推定する。統計モデルは2つの時間スケールから構成され、ひとつは海象が持続する短期間(短期超過確率)のスケール、もうひとつは海象の変動がみてとれる長期間(海象発現確率)のスケール。長期の超過確率は、短期超過確率の平均として表される。

## ◆ 基本統計モデル(福田モデル)

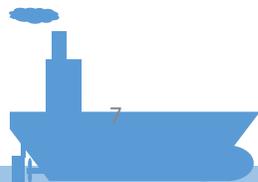
$$Q(x > x_{cr}) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} q(x > x_{cr} | H, T, \theta) p(H, T, \theta) dHdTd\theta$$

船体応答の短期超過確率

波浪発現確率

## ◆ 自然減速の影響を取り入れたモデル

$$Q(x > x_{cr}) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} q(x > x_{cr} | H, T, \theta, V) p(H, T, \theta) dHdTd\theta$$



# 長期予測の統計モデル

## ◆ 運航限界を取り入れたモデル

応答標準偏差に上限があるモデル  $Q(x > x_{cr}) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} q(x > x_{cr} | H, T, \theta, R_{max}) p(H, T, \theta) dHdTd\theta$

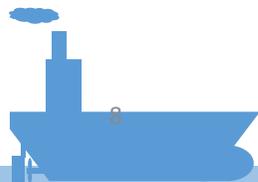
応答に上限があるモデル  
(応答ゼロモデル)  $Q(x > x_{cr}) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \bar{q}(x_{max} > x > x_{cr} | H, T, \theta) p(H, T, \theta) dHdTd\theta$

海象に上限があるモデル  
(海象ゼロモデル)  $Q(x > x_{cr}) = \int_0^{2\pi} \int_0^{T_{max}} \int_0^{H_{max}} q(x > x_{cr} | H, T, \theta) \bar{p}(H, T, \theta) dHdTd\theta$

## ◆ 実海域性能シミュレーションによる長期予測

$$Q(x > x_{cr}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N q(x > x_{cr} | H_i, T_i, \theta_i, V_i, R_{max}, \dots)$$

条件はいくらでも増やせる



# 運航限界を取り入れたモデルの補足

短期の応答の超過確率(レーリー分布)

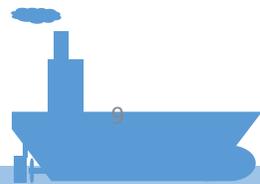
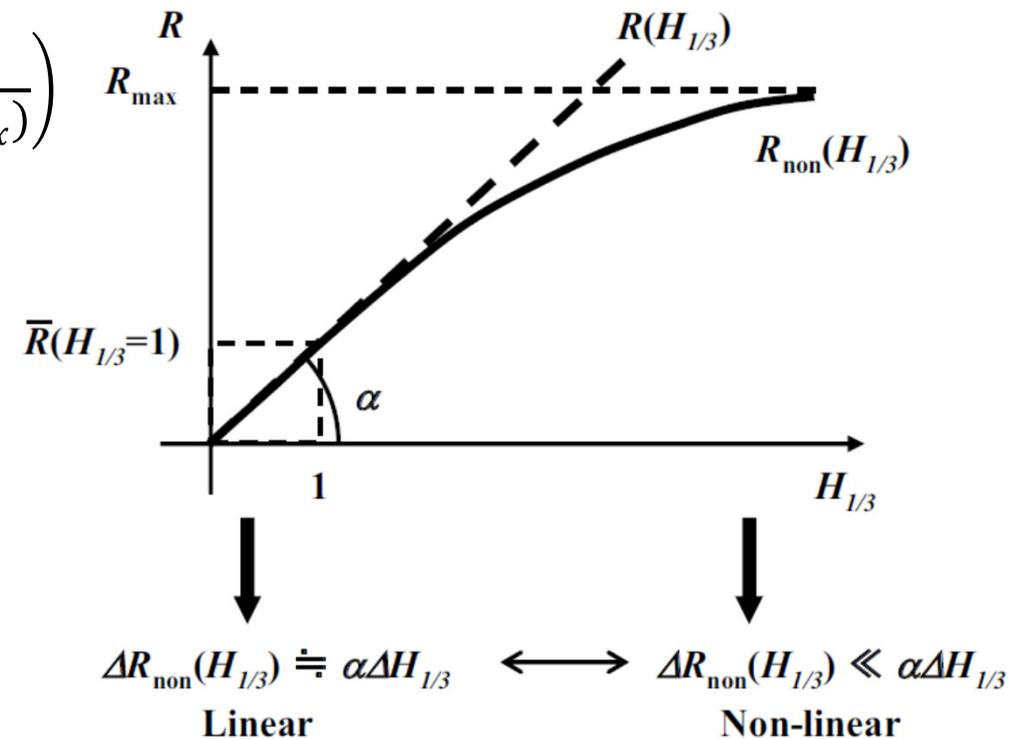
$$q(x > x_{cr} | H, T, \theta, R_{max}) = \exp\left(-\frac{x_{cr}^2}{2R^2(H, T, \theta, R_{max})}\right)$$

応答の標準偏差に上限なし

$$R = H\bar{R}(T, \theta)$$

応答の標準偏差に上限あり

$$R = R_{max} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{\bar{R}(T, \theta)}{R_{max}} H\right) \right\}$$

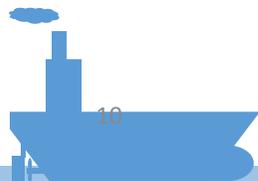


# 長期予測の統計モデル

項目	細目	実海域性能シミュレータ	基本統計モデル	自然減速あり	応答標準偏差に 限界あり	応答に上限あり (応答ゼロモデル)	海象に上限あり (海象ゼロモデル)
操船条件	自然減速	○		○	△(2)		
	意識的減速	○			△(2)	△(2)	
	意識的変針	△(1)			△(2)	△(2)	
	航路変更						△(2)
運航限界	限界応答	○			○	○	
	限界海象	△(1)					○
遭遇海象	波	○	○	○	○	○	○
	風	○					
	海流	○					

(1) 原理的に適用は可能である

(2) 運航限界を設定した結果、間接的に適用されている



# 長期予測の統計モデルの比較

## KCSコンテナ船：日本-北米航路における船首上下加速度の長期予測

- 運航限界モデル

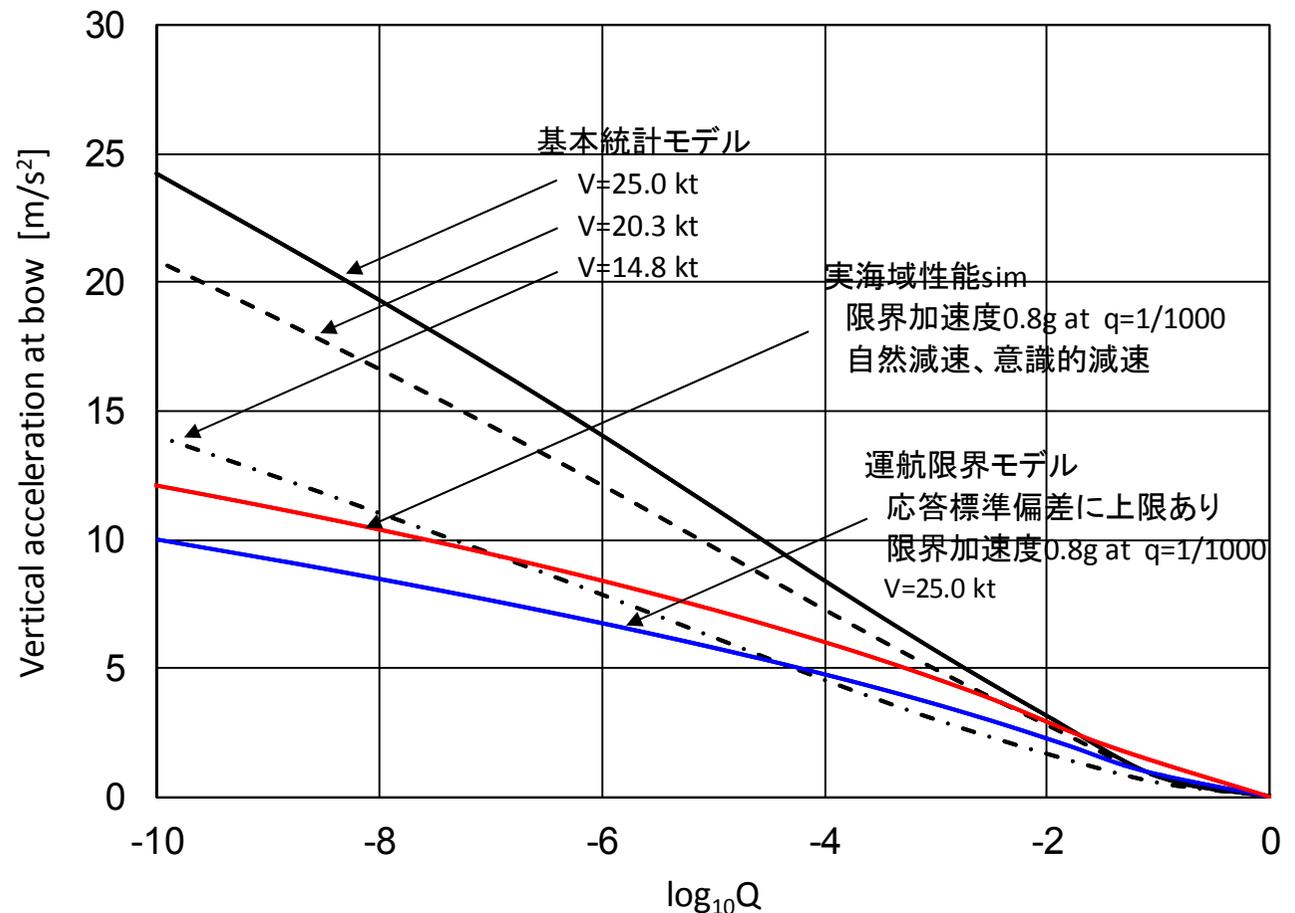
限界加速度：

船首加上下速度が $10^{-3}$ 確率で $0.8g$ を超過時  
波浪統計はGSSを利用

- 実海域性能シミュレーション

意識的減速：

船首加上下速度が $10^{-3}$ 確率で $0.8g$ を超過時  
回転数一定制御、自然減速あり



# まとめ

---

1. 長期予測の統計モデルと実海域性能シミュレーションによる長期予測手法を整理し、違いを示した。実海域性能シミュレーションによる自由度の高さが示された。
2. 船体応答の標準偏差に上限を課すモデルは、実海域性能シミュレーションの結果に近い値を得ることから、この統計モデルは計算が容易であるが、運航実態を反映させた妥当な結果が得られることが、あらためて示された。
3. 一方で基本統計モデルは、上記2つのモデルに比べて、この計算例では、長期予測 $10^{-8}$ レベルで約2倍の過大に評価になることが示された。

