

北極海航路による北海道・欧州間海上貨物輸送モデルの提案とその経済効果に関する研究

北海道大学 北極域研究センター教授 大塚 夏彦
京都大学 経営管理大学院教授 古市 正彦

I. はじめに

1. 研究概要

北極海の夏期海水勢力の減退によって、2010年以降、北極海航路は無氷となる状態期間が拡大しつつあり、航行環境は急速に緩和し続けている。2010年以来、拡大傾向を見せてきた北極海航路の利用は、当面はロシア北極海沿岸の天然資源開発と生産物の輸送が主体となっていくと考えられる。しかし長期的な海水勢力減退状況のもとでは、北極海航路を通じた欧州・アジア間のコンテナ輸送は、輸送コスト、速達性、シーレーン確保などの点で有意となる可能性は否定できない。そこで本研究では、東アジア側の寄港地に苫小牧港を取り上げ、上海、プサンを合わせた3港と、欧州側はハンブルグ、ロッテルダム、フェリックストウの3港を結ぶ定期航路による輸送シナリオを提案した。就航する船は、貨物需要、北極海航路水深、砕氷船の船体幅を考慮して船型を4,000TEU積とし、耐氷構造とした。これを7隻投入し、夏期は北極海航路、冬期はスエズ運河を航行させ、49日ループによってウィークリーサービスを実施する。このシナリオについて、近年および将来の海水条件を考慮した北極海航路の航行速度および運航モデルを分析し、これに基づいて輸送コストについて検討した。

2. 北極海航路輸送の商業的価値に関する既往研究

北極海航路の国際的な商業利用に関する研究は、シップ・アンド・オーシャン財団によるINSROP/JANSROPプロジェクトに始まった。同プロジェクトでは、日本・旧ソ連・ノルウェーなどの研究者により、北極海航路に関する総合的な研究が展開され、167編の研究論文が発表された¹。Isakov(1999)はその中で北極海航路の経済性について考察した。しかし、その後の旧ソ連体制の崩壊やロシア経済危機、また大きく変動する海運市場の動向の中で、北極海航路は商業的価値を失い、研究対象となることは少なかった。しかし21世紀に入り、ロシア経済の復興、海水勢力の減退、海運市場や原油価格高騰などの環境の変化に伴い、その商業性が研究対象になってきた。近年に実施されている多くの研究は、直接的あるいは間接的にINSROP/JANSROPプロジェクトを基盤に、新たな知見、市場環境、制度などをとりいれて進められてきたと言える。²Ragner(2000)³は北極海航路の商業的なポテンシャルについて検討した。Arpiainen(2006)⁴は北極海航路を利用したアラスカ・欧州間の輸送シナリオ、砕氷貨物船仕様及び輸送コストについて検討した。Omre(2012)⁵は横浜・ロッテルダム間のコンテナ輸送の可能性について検討した。これらの研究は、北極海航路の便益とともに不確実性について言及している。Furuichi(2014)⁶は、北極海航路による

輸送コスト検討におけるパラメータを整理し、各種の貨物輸送の経済性について検討した。また Kitagawa(2014)⁷は北極海航路のハブ港としての苫小牧港のポテンシャルについて考察した。

II. 北極海航路

1. 北極海航路の利用動向の分析

(1) 北極海航路の沿革

北極海を横断して大西洋と太平洋をつなぐ航路のことを北極航路と呼び、このうちロシアの沿岸海域を東西に結ぶルートを生北東航路、北米大陸の北極海沿岸に拓がる多島海を東西に横断するルートを北西航路、北極海の中央部を横断するルートを極点航路と呼んでいる。北極海航路とは、北東航路のうち、沿岸国であるロシアが定義した区間の名称であり、ノバヤゼムリヤ島の東岸を西端、ベーリング海峡を東端とする区間とする距離約 2,300 海里のルートである (図-1)。

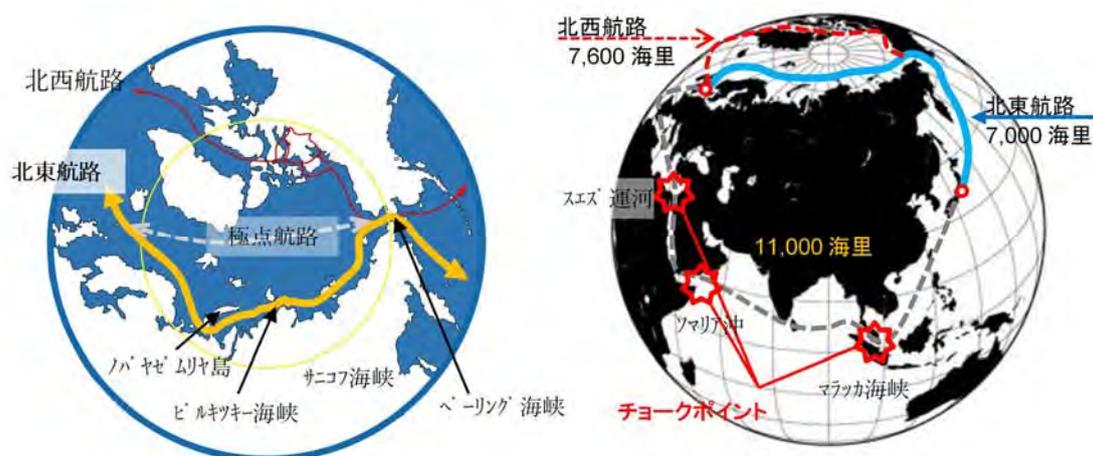


図-1 北極航路

北極海航路の歴史は大航海時代に遡る。16 世紀以降、欧州各国は北極海を新しい捕鯨場およびシベリアとの交易路として、次いで北極海を渡って大西洋と太平洋をつなぐ新しい航路を求めて、数々の探検を実施した。そしてついに 19 世紀末に、スウェーデン人ノルデンショルドによってノルウェーのトロンヘイムからベーリング海までの完全横断航海が成し遂げられ、北東航路が初めて啓開された。一方北西航路は、20 世紀初めにアムンゼンによって初めて横断航海された。

ロシア革命後の 1930 年代、旧ソ連は、砕氷船に率いられた貨物船団を運航して西欧との貿易を展開した。1980 年代には氷海商船の船団と、その運航支援のための原子力砕氷船を中核とする砕氷船団が整備された。旧ソ連時代、その北極海域は諸外国に対して固く閉ざされてきたが、1987 年、ゴルバチョフ書記長が、北東航路を国際商業航路として解放する

ことを宣言した。また北極海航路区間の航行に関し、ロシア当局への事前申請、原子力砕氷船に支援された航行とその費用の徴収などが法制化された。1995年には、INSROP/JANSROPプロジェクトのもと、ロシアの氷海商船を使って横浜からキルケネス（ノルウェー）間の実践航海試験が実施された⁸。しかしその後は、ロシア経済の混乱や、北東航路の国際的な経済競争力低下などのため、国際的な関心を集めることはなかった。

北極海航路を使うと、欧州北部と東アジア地域との海上輸送距離を、現在のスエズ運河回りルートよりも30%~40%短縮することができると同時に、ソマリア沖の海賊や輻輳するマラッカ海峡などのチョークポイントを回避することができる。また、地球温暖化による北極海の海氷減少により、氷海航行が容易になりつつあることから、近年注目を浴びるようになった。

(2) 北極海航路の概要

北極海航路の最も大きな特徴は、大西洋地域と太平洋地域を東西に結ぶ最短の海路である点である。特に欧州北部と東アジアの主要港湾間距離は、同じ起終点間をスエズ運河を通過するルートに比べて30~40%短縮される。図-2はロッテルダム港からアジアの主要港までの距離を北極海航路ルートとスエズ運河ルートで比較した結果である。

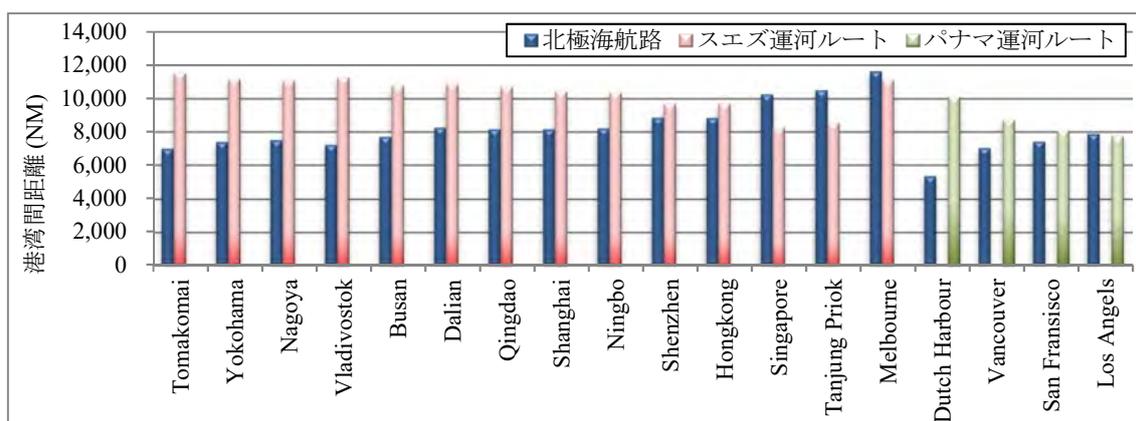


図-2 北極海航路による港湾間距離

北極海航路が通るロシアの沿岸域は全般的に浅く、西から順に、ノバヤゼムリヤ島、セベルナヤゼムリヤ島、ノボシビルスク諸島、ウランゲル島によって、カラ海、ラプテフ海、東シベリア海、チュクチ海に分けられ、航路はこれらの島と大陸または島同士の間の海峡を通るものとなっている（図-3）。これらの海峡のうち、ビルキツキー海峡は海氷の厳しさから、サニコフ海峡は航路水深が浅いために喫水が12.5mに制限されることから、航路の中では最も航行の難しい区間となっている。

北極圏では、夏期は終日太陽が沈まない白夜の期間が出現する一方、11月には急速に日照時間が短くなり、終日太陽の出ない極夜の期間が始まる。北極海航路は冬期には厳しい海氷に覆われるものの、多くの区間において、夏期には海氷が融けて開水面が広がるようになっている。アメリカ海洋大気庁 NOAA による、1948年からの観測記録を使って全球の気象を再解析したデータセット NCEP/NCRR Reanalysis⁹より、2015年における北極海航

路ルート上の月平均気温を抽出した結果を図-4 に示す。気温は西側のカラ海および東側入り口となるチュクチ海で比較的高く、その間のラプテフ海および東シベリア海は相対的に低くなっている。6月～9月の4か月間で月平均気温は概ねプラス、5月および10月以降は氷点下となる。また、10月から11月の間に急激に気温が低下し、11月の月平均気温は主要区間で-15℃以下に達する。



図-3 北極海航路ルートと主要海峡

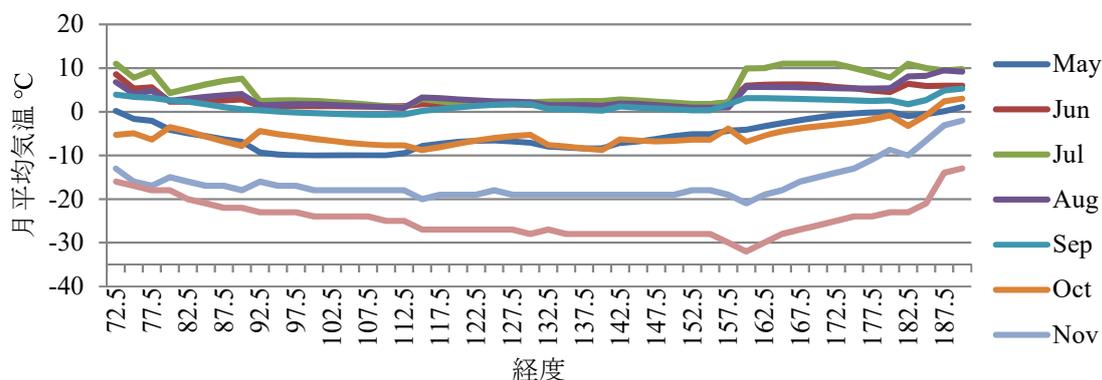


図-4 北極海航路区間の月平均気温(2015年)

出所) NCEP/NCAR Reanalysis 1: Surface

NCEP Reanalysis data provided by the NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA, Web site at <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>

より著者作成

北極海の海氷は、衛星観測が始まった1970年代以来、継続的に減少してきた(図-5)。特に21世紀に入って、夏期の海氷面積の減少傾向は加速し、2007年には衛星観測史上初めて北西航路から海氷が無くなった。一方、北極海航路はすでに1990年代に開通する(海氷が無くなる)ことがあったが、近年は、夏期には常態的にほぼ開通するようになってきた。2012年9月には、北極海の海氷面積は衛星観測史上最少を記録した。2016年における北極海の最小海氷面積は、衛星観測開始以来、月平均では5番目、日平均では2番目に少ないものとなった。2014~2015年における北極海航路ルート上の海氷密接度の半月平均値の変化を、ノバヤゼムリヤ島北端から東方向への距離に沿って整理した結果を図-6に示す。

6月後半にはラプテフ海を除いて海氷がかなり残るが、その後急速に減少し、8月下旬から10月初旬にかけて最も少なくなる。このうち9月には、航路区間上からほとんど海氷が無くなる。しかし10月後半には急速に海氷面積は増大し、11月後半には航路のほとんどが海氷に覆われる。

気候変動に関する政府間パネル第5次評価報告書¹⁰では、北極は他の地球の地域に比べて約2倍の速さで平均気温が上昇しており、科学的な不確実性を考慮しても、2050年代には夏期に北極海から海氷が無くなる可能性のあることが指摘されている。したがって本論では、北極海航路ルート上の海氷条件は、今後も緩和する傾向が続き、無氷状態になる期間は拡大すると想定することにした。

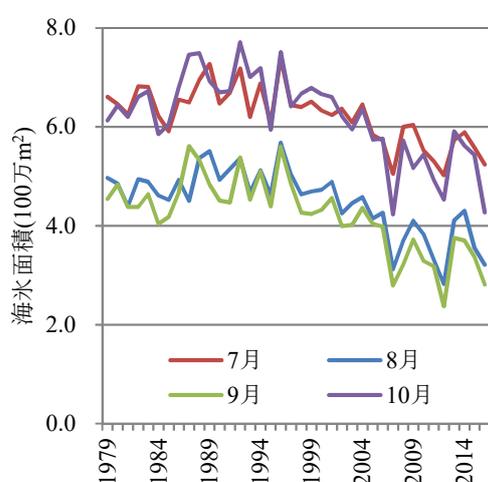


図-5 北極海の月平均海氷面積変化¹¹

出所) The National Snow and Ice Data Center, University of Colorado, Boulder, (NSIDC), https://nsidc.org/data/seaice_index/archives.html より著者作成。

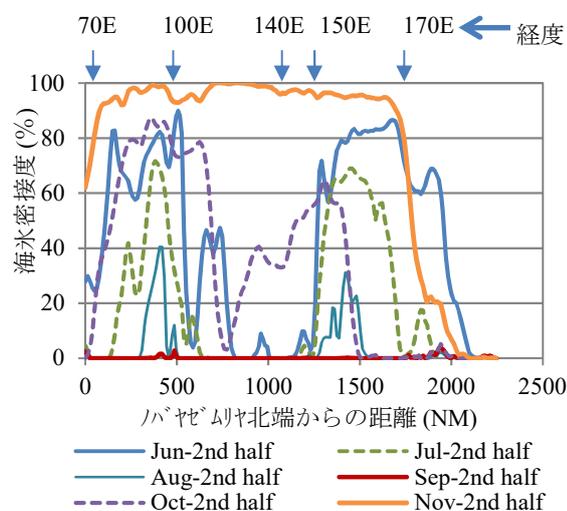


図-6 北極海航路上の半月平均海氷密接度

出所) 北極データアーカイブ(ADS)、国立極地研究所北極観測センター、<https://ads.nipr.ac.jp/portal/index.action?lng=ja>, より著者作成。

(3) 北極海航路の利用動向

旧ソ連体制が崩壊するまで、北極海航路はロシアの北極沿岸拠点への国内輸送を主体に継続的に貨物量を増やし、1980年代後半にはそれまでの歴代最大の658万トンを輸送した。しかし旧ソ連体制の崩壊、並びにその後の経済危機等によって急激に貨物量は減少した。その後21世紀に入って、アジア諸国の経済発展と天然資源や原油高騰などの社会・経済環境の変化のもと、国内経済の復興やロシア北極圏での資源開発の拡大によって再び増大に転じ、2016年には歴史上最大値の690万トンに達したという¹² (図-7)。

特に21世紀に入ってからは、北極海海氷勢力減退によって航行環境が大幅に緩和しつつあることが明らかになり、欧州アジア間の国際輸送路としての可能性に国際的な関心が集まるようになった。そして2010年、北極海航路による欧州・アジア間の貨物輸送の商業運航が試験的に実施され、これを契機に2013年にかけて、北極海航路による欧州・アジア間の輸送実績が急拡大した。2013年に北極海航路を横断して輸送された貨物量は136万トン、

横断航行船舶数は 71 隻に達した (図-8)。以下本論では、北極海航路を横断して大西洋地域と太平洋地域の間を航海する運航をトランジット航海、運ばれた貨物をトランジット貨物と呼ぶことにする。

これまでに欧州側からトランジット輸送された貨物は、鉄鉱石 (フィンランド及びロシア産)、ガスコンデンセート、ナフサ、LNG などである。またアジア・太平洋側からはジェット燃料、石炭、冷凍水産品などが輸送された。アジア側の主な仕向け先は、中国、韓国である。日本には、ノルウェーのハンメルフェストから LNG が 2 度、欧州からナフサが 2 度、アイスランドから冷凍鯨肉が 2 度輸送された。

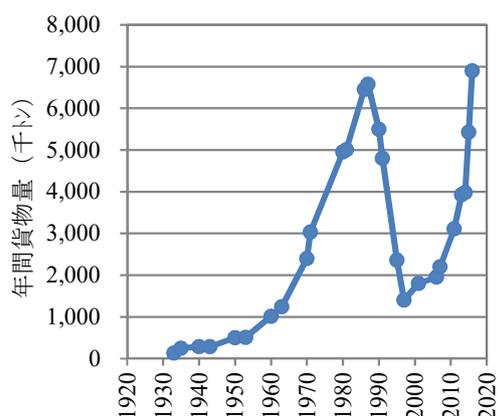


図-7 北極海航路の総輸送貨物量 (1933~2016)

出所) NSRA(<http://www.nsra.ru/en/razresheniya/>)、CHNL Northern Sea Route Information Office(<http://www.arctic-lio.com/>)、Rosatomflot(<http://www.rosatomflot.ru/?lang=en>)へのヒアリングをもとに著者作成。

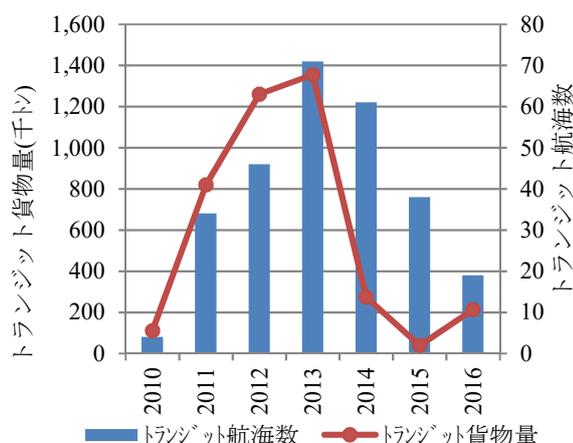


図-8 トランジット貨物量と航海数

出所) NSRA(<http://www.nsra.ru/en/razresheniya/>)、CHNL Northern Sea Route Information Office(<http://www.arctic-lio.com/>)及び、著者調査をもとに著者作成。

しかし 2014 年、船舶燃料価格の下落、中国における鉄鉱石市場価格の下落、国際海上輸送価格の下落などから、北極海航路を通じたトランジット輸送の経済的魅力は急速に減退した。さらに、ロシアのクリミア半島併合に対するロシアへの経済制裁の発動により、ロシアが管轄する北極海航路の利用における政治的リスクを回避する動きが加わり、北極海航路によるトランジット輸送は急速に減退・低迷することとなった。この状況は 2016 年の夏シーズンにおいても継続している。にもかかわらず、北極海航路による総貨物量は依然として増大している。これは、ロシア北極海沿岸における天然資源開発の拡大を背景に、資源開発関連貨物の輸送が活発化していることに起因している。図-9 に、2014 年 6~11 月に北極海航路を航行した貨物船の仕向け先と隻数を示す。

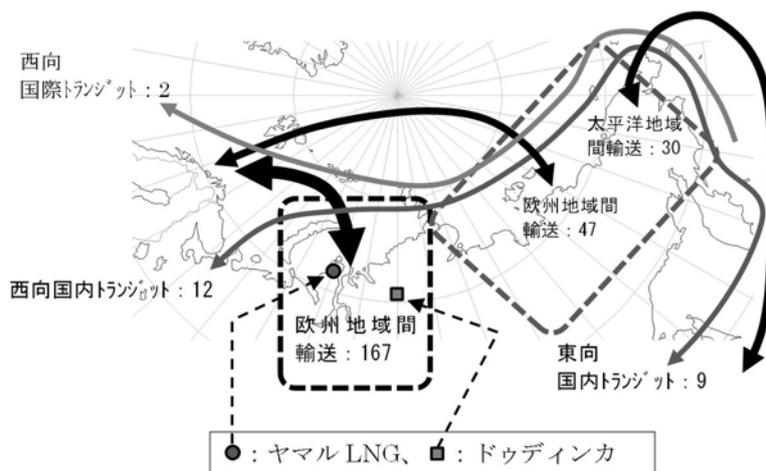


図-9 北極海航路貨物の仕向け先(2014)

これより、欧州側からカラ海地域への航行数が突出していることがわかる。その主体となっているのが、ヤマル半島で進められているヤマル LNG プロジェクト（サベッタ港）と、エニセイ川下流の鉱業活動の拠点であるドゥディンカ港である。サベッタ港には2014年以來、欧州及びアジア地域から LNG 基地建設のための資機材の輸送が本格化している。2015年からは、総数150基、総重量45万トにのぼる大型プラントモジュールの、アジアの製造基地からサベッタ港への輸送が始まったところである。また、この建設プロジェクトのために多くの作業船もサベッタ港へ集結している。

このほか夏期の海氷勢力の減退によって、客船が北極海を航行できるようになってきており、客船による観光クルーズへの関心も高まりつつある。2015年には複数の客船が北極海航路に入った。2016年は北西航路を横断する観光クルーズが実施された。またロシアは従来から、原子力砕氷船による北極点クルーズを実施してきた。

図-10は6月～11月の6か月間に北極海航路を航行した船舶の種類を整理した結果である。このように、北極海航路の利用は、2010年に始まったトランジット輸送の拡大に続き、ロシア北極圏における資源開発が大きな駆動力となって拡大し、トランジット輸送はその後減退したものの、資源開発関連や観光クルーズなど航路の利用が多様化し、北極海航路に進入する船舶の種類も多様化する傾向を示している。

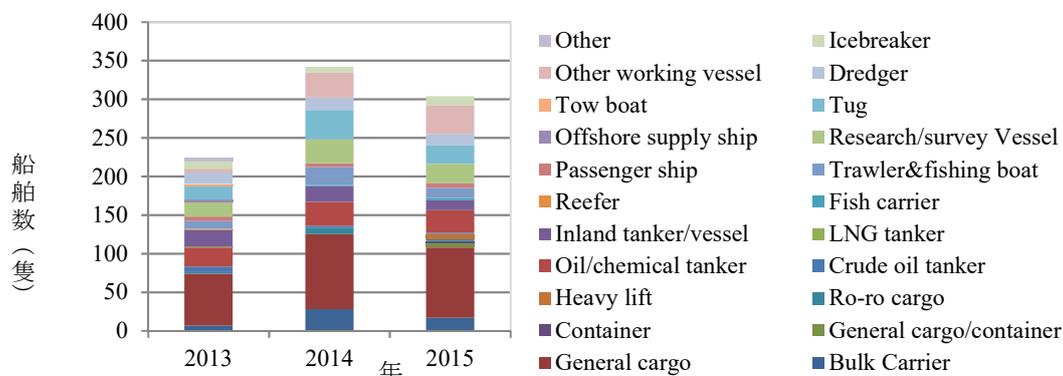


図-10 北極海航路を航行した船舶の種類 (6月～11月)

出所) NSRA(<http://www.nusra.ru/en/razresheniya/>)及び、著者調査をもとに著者作成。

(4) 衛星 AIS による北極海航路の航行速度の分析

2002 年の SOLAS 条約（海上における人命の安全のための国際条約）の改正により、国際航海に従事する 300 トン以上の船舶には AIS(Automatic Identification System)の搭載が義務付けられた。AIS は船上から船名など船舶を識別する静的情報、船位や船速などの動的情報を陸上局に送信している。AIS が送信する信号は人工衛星でも受信することができ、今日では多数の人工衛星による AIS 情報を取得することが可能となっている。本研究ではこの衛星 AIS 情報を用いて北極海航路における船舶の航行実態を調査し、これをもとに北極海航路の航行可能速度を分析した。結果を図-11 に示す。

図-11 は 5,000DWT 以上の貨物船 13 隻の航行記録を示したものである。これ以外の船舶を含め、海氷がほとんど無かった 8 月下旬～10 月上旬は、ほとんどが砕氷船支援を受けない単独航海で、船速は 10～14kn であった。また、その前後で海氷のあった月も、砕氷船支援によって船速低下事例はわずかであった。ただし 6 月～7 月は航行海域が西部のカラ海にほぼ限られ、船速は 8～10kn 程度であった。これは海氷状況が厳しかったことによる減速と考えられる。この中には、厳しい海氷に阻まれて、砕氷船支援航行にもかかわらず氷域通過に船速 1kn 程度で数日間を要した事例が確認された。しかしこれ以外の、船速が低下した多くの事例においては、海氷が原因と思われるような氷況ではなく、運航業務上の都合での減速が主体であったものと推定している¹³。

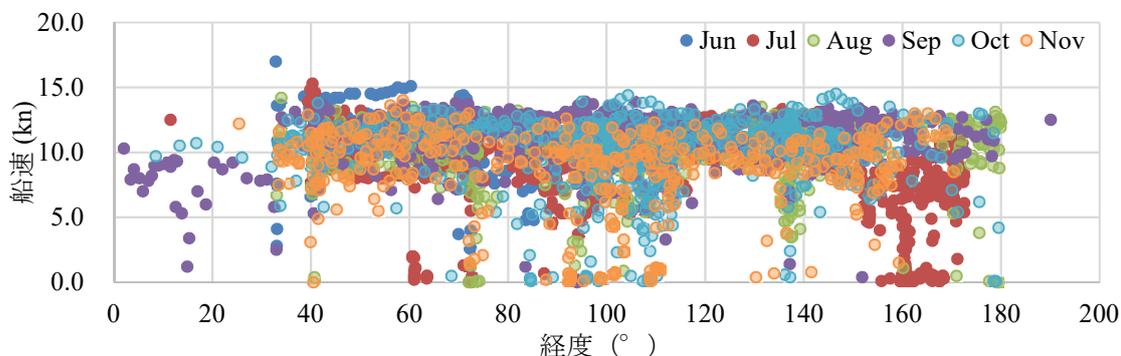


図-11 衛星 AIS にて取得して北極海航路航行船舶の船速（2014 年 6 月～11 月）

Ⅲ. 北極海航路の将来利用に関する考察

1. 北極海航路による貨物輸送コストの特徴

(1) バルク輸送

貨物船の一般的な運航コストおよび北極海航路利用時の主要なコスト要素を表-1 に示す。ドライバルクや液体バルク貨物の海上輸送コストにおいては、一般に燃料費が最も大きなコスト要素となり、輸送コストの 30%～50%程度を占めることが多い。また北極海航路を利用した欧州・アジア間のバルク輸送の場合、砕氷船支援料・水先案内料が燃料費と同等

程度を占める。このバルク輸送では、同じ港湾間をスエズ運河経由で輸送する場合に比べ、輸送距離が30～40%短縮され、燃料・油費および貨物船の日当り運転経費の削減が可能となる。また北極海航路区間は、海氷に対する安全のため、通常海域よりも速度を落として運航することが多く、これも燃料削減につながる。これに加え、砕氷船支援料がスエズ運河通航料と同程度まで割引されれば、燃料等の削減によって北極海航路特有の費用増が相殺される。この結果、北極海航路輸送は、同型船であれば、スエズ運河ルートによる輸送コストに対して優位となる傾向がある¹⁴。

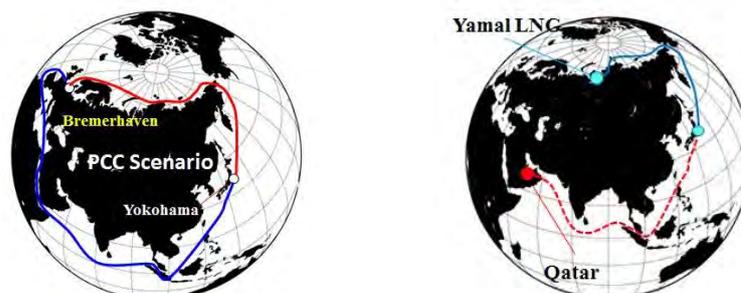


図-12 北極海航路による貨物輸送ルート例

表-1 北極海航路の貨物輸送コスト構成要素

資本費	建造費を供用年数割して償却する。
砕氷船利用料	海氷状況、季節、支援を受けた海域数、GTに応じて定められている（ロシア国内法）上限価格の範囲内で、ROSATOMFLOT社との契約交渉で定められる。
NSR Pilot料	パイロット費、ロシアの会社に支払う
Suez 運河利用料	スエズ運河庁に支払う。
船員費	人件費
保全費	船用品費
	潤滑油費
	ドック費
	修理・部品費
保険費	船体保険、船価に対する比率で評価。
	PI保険、船価に対する比率で評価。
燃料・油費	距離、機関出力、航行速度等により変動する。
港費	港湾使用料
貨物積み込み費	コンテナハンドリングチャージ、完成自動車積み込料など。
諸経費・雑費	
一般管理費	
支払利息	

(2) LNG 輸送

LNG 輸送では、船体の減価償却費が輸送コストに占める割合が燃料費と同等かそれ以上となる傾向があり、輸送日数の減少は輸送コスト削減に大きな効果を発現しうる。北極海航路を通じてサベッタ港（ヤマル LNG）から横浜港に LNG を輸送する場合、その輸送距離はカタールからの輸送距離の約 76%、約 1,600 海里の短縮となる。ヤマル LNG とカタール産 LNG の横浜港までの輸送コストを比較すると、北極海航路の距離短縮効果によっ

て、高額な氷海 LNG タンカー建造費による船体償却費がかなり相殺され、ヤマル LNG の輸送コストは、カタール産 LNG の輸送コストをわずかに上回る程度と推算された¹⁵。

(3) 完成自動車輸送

完成自動車(PCC)による完成自動車のブレーマーハーフェン～横浜間の輸送では、LNG と同様に輸送期間短縮による船体償却費削減が、北極海航路における費用増を相殺し、スエズ運河ルートよりも優位になる可能性がある結果となった。

(4) 輸送コストの変動要因

燃料価格の変化によって北極海航路による輸送コストの優位性はかなり変動する。2010 年台初頭は燃料価格が高騰し 1ton 当り 700USD に迫っていたため、北極海航路の輸送コスト削減効果に注目が集まった。しかし近年は燃料価格市場が 300USD/ton 程度まで大幅に下落し、北極海航路によるコスト削減幅が縮小した状態にある。またバルク輸送では、燃料費に匹敵するコスト要因である砕氷船支援料が、契約交渉での値引き率だけでなく、ロシア・ルーブルの価値によって大きく変化する。ロシア・ルーブルは米ドルに対し、トランジット航路が活発であった 2013 年 (9 月、30 Rub/USD) に比べ、現時点では約半分 (60 Rub/USD) の価値となっており、ルーブル建て契約であれば砕氷船料金は 50%ディスカウント状態となる。

以上の様に貨物の種別や輸送条件によって、北極海航路による輸送コスト削減の有効性が発現しうる。また海氷条件の緩和により、北極海航行のコスト増要因も緩和する。しかし実際の輸送価格は多くの市場要因から形成されており、上記特徴がそのまま価格形成につながるとは限らない。

2. 北極海航路貨物量の展望

(1) 天然資源開発と不定期輸送

北極海の夏期海氷勢力の減退によって、2010 年以降、夏期の北極海航路は無氷となる状態期間が拡大しつつあり、航行環境は急速に緩和し続けている。2010 年以来、拡大傾向を見せてきた北極海航路の利用は、2014 年以降、ロシア北極海沿岸の天然資源開発関連貨物と生産物の輸送が主体となっていることが明らかになってきた。特にロシアでは、カラ海沿岸の石油・天然ガス開発を積極的に進めており、海上積出の対象となる生産計画をそのまま積上げると、2020 年代には年間の石油・天然ガスの海上輸送貨物量は史上最高を記録した 2016 年の北極海航路全貨物量の約 10 倍に達することになる (図-13)。またロシア政府は、北極海航路を横断して太平洋地域と大西洋地域を結ぶトランジット輸送貨物量の将来計画を年間 500 万トンと見積もっている¹⁶。前者はすでに生産開始段階にある案件を主体とした生産計画に基づくものであり、実現しうる最大量と思われるが、後者のトランジット貨物量には根拠は示されておらず、極めて楽観的な期待値にすぎないといえる。

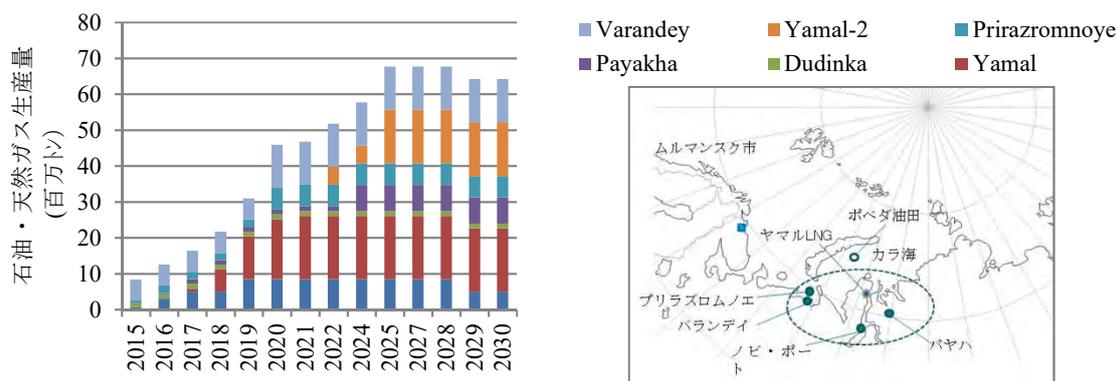


図-13 ロシア北極海沿岸からの石油・天然ガス生産計画 (海上積出) 17, 18, 19

出所) Novatek、Gazprom Neft、Rosatomflot による公表資料をもとに著者にて作成

とはいえ、2017 年末に生産開始が見込まれているヤマル LNG プロジェクトでは、本格稼働時には年間 550 万トン×3 系統、合計 1,650 万トン/年の LNG 生産能力を有する。生産された LNG は、夏期には北極海航路を東航してアジア市場へ、冬期は西航してゼブルージュに輸送される計画である。LNG 輸送には、砕氷船なしで氷海を航行する能力のある 15 隻の砕氷 LNG タンカー(17 万 m³)が就航する。このうち 3 隻については邦船社が船主となることが決まっている。もし計画通りにフル稼働すると、年間約 160 回の積出し航海と同数のバラスト航海が行われることになる。このようにヤマル LNG は、今後の北極海航路輸送において最大シェアを持つ貨物として出現する見込みである。ヤマル LNG サイトの拠点港として建設されたサベッタ港は、サイト建設関連貨物の輸送にて年間 200 万トンの貨物を扱うようになり(2015 年)、貨物量ならびにインフラ施設の規模において、北極海航路内では最大の港になっている²⁰。またサベッタ港は北極海航路区間において、大型船が入港でき、かつ通年で海上輸送が展開される、初めての港となった。

また、ヤマル LNG に続く LNG 生産プロジェクトの計画がサベッタ港の対岸で進められており、その建設が始まると、ヤマル LNG の場合と同様に多くの資機材がヤマル半島に輸送されることになる。こうして今後しばらくの間、北極海航路は石油・天然ガスと、そのサイト開発に関連する資機材等の輸送を主体として利用されることが確定的となってきた。

以上の様に現在の北極海航路輸送は、北極域の資源開発活動を原動力にした不定期輸送において、拡大する様相を見せている。今後、ヤマル LNG を筆頭とする大幅な航行船舶数増大により、今後は航路の海水環境情報が大幅に増大するとともに、緊急対応にも現在より有利な環境が出現する。同時に非常事態発生リスクも増大する。こうした航路利用の拡大は、ロシアが航行支援インフラを充実させる背景にもなる。また、これまでは試験的に実施されてきた不定期の輸送が定常的かつ規模も大きくなり、事業段階に移行したという点で、今後の利用に対する大きなインパクトになると考えられる。

(2) 欧州・アジア間のコンテナ輸送

不定期輸送の拡大が確実になると、今後の興味は、海水勢力減退がさらに進行した場合に、現在の国際海上物流ネットワークの中から貨物の一部が北極海航路にシフトする事態

が起きるかどうかである。

2012年中国は、2020年には同国と欧州間の海上貨物の5%~15%が北極海航路を利用する可能性があるとの見解を公表した。中国のCOSCO Shippingは、ここ数年来継続して北極海航路輸送への強い関心を表明しており、2013、2015、2016年に自国のコンテナ搭載可能な耐氷船(1,226TEU)による北極海航路の試験運航を実施してきた。同社は、輸送期間短縮ならびに消費燃料削減を動機に、中国政府が進める北極政策のもと、今後も試験運航を継続するとともに、将来の商業運航に積極的な展望を示している²¹。しかしながら今日の標準的なコンテナ輸送はウィークリーの定時サービスを前提としており、通年運航も必須である。また、氷海を航行できる構造・仕様（アイスクラス）を有しているコンテナ船は少なく、その多くはバルト海およびセントローレンス運河海域で活動するにとどまる。これらの船の多くは、比較的緩い海氷条件に適応するタイプ（FS 1C以下）のものであり、北極海を航行可能なコンテナ船の数は非常に少ないのが現状である（図-14）。このため、もし荷主からの需要がある程度見込まれても、すぐに定期輸送サービスを実現できる状況にはない。

とはいえ長期的な視点において、北極海航路の航行可能期間が拡大すると同時に、燃料価格が再び高騰すれば、現在のスエズ航路に対する北極海航路の競争力が高まり、もし通年運航が現実的になれば、スエズ航路の貨物のかなりの部分が北極海航路にシフトするという研究報告も出ている^{22,23}。ただし実際は2050年代においても、冬期の北極海は、航行には厳しい海氷に覆われる可能性が高く、通年での北極海航路運航の商業性には多くの課題がある。したがって北極海航路による定期輸送では、夏期は北極海、冬期はスエズ航路を利用する併用モデルの可能性を探りつつ、通年運航の可能性を検討することになる。またその貨物需要については、夏期を中心に速達性を重視する貨物、価格の高い貨物、季節性のある貨物などを候補として、北極海航路を利用するビジネスモデルを開発することが必要であると考えられる。

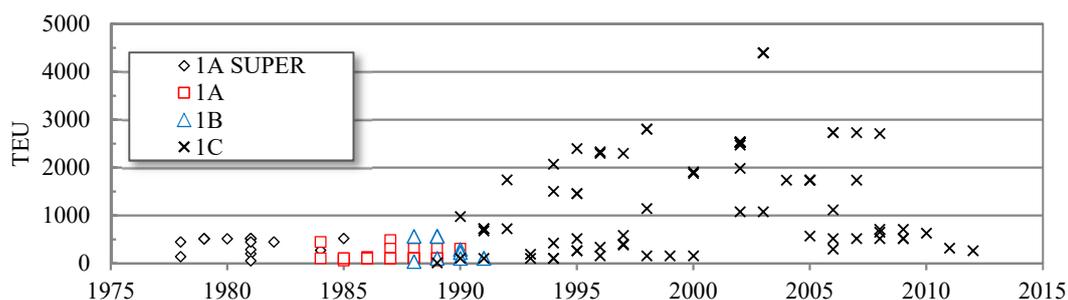


図-14 アイスクラス・コンテナ船建造状況

出所) 各国船級協会資料より著者作成

IV. 北極海航路・スエズ航路併用シナリオによるコンテナ輸送

1. 北極海航路・スエズ航路併用シナリオ

前述のように、北極海航路を用いたコンテナ輸送サービスの可能性は、現時点では否定的である。しかし北極海の夏期における海氷減退はほぼ確定的であり、長期的には、北極海航路の利用可能期間の拡大と航行条件緩和が大きく進む可能性がある。この長期的な海氷勢力減退状況のもとでは、北極海航路を通じた欧州・アジア間のコンテナ輸送は、輸送コスト、速達性、シーレーン確保などの点で有意となる可能性は否定できない。

そこで本論では、東アジア側の寄港地として横浜（または苫小牧）、上海、プサンの3港と、欧州側はハンブルグ、ロッテルダム、フェリックストウの3港を結ぶ定期航路による輸送シナリオを検討した。就航する船は、貨物需要、北極海航路水深、砕氷船の船体幅を考慮して船型を4,000TEU積とし、耐氷構造とした。これを7隻投入することにより、夏期は北極海航路、冬期はスエズ運河を航行し、49日ループによってウィークリーサービスを実施する（図-14、表-2）。日本の寄港地を横浜とした場合の往復輸送距離は15,902NMとなるのに対し、苫小牧港を寄港地とすると15,704NM、約200NMの短縮となる。

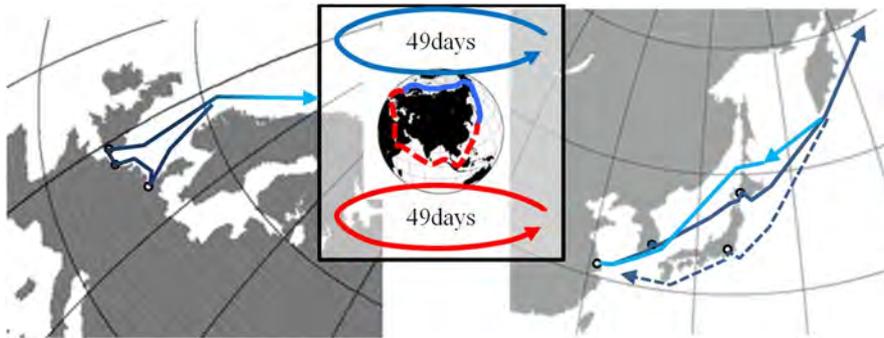


図-15 北極海航路・スエズ運河併用シナリオ寄港地（苫小牧ルート）

表-2 港湾間距離（苫小牧ルート）

上海港からの距離(NM)							
上海～釜山	釜山～苫小牧	苫小牧～ベーリング海峡	ベーリング海峡～ノバヤゼムリヤ	ノバヤゼムリヤ～ハンブルグ	ハンブルグ～ロッテルダム	ロッテルダム～フェリックストウ	合計距離
457	779	2,270	2,075	2,091	292	108	8,072
フェリックストウ港からの距離(NM)							
			フェリックストウ～ノバヤゼムリヤ	ノバヤゼムリヤ～ベーリング海峡	ベーリング海峡～上海		合計距離
			2,124	2,075	3,433		7,632
往復距離：15,704（横浜ルートの場合は15,902）							

2. 北極海航路によるコンテナ輸送コストの分析

(1) 海上輸送コストの推定

貨物船による海上輸送コストとして、資本費（船体の減価償却費）、燃料・油費、船員費、保全費、保険料、運河等通航料、港湾使用料、荷役料などが含まれる。北極海航路の場合にはこれに加えて、原子力砕氷船支援料、氷海水先案内人料金が必要になる。

① 資本費・減価償却費

新造船を建造した時の船価に基づいて、毎年の支払または資産価値の償却に充てるコストである。シップ・アンド・オーシャン財団²⁴による研究では、プロジェクト・ファイナンスの観点から新造船の建造費（船価）を金利7%、15年間元利均等払いの借入金によって賄い、その償還費用（船価の10.89%を15年間均等に償還）を毎年の資本費とした。本研究もこの方法を採用した。コンテナ船の建造費は、近年の新造船取引価格^{25,26}をもとにTEUを変数にして線形近似して算出した。ただしアイスクラスFS-1Aを保有することを想定し、通常船の建造費の1.2倍とした。なお、最新の超大型コンテナ船建造費については新造船契約報道をもとに仮定した。

表-* コンテナ船の検討緒元

規格	GT	機関出力	定格速度	船価(1,000USD)
耐氷 4,000TEU	42,485	37,680kW	25kn	54,088
通常 8,000TEU	82,634	68,000kW	25kn	87,473
通常 19,000TEU	190,000	63,000kW	23kn	140,000

② スエズ運河通航料・砕氷船支援料

スエズ運河通航時は、スエズ運河庁が定める運河通航料を計上した。ただしSDR換算レートは2016年12月時点のレートとした(0.735421)。砕氷船支援料算定時の為替レートは1.0USD=64Rblとした。

③ 船員費

一般的なバラ積み船の場合、船型サイズに依らず一船当たりの船員数は23~25人であり、船員全員が非日本人の場合の年間船員費として100万USDを計上した。

④ 保全費

船用品、潤滑油、ドック、修理・部品などに要する費用として、年間保全費を船価の1.095%として計上した。

⑤ 保険費

船体保険及びPI保険費を計上する。PI保険は料率がほぼ定められているが、船体保険は航行海域や航行条件および実績などによって大きく異なる。本研究では、年間保険費は船価に比例するものとし、船価の0.343%を計上した。また、北極海航路の航行に関しては、

氷海航行における事故リスク、および北極海航路では輸送実績が少ないことから、保険料には、通常海域よりも高い料率が課せられる可能性がある。本研究では、年間 10.USD/GT の保険料割増を考慮した。

⑥ 燃料及び油費

一般に船舶の燃料消費量は、燃料消費率 SFOC (Specific Fuel Oil Consumption, 185 g/kWh) にエンジン出力 (kW) 及びエンジン稼働時間 (hr) を掛け合わせて求めることができる。また SFOC は、船舶の運航速度の 2~3 乗に反比例して増減することが知られている。すなわち、定格速度よりも遅い速度で運航すると、燃料消費量は大幅に低減され、大きなコスト削減が期待できることになる。そこで本研究では、定格速度に対する航行速度比の二乗に半比例して SFOC を低減した。さらに、アイスクラス船は船体重量が通常船より重いいため、燃料消費率 SFOC を 10%割増した。また、北極海航路区間の航行速度が 10kn 以下となった場合は、一律 10kn 時の燃料消費率を適用した。燃料価格は、シンガポール重油価格を参考に、300USD/ton、機械油価格は、600USD/ton とした。船舶が停泊中は定格運航時の 0.1 %を計上した。機械油消費量は、燃料消費量の 1 %を計上した。

⑦ 港湾使用料

入港のたびに港湾使用料として、1.0GT 当り 0.428 USD/GT/Call を計上した。

(2) 北極海航路の航行モデル

北極海航路区間の航行速度は、Yamaguchi(1995)が示したアイスインデックスを用いて、これと航行速度の関係を衛星 AIS 記録から確認して定めた。アイスインデックスとは、海氷の種類、密接度、強度などから、船が氷海中を航行する際の難易度を数値指標として表したものである。これは、カナダが自国の海域に適用している航行規則である Canadian Arctic Shipping Pollution Prevention Regulations (CASPPR)の一つである“Arctic Ice Regime Shipping System Standards”で使われている Ice Numeral を改良したものである。

アイスインデックスは、次に示す 3つの要素の和として定義する。

$$I = I_A + I_B + I_C \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで、 I_A : 氷厚、氷の年数、密接度の影響を表す指標

I_B : リッジの影響を表す指標

I_C : 氷の強度影響を表す指標

I_A は、Ice Numeral の算式における、氷厚と海氷密接度に関する CASPPR の氷海船級別の係数を一部修正したものである。一年氷の密接度 C_r 、多年氷の密接度 C_m に対し、それぞれ表-3 の一年氷と多年氷に対する係数を得て、(2)式により計算する。

表-3 I_A算定のための係数

氷の種類	氷厚 hi(cm)	船のアイスクラス (Type B を適用)			
		Type B	Type A	CAC4	CAC3
MY (多年氷)	-	-4	-3.5	-2.5	0
TFY (非常に厚い一年氷)	120 ≤ hi	-2	-1	1	2
MFY (中間の一年氷)	70 ≤ hi < 120	-1	1	2	2
THFY 2 (薄い一年氷)	50 ≤ hi < 70	1	2	2	2
THFY 1 (更に薄い一年氷)	30 ≤ hi < 50	1	2	2	2
開水面	0 ≤ hi < 30	2	2	2	2

$$I_A = (\text{一年氷の係数}) \times C_f + (\text{多年氷の係数}) \times C_m + 2 \times (10 - C_f - C_m) \dots\dots(2)$$

③ I_Bの算定法

I_Bはアイスリッジによる航行難易度を表す指数で、リッジ密度 D_r(1/km)とセール高(H_s)及び海水密接度である C_f 及び C_mを用いて(3)式にて定める。また、リッジは図-16 に示す形状で近似する。

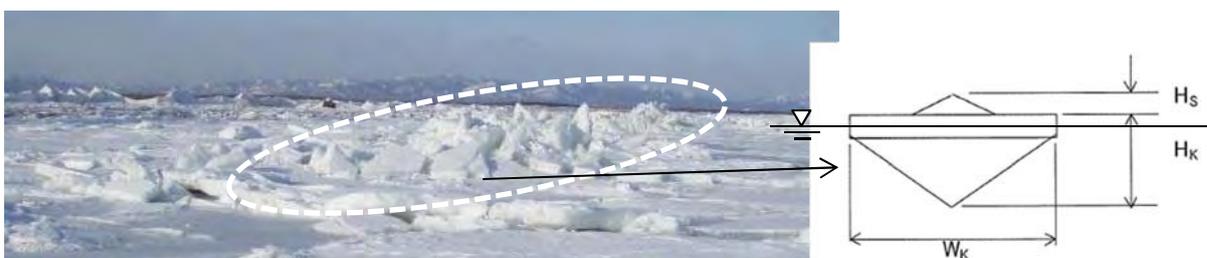


図-16 リッジの事例

$$I_B = \{- (H_s D_r) / 25\} \times (C_f + C_m) \dots\dots (3)$$

④ I_Cの算定法

氷強度に関する指標 I_C は、海水密接度と海水強度に関する係数 M_{cs} を用いて、(4)式により定義する。係数 M_{cs} は表-4 より得る。気温が低いほど、また多年氷ほどペナルティは大きくなる。

$$I_C = M_{cs} (\text{一年氷}) \times C_f + M_{cs} (\text{多年氷}) \times C_m \dots\dots (4)$$

表-4 氷強度による係数

氷の種類	M _{cs} 一年氷			M _{cs} 多年氷		
	T ≤ -10	-10 ≤ T ≤ -2	-2 ≤ T ≤ 0	T ≤ -10	-10 ≤ T ≤ -2	-2 ≤ T ≤ 0
月平均気温 T(°C)	T ≤ -10	-10 ≤ T ≤ -2	-2 ≤ T ≤ 0	T ≤ -10	-10 ≤ T ≤ -2	-2 ≤ T ≤ 0
曲げ強度(kpa)	600	450	300	1600	1200	800
圧縮強度(kpa)	6000	4500	3000	9000	6500	4000
係数 M _{cs}	-0.12	0	0.12	-0.44	0	0.44

⑤ 海水状況に関するパラメータ

アイスインデックス算定に用いた海水状況に関するパラメータを表-5 に示す。

表-5 海水条件に関するパラメータまとめ²⁷

1年氷密接度	JAXAによる海水密接度を全密接度とし、月別1年氷密接度平均値と多年氷密接度平均値の比を用いて推算する。ここで、月別1年氷密接度平均値と多年氷密接度平均値の比は、1953^1990年間における統計値より算定する。
多年氷密接度	
平均氷厚	1979-2012年の期間における8月の北極海の海水体積の平均値と2012年8月の比の3乗根： $(500/13,000)^{(1/3)}=0.75$ を用いて、1953^1990年間における月別平均氷厚を補正。海域別、月別に与える。
リッジ密度 セール高	・リッジ密度 D_r ：平均氷厚(0.97m)に対する平均リッジ密度 13.9/km を、氷厚にて比例配分する。 セール高 H_s ：平均氷厚(0.97m)に対する平均セール高 0.94を、氷厚にて比例配分する。 ・海域別、月別に与える。
月平均気温	月別積算寒度を日数で除して逆算する。海域別、月別に与える。
上記で用いた海水緒元、積算寒度は『北極海航路 東アジアとヨーロッパを結ぶ最短の海の道』、シップ・アンド・オーシャン財団、pp.201-204、2000. によった。	

北極海航路の海水密接度には、水循環変動観測衛星しずくに搭載された高性能マイクロ波放射計 AMSR2 (Advanced Microwave Scanning Radiometer) にて観測された輝度温度から JAXA によって算出され、国立極地研究所が提供する海水密接度²⁸より、2014年・2015年の情報を15日平均して用いた。アイスインデックスと航行速度の関係は以下の様に定めた。

- Type-B の船舶で、海水密接度=2 (1年氷のみ)、氷厚<0.5m、リッジなし、 $Mcs=0$ の条件を単独航行 (速度 15kn) の限界と仮定。このときのアイスインデックス = $2.0 \times 1 + 2 \times (10 - 2) = 18.0$ 、これ以下の場合には砕氷船の支援を受けて航行すると仮定。この時の船速=12kn、アイスインデックス=20で15knとし、この間は線型に変化。
- 砕氷船支援での船速は、航行実態をもとに、アイスインデックス=18で12kn、
- その後アイスインデックス=-40まで線型的に減少して4knと仮定する。
- アイスインデックスと船速の関係を図-17に示す。図中にプロットされているのは、Ice Numeral と船速の実測例である

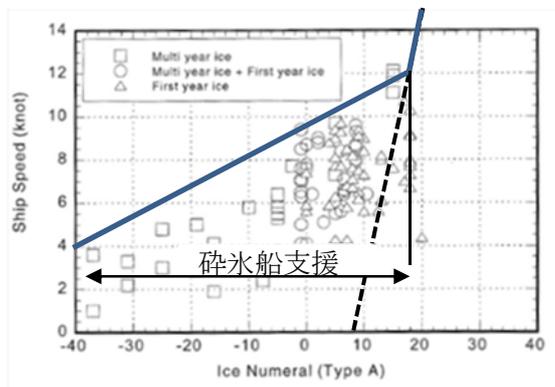


図-17 アイスインデックスと船速の関係の仮定

出所) Yamaguchi (1995)をもとに著者作成

以上の方法で、2014-2015年の平均氷況から半月ごとの北極海航路航行速度を算出した結果を図-18に示す。一般海域の航行速度は、港での荷役時間12hr、港内航行等6hr、砕氷船待ち時間6hrを計上したうえで、49日ループを維持するために必要な航行速度を求めたものである。この結果、北極海航路区間の速度は8~15knとなり、これに応じて一般海域の航行速度は6月前半を除くと定格速度である25kn以下で49日ループが可能となる。

北極海航路の問題点として、海氷や砕氷船支援の不確実性から遅延するリスクが高くなることが指摘されている。表-6に北極海航路と一般海域の航行速度、航行時間および遅延しても回復可能な時間余裕を示す。11月を除くと1日以上の上の余裕がある。11月後半はわずかに航行時間が過剰となるが、今後の海氷勢力減退を考慮すると、航行可能期間とみなすことができると判断した。7月~10月の期間では、北極海航路区間において1.5日~4日弱の遅延が発生しても、船の定格速度(コンテナ船は25kn程度)の範囲内で一般海域での航行速度を上げることにより、遅延を解消することができる結果となった。

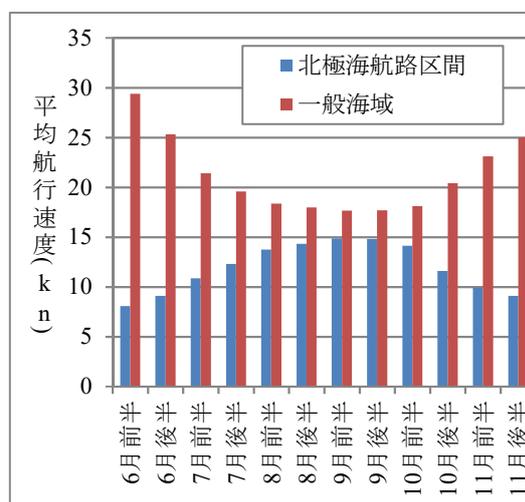


図-18 航行速度算定結果

表-6 航行速度と航行時間

		7月		8月		9月		10月		11月	
		前半	後半								
北極海航路航行時間(hr)		206.7	182.5	163.4	156.8	151.0	151.9	158.8	193.9	226.2	247.0
北極海航路航行速度(kn)		10.9	12.3	13.8	14.3	14.9	14.8	14.1	11.6	9.9	9.1
一般海域航行時間(hr)		262.1	286.3	305.4	312.0	317.7	316.8	309.9	274.9	242.6	221.7
一般海域航行速度(kn)		21.4	19.6	18.4	18.0	17.6	17.7	18.1	20.4	23.1	25.0
時間余裕(hr)	苫小牧	37.8	62.0	81.2	87.7	93.5	92.6	85.7	50.7	18.3	-2.5
	横浜	29.8	54.0	73.2	79.7	85.5	84.6	77.7	42.7	10.3	-10.5

(2) 北極海航路のコンテナ輸送コスト試算結果

以上の運航シナリオのもと、北極海航路航行期間を7月~11月の5か月間として、北極海航路およびスエズ運河ルートに関する運航コストを計算し、さらに北極海航路19ループ、スエズ運河ルート30ループとして、通年の輸送コストを算定した。また比較のため、現行のスエズ運河ルート(寄港地は12港、84日ループ)による輸送コストを、船型を8,000TEU、19,000TEUとして試算した。北極海航路を使用する夏期の輸送コストは、氷況緩和を反映して9月後半に最少値となる。これは、図中では各種経費として示している中の砕氷船支

援費が不要になっているためである。通年での輸送コストは 632USD/TEU となり、これは 8,000TEU 船でスエズ運河ルートを使用した場合 (622USD/TEU) とほぼ同程度となった (図-19、図-20)。

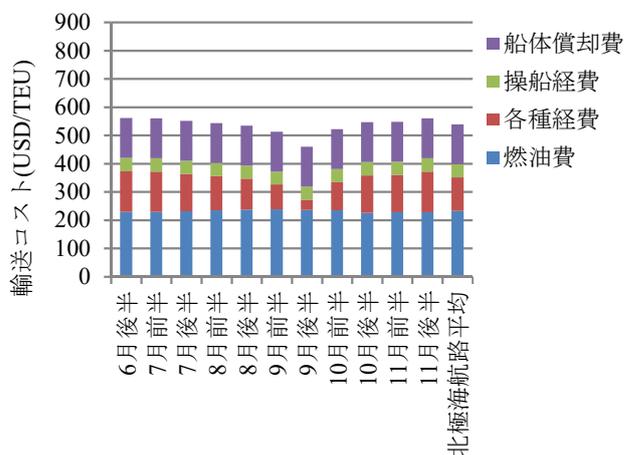


図-19 北極海航路輸送コスト

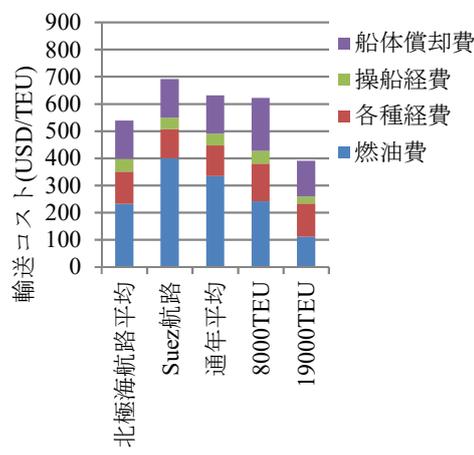


図-20 スエズ運河ルートとのコスト比較

北極海航路・スエズ運河併用シナリオでは、夏期には輸送コスト削減効果を発揮できるが、これを冬期におけるスエズ運河ルートでの運航によるコスト増が相殺する。したがって海氷減少が進行して北極海航路の運航期間が拡大するほど、通年でのコスト減につながる。また、砕氷船による砕氷船支援料も削減されることになる。さらには、北極海航路区間における燃料消費量の削減は、温室効果ガス等の排出ガス削減にもつながる。

本シナリオの年間輸送容量は、年間 49 ループ実施すると仮定すると 392,000TEU となる。一般的な消費率として 70%を仮定すると、年間輸送貨物量は 274,400TEU となる。これに対して、日本の貨物シェアを 20%とすると、日本からの利用貨物量は約 5.5 万 TEU となる。

(3) 日本側寄港地の比較

以上の検討は、日本の寄港地を苫小牧港としている。これを横浜港とした場合、既述したように北極海航路ルートでの総輸送距離は約 200NM の増大となる。ただし冬期にスエズ運河を利用する場合の横浜ルートの総距離 24,462NM に対し、苫小牧ルートは 25,690NM となる。このため、苫小牧港を寄港地とするのは夏期の北極海航路を利用する期間のみ優位となる。北極海航路・スエズ運河併用シナリオが成立するには、夏期と冬期で寄港地が変わること、利用ルートが北極海航路 (夏期) からスエズ運河ルート (冬期) に変われることを前提に、船社・荷主の評価を得ることが必要になる。

北極海航路の当面の商業利用は、積極的な利用を促す中国による輸送活動をベースとして、夏期のみ定期運航する試験的なアプローチから始まると予想される。この場合、主たるルートは日本海を北上して宗谷海峡または津軽海峡を通過するものとなる。苫小牧港のアプローチは、この輸送活動に、ルート上に位置するという地理的優位性を足掛かりとして、日本の北極海航路への需要の拠点となることであると考えられる。

3. 北極海航路輸送の経済規模

(1) 北極海航路輸送の競争力

欧州・アジア航路に就航するコンテナ専用船の最大船型は、輸送コスト削減を目的として大型化の一途をたどり、80年代は4,000TEU、90年代は8,000TEUであったものが、2017年には21,000TEUに達した(図-21)。本シナリオによる輸送コストは、90年代の主力船である8,000TEU船に匹敵するサービスとなるが、輸送コストだけの競争では、最新の超大型船によるサービスにはかなわない。一方北極海航路シナリオによれば、比較的良いコストで、現行サービスよりも短期間で輸送することが可能になる。北極海航路によるコンテナ輸送が現実化するとすれば、チョークポイント回避と、速達性を重視する貨物需要を生かしたビジネスモデルが必要である。

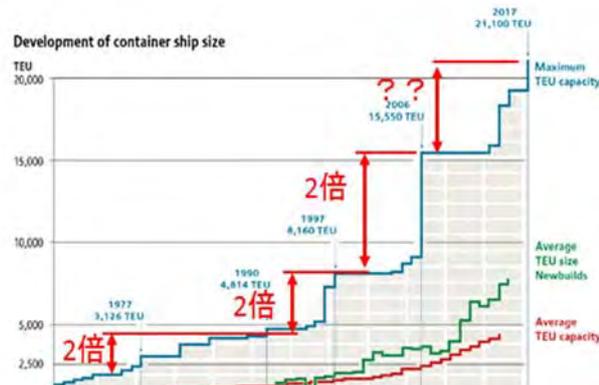


図-21 コンテナ船大型化の変遷
出所) OECD/ITF, 2015. The Impact of Mega-Ships, Figure 1.3, pp.18. に著者加筆

(2) 北極海航路の貨物需要と経済規模

我が国の輸出入コンテナ貨物の平均価格(2013年)は輸出3,057USD/ton、輸入1,778USD/tonとなっており、このうち重量比で3%、金額比では16~17%の貨物が、価格が9,000USD/tonをこえる高額品となっている²⁹。北極海航路の成立要件はこうした高額貨物を主体に時間価値が高いもの、速達性が価値拡大につながる貨物の需要を対象にすることにある。本シナリオで輸送される貨物のうち、高価格帯である9,000USD/tonの貨物が70%、平均的価格帯の貨物(3,000USD/ton)が30%を占めると仮定すると、輸送される貨物の総額および総輸送費は表-7のように推測される。

表-7 北極海航路・スエズ航路併用シナリオによる輸送貨物量と金額の推算

	全体		日本発着貨物	
	高価格帯貨物	一般貨物	高価格帯貨物	一般貨物
貨物量(TEU)	192,080	82,320	38,416	16,464
重量(ton)*	3,841,600	1,646,400	768,320	329,280
貨物単価(USD/ton)	9,000	3,000	9,000	3,000
貨物価格(10 ⁶ USD)	34,574	4,939	6,915	988
貨物価格合計(10 ⁶ USD)	39,514		7,903	

*20ton/TEUと仮定

本シナリオの輸送容量は、今日の欧州-アジア航路の年間貨物量約2,200万TEUの1.3%を占めるにすぎない。したがって、もし北極海航路サービスが実現したとして、すぐにスエズ運河の貨物量に影響をあたえることはないと考えられる。また日本においては、輸出入コンテナ貨物(2100万TEU)の約3%を占める高額貨物、63万TEUが本シナリオの需要候補と考えられる。日本における本シナリオの利用貨物量5.5万TEUのうち、70%が高

額貨物とすれば約4万TEUとなり、これは高額貨物全体の約6%に相当することになる。

世界のGDPと海上輸送貨物量の間には、非常に高い相関関係にあることが知られている³⁰。図-22は2005年を基準値にして、我が国のGDPと海上輸送貨物量および海上輸送貨物金額の変化を示したものである。図-23は、海上輸送貨物量に対する実質GDPの変化、図-24は実質GDPに対する海上貨物量の変化を示したものである。一見、両者は良い相関関係を示しているように見えるが、両者の主従関係に注意が必要である。海上輸送貨物量が変わったからGDPが変わるのではなく、主としてGDPの変化によって海上輸送貨物量が変わると考えるべきである。とはいえ、本シナリオに示す北極海航路を利用する経済活動が実現すれば、これに応じた総生産額は図-24より8,700億円程度となる。

V. まとめ

本研究の結果を以下にまとめる。II. においては、北極海航路の概要、特徴、最新の北極海航路上の月平均気温、海氷密接度を整理した。

- 北極海航路による貨物輸送量、仕向け先、航行船舶の種類の近年における動向を整理・分析した。トランジット利用は2010～2013年にかけて急増したが、その後は急減して現在に至っている。しかし総貨物量は継続して増大している。また、航行する船種は増大し、北極海航路利用は多様化している。
- 衛星AIS情報を用いて、航行船舶の実際の航行速度を取得・分析した。夏の無氷期間は単独航行が現実化している。単独航行、砕氷支援航行ともに航行速度は10～14knで安定的である。ただし6～7月は海氷条件が厳しく、減速する事例がある。一方、海氷があっても10～11月はあまり減速せずに航行している。

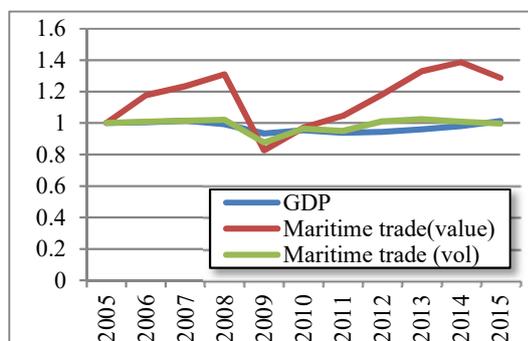


図-22 日本のGDPと海上輸送貨物量変化

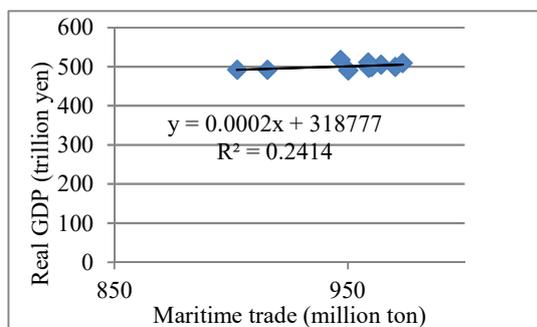


図-23 日本の海上輸送貨物量に対する実質GDP変化

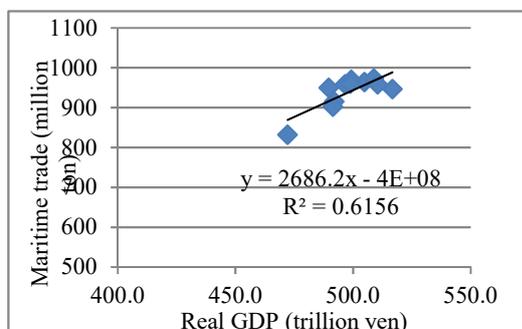


図-24 日本の実質GDPに対する海上輸送貨物量変化

III. では、北極海航路による貨物輸送コストの特徴、現況を踏まえた北極海航路に関する将来の貨物輸送動向について考察した。

- バルク貨物輸送コストでは、燃料費が大きな割合を占めるため、北極海航路による距離短縮は、輸送コスト削減効果が得られやすい。また砕氷船支援料も燃料費に次ぐコスト要素であるが、海氷減退によって支援を要する海域・期間は減少傾向にあり、その費用も低下する。またルーブルの為替市場環境も大きな影響を及ぼす。
- LNG 輸送では、船体償却費が大きな割合を占めるため、輸送時間の短縮が輸送コスト短縮に効果的となり、北極海航路利用による優位性が期待しうる。完成自動車輸送も LNG の場合と同様の傾向がある。
- コンテナ輸送に関しては、現時点では定時性が担保出来ないこと、通年運航ができないこと、氷海対応のコンテナ船が少ないこと、市場・荷主の需要も不透明なことから、否定的とならざるを得ない。しかし長期的な視点では、北極海航路の航行可能期間の拡大のもと、速達性を求める新たな需要をつかむことができれば、事業性が肯定的に評価される可能性がある。
- 当面の北極海航路利用は、ロシア北極圏の天然資源開発に関連する貨物が主体となる。ただし、総貨物量は比較的近いうちに現時点の 10 倍を超える可能性があり、北極海航路による海上輸送は新たな事業段階にはいった。また、こうした不定期貨物および準定期的な貨物輸送の拡大によって、新たな需要や利用が生まれる可能性もある。

IV. では、夏期に北極海航路、冬期はスエズ運河を利用したコンテナ輸送シナリオについて現在の海氷状況をもとに航行可能性および輸送コストを分析した。

- このシナリオでは、7 隻のアイスクラス・コンテナ船を用い、49 日ループでアジア側 3 港、欧州側 3 港に寄港する。狙いは速達性を重視する比較的高価格の貨物である。
- 2014-2015 年の氷況では、6 月前半は北極海航路の航行速度が不足し、ウィークリーサービスは困難となったが、それ以外は余裕を持った運航ができる結果となった。
- 通年での輸送コストは、8,000TEU 船にて現行の輸送サービスを行った場合と同程度となるが、近年進行する超大型船に対しては、輸送コストの点では競争力は持ちえない。
- 日本の寄港地としての苫小牧港の可能性は、当面は、中国が試験的に進めると予想される夏期の定期運航において、日本海を北上するルート上に位置するという地理的優位性を足掛かりとして、日本の北極海航路への需要の拠点となることであると考えられる。

¹ OPRI 海洋政策研究所：北極海、<https://www.spf.org/opri-j/projects/arctic/>

² Isakov, N. A., et al, 1999. The NSR Simulation Study Package 3: Potential Cargo Flow Analysis and Economic Evaluation for the Simulation Study (Russian Part), *INSROP Working Paper*, No. 139.

³ Claes Lykke Ragner, 2000, "Northern Sea Route Cargo Flows and Infrastructure – Present State and Future Potential", *FNI Report*. ISBN 82-7613-400-9.

⁴ Arpiainen, M., Kiili, R., Niini, M., 2006. Arctic Shuttle Container Link from Alaska, US to Europe, *Aker Arctic Technology Inc. Report*, K-63

-
- ⁵ Omre A., 2012. An economic transport system of the next generation integrating the northern and southern passage, *Master Thesis*, Norwegian University of Science and Technology.
- ⁶ Furuichi, M. and Otsuka, N., 2014. Proposing a common platform of shipping cost analysis of the Northern Sea Route and the Suez Canal Route, *Maritime Economics & Logistics* 17, pp.9-31, 10.1057/mel.2014.29.
- ⁷ Kitagawa, H. and Otsuka, N., 2014. A New Hub-port Concept for Tomakomai in Anticipation of the Era of Arctic Shipping, *The Twenty-fourth International Offshore and Polar Engineering Conference*, International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE), pp.1066-1073, Busan, Korea
- ⁸ シップ・アンド・オーシャン財団, 2000. 北極海航路 東アジアとヨーロッパを結ぶ最短の海の道、シップ・アンド・オーシャン財団、ISBN4-916148-94-0
- ⁹ National Oceanic and Atmospheric Administration Earth System Research Laboratory Physical Sciences Division, Reanalysis Datasets at PSD, <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/reanalysis/>, 2017.1 閲覧。
- ¹⁰ “CLIMATE CHANGE 2013 The Physical Science Basis, Technical Summary”, the Working Group I, Intergovernmental panel on Climate Change, pp.92.
- ¹¹ National Snow and Ice Data Center, University of Colorado Boulder
- ¹² Port News, “Northern Sea Route traffic in 2016 reached 6.9 million tonnes (posted on 2016.Dec.13)”, <http://en.portnews.ru/news/231173/>, 2017.1 閲覧。
<http://www.arctic-lio.com/>
- ¹³ 大塚夏彦、大西富士夫、泉山 耕, 2017. 北極海航路による海上輸送の変遷と特徴、*海洋開発シンポジウム*、土木学会海洋開発委員会、2017.6.
- ¹⁴ Otsuka, N., Imai, K., Nagakawa, K. and Furuichi, M., 2016. Northern Sea Route Transport Scenarios for various cargoes, *the 31st International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice*
- ¹⁵ Otsuka, N., Izumiyama, K. Nagakawa, K. and Imai, K., 2016. Feasibility of LNG Transport via the NSR by Icebreaking LNG Carrier, *the 31st International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice*, 2016.
- ¹⁶ TASS, Russian PM signs Northern Sea Route integrated development plan, 2016.2 閲覧、
<http://tass.ru/en/russia/799491>
- ¹⁷ Belkin, M., 2016. Atomic Icebreaker Support for the Northern Sea Route, *北極海航路の利活用に向けた国際セミナー*、2016.2.
- ¹⁸ Yamal LNG、<http://yamallng.ru/en/project/about/>、2016.12 月閲覧。
- ¹⁹ Gazprom Neft、NOVOPORTOVSKOYE、<http://www.gazprom-neft.com/press-center/>、2016.12 月閲覧。
- ²⁰ Vasilyev, V., 2016. Ports and navigation supporting infrastructure along the Northern Sea Route, *北極海航路の利活用に向けた国際セミナー*、笹川平和財団。
- ²¹ Ding Nong, 2016. Report from China COSCO Shipping Cooperation, *Arctic Circle 2016*, Iceland.
- ²² Bekkers, E., Francois, J., and Rojas-Romagosa, H., Melting Ice Caps and Economic Impact of Opening the Northern Sea Route, *CPB Discussion Paper 307*, CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis
- ²³ Hansen, Ø, Gronseth, P., Graversen, C., and Hendriksen, C., 2016. Arctic Shipping –Commercial Opportunities and Challenges, *CBS MARITIME*, ISBN 978-87-93262-03-4, 2016.
- ²⁴ シップ・アンド・オーシャン財団, 2000. 北極海航路 東アジアとヨーロッパを結ぶ最短の海の道、シップ・アンド・オーシャン財団、ISBN4-916148-94-0、pp.97.
- ²⁵ 海事プレス社, 2012. 新造船商況この1年／成約一覧 (上)、(下) .
- ²⁶ UNCTAD, 2011. Review of Maritime Transport 2011, pp.64

²⁷ シップ・アンド・オーシャン財団, 2000. 北極海航路 東アジアとヨーロッパを結ぶ最短の海の道、シップ・アンド・オーシャン財団、ISBN4-916148-94-0、pp.201-204.

²⁸ 北極データアーカイブシステム、国立極地研究所、

²⁹ 古市正彦, 2017. 北極海航路におけるコンテナ輸送の展望と課題、第2回 北極域研究共同推進拠点 北極域オープンセミナー、

³⁰ Figure 1.1of Review of Maritime Transport 2016, *UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT*, pp.2, 2016.