

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：82708

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25289328

研究課題名(和文) 波浪中を航行する船の運動モデルに関する逐次データ同化

研究課題名(英文) Successive data assimilation for the mathematical model of ship motions in waves under navigation

研究代表者

寺田 大介(Terada, Daisuke)

国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産工学研究所・主任研究員

研究者番号：80435453

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、波浪中の船体運動として、強非線形現象であるパラメトリック横揺れに着目した。パラメトリック横揺れ現象に関して、規則波中および不規則波中の問題を取り扱った。これまでは実験を行うことによって推定されていた運動方程式(モデル)中の係数が逐次データ同化で推定できることを確認した。これは、自由航走模型実験や実船が航走している際の動揺データをモデルに同化することによって、パラメトリック横揺れの発生の有無が判断できることを意味しており、船舶安全運航確保に多大な貢献ができる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we focused on the parametric roll resonance, which is a strong nonlinear phenomenon, as a ship motion in the waves. Regarding the parametric roll resonance, we dealt with problems in regular waves and irregular waves. We confirmed that coefficients in the equation of motion (mathematical model) estimated by experiments and so on can be estimated by successive data assimilation. This means that it is possible to evaluate the presence or absence of parametric roll resonance by assimilating the data of the free-running model experiments or of an actual ship motions into the mathematical model. Therefore, based on the proposed method, it is possible to ensure safe ship operation can make a great contribution.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：船舶運動性能 逐次データ同化 パラメトリック横揺れ

1. 研究開始当初の背景

物理モデルの観測データへの適合度および物理モデルのパラメータ推定結果は最小二乗法および数値計算結果とデータとの残差などで測られることが多い。これらの方法では、どのパラメータが適合を上げるために有効であるのか、および考えている物理モデルがそもそも合理的なものであるのかなどの情報をえることが難しい。

このような問題点を解決するための方法論として、近年統計科学の分野で、逐次データ同化と呼ばれる方法論が確立された。この方法論は、すでに宇宙科学・海洋学・生命科学などの分野において、モデルヴァリデーションならびにパラメータ推定に関して多大な成果を上げている。したがって、船舶海洋工学の分野においても同様な成果が期待できると想定した。

研究開始当時の国内・国外の研究動向は次の通りである。

(1)物理モデルの観測データへの適合度の評価：国内・国外ともに、定性的な傾向に関する主観的な評価ならびに残差の大小による主観的な評価が行われることが多い。前述のとおり、この方法ではモデルの改良に関する情報を得ることが難しい。これに対して、提案する方法では統計的な評価尺度の一種である尤度を用いてモデルの評価が客観的に行える。

(2)パラメータ推定結果の評価：物理モデルにおけるパラメータ推定の方法としては、国内・国外において、ニューラルネットワーク、遺伝アルゴリズムおよび自己組織型状態空間モデルなどが提案されている。これらの方法の中で、推定したパラメータの妥当性を尤度の観点から確率過程として客観的に評価できるのは自己組織型状態空間モデルのみであり、この方法に関しては研究代表者が先行して取り組んでおり、他の研究者・グループと比較して、多くの知見を有している。

このような経緯を踏まえ、提案する課題の解決が実現できると考えるに至った。

2. 研究の目的

第一に、逐次データ同化の方法を用いて、波浪中を航行する船の運動モデルに関するヴァリデーションならびにモデルに含まれるパラメータ推定を同時に行い、現在使用している波浪中における船体運動の予測モデルの改良を行う。次に、実船の動揺データのみを用いた実海域でのパラメトリック横揺れ予測システムを開発する。

3. 研究の方法

(平成 25 年度)

規則波中におけるパラメトリック横揺れ予測モデルの計算コードを粒子フィルタによる逐次データ同化が行えるように拡張した。さらに、パラメータ同定のための方法として、超多粒子を用いる方法および自己

組織型状態空間モデルを用いる方法に関してパラメータ同定の精度および計算時間などの検討を数値実験に基づいて行った。また、パラメトリック横揺れ予測モデルと時系列モデルの関係を導出し、時系列解析に基づく大振幅横揺れの発生可能性の有無の判定法について示した。

(平成 26 年度)

規則波中におけるパラメトリック横揺れ予測モデルのヴァリデーション方法について、北川のモンテカルロフィルタと赤池情報量規準とを組み合わせて用いる方法を提案し、数値実験に基づく検証を行った。また、横揺れパラメータの一種である減衰力係数を推定するための新しい方法および前年度提案したパラメトリック横揺れ発生予測のための新しい時系列解析法に関して、実船実験および模型船実験時に得られたデータを用いて検証を行った。

(平成 27 年度)

不規則波中におけるパラメトリック横揺れ予測モデルの計算コードを粒子フィルタによる逐次データ同化が行えるように拡張した。また、実船横揺れデータのみを用いた実海域でのパラメトリック横揺れの発生予測に関して、確率分布の時間発展を予測する方法を新たに提案し、模型船実験のデータに基づいてその有効性を検証した。

(平成 28 年度)

不規則波中におけるパラメトリック横揺れ予測モデルと数値実験および模型船実験のデータを用いて逐次データ同化を行った。また、実船横揺れデータのみを用いた実海域でのパラメトリック横揺れの発生予測に関して、時系列そのものを直接予測する方法を新たに開発し、模型船実験のデータに基づいてその有効性を検証した。

4. 研究成果

(モデルヴァリデーションおよびパラメータ推定)

パラメータ推定に関して、まずは規則波中のモデルに着目し、超多粒子を用いる方法および自己組織型状態空間モデルを用いる方法の2通りの方法について検討した。超多粒子を用いる方法では膨大な計算時間を要するものの概ね良い推定結果が得られることが確認できた。また、自己組織型状態空間モデルを用いる方法では、パラメータの初期値依存性が存在することが確認でき、この解決策として最適化計算法の一種であるNelder-Mead法を用いる推定法を提案し、その有効性を数値実験および模型船実験のデータを用いて検証した。これらを総合的に判断して、規則波中のモデルのパラメータ同定に関しては自己組織型状態空間モデルを用いる方法が優位であると結論付けた。一方、不規則波中のモデルにおいては、パラメータとしては定数と時変係数が混在していることから、単純な自己組織型状態空間モデル

を用いる方法に着目した。ここではその一例として、平成 28 年度に実施した不規則波中のパラメトリック横揺れ予測モデルに関するパラメータ推定の結果を示す。検証のためのデータは数値実験によって生成した。図 1 は定係数項(減衰係数)の推定結果であり、図 2 は時変係数項(波強制力)の推定結果である。図中の黒線が真値、赤線が推定値をそれぞれ示している。これらの図から、定係数項に関しては時間とともに徐々に推定値が真値に近づいていく様子が分かり、時変係数項に関しては推定初期の段階から推定値と真値はよく一致していることが分かる。したがって、提案した方法は不規則波中の場合も有効であるといえる。

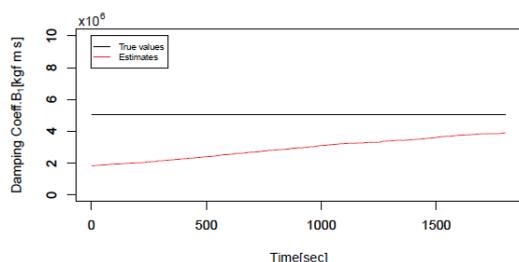


図 1 定係数項の推定結果の一例

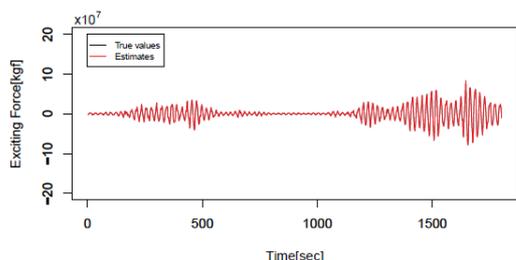


図 2 時変係数項の推定結果の一例

規則波中および不規則波中のパラメトリック横揺れ予測モデルのヴァリデーシオンは、数値実験に基づいて検証した。ここではその一例として、平成 26 年度に実施した規則波中のパラメトリック横揺れ予測モデルに関する結果を示す。この例では、真のモデル(True)に対して、4 つのモデルを検討対象とした。結果のまとめを表 1 に示す。表中の M-3 が真のモデルと同一であり、表に示された通り赤池情報量規準による評価では M-3 のモデルが統計的には最も良いモデルとして選択されている。これは真のモデルを正しく選択できていることを示しており、提案する方法の有用性が確認できたものと考えられる。

表 1 モデルヴァリデーシオン結果の一例

Items	M-1	M-2	M-3	M-4	True
AIC	1937.2	-2411.8	-2417.3	-2413.0	
B_1	0.0492	0.0549	0.0545	0.0193	0.0564
B_2	-	-	-	0.00191	-
B_3	-	2.60×10^{-4}	2.35×10^{-4}	2.10×10^{-4}	2.34×10^{-4}
C_{ave}	0.180	-	0.166	0.213	0.159
C_{amp}	1.164	2.020	1.866	1.954	1.683
ε	1.075	0.034	1.049	0.987	1.034

(パラメトリック横揺れ予測システム)

実海域におけるパラメトリック横揺れの予測に関しては、次の 3 種の方法を提案し、模型船実験などで得られた横揺れの時系列データを用いて検証した。

ExpAR モデルの特性根解析

ExpAR モデルをベースとした横揺れの確率予測

RBF-AR モデルによる時系列の直接予測

その結果、いずれの方法もパラメトリック横揺れの発生の予測という観点では実用的な方法であるといえるが、結果の解釈のしやすさという観点からは と が優位であり、また計算時間の観点からは と が優位であった。これらを踏まえると現状では の方法が最良であると考えられる。しかしながら、コンピュータの性能は年々向上していることから、

の方法に関しても今後継続してアルゴリズムの高速化を図って行くことによって、前述の課題は解決できると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 6 件)

- 1) Daisuke Terada: Onboard evaluation of the transverse stability for officers based on nonlinear time series modeling, Journal of Maritime Researches, vol. 4, pp.31-42 (2014.3)
- 2) 寺田 大介: 運動性能分野におけるデータ同化の応用とその可能性, 実海域における実船性能モニタリング, 日本船舶海洋工学会運動性能研究委員会, pp.207-226 (2015.2)
- 3) Daisuke Terada, Hirotsada Hashimoto, Akihiko Matsuda: Novel statistical prediction on parametric roll resonance by using onboard monitoring data for officers, Proc. of the 12th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles, USB disk pp.1007-1018 (2015.6 Glasgow)
- 4) 寺田 大介: 実船モニタリングデータを用いた船の安全性評価, 海洋水産エンジニアリング, 海洋水産システム協会, pp.97-107 (2016.3)
- 5) Daisuke Terada, Hirotsada Hashimoto, Akihiko Matsuda: Estimation of parameters included in nonlinear roll motion equation based on data assimilation procedure, Proc. of the 3rd international Conference on Violent Flows, CD-ROM pp.1-5 (2016.3 Osaka)
- 6) Daisuke Terada, Hirotsada Hashimoto, Akihiko Matsuda: Estimation of Parameters in the Linear Stochastic Dynamical System Driven by Colored

Noise Sequence, Proc. of the 47th ISCIIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, Vol.2016, pp.125-131 (2016.5)

〔学会発表〕(計 18 件)

- 1) 寺田 大介、松田 秋彦: ExpAR モデルによる横揺れの時系列解析, 日本船舶海洋工学会第 22 回推進性能・運動性能合同研究会 (2013.6)
- 2) 寺田 大介、松田 秋彦: 漁船の動揺データの時系列解析(その 2), 第 4 回船舶操縦性予測モデルの高度化に関する研究委員会(2013.7)
- 3) Daisuke Terada, Akihiko Matsuda: Onboard evaluation of the transverse stability for officers, Proc. International Ship Stability Workshop 2013, CD-ROM pp.1-7 (2013.9 Brest)
- 4) 寺田 大介、三好 潤、松田 秋彦: 漁業調査船「たか丸」の 4 自由度の操縦運動シミュレーション, 第 5 回船舶操縦性予測モデルの高度化に関する研究委員会 (2013.12)
- 5) 寺田 大介、橋本 博公、松田 秋彦: パラメトリック横揺れ予測数学モデルのパラメータ同定法, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 18 号, pp.227-230 (2014.5)
- 6) 寺田 大介、橋本 博公、松田 秋彦: 船舶のパラメトリック横揺れ現象に関する逐次データ同化, 第 63 回理論応用力学講演会講演論文集, USB disk pp.1-2 (2014.9)
- 7) 寺田 大介、橋本 博公、松田 秋彦, パラメトリック横揺れ予測数学モデルのパラメータ同定法(その 2), 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 19 号, pp.383-385 (2014.11)
- 8) 寺田 大介: 運動性能分野におけるデータ同化の応用とその可能性, 実海域における実船性能モニタリング, 日本船舶海洋工学会運動性能研究委員会, pp.207-226 (2015.2)
- 9) 寺田 大介、三好 潤、松田 秋彦: 実船データを用いた操縦運動予測モデルのパラメータ同定, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 19 号, pp.387-390 (2014.11)
- 10) 寺田 大介、橋本 博公、松田 秋彦: パラメトリック横揺れ予測数学モデルのパラメータ同定法(その 3), 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 20 号, pp.133-135 (2015.5)
- 11) Daisuke Terada, Hirotada Hashimoto, Akihiko Matsuda: Novel statistical prediction on parametric roll resonance by using onboard monitoring data for officers, Proc. of the 12th International Conference on the

Stability of Ships and Ocean Vehicles, USB disk pp.1007-1018 (2015.6 Glasgow)

- 12) 寺田 大介、橋本 博公、松田 秋彦: 規則向い波中におけるパラメトリック横揺れのデータ同化, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 21 号, pp.543-546 (2015.11)
- 13) Daisuke Terada, Hirotada Hashimoto, Akihiko Matsuda: Estimation of parameters in the linear stochastic dynamical system driven by colored noise sequence, Abstract of the 47th International Symposium on Stochastic System Theory and Its Applications, pp.145-146, (2015.12)
- 14) 寺田 大介、橋本 博公、松田 秋彦: 不規則波中のパラメトリック横揺れ現象の逐次データ同化, 第 72 回実海域推進性能研究会(2016.4)
- 15) 寺田 大介、橋本 博公、松田 秋彦: 不規則向い波中のパラメトリック横揺れの逐次データ同化, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 22 号(2016.5)
- 16) 寺田 大介: 船体動揺の RBF-AR モデル解析, 日本航海学会講演予稿集, vol.4(2016)No.2, pp.197-200 (2016.10)
- 17) 寺田 大介、橋本 博公、松田 秋彦: データ同化による船の非線形運動モデルのパラメータ同定, 第 59 回自動制御連合講演会論文集, pp.729-733 (2016.11)
- 18) 寺田 大介、橋本 博公、松田 秋彦: パラメトリック横揺れの時系列予測, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 23 号 (2016.11)

〔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〕

ホームページ等

http://fra-seika.fra.affrc.go.jp/-dbmng/r/cgi-bin/search/search_detail.cgi?RESULT_ID=4764&YEAR=2014

6. 研究組織

(1)研究代表者

寺田大介 (TERADA DAISUKE)

水産研究・教育機構・水産工学研究所・主任研究員

研究者番号: 80435453

(2)研究分担者

橋本博公 (HASHIMOTO HIROTADA)

神戸大学・海事科学研究科・准教授

研究者番号: 30397731

松田秋彦 (MATSUDA AKIHIKO)
水産研究・教育機構・水産工学研究所・グループ長
研究者番号：10344334

(3)連携研究者
なし

(4)研究協力者
なし