

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月27日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560789

研究課題名（和文） サプライチェーンから見た国際海運のGHG削減に関する研究

研究課題名（英文） A Study on GHG Reduction of the International Marine Transportation in Consideration of the Supply Chain

研究代表者

黒川 久幸（KUROKAWA HISAYUKI）

東京海洋大学・海洋科学技術研究科・教授

研究者番号：50282885

研究成果の概要（和文）：国際海運から排出される二酸化炭素は8.5億トン（2007年）で、ドイツやイギリスといった先進国一つ分に匹敵する莫大な排出量である。本研究では、この排出量を削減するための対策を検討するために、サプライチェーン全体における二酸化炭素排出量を把握するモデルの構築を行った。そして、このモデルを用いて船舶の大型化や減速等の削減策の削減効果について検討を行った。検討の結果、船舶の大型化等の削減策が、陸上輸送等にも影響を与え、結果として二酸化炭素排出量の削減にならない場合があることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：The carbon dioxide emitted from international marine transportation is 850 million tons (2007), and this quantity is huge emission like a one-country advanced nation, such as Germany and the U.K. In this study, in order to examine the plan for reducing this emission, the model which grasps the carbon-dioxide emissions in the whole supply chain was built. And the reduction effect of plans, such as an enlargement and a slowdown of a vessel, was discussed using this model. As results of examination, the plan for reduction of marine carbon dioxide emission showed clearly that land transportation etc. are affected. That is, it turned out that the emission on a supply chain increases depending on conditions of the plan.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：温室効果ガス（GHG）、海上輸送、CO<sub>2</sub>排出量、地球温暖化、サプライチェーン

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 海上におけるCO<sub>2</sub>排出量の現状

「国際海運から排出される温室効果ガス（GHG）に関する調査」の調査結果によれば、2007年における国際海運から排出されるCO<sub>2</sub>は8億4300万トン、地球全体のCO<sub>2</sub>排出量の約3%である（世界の海事関係研究機関・大学

等11組織からなる国際コンソーシアムが実施）。これは、ドイツ（3.0%）やイギリス（2.0%）といった先進国一つ分に匹敵する莫大な排出量である。

## (2) IMOの取り組み

このため国際海運からのGHG排出量の削減に

向け、国際海事機関（IMO）において、技術的な手法（船舶のエネルギー効率の改善、代替エネルギーの活用等）、運航上の手法（減速航行、最適航路選択等）についての検討が進められている。

そして、このGHG削減に向けた取り組みとして、IMOのMEPC57において次の9つの原則が示された。

1. 地球規模のGHG総排出量の削減に効果的に貢献すること。
2. 抜け道を防ぐため、拘束力を有しすべての旗国に平等に適用されること。
3. 費用に見合う効果が得られること。
4. 市場歪曲を防ぐ（少なくとも効果的に最小化する）ことができること。
5. 世界の貿易と成長を阻害せず、持続可能な環境開発に基づくこと。
6. 目標達成型アプローチに基づくものとし、具体的手法を規定しないこと。
7. 海運産業全体における技術革新・研究開発の促進・支援に役立つこと。
8. エネルギー効率分野における主導的技術に対応していること。
9. 実用的であって、透明性があり、抜け道がなく、管理が容易であること。

### （3）現状の課題

しかし、次のような課題が存在し、今後の検討が必要となっている。

[課題 1]GHG削減のための規制対象となる国の範囲の決定

先進国が支持するIMOの原則に基づく「非差別適用」でなければGHG総排出量の削減に効果がないのか、あるいは、途上国が支持する気候変動枠組条約の原則である「共通だが差異ある責任」でも十分にGHG削減を達成できるのかの検討が求められている。

[課題 2]地球規模のGHG総排出量削減のための国際海運への規制

国際海運への規制が、海上以外も含めた地球全体のGHG総排出量の削減に結びつかなければ意味がない。輸送はサプライチェーン上の物流活動の一部であり、規制による海上輸送サービスの変化は、他のサプライチェーン上の生産や物流活動に影響を与える。このため、海上輸送にともなうGHG排出量のみに着目した削減策は、他の物流活動等におけるGHG排出量の増加をもたらす恐れがあり、相互の関係を考慮したGHG排出量削減策の検討が必要となっている。

### 2. 研究の目的

船舶の減速航行等の運航上の手法によるGHG削減に関する研究は、もっぱら海上部分のみを対象とした検討であった。言い換えれば、部分最適を目指したものであり、全体最適の保証がなされていなかった。相互に影響し合

う事象では、部分的な最適化が必ずしも全体最適とならないことを経験する。まさしく本研究が対象とするGHG排出量の削減は、全体最適の視点が必要とされる問題である。しかし、関係相互の影響が複雑であり、その把握が困難なため全体最適から見た削減効果の検討はなされていない。

そこで、本研究では既存研究において検討されていないサプライチェーン上のGHG排出量を把握するモデルを構築し、削減策の検討を行うことを目的とする。なお、具体的な検討ではCO<sub>2</sub>排出量を評価指標とする。

### 3. 研究の方法

#### （1）研究方法の概要

商品毎に異なるサプライチェーンが存在するとともに、原材料の輸送や製品の輸送で使用される船種も異なる。そこで本研究では、幾つかの商品に関するサプライチェーン上の物資の流れと使用されている船種、そして、その輸送サービス（航海時間や寄港頻度等）を調査する。

次に、この調査結果を基に海上における減速等の輸送サービスの変化が陸上の物流活動等に与える影響をモデル化する。また、輸送等の活動にともなうCO<sub>2</sub>排出量の算定を行うための推計方法について検討し、減速航行等の削減効果について把握する。

#### （2）年度別の計画

##### ①平成22年度

食料品及び自動車を対象に、調達、生産、販売に至るサプライチェーン上の物資の流れを調査する。この際、サプライチェーン上の異なる複数の企業にまたがる物資の流れを調査することは困難であることが予想される。そこで、食料品においてはサプライチェーンの中間に位置する卸売業者を、自動車においては部品メーカーを中心に調査を開始し、川上及び川下側の企業へ調査を広げる。調査の内容としては、流動経路、物流拠点の配置、輸送量、輸送機関、輸送サービス（所要時間、頻度）、在庫量等である。

また、多くの企業において調達物流と販売物流を分けて管理していることが多いことから自動車であれば部品と製品の輸送を分けて整理し、それぞれの輸送サービスが生産や販売に与える影響についてその因果関係をモデル化する。特に、CO<sub>2</sub>削減に効果が見込まれている減速や減便に関して、製品在庫や調達・生産ロットとの因果関係について企業への調査を参考にモデル化を行う。

また、CO<sub>2</sub>削減策の実現可能性を検討するためにサプライチェーン上の費用に関しても合わせて調査を実施する。

##### ②平成23年度

平成 22 年度に構築する CO<sub>2</sub> 排出量の推計モデルは、主としてサプライチェーン上の川下側に相当する海上輸送を対象としたモデル化である。平成 23 年度はこのモデル化に引き続き、サプライチェーン上の川上側を対象とした GHG 排出量を把握するためのモデルの構築を行う。具体的には川上側においてもつばら用いられている専用船を対象として、国内における CO<sub>2</sub> 算定式である燃料法やトンキロ法を参考に CO<sub>2</sub> 排出量の推計モデルを構築する。

なお、このモデルの構築のために平成 22 年度の調査に引き続き、食料品等を対象に調達、生産、販売に至るサプライチェーン上の物資の流れを調査する。

この他、CO<sub>2</sub> 排出量の削減策が船会社及び荷主の収益面に与える影響を評価するために、平成 22 年度に構築した物流費用の推計モデルの改善を行う。具体的には、今後の課題となっていた輸送時間の増加が在庫に与える影響について評価できるように費用の試算式を見直す。

### ③平成 24 年度

平成 23 年度までに、調達、生産、販売に至るサプライチェーン上の物資の流れを把握し、そのサプライチェーン上の CO<sub>2</sub> 排出量を推計するモデルを構築する。そして構築したモデルから国際海運の寄港地変更が、陸上の生産や輸送における CO<sub>2</sub> 排出量に与える影響を明らかにする。その上で最終年度である平成 24 年度では、これまでの成果を活用して CO<sub>2</sub> 排出量の削減策について更なる検討を行う。

また、小麦等を輸送する専用船は、その輸送の半分がほぼ空船状態である。そして、この空船状態における国際海運からの CO<sub>2</sub> 排出量がサプライチェーン全体から排出される量と比較して無視できない値である。そこで空船状態を緩和するために従来異なる輸送として運ばれていた鉄鉱石や石油といった物資を同一の専用船で輸送する「共同輸送」についても検討する。そして、共同化による CO<sub>2</sub> 排出量の削減量の推計から異なるサプライチェーン上の荷主間の協力の可能性を探る。

## 4. 研究成果

### (1) 年度別の研究成果

#### ①平成 22 年度の研究成果

主として自動車を対象に調達、生産、販売に至るサプライチェーン上の物資の流れを調査した。そして、海上輸送における輸送時間等のサービスの变化が、製品や部品等の在庫量と密接な関係にあることを確認した。特に企業へのヒアリングからは大量の在庫を抱えることによる経費の増大が経営上の問題となっていることが明らかとなった。

そこで船舶の減速や減便が製品等の在庫量に与える影響をモデル化するだけでなく、在庫量と保管費の関係についてもモデル化した。

これにより、減速等の削減策について削減量だけでなく物流費用面を含めた総合的評価を可能とした。この評価の結果、削減策について次のことが明らかとなった。

多くの地域間において必要以上に大型の船舶が就航しており、環境面から見て望ましくないことが分かった。このことから船型の小型化が望ましい削減策と分かった。しかし、CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果は小さい(表 1)。

また、減速の削減策は CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果が非常に大きいと分かった。しかし、隻数の増加を伴うために物流費用が増大し、特に船会社の負担が大きいことから船腹過剰の状態であれば実行が困難であることが分かった(表 2)。

表 1 小型化の効果

loading rate(Miniaturization)	Base	10%	20%	30%
CO <sub>2</sub> emissions[10 <sup>6</sup> t-CO <sub>2</sub> ]	178	175	175	177
Logistics cost[10 <sup>8</sup> yen]	160,778	143,256	134,922	129,426
transport cost[10 <sup>8</sup> yen]	158,970	141,448	133,114	127,618
Bunker expenses[10 <sup>8</sup> yen]	27,682	27,254	27,276	27,515
Entrance and clearance fees[10 <sup>8</sup> yen]	14,803	14,628	14,202	13,917
Handling cost[10 <sup>8</sup> yen]	18,276	18,276	18,276	18,276
Wages and crew expenses[10 <sup>8</sup> yen]	6,508	6,305	6,201	6,144
Cost of hull[10 <sup>8</sup> yen]	91,701	74,995	67,159	61,765
Storage cost[10 <sup>8</sup> yen]	1,808	1,808	1,808	1,808
Ave. Size[TEU]	2,909	2,202	1,865	1,646
Age. Speed[kt]	20.9	20.9	20.9	20.9
Num. of ship	2,716	2,716	2,716	2,716
Age. Frequency[1/year]	48	48	48	48
Age. Loading rate(Outward)[%]	0.57	0.72	0.82	0.91
Age. Loading rate(Return)[%]	0.32	0.40	0.45	0.50
Voyage time per voyage(day/a voyage)	47	47	47	47
Social benefit[10 <sup>8</sup> yen]		17,563	25,896	31,369

表 2 減速の効果

Slowdown	Base	10%	20%	30%
CO <sub>2</sub> emissions[10 <sup>6</sup> t-CO <sub>2</sub> ]	178	144	114	87
Logistics cost[10 <sup>8</sup> yen]	160,778	170,978	179,076	191,141
transport cost[10 <sup>8</sup> yen]	158,970	169,170	177,268	189,333
Bunker expenses[10 <sup>8</sup> yen]	27,682	22,340	17,651	13,514
Entrance and clearance fees[10 <sup>8</sup> yen]	14,803	14,803	14,803	14,803
Handling cost[10 <sup>8</sup> yen]	18,276	18,276	18,276	18,276
Wages and crew expenses[10 <sup>8</sup> yen]	6,508	7,716	8,490	9,565
Cost of hull[10 <sup>8</sup> yen]	91,701	106,035	118,047	133,175
Storage cost[10 <sup>8</sup> yen]	1,808	1,808	1,808	1,808
Ave. Size[TEU]	2,909	2,909	2,909	2,909
Age. Speed[kt]	20.9	18.8	16.7	14.6
Num. of ship	2716	3299	3582	4026
Age. Frequency[1/year]	48	48	48	48
Age. Loading rate(Outward)[%]	0.57	0.57	0.57	0.57
Age. Loading rate(Return)[%]	0.32	0.32	0.32	0.32
Voyage time per voyage(day/a voyage)	47	51	58	65
Social benefit[10 <sup>8</sup> yen]		-9,685	-17,332	-29,000

### ②平成 23 年度の研究成果

我が国の小麦輸入を例に図 1 に示すサプライチェーン上の CO<sub>2</sub> 排出量を把握し、海上輸送が陸上輸送や生産といった他の CO<sub>2</sub> 発生源の内、どの発生源に影響を与え、かつどの程度の影響を及ぼすのかを明らかにした。最も CO<sub>2</sub> 排出量が多いのは生産国における陸上輸送で、全体の約 30% を占めていた。続いて、二次加工工場における生産が全体の 27% を占め 2 番目に CO<sub>2</sub> 排出量の大きい結果となった。また、海上輸送部分については全体の 20% にとどまっていた(表 3)。

そして輸入港の集約について検討した結果、

海上輸送と陸上輸送が密接に関係していることが分かった。特に、海上輸送における僅かな変化が、陸上輸送に大きな影響を与えることが分かった。具体的には輸入港の集約による陸上輸送におけるCO<sub>2</sub>排出量の変化量は、海上輸送におけるCO<sub>2</sub>排出量の変化量の2倍から14倍も変化することが分かった(表4)。よって、外航海運を対象としたCO<sub>2</sub>排出量の削減策を検討する場合は、サプライチェーンの視点から十分考慮する必要があることが明らかとなった。

このことから、国際戦略港湾政策において大型の外航船舶が寄港する港湾を選定し、物流コストの削減等の視点から集中的な港湾整備を行っていくとされているが、研究成果から環境面からは日本国内の輸送等への影響もあわせて評価していくことが重要であることが明らかとなった。

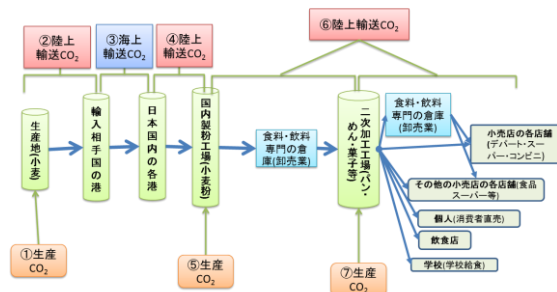


図1 小麦のサプライチェーン

表3 CO<sub>2</sub>排出量の推計結果

Each production and transportation stage	CO <sub>2</sub> emission (ton)	
①Product (1)	475,650	15.1%
②Transportation (1)	889,080	28.3%
③Transportation (2)	606,006	19.3%
④Transportation (3)	16,176	0.5%
⑤Product (2)	181,653	5.8%
⑥Transportation (4)	113,694	3.6%
⑦Product (3)	862,512	27.4%
total	3,144,771	100.0%

表4 輸入港の集約による影響

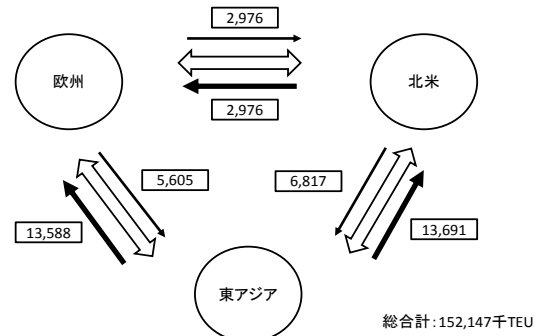
Each production and transportation stage	The present CO <sub>2</sub> emission (ton)	After concentration of port CO <sub>2</sub> emission (ton)	Difference (ton)
①Product (1)	475,650	475,650	0
②Transportation (1)	889,080	889,080	0
③Transportation (2)	606,006	610,084	4,078
④Transportation (3)	16,176	7,878	-8,298
⑤Product (2)	181,653	181,653	0
⑥Transportation (4)	113,694	170,369	56,675
⑦Product (3)	862,512	862,512	0
total	3,144,771	3,197,226	52,455

### ③平成24年度の研究成果

バルク貨物を輸送する際の大きな問題となっている片荷輸送における非効率な空船状態の解消によるCO<sub>2</sub>排出量の削減策について検討を行った。具体的には、従来異なる輸送として運ばれていた鉄鉱石や石油といった貨物を同一の専用船で輸送する「共同輸送」

に関する検討とバルク貨物を海上コンテナに積み込み、コンテナ船によって輸送する2つの場合について検討を行った。後者のコンテナ船による輸送は、図2に示すコンテナ流動のインバランスを活用するもので、北米等からアジアに輸送される小麦等のバルク貨物を従来、空コンテナとして回送されていたコンテナに積み込み、実入りコンテナとして輸送する削減策である。

片荷輸送を解消する共同輸送を実施した場合のCO<sub>2</sub>排出量の削減効果は、コンテナ船における減速効果と同程度の効果が期待できることが分かった。特に、減速による大きな削減効果が期待できない低速のバルク船において適用できる点は、大きな利点と考えられる。また、コンテナ船を活用した削減策は、バルク貨物の輸送における片荷輸送の解消とコンテナ輸送におけるインバランスの解消の2つの効果が期待できることが分かった。対象とした北米航路の例では、減速効果よりも大きな削減効果を期待できる可能性が示された(表5)。



出典：日本郵船調査グループ編：世界のコンテナ船隊および就航状況 2011年版

図2 海上コンテナ荷動き

表5 コンテナ船を活用した場合の削減効果

単位：t-CO<sub>2</sub>/年

	コンテナ船	バルク船	合計
現状	859,242	294,315	1,153,557
削減策	913,790	0	913,790
削減効果			239,767

### (2) 今後の展望

外航海運を対象としたCO<sub>2</sub>排出量の削減策について種々の検討を行ってきた。今後は、得られた研究成果をもとに、具体的な対象航路や貨物について検討を進めていく必要がある。このため貿易データの分析が必要となっており、今後の課題である。また、バルク貨物の輸送における片荷輸送の是正策である共同輸送では、複数種類の貨物を積み合わせるための船舶の構造上の検討も必要であり、造船企業の協力を得ながら実現可能な対策の検討を進めていく必要がある。

## 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5件)

- ① 黒川久幸、高野智貴、鈴木理沙、鶴田三郎、国際海上コンテナ輸送におけるCO<sub>2</sub>排出量削減策の実行可能性に関する研究、日本航海学会論文集、査読有、124号、2011、1-9
- ② 張畢、黒川久幸、鶴田三郎、パナマ運河拡張後の船隊構成及び空コンテナ回送に関する研究、日本航海学会論文集、査読有、124号、2011、381-388
- ③ 鈴木理沙、黒川久幸、鶴田三郎、我が国の小麦輸入におけるCO<sub>2</sub>排出量の現状把握に関する研究、日本航海学会論文集、査読有、126号、2012、229-236
- ④ 鈴木理沙、黒川久幸、鶴田三郎、我が国のドライバルク港湾における政策効果の検証に関する研究、日本航海学会論文集、査読有、127号、2012、181-188
- ⑤ 竹内玲、黒川久幸、鶴田三郎、船舶動静データから見る我が国のコンテナ港湾の特徴に関する研究、日本航海学会学会誌、査読無、182号、2012、39-49

〔学会発表〕(計10件)

- ① Bi ZHANG, Hisayuki KUROKAWA and Saburo TSURUTA, A Study on the North America Route after expansion of the Panama Canal, Asia Navigation Conference 2010、2010年11月5日、Songdo Convensia (韓国)
- ② Achmad RIADI, Saburo TSURUTA and Hisayuki KUROKAWA、Fuzzy Time Series Forecasting Application on Inventory Control of Goods Transported by Sea from China to Japan、Asia Navigation Conference 2011、2011年11月4日、武漢(中国)
- ③ 鈴木理沙、黒川久幸、鶴田三郎、我が国の小麦輸入におけるCO<sub>2</sub>排出量の現状把握に関する研究、日本航海学会第125回講演会・研究会、2011年10月13日、海上技術安全研究所(東京)
- ④ 竹内 玲、黒川久幸、荷主から見た我が国の港湾政策に関する研究、日本航海学会第125回講演会・研究会、2011年10月13日、海上技術安全研究所(東京)
- ⑤ 鈴木理沙、黒川久幸、鶴田三郎、我が国のドライバルク港湾における政策効果の検証に関する研究、日本航海学会第126回講演会・研究会、2012年5月24日、東京海洋大学(東京)
- ⑥ 竹内 玲、黒川久幸、鶴田三郎、船舶動静データから見る我が国のコンテナ港湾の特徴に関する研究、日本航海学会第126回講

演会・研究会、2012年5月24日、東京海洋大学(東京)

- ⑦ 鈴木ひろか、森 翔世、鈴木理沙、黒川久幸、国際バルク戦略港湾政策と必要船隊及び寄港に関する研究—鉄鉱石専用船を対象として—、日本航海学会第126回講演会・研究会、2012年5月24日、東京海洋大学(東京)
- ⑧ 咸 曉黎、鈴木ひろか、黒川久幸、中国の鉄鉱石輸入におけるCO<sub>2</sub>排出量と物流コストの現状把握及び削減効果の検証、日本航海学会第127回講演会・研究会、2012年11月24日、長崎大学(長崎)
- ⑨ Lisa SUZUKI, Hisayuki KUROKAWA and Saburo TSURUTA, A Study on Prospect for Enlargement of the Dry Bulk Ship, Asia Navigation Conference 2012、2012年11月08日~2012年11月10日、神戸ポートタワーホテル(神戸)
- ⑩ Rei TAKEUCHI, Ai Hsuan CHIANG, Hisayuki KUROKAWA and Saburo TSURUTA, Study on Characteristics of Taiwan Ports with Analysing World Container Ship Movement, Asia Navigation Conference 2012、2012年11月08日~2012年11月10日、神戸ポートタワーホテル(神戸)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

黒川 久幸 (KUROKAWA HISAYUKI)  
東京海洋大学・海洋科学技術研究科・教授  
研究者番号：50282885

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし