

# コンテナ輸送によるインバランスの解消及びバルク貨物の片荷輸送の抑制による CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果の検証に関する研究

学生会員○鈴木 理沙（東京海洋大学大学院） 正会員 黒川 久幸（東京海洋大学）

## 要旨

現在世界的に地球温暖化が問題になっており、外航海運からの温室効果ガスの削減策については国際海事機関(IMO)が技術面(ハード)と運航面(ソフト)から検討を行っている。一方、定期船では基幹航路におけるインバランスの問題が生じており、また不定期船では片荷輸送であるため空荷輸送が常に発生するなど、非効率的な輸送を行っている。ここで陸上輸送における取組として共同配送による往復輸送が行われている。そこで本研究では外航海運において未だ検討されていない削減策として、バルク貨物のコンテナ化を行った際のコンテナ輸送によるインバランスの解消とバルク貨物の片荷輸送の抑制による CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果について検証することを目的とする。

キーワード：物流・海運、CO<sub>2</sub> 排出量削減、定期船、不定期船

## 1. 序論

現在、世界的に地球温暖化が問題になっている。外航海運から排出される温室効果ガス(GHG)は国際海事機関(IMO)の推計によると 8.5 億トンと世界全体の約 3%を占め、これはドイツ 1 国分の排出量に相当する。したがって外航海運からの CO<sub>2</sub> 排出量の削減は重要である。

外航海運の削減策は国際海事機関(IMO)が技術面(ハード)と運航面(ソフト)から削減策の検討を行っている。技術面については、2013 年 1 月に新造船を対象に国際海運初の CO<sub>2</sub> 排出規制が開始された。運航面については現在議論を進めている段階であり、マイクロバブルやウェザールーティング等が検討されている。

一方で、外航海運を担う船舶には運航形態の違いから定期船と不定期船に分類されるが、両者は次のような非効率的な輸送を行っている。まず、定期船については図 1<sup>(1)</sup>より北米・欧州の基幹航路においてインバランスが生じているため、非効率的な輸送を行っている。不定期船については、一般に単一荷主による単一貨物を輸送する形態をとるため復路は空荷状態での片荷輸送を行うなど、非効率な輸送となっている。

ここで、同じ輸送手段である陸上の自動車輸送における CO<sub>2</sub> 排出削減への取組は次の通りである。ハード面ではエコカーの普及、ソフト面ではエコドラ

イブをはじめ拠点集約化や、複数荷主の共同配送による往復輸送が行われている。

外航海運における CO<sub>2</sub> 排出量削減策に関する既存研究として、減速航海<sup>(2)(3)</sup>や大型船の投入<sup>(3)(4)</sup>等については検討されているが共同配送による往復輸送は検討されていない。

そこで本研究では、北米航路を例としてバルク貨物のコンテナ化による定期船輸送を行った際における、コンテナ輸送によるインバランスの解消及びバルク貨物の片荷輸送の抑制を行った場合の CO<sub>2</sub> 排出量削減効果の検証を目的とする。

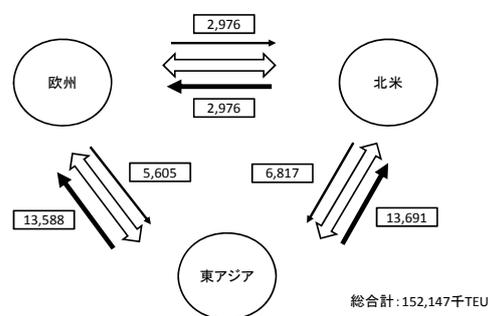


図 1 2010 年世界コンテナ荷動き概観(主要航路)<sup>(1)</sup>

## 2. 外航海運の非効率的な輸送状況

### 2.1 定期船の輸送状況

図 1 より、2010 年の東アジア-北米間における東航荷動き量は 13,691 千 TEU である一方、西航荷動き

量は東航の約半分の6,817千TEUである。これより基幹航路の一つである北米航路では東航と西航の間でインバランスが発生しており、また同様な問題は欧州航路でも発生していることが分かる。以上より、定期船は非効率な輸送を行っていると言える。

## 2.2 不定期船の輸送状況

不定期船は単一荷主による単一貨物の輸送が中心であるため復路は空荷状態の輸送となり、片荷輸送という非効率な輸送が常に発生している。

不定期船(ドライバルク貨物)輸送によるCO<sub>2</sub>排出量について、例えば鈴木ら<sup>(4)</sup>の研究によると国際バルク戦略港湾の一つである木更津港の年間鉄鉱石輸入におけるCO<sub>2</sub>排出量は474,529トンと算出している。仮に、外航海運においても陸上輸送と同様に共同配送による往復輸送が可能になれば、CO<sub>2</sub>排出量は大体半減させる事が可能である。

## 3. 北米航路における定期船、不定期船(ドライバルク船)の荷動き量推計

### 3.1 定期船による荷動き量の推計

2.1より本研究では、定期船の北米航路のうち、荷動き量が少なく消席率が低い西航の輸送中に、従来不定期船で輸送していたドライバルク貨物をコンテナ化して西航を消席率100%とした場合による定期船輸送を行った際の削減効果の検証を行う。

そこでまずはLMIUの船舶動静データ<sup>(5)</sup>を用いて、2010年の定期船の北米定期航路の荷動き量と、不定期船輸送によるドライバルク貨物(三大バルク+マイナーバルク)の北米→東アジアの荷動き量を推計する。

3.1では2010年の定期船の北米航路の荷動き量を推計する。続いて3.2で、ドライバルク貨物を輸送する不定期船(BBU, BOR)を対象に推計する。

北米航路における定期航路の荷動き量を推計方法は次の通りである。ここで船舶動静データ<sup>(5)</sup>とは、各船舶の世界中の日々の入出港時間含めた寄港データである。よって、このデータは定期航路に就航する船だけでなくスポット傭船や船社による配船替えのデータも含まれる。従って、動静データから北米定期航路を就航する船舶を次のように特定した。オーシャンコマースの国際輸送ハンドブック(2011年版)より、北米定期航路のうち最も航海日数が多いサービスの日数は1周当たり105日であった。

これより、本研究では荷動き量の多い東航につい

て、特定の船舶が北米→東アジアの特定の港間を年間3回以上寄港している船舶を北米定期航路に就航している船舶として荷動き量の推計をした。ここで、北米東航と西航の消席率については、赤倉ら<sup>(2)</sup>より2005年の北米航路の消席率を東航84.3%、西航41.8%として集計した。

以上より、動静データを用いた北米航路の定期航路の荷動き量推計結果と、参考文献(4)による2010年の北米-東アジア間全体の荷動き量を表1に示す。

表1 北米航路の荷動き量推計結果(2010年)

北米航路		年間荷動き量(千TEU)
東航	実荷動き量(東航)	13,691
	動静データ推計(東航)	9,264
西航	実荷動き量(西航)	6,817
	動静データ推計(西航)	5,755

表1より以下の事が分かった。東航については全ての実荷動き量のうち、動静データによる定期航路の荷動き量は68%の量となった。一方で、西航の場合は、実荷動き量の84%が定期航路の荷動き量となった。これよりインバランスの問題から、西航においては非効率な輸送を解消するためにスポット船を使用して解消していることが分かった。これより、実際の北米航路における定期航路の西航の消席率はより高くなると予測できる。しかし、それでも北米定期航路にはインバランスが生じている事が分かる。したがって、本研究のバルク貨物のコンテナ化による削減策の検討により、北米航路のインバランスの解消につながると考えられる。

### 3.2 不定期船による荷動き量の推計

ドライバルク貨物を輸送する不定期船における北米→東アジアの荷動き量に推計は次のように行った。まず、ドライバルク貨物の実荷動き量(2010年)は参考文献(6)より次のように推計した。まず、今回対象とするドライバルク貨物は三大バルクとマイナーバルクとした。参考文献(5)より、2010年の北米→東アジアの荷動き量を下記の表に示す。

表2 2010年の主三大バルク貨物の北米→東アジアの実荷動き量(百万トン)

品目	北米→東アジア	全世界	全世界に占める割合
鉄鉱石	5	986	1%
原料炭	28	233	12%
一般炭	10	698	1%
穀物	106	2220	5%
合計	149	4137	4%

マイナーバルクについては、エリア間の荷動き量の実データが得られなかったそこで、2010年の全世界の実荷動き量1,002百万トンに、表4の北米→東アジアの三大バルクの荷動き量合計の全世界の量に占める割合4%を乗じることによって推計し、36百万トンとした。以上より、2010年の北米→東アジアのドライバルク貨物の荷動き量推計を185百万トンとした。

続いて動静データを用いて、ドライバルク貨物の北米→東アジアへの荷動き量を推計する。本研究では、BBU(一般バルカー)とBOR(鉄鉱石専用船)の動静データから推計した。これより2010年の北米→東アジアのBBU(一般バルカー)とBOR(鉄鉱石専用船)の荷動き量推計を表3に示す。

表3 動静データによる北米→東アジアの荷動き量推計(2010年)

船種	荷動き量(百万トン)
BBU	152.3
BOR	0.4
合計	152.7

ここで、今回データ分析の対象としたドライバルク貨物を輸送する不定期船はBBU(一般バルカー)とBOR(鉄鉱石専用船)であり、木材チップ船等の他のドライバルク船は含まれていない。そこで、参考文献(7)より得られる2010年の世界全体のばら積み乾貨物船の運航隻数合計8,938隻を動静データ(BBU, BOR)の運航隻数合計7,528隻で除した値を表3の152.7百万トンに乗じた181百万トンを、動静データによる全ドライバルク貨物の北米→東アジアへの荷動き量推計値(2010年)とした。この推計結果と実荷動き量推計結果を表4に示す。

表4 全ドライバルク貨物の北米→東アジアにおける荷動き量(2010年)

	荷動き量(百万トン)
実荷動き量推計	185
動静データによる荷動き量推計	181

#### 4. バルク貨物のコンテナ化による検証方法

本研究のバルク貨物のコンテナ化にあたり、対象とする北米定期航路やドライバルク貨物、輸送船舶などについて次のように定めた。

3.1より、北米西航における北米→東アジアの特定の港間のうち、荷動き量が最も多い港の組み合わせは Vancouver(CAN)→Busan であり、その量は

226,658TEUであった。そこで、今回は国際輸送ハンドブックより北米定期航路のうち、上記の港間の寄港をスケジュールに含むサービスで、APL/Hyundai/MOLが運航するPNW(Pacific Northwest Service)を例に検討した。PNWは6,479TEUの船が5隻運航するウィークリーサービスであり、寄港地は次の通りである。

Kaohsiung-HongKong-Yantian-Shanghai-Busan-Tacoma-Seattle-Vancouver-Buan-Kwangyang-Kaoshuing  
PNWの1周当たりの航海日数は35日で、航海距離は距離表(海上保安庁)より13,313mileとした。

また、BBU(一般バルカー)の動静データより、上記の港間での年間荷動き量が1,124千トンあった。ここで、対象とするドライバルク貨物は参考文献(5)より、三大バルク貨物のうち各貨物においてカナダの輸出量の世界全体の輸出量に占める割合が14%と最も多い小麦を対象とした。

小麦輸送の不定期船については、動静データより今回対象とする港間の平均船型を単純平均して59,712DWTとした。積載率については参考文献(4)より鉄鉱石専用船の93%を同じドライバルク貨物輸送の不定期船として用いた。

その他小麦のコンテナ化にあたり、TEU当たりの最大積載荷重は、ISO規格より20フィートのドライコンテナの122,040kgを用いた。また、小麦の比重を製粉協会HPより、1.35gとした。

#### 5. 定期船・不定期船のCO<sub>2</sub>排出量の定式化

海上輸送中のCO<sub>2</sub>排出量は燃料消費量にCO<sub>2</sub>排出量原単位を乗じることにより算出される(式(1))。燃料消費量は船型や船速、消費率の影響を考慮できる鈴木<sup>(8)</sup>のモデル式(式(3))を用いて各航路における就航船舶の総航海距離を乗じることにより算出する(式(2))。

$$TN = C_{fl} \times \sum_{r \in R} FC_r \text{ ----- (1)}$$

$$FC_r = FO_r \times 10^{-3} \times 1.852 \times DIS_r \times f_r \text{ ----- (2)}$$

$$FO_r = 6.87 \times 10^{-5} \times (DSP_r - (1 - 0.65 \times LF_r) \times DWT_r) \times DSP_r^{-1/3} \times V^2 \text{ ----- (3)}$$

$$DSP_r = 1.37 \times DWT_r + 1660 \text{ ----- (4)}$$

$$DWT_r = 10.8 \times CAP_r + 12400 \text{ ----- (5)}$$

TN: 輸送中のCO<sub>2</sub>排出量、C<sub>fl</sub>: CO<sub>2</sub>排出量原単位[t-CO<sub>2</sub>/t]、FC<sub>r</sub>: 航路別の燃料消費量[t/年]、R: 航路の集合

FO<sub>r</sub>: 燃料消費量[kg/km]、DIS<sub>r</sub>: 航路距離[nm]、

$f_r$  : 寄港頻度[回/年]、 $DSP_r$  : 満載排水量[t]、 $DWT_r$  : 載貨重量[t]、 $LF_r$  : 消席率、 $V$  : 船速[km/h]、 $CAP_r$  : 船型[TEU]

本研究で対象とする不定期船(一般バルカー)は参考文献(9)より、 $25g-CO_2/ton*km$  当たりの排出原単位を用いた。今回はバルク貨物をコンテナ化するため、 $TEU*mile$  に直して換算した。

## 6. CO<sub>2</sub> 排出量の検証結果

4. と 5. より削減策を実行した場合の検証結果を下記の表 5~7 に示す。

表 5 より、UCC(フルコンテナ船)のみで見ると、PNW サービスの現状の CO<sub>2</sub> 排出量は 869, 242 トンとなった。また、バルク貨物をコンテナ化した場合はインバランスの解消効果として西航の消席率が上がるため、その分排出量が増加したが、1TEU 当たりの CO<sub>2</sub> 排出量は 0. 1t-CO<sub>2</sub> 減少効果が見られた。

BBU(一般バルカー)と BOR(鉄鉱石専用船)は、現状の年間排出量が 294, 315 トンであった。コンテナ化を行った場合は、今回小麦 122, 040kg を全てコンテナ化して定期船により輸送することにより不定期船輸送による片荷輸送が抑制されたため、排出量は 0 となった。

最後に本研究で対象とした定期船(UCC)・不定期船(BBU, BOR)全体の削減効果を示す。現状の排出量が 1, 153, 557 トンなのに対して、バルク貨物のコンテナ化を行った結果排出量は 913, 790 トンと、現状より約 21%の削減効果が見込めた。

表 5 定期船(UCC)による削減策の検証結果

	往路と復路 総CO <sub>2</sub> 排出量 (t-CO <sub>2</sub> /年)	輸送量(TEU)	単位輸送量当 たりのCO <sub>2</sub> 排出量 (t-CO <sub>2</sub> /TEU)
現状(UCC)	859,242	426,008	2.0
削減策(UCC)	913,790	477,019	1.9

表 6 不定期船(BBU)による削減策の検証結果

	総CO <sub>2</sub> 排出量 (t-CO <sub>2</sub> /年)	輸送量(TEU)	単位輸送量当 たりのCO <sub>2</sub> 排出量 (t-CO <sub>2</sub> /TEU・mile)
現状(BBU)	294,315	51,011	0.001
削減策(BBU)	0	0	

表 7 削減策の検証結果まとめ

	総CO <sub>2</sub> 排出量(t-CO <sub>2</sub> /年)
現状(UCC+BBU+BOR)	1,153,557
削減策(UCC+BBU+BOR)	913,790
削減効果	239,767

## 7. 結論

本研究ではバルク貨物のコンテナ化を行った際の、コンテナ輸送におけるインバランスの解消とバルク貨物の片荷輸送の抑制による CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果の検証を行った。

その結果、総排出量で見ると現状より 21%以上の削減効果があることが明らかになった。また単位輸送量当たりで見ると、定期船について消席率を向上させることによって、1TEU 当たりの CO<sub>2</sub> 排出量が減少する事が分かった。

## 参考文献

- (1) 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，社団法人 日本海運集会所，pp. 9，2011. 11
- (2) 赤倉康寛・鈴木武・松尾智征：我が国貨物の国際・国内海上輸送による CO<sub>2</sub> 排出量の推計，国土技術政策総合研究所資，No. 497，2009. 1
- (3) 黒川久幸・鶴田三郎・高野智貴・鈴木理沙：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，No. 124，pp. 1-9，2011. 3.
- (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，No. 127，pp181-188，2012. 9
- (5) LMIU(Lloyd's Marine Intelligence Unit)：船舶動静データ(2010年)
- (6) 日本郵船調査グループ編：2011 Outlook for the Dry-Bulk and Crude-Oil Shipping Markets 海上荷動きと船腹需給の見通し，社団法人 日本海運集会所，pp. 25-80，2011. 10
- (7) 日本船主協会：海運統計要覧 2012，<http://www.jsanet.or.jp/data/pdf/2012data10-3.pdf>
- (8) 鈴木武：コンテナ船および RORO 貨物船の燃料消費量と長距離内航 RORO 貨物船輸送における燃料価格上昇の影響，国土技術政策総合研究所資料 No. 494，2009. 1
- (9) International Maritime Organization(IMO)：Second IMO GHG Study 2009