

国際海運における片荷輸送の抑制による環境負荷低減の実現に関する研究

勝村 元亮

指導教員 黒川 久幸 教授

1. はじめに

1.1 研究背景

国際海事機関 (IMO) の推定によると国際海運分野から排出された 2007 年の温室効果ガス (GHG) は CO₂ 換算で 8.5 億トンとなっており、世界全体の CO₂ 排出量の約 3% を占めている。また、外航海運の荷動き量は今後増加すると考えられ、これに伴い CO₂ 排出量も増加すると考えられている。

地球温暖化を阻止するための有名な取組みとして京都議定書がある。しかし、国際海運分野は国ごとの削減量を定める京都議定書の対象外となっており、削減策の検討は IMO に一任された。

そこで、IMO は 2011 年に、国際海運分野における環境保全を目的に、EEDI や SEEMP などの船舶からの CO₂ の排出に関する規制を決定した。これにより、海運業界はウェザー・ルーティング等の省エネ航行が求められ、造船業界は CO₂ 排出量の小さい新造船の建造が義務付けられた。

1.2 研究目的

国際海運からの CO₂ 排出量削減の取組みを見てもハード面とソフト面での取組みが始まったばかりである。しかし、ハード面での取組みは船齢の長さなどの理由からすぐには削減効果を見込むことが難しい。このことを考えると、ソフト面での取組みを今後、さらに加速させていく必要がある。

そこで、先に取り組みされている国内輸送を見ると、近年は物流事業者単独の取組みから複数の事業者、さらには荷主を含めた関係者が相互に協力し合う取組みへと進展している。

したがって、国際海運分野においても将来を見据えた取組みとして、関係者相互の連携について今から議論を進めておく必要があると考える。しかし、国内輸送と異なり、国際海運の場合は複数の船会社や荷主、さらには各国の港湾管理者等

も関係する取組みとなる。このため CO₂ 排出量の削減見込みのないまま関係者が集まって議論することは困難である。あらかじめ関係者相互の連携の有効性を示し、連携の必要性を広く醸成していくことが必要と思われる。

そこで本研究の第一の目的として、そもそも国内輸送の取組みのように国際海運において関係者相互の連携が CO₂ 排出量削減のために有効であるのか検討することを目的とする。

まず、既存の海運における関係者相互の取組みをみると、コンテナ船や RORO 船は複数の荷主が利用する輸送サービスであることもあり、国内輸送では消席率を高めるために貨物の往路と復路におけるインバランスの是正に向けた共同配送や片荷輸送の抑制などの取組みがなされてきた。しかし、石油や鉄鉱石等の国際海運において使用されているバルク船 (ばら積み船) に関しては荷揚げし、産出国に向かう際は空船航海となっており、片荷輸送の抑制に関して全く検討されていない。そこで本研究では、バルク船における片荷輸送の抑制を対象に検討することとする。

次に、関係者相互の連携の有効性を確認した上で、研究の第二の目的として、バルク船における片荷輸送の抑制を対象に関係者相互の連携への取組みへと進展させていくための課題を検討することを目的とする。

2. 輸配送に関する CO₂ 排出量の削減策

輸配送に関する CO₂ 排出量の削減策をまとめた結果を図 1 の年表に示す。年表中の①から③は、削減に向けた取組みの進展段階を表す。

まず、①の段階は、問題意識を持つための法律や削減策を実現するための規制を設ける段階である。この段階を国内輸送と国際輸送は終えている。次の②の段階は、①の段階を踏まえて一企業で CO₂

排出量削減の取組を行う段階である。具体的な削減策としてエコドライブや減速航行などがある。国際輸送は現在この段階である。最後の③の段階は、関係者相互の連携による削減策を実行する段階である。具体例としては共同配送である。

このほか、エコレールマークなどの削減のための取組みを後押しする認証や表彰、補助制度のほか、グリーン物流パートナーシップ会議などの共同配送を推進するための組織の設置がなされていることが分かった。

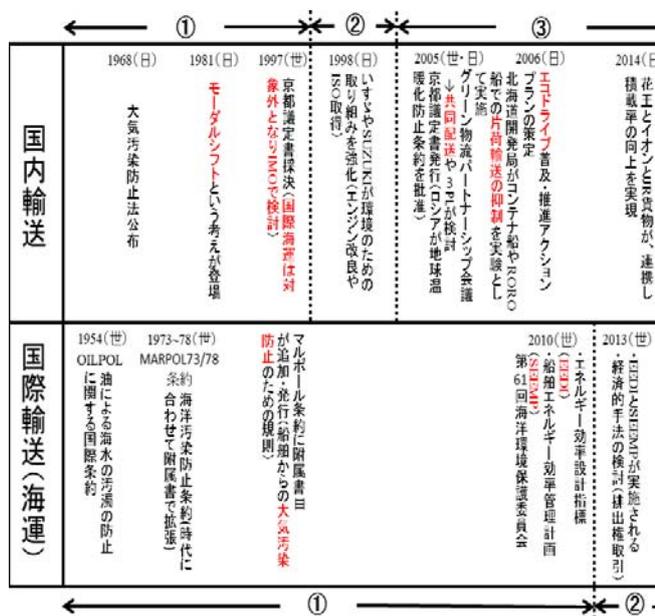


図 1 CO₂ 排出量削減策の歴史

3. 対象とするバルク貨物の輸送

三大バルク貨物と呼ばれる鉄鉱石、石炭、小麦は、海上荷動き量が非常に多い。2012年の海上荷動き量は、鉄鉱石が11.1億トンで、石炭が10.7億トン、そして、小麦が15.4億トンとなっている。

これらの内、本研究では鉄鉱石と石炭を対象とする。そして、これらのバルク貨物の取扱量上位8割に含まれる国の代表的な69の港湾を対象として片荷輸送の抑制を検討する。港湾の抽出には、貿易統計に関するデータベースであるGLOBAL TRADE ATLASとLMIUの船舶動静データを用いた。

なお、片荷輸送の抑制では、往路と復路における貨物の組み合わせとして、船倉の清掃を比較的簡便に、特別な措置を行うことがないように考える必要がある。そのため、本研究では組み合わせの容易な鉄鉱石と石炭を対象とした。

4. 片荷輸送の抑制方法と抑制の定式化

4.1 片荷輸送の抑制方法

片荷輸送の抑制方法として、空船状態の航海をできるだけ抑制するために、往路と復路において異なる貨物を積載することを考える。

例えば、片荷輸送の抑制を実施した場合の基本的な輸送は、図2のaとbに示す2つの場合に分かれる。図2のaは、港湾Aと港湾Bの間の輸送量が港湾Cと港湾Dの間の輸送量よりも多い場合である。このため図に示すように片荷輸送を抑制した輸送と片荷輸送を組み合わせた輸送方法となる。また、図2のbは、aの場合と異なり、双方の輸送量が等しい場合である。このため片荷輸送は発生しない。

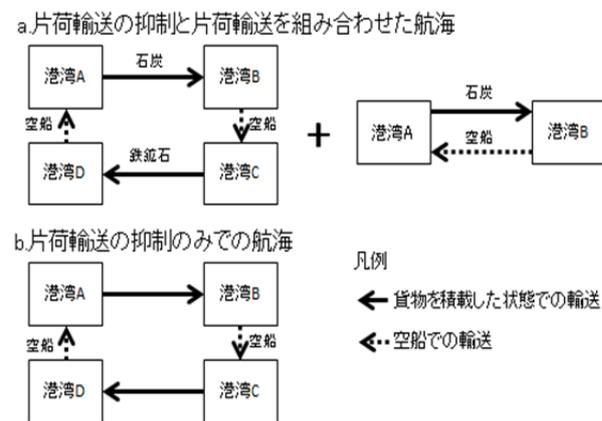


図 2 輸送方法の例

4.2 抑制の定式化

本研究では片荷輸送の抑制として空船状態での輸送を抑制するため、往路と復路で貨物を輸送できる港湾の組合せを求める必要がある。この港湾の組合せを求める際に、総輸送距離が最小となるように輸送の最適化を行った。この定式化を次に示す。

目的関数

$$\min. \quad TDST = \sum_{(i,j) \in LK} c_{i,j} \cdot y_{i,j}$$

制約条件

$$M \cdot y_{i,j} \geq x_{i,j} \quad (i,j) \in NU$$

$$\sum_{j:(i,j) \in LK} y_{i,j} - \sum_{j:(j,i) \in LK} y_{j,i} = 0 \quad i \in NP$$

$$y_{i,j} \geq 0 \text{ and integer} \quad (i,j) \in LK$$

TDST：総航海距離[km/年]
 c：港湾間の航海距離[km]
 M：最大積載量[トン]
 x：輸送需要量 [トン/年]
 y：輸送回数[1/年]

5. CO₂ 排出量の算出方法

海上輸送中の CO₂ 排出量を燃料消費量に CO₂ 排出原単位を乗じることで算出する。そして、燃料消費量を赤倉らの研究⁽¹⁾を参考に船舶の載貨重量トン数をもとに式(1)から算出する。また、参考文献(2)から C 重油の CO₂ 排出原単位を、2,987.8[kg-CO₂/kl]とした。

$$Y = TDST/V * (2.38 * 10^{-4} * X + 16.7) \text{----- (1)}$$

Y:燃料消費量[MT/年]

TDST:総航海距離[km/年]

V:船舶の速度[km/日]

X:船舶の載貨重量トン数[WT]

6. 検討内容及び前提条件

6.1 検討内容

本研究では、鉄鉱石及び石炭を既存船舶で輸送する場合（現状）の CO₂ 排出量をもとに、次の 3 つの削減策について、その削減効果の検討を行う。

- (1) まず、片荷輸送の抑制による CO₂ 排出量の削減効果を検討する。
- (2) 次に船舶を大型化させた場合の CO₂ 排出量の削減効果を検討する。具体的には、30 万 DWT の大型船を用いた場合を検討する。
- (3) 最後に、片荷輸送の抑制と船型の大型化を同時に実施した場合の CO₂ 排出量の削減効果を検討する。

船舶の大型化を検討している理由は、船舶の大型化は昨今海運業界で特に注目されている削減策であり、船舶の大型化の効果と片荷輸送の抑制の効果を比較することができるからである。

6.2 前提条件

ここでは、CO₂ 排出量の削減効果を求めるために必要な前提条件について述べる。

(1) 船舶の平均船型

対象とする港湾に寄港する船舶の平均船型を、船舶動静データから 14.9 万 DWT とした。

(2) 船舶の平均速力

船舶の平均速力を、26.5[km/h]とした。

(3) 港湾間の航海距離

対象とする港湾間の航海距離を、BLM-Shipping から求めた。

(4) 港湾間の輸送量

対象とする港湾間の鉄鉱石及び石炭の輸送量を、GLOBAL TRADE ATLAS の輸出入量のデータと船舶動静データから推計した。

7. CO₂ 排出量の削減効果

現状の鉄鉱石と石炭の輸送による CO₂ 排出量の合計は、約 4670 万トンとなった。

図 3 に現状の CO₂ 排出量の算出結果を、そして図 4 に 6.1 節に示す 3 つの削減策を実施した場合の CO₂ 排出量を示す。また、このときの CO₂ 排出量の削減効果をまとめた結果を表 1 に示す。

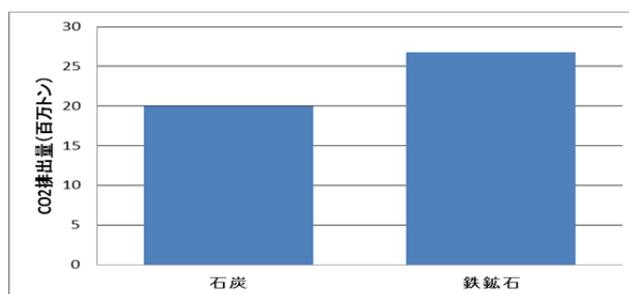


図 3 現状の CO₂ 排出量

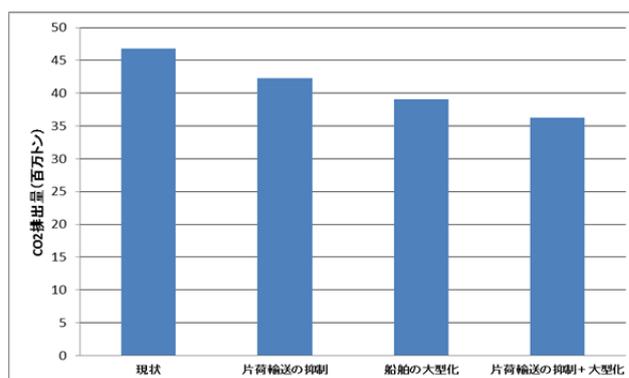


図 4 現状と 3 つの削減策の CO₂ 排出量

表 1 3 つの削減策の削減効果

削減策	CO ₂ の削減量(トン)	CO ₂ の削減率(%)
片荷輸送の抑制	4467202.6	9.6
船舶の大型化	7710132.1	16.5
片荷輸送の抑制+大型化	10457411.2	22.4

図 4 及び表 1 から、片荷輸送の抑制を行った場合の CO₂ 排出量は約 4220 万トンで、その削減量

は約 450 万トン、9.6%の削減効果があることが分かった。これは、片荷輸送の抑制によりバルク船の航海回数が減少することにより CO₂排出量が削減されたからである。

なお、高速のコンテナ船では減速により、10%程度の削減効果を期待できることが示されている。片荷輸送の抑制はこの削減効果に近い効果を有しており、有効な削減策の一つであるといえる。

また、船舶の大型化を行った場合の CO₂排出量は約 3900 万トンで、その削減量は約 770 万トン、16.5%の削減効果があることが分かった。

そして、最後に片荷輸送の抑制と船舶の大型化を同時に行った場合の CO₂排出量は 3630 万トンで、その削減量は約 1040 万トン、22.4%もの削減効果があることが分かった。

8. 国際海運における環境負荷低減の実現に向けた課題の検討

片荷輸送の抑制は、有効な省エネ策となることが分かった。これより、関係者相互の連携について国際海運分野でも検討することが必要である。そこで、以下に実現に向けて検討すべき課題を挙げる。

1. 法律や規制等に関する課題

新しい取組みを始めるためには、法律、規制、補助、表彰などが必要となる。片荷輸送の抑制に関する問題意識を持つために法律の整備、そして実行するために規制を設けることが重要である。そして片荷輸送の抑制を進めようとする企業には補助や表彰を行い援助することも必要である。

2. 施設・設備等の整備に関する課題

片荷輸送の抑制には船倉を清掃する設備などが必要となるためそれらの整備が必要になる。その際、港湾管理者（行政）との連携が必要となってくるであろう。

3. 情報の共有化に関する課題

片荷輸送の抑制を行う上で、往路と復路に積載するための貨物のマッチングが必要になる。そのためには、貨物に関する情報や船舶動静情報などが必要になる。それらの情報を関係者が共有する必要がある。

4. 関係者の範囲に関する課題

国内輸送での共同配送の関係者は荷主と物流事

業者であったが、片荷輸送の抑制では国際的に行う必要があるため関係者の範囲が広がる。具体的には、荷主・船社・商社・港湾管理者・行政である。そのため、関係者が集まって議論する場も必要になるだろう。

5. 推進のために必要な組織に関する課題

上記の課題を解決するための議論の場を設ける組織を作り、片荷輸送の抑制の実現を進めていく必要がある。具体的な議論の場としては、「法律や規制などに関する場」、「施設・整備等の整備に関する場」、「情報を管理する場」、「関係者が集まる場を設ける場」である。そして、これらの議論の結果を調整する組織が必要となる。

9. 結論

本研究では、国際海運において関係者相互の連携が CO₂排出量削減のために有効であるのか、バルク船における片荷輸送の抑制を対象に有効性の検討を行うとともに、関係者相互の連携への取り組みへと進展させていくための課題を検討した。

その結果、片荷輸送の抑制は減速航行等の省エネ航行と同程度の環境負荷低減効果を有しており、有効な方策であることが認められた。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、大きな利点であり、片荷輸送を抑制するための船会社及び荷主の連携が必要だと分かった。

また、関係者相互の連携を行う上での課題として、「法律や規制等に関する課題」、「施設・設備等の整備に関する課題」、「情報の共有化に関する課題」、「関係者の範囲に関する課題」、「推進のために必要な組織に関する課題」の課題があることが分かった。

今後は、これらの課題の解決策を検討し、片荷輸送の抑制に向けてより詳細な検討を行なっていく必要がある。

参考文献

- (1) 赤倉康寛，瀬間基広：国総研資料 No. 560，我が国へのドライバルク貨物輸送の効率化に向けた一考察，2009. 12
- (2) 国土交通省：環境負荷の小さい物流体系の構築を目指す実証実験，CO₂排出削減量の計算要領，2004. 9.