

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：85502

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25750123

研究課題名(和文) 海水減少化傾向の北極海における船舶の最短航海時間航路選択に関する基礎的研究

研究課題名(英文) Preliminary Study on the Selection of the Minimum Passage Time Route on the Arctic Ocean under the Sea Ice Decrease Tendency

研究代表者

嶋田 陽一 (Shimada, Yoichi)

独立行政法人水産大学校・その他部局等・助教

研究者番号：90455501

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,300,000円

研究成果の概要(和文)：近年、北極海の海水が減少化傾向であることから、北極海航路開通期間はさらに拡大されることが期待できる。そこで、海水減少傾向の北極海の開通可能性を把握する基礎研究として、海水・波浪の再解析データを用いて海水減少傾向であった期間において北極海航路の航海シミュレーションを行った。海水密度が決められた値よりも大きい海域では航行できないとすると、概ね8月下旬から9月下旬にかけて北極海航路が開通することを示した(2007～2011年)。近年の北極海航路の海水状態では、航海時間の短縮よりも北極海航路開通のための航路選択が重要であり、海水状態による船舶沖待ちは北極海航路開通のために有効な方法である。

研究成果の概要(英文)：We expect that the ship passage period through the northern sea route (NSR) will be further extended because the sea ice area in the Arctic Ocean has recently tended to decrease tendency. As a preliminary study to understand the passage possibility through the NSR, the navigation simulation is performed under the sea ice decrease with the sea ice concentration and wave reanalysis. In this simulation, the area where sea ice concentration is more than determined value denotes no passage one. The continuous passage period through the NSR ranges roughly from the end of August to the end of September of each year during 2009 to 2011. The route selection to pass through the NSR is more important than that to save the passage time on the NSR. The strategy to wait for sea ice conditions is effective to pass through the NSR.

研究分野：航海シミュレーション

キーワード：北極海航路 海水密度 北極海 航海シミュレーション 船速低下 漂泊 船舶待機 耐氷

### 1. 研究開始当初の背景

北極海航路とは北極海を經由してアジアとヨーロッパ諸国を結ぶ航路である。北極海航路における船舶は海氷域を回避しながら航行する。近年、北極海の海氷が減少化傾向であるので、北極海航路開通期間の拡大の可能性が高い。そのような北極海の海氷状態から、世界の海運業界は航海時間及び燃料消費量の削減のために北極海航路の実用化に注目している。

過去の北極海航路について代表的な研究の1つとして、岸他(2000)は海氷状態から船速を推定し、標準航路において航海シミュレーションを初めて実行した。また、鳥海(2010)は、船舶動静データを用いて、全球について航海シミュレーションを実行し、北極海航路と現状航路の比較を複数経路で行った。そして、北極海航路が現状航路よりも航海日数を短縮可能であることを示し、現状の航海日数を維持しながら減速航海をした場合、現状航路よりも燃料消費量を大幅に削減できることを示した。

しかしながら、これらの研究において、波浪及び海氷をさらに考慮した船速計算及び航路探索が必要と考えられる。例えば、岸他(2000)では Ice Index を用いて船速計算を行うが、その方法は複雑であり精度は不明確であり、鳥重(2010)ではほとんど考慮していない。

そこで、研究開始当初において、海氷及び波浪データを用いた船速計算から北極海航路における最短航海時間航路の航海シミュレーションを構築することを検討した。

### 2. 研究の目的

研究開始当初、下記に示す目的を達成することを目指した。

- (1)海氷減少化傾向の北極海における標準航路の航海シミュレーションの構築
- (2)海氷減少化傾向の北極海における最短航海時間航路の航海シミュレーションの構築
- (3)海氷減少化傾向の北極海における標準航路及び最短航海時間航路の航海シミュレーション結果の解析
- (4)気候変動と標準航路及び最短航海時間航路の関係

### 3. 研究の方法

海氷及び波浪データは、ECMWF が配布している ERA-Interim(ECMWF Re-Analysis Interim) を用いる。波浪データについては有義波高と波向きを用いる。海氷データについては海氷密接度を用いる。

図 1 に本研究で用いた北極海航路を示す。この航路は、2012 年晩秋、LNG 船がノルウェー北部のハンメルフェストを出港し、北極海航路を東方にとり、ベーリング海峡を通過した航路を参考にして(日本国際問題研究所, 2013)、ベルゲン(ノルウェー)沖合からベーリング海峡までの航海シミュレーション

を行う。

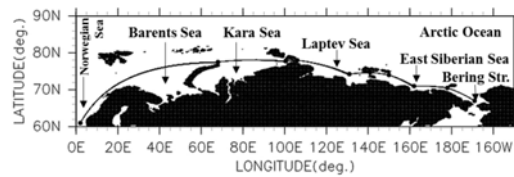


図 1 北極海航路(雑誌論文)

船速の計算について、日本国際問題研究所(2012)及び高嶋他(2004)を参考にして、以下の推定式を用いる(雑誌論文)。

$$V = V_{calm} - (bh + ch^2)f(\theta),$$

$$f(\theta) = 0.75 \exp(-0.65\theta^2) + 0.25, \quad (1)$$

$$V_{calm} = 15,$$

$$b = 0.433822, \quad c = -0.001583$$

$V$  は船速(knots)、 $V_{calm}$  は平水中(有義波高 0 m)における船速(knots)、 $h$  は有義波高(m)、 $f(\theta)$  は波向による減速を表す関数、 $\theta$  は船首からの波向(rad)を表す。

船速に対する海氷状態の効果について、シップ・アンド・オーシャン財団(2003)の砕氷商船による船速と海氷密接度の関係を参考にして、以下の推定式を用いる。

$$V = V_{calm} \{-0.75(sic - 1) + 0.16\} \quad (2)$$

$sic$  は海氷密接度を示す。海氷等のために波浪データが欠損かつ海氷密接度がゼロでない場合、(2)式を用いて船速を求める。

船舶がどの程度の海氷域に対して航行可能であるのかを判断するために、船舶が「航行可能な最大海氷密接度」を設定し、航海シミュレーションを実行する。

### 4. 研究成果

北極海航路上の船舶の航行可能な状況を把握するために、図 2 に航行可能な最大海氷密接度 0.1 で東向き航行における北極海航路上の船舶の最大到達経度の時系列を示す。東経 2 度及び東経 191 度(西経 169 度)は、出発地及び目的地の経度をそれぞれ意味する。船舶の最大到達経度が目的地の経度に到達すると、船舶が北極海航路を通過できたことを示す。航海シミュレーションによって、2009 年、2010 年及び 2011 年において船舶は北極海航路を通過できたことが示される。船舶が東経 90 度辺りの海域を通過すれば、北極海航路を通過する傾向を示す。2007 年及び 2008 年において、ほとんどの船舶は東経 90 度辺

りまで到達することができない。船舶は東経40度から60度辺りまで1年中航行できる。

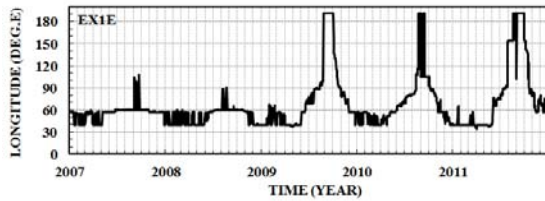


図2 最大到達経度の時系列(雑誌論文)

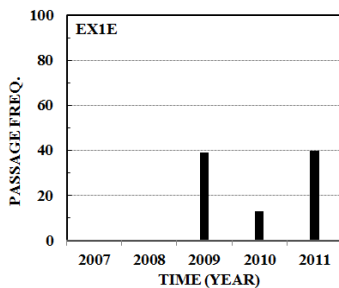


図3 北極海航路開通頻度の経年変化(雑誌論文)

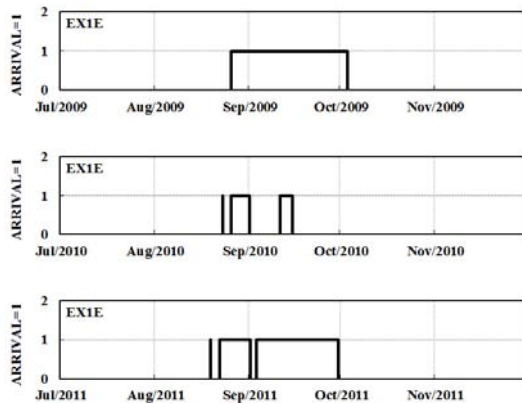


図4 北極海航路の開通期間(雑誌論文)

図3に船舶が北極海航路を通過する頻度の経年変化を示す。通過する頻度は、2009年及び2011年ではそれぞれ39回及び40回であり、2010年では13回である。2007年及び2008年は通過する頻度がゼロである結果を加えて、船舶が北極海航路を通過する頻度は年によってばらつきが大きい。

北極海航路の開通期間の状況を把握するために、図4に北極海航路の開通期間を示す縦軸の値が1のとき北極海航路の開通を意味する。北極海航路の開通は8月下旬に開始し、おおよそ9月下旬に終了する。2010年及び2011年前半の開通期間のように、北極海航路の開通期間が不連続の場合がある。

航海シミュレーションの結果より、ロシア本土と諸島から形成される海峡付近における海水状態が航行可能期間に大きく影響を及ぼすことを示す。特に、カラ海東部(東経90度辺り)・東シベリア海西部(東経150度辺り。西向き航行時において)付近における気象・海象モデル・観測の重要性が示唆される。

航行可能な最大海水密度度を上げると、北極海航路の開通期間の開始時の早まりは終了時の遅れより顕著な傾向を示す(雑誌論文)。このことは、北極海において海水減少傾向が続くと、北極海航路の開通期間の開始時がより早まる傾向を示唆する。

最も厳しい航行可能な最大海水密度度で設定した航海シミュレーションで北極海航路の開通日数を年40日程度と仮定した場合、2008年から2011年まで年40日程度、北極海航路を通過するために航行可能な最大海水密度度は0.5程度が必要である。この海水密度度の海域では、単独の船舶が航海するのは現実的に困難だと思われる。今後も北極海における海水の減少傾向が進み、北極海航路を利用しやすくなる可能性もあるが、北極海航路の実用化を確実に目指すためには、砕氷船によるエスコートの利便性の向上、北極海における海水情報の高精度化が重要であると考えられる。

これまで船舶は常に目的地へ航行し続ける条件を設定したが、海水は気象・海象によって変動するので、海水状態に対して船舶の待機を考慮した北極海航路における航海シミュレーションを開発し、北極海航路開通の改善状況を調べた。航行可能な最大海水密度度を上げると、船舶の待機を考慮した場合の北極海航路開通頻度は増加する。船舶の待機を考慮しない場合に対して考慮した場合における北極海航路開通頻度の増加分は、最も厳しい航行可能な最大密度度の航海シミュレーションでは北極海航路開通頻度が増加した(学会発表)。

ウェザールーティング(WR)が有効な海域の条件として、東西距離が長いこと、航路選択の可能な海域が広いことが挙げられる。将来に北極海の海水がさらに減少すればWRの効果も期待できるかもしれないが、近年の北極海の海水分布でも航行可能な海域が狭いので、北極海航路開通のためにロシア本土と諸島から形成される海峡周辺における海水状態が重要である。これまでの結果から航海時間の短縮化よりも北極海航路を開通させるための航路選択が重要であることがわかった。上記のように船舶の待機が北極海航路開通に有効であることから、船速制御は燃料消費量の削減に期待できると考えられる。

また、気候変動と北極海航路の関係について解析を行い、タイミル半島(東経100度辺り)を境に海水拡大・縮小パターンが異なるようであるが、研究期間内では明確な気候変動との関連性を示すに至らなかった。

今後は、船速制御及び設定した複数航路が

らの航路選択を考慮した航海シミュレーションの開発を目指す。

5. 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3件)

Shimada Yoichi, Fundamental Study of Navigation Simulation on the Northern Sea Route during the Sea Ice Area Minimum Year (2012), Asia Navigation Conference 2014, 査読有, 2014, pp.409-416.

嶋田陽一, 北極海航路航行可能性に関する基礎的研究 - 航海シミュレーション -, 日本航海学会論文集, 査読有, 2014, Vol. 130, pp.141-147.

Shimada Yoichi, Fundamental Study of Navigation Simulation on the Northern Sea Route during the Sea Ice Decrease Period, Proceedings of the Twenty-fourth (2014) International Ocean and Polar Engineering Conference, 査読有, 2014, pp.1060-1065.

[学会発表](計 5件)

Shimada Yoichi, Fundamental Study of Navigation Simulation on the Northern Sea Route during the Sea Ice Area Minimum Year (2012), Asia Navigation Conference 2014, 2014年11月, Jimei University, Xiamen, China.

嶋田陽一, 海氷状況に対する船舶の待機を考慮した北極海航路における航海シミュレーション, 日本航海学会第131回講演会, 2014年10月, 北海道大学水産学部, 函館市.

Shimada Yoichi, Fundamental Study of Navigation Simulation on the Northern Sea Route during the Sea Ice Decrease Period, The 24th International Ocean and Polar Engineering Conference, 2014年6月, BEXCO, Busan, Korea.

嶋田陽一, 北極海航路における海氷分布特性, 日本航海学会第130回講演会, 2014年5月, 東京海洋大学海洋工学部, 東京都江東区.

嶋田陽一, 北極海航路航行可能性に関する基礎的研究: 航海シミュレーション, 日本航海学会第129回講演会, 2013年11月, 神戸ポートタワーホテル, 神戸市.

[図書](計 0件)

[産業財産権]

出願状況(計 0件)

名称:  
発明者:

権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]  
ホームページ等  
特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

嶋田 陽一 (SHIMADA, Yoichi)  
水産大学校・海洋生産管理学科・助教  
研究者番号: 90455501