

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月19日現在

機関番号：82708

研究種目：若手（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21760672

研究課題名（和文）時系列解析に基づく復原力変動時における動揺パラメータ推定法

研究課題名（英文）Estimation procedure on parameters of ship motions in parametric rolling based on time series analysis

研究代表者

寺田 大介（Daisuke Terada）

独立行政法人水産総合研究センター・水産工学研究所・研究員

研究者番号：80435453

研究成果の概要（和文）：

本研究では、復原力変動を起こしている船舶の動揺パラメータ（減衰力係数、固有周波数）を実際に計測された時系列データから推定する方法を確立した。さらに、この方法で推定した動揺パラメータを用いて、船舶の横安定性をオンボードで判定するための安全性指数を立案し、その有効性を模型船実験の結果を用いて確認した。なお、実船の動揺計測も実施したが、復原力変動を起こしている際の動揺データを取得するには至らなかった。

研究成果の概要（英文）：

In this study, the estimation procedure on parameters of ship motions such as the damping coefficient, the natural frequency and so on in parametric rolling based on time series analysis is constructed. Moreover, by using the estimated parameter of ship motions, the safety judgment index is proposed. The effectiveness of this is confirmed by using the time series of model experiments. Onboard experiments are also carried out. However, we were not able to observe the parametric rolling phenomenon.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：①時系列解析, ②推進・運動性能, ③海上輸送システム

1. 研究開始当初の背景

船舶海洋工学の分野における耐航性研究の成果および統計科学の分野における時系列解析の研究成果を利用した、船載型安全運航支援システムの開発を念頭においた研究を実施している。

これまでに、オンラインで船舶の動揺データから遭遇波浪の方向波スペクトルを逆推

定する手法を開発し、推定した方向波スペクトルを用いた船体応答の短期予測に関する研究を行ってきた。この研究においては、方向波スペクトルを逆推定する際に、船体動揺の応答関数を用いているが、この応答関数の計算時に信頼性の高い減衰係数および横揺れ固有周波数いわゆる動揺パラメータを入力条件として与える必要がある。動揺パラメ

ータは模型実験あるいは実験公式によって求められるが、近年の船型大型化などの影響により、これらの方法で求めた動揺パラメータの信頼性は低下しているようである。この問題を解決するために、航行時における動揺の時系列データから動揺パラメータを推定する方法の研究を実施し、シミュレーション数値実験を行った結果から、提案する方法の有効性を確認した。この研究では、まず、船舶の線形横揺れ運動方程式を連続型自己回帰 (Continuous Auto Regressive: CAR) モデルに変換し、同モデルを離散化して状態空間モデルで表現した。次に、状態とパラメータとを同時に推定するために、状態空間モデルを SOSS モデルに拡張した。なお、状態推定には粒子フィルタ (北川による Monte Carlo Filter : MCF) を使い、動揺パラメータは推定した CAR モデルのパラメータを変換することによって決定した。

ところで、近年、復原力変動に起因するパラメトリック横揺れが世界的に問題になっており、世界海事機関 (International Maritime Organization: IMO) では非損傷時船舶復原性基準の改正に当たってこの問題が考慮されている。わが国においても、大阪大学の梅田教授を中心として模型船実験をベースとした復原力変動に関する研究がおこなわれている。また、東京海洋大学の井関教授、株式会社商船三井、株式会社エム・オー・マリンコンサルティングおよび寺田(本研究代表者)らは、平成 17 年から 20 年 8 月にかけて株式会社商船三井が運航するコンテナ船、自動車運搬船および木材チップ船に関して、動的な影響を考慮した運航時の GM 基準を策定した。同基準は現在、商船三井が運航する前述の船種に関して実際に運用が開始されている。

以上のような研究を経て、復原力変動を記述する非線形な船体動揺の運動方程式を適切な SOSS モデルで表現することができれば、粒子フィルタを用いることによって、時々刻々の復原力変動の推定が可能になるのではないかという着想に至った。なお、線形周期係数システムのパラメータ推定に関しては、平成 20 年度統計数理研究所・若手短期集中型共同研究 (北川源四郎先生) の成果として、実現可能であることが確認できている。

2. 研究の目的

この研究は、荒天海域を航行する船舶が復原力変動を起こす際の動揺パラメータの推定する方法として、時系列解析を応用した推定法の確立を目的とする。

3. 研究の方法

①復原力変動を記述する非線形な船体動揺の運動方程式を非線形 CAR モデルに変換し、このモデルをオイラー・丸山スキームで離散化した。これを動揺パラメータの同時推定の

ために自己組織型状態空間 (SOSS) モデルで表現した。②同モデルの状態推定をモンテカルロフィルタ (MCF) で行う計算プログラムを作成し、模型実験データを用いてこの計算プログラムを検証した。さらに、③動揺計測システムを開発した上で、実船 (長距離カーフェリー) の動揺計測を行い、④実船の動揺データを収集した。得られた実船データを精査し、得られた時系列データの中に復原力変動を起こしていたものがあるか否かに関して調査した。

4. 研究成果

復原力変動を起こしている船舶の動揺パラメータ (減衰力係数、固有周波数) を実際に計測された時系列データから推定する方法を確立した。

模型実験で得られた時系列データに対する解析結果の一例を図 1 および図 2 に示す。図 1 はパラメトリック横揺れではない時系列データの解析結果であり、図 2 はパラメトリック横揺れである時系列データの解析結果である。これらの図から、提案した方法に基づけば時間の進行に対して安定した推定が行えていることがわかる。

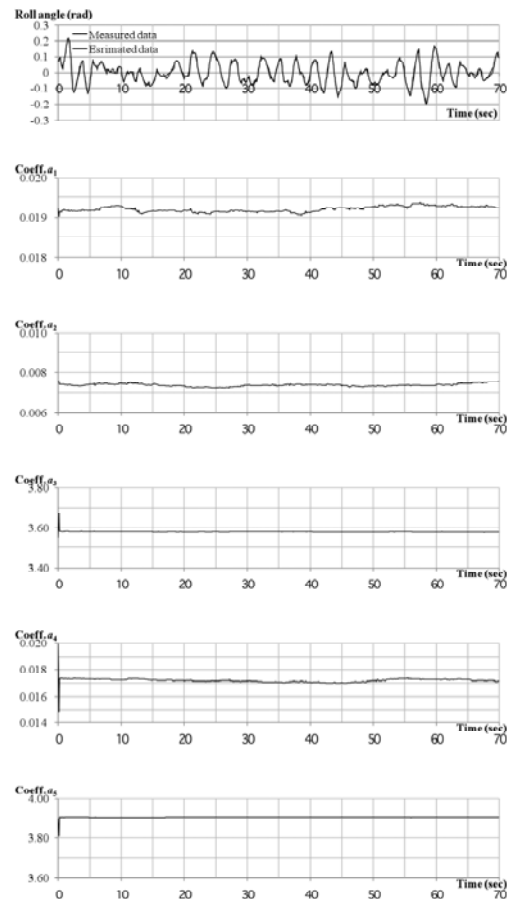


図 1 : 解析結果の一例 (上から、フィルタリング後の横揺れ角、係数 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 及び a_5) (パラメトリック横揺れではない場合)

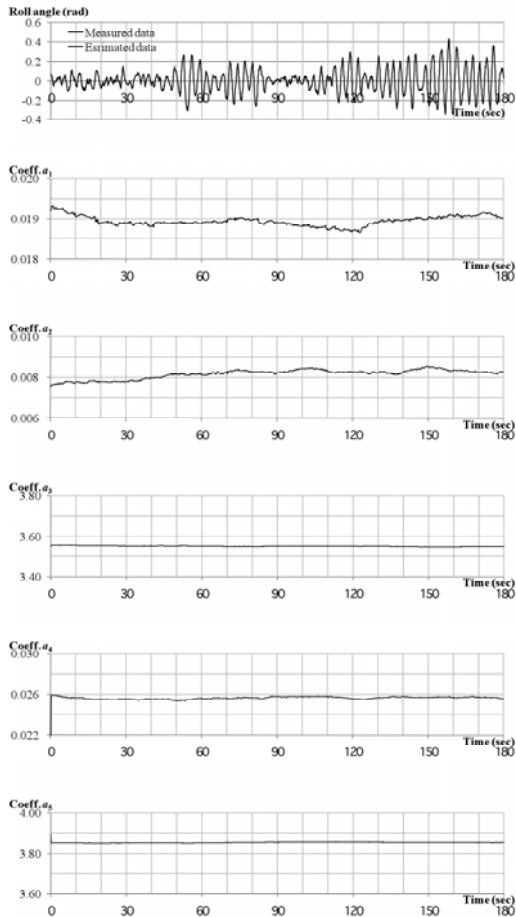


図 2：解析結果の一例（上から、フィルタリング後の横揺れ角、係数 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 及び a_5) (パラメトリック横揺れである場合)

次に、推定した動揺パラメータを用いて下の不等式により船舶の横安定性をリアルタイムで判定するための安全性指数を立案した。この研究では下式の右辺を安全性指数と定義した。

$$a_4 > \frac{2a_1}{\sqrt{a_3}}$$

この不等式を満たす場合、すなわち安全性指数が係数 a_4 よりも小さい場合は船舶の横安定性が悪いことを意味している。図 1 および図 2 の例に関して安全性指数と係数 a_4 を比較したものを図 3 および図 4 に示す。図は点線が安全性指数であり、直線が係数 a_4 である。

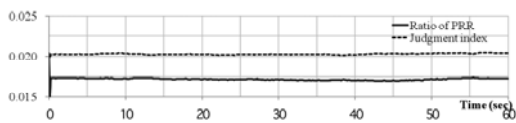


図 3：安全性指数と係数 a_4 の比較 (パラメトリック横揺れではない場合)

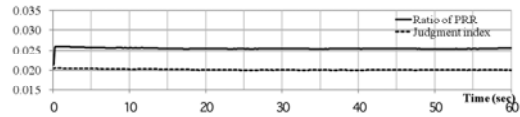


図 4：安全性指数と係数 a_4 の比較 (パラメトリック横揺れではない場合)

これらの図からわかるように、時系列データがパラメトリック横揺れではない場合、安全性指数は係数 a_4 よりも大きな値を示している。また、時系列データがパラメトリック横揺れである場合、安全性指数は係数 a_4 よりも小さな値を示している。これは先ほどの不等式とよく対応していることがわかる。

このことから、種々の動揺パラメータを推定し安全性指数を求めれば、船舶の横安定性をオンボードで把握することができる。

現在、動揺パラメータの推定計算を高速で行うための取り組みとして、アンサンブルカルマンフィルタによる状態推定のプログラムを開発した。開発したプログラムによる動揺パラメータの推定精度は MCF と同程度であることが確認できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)

寺田大介、松田秋彦：非線形力学システムと時系列モデルの関係に関する一考察—船舶の復原性判定システムへの応用—、日本船舶海洋工学会論文集、査読有、第 14 号、2011 年、p75～84。

K. Sasa, D. Tetada, S. Shiotani and E. Kobayashi: A Study of Numerical Simulations of Ship Motions While Underway Using a Coastal Wave Database, International Journal of Offshore and Polar Engineering, 査読有, Vol. 22, No. 4, 2011, p1～8.

笹健児、寺田大介、若林伸和、塩谷茂明：荒天時の船体運動と貨物損傷の関係について、日本航海学会論文集、査読有、第 125 号、2011 年、p150～158。

S. Shiotani, H. Makino and D. Terada: Analysis of Ship Behavior in Tsunami Using AIS Data, Proc. of International Sessions in Coastal Engineering, 査読有, Vol. 2, 2011, p1～5.

D. Terada and G. Kitagawa: STUDY ON A STABILITY JUDGMENT SYSTEM BASED ON TIME SERIES ANALYSIS, Proc. of OMAE 2010, 査読有, CD-ROM, 2011, p1～8.

寺田大介、北川源四郎、三好晋太郎：船位の高精度推定(第一報) -GPSのみを用いる場合-、日本船舶海洋工学会論文集、査読有、第 12 号、2010 年、p193～199。

D. Terada: Processing of the outliers included in a ship's position obtained

from GPS via Particle Filter, Proc. of SCIS&ISIS 2010, 査読有, CD-ROM, 2010, p1~6.

D. Terada, G. Kitagawa, S. Shiotani & E. Kobayashi: Estimation of a Maneuverability Index based on Data Assimilation, Proceedings of the Asia Navigation Conference 2009, 査読有, 2009, p165~170.

D. Terada & G. Kitagawa: Estimation of the Maneuverability under External Disturbance, Proc. of the 13th IAIN World Congress

(<http://www.nornav.org/13th-iain-world-congress-and-exhibition-stockholm-october-27th-30th-2009.4518699-27958.html>), 査読有, 2009, p1~6.

〔学会発表〕(計 10 件)

寺田大介: オンボードデータに基づく操縦性指数のリアルタイム推定、日本船舶海洋工学会関西支部 KFR 研究会 (招待講演)、2012 年 3 月 16 日。

寺田大介、笹健児、若林伸和、塩谷茂明、小林英一、松田秋彦: 津波による船体運動の時系列解析、日本船舶海洋工学会秋季講演会、2011 年 11 月 2 日。

D. Terada and A. Matsuda: Onboard Analysis of Ship Stability Based on Time-Varying Auto Regressive Modeling Procedure, 12th International Ship Stability Workshop, Jun 13, 2011.

寺田大介、北川源四郎、松田秋彦: 非正規自己回帰モデルによる横揺れのバイスペクトル推定、日本船舶海洋工学会春季講演会、2011 年 5 月 19 日。

寺田大介: 逐次データ同化による操縦シミュレーションモデルの評価、日本船舶海洋工学会運動性能研究会、2010 年 6 月 2 日。

寺田大介: AR 法で推定したスペクトルの位相情報復元に関する研究、日本船舶海洋工学会春季講演会、2010 年 6 月 7 日。

寺田大介: 逐次データ同化による船舶の操縦性能推定に関する研究-広島丸による検証-、日本船舶海洋工学会春季講演会、2010 年 6 月 8 日。

寺田大介: 非線形力学システムと時系列モデルの関係に関する一考察、日本船舶海洋工学会運動性能研究会、2010 年 10 月 19 日。

寺田大介: GPS 信号のオンライン統計処理による船位の高精度推定、日本船舶海洋工学会秋季講演会、2010 年 11 月 12 日。

寺田大介: 時系列解析による復原力変動時の動揺パラメータの推定、日本船舶海洋工学会推進性能・運動性能合同研究会、2009 年 10 月 22 日。

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

特記事項なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺田 大介 (Daisuke Terada)

独立行政法人水産総合研究センター・

水産工学研究所・研究員

研究者番号: 8 0 4 3 5 4 5 3

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし