

北極海航路利用の 費用便益分析

指導教員：岩本康志

経済政策コース2年：江頭勇太
経済政策コース2年：加茂大司朗
経済政策コース2年：小林大祐
経済政策コース2年：高草木伸

目次

要旨	1
1. はじめに	2
2. 北極海航路利用の現状	2
2-1. 政府の審議会における議論	2
2-2. 商業利用の進捗	3
2-3. 北極氷の減少速度	3
2-4. 南回り航路との比較	4
2-5. 北極海航路に関わる先行研究	4
3. 費用便益分析の枠組	4
3-1. 分析の概要	4
3-2. 分析の必要性	5
3-3. 視点及び評価期間	6
3-3-1. 分析の視点	6
3-3-2. 評価期間、社会的割引率	6
3-4. 想定される費用・便益項目	6
3-4-1. 分析の基本的枠組	7
3-4-1-1. 便益計測における需要供給曲線の変化による余剰増加について	7
3-4-1-2. 需要の代替性について	7
3-4-2. 費用便益項目について	7
3-4-2-1. 便益	8
3-4-2-2. 費用	9
3-4-2-3. 費用便益発生タイミング	9
4. 推計方法	10
4-1. 推計の基本的な流れ	10
4-2. 北極海航路利用船舶数の推定	11
4-2-1. ヨーロッパアジア間船舶流動量の推計	12
4-2-1-1. 利用データ及び推計方法	12
4-2-1-2. 対象国及び対象貨物品目	12
4-2-1-3. 標準的船舶のパラメータ設定	13
4-2-1-4. 流動量推計に用いた仮定	13
4-2-2. 北極海航路利用船舶流動量の推計	14
4-2-2-1. 利用データ及び推計方法	14
4-2-2-2. 用いた仮定	15
4-3. 便益	15

4-3-1. 航路短縮効果	15
4-3-1-1. 削減航行時間の算出	16
4-3-1-2. 燃料消費削減量の算出	16
4-3-1-3. CO ₂ 排出削減量の算出	16
4-3-2. 海賊被害の軽減	17
4-3-2-1. 海賊被害軽減便益推計の基本方針	17
4-3-2-2. 年間ソマリア沖海賊被害額	17
4-3-2-3. ソマリア沖航行量削減割合の算出	18
4-4. 費用	18
4-4-1. 固定費用	19
4-4-1-1. 船舶の耐氷化	19
4-4-1-1-1. 船舶耐氷化費用	19
4-4-1-1-2. 耐氷化船舶数の推計	19
4-4-1-2. 砕氷船の追加購入費用	20
4-4-1-2-1. 砕氷船費用	20
4-4-1-2-2. 砕氷船追加購入数の推計	20
4-4-1-2-3. 砕氷船航行時間算出の仮定	21
4-4-1-3. 気象観測所費用	21
4-4-1-4. 避難港設置費用	22
4-4-2. 変動費用	22
4-4-2-1. 砕氷船追加利用による費用	22
4-4-2-2. 耐氷化船舶の燃料効率等追加費用	22
4-4-2-3. 気象観測所維持費用	23
4-4-2-4. 避難港維持費用	23
4-5. 各価値のパラメータ設定	23
4-5-1. 時間価値	23
4-5-1-1. パラメータの推計方法	23
4-5-1-2. パラメータの金額算出	24
4-5-2. CO ₂ 削減価値	24
4-5-3. 燃料価値	25
4-5-4. 為替	25
5. 推計結果	25
5-1. ベースケースにおける結果	25
5-2. 考察	26
6. 感度分析	27
6-1. 変化させるパラメータ	27

6-2. 感度分析結果	28
6-2-1. 仮定の最大速度まで高めた場合	29
6-2-2. 純便益ゼロ近傍速度の場合	31
6-3. 結果の考察	32
7. 考察	33
7-1. 全体としての考察	33
7-2. ヨーロッパ利用港の拡大	34
7-3. アジア各国の政策	35
8. 今後の課題	36
謝辞	36

要旨

近年の地球温暖化の影響を受け、貨物船のロシア北部北極海海域（北極海航路）の通行が可能となった。過去約3ヶ月の間しか利用のできなかった航路は近年では約6ヶ月の間利用可能となり、年々その価値が高まっているといえる。これまでの様々な研究において、北極海航路利用の最大の便益は航行距離短縮による便益であるという議論がなされてきたが、現状のスエズ運河航路と速度等航行状況の違いを鑑みれば便益がさほど生まれないと指摘も多い。また、その利用にあたって、周辺環境の整備や機会費用の点で多くの費用の発生が予期され、北極海航路利用の真の価値については未だ結論が出されていない。

以上の議論を踏まえて、本研究では全世界規模で北極海航路利用の費用便益分析を行った。ヨーロッパ・アジア間を流動する船舶を対象とし、個々で便益が発生する場合のみスエズ運河航路を代替する形で北極海航路を利用するという仮定のもと、**with** ケース：北極海航路が整備され利用されるケース、**without** ケース：北極海航路が整備されずすべての船舶がスエズ運河を航行するケースとし、評価期間45年にて分析を行った。想定される費用便益項目は以下の通りである。便益項目として、1. 航路短縮効果、2. 海賊被害の軽減、費用項目として、1. 船舶耐氷化費用、2. 耐氷化船舶のスエズ運河航行時追加費用、3. 砕氷船追加購入費用、4. 砕氷船航行による機会費用、5. 気象観測所設置及び維持管理費用、6. 避難港設置及び維持管理費用を考慮した。

結果として、完全代替・北極海航路を速度14.1ノットで航行するベースケースにおける費用便益分析は負であり、政策の実行は推奨されない結果となった。この結果は航行速度が低すぎるために利用可能な航路数が少なかったこと、航路短縮効果による便益は砕氷船利用の機会費用や耐氷船スエズ運河航行時追加費用を考慮すればあまり大きくないことに起因していた。一方、海賊被害の軽減は大きな便益項目となることがわかった。また、感度分析を通じて、北極海の海氷状態が改善し、航行速度の上昇があった場合、利用可能航路数が増加し費用便益分析のパスが期待できることが明らかになった。

本研究ではさらに、得られたデータから今後の北極海航路をめぐる政策的含意を得ることができた。ヨーロッパ各国についてみれば、北極海航路上の海氷状態が高まるごとに北極海に近い国から順に航路を利用可能となるが、イタリア・ギリシャといった地中海沿岸の国家はもとよりスエズ運河を利用するメリットのほうが大きい。アジア諸国についてみれば、北極海航路を通じて最も便益を得られるのは日本・韓国であり、中国の便益は北極海航路上の海氷状態に左右され、香港・台湾の便益はあまり大きくないようである。以上から、北極海航路は日本に対して大きな便益を与える可能性があり、本政策から便益を得ようとする場合、積極的に取り組んでゆく必要があること、費用や国際関係上の観点からすれば、ヨーロッパ北部諸国ならびに韓国は有力な協力国であることがわかった。

1. はじめに

従来、北極海を航行して欧州からアジアへ向かう航路は、ロシア沿岸に沿ってベーリング海峡に至る「北東航路」と、北米側を通る「北西航路」の2つが対をなしていた。このうち北東航路は、ロシアにより「北極海航路 (Northern Sea Route : NSR)」と命名され、ロシアの管理の下運用されている。

北極海を通らずに欧州—アジア間を結ぶ既存の航路としては、スエズ運河経由のルートがある。このルートは、ユーラシア大陸の南側を大回りするため、大幅に燃料費等のコストを要することになる。これに比べて、北極海航路を使用すると、距離が40%短縮されるため、コスト削減というメリットがある。しかし、メリットがありながら、これまで商業的な運航・国際的な海上輸送での利用がわずかな例にとどまっていた。その理由は、厳しい氷況にある。北極海航路で船を運行させるためには、砕氷船等の特殊な船が必要となり、また、日々刻々と氷況が変化するため、輸送が不安定になるなどのデメリットも存在している。

しかしながら、近年、地球温暖化の影響により、北極海に変化が生じてきている。気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第4次報告によると、「北極圏」における気温上昇は、地球規模平均より遙かに大きいことが90%以上の確度で確実であると報告された。近年の海氷面積は、前世紀後半の平均値から大きく減少しており、この影響によって、北極海航路において夏季(7月～9月)に氷が融解し航行可能な航路が開通するようになった。このことから、近年、北極海航路は新たな商用航路として注目を集めている。NSRの航行実績として、2010年には4航海、2011年には34航海、2012年には46航海と、その数は着実に増えてきており、今後益々増えていくものと予想される。

また、北極海は、埋蔵する資源開発への期待という観点からも、人々の関心が強くなってきている。昨今、世界のエネルギー需要は急速に高まっており、ロシア北極海域やサハリンなどの氷海域の豊富な地下資源開発に注目が集まっている。

今後さらに北極海の氷の融解が進み、北極海航路の航行が容易になっていけば、欧州—アジア間の輸送構造の変化、エネルギー供給構造の変化が起こり、世界全体に大きな便益がもたらされると考えられる。本研究では、その便益について定量的に分析し、北極海航路の利用可能性について考察することとする。

2. 北極海航路利用の現状¹

2-1. 政府の審議会における議論

国土交通省は、従来、有識者会議として「国土交通省海洋政策懇談会」を設置し、海洋政策に関する幅広い政策の方向性について議論を行ってきた。近年、北極海の海氷減

¹ 本節の内容は、加藤(2013)、鳥海(2012)、日本北極海会議(2012)、海洋政策研究財団(2012)を参考にした。

少により北極海航路活用の可能性が高まってきたことから、平成 23 年 3 月にとりまとめた国土交通省海洋政策懇談会報告書の中で、「フロンティアへの挑戦」に関する施策として北極海航路に関する検討を位置づけた。また平成 25 年度からは、国土交通省が「海洋フロンティアに関する国内外の動向調査、実証調査等」として、北極海航路の経済性や実証運行計画などの様々な検討を実施中である。さらに平成 25 年 7 月には「北極海に係る諸課題に対処する関係省庁連絡会議」を設置し、北極海航路の利用可能性と行政側の課題などについて検討している。

2-2. 商業利用の進捗

1932 年、北東航路を管理する北極海航路管理局 (Glavsevmorput) が旧ソビエト連邦により設立され、以後商業利用についての可能性が検討され始めた。1990 年代後半には日本とロシアによる共同研究も行われ実験航海が試みられるようになり、2009 年夏に初めて商用運航が実施された。翌 2010 年にはロシア船籍の大型タンカーがムルマンスク港から中国までの原油輸送に成功し、北極海航路がヨーロッパとアジアを結ぶ新たな海のハイウェイとなることを実証した。また北西航路は 2007 年夏期に初めて航路が開通し、翌 2008 年には最初の商業用船舶が航海している。2011 年は商業運航としての北極海航路運航が延べ 34 航海実施され、貨物量はガスコンデンセートを主体に 82 万トンに達した。2012 年は 11 月 20 日時点で 46 航海、126 万トンの輸送と、着実に利用実績は増えつつある。また現在、北極海航路に関して中国や韓国が活発な対応をしており、科学調査分野では砕氷観測船を購入し或いは建造したうえで北極海の氷海域に進出し、また、商業分野では夏期の北東航路を積極的に利用している。それらに比べて、日本は政府・民間とも消極的な状況にあるといえる。

さらに、資源開発の観点からみると、2008 年に米国地質調査所が公表した北極圏の石油・天然ガス資源の埋蔵量に関する報告書において、北極圏には世界の未発見で技術的に採掘可能な資源の約 22%があると報告されている。北極海の海氷の減少は、これらの海底資源の採掘の可能性を高めることとなる。この資源開発には、ロシアやノルウェーなどの沿岸国だけでなく、中国やイギリスなどの非沿岸国も関心を高めている。特に、資源・エネルギー需要の急増する中国は国家レベルでの関与を進め、日本に先んじて北極評議会へオブザーバー資格の申請を行っている。

2-3. 北極氷の減少速度

北極の海氷の消滅時期について正確に測ることは難しいが、米国海洋大気庁 (NOAA) によりその予測が行われている。3 つの手法を用いて行われたこの予測によれば、いずれの手法も違う時期を導き出しているものの、今世紀半ばには北極の海氷が消滅することで一致している。「trendsetters」と呼ばれるアプローチは、直近 10 年で急速に進んでいる海水溶解を示すデータに基づいており、2020 年までには北極海の氷はほぼ無くなるとしている。

る。「stochasters」アプローチでは、2007年や2012年のように海氷の溶解が際立って進んだ年があるなど、ランダムな要因も含まれるため2030年頃と予測される。「modelers」アプローチは気候や海洋、陸、海氷に関する気候データに基づき、早くて2040年、遅くとも2060年頃には北極の水がほぼ溶解してしまうと予測している。

2-4. 南回り航路との比較

北極海航路が開通した場合の利点として第一に考えられるのは、航行距離の短縮である。極東と欧州とを結ぶ代表的な航路はマラッカ海峡を通過してスエズ運河を経由する「南回り航路」であるが、ベーリング海、ロシアの北方沿岸、バレンツ海、北海を通過する「北極海航路」は南回り航路のわずか60%程度の航程であるため、航路の環境がいかに厳しくとも商業航路としての経済的効果は極めて大きい。また、南回り航路の問題点は、海賊に遭遇する危険性があるということである。²北極海航路においても今後海賊が出現する可能性は否定できないが、北極海航路沿岸国は国家としての体制は比較的安定しており、警備能力等も兼ね備えているため、海賊出現の蓋然性は低いといえる。

さらに、スエズ運河は、閘門の閘室の限界から船舶の大きさに制限があり、多くの船がこの制限値ぎりぎりの設計で作られている。北極海航路が開通した場合この制約がなくなるため、より輸送能力の大きい船舶が航行できる可能性がある（ただし北極海は海底が浅いため、より大きな船舶が実際に航行可能かは不明）。また、現在スエズ運河を通航できる船舶にとっても、スエズ運河の通過には時間がかかることから、時間の短縮という観点から有効であるといえる。

2-5. 北極海航路に関わる先行研究

北極海航路の商業運航における、輸送費用について分析した経済性評価の先行研究としては、INSROP (International Northern Sea Route Programme) (1999年)に始まり、いくつもの研究成果が積み上げられている。直近のものとしては、古市・大塚(2013)が、北極海航路の輸送費用の構成要素について緻密な分析を行っており、本稿においても多くの点で分析結果を参照している。しかしながら、世界全体の視点で北極海航路利用の社会的便益について分析したものはなく、この点で本研究には意義があるものといえる。

3. 費用便益分析の枠組

本節においては北極海航路利用の費用便益分析を行うにあたって基本的な考え方及びフレームワークを説明する。

3-1. 分析の概要

² ソマリア沖での海賊被害については、The Oceans Beyond Piracy project (2012a)、The Oceans Beyond Piracy project (2012b)を参照。

前述の北極海航路利用の現状を考慮し、北極海航路利用の是非を問う費用便益分析を行う。北極海航路の利用についてはヨーロッパアジア間の航路短縮や海賊被害減少などの便益項目が存在する一方で、航行船舶の耐氷化や気象観測所の設置など、北極海航路利用のための様々な設備投資が必要となる可能性がある。また、この航路の通行許可はロシア政府が管理しているため、世界的な視点から見て、費用が便益を上回る場合にはその利用を制限することが可能である。以上より、世界の視点で北極海航路利用の費用便益分析を行う。分析にあたり、以下のように想定ケースの分岐を行った。政策（北極海航路の開通）が行われなかった場合（Without ケース）と政策（北極海航路の開通）が行われた場合（With ケース）の比較を通して、政策による効果を検証する。

I 北極海航路が利用されないケース（Without ケース）

基準となる想定ケースは、北極海航路の整備が行われていない状態であり、今回分析の主眼となるヨーロッパアジア間の船舶国際流動は北極海航路を利用していないケースを想定する。

II 北極海航路が利用されるケース（With ケース）

With ケースは、北極海航路の整備を通じて発生した便益分を加味して、今後の船舶流動と発生する便益・費用を推計するものである。一般化費用（移動費用＋時間価値）の減少にともなって、北極海航路を選択する船舶の流動を加味しつつ、便益を推計する。また、費用については現在まだ建設されていない設備等も反映させ費用として計上し分析を行う。

ここで、各ケースで置く仮定について説明する。まず、双方のケースについて、需要量に関しては変化なしと仮定し、利用シェアについては経年によって変動しないものとして分析を行う。これは、海上輸送の需要は、海上輸送価格等の変動によってではなく、海上輸送される商品の需要に大きな影響を受けると想定されるためである。

With ケースにおいては、既存の海上輸送利用シェアから、様々な仮定をおいたうえで北極海航路利用相当分への代替を考えて、新たな海上輸送利用シェアへと加工を行うことで、北極海航路開通による便益及び費用の算出を行う。なおここでの代替については完全代替とし、一部代替のケースは感度分析で行う。

3-2. 分析の必要性

本研究における争点は北極海航路開通にあたって世界全体で見て費用と便益のどちらが社会に対して大きな影響をもたらすかということである。北極海航路開通にあたって得られる便益は主に移動時間短縮による一般化費用及び CO₂ 排出量の削減であり、毎年一定の便益が発生することが期待されているが、一方で現状では夏の 6 ヶ月間しか利用が不可能であるにもかかわらず、気象観測所や船の耐氷化、砕氷船の建造など固定費用が必要で

あること、航路が異なるため移動速度等に違いがあり必ずしも大きな一般化費用減少につながるおそれがあることなどを想定すれば、費用と便益のどちらが大きいかについて、将来まで加味した費用便益分析を行うことには意義があると考えられる。

また、政策的な意義としては、北極海航路利用についてはロシア政府が通行許可を発行しており、今後政策的取り組みによって交通が自由化する可能性がある。ゆえに、世界全体の費用便益分析の結果を鑑みて、ロシア政府を通じて北極海航路の利用を規制することも可能であることを考えれば、本費用便益分析を政策に流用できる可能性があると考えられる。

3-3. 視点及び評価期間

3-3-1. 分析の視点

本研究では世界の視点から費用便益分析を行う。一国に絞らず、世界視点での費用便益分析を行うことには二点の意義がある。まず、一点目として、ヨーロッパ・アジア間の北極海航路の開通は、ヨーロッパ・アジア地域における様々な国に対して広く便益を与えるため、一国の費用便益のみでこの航路の利用可否を決定することは非合理だからである。また、もう一点の意義は、北極海航路の整備にあたって想定しうる費用の分配や通行費などの支出移転の問題を加味せずに議論を行うことができるためである。北極海航路開通にあたっては、気象観測所の建設など様々な国が資金を出しあって行うプロジェクトも多く、その支払費用を見積る際には割合などを通じて恣意的に費用を加工する必要性があり、それを避けるため、また、ロシアへの通行料支払い分は実質的には支出移転の形になるので社会厚生上は余剰の増加（減少）とならないことから、その分の変動を無視するため、世界全体の視点で行うことには価値がある。以上二点の理由から、世界視点での費用便益分析を行う。

3-3-2. 評価期間、社会的割引率

本研究において、費用便益分析の評価期間は45年を想定する。その意義は、北極海航路開通が費用に与えるインパクトを加味するためである。便益については毎年得られるものが多い一方で、費用として考えられる生態系へのインパクトや気象観測所整備については長期間で考えるべきものである。ここでは、気象観測所の耐用年数が15年、避難港の耐用年数が45年であることなどから、評価期間を45年と想定し、便益費用を全て加味した分析とする。また、社会的割引率には費用便益分析に一般的な数値として4%を用いる。

3-4. 想定される費用・便益項目

以下に分析の基本的枠組と、想定される費用及び便益項目の内容と因果性、及び簡易的な推計方法について記載する。

3-4-1. 分析の基本的枠組

3-4-1-1. 便益計測における需要供給曲線の変化による余剰増加について

本研究における便益計測については部分均衡分析の余剰アプローチを利用する。北極海航路の開通は供給者費用の減少を意味し、供給曲線が右シフトする（図1）。なお、海上輸送市場の需要は、輸送価格とは別個に物品の輸送需要によって左右されると考えられるが、価格低下によっても需要量は増加せず、需要量は価格に対して独立である場合には需要曲線は垂直となると想定する。供給曲線のシフトによって社会的余剰が増加することが確認できるため、供給者費用の低下を通じて便益は必ず増加することがわかる。

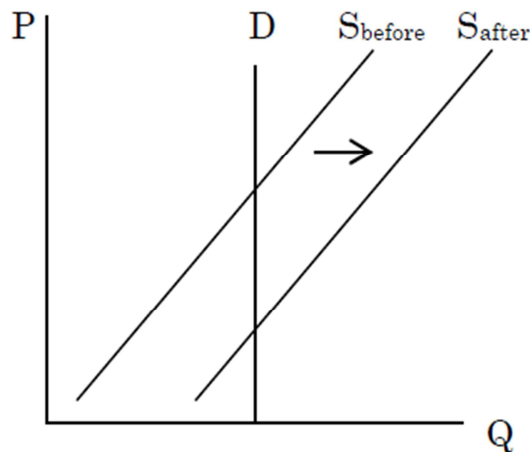


図1 需要供給曲線の変化

3-4-1-2. 需要の代替性について

北極海航路は、スエズ運河を利用したヨーロッパアジア間移動の新しい選択肢として海運業者に提供される。ゆえに、海運業者は既存の航路を利用するか、北極海航路を利用するか航路選択を迫られることとなる。本稿では、既存需要についてどの程度の需要量が代替されるかについては完全代替とし、一部代替のケースについては感度分析で扱うものとする。

すなわち、ベースケースにおいては、スエズ運河を経由するヨーロッパアジア間の航行量は、全ての需要が北極海航路を利用すると仮定して分析を行う。実際には、代替される需要量は全需要量の一部であると考慮すべきであり、やや非現実的ではあるが推計の簡便性のため、この仮定を用いる。完全代替という仮定の下では、一般化費用及びCO₂排出量が現実よりも大きく減少するため、便益が過大に評価されることに注意する必要がある。しかし、この便益推計値を使用しても、純便益（＝総便益－総費用）が負の値をとった場合には、一部代替の推計によるまでもなく「本政策については北極海航路利用を規制すべきである」という結論を得ることが可能となる。

3-4-2. 費用便益項目について

本分析において取り扱う費用便益項目は表1のとおりである。便益として、航路短縮による費用が削減され、ソマリア沖で発生する海賊被害が減少する一方で、砕氷船や耐氷船の利用に伴う費用増加や、気象観測所・避難所の設置といった設備投資に伴う費用も発生する。以下では、これらの項目と、発生時期について簡潔に説明する。

表 1 費用便益項目一覧

便益		費用	
1. 航路短縮による	時間費用削減	1. 砕氷船追加 利用による	時間費用増大
	燃料費用削減		燃料費用増大
	CO ₂ 削減価値		CO ₂ 排出費用増加
2. 海賊被害の削減		2. 耐氷船の通常航行 における	燃料費用増大 CO ₂ 排出費用増大
		3. 砕氷船追加購入費用	
		4. 船舶の耐氷化費用	
		5. 気象観測所	設置費用
			維持費用
		6. 避難港	設置費用
	維持費用		

3-4-2-1. 便益

- ・ 移動時間短縮による一般化費用の削減

北極海航路を利用した場合、ヨーロッパアジア間においてスエズ運河を航行する船舶の移動時間が 1/3 程度短縮されると言われている。それに伴い、海上輸送業者は燃料の一部を削減することが可能であると考えられる。便益の算出方法としては、現状の燃料使用量に削減割合をかけることで削減燃料量を算出し、燃料価格を利用して燃料使用削減による便益を算出する。なお、削減される時間と燃料量は完全には一致しない可能性もあり、それも考慮に入れ推計を行う。

- ・ 移動時間短縮による CO₂ 排出量の減少

上に記したように、北極海航路の利用によって移動距離の削減が見込まれる。これにより、船舶におけるこれまでの CO₂ 排出量の一部が排出されなくなることが想定される。CO₂ 排出量の一減少当たり便益については様々な研究が行われており、先行研究をもとに CO₂ 排出減少量による便益を推計する。

- ・ 海賊被害の軽減

現行の南回り航路ではスエズ運河を経由して欧州と東アジアを行き来するが、その際に通航するソマリア沖のアデン湾では海賊が頻繁に出没しており、人質殺害を含む数多くの被害が報告されている。しかし、北極海航路を利用する場合には、これまで海賊被害はほとんど報告されていないため、こうしたコストがかからなくなる。具体的には先行研究により試算された保険料、防衛用装備、人質の逸失賃金、軍備、ルート変更やスピード増加による追加燃料費等に加えて、失われた人質の統計的生命価値から海賊被害によるコスト

を算出し、流動代替量を用いて割合的に推計を行う。

3-4-2-2. 費用

- ・ 砕氷船の建造費用、維持管理費用

北極海航路の利用にあたっては、ロシア原子力砕氷船によるエスコートを受けることが基本となっている。本分析では、想定の需要量に対応するため砕氷船を新たに建造すると仮定しており、そのための建造費用、維持費用が発生する。

- ・ 船舶の耐氷化費用、維持管理費用

砕氷船によるエスコートを受けたとしても、航行する船舶には適切な耐氷補強を施さなければならない。耐氷船はその性能により国際的な階級が決められており、必要なグレードアップを行うことにより、北極海の航行が可能となる。従って船舶の耐氷化費用と、維持費用が発生する。

- ・ 砕氷船・耐氷船の利用による、一般化費用・CO₂排出費用の増大

北極海航路利用時、砕氷船がエスコートするためにその一般化費用・CO₂排出費用が追加的にかかる。また、耐氷船は通常船舶に比べて重いため、北極海航路ではなく通常航路を利用する際に、やはり追加的な一般化費用・CO₂排出費用がかかってしまうことを推計に考慮する。

- ・ 気象観測所の整備

北極海航路を完全に開設するにあたり、航行状況など確認するために、地域ごとに細かく気象を予測する気象観測所の設置が不可欠である。気象観測所の整備費用としては固定費用と施設維持費用に分かれて集計を行う。

- ・ 避難港の整備

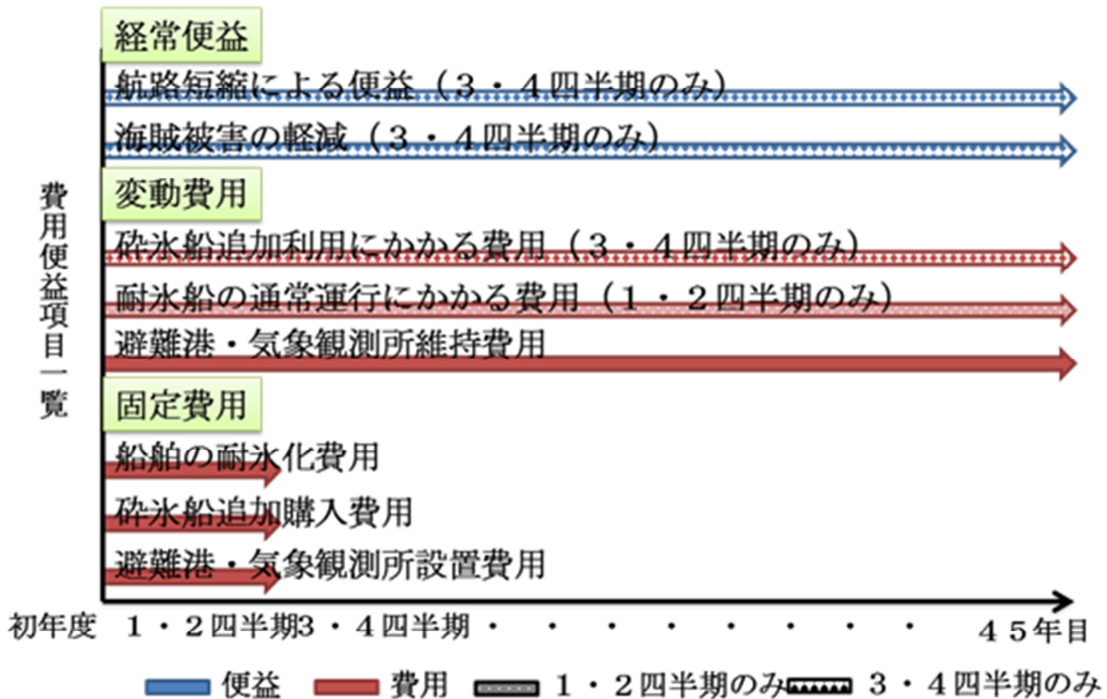
北極海航行に当たっては、予期せぬ災害等に遭遇した際、船舶が緊急に避難するための避難港が必要である。この港は、航路において適切な間隔をあけつつ、整備されなければならない。従って避難港の整備費用、及び維持管理費用を費用として集計する。

3-4-2-3. 費用便益発生タイミング

ここでは費用便益発生タイミングについて整理する（図 2）。各費用便益は、それぞれ①経常便益、②変動費用③固定費用に分類することができる。このうち、航路短縮便益、海賊被害軽減便益、砕氷船追加利用の費用は、北極海航路を利用する3・4四半期のみ発生するのに対し、耐氷船運航費用は耐氷船が通常航路を利用する1・2四半期に発生することになる。避難港・気象観測所の維持費用は期間に関係なく毎年発生し、固定費用は購

入時における初年度にのみ、耐用年数に応じてそれぞれ発生する。

図2 費用便益発生タイミング



4. 推計方法

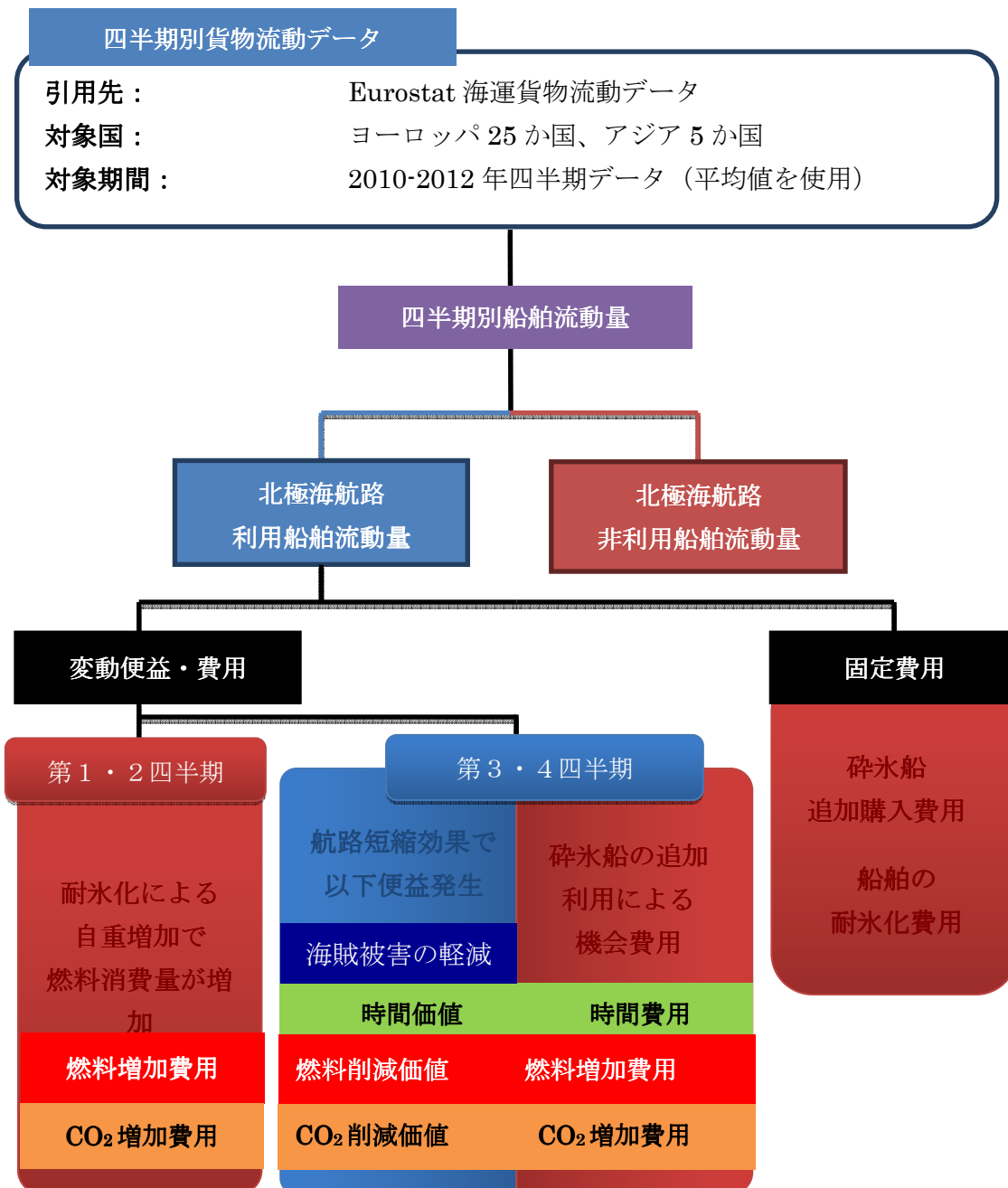
4-1. 推計の基本的な流れ

本研究にあたり、便益・費用推計の基本的な流れは図3のようになる。

まず、ヨーロッパアジア間の四半期別船舶流動量を推計する必要がある。次に、推計された船舶のうち、航行距離と速度から計算される航行時間を用いて北極海航路とスエズ運河航路を比較し、北極海航路利用船舶流動量を集計する。ここから、便益・費用項目の推計に移る。まず、第3・4四半期に発生する航路短縮効果について北極海航路・スエズ運河航路の航行時間の差分を用いて時間価値・燃料削減価値・CO₂削減価値の推計を行った。また、ここで北極海航路利用船舶流動量を集計し、年間ソマリア沖交通量との比率から海賊被害の軽減額を算定した。同様に、北極海航路利用船舶流動量と航路別平均航行日数を用いて耐氷化必要船舶数を推計、その船舶が第1・2四半期に往来する際の燃料効率悪化による費用を燃料増加費用・CO₂増加費用に分けて集計した。砕氷船については、砕氷船航行区間を仮定し、北極海航路利用船舶流動量を随伴するものとして必要砕氷船数を集計し、その際に必要な時間価値・燃料価値・CO₂価値を機会費用として集計した。なお、図では気象観測所の設置及び維持管理費用、避難港の設置及び維持管理費用について北極海航路利用流動量とは独立に決定されるため、言及していない。それら項目の値については、費

用の各担当項目にて言及することとする。

図3 便益・費用推計の流れ



4-2. 北極海航路利用船舶数の推定

本項では、四半期別ヨーロッパアジア間船舶流動量の推計ならびに北極海航路利用船舶流動量の推定方法について記す。

4-2-1. ヨーロッパ・アジア間船舶流動量の推計

北極海航路利用の費用便益を集計するにあたっては、北極海航路を利用する船舶流動量を推定する必要があり、そのためにはヨーロッパ・アジア間を移動する船舶流動量のデータが不可欠である。以下はその推計方法と利用データ・パラメータである。

4-2-1-1. 利用データ及び推計方法

船舶流動量データの取得について、船舶の国際移動は流動的であり、全ての移動を集計したデータの入手は非常に難しいことから、Eurostat より取得したヨーロッパ港における輸出入貨物流動量を用いて、船腹量等を仮定することで船舶流動量に分割し、アジア・ヨーロッパ間船舶流動量を推計した。

①推計方法

四半期別、各国・港別の輸出・輸入貨物流動量データを貨物品目ごとに取得し、各貨物品目を運搬する標準的船舶の積載可能量×消席率で割ることで、四半期別航路別船舶流動量を算出した。なお、船舶の流動は不定期であることを考慮し、2010年から2012年の3年間のデータを平均することで各四半期のヨーロッパ・アジア間船舶流動量としている。

②利用データ

Eurostat : Maritime transport - Goods - Quarterly data - Main ports - Detailed data

③取得期間

2010-2012 年第 1～4 四半期

4-2-1-2. 対象国及び対象貨物品目

①対象国

対象国は Eurostat にて取得できるヨーロッパ 25 カ国、アジア 5 カ国とした。対象国リストは表 2 の通りである。

表 2 対象国リスト (あいうえお順)

ヨーロッパ	アイルランド	イギリス	イタリア	エストニア	オランダ
	キプロス	ギリシャ	クロアチア	スウェーデン	スペイン
	スロベニア	デンマーク	ドイツ	トルコ	ノルウェー
	フィンランド	フランス	ブルガリア	ベルギー	ポーランド
	ポルトガル	ラトビア	リトアニア	ルーマニア	マルタ
アジア	韓国	台湾	中国	日本	香港

②対象貨物品目

対象貨物品目は先行研究を参考とし、表3の5品目とした。また、データはEurostatの以下項目と対応している

表3 対象貨物品目リスト

品目	単位	対応船舶種	Eurostat 該当項目
コンテナ	TEU	コンテナ船	Large Containers
ドライバルク	1,000 ton	バルカー	Dry bulk goods
石油	1,000 ton	タンカー	Liquid bulk – Crude oil
LNG	1,000 ton	LNG 船	Liquid bulk – Liquefied gas
自動車	1,000 ton	Ro-Ro 船	Ro-Ro, mobile self-propelled unit
			Ro-Ro, mobile non-self-propelled unit

4-2-1-3. 標準的船舶のパラメータ設定

船舶流動量の分割及び今後の費用便益計算にあたって必要となる、標準的なヨーロッパ-アジア間流動船舶の各パラメータについて、古市・大塚（2013）、植田・合田（2013）を参考に表4のように設定した。

表4 標準的船舶のパラメータ設定

対応船舶種	積載可能量	消席率	輸送航路	平均時速(knot/h)		エンジン出力(kw)
				スエズ運河	北極海航路	
コンテナ船	4,000TEU	0.7	往復	20	14.1	9,000
バルカー	75,000ton	0.9	片道			13,560
タンカー	162,000ton		片道			27,000
LNG 船	77,000ton		片道			40,000
Ro-Ro 船	21,500ton		往復			15,500

4-2-1-4. 流動量推計に用いた仮定

流動量算定に用いた仮定は以下である。

①貨物流動量一定

評価期間の45年間の間、ヨーロッパ-アジア間の貨物流動量は一定とする。本仮定は、貨物輸送市場における需要はほぼ外生であり、市場内の価格変動の影響を受けづらいという考えに基づくものである。

②消席率の加味

各標準的船舶について、古市・大塚（2013）を参考に積載可能量とは別に消席率を加味した。消席率は船舶ごとに積載可能量より下回る程度の貨物を運ぶことを想定して作られた割合であり、通常で 90%、コンテナ船のみ定期便であることを考慮し 70%を仮定した。

③トランシップ率の加味

コンテナ輸送についてのみトランシップ率を仮定した。トランシップ率は、コンテナ貨物が途中の港で積み替えられ、別の港へ輸送される比率を港ごとに集計したものであり、ヨーロッパ・アジア双方向の各貨物流動量に対し、シンガポール・香港・台湾・アラブ首長国連邦についてトランシップ率分を加味し、アジア諸国へ分配した。

各国のトランシップ率については、各種統計資料を参考にし、データが得られなかった国に関しては、「全体」の数値を相手国別のコンテナ貨物流動量比率で按分して求めた（表 5）。

表 5 トランシップ率（%）

From/to	日本	韓国	中国	全体*1
台湾*2	6	0.2	3	50.9
香港*3	2.9	0.9	23.1	57.3
シンガポール	3.1	4.4	13.6	81
UAE	0.1	0.2	5.1	35.2

*1 Deutsche Bank Research(2006) 『Container Shipping』

*2 Wen-Chih et al.(2008)

*3 香港特別行政区政府統計處(2012) 『香港統計月刊』

4-2-2. 北極海航路利用船舶流動量の推計

上記の推計にて得られた四半期別ヨーロッパ・アジア間船舶流動量のうち、第 3・4 四半期について北極海航路利用船舶流動量と北極海航路非利用（スエズ運河利用）船舶流動量に分割することで北極海航路を利用する船舶の流動量・割合を推計する。

4-2-2-1. 利用データ及び推計方法

以下の推計方法ならびに利用データにより、北極海航路利用の判別を行った。

①推計方法

2010-2012 年の間に一度でも船舶が流動した航路について、北極海航路及びスエズ運河航路の航行距離を取得し、仮定された平均航行速度（スエズ運河航路 20 knot/h、北極海航路 14.1 knot/h）で航海した場合の航行時間を算出した。北極海航路の航行時間がスエズ運河航路より短かった場合のみ、その航路の船舶は全て北極海航路を利用するとし、北極海

航路利用船舶流動量を求めた。

②利用データ

Netpas Distance: 各国の Northern Sea Route (NSR) 及び Suez Canal Route

4-2-2-2. 用いた仮定

北極海航路利用の判別に用いた仮定は以下である。

①北極海航路利用期間

北極海航路利用可能期間は古市・大塚（2013）にならい、7~11月とするが、統計データの都合上第3・4四半期を利用可能期間とする。第1・2四半期については耐氷化した船舶もスエズ運河航路を利用する。

②平均航行速度

すべての船舶の航行速度を一定とし、古市・大塚（2013）の仮定と同様、スエズ運河航路では平均時速 20 knot/h、北極海航路では海氷の影響を受け平均時速 14.1 knot/h で航行すると仮定する。

③航行時間による意思決定

全ての輸送業者は、北極海航路を利用するかスエズ運河航路を利用するかを選択にあたって、航行時間の短い航路を選択する。航行時間は航行距離 (km) ÷ 航行速度 (km/h) によって各航路で計算されたものを用い、燃料費・CO₂ 排出量も航行時間に比例することから、発生する費用による比較とも整合的である。ただし、本議論においてはスエズ運河利用料・砕氷船利用料等を費用便益分析の枠組みにおける所得移転として考慮していないことから、輸送業者が費用による意思決定を行った場合、結果に変化の余地があることに留意する必要がある。

4-3. 便益

便益は大きく分けて 2 つであり、北極海航路利用による航路短縮効果と海賊被害の軽減である。以下その推計方法及び利用パラメータについて詳細を述べる。

4-3-1. 航路短縮効果

航路短縮効果は北極海航路の便益の中で最も注目されているものであり、様々な先行研究においてその効果が議論されている。本項では、前項にて推計した北極海航路利用船舶流動量を利用し、削減航行時間を算出、燃料消費削減量・CO₂ 排出削減量は削減航行時間に線形に比例するものとして計算を行った。以下、算出方法ならびに引用パラメータを記

載する。

4-3-1-1. 削減航行時間の算出

削減航行時間は前項にて算出した北極海航路利用船舶流動量に付随して集計することが可能である。北極海航路利用船舶流動量の集計の際、航行時間による意思決定の仮定があり、北極海航路・スエズ運河航路の航行時間の比較により北極海航路利用の可否を決定していた。削減航行時間は、比較した各航路航行時間について、北極海航路を利用する場合のみ、各航路について北極海航路とスエズ運河の航行時間差分をとり、集計したものである。なお、北極海航路を利用なかった船舶については、差分はゼロである。

4-3-1-2. 燃料消費削減量の算出

燃料消費削減量は、北極海航路・スエズ運河航路の燃料消費量の差分によって求められる。北極海航路を利用しなかった船舶については、差分はゼロである。燃料消費量の算出式は古市・大塚（2013）に従い、以下の簡易的な算出式を用いた。

$$\text{燃料消費量}(g) = \text{船舶活動時間}(h) \times \text{SFOC}(g/kwh) \times \text{エンジン出力}(kw)$$

船舶活動時間には各航路の航行時間を用い、エンジン出力には標準船舶種ごとに仮定したエンジン出力を利用した。燃料消費率（SFOC）は一時間あたりのエンジン出力に対する燃料効率のことで、古市・大塚（2013）よりパラメータを引用した（表6）。なお、古市・大塚（2013）より船舶の燃料効率は運行速度の2乗に比例して低減することを考慮し、北極海航路航行における燃料消費率は非耐氷化船舶と同等を仮定した。

表6 各船舶の燃料消費率（SFOC）

	燃料消費率（SFOC）
非耐氷化船舶	185.0 g/kwh
耐氷化船舶	203.5 g/kwh

4-3-1-3. CO₂排出削減量の算出

CO₂排出削減量は、燃料消費削減量と同じく、北極海航路・スエズ運河航路のCO₂排出量の差分によって求められる。北極海航路を利用しなかった船舶については、差分はゼロである。CO₂排出削減量の算出にあたっては、経済産業省・国土交通省（2006）より標準手法として紹介されている燃料法に則って集計を行った。燃料法は、燃料消費量に対し、燃料ごとに定められているCO₂排出係数を用いてCO₂排出量を算出する方法で、本項では船舶輸送の燃料として従来使用されるC型重油を燃料として想定し、CO₂排出係数2.98 t-CO₂/klを用いて排出量を算出した。算出式は以下である。

$$CO_2\text{排出量}(t - CO_2) = \text{燃料使用量}(kl) \times CO_2\text{排出係数}(t - CO_2/kl)$$

4-3-2. 海賊被害の軽減

北極海航路利用の便益として、前項では航路短縮効果による便益をあげた。よく議論されるもう一つの便益として、ソマリア沖での海賊被害の軽減があげられる。本項では、北極海航路の利用を通じてソマリア沖流動船舶数が減少し、その割合的減少が海賊被害の軽減を促すと考え、その便益を推計した。

4-3-2-1. 海賊被害軽減便益推計の基本方針

海賊被害の軽減による便益の推計は以下の基本式に則って行った。

$$\text{海賊被害軽減の便益} = \text{年間ソマリア沖海賊被害額} \times \text{ソマリア沖航行量削減割合}$$

$$\text{航行量削減割合} = \text{北極海航路利用船舶流動量} \div \text{年間ソマリア沖航行船舶流動量}$$

本推計式は、ソマリア沖航行船舶数の現象を通じて、海賊との遭遇確率が低下し、海賊被害が減少することを念頭に置いて組み上げられたものである。

4-3-2-2. 年間ソマリア沖海賊被害額

ここでは、海賊被害の軽減便益を推計する。先行研究によると、2012年の海賊対策費用は表7のとおりである。これに、統計的生命価値の4億円/人と、2012年の人質殺害件数5件/年をかけ合わせた20億円を加え、中間値をとって、海賊の年間被害総額を5910.27億円と推計した。これと、ソマリア沖のアデン湾を航行する船舶は18,000隻/年であること、代替される船舶流動量は530隻/年であると推計していることから、1年あたり海賊被害の軽減便益は

$$5910.27 \times (530/18000) = 174.02 \text{ (億円)}$$

と推計される。

表 7 海賊被害の軽減便益

削減費用項目	金額（億円）
身代金&解放費用	63.5
軍事費	1090
安全整備&護衛	1650~2060
進路変更費用	290.5
速度上昇費用	1530
労働者のリスクプレミアム賃金	471.6
刑事訴追・監禁費用	14.89
海賊関連の保険費用	550.7
対海賊組織の費用	24.08
殺害された人質生命価値	20
合計	5705.27~6115.27
(中間値)	5910.27

4-3-2-3. ソマリア沖航行量削減割合の算出

ソマリア沖航行量削減割合の算出にあたっては、4-3-2-2 より年間ソマリア沖航行実績が 18,000 隻/年であったことを踏まえて、前項にて算出された北極海航路利用船舶流動量を 18,000 で割ったものを割合として利用した。なお、ここで想定されるソマリア沖航行量の削減は、北極海航路が利用可能な第 3・4 四半期にヨーロッパ-アジア間を流動する船舶の一部であることから、代替が最大限発生しても海賊被害はゼロにならないことに留意する必要がある。

4-4. 費用

北極海航路利用の費用は多岐にわたる。費用項目は大きく 2 つに分割が可能であり、毎年発生が予期される変動費用と一度に大きな費用が発生する固定費用に分かれる。変動費用としては、砕氷船追加的利用による費用、耐氷化船舶の燃料効率低下による追加的費用、気象観測所及び避難港の維持管理費用が想定されている。固定費用としては砕氷船追加購入費用、船舶の耐氷化費用、気象観測所及び避難港の設置費用が考えられる。以下でその推計方法、費用、償却期間等について詳細を説明する。

4-4-1. 固定費用

4-4-1-1. 船舶の耐氷化

4-4-1-1-1. 船舶耐氷化費用

北極海航路を航行する際には、流氷等の影響により通常の航路よりも船体へ大きなダメージを受けやすいことから、適切な耐氷補強を施さなければならない。耐氷船はその性能により国際的な基準が定められており、北バルト海を管轄するフィンランド政府及びスウェーデン政府の規則に基づく4つの階級（IA Super, IA, IB 及び IC）及びカナダ政府に基づく階級（ID）の5つの階級に分けられる（表 8）。海域ごとの氷況に応じた適切なグレードアップを行ってはいじめて北極海の航行が可能となる。具体的な内容は以下の表のとおりである。古市・大塚（2013）によれば、IA 階級の耐氷性能を持つ船は、耐氷性能なしの船よりも 10～30%程度コスト増となることから、今回のケースでは、耐氷化費用を船建造価格の 15%程度と仮定した。耐氷性能なしの船 1 隻あたりの価格は「パラメータの金額算出」の項において 65 億円と仮定したので、耐氷化費用をその 15%である 9.75 億円と試算することができる。

表 8 耐氷船の階級区分

階級	定義
IA Super	砕氷船の支援なしに厳しい氷水域を航行する能力を有する
IA	砕氷船のもとに厳しい氷水域を航行する能力を有する
IB	必要に応じて砕氷船の支援を受けることにより、穏やかな氷水域を航行する能力を有する
IC	必要に応じて砕氷船の支援を受けることにより、航行が容易な氷水域を航行する能力を有する
ID	一般海域を航行できる構造強度を有し、耐氷補強は行われていないものの、非常に航行が容易な氷水域を航行する能力を有する

4-4-1-1-2. 耐氷化船舶数の推計

船舶の耐氷化費用を算定するにあたって、現状存在する北極海航路利用船舶流動量では四半期間に一船舶の何れもの流動を含んでおり、船舶流動量を耐氷化船舶数として利用すれば船舶耐氷化費用の過大推計となる可能性が高い。ゆえに、北極海航路利用船舶流動量を耐氷化船舶数に変換する必要がある。算出式は以下である；

$$\text{耐氷化必要船舶数} = \text{北極海航路利用船舶流動量} \div \text{四半期間流動可能回数}$$

$$\text{四半期間流動可能回数} = \text{四半期(90日)} \div \text{各航路平均輸送日数}$$

式としてはヨーロッパの港ごとにアジア諸国への輸送にかかる平均日数を算出し、四半期で何回流動可能かを算出、それを北極海航路利用船舶流動量に割ることで耐氷化必要船舶数とした。なお、輸送貨物の種類によって、往復・片道輸送が異なることを加味し、耐氷化必要船舶数としている。

4-4-1-2. 砕氷船の追加購入費用

4-4-1-2-1. 砕氷船費用

北極海航路の利用にあたっては、ロシアの原子力砕氷船によるエスコートを受けることが基本となっている。(エスコートを受けずに自国の砕氷船を用いて航行することも可能であるが、その場合であってもロシアへ通行許可のための料金を支払う必要がある。)ロシアは十数台の原子力砕氷船を保有していると言われていたが、老朽化その他の理由から、実際に稼働している船舶は3隻程度である。現状においては、北極海航路の通航量が少ないことから、この3隻による運用で航行が成り立っているが、本論文において仮定するように北極海航路の通航量が増加した場合、新規に砕氷船を建造する必要性が生じてくる。ロシア政府は今後900億円を投じて9隻の砕氷船を建造する意向を示していることから、砕氷船1隻あたりの新建造費を100億円程度と仮定することとする。



図4 ロシアの原子力砕氷船

4-4-1-2-2. 砕氷船追加購入数の推計

砕氷船の追加購入費用算定にあたっては、現状存在する北極海航路利用船舶流動量では四半期間に一船舶の何度もの流動を含んでいること、砕氷船の随行必要区間は貨物船より短いと考えられることから、船舶流動量を砕氷船追加購入量として利用すれば砕氷船追加購入費用の過大推計となる。ゆえに、砕氷船追加購入費用については以下の算出式を利用した；

$$\text{砕氷船追加購入費用} = (\text{必要砕氷船数} - \text{現存砕氷船数}) \times \text{一隻あたり価格}$$

$$\text{必要砕氷船数} = \max(\text{第3・4四半期北極海航路利用船舶流動量}) \times \text{砕氷船航行時間} \\ \div 24 \text{ 時間} \div 90 \text{ 日}$$

追加購入砕氷船数は、必要な砕氷船数から現状利用可能な砕氷船数を引いたものであり、必要砕氷船数は、全てのヨーロッパアジア間北極海航路利用船舶流動量について各四半期の最大値を取り、砕氷船航行分を集計したものである。

4-4-1-2-3. 砕氷船航行時間算出の仮定

砕氷船航行時間算出にあたっては以下の仮定を利用している。

①砕氷船エスコート数

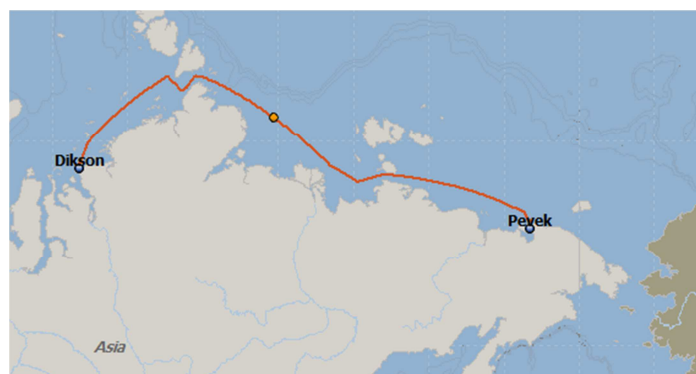
砕氷船は、貨物船一隻につき一隻がエスコートする。

②砕氷船航行区間

砕氷船の航行区間は、ロシア北部港のDikson 港～Pevek 港間（3,274km）とする。

航行区間図は図5のとおりである。

図5 砕氷船航行区間



③砕氷船航行速度

砕氷船航行速度は平均 10knot である。

4-4-1-3. 気象観測所費用

北極海航路の氷況が良好となり、本格的に航路として開通した場合であっても、急な気象の変化により航行ができなくなる可能性はある。そのため、気象状況等を常に監視する必要があり、地域ごとの詳細な気象状況を観測する観測所の整備が不可欠である。気象観測所の建造費は、その規模によって様々であるが、ロシアの一般的な価格帯等の情報が得られなかったため、日本における一般的な気象レーダーの費用を用いることとした。気象庁によれば、釧路にある昆布森気象レーダーの新設費は 2 億円であったため、ロシアにおける気象レーダー1 台当たりの建造費も同等程度であると仮定した。また、レーダーの探知範囲が約 250km 程度であることから、500km 間隔で設置して全航路を切れ目なく観測できる状態を想定する。これにより、ロシア結氷海域の距離に基づき、レーダーの必要台数は6 台と試算できる。以上により、気象観測にかかる初期の固定費用は 12 億円と試算することができる。

4-4-1-4. 避難港設置費用

航行の可能性を判断するために気象観測所が必要であったが、航行中に急な気象の変化があり航行が困難となった場合には、避難するための港も必要となってくる。現在、北極海航路上のカラゲイトからベーリング海峡の間には、ロシアの既存の港湾施設としてベベク、チクシ、ディクソン、アルハンゲルスク、ムルマンスクの5つの港があるが、いずれも水深が浅く老朽化した状態にある。これらの港湾を避難港として活用するため、バージョンアップする費用が必要となる。ロシアの港湾の整備費用や社会資本ストックに関する情報を得ることが困難だったため、本論文においては、日本の港湾と同等程度の規模と仮定することとし、日本の港湾の社会資本ストックの額を使用する。内閣府の調査によれば、日本の現存する港湾の減価額（物理的減耗、陳腐化等による価値の減少）は港湾一つ当たり166億円であるため、港湾にかかる初期の固定費用を $166 \text{ 億円} \times 5 = 830 \text{ 億円}$ とする。



図6 ムルマンスク港の様子

4-4-2. 変動費用

4-4-2-1. 砕氷船追加利用による費用

砕氷船追加利用による費用は、スエズ運河航路を利用した際には発生しない砕氷船利用による追加的な航行時間増加、それによる燃料費用及びCO₂費用の増大である。全ての算出方法は、航路短縮効果による算出方法と同様であり、時間費用についてのみ砕氷船専用の時間価値を用いた。砕氷船追加利用による時間増加は、砕氷船追加購入費用算出時に求めた、全砕氷船航行時間（第3・4四半期の北極海航路利用船舶流動量×砕氷船航行時間）を用いて算出される。

4-4-2-2. 耐氷化船舶の燃料効率等追加費用

耐氷化した船舶は船体の自重が重くなることで、燃料効率が下がり、燃料消費率(SFOC)が増加すると考えられる。なお、船舶の規定速度は25knot/hであるとのことから、スエズ運河航行時でも平均20knot/hの航行は耐氷化しても可能であると考え、速度の低下は考慮しない。推計の流れとしては、北極海航路を利用すると考えられる航路の第1・2四半期の流動量に対し、耐氷化された船舶が流動することを想定して燃料消費率に10%増加した耐氷化船舶用の数値を適用し、増加した燃料消費量・CO₂排出量を算出、金銭価値化した。燃料消費量ならびにCO₂排出量の算出式は、航路短縮効果で用いた手法と同じである。

4-4-2-3. 気象観測所維持費用

ロシアの気象観測所に関する一般的な維持管理費用の情報が得られなかったため、日本における一般的な気象レーダーの維持管理費用を用いることとした。気象庁によれば、釧路にある昆布森気象レーダーの維持管理費用は1年あたり300万円であったため、ロシアにおける気象レーダー1台当たりの維持管理費も同等程度であると仮定した。固定費用の算出方法と同様、6台の気象レーダーを要することから1,800万円/年と試算することができる。なお、気象レーダーの耐用年数は15年とする。

4-4-2-4. 避難港維持費用

ロシアの港湾の維持管理費用に関する情報を得ることが困難だったため、日本の港湾と同等程度と仮定する。日本に現存する港湾一つ当たりの粗資本ストック（現存する固定資産について評価時点で新品として調達する価格で評価した価値）は306億円であることから、ロシアにおける港湾施設1か所当たりの新建造費を306億円とする。国土交通省の試算によれば、土木関係施設の維持管理費は約1%程度であることから、ロシアにおける港湾の維持管理費を306億円×1%×5つの港湾=15億円と試算する。なお、耐用年数は45年とする。

4-5. 各価値のパラメータ設定

上記の北極海航路利用船舶流動量を通じて集計された短縮時間、燃料削減量、CO₂削減量について、各パラメータを用いて金銭価値化した。以下は、各パラメータの設定方法と具体的金額を記載した。

4-5-1. 時間価値

北極海航路の利用には2つの形で時間価値が関わってくる。貨物船では船舶の航行時間短縮を通じて時間価値分の便益が発生するが、一方で砕氷船の機会費用では砕氷船利用の時間価値が費用として発生する。上述の推計方法にて航路短縮による短縮時間及び砕氷船利用による追加的な時間について、時間価値をかけて金銭化した。算出方法及び算出金額は以下である。

4-5-1-1. パラメータの推計方法

時間価値を求めるにあたって、本項にて集計される時間価値は人件費から求める一人あたり時間価値とは異なることに留意する必要がある。これは、短縮時間ならびに機会費用による時間追加分が、人件費だけでなく船舶の利用費用分も含むためである。時間価値は、労働力並びに船舶の利用の機会費用として集計を行い、人件費には船員の基本的給料に週間労働上限時間（72時間）を加味して集計し、船舶利用の価値には船舶の平均的価格に年間保全費の差分をとったものを利用した。推計式は以下である。

$$\text{時間価値} = \text{船舶利用の時間価値} + \text{船員の時間価値}$$

$$\text{船舶利用の時間価値} = \text{船舶価格} \times (1 - \text{保全費率}) \div \text{耐用年数} \div (365 \text{ 日} \times 24 \text{ 時間})$$

$$\text{船員の時間価値} = 1 \text{ 船舶あたり人件費} \div 52 \text{ 週間} \times 72 \text{ 時間}$$

なお、航行時間が短縮されることで、貨物の到着が早くなることによる便益が期待できるが、それぞれの便益は一つ一つの荷物やその用途によって異なると考えられるため、考慮しなかった。

4-5-1-2. パラメータの金額算出

算出にあたり、貨物船・砕氷船それぞれに対して表 9 の数値を仮定し、結果として、表 10 の各時間価値を得ることができた。貨物船と砕氷船では船体価格ならびに一隻あたり乗員数が異なることから、時間価値が異なっていることに留意する必要がある。

表 9 仮定したパラメータ

	価格 (円)	保全費 (%)	耐用年数	1 隻あたり年間 人件費 (円)	乗員数
貨物船	6,500,000,000	9.50%	15	100,000,000	23 名
砕氷船	10,000,000,000		30	369,565,217	85 名

表 10 時間価値

	時間価値 (一時間あたり)
貨物船	71,477 円
砕氷船	133,145 円

4-5-2. CO₂ 削減価値

CO₂ 削減価値については、各国また計測方法により数値が大きく異なることを考慮し、国土交通省 (2007) より表 11 に示した 3 つの値を引用した。なお、t-C あたりの数値を引用しており、実際の計測には t-CO₂ あたりに集計しなおした値を利用している。

表 11 CO₂削減価値

	CO ₂ 削減価値 (t-C あたり)
鉄道整備事業 CBA での利用値	2,300 円
限界被害費用における推定	5,000 円
諸外国設定例の中央値	36,000 円

4-5-3. 燃料価値

船舶利用時間の増減によって関係してくる燃料価値は燃料価格と同等とし、古市・大塚 (2013) と同様に、2012 年のシンガポールでの実勢価格 65,000 円/ton を仮定した。

4-5-4. 為替

全ての便益費用計算は日本円換算にて行い、為替レートは 100 円/US\$ を仮定した。

5. 推計結果

前章の推計方法をもとに、完全代替 (代替率 1) ・北極海航行速度 14.1 knot/h のベースケースにて推計を行った。

5-1. ベースケースにおける結果

ベースケースにおける結果は表 12 のようになった。

表 12 ベースケースにおける推計結果

	2,300 円/t-C	5,000 円/t-C	36,000 円/t-C
便益			
時間価値	8,777,547,859	8,777,547,859	8,777,547,859
燃料削減価値	64,710,825,798	64,710,825,798	64,710,825,798
CO ₂ 排出削減価値	23,268,161,232	50,582,959,200	364,197,306,239
海賊被害の軽減	17,401,666,667	17,401,666,667	17,401,666,667
費用			
変動費用			
砕氷船時間費用	11,428,410,240	11,428,410,240	11,428,410,240
砕氷船燃料費用	45,020,102,979	45,020,102,979	45,020,102,979
砕氷船 CO ₂ 排出費用	16,187,940,764	35,191,175,574	253,376,464,130
追加的燃料費用	16,516,721,228	16,516,721,228	16,516,721,228
追加的 CO ₂ 排出費用	5,938,940,321	12,910,739,829	92,957,326,770
気象観測所維持費用	18,000,000	18,000,000	18,000,000
避難港維持費用	1,530,000,000	1,530,000,000	1,530,000,000
固定費用			
耐氷化費用	81,985,714,373	81,985,714,373	81,985,714,373
砕氷船費用	300,000,000,000	300,000,000,000	300,000,000,000
気象観測所設置費用	3,600,000,000	3,600,000,000	3,600,000,000
避難港設置費用	83,000,000,000	83,000,000,000	83,000,000,000
総便益（便益項目総計）	2,459,976,967,501	3,048,579,213,833	9,806,605,005,055
総費用（費用項目総計）	2,551,068,226,439	3,110,800,118,499	9,537,351,471,781
純便益（NPV）	-91,091,258,938	-62,220,904,666	269,253,533,274
費用便益比（B/C）	0.964	0.980	1.028

5-2. 考察

本項では、ベースケースにおける結果について各項目を確認し、その考察を述べたい。なお、本分析において、CO₂ 削減価値は 3 つの値を使用したため、各価値について 3 通りの分析を設けた。3 通りの分析において、違いは CO₂ 削減価値のみであることを注記したい。

まず、各項目について論じたい。航路短縮効果による便益は、燃料削減効果が最も高くその便益に貢献していることがわかる。一単位あたり燃料削減価値は時間価値よりも小さいことから、ひとえに燃料削減効果が大きいようである。また、CO₂ についてはその評価額により大きな振れ幅があり、最小と最大で桁が一つ変化する。ただし、航路短縮効果に

よる便益は砕氷船の随行費用と耐氷化による第1・2四半期の追加費用によってある程度減じられていることに注意すべきである。航路短縮効果による便益と砕氷船随行費用+耐氷化による追加費用を考慮した経常便益を考えれば、時間価値はマイナス、燃料価値及びCO₂削減価値についてもその便益発生分はほとんど失われる。一方で、海賊被害の軽減による便益は、各価値のパラメータとは別個に決まっており、経常的な便益への寄与度が高い。固定費用について見ると、砕氷船の追加購入費用が抜きん出ており、避難港や気象観測所の建設費用を上回っている。

全体的な費用便益分析の結果としては、CO₂の評価額が最大の36,000円時以外の場合は負であり、費用便益分析はパスしない。ただし、今回の設定ケースにおいて、費用便益比(B/C)は1の近傍で変化しており、費用と便益の双方が拮抗しており、パラメータの変化によって費用便益が変化する可能性は十分に有り得る。ゆえに、次章の感度分析にて速度ならびに代替率が変化した場合の純便益・費用便益比について考えたい。

6. 感度分析

前項のベースケースの分析結果は負であったが僅差であり、様々なパラメータの変化によって、純便益・費用便益比の結果が正・1以上になる可能性をはらんでいると思われる。本項では、2つのパラメータについて変化させることで便益と費用の変化を見たい。

6-1. 変化させるパラメータ

本感度分析で変化させるパラメータは以下二点である；

①北極海航行速度

変化幅：14.1 knot/h ~ 20 knot/h

下限は古市・大塚（2013）にて北極海航路航行速度として仮定されていた14.1 knot/h、上限は古市・大塚（2013）にてスエズ運河航路航行速度として仮定されていた20 knot/hを用いる。北極海航行速度は、海氷の状態に左右され、海氷状態が良ければその分航行速度は高まると考えられる。また、地球温暖化の影響を通じて海氷が融解し、スエズ運河航路と同等まで航行速度を高めることができる可能性を考慮し、最大値を20 knot/hとした。

北極海航行速度の変化は、航行時間による意思決定の仮定より、北極海航路航行時間の減少を通じて、より多くの航路で北極海航路を利用可能にする効果が期待できる。航行速度が上がってゆくごとに北極海航路利用船舶流動量が増加することが予想され、純便益・費用便益比の変化については砕氷船や耐氷化による追加変動費用、砕氷船追加購入費用との兼ね合いによると考えられるが、概ね便益は増加すると期待できる。

②代替率

変化幅：0.7~1 (70%~100%)

北極海航路利用の可否については、航行時間による意思決定を想定しており、北極海航路の航行時間がスエズ運河よりも短かった場合は100%北極海航路を利用する完全代替となっている。ただし、現実では人々は全て合理的ではない、異なる選好を持つ人々もいる、北極海航路の航行に不確実性を考慮する等の理由により、完全代替とならない可能性がある。ゆえに、代替率を0.7~1の間で変化させ、結果を観察することとした。

代替率の変化は、北極海航路利用船舶流動量を減少させる。その純便益・費用便益比変化については砕氷船や耐氷化による追加変動費用、砕氷船追加購入費用との兼ね合いによると考えられるが、概ね便益は減少すると考えられる。

6-2. 感度分析結果

本項では速度と代替率についてマトリクス状の感度分析を行い、結果を確認した。以下では、速度を①仮定の最大速度まで高めた場合（表 12-(1)、表 12-(2)）②純便益ゼロ近傍速度の場合（表 13-(1)、表 13-(2)）の2段階に分けて感度分析を行っている。

6-2-1. 仮定の最大速度まで高めた場合

表 12-(1) 感度分析 1 仮定の最大速度 (純便益)

CO ₂ 価値 2,300 円/t-C				
代替率/速度	14.1	16	18	20
0.7	-182,193,626,844	1,393,863,967,957	1,992,956,725,967	2,307,137,889,017
0.8	-172,139,955,685	1,634,740,630,988	2,333,525,062,483	2,685,763,274,990
0.9	-164,516,155,112	1,863,691,120,292	2,645,919,559,113	3,033,010,984,517
1.0	-91,091,258,938	1,968,081,172,561	3,046,689,059,060	3,483,225,476,875
CO ₂ 価値 5,000 円/t-C				
代替率/速度	14.1	16	18	20
0.7	-183,618,219,130	1,882,128,395,256	2,654,033,597,876	3,055,972,795,337
0.8	-168,359,601,085	2,200,814,621,066	3,098,313,133,354	3,550,515,112,123
0.9	-156,303,490,780	2,503,711,487,385	3,507,465,094,572	4,008,271,292,394
1.0	-62,220,904,666	2,705,227,031,251	4,028,943,810,842	4,592,946,007,231
CO ₂ 価値 36,000 円/t-C				
代替率/速度	14.1	16	18	20
0.7	-199,974,649,080	7,488,127,375,364	10,244,175,460,531	11,653,706,904,938
0.8	-124,955,529,759	8,700,182,655,297	11,879,213,206,321	13,479,147,316,244
0.9	-62,009,937,337	9,852,093,479,934	13,399,284,205,402	15,205,704,456,908
1.0	269,253,533,274	11,168,753,556,947	15,306,683,553,525	17,334,181,726,129

表 12-(2) 感度分析 1 仮定の最大速度 (費用便益比)

CO ₂ 価値 2,300 円/t-C				
代替率/速度	14.1	16	18	20
0.7	0.91	1.24	1.30	1.30
0.8	0.92	1.24	1.31	1.31
0.9	0.93	1.25	1.31	1.31
1.0	0.96	1.24	1.32	1.33

CO ₂ 価値 5,000 円/t-C				
代替率/速度	14.1	16	18	20
0.7	0.92	1.26	1.32	1.33
0.8	0.94	1.27	1.33	1.34
0.9	0.95	1.27	1.33	1.34
1.0	0.98	1.27	1.35	1.35

CO ₂ 価値 36,000 円/t-C				
代替率/速度	14.1	16	18	20
0.7	0.97	1.33	1.40	1.40
0.8	0.98	1.34	1.41	1.41
0.9	0.99	1.34	1.41	1.41
1.0	1.03	1.35	1.42	1.43

6-2-2. 純便益ゼロ近傍速度の場合

表 13-(1) 感度分析 2 純便益ゼロ近傍速度 (純便益)

CO ₂ 価値 2,300 円/t-C				
代替率/速度	14.1	14.3	14.5	14.7
0.7	-182,193,626,844	-340,005,040,210	3,410,218,183,273	3,407,519,074,709
0.8	-172,139,955,685	-351,427,721,768	3,924,093,313,147	3,941,831,703,080
0.9	-164,516,155,112	-375,333,337,378	4,455,131,172,002	4,458,735,368,323
1.0	-91,091,258,938	-313,912,820,304	5,039,156,727,836	5,042,515,933,165
CO ₂ 価値 5,000 円/t-C				
代替率/速度	14.1	14.3	14.5	14.7
0.7	-183,618,219,130	-385,551,797,892	4,420,630,950,796	4,419,472,123,676
0.8	-168,359,601,085	-399,066,089,675	5,083,928,091,606	5,104,640,947,286
0.9	-156,303,490,780	-424,290,678,357	5,765,160,598,549	5,771,628,170,615
1.0	-62,220,904,666	-346,418,479,842	6,516,378,819,832	6,522,490,310,904
CO ₂ 価値 36,000 円/t-C				
代替率/速度	14.1	14.3	14.5	14.7
0.7	-199,974,649,080	-908,496,052,759	16,021,666,429,766	16,038,192,315,522
0.8	-124,955,529,759	-946,025,128,603	18,400,549,622,058	18,455,413,751,135
0.9	-62,009,937,337	-986,393,482,185	20,806,239,199,644	20,845,582,567,306
1.0	269,253,533,274	-719,631,607,867	23,477,076,913,112	23,514,788,721,979

表 13-(2) 感度分析 2 純便益ゼロ近傍速度（費用便益比）

CO ₂ 価値 2,300 円/t-C				
代替率/速度	14.1	14.3	14.5	14.7
0.7	0.91	0.84	2.30	2.27
0.8	0.92	0.86	2.32	2.31
0.9	0.93	0.86	2.35	2.33
1.0	0.96	0.89	2.42	2.39
CO ₂ 価値 5,000 円/t-C				
代替率/速度	14.1	14.3	14.5	14.7
0.7	0.92	0.85	2.37	2.34
0.8	0.94	0.87	2.39	2.38
0.9	0.95	0.87	2.42	2.40
1.0	0.98	0.90	2.49	2.46
CO ₂ 価値 36,000 円/t-C				
代替率/速度	14.1	14.3	14.5	14.7
0.7	0.97	0.89	2.58	2.55
0.8	0.98	0.90	2.60	2.58
0.9	0.99	0.90	2.62	2.60
1.0	1.03	0.93	2.69	2.67

6-3. 結果の考察

感度分析の結果について考察を行う。まず、感度分析を 2 つ行った理由から説明したい。感度分析 1 の仮定の最大速度を利用した場合の結果では、どの代替率をとっても、16 knot/h 以上の早さであれば純便益が正、費用便益比が 1 以上となることが明らかになった。ゆえに、純便益ゼロ近傍の速度でさらに感度分析を行うことで、純便益が正になるポイントを発見するため、感度分析 2 を行った。

以上の結果を踏まえて、まず、各感度分析パラメータについて論じたい。北極海航行速度は純便益及び費用便益比に対して正の影響を持ち、一方で代替率は負の影響を持っていることが明らかになった。これは北極海航路の利用船舶流動量の増加は費用便益分析に正のインパクトを持つということである。利用船舶数が増加することで、固定費用の観点では一単位あたり避難港・気象観測所設置費用が低下し、経常的な便益・費用項目から見ても、利用船舶流動量の増加は海賊被害の軽減と各航路の短縮効果便益を伴って便益が発生する。各パラメータの重要性について述べると、北極海航行速度の変化は北極海航路利用船舶流動量自体に影響をあたえるため不規則な変化をし、深く観察する必要があるが、代替率は完全代替の状態から比例的な変化をするため、観察対象のパラメータとしてさらに詳細な分析をするには至らないであろうことが感度分析から明らか

かになった。

各結果について論じると、まず感度分析 1 において、北極海航路の利用により純便益・費用便益比ともに上昇傾向をもっており、費用便益比の最大値は北極海航行速度 20 knot/h、完全代替、CO₂ 価値 36,000 円/t-C の際の 1.43 である。一方で、感度分析 2 における費用便益比の最大値は、北極海航行速度 14.5 knot/h、完全代替、CO₂ 価値 36,000 円/t-C であり、速度比例的でない。これは砕氷船追加購入ならびに船舶耐氷化の固定費用の増加幅にはジャンプするポイントが存在し、ある一定の北極海航路利用船舶流動量を超えると固定費用が変化すると考えられるためである。以上より、北極海航路利用船舶流動量と純便益との関係は概ね正の相関を持つが、費用便益比について波があり、それを念頭においた政策運営が望ましい。

7. 考察

以上全ての分析結果から、全体を通じての考察を行う。また、本分析において得られたデータを用いて、いくつかの政策的含意を得ることができた。以下では、それらについて論じることとする。

7-1. 全体としての考察

まず、ベースケースにおける費用便益分析は負であり、パスしなかった。その原因として、北極海航路を利用する船舶が少なく、また航路短縮効果により発生する便益もそのほとんどがそれに付随して発生する費用（砕氷船及び耐氷船の変動費用分）により相殺されていたことによる。北極海航路利用船舶の航路に依存するものの、全体として航路短縮効果の便益は約三割程度まで減少していた。一方で、海賊被害はその航行船舶数に比例して減少すると仮定すれば、大きな経常的便益の源であり、その寄与度はおそらく相殺分を割り引かれた航路短縮効果よりも大きい。ゆえに、北極海航路開通の真の便益は航路短縮効果よりもむしろ海賊被害の軽減にあると論じることできる。

また、北極海航路の海氷状態が改善することで航行速度が向上し、より多くの航路で利用が可能となり、多くの船舶が利用することによってより大きな便益が発生することが明らかになった。今回の分析においては、14.5 knot/h 以上であれば、北極海航路利用の費用便益分析は正である。さらに、本議論において、代替率は大きな影響要因ではなく、北極海航路利用の母数自体を変化させる航行速度のほうがより重要な指標であった。

最後に各国政府による北極海航路利用の需要管理により、より高い費用便益比を達成できる点について触れておきたい。感度分析における費用便益比では、速度が 20 knot/h の際の費用便益比よりも 14.5 knot/h の際の費用便益比のほうが高い結果となった。これは砕氷船や耐氷船の固定費用に対して、投資資本をいかに効率的に使用できるかによって、費用便益比が大きく変化する可能性を示唆している。ゆえに、各国政府が北極海

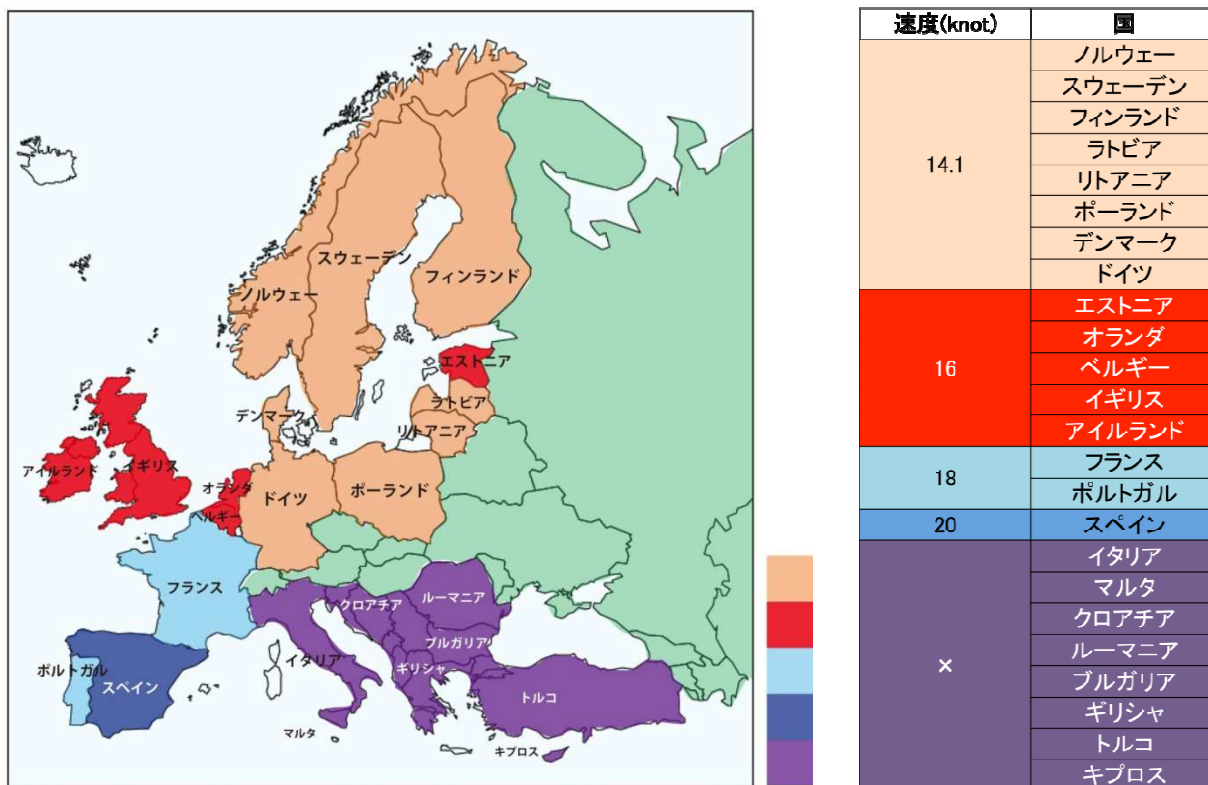
航路の需要を予測し、それに応じた砕氷船を設置し、最大限有効活用することで、費用便益比を最大化することができると考えられる。

7-2. ヨーロッパ利用港の拡大

前項では、北極海航路利用について費用便益分析の全容とその考察を行った。本項と次項では、その付録としてヨーロッパ・アジアの各国が北極海航路に対し、どのような態度を取るであろうかについて、北極海航行速度を用いた北極海航路の利用割合をもとに考察する。

まず、本項ではヨーロッパ各国の港利用率について考察したい。図7は、北極海航路利用について航行速度変化を通じた利用率を元に色分けを行ったヨーロッパ全図である。ここで図を見てみると、ヨーロッパ各国は速度により5種類に大別されることがわかる。まず、イタリアなど地中海沿岸の国家は、北極海と比較的遠く、一方でスエズ運河に近いことから、どの速度をとっても北極海航路利用は適さない。一方で、北極海に近いスカンジナビア半島の国々から順に、北極海航路利用可能性が航行速度を通じて上昇していくことがわかる。ゆえに、北極海航路の利用をめぐり、ヨーロッパ諸国と協力する場合にはより北部の国々のほうが本政策に対し、好意的であると期待できる。

図7 ヨーロッパ各国の北極海航路利用状況



7-3. アジア各国の政策方針

前項では、ヨーロッパ各国の北極海航路政策に対する態度について考察した。次に、我々日本国を含むアジア各国の便益について詳細に考えると共に、政策方針を提示したい。表 14-(1)、表 14-(2)は、アジア各国の北極海航路利用状況について通行可能航路数と、その全体から見た割合をまとめたものである。

まず、全体について議論すれば、海氷の状態によって、北極海航路は現状のスエズ運河航路の 17.4%から 56%をカバーすることが可能である。海氷の状態は、地球温暖化に比例して改善していくと期待できるので、時系列にそって上昇トレンドを持つと想定でき、本政策は経年とともにより政策的価値が増していくといえるだろう。

次に各国について考察したい。本政策はアジア各国へ便益を生み出す世界的プロジェクトであるが、最大の利益享受国は日本と韓国である。これら二カ国は、初めから多くの航路を北極海航路に代替して利用可能であり、経年とともに更に多くの航路を利用可能となる。次に、中国では初めは利用可能な航路が少なく、経年とともに日本や韓国に並ぶ利益享受国となる。最後に香港と台湾について見ると、これら二カ国はアジアでも南に位置していることもあり、あまり多くの航路を北極海航路に代替することができず、成長性も他国と比べると低い。

以上から、アジア各国の本政策に対する態度についてまとめると、日本や韓国は多くの利益を享受できるため政策に前向きであり、中国は経年とともにその重要度が増すため事後的に本政策に参加してくる可能性がある、また香港・台湾については積極的な関与は期待できないと考えられる。ゆえに、北極海航路開通により日本が便益を受けようとするのであれば、積極的にヨーロッパ北部諸国並びに韓国を巻き込み、世界的な政策として強力に推進していく必要がある。

表 14-(1) アジア各国の北極海航路利用状況

速度/国	中国	香港	日本	韓国	台湾	合計
14.1	12	1	62	48	1	124
16	64	1	78	65	14	222
18	81	28	99	86	32	326
20	99	41	111	106	42	399

表 14-(2) アジア各国の北極海航路利用状況（割合＜可能航行数/全体＞）

速度/国	中国	香港	日本	韓国	台湾	全体
14.1	6.40%	0.90%	37.80%	30.00%	1.10%	17.40%
16	34.00%	0.90%	47.60%	40.60%	15.40%	31.20%
18	43.10%	25.70%	60.40%	53.80%	35.20%	45.80%
20	52.70%	37.60%	67.70%	66.30%	46.20%	56.00%

8. 今後の課題

最後に、本分析における限界と今後の課題を挙げておきたい。

第一に、本分析を行う上では入手できるデータの制約から、多くの大胆な仮定を置かざるを得なかった。例えば、全体の貨物流動量については推計期間を通じて一定と仮定している点や、輸送業者が航行時間の長短だけで航路を決定するとする仮定は、現実と照らすとやや強い仮定であると考えられる。また、ロシアの陸上輸送の利便性向上による便益やインフラ施設にかかる費用など、データの制約により費用便益の計算から除外している項目や、かなりおおざっぱな推計を行っている項目も多い。北極海航路の開通が世界全体に対して多大な便益をもたらし得ることに鑑みれば、今後、各国や各関係団体による積極的なデータの収集・公開が期待される場所である。

第二に、パラメータの正確性である。船舶の航行速度や時間価値、南回り航路からの代替率、CO₂の削減価値など、本分析で用いたパラメータは、先行研究の仮定にならったものや大まかな計算方法で算出したものなど、その正確性は必ずしも高いとはいえない。分析結果に大きく影響するパラメータに関しては感度分析を行ってはいるが、いずれにしても、各パラメータの正確性を高めていくことは必要であろう。

第三に、本分析では環境・生態系への影響を考慮していない。北極海にはホッキョクグマやシロイルカなど、多様な生物種が住んでおり、北極海を航行する船がこれらの生物と衝突することや、何らかの環境の変化によって生態系に悪影響を与える可能性も考えられる。本来であればこのような環境・生態系への影響も費用として計上すべきであるが、例えばホッキョクグマ1頭あたりの価値などを定量的に把握することは極めて困難であるため、今回の分析では費用項目から除外した。今回の分析に限らず、環境や生態系に対する人々の価値意識が高まっている昨今においては、これら非物質的なものの価値をいかに正確に測るかが重要な課題になってくると言えよう。

謝辞

本稿を作成するにあたって、御指導と御教示を賜りました岩本先生に厚く御礼を申し上げます。

また、お忙しい中、資料提供や具体的なアドバイスをいただきました、中央大学理工学部鳥海先生、東京大学新領域創成科学研究科大和先生、海洋技術安全研究所松倉様、海洋政策研究財団三木様、日本海事協会の皆様、ならびに議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた同級生、先輩諸氏に深く感謝申し上げます。

なお当然のことながら、本稿で示された見解はすべて筆者らによるもので、所属する機関やご協力を頂いた方々の見解ではないことを明記いたします。

【参考文献】

- 1) NOAA(2013) “Arctic nearly free of summer sea ice during first half of 21st century.”
- 2) The Oceans Beyond Piracy project (2012a) “Economic Cost of Somali Piracy 2012.”
- 3) The Oceans Beyond Piracy project (2012b) “The Human Cost of Maritime Piracy.”
- 4) Ronald O'Rourke(2013) "Coast Guard Polar Icebreaker Modernization:Background and Issues for Congress," *CRS Report for Congress*.
- 5) Wen-Chih Huang, Hsu-His Chang, and Ching-Tsyr Wu(2008) "A Model Of Container Transshipment Port Competition: An Empirical Study of International Ports in Taiwan," *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 16, No. 1, pp. 19-26.
- 6) 植田博・合田博之（2013）「商業性から見た北極海航路」『北極のガバナンスと日本の外交戦略』第3章，公益財団法人日本国際問題研究所。
- 7) 海洋政策研究財団（2012）『北極海季報 第14号（2012年6－8月）』。
- 8) 加藤隆一（2013）「北極海及び北極航路を取り巻く状況」海事問題調査委員会。
- 9) 経済産業省・国土交通省（2006）「物流分野のCO₂排出量に関する算定方法ガイドライン」。
- 10) 国土交通省（2007）「CO₂貨幣価値原単位について」第2回公共事業評価手法に関する検討会資料。
- 11) 国土交通省港湾局（2013）「港湾管理者一覧表」。
- 12) 鳥海重喜（2012）「地図に見る現代世界—地球温暖化による北極海への影響と北極海航路の可能性」。
- 13) 内閣府経済社会システム担当（2012）「社会資本ストック推計の方法と部門別・都道府県別の結果の概要」。
- 14) 日本北極海会議（2012）「政策提言 北極海の持続可能な利用に向け日本がただちに行うべき施策」。
- 15) 原田大輔（2013）「北極海の資源開発—北極海航路とともに活発化するロシアを中心に」国際問題 No.627。
- 16) 兵頭慎治（2013）「ロシア北極政策—ロシアが北極を戦略的に重視する理由—」防衛研究所紀要第16巻第1号。
- 17) 古市正彦・大塚夏彦（2013）「北極海航路（NSR）・競合代替航路利用における輸送費用構成要素の分析」『土木計画学研究・講演集(CD-ROM)』第47巻。