

長江口深水航路を用いた鉄鉱石輸入における 二酸化炭素排出量の削減策に関する研究

成 曉黎

指導教員 黒川 久幸 教授

1. はじめに

現在、世界的に地球温暖化が問題となっており、2011 年における世界全体の二酸化炭素排出量は 313 億 t-CO₂ となっている。外航海運からの排出量は 2007 年の IMO の推定によれば 8.5 億 t-CO₂ となっており、世界全体の約 3% を占め、イギリス、フランスの合計よりも多い。このため海運からの二酸化炭素排出量の削減が重要となっている。

しかし、海上荷動き量は年々増加しており、増加に伴う二酸化炭素排出量の増加が懸念されている。特に、中国の鉄鉱石の輸入量は急増しており、2009 年は約 6 億トンで世界全体の約 65% を占めている。

このため、中国の鉄鉱石輸入における二酸化炭素排出量の現状把握と削減効果の検証が必要となっているが、具体的な二酸化炭素排出量の推計等は行われていない。

そこで本研究では、急増する中国の鉄鉱石輸入を対象に輸入に伴う二酸化炭素排出量を推計するとともに、船舶の大型化による二酸化炭素排出量の削減効果を検証することを目的とする。

なお、船舶の大型化ではブラジルの総合資源開発企業が 40 万 DWT の大型船を大量に発注し、就航船舶の大型化が進みつつある。しかし、中国国内の長江口深水航路等の航行では水深の制約から大型船が満船で就航することはできず、この影響を考慮した検証が必要である。そこで船舶の積載状態による喫水の変化を考慮に入れて、船舶の大型化による二酸化炭素の削減効果の検証を行うこととする。

2. 中国の鉄鉱石輸入の現状

2.1 中国の粗鋼生産量

中国は世界一の粗鋼生産国である。中国における 2010 年の粗鋼生産量は約 6 億トンと世界の 45% を占めている。この背景には旺盛な国内需要があり、自動車や家電製品の急激な消費がある。また、人口増加による住宅建設の増加も影響している。

2.2 中国の鉄鉱石輸入量

鉄鉱石は粗鋼を生産する原料として使用され、中国国内にも埋蔵されている。しかし、中国に埋蔵されている鉄鉱石は鉄分含有量が 30% 程度と低く、大型高炉が必要とされる品質（60% 程度）の基準を満たさない。このため高品質の鉄鉱石を求めて、オーストラリアやブラジルといった他の鉄鉱石産出国から鉄鉱石を輸入している。

したがって、粗鋼の生産量の増加とともに、鉄鉱石の輸入量が年々増加している。中国の鉄鉱石輸入量は、2001 年に世界全体の約 18%（約 9000 万トン）を占めていたが、2009 年には約 65%（約 6 億トン）も占めるに至っている。

2.3 長江口深水航路を用いた鉄鉱石輸入

オーストラリアやブラジル等の鉄鉱石産出国から長江沿線エリアの製鉄所までの輸送経路は、大きく 2 つに分けることができる。まず、オーストラリア等の鉄鉱石産出国から長江沿線エリアの大水深バースを有する貿易港まで外航船で鉄鉱石を輸送する外航輸送である。そして、貿易港で荷揚げされた鉄鉱石を内航船で製鉄所まで輸送する内航輸送となる。

長江沿線エリアにある宝鋼製鉄所の 2010 年の粗鋼生産量は 4450 万トンで中国全体の約 7% を占めており、生産に使用する鉄鉱石は、100% 輸入に頼っている。そして、鉄鉱石の輸入先として最も輸入量が多いのは、オーストラリアのポート・ヘッドランド港である。そこで本研究では、オーストラリアのポート・ヘッドランド港から宝鋼製鉄所までの鉄鉱石輸入を対象とする。

具体的には、図 1 に示すようにポート・ヘッドランド港で鉄鉱石を 20-30 万 DWT の大型の鉄鉱石船に船積みし、この大型船が着岸できる水深 25m のバースを 1 岸壁持っている馬迹山港で荷揚げし、その後、鉄鉱石を内航船によって長江口深水航路を通航し、宝鋼製鉄所のある宝鋼の原料バースまで輸送する経

路となる。なお、外航輸送で使用されている船舶は、船型の異なる鉄鉱石専用船と一般バルク船に分かれるため、ここでは個別に二酸化炭素排出量を算出することとした。

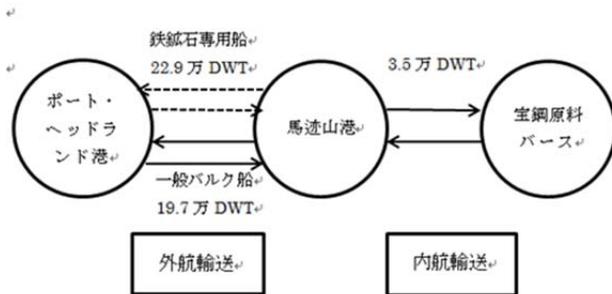


図1 鉄鉱石輸入における輸送経路

2.4 長江口深水航路

長江口深水航路⁽⁵⁾は長江航路の一部で、長江の河口に位置する。水深は12.5mで、大型船が満載で通航できない。そのため、長江口深水航路に入航する船舶は入航する前の24時間以内に上海海事局に通航申請を出し、船隊を編成されたうえで、先航する船舶と1海里の距離をおいて通航しなければならない。

通航できる最大喫水は、下記の式から求められる。通航可能な最大喫水 = 12.5m + 潮位 (m) - 余裕水深 (m)

*潮位：長興高潮前5時間の鶏骨礁潮汐の潮位

*余裕水深：船舶の満載喫水の12%

3. 二酸化炭素排出量及び鉄鉱石輸入量の推計

3.1 二酸化炭素排出量の定式化

鉄鉱石輸送の多くは、輸出港からの往路は満船（満載）で、輸入港からの復路は空船となっている。そこで本研究では二酸化炭素排出量をより正確に推計するために、往路と復路の積載率の相違を考慮に入れて次のように推計する。

なお、空船時のバラスト水は、3.5節に示すように満載積載量の30%とした。

$$CO_2 = \left((Y_W + Y_{30}) \cdot \frac{DST}{V} \cdot C \right) \cdot \frac{DEM}{W}$$

CO_2 ：二酸化炭素排出量 (kg-CO₂/年)

Y_W ：積載量Wの時の燃料消費量 (トン/日)

Y_{30} ：空船時の燃料消費量 (トン/日)

DEM：年間需要量 (トン/年)

W：船舶の積載量 (トン)

DST：輸出入港間の航海距離 (マイル)

V：速力 (マイル/日)

C：二酸化炭素排出原単位 (kg-CO₂/トン)

3.2 燃料消費量の推計方法

満載時の燃料消費量は参考文献(2)により求められている。また、ヒアリングから空船時の燃料消費量は満載時と比べて約2トン少ないということが分かった。そして、この傾向は船型によって大きな相違がないということであったので、任意の積載状態の時の燃料消費量を次のように推計することとした。

$$Y_W = Y_{full} + \frac{2}{100 - 30} \cdot \left(\frac{W}{W_{full}} \cdot 100 - 100 \right)$$

Y_W ：積載量Wの時の燃料消費量 (トン/日)

Y_{full} ：満載時の燃料消費量 (トン/日)

W：船舶の積載量 (トン)

W_{full} ：満載時の積載量 (トン)

3.3 鉄鉱石輸入量の推計方法

輸出港と輸入港の間における鉄鉱石輸入量のデータは存在しない。そこで本研究では、中国海関とLMIUの船舶動静データから鉄鉱石輸入量を推計した。中国海関のデータから、各産出国からの鉄鉱石輸入量は分かる。しかし、中国の国内港における各産出国及び各輸出港からの輸入量は不明である。

そこで本研究では、LMIUの船舶動静データ(2010年)より各国内港への各輸出港からの船腹量を推計し、この船腹量の構成比率を用いて港湾調査から得られた国別の輸入量を按分することとした。ここでいう船腹量とは、寄港船舶の載貨重量トン(DWT)とその輸送船の年間寄港回数に乗じた年間輸送能力を意味する。

以上の方法により、オーストラリアの各輸出港から各輸入港に寄港する船舶の年間船腹量を計算し、合計で約2億トンとなった。そして、輸入量を船腹量で按分した。今回対象としたポート・ヘッドランド港から馬迹山港への2010年における輸入量の推計結果を表1に示す。また、宝鋼は馬迹山港の輸入量と同じ量が馬迹山港から運ばれる。

表 1 馬迹山港の鉄鉱石輸入量 (2010 年)

港	ポート・ヘッドランド港	
	鉄鉱石専用船	一般バルク船
馬迹山港	98.6万トン	359.6万トン
合計	458.2万トン	

3.4 検証で用いるデータ

3.4.1 二酸化炭素排出原単位

二酸化炭素排出原単位として、参考文献 (3) より得られる C 重油の二酸化炭素排出原単位 2987.8[kg-CO₂/kl]を用いる。

3.4.2 航海距離

BLM-Shipping 及び参考文献 (1) より対象港湾間の航海距離を求めた。結果を表 2 に示す。

表 2 対象とした港湾間の航海距離

港	ポート・ヘッドランド港	宝鋼原料バース
馬迹山港	3127.6マイル	95.0マイル

3.4.3 平均船型

外航輸送で用いられる船舶の船型を LMIU の船舶動静データ (2010 年) より求めた。馬迹山港に寄港する鉄鉱石専用船と一般バルク船の平均船型 (DWT) を表 3 に示す。また、内航輸送については、参考文献 (1) より、平均船型を 3.5 万 DWT とした。

表 3 馬迹山港に寄港する船舶の平均船型

港	ポート・ヘッドランド港	
	鉄鉱石専用船	一般バルク船
馬迹山港	22.9万DWT	19.7万DWT

3.4.4 船舶の平均速力及び積載率

鉄鉱石の輸送に用いられる船舶の平均速力を参考文献 (2) から 14.3 ノットとした。

また、外航輸送における鉄鉱石船の平均積載率を参考文献 (4) より次のように定めた。20 万 DWT 程度の鉄鉱石専用船の平均積載率は 90%-95%程度であったので、平均積載率を 92.5%とした。

3.5 バラスト水の設定

空船時のバラスト水の積載量をヒアリング等から満載時の 30%とした。また、これより鉄鉱石を多く積載している場合は、バラスト水を入れないため、本研究ではバラスト水を 0 とした。

4. 現状の二酸化炭素排出量

現状の年間二酸化炭素排出量は 24 万 4500 t-CO₂ である。その内訳は、外航輸送が 22 万 9300 t-CO₂ で、内航輸送が 1 万 5200 t-CO₂ である。さらに、外航輸送の内、鉄鉱石専用船は 4 万 8000 t-CO₂ で、一般バルク船は 18 万 1300 t-CO₂ である。

5. 外航輸送における削減策の検証結果

5.1 検証内容

ポート・ヘッドランド港から馬迹山港への外航輸送を対象に船型の大型化による二酸化炭素排出量の削減効果の検証を行う。現在、外航輸送で用いられている大型の船型は、30 万 DWT と 40 万 DWT の船型が用いられている。そこでこの 2 種類の船型について検証することとする。

5.2 二酸化炭素排出量の削減効果

大型化による二酸化炭素排出量の削減効果を図 2 に示す。図 2 より、大型化した場合、二酸化炭素排出量の削減効果が得られる。外航輸送における二酸化炭素排出量が一番少ないのは 40 万 DWT の場合で、現状と比べると、年間約 2 万 7700 t-CO₂ の二酸化炭素排出量が削減できる。

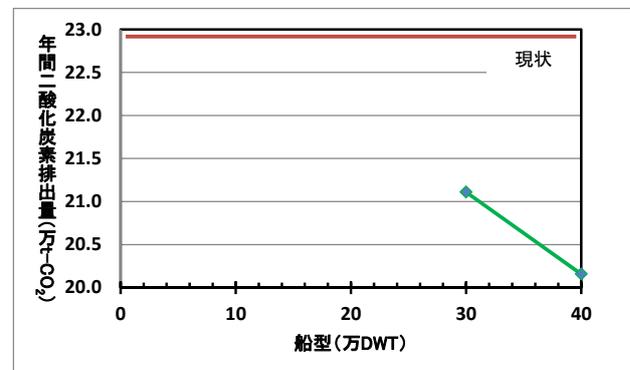


図 2 大型化による二酸化炭素排出量の削減効果 (外航輸送)

6. 内航輸送における削減策の検証結果

6.1 検証内容

馬迹山港から鋼原料バースへの内航輸送を対象に船型の大型化による二酸化炭素排出量の削減効果の検証を行う。検証する船型として、7.4 万 DWT と 17.5 万 DWT の 2 種類とする。また、長江口深水航路の通航においてより多くの鉄鉱石を輸送できるように潮汐を活用した場合としない場合の 2 つの場合について検証を行う。

6.2 潮汐を活用しない場合の削減効果

長江口深水航路を通航する際に潮汐を活用しない場合の結果を図 3 に示す。図 3 より、大型化した場合、二酸化炭素排出量の削減効果が得られる。二酸化炭素排出量が一番少ないのは 7.4 万 DWT の場合で、現状と比べると、年間約 2800 t-CO₂ の二酸化炭素排出量が削減できる。

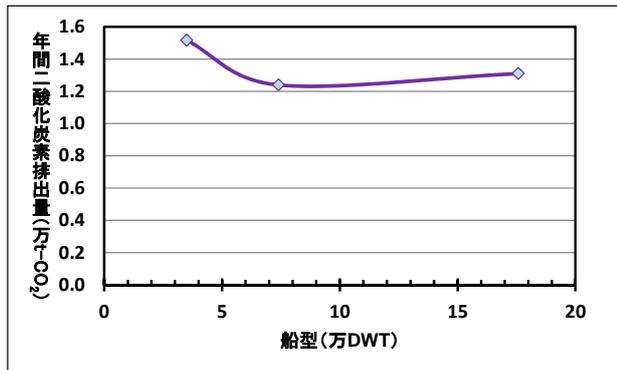


図 3 潮汐を活用しない場合の大型化による二酸化炭素排出量の削減効果（内航輸送）

6.3 潮汐を活用した場合の削減効果

満潮時は潮位が高くなり、長江口深水航路の水深が深くなるため、より多くの鉄鉱石を積載して通航することが出来る。そこで本研究では 2013 年 2 月において長興高潮前 5 時間鶏骨礁の満潮位が最も低い潮位 2.07m で、通航できる最大水深 14.57m の場合について検証した結果を図 4 に示す。図 4 より、大型化した場合、二酸化炭素排出量の削減効果が得られる。二酸化炭素排出量が一番少ないのは 7.4 万 DWT の場合で、現状と比べると、年間約 5200 t-CO₂ の二酸化炭素排出量が削減できる。潮汐を活用しない場合より削減効果が大きいことが分かった。

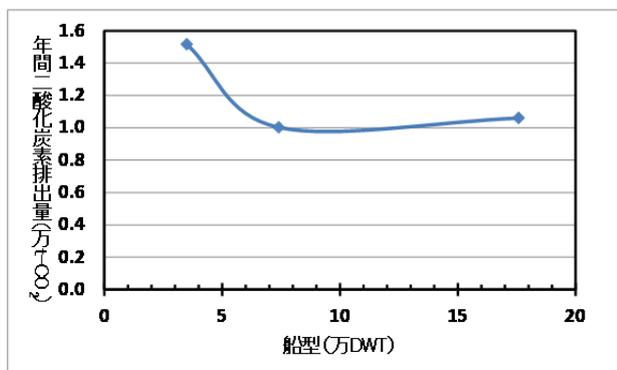


図 4 潮汐を活用した場合の大型化による二酸化炭素排出量の削減効果（内航輸送）

7. おわりに

本研究では、輸出港から製鉄所までの現状の二酸化炭素排出量を算出し、鉄鉱石輸送船の大型化による二酸化炭素排出量の削減策を検証した。

検証の結果、外航輸送における削減効果が一番大きいのは 40 万 DWT の鉄鉱石船で年間合計 2 万 7700 t-CO₂ の二酸化炭素排出量が削減できる。また、内航輸送における削減効果が一番大きいのは潮汐を活用して 7.4 万 DWT の鉄鉱石船で輸送を行った場合で年間合計 5200 t-CO₂ の二酸化炭素排出量が削減できる。内航輸送では長江口深水航路の水深制約から 10 万 DWT を超える鉄鉱石船では積載量の低下から削減効果を得られない。ことからさらに二酸化炭素排出量を削減するためには、長江口深水航路の浚渫を行う必要がある。

参考文献

- (1) 吳永：馬迹山到宝鋼二程鉄鉱石輸送船舶の船型経済検証，上海海事大学修士卒業論文，2006.
- (2) 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
- (3) 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
- (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 No127，pp. 181-188，2012. 9
- (5) 長江口深水航道（12.5m）試通航期間 通航安全管理方法，2010. 05. 06