

北極海航路を活用した国際コンテナ輸送の経路選択について

Evaluation of the Arctic Ocean Route for international container transport

北海道大学 ○学生員 工藤俊起 (Toshiki Kudo)
 北海道大学 正員 Katia Andrade
 北海道大学 フェロー 田村亨(Toru Tamura)

1. はじめに

近年、海氷減退や東アジアの経済発展を背景に、北極海航路を通じた欧州・東アジア間の新しい物流ルートが開発され、注目されるようになった。この物流ルートによって生産拠点の立地や地域間の交流など、欧州と東アジアの間に新たな相互関係が生じる可能性ある。本研究は、上海エクスプレス事業の様に、わが国の欧州貨物の一部を北海道に集約し、北極海航路を使って輸送する可能性をモデル分析するとともに、分析結果を使った今後の検討課題をまとめることが目的である。なお、具体的な分析では、スエズ航路に比べて「北極海航路の優位性」を評価できる船主の経路選択モデルを構築し、北極海航路の不確実性がどのくらい減少すれば、わが国の欧州向け貨物を北海道から輸出できるかを明らかにする。

2. 北極海航路の概要

北極海航路には、ロシア側を通る北東航路と北米大陸側を通る北西航路がある。ロシアは、北東航路を Northern Sea Route(NSR)と呼んでいる。スエズ運河ルートとの比較をすると、距離で約 40%短縮でき、輸送日数の短縮は燃料費削減や温室効果ガス排出量の削減に繋がるとされている。また、スエズ運河ルートにある海賊多発地域を回避できる点も注目されている。

北極海航路の課題は、①5か月間(6月下旬-11月下旬)のみの航行であること、②3章3節にまとめるような航路としての不確実性があることである。



図1 北極海航路

以下に、北極海航路に関わるわが国の取り組みと、北海道の発展に資する航路かどうか、をまとめる。当該航路は日本海、津軽海峡、宗谷海峡を通ることから、国土

交通省は、海運業者や荷主、行政機関がそれぞれ持っている情報を共有し、航路利活用を資することを目的に、2014年5月に連携協議会を設置した。また、北海道庁は、北東アジアターミナル構想を立案し、その中に、北極海航路調査研究会を設置している。研究会では、2013年と2014年に北極海航路の持続的利用に向けた国際セミナーを開催した。

北海道の発展に資する航路かどうかについては、現在、北極海航路において鉄鉱石やLNGをバルクで運んでいる実態から、北海道電力(株)や北海道ガス(株)などのエネルギー輸送ルートとして、船社が北極海航路を使う可能性がある。将来的には、北海道の安全な農水産品やその加工品を、北極海航路を使って欧州やロシアに運べないかとの期待がある。また、ロシア・欧州と中国・韓国などの東アジアとを結ぶ航路の中継基地としての可能性もある。その場合、横浜港との競争に優位性があるか、北海道の港にドック機能を持てるかなどが検討課題である。

なお、北極海では、現在地球温暖化による海氷減少が著しい。この海氷減少に対して米国海洋大気庁(NOAA)が、早くも2040年、遅くとも2060年頃には北極の氷がほぼ無くなっていると予測している。

3. 本研究の位置づけ

前章でも述べたように現在では北極海航路は、夏季しか通行することができない。本研究では、2050年を想定し、夏季以外の季節も北極海航路を使用することができることを前提とする。その上で、北海道の苫小牧港、東京の京浜港、東アジアの釜山港、ヨーロッパのロッテルダム港の4つの港湾を結ぶ物流をケーススタディとして分析する。現在の輸出、輸入の形を図-2に示す。ロッテルダムと釜山を国際バブ港湾として、スエズ運河をとる航路が幹線である。

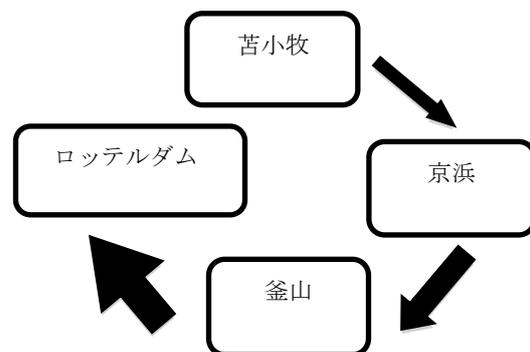


図-2 現東アジアからヨーロッパへの物流

一般的に、ヨーロッパとの貿易の際には、北極海航路を航路として選択した方が時間面・経済面の短縮になる。しかし、北極海航路には不確実性が存在しており、本研究ではこの不確実性を考慮した上で、北極海航路を活用した経路選択の分析をする。

4. モデルの定式化

本研究では仮想地域を対象としてモデル構築を行う。各地域にはただ1つの港湾施設が存在するものとする。また、地域間の貨物移動は船舶によってのみ行われるとする。本研究では船社の行動を港湾への公共投資が考慮できる最適化モデルによって表現する。

4.1. 前提条件

モデルを構築するにあたり、以下の条件を仮定した。

- ・ 輸送ネットワークは船社と荷主によって構成される
- ・ モデルフローは貨物配分と船舶配分の2層構造とする
- ・ 仮想地域内には船社はただ1つのみ存在してすべての地域間輸送を行う
- ・ 港湾では寄港による混雑が発生すると想定する
- ・ 同一リンクにおける往復船舶数が同一とは限らない
- ・ トランシップ貨物は中継港で積み替えを行う全ての貨物とする
- ・ 積み残しは発生しない

4.2 不確実性が存在する理由

北極海航路では距離が短縮することによるメリットがあるが、不確実性が存在する。この不確実性が存在する理由としては以下のようなことが挙げられる。

- ・ 実勢価格が曖昧 (砕氷船による航行支援料金や水先案内人の費用など)
 - ・ 現在ロシアの避難港整備が遅れている
 - ・ 安全航行に関わる国際ルールが不十分
- ロシアの気象・海象、海図の情報精度が低い。
- ・ 2000年以降一貫して燃料費が上昇し、燃料費の相場が不安定。

4.3 貨物配分

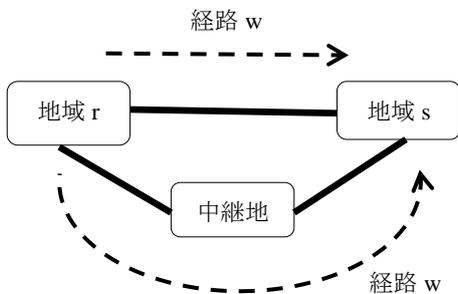


図-3 経路選択

貨物は、荷主にとって費用が最小化される経路に配分されていくものとした。したがって以下のように定式化

される。

$$\min C_f = \hat{a}_w C_{w,f} \quad (1)$$

$$C_{w,f} = \sum_l \delta_l^w C_{l,f} \quad (2)$$

$$C_{l,f} = (TL_l + d_l^h CW_h + CS_l) F_{l,f}(x_l) \quad (3)$$

$$F_{l,f}(x_l) = \left(\frac{VF_l}{VF_l - x_l} \right)^\alpha \quad (4)$$

$$VF_l \geq x_l \quad (5)$$

$$X_{rs} = \hat{a}_w d_w^s x_w \quad (6)$$

$$x_w \in \hat{d}_l^w x_l \quad (7)$$

- C_f : 荷主にかかるコスト
- $C_{w,f}$: 貨物に関する経路 w のコスト
- $C_{l,f}$: 貨物に関するリンク l のコスト
- δ_l^w : リンク l が経路 w に含まれるとき 1、そうでない時は 0
- T_l : リンク l の航行時間
- L_l : リンク l の運搬にかかる人件費
- δ_l^h : リンク l の到着港が港湾 h のとき 1、そうでない時は 0
- CW_h : 港湾 h における積替え等の荷役料
- CS_l : リンク l の単位貨物量あたりの輸送コスト
- $F_{l,f}(x_l)$: リンク l の貨物に関する混雑関数
- VF_l : リンク l の可能運搬貨物量
- α : パラメータ
- x_l : リンク l の配分貨物量
- X_{rs} : 地域 r から地域 s までの貨物量
- d_w^s : 経路 w が地域 r から地域 s の経路なら 1、そうでない時 0
- x_w : 経路 w に配分される貨物量

4.4. 船舶配分

船舶は配分された貨物量によって配分されるものとした。また、船社は全ての貨物を運んだ上で費用最小化になるよう投入可能な大型船舶から配分されるものとした。

$$\min C_s = \hat{a}_w C_{w,s} \quad (8)$$

$$C_{w,s} = \hat{a}_l d_l^w C_{l,s} \quad (9)$$

$$C_{l,s} = [T_l (MFO_m + CA_m) + d_l^h e_l^m PC_h] F_{l,s}(f_l^m) \quad (10)$$

$$F_{l,s}(f_l^m) = \left(1 + \frac{\sum_l^m d_l^m f_l^m}{VC_l} \right)^b \quad (11)$$

$$CS_l = \frac{C_{l,s}}{x_l} \quad (12)$$

$$\sum \varepsilon_l^m f_l^m \leq VC_l \quad (13)$$

$$x_j^m \leq \sum \delta_l^m f_l^m A_m \quad (14)$$

$$\frac{\partial x_l^m}{\partial f_l^m} \leq \frac{\partial F_m}{\partial f_l^m} \quad (15)$$

- C_s : 船社にかかるコスト
- $C_{w,s}$: 船舶に関する経路 w のコスト
- $C_{l,s}$: 船舶に関するリンク l のコスト
- MFO_m : 船型 m の燃料費
- CA_m : 船型 m の船費
- ε_l^m : リンク l に投入される船型 m の大きさによって変化するパラメータ
- PC_h : 港湾 h の入港費
- $\Phi_{l,s}(f_l^m)$: リンク l の船舶に関する混雑関数
- f_l^m : リンク l に配分される船型 m の隻数
- δ_l^m : リンク l に船型 m が航行可能なら 1、そうでない時は 0
- VC_l : リンク l の航行可能船舶数
- A_m : 船型 m の最大可能積載量
- F_m : 仮想地域内の船型 m の総数

4.5 不確実性の導入

ここで、船舶配分に 4.2 でも述べた不確実性を北極海航路に適応する。全ての不確実性を考慮することはできなかったが、本研究では不確実性をまず避難港整備の遅れ、国際ルールの不十分さ、ロシアの気象・海象、海図の情報精度が低いことからリンク l の航行時間に適応する。もう一つは、燃料費の相場が不安定なことから燃料費で適応し、これらは正規分布に従うと仮定し、(3)と(10)の式を再度、定式化した。

・ 貨物配分

$$C_{l,f} = (T_l L_l + d_l^h C W_h + C S_l) F_{l,f}(x_l)$$

$$E[C_{l,f}] = E[T_l] L_l F_{l,f}(x_l) + (d_l^h C W_h + C S_l) F_{l,f}(x_l) \quad (16)$$

$$V[C_{l,f}] = L_l^2 F_{l,f} V[T] \quad (17)$$

・ 船舶配分

$$C_{l,s} = [T_l (MFO_m + CA_m) + d_l^h \varepsilon_l^m PC_h] F_{l,s}(f_l^m)$$

$$E[C_{l,s}] = E[T_l] E[MFO_m] F_{l,s}(f_l^m) + E[T_l] CA_m F_{l,s}(f_l^m) + CA_m + d_l^h \varepsilon_l^m PC_h F_{l,s}(f_l^m) \quad (18)$$

$$V[C_{l,s}] = (F_{l,s}(f_l^m))^2 (V[T_l] + E[MFO_m]^2) + (V[MFO_m] + E[MFO_m]^2) - (E[T_l] E[MFO_m])^2 + (CA_m F_{l,s}(f_l^m))^2 V[E] \quad (19)$$

4.6 均衡判定

本研究では貨物・船舶配分モデルの最適解を求める際、均衡判定を用いる。貨物及び船舶のコストが定まった段階で、貨物に関するコストの $n-1$ 回目と n 回目の誤差

により均衡判定を行い、判定式は(15)式とする。

$$\left| \frac{C_f(n) - C_f(n-1)}{C_f(n)} \right| \leq 0.0001 \quad (20)$$

また、条件を満たさない時は(20)式のように、単位貨物あたりの船舶コストを更新し、再度貨物配分・船舶配分を行うこととする。

5. ケーススタディ

2050 年を想定し、北海道(苫小牧)、東京(京浜)、東釜山、の 4 港湾のみを対象とし地域間の貨物は全て上記の港湾のみを利用するものとして分析を行う。現在の主な航路は図-3 のようになっており、ロッテルダム - 苫小牧間の貨物は必ず釜山、または京浜において積替えられているものと仮定する。

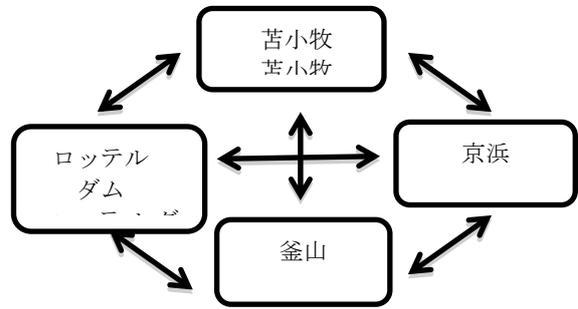


図-4 2050 年を想定したケーススタディ

地域間の現状における OD 貨物量は、国土交通省の港湾統計⁶⁾および日本海事センターの海上輸送情報⁷⁾をもとに、表-1 のように設定した。

表-1 OD 各貨物量

| 発 | 北海道 | 東京 | 東アジア | ヨーロッパ |
|-------|--------|---------|-----------|-----------|
| 北海道 | - | 38500 | 137400 | 525 |
| 東京 | 38800 | - | 1421200 | 170 |
| 東アジア | 141500 | 1365200 | - | 132160000 |
| ヨーロッパ | 11541 | 5418 | 325470000 | - |

6. 考察

図-5 のように 2050 年には現状の航路であるスエズ運河航路と不確実性を考慮した北極海航路どちらの使用も見られると考えられる。経路選択としては、図-4 で示しているようにロッテルダム-苫小牧間が北極海航路で通行することにより、ロッテルダム-釜山間のシェア率が減少することが予想される。日本、釜山の物資が苫小牧港に集まりそこから北極海航路に集まりヨーロッパに輸出する。これにより苫小牧港を軸とし、今後の国際競争にも影響が出てくるであろう。

これらのシミュレーション結果は発表時に述べる。

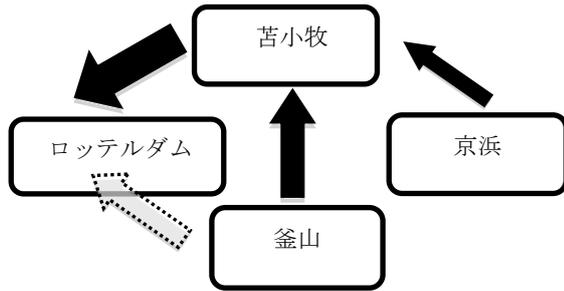


図-5 北極海航路を活用した東アジアからヨーロッパへの物流

7. 今後の課題

モデル分析の結果から、不確実性を取り込んだ北極海航路の利用可能性が明らかになる（これは、発表時に述べる）。これが分かったうえで、そのリスクをどのように回避してゆけば良いのであろうか。以下に、今後の課題としてまとめる。

最初に考えるべきことは、北海道の国際市場戦略を、物流ではなく商流の中で捕えることである。かつてのEU統合は、欧州の小国が勃興する中国市場に乗り出すための、稀有壮大な社会実験であった。欧州諸国の北極海航路への着目点は、勿論、中国を中心とした東アジア市場戦略である。この大きな流れの中で北海道が展開できる戦略は、物流上の中継拠点かも知れない。一方、北海道の主要産業である安全な農水産物を欧州に送りたくても、北海道で扱う量からみると世界の市場戦略には乗らない。ここで重要なことは戦略的補完性であろう。交流相手はどこか誰なのかを見極めて、北海道と交流することで、相互に補完しながら、双方が成長してゆく戦略が重要である。交流には必ず相手がある。北海道の規模に適合したパートナーとして、例えば、北欧の高所得者層があるのならば、徹底して相手の需要とその変化を把握して、こちらの生産構造も変えて行くことが必要である。北海道の生産物を売るのではなく、相手の需要に合わせて生産物を作り変えゆく弾力的・持続的な商流が求められる。

次に、物流上の二つの課題解決が必要とされる。一つ目は、通年の航路利用でなくても（五か月間のみの航行）、寄港地での安定した航行支援が受けられるか、という課題への対応である。二つ目は、地政学上や商習慣の違いから生じるリスクへの対応であり、以下に示す3つの要点があろう。

(1)客観的で透明な判断

- 政策判断（政策目標との整合性）
- 効率性判断
- 経営としての判断（コスト、資金面）

(2)リスクマネジメント

- リスクの洗い出し
- （計画、運営、需要、技術、資金、規制、組織）
- 官民のリスク分担
- リスクの引き受け方のルール化・契約

(3)必要な手続き

- 関係者の同意（目標、コスト、リスク）
- 国際市場戦略の立案
- 民間がビジネスチャンスとして認識する状況作り
- 協議会などによる調整
- （事業者間、地域経済界間、など）

短期的・具体的な研究課題は、①北海道を拠点とした北極海航路輸送ネットワークモデルを提案し、欧州・東アジア・日本間の物流の相互関係を視野に入れて分析することと、②欧州・東アジア・日本それぞれの評価軸のもとで、北極海航路を活用して日本及び北海道が志向すべきシナリオについて考察することである。

8. 結論

本研究は、わが国の欧州貨物を北海道に集約し、北極海航路を使って輸送する可能性をモデル分析するとともに、分析結果を使った今後の検討課題をまとめることである。本研究から分かったことは以下の点である。

1. 不確実性を取り込んだ北極海航路の選択モデルを定式化できた
2. リスク回避策について考察した

なお、本研究のモデルシミュレーション結果は発表時に述べる。

参考文献

- 1)竹林幹雄「港湾政策・開発が東アジア海上コンテナ貨物輸送市場に与える影響分析-ベトナム・ホーチミン港の場合」:土木計画学研究・論文集, Vol.20, No.3, 2003.
- 2)竹林幹雄「国際海上コンテナ輸送市場モデルの開発:定期航路におけるループの戦略的再編」:第30回土木計画学研究・講演会, 2004.
- 3)竹林幹雄「航路再編の影響を検討するための国際海上コンテナ貨物輸送市場モデルの構築」:第32回土木計画学研究発表会・講演集, 2005.
- 4)中村雄貴:港湾機能を考慮した船社の最適行動モデルの構築 北海道大学2014年度卒業論文
- 5)日向美郷:港湾機能及び輸出貨物量の変化による船社の最適行動分析 北海道大学2015年度卒業論文
- 6)国土交通省:「最新統計表 港湾調査」(<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/saisintoukei.html>)
- 7)公益財団法人 日本海事センター「海上輸送情報」(<http://www.jpmac.or.jp/relation/transport.html>)