

市場変動とライフサイクルを考慮した 船舶設計案評価と意思決定に関する研究

A Study on Ship Design and Decision-Making considering Market Fluctuation and Life Cycle

稗方 和夫¹ 満行 泰河² 大和 裕幸¹ 齋藤 智輝¹

Kazuo Hiekata¹, Taiga Mitsuyuki², Hiroyuki Yamato¹, and Tomoki Saito¹

¹ 東京大学大学院新領域創成科学研究科

¹ Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

² 東京大学大学院工学系研究科

² Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

Abstract: 船舶を設計・運用する際には、船舶のライフサイクル全体における利益を最大化することが重要となる。本研究では、船舶の運用コストの大部分を占めている燃料費に大きく影響を与える原油価格をはじめとする、船舶の運賃決定に必要な指標の市場変動を考慮し、船舶の船型・エンジン・プロペラからなる船舶設計案についての NPV(Net Present Value)の算出・評価を行う。また、VLCC を対象に海象の違いによる設計案を評価するケーススタディを行った。

1. はじめに

船舶を設計・運用する際には、船舶のライフサイクル全体における利益を最大化することが重要となる。その際、船舶の運用コストの大部分を占めている燃料費に大きく影響を与える原油価格の変動をはじめとする市場変動リスクを考慮することが必要不可欠である。

市場リスクへの対応として、船舶の船型・エンジン・プロペラの改修案を船舶設計オプションとして持ち、市場変動に応じて船舶の運用途中での改修が考えられている。しかし、正確な船舶設計の価値を評価するために、波浪中抵抗増加などの実海域影響により変動する船舶推進性能を考慮した船舶設計の経済性評価が求められている。現在価値を用いた船舶設計の経済性評価[1]や、就航中の船舶の形態変更についての経済性評価[2]がなされている。

本研究の目的は、市場変動に対応するための船舶設計案を、設計の段階で評価する手法を提案することである。また、ケーススタディにおいて、実際の航路を運航する VLCC を対象に提案手法を適用し、提案手法の有効性の検証を行う。

2. 提案手法

2.1 概要

提案手法の概要を図.1 に示す。提案手法では、与えられた船舶設計案をもとに船舶性能モデルを作成し、そのモデルと入力された原油価格・運賃シナリオと航路を想定した運航シミュレーションを行い、船舶設計案の現在価値を算出する。

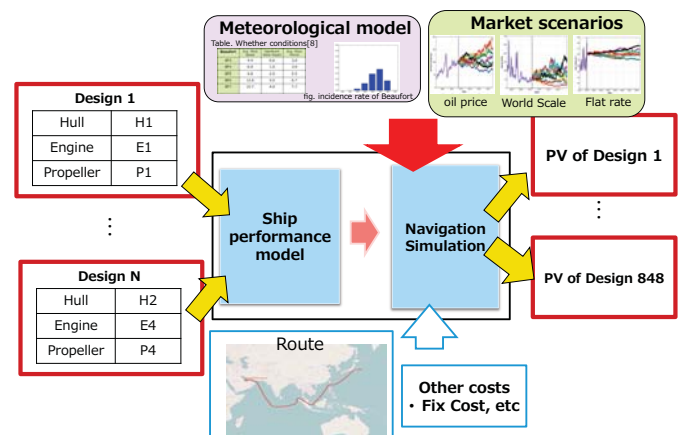


図.1 提案手法の概要図

2.2 船舶性能モデル

船舶設計案に必要な船型、エンジン、プロペラの情報から船舶性能モデルを作成する。

エンジンの回転数から船速を算出するために、船舶性能モデルを作成する。船舶性能モデルにおけるエンジンの制動馬力から有効馬力への伝達の模式図を図2に示す。具体的には、有効馬力 EHP と船速 V の関係を定義する船型モデル、制動馬力 BHP と回転数 n の関係を定義するエンジンモデル、制動馬力 BHP と有効馬力 EHP の関係を定義するプロペラモデルを作成する。

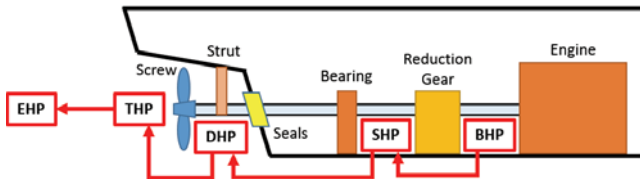


図.2 制動馬力から有効馬力への伝達の模式図

2.3 原油価格・運賃シナリオ

原油価格シナリオに関しては、過去の原油価格データから、期待成長率と標準偏差を算出し、二項格子モデルを適用する。このモデルでは、各期間において、対象とする価格が確率 p で u 倍になり、確率 $1-p$ で d 倍になるという2つの価格変動を想定する。仮に現在の期間における価格が S であるとすると、次の期間における価格は確率 p で uS になり、確率 $1-p$ で dS になる。二項格子を延長していくことによって、複数期間にわたる価格変動を表現することが可能である。

A-B 間の航路における貨物重量 1 トンあたりの運賃 F_{AB} は、原油価格によって変動する運賃基準 WS_{AB} を用いて式(1)で表される。運賃基準 WS_{AB} と、運賃率 FR に関しては原油価格の場合と同様に二項格子モデルを適用する。

$$F_{AB} = WS_{AB} \cdot FR \quad (1)$$

原油価格シナリオ、運賃基準シナリオ、運賃率シナリオにおける二項格子モデルを用いて作成したシナリオ群の例を図3と図4と図5に示す。例えば、図3と図4では、2014年までの原油価格のトレンドに合うように二項格子モデルのパラメータを決定し、それ以降の原油価格シナリオをモンテカルロシミュレーションによって複数個作成していることが分かる。

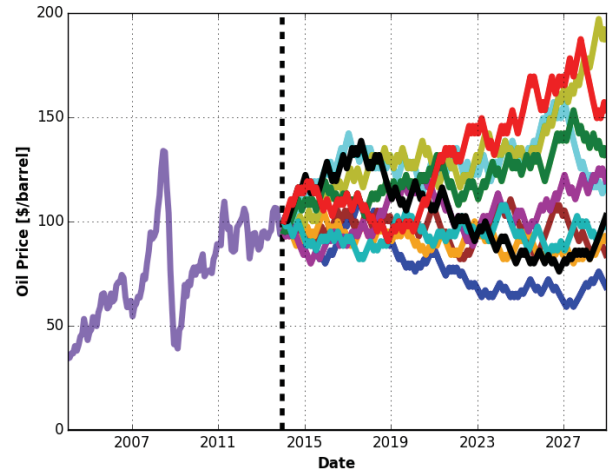


図.3 原油価格シナリオにおける二項格子モデルを用いて作成したシナリオ群の例

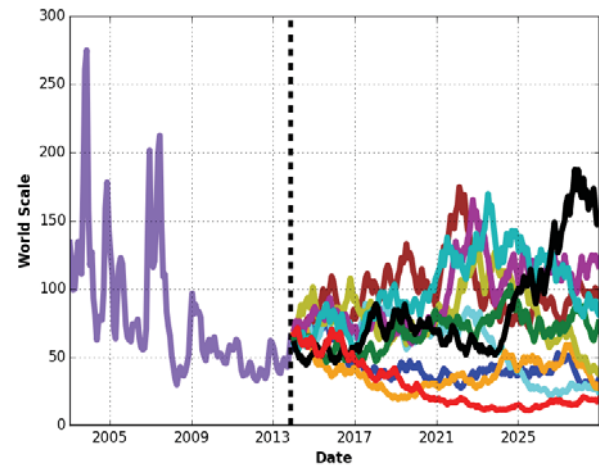


図.4 運賃基準シナリオにおける二項格子モデルを用いて作成したシナリオ群の例

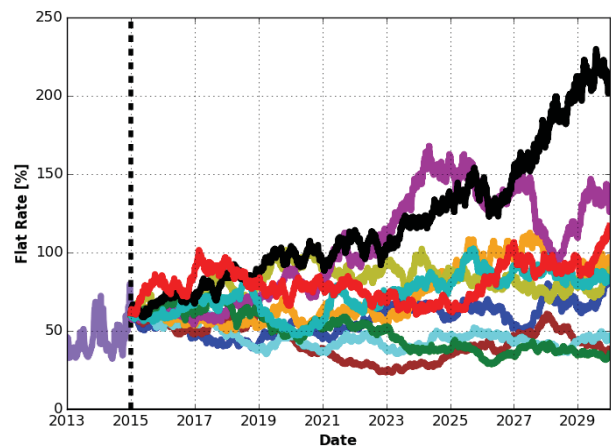


図.5 運賃率シナリオにおける二項格子モデルを用いて作成したシナリオ群の例

2.4 気象モデル・経年劣化モデル

実海域船舶推進性能を考慮するために、本研究では気象モデルとして対象航路におけるビューフォート風力階級の発現確率及び、各階級における船速低下率の定義を行い、風力階級毎に定義された有義波高などの指標[3]から気象影響を算出する。図 6 にビューフォート風力階級ごとの発現確率を設定した例を示す。この例では、比較的荒れた海象を想定してビューフォート風力階級ごとの発現確率をベータ関数に当てはめることで設定している。

経年劣化モデルについては、船舶が船渠に入渠してから次に入渠するまでの間(Dock-to-Dock)での劣化、ライフサイクル全体で蓄積されていく劣化(Age Effect)の 2 つに分けて経年劣化モデル[4]を定義する。

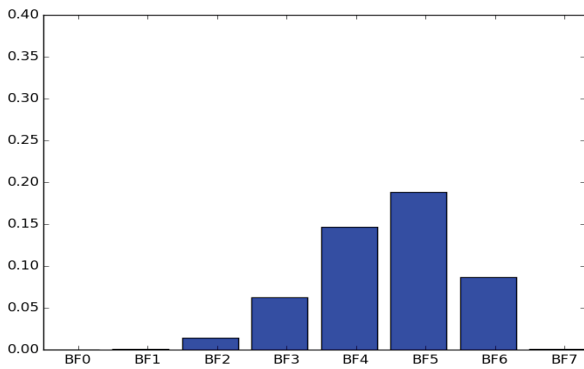


図 6 ビューフォート風力階級ごとの発現確率の設定例

2.5 運航シミュレーション

運航シミュレーションの全体の流れを図 7 に示す。まず、シミュレーションが開始されると、そのときにおける市場状況を考慮した上で 1 航海におけるキャッシュフロー全体を最大化する船速を算出する。その後、導出された船速に対して、気象・経年劣化モデルの影響を考慮して実際の船速を導出する。なお、このフローを 1 日単位で繰り返し行い、航海が終了した段階で運賃収入、燃料費、港湾使用費、人件費などの固定費から収入と支出の計上が行われる。

船舶の入渠時期については、1 航海が終了した段階で修理後期間が一定の閾値を超えているかどうかで入渠するかを判断する。入渠した場合、船舶の修繕等が行われることを考慮し、経年劣化による性能低下率を更新する。

以上の処理を、予め設定する船舶のライフサイクル期間が終了するまで行うことで、船舶設計案の価値を正味現在価値(NPV)の観点から算出する。

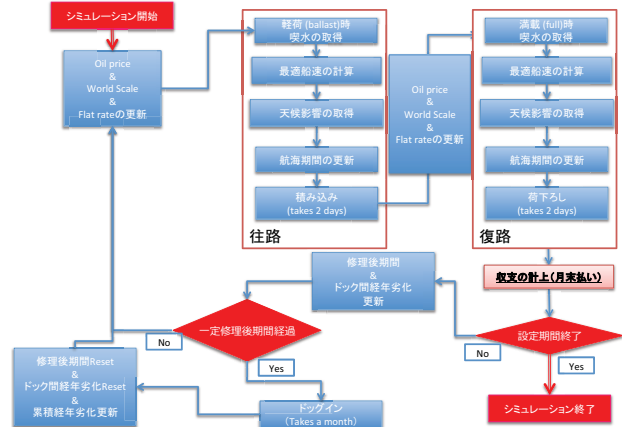


図 7 運航シミュレーションの流れ

3. ケーススタディ

3.1 ケーススタディの設定

ケーススタディでは、Arabia - 千葉で運用される VLCC において経済性評価を行う。その際、港間距離は 6590[mile]、ライフサイクル期間は 5 年、船舶の入渠時期を決定する修理後期間は 2 年とした。

また、評価対象となる船舶設計案を生成するための船型は、海象の荒い場合を想定して設計された船型 A と海象の穏やかな場合を想定して設計された船型 B の 2 種類から選択するものとした。また、エンジンについては、Web 上で公開されている仕様書[5]より 1 種類のエンジンを作成し、プロペラについては Barmitsas らの方法によりピッチ直径比、展開面積比、プロペラ直径、プロペラブレード枚数を入力として、トルク係数と水深係数を算出することで生成したプロペラ 1 種類のみを用いることとした。

3.2 海象の違いにおける船舶設計案の評価

本節では、船舶設計における意思決定の観点から、対象の航路が荒い海象と穏やかな海象のそれぞれの場合において、海象の荒い場合を想定して設計された船型 A と、海象の穏やかな場合を想定して設計された船型 B で、NPV の観点でどの程度の差が生まれるかについて検討する。

本節で設定したビューフォート風力階級ごとの発現確率の設定を図 8 に示す。今回のケーススタディでは、海象の穏やかな場合(Calm)と荒い場合(Rough)についての 2 通りの場合を設定した。また、船速低下率は日本船舶技術研究協会によって行われた VLCC の模型船を用いた水槽実験の結果[6]を元に定義した。なお、エンジンとプロペラについては同一のものを用いている。シミュレーション回数は 30 回とし、各船舶設計案で算出された NPV の平均値及び標準偏差を評価の対象とした。

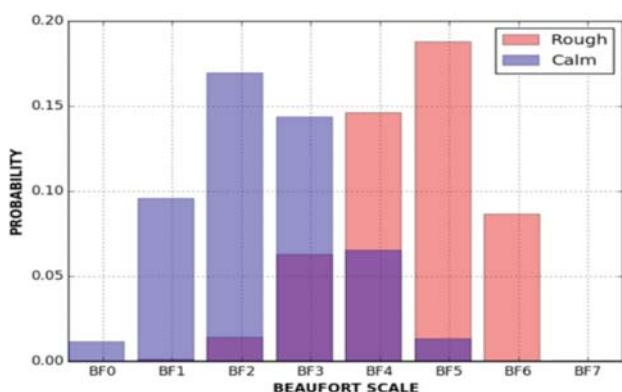


図. 8 設定した原油価格・運賃シナリオ

各ケースについて、複数の船舶設計に提案手法を適用したときの船型及び NPV の平均と標準偏差を表 1 に示す。船型の違いによる NPV の差を比較すると、穏やかな海象の場合では 100 万[\$]、荒れた海象の場合 370 万[\$]となった。以上の結果から、それぞれの海象における想定した 2 つの船型の価値を定量化することができた。

表 1. 不確実性を考慮した各設計案の評価結果

海象	船型	Ave. NPV [\$]	STD [\$]
Calm	A	6.058×10^8	2.222×10^8
	B	6.048×10^8	2.204×10^8
Rough	A	6.048×10^8	2.212×10^8
	B	6.011×10^8	2.157×10^8

4. 考察

本論文では、海象の違いにおける船舶設計案の評価を比べるケーススタディを行った。今回のケーススタディは、単に初期の船舶設計案の違いが与える影響を定量化するものであった。しかしながら、数年後に何らかの規制や状況の変化が起こった場合には、出発地と目的地が一緒ではあるが実際に運航するルートを変更する必要があるなどの対応が考えられる。そのような事態が発生した時に、予め本手法で状況の変化によってどの程度価値が変化するかを定量的に評価しておくことは極めて重要である。

また、船舶の基本設計を行う際には、船舶の使用用途だけでなく、想定する航海の航路や気象、マーケットの情報などを考慮してどのような船舶を建造するかを考えて意思決定を行う必要がある。また、市場の変動リスクやそれに伴った航路変更に対応することを考えると、船舶の船型・エンジン・プロペラの改修案を船舶設計オプションとして持ち、市場変動に応じて船舶の運用途中での改修を行うことが対策として考えられる。今回の提案手法に、エンジンやプロペラの交換、船型におけるバル

バスバウの取り替えや船体の切断などの改修案の組み合わせと、それらの改修を行うルールを組み込んだものを船舶設計案として、提案手法によって評価することで対応可能である。

5. 結論

本研究では、市場変動に対応するための船舶設計案を、設計の段階で評価する手法を提案した。具体的には、原油価格と運賃変動、運賃率の予測に応じた船舶設計案のライフサイクルを、正味現在価値(NPV)の観点から評価するためのモデル化と、実海域影響や経年劣化などを組み込んだ運航シミュレーションの構築を行った。

また、ケーススタディとして「千葉－Arabia 間」を運航する VLCC の運航を対象に提案手法を適用し、その有効性の検証を行った。ケーススタディにおいて、穏やかな海象を想定した場合の船型を持つ船舶設計案と、荒い海象を想定した場合の船型を持つ船舶設計案の価値の違いを定量的に評価することができた。

今後は、運航途中での状況の変化に対応した改修案と改修を行うルールを組み込んだ船舶設計案を評価するためのシミュレータの開発に取り組む。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 15H04208 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Adachi Masaki, Kosaka Hiroyuki, Fukuda Tetsugo, Ohashi Shota, Harumi Kazuyoshi: Economic analysis of trans-ocean LNG-fueled container ship, Journal of Marine Science and Technology, Vol.19, pp.470-478, (2014)
- [2] Sigbjorn Sodal, Steen Koekebakker, Roar Aadland : Market switching in shipping – A real option model applied to the valuation of combination carriers, Review of Financial Economics, Vol. 17, Issue 3, pp.183-203, (2008)
- [3] 佐々木紀幸, et al. 海の 10 モード指標の開発, 海上技術安全研究所報告, Vol. 9, No. 4, pp. 219-264, (2010)
- [4] 杉村泰, シーマージンとプロペラ設計, 日本船舶機関学会誌, Vol. 7, No. 9, pp. 643-651, (1972)
- [5] Mitsubishi Co., MITSUBISHI UEC80LSE-Eco-B1, <https://www.mhi.co.jp/products/pdf/UEC80LSE-Eco-B1.pdf>, Accessed on 2015/07/25
- [6] 日本船舶技術研究協会, 大型低速超肥大船の実海域運航性能推定法の確立, 成果概要報告書, (2011)