

ドライバルクを対象とした国際海上輸送における 物流コスト及び CO₂ 排出量の削減に関する研究

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

要旨

近年、世界では大型船の運航隻数が増加している。そして、日本においても「国際バルク戦略港湾政策」を策定し、大型船を活用した一括大量輸送による物流コスト及び CO₂ 排出量の削減を図ろうとしている。しかし、規模の経済性を最大限に活かせるような船型や、大型船の就航を可能とする港湾の連携については十分な検討がなされていない。

そこで、本研究では、船型の大型化や港湾の連携が物流コスト及び CO₂ 排出量に与える影響を分析した。その結果、船型の大型化により物流コスト及び CO₂ 排出量を削減できる事を確認した。しかし、一定回数以上の寄港が求められる場合は、需要量に応じて適切な船型が存在する事が明らかとなった。また、港湾の連携に関しては、2 港揚げを組み合わせる運航パターンが、最も削減効果が大きいと分かった。

キーワード：物流・海運、国際海上輸送、ドライバルク、国際バルク戦略港湾政策、物流コスト

1. 序論

日本は石油や鉄鉱石などの天然資源の多くを海外からの輸入に依存している。この為、輸送における物流コストや CO₂ 排出量の削減を目指して、三大バルクを対象に、政府は「国際バルク戦略港湾政策」を策定した。

しかし、大型船の優位性を最大限に活かせるような船型や港湾の連携に関する検討は十分になされていない。更に、CO₂ 排出量の削減については、運航面からの検討は IMO においても不十分である。

そこで、本研究では、船型の大型化や荷揚港の組合せパターン(運航パターン)を変化させた場合の物流コストと CO₂ 排出量の削減効果を明らかにする事を目的とする。なお、対象とするドライバルクは、三大バルクの中でも海上輸送量の伸び率が最も高く(2001年から2007年で74.1%)、船型の大型化が進んでいる鉄鉱石とした。

2. 対象とする鉄鉱石輸入と検討内容

2.1 対象とする鉄鉱石輸入

国土交通省の統計(2012年版年報)によれば、日本はオーストラリアから7790万トン、ブラジルから3029万トンの鉄鉱石を輸入している。日本の荷揚港の中では木更津港の輸入量が最も多く、特にオーストラリアのポートワルコット港やブラジルのセペチバ港からの輸入量が多い。

近年、鉄鉱石輸送に用いられているバルク船の船

型 Type は、隻数で4割以上、船腹量(DWT 総計)で6割以上を Capesize が占めており¹⁾、世界的に大型船の運航隻数が増加している。この為、大水深岸壁を持つ港湾も多く、ブラジルの積出港では水深が23mと深く、水深25m級のバースの整備も進められている。また、日本では木更津港、大分港、鹿島港の3港に、ブラジルのヴァーレ社が運航している40万DWT級の大型船・ヴァーレマックスが入港している(2014年現在)。

以上の事から本研究では、鉄鉱石の需要量が多い木更津港とブラジルのセペチバ港の間における輸送を対象に、物流コストと CO₂ 排出量の削減について検討を行う事とする。

2.2 検討内容

日本政府の策定した「国際バルク戦略港湾政策」では、船型の大型化及び大型船の就航を可能とする港湾の連携から物流コスト及び CO₂ 排出量の削減を目指している。

そこで本研究では、船型の大型化と港湾の連携(運航パターン)が、物流コストと CO₂ 排出量に与える影響を検討する。なお、需要量に応じた適切な船型を検討する為、需要量の影響について検討するほか、航海距離の影響についても検討を行う。

以上の事から需要量に応じた適切な船型を明らかにするとともに、航海距離から見た物流コスト等の削減効果の高い輸入国を明らかにする。

また、運航パターンの検討では荷揚港を2港揚げ、3港揚げと変化させた場合の検討を行う。これにより、船型の大型化を踏まえた望ましい港湾の連携について明らかにする。

具体的な検討における設定は図1に示すとおりである。木更津港－セペチバ港間の鉄鉱石輸送を参考に、各積出港から荷揚港への年間需要量を300万トン、船型を13万DWT、荷揚港－積出港間を1.4万海里とした。そして、木更津港の連携港湾として、和歌山下津港(316海里)や東播磨港(363海里)が想定されている為、荷揚港間の航海距離を300海里とした。また、往航時(空荷状態)の速力を14.3knot、復航時(満載状態)の速力を13.9knotとし²⁾、これを基本とした。

そして、荷揚港の数を変える運航パターンとしては、図1左に示す1港揚げを基本とし、図1右に示す3港揚げのように変化させた。

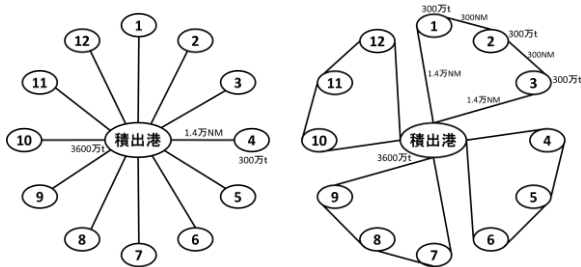


図1 運航パターンの一例(1港揚げ、3港揚げ)

3. 物流コスト及びCO₂排出量の算出式

3.1 物流コストの算出式

本研究では、物流コストとして船舶の運航に係る費用を対象とする。表1に物流コストの内訳を示す。

表1 物流コストの内訳

変動費 運航費	貨物費	荷役費、保管費
	燃料費	C重油
固定費 船費	港費	入港料、とん税、水先料、曳船使用料、岸壁使用料
	減価償却費	償却期間20年間、残存価値5%
	船員費	給与
	保険料	船舶保険料

$$CST = C1 + C2 \quad (1)$$

$$C1 = f \cdot (C_c + C_p + C_f) \quad (2)$$

$$C2 = N \cdot (C_d + C_o + C_i) \quad (3)$$

$$C_c = (C_u \cdot f) + (C_k \cdot KEP \cdot f) \quad (4)$$

$$f = DEM / W \quad (5)$$

$$f \geq f^* \quad (6)$$

$$N = f \cdot T \text{ and Integer} \quad (7)$$

$$W = 0.8 \cdot W' \quad (8)$$

CST : 年間物流総費用 [USD/年]

C1 : 年間運航費 [USD/年], C2 : 年間固定費 [USD/年]

C_c : 年間貨物費 [USD/年], C_p : 年間港費 [USD/年],

C_f : 年間燃料費 [USD/年]

C_d : 減価償却費 [USD/年], C_o : 年間船員費 [USD/年],

C_i : 年間保険料 [USD/年]

C_u : 荷役費 [USD/回], C_k : 保管費 [USD/トン]

f : 年間寄港回数 (=年間総輸送回数) [回/年]

f* : 年間寄港回数の下限度 [回/年]

T : 1航海あたりの総航海時間 [年/回]

N : 年間必要隻数 [隻/年]

DEM : 年間需要量 (=年間総輸送量) [トン/年]

KEP : 平均保管貨物量 [トン/年]

W : 積載重量 [トン/隻]

W' : 最大積載重量 [トン/隻]

なお、港湾利用時にかかる費用は木更津港の費用を、燃料単価は2010年のC重油の価格を、保険料は東京海上日動火災保険株式会社へのヒアリング結果を用いた。

3.2 CO₂排出量の算出式

CO₂排出量を参考文献(3)(4)の算出式を参考に、次のように算出する。

$$CO_2 = D \cdot N \cdot J \cdot O \cdot E \quad (9)$$

CO₂ : 年間CO₂排出量 [t-CO₂/年]

D : 鉄鉱石船の年間燃料消費量 [kl/(隻・年)]

N : 年間必要隻数 [隻/年]

J : C重油の発熱量 [GJ/kl]

O : C重油の炭素排出係数 [t-C/GJ]

E : 炭素が結合したCO₂の重量係数

4. 検討結果

4.1 船型の大型化

(i) - 1 船型のみ

船型を大型化した場合の物流コストの変化を図2に示す。図中の制約のありとなしは、港湾に寄港する回数の最低回数が定まっている場合が「制約あり」で、ない場合が「制約なし」である。

図2より、船型が大型化するにしたがって物流コストが削減されている事が分かる。特に、10万DWTまでの物流コストの削減は著しい。この削減効果は、船型の大型化による寄港回数の削減による。

しかし、制約ありの場合は、寄港回数の制約を満たす為に必要以上に大型化を行うと、満載で輸送出

来ない。この為、今回の例では、15万DWTを超えたあたりから積載率の低下の影響により、物流コストの上昇が見られる。

なお、CO₂排出量についても物流コストと同様の傾向が見られる。

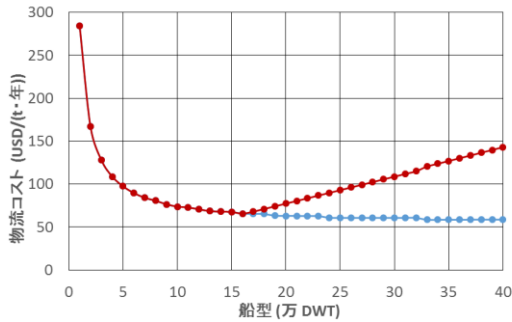


図2 単位輸送量あたりの年間物流コスト

(i)-2 船型と需要量 (制約あり)

寄港回数の制約がある場合は、先の図2の結果から需要量に応じた最適な船型が存在する事が分かった。そこで、ここでは需要量の変化が最適な船型にどのような影響を与えるか検討する。図3に、需要量を変化させた場合の船型と物流コストの関係を示す。図中の色の違いが需要量の違いを示す。

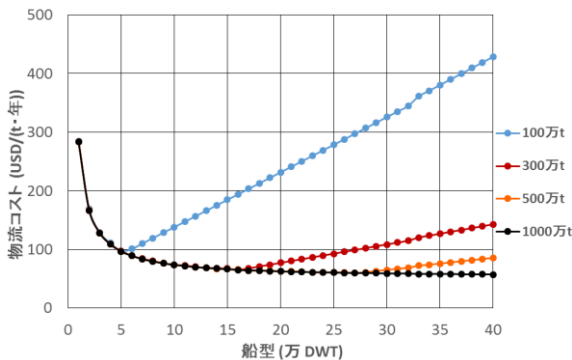


図3 単位輸送量あたりの年間物流コスト

船型のみを変化させた場合と同様に、船型の大型化に伴う物流コストの削減効果が得られた。しかし、この効果は需要量により異なっている。例えば、需要量が増加するにしたがって単位輸送量あたりの物流コストの最小値は低減しており、需要量が100万トンの場合には年間98USD、300万トンの場合には年間67USD、500万トンの場合には年間61USDとなっている。そして、物流コストが最小となる船型は、需要量が100万トンの場合には5万DWT、300万トンの場合には16万DWT、500万トンの場合には27万DWTと需要量の増

加とともに最適な船型も大型化している。

以上の事から、オーストラリアやブラジルの港湾のような輸出量の多い港湾を中心に、船型の大型化を推進すると良いといえる。

(i)-3 船型と航海距離 (制約なし)

先述した通り、日本はオーストラリアやブラジル等、多くの国から鉄鉱石を輸入している。そこで、船型の大型化を図る場合に、どの国の輸入から真っ先に実施すべきか、航海距離の違いによる効果の違いについて検討する。

この検討においては、年間寄港回数に制約を与えず、何回寄港してもよい事として検討した。100海里、1000海里、1.0万海里、1.4万海里的場合に分け、船型を1万DWT、20万DWT、40万DWTとした時の物流コストの構成比率を図4に示す。

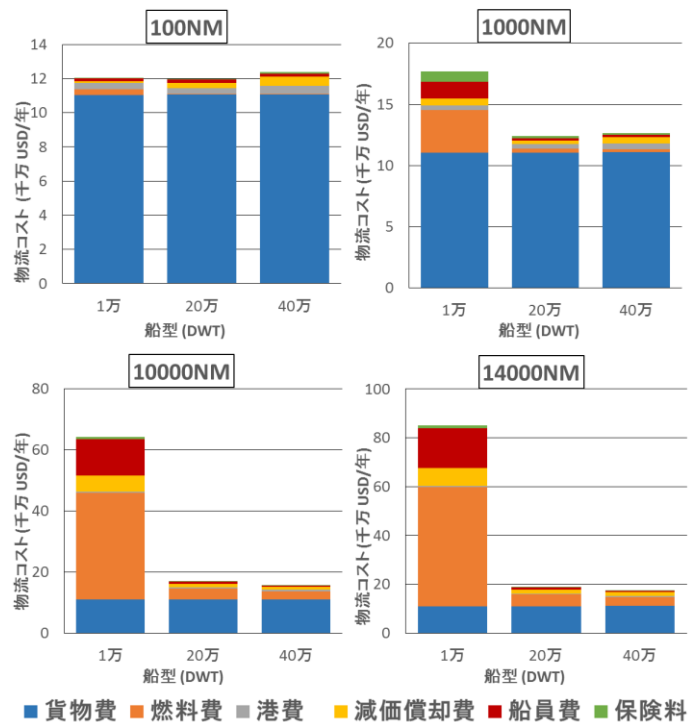


図4 物流コスト構成比率

図4から、航海距離が1000海里、1.0万海里、1.4万海里的場合は大型化に伴い物流コストが顕著に減少している事が分かる。これは大型化に伴う輸送回数の減少による燃料費の削減によるものである。

しかし、100海里の場合には物流コストに占める燃料費の割合が非常に小さく、この大型化によるメリットを享受出来ていない。この為、大型化に伴う物流コストの逓減は見られない。逆に、大型化に伴っ

て減価償却費が増加し、結果として物流コストが微増している。

なお、100 海里の場合に減価償却費が増加しているのは、今回の前提条件の場合だと船舶の稼働率と積載率が低下する為である。この為、単位輸送量あたりでみた場合の物流コストが高くなっている。

以上の事から、航海距離が長い程、大型化による年間航海距離の減少に伴う燃料費の削減が図れる事が明らかになった。また、年間航海距離の減少によってCO₂排出量も同様に、減少傾向が見られた。

つまり、日本-ブラジル間等の航海距離が長い航路を対象に大型化の推進を行うと良い事が分かった。

4.2 連携港湾を用いた運航パターン

港湾の連携方法を考える為、各運航パターンにおける物流コストの変化を分析した結果を図5に示す。なお、寄港回数の制約がある場合の結果を図5に示すが、制約がない場合にも同様の結果を示した。

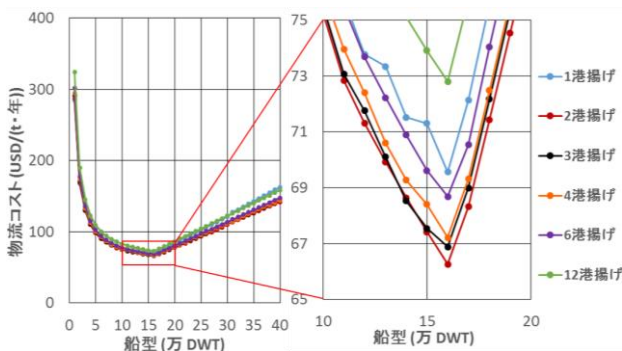


図5 単位輸送量あたりの年間物流コスト (制約あり)

図5に示す通り、船型の大型化に伴い、物流コストの減少が見られ、特に10万DWT前後までの減少は著しい。しかし、一定回数以上の寄港が求められる場合は、全てのパターンで約16万DWT以上となった場合、増加傾向を示している。寄港回数が一定以上となった場合に大型化をすると、燃料費や船費が著しく増加する。この影響を大きく受ける事が、物流コストが増加する原因である。

以上の結果から、荷揚港が複数港あった場合には、年間寄港回数の制約の有無に関わらず、2港揚げを組み合わせた運航パターンが最も削減効果が大きい事が明らかになった。制約がある場合は、一定以上の大型化をすると物流コストが増加する事が明らかになった。

5. 結論

本研究では、鉄鉱石輸入を対象に船型の大型化や港湾の連携が物流コスト及びCO₂排出量に与える影響を検討した。その結果、次の事が明らかとなった。

船型の大型化による物流コスト及びCO₂排出量の削減効果は大きい、一定回数以上の寄港が求められる場合は、需要量に応じて適切な船型が存在する事が明らかとなった。

詳細に述べると、寄港回数の制約がある場合、需要量が多い程、大型化による削減効果が大きかった。この事から、木更津港-ポートワルコット港間や木更津港-セペチバ港間のような需要量が多い港湾を対象に大型化の推進を行うと良いといえる。

更に、航海距離が長い程、貨物費と燃料費が削減される事から大型化による大きな削減効果が得られた。よって、日本-ブラジル間のような、航海距離が長い程、削減効果が大きい為、大型化を進めていくべきであるといえる。

連携港湾に関しては、2港揚げを組み合わせる運航パターンが、最も削減効果が大きかった。しかし、一定回数以上の寄港が求められる場合は、2港以上の港湾に寄港すると顕著な物流コストの増加が見られた。

本研究では鉄鉱石を対象貨物としたが、一括大量輸送を行う、他のドライバルク輸送でも同様の事がいえる。

今後は、浚渫費用を考慮した船型の大型化の効果の検討や、具体的な港湾を対象とした運航パターンを検討する必要がある。

参考文献

- (1) 赤倉康寛・二田義規・渡部富博：国土技術政策総合研究所資料 No. 525 北東アジアにおける三大バルク貨物の輸送動向の分析, pp18, 2009. 03
- (2) 平岡克英・亀山道弘：LCA解析のための外航貨物船の運航状態分析と海上輸送の大気環境負荷物質の排出係数, pp8-15, 2005. 02. 25
- (3) 財団法人シップ・アンド・オーシャン財団：船舶からの温室効果ガス(CO₂等)の排出削減に関する調査研究報告書, pp. 19-30, 2000
- (4) 物流研究所：4.5 エネルギー使用量の原油換算方法, <https://www.eccj.or.jp/law/pamph/outline/04-5.html>, 2014. 06. 12