

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：32678

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24710052

研究課題名(和文) 船舶からの大気汚染物質放出規制海域の効果と評価に関する研究

研究課題名(英文) Study on Emission Control Area for Reducing Air Pollution From Shipping

研究代表者

岡田 啓 (Okada, Akira)

東京都市大学・環境学部・准教授

研究者番号：40450762

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、船舶起因の大気汚染物質を削減するため大気汚染物質放出規制海域(ECA)の範囲をどのように設定すべきなのかという政策インプリケーションを導き出すことを目的としている。研究の結果、第一に、ECAの最適範囲についての条件を導くことができた。第二に、船舶の位置選択に関する費用関数と大気汚染拡散モデルを含んだ数値シミュレーションを構築し、ECAの最適範囲とそれに影響を与える要因を明らかにした。これらの結果から今後ECAを設定する際の距離に関する政策インプリケーションを導いた。

研究成果の概要(英文)：This study develops a basic model and numerical simulation to analyze how a country might determine the optimal boundary of an Emission Control Area (ECA). First, the model deduces an optimization condition on setting ECA size. Second, this study analyzes the costs and benefits of ECAs by changing their sizes and determines optimal ECA size by using a numerical simulation including the decision making required to alter ships' locations in the sea area as well as a dispersion model of air pollutants from shipping. The simulation also provides the marginal cost curve and marginal benefit curve to determine the optimal ECA size. The marginal analysis implies there are two optimal points for ECA size. Changing such parameters as the value of life, population density, and the price of low-sulfur fuel clarifies their relationships with optimal ECA.

研究分野：交通経済学

キーワード：海運 大気汚染物質 大気汚染物質放出規制海域 最適範囲

1. 研究開始当初の背景

道路交通からの大気汚染問題は三元触媒等の技術発展により徐々に改善の方向に向かっているが、世界経済の成長に伴う海運貨物サービス利用の増加に伴い、船舶起因の大気汚染問題は悪化していると言える。査証として、船舶から排出される NO_x、SO_x、PM といった大気汚染物質排出量は世界において 1990 年以後 2007 年まで増加していることが挙げられる。そして、これらの海運起因の大気汚染物質が、世界で年間 19,000~64,000 人の早期死亡を引き起こしていると言われている研究者もいる。この早期死亡の地理的な分布は、海運交通量の多いヨーロッパ、中国、日本沿岸部で多いとの研究結果がある。船舶起因の大気汚染物質を抑制、防止すべく、国際海事機関 (IMO) は海洋汚染防止 (MARPOL) 条約に船舶からの排気ガスの防止に関する附属書 VI を追加する議定書を 1997 年に採択し、2005 年 5 月に発効した。附属書 VI に記載されていた排ガス規制値は 1997 年時点で達成可能な技術に基づいており、附属書発効後 5 年以内に見直しを行うことが議決され、この議決を受け 2005 年 7 月の第 53 回海洋環境保護委員会 (MEPC) から規制水準に関する見直しが行われた。検討の結果、更なる大気汚染抑制を行うために、2011 年から実施される 2 次規制、2016 年から実施される 3 次規制が決められ、MEPC58 で改正 MARPOL 条約附属書 VI が採択された。そして改正条約が 2010 年 7 月に発効した。

改正 MARPOL 条約附属書 VI の 3 次規制の中には、指定海域において NO_x 排出を現行規制よりも 80% 削減しなければならない大気汚染物質放出規制海域 (Emission Control Area: ECA) に関する条項が入れている。ECA は希望する国 (単独または複数) が MEPC に提案文書を提出し、適切性が審議され、承認された場合に設定することができる。すなわち、ECA は沿岸海域における船舶起因の大気汚染削減を意図した国際的な制度と言うことが出来る。

この ECA を日本の海域に設定した場合の大気汚染物質排出量や拡散シミュレーションは、国土交通省を中心に検討が進められていた。他方、ECA の設定による船舶行動の変化やそれに伴う費用便益の分析はまだ実施されていない。

2. 研究の目的

本研究は、船舶起因の大気汚染物質を削減するためにある地域において ECA を設定した場合における効果と影響を分析し、どのように ECA を設定すべきなのかという政策インプリケーションを導き出すことを目的とする。本研究は定性的な分析よりも、ECA のモデル化を行い、数値シミュレーションを開発することで、ECA の効果について分析を行う。

具体的には次に示す 2 つのテーマについて

研究を行い、定量的な視点からどのような制度にて ECA を日本に設定すべきなのかを分析する。

- (1) 大気汚染物質の削減政策に関する既存文献のサーベイ
- (2) 最適な ECA 設定範囲に関する定量分析

ECA を中心にして分析を実施している研究は少ないものの、大気汚染物質の排出削減政策に関する理論研究、実際の政策に関する研究は多数存在する。本研究の位置づけを行い、ECA の理論モデルを構築する際に、既存調査・研究を整理しておくことは必要である。そこで、最初に(1)として大気汚染物質の削減政策に関する既存文献の整理を実施する。

(2)として、ECA の最適範囲の条件、またそれに影響を与える要因を探る。大気汚染物質を抑えるために ECA の範囲を拡大するならば、陸地に届く大気汚染物質は遞減するであろう。他方で、ECA の範囲拡大により ECA の規制を受ける船舶の数も多くなり、それに対応するための費用が増加する。これより ECA は沿岸からの距離に関して環境改善の限界便益と環境負荷を低減させるための限界費用がバランスする、すなわち最適な ECA 設定範囲があるように思われる。このような最適な ECA の範囲を求めることができるならば、また ECA の最適範囲に影響を与える要因が判明するならば、その結果は実際の政策論議の基盤情報となるであろう。

3. 研究の方法

大気汚染物質の削減政策に関する既存文献のサーベイについては、文献を渉猟し、陸地における大気汚染物質排出すなわち外部不経済と空間に関する既存文献を探した。

(2)の最適な ECA 設定範囲に関する分析には、第一に既存文献の整理で得た知見に基づき、理論モデルを構築した。理論モデルでは、1次元の線形都市と線形海域を用い、船舶に関する行動と都市の各地点における大気汚染物質起因の社会的費用や削減による社会的便益を数式にてモデル化し、ECA の最適範囲に関する条件を導出する。

このように理論モデルは、最適範囲に関する条件のみを導出することができる。また、大気汚染の拡散は、数式のみでは分かりにくいところがある。そこで、より最適範囲についての知見を具体的に把握するために、理論モデルを踏まえて、シミュレーションモデルを構築し、数値シミュレーションを実施した。数値シミュレーションにおいては、一次元の線型都市と線型海域を使い、船舶の航行位置選択と大気汚染拡散モデルを組み込む。

4. 研究の結果

研究の結果として、(2) 最適な ECA 設定範囲に関する定量分析を中心に述べる。4.1 は岡田 (2013)、Okada(2013)、4.2 は Okada (2015)に基づく。

4.1 理論モデル

線形都市を仮定する。線形都市の範囲は、 $[-x, x]$ (但し、 $x > 0$) とする。その線形都市には家計が密度 $N^r(x)$ で分布しているとする。そして線形都市の外側 $(-\infty, -x)$ 、 (x, ∞) には家計が居住できない地域、すなわち海域があるとす (図1)。その海域を密度で船舶が航行しているとする。なお、都市部において大気汚染物質発生源は無いと仮定する。

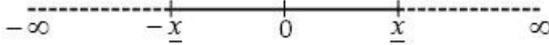


図1 線形都市と海域

すべての企業すなわち船舶は同じ生産関数 $F(N, K_1)$ を持つとする。ここで N は労働者の量、 K_1 は生産に関する資本量である。そして船舶は生産量に応じて汚染物を排出し、航行する位置に応じて汚染物質の量が変化するとする。つまり、汚染物質排出量は $e(N, K_1, x')$ と表せる。ここで、 x' は航行する位置を意味する。

船舶は汚染物質を財 s で除去する設備 K_2 を保有する。汚染物質除去設備は ECA の中で稼働させることになる。これらより大気汚染物質削減量は $h(s, K_2, x')$ と表せる。 x' を航行する1船舶からの大気汚染物質の排出量は $e(N, K_1, x') - h(s, K_2, x')$ となる。これを簡略化して $e(x') - h(x')$ とする。また、 x' における大気汚染物質排出量 $E(x')$ は $E(x') = (e(x') - h(x')) \cdot N^f(x')$ である。

船舶(企業)が提供している船舶サービスの価格を p とすると、各企業は $\pi = pF(N, K_1) - w_1N - r_k(K_1 + K_2) - c_f(|x'| - |x|) - w_2s$ という利潤関数に直面している。ここで、 w_1 は賃金、 r_k はレンタルコスト、 c_f は燃料価格、 w_2 は財 s の価格とする。

都市に住む住民は効用関数 $u(z, ho, a)$ を持つ。ここで、 z は合成消費財、 ho は居住面積、 a は汚染水準(濃度)とする。一般的に都市部 x における汚染濃度 $a(x)$ は、海域からの汚染物質排出 $E(x')$ と居住地域に依存する。そして、排出源 x' から都市部 x への寄与を $g(E(x'), x', x)$ と現す。 x' における汚染物質排出量の増加は、 $\partial g / \partial E > 0$ を意味する。そして、排出源 x' の距離が大きくなると都市部への寄与が低下する ($\partial g / \partial x' < 0$)。

ECA の境界は、海域に対称に $x^E \in (x, \infty)$ と $-x^E \in (-\infty, -x)$ に入れるとする。

船舶が ECA の範囲を航行するとき、大気汚染削減のための設備を稼働させなければならない。ECA の導入により、海域 x' における大気汚染物質排出量は次式となる。

$$E(x') = e(x') \cdot N^f(x')$$

次に、ECA を設定した場合における汚染物質濃度 $a^E(x)$ は、

$$\begin{aligned} a^E(x) = & \int_{-\infty}^{-x^E} g(e(x') \cdot N^f(x'), x', x) dx' \\ & + \int_{-x^E}^{-x} g((e(x') - h(x')) \cdot N^f(x'), x', x) dx' \\ & + \int_x^{x^E} g((e(x') - h(x')) \cdot N^f(x'), x', x) dx' \\ & + \int_{x^E}^{\infty} g(e(x') \cdot N^f(x'), x', x) dx' \end{aligned}$$

となる。このとき、における汚染物質濃度減少による住民の便益は、

$$B^E(x') = \int_{-x}^x \frac{\partial U / \partial a}{\partial U / \partial z} N^r(x) \frac{\partial a^E(x)}{\partial E(x')} dx$$

となる。

それでは、ECA の範囲を Δx だけ外海に拡張することで生じる社会的便益と費用を比較することで最適な ECA の範囲を導出する条件を導く。なお、強い仮定であるが ECA の範囲を変更したとしても船舶の航行パターンが変化しないとす。

ECA を Δx 外側に拡張することで、 $x' \in [x^E, x^E + \Delta x]$ における大気汚染物質は $\{e(x') - (e(x') - h(x'))\} \cdot N^f(x') = h(x') N^f(x')$ だけ減少する。この減少量に $B^E(x')$ を乗じると大気汚染の変化に関する社会的な便益となる。このとき、ECA を遵守するために船舶が負担する費用は、

$$C^{ECA} = (r_k K_2 + w_2 s) N^f(x')$$

である。これより、最適な ECA の範囲は、境界 x^E において便益と費用が同じとなる、つまり、 $B^E = C^{ECA}$ となるところであるので、

$$B^E(x') \cdot h(x') = r_k K_2 + w_2 s$$

が ECA の最適範囲に関する条件である。

4.2 数値シミュレーション

シミュレーションでは線型都市を内陸部と沿岸部という2つに区分している(図2)。そしてそれぞれの地域で、 R_I, R_S という密度で住民が生活しているとしている。非居住地域である (x, ∞) において、船舶が航行している。そして、この一次元都市には高さが存在するものとする。船舶は、鉛直に大気汚染物質を排出するとす。鉛直に排出された大気汚染物質は拡散や風によって都市に運ばれる。



図2 シミュレーションにおける線形都市と海域

船舶は、シミュレーションで行動を捉えるために理論モデルとは異なり、海上の航行位置を次の2項目のコストによって考えるとす

る。第一は沿岸からの遠く離れることによる燃料コストである第二は沿岸に近づくことによる座礁のコストである。これらの関係を踏まえ、船舶の位置選択モデルを次のように定式化する。

$$C(x) = (a_0 + ECAcost)x^{b_0} + a_1/x^{b_1}$$

ここで、 x :航行位置, $ECAcost$: ECA に対応するための追加的費用, a_0, a_1, b_0, b_1 :費用関数に関するパラメータである。

上式のように ECA 実施により船舶の費用関数は変化するので、船舶は航行位置を変化させる。この政策実施による船舶の費用の変化分 ΔC_{ECA} は次式となる。

$$\Delta C_{ECA} = C(x') - C(x)$$

ここで、 x は ECA 実施前の船舶の航行位置、 x' は ECA 実施後の船舶の航行位置を意味する。この変化分を全船舶に渡って足したものが、ECA 実施による総私的費用となる。また、ECA の内部を通ることを決定した船は低硫黄の燃料を使用する。その際にコストが $ECAcost$ 分だけ高くなる。一方で大気汚染物質排出量は、ECA 域外で船舶が航行する時の汚染物質よりも 1/10 であるとした。

船舶から鉛直に排出された大気汚染物質は、拡散し一部が都市部に向かう。本研究においては、その大気汚染物質の拡散をブルーム式でシミュレートすることにする。

排出源の風下となる位置 y 、高さ z における汚染物質濃度は、次式となる。

$$f(z) = \exp\left[-\frac{(z - He)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z + He)^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

ここで He :有効煙突高さ, σ_z :拡散幅である。風下距離 x 、高さ z における汚染物質濃度を決定するためには σ_z を決める必要がある。本研究においては、サットンの方法を採用する。

地点 x のみから大気汚染物質が排出された場合、風下の地点 y の濃度は

$$G = \frac{2Q}{\sqrt{\pi}u C_z(x-y)^{(1-n/2)}} \exp\left[-\frac{He^2}{C_z^2(x-y)^{2(1-n/2)}}\right]$$

となる。ここで Q は排出量、 u は風速である。汚染物質が多数の地点から排出される場合、重ね合わせの原理を用いて当該地点の濃度を求めることになる。

大気汚染物質が陸地の居住地域に流れてきた場合、その濃度に応じて、住民は健康被害を受け、外部費用が生ずる。なお、 SO_x は建物や動植物に被害を及ぼすが、本研究ではそれらは無視する。

ECA を実施することにより陸地において大気汚染物質の濃度が低下するならば、大気汚染物質に起因する外部費用が低下することになる。ここで、 SO_x の健康リスクの定量評価モデルを

$\Delta Mortality = y_0 \times (RR - 1) / 10 \times \Delta SO_x$ とする。ここで $\Delta Mortality$ は SO_2 に起因す

る死者数の変化、 y_0 は年間非事故死者数、 RR は SO_x の $10 \mu g/m^3$ あたりの相対リスク、 ΔSO_x は ECA 導入前後の SO_2 濃度の平均値の変化である。

ECA 実施による死者数の変化は、外部費用の低下、言い換えると便益と言ええる。この ECA 実施による便益は次式で計算する。

$$Benefit = \Delta Mortality \times VOL$$

ここで $Benefit$ は便益、 VOL は生命の価値を表す。

ECA 実施による費用・便益をシミュレートするために、空間、線型都市、海を分割している。水平距離に関しては 2000m、高さに関しては 1m を 1 unit として空間を区切っている。海は水平距離で分割されている。船舶は自らの費用関数に基づき x を決定し、その後、その x に最も近い区分に割り振られる。そのため一部の海の区分では複数の船舶が通行することとなる。そしてその区分の中で大気汚染物質を煙突を通して、空中に放出している。次に、大気汚染物質の濃度はその分割した場所毎に計算している。線型都市は分割された区間の中に R_i もしくは R_j 人の住人が住んでいるとしている。住民は高さ 0 の大気汚染物質に曝露し、健康被害が発生する。健康被害額は前述の式に沿って計算される。

このシミュレーションでは複数のパラメータが使用される。主なパラメータとしては、船舶の費用関数に係わるパラメータ、大気汚染の拡散に係わるパラメータ、健康被害に係わるパラメータである。

ECA 導入の費用と便益を計算するために、シミュレーションはつぎの 5 ステップで行われる。

まずは ECA が行われていない状況をシミュレートする。第一ステップは、船舶の費用関数に関するパラメータを一様乱数を用いて割り当てることである。海を航行する船舶の数は 2000 隻とする。そして、1 隻毎に一様乱数を用いてパラメータ a_0, a_1, b_0, b_1 を割り当て、費用関数を確定する。各船舶は費用関数に基づき、費用が最小化する位置を割り出し、そこを航行位置とする。

第二ステップでは、海洋の区分毎に排出される大気汚染物質総排出量を決定する。なお、今回、各船は 1 単位の大気汚染物質を排出するとし、区分毎の排出量を決定する。そこから拡散シミュレーションを行い、線型都市の各地点の大気汚染濃度を計算する。

第三ステップでは再度費用関数に基づき、船舶が航行する位置を決定している。ECA の導入により、船舶は航行位置を変更する。ここで船毎に第一ステップで計算された費用との差分を計算し総和をとる。ここで ECA の私的総費用を計算している。

第四ステップは航行位置変更に伴い海洋の区分毎に排出される排出量を更新し、再度拡散シミュレーションを実施する。ECA 区間内を走行する船舶がいた場合、その船舶から排出される大気汚染物質の量は 0.1 としてい

る。そして線型都市の各区分の大気汚染濃度を再計算する。

第五ステップは、第二ステップと第四ステップで計算された線型都市の各区分の大気汚染濃度の変化分を計算し、環境便益を計算する。つまり ECA の便益を計算している。

ECA の距離を変更した時の費用と便益をシミュレートする場合は、ECA の距離を変更する度に、第三ステップから第五ステップを繰り返すことになる。これを行うことにより、ECA の距離に応じた費用と便益を計算することができる。

設定したパラメータ値を固定してシミュレーションを実施することで、船舶の航行位置、便益対費用(B/C)と ECA の関係が見えてくる。図 3 は ECA を実施した時(設定位置 39.5 unit)の船舶の航行位置の分布例である。ECA を設定した場合、船舶の選択位置に関しては 2 つの特徴がある。第一に一部の船舶は ECA の外側に待避するような位置を選ぶことである。第二の特徴は、ECA の中を航行する船は沿岸に近いところを航行位置に選択することである。

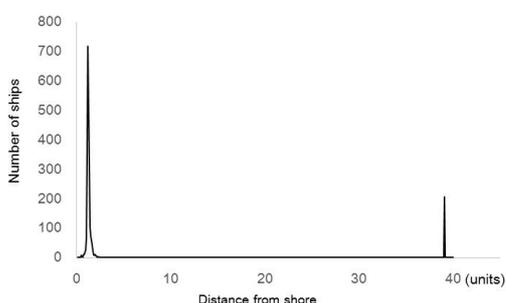


図 3 ECA 実施時の船舶の航行位置の分布

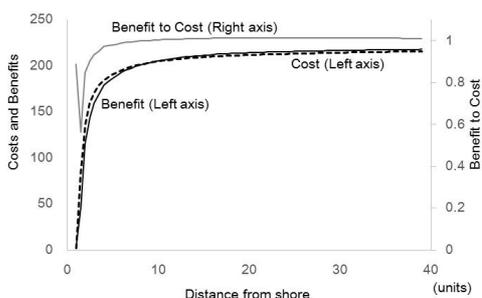


図 4 ECA の設定距離と便益、費用、便益対費用

ECA の範囲を変更した時に、ECA 実施の B/C はその範囲に比例するのではなく、範囲とは複雑な関係になる(図 4)。中でも、政策を評価する指標である B/C と ECA の拡張の関係は複雑になっている。すなわち今回のシミュレーションにおいては V 字型の関係となった。すなわち一端 B/C は低下し、その後増加するという関係になっている。

ECA を微小拡大した場合のコストと便益の変化を見ることにより最適な ECA 距離を導き出すことができる。まず、本研究で意

味する「限界」は、微小単位外洋に ECA を移動させた時のコストの変化分と便益の変化分の事を指す。ECA の範囲と限界費用、限界便益の関係の計算結果を図 5 に示す。限界費用と限界便益は 2 箇所で交わる結果となった。

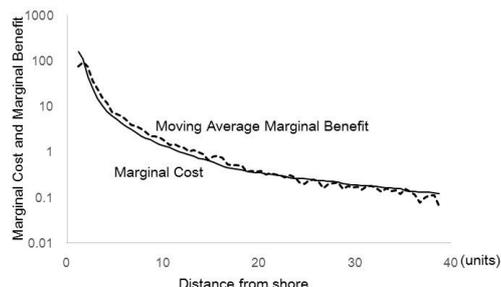


図 5 ECA 設定距離と移動平均限界便益・限界費用の関係

パラメータを変化させることで、ECA の最適距離にどのような影響を与えるのか複数観察した。一例として生命の価値を変化させた場合を示す(図 6)。生命の価値を変化させて ECA の最適距離を見たところ、生命の価値は最適 ECA 距離と正の関係にあるものの、複雑な関係にあることが分かった。

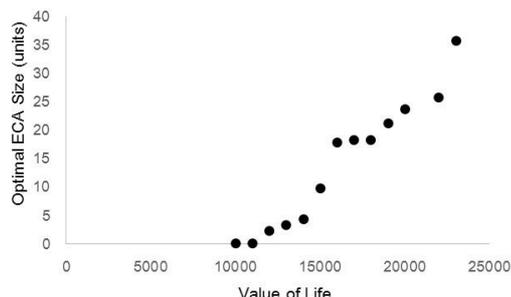


図 6 生命の価値と最適 ECA 距離の関係

4.3 政策インプリケーション

シミュレーションにてパラメータと ECA の最適距離に関して関連が判明したので、今後政府が ECA を設定する際の目安をいくつかを導き出すことができる。

第一に人口密度が高い都市・地域が沿岸部に存在した場合、その近隣の海に設定する ECA は距離を遠海に設定することが是認される。沿岸部に人口が増加した場合には遠海に ECA を設定することが望まれる。また都市部は経済発展もしていることから、給与も高くなり、よって VOL が高くなる。VOL の上昇も ECA の最適範囲を広げる一因となる。逆に沿岸部の人口密度が低い場合は、その近海の海に設定する ECA は短い距離に設定されることが望ましい。

第二に ECA に対応する燃料費等が高騰するなどした場合には ECA の距離を縮めることも是認される。資源の枯渇などによって石油価格の高騰も予想されている。また SOx の

グローバルキャップにより低硫黄燃料の需給逼迫から燃料の価格高騰も言われている。このような場合には ECA の距離・範囲を狭くすることで効率の高い ECA を運営することができる。

5. まとめ、本研究の限界

本研究は、船舶起因の大気汚染物質を削減するためにある地域において ECA を設定した場合における効果と影響を分析し、どのように ECA を設定すべきなのかという政策インプリケーションを導き出すことを目的としている。

その目的を達成するために、第一に、ECA の最適範囲についての条件を導くために理論モデルを構築し、条件に関する検討を行った。モデル作成に際しては、空間と外部不経済に関する既存研究に基づき、線形都市モデルを構築した。結果、大気汚染物質削減による便益と船舶が大気汚染を削減する費用が均衡する位置が ECA の最適範囲を特定する条件であることが分かった。

第二に、線形都市と線形海域において、船舶の位置選択に関する費用関数と大気汚染拡散モデルを含んだ数値シミュレーションを構築し、ECA の最適範囲に関する分析を行った。シミュレーションより距離毎の便益や費用、そして B/C そして限界便益曲線と限界費用曲線を導出した。数値シミュレーションを行った結果、ECA の最適範囲は 2 つある可能性を示唆した。また生命の価値、人口密度、ECA に対応するための低硫黄を使う費用といったシミュレーションのパラメータを変化させることで、それらと最適 ECA 範囲の関係を分析した。分析の結果、VOL と最適距離は正の関係があった。人口密度と最適距離は正の関係であった。但し、沿岸部と内陸部では距離に与える影響の強さが異なっていた。低硫黄燃料の費用と最適距離は負の関係にあることがわかった。これらの結果から今後 ECA を設定する際の距離に関する政策インプリケーションを導いた。

本研究の本質的な限界としては、線形都市でモデル化を行っていることである。実際の海は平面であり、船舶の航行位置・航路の選択は、より複雑な意志決定を通じて行われる。次なる限界は、大気汚染物質の化学反応過程が入っていないことである。大気に放出された大気汚染物質は拡散だけではなく複雑な化学変化を起こす。この化学変化を考慮しないことは、環境改善の便益を過小評価していることにつながっている。これらの限界については今後対応してゆきたい。

<引用文献>

岡田啓 (2013) 「船舶からの大気汚染物質放出規制海域 (ECA) の設定範囲に関する現況と考察」『東京都市大学環境情報学部紀要』第 14 号, 49~56 ページ。

Okada A. (2013) A study on Emission Control Area for reducing air pollution from shipping, in the Selected Proceedings of the WCTRS 13th International Conference, WCTRS 13th International Conference, Rio de Janeiro, Brazil. ISBN 978-85-285-0232-9

Okada A. (2015) Simulation analysis on Emission Control Area for reducing air pollution: ECA size, locational shift of ships and environmental benefits, IAME 2015 Conference, Kuala Lumpur, Malaysia.

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 1 件)

岡田啓 (2013) 「船舶からの大気汚染物質放出規制海域 (ECA) の設定範囲に関する現況と考察」『東京都市大学環境情報学部紀要』第 14 号, 49~56 ページ、査読無

〔学会発表〕(計 2 件)

Okada A. (2013.7.16) A study on Emission Control Area for reducing air pollution from shipping, in *the Selected Proceedings of the WCTRS 13th International Conference*, WCTRS 13th International Conference, Rio de Janeiro, Brazil. ISBN 978-85-285-0232-9

Okada A. (2015.8) Simulation analysis on Emission Control Area for reducing air pollution: ECA size, locational shift of ships and environmental benefits, IAME 2015 Conference, Kuala Lumpur, Malaysia (於: Windsor Barra Hotel)

〔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

6. 研究組織

(1)研究代表者

岡田 啓 (OKADA, Akira)

東京都市大学・環境学部・環境マネジメント学科・准教授

研究者番号: 24710052

(2)研究分担者

無し

(3)連携研究者

無し