

実運航性能評価のための 船速－回転数－主機出力関係のモデル化

枋原直人*1 櫻田顕子*1 黒田麻利子*1 辻本 勝*1
杉本義彦*2 長谷川健*2 段野貴士*2

*1 国立研究開発法人 海上・航空・港湾技術安全研究所 海上技術安全研究所

*2 株式会社商船三井

海技研における実海域性能評価技術

・・・実運航性能シミュレータ VESTA

- ✓ 精度良い外力（波・風）の推定
- ✓ 任意海象下の指令回転数での
運航性能評価



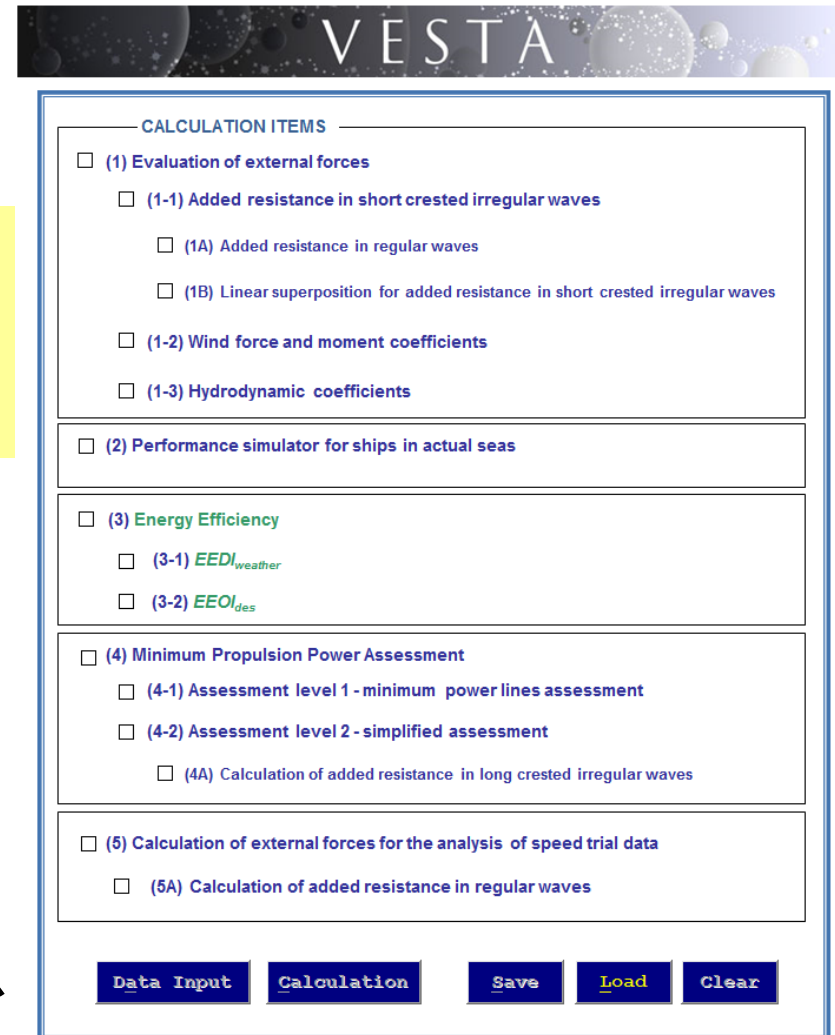
精度良く性能評価を行うには、適切な
ベースラインの設定が不可欠。



平水中の船速－回転数－主機出力の関係。

実運航性能評価のための馬力推定は、
ベースラインへの外力の積み重ね

→ベースラインの精度が重要となる！！

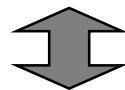


VESTA

CALCULATION ITEMS

- (1) Evaluation of external forces
 - (1-1) Added resistance in short crested irregular waves
 - (1A) Added resistance in regular waves
 - (1B) Linear superposition for added resistance in short crested irregular waves
 - (1-2) Wind force and moment coefficients
 - (1-3) Hydrodynamic coefficients
- (2) Performance simulator for ships in actual seas
- (3) Energy Efficiency
 - (3-1) $EEDI_{weather}$
 - (3-2) $EEOI_{des}$
- (4) Minimum Propulsion Power Assessment
 - (4-1) Assessment level 1 - minimum power lines assessment
 - (4-2) Assessment level 2 - simplified assessment
 - (4A) Calculation of added resistance in long crested irregular waves
- (5) Calculation of external forces for the analysis of speed trial data
 - (5A) Calculation of added resistance in regular waves

ベースラインは計画満載状態やバラスト状態など、限定的なコンディションのみ既知であることが一般的。



実際の運航では、積荷量により喫水状態が多種多様に変化する。
 →**運航状態でのベースライン**をどのように設定するかが重要。

本研究の概要

実船モニタリングデータと運航性能評価の比較に基づき、運航状態でのベースラインを推定する。

→航海毎にベースラインが得られる。

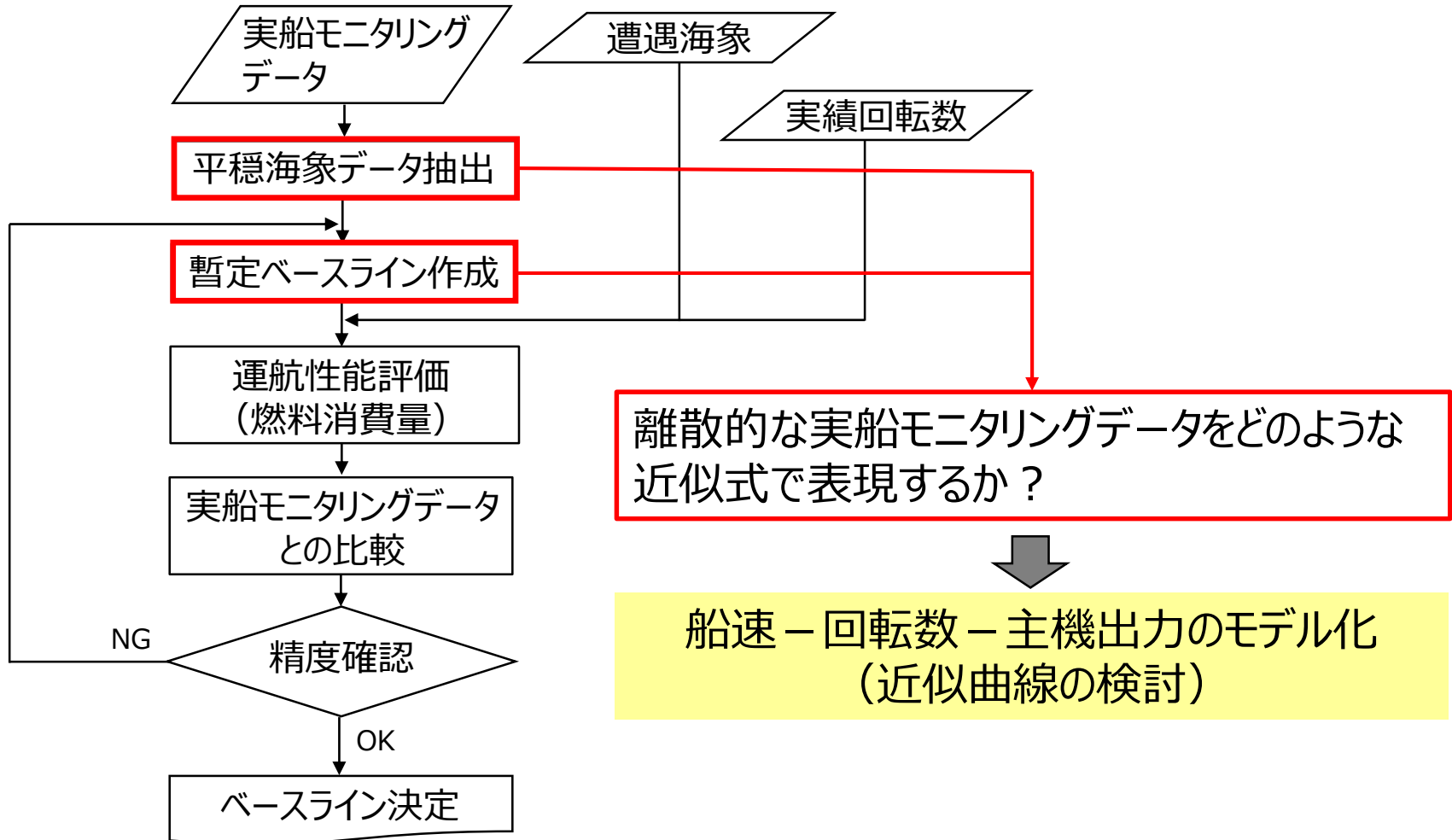
実施内容 1 : ベースラインのモデル化 (数式表現)

ベースラインのデータベース化・・・排水量影響

任意の運航状態のベースラインの推定へ

実施内容 2 : モデルへの排水量影響の組み込み

ベースライン推定の流れ

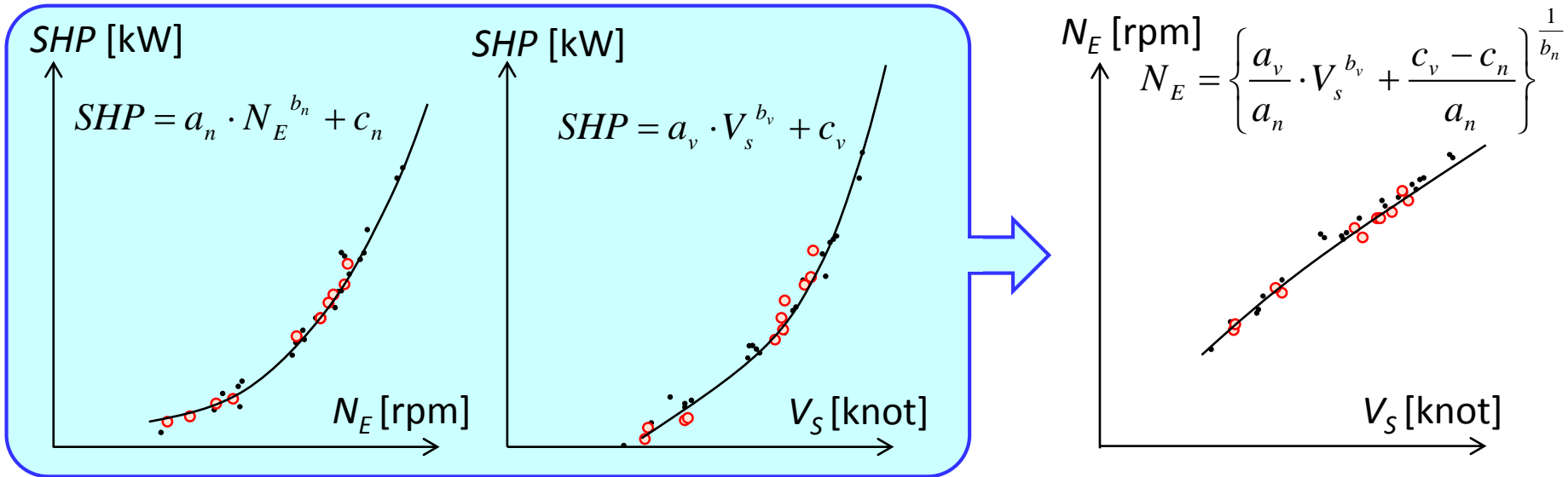


近似曲線の検討

① 船速、回転数フィッティング法 (C1法)

回転数 - 主機馬力、船速 - 主機馬力の関係を累乗近似する。

・ 実船データ ○ 波風平穏海象抽出データ ——— フィッティングカーブ



累乗近似の際、ダミーデータとして原点データを加える。
(原点付近での曲線の挙動を制限するため)

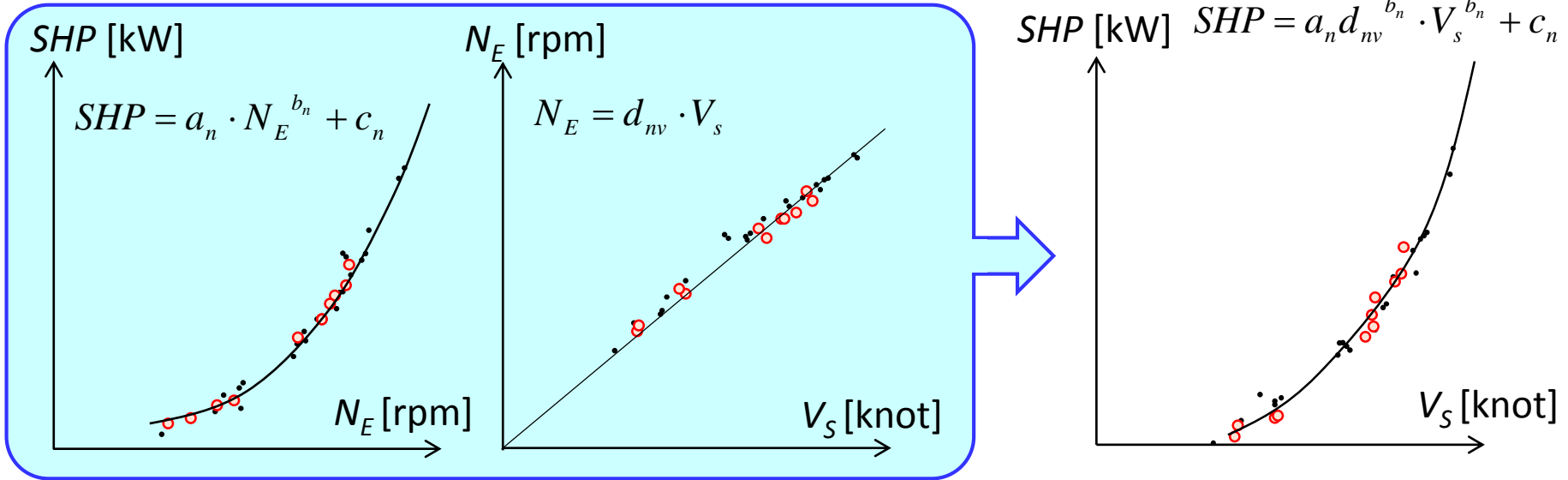
- 船速 - 回転数の関係が線形に近い場合、適切な近似と言える。
- 平穏海象のデータが少ない場合や、船速・回転数が幅広く分布していない場合、本方法で適切に表現できない場合もある。

近似曲線の検討

② 回転数フィッティング法 (原点通過) (C2法)

回転数 - 主機馬力の関係を累乗近似、船速 - 回転数の関係を原点を通る直線で近似する。

・ 実船データ ○ 波風平穏海象抽出データ ——— フィッティングカーブ



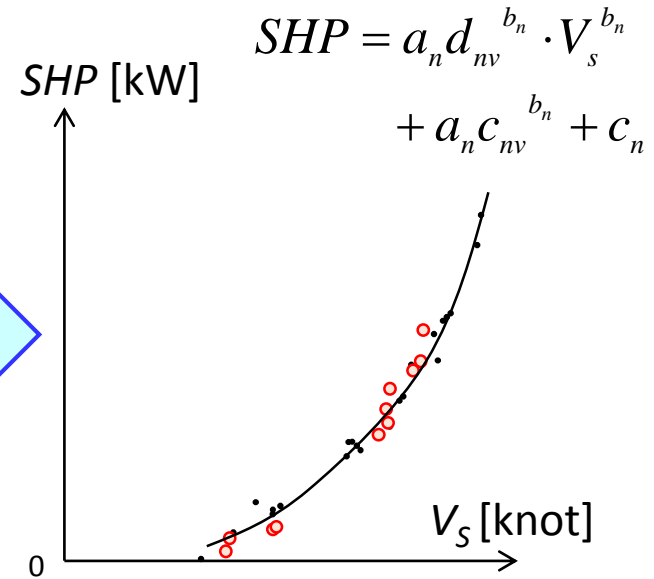
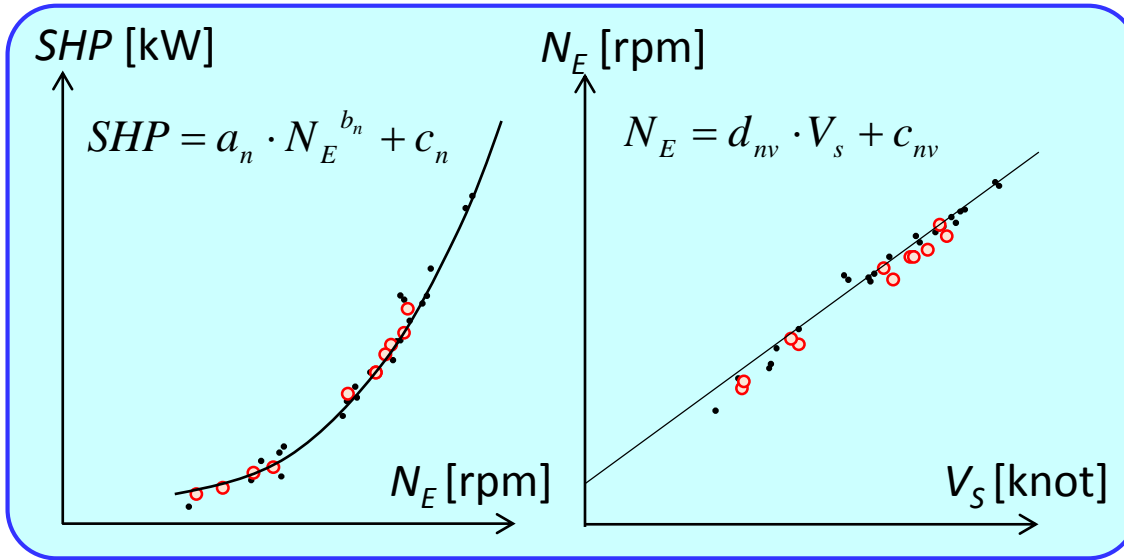
- 船速 - 回転数の関係は、物理的には原点を通るはずだが、フィッティングの精度の観点から必ずしも切片を通る必要があるかは疑問。
 → 原点を通らない場合についても検討

近似曲線の検討

③ 回転数フィッティング法 (C3法)

回転数 - 主機馬力の関係を累乗近似、船速 - 回転数の関係を原点を通らない直線で近似する。

・ 実船データ ○ 波風平穏海象抽出データ ——— フィッティングカーブ

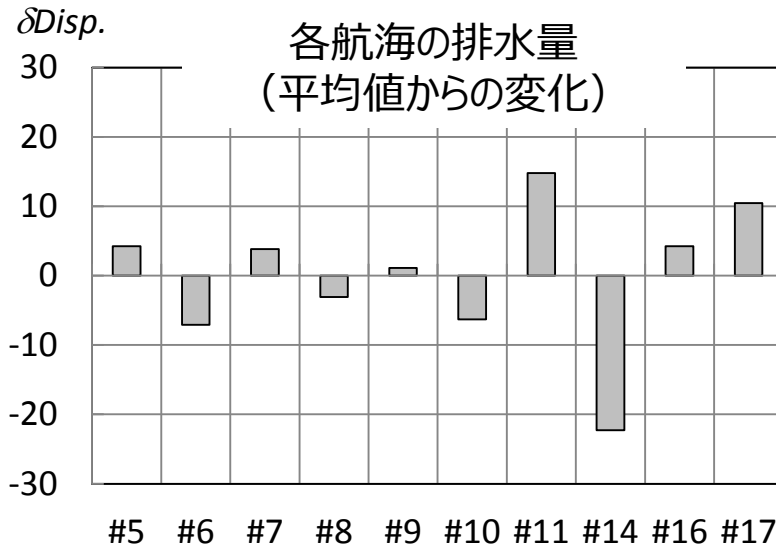


近似曲線の検証

外航コンテナ船（船長300m）の実船モニタリングデータを活用し、C1法、C2法、C3法のそれぞれを用いて運航性能評価を行い、各手法の精度検証を行う。

船速.....対水船速計 主機回転数...回転計測計
 主機出力...軸馬力計 燃料消費量...燃料流量計

検討対象の航海：出渠より1年間、データ欠測のない10回の航海



各航海の排水量 全航海の平均排水量

$$\delta DISP. = \frac{D_v - D_m}{D_m} \cdot 100$$

全航海の平均排水量

近似曲線の検証

波浪データ・・・波浪推算（気象庁）

風データ・・・船上計測値（風速分布が(1/7)則に従うとして風速を換算）

平穏海象の抽出条件

航海 No.	有義波高 [m]	対地風速 [m/s]	対水船速と対地船速の差 [knot]	舵角の絶対値の最大値 [deg.]	抽出データ数 [-]
#5	0.6	5.0	1.0	1.0	9
#6	1.0	7.0	1.0	1.0	39
#7	1.5	7.0	1.0	1.0	18
#8	1.0	7.0	1.0	1.0	58
#9	1.7	12.0	1.0	1.0	15
#10	1.4	9.0	1.0	1.0	33
#11	1.5	7.0	1.0	1.0	15
#14	0.7	7.0	1.0	1.0	5
#16	1.0	6.0	1.0	1.0	7
#17	1.2	8.0	1.0	1.0	45

対水船速計の精度

時間ごとの定常状態の計算

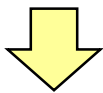
近似曲線の検証

各航海での燃料消費量の積算値により精度検証を行う。

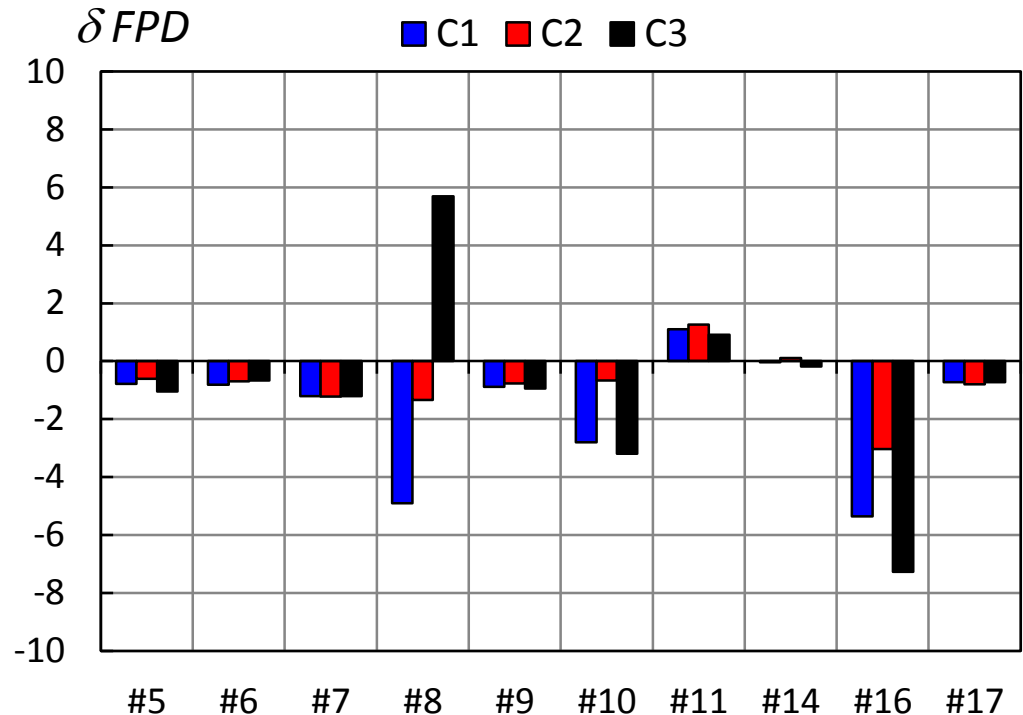
$$\delta FPD = \frac{\overset{\text{推定値}}{FPD_{sim}} - \overset{\text{計測値}}{FPD_{OB}}}{\underset{\text{計測値}}{FPD_{OB}}} \cdot 100$$

δFPD	C1	C2	C3
絶対値の平均値[%]	1.9	1.1	2.2
標準偏差[%]	2.0	1.0	3.1

- C1, C3は、#8, #16において計測値と推定値の差が顕著。
- C2法は、対象航海全てにおいて、±3%以内で推定可。



C2法に従って、船速 – 回転数 – 主機出力の関係をモデル化する。



排水量影響の組み込み

船速－回転数－主機馬力をC2法で以下の通り表現する。

$$SHP = a_n \cdot N_E^{b_n} + c_n$$

$$N_E = d_{nv} \cdot V_s$$

航海毎（排水量毎）に係数 a_n, b_n, c_n, d_{nv} が求まる。

→これらの係数を排水量（ Δ ）の関数で表すことが出来れば、排水量修正の精度向上につながる。また、任意の喫水状態の係数を推定できるようになる。

現状はアドミラルティ係数を利用した修正が多い

各係数の表現方法について検討を行う。

各係数の表現方法

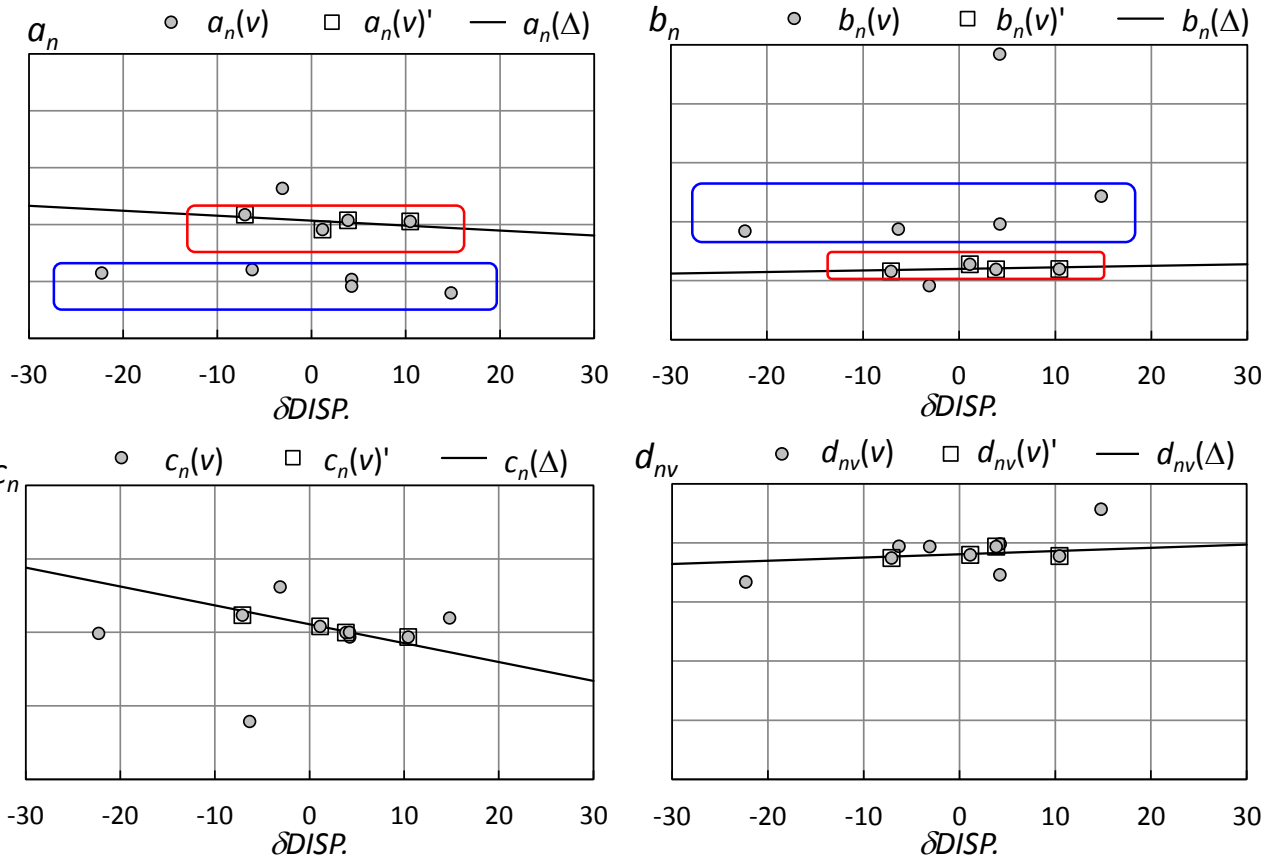
①各係数を排水量で線形近似 (C2-A法)

$$a_n(\Delta) = \alpha_1 \Delta + \alpha_0 \quad b_n(\Delta) = \beta_1 \Delta + \beta_0$$

$$c_n(\Delta) = \gamma_1 \Delta + \gamma_0 \quad d_{nv}(\Delta) = \delta_1 \Delta + \delta_0$$

$$SHP = a_n \cdot N_E^{b_n} + c_n$$

$$N_E = d_{nv} \cdot V_s$$



a_n と b_n は、2つのグループに分かれた。



今回は、赤のグループのデータで近似した。



グループ外の排水量に対し、推定精度が低下する恐れがある。

各係数の表現方法

② b_n, c_n に航海平均値を用いる (C2-B法)

(他の係数はC2-A法と同様)

$$a_n(\Delta) = \alpha_1 \Delta + \alpha_0$$

$$b_n(\Delta) = \overline{b_n}$$

$$c_n(\Delta) = \overline{c_n}$$

$$d_{nv}(\Delta) = \delta_1 \Delta + \delta_0$$

$$SHP = a_n \cdot N_E^{b_n} + c_n$$

$$N_E = d_{nv} \cdot V_s$$

➤ C2-A法の場合、異なる a_n, b_n の組合せで同じ馬力が推定される可能性があり、どの航海のデータを使うか選別する必要がある。

→ a_n のみ排水量の関数で表現し、全ての航海データで近似する。

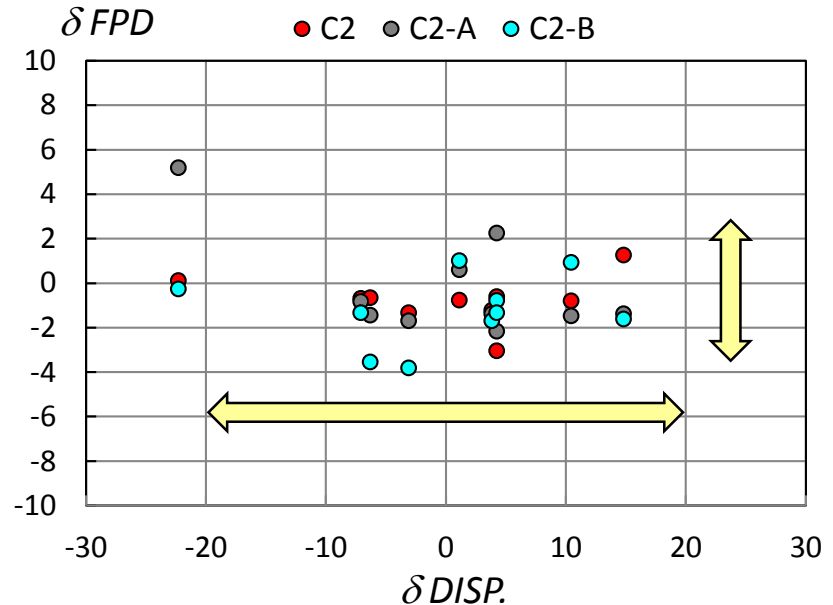
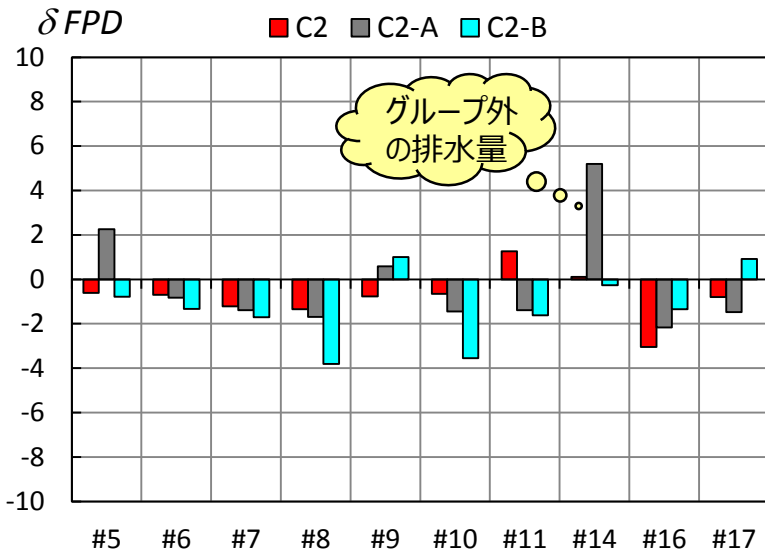
➤ c_n は、フィッティングの精度向上のために導入した係数であり、物理的意味を持たないことから、**一定値**とする。

この方法では、 $\overline{b_n}, \overline{c_n}$ を用いて $a_n(\Delta)$ を再度求める必要がある。

検証

C2-A法、C2-B法により再構成されたベースラインを用いて運航性能評価を行い、実船モニタリングデータと比較する。

- ・・・各航海での**燃料消費量の積算値**の比較により妥当性を検証する。



δFPD	C2	C2-A	C2-B
絶対値の平均値[%]	1.1	1.8	1.6
標準偏差[%]	1.0	2.2	1.5

基準排水量と20%異なる排水量においても、**約3%の誤差**で燃料消費量が推定可能。

C2-B法はC2-A法に比べ、排水量が20%以上異なる場合にも精度が高い。

まとめ

本研究では、運航状態のベースラインを推定するために、外航コンテナ船のモニタリングデータを活用し、船速－回転数－主機馬力のモデル化を検討した。

船速－回転数－主機馬力の関係は、以下のモデルが有効であることを示した。

$$SHP = a_n \cdot N_E^{b_n} + c_n \quad N_E = d_{nv} \cdot V_s$$

上記モデルに排水量影響を組み込む手法について検討した。

$$a_n(\Delta) = \alpha_1 \Delta + \alpha_0$$

$$b_n(\Delta) = \bar{b}_n$$

$$c_n(\Delta) = \bar{c}_n$$

$$d_{nv}(\Delta) = \delta_1 \Delta + \delta_0$$

今回の対象船においては、この表現が妥当であることを示した。

今回示したモデル化に関しては他の船種での検証も必要であるが、このようなモデル化を行うことにより、実船モニタリングデータの活用の幅は広がると期待できる。

就航後の一定期間でデータを取得

→モデル化により、**任意の運航状態**でのベースラインが作成可能となり、**運航性能評価が可能**となる。

活用例

就航して数年後のモニタリングデータから、ベースラインの係数を求める。

→係数の時系列により経年劣化や生物汚損の影響を抽出

