



Construction of a Numerical Ship Navigation System for Optimum Ship Routing

Chen, Chen

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2016-03-25

(Date of Publication)

2017-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第6668号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1006668>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



(別紙様式 3)

(氏名 陳 辰 NO. 1)

論文内容の要旨

氏 名 _____ 陳 辰 _____

専 攻 _____ 海事科学専攻 _____

論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

Construction of a Numerical Ship Navigation System for

Optimum Ship Routing

(最適航法のための船舶数値ナビゲーションシステムの構

築)

指導教員 _____ 塩谷茂明 _____

(注) 2, 000 字~4, 000 字でまとめること。

Marine transportation capacity is much superior (occupies about 95%) to other transportation methods, thus making researches on a safe, economical and environment-friendly marine transportation very important in global economic activations and the comfort of people throughout the world. In the past, ships have been operated with experience and intuition of ship crews. However, six-degree ship motions of ocean-going vessels are strongly influenced by weather conditions such as heavy ocean winds, strong ocean current as well as rough ocean waves in the ocean. It is difficult for seafarers to operate ships without scientific techniques about those points. To avoid such heavy ocean winds, rough ocean states and make use of beneficial ocean current, an exact ship position considering about the weather and ocean information is of great importance. However, reproducing such maritime transport ocean environment is difficult and complex.

As one of the well-known methods among improvement of hull-form, propeller design, engine performance, and assistant thrust, optimum ship routing for ocean-going ships has been studied for several decades, which is of great importance for the economic and safety of both ships and cargoes (James, R. W., 1957; Motte, et al, 1975; Chen, H., 1978; Miller, J. N., 1983; Hagiwara, H., 1985).

However, because of the low computation abilities of earlier computers, most of those former studies mainly focused on the influences of ocean winds and ocean waves on transoceanic ocean-going vessels, for which the long distance and transit time have a

(氏名 陳 辰 NO. 2)

larger flexibility to make their optimum routing algorithms help ships save considerable navigational cost of both time and fuel even by using the relative coarse-resolution atmospheric and oceanic modeling methods.

However, according to SAETRA (SAETRA et al, 2004), the benefits of any ship routing system, however good the model is, will always depend on the quality of the forecasted weather parameters that are used to force the system. Therefore, the best code is useless if the upcoming weather condition is not known sufficiently.

Nowadays, compared with the situations several decades ago that computer techniques limitations reduced the ability to effectively advise ships to take advantage of favorable weather, the advent of extended range forecasting and the development of selective climatology, along with powerful computer modeling techniques, have led to the emergency of modernized regional atmospheric and oceanic models such as the Weather Research and Forecasting Model (Skamarock, William C., et al. 2005), Simulating WAves Nearshore (Booij, N.; Ris, R. C.; Holthuijsen, Leo H., 1999) and Princeton Ocean Model (Mellor, George L. 1998), which can conduct wind, wave and ocean current calculations, providing high-resolution weather and ocean data for specific scales and ocean areas, respectively. These model-generated data can then be applied to help vessels select the optimum route, reducing both the shipping cost and dangerous risk.

Therefore, compared with such long-distance cross-ocean navigation using ocean winds

(氏名 陳 辰 NO. 3)

and waves, it have become possible for us to do study on the effects of weather and ocean for ship navigation in coastal sea areas owing to the high ship density and powerful tropical storms as the first step to build a numerical ship navigation system, for which the Osaka Bay of Japan was chosen (Chen et al., 2013). Numerical estimations and simulations of meteorological and marine phenomena have been conducted as the first step. Then the results were utilized to make the numerical simulations of ship navigation by using the widely-used ship maneuvering model named Mathematical Model for Manoeuvring Ship Motion (Kose, K., et al., 1981; Ogawa, T., 1981; Yoshimura, 1986), and wave resistances to ship in ocean were calculated by using the Enhanced United Theory built in Research Initiative on Oceangoing Ships system (Kashiwagi, M., Mizokami, S., and Tasukawa, H., 1999). Finally, the risk results from weather and ocean will be obtained by ship crew to avoid possible marine accidents. High-resolution numerical calculations of meteorological and marine phenomena have been successfully generated, and then ship drifting due to such effects has also been well calculated and helps reduce possible ship accidents. Results also show that ship navigation can be significantly affected own to the complex topography and high ship density.

Then we mainly focus on high-resolution current routing by using the strong western-boundary ocean currents like the Kuroshio Current in the East China Sea Area, which can also affect the sailing time and fuel cost even for a shorter distance along the main path of the Kuroshio Current (Chen et al., 2015). Results show that the Kuroshio Current can have a significant effects on navigation time and fuel cost. If it is possible

(氏名 陳 辰 NO. 4)

to numerically estimate meteorological and marine phenomena that ships are likely to encounter, economic transport routes can be formulated that reduce fuel consumption by optimally using currents to select the minimum time or fuel ship routes.

Additionally, as the average temperature currently rises, extreme weather conditions may become more probable. Toffolia et al (Toffolia et al, 2005) studied about the relation between ship accidents and typhoons and he found that in the East China Sea, where approximately 15% of the accidents took place, is characterized by a mean significant wave height lower than 3 m and mean wave steep-ness larger than 0.025. Because of the huge amount of warm ocean waters the Kuroshio Current carries, it can provide huge and continuous energy; therefore, the warm sea surface water can lead to a high possibility of tropical typhoons in the East China Sea Area, which also have large effects on ship safety directly by strong ocean wind as well as indirectly through rough wind-induced ocean waves (Chen et al., 2015).

Beside to those regional atmospheric and oceanic models, the Multi-Scale Simulator for the Geo-environment model (MSSG) (Keiko Takahashi, et al. 2003; Yuya Baba, et al. 2010) and WAVEWATCH-III model (Tolman, H. L., 1997, 1999a, 2009) are also studied and used in building our numerical ship navigation system to make a global scale calculation of weather and ocean. Calculation results of these two models show that a global scale numerical ship navigation system is possible to be achieved based on the present method.

(氏名 陳 辰 NO. 5)

Totally, the Numerical Navigation System constructed here shows its feasibility to study about influences of weather and ocean on ship navigation. Variable resolutions could be selected to calculate different cases by using numerical weather and ocean models. Fine enough information of meteorological and marine phenomena could be provided to make the numerical simulation of ship navigation.

Finally, to complete the global-scale optimum ship routing system combined with the above-built numerical ship navigation system, an optimum routing algorithm is also needed. Among those existed mostly used optimization algorithms available for optimum ship routing such as Dijkstra algorithm (Dijkstra, E. W. 1959; Padhy CP, 2008), Dynamic Programming (Chen, 1978; Avgouleas, 2008), Genetic Evolutionary Algorithm (Szlapczynska, et al, 2007) and Monte Carlo (Hoffschildt et al. 1999; Saetra 2004; Böttner 2007), the modified isochrone method, which repeatedly computes an isochrone, i.e. the attainable time front that describes the outer boundary reachable from the departure point after a certain time to decide the optimum route, (HAGIWARA et al. 1999) has been chosen because of its higher acceptance by the navigational staff and its good accuracy compared with others.

Several groups of numerical experiments of ship navigation between the Malacca strait and the Osaka Bay, where the Kuroshio Current flows and powerful typhoons also happen frequently, have been conducted based on necessary ship performance parameters of an actual container ship to study about the global-scale optimum ship routing system. Analysis of experiment results show that considerable navigational cost

(氏名 陳 辰 NO. 6)

of both fuel and time could be saved. A safer, more economical as well as environment-friendly shipping navigation is possible to be achieved by utilizing the present optimum ship routing system. Recommendations for future development preferences of the present system have also been given for improvements.

氏名	陳 辰		
論文 題目	Construction of a Numerical Ship Navigation System for Optimum Ship Routing (最適航法のための船舶数値ナビゲーションシステムの構築)		
審査委員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	教授	塩谷 茂明
	副 査	教授	林 祐司
	副 査	教授	香西 克俊
	副 査	准教授	笹 健児
	副 査		
要 旨			
<p>海上輸送の能力は他の輸送方法に比較すると約95%を占め、非常に優れている。その結果、今後世界経済の活性化に伴い、海上輸送に関する研究は非常に重要になる。これからの海上輸送の研究は、従来の研究の主目的である船舶の安全・安心のほか、経済的かつ環境に優しい海上輸送システムの構築が要求される。もし、これが実現すると、世界の人々が快適で安心な生活を得ることが可能になる。</p> <p>海上輸送を担う船舶は、実海域の航海中に常時気象・海象の影響下にあり、船舶操縦性能および推進性能等が絶えず変化する。また、時には巨大な台風や発達した低気圧に遭遇し、荒天域中の航海を余儀なくされることがある。状況次第では、時には操船不能となり大きな波浪により転覆、あるいは漂流して座礁などの海難に遭遇することがある。</p> <p>特に、気象・海象の中でもこのような航行船舶に大きな影響を与える要素として、海上風、波浪及び潮流や海流等の外乱がある。これらの自然現象の影響を受け、航行船舶は横流れなどにより針路の変化や抵抗増加による速力の増減が発生する。</p> <p>特に、瀬戸内海や湾内のように狭隘で、かつ船舶の輻輳度が高い沿岸海域では、船位の変化や速力変化が船舶の衝突や浅瀬に乗揚げ等の重大な事故に繋がることがある。また、大洋中の航海では、黒潮のような顕著な海流を効率よく利用することにより、船速は加速され、効率よい経済的な航海が可能になる。また、台風や発達した低気圧に伴う高波高域の回避により船体及び積載貨物の安全性が確保される。</p> <p>一般に、操船者は、FAXによる天気図および波浪図などにより気象・海象の情報を得て、航海の安全に務めている。船舶運航者はこれにより、強風域や高波高域の回避を行う航路の選択を行っている。また、FAXによる気象・海象から潮流や海流を利用する適切な航路選定を実施している。しかし、FAX等の気象・海象の情報は、静的な情報であり、逐次変化する気象・海象の情報を詳細に得ることはできない。これを実現するためには、気象・海象の数値計算などによる数値予報が行われている。</p> <p>我が国では、主として気象庁が気象・海象の数値予報を実施し、民間の気象情報提供会社から、航海中の船舶に提供している。これにより、ある程度航海の安全性の確保に役立っている。さらに、民間会社により、最短時間および燃料最少を行う経済的効果のある航路選定を行う最適航法の提供も実施している。これにより、安全性と経済的効果を追求した船舶の最適航法の実現が可能である。</p> <p>しかし、気象庁等の公共機関による気象・海象の予報は、大規模かつ広範囲の陸地および海域を含む数値計算を行うために、計算格子が粗くならざるを得ない。その結果、閉鎖海域などの地形が複雑に変化する海域などの局所的な海域における詳細な気象・海象の情報が要求される場合には、精度面において問題が発生することがある。</p> <p>これらを解消するためには、独自に、自ら気象・海象の数値計算を用途に見合せて実施することが必要である。</p> <p>気象・海象の数値予報ができると、航行船舶に影響する外力の計算が可能となり、外力による船舶操縦性能理論に基づき、船舶の横流れによる変位量や速力の増減を数値計算により予報が可能になる。最初に、気象・海象の中で潮流、波浪及び海上風を数値予報し、しかも航行船舶への影響の推定も船舶操縦性能理論に基づき、数値計算で予報する。このように、全て数値計算で実施する手法の数値ナビゲーションシステムを最初に構築した。これを、特に、複雑な地形を有する沿岸海域で、船舶の輻輳度の高い海域に適用した。</p> <p>さらに、大洋航海中は、船舶の輻輳度は小さく、衝突や座礁の影響は少ないが、大規模な低気圧や台風の接近により、航行中の船舶は危険状態となる。これを解消するために、ウェザールーチングシステムを構築、適用し航行船舶の安全性と経済性を確保する手法を構築した。</p>			

氏名 陳 辰

本学位論文の構成は以下の通りである。

第1章は、学位論文の概要を説明している。研究背景およびこれまでの研究の紹介を解説しながら、本研究目的について論じている。

第2章の前半では、気象・海象の中で航行船舶の運動に多大な影響を与える、海流および潮流の流れ、海上風、波浪の計算モデルについて詳細に記述している。沿岸域の閉鎖海域における計算は陸地の境界条件などの設定が比較的容易であり、狭い海域の局所的な潮流の計算に適した POM モデル、沿岸域の比較的広範囲の海域の海上風の計算に適した WRF モデル、沿岸域の浅瀬を含む比較的広範囲の海域の波浪計算に適した SWAN モデルについて、詳細に解説し、計算結果と観測結果との比較から、計算精度の検証を論じ、それらの有効性を実証した。

第2章の後半では、閉鎖海域内の気象・海象の数値予測は境界条件の設定などが比較的取り扱いやすいが、大洋中の場合は非常に難しく、数値計算も複雑になる。このような大洋中の数値計算は、グローバルな気象・海象の計算が可能な JAMSTEC の地球シミュレータを用いたモデルである MSSG-A による大気環流、MSSG-O による海流および WW3 による波浪の計算について、詳細に解説し、計算結果と観測結果との比較から、計算精度の検証を論じ、それらの有効性を実証した。

第3章では、船舶操縦性能理論である MMG および波浪中の抵抗予測を行う RIOS を用いた数値ナビゲーションシステムの構築を行った。シミュレーションの検証として SR108 船型のモデルシップを用いて、航行船舶の横流れの変位量や速度変化の推定を行った。計算海域は、閉鎖海域である大阪湾および東シナ海である。

東シナ海は、ヨーロッパからスエズ運河および南アフリカのケープタウンを通過してインド洋を航海するコンテナ船やバルカーなどの貨物船およびペルシャ湾からの石油や LNG を運搬するタンカーや LNG 船がマラッカ海峡を通過して、多数航行する。さらに、オーストラリアから北上し、東アジア諸国間との海上輸送の要となる交通の要衝である。特に最近経済成長の激しい中国のような国の大幅増産効果の出荷に重要な役割を果たしている。また、最近地球の温暖化に伴い、台風が巨大化し、発生数も増加している。しかも東シナ海および日本周辺海域に勢力を維持したまま襲来するため、航行船舶への影響は多大である。このような背景から、アジア圏における交通の要衝である日本近海および東シナ海における数値ナビゲーションシステムを構築した。このような背景から、日本近海および東シナ海における強い海流の黒潮および台風接近時におけるこれらの影響を検証するための数値ナビゲーションシステムによる航海シミュレーションを実施した。

第4章では、東シナ海において、航海時間と燃料コストに影響を与える可能性が高い黒潮のような強い西部境界海流を利用して高解像度の航路選定をウエザールーティングの手法によりシミュレーションを行った。航路は、大阪湾からマラッカ海峡への航路およびその逆方向の航路で実施した。その結果、黒潮は、航海時間や燃料コストに重大な影響を与え得ることを示した。その結果、数値的に気象・海象を詳細に推定することができれば、最小時間や燃料最少経路を選択するために黒潮を利用すると、燃料消費量を低減することに有効であることを示した。

さらに、気象海象の数値計算に、MSSG モデルによるグローバルな数値計算を適用して、地球規模の数値ナビゲーションシステムの構築を実施した。これらのモデルによる計算結果は、地球規模の数値船舶ナビゲーションシステムを達成することの可能性を示唆した。

第5章は、本論文の結論と展望を記述している。

このように、本研究は最適な船舶ウエザールーティングについて、高精度の気象・海象の数値計算と航行船舶への影響の数値計算を実施した新規性のある研究である。また、地球規模の気象・海象の数値予報に基づいた最適な船舶ルーティングシステムについても重要な知見を得たものとして非常に価値のある研究である。提出された論文は海事科学研究科学学位論文評価基準を十分満たしており、学位申請者の陳辰は、博士(工学)の学位を得る資格があると認める。