

国際物流にともなうエネルギー消費量及びCO₂排出量の評価

Energy Consumption and CO₂ Emission due to Japan's International Marine Freight Transport

八島 弘倫*

松本 亨*

井村秀文*

Hironori YASHIMA*, Toru MATSUMOTO*, and Hidefumi IMURA*

ABSTRACT: Energy consumption and CO₂ emission due to Japan's international marine transportation is estimated in terms of fuel consumption of all container ships, tankers, iron ore bulk carriers, coal bulk carriers, and product tankers. The fuel consumption of each individual ship is obtained by the empirical relationship between the horsepower and the consumption by the type of the ship. The energy intensity of a container ship, a tanker, an iron ore carrier, a coal carrier, and a product tanker are 23.9, 7.3, 6.8, 6.7, and 15.2 10⁶ TOE/ton/km, respectively. Their total fuel consumption gradually increased during 1980 - 1994 and reached 27 million TOE in 1994. This figure is equivalent to 7.6% of Japan's total energy consumption in the same year, while the share of the world's marine transportation to the total energy consumption is around 1.4%. The contribution of Japanese ships to Japan's marine transportation has decreased from 35% in 1980 to 6% in 1994.

KEYWORDS: energy consumption, carbon dioxide emission, Japan's international marine transportation, LCA

1. はじめに

自由貿易を基調とする現在の国際経済は、ある国に必要なものは、適正な対価さえ支払えば世界のどこからでも調達できるという原則によって成立している。この経済システムを支えているのは、地球上にあまねく張りめぐらされた輸送システムと、ものの存在と価格に関する情報を一瞬に伝達できる通信システムである。とりわけ、現在の国際的輸送システムは、量的には船舶輸送に大きく依存しており、それを支えているのは石油である。もしも、石油が現在のように豊富に利用できず、その価格が高ければ、現在実現しているような大量輸送の国際物流システムは成立せず、国際経済の姿も異なったものになっているであろう。

ここで、地球環境の視点から関心が持たれるのは、国際的な物流のために消費されているエネルギー、特に石油の量と、それにとまなう二酸化炭素 (CO₂) の発生量である。世界全体については、船舶によるエネルギー消費は全化石燃料消費の約1.4%という報告がある¹⁾。この程度のエネルギー消費によって、現在の世界の自由貿易が維持されているものとすれば、エネルギー消費による環境負荷に比べてその恩恵の方が大きいという見方が成立し得るだろう。しかし、日本に着目した場合、事情の異なる面がある。日本は島国であって、大量の天然資源を輸入し、自動車などの工業製品を大量に輸出している。国際物流に対する日本の依存度は、諸外国よりも当然大きいものと予想される。日本が貿易立国として存立していくにあたって、国際物流に伴う環境への影響に対する配慮は避けることができない。

他方、近年、製品や社会資本整備に関するトータルな環境負荷を定量化する手法として、ライフサイクルアセスメント (LCA) が注目されている。わが国の場合、資材の調達において輸入分の占める位置は非常に大きい。したがって、LCAの遂行にあたっては、資材の国際輸送過程で発生する環境負荷を定量的に評価する必要がある。しかし、これまでのLCA研究では、輸入財の輸送に要したエネルギー消費、それに付随する環境負荷の発生を明示的に考慮した分析はほとんど実行されていない。

本研究では、日本の港と諸外国の港の間を往来する外航海運について、それにとまなうエネルギー消費量を評価する。船の燃費については、文献調査とメーカーからのヒアリング結果によって推計する。対象とする船舶、貨物種類としては、コンテナ船を主とした定期船・定期航路、鉄鋼石、石炭、石油等の専用船による不定期航路を対象とす

*九州大学工学部環境システム工学研究センター

*Institute of Environmental Systems, Faculty of Engineering, Kyushu University

る。貿易品目別・地域別取引額に関する統計と、航路別輸送量とを対照させることにより、航路別、品目別のエネルギー消費量を求める。以上から、国際物流に伴うエネルギー消費の全体量を推計し、その大きさを評価するとともに、品目別・地域別エネルギー消費量を示す。これは、LCAにおける国際物流過程の評価のための基礎データともなるものである。

2. 国際物流の概括及び分析のフレーム

島国である日本の国際物流は、空か海に限られる。航空による国際物流は、輸出入貨物量で見ると全貿易金額の24%を占めている(1994年)。しかし、輸出入貨物量の貿易量(重量)では、0.25%にすぎない。つまり、重量的に見た場合、日本の国際物流のほとんどは海運によって支えられている。しかし、日本の貿易をこのように大きく支えている海運物流が消費するエネルギー量は、現在のところまだ正確に把握されていない。

本研究では、外航海運が環境に与える影響に着目し、その品目別、航路別エネルギー消費量を算出する。対象とする船舶はコンテナ船、原油輸送船、鉄鉱石専用船、石炭専用船、石油製品専用船とする(図1)。1994年の統計では、これらの船によって、外航海運の全貨物量の94%を把握できる(図2)。これと日本の全エネルギー消費量を比較することで、外航海運によるエネルギー消費量の重要度を明らかにする。

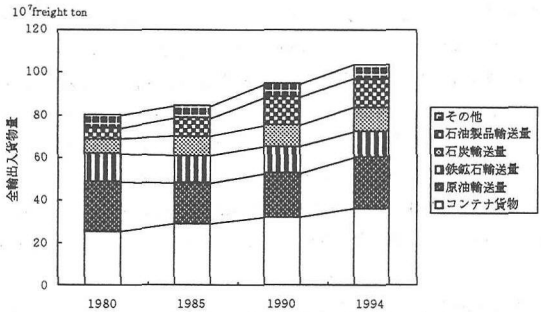
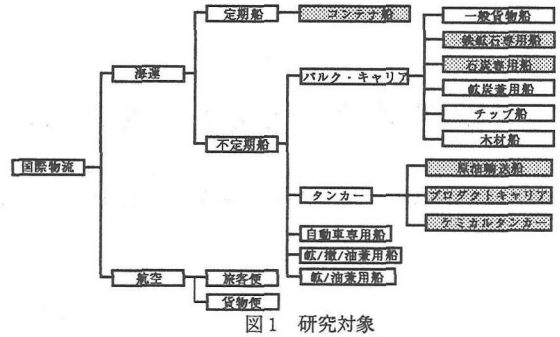


図2 日本の外航海運による輸送貨物量

3. 船種別の船速及び燃料消費量の推計

船舶の1日当たりの燃料消費量に各航路毎の所要航海日数を乗じることによって、航路毎の燃料消費量を算出する。その際必要になるのは、船種別の船速及び1日当たりの燃料消費量(航海1日当たりに消費する重油の量)である。定期、不定期船の航路別の船速及び1日当たりの燃料消費量のデータは一般に利用できる形では整備されていない。そこで、船速及び1日当たりの燃料消費量を大きく支配する船舶の馬力に着目し、馬力と船速、馬力と燃料消費量の関係を分析する。ただし、航路毎の馬力のデータ入手することができなかったため、船型と馬力の関係式を求めることにより、馬力のデータを求める。定期船に関しては、日本船に関する各主要航路別の船型のデータにより、また、不定期船に関しては、航路別の船型を設定し、それから馬力を求める。ここで、鉄鉱石専用船、及び石炭専用船については、いずれも鉄鉱石専用船のデータを利用して計算する。

3.1 船種別の燃料消費量及び船速の算出

1日当たりの燃料消費量及び、航海1日あたり船速の算出方法を図3に示す。

まず、船型から馬力を求めるが、船型としては、船舶の大きさを表す指標として用いられる総トン数を用いる。

馬力と燃料消費量の関係については、1日当たりの燃料消費量と馬力の間には以下の関係式が成り立つ：

$$E_d = \epsilon_m P_m + \epsilon_e P_e \quad (1)$$

ただし、パラメータについては表1に示す。このように、燃料消費量には、主機(エンジン)だけでなく、発電機(船内の冷暖房、電



図3 燃料消費量、及び船速の算出方法

表1 燃料消費量算出のためのパラメーター

E_d	: 1日当たりの燃料消費量(発電機馬力を含む)
P_m	: 主機馬力
ϵ_m	: 燃料消費率(主機馬力)
P_e	: 発電機馬力
ϵ_e	: 燃料消費率(発電機馬力)
$\epsilon^* m$	: 補正された燃料消費率(主機馬力)

器機具用等) による消費量も含む。しかし、一般のコンテナ船の場合の発電機のエネルギー消費量は主機の4～5%にすぎない。また、一般的には、主機馬力と発電機馬力の間は比例的な相関性がある。そこで、補正された燃料消費率 ϵ_m を用いて、主機馬力のみを変数にした次式で表すこととする：

$$E_d = \epsilon_m \cdot P_m \tag{2}$$

実際には、主機馬力と航海1日当たりの燃料消費量のデータをグラフにプロットし回帰式を求める。具体的には、日本船舶明細書⁴⁾に記載されている、船型、馬力、燃料消費量、満載速力、最高速力のデータを用いて解析する。

船速は、 $P_m \propto V^3$ (V : 船速) の関係²⁾から求める。すなわち、 P_m と V^3 のデータをグラフにプロットして、線形の回帰式を求め、これに、航

表2 燃料消費量、及び船速の算定式の算出結果

説明変数と被説明変数	船型 (X) と満載貨物重量トン (Y)	船型 (X) と主機馬力 (P _m)	主機馬力 (P _m) と燃料消費量 (E _d)	主機馬力 (P _m) と満載速力 ²⁾ (V)	主機馬力 (P _m) と最高速力 ³⁾ (Q)
回帰式/決定係数	$Y=aX$ R^2	$P_m=a_1X+b_1$ R^2	$E_d=aP_m$ R^2	$V=aP_m+b_2$ R^2	$Q=aP_m+b_3$ R^2
コンテナ船	$Y=0.9796X$ $R^2=0.9263$	$P_m=0.7288X+3912.9$ $R^2=0.647$ (2万トン以上5万5千トン以下)	$E_d=114.94P_m$ $R^2=0.6962$	$V=0.2749P_m+1965.6$ $R^2=0.8391$	$Q=0.3558P_m+4378.6$ $R^2=0.6868$
原油輸送船	$Y=1.7846X$ $R^2=0.9839$	$P_m=0.3122X+2405.9$ $R^2=0.7483$ (10万重量トン以下) $P_m=0.1847X+2198.5$ $R^2=0.6427$ (VLOC)	$E_d=144.68P_m$ $R^2=0.7988$	$V=0.0771P_m+1526.5$ $R^2=0.5573$	$Q=0.0961P_m+2002.8$ $R^2=0.5494$
鉱石専用船	$Y=1.8966X$ $R^2=0.9644$	$P_m=0.1588X+4723.7$ $R^2=0.6771$ (5万トン以上15万トン以下) $P_m=0.8692X+271.11$ $R^2=0.8816$ (2万トン以上10万トン以下)	$E_d=119.7P_m$ $R^2=0.8922$	$V=0.1199P_m+324.42$ $R^2=0.8564$	$Q=0.1886P_m+533.96$ $R^2=0.8546$
石油製品専用船	$Y=1.07X$ $R^2=0.9831$	$P_m=0.8816$ $R^2=0.8816$ (2万トン以上10万トン以下)	$E_d=122.87P_m$ $R^2=0.9421$	$V=0.1947P_m+765.59$ $R^2=0.867$	$Q=0.2586P_m+1282.5$ $R^2=0.7561$

(注) データは日本船舶明細書による

路別の船型データより求めた主機馬力 (P_m) を代入し、航路別の船速を求める。

船速、及び燃料消費量の算定式の算出結果を表2に示す。

3. 2 エネルギー消費量への換算

燃料消費量を重油の密度³⁾と単位体積当たりの平均発熱量によりエネルギー消費量を算出する。この場合、問題となるのはA重油及びC重油の消費量である。船舶は、通常運行時はC重油で運行し、出入港の際はA重油により運行する。国際間を運行する場合、航路距離が長くなるため、重油の消費量は9割程度がC重油である。燃料の補給を行わないで連続して航海のできる航続距離を運行するのに消費する重油の内訳が、日本船についてそれぞれの船舶ごとにデータがある⁴⁾。これを集計すると、A重油の消費割合は、コンテナ船で8%、油送船で6%、鉱石専用船で5%、石炭製品専用船で10%となる。船種別のA重油とC重油の消費量は、航続距離を運行するのに消費する船種別のA重油とC重油により、密度及び平均発熱量を設定する。外国で補給する場合には日本国内の重油区分とは異なるが、その差は小さいので日本国内に準じて考える。

4. 船種別のエネルギー消費量及びCO₂排出量の算出

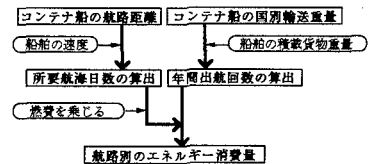
4. 1 定期船

(1) 算出方法

現在日本と世界各国を結ぶ主要定期航路では、ほとんどコンテナ船による輸送サービスが行われている。コンテナ船の北米西岸、北米東岸、欧州、地中海、オセアニア、南アフリカ航路におけるエネルギー消費量の算出を行う⁵⁾。

定期船のエネルギー消費量の算出方法を図4に示す。航路距離を航路別の船速で除することにより所要航海日数を算出する。輸送貨物量をコンテナ船の満載貨物量で除することにより年間出港回数を算出する。所要航海日数に1日当たりの燃料消費量を乗じ、年間出港回数を乗じることにより、年間の航路別の燃料消費量を算出する。ここで、満載貨物量は、年度別に航路毎の平均船型のデータを用いて設定している。船速、満載貨物量に関しては、日本船のデータをもとに作成する。

所要航海日数の算出に関しては、各港間の距離⁶⁾の総和を航路距離とする。1985年と1980年に関しては、往路の寄港地データしか整備されていない。このため、帰路については1994年と1990年のデータを参考に往路と同じ経路をたどるものとし、寄港地としては、代表的な都市を選んだ。コンテナ船は、往路、復路ともに、コンテナ貨物を満載して航海するものと仮定するので、船速には満載速力を用いる。所要航海日数は、以上より求めた航路距離と満載速力を用いて算出しているため、停泊日数は含まれていない。また、寄港地での停泊に伴う減速の影響に関して



は、寄港地数の22か所と多い北米東岸航路を例にとると、航路距離は63,437kmであることから、平均港間距離は、2,885kmとなる。

このように、港間距離が非常に長いことより、停泊による減速の影響は小さいと言える。

年間出航回数の算出に関しては、輸送貨物品である54品目のうち、メーカーへのヒアリングをもとに、コンテナ貨物を設定した(表3)。全輸送貨物量は、コンテナ貨物の輸出货量と輸入量の和⁷⁾とする。貿易相手国・地域別のコンテナ貨物量は図5のように主要コンテナ航路に振り分けた。北米航路に関しては、日本船の輸送量と比例させて、西岸と東岸に振り分ける。上記の主要な6航路いずれも関与する東アジア、また欧州、地中海、南アフリカ航路が関与する東南・南・南西アジアについては、主要航路から切りはなし、新たに東アジア航路、東南・南・南西アジア航路を設定する。航路別の年間輸送貨物量を、船舶が満載できる貨物の積載量で除した値を年間出港回数とする。

(2) 算出結果

コンテナ船による年間のエネルギー消費量及びCO₂排出量の算出結果を表4に示す。エネルギー消費量及びCO₂排出量は、年々増加傾向にある。1980年と1994年のコンテナ貨物量を比べると43%の増加が見られる。年々の船型と航路距離の変化は比較的小さいことより、増加の原因は、貨物量の増加によるものであると言える。

コンテナ船によるエネルギー消費量の航路別構成比を図6に示す(1994年)。平均航路距離の6分の1程度でしかない東アジア航路が、コンテナ船による全エネルギー消費量の1割以上を占めている。これは、東アジアとの貿易量が多いことを示している。また、欧州、地中海、北米東岸航路との貿易貨物量は、全コンテナ貨物量の8.0%にすぎない。しかし、エネルギー消費量は、コンテナ船による全エネルギー消費量の4割以上を占めている。これは、航路距離が長いことを示している。

4. 2 不定期船

(1) 算出方法

日本の外航海運による全貨物輸送量の約3割の原油、約2割の鉄鉱石、約1割の石炭、石油製品に着目する(図2)。鉄鉱石、石炭、石油製品はすべて、鉄鉱石専用船、石炭専用船、石油製品専用船によって輸入されるものと仮定する。

油送船、鉄鉱石専用船、石炭専用船、石油製品専用船によるエネルギー消費量の算出方法を図7に示す。往路、復路の距離をそれぞれの速力で除し、その和を所要航海日数とする。航路別の年間輸入貨物量を不定期船の満載貨物重量で除することにより年間運航回数を算出する。所要航海日数に1日当たりの船種別の燃料消費量を乗じ、年間出港回数を乗じることにより、年間の航路別の燃料消費量を算出する。

所要航海日数の算出に関しては、各航路上の港間の距離をもとに作成する。タンカーやバルク・キャリアは、効率を良くするため、往路は空であるが、基本的に往路、復路共に最大主機馬力の85~90%で運航し、燃料消費量に影響は見られない。しかし、往路、復路で船速が変わるの

表3 コンテナ貨物品目

1.農水産品	2.林産品	3.鉱産品	4.金属機械工業品	5.化学工業品	6.軽工業品	7.雑工業品	8.特殊品	9.その他
麦 米、雑穀、豆 野菜、果物 棉花 その他農産品 羊毛 その他畜産品 水産品	樹脂類 その他木材 薪炭	その他金属鉱 砂利、砂、石材等 その他非金属鉱物	鉄鋼 非鉄金属 金属製品 輸送機械 その他機械	陶磁器 ガラス類 その他窯業品 その他石灰製品 化学薬品 化学肥料 染料、塗料、合成 樹脂、その他化学工業品	糸及び紡織半製品 その他繊維工業品 その他食料工業品	がん具 日用品 ゴム製品 木製品 その他製造工業品	金属くず くずもの 動植物性製造肥料 輸送用容器 取合せ品	その他

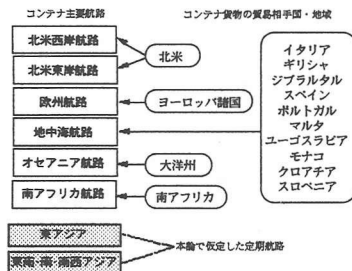


図5 各航路での輸送コンテナ貨物量

表4 コンテナ船のエネルギー消費量、及びCO₂排出量の算出結果

コンテナ船	1980	1985	1990	1994
年間エネルギー消費量 百万TOE	13.9	15.7	15.8	15.5
CO ₂ 2排出量 百万T-C	11.5	13.0	13.1	12.9

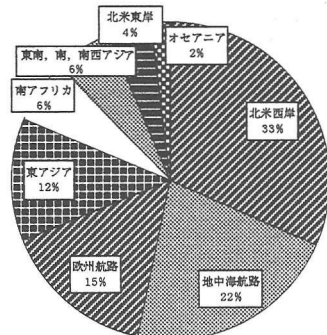


図6 コンテナ船の航路別エネルギー消費の構成比(1994年)

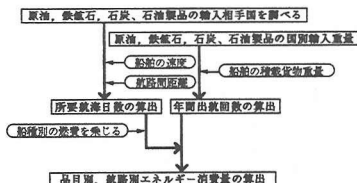


図7 不定期船のエネルギー消費量の算出方法

で、所要航海日数が変わる。そこで、航路距離を往路は最大速度で除し、復路では満載速度で除したそれぞれの値の和を所要航海日数とする。

年間出航回数の算出に関しては、日本の貿易相手国である154カ国の中から1980、85、90、94年の5年間で原油、鉄鉱石、石炭、石油製品の依存度の高い国を調べる(表5)。これらの国々の輸入量は、それぞれ全体の9割以上を占める。タンカー、鉄鉱石専用船、石炭専用船、石油製品専用船に関して、航路別の船舶の大きさについては、データが揃っていない。船速、満載貨物重量に関しては、日本船のデータをもとに作成する。また、タンカーに関しては、ペルシヤ湾航路へはVLCC(20万重量トン以上30万重量トン未満の大型タンカー)、それ以外は、5～10万トンクラス、鉄鉱石専用船に関しては、オーストラリア、ツパロン航路はCAPE(10万トン前後)、石炭専用船に関しては、オーストラリア、ハンブトンローズ航路はCAPE、それ以外は、5～8万トンクラスのとし、石油製品専用船に関しては、ペルシヤ湾航路は5万トン、シンガポール航路は3万トンの専用船がそれぞれ運航するものとする⁸⁾。

(2) 算出結果

原油輸送船、鉄鉱石専用船、石炭専用船、石油製品専用船による年間のエネルギー消費量、及びCO₂排出量の算出結果を表6に示す。石油製品専用船によるエネルギー消費量、CO₂排出量は、1980年と1994年を比べると、他の輸入貨物に比べ著しく大きくなってきている。これは、石油製品の輸入量が大幅に増加していることによる。

不定期船の航路別エネルギー消費量の構成比を図8に示す。いずれも輸送貨物量と輸送距離に比例した値を示している。

4.3 算出結果の比較

(1) 輸送量(トンキロ)ベースのエネルギー消費原単位及びCO₂排出原単位

定期船、不定期船による航路別の航路別のエネルギー消費原単位及びCO₂排出原単位の算出方法を図9に示す。

コンテナ貨物、及び石油製品の重量に関しては、1フレート・トンに1メトリック・トンに等しいものと仮定し、全貨物輸送重量に航路毎の航路距離を乗じた輸送量(トンキロ)を作成する。航路毎のエネルギー消費量を輸送量(トンキロ)で除した値を航路毎のエネルギー消費量の原単位とする。

船種別の輸送量ベースの原単位を表7に示す。コンテナ船、石油製品専用船の原単位が大きいのは、一度に運べる貨物量が小さいことに起因している。原油輸送船、鉄鉱石専用船、石炭専用船に大きな差は見られなかった。

(2) 年間エネルギー消費量及びCO₂排出量

外航海運によるエネルギー消費量の推移及び、コンテナ船、原油輸送船、鉄鉱石専用船、石炭専用船、石油製品専用船の占める位置を図10に示す。輸送形態別では、コンテナ船のエネルギー消費量が大きい。これは第一に、輸送量自体が大きいためであるが、他の輸送形態に比べて燃費が良くないこと、出航回数が多いためにも影響している。また、外航海運によるエネルギー消費量に占める日本船の割合が、大きく減少している。

外航海運によるエネルギー消費量の構成比を表8に示す。1994年のエネルギー消費量の割合は、日本船が6%、外国用船(日本の海運会社の便宜

表5 不定期船の貿易相手国

原油	鉄鉱石	石炭	石油製品
オーストラリア	オーストラリア	オーストラリア	インドネシア
アラブ諸国	ブラジル	カナダ	オーストラリア
インドネシア	インド	アメリカ	マレーシア
イラン	南アフリカ	南アフリカ	アラブ諸国
オースマ	チリ	インド	ブルネイ
カメル	フィリピン	ロシア	クウェート
中国	カナダ	中国	オーストラリア
タウエート	ペルー	インドネシア	シンガポール
イラク	ニュージーランド	フィリピン	アメリカ
マレーシア	ロシア		フィリピン

表6 不定期船のエネルギー消費量、CO₂排出量の算出結果

	エネルギー消費量 百万TOE				CO ₂ 排出量 百万TtC			
	1980	1985	1990	1994	1980	1985	1990	1994
原油	4.20	3.54	4.00	4.45	3.49	2.94	3.32	3.69
鉄鉱石	2.46	2.34	2.43	2.12	2.05	1.94	2.02	1.76
石炭	1.10	1.43	1.66	1.64	0.91	1.19	1.38	1.36
石油製品	1.17	1.87	2.96	2.85	0.97	1.55	2.46	2.36

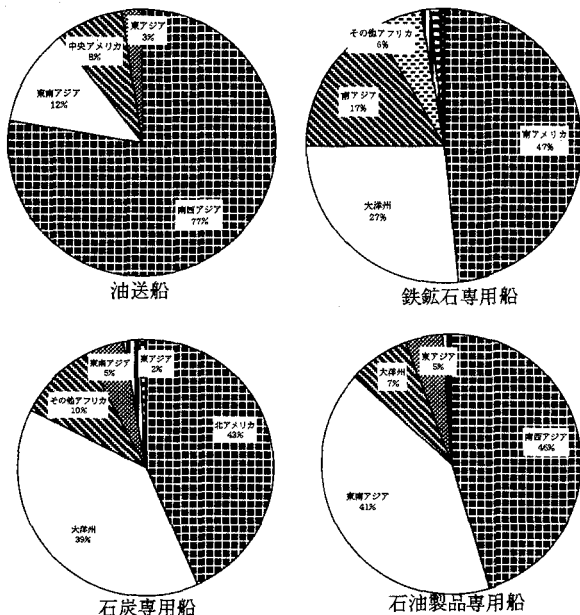


図8 不定期船の航路別エネルギー消費の構成比(1994年)

置籍船)が28%なのに対し、外国船によるエネルギー消費量の割合が65%を占めることがわかる。

日本の全エネルギー消費量における外航海運の位置を表9に示す⁹⁾。外航海運によるエネルギー消費量は日本の全エネルギー消費量の約7.6%に相当していることがわかる。

5. 輸送による環境負荷の解釈

5.1 各種原単位の作成

ここでは、ここまで求めてきたエネルギー消費量及びCO₂排出量から、輸送距離ベース、輸送貨物量ベース、金額ベースの原単位を求める。これは、LCA研究の中で有効に利用できる形にするためには、輸送量(トンキロ)ベースよりも適しているからである。

航路距離と出港回数から算出した延べ運行距離を用いて、船種別の輸送距離1km当たりのエネルギー消費原単位、CO₂排出原単位と、全輸送貨物重量から船種別の輸送貨物1トン当たりのエネルギー消費、CO₂排出の原単位(全航路の平均)を表10に示す。輸送貨物量1トン当たりの環境負荷に関して、コンテナ船が、他の専用船と比較してかなり高い値を示してしている。

次に、原油、鉄鉱石、石炭それぞれの全貿易金額¹⁰⁾を国別の貿易量(重量)により振り分け、航路別貿易額を算出する。航路別のエネルギー消費量、CO₂排出量を航路別貿易額で除することにより、100万円当たりのエネルギー消費の原単位及びCO₂排出原単位を算出する。その結果を表11に示す。

鉄鉱石の輸送エネルギー原単位の値が、原油、石炭に比べて大きいのは、鉄鉱石の輸入量に比較して、貿易額が少ないことが影響している。

5.2 算出結果の妥当性に関する考証

外航海運に要する全エネルギー消費量のうち、日本商船(日本船+外国用船)の割合は、1980年で59%、1994年で34%である(表8)。ちなみに運輸関係エネルギー要覧⁹⁾によると、1980、94年の外航海運(15社分)による重油の消費量はそれぞれ9,579千kl、4,188千klである。そこで、外国船も日本商船と同じエネルギー消費構造であると仮定すれば、我が国の外航海運全体の重油消費量は、1980年16,236千kl、1994年12,318千klと推計される。これらと比較すると、本研究において航路別の航海実績及び輸送貨物量により積み上げて求めた全外航海運の重油消費量(1980年20,252千kl、1994年27,178千kl)は、オーダー的に妥当であると判断される。

エネルギー消費原単位を比較すると、一番大きいコンテナ船でも23.9×10⁷TOE/ton/kmである(表7)。一方、エネルギー・経済統計要覧¹¹⁾によると、内航海運のエネルギー消費原単位は149×10⁷TOE/ton/km(1994年)である。外航船舶の方がはるかに船型が大きく(外航コンテナ船:平均37,968総トン、内航貨物船:平均309総トン)、一度に輸送できる貨物量も約120倍大きい。また船型が大きいことにより、エンジンもプロペラも大きくなり、それにつれて回転数が下がり、効率のよい運転ができる。これらのことが、外航海運のエネルギー消費原単位が小さい理由と考えられる。

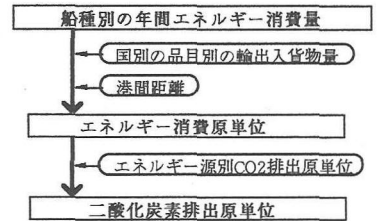


図9 エネルギー消費及びCO₂排出原単位の算出方法

表7 エネルギー消費及びCO₂排出の原単位

	エネルギー消費原単位 10 ⁻⁷ TOE/ton/km	CO ₂ 排出原単位 10 ⁻⁷ T-C/ton/km
コンテナ船	23.9	19.8
原油輸送船	7.3	6.0
鉄鉱石専用船	6.8	5.7
石炭専用船	6.7	5.6
石油製品専用船	15.2	12.6

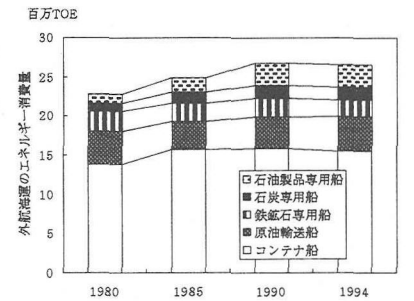


図10 外航海運によるエネルギー消費量

表8 外航海運によるエネルギー消費量の構成比

	1980	1985	1990	1994
日本船のシェア	35%	37%	27%	6%
外国用船のシェア	24%	26%	37%	28%
外国船のシェア	41%	37%	36%	65%

表9 日本の全エネルギー消費量に対する外航海運の割合

	1980	1985	1990	1994
外航海運	8.01%	8.52%	7.70%	7.64%
日本船	3.04%	3.43%	2.24%	1.09%
外国用船	1.96%	2.21%	2.82%	2.12%
外国船	3.02%	2.88%	2.63%	4.43%

表10 輸送距離1km、全航路の平均輸送貨物量1トン当たりの環境負荷、(1994年)

環境負荷の原単位	輸送距離		輸送貨物量	
	TOE/km	T-C/km	TOE/ton	T-C/ton
コンテナ貨物	0.100	0.082	0.034	0.028
原油	0.139	0.115	0.015	0.013
鉄鉱石	0.063	0.053	0.018	0.015
石炭	0.064	0.053	0.013	0.011
石油製品	0.055	0.046	0.023	0.019

注) 四捨五入の関係で合計が100%にならないものもある

ここで、内航海運の60%を占める貨物船について、船型(1000総トン以下)と主機馬力の関係式を求め、表2で算出したコンテナ船の燃費と速度の算定式からエネルギー消費原単位を求めてみた。すると、1994年で $136 \times 10^7 \text{TOE/ton/km}$ となる。一方、前述の通り公表されている全内航海運のエネルギー消費原単位は、 $149 \times 10^7 \text{TOE/ton/km}$ (1994)である¹¹⁾。このことより、本研究の算出方法の妥当性の高さが概ね検証できたと判断できよう(表12)。

6. まとめ

外航海運によるエネルギー消費量は、コンテナ船、油送船、鉄鉱石専用船、石炭専用船の合計だけで、日本国内の全エネルギー消費量の7.6%に相当することが明らかになった。世界の船舶によるエネルギー消費量が、世界の全エネルギー消費量の1.4%であるのと比較して非常に大きい。これは、貿易に依存する日本の経済構造の反映であり、日本が自由貿易体制に依拠した工業国として発展していくために地球環境に及ぼしている負荷の1つの指標である。

上の数字が大きい理由のもう1つは、外航海運のうち、日本商船以外のエネルギー消費量の占める割合が1994年で64%(表8)と大きいためである。これまでの運輸エネルギー関係の統計⁹⁾では日本船と外国用船のみの統計しか計上されていないため、日本に入出港する外国船の石油消費が日本のエネルギー消費として把握されていない。日本経済は、国内のエネルギー消費統計の中に計上されている以上に、外国船による外航海運のエネルギー消費に大きく依存していることが明らかにされた。

ここで、日本の主要な輸入財である原油、鉄鉱石、石炭の輸送に要するエネルギー消費、それに付随する環境負荷の発生を考慮することは、LCA研究における輸送ステージの分析にとっても重要である。本研究では、国際物流に伴うエネルギー消費量及びCO₂排出量の全体量を明らかにするとともに、輸送距離ベース、輸送貨物量ベース、輸送貨物金額ベースの原単位を整備した。これを用いることにより、資材の国際輸送過程で発生する環境負荷を、貨物別、輸出入相手国別などにより評価することが可能となる。

参考文献

- 1) 船舶排出大気汚染物質削減手法検討会：船舶から排出される大気汚染物質の削減方策について—中間報告会—、平成7年3月
- 2) 川上博夫、森 隆行：新訂 外航海運のABC、成山堂書店
- 3) 国立天文台：理科年表、丸善株式会社、p.439、1996
- 4) 日本海運集会所：日本船舶明細書、運輸省海上技術安全局、1991
- 5) 運輸省海上交通局：'94 数字で見る日本の海運・造船、日本海事広報協会、1980、1985、1990、1994
- 6) KAIBUNDO：世界港間距離図表(二訂版)
- 7) 運輸省運輸政策局：港湾統計(流動表)、1980、1985、1990、1994
- 8) 日本船主協会：海運統計要覧、1980、1985、1990、1994
- 9) 運輸省運輸政策局：運輸関係エネルギー要覧
- 10) 総務庁統計局：日本の統計、1992/93、1997
- 11) (財)日本エネルギー経済研究所エネルギー計量分析センター：エネルギー・経済統計要覧 1997

表11 輸送ステージにおける環境負荷
原油

TOE/百万円	1980	1985	1990	1994	T-C/百万円	1980	1985	1990	1994
南西アジア	0.55	0.59	0.83	1.55	南西アジア	1.13	0.32	0.69	1.29
東南アジア	0.34	0.38	0.82	1.52	東南アジア	2.10	0.32	0.68	1.26
東アジア	0.16	0.17	0.37	0.69	東アジア	0.34	0.14	0.31	0.57
中央アメリカ	1.43	1.59	3.39	6.30	中央アメリカ	2.29	1.32	2.82	5.23
北アフリカ	0.81	0.90	1.92	3.56	北アフリカ	0.67	0.75	1.59	2.96
大洋州		0.50	1.06	1.97	大洋州		0.41	0.88	1.63

鉄鉱石

TOE/百万円	1980	1985	1990	1994	T-C/百万円	1980	1985	1990	1994
大洋州	1.67	1.67	2.51	4.01	大洋州	1.39	1.39	2.08	3.33
南アメリカ	5.34	5.34	8.03	12.84	南アメリカ	4.44	4.43	6.67	10.67
南アジア	3.90	3.90	5.86	9.37	南アジア	3.24	3.24	4.87	7.79
その他アフリカ	4.19	4.19	6.30	10.08	その他アフリカ	3.48	3.48	5.23	8.37
東南アジア	1.49	1.49	2.24	3.59	東南アジア	1.24	1.24	1.86	2.98
北アメリカ	2.36	2.35	3.54	5.67	北アメリカ	1.96	1.96	2.94	4.71
ロシア(旧ソ連)	0.55	0.55	0.82	1.31	ロシア(旧ソ連)	0.45	0.45	0.68	1.09

石炭

TOE/百万円	1980	1985	1990	1994	T-C/百万円	1980	1985	1990	1994
大洋州	0.66	0.73	1.17	1.99	大洋州	0.55	0.60	0.97	1.66
北アメリカ	1.57	1.73	2.79	4.74	北アメリカ	1.31	1.44	2.32	3.94
その他アフリカ	1.66	1.83	2.94	5.01	その他アフリカ	1.38	1.52	2.45	4.16
南アジア	1.54	1.70	2.74	4.66	南アジア	1.28	1.41	2.28	3.87
東アジア	0.27	0.24	0.38	0.65	東アジア	0.23	0.20	0.32	0.54
東南アジア	0.59	0.65	1.05	1.78	東南アジア	0.49	0.54	0.87	1.48
ロシア(旧ソ連)	0.22	0.24	0.38	0.65	ロシア(旧ソ連)	0.18	0.20	0.32	0.54

表12 算出結果の妥当性検証

		本研究による算出値	公表値もしくは公表値からの概算推計
外航海運における年間重油消費量の比較(千t)	1980年	20,252	16,236 注1)
	1994年	27,178	12,318 注1)
内航貨物船のエネルギー消費原単位の比較(10^7TOE/ton/km)	1994年	136 注2)	149.0 注3)

注1) 日本商船のエネルギー消費量(公表値)とそれの全外航海運に占める割合から推計したもの
 注2) 外航コンテナ船で用いた算出方法、算出式(馬力と燃費、馬力と速度)を使用して算出したもの
 注3) 公表値