

平成25年度

北極海航路の持続的な利用に向けた
環境保全に関する調査研究
報 告 書

平成26年3月

海 洋 政 策 研 究 財 団
(一般財団法人 シップ・アンド・オーシャン財団)

はじめに

近年、北極海の海氷減少を背景に北極海航路の利用が加速している。平成 22 (2010)年に 4 隻だった商船の航行隻数は平成 25 (2013) 年には 71 隻に増え、輸送された貨物量はこの 4 年間で 11 万トンから 136 万トンと 10 倍以上に増加した。加えて北極圏における原油及び天然ガスなど資源開発の動きも活発化しており、これら天然資源の輸送ルートとしても北極海航路の重要性は今後ますます高まっていくものと考えられる。ロシアは北極海航路法を昨年 1 月末に改正し、新たに北極海航路局を連邦管轄組織として再構築するなど、北極海航路の更なる利用促進に向けた環境整備を進めている。

こうした中、北極海非沿岸国である国々も北極海航路に強い関心を寄せ、アジアでは特に中国や韓国が貨物輸送だけでなく資源開発や科学調査などさまざまな分野で積極的な取り組みを進めその存在感を示している。これまで我が国は中韓に比べて取り組みが大幅に遅れている状況にあったが、平成 25(2013)年 4 月の日露首脳会談で北極海航路の利用を含む運輸分野での協力が謳われたことや、翌 5 月に北極評議会閣僚級会合で日本を含め 6 カ国が新たにオブザーバーとして承認されたことなどをきっかけに、メディアでも大きく取り上げられるようになり、北極海航路に対する社会的な関心が高まってきた。

しかし、北極海は過酷な自然環境、不十分なインフラ、脆弱な生態系など経済活動を行うには極めて困難かつ特殊な環境であり、このような条件下で活動を行うにあたっては通常地域とは異なる厳しい要件を満たす必要がある。我が国が北極海の利用国として今後持続的に活動を行うためには、北極海の現状と課題を正しく把握し、適切に利用するための対策を慎重に検討することが不可欠である。

そこで当財団では、北極海で船舶の航行が及ぼす影響に焦点を当て、北極海への環境影響と環境リスク対策、また法令等の最新の動向について調査・分析等を行い、その現状と課題を明らかにするとともに、それら情報を我が国の関係者に提供することを目的に本事業を実施した。本報告書はその成果をとりまとめたもので、北極海航路の利用促進にむけた参考資料として活用いただければ幸いである。

最後に、当財団が本事業を実施するにあたり長年にわたって深いご理解と多大なるご支援をいただいている、ポートレース業界並びに日本財団に厚く感謝を申し上げます。

海洋政策研究財団
理事長 今 義男

平成 25 年度

「北極海航路の持続的な利用に向けた環境保全に関する調査研究」

目 次

I. 調査概要	1
1.1 背景	1
1.2 調査の目的	1
1.3 実施内容	1
II. 報告	3
1. 船舶起因による北極海への環境影響評価と環境リスク対策	3
1.1 北極海の海洋環境	3
1.1.1 北極海の海洋環境	3
1.1.2 北極海の家氷	5
1.1.3 北極海の生物	9
1.2 北極海への環境影響	10
1.2.1 北極海の汚染	10
1.2.2 船舶起因による海洋汚染	14
1.2.3 海洋資源開発に伴う排出	21
1.3 北極海の海洋環境保護への取り組み	22
1.3.1 北極海の海洋保護区	22
1.3.2 北極海の海洋環境アセスメント動向	25
1.3.3 衛星による北極海の海洋環境観測技術の展開	30
2. 北極海航路と海洋環境対策に関する法令等の動向	35
2.1 北極海航路法と貨物輸送動向	35
2.1.1 北極海航路による貨物輸送状況	35
2.1.2 北極海航路法	37
2.1.3 北極海航路法の実施状況	39

2.2	北極海の海洋環境保護に関する規則等	41
2.2.1	IMOの動向	41
2.2.2	海洋環境保護のための規制の動向	44
3.	船舶運航に起因する北極海への環境影響と地球環境	47
3.1	北極海的环境と地球環境	47
3.1.1	北極海的环境と生態系	47
3.1.2	地球温暖化の影響	48
3.2	北極海の利用と環境リスク	51
3.2.1	北極圏の天然資源開発	51
3.2.2	北極海における汚染事故リスク	53
3.2.3	北極海の船舶航行に起因する海洋環境リスク	60
3.2.4	極域ツーリズムの現況と問題点	69
4.	北極海の持続的利用にむけた課題	71
5.	国際セミナー	74
5.1	北極海航路の持続的利用に向けた国際セミナー概要	74
5.2	北極海航路の持続的利用に向けた国際セミナー講演概要	76

I. 調査概要

1. 1 背景

地球規模の気候変化は、北極海の夏期海氷の顕著な減退をもたらしており、この変化は今後も継続・進行する可能性が高い。同時に、アジア地域各国の経済・産業の成長は著しく、天然資源およびエネルギー資源需要は大幅に拡大し、北極圏の天然資源には大きな関心が注がれている。こうした背景のもと、2010年には、ノルウェーのCenter for High North Logistics (CHNL) が主導し、ロシア関係機関との協働のもと、北極海航路による鉄鉱石輸送が、ロシア以外の貨物船によって実施され、以後の北極海航路による商業輸送の口火を切った。その後、北極海航路によるトランジット輸送は年々拡大し、2013年には71隻、136万トンの貨物が輸送された。

また、北極海の海氷減退は、北極圏における天然資源開発においても、新たな時代をもたらそうとしている。ロシアは、ティマンペチョラ地域における原油開発を進め、ペチョラ海沿岸のバランディ原油荷役ターミナルからの通年で原油積出を開始した。また、ヤマル半島におけるLNG開発を進め、2017年頃の商業生産を目指している。これが実現すると、通年で北極海からLNGがアジアおよび欧州市場に輸出されることになる。カラ海では、ノバヤゼムリヤの東側で探鉱が開始された。バレンツ海沖のシュトックマン・ガス田開発は停止しているものの、ロシアとノルウェーの領海線海域における原油・天然ガス資源の開発が進められようとしている。また、グリーンランド東沖のカヌマスフィールドにおいても、探鉱権の入札が行われ、開発の可能性が検討されている。

このように今後、北極海の産業利用が進展するものと考えられる。これまで、北極海にもたらされてきた人為起源の排出物は、陸域起源の物質が河川の流下および大気循環によるものにはほぼ限られてきた。しかし今後は、船舶起源の排出物による北極海への環境影響について配慮することが必要になっている。

1. 2 調査の目的

船舶起因による北極海への環境影響と環境リスク対策および法令等に関する調査・分析等を通じて、北極海航路の持続的な利用のための方策を明らかにすることを目的とする。

1. 3 実施内容

以下の4項目について調査を実施した。

a. 船舶起因による北極海への環境影響評価と環境リスク対策の動向調査及び分析

- ・ 北極海の海洋環境の特徴（物理的環境、化学的環境、生物環境等）とその近年の状況についての整理。
- ・ 船舶起因による北極海への環境影響要因の整理、および汚染物質の北極海の環境中での特性についての分析。
- ・ 資料調査および現地踏査を通じて、北極海の海洋環境に関し、関係国・機関等における調査・分析事例、および環境リスク対策への取り組み事例の整理。

b. 北極海航路と海洋環境対策に関する法令等の動向分析

- ・ 改訂されたロシア北極海航路法と関連規定、施行状況等に関する現地情報・資料を収集し、内容と現況を分析。
- ・ 船舶航行に関わる海洋環境保護に関するロシア国内の規制動向の情報収集と分析。

c. 船舶運航に起因する北極海への環境影響を介した地球環境への影響検討

地球環境と北極海の海洋環境の相互関係に関する基本的な特性の整理。

船舶運航に起因する北極海への環境インパクトを介した地球環境への影響特性、要因、特徴等の分析。

d. 国際セミナーの開催

- ・ 上記 a, b, c 項に関する調査成果をもとに、国際セミナーにおける論点の整理。
- ・ 国際セミナーの開催と総括。

II. 報告

1. 船舶起因による北極海への環境影響評価と環境リスク対策

1.1 北極海の海洋環境

1.1.1 北極海の海洋環境

北極海は、ユーラシア大陸・北米大陸・グリーンランドに囲まれた、北極点周辺に広がる海である。その面積は約 1,150 万 km² であり、地球上の大洋の中で最も小さい¹。ユーラシア大陸の北岸に沿う海域は、西から、バレンツ海・カラ海・ラプテフ海・東シベリア海・チュクチ海、アラスカ沖の海域はボーフォート海とそれぞれ呼ばれる。北極海周縁部には大陸棚が発達し、総面積は北極海全面積の約 60% に達する。特にユーラシア大陸側の大陸棚の発達は顕著であり、バレンツ海では沿岸から大陸棚縁までの距離が 1,000 km にも達する。また、カラ海からチュクチ海にかけての海域とアラスカ沿岸における大陸棚水深は 50 から 100 m と浅い。北極海と他の海洋とをつなぐ海峡は概して狭く浅い。ベーリング海峡は幅約 80 km であり、水深は最深部でも 60 m を超えない。カナダ多島海及びエルゼミア島とグリーンランドとの間の海峡も狭隘であり水深は 500 m である。ただしフラム海峡は幅約 350 km、最深部は 2,600 m の深さに達する。これらの海峡の地理的特徴は、北極海と北太平洋及び北大西洋との間の海水交換を決定付ける一因となっている。

北極海では、太平洋との間はベーリング海峡、大西洋との間はフラム海峡・カナダ多島海及びバレンツ海を通じて、海水交換が行われている。北太平洋の水位は北大西洋よりも 0.5 m ほど高く、この水位差によって、太平洋水が北極海を通じて大西洋に輸送される。図-1.1.1 に北極海における表面流の概要を示す。太平洋からベーリング海峡への海水流入量は限定的であり、北極海に流入する水量の 19 % を占めるに過ぎない。北極海内部には、二つの特徴的な流れ、ボーフォート・ジャイアとトランスポーター・ドリフトが存在する。前者はカナダ海盆上で時計回りに環流し、後者は前者の東縁部から北極点を通ってフラム海峡へ抜けて北極海を横断する。

北極海には、ユーラシア側にはオビ・エニセイ・レナといったロシアを代表する大河、北米側ではマッケンジー川が流れ込み、その量は地球上の河川流入総量の約 11% に達する²。これは、北極海の海水体積の地球上の全海洋の海水体積に占める割合が 1% 程度であることを考えると、極めて高い値であり、北極海は地球上の大洋の中で最も塩分濃度の低い海となっている。特に夏期には、河川から大量の淡水が流入し、同じく夏期にピークを迎える海氷の融解水とともに、北極海表層に低塩分水を形成する。

こうした淡水の流入、海氷の存在などの影響を受け、北極海の海洋構造は密度の異なる海水による表層・中層・深層の三層からなる層構造を形成する。図-1.1.2 に、ベーリング海峡からフラム海峡に向けての断面の海洋構造の模式図を示す。

¹ McBean, G. and others, 2004. Arctic Climate : Past and Present, Impacts of a Warming Arctic Chapter 2. Cambridge University Press, pp. 32-60.

² 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。

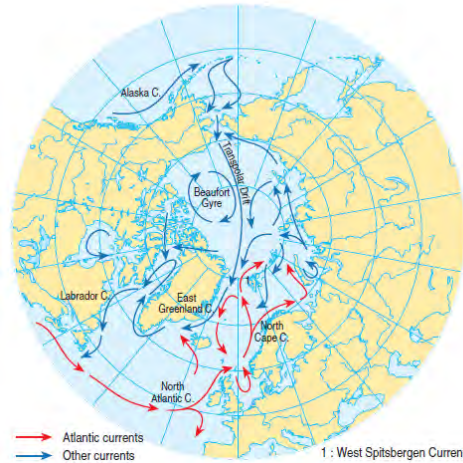


図-1.1.1 北極海の表面流の概要³

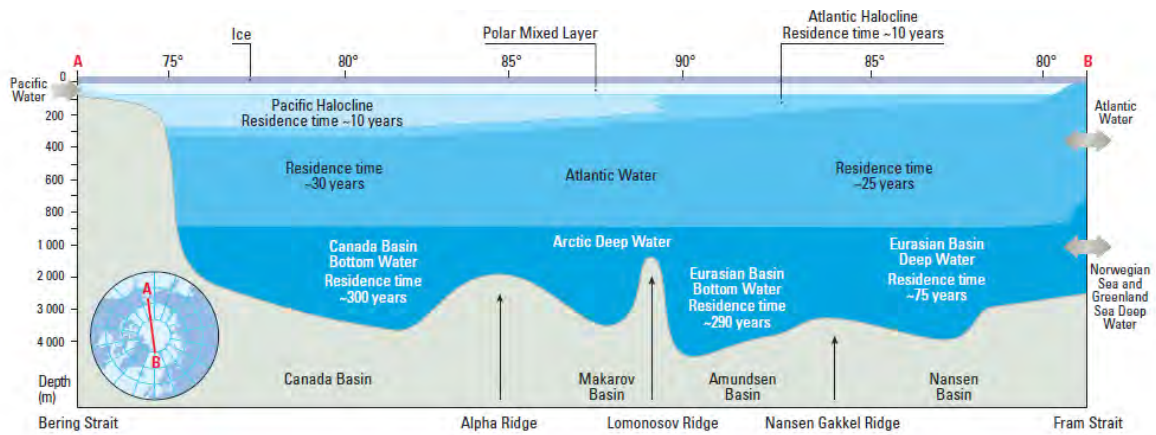


図-1.1.2 北極海の海洋構造⁴

北極海の上層、水深 200 m 程度までの表層は、最表層 (30m から 50 m 程度まで) の混合層とその下部の塩分躍層から構成される。混合層は、河川から大量に流入する淡水や海氷の融解水の影響を受けた低塩分・低温の層である。温度はほぼ結氷点近くに保たれ、塩分は大きな季節変化を示す。混合層の下の塩分躍層を構成する海水は、冬期の海氷成長に伴って大陸棚において形成される。海氷成長の際に放出された高塩分のブラインにより形成された高塩分・低温の海水は大陸棚底部へと沈降する。冬期の海氷成長に伴って様々な塩分の海水が形成され、その一部は北極海深層へと向かい、多くは大陸棚から北極海中央部に向けて混合層の下に塩分躍層として広がる。塩分躍層を構成する海水は、その物理・化学的特性から、太平洋起源のものと大西洋起源のものに区別できる。

塩分躍層の下、水深 900 m 程度までには中層水が広がる。中層水は大西洋を起源とする水であり、北極海中層は大西洋層 (Atlantic Layer) と呼ばれる。北極海に運ばれる高温・高塩分の大西洋水は北上の途上で冷却され、北極海において塩分躍層の下に潜りこみ、大陸棚縁に沿って東進する。その後一部は

³ AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues (1998), Chapter 2, Physical/Geographical Characteristics of the Arctic, pp.23

⁴ CAFF, Arctic Biodiversity Assessment, Synthesis, "Schematics of different water masses in the Arctic Ocean, emphasizing vertical stratification, source: AMAP 1998.", pp.29, 2010.

北上してグリーンランド側へと向かい、残りはロモノソフ海嶺を超えてカナダ海盆に達し、大陸棚縁部にそって循環して、最終的にフラム海峡へと戻る。

北極海深層水のうち、カナダ海盆深層水の方が相対的に高温・高塩分、ユーラシア海盆深層水は低温・低塩分である。ユーラシア海盆深層水はさらに、深層水 (deep water) とより深い海域における底層水 (bottom water) に分かれる。ユーラシア海盆深層水には、水深2,600mのフラム海峡を通じてグリーンランド海及びノルウェー海深層水との間での海水交換がある。また、海水生成に伴って大陸棚において形成された高塩分水の一部が北極海深層にまで達する。

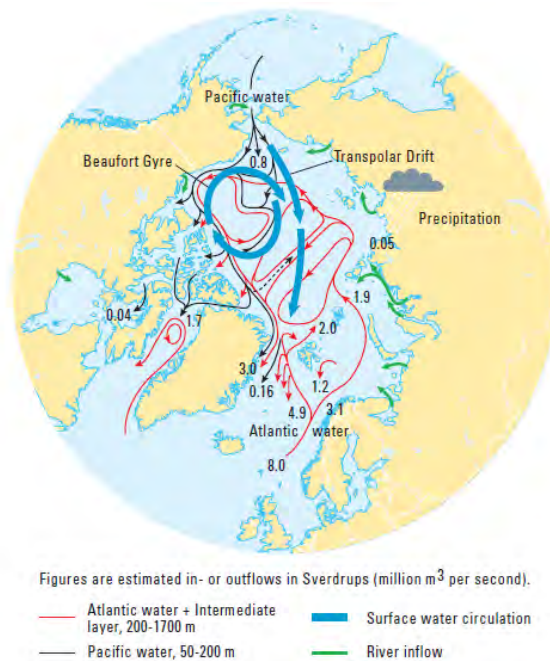


図-1.1.3 北極海の海水循環 (赤線が中層の流れ)⁵

1. 1. 2 北極海の海水

世界の海洋において、南極大陸周辺海域とグリーンランド北東部を除き、通年で海水が存在する海は北極海以外には無い。北極海における海水の存在量は季節・地域により変化する。北極海の海水は3月に最も発達し、メキシコ湾流の継続流の影響を受けるバレンツ海を除いて、ほぼ北極海全体を覆う。オホーツク海・バルト海・グリーンランド周辺海域等においても海水の発生を見ることができる。一方9月には、海水は北極海中央部へ向かって最も後退する。ただしノンビルスク諸島周辺とカナダ多島海にはまだ相当程度の海水が存在することが多く、グリーンランド東部沿岸にも海水が存在する。

図-1.1.4に、北極海の海水域面積 (sea ice extent) の6月から10月までの変動を示す。21世紀に入って、9月における海水域の最小面積が減少していることが判る。図-1.1.5は、北極海航路沿いの海域に注目して、海水密接度の経年変化を解析した結果である。1980年代には、密接度30%未満の状態は、時間的・空間的に限定的にしか出現していない。特に、セベルナヤゼムリヤ及びウランゲル島の周辺の

⁵ AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues (1998), Chapter 3, The Influence of Physical and Chemical Processes on Contaminant Transport into and within the Arctic, pp69.

海域における氷密接度は通年で高く、氷況の厳しい海域であることが判る。このような氷況は 1990 年代を通じて緩和の方向に向かい、2000 年以降においては、全海域を通じて密接度が 30%を下回る状態が出現する年も多くなっている。近年の夏期の北極海航路を通じたトランジット輸送では、ほとんど海氷に出会わずに全区間を航行した事例が報告されている。

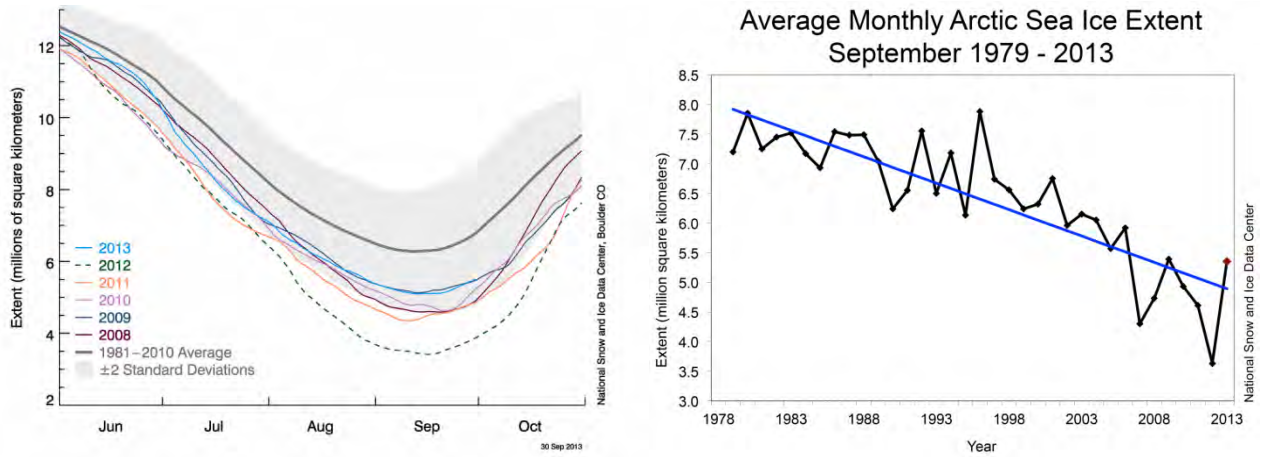


図-1.1.4 6月-9月の海水面積変化⁶

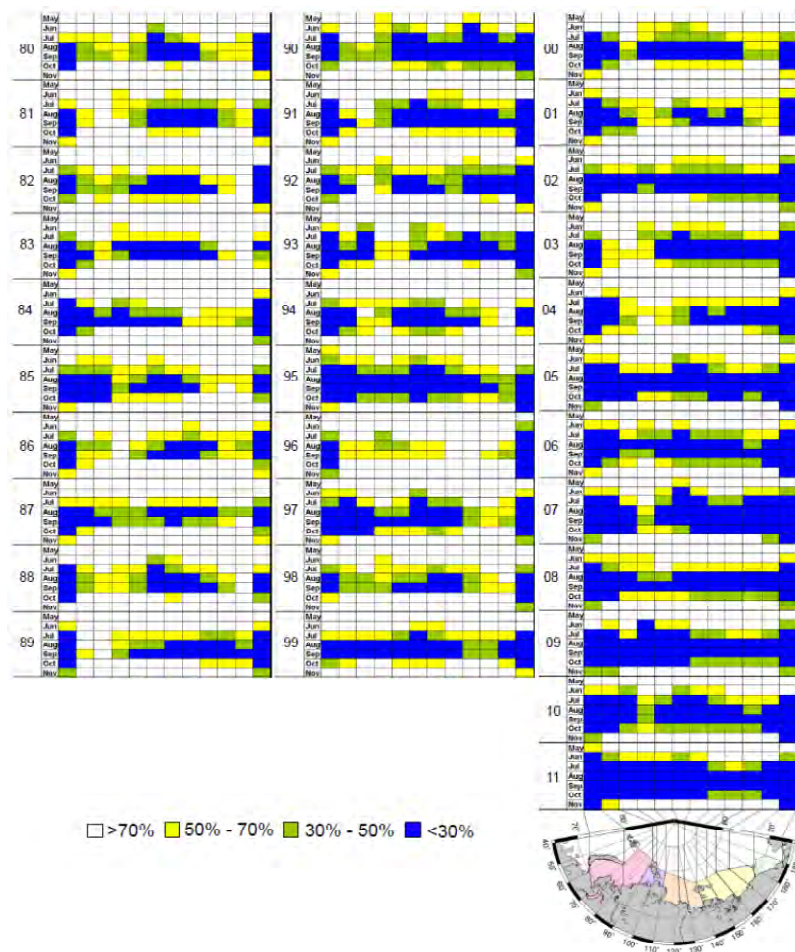


図-1.1.5 北極海航路沿いの海域における海水密接度の経年変化⁷

⁶ Arctic Research Consortium of the United States (ARCUS), <http://www.arcus.org/search-program/seaiceoutlook/2013/summary>

海氷厚の計測技術は未だ発展段階にあり、北極海全体の氷厚を俯瞰的に評価できるデータは限られる。INSROPでは、1953年～1990年の期間における北極海航路上の海域別の月平均海氷厚を紹介している。これによると、海氷厚は5月に最大となり、最も海氷厚が厚くなるのは東シベリア海で、その値は1.8m程度となっている。一方、米国は潜水艦搭載の ULS (Upward-Looking Sonar) による北極海の家氷計測を1950年代から実施しており、1975年から2000年までに行われた34航海で得られた計測結果が近年公開された。これによると、北極海中央部における平均的な海氷喫水深は3m程度であり、カナダ側に向かって増加傾向にあることが判る。また氷厚平均値の季節変動については、最大3.6m、最小2.6m程度である。

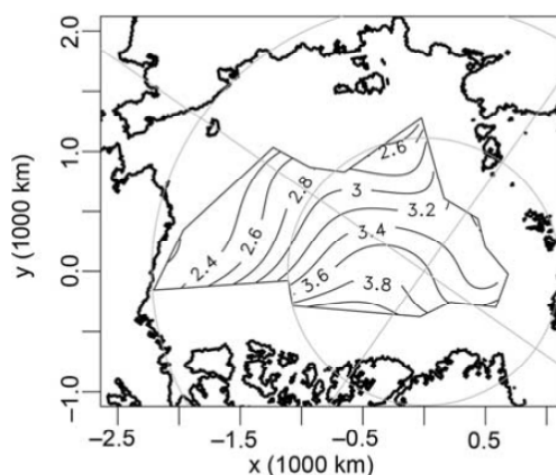


図-1.1.6 潜水艦からの ULS 計測による北極海の家氷喫水深さの分布 (1975年から2000年の平均値、単位はm)⁸

図-1.1.7は the Pan-Arctic Ice Ocean Modeling and Assimilation System (PIOMAS)⁹において算定された1979年1月1日以降の北極海の毎日の海氷体積である。北極海の家氷体積は夏・冬の年変動を繰り返しながら、全体としては10年間で3,000km²の割合で減少していると推計されている。欧州宇宙機関(The European Space Agency : ESA)は2010年、地球観測衛星CryoSatを打ち上げ、海氷厚さおよび体積の観測を開始した。これによると、2013年10月の海氷体積は2012年10月の1.5倍に増大したが、それでもここ30年間では最低レベルにあるという(図-1.1.7)。

⁷ Shibata, H. and others, 2012. Sea ice coverage on the Northern Sea Routes, 1980-2010. Poster at IGS International Symposium on Seasonal Snow and Ice. 28 May – 1 2012, Lahati, Finland.

⁸ Rothrock, D. and others, 2008. The decline in arctic sea-ice thickness: Separating the spatial, annual, and interannual variability in a quarter century of submarine data. Journal of Geophysical Research, Vol. 113, C05503, doi:10.10299999/2007/JC004252, 008.

⁹ Polar Science Center . Applied Physics Laboratory . University of Washington ,(Zhang and Rothrock, 2003), <http://psc.apl.washington.edu/wordpress/research/projects/arctic-sea-ice-volume-anomaly/>

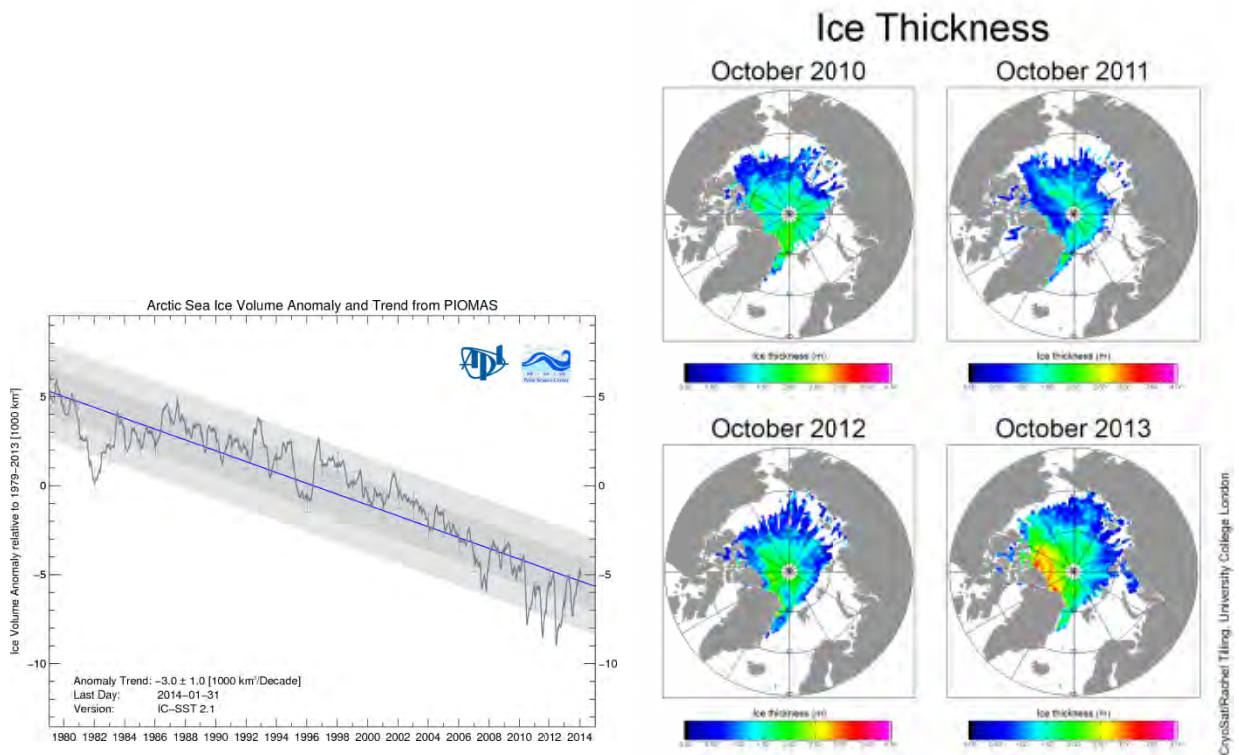


図-1.1.7 海水体積および海氷厚さ(PIOMAS)

IPCC の第 5 次評価報告書 (AR5) には、温暖化が北極海の海氷に与える影響について、同パネル第 1 作業部会における検討結果がまとめられている¹⁰。それによると、1979 年から 2012 年までの期間において海氷域面積が 10 年あたり 3.5 から 4.1% という割合で減少していること、そしてそれには人為的影響が寄与している「可能性が非常に高い (very likely、90-100%) 」としている。また、温暖化影響に対するモデル計算プロジェクト (CMIP5) の結果では、北極海の海氷減少が今後も継続することが示された。今世紀末における 9 月の海氷域面積の減少率は、温室効果ガス放出への対策が有効に働いて放射強制力が今世紀中に低減に向かうシナリオ (RCP2.6) においても 1986 年から 2005 年における面積の 43% となり、今世紀を通じて放射強制力が増大することを想定したシナリオ (RCP8.5) では 94% にも達する。RCP8.5 を想定した場合、9 月の北極海はほぼ無氷域となる。

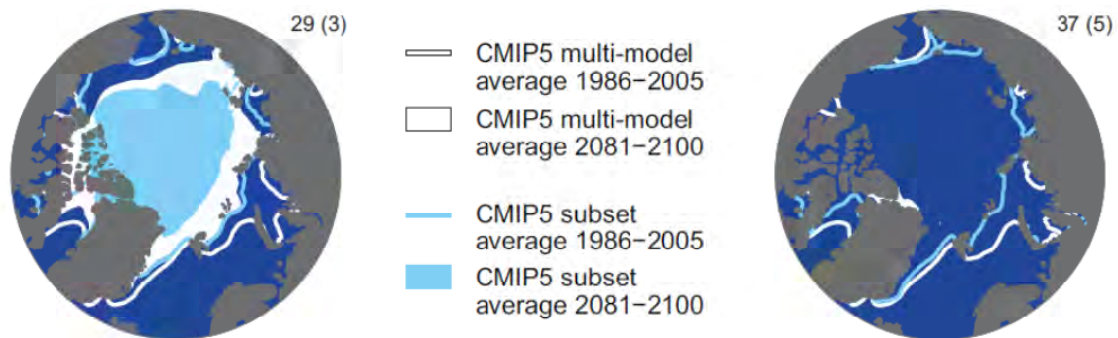


図-1.1.8 CMIP5 により得られた 9 月の海氷分布 (左図 : RCP2.6、右図 : RCP8.5)

¹⁰ International Panel on Climate Change, 2013. Climate Change 2013 The Physical Science Basis Summary for Policymakers. pp.7, 2013.

1. 1. 3 北極海の生物

ベーリング海、バレンツ海、ノルウェー海の亜北極海域を除外すると、北極海には約 250 種の海水魚および通し回遊魚（ほとんどは遡河性魚）類が生息しているという（Mecklenburg *et al.* 2011）。また、北極圏には 67 種の陸上哺乳類、35 種の高棲哺乳類がみられ、このうち 19 種の陸上哺乳類および 11 種の高棲哺乳類は北極圏に限定的に生息しており¹¹、これは世界全体の哺乳類種の約 2%を占めている。高棲哺乳類は、北極海の入り口にあたる北部太平洋および北部大西洋の海域に多く分布しており、同時にそこは北極圏の南部と温暖な海洋との間の季節回遊の通路となっている。北極圏では約 200 種の鳥類をみることができ、この多くを水鳥と海鳥が占めるとともに、地球全体の鳥類種の約 2%を占める。特にベーリング海峡周辺の海域が最も豊かで、セントジョージ島周辺ではアカアシミツユビカモメなど 12 種、250 万羽が繁殖する。これらの鳥類の多くは、夏の 2~3 ヶ月のみを北極圏で過ごし、北半球の冬の期間は地球上の各地に移動して過ごす。

北極海に生息する魚類のなかでは 2 種が卓越し、全体の 55%を占めている。もっとも優先するのがカジカ類で約 30%を占め、次いで Perciforms 目 Zoarcoidei 亜目（prickleback、eelpouts など）が 25%を占める。また通し回遊魚のほとんどはサケ類となっている¹²。北極海における海水魚類の多くは底性で海底近くに棲息する。一方、浮魚類（pelagic fish）はわずかで、底性かつ浮魚であるタラなどがこれにあたる。分布では、北極海と太平洋・大西洋との接合海域であるベーリング海、チュクチ海、バレンツ海、ノルウェー海において種の数が増えている。特にベーリング海は生物種が多く、また白海は面積当たりの生物種の密度が最も高い海域となっている。これに比べると北極海に生息する種の数はいかに少なく、特に北極海中央部に生息する魚種はわずか 13 種となっている。北大西洋からノバスコシア、バレンツ海北部および、北太平洋西部などの北極海辺縁部海域では、サケ類、カペリン、タラ、グリーンランドハリバット、タイセイヨウニシン、タイヘイヨウニシン、スケトウダラ、ズワイガニ、タラバガニなどが生息し、重要な水産資源となっている。

北極海に生息する哺乳類のうち 7 種（イッカク、シロイルカ、ホッキョククジラ、ワモンアザラシ、アゴヒゲアザラシ、セイウチ、ホッキョクグマ）は北極海に固有の種であり、海氷を含む北極海の通年の環境に大きく依存して生息している。また 4 種のアザラシ類（ゴマフアザラシ、クラカケアザラシ、タテゴトアザラシ、ズキンアザラシ）が春先に出産と育児に低緯度北極域で海氷を利用し、それ以外の時期は亜北極域の海で生活している。このほかに 4 種の鰭脚類、19 種のクジラ類とラッコが低緯度北極海地域で繁殖したり、季節的に低緯度北極海および高緯度北極海に回遊して摂餌する。

¹¹ Donald G. Reid, Dominique Berteaux and Kristin L. Laidre, Chapter 3, Arctic Biodiversity Assessment Status and trends in Arctic biodiversity, 2013.

¹² Mecklenburg K. and Mecklenburg T., Arctic Ocean Diversity, University of Alaska Fairbanks, 2009.
<http://www.arcodiv.org/Fish.html>

1.2 北極海への環境影響

1.2.1 北極海の汚染

(1) 北極海の環境汚染

海洋の汚染の80%は都市・産業・農業活動からの排水や陸水の流入に起因していると言われている。汚水、排水、残留性有機汚染物質(POPs; persistent organic pollutants)、重金属、油類、栄養塩類や沈殿物質などが河川や直接的な排出によって海洋にもたらされているのである。こうした生態系の質的劣化をもたらす物質による汚染のほか、人為的な原因による海洋環境へのインパクトには、

- ・ 生物の生息・生育場の減少をもたらす物理的な改変
- ・ 生態系の攪乱を引き起こす可能性がある外来種の侵入
- ・ 海洋の物理化学的な環境またはシステムに影響を与える可能性のある気候変動による影響

なども指摘されている¹³。

北極海においては、これまでのところは沿岸および海上での産業活動は極めて限定的で、その活動からの直接的な排出は多くはない。しかし広大なロシア内陸地域では、北極海に注ぐ大河に沿って、いくつかの拠点都市が存在するとともに、旧ソ連時代からの軍事拠点、鉱工業拠点および鉱山などが点在しており、これらが主要な汚染源となってきたことは事実である。また地域によっては、深刻な汚染を引き起こしてきた事例が明らかになっている。今後は、北極海での資源開発の活発化および、船舶航行の増大が予想されており、海上活動に起因する汚染物質の排出機会は増大することが予想される。また今日では、こうした北極圏での活動に起因する汚染源の流入のほか、水銀、鉛、カドミウムなどの残留性有機汚染物質(POPs)や重金属が、はるか南方から大気に乗って北上し、北極圏へ運ばれていることが明らかになっている。また、フラム海峡やベーリング海峡を通じて大西洋や太平洋から流入する海水によっても、汚染物質が北極海にもたらされている。

ひとたび環境中に入り込んだ有害物質は、食物連鎖によって蓄積され、個々の動物の健康に影響を与えるとともに、生態系の生産性や機能に影響を及ぼし、最終的には人類を含む頂点捕食者に達して蓄積される。POPs および重金属に関しては、大気循環に起因するものが最も速い汚染拡散メカニズムとなっている。そして北極は、これら汚染物質の持続性と長距離拡散特性に関する指標となることが明らかにされている。北極の環境汚染に関しては、POPs、放射性物質、特定の重金属（特に水銀）、海水酸性化の原因物質、石油・炭化水素類、温室効果ガスおよび地球気候に影響を及ぼし得るガス類（ブラックカーボン、エアロゾル等）による汚染が懸案事項となってきた。地球規模の気候変動は、氷中や永久凍土の中に閉じ込められていた汚染物質や温室効果ガスの放出を含め、汚染物質が環境に入ってくる経路に影響を与えている。北極圏における種々の産業活動の増加もまた、これからの汚染源として危惧されている。

すでに、ホッキョクグマやシロイルカ、海鳥を含む北極圏の幾つかの動物に関しては、比較的高い濃度の環境汚染物質にさらされていることが報告されている。ただし、この影響が生息数レベルで影響を与えているという科学的根拠は、今のところは、ほとんど見受けられないと報告されている。

¹³ 環境省：海洋生物多様性保全戦略、pp.14、平成23年3月

(2) 排出物による北極海の環境汚染リスク

a. 化学物質等

原油による北極海の汚染は、主として陸域からの工業廃水、降雨、廃油類のほか、海洋への直接の排出によるものである。海洋への直接排出は、オイルタンカー・漁船・その他船舶からの常習的な排出、ドライドック、海難事故、および海洋開発サイト（原油・天然ガス）からの排出、および大気からの拡散などが原因となる。ただし現時点で最も大きな汚染を及ぼしているのは、原油の自然流出である。また、人間活動のある地域が北極海から大きく離れていることから、原油・炭化水素類による汚染レベルは低い状態にある。とはいえ、タンカーなどによる海上油流出事故が発生すると、大量の油類が海洋環境に放出される。実際、1994年にはロシア・コミ共和国のウシンスクにおいて、パイプラインから流れ出た原油をためたダムが決壊して11万6千 m^3 の原油が流出し、河川を通じてバレンツ海にまで流出した。氷海における流出では、有効な流出油回収方法がないこと、防除作業の拠点となる港湾がわずかしかなく、またそのインフラは貧弱であることから、北極海での流出事故対応は限定的である。流出油は、低温のために自然分解は非常に遅くなり、生態系に長時間残留する。このため、油流出は生態系に極めて大きな影響を及ぼすことになる。また海水の油汚染が生じると、海水を生息圏とする生態系には極めて大きな影響を及ぼすことになる。

従来から見られた POPs は、ここ 20 年の間に北極圏の大気および生物相において減少している。一方、スヴァールバルの Zeppelin 観測基地における PCBs、HCB、DDT(ジクロロ・ジフェニル・トリクロロ・エタン)濃度は、ここ 5 年間はわずかに増加する傾向をみせている。新しい POPs である難燃剤や工業用化学物質も、残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約および長距離越境大気汚染条約 (LRTAP 条約: Convention on Long-range Transboundary Air Pollution) による規制によって減少している。しかしながら海洋生態系の食物連鎖においては、依然として従来の POPs 汚染が確認されている。また地域によっては、PCB が食物連鎖の上位の動物種（ホッキョクグマ、シロカモメ、ゾウゲカモメなど）の免疫力や生殖能力に影響するリスクが継続している。

水銀は、石炭の燃焼、廃棄物処理、鉱山などの活動によって排出されているが、人為起源の大気中への水銀排出は、1990 年以降は概ね一定と言われている。欧州および北米での排出量はここ 20 年間に減少したが、東アジアでの排出量増大によって相殺されているのである。大気中に排出された水銀は、大気の循環および河川によって北極に運ばれており、カナダおよび西グリーンランドでは、海洋生物の水銀汚染が増大していることが報告されている。このように減少している汚染物質がある一方、他の既存の有害物質や新規汚染物質が依然として広く使用され、汚染リスクを高めている。

このほか、炭鉱跡や石油・ガス開発跡、北極圏の集落跡、軍事基地跡などの過去の遺物は、今日、ゴミ・廃棄物、下水、ブラックカーボンといった汚染の潜在的原因となっている。

b. 放射性物質による汚染

放射性物質も、ほかの長距離越境汚染物質と同様に長距離を移動して北極海に到達している。その原因は、1950-60 年代における核兵器実験による大気中への排出、海洋投棄および海難事故船等の放置、英国セラフィールドおよびフランスのラ・アーグの再処理施設からの排出、ウクライナのチェルノブイリ原子力発電所事故、および東電福島第一原子力発電所事故などである。

北極海においては、旧ソ連の核実験による排出が最も大きな汚染源であったが、年月を経て、その汚染は減少を続けている。チェルノブイリ事故による汚染も同様である。一方 1959 年-1991 年にかけて、旧ソ連/ロシアによって中・低レベル放射性廃棄物および、原子力潜水艦の廃棄原子炉および原子力砕氷船の使用済み核燃料を含む密閉容器などが、カラ海・バレンツ海に投棄されてきた (図-1.2.1)¹⁴。その規模は、1,700 個の容器、放射性物質を搭載している 19 隻の船舶、および 6 基の原子炉格納容器に上る。これらの中には 1981 年にカラ海で沈没した原子力潜水艦 K-27 (原子炉 2 基搭載)、2000 年にコラ半島沖バレンツ海で沈没したロシアの原子力潜水艦クルスク、2003 年にバレンツ海に沈没した K-159 などがある。また 1989 年には旧ソ連の潜水艦コムソモレツ(核魚雷を搭載)がノルウェー沖で沈没している。

北極評議会のワーキンググループである AMAP では、こうした放射能汚染リスクについて以前から指摘してきた。これに対し、ロシア自国内および国際協力による除去作業によって、2008 年時点で、ロシアの老朽化した原子力潜水艦 198 隻のうち、164 隻から核燃料が除去された。こうして、放射能汚染リスクは大幅に軽減されつつある。また現在のところは、海洋環境への広範囲の拡散による野生生物および人間への暴露・蓄積は見られていないと報告されている¹⁵。

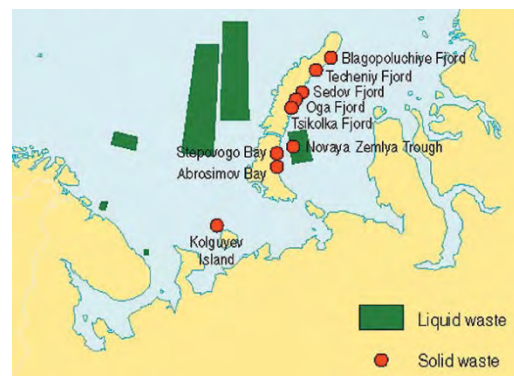


図-1.2.1 ロシアによる北極海における放射性廃棄物の投棄場所

しかし依然として、ロシアの老朽化した原子力船や沿岸の核燃料貯蔵施設では、近代化あるいは核燃料や原子炉などを撤去して安全な処理・保管施設に移す作業が必要になっている。また老朽化が進んでいる核燃料貯蔵船 Lepse は、コラ半島における重大な汚染リスクとなっており、廃船と核廃棄物の除去が計画されているものの、その作業は依然として進まず、ムルマンスクの北の海軍基地沖に停泊したままになっている。800kl の使用済み核燃料を搭載したまま、2003 年にコラ湾沖に沈没した K-159 は、バレンツ海における最大の汚染リスクと言われる。ノバヤゼムリヤ島の東に沈む K-27 は、沈没前に原子炉をコンクリート等で密閉処理してあるものの、その耐用期間は 50 年とされており、その後は再び核反応が発生するリスクが指摘されている¹⁶。このように、依然として重大な汚染源が北極海に残された

¹⁴ AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues (1998), Chapter 3, Radioactivity, pp592.

¹⁵ AMAP Assessment 2009, Radioactivity in the Arctic, 2010.

¹⁶ Bellona, “The Condition of Nuclear and Radiologically Dangerous Installations in Northwest Russia: Problems and Perspectives for Solutions”, 2012,

<http://bellona.org/news/uncategorized/2012-02-rosatom-bellona-seminar-on-global-partnership-progress-shows-signs-of-hope>,
<http://bellona.org/news/uncategorized/2012-08-russia-announces-enormous-finds-of-radioactive-waste-and-nuclear-reactors-in-arctic-seas>

ままになっている。さらには、ロシアによる浮体式原子力発電所の建設も、北極海における新たな放射能汚染リスクを生じさせている。

ロシア以外では、1968年、4基の水爆を積載した米国のB-52爆撃機がグリーンランドのチューレ沖ノーススター湾の海氷上に墜落し、核弾頭が破裂・飛散して大規模な放射能汚染を引き起こした。事故後直ちにアメリカおよびデンマーク当局が汚染物の除去にあたったという。その後の環境調査により、プルトニウムは海底に安定した状況で残留しているが、海水および動物の体内の濃度は低いことが確認されている。

欧州においては、1960年代に実施された核実験や、セラフィールド再処理工場およびラ・アーク再処理工場が継続的で重大な汚染源となり、現在の北極域における低濃度の放射能汚染の原因となっている。ただし現在は、排水処理技術の革新によって大幅に排出量が削減されている。また、福島原発事故による北極海への影響は、最近の調査において、わずかであることが報告されている¹⁷。

c. 鉱工業による汚染

カナダは長年に渡って世界有数のウラニウム産出国であり、資源の多くはサスカチュワン州および北西準州に賦存する。採掘屑には採掘目的外の放射性物質が含まれることがあり、これが雨水などを介して環境中に排出されるリスクが指摘されている。また昔の多くの鉱山では、放射性物質を含む採掘屑を放置したり、その後廃坑になった掘削跡を放置したりしてきた。ウラニウム鉱山だけでなく、廃坑になった金・銀・鉛・ダイヤモンド鉱山の多くも放置されているため、カナダ政府は現在、その処理のために多くの予算を割り当てることを余儀なくされている。

ロシアにおいては、コラ半島およびタイミル半島のニッケル・銅・硫化鉄鉱山および関連施設によって、多量の汚染物質が環境中に放出されてきた。ニッケルおよび銅の精錬においては、多量の亜硫酸ガスを排出する。上記二つの地域の生産拠点から排出される硫化物は、ロシア全体の1/4を占めると言われる¹⁸。また重金属を含む多量の汚水が排出され、周辺の環境を深刻に汚染していることが指摘されている。タイミル半島ではPyasino湖とその水系に深刻な汚染があることが指摘されている。これらの水系は直接にはエニセイ川や北極海に接続していないものの、陸水の移動によって一部は北極海に達する可能性は否定できない。またコラ半島では、ノルウェー全体の排出量の5倍に達する亜硫酸ガス排出によって、隣国であるフィンランドおよびノルウェーのロシアとの国境地域に対する越境汚染も引き起こしている。さらに、ニッケル、銅、コバルト、ヒ素が大気中に排出されており、降雨によって陸水や地面にもたらされていることが確認されている。旧ソ連時代、これらの汚染物質の排出に対する環境影響について調査されることはなく、また生産側において環境保護への関心は低く、多量の汚染物質が環境中に排出されてきた。今日においても、依然として旧来の生産設備や技術が用いられ、環境対策は進展していないのが現状である。

¹⁷ PAME, AOR the Arctic Ocean Review Final Report, pp.71, 2013.

¹⁸ Bellona Report 2010, Environmental Challenges in the Arctic, 原典: Н о р и л ь с к и й п р о е к т // Наука в России. 2005. № 4

(3) 騒音による環境影響

汚染ではないが、貨物船の運航拡大や原油・天然ガス開発活動によって、海中に多くの騒音が発せられていることが指摘されている。これら海中の騒音は、海棲哺乳類のコミュニケーションやペアリングなどの生殖活動に影響を与える可能性が指摘されている。

1.2.2 船舶起因による海洋汚染

船舶起因の海洋や大気への影響因子としては様々な種類がある。これらは、事故等による積荷あるいは燃料の流出、船舶からの投棄、そして船舶運航に伴って発生する汚染物質の排出に大別される。また近年では、バラスト水により域外生物が持ち込まれることによる生態系への影響、船底塗料の環境影響といった問題も取り上げられている。これらの船舶起因の海洋環境汚染に対しては、国際海事機関（International Maritime Organization: IMO）を中心として MARPOL 73/78 条約¹⁹等の各種条約・国際基準が制定されて加盟国の国内法へ反映されるとともに、特別海域（Special Area）や特別脆弱海域（Particularly Sensitive Sea Area: PSSA）などの環境保全のための特別措置が取られる海域の設定も行われている。

(1) 油流出

船舶からの汚染物質の流出、特にタンカーからの油の流出は、海洋環境に大きな負荷を与え、その影響はひいては漁業・観光などの産業にも拡大する。流出油による海洋環境への影響の内容と程度は、流出した油の量と物性、流出した海域の海洋特性、季節や気象条件、汚染防除のために採られた対策とその結果など様々な条件により変化する。生態系を構成する動植物に対する影響についても、油の揮発成分の有する毒性による被害から重油成分や風化した油による窒息まで多岐にわたる。海鳥、特に獲物の捕獲のために海面へのダイブを行う種類の鳥は流出油による被害を受けやすい。これらの鳥では、油が羽毛に付着することによって溺れたり体温を奪われることにより死に至るケースが多い。油が海岸へ漂着した場合の影響は、海岸を構成する土質によって異なる。岩場では波浪による洗浄効果があることから比較的流出油の影響が少ないのに対し、砂や粘土質により構成される海岸は最も影響を受けやすい。このような海岸は入り江のような波浪影響の少ない場所にあるとともに、一般に生物生産性の高い海岸であり、鳥類・哺乳類そして時には人間の生活を支える海域でもある。また油が砂や粘土の中に取り込まれて長期間にわたって残存することもある。

一方、大規模な油流出事故を契機に、汚染防止のための規則・基準の整備も進められてきた。表-1.2.1に、近年における代表的な油流出事故を示す。

¹⁹ 1973年の船舶による汚染の防止のための国際条約に関する1978年の議定書

表-1.2.1 近年の代表的な油流出事故²⁰

年	場所	原因	流出量
1989	アラスカ、プリンス・ウィリアム湾	エクソン・バルディーズ号座礁	34,850t
1992	マラッカ海峡	ナガサキ・スピリット号衝突	13,000t
1992	スペイン北西岸、ラ・コルーニャ湾	エージアン・シー号座礁	73,000t
1993	英国、シェットランド島南西沖	ブレア号座礁	85,000t
1993	スマトラ島北西アンダマン海	マースク・ナビゲータ号衝突	25,000t
1994	トルコ、ボスポラス海峡	ナシア号衝突	25,500t
1994	アラビア半島フジャイラ沖	セキ号衝突	15,000t
1995	韓国、壘水港沖所里島南西海岸	シー・プリンス号座礁	81,600t
1996	英国、ミルフォード・ヘブン入口	シー・エンプレス号座礁	50,000～70,000t
1997	日本海	ナホトカ号事故	5,304t
1997	東京湾	ダイヤモンド・グレース号座礁	1,317t
1997	シンガポール海峡	エボイコス号衝突	28,463t
1999	フランス沖	エリカ号沈没	11,000t
2000	アラブ首長国連邦	タンカー沈没	重油約200t
2000	シンガポールセントーサ島(インドネシア領海)	パナマ船籍のタンカー座礁	Nile Brend原油7,000t
2002	スペイン北西部ガリシア地方沖	プレスティージ号が沖合いで真っ二つに折れ、沈没	10,000t以上
2007	アメリカ サンフランシスコ	コスコ・ブサン号	重油約58,000ガロン (約220,000L)
2007	韓国	Hebei Spirit号	重油10,800t
2009	オーストラリア・モートン島沖	貨物船から大量の重油が流出(60kmに渡る海岸が汚染された)	石油約230t
2010	アメリカ メキシコ湾	石油掘削施設の爆発	原油約440万バレル

表の先頭行にある1989年にアラスカ沖で発生したエクソン・バルディーズ号の事故は、当事国のアメリカにおいてOil Pollution Act of 1990 (OPA 90) の制定のきっかけとなるとともに、IMOによるタンカーの二重船殻の義務化の動きを進めた。タンカーの二重船殻(あるいはそれに相当する機能を有する船体構造)の義務化はMARPOL条約の改正として1992年にIMOにおいて採択され、翌1993年に発効した。また、1999年にフランス沖で起きたエリカ号事故においては、単船殻タンカーの使用期限を早めることにより二重船殻化を加速するとともに、油濁汚染損害についての民事責任に関する国際条約(CLC条約)による補償限度の引き上げなどが行われた。また2002年のプレスティージ号の事故を経て、単船殻タンカーの使用制限がさらに強められた。

(2) 海洋投棄

汚染物質の海洋投棄については1972年に、海洋投棄による汚染防止を目的として通称ロンドン条約

²⁰ 製品評価技術基盤機構のホームページ掲載表 (http://www.bio.nite.go.jp/nbdc/bioreme2009/situation_3.html) に基づいて作成。

が採択された。本条約は 1996 年の議定書により全面的に改定され、従来採られていた投棄禁止物質の設定から海洋投棄の原則全面禁止を打ち出し、例外的に投棄可能となる廃棄物を掲げたリバースリストによる規制となった。以下の廃棄物がリバースリストに載せられている。ただし、リバースリストの廃棄物であっても、海洋投棄の許可に際しては環境影響評価等に基づいて行うことが求められる。

- ・ 浚渫物
- ・ 下水汚泥
- ・ 魚類残渣
- ・ 船舶及びプラットフォーム他の人工海洋構築物
- ・ 不活性な地質学的無機物質
- ・ 天然起源の有機物質
- ・ 主として鉄・コンクリート等からなる巨大な物（島嶼等において海洋投棄以外に処分の方法が無い場合）
- ・ 二酸化炭素隔離のための二酸化炭素回収工程から生ずる二酸化炭素を含んだガス

(3) 船舶からの排出

船舶の運航時には様々な汚染物質が発生する。これらの物質の無制限な船外排出は深刻な海洋汚染を引き起こし得る。MARPOL 73/78 条約では、船舶から生じる油、化学物質、容器に入った有害物質、汚水、廃棄物、排気ガスについて、附属書 I から VI においてそれぞれの物質の排出についての規則を定めている。またこれらの附属書では、それぞれの汚染物質についての排出を特に制限する特別海域についても定めている。

a. 油を含む排水

タンカーのタンク洗浄による油を含んだ洗浄水の船外排出はタンカー運航に関わって一般的に行われていたが、1950 年代に入りタンカーの大型化が進むにつれて海洋汚染源としての問題意識が高まり、1954 年には後の MARPOL 73/78 条約の前身である International Convention for the Prevention of Pollution of the Sea by Oil, 1954 (OILPOL 1954) が採択され、さらには IMO 設立に至った。OILPOL 1954 は特別海域及び陸から一定距離以内における油を含んだ排水の排出を禁じ、その後その規制はさらに高められた。1973 年に採択された MARPOL 条約は、油を含む水の排出に関する附属書 I に加えてその他の汚染物質に関わる附属書を有し、1978 年の議定書採択により OILPOL 1954 を引き継いで船舶起因の海洋汚染防止に関わる基本条約となった。タンク洗浄水の問題は、積荷である原油によりタンクを洗浄する原油洗浄技術の導入により大きく改善され、1978 年の MARPOL 議定書においてもこの義務化がうたわれている。油を含む排水については、この他に機関室において発生するビルジ水の問題もあり、MARPOL 73/78 条約やその他のガイドライン等において処理システム・排出基準が定められている。附属書 I では 10 海域を特別海域に指定し、油の排出により高い規制を加えている。

この他、油の排出については、推進システムからの潤滑油の漏れ出しも問題となっている。北極海については、ノルウェー船級協会がその極地船規則において、船尾管と可変ピッチプロペラについて生物分解性潤滑油の使用を義務付けている。

b. 化学物質

化学物質の海上輸送については、海洋汚染物質と危険物質という双方の観点から、MARPOL・SOLAS 両条約にそれぞれ規則が示されている。それぞれケミカルタンカー等によるバルク輸送と容器に収納された形での輸送に分けて取り扱われ、MARPOL 73/78 条約では、附属書 II 及び III がそれぞれに対応している。

化学物質のバルク輸送については、MARPOL 73/78 条約附属書 II において対象物質がその有害性によって次のように分類され、タンク洗浄等による排出について定められている。

- Category X： 海洋資源や人体に対して非常に有害な物質で、海への排出は禁止。
- Category Y： 海洋資源や人体あるいは海洋レジャーやその他の利用に対して有害な物質であり、排出の量と質について規制をかける。
- Category Z： 海洋資源や人体に対して有害性が比較的低い物質で、排出の量と質について Category Y よりは緩い規制をかける。
- その他： 上記カテゴリーには含まれない物質でありタンク洗浄による排出をしても海洋資源や人体あるいは海洋レジャーやその他の利用に対して無害と判断された物質。排出規制は無い。

これらの物質の有害性の判定にあたっては、IMO・UNEP 他の国連機関が共同運営する Group of Experts on the Specific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP) からのアドバイスを受けている。

容器に入った化学物質については、SOLAS 条約において危険物質としての分類・収納等についての規則が与えられている。対象物質は International Maritime Dangerous Goods (IMDG) コードにより規定される。MARPOL 73/78 条約ではこれらの物質を、海洋汚染物質として附属書 III において収納・表示・積み付け等に関する規則が示されている。

c. 汚水

陸に近い海域における汚水の排出は衛生上の問題や時には貧酸素状態を引き起こす原因ともなることから、MARPOL 73/78 条約附属書 IV は陸から 3 海里以内の海域における汚水の排出を禁じている。これ以上 12 海里までの海域においても附属書に規定される粉碎・消毒を施した汚水でなければ排出はできない。IMO では近年、客船からの汚水の排出に関する問題意識が高まった。この結果、特別海域における客船からの汚水の排出については、窒素とリンの除去基準に適合した処理設備を通してのみ認められることとなった。

d. 廃棄物

船舶からの廃棄物の中で最も悪影響の大きいものはプラスチック類である。プラスチック類は環境中における残存期間が長く、誤食をした鳥類・海棲哺乳類の死といった被害もある。このため MARPOL 73/78 条約附属書 V では、プラスチック類の船舶からの排出を禁じている。附属書 V はまた、8 海域を特別海域に指定し、廃棄物の排出により高い規制をかけている。廃棄物の船上焼却については、標準仕様が MEPC において採択されている。MEPC は近年、附属書 V の見直し作業を行った。この中では新たに問題となっていた廃棄物として、バルカーの貨物室の洗浄水の取り扱いも検討されている。この見直しの結果、附属書 V は大幅に変更された。船舶からの廃棄物の排出は原則として禁止

され、新たな附属書 V に記載された廃棄物と規則によってのみ排出が認められることとなった。表-1.2.2 に廃棄物の種類と海域による廃棄物の排出基準の概要を示す。

表-1.2.2 MARPOL 73/78 条約附属書 V に規定される排出基準の概要²¹

	特別海域外の船舶	特別海域内の船舶	海洋プラットフォーム及びその周囲500m以内の船舶
粉砕された食物屑	陸から3海里以上離れている場合は排出可	陸から12海里以上離れて航海中の場合は排出可	陸から12海里以上離れている場合は排出可
粉砕されていない食物屑	陸から12海里以上離れて航海中の場合は排出可	排出不可	排出不可
洗浄水に含まれていない貨物の残渣 ¹	陸から12海里以上離れて航海中の場合は排出可	排出不可	排出不可
洗浄水に含まれた貨物の残渣 ¹	陸から12海里以上離れて航海中の場合は排出可	一定の条件 ² の下、陸から12海里以上離れて航海中の場合は排出可	排出不可
貨物室の洗浄水に含まれる洗剤等 ¹	排出可	一定の条件 ² の下、陸から12海里以上離れて航海中の場合は排出可	排出不可
デッキや外壁の洗浄水に含まれる洗剤等 ¹	排出可	排出可	排出不可
貨物として積まれて航海中に死んだ動物の死体	陸から可能な限り離れて航海中には排出可	排出不可	排出不可
その他のゴミ	排出不可	排出不可	排出不可

1 海洋環境に有害ではないもの
2 (a) 出航した港と次の目的港が共に特別海域内にありこの間の航路が特別海域を出ない場合
(b) これらの港に適当な陸上処理施設が無い場合

e. 機関排気 (SOx・NOx)

船舶のディーゼル機関等から排出される気体の中で環境汚染に関与するものとして、硫黄酸化物 (SOx) と窒素酸化物 (NOx) について MARPOL 73/78 条約附属書 VI において規制がかけられている。これらについては全世界的な規制に加えて、より厳しい規制を課す排出規制海域 (Emission Control Area: ECA) の設定も行われている。附属書 VI ではこの他、オゾン層破壊物質の意図的な排出と廃棄物の船上焼却に関する規則も設けられている。

SOx については燃料油中の硫黄分の最高含有量に上限値を設けることによる規制が行われている。この上限値は、従来が重量比 4.5%であったのに対し、附属書の改正により 2012 年より 3.5%へと引き下げられ、今後 2020 年に 0.50%へと大きく減少させる計画が立てられている。ただしこのような燃料の供給の実現性についての検討が 2018 年までを目途に行われ、2020 年での達成が難しいという結論となった場合は、0.50%上限値の導入を 2025 年へと延期させることとなっている。SOx に関わる ECA としては、現在、バルト海・北海・アメリカ及びカナダ沿岸の 200 海里以内の海域 (北緯 60 度以南)・カリブ海プエルトリコ及び米領バージン諸島周辺海域が指定されている。ECA 内における SOx 規制も段階的に行われ、2010 年 7 月 1 日以前は重量比 1.5%であったのに対し、これ以降は 1.0%へと引き下げられ、2015 年からは 0.1%とする計画となっている。

NOx については機関からの定格出力あたりの排出量に対する規制が行われている。機関の定格回転数の関数として与えられる規制値 (高回転機関ほど規制値が下がる) を下回る NOx 排出量に適合する

²¹ "Simplified overview of the discharge provisions of the revised MARPOL Annex V which entered into force on 1 January 2013" (<http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/Garbage/Documents/Annex%20V%20discharge%20requirements%2007-2013.pdf>) (IMO による) に基づいて作成。

ことが求められる。これは Tier I から Tier III の 3 段階に規制値を低減する計画であり、現在すでに、2000 年以降に建造された船舶に Tier I 規制がかけられ、Tier I 規制値から 15%から 22%程度減じた規制値を適用する Tier II 規制が 2011 年に始まっている。2016 年からの開始が計画されている Tier III 規制では、Tier I 規制値から大きく 80%を減ずる規制値が適用されるが、これは ECA に対するものであり、その外では Tier II 規制が続く。NOx 排出に関わる ECA としては、バルト海の環境保全を目的としたヘルシンキ条約事務局である HELCOM によりバルト海 ECA の提案が準備されているが、加盟国間のコンセンサス形成には至っていない。

f. 温室効果ガス

地球温暖化の主要因とされる温室効果ガスについての規制も始まっている。IMO が 2009 年に行った調査研究 Second IMO GHG Study 2009 によれば、世界の国際海運業が排出する温室効果ガスの総量は、2007 年において 8 億 7 千万トンであり、これは人間活動起因の全二酸化炭素排出量の 2.7%にあたる²²。この調査研究はまた、この量は 2050 年までに現在の 2 から 3 倍にまで増加すると予測するものの、技術及び運航方法の改善によりこれを 25 から 75%削減可能であるとした。これを受けて IMO は 2011 年、エネルギー効率設計指標 (Energy Efficient Design Index: EEDI) 及び船舶エネルギー効率管理計画書 (Ship Energy Efficiency Management Plan: SEEMP) に関する規則を取り込む MARPOL 73/78 条約附属書 VI の改定を行った。この附属書は 2013 年 1 月 1 日に発効した。

EEDI は新造時の船舶の省エネ性能を定量化する指標であり、単位重量の貨物を単位距離運ぶ際に排出される二酸化炭素量として定義される。国際航海に従事する総トン数 400 トン以上の船舶の建造にあたっては、EEDI 値を報告することが要求され、これが規制値を下回る場合には国際エネルギー効率 (International Energy Efficiency: IEE) 証書が交付される。既存船については、国際大気汚染防止 (International Air Pollution Prevention: IAPP) 証書に関する初めの検査時に EEDI 規制への受検が求められる。EEDI 規制値は当該する船種毎に 1999 年から 2008 年の 10 年間の実績値に基づく値として設定されているが、今後 3 段階で規制値の削減が計画され、第 3 段階では削減率 30%を適用されることとなっている。また、現在は EEDI 規制の適用外である Ro-Ro 船や LNG 船についても適用を視野に検討が進められている。

一方 SEEMP は、例えば減速運転や海流・海象を考慮したルート最適化といった船舶の実際の運航・運用において船舶の省エネ化を図るための方策についての管理計画書である。EEDI とは異なり、国際航海に従事する総トン数 400 トン以上の既存船を含む全船舶が対象であり、SEEMP の作成・所持が要求される。ただし SEEMP の具体的な実行やその結果について問われるものではない。

(4) バラスト水

船舶のバラスト水により水生生物がバラスト水を排出する他海域へと運ばれていることは、アジアの海生珪藻類の北海での大量発生により 20 世紀初頭にはすでに認識されていた。その後、世界の海上交

²² IMO ホームページ (Greenhouse Gas Study 2009) :
<http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Greenhouse-Gas-Study-2009.aspx>.

通量の急激な上昇に伴い、船舶のバラスト水による水生生物の移動がバラスト水を排出する海域での水生生物の多様性の保全に脅威を与えていることへの理解が深まり、生物の多様性に関する国際条約の下でも指摘された。IMO では 1993 年と 1997 年にバラスト水問題に対するガイドラインを総会決議として採択したが、強制力を持たない勧告であることやバラスト水管理の実際が複雑であることから、これに対する対策の進展は遅かった。このため強制力のある条約の制定が検討され、2004 年に船舶のバラスト水及び沈殿物の規則及び管理のための国際条約（International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, 2004 : BWM 条約）が採択された。

BWM 条約及びこれに関連して IMO が定めたガイドラインでは、バラスト水管理方法として次が挙げられている。

- ・ 外洋上でのバラスト水交換
- ・ バラスト水排出基準を満足するバラスト水処理
- ・ 受入施設へのバラスト水排出
- ・ MEPC で承認される他の方策

BWM 条約の発効要件は批准国 30 か国以上、かつ批准国の合計商船船腹量が 35%以上であり、現在まだ発効に至っていない。

(5) 船底塗料

船舶の船底への生物付着による摩擦抵抗増加と燃費悪化を低減させる目的で、かつては殺生物作用のある塗料が使用されていた。特に有機金属のトリブチルスズ (TBT) 化合物を含む塗料は防汚効果が高く広く船舶用塗料として使用されていた。しかしこれらの塗料の海中への溶出による海洋環境への悪影響があるという認識の下、IMO は 2001 年に船舶の有害な防汚方法の規制に関する国際条約 (International Convention on the Control of Harmful Anti-Fouling Systems on ships : AFS 条約) を採択した。同条約は 2008 年に発効した。AFS 条約の下、全ての船舶において条約に規定される塗料の使用が禁止され、塗り替えに至っていない場合については溶出防止のコーティングが義務付けられた。

(6) 漁船からの排出

漁船においては、貨物船などと共通の事項に加え、漁業に特有の海洋汚染をもたらさる事項がある。洋上での漁労作業においては、漁網類、ロープ・釣り糸、餌、釣り針類、ブイ、その他容器・用具類などからなる廃棄物が発生する。本来、これらの廃棄物を海洋に投棄することは許されることではないが、現実には無くなっていない。さらには、混獲によって目的外や許可対象外の海洋生物や海鳥が捕獲された場合も、その多くが海洋投棄されている。特にエビ・トロール漁業における混獲率・量が高いことが指摘されている。また、海域では北西太平洋において、混獲によって廃棄される水産物量が大きい²³。FAO の調査では、混獲による漁獲物の廃棄率を 8%程度と推測している²⁴。

²³ Alverson, D., Freeberg, M., Murawski, S. and Pope, J., A global assessment of fisheries bycatch and discards, FAO, 1996.

²⁴ Kelleher, K., Discards in the world's marine fisheries. An update. FAO Fisheries Technical Paper. No. 470. Rome, FAO. 2005.

北極海（FAOによる漁業海域番号：18）における漁獲量は、1950年から2006年の期間合計で、米国アラスカ州では89,000ト、カナダでは商業漁業および零細漁業による漁獲が94,000トあったと見積もられている。またロシアでは77万トンあったであろうと推算されている²⁵。これによれば、年平均17,000ト程度の漁獲が北極海で行われてきたことになる。今後、北極海における漁業のあり方と商業漁業の可能性が議論される場合には、資源だけでなく、漁業活動による海洋汚染にも言及することが必要である。

1.2.3 海洋資源開発に伴う排出

天然資源の探鉱や開発など一連の海上作業においては、坑井掘削に伴って地層屑（掘削屑）や掘削泥水が発生する。これらは坑内から掘削リグに運搬され、泥水と掘削屑を分離し、泥水は再利用される。しかし掘削屑は海洋投棄されることになる。掘削屑には少量ではあるが泥水が付着している。また一部の泥水も海洋に漏出する。

泥水には一般に、水系と油系および合成系の3タイプのものがある。このうち油系泥水は掘削泥水としての利点が多く、1980年代までは利用されていたが、毒性が強いため国際的に規制が強まり、使用機会は減少した。これに代わって毒性の低い合成油を使用した合成系の泥水が使用されるようになってきた。これらに比べてモンモリロナイトを主成分とする水系泥水は環境に対する毒性が低く、生物分解の点でも有利であるため、浅層の掘削に広く使用されている。また、各種の添加剤によって性能を改良した泥水が実用化され（リグネート、KCIポリマーなど）広く使用されている。

掘削泥水の毒性については、水溶状態および粒子状態いずれにおいても、半数致死濃度LC50のほか、海藻成長に対するEC50を指標に評価する事例がある。毒性の評価においては、急性および慢性的な毒性の双方を考慮する必要があるが、LC50は急性の毒性の評価指標といえる。長期的な影響に関しては、嫌気状態および好気状態での生物分解性と、生物濃縮特性に配慮する必要がある。低温状態が長く継続する北極海においては、生物分解速度が低下する可能性があるため、特別の配慮が必要であろう。また魚類では底生の種が卓越しているため、魚類への生態濃縮に注意が必要である。合成系の掘削泥水の生物分解は、一般に言われているよりも遅いことが指摘されており、注意が必要である。

原油採掘では、掘削屑に少量ではあるが泥水のほかに油分が含まれる。このため、海底に投棄された掘削屑からは、継続的に油分が海中に放出される可能性も指摘されている。また、一連の坑井掘削作業に伴って、各種機械からの排気ガスが排出される。

²⁵ Daniel Pauly, The University of British Columbia, UBC Public Affairs, Feb. 2011.

1.3 北極海の海洋環境保護への取り組み

1.3.1 北極海の海洋保護区

(1) CAFF

ACのCAFF(Conservation of Arctic Flora and Fauna)²⁶は Protected Areas of the Arctic : Conserving a Full Range of Values(2002) において、北極圏における環境保護区の価値について以下のように述べている。

- ・ 物理的価値：炭素隔離、流域保護、汚染物質ろ過の役割を担う。
- ・ 生態学的価値：食物、繁殖、移動および自然進化を含めて種の生息地となる。
- ・ 経済的価値：直接的・間接的に、財政・商業的価値および雇用を創出する。
- ・ 文化遺産としての価値：社会の性質や人々の特質および精神的価値を形作る。
- ・ 娯楽価値：消費活動または非消費活動を通じて価値を創出。
- ・ 生業利用の価値：人類の居住地、人類に食物を与えたという意味での価値。
- ・ 社会的価値：財政的支援、政治的優先事項にみられる社会全体としての価値。
- ・ 景観の価値：視覚的特色に加え、地域・国家・国際社会における相対的重要性をもたらす。
- ・ 教育的価値：訓練・教育を通じて物理的自然環境やその生態系多様性を意識させる。
- ・ 科学的価値：自然環境の理解、人為的な変化やそれに対する自然の応答の理解に貢献する。

北極海では8か所（グリーンランドの西岸・東岸の大陸棚、アイスランドの大陸棚、フェロー諸島、ノルウェーの大陸棚、バレンツ海、ベーリング海東部・西部）がLME（Large Marine Ecosystems、大規模海洋生態系）として国際的に認められている。これらの海域は、高い生産性、独特の海洋学的特徴、および特徴ある生態系といった特徴を有している。LMEは海洋保護区を規定するものではないが、海洋環境において重要な海域を国際的に喚起する役割をはたしている。次図は、IUCN²⁷による World Protected Areas Database at UNEP-WCMC, 2005 によって海洋保護区として確認されているものである。

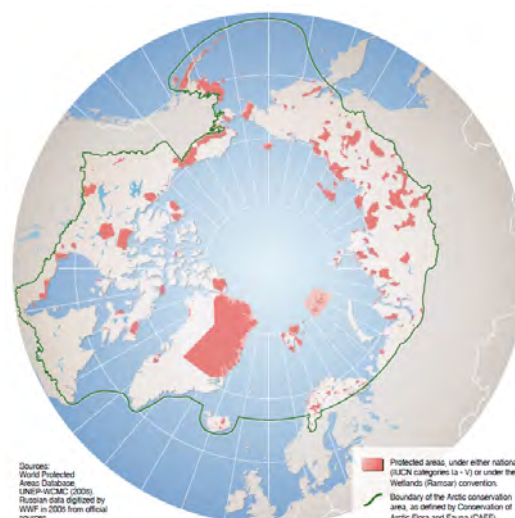


図-1.3.1 北極圏の海洋保護区

²⁶ Conservation of Arctic Flora and Fauna: 北極圏植物相・動物相保存作業部会

²⁷ International Union for Conservation of Nature: 国際自然保護連合

(2) 各国の取り組み²⁸

a. カナダ

カナダは自然環境保護区を、ステークホルダーと地元コミュニティによる協議によって設定しており、多くの自然公園には、先住民と政府による運営委員会が設置され、公園の運営・計画に関する助言を行っている。また北部州ではアウトドア活動や観光を主体としつつ自然環境を保全するシステムをつくっている。こうしたシステムのもと、連邦レベルでは 39 の国立公園（連邦所有の土地で文化遺産省が管轄）があり、このなかには 29 の海洋保護区、うち 1 つが北極圏に設けられ、国立公園の面積は国土の 2.5% を占めている。これらの公園は、IUCN カテゴリーII に相当している。このほか連邦所有の国土には 48 の Wildlife Area（うち北極圏には 4 か所）、90 の渡り鳥サンクチュアリ（うち北極圏には 15 か所）が設けられ、その管轄は環境大臣のもとでカナディアン・ワイルドサービスが管轄する。

またカナダは、北極海のうちの 10 ヶ所を特別保護区として管理する準備中である。これが指定されると、この海域は持続的利用が強化され、同時に環境保護が強化されるという。

b. グリーンランド

グリーンランドのすべての土地は公共所有であり、その利用には、地方政府またはグリーンランド自治政府(Home Rule Government)による承認が必要になっている。グリーンランドの環境保護区は自然保護法のもとに定められ、グリーンランド国立公園を主体に国土の 100 万 km² 近くが保護区に指定されている。グリーンランドはイヌイット民族が中心となっている社会であり、その生活は狩猟・漁業・牧羊を主体としている。保護区は、その生活・文化・伝統などを適切に守ることを重視して設けられ、運営されている。同時に、グリーンランドは北極観光の拡大に加え、天然資源開発にも大きな期待をかけており、自然環境の保護と開発のバランスをいかに保つかが大きな課題となっている。

c. アイスランド

アイスランドの自然保護区は、自然保護局が管轄する国立公園・自然保護区・自然遺跡と、地方政府が管轄し、主にアウトドア活動に供されている地方公園がある。また、島の北西部にある Breidafjörður 湾が 1995 年に海洋保護区に指定されている。これらの保護区は、自然保護法およびいくつかの関連する法に基づいて、駐在する自然保護局によって管理されている。また地方政府は地域自然保護委員会を設けて、地方政府への助言や市民への情報公開や教育などの業務を担っている。Breidafjörður 湾海洋保護区を中心に、EEZ 内において底生の無脊椎動物類の科学調査が続けられている。

d. ノルウェー

ノルウェー本国には 2002 年時点で、国立公園 19、自然保護区が 1,485、自然遺跡が 101、自然景観保護区が 106 設定されている。スヴァールバルには国立公園が 3 ヶ所、自然保護区が 18 ヶ所ある。なお、国立公園の数および規模は拡大される見込みである。これらの保護地域は自然保護法・野生生物法・スヴァールバル環境保護法のもと環境省が主管し、自然管理局、地方政府の知事などにより管理される。スヴァールバル環境保護法および関連法では、スヴァールバル多島海、ベアー島、およびヤンマイエン

²⁸ カナダ、グリーンランド、アイスランド、ノルウェー、ロシアの取り組みについては、Protected Areas of the Arctic (CAFF, 2002.)を参照した

島を管轄する。野生生物法では、保護された区域の外の区域における生態系の保護を担当している。また、これらすべての保護区には、個別の規定が設けられている。

e. ロシア

ロシアは1993年に、北極圏の42,000km²の範囲を保護区（Great Arctic Reserve）にすることを宣言した。これにはいくつかの島嶼、カラ海沖、フランツ・ヨーゼフ島とその海域（EEZ）などの海域が含まれている。さらに1999年には、ウランゲル島海域（12NMの領海を超える範囲に及ぶ）を保護区に加えた。こうしてロシアは、99ヶ所の特別自然保護区（うち8ヶ所が北極圏）、33ヶ所の国立公園（うち1ヶ所が北極圏）を設けている。このほか、連邦生態系管理地区（IUCN カテゴリーIV）、州立自然遺産（IUCN カテゴリーIII）を設けている。また、共和国および地方政府レベルにおいて、多くの保護区（主に連邦生態系管理地区に準ずるもの）を設けている。また計画では北極圏において14ヶ所の特別自然保護区および4ヶ所の国立公園を設けることとなっている。このなかで、ロシアの海洋環境保護区は現在27地区に設定されており、領海全体の10.81%の面積を占めている²⁹。

連邦管理の保護区域は天然資源省が管轄しており、特別保護区域法にて保護区域の管理、動物王国法にて野生生物の利用を規定している。特別自然保護区では、入域が厳しく制限・管理され、科学調査のほか限定的に観光での利用が認められている。しかしながら、制限区域とそれ以外の区域との間に緩衝区域がなく、天然資源開発が保護区域のすぐそばで行われるなど、多くの課題が顕在化している。



図-1.3.2 ロシアの自然保護区

f. 米国

米国では、アラスカの約46%がIUCN カテゴリーIVかそれ以上のレベルで保護されており、また北極圏の約20%が、なんらかの形で保護されている。連邦レベルでは、8つの国立公園、10の国立保護

²⁹ World Bank Indicators, <http://data.worldbank.org/indicator>, 2014.

区、16 の野生動物保護区が、内務長官によって管轄されている。州レベルでは、漁業狩猟局、州立公園および天然資源局によって、3 つの野生動物保護区、5 つの保養区、42 の州立公園が管理されている。また米国は、新たに保護すべき海域を選定するための調査中である。

米国における海洋保護区制度は Framework for a National System of Marine Protected Areas for the United States(2008)³⁰にもとづいて運営されている。北極圏における海洋保護区には、Alaska Maritime National Wildlife Refuge（アリューシャン列島、ベーリング海・チュクチ海の海岸など）、Yukon Delta National Wildlife Refuge、Arctic National Wildlife Refuge がある。

1.3.2 北極海の海洋環境アセスメント動向

(1) 北極評議会による北極海の環境調査

a. ワーキンググループ

北極評議会では、以下の6種類のワーキンググループ・プログラムを通じて、北極海の汚染状況に関する継続的な調査・監視・評価および提言活動が実施されてきた。

- Arctic Contaminants Action Program (ACAP) : 北極の環境中への汚染物質排出削減を目的とし、これに関わる加盟各国の活動の支援を行う。
- Arctic Monitoring and Assessment Program (AMAP) : 人間起因の全ての汚染のレベルの把握とこれが北極の環境に与える影響の評価を行う。
- Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF) : 北極の生態系の多様性の保全に関わる調査・研究を行い、これに関わる加盟各国・民族による活動の支援も行う。
- Emergency Prevention, Preparedness and Response in the Arctic (EPPR) : 油・ガスの輸送・生産や核物質等に関わる事故による環境汚染の防止・準備・対応のため、ガイダンス作成・リスク評価手法の開発・対応訓練などを行う。
- Protection of the Marine Environment in the Arctic (PAME) : 北極の海洋環境の保全に関わる政策と非事故時の環境汚染防止措置についての活動を行う。汚染は陸域・海域起源を問わない。
- Sustainable Development Working Group (SDWG) : 北方民族の経済・文化・健康の持続的な保全と向上に関わる活動を行う。

b. ACIA 及び SWIPA

AMAP と CAFF は、国際北極科学委員会 (International Arctic Science Committee : IASC) とともに Arctic Change Impact Assessment (ACIA) を実施し、自然環境、北方民族コミュニティを含む社会・経済・文化など多面的な観点から北極の変化とその影響を取りまとめた報告書を2004年に出版した。報告書では、北極の変化とその影響の現在および将来予測を10種類の Key Findings (北極の気候変化、北極の温暖化による地球規模での影響、北極の植生分布の変化、動物種の多様性・分布の変化、沿岸集落への

³⁰ <http://marineprotectedareas.noaa.gov/nationalsystem/framework/>

影響、北極海の海上交通、凍土の融解、先住民族社会への影響、紫外線レベルの増大、各種の変化の相互作用)に整理してまとめた³¹。

2007年に出された IPCC レポートでは、ACIA が指摘した地球気候変化における北極圏の重要性を支持している。しかしこの間の北極圏の変化は、予想以上の速さと規模で進行中であることを背景に、AMAP は 2009 年に ACIA のアップデートレポート³²を追加した。このレポートでは、北極海および陸域における気候・海氷等の変化状況を更新するとともに、ブラックカーボン、対流圏オゾン、メタンが北極圏の気温上昇に二酸化炭素に匹敵する影響力を有していることを指摘した。また北極圏は二酸化炭素の吸収とメタンの排出を担っており、北極圏の炭素サイクルの変化は、今後の地球気候の変化に大きな影響を与え得ることを指摘した。

北極の変化はその後も引き続き拡大している。“Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic” (SWIPA)³³は、ACIA のフォローアップとしてその後の変化を総合的に分析したレポートである。例えば北極の氷雪圏 (cryosphere) について、今後 30 年から 40 年後には夏の北極海は無氷域となる可能性があるなど、15 種類の Key Findings を挙げて北極のさらなる変化を示している。IPCC AR4 では TAR (第 3 次評価報告書) に引き続き、最も温暖化の影響を受ける可能性がある地域として、アフリカや島嶼域と並んで北極が挙げられている。

c. AMSA

AMSA (Arctic Marine Shipping Assessment)は、ACIA の結果を受けて PAME 担当のプロジェクトとして、EPPR などのワーキンググループの協力のもと、北極の海上交通に関する歴史・法制・環境保全・インフラストラクチャーの現状と将来に関する調査を、フィンランド・カナダ・米国の主導のもとで実施したものである。2006 年、2011 年、2013 年に Progress Report が出されている。

d. ABA

CAFF は 2013 年、多数の科学者による 7 年間の作業の成果として、ABA (Arctic Biodiversity Assessment) を公表した。ABA は、地球温暖化およびその他の人間活動等による北極の生物多様性への影響について、科学的調査・分析を行った成果と、政策決定者にむけた提言をまとめたものである。科学レポートは 600 ページ以上に及び、北極海に関しては、哺乳類・鳥類・魚類・無脊椎動物・菌類・微生物・外来生物などについて述べられている。政策決定者に向けては、9 つの Key Findings が提示されている³⁴。

- 北極圏の生態系は衰退の一路をたどっているが、いま、確固たる措置が取られることによって、広大で手つかずの生態系を維持することが可能となる。
- 気候変動は、極圏の生物多様性にとって最も深刻な脅威であると共に、他の脅威をも増大させる。
- 東アジアからの渡り鳥をはじめとする北極圏の多くの移住性種は、乱獲と生息地を変えなければならぬという脅威にさらされている。

³¹ ACIA, Impacts of a Warming Arctic, Arctic Climate Impact Assessment, Cambridge University Press, 2004.

³² AMAP, Update on Selected Climate Issues of Concern ~observations, Short-lived Climate Forcers, Arctic Carbon Cycle, and Predictive Capability, 2009.

³³ Arctic Council, Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic SWIPA 2011 Executive Summary. pp. 15.

³⁴ CAFF, Arctic Biodiversity Assessment, Report for Policy Makers, 2013.

- 環境破壊と生息地の減少は、北極圏の生物多様性を衰退させると共に、先住民族や来訪者が環境から便益を受ける機会を減少させる。
- 長距離の越境汚染と北極圏での排出汚染物による環境汚染は、生物種の健康と生態系を脅かしている。
- 現在のところ、北極圏には外来種の移入はほとんどないが、気候変動と人間活動の増加により増加することが予想される。
- 人類による乱獲は歴史的に多くの北極圏の種へのインパクトとなってきたが、適切な管理により、全てではないものの多くの場合において改善されつつある。
- 多くの北極圏の生物・生態系およびそれらに対するストレス要因に関する知見はまだ断片的であり、北極圏の生物多様性における保護・調査・傾向の把握を難しくしている。
- 北極圏生物多様性が直面している課題は相互に関連しあっており、包括的な解決と国際協力が求められている。

e. AMAP

AMAP(Arctic Monitoring and Assessment Program)は過去 20 年にわたり、北極の汚染とそれによる環境システムや人間への影響について報告してきた。2009 年には、1997 年および 2002 年のレポートを 3 つの分野に関して更新した Arctic Pollution 2009: Persistent Organic Pollutants, Radioactivity, Human Health および、北極海沿岸国 8 ヶ国の担当大臣への提言を報告した。このレポートでは、POPs による汚染に関し、

- ・ 北極圏で観測される POPs 汚染は、過去における PCB 類、DDT 類、HCB、クロルデン³⁵、ディルドリン³⁶、トキサフェン³⁷、ダイオキシンの使用や排出によるものであるが、POPs 条約等による取り組みを通じて減少傾向を示している。しかし依然として海洋の頂点捕食種や住民において、健康の障害となるレベルの PCB などの POPs の蓄積が認められていることを指摘している。
- ・ 多くの化学物質が海洋や大気の循環を通じて北極に運ばれており、さらなるモニタリングと研究が必要になっている。また、POPs に類似した性質を有する化合物として、臭素化難燃剤(BFR)、有機フッ素化合物(PFOs)³⁸、ポリ塩化ナフタレン類(PCNs)、エンドスルファンなどについて、注意を喚起している。

また、POPs、水銀、鉛汚染のレベルは全体としては低下しているものの、先住民族の居住地の中には、健康への影響が懸念されるレベルの汚染が存在しているとともに、伝統的な食生活を送っている地域では、海棲哺乳類が POPs や水銀蓄積の原因となっていると指摘している。また、過去 15 年にわたって世界的に使用が増え続けてきた BFR や PFOs は、北極の居住者および環境中に存在するとともに、その毒性は十分に把握されていないことを問題視している。

³⁵ 有機塩素系殺虫剤の一種。殺虫剤、シロアリ駆除剤として使用された。1948-1988 の期間、米国で使用された。日本では 1972 年に全面禁止された。POPs 条約規制対象。

³⁶ 1948 年に J. Hyman と Co, Denver によって殺虫剤として製造された塩素化炭化水素。濃縮性が高く生分解性は低い。農業用・家庭用殺虫剤、シロアリ駆除剤。日本では 1975 年に全面禁止された。

³⁷ 70 年代にトウモロコシやジャガイモ等の殺虫剤として米国で使用された。日本では使われていない。POPs 条約規制対象。

³⁸ 撥水剤、コーティング剤、泡消火剤等に使用される。環境中の残留性および生物濃縮性が強く、2009 年、POPs 条約の対象物質に追加された。

放射能汚染については、AMAP による提言を背景に、北極海における高リスクの汚染源の除去が、国際的な協力のもとで大幅に進展した。しかしながら、依然として高リスクの汚染源が北極海に残されており、継続して除去・移設等の対策が必要になっている。また鉱山開発では、掘削屑中に含まれる放射性物質による新たな汚染リスクが生じることを指摘している。

続いて 2011 年には AMAP Assessment 2011: Mercury in the Arctic において、水銀がいかんにして北極圏に運ばれてくるか、北極圏に運ばれた水銀の環境中での挙動、生態系における影響および居住者の健康影響について言及している。

2013 年には AMAP Assessment 2013: Arctic Ocean Acidification Summary for Policymakers において、北極海は低温環境に加えて多量の淡水流入のために酸性化しやすく、実際に北極海の広い範囲で酸性化が発生していること、北極海の生態系と食物連鎖は比較的単純な構造であるために、主要な種への影響が生態系全体に容易に広がり得ること、またその影響は北極海および周辺海域の水産業にも影響を及ぼすことを指摘した。

f. PAME

PAME では、2009 年に開始した Arctic Ocean Review(AOR)プロジェクトの最終報告書(AOR the Arctic Ocean Review 2013, Final Report)において、北極海の海洋環境の保全と持続的利用のために、少数民族とその文化、エコシステムに基づく管理、北極海の海洋科学、海洋利用、海洋生物資源、海洋汚染に関し、さらなるモニタリング、機関同士の連携と知識の共有、ガバナンスの強化と順守、インフラ整備への投資などの必要性について指摘した。

(2) 国連による取り組み

a. 生物多様性条約

生物多様性条約(Convention on Biological Diversity)は、地球規模で生物多様性をとらえ、その保全と持続可能な利用および遺伝資源の公正な利用を目指し、1993 年に発効した国際条約である。条約では締約国に対して、生物多様性の保全と持続可能な利用を目的とする国家戦略または国家計画の作成と実行を義務づけている。締約国政府は、2002 年に開かれた生物多様性条約の第 6 回締約国会議 (COP6) において、国際生物多様性年である 2010 年までに、「貧困緩和と地球上すべての生物の便益のために、地球、地域、国家レベルで、生物多様性の現在の損失速度を顕著に減少させる」ことで合意していた。生物多様性条約事務局では、生物多様性条約事務局および国連環境計画世界自然保護モニタリングセンター (UNEP-WCWC) のもと、多くの科学的ネットワーク等が協働し、各国の報告書、科学調査論文・資料等を通じて、Global Biodiversity Outlook3 (GBO3) を 2010 年に公表した。この GBO3 は、各国政府が 2002 年に合意した 2010 年までに達成すべき 21 の個別目標のいずれについても、達成されていないことを明らかにした。ただし、生物多様性を保全する取り組みによって、特定の生物種や生態系に関して成果が出ていることを示し、十分な財源と政治的意思によって、生物多様性の損失を減少できることも指摘した。

GBO3 は地球規模の気候変動は、気温の上昇、異常気象の頻発、降雨や干ばつパターンの変化などをもたらし、生物多様性に大きな影響が及ぶと指摘している。この中で、北極海ではすでに顕著な海氷減

少が発生しており、これによって海氷に依存する生物群系全体が失われる危険性が指摘されている。また、海氷減少による地球温暖化への正のフィードバックと、それによるさらなる生物多様性への影響について指摘している。しかしながら、北極圏の生物多様性の特徴を踏まえた現況と展望についての具体的な記述は行われていない。

b. Global International Waters Assessment GIWA

GIWA は UNEP 主導のもとスウェーデンの Kalmar University が主体となって、世界の海洋、沿岸域、淡水域および陸水を対象に、生態系の状態および環境における問題について、総合的かつ包括的なアセスメントを実施し、国連地球環境ファシリティ(Global Environment Facility)の活動における意思決定や関係国における意思決定に供するレポートを作成したものである。この活動は 1999 年に始まり、世界の 66 水域に関する個別レポートが作成されるとともに、2006 年に最終報告書(Challenges to International Waters; Regional Assessments in a Global Perspective)が出された。北極海域については、ロシア北極海、グリーンランド北極海、グリーンランド東側・西側大陸棚、バレンツ海、フェロー諸島、ベーリング海東側・西側の 8 海域に分けて調査が行われた。この中では、化学物質による越境汚染、投棄された放射性物質による汚染、地球温暖化による環境・生態系への影響および、ロシア北極海沿岸地域の先住民族社会への影響について、懸念が指摘されている。

(3) フラムセンター（ノルウェー）

ノルウェーでは北極研究の拠点として、北極圏に位置する Tromsø 市に High North Research Centre for Climate and the Environment (FRAM Centre) が形成されている。FRAM Centre は、自然科学・工学・人文科学などの多岐にわたる面から北極に関わる課題を取り扱う組織であり、極地研究所をはじめとしてノルウェー国内の 20 研究機関から 500 名の研究者が参画している。以下は、現在 FRAM Centre において取り組まれている主要な研究課題である。

- 北極海の海氷減少の漁業・海上交通・資源開発への影響
- フィヨルド及び沿岸域に対する気候変動の影響
- 二酸化炭素吸収量の大きい北方海域の海洋酸性化が海洋生態系に及ぼす影響
- 陸上生態系・地形・北方民族社会への気候変動の影響
- 北極における有害物質の存在の把握とその生態系と人間への影響

SAMCoT(Sustainable Arctic Marine and Coastal Technology)は、北極海の海洋および海岸における持続的な開発・生産・輸送などの活動のための先進的な技術に関する研究成果を、資源・エネルギー分野の企業および社会全体に提供することを目的として、NTNU³⁹を主体に、UNIS (University Centre in Svalbard)、SINTEF⁴⁰など 14 機関によって構成された研究センターである。プロジェクトの期間は 2011 年-2016 年となっている。

³⁹ Norwegian University of Science and Technology

⁴⁰ ノルウェー産業科学技術研究所、<http://www.sintef.no/home/About-us/>

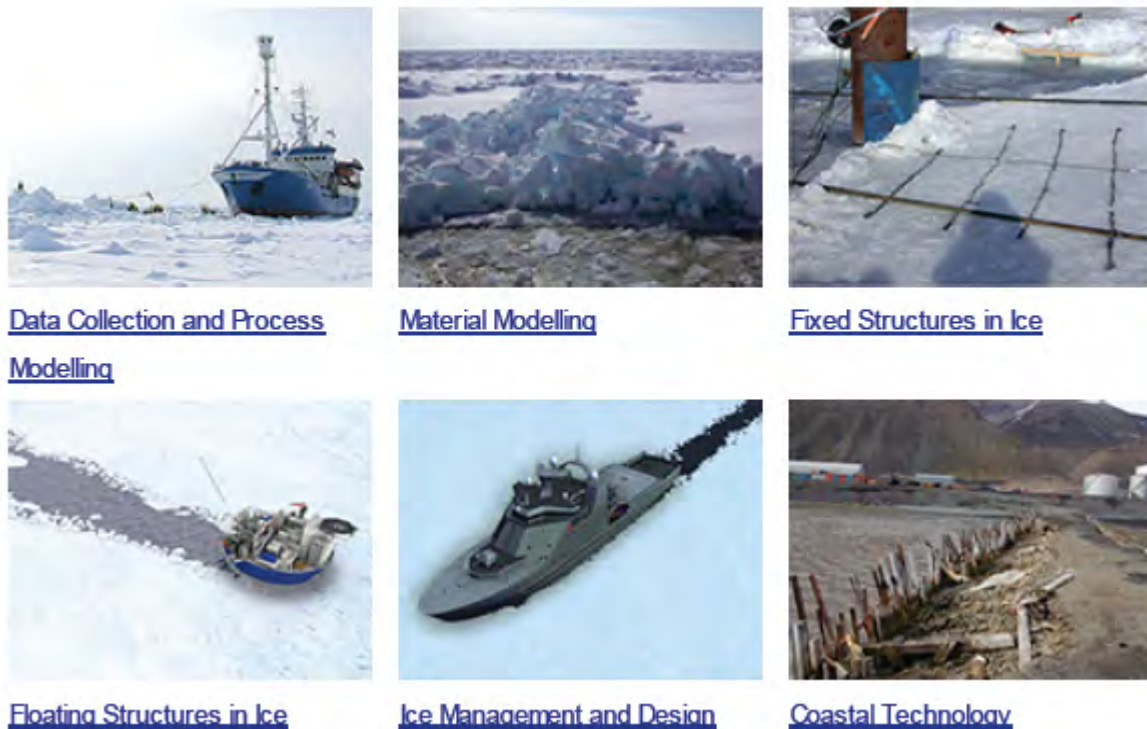


図-1.3.3 SAMCoT の研究分野

1. 3. 3 衛星による北極海の海洋環境観測技術の展開

(1) 北極海の気象・海水情報

a. 衛星による観測技術の現況

北極海は、低温・極夜・海氷の存在などの過酷な環境の海域であり、観測点ネットワークがまだ発達せず船舶による海上交通も少ないことから、気象・海象の観測が難しい海域である。このような中、衛星からのリモートセンシングは北極海観測の主要な手段となっている。北極海は高緯度のため、低緯度地域のような静止軌道衛星による観測は困難であり、極軌道衛星による観測が行われる。以下に、米国の DMSP 衛星と日本の衛星「しずく」について述べる。

DMSP 衛星

1.1.2 項で取り上げた北極の海氷面積に関するデータは、米国国防総省の防衛気象計画 (Defense Meteorological Satellite Program: DMSP) により打ち上げられた衛星による観測結果に基づくものである。DMSP 衛星による観測は、当初は軍事行動計画策定のための雲の観測に目的を置いたものであり観測データは機密データであったが、1972 年に機密指定が解除され一般に公開されるようになった。2007 年からは DMSP 衛星の運用は NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) により行われている。DMSP 衛星は常時複数機が運用され、2009 年までに 45 機が打ち上げられている⁴¹。

DMSP 衛星による海氷観測は現在、機械走査型マイクロ波放射映像センサー (Special Sensor Microwave/Imager: SSM/I) によって行われている。SSM/I データに基づく海氷密接度観測結果は北極海

⁴¹ リモート・センシング技術センターによる DMSP についての解説 : <http://www.restec.or.jp/?glossary=dmsp-2>

の海氷面積の評価に用いられ、温暖化による北極海氷面積の減少についての広い関心を集めている。SSM/Iからはこの他に、海面風速・降水量・雲水量・積算水蒸気量といったデータが得られる。DMSP衛星に搭載されるセンサーは、衛星打ち上げを重ねるにつれてその種類を増し、SSM/Iの他、大気中の温度及び水蒸気プロファイル等を計測する気象観測センサーが搭載されている。

しずく

JAXAは、気候変動及び水循環メカニズムを解明する地球環境変動観測ミッション（Global Change Observation Mission: GCOM）の一環として、第一期水循環変動観測衛星「しずく」（GCOM-W1）を2012年5月に打ち上げた⁴²。GCOM衛星としては水循環変動観測衛星（GCOM-W）と気候変動観測衛星（GCOM-C）の2種類のシリーズが計画され、「しずく」は前者の第一期衛星である。なおGCOM-C衛星は現在開発中である。

「しずく」は、高性能マイクロ波放射計2（Advanced Microwave Scanning Radiometer 2: AMSR2）を搭載する。AMSR2は、環境観測技術衛星「みどり」に搭載されたマイクロ波放射計（AMSR）及びNASAの地球観測衛星Aquaに搭載された改良型高性能マイクロ波放射計（AMSR-E）の後継機であり、降水量・水蒸気量・海上風速・海水温・海氷密接度といった量を観測する。

「しずく」の観測により得られた結果の例として、グリーンランドの氷床表面の融解の様子を図-1.3.4に示す⁴³。「しずく」打ち上げ直後の2012年7月の観測結果である、同図はAMSR2が観測した輝度温度を元に作成したものであり、図中、灰色は融解領域を、緑から黒にかけてが乾いた日融解領域を示す。7月10日にはグリーンランド北東部の大部分が非融解領域であったが、これは急激に減少し、12日にはグリーンランドのほぼ全域が融解領域となったことが示されている。その後、非融解領域が再び広がっている。

⁴² 宇宙航空研究開発機構、第一期水循環変動観測衛星「しずく」：GCOM-W1

⁴³ 「しずく」が捉えたグリーンランド氷床表面の全面融解：<http://www.eorc.jaxa.jp/imgdata/topics/2012/tp120725.html>

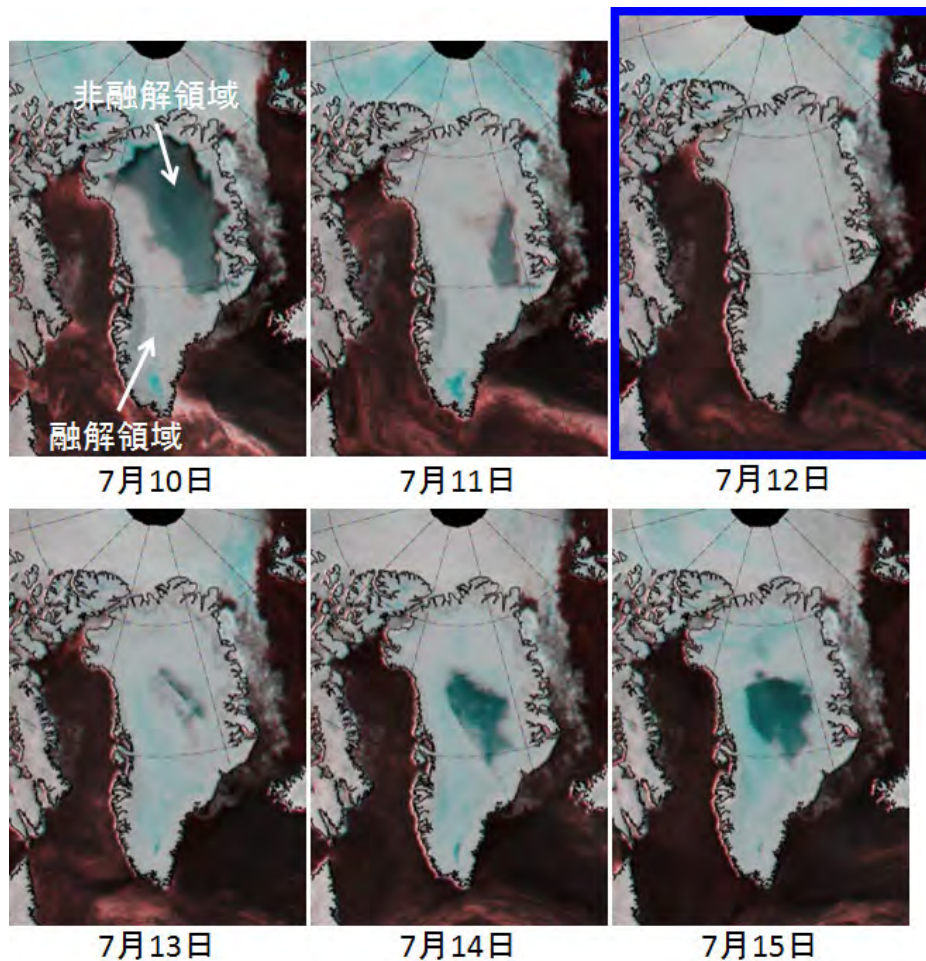


図-1.3.4 WNISAT-1

b. 民間による衛星観測の動向

ウェザーニューズ社は、北極海航路における海氷観測を目的とする衛星 WNISAT-1 を打ち上げた⁴⁴。WNISAT-1 は、同社が宇宙ビジネスに関わるベンチャー企業アクセルスペース・東京大学・千葉大学とともに開発した、民間気象会社としては初の独自衛星である。WNISAT-1 は、2013 年 11 月 21 日にロシア・ヤースヌイ宇宙基地から打ち上げられ、翌日に地上との安定通信が確認された。

WNISAT-1 は、大きさ 27×27×27 cm・重量約 10 kg の小型衛星であり、可視光並びに近赤外カメラが搭載されている（図-1.3.5）。観測画像領域は 500 km×500 km、分解能は 500 m である。2013 年 12 月からは搭載カメラの動作確認試験が行われ、海氷画像の撮影が行われた。図-1.3.6 は、WNISAT-1 により撮影された画像であり、カナダ・ハドソン湾における海氷が観察できる。

ウェザーニューズでは、2011 年より開始した北極海航路を航行する船舶への運航支援サービス Polar Routeing を開始した。WNISAT-1 は、画像撮影パラメーターの調整などの準備作業を終えた後、2014 年 3 月からは北極海以外の冬季海氷域における運航支援サービス Ice Routeing に向けた本格運用を開始し、2014 年夏には Polar Routeing への活用が計画されている。

⁴⁴ ウェザーニューズ社 WNISAT ホームページ： <http://weathernews.com/wnisat/index.htm>

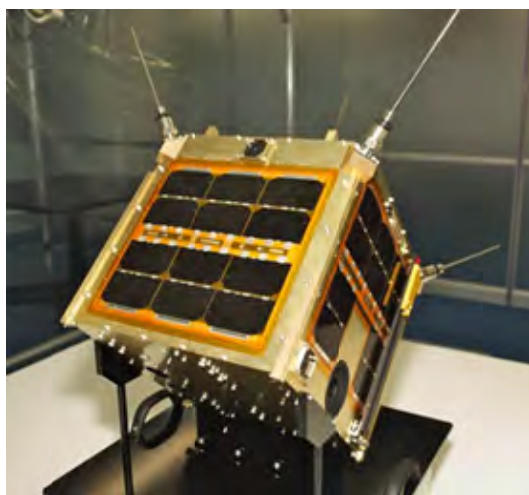


図-1.3.5 WNISAT-1

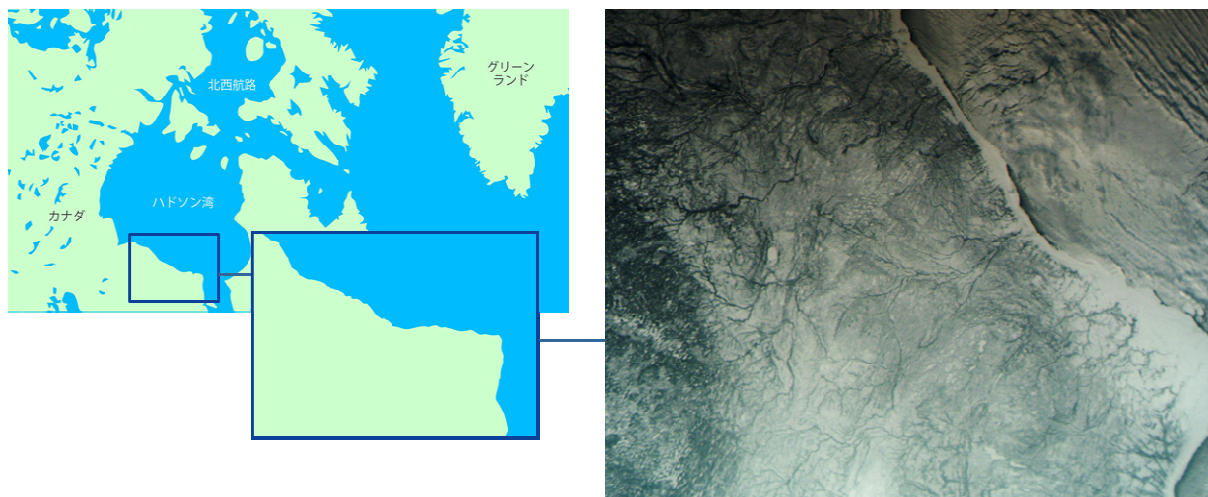
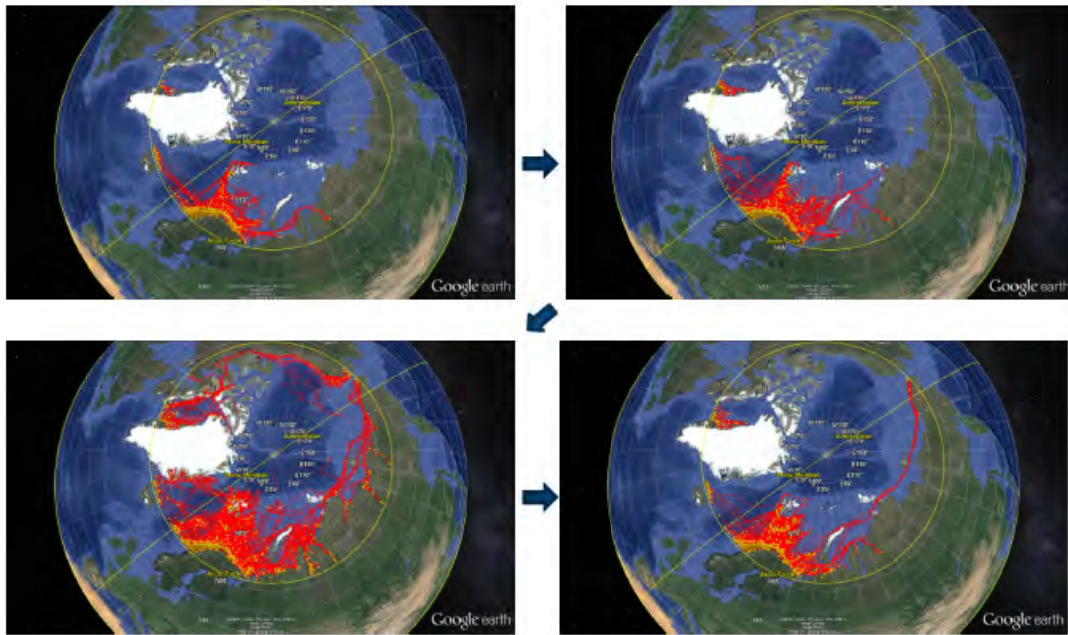


図-1.3.6 WNISAT-1 による撮影画像

(2) GIS による海洋環境・海洋利用情報の管理

ノルウェー航空宇宙局は2010年に AISSat-1 を打ち上げ、北極海を含むノルウェー沖における船舶動向情報の観測を試験的に開始した。2014年には AISSat-2 を打ち上げる予定となっている。AISSat-1 は、次図のように北極海を航行する船舶情報を取得できることが確認され、ノルウェー沿岸警備隊はこれを利用した GIS システムを開発し、漁業管理、捜索・救難および海上油流出事故への対応に利用し始めた。



Vessel tracks, February, May, August and November 2013

図-1.3.7 AISSat-1 による北極海の船舶航行状況(2013)⁴⁵

また、Northern Research Institute による Barents Watch (<http://www.barentswatch.no/en/#.Uw6SKYV7aAb>) プロジェクトでは、南はデンマークから北は北極点まで、西はグリーンランドから東はノバヤゼムリヤまでの海域について、船舶動向や水産資源情報などに関するモニタリング・情報システムを開発し、情報を提供している。

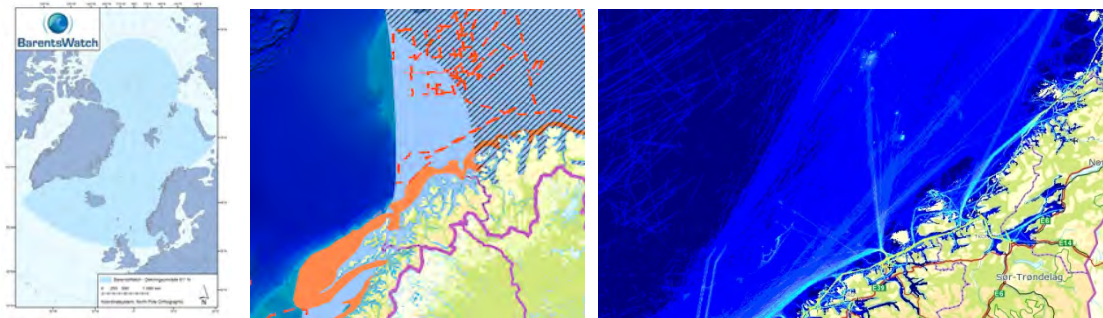


図-1.3.8 Barents Watch による GIS システム

ノルウェー政府とは関係ないが、世界自然保護基金(World Wide Fund for Nature : WWF) は AISSat-1 から提供された船舶情報を利用し、海氷、生物の分布、保護区域、海洋情報などを統合した GIS 情報システムを web 上で公開している⁴⁶。

⁴⁵ Øystein Olsen, Andreas Nordmo Skauen, Øystein Hellenen, Predicting near future vessel traffic conditions in the Arctic using data from AISSat-1, Arctic Frontiers 2014, Norway, 2014.

⁴⁶ ArcGIS, "Mapping the changing Arctic landscape", <http://www.arkgis.org/#>

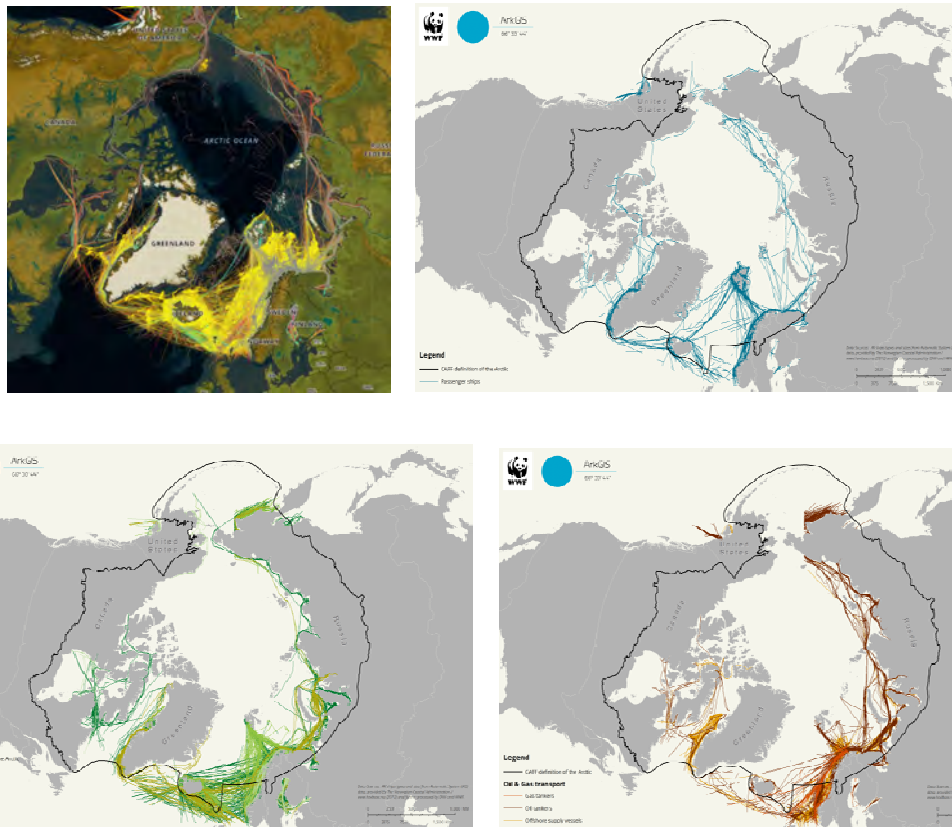


図-1.3.9 WWFによるGISシステム

2. 北極海航路と海洋環境対策に関する法令等の動向

2.1 北極海航路法と貨物輸送動向

2.1.1 北極海航路による貨物輸送状況

2010年、ノルウェーのCHNL(Center for High North Logistics)が主導し、ロシア関係機関との協働のもと、ロシア以外の貨物船による北極海航路を通じた鉄鉱石のトランジット輸送が実施され、以後の北極海航路による商業輸送の口火を切った。その後、北極海航路によるトランジット輸送は年々拡大し、2013年には71隻、136万トンの貨物が輸送された。これまでにトランジット輸送された貨物は表-2.1.1~2.1.6のようにアジア向けのガスコンデンセートおよび欧州向けのジェット燃料などからなる液体バルクで、全体のおよそ2/3を占める。次いで多く運ばれているのが中国向けの鉄鉱石で、2011年以降はすべてムルマンスクにて積み込まれたものである。2012年には、北極海航路史上初めてLNGが輸送された。産地はノルウェー北部のスノービットガス田で、ハンメルフェストのLNG工場から北九州神戸地区に輸送された。LNG輸送は2013年も実施され、2012年と同じくハンメルフェストから千葉県富津市の富津発電所に輸送された。

北極海航路のトランジット貨物量は、2012年までは急速に増大してきたが、2013年は前年比でわずかの増加にとどまった。これには、これまで主要貨物であったNOVATEK社のガスコンデンセート生産工場が2013年からは、北極海沿岸からバルト海奥のウスチルガに移設されてまだ日が浅かったこと、

および同社が欧州市場を重視する方針を取ったと思われることが背景にあると考えられる。一方、Rosatomflot 社は、今後の北極海航路の主要貨物としてヤマル半島産 LNG をあげている。

表-2.1.1 北極海航路によるトランジット輸送実績

Year	2010	2011	2012	2013
Number of Voyage	4	34	46	71
Liquid Bulk (ton)	70,000	604,652	894,079	978,735
Bulk (ton)	41,000	110,339	359,20	276,939
General cargo (ton)		24,673	8,265	100,223
Total (ton)	111,000	820,789	1,261,545	1,355,897

表-2.1.2 2010 年北極海航路トランジット貨物内訳

Cargo Type	Number of Vessels	Volume(t)	Displacement(t)	Cargo Volume 東向(t)	Cargo Volume 西向(t)
Liquid	1	70,000		70,000	
Bulk	1	41,000		41,000	
Ballast	2				
Total	4	111,000			

表-2.1.3 2011 年北極海航路トランジット貨物内訳

Cargo Type	Number of Vessels	Volume(t)	Displacement(t)	Cargo Volume 東向(t)	Cargo Volume 西向(t)
Liquid	9	604,652		540,254	64,400
Bulk	4	110,339		109,794	
Frozen Fish	4	24,673			24,673
Ballast					
Repositioning					
Total	34	739,664			

表-2.1.4 2012 年北極海航路トランジット貨物内訳

Cargo Type	Number of Vessels	Volume(t)	Displacement(t)	Cargo Volume 東向(t)	Cargo Volume 西向(t)
Liquid	26	894,079		661,326	232,753
Bulk	6	359,201		262,263	96,938
Frozen Fish	1	8,265			8,265
Ballast	6		472,075		
Repositioning	7		78,351		
Total	46	1,261,545	550,426	923,589	337,956

表-2.1.5 2013年北極海航路トランジット貨物内訳

Cargo Type	Number of Vessels	Volume(t)	Displacement(t)	Cargo Volume 東向(t)	Cargo Volume 西向(t)
Liquid	31	911,867		588,659	323,208
Bulk	4	276,939		203,439	73,500
Frozen Fish					
LNG	1	66,868		66,868	
General cargo	13	100,223		36,846	63,377
Ballasting	15		469,703		
Reposition	7		38,027		
Total	71	1,355,897	507,730	895,812	460,085

表-2.1.6 北極海航路による我が国への貨物輸送

日本到着日	2012年12月5日	2013年8月17日	2013年9月	2013年10月11日
仕向け先	九州電力 北九州市（福岡県）	旭化成ケミカルズ、 三菱化学 水島港（岡山県）	岩国港・名古屋港・ 京浜港	東京電力 富津火力発電所 富津市（千葉県）
貨物	LNG	ナフサ	石油製品	LNG
船名	OB RIVER	Propontis	SCF YENISEI	Arctic Aurora
アイスクラス	1A (Arc4)	Arc4	Arc4	Arc4
DWT (ton)	84,682 t	117,055 t	47,187 t	73,920 t
起 点	ハンメルフェスト （ノルウェー）	ロッテルダム （オランダ）	ムルマンスク （ロシア）	ハンメルフェスト （ノルウェー）

2.1.2 北極海航路法

北極海航路の航行は、ロシアが定める北極海航路法の制度のもとで実施されている。2012年まで、ロシア北極海航路法では、北極海航路を航行しようとする外国船舶は、航行の4か月前に航行申請を行って許可を得ること、ロシアの定める Ice Certificate の取得、船舶の装備等に関する規定、1A以上の耐氷船級の保有、ロシアの原子力砕氷船のエスコートでの航行、砕氷船支援料およびアイス・パイロット料などが定められていた。しかし事前通知期限は実際の海上輸送業務の実態に対して不都合が大きく、正規の砕氷船支援料金は極めて高額であり、また透明性に欠けていることなど、多くの問題が指摘されてきた。ロシアの関係機関では長年、北極海航路法の改訂準備を進めてきたものの、議会に諮られたまま進展せずいた。しかし2012年、ついに改正法が議会を通過し、2013年1月末から施行され、新しい北極海航路局が3月に発足し、4月15日から活動を開始した。

新しい北極海航路法の概要について、変更点を主体に以下に示す。

- 北極海航路法を適用する航路区間の定義。特に、近年はノバヤゼムリヤの北を通る航路も使われるようになってきていることから、カラゲイトおよびノバヤゼムリヤの東岸から東側を北極海航路法の適用区間と定義された。
- 北極海航路の運航を統括・管理する機関であった北極海航路局 the Northern Sea Route Administration (NSRA)は、連邦管轄の組織として再構築され、許認可を担当する事務所はモスク

ワに設置された。1月末の新法施行から組織づくりが行われ、2013年4月15日から業務を開始した。

- 運航申請は120 暦日前から15 営業日前までの期間に受理され、その後10 営業日以内に審査を完了し、その後2 営業日以内に Web サイトに許可または不許可の情報が掲示される。また、許可証も pdf ファイルで公開される。
- 許可には、砕氷支援およびアイス・パイロットに関する要求事項が含まれている。砕氷船の支援を受ける場合は、NSRA が認めるロシアの砕氷船を使うことが義務。その費用は、連邦（専売）法に基づいて、砕氷船を運航する会社と協議・契約して支払う。バラスト航行には割引料金が適用される。また運航しようとする船の船長が、法で定める氷海航行経験を持たない場合は、NSRA が認める氷海水先案内人（アイス・パイロット）を乗船させ、その指示に従って航行することが義務付けられている。
- 今回はじめて、1A クラス以外の船級（1B、1C、およびアイスクラス無し）の船舶についても運航条件が定められ、条件を満たせば北極海航路に入ることができるようになった。運航条件は、海域別・船級別に、3 段階の海水条件に応じて、単独航行可能、砕氷船支援にて航行可能、航行不可の規定が定められる。
- コンボイ航行に関する規定、アイス・パイロットに関する規定、無線連絡に関する規定、海水情報の提供。
- Ice Certificate は、船級をロシア船級協会(RS)で取得するのでない限り不要となった。

新しく定められた通航許可基準を表-2.1.7～2.1.8 に示す。

表-2.1.7 7月～10月期におけるIce1～Ice3 船舶（ID～IB）通航許可基準

Ice Class	氷海航行方法 (CPI 単独航行、PII 砕氷船先導)	カラ海				ラプテフ海				東シベリア海				チュクチ海			
		㊄ 極	T 厳	C 中	JI 軽	㊄ 極	T 厳	C 中	JI 軽	㊄ 極	T 厳	C 中	JI 軽	㊄ 極	T 厳	C 中	JI 軽
なし	CPI 単独航行	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
	PII 砕氷船先導	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
Ice1	CPI 単独航行	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
	PII 砕氷船先導	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
Ice2	CPI 単独航行	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
	PII 砕氷船先導	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
Ice3	CPI 単独航行	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
	PII 砕氷船先導	-	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+	+

表-2.1.8 7月～10月期における Arc4(1A)～Arc9 船舶の通航許可基準

Ice Class	氷海航行方法 (CPI 単独航行、PII 砕氷船先導)	カラ海				ラプテフ海				東シベリア海				チュクチ海			
		㊄ 極	T 厳	C 中	J 軽	㊄ 極	T 厳	C 中	J 軽	㊄ 極	T 厳	C 中	J 軽	㊄ 極	T 厳	C 中	J 軽
Arc4 1A	CPI 単独航行	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+	+
	PII 砕氷船先導	-	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+
Arc5 1AS	CPI 単独航行	-	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+
	PII 砕氷船先導	-	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+
Arc6	CPI 単独航行	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+
	PII 砕氷船先導	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Arc7	CPI 単独航行	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	PII 砕氷船先導	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Arc8	CPI 単独航行	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	PII 砕氷船先導	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Arc9	CPI 単独航行	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	PII 砕氷船先導	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

㊄-ロシア気象庁公式発表による極限的氷況、T-ロシア気象庁公式発表による厳しい氷況
 C-ロシア気象庁公式発表による中程度の氷況、J-ロシア気象庁公式発表による軽い氷況
 +航行許可、-航行禁止

2.1.3 北極海航路法の実施状況

改正法が施行された2013年、北極海航路局がモスクワに本部、ムルマンスクとアルハンゲルスクにそれぞれ航行申請の処理と審査、及び運航管理を担当する事務所を設置し、業務を開始した。北極海航路局の業務内容は以下のようになっている。

- 北極海航路航行申請の審査と許可の発行
- 船舶航行のモニタリング
- 気象・氷況・海象および航行環境のモニタリングと予報
- 通信システムに関する調整
- 水先案内人への水先案内資格の発給
- 航行支援および海洋調査業務の支援
- 捜索・救助活動の支援
- 流出した有害物質除去作業への支援

急ごしらえの組織設置であり、新しい規定通りに機能するか危惧されたものの、北極海航路局による2013年における航行許可件数は600件をこえ、いずれも規定通りに15日以内に審査結果がWebサイトに公表された。また、北極海航路を航行中の船舶の位置や航行速度がWebサイトに掲示されるとともに、短期・中期の海水予測情報も掲示された。航行許可申請は、ロシア船籍の船舶についても行われている。実際に北極海航路に入った船舶は2013年1月～11月末までの期間で236隻であった。航行した船の船種を図-2.1.2に示す。

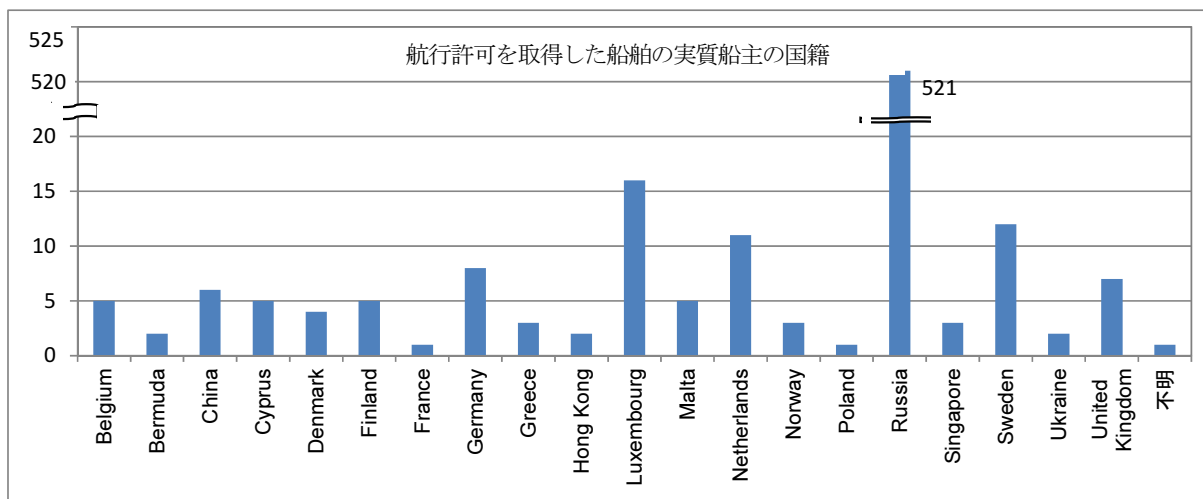


図-2.1.1 北極海航路の航行許可取得状況(2013年)

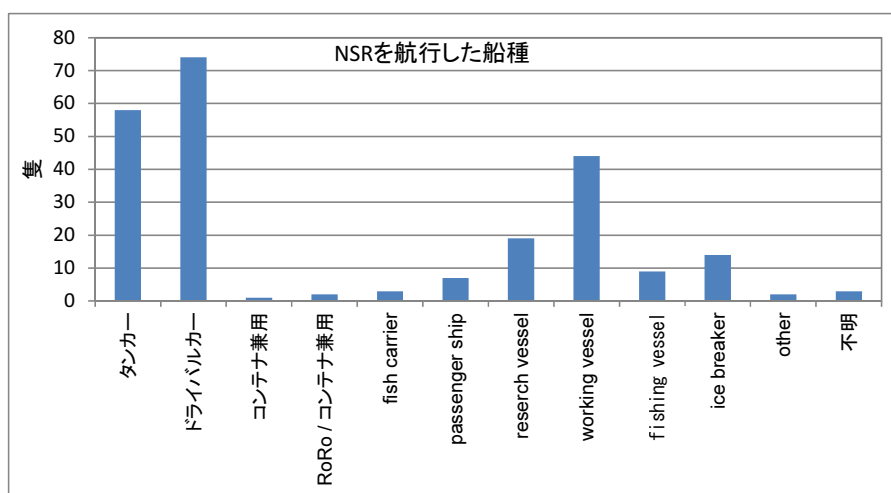


図-2.1.2 2013年に北極海航路を航行した船舶種別

2013年に施行された新規則により、北極海航路法が定める料金表は上限の料金を示すもので、砕氷船を運航する国営会社 Rosatomflot は、これをディスカウントした料金を利用者に請求することが許されている。料金は利用者と Rosatomflot の協議によって決定される。Rosatomflot および船社へのヒアリングより、実際の料金は、同じ船がスエズ運河を通航した場合の通航料と同等程度に設定されていることがわかっている。また保険料金は、L'loyds や Gard など複数の保険会社が請け負うようになり、当初は通常海域よりもかなり高額であったが、実績を重ねることでかなり安くなってきたとのことである。2012年のLNG輸送では、通常海域と同等程度の金額であったことが公表された(2013.9)。

2.2 北極海の海洋環境保護に関する規則等

2.2.1 IMO の動向

(1) Arctic Guidelines

国際海事機関（International Maritime Organization: IMO）による、北極海における船舶の航行に関わる統一規則作りは、1987年のゴルバチョフ・ソ連邦書記長（当時）による北極海の解放宣言をきっかけに、1991年にドイツがIMOにおいて、極海域を航行する船舶に対して船級協会の定める耐氷補強を求める規則を SOLAS Chapter II に盛り込むことを提案したことに始まる。これを受けて、各国の海事当局・研究者・船社・船級協会などによる協議が進められ、北極・南極の両極域を対象とした強制力を持つ規則案 International Code of Safety for Ships in Polar Waters (Polar Code) が提案された。しかし Polar Code の内容、特にその強制性について関係国間でのコンセンサスが得られなかったため、1999年の MSC71 において、これを非強制なガイドラインとし、SOLAS 条約等の他の規則等と重ならない領域のみについて取り扱うことなどが決定された。特に各国の見解が分かれた点は、北極・南極の両極域を Special Areas に指定すること、EEZ 通航時の当該沿岸国への事前通告、二重底構造について SOLAS 条約よりも高い制約を課すことなどであった。その後継続された検討の結果、2002年の MEPC48 及び MSC76 において、Guidelines for Ships Operating in Arctic Ice-covered Waters (Arctic Guidelines) が採択された⁴⁷。

IMO の活動と並行して、南極の環境保全を目的とする南極条約加盟国による会議 Antarctic Treaty Consultative Meeting (ATCM) では、南極における船舶航行規則の必要性が議論され、その結果、IMO に対して、Arctic Guidelines を南極周辺海域へも適用すべきとの意見が表明された。2007年にアルゼンチンの南で起きた客船 Explorer 号の沈船事故も、南極周辺海域における船舶の航行に対する規則の必要性に対する議論を加速するものとなった。こうして IMO は 2009年、総会決議として Guidelines for Ships Operating in Polar Waters (Polar Guidelines) を採択した⁴⁸。Polar Guidelines は、基本的に Arctic Guidelines の内容を踏襲するものである。Polar Guidelines の適用海域を次図に示す。両極域とも基本的には緯度 60 度以上の海域であるが、北極については、北大西洋・バルト海などが対象から外れている。

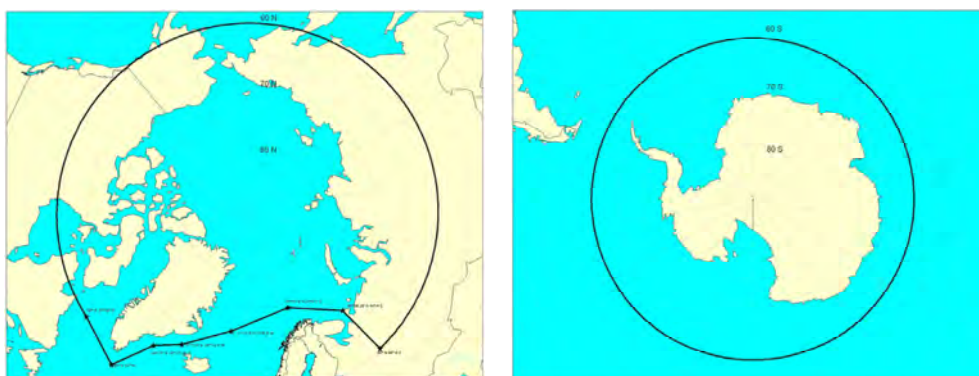


図-2.2.1 Polar Guidelines の適用海域

⁴⁷ International Maritime Organization, 2002. Guidelines for Ships Operating in Arctic Ice-Covered Waters. MSC/Circ.1056, MEPC/Circ.399, 23 December 2002, p. 1 + Annex.

⁴⁸ International Maritime Organization, 2002. Guidelines for Ships Operating in Polar Waters. A 26/Res.1024 Adapted on 2 December 2009, p. 2 + Annex.

(2) Polar Code

Polar Guidelines 採択後も、これを強制規則として制定すべきという議論は続けられ、2014年に第1回のSDC (Ship Design and Construction)においてInternational Code for Ships Operating in Polar Waters (Polar Code) 案⁴⁹について原則合意が為された。また Polar Code を強制コードとするために、SOLAS 並びに MARPOL 両条約を改正することについても SDC における原則合意が得られ、改正案文がそれぞれ MSC 並びに MEPC に送られることとなった。

Polar Code (draft)の内容は、前文・序章に続いて極域における船舶の航行安全に関する I-A 部（強制規則）及びこれに対するガイダンスを示した I-B 部があり、さらに環境保全に関わる II-A 部（強制規則）及びガイダンスの II-B 部がある。II-A の表題は POLLUTION PREVENTION MEASURES [ENVIRONMENTAL PROTECTION MEASURES] となっており、第1章 油汚染の防止、第2章 有害液体物質による汚染防止、第3章 梱包された有害物質による汚染防止、第4章 汚水による汚染防止、第5章 廃物による汚染防止、の全5章から構成される。

第1章では、機能上の要求と、それを実現するための要求事項を定めている。機能上の要求は次の2項である

- ・ 通常の航行において油および油を含んだ物質による環境影響を防止するため、計画・マニュアル・記録および措置を講ずること。
- ・ 船舶は、非常時に対して環境影響を及ぼすリスクを最小限にとどめるように設計されるとともに、その計画を用意すること。

また後者の要求事項は、

- ・ MARPOL 条約 Annex I で要求されるあらゆるマニュアル及び記録は、極域の航海においてもこれに準拠すること。
- ・ いかなる船からも、油および油混濁物の海中への排出は禁止される。ただし定められた建造年より古い漁船については、代替措置を取ることが許される。

さらに、当該条約が施行された日以降に建造されるカテゴリーA 及び B に属する船舶に関しては、油類を貨物として積載するタンクは外板から 760mm 以上離すことが求められる。

第2章では、機能上の要求として次の2項が定められる。

- ・ 通常の航行において有害液体物質による環境影響を防止するため、記録・マニュアルの準備および措置を講ずること。
- ・ 船舶は、非常時において有害液体物質による環境影響を及ぼすリスクを最小限にとどめるように設計されるとともに、その計画を用意すること。

また、この機能を実現するために、

- ・ MARPOL 条約 Annex II で要求される貨物の記録帳、手順書および処置マニュアルに関し、これに準拠すること。
- ・ 有害液体物質およびこれを含む物質を海中に排出することは禁止される。

⁴⁹ Draft text of the Polar Code. Submitted by Norway. SDC 1/INF.10., p.1 + Annex.

さらに、当該条約が施行された日以降に建造されるカテゴリーA 及び B に属する船舶に関しては、有害液体物質およびこれを含む物質を貨物として積載するタンクは、外板から 760mm 以上離すことが求められる。

第3章の梱包された有害物質による汚染防止に関しては、基本的には MARPOL 条約にて網羅されており、今後新たに追加するべき事案が生じないかぎり、空欄となっている。

第4章では、船舶は、船舶からの汚水による環境影響を最小とするように運航されなければならない。このために、MARPOL 条約 Annex IV regulation 3 における対策において、極海域において汚水を排出する場合は、以下の事項を順守しなければならない。

- ・ MARPOL 条約 Annex IV regulation 11.1.1 において認められている粉碎され、殺菌された汚水の排出は、棚氷または定着氷の端部から 3 海里以上離れた場所、および海氷密接度が 1/10 以上の海域から、実行可能な距離だけ離れていなければならない。
- ・ MARPOL 条約 Annex IV regulation 11.1.1 において認められている、粉碎されていない、または殺菌されていない汚水の排出は、棚氷または定着氷の端部から 12 海里以上離れた場所、および海氷密接度が 1/10 以上の海域から、実行可能な距離だけ離れていなければならない。
- ・ MARPOL 条約 Annex IV regulation 11.1.2 または MARPOL 条約 Annex IV regulation 11.1.3 において認められている汚水の排出は、最も近い陸地、棚氷、定着氷、または海氷密接度が 1/10 以上の海域から、実行可能な距離だけ離れなくてはならない。

ことを規定している。

また、当該規則が施行された日以降に建造されるカテゴリーA 及びカテゴリーB に属する貨物船及び、当該規則が施行された日以降に建造される客船は、汚水を海中に排出することは禁止される。ただし、IMO のガイドラインによって認証されている汚水処理システムによって処理された汚水を排出する場合を除くとしている。また排出場所は、最も近い陸地、棚氷、定着氷、または海氷密接度が 1/10 以上の海域から、実行可能な距離だけ離れなくてはならない。

第5章では、機能要求として次の2項をあげている。

- ・ 記録、計画は、廃物による環境影響を最小化するように機能しなくてはならない。
- ・ 船舶は、廃物による環境影響を最小化するように運航されなくてはならない。

また、これを実現するため、MARPOL 条約 Annex V において要求される計画、記録は、極域の航行において順守することが求められており、MARPOL 条約 Annex V regulation 6 に規定されない船舶においては、以下の事項に従わなくてはならない。

- ・ 食品廃棄物を廃棄する場合は、航海中で、最も近い陸地、棚氷、定着氷、または海氷密接度が 1/10 以上の海域から、12 海里以上で実行可能な距離だけ離れなくてはならない。
- ・ 食品廃棄物は粉碎するか挽いて粉末化し、25mm フルイを通過するものでなければならない。また、食品廃棄物には、食品以外の廃棄物をまぜてはならない。
- ・ 食品廃棄物は、海氷の上に廃棄してはならない。
- ・ 動物の死体・残骸を北極海に投棄することは禁止する。

2.2.2 海洋環境保護のための規制の動向

(1) 海洋開発における環境関連規制

北極海沿岸の6か国に関し、海洋開発に対する環境関連規則の概要を次表以下に示す^{50,51}。

表-2.2.1 北極海の海洋開発における海洋環境保護に関する規則等

	ロシア	ノルウェー	米国
所掌	天然資源・環境省(MNRE) 連邦地下資源局(Rosnedra)、 連邦天然資源利用管理局 (Rosprirodnadzor) 水文気象・モニタリング連邦庁 連邦運輸省 関連法： 修正環境保護法、国家環境監査につ いて、環境アセスメント法、地下資 源について、ロシア連邦大陸棚につ いて、排他的経済水域、領海および 内水面について、水法典、ほか。	ノルウェー環境省 ノルウェー気象・汚染局 ノルウェー健康保健省 ノルウェー汚染管理局 ノルウェー石油局	内務省(DOI) Bureau of ocean energy management regulation and enforcement(BOEMRE) Bureau of Safety and Environmental Enforcement(BSEE) US Environmental Protection Agency(EPA) Office of Ocean and Coastal Resources Management (in Department of Commerce)
規制の方法	プロジェクトに応じて、国家レベル および連邦構成主体レベルの環境 監査が規定されている。 厳格な環境保護規則が定められて いる。ただし、実際にはその通りに 実施されているとは限らない。また 政治的な影響等によって、運用が変 わる可能性がある。	継続的に、包括的な環境保護 規則の順守及び責任が生じ る。 環境アセスメントによる管 理。 海洋の水産利用と石油・天然 ガス開発との調整、CO2 排出 削減努力を重視。	沿岸管理法のもと、沿岸の管理は 州・自治体による個別の規制が主体。 沖合大陸棚法 EPA による沿岸面源汚染規制プログ ラム 州・自治体の権限が強く、連邦との 間に摩擦が生じるケースがある。
海洋開発に おける義務	天然資源・環境省(MNRE)により、 環境アセスメントの承認が必要。	技術および管理能力、環境影 響アセスメント、非常時対応 計画に関する承認が必要。 魚類の産卵および回遊時期に 応じた制限がある。	継続的に、安全・環境管理・非常時 対応計画を更新しつつ、多面的に環 境管理を遂行する。 少数民族社会との協働計画。 Oil Spill Liability Fund に対して1バ レルあたり8%の支払。 開発企業は150百万USDの補償能力 を証明する義務。
環境責任	無制限の責任が生じる。	無制限の責任。 汚染物による環境汚染が発生 した場合、無条件にライセンス 停止となる場合がある。	民事・刑事責任。 海洋流出事故責任として1事故当 たり75百万USD。
現況	・ロシア北極圏に関する法律2012 によって、北極圏を社会経済およ び自然環境における特別の地域 として定義。 ・2012年、ロシア・ノルウェー・ パートナーシップが策定され、環 境に関するワーキンググループ が設置されている。	Lofoten、Vesteraalen、Senja に おける石油生産の30年間の モラトリアムが2013年まで 延長された。	内務省によりホッキョクグマが絶滅 危惧種に指定されたこともあり、ポー フォート海およびチュクチ海での開 発は、環境問題により複雑化。 2015/16に予定されている次回の開発 リース入札に関する環境アセスマン トおよび施設アセスマントは停止。 BOEMRE ではリースシステムを現地 の環境特性に合わせたものに修正中。

⁵⁰ Arctic Opening: Opportunity and Risk in the High North, LLOYD'S, 2012.

⁵¹ 村上隆ほか、サハリン大陸棚 石油・ガス開発と環境保全、北海道大学図書刊行会、ISBN4-8329-6371-6、2003.

表-2.2.2 北極海の海洋開発における海洋環境保護に関する規則等

	カナダ	デンマーク・グリーンランド	アイスランド
所掌	National Energy Board(NEB) Canada-Newfoundland and Labrador Offshore Petroleum Board(C-NLOPB) Aboriginal Affairs and Northern Development Canada (AANDC)	Bureau of Minerals and Petrol (BMP) Greenland Institute for Natural Resources (GINR) National Environmental Research Institute (NERI)	国家エネルギー局 National Energy Authority(NEA) 産業・エネルギー・観光省 Ministry of Industry, Energy and Tourism (MoIET)
規制の方法	開発企業の安全計画に応じてケース バイケースで対応している。	天然資源法(Mineral Resources Act) 国際的な Best Practice の厳守の 証明責任。	ケースバイケースで MoIET が基 準を設定。 全ての海洋施設に対し、特別安全 区域を設定する義務。
海洋開発に おける義務	非常時対応計画ほか。	開発ライセンスに記載。 100 億 USD 以上の資本能力 (債務 保証、保険等) 施設・船舶に関する適合性の承認、 管理能力に関する証明、環境影響 アセスメント、社会影響アッセ メント、およびその結果の公開。	
環境責任	40 百万 CAN\$ の補償能力。 民事責任は無制限。 漁業補償。	無制限の責任。	
現況	現時点では海洋での採掘はない。 NEB では今後のライセンス供与 において、Deepwater Horizon 事故 の検証作業中。 2011 年に、新たな書類提出を求め る規則が発効。すでにボーフォ ート海のライセンスを保有している 企業にも適用。 2009 年、将来のコンサルテーション のために、生態系・資源・社会情報 マッピングツールが提供された。	主に、北極評議会を通じて活動。	2011 年時点では、アイスランド大 陸棚での開発ライセンスを保有す る企業はなかった。 2013 年、中国石油化工集团公司 (シノペックグループ) が、アイ スランド政府と同国北東沖での原 油・ガス探査の予備交渉に入っ ているとの報道。

(2) 硫黄酸化物排出規制海域 (Sox Emission Control Area : S ECA) 導入

地球気候に対する国際的な関心を背景に、国際海事機関 IMO では、MARPOL 条約を通じて船舶から排出される硫黄酸化物、窒素酸化物の排出を規制している。2008 年に開催された国際海事機関 (IMO) 第 58 回海洋環境保護委員会 (MEPC58) では、船舶からの排出ガス中の大気汚染物質 (NO_x、SO_x 及び PM) を削減するための今後の新たな規制の枠組みが合意され、MARPOL 条約附属書 VI⁵²の改正案が採択された。この改正では、NO_x、SO_x 及び PM について一般海域よりも厳しい規制が課せられる大気汚染物質放出規制海域 (ECA) について、各国からの提案に基づき、IMO による審議の上、MARPOL 条約附属書 VI の改正により指定することができることとなった。こうして現在、船舶燃料の硫黄分濃度は、一般海域および ECA 海域ともに、段階的に削減することが義務付けられている。ECA 海域においては、一般海域よりもはるかに厳しい規制が適用されている。バルト海では 2005 年以降、北海は 2006 年以降、また米国およびカナダ沿岸から 200 海里の海域の多くが 2011 年から ECA に指定された (図-2.2.2)。

⁵² MARPOL 73/78 Convention, Annex VI (Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships), Regulation 14



図-2.2.2 世界の ECA 指定海域と指定される可能性のある海域⁵³

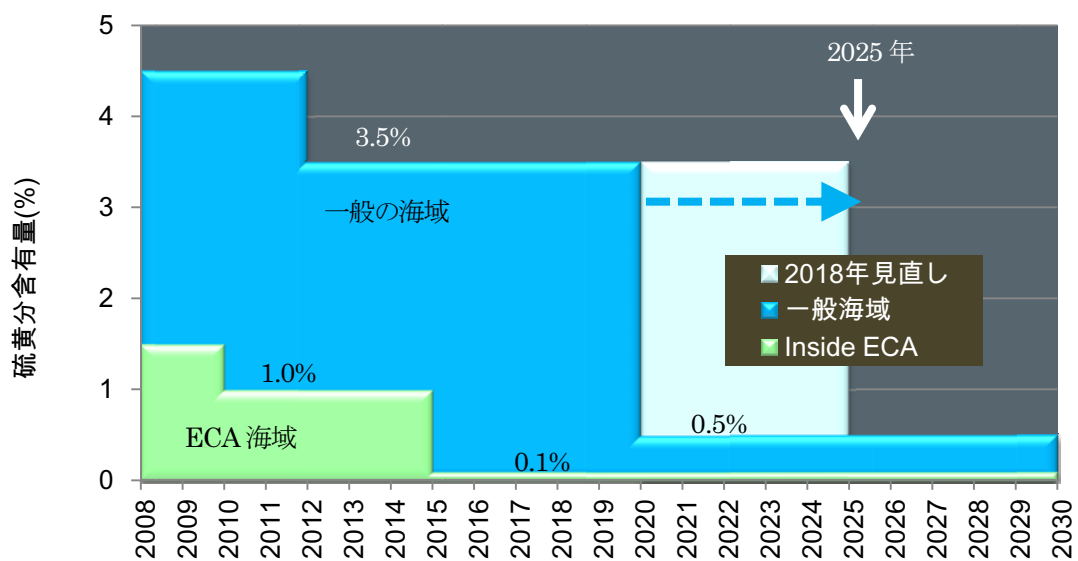


図-2.2.3 燃料油の硫黄分に関する規制

この海域を航行する船舶は、規制内容に従って低硫黄燃料の使用、除去装置の装備、エンジンの更新などの対策が必要になる。一般海域および ECA 海域における燃料油の硫黄分に関する規制値を図-2.2.3 に示す。ECA 海域は 2015 年から、一般海域は 2020 年から、現在よりもさらに厳しい規制値が課せられることになっている。ただし一般海域に関しては、2018 年に適応状況をレビューし、その結果によって 2025 年まで適用を延期できることになっている。

低硫黄燃油としては、ISO8217 に規定される DMA 級または DMX 級に定義される Marine Gas Oil(MGO) および、DMB 級に定義される Marine Diesel Oil (MDO)燃料がある。現時点では、ECA を航行する多くの船舶は、低硫黄燃油のうち、重油 (MDO) を使用しているものと想定される。しかし 2015 年以降の規制がさらに強化されて硫黄分含有量が ECA 海域 0.1%、2020 年以降の一般海域 0.5%となる段階においては、軽油の利用、または排気ガス処理装置の装着によって対応することが必要になるであろう。

⁵³ <http://marineurea.com/marpol-nox-regulation/>

3. 船舶運航に起因する北極海への環境影響と地球環境

3.1 北極海の環境と地球環境

3.1.1 北極海の環境と生態系

膨大な量の淡水の北極海への流入は、北極海全域にわたる恒久的な塩分躍層をもたらすとともに、大陸棚および沿岸海域において、淡水から海水に渡る大きな塩分勾配を水平方向に発生させている。各生物種はこの塩分勾配、水温、栄養塩類、浮遊物質などの分布に応じて、河口近傍の淡水域、汽水域および海洋生物種のための海域まで、それぞれに適合した範囲に多様な生態系を形成している。淡水域と海水域がつながる沿岸域では、産卵および初期の成長に淡水域を利用する溯河性の魚類がみられる。また沿岸域は、クジラ類の摂餌場となっている。

沿岸域では、波浪や海岸浸食によって海水中に底質が巻き上げられたり、海氷によって海底が削られたり、また河川からの土砂や物質の流下、風によって陸域から移送される粒子状物質などによって多くの物質が海水中にもたらされ、さらに潮流や海流などによって移送・分散・沈降する。こうしてベントス類や海藻を含む固着性の生物などの生態系とも密接に関わっている。

海氷をめぐっては、細菌の世界から捕食の頂点に君臨する種に至るまで、広い範囲の生物多様性を支える生態系が形成されている。海氷は表層の海水の混合を遮るとともに熱交換を制御するほか、積雪とともに海中への日照を遮って基礎生産を制御する。海面の解氷および海氷の融解は海中に日照をもたらすし、アイスアルジーなど海氷に依存するブルームおよび動物プランクトンによる移動性のブルーム発生時期を規定している。海氷自体にもウィルス、細菌、バクテリアなどの微生物、原生生物種、および小型生物による生態系が存在している。アイスアルジーは、北極海全域で魚類、海鳥、アザラシが捕食している動物プランクトンの餌となり、その増殖や生存に大きな役割をはたしている。また海氷に生息する端脚類は、北極タラおよび氷タラの主要な餌となっている。どちらの種も、ワモンアザラシ、シロイルカ、イッカクなどの重要な餌となっている。フルマカモメ、ウミガラス、ウミバト、ミツユビカモメなどの海鳥も北極タラを捕食している。

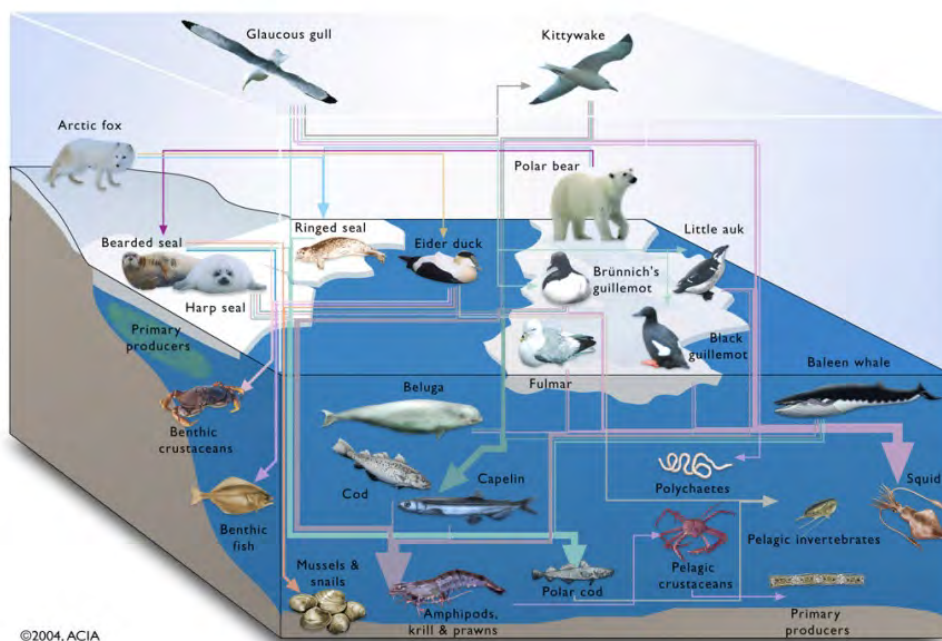


図-3.1.1 北極海食物連鎖 ACIA(2004)

海氷はアザラシ、ホッキョクグマの生息場所ともなっている。ワモンアザラシは北極周りの海域の全域に分布し、ホッキョクグマだけでなく沿岸住民の重要な食糧となっている。ホッキョクグマは、餌をあさる場のほか、陸上の巣との間の移動手段としても海氷を使っている。

ポリニアは海氷に覆われた海のなかで周期的に発生する開水面であり、北極海の生態系に重要な役割をはたしている。バフィン湾のノースウォーター・ポリニア海域は、夏になると、ヒメウミスズメを主体とする海鳥の北極では最大の集合地となる。海鳥たちは、基礎生産の増大とヨコエビ類の海面近くへの上昇時期にあわせて集まってくる。周期的に出現する大きなポリニアは、マガモなどの海鳥のほか、海氷とともに暮らしているアザラシ類やクジラ類に、冬の生息圏を提供している。冬になっても潮流によって小さなポリニアが出現し、沿岸のリードが結氷して行き場を失った多くの種類の海鳥が集まり、時にはクジラやアザラシも集まることある。こうして餌となる動物が集まることで、ホッキョクグマ、ホッキョクギツネのほか、シロハヤブサやシロフクロウなどの猛禽類が集まってくる。

3.1.2 地球温暖化の影響

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第4次報告(AR4)は、人為起源の温室効果ガス濃度の上昇がその原因である“可能性が非常に高い”と指摘した。さらに2013年9月に公表された第5次報告(AR5)第1作業部会報告書では、地球気候システムの放射強制力(地球温暖化を引き起こす効果)の合計は正で、正味でエネルギーを吸収しており、この現象には、1750年以降の二酸化炭素の大気中濃度の増加が、最も大きく寄与していると指摘した。こうしたなかで地球表面の年平均気温は上昇を続けており、1980年以降、北極圏は地球全体の平均の2倍をこえる割合で上昇していることが明らかになっている。特に地表の気温の上昇は海氷が最も少なくなる秋期に顕著となる。海氷減少によるアルベド(反射率)

低下は、太陽エネルギー吸収を拡大し、気温上昇や海氷減少をさらに助長する作用を与える。実際、北極海の海氷は衛星観測が開始されて以来減少する傾向を示してきたが、特に 21 世紀にはいつて以降、夏期における減少が加速しており、たびたび観測史上最少の面積を記録するとともに、海氷体積も顕著な減少を示している。2007 年には史上初めて北西航路上で夏期海氷が無くなった。以降、北東航路／北極海航路では、夏期にはたびたび海氷が無くなる期間が現れるようになっている。

ブラックカーボンとは、太陽のエネルギーを大気中で直接に吸収し、雪や氷を黒くしてアルベドを低下させ、北極の気候変化に大きなインパクトを与える。地球温暖化による北極の気象プロセスおよび雪氷圏の環境プロセスの変化は、汚染物質の挙動や循環プロセスにも影響を与えられていると考えられている。なお、ブラックカーボンとメタンガスは大気中での寿命が他の GHG よりも短いため、その排出量削減によって大気中の濃度低下が期待でき、地球気候にも直接的な効果を与え得ると考えられている。

地球規模の炭素サイクルにおいては、現在の北極圏は二酸化炭素の吸収源になると同時に、メタンガスを供給し、総合的には炭素の吸収源になっていると言われている。北極海は世界の海水の 1% を占めるにすぎないが、世界の河川水の 10% がそこに流入し、陸域から海洋に運ばれる溶存性有機炭素量の 10% が北極海に運ばれているという。一方、北極圏の永久凍土を含む表層土中には大量のメタンが含まれており、気温上昇や雪氷面積の減少によって凍土が融解すると、河川水を通じて海洋へ、あるいは直接大気中に放出されている。温暖化による種々の環境変化とともにメタン排出量が増加すると、総合的には、北極は温室効果ガスの供給源となり、温暖化による自らの変化をさらに加速するおそれがある。さらには、永久凍土層の中や北極海の海底地層中などの低温・高圧力環境中には大量のメタンハイドレートが賦存しており、その大気中への放出は、極めて重大な影響を及ぼすことになる。このように北極圏は、地球規模の二酸化炭素サイクルにおいても、大きな役割を担っている。

陸上の雪氷や氷河の融解促進および降雪・降雨量の変化によって、ユーラシア大陸から北極海に流入する淡水量が増大している。北半球で最大量の氷床が残るグリーンランドでは、1990 年代以降、夏期にその融解が顕著に進んでおり、大量の淡水を北極海に供給している。2003 年～2008 年に観測された平均海面の上昇量のうちの約 40% が、北極圏での海洋への淡水流入によるものであると推定されている。また、この大量の淡水流入によって、現在の地球規模での海洋水の循環のバランスが崩れるリスクも指摘されている。

こうした気候変化による北極の環境変化の一部は、すでに多くの点で顕在化していることが、科学者だけでなく地域の住民からも指摘されているところである。この変化は、個々の場所での変化だけでなく、多くの生物種の生息圏の北上と生態系の変化としても現れている。この原因には、温暖化、雪氷の融解、土地の乾燥化、海流・流況の変化などが指摘されている。今後予測されているさらなる温暖化によって、より多くの生物種が北上すると考えられており、これによって、寒帯の生物や生態系が現在の低緯度北極圏に、また低緯度北極圏の生態系が現在の高緯度北極圏に移動することが起こるであろう。こうした寒帯の生態系の北上は、結果として北極圏の生物種を増加させるであろうが、新たに増えた生物種は、本来は寒帯にいた種であり、北極圏の固有種に置き換わってしまう恐れがある。結果として、全体としての生物多様性を後退させる可能性がある。



図-3.1.2 地球温暖化による生物種の北上(ACIA2004)

北極海の海氷は、特に夏期の面積において著しく減少し続けていると同時に、体積においても顕著な減少を示しており、将来、夏期には海氷が消滅する可能性が指摘されているところである。これによって、海氷を生息圏としていた多くの生態系が失われるだけでなく、これに関連した生態系にも大きなインパクトが生じる。多年氷の下で成長するアイスアルジーは北極海の基礎生産の 25%を担っており、無脊椎動物、海鳥、魚類、そして海棲哺乳類がアイスアルジーに連なる食物連鎖を構成している。この生態系が大きな被害を受けることになる。また、海氷を休憩場所、育児、狩猟（摂餌）、移動などに利用している動物にとっても、重要な生息場を喪失することになる。また、これら生物を食料とする沿岸の先住民にとっても、生活圏を失うことになる。

海氷の減少は、海水温の上昇、塩分濃度の低下をもたらし、基礎生産量の変化、プランクトンの構成やブルーム時期・構造の変化をもたらすとともに、ひいては魚類およびそれを餌とする動物にも重大な影響を及ぼすであろう。また、北極海の海水構造や循環にも変化をもたらすであろう。こうして現在進みつつある海氷の減少は、その減少度合いによっては極めて深刻な変化を北極海にもたらす恐れがあることが指摘されている。

二酸化炭素は海水中に溶解して炭酸となるため、二酸化炭素濃度の増大によって海水の酸性化が進む。北極海は表面水温が低いため、水温の高い海域よりも速く二酸化炭素を吸収する。一方、過去 30 年間は、夏期海氷の顕著な融解によって多くの淡水が北極海に供給されるとともに、海氷減少によって大気に露出する海面が拡大し、二酸化炭素の吸収を拡大してきた。こうしたプロセスにより、北極海の海水の pH の減少が加速されてきた。しかしながら現時点では、北極海の酸性化による生態系への影響に関する観測および研究は限られている。最も直接的な影響を受けるのは植物プランクトン、動物プランクトンおよびベントス（底生生物）であろう。また海水の酸性化によって、生物の分布域が制限されたり拡大したりする可能性がある。

3.2 北極海の利用と環境リスク

3.2.1 北極圏の天然資源開発

北極圏における天然資源開発は、新たな時代を迎えようとしている。北極海の夏期海氷勢力の減退により、北東航路／北極海航路では、夏期にはたびたび海氷が無くなる期間が現れるようになり、商業航路としての利用が現実化してきた。時を同じくして、アジア地域各国では経済・産業が大きな成長をとげ、天然資源およびエネルギー資源需要が大幅に拡大するとともに、北極圏の天然資源に大きな関心が注がれるようになってきた。

こうした背景のもと、ロシアは、ティマンペチョラ地域における原油開発を進め、ペチョラ海沿岸のバランデイ原油荷役ターミナルからの通年での原油積出を開始した。ペチョラ海の沖合 60km、水深約 20m の大陸棚に発見された油田 Prirazlomnoye Field では、Gazprom によって 2013 年末に生産が開始された。これは北極海における初めての沖合での原油掘削である。生産された原油は 1,100km 離れたムルマンスク沖に停泊する Belokamenka floating platform に輸送され、その後欧州市場等に供給されるという。

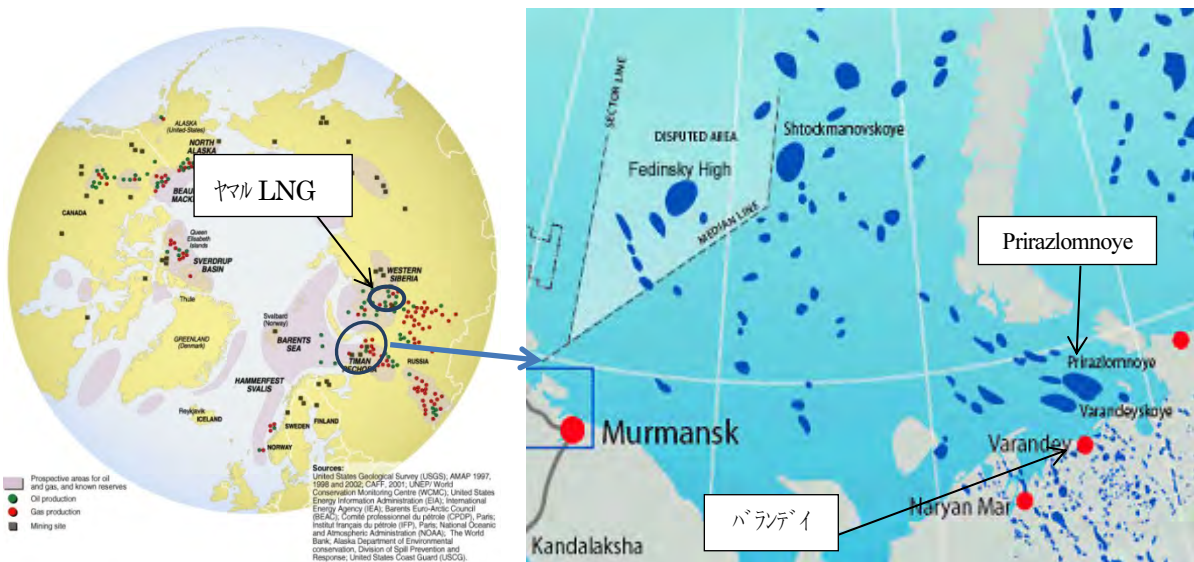


図-3.2.1 北極海の天然資源開発サイト (左⁵⁴、右⁵⁵)

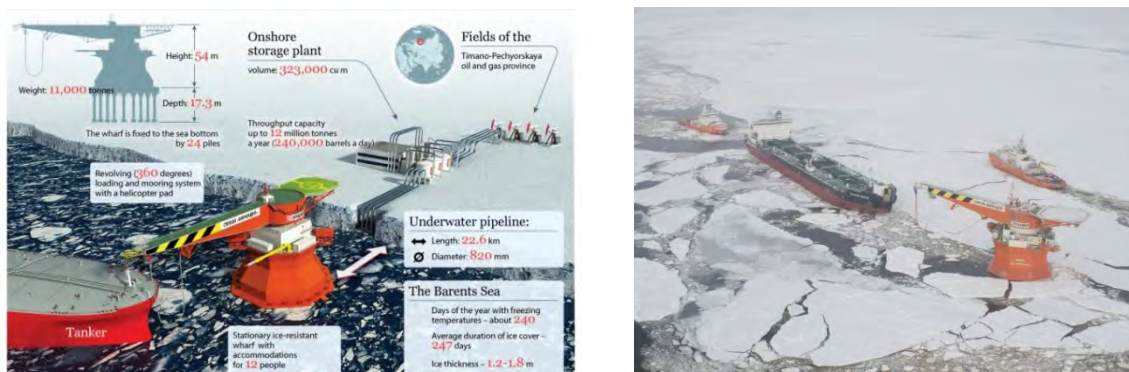


図-3.2.2 バランデイ石油積出ターミナル⁵⁶

⁵⁴ Philippe Rekacewicz & Hugo Ahlenius UNEP/GRID-Arendal, Fossil fuel resources and oil and gas production in the Arctic, 2006.

⁵⁵ Barents Observer 記事より、<http://barentsobserver.com/en/articles/zarubezhneft-wants-fedinsky-high>

またヤマル半島ではサウス・タンペイフィールドにおける LNG 開発が進行中であり、2017 年頃の商業生産を目指している。すでにサベッタには空港が建設され、現在は LNG 基地・LNG 積出ターミナルの建設および、航路浚渫などが行われている。2013 年には多くの作業船が北極海航路を通じてヤマル半島のプロジェクトサイトに入り、サイトの建設にあたった。「2030 年までのロシアのエネルギー戦略」では、ヤマル半島が、2030 年におけるロシア全体のガス生産量の 30%を占めると予想している。このプロジェクトが実現すると、当初は年間 550 万トン、その後は年間最大 1,650 万トンの LNG が、通年で北極海からアジアおよび欧州市場に輸出されることになる。すでに中国の CNPC は年間 300 万トン、フランスの TOTAL は年間 400 万トンの購入契約を結んだところである。ヤマル LNG を輸送するためのタンカーも、2013 年に Daewoo 造船に 16 隻分が発注されている。このタンカーはダブルアクティング形式で、アイスクラス Arc-7 を有し、カラ海での通年単独航行、そのほかの北極海航路区間においては春～秋期の単独航行を想定していると報じられている。



図-3.2.3 ヤマル LNG ; サベッタの LNG ターミナル想像図⁵⁷

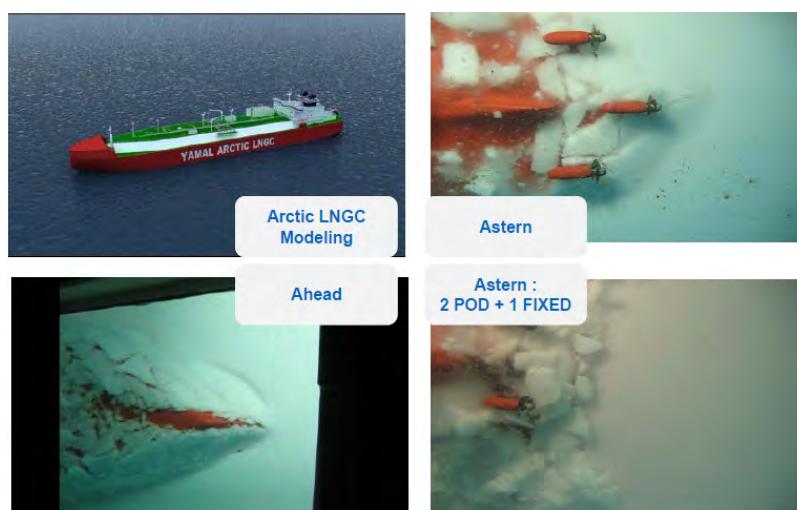


図-3.2.4 ヤマル LNG 用タンカーの水槽実験⁵⁸

⁵⁶ 原典 ; ria.nobosti, retrieved from <http://arctic.ru/expert-opinions/timano-pechyorsky-oil-and-gas-province>

⁵⁷ Gleb Luxemburg, Yamal LNG Project overview, GASTECH, London, October, 2012.

表-3.2.1 ヤマル LNG 用砕氷タンカー諸元

Principal Particulars		Design concept	
Length O.A	299.0 m	Ice strengthening	Ice class Arc7
Length B.P	282.0 m	Service area	Yamal ↔ Murmansk ↔ Europe/India Yamal ↔ NSR ↔ Korea/Japan
Breadth, mld	50.0 m	Independent navigation	
Depth, mld	26.5 m	Northern sea route during summer/autumn	
Designed draft	11.7 m	All year round navigation in the Kara sea	
Cargo capacity	172,600 cbm		

またカラ海では、ノバヤゼムリヤの東沖で探鉱が開始された⁵⁹。バレンツ海沖のシュトックマン・ガス田開発は進展していないが、ロシアとノルウェーの領海線海域における原油・天然ガス資源の開発が進められようとしている。また、グリーンランド東沖のカヌマスフィールドにおいても、探鉱権の入札が行われ、開発の可能性が検討されている。

このように北極海での産業活動の拡大に伴って、北極海を航行する船舶は多様化と増大の傾向を示している。

3.2.2 北極海における汚染事故リスク

(1) 北極海における海難事故

ロシアの北極海域においては、19世紀において94件の船舶の事故が発生したことが報告されている。また2013年9月には、ロシアのタンカーNordvik（6,403DWT）が、タイミル半島北のMatisen海峡において海氷に囲まれて動けなくなるとともに、船体に穴があいて進水する事故を起こした。Nordvikは、カラ海・ラプテフ海において、Light ice condition 状況下で砕氷船エスコートを条件に航行を許可されていたが、ロシア関係機関によると、Medium ice condition の海域を単独で航行していたという。カナダ北極海においても、1999～2008年の間に約100件の海難事故が発生している。近年は、北極海航路の貨物輸送だけでなく、ロシア・グリーンランド・カナダそれぞれの海域において観光目的の航海が増加傾向にあり、海難事故リスクの増大が指摘されている。

表-3.2.2 ロシア北極海における船舶事故件数⁶⁰

	カラ海	ラプテフ海	東シベリア海	チュクチ海	合計
Forced drift	12	7	3	7	29
Overwintering	8	6	9	8	31
Shipwreck	6	2	4	7	19
Damage	4	2	5	4	15
Total	30	17	21	26	94

⁵⁸ Odin KWON, Advances in Arctic Vessels design, Arctic Frontiers, Norway, 2014.

⁵⁹ Anatoliy Polomoshnov, Ice research for Kara Sea, International Symposium on Okhotsk Sea&Sea Ice, Monbetsu, 2014.

⁶⁰ Nataliya Marchenko, Arctic shipping Challenges, Arctic Frontiers, Norway, 2014.

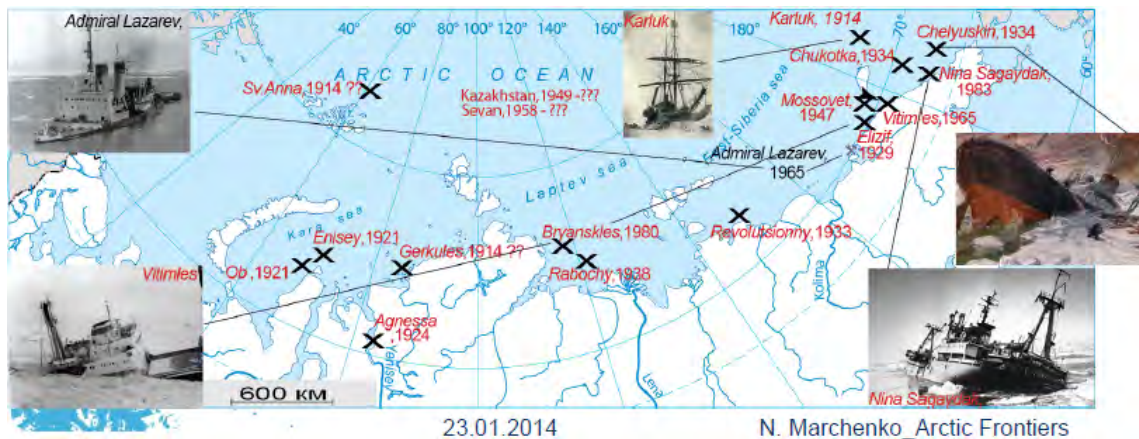


図-3.2.5 ロシア北極海における船舶の事故

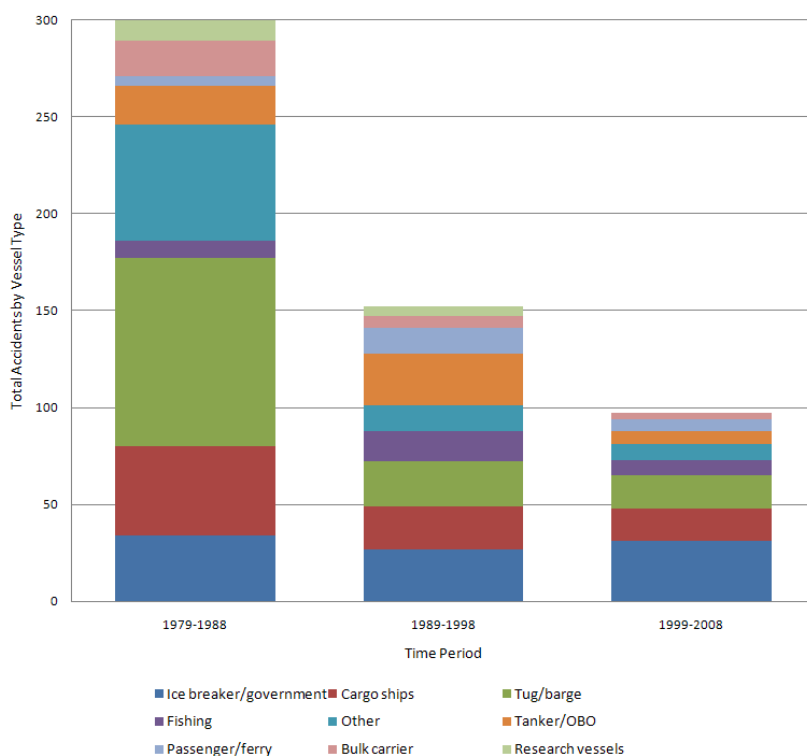


図-3.2.6 カナダ北極海における船舶事故(1979-2008)⁶¹

2013年9月、北極海航路のタイミル半島北方沖のマチセン海峡において、タンカーNordvik号の事故が発生した。同号は船長138m、重量トン6,403トンのタンカーである。事故当時は、ディーゼル燃料油を満載していた。ムルマンスクへ向けての航海の途上、氷との接触により船体が損傷・破孔・浸水に至った。Nordvik号のアイスクラスはL4であり、北極海航路局からカラ海及びラプテフ海の軽易な氷況（light ice conditions）においてのみ氷中航行を許可された船舶である。これ以上の氷の中を無理をして航行したことが事故の原因であるとの指摘もある。幸いなことに搭載されたディーゼル油の流出は無

⁶¹ Brad Judson, Trends in Canadian Arctic Shipping Traffic – Myths and Rumours, The 20th International Offshore (Ocean) and Polar Engineering Conference, Beijing, China, 2010.

かったと報告されている。その後、ディクソンの救難センターの指揮の下、一部のディーゼル油は他のタンカーに移送され、Nordvik 号は原子力砕氷船のエスコートを受けて事故海域を離脱した。

(2) 流出油による環境影響

タンカー等からの大規模油流出は、海洋環境及び沿岸域の社会に対して激甚かつ急激なインパクトを与え、時にはその影響は長期にわたる。氷海域における油流出では通常海域とは大きく異なる現象が発生し対応技術にも特殊なものが要求される。図-3.2.7 は、氷海域において油流出に伴う諸現象をまとめた図である⁶²。

油は氷との相対的位置関係により、氷の上部、氷と氷の間の水面及び氷の下面に存在し得る。氷の上面に油が存在する場合は、冠雪等の閉じ込め効果により油の拡散が抑えられることから、氷上作業あるいは船舶等からの作業が可能な場合は比較的対応は易い。一方氷と氷の間にある油は、水面を伝って拡散する。このような油に対する対応は、例えば油の機械的回収を考えると、回収機の動作が氷によって制限されるなどの問題があり、氷海域用に特化して開発された装置が必要となる。氷の下に油が存在する場合は、汚染防除の観点から最も大きな問題である。このような油を検出する手法はまだ確立されていない。油は氷の下の凹部に溜まるが、氷の成長期にあつては油の下に氷が成長することにより油が氷中に閉じ込められる現象が発生する。このような油は氷の移動とともに移動し、氷の融解期に海域に再出現することにより、汚染を拡散する。一方氷の融解期においては、氷の下面に存在する油あるいは氷の中に閉じ込められた油が、氷の中に形成されるブラインチャンネルを通じて氷の表面に移動する現象も起こる。

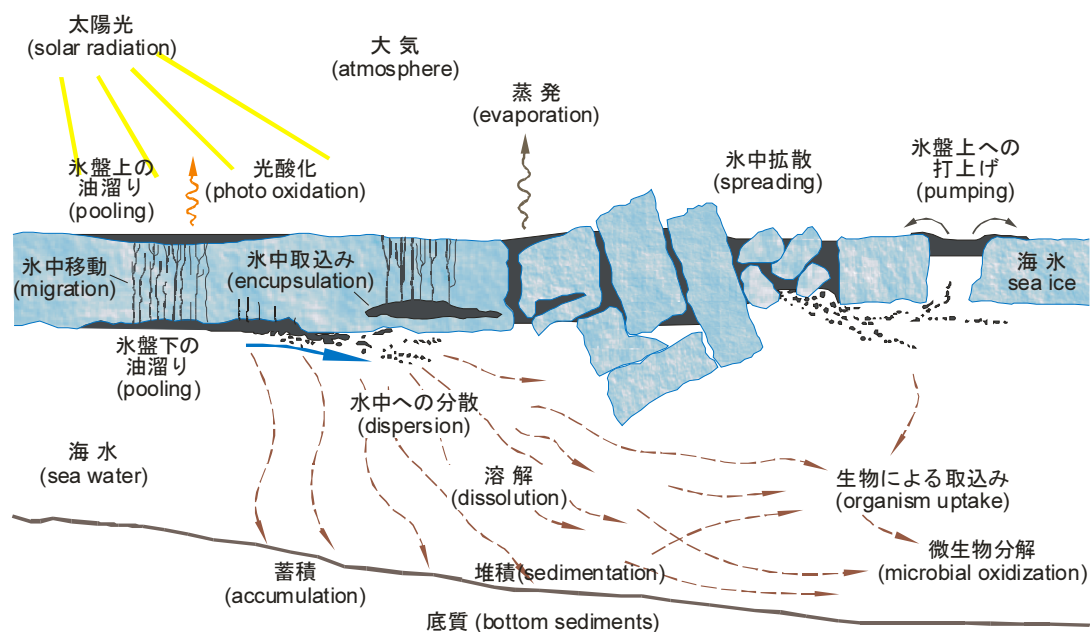


図-3.2.7 氷海域油流出に伴う現象⁶²

⁶² Hillman, S. and Safer, R., 1983. ABSORB: A Three Year Update in Arctic Oil Spill Response. Proceedings of 1983 Oil Spill Conference, p. 219-226.

a. 氷中流出油の拡がり

流氷中に流出した油の拡がり・漂流については、その例は少ないが、船舶の事故等による油流出に対する観測・計測結果が報告されている。また、より詳細なデータを得ようとの目的で、実流氷域において原油等を流出させる実海域実験も実施されている。

カナダ・ノバスコシア沖において 1983 年に実施された実験では、氷況・海象の異なる 3 海域において、それぞれ 1 m³ の油が放出された。供試油は Alberta sweet mixed blend oil である⁶³。実験時の油の様子を図-3.2.8 に示す。氷盤の間の開水部に油が拡がっている様子が判る。

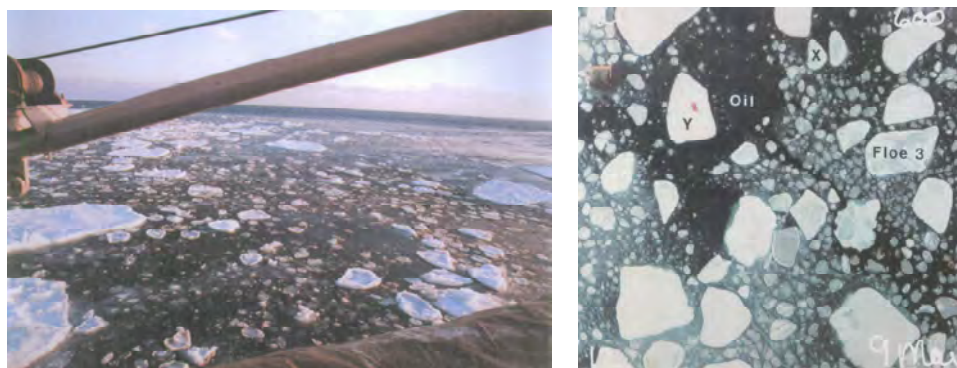


図-3.2.8 ノバスコシア沖における流出実験時の油の様子

1993 年にはノルウェー沖のバレンツ海の流氷域において、SINTEF を中心とする研究グループによる油流出実験 MIZ93 が行われた。使用された油は Oseberg 原油であり、25 m³ が氷中に放出された。MIZ93 では、油の放出から 1 週間にわたってその挙動の観測が行われている。この時の油の拡がり面積 (Oil-infested Area) と氷密接度の観測結果が図-3.2.9 である。ここに油の拡がり面積とは、氷を含む面積である。

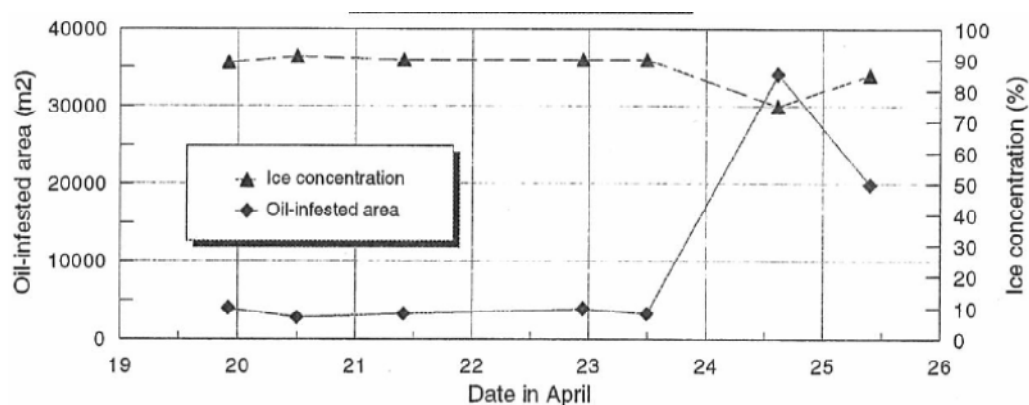


図-3.2.9 ノバスコシア沖における流出実験時の油の様子

⁶³ S.L. Ross Environmental Research Limited and D.F. Dickins Associates Limited., 1987. Field Research Spills to Investigate the Physical and Chemical Fate of Oil in Pack Ice. Environmental Studies Revolving Funds Report No. 062. Ottawa. 118p.

以上の実氷海域油流出実験から、油の拡がり面積は流出後に拡大した後一定面積に達するという結果が得られている。これらの実氷海域流出実験により得られたデータを用いて、氷中に流出した油の厚さと氷密接度の関係を解析した結果を図-3.2.10に示す⁶⁴。氷密接度の増加に伴って油の厚さが厚くなることが判る。ここに言う油の厚さとは、氷と氷の間にある油の実厚さである。

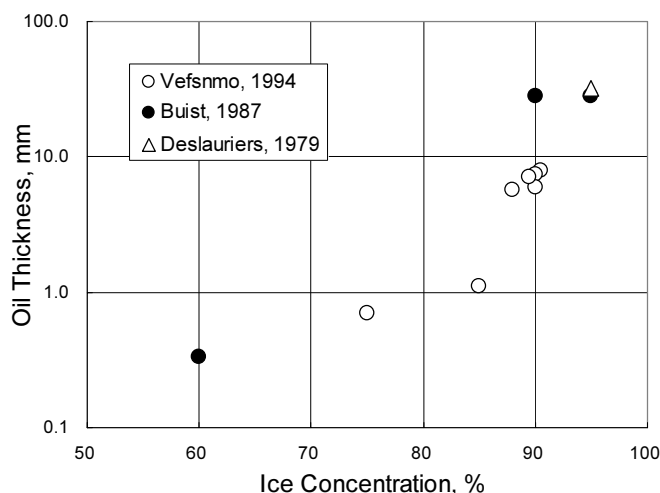


図-3.2.10 実海域実験より得られた油の厚さと氷密接度の関係

海上技術安全研究所では、このような油の厚さの変化を説明すべく氷海水槽における実験を行っている。この実験では、氷板に切り出した直線状のチャンネルの一端から機械用潤滑油を流し、その拡がり（延び）を計測している。この時チャンネルの中にスラッシュアイスを置き、これが油の拡がりを与える影響を観測した。この結果、スラッシュアイスは油の拡がりを抑える効果があり、その効果はスラッシュアイスの量が多いほど大きいことが示された。このようなスラッシュアイスによる油の拡がりの抑制は実海域実験においても観測されている。

この実験より、図-3.2.10に示された油の厚さと氷密接度の関係が次のように説明されよう。実海域における氷盤は波浪・風などの外力により運動する。これによる氷盤同士の衝突や氷盤間に発生した氷の破壊などにより、氷盤間の開水部にはスラッシュアイスが生じる。このようなスラッシュアイスが水槽実験の場合と同様に油の拡がりに対する抑制効果を生み、拡がりが抑えられた油の厚さが厚くなる。一方、スラッシュの存在率は氷密接度が高いほど高いと考えられ、この結果、氷密接度が高いほど油の厚さが厚くなる。

油の厚さは、流出油問題を考える上で2点において重要である。まず、油の厚さにより油の拡がり面積が決まる。一定体積の油が流出した場合、油の厚さが厚いほど拡がり面積は小さい。次に、汚染防除作業の効果に影響する。例えば、油層厚が厚いほど油の回収等の作業の効率が上がる。これらの2点はいずれも、流出油の厚さが厚いほど汚染防除の観点から有利であることを意味する。図-3.2.10に示された結果は、氷密接度と汚染防除作業の難易・効率の関係を示したものであるとすることができる。ただし氷中流出油の拡がりに対するスラッシュアイスの抑制効果についてはまだ定性的な知見に留まっている。

⁶⁴ Shimoda, H. and others, 2008. A Consideration of Oil Spreading in Broken Ice. Proceedings of the 23rd International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice.

b. 氷中流出油の風化

海域に流出した油は、時間とともに風化しその特性が変化する。汚染防除を行うに当たっては、このような油の風化による特性変化を考慮した手法・装備を使うことが必要となる。油の風化は、開水域・氷海域を問わずに起こるが、その進行の速度・程度等は周囲環境に大きな影響を受ける。表-3.2.3 に開水域と氷海域について、油の風化の比較を示す。

表-3.2.3 開水中と氷海域における流出油の挙動の比較

項目	開水域	氷海域
蒸発	油膜が薄くなると急速に蒸発が進む。	氷密接度の増大により油膜が厚くなると蒸発率は減少する。低温により表面にワックス成分が凝固し、蒸発を妨げる。
分散	油の分散の程度は油種と海域の状態による。	氷密接度の増大に伴って自然分散の程度も低下し、高密接度下では非常に低くなる。
エマルジョン化	主として砕波状態において油のエマルジョン化が進む。	氷の存在により波浪が減衰することから、氷密接度が高いほどエマルジョン化は抑えられる。
含水率	油の種類によっては急速に含水現象が起こる。	氷による波浪減衰の影響により氷密接度の増大に従って含水速度は下がり、高密接度では低く抑えられる。
最大含水量	油の種類によっては非常に高い含水量となる。	最大含水量は氷密接度とともに減少し、高密接度状態では含水量は低く抑えられる。
エマルジョンの安定性	エマルジョンの安定性は油種に依存するが、油の風化の程度が進むほどにエマルジョンは安定する。	エマルジョンの安定性は油種に依存する。
粘性	含水及び蒸発の進行に伴い粘性は増大する。	開水域と同様に含水及び蒸発の進行に伴い粘性は増大するが、この両現象の進行そのものが遅いため、粘性の増大速度も遅い。

流出油は時間の経過とともに気化成分が蒸発する。蒸発率には油の表面積と体積の比・気温・風速といったパラメータが影響し、また油層厚さと油層内の混合も重要な因子である。一般に、油の蒸発率は環境温度が高いほど高い。ただし油の成分によっては、低温環境下においてワックス成分が油層表面に凝固することにより油層内の混合を抑えるとともに、油の蒸発に対するバリアとしての役割を果たし蒸発が抑えられる場合もある。一方、蒸発率は油層厚さの関数でもあり、厚さが薄いほど蒸発率は高い。上で見たように、氷海域での油流出では油は氷盤間に流出することにより油層厚さが厚くなることから蒸発率が低下する。

海中に流出した油は、波浪等の擾乱によって直径が 1-1000 μm 程度の多数の微小油粒子に分断され水中に分散する。実験結果によれば、分散の程度は開水中において最大で、氷の量の増大に伴って急激に減少する。これは氷による波浪の減衰効果による。

一般に原油の成分の中には親水成分を含み、海面上の擾乱エネルギーが高い場合には含水現象が起こる。含水現象は、砕波現象により引き起こされる。この意味で、氷海域では氷による波浪の低減により含水現象の進行は通常海域よりも一般に遅い。ただし、氷盤同士の衝突等による含水の進行の効果はある。含水現象が進むと油はエマルジョン化を起こす。各種の油の低温環境下におけるエマルジョン化についての実験結果によると、含水率は、油種に依存するが、一般に油の風化の進行の程度と温度の低下

に対して低下の傾向を示し、海水の塩分濃度にはほとんど依存しない。エマルジョンの安定性も油の化学的組成に大きく依存するが、風化の程度と温度の低下に伴って安定性も増大する。

油の粘性は温度の低下とともに増加し、また、揮発成分の蒸発による油の風化並びに含水・エマルジョン化もこれを増大させる。氷海域においては蒸発と含水現象の進行が遅いことから、油の粘性の増大も抑えられる。一方、油の粘性が含水率と蒸発率から予測されるよりも高い値を示すと言う実験結果もあり、これについては、氷海域においてはエマルジョン化が通常の海域とは異なるメカニズムで進む可能性をも示唆するものである。

c. 氷海域における汚染防除

氷海域における油流出に対する汚染防除技術には、氷の存在や上述のような油の特性の変化のため、通常海域とは異なる手法・機器が必要となる。以下、現場燃焼、分散剤の使用、機械的回収について述べる。

現場燃焼 (in-situ burning) は流出現場において油を燃焼させて沿岸への漂着等を防ごうとする手法であり、Arctic Council による Field Guide for Oil Spill Response in Arctic Waters によれば、北極海における油汚染防除手法としては最も現実的なものとされる。同ガイドによれば、現場燃焼が可能となるためには、以下の条件が満たされることが必要である。

- ・ 油がエマルジョン化している場合は、その中の油の割合が 75%以上であること、
- ・ 油膜の厚さが 2,3mm 以上であること、
- ・ 波高が 2m 以下で波頭が砕けていないこと、
- ・ 風速が 20 ノット以下であること、
- ・ 原油の場合、流出後 2～5 日以内であること。

北極海における石油の開発と輸送の増加を受けて、ノルウェーでは、石油会社等からの研究費による研究 JIP Oil in Ice が 2006 年から 2009 年にかけて SINTEF により実施された⁶⁵。この JIP の中では氷中流出油の現場燃焼に関する研究が行われている。この研究では、室内実験により原油の種類及び風化の程度による油の着火性について検討した。また、スヴァールバルにおける現地実験も実施された。この実験では、氷の間に流出させた油及び耐熱ブームにより氷とともに集めた油の燃焼実験が行われた。この JIP による現場燃焼についての評価は、上記の Arctic Council の評価と同様に、氷中流出油に対する汚染防止対策として有効なものとしている。現場実験では、90%の油が燃焼した。しかしながら、これはあくまでも実験として行われた油の現場燃焼である点は記しておくべきである。実験では、海氷の中に予め作られた水路に流出させた油という現場燃焼にとっては好都合な条件の下に燃焼が行われたが、実際の油流出においてはこのような条件が満たされるとは限らない。着火についても、氷上からの着火が行われたが、実際には航空機等からの着火剤の投入が行われるであろう。この他、燃焼によって発生する煙等による二次的な汚染も問題である。バルト海 (フィンランド) では流出油に対する汚染防除手法としての現場燃焼が禁じられている。

⁶⁵ SINTEF, 2010. Joint Industry Program on Oil Spill Contingency for Arctic and Ice-covered Waters Summary Report. Oil in Ice – JIP Report No. 32, p. 39.

分散剤の使用は、開水域における汚染防除においても考慮されるオプションのひとつである。しかしながら、分散・希薄化されたとはいえ油は海中に残るとともに、分散剤自身の環境に対する影響についても考慮する必要がある。このため分散剤の使用には、開水域においても多様な面からの判断が必要であるが、氷海域においてはさらに氷による海面の静穏化のため分散効果が低減することも考慮しなければならない。これについては、アジマス型推進器を有する船舶を用いて、推進器の発生する水流により分散剤の効果を高めようという試みが為されている。また、一般に分散剤は使用温度によりその効果に変化するとされ、油種・現場の環境温度との関係に基づく最適なマッチングが必要である。

機械的回収は、もし有効に働くのであれば、最もクリーンな汚染防除手法である。氷海域流出油に対する機械的回収装置は、これまでに様々なものが考案・開発されてきたが、未だに決定版的なものはない。これは、氷海域における油の機械的回収では、まず氷と油を分離した後に、水の中から油を回収するという二段階の作業が必要となり、この第一段階について有効な手法が見いだせていないことに最大の理由がある。氷海域用流出油回収装置として、実機あるいはプロトタイプ製の製作の段階まで行われたものとしては2種類の装置がある。

その一つは、ノルウェー・ドイツ等の研究機関が参加した国際共同研究 MORICE (Mechanical Oil Recovery in Ice-infested Waters) により開発された装置である。MORICE では、図-3.2.11 に示すコンセプトに基づく回収装置の研究開発が行われた⁶⁶。この装置では、油の流出した氷盤群中を進みながら氷を孔の開いたベルト (grated belt) により持ち上げ油と分離する。油はベルトの下に設置されたドラム/ブラシタイプの吸着型回収装置により回収する。付加的な機構として、ベルト上ではシャワーにより氷盤に付着した油を回収部へ落とす。油から分離された氷盤は装置の後部から海中に戻される。

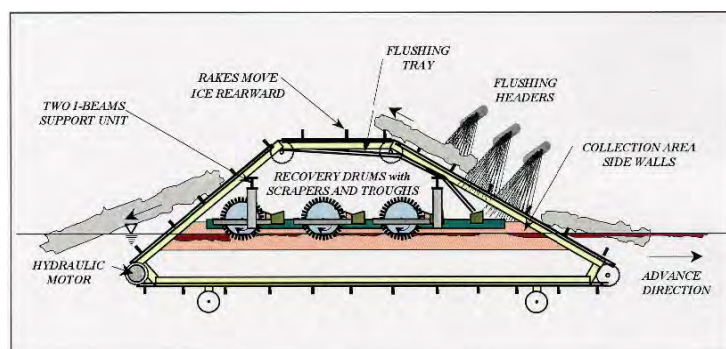


図-3.2.11 MORICE による氷中流出油回収装置のコンセプト

一方フィンランドの Lamor 社は、同国環境研究所との共同研究により、Lamor Oil-Ice Separator (LOIS) を開発した。この装置においても MORICE のコンセプトと同様に grated belt が用いられるが、MORICE とは逆に氷を押し下げることにより油との分離を図り、水面に浮いた油を回収する。この場合、油の浮上は水と油の密度差によることとなって重力による MORICE のコンセプトよりも分離効率が落ちるが、

⁶⁶ Jensen, H. and Mullin, J., 2003. MORICE – new technology for mechanical oil recovery in ice infested waters. Marine Pollution Bulletin 47.

これを補うためにベルトを振動させて油の氷とベルトからの分離を促す。LOIS はすでに商品化され、これを装備した油回収船もある（図-3.2.12、舷側中央の付加物が LOIS）⁶⁷。



図-3.2.12 LOIS を装備した油回収船

上記の2種類のコンセプトは、これまでに考案されたその他のものよりは有効な手法と考えられるが、まだ次のような疑問点がある。まず MORICE のコンセプトにおいては、当然のことながら装置の浮力を超える重量を持つ氷盤を対象とすることはできない。理論的には装置を大型化することによってより大きな氷盤の処理も可能であろうが、大馬力のベルト駆動機構が必要となる。一方 LOIS については、主としてバルト海特有の氷況に対して開発された装置であることを考えなければならない。バルト海における氷は比較的安定して存在することから、砕氷船が一定の航路（channel）を氷中に啓開し、そこを船舶が通航する。このようにして繰り返し船舶の航行を受けた channel 内は直径 30 cm 程度の小氷塊に覆われる。LOIS はこのような氷況に対しては有効かもしれない。しかしながら、このような氷況はいわば特殊なものであり、一般的な氷況ではより大きなサイズの氷が存在する。このような氷況に対する LOIS の有効性については懐疑的にならざるを得ない。氷海域流出油の機械的回収については、さらなる研究と技術開発が必要である。

3.2.3 北極海の船舶航行に起因する海洋環境リスク

(1) 北極海における船舶起因排出

北極海における船舶起因の環境影響気体の排出については、北極評議会の北極圏海洋環境保護作業部会（Protection of the Marine Environment in the Arctic: PAME）が実施した Arctic Marine Shipping Assessment（AMSA）の中で取り上げられている。AMSA では、2004 年について北極海及び周辺海域における船

⁶⁷ LAMOR, 2011. News Reel, 2/2011, p.32.

船舶の航行データを収集し、データベースを作成した。このデータベースに基づいて、環境影響気体の排出量が分析されている。結果を表-3.2.4 に示す⁶⁸。

表-3.2.4 AMSA データベースに基づく船舶からの気体排出の分析結果

Vessel Category	Fuel Use (kt/y)	CO ₂ (kt/y)	BC (t/y)	NOx (kt/y)	PM (kt/y)	SOx (kt/y)	CO (kt/y)
Bulk	354	1,120	122	26.9	17.9	18.6	2.57
Container	689	2,170	239	52.5	35.0	36.2	5.01
General Cargo ¹	590	1,860	202	44.9	29.9	31.0	4.29
Government Vessel	117	368	40.1	8.89	5.92	6.13	0.85
Other Service Vessel	3	11	1.19	0.26	0.18	0.18	0.03
Passenger Vessel	349	1,100	120	26.6	17.7	18.3	2.54
Tanker	269	848	92.5	20.5	13.7	14.1	1.96
Tug and Barge	17	54	3.38	1.32	0.88	0.91	0.13
Fishing ²	1,020	3,230	363	78.0	52.0	53.8	7.4
Total	3,410	10,800	1,180	260	173	179	25

ノルウェー船級協会（Det Norske Veritas: DNV）は、ノルウェー海域に対して同様の船舶からの気体排出の計算を行っている。AMSA による計算にはノルウェー海域も含まれることから、この海域を抽出して DNV による計算結果との比較が行われている。これによると両者の全体的な一致は良い。ただし、漁船と一般貨物船については、結果が異なる。漁船については、AMSA による計算結果は DNV によるものの 3 から 4 倍である。これについては、AMSA の計算は漁船の出漁日数をベースとしてこの間を通じて機関が稼働し続けていることを仮定した計算であることがこのような差の原因であると推察されている。一般貨物船についても AMSA の計算結果が DNV の結果に対して大きな排出量を与えているが、これについては、AMSA の計算においては一般貨物船の平均的な出力の機関を想定しているのに対し、北極海における一般貨物船の機関はそれを下回るためであろうとされている。

IMO では、船舶からの温室効果気体の排出に関して 2 度にわたる調査研究を行い、それぞれ 2000 年と 2007 年に報告書が取りまとめられている。両者の差は、前者では船舶が消費した燃料消費に関する統計量に基づいているのに対し、後者ではより詳細な分析として、船舶の運航実態に基づいた（activity-based）温室効果気体排出の実態と将来予測が行われているところにある⁶⁹。前表に示した AMSA における分析も 2004 年の北極海における船舶の運航データに基づく分析である。上記のように検討が不十分である側面が一部にあるものの、北極海における船舶起因の環境汚染気体排出に関して為された初めての包括的評価として意義は高い。

船舶から排出される環境影響気体の影響については、NOx・SOx 等による酸性雨や健康被害といったいわゆる大気汚染の問題がまず認識されて MARPOL 73/74 附属書 VI による排出規制が行われ、さらに地球温暖化への対策として二酸化炭素に代表される温室効果気体についても排出抑制の措置が開始されている。北極海については近年、ブラックカーボンが注目され始めている⁷⁰。ブラックカーボンは大

⁶⁸ Arctic Council, 2009. Arctic Council Arctic Marine Shipping Assessment 2009 Report. p. 141.

⁶⁹ Buhanug, O. and others, 2009. Second IMO GHG Study 2009. P. 220.

⁷⁰ 海洋政策研究財団（財団法人 シップ・アンド・オーシャン財団）、平成 25 年、平成 24 年度 北極海航路における船舶からの黒煙（ブラックカーボン）に関する調査研究報告書。168 頁（表紙共）。

気中であっては太陽放射を吸収して温室効果に寄与するとともに、氷や雪の表面に付着することによりアルベド（太陽光に対する反射率）を低下させて温暖化の正のフィードバック（アルベドの低下→熱吸収量増大→氷や雪の融解→海面や地面の増大→さらなるアルベドの低下）を加速させる効果を持つ。北極における船舶からのブラックカーボンの排出には、低緯度域からの輸送に加えて、地球上において最も高い北極の温暖化傾向を直接的にいっそう促進させる可能性がある。さらには、北極が地球の気候システムの中での重要な要素であるとの考えに立てば、北極に対するブラックカーボンの影響が地球全体の気候変動に寄与する可能性も考えられる。

北極における船舶からの環境影響気体の排出の将来予測を行った一つの試算から、ブラックカーボンの排出量予測結果の例を図-3.2.13 に示す⁷¹。この例は、世界経済の成長率を比較的高く想定し、2030年及び2050年までに世界全体の海上輸送量のそれぞれ2%と5%が北極経由にシフトするとした結果である。北極域内の海上交通によるブラックカーボン排出（水色）と南方航路からシフトした海運によるもの（ピンク色）に分けて示した。2004年の値は、上述のAMSAデータベースに基づく。様々な仮定に基づく試算ではあるが、将来の北極海におけるブラックカーボン排出量の急激な増加の可能性を想像させる結果である。

船舶からのブラックカーボンの排出については、IMOにおける議論が開始されてまだ間もない。一方、ブラックカーボンによる温暖化メカニズム、特にアルベド・フィードバックについては定量的には不明な点も多く、例えば前述のIMOによる温室効果気体に対する調査研究においても、これによる温暖化への寄与については取り入れられていない。ブラックカーボンの排出とその環境影響について、今後の研究の進展とそれに基づいた適切な措置が待たれるところである。

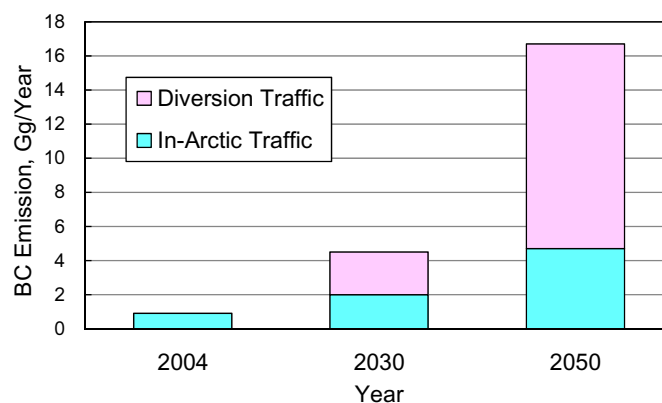


図-3.2.13 北極における船舶からのブラックカーボンの排出量の試算結果の例

(2) 北極海の船舶航行状況

ノルウェーが試験運用している AISSat-1 により、北極海を航行する船舶の状況が明らかになりつつある⁷²。2011年の航行状況に関しては、ノルウェー沿岸局、WWF、DNVによるGISサービスにおいて

⁷¹ Corbett, J. and others, 2010. Arctic shipping emissions inventories and future scenarios. Atmospheric. Chemistry and Physics, 10, 9689-9704, 2010. Doi:10.5194/acp-10-9689-2010.

⁷² Data-source: Automatic System (AIS) data, provided by The Norwegian Coastal Administration / www.havbase.no (2012) and further processed by DNV and WWF

次図の様に公開されている。スカンジナビア半島沿岸及びコラ半島沿岸の密度が高くなっているとともに、北極海航路ではカラ海のヤマル半島周辺においても船舶の活動が高まっている。また、北西航路においても活動が認められる。



図-3.2.14 北極海における航行船舶密度(2011年)



図-3.2.15 タンカー（石油類・ガス類）の航行密度(2011年)

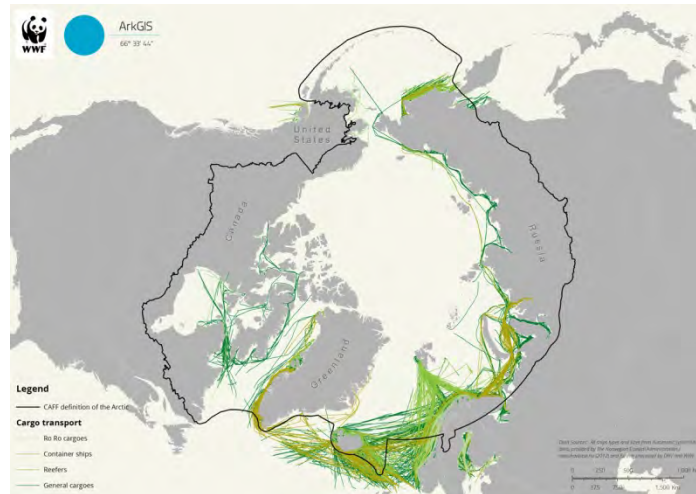


図-3.2.16 コンテナ・RORO・一般貨物の航行密度(2011年)

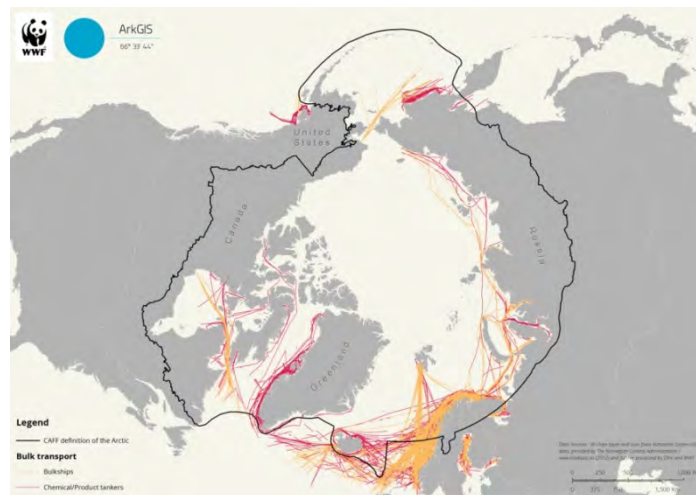


図-3.2.17 バルク船の航行密度(2011年)



図-3.2.18 客船の航行密度(2011年)

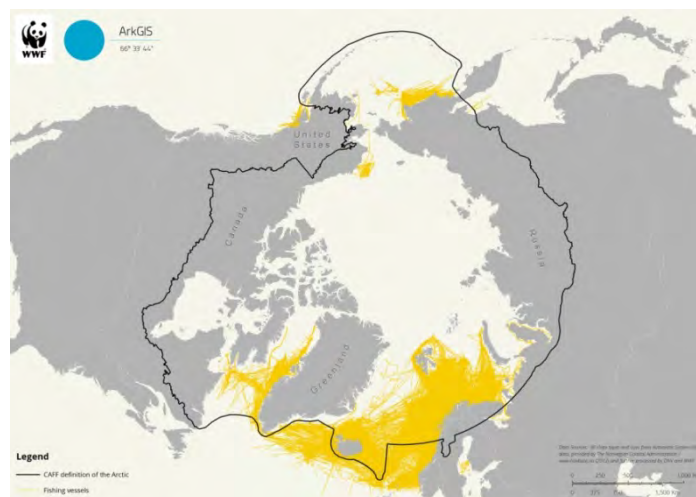


図-3.2.19 漁船の航行密度(2011年)

(3) 北極海航路のトランジット航行による排出ガス動向

2013年2月～12月の期間に北極海航路を航行した船舶数は、北極海航路局の公開情報によると、のべ238隻となっている。2013年における北極海航路区間の航跡を次図に示す。

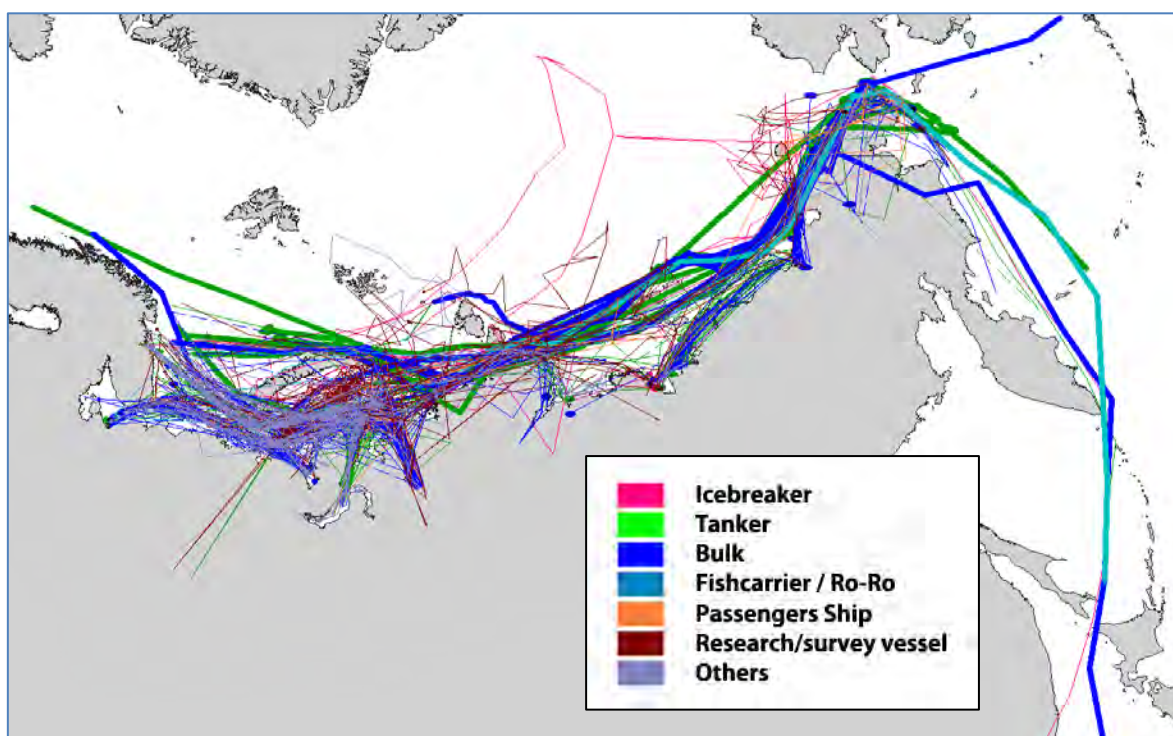


図-3.2.20 2013年の北極海航路航行軌跡

各船舶の船種別に、機関諸元、航行距離を整理し、北極海航路区間の平均航行速度を10.0knと仮定して、北極海航路区間（ノバヤ・ゼムリヤ～ベーリング海峡）における燃料消費量を略算した結果を表-3.2.6に示す。ここに燃料消費量は、平均航行速度と定格速度との比の二乗に半比例して燃料消費率を低減し、航海時間を乗じて試算した。燃料消費率は通常海域での定常運転時を185gr/kWhとし、耐氷

船による効率減を考慮して1.1倍して用いた。なお、ここで推算した燃料消費量は、主要な海上移動に要した分を想定したものであり、次の活動による消費分は考慮していない。

- 氷海中で海氷による抵抗を受けて航行することによる増分。
- 河川に入ったもの及び沿岸での細かな移動による燃料消費。
- 作業船が現地で作業した場合の消費量。

また表中には、燃料消費量より試算した各種排出ガス量を示す。排出ガス係数は、使用燃料を全てHFOと仮定し、CO₂について3.13ton/HFO ton、それ以外の排出ガスについては下表を用いた。

表-3.2.5 CO₂以外の排出ガス係数⁷³

項目	排出係数 [kg/tonne fuel]		出典
	HFO (S分2.7%)	MDO (S分0.5%)	
CH ₄	0.28	0.30	IPCC2006
N ₂ O	0.081	0.086	IPCC2006
NM VOC	2.4	2.4	EMEP/CORINAR(2007)
CO	7.4	7.4	EMEP/CORINAR(2007)
SO _x	50.56	9.4	S&O(2008)
PM	6.5	1.4	S&O(2008)
NO _x	97.0	75.7	排出量を燃料消費量で除して算出した。

注) 単位換算には、HFO: 0.0404 TJ/tonne Fuel、MDO: 0.0430 TJ/tonne Fuelを用いた。

⁷³平成21年度 船舶からの温室効果ガス及び大気汚染物質の世界的な排出量算定調査報告書 船舶からの温室効果ガス削減方策に関する調査研究、海洋政策研究財団、2010。

表-3.2.6 2013年の北極海航路航行船舶の推定燃料消費量

	燃料消費量 (ton)	CO ₂ (t)	CH ₄ (t)	N ₂ O (t)	NMVOC (t)	CO (t)	SO _x (t)	NO _x (t)	PM (t)
排出係数 (kg/ton fuel)		3,130	0.28	0.081	2.4	7.4	50.56	6.5	97.0
タンカー	9998	31,294	3	1	24	74	506	65	970
ドライバルク	13,523	42,328	4	1	32	100	684	88	1,312
LNG	915	2,865	0	0	2	7	46	6	89
Fish carrier	299	937	0	0	1	2	15	2	29
RORO/Ferry	1,163	3,640	0	0	3	9	59	8	113
Passenger boat	619	1,938	0	0	1	5	31	4	60
working vessel	1,662	5,203	0	0	4	12	84	11	161
Other	200	625	0	0	0	1	10	1	19
総計	28,380	88,830	8	2	68	210	1,435	184	2,753
トランジット航海のみ									
タンカー	3,761	11,770	1	0	9	28	190	24	365
ドライバルク	1,913	5,987	1	0	5	14	97	12	186
LNG	915	2,865	0	0	2	7	46	6	89
Fish carrier	226	707	0	0	1	2	11	1	22
トランジット合計	6,815	21,330	2	1	16	50	345	44	661

上表において2013年のトランジット航行による燃料消費分と貨物量 ton あたりの燃料消費量を次表に示す。北極海航路区間に限って見ると、海上航行で消費された燃料のうち、約1/4がトランジット航行分となった。今後トランジット輸送が増大すると、トランジット航行による燃料消費量がその他の沿岸航海によるものよりも大きくなる可能性がある。

表-3.2.7 北極海航路区間における燃料消費推計

トランジット航行のみ	2013年推計	将来推計
貨物量(ton)	1,355,897	5,000,000
燃料消費量(ton)	6,815	25,131
貨物量 ton 当たり燃料消費量 (kg/ton)	5.026	

3.2.4 極域ツーリズムの現況と問題点

北極海の夏期海氷勢力の減退によって、クルーズ船が観光目的で北極海域に入り込むようになってきた。この船舶による極域の観光業は顧客の要望を受けてのオンデマンド要素が強く、計画および事業の実施において北極海沿岸国国内法の諸規定を必ずしも十分に理解し遵守していない嫌いがある。

極域観光は、南極半島を中心とする「国際南極観光業協会(International Association for Antarctic Tour Operators: IAATO)」が最大手の組織であり、南極条約および議定書・付属書の主意を遵守することを定めた、次表のような協会加盟観光業者に対するガイドラインおよび観光客に対するガイドラインを定めている。

表-3.2.8 Guidance for those Organizing and Conducting Tourism and Non-governmental Activities in the Antarctic

<ol style="list-style-type: none"> 1. 観光業者が遵守すべき基本的義務 2. 観光業者が遵守すべき実務規定 <ul style="list-style-type: none"> ・観光計画時 ・南極条約地域での行動 ・観光実務 ・南極条約条項と報告規定 3. 付属書 	<p>観光業者が遵守すべき基本的義務：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当該機関への観光行動の具体的な計画の事前報告 ・計画観光行動の環境影響評価 ・環境を損なう恐れのある場合における防止策の策定（海洋汚染防止対策） ・自給自足の確認と安全確保 ・学術研究および南極自然環境の尊重；保護区への立ち入り厳禁、動植物保護 ・禁止物質排出・廃棄・投棄の禁止
---	---

一方、北極海域においては、観光対象地域は、北極点、カムチャッカ半島、スバルバード、カナダ多島海（グリーンランド西岸海域）、アラスカに大別され、北極海域全域に亘る観光業界組織はなく、唯一「持続可能な北極圏観光協会(Sustainable Arctic Tourism Association: SATA)」が2005年にスウェーデンに設立されたが、IAATOに比して、その効力は限定的である。SATAはIAATOのガイドライン同様にガイドライン(Principles and Guidelines)を定めている。ガイドラインでは、1.地域経済への支援、2.環境に優しい観光、3.地域自然の保全・保護、4.地域の伝統的社会・文化の尊重と支援、5.観光内容の充実と安全性確保、6.地域自然と文化に関する観光客教育、について定めている。

現在の北極点観光はロシア原子力砕氷船によるものであるが、運航航路での観光資源に乏しく、フランク・ヨゼフ諸島の海鳥サンクチュアリおよび旧体制下での観測所跡地をヘリにより見学する以外には、北極点への到達のみが売り物となる特殊な観光コースである。スバルバード観光は、周辺の海洋が屢々荒れることもあり、ノルウェー沿岸からの航行中での海生哺乳類の観察と、主として陸域の観光が主体である。また現在は、航空機による観光が殆どである。スバルバードでは科学活動に対しても厳しい規則があるが、観光客が急増し、監視員不足が問題となっている。なお、北極海航路は、平坦なツンドラ・タイガ樹林を陸域に遠望しての航行のため、観光業としては成立していない。

カムチャッカ半島は、現在はペトロパブロフスク・カムチャツキー周辺のみが観光地であり、コニーデ型の美しい山系登山と露天の温泉入浴が観光対象となる航空機による陸域観光である。カナダ多島海は絶景に恵まれ、北極圏観光の中心地域である。アラスカは、厳密には亜極域であるが、氷河崩落点への観光船事業の歴史は古い。

世界自然保護基金(WWF)は、独自に北極圏における観光基本原則(Ten Principles for Arctic Tourism)を策定、公表している。10項目の基本原則は下記に示すが、各項それぞれにより具体的な指針が述べられている。

1. 観光と環境保全の調和
2. 野生と生物多様性保護への支援
3. 自然資源の持続性ある使用
4. 消費・廃棄物・汚染の最小化努力
5. 地域文化の尊重
6. 歴史的および学術的遺跡の尊重
7. 地域社会への利益還元
8. 知識および経験豊かな専門ガイドによる観光
9. 学ぶべきこと多き観光たるべきこと
10. 安全基準・規則の遵守

国連機関における観光所轄機関は国連環境計画 UNEP であり、UNEP と連携する 1990 年設立の非営利組織の「国際エコツーリズム協会(The International Ecotourism Society: TIES)と UNEP の活動を支援する目的で 1989 年ノルウェー、アレンダルに設立されたノルウェー政府組織 GRID-Arendal が北極圏観光事業へのアドバイザー役を担っている。なお、GRID は 1985 年設立のノルウェー政府組織 Global Resource Information Database として広く知られている。UNEP の極域ツーリズムに関しては、TIES および GRID-Arendal が実務を担当する場合が少なくない。WWF の北極圏観光業原則と IAATO のガイドラインは、いずれも UNEP において高く評価されてはいるものの、船舶については、UNEP としては IMO 関連諸規則の遵守を求めるのみであり、現況では IMO に対して観光船に関わる諸規則制定を強く求めている。IAATO あるいは SATA に加盟していない観光船運航業者も少なくなく、何らかの国際基準乃至規則が必要であろう。

また、北極海における捜索・救難システム(SAR)協力合意⁷⁴が成立したとは言え、いずれの沿岸国においても、海域の海図整備も SAR 対応施設・装備も貧弱のままである。その一方で、アイスクラスを取得していない観光船は益々大型化が進み、暗礁あるいは漂流冰山塊に衝突し退船避難の事態となった際の人命確保への危惧は、繰り返し指摘されてきた。カナダ多島海での集落規模が高々千人の沿岸域において乗客総数が千人を超える客船の全員を収容し得る可能性はなく、治療機関も乏しくベッド数も僅かな地域で、気候大変動の中、客船乗客の平均年齢は 50 歳を超える時代において、人命尊重の第一原則が維持できるのか危惧する指摘がしばしば表明されている。

⁷⁴ Arctic Council Ministerial Meeting, Agreement on cooperation in Aeronautical and Maritime Search and Rescue in the Arctic, May 12, 2011 in Nuuk, Greenland

4. 北極海の持続的利用にむけた課題

以上の検討を踏まえ、北極海の持続的利用にむけて対処すべき課題について、以下に整理した。

(1) 科学研究

地球規模での温暖化は、特に北極域において急速に進んでいる。北極海の家氷減退は、さらにこの進行を加速する正のフィードバックとなる可能性が指摘されている。この変化にさらされている生態系は本来、気候、土壌等の陸域条件、海水物理・化学的状況により大きな影響を受け、その対象はウイルス、バクテリアから哺乳動物、人類に至る全ての生物に及ぶものである。しかしながら極めて過酷な自然環境を抱える北極圏においては、インフラは極めて限定的であり、科学調査活動には多大の困難や危険が伴う。特に海洋調査では、砕氷・耐氷能力のある調査船など特殊な装備・設備を要し、多くの費用を伴う。このため、生態系の動態情報は極めて限られ、亜北極圏以南のデータに比して著しい差異がある⁷⁵。こうした情報データベースの不足は、観測された種々の変化の原因とプロセスおよび、将来を予測する上で大きな障害となっている。

北極が地球環境の中で果たしている役割やそのプロセスを科学的に明らかにすることは、温室効果ガスを長年排出してきた先進国の責務であろう。同時に、緩和する海氷勢力の中で進展する海上輸送や資源開発などの産業活動が及ぼす影響ならびに、定常的なインパクトおよび事故などの突発的なインパクトなどの軽減のための技術の開発も不可欠である。また、変化する北極海に生息する生物への影響、水産資源の科学的調査と実態の解明など、北極海の科学的調査について、重要な課題として取り組むことが日本を含めた各国に求められている。

(2) 原油・天然ガス開発

近年、海氷勢力の減退、アジアにおけるエネルギー需要の拡大、およびロシアの既存ガス田の生産量減退などを背景に、北極海における石油・天然ガス開発が活発化し始めた。有数の埋蔵量を誇るシュトックマン・ガス田の開発は停止されたままであるが、ヤマル半島 LNG は急ピッチで進められている。またペチョラ海のバランデイおよび Prirazlomnoye Field では原油生産が始まっている。開発が進んでいるのはいずれもロシア海域であるが、ロシアにとって、Prirazlomnoye Field が初めての北極海大陸棚での資源開発である。海上での生産および生産された原油の輸送に関しては、厳しい海氷および低温環境、遠隔地環境など、危険が伴うだけでなく、技術的に極めて難しいプロジェクトである。また、ひとたび事故が発生した場合の、環境被害および損害は甚大なものになる。北極の資源の持続的利用をはかるためには、依然として多くの課題が指摘されている。その中には、生態系や地球環境だけでなく、沿岸地域の少数民族社会の伝統・文化、社会・経済における影響もまた重視されなければならないことが指摘されている。

近年、割高となっているアジアの LNG 市場価格において、現在の原油連動の体制から離れようとする動きが出るとともに、非在来型ガスの増産やアジア向けパイプラインガスの増加もあり、LNG 価格形成の構造が変わろうとしている。2013 年には、50 か国の関係者を集めた LNG Producer-Cosumer Conference が日本で開催され⁷⁶、LNG の新たな価格形成への可能性が示された。こうしたなか、ロシアのアジア市場向け LNG

⁷⁵ 海洋政策研究財団、日本北極海会議報告書、pp6、2012。

⁷⁶ 第 2 回 LNG 産消会議、<http://www.lngconference.org/>、2013.9

として、サハリンおよびウラジオストク LNG に加え、ヤマル半島 LNG が新たな話題として注目されている。すでに中国はヤマル LNG の長期購入契約を締結したところである。ヤマル半島 LNG の場合、北極海航路を利用すると、日本への輸送距離がカタールからの距離よりも近くなるという利点があるとともに、日本はすでにノルウェー沖のスノービット LNG を購入した実績もある（うち2隻は北極海航路経由で輸送されている）。日本にとって北極海で生産された LNG は、原油連動から脱却した合理的な価格形成、地理的優位性、調達先の多角化戦略などの面から、魅力のある存在であると考えられる。同時に、消費者であっても、北極の資源と持続的な利用に向けて、果たすべき役割を積極的に認識し、適切なガバナンスの構築や技術面での協力などに関与することが重要であり、また消費者としての責任でもあると考えられる。

(3) 北極海航路輸送

2010年以降、北極海航路によるトランジット輸送が増え続けている。2010年はパイロット運航であったが、2011年にはパイロット的な意味合いを持ちつつも一気に増大し、2012年には46隻、126万トンに達した。しかし2013年は、貨物量の伸びは鈍化し、71隻、136万トンが輸送された。中国は天然資源調達の多様化および海上輸送路の多元化に加え、北極海の資源開発を動機に、北極海航路の利用を積極的に進めている。韓国もガスコンデンセートの輸入とそれを加工した石油製品の欧州輸出に利用し始めている。日本はすでに2回、スノービット産 LNG を北極海航路経由にて調達した。こうしてバルク貨物輸送への北極海航路のトランジット利用は、徐々に拡大する基調を示してきた。とはいえ、海氷情報の不足、航行期間がまだ夏期の5か月程度であること、北極海航路区間には避難・修理に使える港湾がないことなどから、多くの船社は慎重な姿勢をとっている。また、北極海を航行可能な氷海船級を有する商船の数は限られており、本格的な事業化には高価な耐氷船を新造する投資が必要になることも、事業の障壁となっている。ロシアの航行管理制度や料金体系の不透明性、カントリーリスク、および老朽化した原子力砕氷船の更新も懸念材料である。環境汚染につながる事故が発生した場合の対応の困難さ、損害の規模、国際的な責任なども同様である。

こうした多くの課題を抱えながらも、北極海航路による輸送コスト削減や資源調達および海上輸送路の多様化は、日本にとって看過できない便益である。また、韓国・中国が北極海航路を恒常的に利用するようになった場合に、日本の港湾が抜港されると、日本の企業は北極海航路の利用を中国・韓国に依存することになる。また中国・韓国による北極海航路利用においては、宗谷海峡および津軽海峡を通航することになり、両海峡が LNG など天然資源輸送の新たな通過点となる。日本は両国よりも北太平洋に近く、どちらの国からも北極海航路の通過点となる地理的優位性を持っており、これを積極的に活用すれば、北極海航路におけるアジアのハブ機能を実現できるポテンシャルを有している。

すでに中国・韓国は、自国主導での北極海航路による試験運航を実施し、具体的な情報の収集を行っている。ヤマル LNG は2017年の商業生産に向け、砕氷船クラスの LNG タンカー16隻を発注し、その船主とオペレーターも2014年前半に決定される見込みである。また、欧州船社による北極海航路をターゲットにした1Aクラス・パナマックスバルカーが2016年に4隻就航する予定であり、2014年3月には邦船社がシバルト海を想定したアイスクラス1A Superの自動車運搬船の発注を公表した⁷⁷。こうした中、我が国においては、北極海航路輸

⁷⁷ UECC orders two Dual Fuel Liquefied Natural Gas (LNG) Pure Car and Truck Carriers (PCTC) with 1A super Finnish/Swedish ice

送のプレーヤーの中でのプレゼンスを高めるとともに、荷主や船社などの国内企業に、有効な情報を提供することが重要であろう。また我が国主導での、北極海航路利用・航行に関する先進的な情報収集や検証を実施することが望まれる。さらには港湾、空港、通信などの分野で求められるインフラや先進技術によるサービス提供など、海洋産業における新たな事業機会の可能性にも目を向けることが必要である。

(4) 極域ツーリズム

海氷勢力の減退に伴い、北極海は観光ツアーの重要なアイテムとして認識され、近年は観光目的で多くの船が北極海に入るようになってきた。しかし、氷海航行に対する安全管理は十分とはいえない状況であることが、多くの関係者から指摘されている。北極観光に関しては「持続可能な北極圏観光協会(Sustainable Arctic Tourism Association: SATA)」が設立されているものの、十分な影響力を持つには至っていない。WWFは北極圏における観光基本原則(Ten Principles for Arctic Tourism)を独自に策定し、公表している。また UNEP (国連環境計画)では、国際エコツーリズム協会(The International Ecotourism Society: TIES)およびノルウェーの政府組織 GRID-Arendal を通じて北極のツーリズムに対処している。とはいえ UNEP では、船舶については IMO 関連諸規則の遵守を求めるとどまっている。このように、北極域のツーリズムに関する自然環境保護・安全確保に関するガバナンスは、実際の活動状況に比して大きく立ち遅れている状態にある。

さらには、北極海における捜索・救難システム(SAR)合意に関しても、実際には各沿岸国のインフラは依然として不十分なままである。また、沿岸地域における医療機関や滞在のためのインフラは限定的で、大型船の事故があった場合に多数の乗客を収容する能力は期待できない。

このように北極海域の観光利用が拡大するなか、安全衛生、環境保護および捜索・救難体制づくりは大きな後れをとっている状況にある。北極海を持続的に利用するためのガバナンス、安全管理のルール作りが、観光利用においても急務となっている。

(5) ガバナンス形成に向けた協力

IMO では、氷海域の船舶航行に関する Polar Code の策定に向け、Solas および MARPOL 両条約との調整などが進められている。Code 化の成立には、北極評議会 8 か国の動向がもう一つの焦点になっている。この中で 2013 年、IMO 事務局長が Rosatomflot の協力のもと、実際に北極海航路を航行する船に乗船するとともに Polar Code 成立に強い意欲を示すなど、北極海への関心は高まっているところである。また、船舶からの Sox、NOx、PM などの排出規制についても議論が続けられており、その話題が北極海にも及んでいる。北極評議会や国連では、北極の環境や利用に関する多くの調査・研究を主導し、成果をあげている。こうした中、北極海の適切な航路利用を実現するために、我が国の荷主・船社・造船産業にとっては事業環境面において、また北極海の利用者として海洋環境を保全する責務において、我が国として対応すべき事項・姿勢を整理し、積極的にガバナンスの形成に関与することが望まれる。また、北極海における水産資源および公海漁業の管理においても、我が国の科学的知見や経験を生かした貢献が可能である。

5. 国際セミナー

5.1 北極海航路の持続的利用に向けた国際セミナー概要

本セミナーは、近年の北極海の夏期海氷減少および北極海航路による商業輸送の拡大を契機に、急速に商業航路としての実用化が進もうとしている中で、同航路の適正かつ持続的に利用するための課題と方向性について、ロシア、ノルウェー、米国の専門家および事業者を招聘して議論を進めることを目的に開催したものである。

セミナーは東京と札幌にて計2回開催された。それぞれ東京セミナー230名、札幌セミナー130名が参加した。札幌セミナーでは、北極海航路に関する北海道地域のプレゼンス向上を目指す北海道庁との共催となった。札幌セミナー翌日には苫小牧港を視察し、港湾関係者と講演者との情報交換をはかった。

主 催：海洋政策研究財団

日時（東京）：2013年9月3日、10：00-17：00、霞山会館

日時（札幌）：2013年9月6日、9：45-16：30、札幌京王プラザホテル

(1) 東京セミナー

- これからの北極海海上輸送システム（技術的側面から）
Vsevolod Peresykin ロシア中央船舶海洋設計研究所(CNIIMF) 所長
- 北極海航路航行の現状と将来
Vyacheslav V. Ruksha ロシア原子力船公社(Rosatomflot) 社長
- 北方物流へのチャレンジ；北極海航路の啓開が示唆するもの
Felix Tschudi チュディ海運社長、Center for High North Logistics (CHNL) 会長
- 北極海航路の適正かつ持続的な利用に必要な8つの要素
Leiv Lunde フリチョフナンセン研究所(FNI) 所長
- パネルディスカッション
モデレーター：Lawson Brigham アラスカ大学教授、
北川 弘光 海洋政策研究財団特別研究員
パネラー：Vsevolod Peresykin, Vyacheslav V. Ruksha, Felix Tschudi, Leiv Lunde、
高坂哲郎 日本経済新聞国際部編集委員

(2) 札幌セミナー

- 北極海航路に寄せる期待
葛西 悟 北海道 総合政策部 交通政策局 物流港湾室長
- 北極海における将来の日本の海上安全と環境保護に対する貢献
北川弘光 (Lawson Brigham アラスカ大学 教授 代理)

- これからの北極海海上輸送システム（技術的側面から）
Vsevolod Peresykin ロシア中央船舶海洋設計研究所(CNIIMF) 所長
- 北極海航路航行の現状と将来
Vyacheslav V. Ruksha ロシア原子力船公社(Rosatomflot) 社長
- 北極海航路の適正かつ持続的な利用に必要な8つの要素
Leiv Lunde フリチョフナンセン研究所(FNI) 所長
- 北方物流へのチャレンジ；北極海航路の啓開が示唆するもの
Felix Tschudi チュディ海運 社長、Center for High North Logistics (CHNL) 会長
- 北極海の海運と物流に関する知識共有
Björn Gunnarsson Center for High North Logistics (CHNL) 所長

以下に講演者について略記する。

- ① ロシア中央船舶海洋設計研究所(CNIIMF)ペレシプキン所長は、長く砕氷船設計および氷海の航行分野の研究に従事し、INSROP 事業でもロシア側の中心として参画した人物である。
- ② Rosatomflot のルクシャ社長は、自身も原子力砕氷船の乗員としての業務経験をもち、近年の北極海航路輸送の拡大に尽くしてきた人物である。
- ③ Tschudi Group 会長のチュディ氏は、CHNL の代表を務めるとともに、2010 年に行われた NSR を通じた鉄鉱石輸送プロジェクトを推進した人物である。
- ④ ルンデ氏は、ノルウェー外務省にてエネルギー分野および気候変動分野の業務を経たのち、2012 年よりフリチョフナンセン研究所(FNI) 所長に就いたところである。
- ⑤ ローソン・ブリガム氏は、米国の米国沿岸警備隊 USCG にて砕氷船船長を経験したのち、氷海の海事分野の研究を広い範囲で展開し、北極評議会による研究プロジェクト AMSA の委員長を務めた。
- ⑥ 高坂氏は、日本経済新聞社にて国際部・政治部・証券部、およびウィーン支局長を経て、2011 年より国際部編集員を務めている。
- ⑦ ビョルン・グナルソン氏は、アイスランド大学、アクレイリ大学において環境及び資源分野の研究・教育、および再生可能エネルギー大学院の学長(アクレイリ)を経て現職。
- ⑧ 北川弘光氏は、運輸省船舶技術研究所にて、前述の INSROP 事業の企画・調整役を担うとともに、科学技術面を主導して事業を推進した。またロシアとの海事分野での研究の橋渡しを長年務めてきた。北海道大学工学部教授をへて、現在は海洋政策研究財団特別研究員として活動中である。

5.2 北極海航路の持続的利用に向けた国際セミナー講演概要

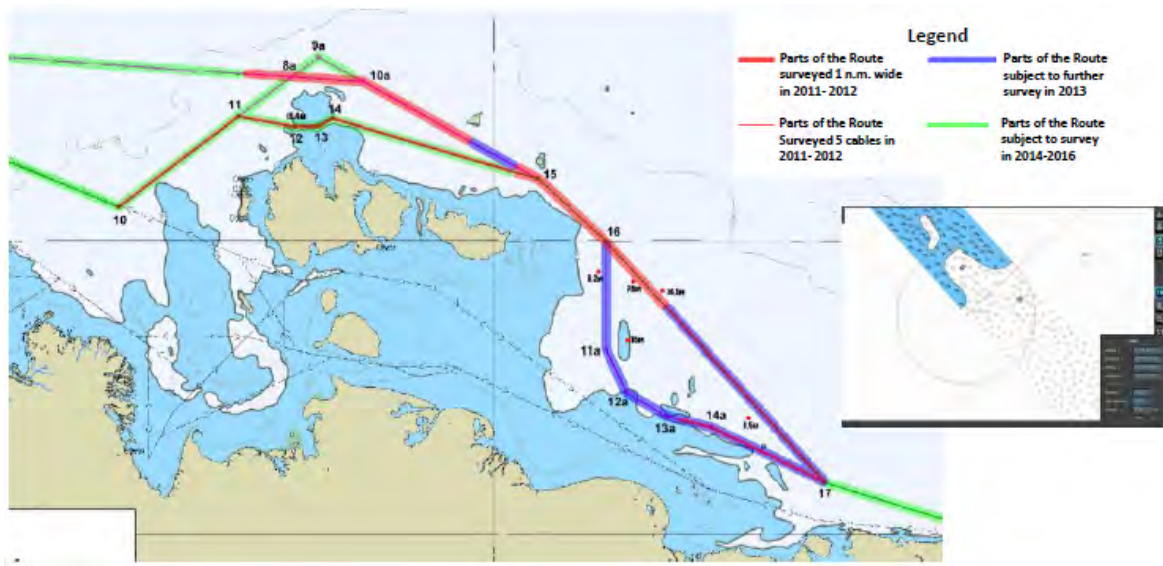
(1) これからの北極海海上輸送システム（技術的側面から）

Vsevolod Peresykin ロシア中央船舶海洋設計研究所 (CNIIMF) 所長

1995年のカンダラクシャによる実証航海、1998年のARCDEVプロジェクトによるカラ海の試験航海などを経て、今日では北極海航路を通じて多くのトランジット輸送が実施されるようになった。ロシアでは、SCF Sovcomflot社を中心に、多くのアイスクラス船を保有している。Sovcomflot社はアイスクラス船保有数において世界最大であり、氷海における原油・LNG輸送に多くの実績を持っている。北極海航路輸送においても多くの実績を有するとともに、トランジット航行での最速記録樹立、水深の浅いサニコフ海峡を通らずにノボシビルスク島北側を通るルートを開拓(Vladimir Tikhonov, 2011)、LNGタンカー"Ob River"運航における調査などを実施した。

ICE CLASS	QUANTITY	DEADWEIGHT, T	GT
TOTAL, mln. tons	210	3 507.6	2 507.0
Foreign flag			
Arc4	30	1 424 689	830 322
Arc5	10	266 870	173 467
Arc6	2	139 883	99 732
Arc7	-	-	-
Total, mln. tons	42	1 831.4	1 103.5
Russian flag			
Arc4	107	935 984	745 419
Arc5	47	322 119	324 654
Arc6	3	218 166	148 791
Arc7	11	199 894	184 609
Total, mln. tons	168	1 676.2	1 403.5

2013年にはロシア北極海航路法が改正され、新しい規則のもとで運航が行われた。北極海の航行規則に関しては、CNIIMFはIMOによるPolar Codeの検討にも参加している。また、以前からロシア国内規則として適用されてきたIce Certificateも重要なツールであり、CNIIMFでは新法のもとでも、その重要性と活用を勧めている。ロシア政府は、北極海航路ルートにおける運航支援のために、GLONASS/GPSによるサービス、沿岸の支援基地の整備と強化、航路測量の実施などを展開しているところである。



CNIIMF では、現在進められているヤマルLNGで使用されるLNGタンカーの設計にも関わっており、バウ形状、推進機関、輸送コスト比較などを実施した。ロシア政府による北極海航路輸送の将来予測を紹介する。2020-2025年次には、ロシア発西航 32.7 百万トン（通年）、同東航 22.7 百万トン（夏-秋）、トランジット 3.25 百万トン（夏-秋）など合わせて 62.3 百万トンになるとしている。

TO THE WEST	TO THE EAST	TRANSIT	CABOTAGE	TOTAL
32.7	22.7	3.25	3.65	62.3

from West to East	from East to West
Non-ferrous metals (Norilsk)	Coal (Alaska)
Crude oil and oil products (Vitino, Murmansk, Archangelsk, ports of Ob Bay)	Fish (Petropavlovsk-Kamchatsky, Hokkaido)
Iron ore concentrate (Murmansk, Kirkenes)	Light oil (S.Korea)
Gas condensate (Ust-Luga, Vitino, Sabetta)	Carbamide (China)
LNG (Sabetta, Hammerfest)	Copper-nickel ore (Petropavlovsk-Kamchatsky)
Fertilizers (Murmansk)	Electronics, car parts (Japan, S.Korea, Cnina)
Seasonal containerized cargos (Murmansk, Archangelsk, Western Europe)	Seasonal containerized cargos (China, S.Korea, Japan)

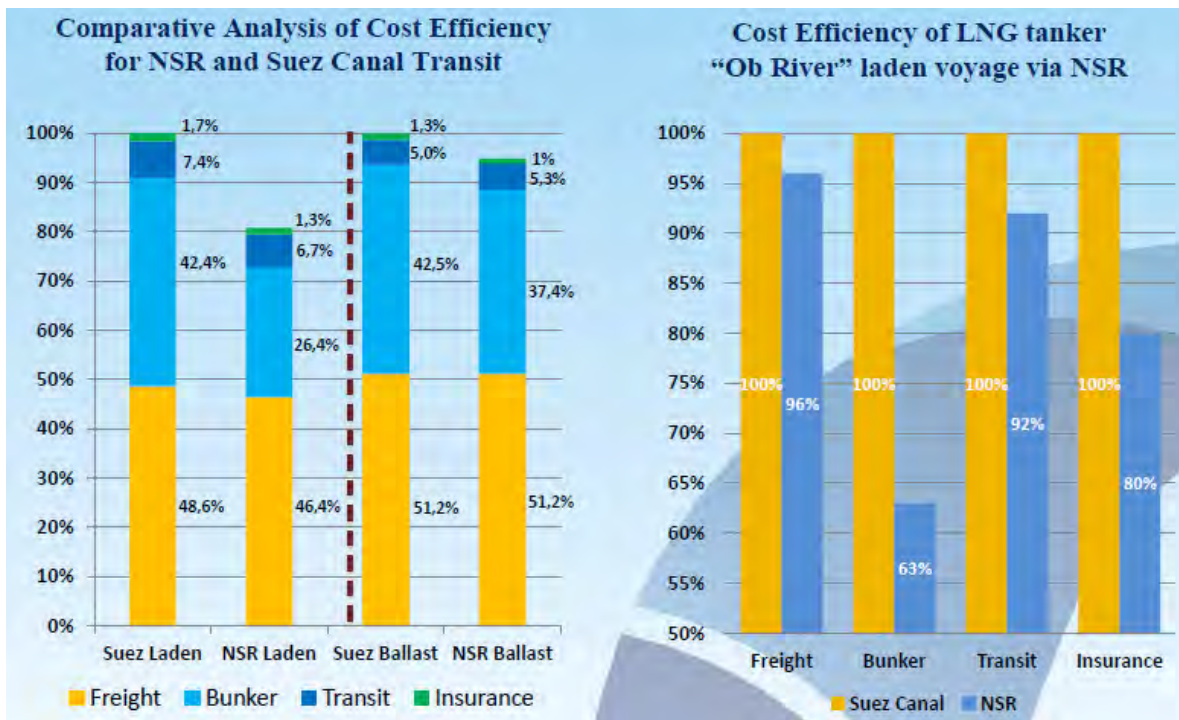
(2) 北極海航路航行の現状と将来

Vyacheslav V. Ruksha ロシア原子力船公社 (Rosatomflot) 社長

北極海航路は欧州とアジア間の重要な輸送路になり得るものである。初めての非ロシア船籍船による航海は2009年に mv Beluga Fraternity と mv Beluga Foresight によって実施された。2010年には4航海の貨物船によるトランジット航海に加え、12月後半にはスウェーデンの砕氷船 Tor Viking II が原子力砕氷船のエスコートを受けてトランジット航行した。2011年には、初めての Vladimir Tikhonov が平均速度 14.0kn でトランジット航行した。この航海は初めてのスエズマックス船による航海で、喫水制限のあるサニコフ海峡ではなく、ノボシビルスク島の北側を通る新しいルートが開拓された。トランジット航行船舶の増大に伴い、2012年には、原子力砕氷船が複数の貨物船を同時にエスコートするキャラバン航海が実施された。

また2012年には、原子力砕氷船エスコートのもと、史上初めて LNG タンカーがトランジット航行し、LNG を日本に輸送した。このプロジェクトでは、LNG 輸送コストに関する比較が Gazprom によって行われ、北極海航路輸送のスエズ運河ルートに対する優位性が確認されている。

Rosatomflot では北極海航路だけでなく、フィンランド湾および白海でも航行支援業務を実施している。



北極海航路輸送の将来貨物量推計値を紹介する。トランジット貨物量は1,500万ト、ヤマル半島からのLNGが年間1,500万ト、およびロシア北極圏で生産された原油が1,000万ト発生するであろう。東向き貨物ではLNG、鉄鉱石、ガスコンデンセートなど、西向き貨物では石炭(北米)、水産物(カムチャツカ、北海道など)、軽油等の石油製品(韓国)および季節貨物(コンテナ)などが期待される。2012年におけるスエズ運河の通航貨物量739.9百万トに対して、上記推計値は約5%に相当する。

新しい北極海航路法では、海氷条件によっては1A未満のアイスクラス船も航行が許可されるようになった。一方、近年の北極海航路の海氷状況をみると、8月中旬までは海氷が残るが、9月にはほとんどの航路海域で海氷が無くなり、11月には再びほとんどの航路海域で海氷が出現する。

原子力砕氷船の更新状況について、Rossiya は 2013 年で船齢を迎える。Taymir も 2013 年、Vaygach は 2014 年一杯で船齢を迎えるが、どちらも 175,000 時間まで延命され、それぞれ 2018 年および 2019 年まで就航する計画である。新型船は 2018 年に 1 隻目、2020 年に 2 隻目、2022 年に 3 隻目が就航する計画である。



(3) 北方物流へのチャレンジ；北極海航路の啓開が示唆するもの

Felix Tschudi チュディ海運社長、Center for High North Logistics (CHNL) 会長

チュディグループは 1883 年に設立され、バルト海、ロシア、CIS 各国間の海上輸送を行ってきた。現在は、多目的コンテナ船によるプロジェクト貨物の輸送、タンカー、バルカー、多目的貨物船による貨物輸送、オーシャンタグによる曳航業務、定期コンテナ輸送、フォワーダー業務、鉄道輸送等を展開している。

北極圏には多くの天然資源が埋蔵されている。今日、海水勢力減退や資源価格高騰、技術開発の進展などを背景に、北極圏の厳しい環境条件のもとでの資源開発が進みつつある。輸送はその重要な鍵である。チュディでは、キルケネス近郊のシドバラングル鉱山を再開発し、鉄鉱石生産を開始した。同時に、2010 年、北極海航路によるバルク貨物輸送を主題とした CHNL によるワークショップをキルケネスで開催し、非ロシア籍のバルク船による史上初めての北極海航路トランジット輸送プロジェクトをスタートさせた。これが契機となり、北極海航路によるトランジット輸送は大幅に増大、貨物の種別もドライバルク、液体バルクに加え、LNG も運ばれるようになった。北極海航路を利用することにより、スエズ運河ルートに比べて、燃料費だけでなく排出ガスをも大幅に削減することができる。

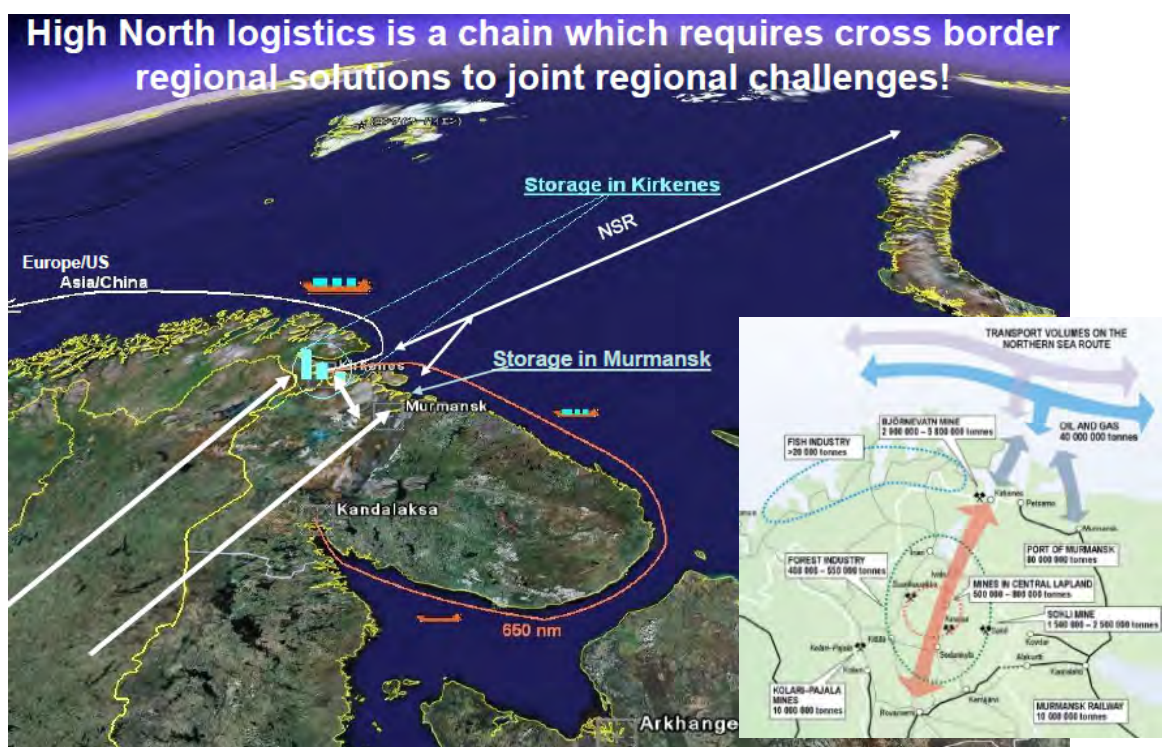
とはいえスエズ運河やパナマ運河の通航量に比べると、北極海航路の貨物量はほんのわずかである。これは、今日のコンテナ輸送システムの複雑性・多様性や、産地が限られるバルク貨物の一般輸送ルートの特性による。また、大西洋-太平洋向けのバルク船タイムチャーター料に比べ、太平洋-大西洋向けは極めて安いレートになっており、船主にとって問題になっている。もし西に向う方向の貨物があれば、

非常に有益なことになる。この意味で、北極海航路上のロシア北極海沿岸港湾が頑張れば面白い。また、北極海航路輸送は、日本にとっても造船、船社、産業界にとって新たな事業機会をもたらさうだろう。

短期的な懸念としては、輸送価格市場の変動、欧州市場とアジア市場での価格差、輸送日数の不確実性や喫水制限、アイスクラス船の数、燃料価格・保険料・砕氷船支援料などである。一方、北極海航路の発展を阻む要因として、IMO Polar Code において、北極海航路に対する不安から過度の規制が導入される場合や、ロシアにおける砕氷船支援料の値上げや航行規則の硬直的な運用などが考えられる。また、北極海におけるリスクの適切な理解が重要である。行き過ぎた環境保護に走るのではなく、科学的に正しくリスクを把握し、包括的でバランスのとれた管理を確立することが求められている。また緊急時への対応計画・準備においては、原子力砕氷船による支援、SAR システムの強化とともに、沿岸地域社会における経済活動の発展も、非常時に対する備えを強化するであろう。

こうして北極海航路は、年間3-5ヶ月の間、スエズ運河やケープルートに対する安全で安定的な代替航路となることが当面の目標であろう。中期的には、北極海航路によってシベリア地域やアラスカ地域が輸送によって活性化しう。バランデイはその一例である。また、ノルウェー沖でのロシア・ノルウェー間の ship to ship 積替えによってガスコンデンセートがタイに輸送されたように、このシステムはアジアにとっても北極海航路利用の機会を拡大するだろう。

キルケネスにあるチュディの基地では、鉱山から出た石材をヤマルプロジェクトに供給しているほか、大型プロジェクト貨物の輸送拠点、および海洋開発プラットフォームの準備基地として活動している。



High North Logistics のコンセプトは、ロシアとノルウェー間の効果的な協力と相互補完を通じて、バレンツ地域での冬期の海氷に阻まれない輸送ネットワークを提供しようとするものである。そのハブとして、キルケネス港の開発計画を持っている。キルケネスはLNG消費地としても可能性をもつ。コンテナ形式でのLNG輸送が効果的である。スカンジナビアも同様である。

(4) 北極海航路の適正かつ持続的な利用に必要な 8 つの要素

Leiv Lunde フリチョフナンセン研究所(FNI) 所長

北極海航路の利点は、既往ルートのコックポイント問題、速さ、燃料消費量および輸送コスト削減である。2012年には初めてLNGが輸送された。これはロシア企業にチャーターされた氷海LNGタンカーで、ノルウェー産のLNGを、日本の企業に輸送したものである。中国では、北極海航路のトランジット輸送だけでなく、上海～クラスノヤルスク～ドゥディンカまでの鉄道輸送とドゥディンカからの北極海航路輸送というシナリオについても検討している。



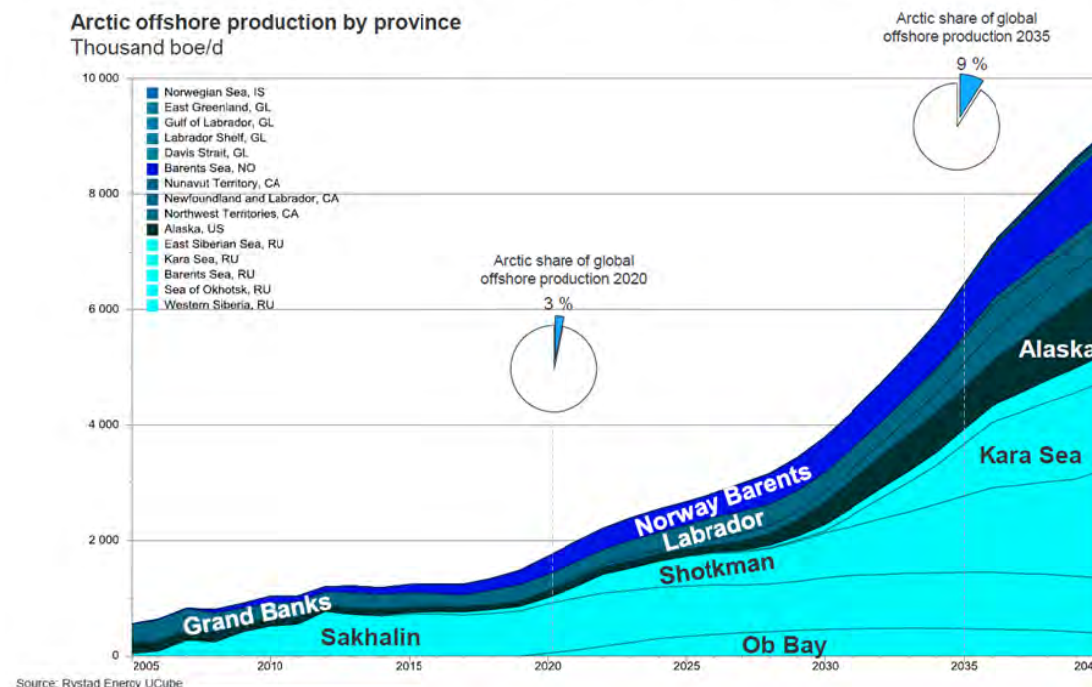
一方北極海航路においては、いくつかの制限がある。沿岸の港湾インフラは老朽化しているとともに、水深も不十分で、かつその他の施設も貧弱である。また、航行支援施設や海図が不十分である。捜索・救難の能力は低い。海氷状況は予測が難しい。また今後の原子力砕氷船の能力にも懸念がある。以下に、北極海航路の発展に関わる 8 つの要素について述べる。

- 1) 海氷は今後いつ、どの程度まで融解するのか：将来予測には大きな不確定要素がある。ただし、砕氷船の必要性は変わらないだろう。
- 2) 北極は国際的な緊張度合が低く概ね安定化している：境界に関する係争はあるものの、衝突に至る可能性のあるものではない。たとえばノルウェー・ロシア間の領海係争は長年の外交努力によって解決された。
- 3) 北極圏におけるガバナンスは、現在進行形で形成されつつある段階:UNCLOS の枠を超えて、国際的、および地域間でのガバナンスが形成されつつある。北極評議会は非公式のソフトローとしての組織であるが、その存在感は拡大中である。S&R や油流出対策に関する規定が形成されている。ロシア・ノルウェーが先導する官民の協力体制が強く望まれ、その枠組みの中に中国やアジアが追随するべきであろう。

欧州・ロシア・アジアの協力：北極海航路維持には継続的な投資が必要。ロシアの北極での資源開発には北極海航路が不可欠。政府と企業間、およびノルウェー・ロシア・中国・韓国・日本間の協力体制が極めて重要である。

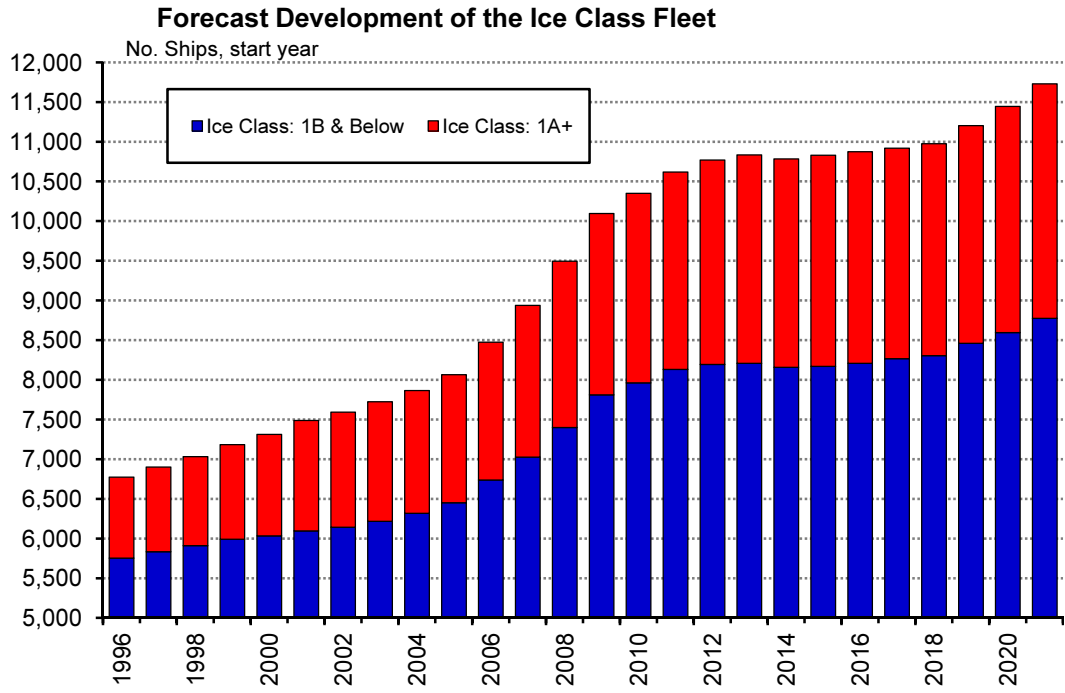
- 4) 北極はエネルギー資源地域か：北極圏の資源開発は50年前に始まったが、長年の間停滞してきた。しかし2010年、新しい時代が始まろうとしている可能性が見え、ノルウェーにおいては積極的な見通しである。北極の資源はロシアだけにあるのではない。

Arctic offshore production expected to grow past 2020, step up after 2030



- 5) プーチン大統領は北極開発を推進するか：ロシアは北極案件の安定、海上輸送・資源開発への北極海の解放を推進している。しかしインフラは貧弱で老朽化しており、更新が急務である。多くの港湾や地方の居住地が閉鎖され、航行支援インフラは危機的状況、原子力砕氷船は老朽化するも更新は不透明である。こうした中、多数のライセンスが発給されたものの、そこから生産に至るには長い期間が必要である。ヤマル LNG は強力な支援のもと、実現に邁進している。
- 6) アジアのエネルギー需要拡大：中国・韓国・日本の LNG 調達戦略は北極海の資源開発の鍵となる。
- 7) アジアは北極を支配するのか：北極評議会へのアジア各国の参加、エネルギー、鉱物資源、海上輸送、観光、科学、漁業を通じて、中国およびアジアが影響を及ぼす。中国は北極海航路への投資、アイスクラス船への投資を拡大する傾向である。
- 8) 現在の商船は北極の条件に適合できるか：すでに多数のアイスクラス船は存在する。しかし北極海の航行には砕氷船の支援が必要である。市場の動向によっては、北極海に適合した新しい世代のアイスクラス商船の需要を拡大する可能性がある。中国・韓国（そして日本？）は、投資、建造にすぐに入れるであろう。欧州・米国はどうか？ また、新たなアイスクラス船のコストはどうか？

286 隻のアイスクラス船がすでにオーダーブックにのっており、これは全体の 4.7% を占めている。



Source: Clarkson Research, April 2013

以上

この報告書は、ポートルースの交付金による日本財団の助成金を受けて作成しました。

平成25年度 北極海航路の持続的な利用に向けた環境保全に関する
調査研究報告書

平成26年3月発行

発行 海洋政策研究財団（一般財団法人シップ・アクト・オーシャン財団）

〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-4-10 虎ノ門35森ビル
TEL 03-5404-6828 FAX 03-5404-6800
<http://www.sof.or.jp> E-mail : info@sof.or.jp

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。 ISBN978-4-88404-313-1