

GAを用いた船体横揺れ運動方程式の パラメータ推定

矢澤 真樹†, 上野 公彦†, 樊 春明†

Estimation of Coefficients of Differential Equation of Ship Roll Motion by GA

Masaki Yazawa†, Kimihiko Ueno†, Chunming Fan†

† 東京海洋大学大学院 : Graduate School of Tokyo University of Marine Science and
Technology

Abstract

In this paper, we assessed accuracy of estimation method for estimating coefficients of differential equation by GA (Genetic Algorithm) [9]. This method can identify the coefficients of arbitrary form of nonlinear damping and restoring moments by GA. Therefore, this method is extremely effective for cases in which the damping moment is complicated and strongly nonlinear, such as the case of the small fishing boat in Japan. We confirmed that estimation precision of this method is higher than that of Froude's energy method as a result of estimating parameters from free roll decay curve.

1 緒言

船体動揺は重心を基準とする直線的運動と、重心を原点とする直行座標軸まわりの回転運動で定義される。これらの回転運動の中で最も大きな動揺が生じるのが横揺れである。そして、船体横揺れ角が如何なる条件下で危険な状態に陥るかを予測するためには、横揺れ運動方程式のパラメータを推定しなければならない。船体6自由度運動の方程式のパラメータの多くは線形理論によって推定される。その中で、線形理論では運動方程式のパラメータの推定が困難なのが横揺れ運動である。それは、横揺れ運動方程式の減衰モーメント関数と復原モーメント関数の強い非線形性のためである。

船体横揺れ運動方程式のパラメータを推定するために、自由横揺れ減衰試験というものが行われる。この試験では、静水中で船体にある傾斜角を与えた状態で自由解放する。そして、動揺が十分減衰するまで横揺れ角を計測する。本稿で扱うのは、この自由横揺れ減衰試験で得られたデータからの運動方程式のパラメータ推定法である。

運動方程式のパラメータ推定法として有名なものがFroudeのエネルギー法[2]である。この手法では復原モーメント関数は横揺れ角 ϕ の線形な形としているため、振幅の大きさに関わらず動揺周期は一定として扱うが、復原モーメント関数を非線形な形で表した場合、周期の振幅依存性は無視できない。

本稿では、遺伝的アルゴリズム (GA) を用いてパラメータを推定する方法 [9] を Froude のエネルギー法と比較することでその精度を検証した。

文献 [9] において、硬化バネ型の模型船に対する、GA を用いた方法と従来法との比較は行われているが、軟化バネ型の模型船に対しては両者の比較は行われていない。そのため、本稿では軟化バネ型の特性を有する模型船を用いて自由横揺れ減衰試験によって得られた減衰曲線に対して GA を用いた方法と従来法との比較を行った。

2 運動方程式

2.1 1 自由度船体横揺れ運動方程式

本研究で扱う、単位慣性モーメントあたりの、1 自由度の船体横揺れ運動方程式は次式で表される。

$$\ddot{\phi} + b_1\dot{\phi} + b_2|\dot{\phi}|\dot{\phi} + c_1\phi + c_3\phi^3 = M(t) \quad (1)$$

ここで、 ϕ は横揺れ角、 b_1 は線形減衰パラメータ、 b_2 は非線形減衰パラメータ、 c_1 は線形復原パラメータ、 c_3 は非線形復原パラメータである。横揺れの運動方程式のパラメータを推定するためには、自由横揺れ減衰試験というものが行われる。この試験では、静水中で船体にある初期傾斜角 ϕ_0 を与えた状態で自由解放する。そして、動揺が十分減衰するまで横揺れ角を計測する。そのため、(1) 式において $M(t) = 0$ となるので運動方程式は次のようになる。

$$\ddot{\phi} + b_1\dot{\phi} + b_2|\dot{\phi}|\dot{\phi} + c_1\phi + c_3\phi^3 = 0 \quad (2)$$

(2) 式において、 $c_3 > 0$ のとき、振幅が大きくなるほど周期は短くなる。これを硬化バネ型と呼ぶ。 $c_3 < 0$ の場合は振幅が大きくなるほど、周期は長くなるので軟化バネ型と呼ばれる。

3 遺伝的アルゴリズムを用いた推定法

3.1 遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズム (GA) は、自然界のシステムの適応過程を説明し、生物の進化のメカニズムを模擬する人工モデルとして提唱された手法である [7]。GA では個体群の中に含まれる個体の数を個体群サイズと呼び、各個体はそれぞれ染色体によって特徴付けられている。生物では、特定の個数の染色体の集まりによって個体が決定されているが、GA では1つの染色体で個体を表現することが多い。さらに染色体は複数個の遺伝子の集まりによって構成されている。染色体上で各遺伝子の置かれている位置を遺伝子座といい、また、各遺伝子の取ることのできる遺伝子候補を対立遺伝子という。なお、本研究では1個体を2進数で構成したため、遺伝子候補は0か1である。

GA では初期の個体群が形成された後、各個体の適合度に基づく選択が行われ、交叉、突然変異を繰り返し行い、終了条件を満たす最終世代の個体が求めれば、問題の最適解を与えることになる。

GA の流れ図を以下に示す.

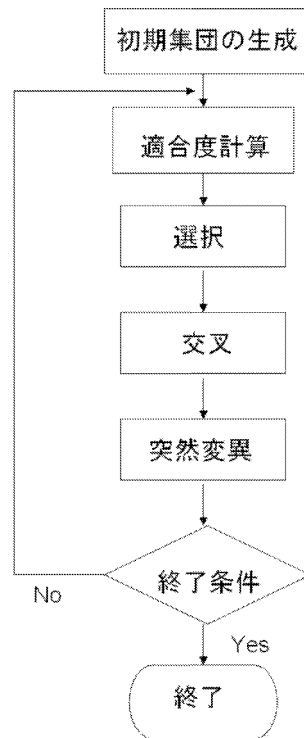


図 1: GA の流れ図

3.1.1 GA 設定値

本研究で使用した GA の各設定値を以下に示す. 本稿では, シミュレーションデータによる比較と, 模型実験による比較を行ったが, 以下に示す GA の設定値は変えずに比較を行った.

個体数 m	:	40
遺伝子数	:	100bits
交叉確率 p_c	:	0.25
突然変異確率 p_m	:	0.05
適合度調整係数 α	:	1000

4 模型実験による比較結果

模型実験によって得られた自由横揺れ減衰曲線を元にパラメータを推定した比較結果について以下に述べる. 実験に用いたのは東京海洋大学練習船「ひよどり」[19GT] の 7 分の 1 縮尺模型である. 今回用いた実験データの計測時間は 16[sec] で, サンプル周期は 0.01[sec] である [3].

図4に模型船線図を示す．表1に「ひよどり」の，表1にその模型船の主要目をそれぞれ示す．表4にパラメータ推定結果を示す．図3にエネルギー法によって求めたパラメータをもとに描いた減衰曲線を示す．図4にGAを用いた方法によって求めたパラメータをもとに描いた減衰曲線を示す．図5，図6にそれぞれの8[sec]までの拡大図を示す．なお，Froudeのエネルギー法では(3)式の各パラメータ b_1, b_2, c_1 は推定できるが， c_3 は推定できない．[2]

$$\ddot{\phi} + b_1\dot{\phi} + b_2|\dot{\phi}|\dot{\phi} + c_1\phi = 0 \quad (3)$$

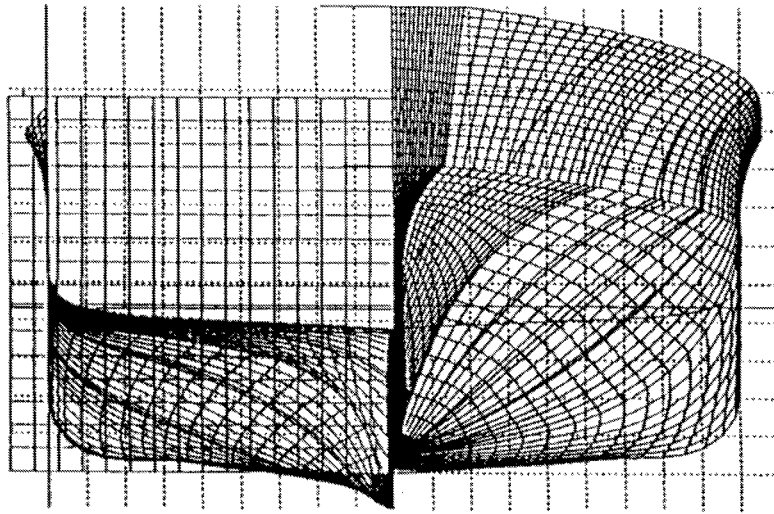


図 2: ひよどり模型船線図

表 1: 左表がひよどり主要目，右表がひよどり模型船主要目

総トン数	19.00 GT	総重量	148.95 kgf
L_{OA}	19.70 m	L_{OA}	2.81 m
L_{PP}	16.55 m	L_{PP}	2.36 m
B	4.50 m	B	0.64 m
D	1.55 m	D	0.22 m

4.1 考察

以上の結果より，模型実験によって得られたデータに関して，GAを用いた推定法が有効である事が示された．Froudeのエネルギー法では動揺周期を一定としている

表 2: ひよどり模型実験での推定結果

	b_1	b_2	c_1	c_3	$RMSE$
エネルギー法	0.345688	0.959630	28.233026		5.3×10^{-3}
GA	0.453128	0.841672	28.750001	-98.125332	1.7×10^{-3}

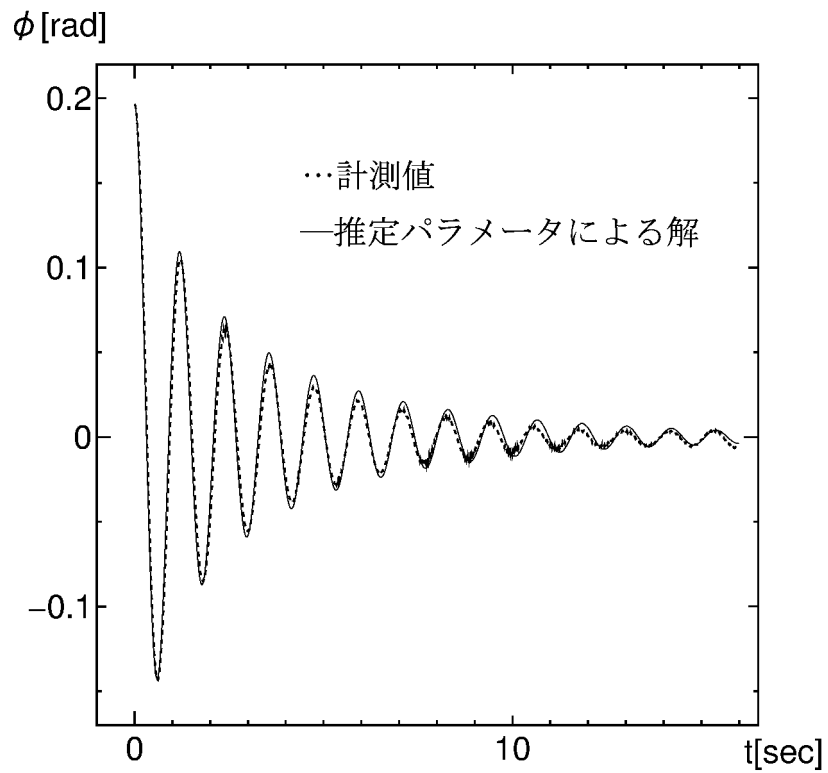


図 3: Froude のエネルギー法による推定結果

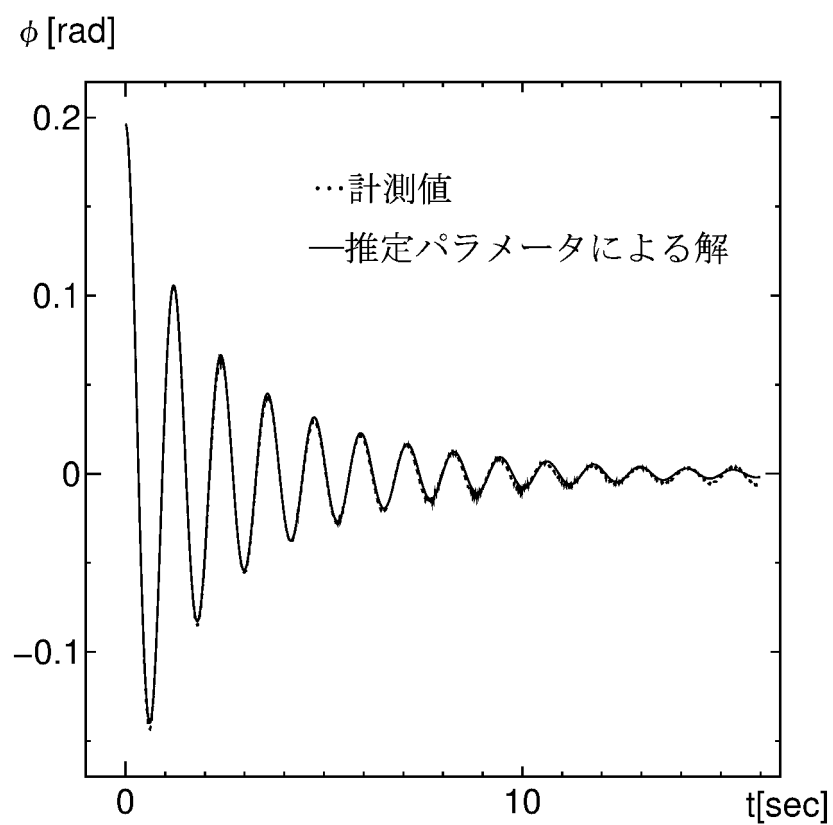


図 4: GA を用いた方法による推定結果

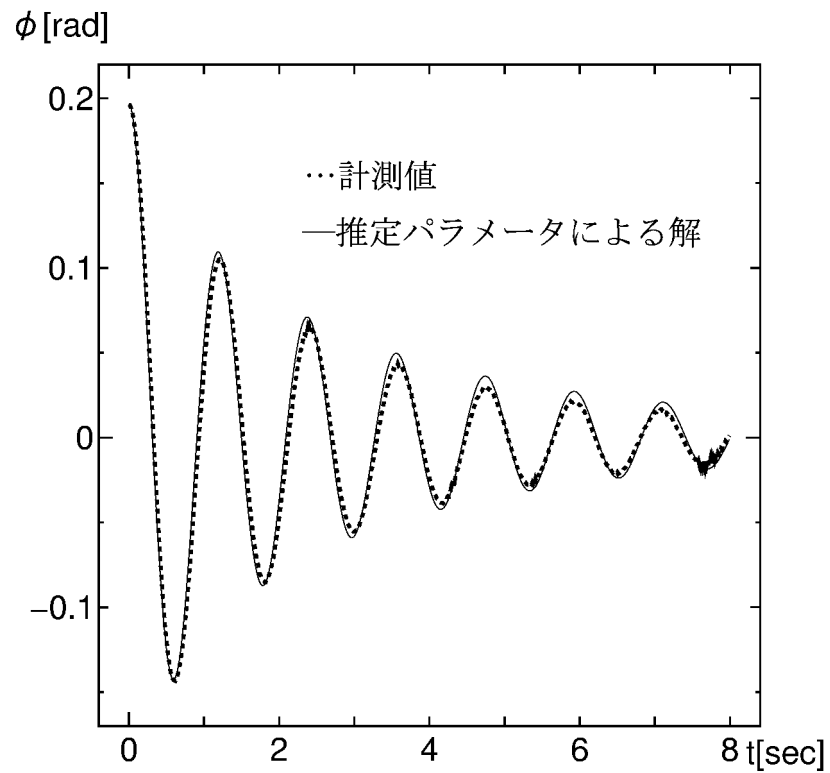


図 5: 図 3 の拡大図

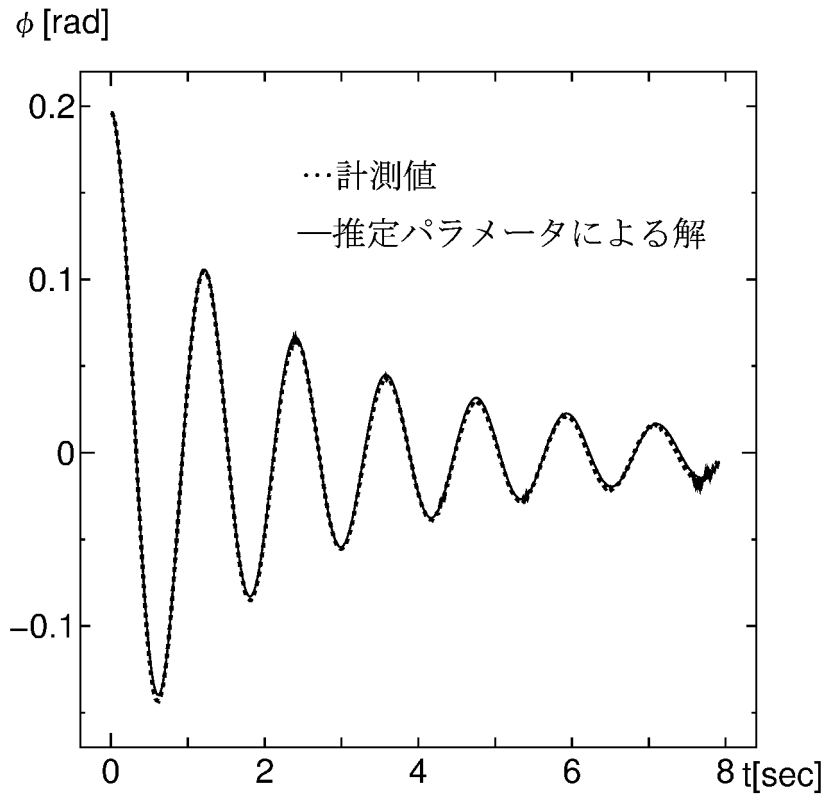


図 6: 図 4 の拡大図

ため，模型実験では元データとずれが生じてしまっているが，GA を用いた方法では， $c(\phi) = c_1\phi + c_3\phi^3$ とすることでその問題点を克服している．

5 結言

本稿では，船体横揺れ運動方程式のパラメータ推定として一般的な Froude のエネルギー法と比較することで，GA を用いたパラメータ推定法の精度検証を行い，軟化バネ型の特性を有する模型船による自由横揺れ減衰試験において有効であることを示した．

GA を用いた推定法を用いる上での今後の課題として，他手法との比較や，最適な GA 設定値についての検討が必要である．

参考文献

- [1] 安藤四郎，楢田積分・楢田関数入門，日新出版株式会社，(1970)
- [2] W.Froude, On the Influence of Resistance upon the Rolling of Ships, *Naval Science*, Oct. (1872), pp.411-429

- [3] Md.Khaled Hossain, Study on characteristic of transverse drifting motion in regular wave for small fishing boat, 東京海洋大学 大学院海洋科学技術研究科 修士論文, (2000) pp.6-14
- [4] 石田良平 村瀬治比古 小山修平, パソコンで学ぶ遺伝的アルゴリズムの基礎と応用, 森北出版, (1997)
- [5] 松平精, 基礎振動学, 現代工学社, 1973(初版 1950)
- [6] 森川幸人, マッチ箱の脳 - 使える人口知能のお話, 新紀元社, (2000)
- [7] 坂和正敏, 田中雅博, 遺伝的アルゴリズム, 朝倉出版, (1995)
- [8] 上野公彦, 第一種完全楕円積分を用いた非線形船体横揺れ運動方程式のパラメータ推定入門, 数理水産科学 第4巻 (2006), pp.130-162
- [9] Kimihiko UENO, Nobuo KIMURA and Kiyoshi AMAGAI, Estimation of Coefficients of the Equation of Nonlinear Roll Motion for Fishing Boats by Improved Energy Method and Genetic Algorithm, *JAPAN JOURNAL OF INDUSTRIAL AND APPLIED MATHEMATICS* Vol.20. No2(2003), pp.155-192.

著者略歴

矢澤 真樹

2012年 東京海洋大学海洋環境学科卒業

2012年 東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科博士前期課程入学
現在に至る

研究対象：海洋波及び船体動揺に関する研究

所属学会：数理水産科学会，日本応用数理学会

上野公彦

1992年 北海道大学水産学部漁業学科卒業

1994年 北海道大学大学院水産学研究科博士前期課程修了

1996年 北海道大学大学院水産学研究科博士後期課程中途退学

1996年 東京水産大学海洋生産学科 助手

1997年 博士（水産学：北海道大学）

2003年 東京海洋大学海洋科学部海洋環境学科 助教授

2007年 東京海洋大学海洋科学部海洋環境学科 准教授

現在に至る

研究対象：浮体の動揺運動方程式のパラメータ同定，

複雑系の観点からみた不規則波中における漁船の動揺解析

所属学会：数理水産科学会，日本応用数理学会，システム制御情報学会，

電子情報通信学会，日本自然災害学会，数学教育学会，

日本航海学会

GAを用いた船体横揺れ運動方程式のパラメータ推定

樊 春明

1983 年 中国南京航空天大学卒業

1983 年 中国航空無線電子研究所入所

1995 年 東京商船大学大学院修士課程修了

1998 年 東京水産大学大学院博士後期課程修了

1998 年 東京商船大学 助手

2000 年 東京水産大学 助手

2003 年 東京海洋大学海洋科学部海洋環境学科 助手

2007 年 東京海洋大学海洋科学部海洋環境学科 助教

現在に至る

研究対象：衛星通信航法・海洋計測・ネットワーク応用などに関する研究

所属学会：数理水産科学会，日本水産学会，日本航海学会，海洋音響学会