

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06631

研究課題名(和文) 日本周辺領域における船舶起源大気汚染物質の排出インベントリー作成と大気質計算

研究課題名(英文) Emission Inventories and Air Quality Simulation of Air Pollutants from Ships in Japan Regions

研究代表者

横井 威 (Yokoi, Takeshi)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：20586698

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、船舶から排出される大気汚染物質の環境影響を評価するため、AIS (Automatic Identification System) データに基づく排出量の推計方法を提案した。また、本研究では、主機の分類、補機の定格出力と負荷率、両エンジンの燃費を算出するための詳細な手法も提案した。次に、NOx、SOx、PMの排出係数を適応し、日本沿岸からの船種別の排出量を集計した。最後に、気象場と大気質計算についてWRFとCMAQモデルで行い、日本領域における大気汚染物質の空間濃度と船舶の寄与率を示した。

研究成果の概要(英文)：In order to evaluate the environmental impact of air pollutants which are discharged from ships, this study applied a methodology to estimate the emissions that is based on AIS(Automatic Identification System) data. This study also proposed the detailed methodology to determine the classification of ME, the rated output and load factor of AE, the fuel efficiency of both engines. Next, the emission factors for NOx, SOx and PM were calculated by this study and the emissions were aggregated in different ship types and offshore distances. Finally, the meteorological fields and transport simulations were conducted by WRF and CMAQ models. The spatial concentrations of air pollutants and contribution ratios of ships were shown in Japan region.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：船舶排出インベントリー 大気汚染物質 環境影響評価

### 1. 研究開始当初の背景

2005年にIMO(国際海事機関)MARPOL条約付属書が発効されたことを契機として、船舶起源の大気汚染物質削減への関心が世界的に高まっている。上記条約に基づき、2006年にはバルト海が、次いで2007年には北海が、いずれもSO<sub>x</sub>を規制対象とした放出規制海域(SECA)に、2010年には、米国およびカナダ沿岸域がNO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、PMを規制対象とした放出規制海域(ECA)に指定された。将来的に見ても、2020年もしくは2025年から一般海域規制(燃料中の硫黄分を0.5%まで削減)が全世界規模で実施される。一方、世界有数の海運国である我が国においては、船舶の航行密度が世界的に見て極めて高いレベルにあるエリアが存在しており、船舶に起因する海洋汚染及び大気汚染が懸念されている。しかしながら現時点では、これらの汚染の分布状況、濃度及び主要因としての排出源の特定等に関して詳細な分析が十分になされていない。

### 2. 研究の目的

船舶の補機・主機を作動させる燃料としては、低質な残渣油や留出油が一般的に使われていることに加え、船用機関の燃焼特性に起因し自動車や航空機よりも大量かつ高濃度の汚染物質を排ガスと共に放出している。一方で、船舶の船種や航行形態・頻度等に注目すると個船ごとの排ガスの放出量や汚染物質の内訳には差異があり、船舶起因の汚染物質の拡散距離と濃度を見積もることは極めて困難である。

これまでの他分野の研究では、陸上の一地域(例えば、特定の都市)を設定し、その地域周辺における排ガス放出量や汚染物質の内訳を計測しつつ、大気質モデルを用いて環境影響評価を行った例がある。しかしながら、海上では船舶活動形態が不明確であること、海上における排ガス常時定点観測の難しさなどに起因し、排出量データの作成においては恣意性が存在せざるを得ず、またそのデータに基づく大気質モデルによる解析結果の検証もほとんどなされていないのが現状である。すなわち、船舶起源の汚染物質の拡散を解析するための、精度検証された「定量的なデータ」や「確立した解析システム」は存在しないのが現状である。

従って、環境対応技術の環境保全への有効性の評価といった工学的検討や、環境影響評価に基づく航行規制、排ガス規制等の施策の評価といった行政的立場での検討にも、必ずしも十分に対応可能な状況にはないと言える。

### 3. 研究の方法

船舶に起因する大気質計算ならびに環境影響評価を実施する前に、船舶に由来する大気汚染物質の排出量を精度の高い手法に基づいて推定し、排出量データを作成すること

が不可欠である。現状では、日本周辺を航行する内航船および外航船は、航行頻度が高い上に、船種、船速、燃料消費量等に大きなばらつきがあるため、詳細かつ広範囲な大気汚染物質排出量の推定は行われていない。さらに、特定港湾海域を対象とした大気質モデル計算に使用する高解像度の排出量データも必要であり、これらを作成することが必要である。

排ガスの越境移動を考慮した東アジア地域ならびに日本周辺領域に関する広範囲かつ大規模な大気質モデル計算を実施するためには、領域境界条件や鉛直層の設定などの条件を考慮した正確な気象場の計算精度などが問題となる。本研究では、より正確なモデル計算を行うため、上記の諸条件に対するモデル側の設定値を感度解析により見出し、計算値と観測値とを比較検証することによって大気質モデル(CMAQ)計算精度の向上を図る。同時に、船上計測を通して、従来では存在しない海上における排ガス観測値を取得し、大気汚染物質発生源である船舶の近傍におけるモデルの計算精度を高めることを狙いとする。

初めに、これまでは研究されていない船舶大気汚染物質排出量の推定手法を提示すると共に、排出量データを作成し、大気汚染物質排出量の現状を明らかにする。次に、大気質モデルを海上への適応を試みる。現状では大気質モデルの計算精度が良いとは言えず、大気質モデルを海上に適応した研究例が極めて少ないことに加えて、海上の観測点も存在しない。そこで、本研究では大気質モデルを海上への適応を試み、船上排ガス計測結果を用いて海上観測点の不足を補うと共に、大気質モデルの計算精度を高める改良手法を明確にする。最後に、複数の船舶による日本全陸地域への大気汚染の寄与率を明らかにする。

具体的な手法としては、日本周辺海域を航行する外航・内航商船を対象として、2013年に陸上局により受信されたAIS(自動船舶識別装置)データに基づき、年間単位の船舶位置、サイズ、長さ、船籍等の情報を抽出する。また、船種・船型ごとの時間帯別・曜日別に船舶の活動量(速度、航海時間、隻数)を算出する。さらに、Lloyd's Registerや内航船舶明細書等のデータにより、船舶の全長から対象船の総トンおよび主機の種類を推定し、燃料消費量を算出する。500トン以下のAIS非搭載船の活動量の推定について、港湾統計を用いて入港隻数の比率を求め活動量および燃料消費量を推定する。最後に、単位燃料消費量当たりの排出物(SO<sub>2</sub>、Sulfate、NO<sub>x</sub>、PM、CO、CH<sub>4</sub>、NMVOC、N<sub>2</sub>O)と排出係数を設定した後、各大気汚染物質に関する単位燃料消費量当たりの排出係数を乗じて、航海データごとに航行時および停泊時の各大気汚染物質の排出量を求める。

計算対象年度における6時間ごとの気象場

(WRF モデル)の計算を行い、気象観測値と計算値との比較を通して、計算誤差を把握する。ここで、より正確に実船舶運航形態を捉えるため、気象場の年間計算を行う予定である。また、東アジア陸上排出源による越境影響を考慮するため、東アジアを含めた2次元ネスティング計算を行うが、格子サイズは陸上、海上それぞれの排出量データに合わせるように設定する。

本研究で推定し作成した船舶起源大気汚染物質の排出量データに基づき、PM<sub>2.5</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub> や O<sub>3</sub> 等に注目して日本周辺における大気質モデル (CMAQ) の計算を行う。また、領域境界条件や鉛直層に関する最適な設定を見出した後、プロセス解析、感度解析、計算値と観測値の比較検証を通して、大気質モデルの計算精度の向上を図る。

最後に、日本国内主要港湾、主要都市に着目して、陸上地域に対する船舶起源大気汚染物質の濃度拡散状況等の環境影響評価を行う。また、将来の船腹量、船種、活動量、航路変更等の変化を見積もり、大気汚染に対する船舶寄与度の将来予測も可能となる。

#### 4. 研究成果

大気中に排出される汚染物質は、気象場の変化に伴い、反応しながら拡散する。従って、汚染物質の濃度分布を把握するには、気象および大気質モデルの計算を実施する必要がある。ここで、2013年8月、日本周辺領域を対象として、WRF (Weather Research and Forecasting) V3.1.1モデルに基づき、気象場を再現した後の海上風の平均を図1に示す。

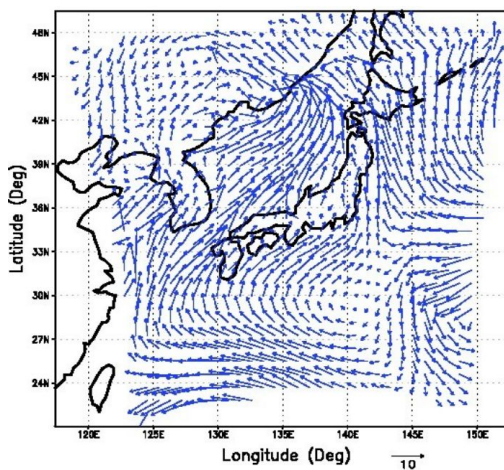


図1 日本周辺領域における海上風の平均分布

また、同2013年8月に日本周辺を航行する船舶の動静を把握し、船舶活動量から航行時間、速度や燃料消費量等を算出した。外航船については、個別船舶の活動量に基づき、燃料消費量を推定するボトムアップ手法を用いることによって作成したが、図2にAISデータに基づく船舶動静を推定するアルゴリズムを示す。

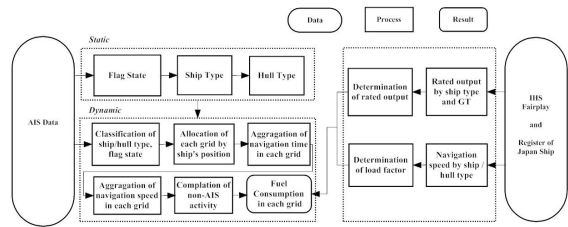


図2 AISデータに基づく船舶動静を推定するアルゴリズム

一方、AISデータには当該船舶の主機情報が含まれていないことを踏まえ、本研究では、過去のデータより船舶の総トン(GT)と主機出力の関係を調査し、回帰式を用い個船の主機の出力を算出した。タンカーにおける主機の出力を算出した例として、図3と図4にそれぞれ外航と内航のタンカーのGTと主機出力の回帰曲線を示す。

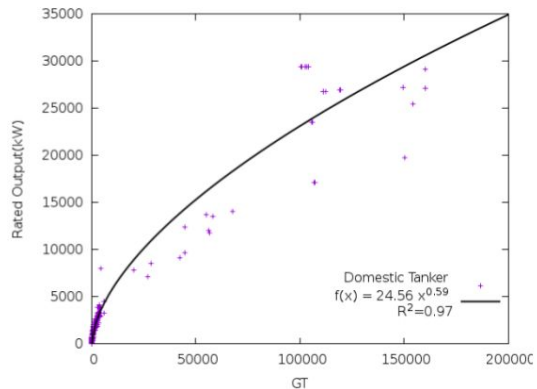


図3 外航タンカーにおける総トン(GT)と主機出力の回帰曲線

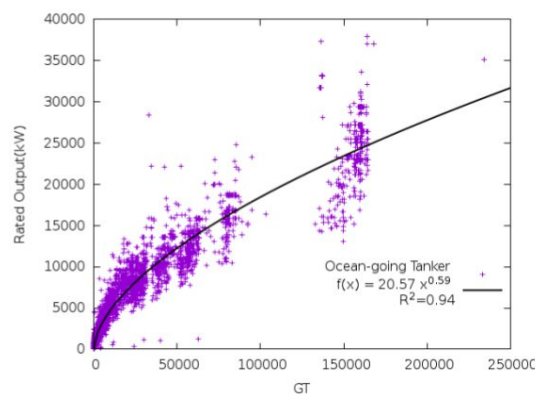


図4 内航タンカーにおける総トン(GT)と主機出力の回帰曲線

ここで、日本沿岸50海里以内における船舶の燃料消費量を算出した後、CO<sub>2</sub>排出係数を乗じ同海域のCO<sub>2</sub>排出量を算出した。図5に、日本領域における航行船と停泊船別の燃料消費量を示し、図6に、日本領域における総トンと船種別の燃料消費量を示す。また、

CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>Oを対象とし、日本領域における船舶由来の排出量を図7に示す。

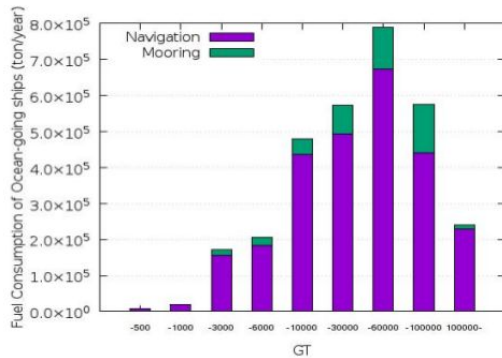


図5 日本領域における航行船と停泊船別の燃料消費量

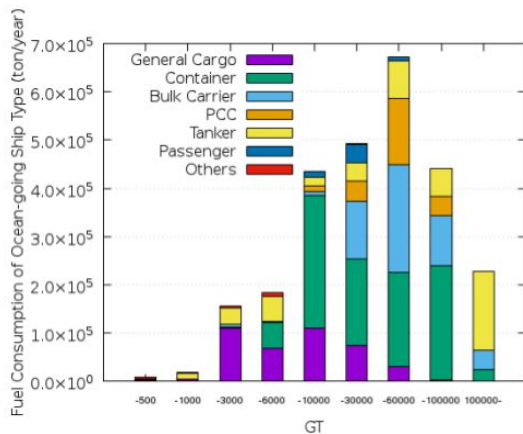


図6 日本領域における総トンと船種別の燃料消費量

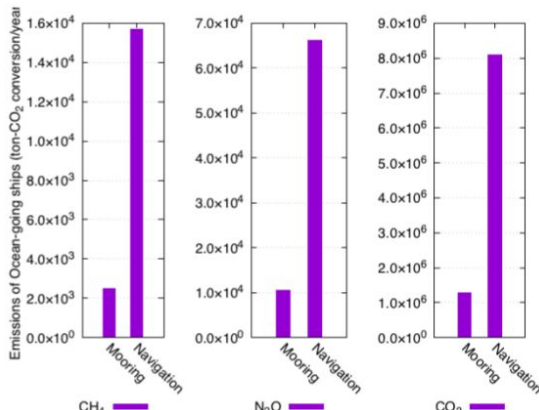


図7 日本領域における船舶由来のCO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>Oの排出量

船舶に由来する大気汚染物質の濃度分布について、PM<sub>2.5</sub>を例として、鉛直方向の最下層に拡散結果を図8に示す。また、濃度分布において全てのPM<sub>2.5</sub>のうち、船舶が寄与する割合を図9に示す。

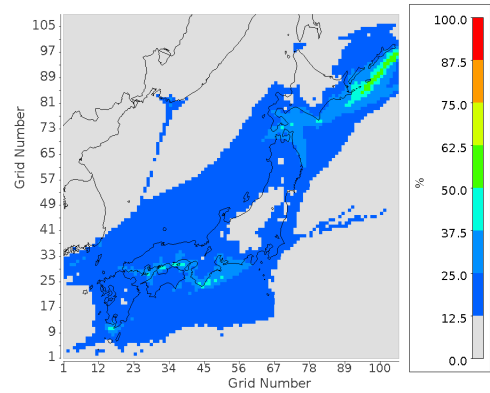


図8 日本領域におけるPM<sub>2.5</sub>の濃度分布

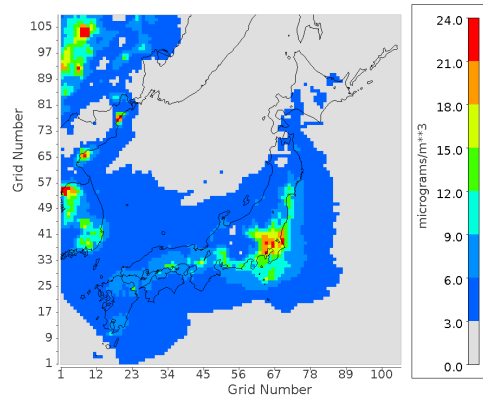


図9 船舶に起源するPM<sub>2.5</sub>の濃度分布の寄与率

ここで、釧路港、横浜港、名古屋港、神戸港、博多港に着目して、船舶排出の寄与率を図10に示す。清浄地域(例えば、釧路地域)では、陸上の排出源が少ないことに起因して、船舶排出の寄与率が高い。一方、工業地域(例えば名古屋地域)では、その反対である。なお、本研究では計算領域の水平格子サイズを粗く設定しているため、同一港では隣接する二つの格子における船舶排出寄与率の結果が大きく変わるケースもある。

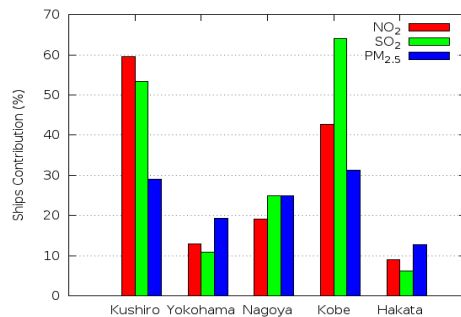


図10 5つの地域における大気汚染物質排出への船舶寄与率

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 2件)

1. Takeshi Yokoi and Hideyuki Shirota, “Methodologies for Estimation Emissions from Ships based on Automatic Identification System Data”, Asia Navigation Conference 2015
2. Takeshi Yokoi and Hideyuki Shirota, “Emission Estimation of Air Pollutants from Ships in Japan Regions”, The 7<sup>th</sup> Pan Asian Association of Maritime Engineering Societies and the Advanced Engineering Conference 2013

〔学会発表〕(計 2件)

1. Takeshi Yokoi and Hideyuki Shirota, “Methodologies for Estimation Emissions from Ships based on Automatic Identification System Data”, Asia Navigation Conference 2015
2. Takeshi Yokoi and Hideyuki Shirota, “Emission Estimation of Air Pollutants from Ships in Japan Regions”, The 7<sup>th</sup> Pan Asian Association of Maritime Engineering Societies and the Advanced Engineering Conference 2013

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

横井 威 (Takeshi Yokoi)  
国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所  
研究者番号：20586698

### (2) 研究分担者

城田 英之 (Hideyuki Shirota)  
国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所  
研究者番号：40344238