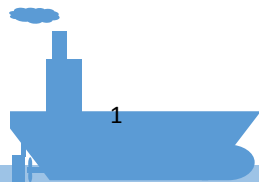


実海域性能シミュレーションによる 船体応答の長期予測

大阪大学 箕浦宗彦

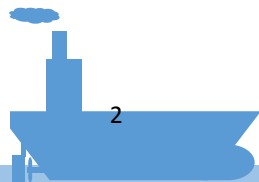


実海域性能シミュレーション

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。

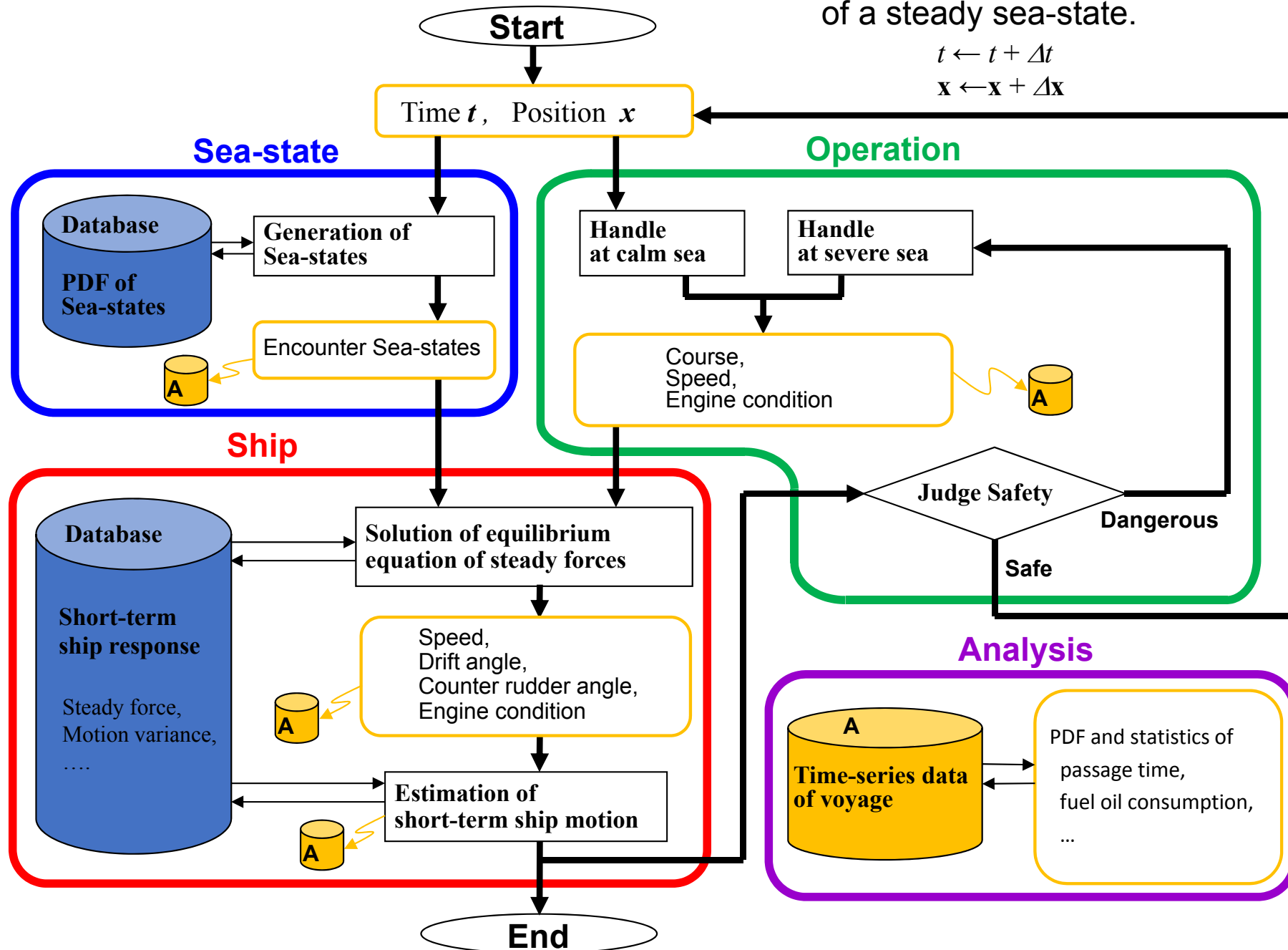


シミュレーションフロー

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

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

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



定常流体力と定常推力のつりあい式

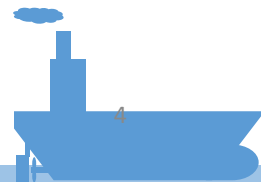
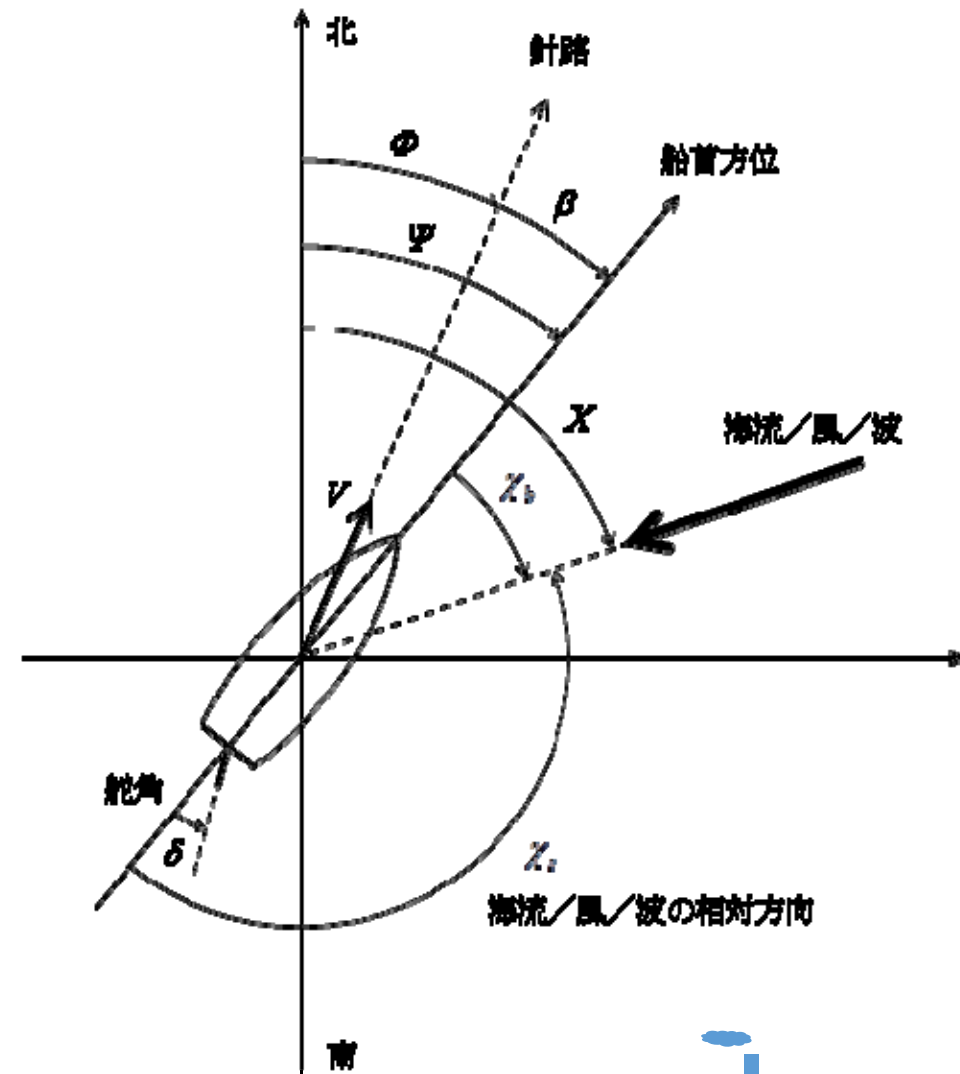
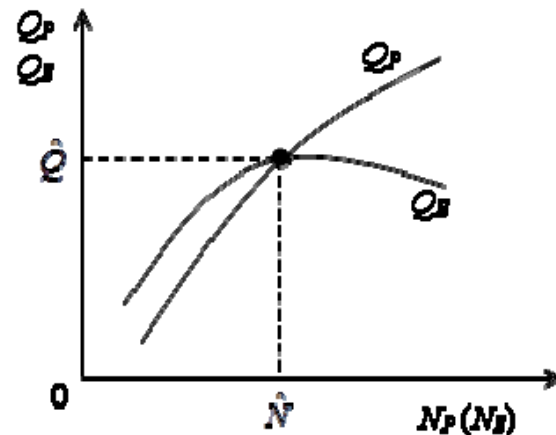
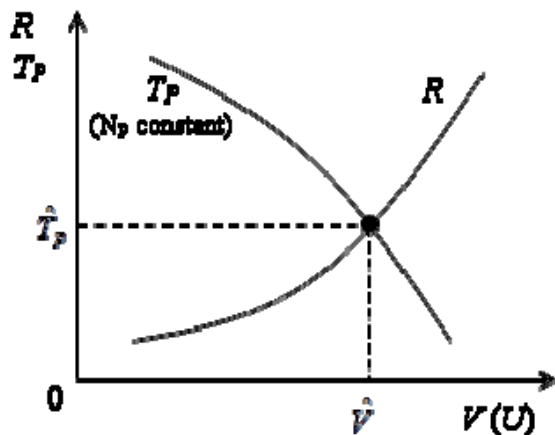
ある海象(波、風、流れ)の下で次式が成り立つ

$$R_X(V, \beta, \delta) = (1 - t_0) T_P(N_P, U)$$

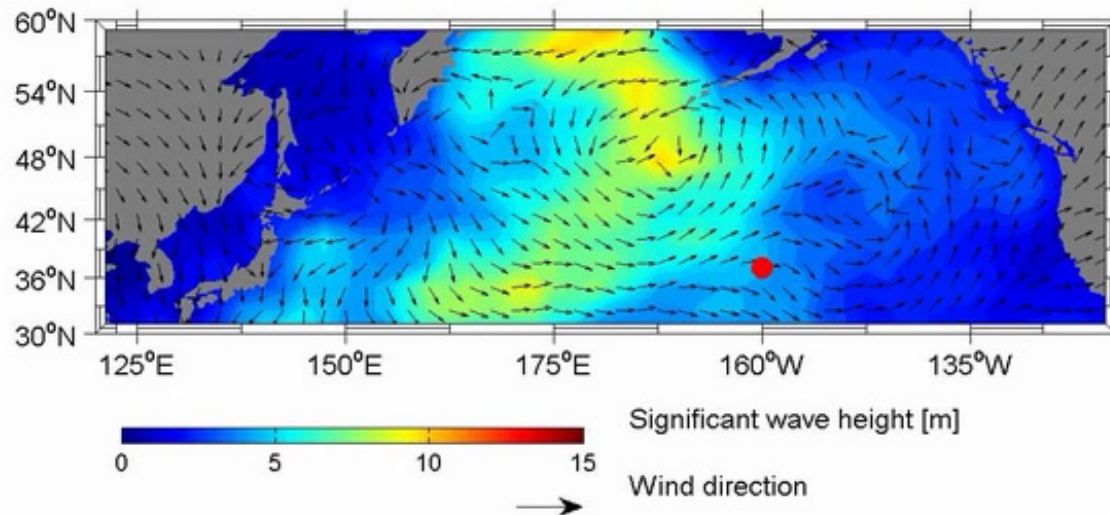
$$R_Y(V, \beta, \delta) = 0$$

$$R_N(V, \beta, \delta) = 0$$

$$Q_P(N_P, U) = r\eta_r\eta_t Q_E(N_E, \Lambda)$$



実海域性能シミュレーション



Voyage period 5.11 days

Sea state

Wave height [m] 4.61
period [s] 10.20
direction [deg] 285.25

Wind speed [m/s] 12.35
direction [deg] 220.77

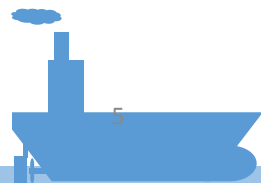
Current speed [m/s] 0.03
direction [deg] 283.76

Ship condition

Speed [kts] 24.56
Course [deg] 89.51
Drift [deg] 0.16
Rudder [deg] 1.11

Engine condition

Power [W] 35998500.00
Torque [Nm] 4822340.00
Speed [rpm] 71.28



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

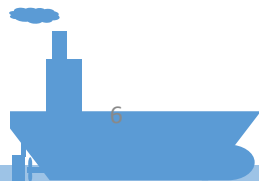
$$\Delta Q_E = \left. \frac{\partial Q_E}{\partial N_E} \right|_{\hat{N}_E} \Delta N_E + \left. \frac{\partial Q_E}{\partial \Lambda} \right|_{\hat{\Lambda}} \Delta \Lambda = 0$$

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)

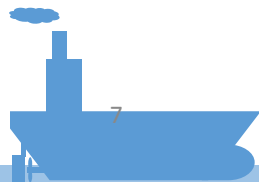
$$Q(x > x_{cr}) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} q(x > x_{cr} | H, T, \theta) p(H, T, \theta) dHdTd\theta$$

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

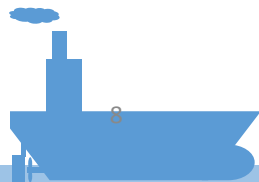
応答に上限があるモデル
(応答ゼロモデル) $Q(x > x_{cr}) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \bar{q}(x_{max} > x > x_{cr} | H, T, \theta) p(H, T, \theta) dHdTd\theta$

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)

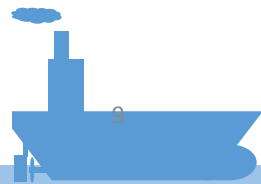
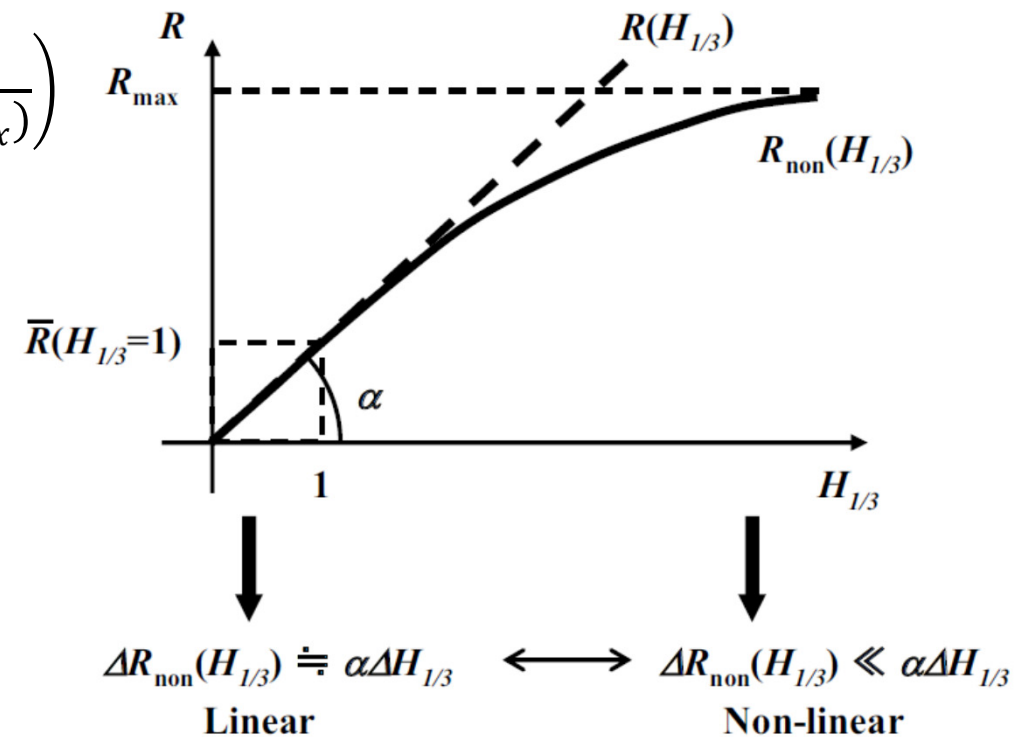
$$q(x > x_{cr} | H, T, \theta, R_{max}) = \exp\left(-\frac{x_{cr}^2}{2R^2(H, T, \theta, R_{max})}\right)$$

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

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

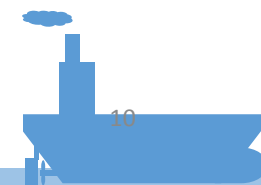


長期予測の統計モデル

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

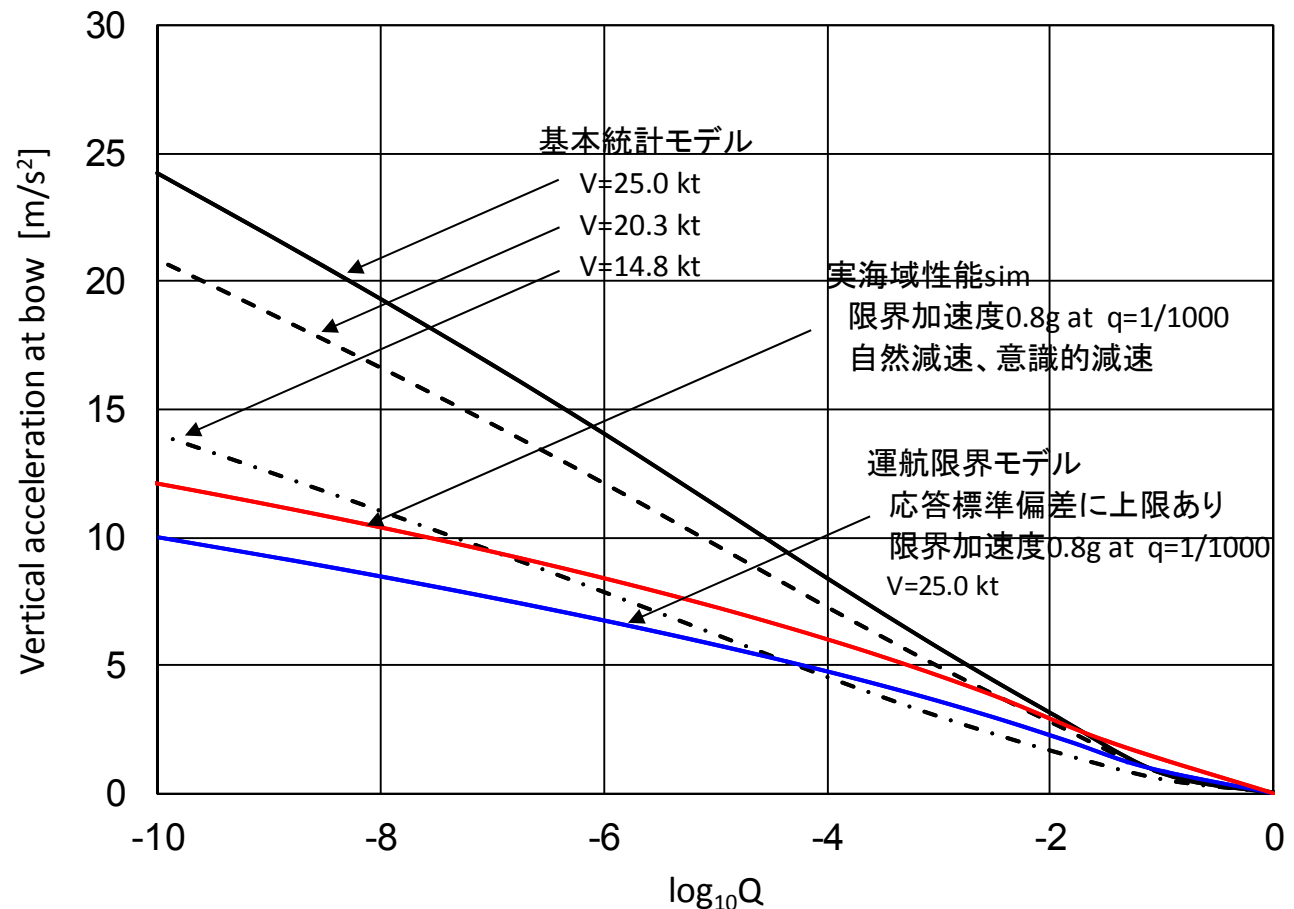
限界加速度：

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。

