

「船陸間情報量通信を用いた航行安全と 環境負荷低減運航モニタリングシステム の開発」

東京海洋大学先端科学技術研究センター
大阪大学大学院工学研究科

プロジェクトの目的

船体・機関運動の実時間データから統計モデルを作り、その統計モデルから得られる情報が安全運航、**環境負荷軽減運航**に有効であることを実船実験により実証する。

(目的1) 統計モデルのオンボードモニタリングの有効性の実証的研究

(目的2) 統計モデルによる実海域船舶性能の推定に関する研究

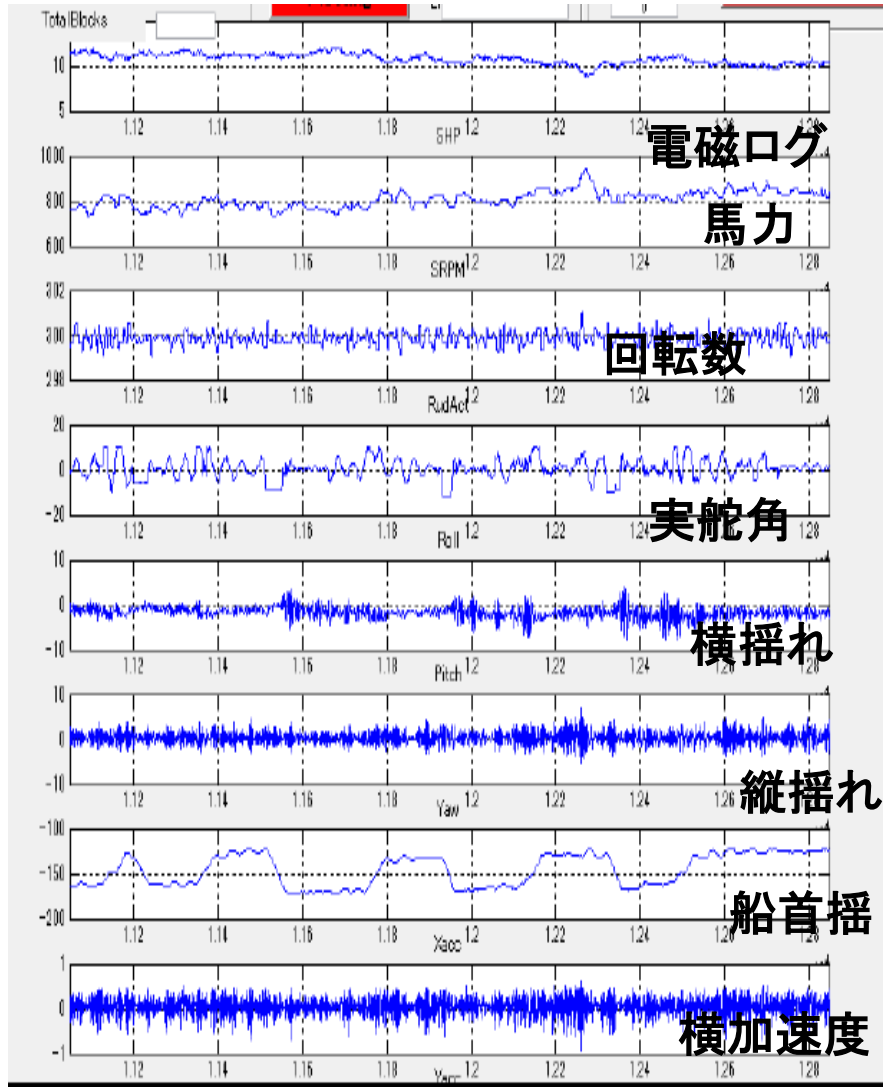
(目的3) 船陸間通信を用いた統計モデルの蓄積による新たな船舶管理法の可能性の実証的研究

本プロジェクトの背景と 新たな観点による取組

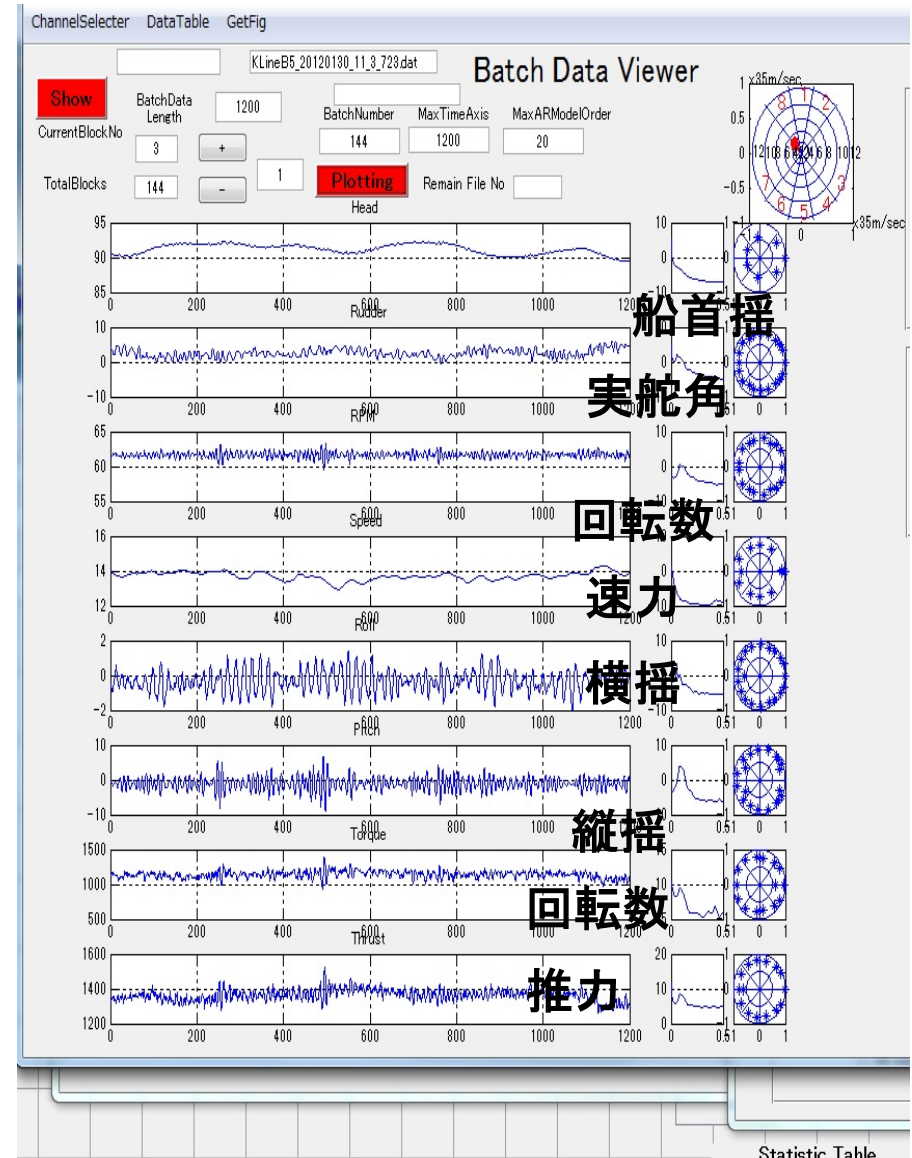
- 1 これまでの造船学では主として水槽試験結果などを物理的に解釈し、その結果から**物理モデル**を作り船舶設計、船舶運航に役立ててきた。
- 2 しかし、実海域を航海する船舶は極めて不規則な海面上を航海する。すなわち物理的モデルのみでは到底複雑な実海域の挙動を予測できない
- 3 そこで、実海域のオンボードデータに刻々と**統計モデル**をあてはめて船体・機関の挙動を予測する。
- 4 このことの可能性、有効性を実船実験によって確かめることを目的とする。

本プロジェクトで観測された船体、機関時系列の計測例

汐路丸



ブルックリンブリッジ号



(目的1) 統計モデルのオンボードモニタリング

統計モデルと物理モデルの比較

従来の物理モデル: ニュートンの運動方程式

質量(船体排水量)×加速度=船体に加わった風: 波等の外力

特徴: 正弦波などの規則的な外力に有効(そんな波は無い)、船体図面が必要 → 代表モデルストリップ法



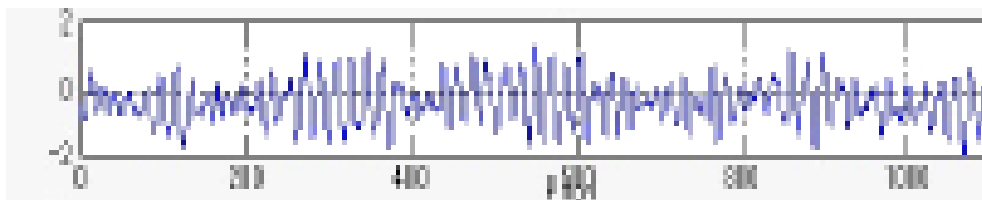
統計モデル(現在・過去のデータにより将来を予測する)

$$x(s) = a(1)x(s-1) + a(2)x(s-2) + \dots + a(M)x(n-M) + v(n)$$

現在の現象 = (1段階過去の現象に重みをかけた量) + (2段階前のデータに重みをかけた量) + + (適切な過去の段階のデータに重みをかけた量) + **偶然誤差**

特徴: 不規則な船体の挙動を少ないパラメータで予測できる、船上でモデルが簡単に得られる、図面不要、変数を増やせる

船上で船体・機関運動統計モデルを得る方法



1秒間毎N=1200点のデータを取り
 $x(1), x(2), \dots, x(N)$ とする

(1) 時系列 $x(1), x(2), \dots, x(N)$ を表す統計モデルとしてM次自己回帰モデル

$$y(s) = a(1)x(s-1) + \dots + a(M)x(s-M)$$

を仮定し、このモデルと実際のデータの差の2乗和の平均を作る

$$L = (\text{実際のデータ} - \text{統計モデル})^2 / N$$

(2) このLが最も小さくなるように $a(1), a(2), \dots, a(M)$ を決める。(最小2乗法の適用)

(3) この計算を次数Mを1つつ上げ、そのモデルの良さを表すAICと呼ばれる量を計算し、このAICが最小となるM次統計モデルモデルを求める(最小AIC法)。

(4) 次のN個のデータが入力するまで待ち(1)に帰る。

あてはめた統計モデルから得られる情報

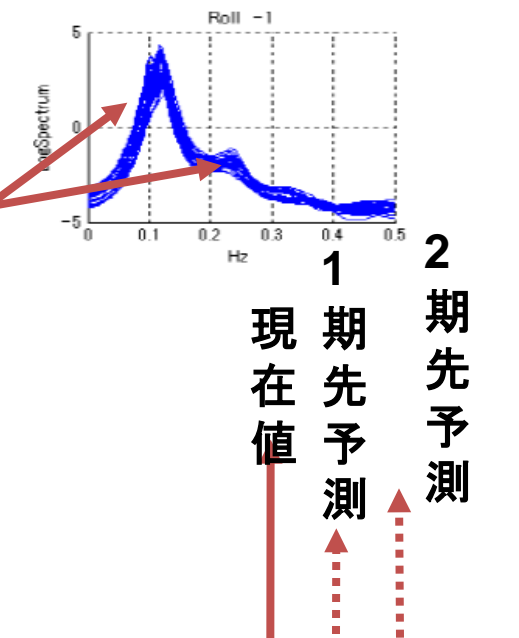
1. 運動の滑らかなスペクトラムが得られる

2. 簡単な計算で時系列の正確な主要周期、副周期などが分かる

3. 運動の予測、欠測値、異常値の検出ができる

4. トレンド、季節調整成分が検出できる

5. 他の運動からの影響が明らかになる



実海域における船体・機関運動解析

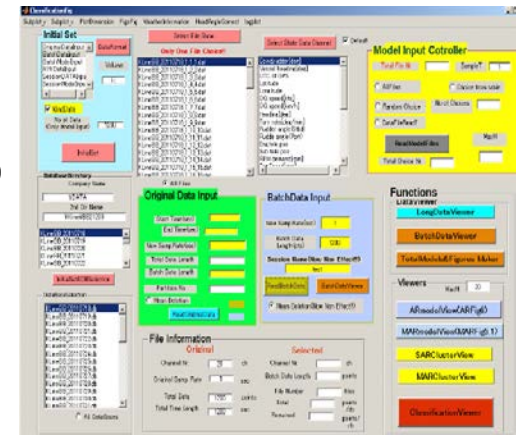
川崎汽船コンテナ船ブルックリンブリッジ号を中心に実船実験を行い、
実船の船体・機関データを独自に開発した**会話型プログラムパッケージ**
「**CLASSIFICATION**」を使い解析した

会話型実海域データ解析プログラムの特徴

1. MATLAB言語を使用した会話型ビジュアルプログラムパッケージである。
2. 機関性能・船体運動性能の高速、大容量の同時データが扱える

2.1 変数時系列のみならず多次元時系列のモデル化が行える

3. 運動の安定・不安定が判定できる。



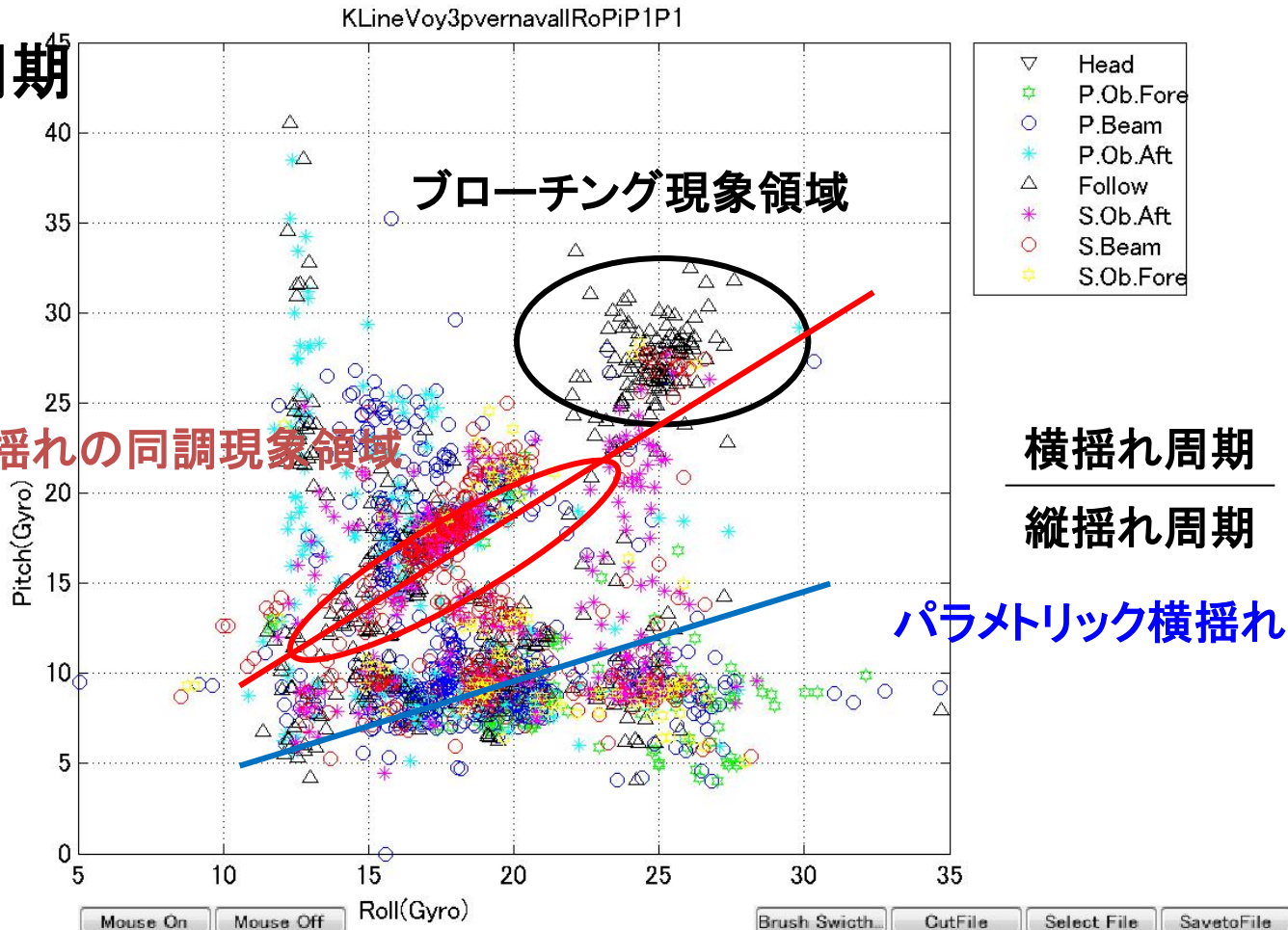
初期画面

4. 時系列の分類ができる。

統計モデルの解析から得られた結果(1): 縦揺れ周期と横揺れ周期の関係で起きる危険な領域

縦揺れ周期

縦揺れと横揺れの同調現象領域

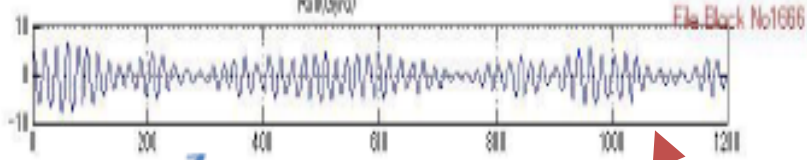
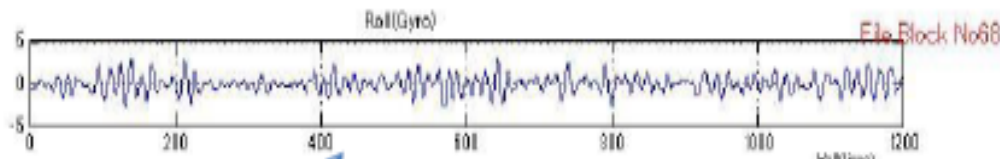
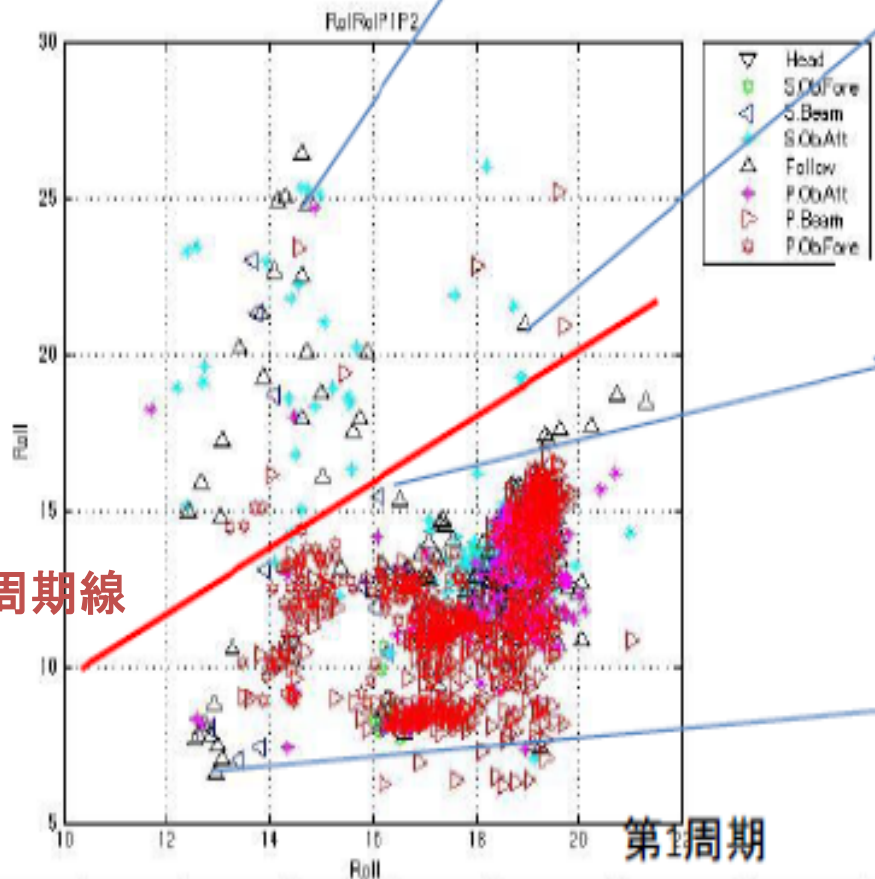


横揺れ周期

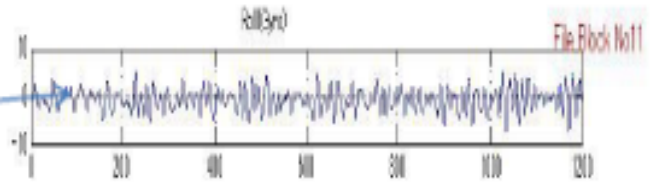
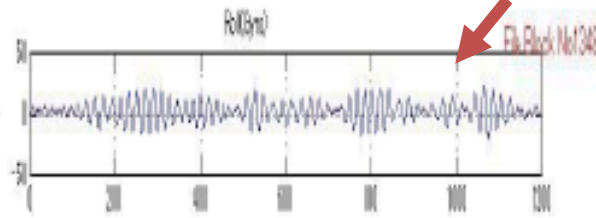
統計モデルの解析から得られた結果(2): 追波中の群波現象

多くの統計モデルから得られた
主周期と副周期の散布図

第2周期



追い波中で横揺れの主要周期と副周期が近い時、群波現象が起きる

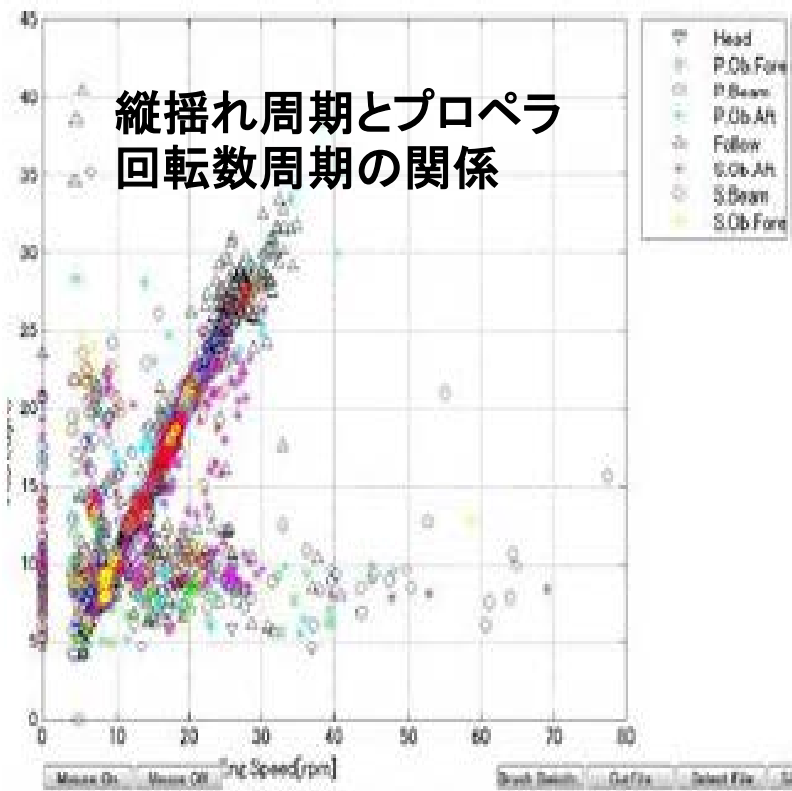


統計モデルの解析から得られた結果(3):燃料消費の原因の解明

縦揺れや舵角の大きな変動は船体抵抗となる

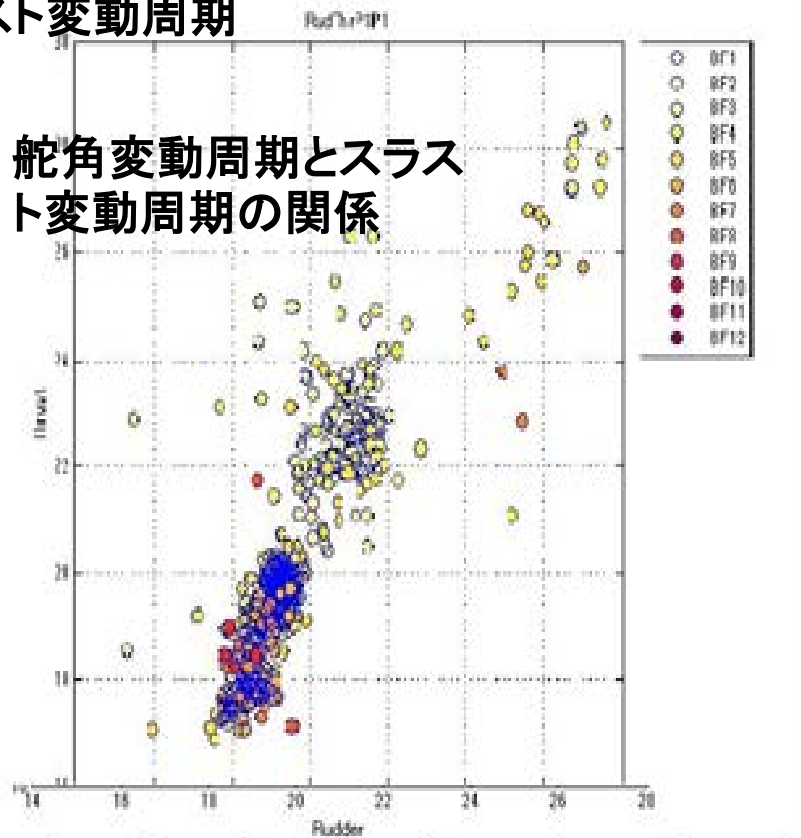
縦揺れは回転数変動を引き起こしそれを抑えるため燃料を使う

縦揺れ周期



舵角をとると船体抵抗となりスラストが変動する。それに打ち勝つため 燃料を使う

スラスト変動周期



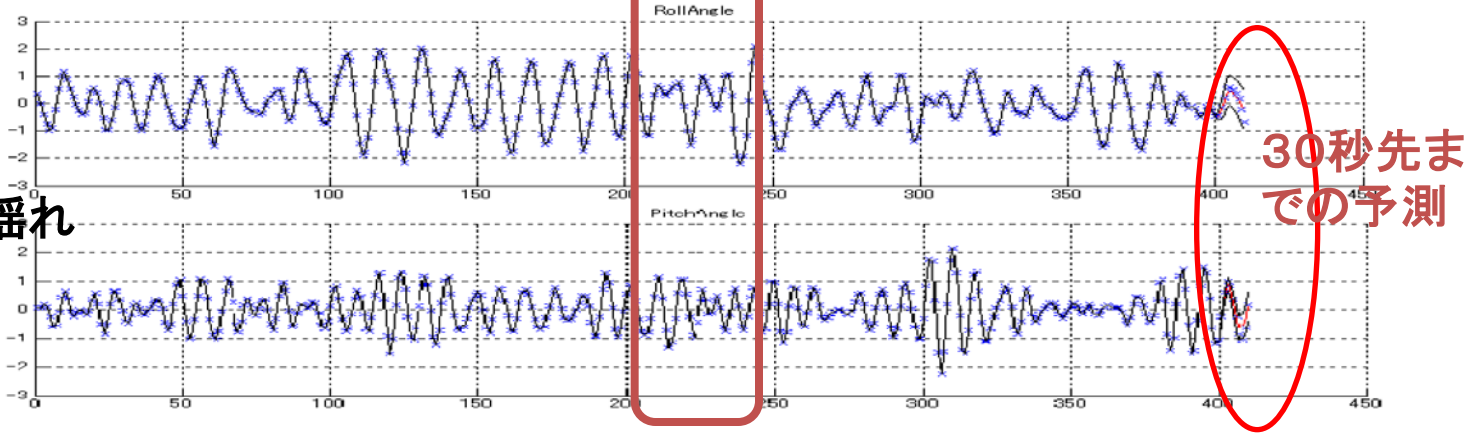
プロペラ回転数の変動

舵角周期

統計モデルの解析から得られた結果(4): 運動の予測、平滑

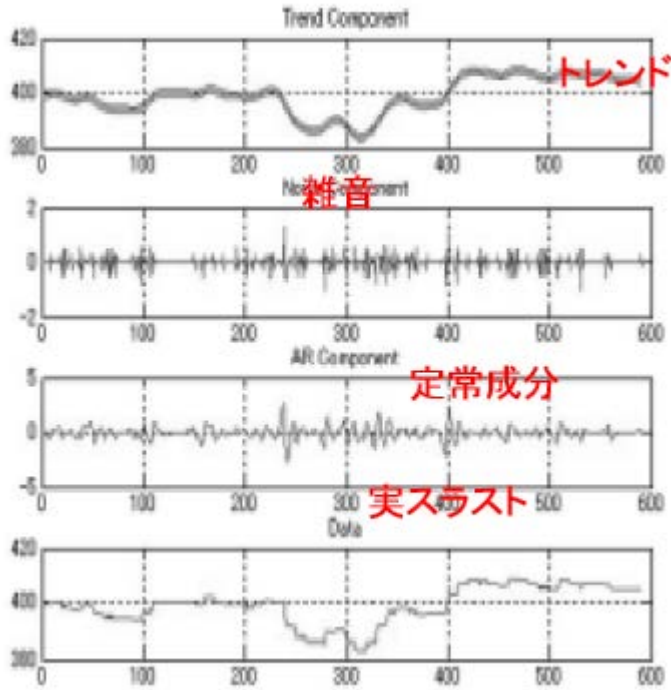
横揺れ

縦揺れ

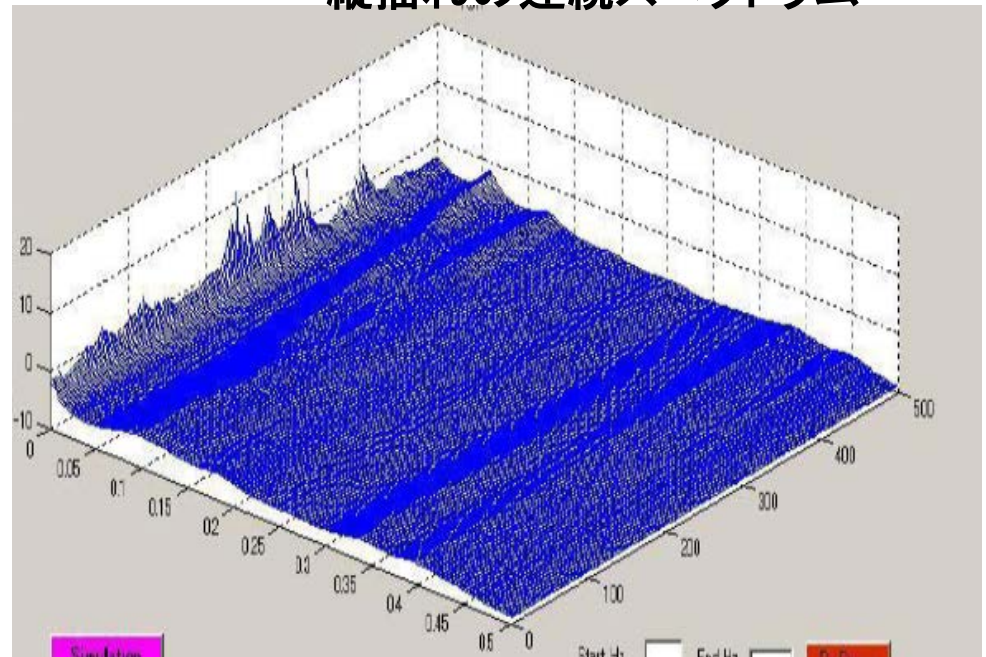


欠測値の推定

スラストのトレンド成分の抽出



縦揺れの連続スペクトラム

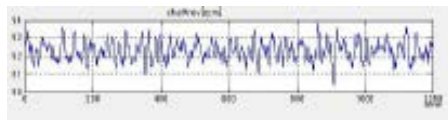


統計モデルの解析から得られた結果(5):機関運動への船体運動からの寄与の解明

多次元自己回帰モデルからのプロペラ回転数変動寄与量の算出

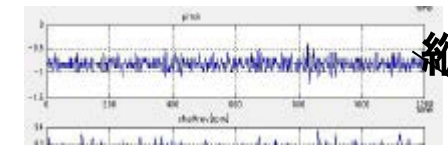
絶対量表示(回転数スペクトラムへの寄与量)

プロペラ回転数



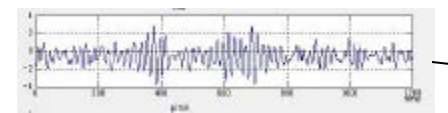
プロペラ回転数からの寄与

縦揺れ



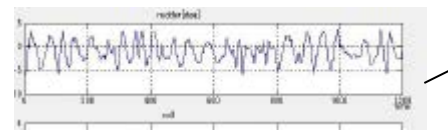
縦揺れからの寄与

横揺れ

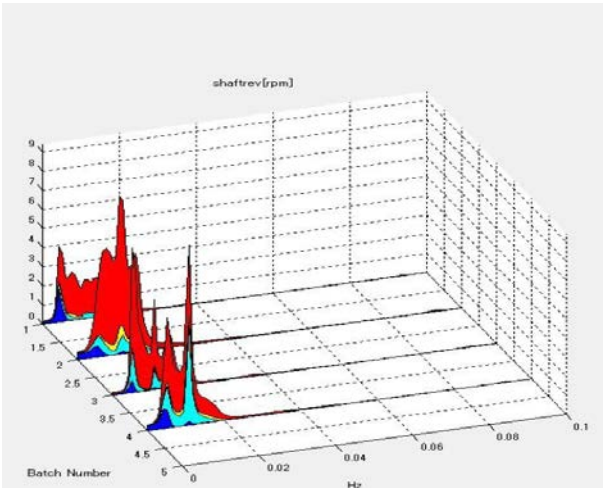
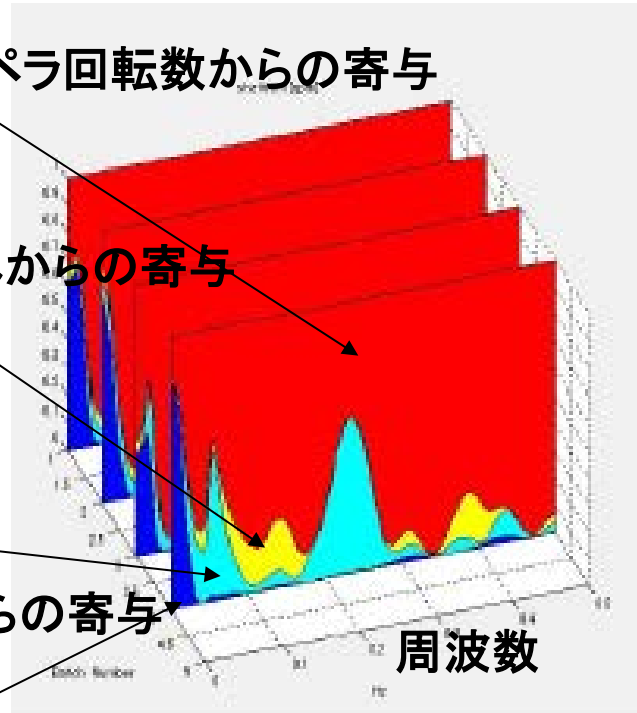


横揺れからの寄与

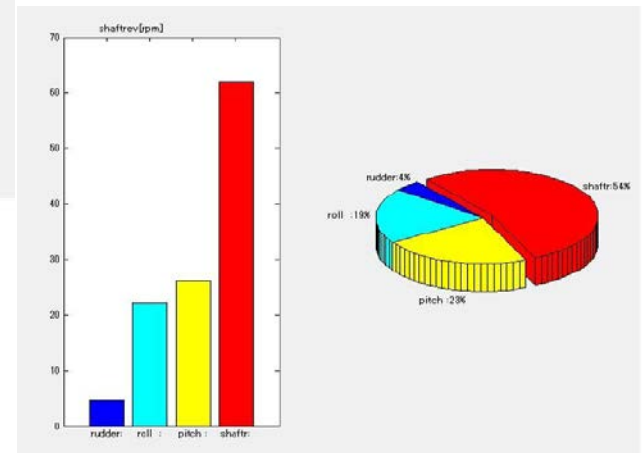
舵角



舵角からの寄与



寄与量の色々の表示



大きな寄与を与える運動を抑制しプロペラ回転数変動を抑えることができる。

(目的2) 統計モデルによる実海域船舶性能の推定 統計モデルと物理モデルの比較

従来の物理モデル: ニュートンの運動方程式 + 波スペクトラム



統計モデル: 条件付確率密度関数

波・風・海流・操船量を条件とする船体応答の条件付確率密度関数をオンボードデータから求めて、その期待値として性能を推定する。

$$\underbrace{E[\delta U]}_{\text{推定値}} = \int_0^{\infty} \delta U \cdot \underbrace{p_{\delta U}(\delta U | H_s, T_s, \chi_s, \dots, \chi_a)}_{\text{条件付確率密度関数}} d\delta U$$

特徴: 現在(新造時ではない)の実海域性能を推定できる
船上で統計モデルが得られる
船型情報(ボディープラン)、プロペラスペック不要

オンボードモニタリングデータを用いた性能解析フロー

■ 理論計算を用いず、データから性能を明らかにする

■ 計測器の不具合と見られるデータを除いて、すべてのデータを用いる。特定の条件下のデータを取捨選択しない

(例えば、平水中馬力を調べるために、波高〇〇m以下のデータを取り出す・・・ということはない。「〇〇m」はどのように決めるのか?)

船体応答量, 操船量, 海象など

(Step 1)

Onboard monitoring data

(Step 2)

Identify PDF of ship response

$$p(U|N, d, \delta, H_{1/3}, T_{02}, \chi_w, V_a, \chi_a, V_c, \chi_c)$$

: Ship speed for N, d, δ , sea stat

$$p(P_e|U, d, \delta, H_{1/3}, T_{02}, \chi_w, V_a, \chi_a, V_c, \chi_c)$$

: Power for U, d, δ , sea stat

$$p(F_{p_std}|X_{s_std}, X_{m_std}, U, d)$$

: Fluctuation of thrust for motions, l

(Step 3)

Condition 1

$$N = 98\text{rpm}, d = 11\text{m}, \delta = 0, BF = 0, V_c = 0, \chi_c = 0$$

$$\text{Ship speed} = E[U|N, d, BF, V_c, \chi_c] = 25 \text{ kts}$$

Condition 2

$$N = 80\text{rpm}, d = 11\text{m}, \delta = 0, BF = 6, \chi_w = 180^\circ, \chi_a = 0, V_c = 0, \chi_c = 0$$

$$\text{Ship speed} = E[U|N, d, BF, \chi_c, V_c, \chi_c] = 20 \text{ kts}$$

Condition 3

$$N = 98\text{rpm}, d = 12\text{m}, \delta = 0, BF = 6, \chi_w = 180^\circ, \chi_a = 0, V_c = 0, \chi_c = 0$$

$$\text{Ship speed} = E[U|N, d, BF, \chi_c, V_c, \chi_c] = 22 \text{ kts}$$

Condition 4

.....

船舶性能の推定 (擬似オンボードデータ)

海象と船速低下の特性を明らかにする

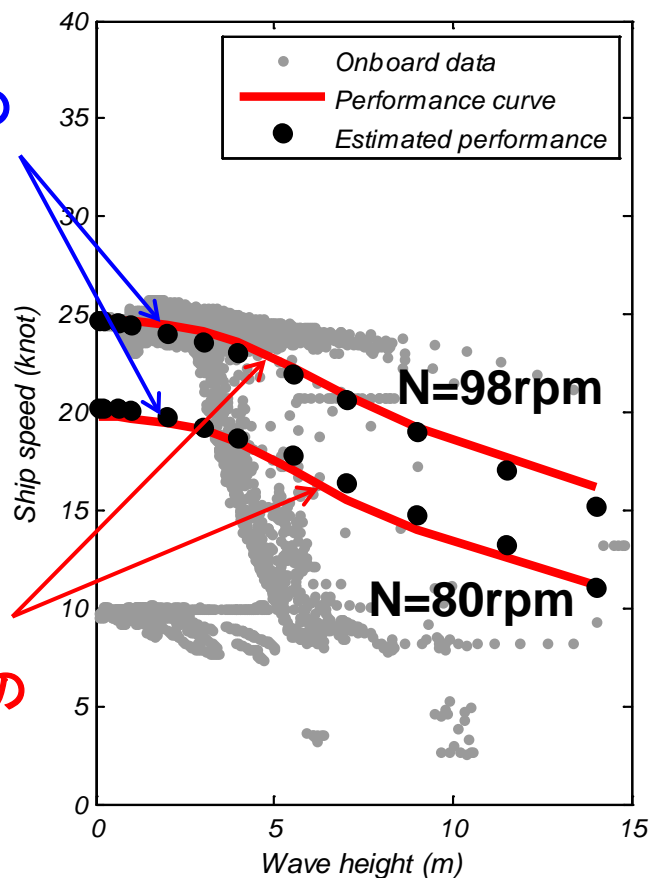
回転数一定, 向波, 海流ゼロ, 風速ゼロ, あて舵ゼロ

データから推定した
海象と船速低下量の
関係



良い一致

理論計算による
海象と船速低下量の
関係



$$p_{x_1|x_{-1}}(x_1|x_2, \dots, x_{10})$$

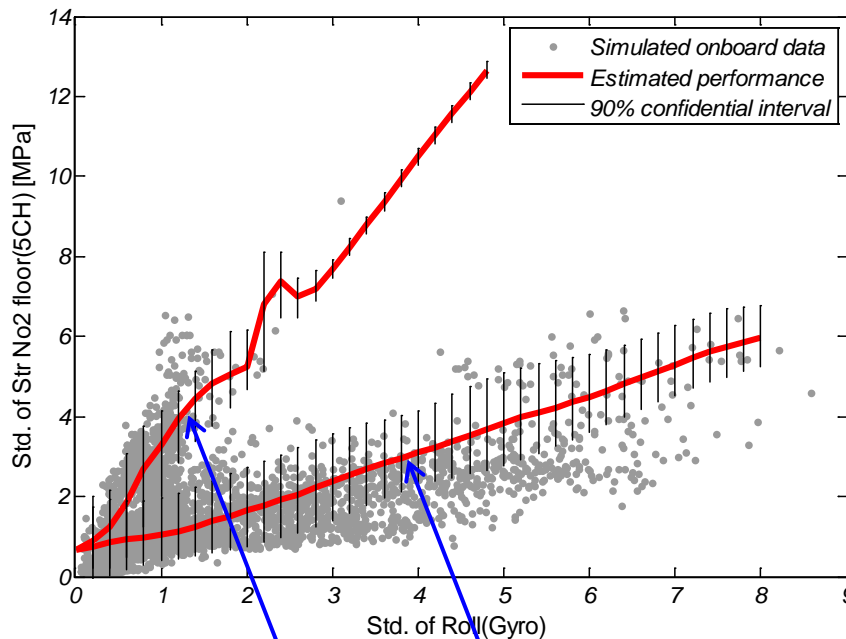
$$\mu_{x_1|x_{-1}} = E[x_1|x_2, \dots, x_{10}]$$

- x_1 : Mean ship speed
- x_2 : Engine revolution
- x_3 : Significant wave height
- x_4 : Group wave speed(long.)
- x_5 : Group wave speed(tran.)
- x_6 : Current speed (long.)
- x_7 : Current speed (tran.)
- x_8 : Wind speed (long.)
- x_9 : Wind speed (tran.)
- x_{10} : Rudder angle

船舶性能の推定 (実船オンボードモニタリングデータ [B])

応力と運動の関係を明らかにする

Roll, Pitch, 船速に対する応力の変化

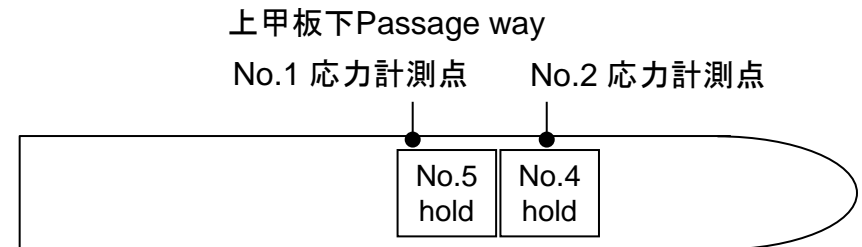


データから推定した
Pitch=Roll/2, 船速16ktsにおける応力の変化

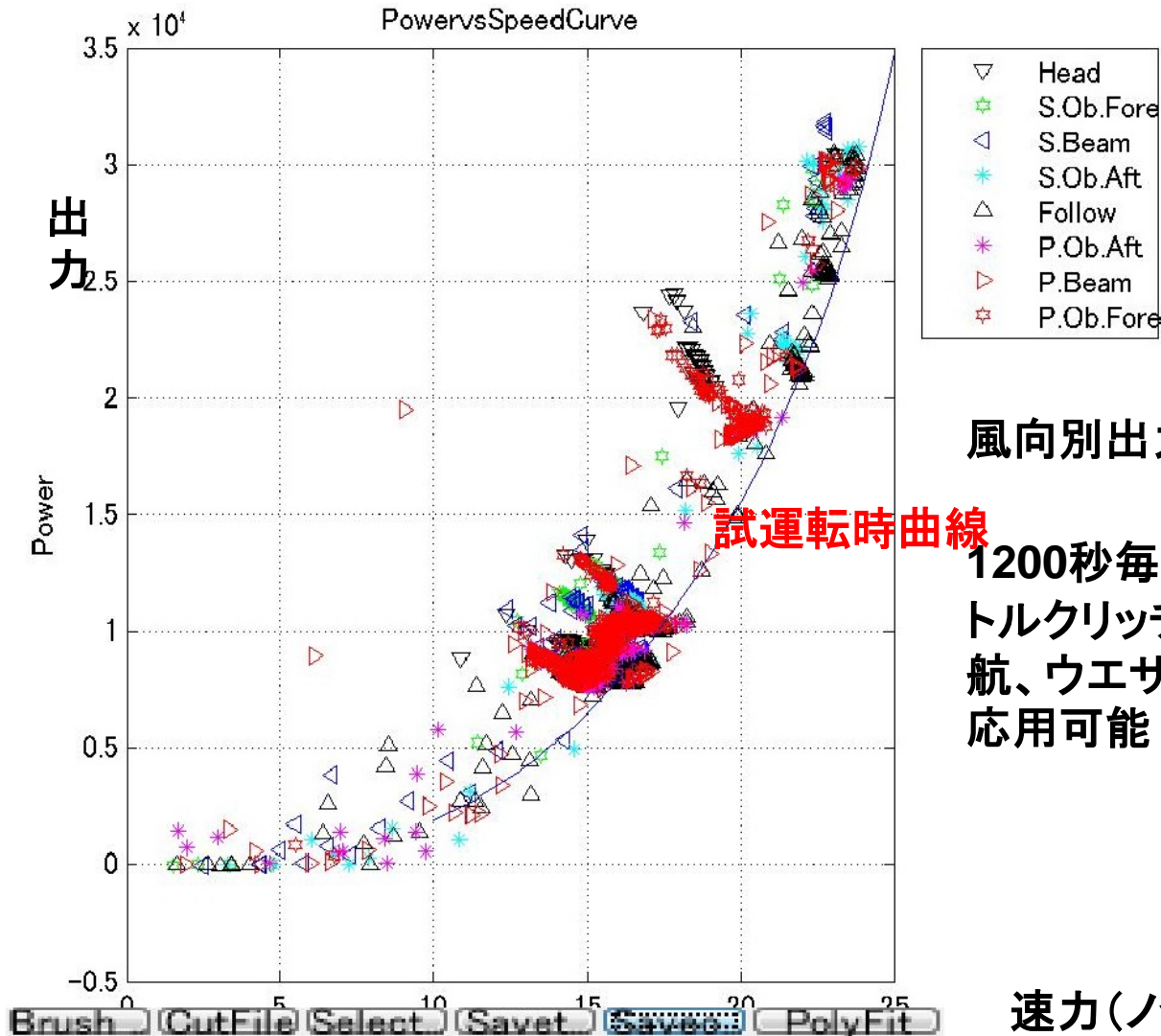
データから推定した
Pitch=Roll×2, 船速16ktsにおける応力

$$p_{x_1|x_{-1}}(x_1|x_2, x_3, x_4)$$
$$\mu_{x_1|x_{-1}} = E[x_1|x_2, x_3, x_4]$$

- x_1 : Std. of stress on No.2 floor(5ch)
- x_2 : Std. of Roll
- x_3 : Std. of Pitch
- x_4 : Mean ship speed



機関性能曲線の精密化



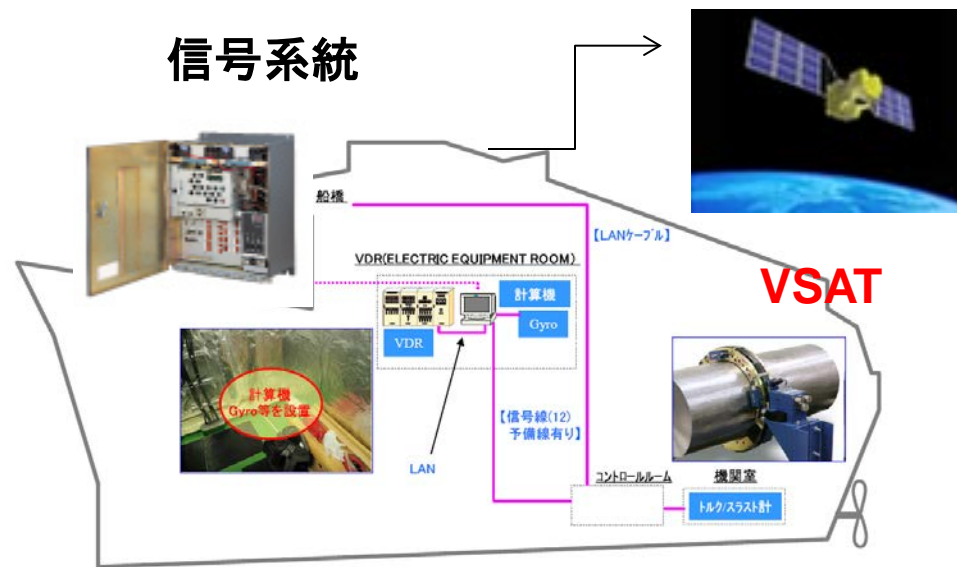
風向別出力・速力曲線

1200秒毎のプロット
トルクリッチの回避、省燃費運
航、ウエザールーティングに
応用可能

目的(3) 船陸間通信を用いた新たな船舶管理法の可能性の実証的研究

計測項目

情報の種類	項目	観測手段	情報経路
位置情報	緯度	GPS	VDR
	経度	GPS	VDR
船体運動	縦揺れ	FOG	A/D
	横揺れ	FOG	A/D
	船首揺れ	AutoPilot	VDR
	横加速度	FOG	A/D
	上下加速度	FOG	A/D
	前後加速度	FOG	A/D
制御運動	速力(対水)	電磁ログ	VDR
	速力(対地)	GPS	VDR
	舵角(指令)	AutoPilot	VDR
	舵角(実)	AutoPilot	VDR
機関運動	プロペラ回転数		VDR
	トルク	トルク計	A/D
	スラスト	スラスト計	A/D
気象海象	風力	風向風力計	VDR
	風向	風向風力計	VDR
	波高	GPV	VDR
	波向	GPV	VDR

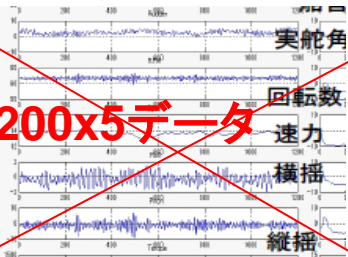


VDR室におけるデータ収録システム

開発したブルックリンブリッジ号におけるデータ計測システムとVSATによるデータ通信

船陸間通信により送信される統計パラメータ

~~1200x5データ~~



全データを送る代わりに下の図のような極めて少ない量の情報を送ることによりすべての解析ができる

ARmodel ファイルの内容

STATISTICS

4 4
1 2
0 0

0.000000 0.000000
0.1250084 1.1347700
0.2711434 0.0621910
0.0735187 0.0038677

AR Parameters

2 2

19 12

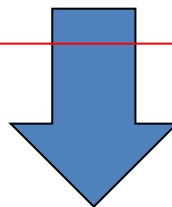
0.0074461 0.0027605
0.4823616 0.2604390
0.2231099 0.1228305
0.0524469 0.0524241
-0.0564997 -0.0399936
-0.0553931 -0.0521686

モデル状態
平均値
標準偏差
分散

次数

AR係数

陸上に送る統計パラメータの量



MARmodel ファイルの構造

STATISTICS

1 1
1 2
1200 1200
1.0000000 1.0000000
0.2695438 1.0984878
0.1794363 0.0638748
0.0321974 0.0040800

2

20

Prediction Errors Matrix

0.8140884E-02 0.4038616E-03
0.4038616E-03 0.2693614E-02

MAR Model

0.4291785 -0.0624273
-0.0288202 0.2611813
0.1870517 -0.0520530
-0.0155928 0.1350741
0.0205571 -0.0012205

サンプリング時間
平均値
標準偏差
分散

モデルの状態
次数
予測誤差

多変量自己回帰係数

目的(1)に対するまとめ

- 1 船上で得られる時系列運動データから自己回帰モデルを高速で作ることに成功した。
- 2 船体運動・機関運動の主周期、副周期等周期情報を簡単かつ正確に推定できることを確認した。
- 3 運動の予測、欠測値の補間、異常値の検出、スペクトラムの瞬時変動等の表示が可能であることを示した。
- 4 機関に与える船体運動の寄与を周波数ベースで表示できることを示した。

目的(2)に対するまとめ

5. モニタリングデータから船舶性能(短期船体応答量)を推定するための統計モデルを提案した。
6. 実海域性能シミュレーションデータにより統計モデルの妥当性を検証し、概ね理論性能値を推定できることが明らかになった。
7. 実船オンボードモニタリングデータに対して、統計モデルを適用し、矛盾のない性能推定値を得た。
8. 提案のオンボードモニタリングデータ解析の発展的な応用として、船体応答の起因成分分離、感度解析、船速低下予測などが可能である。

目的(3)に対するまとめ

9. 船陸間通信の活用により新たな統計的運航管理法が有効であることを確認した。