

モニタリングデータによる運航管理について - 航海の視点にて -

1. 背景
2. モニタリングすべきデータ
3. 運航を評価する指標
4. まとめ

油タンカー



セメント運搬船



RORO船



2015年12月21日
海上技術安全研究所

背景

- データを収集しても使いきれていない。
 - 船社に報告される航海日誌・機関撮用日誌などは活用できているか？

- 荷主・船社にとり船の性能はどのように評価すれば良いか？
 - 良く使われる指標の意味を理解されているのだろうか？
FOC-L/M 、FOC-L/h、FOC-L/(トン・マイル)の意味は？

大型船が、性能が良いのならなぜ全て大型船にしないのか？
船速と燃料消費との関係を調べてみたがまとまらない。
運航エネルギー効率指標 (EEOI) のデータがまとまらない

背景

- ICTの発達によりデータの収集が容易になっている。
 - AISにより船の位置、速度、進路
 - ◆ 解析すれば、航海距離、航海時間、平均船速
 - PCにより搭載機器データ、例えば対水船速、風速、風向、燃料消費量、機関回転数、推進器翼角など
 - ◆ 解析すれば、航海エネルギー効率、運航性能
 - 内航船であれば、携帯電話により船陸間通信が可能

- 気象海象の予測情報も精度が向上している
 - 1日3時間毎(8回/日)風・波の予測情報
 - 1回1日の海・潮流の予測情報

モニタリングデータの活用

■ 荷主・船社にとり運航管理の効率向上

□ 船舶の動静状況が知りたい

AIS情報から動静情報(位置、船速、航路等)が分かる。

□ 船舶の性能・運航特性が知りたい

電子化により種々のデータの集計・解析が容易にできる。

⇒ 運航性能の良い船は？ 運航効率・性能が評価できる。

□ 運航管理の効率化を図りたい

情報を共有基盤化することで、

⇒ 荷主・船社・船舶が連携して運航効率化に取り組める。

⇒ 荷主は、船社に確認しなくとも輸送時のCO2排出量等が把握できる(改正省エネ法対応)。

⇒ 気象・海象の予測情報から到着見込みが分かる。

モニタリングすべきデータ

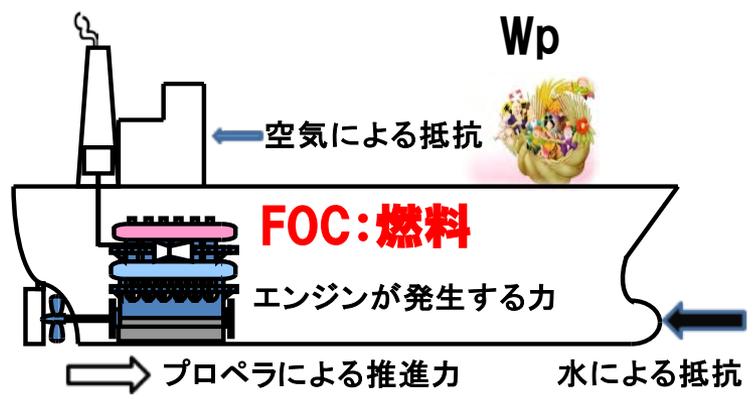
船舶工学の基礎

航行時の船舶においては、燃料を機関室で燃焼し発生する動力が推進器に伝達され推進動力となるが、この推進動力と（船体に働く抵抗力）×（船速）で計算される仕事量がバランスするように船速が定まる。

1. エネルギー投入（燃料油）⇒機関出力⇒推進力

$$P = \frac{R \cdot V}{\eta}$$

制御変数
 RPM: 主機回転数
 CPP: 翼角



2. 抵抗:R

- 波浪による抵抗
- 風抵抗
- 水抵抗

3. 推進力 - 抵抗 ⇒ 対水船速

4. 対水船速 + 海・潮流 ⇒ 対地船速

船舶の推進の基礎

船速と燃料との関係

単位時間当たり

- 燃料 ⇒ 機関出力 ⇒ 推進器 ⇒ **推力**
- 平水中、風、波の中を速力Vで航走 ⇒ **抵抗**

推力と抵抗とが釣り合うところで**船速**が決まる

注；平水中抵抗（摩擦抵抗・造波抵抗）船速：対水船速、対地船速

□ 燃料消費量(g)

= 機関出力 (P) × 航海時間 (h) × 燃費率 (g/kw/h)

□ 機関出力 (P) = 抵抗 R × 船速 V / 推進効率 (η)

□ 抵抗 (R) = $C_r \cdot V^2 \doteq C \cdot W^{2/3} \cdot V^2$

モニタリング情報

船舶性能評価のための基本的なデータ

燃料消費量				制御変数			排水量		外力			船速			位置針路
主機燃料流量				回転数 翼角			排水量		波 波高 波向 波周期			海・潮流 流速 流向			緯度 経度 方位角
機関データロガー				喫水の計測値			風向・風速計		・波高計 ・波浪計測装置*			対地・対水船速と方位角から演算			GPS Gyro

モニタリング・データ

予測データ

このほか、軸発出力、フィンスタビライザー使用履歴等

提案する運航性能評価指標

① 航海エネルギー効率 (EENI★)

EENI★: Energy Efficiency of Navigational Indicator

$$\text{EENI} = \frac{\text{FOC} - \ell}{\text{投入した燃料} (\ell) / \text{船の仕事}}$$

■ 船の仕事 : (航行距離(哩) × 排水量 (トン))

■ 投入燃料 : (航海の燃料消費量 (ℓ))

船舶の運航性能を把握するためには有効な指標

$$\cong C \times V^2 \times W^{-1/3} \times \text{燃費率} / \text{推進効率} (\eta)$$

$V^2 \times W^{-1/3}$: 排水量 $^{1/3}$ を船の長さLと見做したフルード数の二乗と考えることができる

参考：よくある誤り

トンマイル当たりの燃費の計算方法

航海1	6.0KL	10トン	200マイル	2000トン・マイル
航海2	5.8KL	15トン	180マイル	2700トン・マイル
航海3	6.2KL	25トン	220マイル	5500トン・マイル
合計	18KL	50トン	600マイル	10200トン・マイル

$$= 18\text{kL} / (50 \times 600) = 6 / 10000 = 0.0006 \quad \times$$

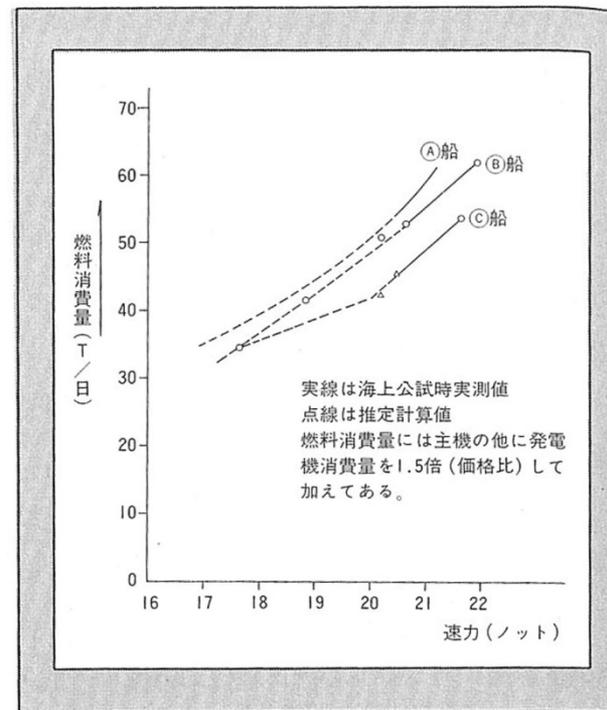
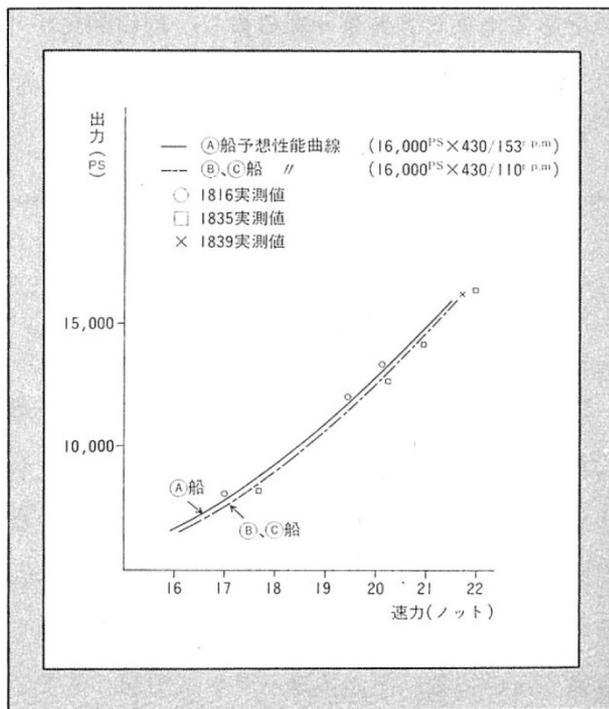
$$= 18\text{kL} / \underline{(2000 + 2700 + 5500)} = 0.0018 \quad \bigcirc$$



行った仕事

参考：船社にとっての船舶性能評価

船主経済から見た船舶の新しい価値の表現法 黒川正典



省エネルギー性能：推進性能の一部と考えるとこれまでは馬力-速曲線

⇒ 速力-燃料消費曲線 黒川正典

同型自動車専用船：C船のみターボ・ジェネレータ設置

B・C船は大直径・低回転プロペラ船

② 運航推進性能指標 (Kn) EENIから船速の影響を省く

$$Kn = \text{EENI} / \text{船速}^2 \quad \text{FOC-} \ell / (\text{トン} \times \text{マイル}) / \text{ノット}^2$$

燃費率/推進効率及び排水量がほぼ同じ状態なら

船舶の全抵抗を把握するためには有効な指標

$$\doteq C \times W^{-1/3} \times \text{燃費率} / \text{推進効率} (\eta)$$

1. 省エネ航海ができてきているか？

減速運航の実施 ⇒ EENIの小さな航海
⇒ 同じ仕事をするのに必要な燃料消費量について
他船と比較

2. 運航性能の良い船舶とは？

抵抗が少ない ⇒ K_n の小さな船舶

⇒ 付着物、ペイント変更による抵抗増加
省エネ付加物の効果

⇒ **同じ時間**に同じ仕事をするのに必要な燃料消費
量について他船と比較

3. 運航性能の詳細を知りたい

- 主機回転数（翼角）と燃料消費量の関係？
- 外力（風・波）と船速との関係？
 - 風による燃費増？船速減少量？
 - 波浪による燃費増？船速減少量？

運航性能評価モデル

平水中、風、波成分分離モデル、SHPベースの方程式を**燃料消費率(L/h/V)ベース**に変更し、排水量と翼角の影響を考慮、波浪抵抗については波向きを分割。各係数はモニタリングデータにより回帰し決定される。

$$\frac{l/h}{V_s} = (a_1 W^\alpha + b(\theta - \theta_0)^2 + c) V_s^2 + a_2 f_{wind} + \sum_{i=1}^n a_{3i} f_{wavei}$$

l/h : 時間当たりの燃料消費量(l/h) V_s : 対水船速(knot) W : 排水量(ton) θ : 推進器翼角(degree)
 f_{wind} : 風による針路方向の抵抗成分 f_{wave} : 波による針路方向の抵抗成分 n : 波向きの分割数: 相対波向を船首前方から後方まで、180度方位で表現した時の分割数(例えば30° 毎に分割する場合には $n=6$)

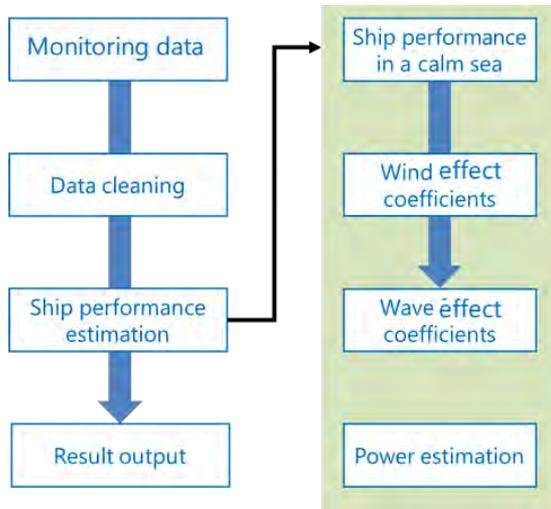
風波の影響は、以下のモデルにより算定される。

$f(Wind)$: Fujiwara, T. 2006. Research on Estimation of Wind Pressure on Vessels in Strong Winds, and Operational Performance, *Doctoral Thesis, Osaka prefectural university*.

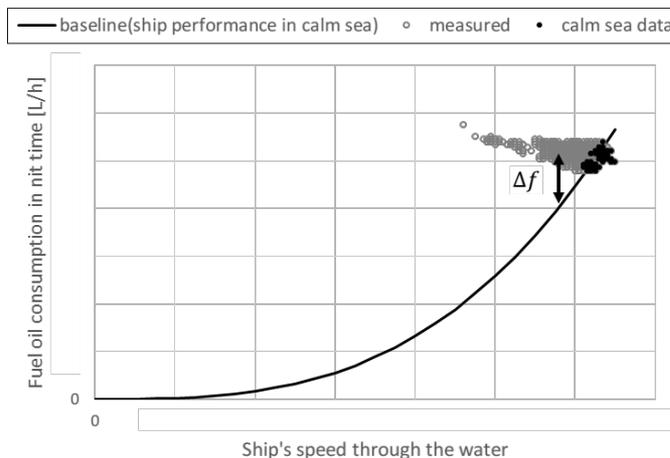
$h(Wave)$: H. Maruo: Resistance in Waves, Researches on Sea keeping Qualities of Ships in Japan, the Society of Naval Architects of Japan Vol.8, P67-102, 1963.
 Fujii, H. & Takahashi, T. 1975. Experimental Study on the Resistance Increase of a Large Full Ship in Regular Oblique Waves, *the Society of Naval Architect of Japan, Collected papers 137: 132-137*.

実海域推進性能評価 (運航性能評価レポート (MTL) 抜粋)

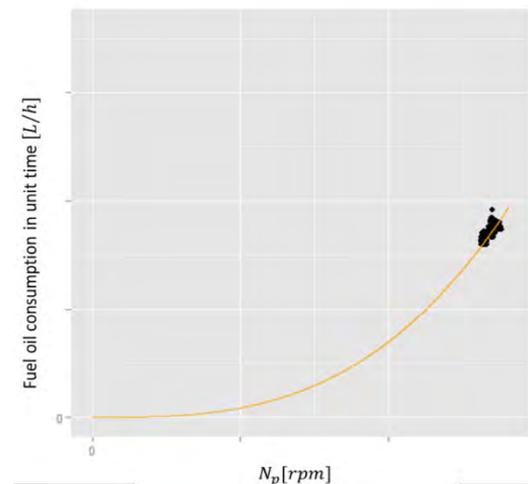
データ解析の流れ



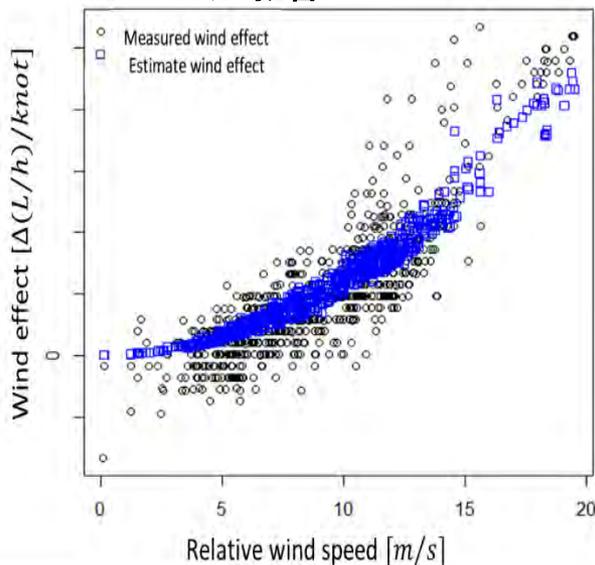
平水中推進性能



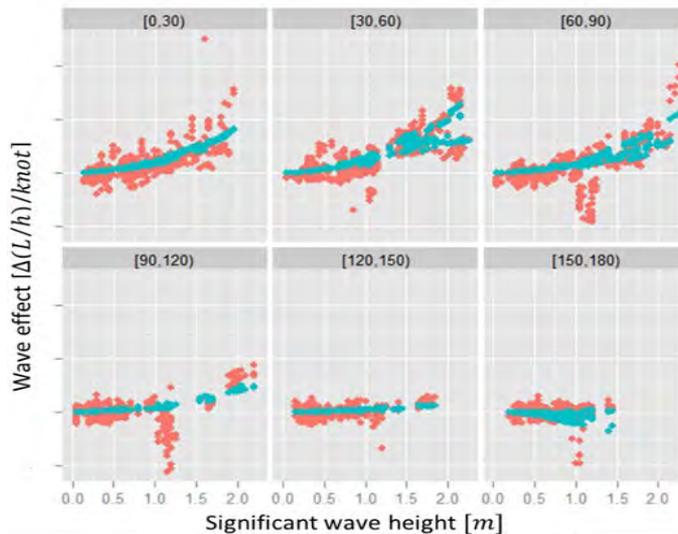
Eng. rpm vs. FOC/h



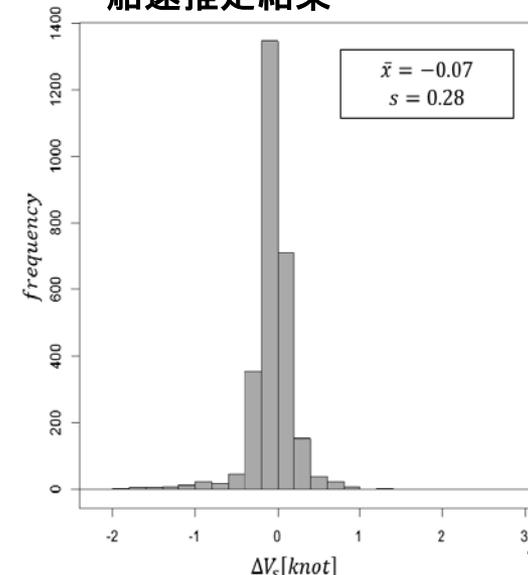
風影響



波浪影響



船速推定結果



船社等で良く使われている指標

FOC-ℓ / マイル

- 船が 1 マイル航行するのにどれだけの燃料 (リットル) が必要となるか？

投入した燃料 (ℓ) / 航行距離 (哩)

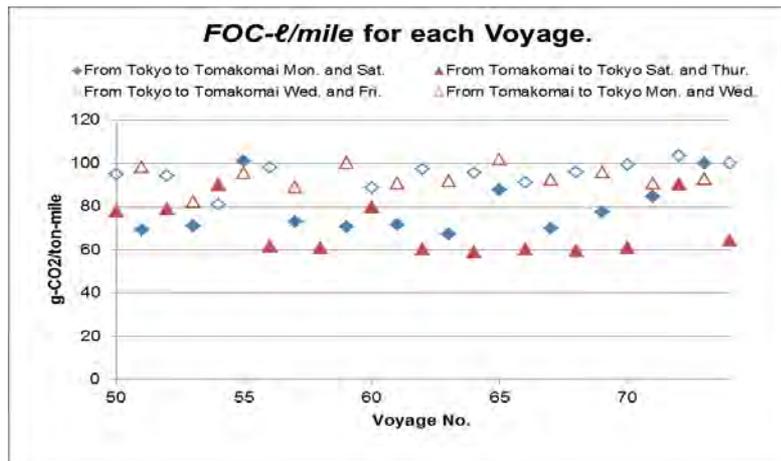
□ 1 マイル移動するのに消費する燃料消費量が小さい船は、性能が良い？

- 排水量？ ■ 速力？ ■ 気象・海象？

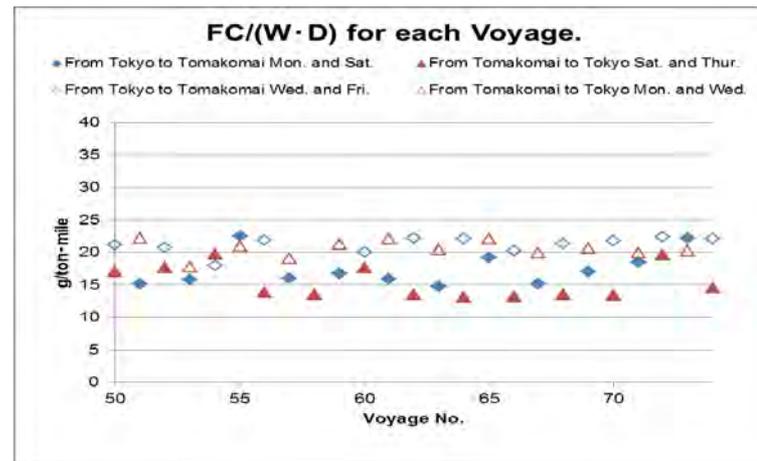
排水量がほぼ同じ且つ時間当たりの燃費が同じと見做せるなら ⇒ 有効な指標

計測データの検討 ■ データのばらつき

FOC-ℓ/mile



EENI

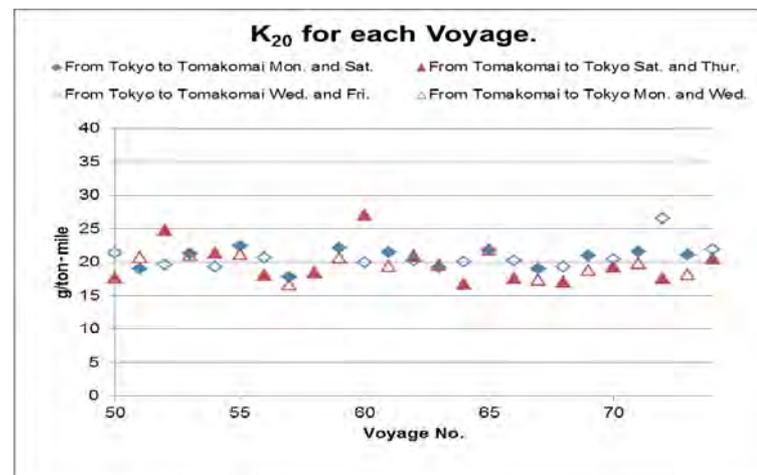


データのバラつきは、

FOC-ℓ/mile → EENI → Kn

FOC-ℓ / 航海距離 (マイル) は、航海毎の排水量の影響が評価されないため排水量の変化の大きな船舶の評価には不向き

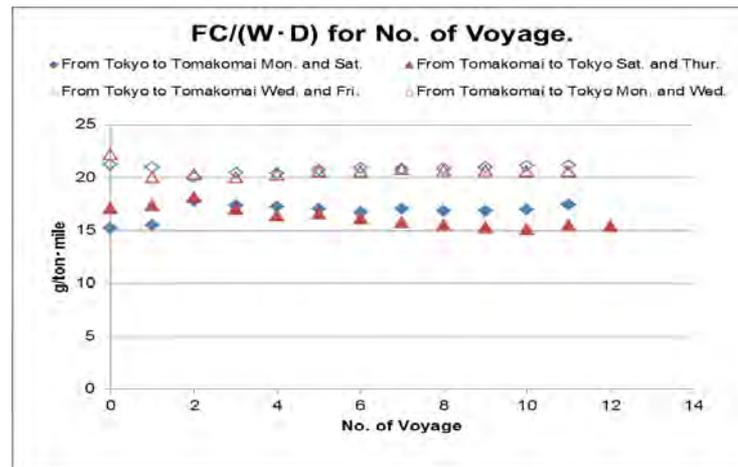
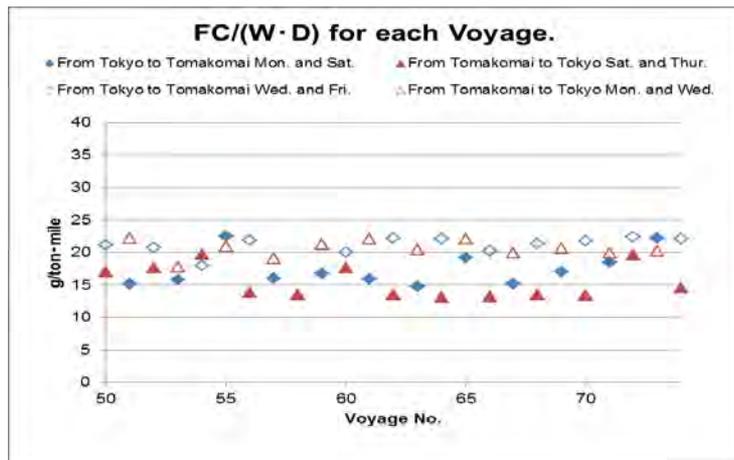
Kn



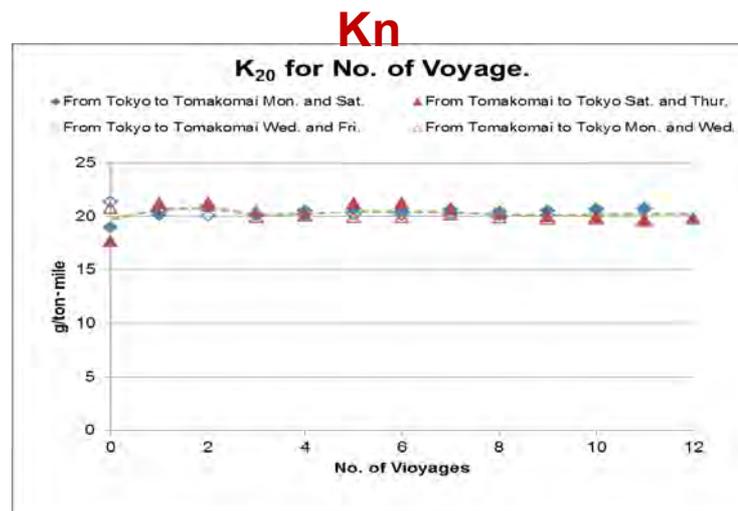
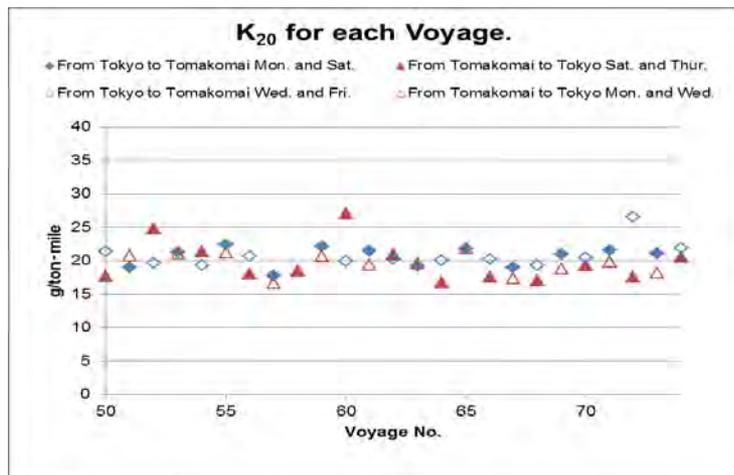
計測データの検討

■ どの程度のデータで評価すれば良いか？

内航船の場合⇒10から15航海程度のデータ
EENI



収束



まとめ

航海に関する運航性能について

船舶工学の視点でモニタリングすべきデータを整理
以下の指標を紹介し、それらの物理的意味から

■ 航海の評価について EENI

■ 運航時の船舶性能の評価に Kn

が相応しいことを紹介した。

さらに、運航モニタリングと船舶工学の知識で詳細な運航性能の評価が行えることが示された。