

北極海航路

東アジアとヨーロッパを結ぶ
最短の海の道

シップ・アンド・オーシャン財団

北極海航路

東アジアとヨーロッパを結ぶ
最短の海の道

シップ・アンド・オーシャン財団



あいさつ



国際北極海航路計画 運営委員会
委員長 笹川陽平

「北極海」という言葉から何を連想されるでしょうか。氷に覆われた海、その上をさまよう白熊、夜空を彩る神秘的なオーロラ。いずれにしても、人間活動が感じられない、美しくも厳しい大自然ではないでしょうか。

この北極海を真上から見下ろすと、北極海はアメリカ大陸、ユーラシア大陸およびグリーンランドに囲まれた閉鎖的な海域であり、この北極海を挟んでロシアとアメリカが向かい合っていることが分かります。このため、冷戦の時代には北極海は戦略上極めて重要な位置を占め、特にロシア側の海域は外国に対して完全に閉ざされた海域でありました。

この北極海が国際的に開放されたのは、1987年にゴルバチョフ書記長が北極海の国際化宣言をして以降のことです。今や北極海はアジアとヨーロッパを隔てる障壁ではなく、アジアとヨーロッパを結ぶ最短のシーレーンといえます。

今から8年程前に当時の駐日ノルウェー大使がお見えになり、「北極海航路の通年航行の可能性についてロシアと共同で研究を実施したいが、日本も是非参加して頂きたい」旨の要請がありました。ノルウェー大使のお話を伺って、「ロシアが長年にわたって蓄積してきた貴重な北極海の自然や社会環境に関するデータに触れ、更なる調査研究へと発展させるための基礎と人脈を構築し、日露の文化交流を深める上で、正しく時機を得たプロジェクトである」と考え、全面的に協力することにしました。

これを受けて、ノルウェーのフリチョフ・ナンセン研究所、ロシアの中央船舶海洋設計研究所および日本のシップ・アンド・オーシャン財団との国際共同プロジェクトとして、1993年から6年間にわたり国際北極海航路計画が実施されました。

幸いにして、14カ国、390人にのぼる世界の第一線の研究者の協力により、北極海航路に関わる自然、社会、経済、法制などのほとんど全ての分野を網羅した研究成果が167編の報告書にとりまとめられ、20世紀最後を飾る総括的な研究成果として高く評価されている。

ます。このプロジェクトでは、北極圏についての暦年資料や統計だけでなく、最新の情報を随時取り入れられる、世界で唯一の北極海に関する地理情報システムが構築されましたが、これは今後の学術的研究ばかりでなく、社会的・経済的な問題での判断指針を得る際の情報バンクとしての活用が期待されます。また、本プロジェクトを通じてロシアとの幅広い信頼関係を築くことができたことも、政府間外交を支援する民間外交の実を挙げ得たものと考えています。

これらの研究の結果、北極海航路は夏季はもちろんのこと、冬季でも砕氷船の支援があれば技術的に通行可能であることが明らかになりました。また、商業航路として実用化するため今後取り組むべき課題が示され、ロシア側も昨年ノルウェーで開催された「北極海航路に関する国際ユーザー会議」において積極的に対応することを表明しました。

この北極海航路が実用化されれば、東アジアとヨーロッパ間ではスエズ運河を経由する航路に比べて距離が約半分と短くなるためその経済的効果は大きく、また南北2つの航路を持つことになり、安全保障の面からも大変意義深いものと考えられます。更に、北極海海域は天然資源が豊富に存在する所でもあり、それらが市場にもたらされることにより世界の経済にも貢献するものと思われま

す。本書は、この国際北極海航路計画で得られた貴重な成果を中心に、北極海における実船航海試験の結果などをとりまとめたものであり、北極海航路について勉強しようとする学生はもちろんのこと、海運や貿易などの関係者あるいは政策決定者にとっても参考になるものと思われま

す。終わりに、国際北極海航路計画に携われた各国の関係者の方々に対して、また国内においてご指導ご協力を頂きました北極海航路開発調査研究委員会の藤田譲委員長（東京大学名誉教授）をはじめとする委員各位、特に本書の執筆を担当されました北川弘光博士（北海道大学教授）ほか執筆者各位に対して厚くお礼申し上げます。

平成 12 年 3 月 1 日

目 次

あいさつ	
1. まえがき	1
2. 北極海航路の背景	5
2.1 歴史的背景	5
2.1.1 スウェーデン人ノルデンショルドの航海まで	5
2.1.2 ノルデンショルドの航海以降ロシア革命まで	11
2.1.3 ロシア革命以後	12
2.2 政治・社会的背景	14
2.3 経済・海運的背景	15
2.4 技術的背景	17
3. 北極海航路の自然条件	19
3.1 北極の自然環境	19
3.1.1 北極海の地理	19
3.1.2 白夜・極夜と北極海の気温	20
3.1.3 オーロラと磁気嵐	21
3.1.4 北極オゾンホールと有害紫外線増加	23
3.1.5 北極気団と低気圧の進入	24
3.1.6 北極層雲とアークティックヘイズ	25
3.1.7 アルベドの季節変化	26
3.1.8 北半球の氷期と氷床	27
3.1.9 永久凍土	28
3.1.10 亜寒帯針葉樹林	29
3.1.11 地下資源	30
3.2 北極海の特徴	31
3.2.1 北極海に流れ込む大河	31
3.2.2 北極海の海洋構造と深層水形成	32
3.2.3 海氷	33
3.2.4 北半球の海氷域	34
3.2.5 北極海の流れと氷の漂流	35
3.3 北極海航路の自然条件	36
3.3.1 地理的環境	36
3.3.2 低塩分水	37
3.3.3 海氷状況	38
3.3.4 降水と積雪	40
3.3.5 パドルの特徴	41
3.3.6 氷丘脈	42
3.3.7 海流と潮流	43
3.3.8 海洋生物	44
4. 北極海航路の運航技術	45
4.1 氷海船舶	45
4.1.1 氷海船舶の満たすべき要件	45
4.1.2 ロシアにおける氷海船舶	52
4.1.3 氷海船舶に関わる研究・開発	57
4.2 航路及び運航支援	66
4.2.1 航路の特徴及び選定	66
4.2.2 運航支援	73
4.3 運航手続き	82

4.3.1	運用組織	82
4.3.2	通航の申請手続き	83
4.3.3	船舶の技術的な要件	84
4.3.4	通航に対する要求条件	85
4.3.5	通航の管制と航路選定	86
4.3.6	国際法から見た評価	87
4.3.7	まとめ	90
4.4	経済性評価	91
4.4.1	輸送量の変遷	91
4.4.2	通航状況	92
4.4.3	北極海航路へシフト可能なトランジット貨物	93
4.4.4	コストシミュレーション	94
4.5	環境影響と保全	112
4.5.1	北極海の海洋構造	112
4.5.2	北極海の人類・生物環境	113
4.5.3	北極海航路の活動と環境因子	116
4.5.4	環境影響評価	118
4.5.5	環境関連法規	124
4.5.6	まとめ	128
4.6	地理情報システム	129
4.6.1	はじめに	129
4.6.2	システムの特徴と構成	129
4.6.3	データベースの内容	131
4.6.4	応用例	133
5.	北極海航路実船航海試験の実施とその評価	135
5.1	はじめに	135
5.2	実験計画	135
5.3	実験結果	137
5.4	まとめ	146
6.	北極海航路の課題	147
6.1	関連技術	147
6.2	通航システム	149
6.3	経済・社会・政治体制	149
6.3.1	経済	149
6.3.2	社会・政治・法制	152
6.4	保険	155
6.5	自然・生物環境	156
6.6	まとめ	158
7.	北極海航路の今後	159
8.	あとがき	163
	参考文献	165
	資料	171
	索引	239

1. まえがき

北極海を經由して欧州と極東を結ぶ航路の啓開の試みは、かつての欧州列強諸国が極東貿易への関心を深めていた15世紀の大航海時代から行われてきている。その後、航路啓開への道は、海生哺乳類の捕獲、貴金属など天然資源の探査や探検など極域での様々な活動によって徐々に開かれ、北極海の地理的な問題の認識や自然条件などの理解も次第に深められてきた。

欧州と極東を結ぶ代表的な航路は、マラッカ海峡を通過してスエズ運河を經由する「南回り航路」であるが、ベーリング海峡、ロシアの北方沿岸、バレンツ海、北海を通過する「北極海航路」は南回り航路のわずか60%程度の航程であるため、航路の環境がいかに厳しくとも商業航路としての経済的効果は極めて大きく、その魅力は捨て難いものがあり航路啓開の試みは現在まで続けられてきた。

しかし、北極海の自然は過酷であり、優れた造船技術と航行支援システムがなければ商業航路としての利用は難しく、近年の造船技術並びに航法の日覚しい進歩を待たねばならなかった。すなわち、北極海航路（Northern Sea Route：NSR）を航行するためには、先ず北極海の過酷な自然環境を把握することが必要であり、次に氷海を航行する船舶の設計・建造技術、人工衛星を主体とする氷況等の情報を提供するシステム、並びに技術・行政・法制面での航行支援システムの確立が必要となる。

諸外国に対して長く閉ざされた海域であった北極海は、ロシアのペレストロイカを契機として国際航行海域としての開放が行われ、また関係技術開発の日覚しい進展を見た現在、NSRは極東と欧州を最短距離で結ぶ商業航路として啓開の時を迎える準備が初めて整ったと言える。

環境問題が深刻さを増し、持続的社會像が提言される現在にあってもなお、膨大なエネルギー需要を満たすため、新たなエネルギー資源を求めて、開発の手は次第に開発条件の劣悪な地域、極域へと及びつつある。特に、ロシア極域に賦存するエネルギー資源への関心は一層高まり、既に、バレンツ海及びサハリン周辺での石油並びに天然ガスの開発が進められている。

このような極域を巡る様々な動きに配慮しつつ、今後の技術的、経済的、政治的状況を念頭に置いて、21世紀における我が国のエネルギー政策及び海運動向の検討に資するため、様々な視点から商業航路としてのNSRの是非を問い、航路啓開への要件を明らかにすることが急務となった。

そこで、シップ・アンド・オーシャン財団では、日本財団の支援を得て、1993年（平成5年）から、ノルウェーのフリチョフ・ナンセン研究所（The Fridtjof Nansen Institute：FNI）、及びロシアの中央船舶海洋設計研究所（Central Marine Research and Design Institute：CNIMF）の3カ国の機関を中核とする国際プロジェクトである国際北極海航路計画（International Northern Sea Route Programme：INSROP）に着手した。

INSROPには、3カ国の意見を調整し基本方針を決定するために、日本財団笹川陽平理事長を委員長とする「運営委員会」（Steering Committee of Sponsors：SCS）を設け、また、併せて実地的な研究内容、課題を調整し、研究計画を調整、立案するための「共同研究委員会」（Joint

Research Committee : JRC) が設けられた。

また、シップ・アンド・オーシャン財団では、国内に藤田譲東京大学名誉教授を委員長とする、造船、海運、気象、エネルギー、極域研究など関係有識者による「北極海航路開発調査研究委員会」を設け、国際協力事業である INSROP を推進するとともに、我が国の社会的、技術的現状において、INSROP の成果を我が国が最も効率よく吸収し活用し得るよう、我が国独自の調査研究事業を JANSROP と名付けて実施してきた。

JANSROP では、「氷海用船舶の最適船型の研究開発」、「氷海用プロペラの特性解析及び氷との干渉の研究」、「氷盤と波浪の干渉の研究」、「実氷海域データの分析」などが行われた。これらの研究成果を実際のデータと比較し、総合的に北極海航路を把握するために、1995年8月にロシアのムルマンスク海運会社 (Murmansk Shipping Co.) 所属の砕氷貨物船カンダラクシャ号 (M/V Kandalaksha) により、日本、ロシア、カナダの研究者からなる NSR 実船航海試験を行い、安全かつ効率的な氷海航行を行うための基礎データを得た。また、短期間にて横浜・キルキネス (ノルウェー) 間を航行し、航路の効用を確認するとともに、北極海の自然条件を実際に体験し理解を深めることができた。

INSROP の詳細に関しては「巻末資料1」で述べるが、概要は次のとおりである。

INSROP は、1993年より1995年までの Phase I 計画、及び1997、1998の二年にわたる Phase II 計画からなる。また、中間期である1996年には、中立的な外部有識者による評価委員会を設けて、Phase I の成果について検討、評価を行い、Phase II の計画の必要性、研究方針、課題優先度等についての諮問を仰ぎ、Phase II の計画内容を策定した。

Phase I では、研究内容を次の4つのサブ・プログラムに区分し、共同研究委員会が検討、決定した個々の課題を各国の専門家に依頼し、個別的な調査研究が実施された。

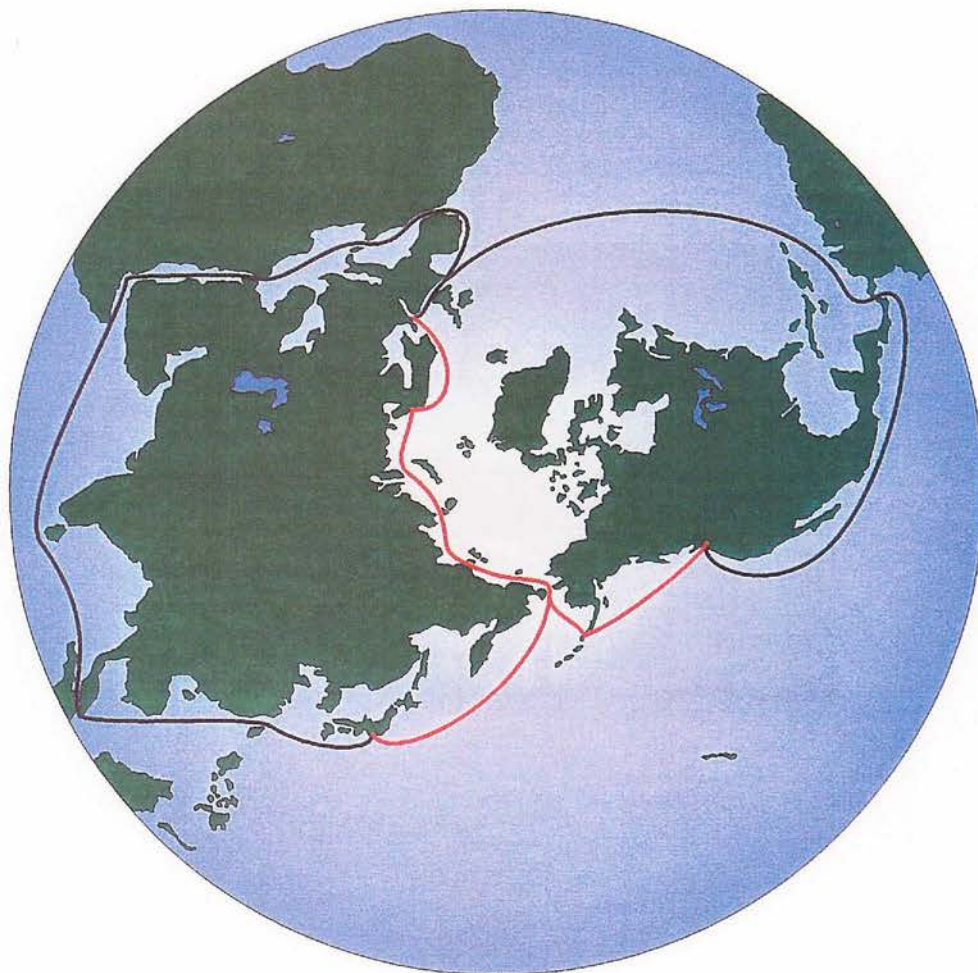
- サブ・プログラム I : 北極海の自然条件と氷海航行技術
- サブ・プログラム II : 北極海航路啓開が自然、生態系及び社会環境に及ぼす影響
- サブ・プログラム III : 北極海航路の経済性評価
- サブ・プログラム IV : 北極海航路啓開に関わる政治的・法制的背景

これらの個別研究課題は、指定された研究期間内に、先ず DISCUSSION PAPER として INSROP 事務局 FNI に提出され、INSROP 関係者以外の専門家によって研究内容が評価・審査され、加筆修正後、審査者によるコメントなどを付して INSROP WORKING PAPER (WP) として公表されている。

Phase II では、Phase I で実施した研究の補足、INSROP で実施した全ての研究成果の統合、北極海の地理情報システム INSROP GIS (Geographic Information System) の構築、NSR 運航シミュレーションによる総合評価などを実施した。中でも、NSR 運航シミュレーションは、我が国が計画し、内外の専門家を集めて実施したものであり、NSR 用船舶の概念設計を行い、この船舶を電算機上で走らせて運航経済性を吟味したものである。ここでは、航路選択、航路沿いの区分区画海域氷況、航行支援体制、貨物・荷動き予測、環境影響、法制等を考慮したシミュレーションが行われ、運航モード、運航採算性等が詳細に検討された。最終的には、Phase I と Phase II を合わせて167編の WP がまとめられた (巻末資料7)。また、INSROP の研究内容を総合的に

取りまとめた Integration Book(WP-167)も刊行され、オランダの出版社から成書として出版された。これらの資料はシップ・アンド・オーシャン財団に保管されている。

本書は、INSROP 及び JANSROP の研究成果に基づいて、NSR の歴史や自然条件、運航技術、今後の課題等について取りまとめたものである。



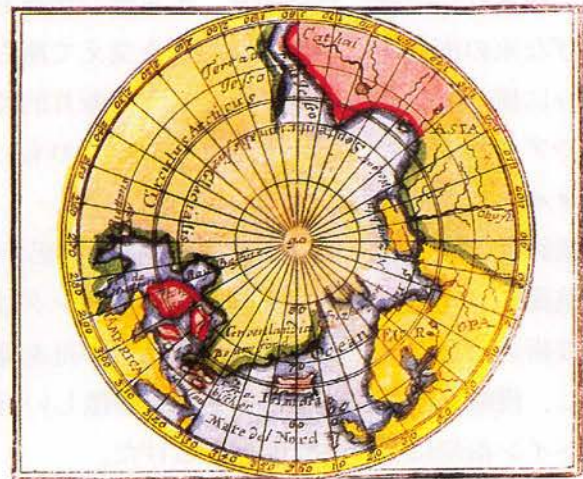
2. 北極海航路の背景

一つの航路の啓開によってもたらされる影響は、全世界的なものであり、経済、社会、法制、更には関係国の政治体制の変革にまで及ぶことを、歴史が教えている。ヴァスコ・ダ・ガマがアフリカ喜望峰を回航して10カ月を超える苦難の長旅の末拓いた海の道が、それ以後、アフリカ、アジアの諸国に激動の数世紀をもたらし、更には欧州諸国に大きな影響を与えたことはよく知られている。小さな地球の問題が喧伝される現在、北極海を回航する新航路啓開は、南方航路やスエズ運河の開通程の大きな影響を持ち得ないとの指摘もあるが、航路周辺の資源開発と併せて長期的には世界の経済地図を書き直す可能性も否定できない。

新しく啓開される商業航路の将来性や影響を検討するには、幅広い観点から関係地域・海域の自然条件と人間社会が関る事象の現在に至るまでの経緯を理解しておくことが必要である。

北極海航路啓開の動機推移

- | | |
|---------|--------------------------|
| ～8世紀 | 水産資源を追って偶発的発見 |
| 9～10世紀 | 物資略奪、支配圏の拡大：
ヴァイキング時代 |
| 10～14世紀 | 水産・毛皮資源探査 |
| 15～18世紀 | 資源・航路探査 |
| 19～20世紀 | 水路調査、資源探査、
防衛・戦略：冷戦時代 |
| 20世紀～ | エネルギー資源探査、航路啓開 |



Die Arctischen Lande.

WErden genant alle die jenigen Lande / so zwischen der Alten und Neuen Welt gegen dem Mitternächtschen Pol ligen, Und ist hier ein stätiger Winter / das Meer auch meist mit Eiß belegen / so daß man mit Schiffen nicht fortkommen kan. Sie genießten meist eines einzigen Tages / so VI. Monat lang / und so lang ist auch die Nacht. Sie seyn berühmt wegen des Wallfisch - und Bären-Fangs / werden getheilet in Spizbergen, Grönland, Eißland, Neu-Zembla, &c. Dasselbsten ist auch anzutreffen die Meer-Enge Davis / die Baffins Bay / und Burttons Bay / diese gegen Abend, die Baffins Bay gegen Mitternacht / der Meer-Busen gegen Morgen des Meer-Busens Hudsons, item die Meer-Enge Frobschers.

Die Länge von Eißland ist 200. Französischer Meilen / und die Breite 100. und mehr. Die vornehmsten Deriber darinnen seyn Skalboit und Holo. Von Flüssen findet sich nichts besonders. An Bergen aber ist der Feuer-spitzende Hecla berühmt. Grönland ist von Henrico Rothaar entdecket worden / gehöret dem König von Denemarck. Neu-Zembla wurd von den Holländern Anno 1596. erfunden / und ist ein blosses Vatterland der Bären.
America.

17世紀末の北極図
(Raurala, 1992)

2.1 歴史的背景

2.1.1 スウェーデン人ノルデンショルドの航海まで

自然、とりわけ人間の営みにおいて、歴史的背景の十分な把握なしには、現在を理解し未来を推測することは難しい。過去の歴史は、長期的に将来を考え予測するナビゲータの役割を担うものである。

先住民の軌跡

北極圏での人類の歴史は、有史前既に森の住人、インヌ (Innu)、アサパスカン・インディアン (dene) や、海辺の狩猟者イヌイト (Inuit) 等の先住民の生活、活動に始まることが、北極圏各所に散見する彼等の遺跡から確認されてい

2. 北極海航路の背景

る。このような先住民の歴史は別としても、北に氷で被われた海があることは、かなり古くから知られ、ギリシャ時代の文献には氷海の記述が見られる。氷海見聞の真偽はともかく、紀元前4、5世紀のギリシャ、ローマの地理学者・天文学者は、地球の形態と気候の寒暖の変化とを勘案して、その論理的推論の帰結として、北に氷の海があると考え、信じていたことが知られている。時代を経るに従い経験的にも北極海氷縁の断片的な情報が徐々に伝えられるようになった。これらの情報は、少なくとも紀元後数世紀に至るまでは、氷の海を求めて意図的、計画的に船を進めたものではなく、人々の未知の領域に対する潜在的な興味はあったとしても、恐らく漂流等の偶然の所産としてもたらされたものと考えられる。ルネッサンスより遥か昔のこの時代、既に北極周辺についてかなり正確な情報が貯えられていたことが、様々な資料、記述からうかがわれ、驚かされるが、その後その多くは忘れ去られ、ルネッサンス以後言わば再発見されることとなる。

西欧社会の関心

7、8世紀になり、欧州を基点とする北極海探検の先鞭を付けたのはアイルランドの僧侶であり、皮舟を操っての航海記が残されている。5～10世紀に行われた僧侶や漁夫による北極海への航海は、残された記録に見る限り、不可解な記述も少なくなく、海洋資源の天国的宝庫の模様や恐ろしげな氷の海の状況が極端な誇張を交えて語られている。ただし、僧侶の中には、知識階級の間のみならずに僅かに伝えられてきた北の国の断片的ではあるが確かな情報を頼りに、ファロウ (Faroe) 島やアイスランドに居住地を開拓したものもいた。

ヴァイキングの活躍

航路啓開の努力主体は、8世紀以後、僧侶からヴァイキングに継承される。本来農民であったが航海術に天賦の才に恵まれたヴァイキングは、当初小船による沿岸航海を旨とした。その後造船技術の改良進歩によって次第に大型の舟を建造、操船するに及んで、航行域は遥か沖合いに拡大し、侵略、略奪、部族の抹消などの激しい行動によって、10世紀の全盛期には、カスピ海からスペイン沿岸にまで、支配域を広げた。

深海ヴァイキングと通称されるノルウェー・ベースのヴァイキングは、後世伝説ともなった荒々しい気質を持ち、その激しい気質故に厳しい海を切り開いて白海沿岸に到達、またアイスランド南部に定住地を開拓し、現在に至るまで彼等の子孫を伝えている。984年、ヴァイキング史上有名なエイリク (Eirik the Red) 率いる一団は、グリーンランドに到達して居住地を構え、その息子エリックソン (Leif Eiriksson) はアメリカ東岸に達し、その地をヴィンランド (Vinland) と名付けたことはよく知られている。カナダ、ニューファンドランドにも、彼らが居住地を築いた遺跡が残さ



19世紀半ばにおける氷山の印象
(Raurala, 1992)

れている。イヌイト等の北極圏先住民と遭遇した最初の欧州人でもあるヴァイキングによる北極海航路啓開への貢献は、測り得ないものがあるが、功罪半ばするとの異論もある。ヴァイキングが殆ど文献記録を残さず、彼等の貴重な航海経験が殆ど後世に継承されなかったこと、極寒の地に僅かに定着していた先住民を根絶させたことも少なくなかったからである。

鯨を追っての探査

14世紀に入ると、ヴァイキングに代わって新しい航路啓開貢献者が現れる。ビスケイ (Biscay) 湾を基地とするバスク人は、鯨を求めて北へ北へと活動の場を広げ、ニューファンドランドを再発見し、霧深きラブラドル沖での操業を行った。次にこの海域に現れたのは、オランダおよび英国の捕鯨業者である。以後しばらく、彼らは、業界生き残りを賭けて、鯨油と鯨髭 (baleen) を大量に獲得し得る豊かな捕鯨漁場を求めて、北の海での熾烈な新漁場発見競争を展開した。その結果として、鯨資源の枯渇と引き換えに、北極海の知識情報は急速に調べられることとなった。

北の海への意図的な航海は、漁労、即ち水産資源を求めることから始まり、やがてこれに海生哺乳動物やトナカイの狩猟が加わり、その量も自活的な段階から、物々交換や交易を前提としたものへ、更には貿易意図を明白にしたものへと次第に拡大した。

大航海時代の航海術

16世紀頃の航海に用いられた主たる航行用器具は、羅針盤 (コンパス) と天測儀 (アストロラーベ) である。経度の決定については、測程線 (ログ・ライン) と自船の推定速度から判断する推測航法による近似値に頼らざるを得ない状況にあった。緯度は、アストロラーベによってかなり正確に求められ、観測に際して一年中の太陽赤緯表があれば、十字桿 (クロス・スタッフ) を用いてさらに正確な値を知ることができた。このような太陽の角度による位置決定は、かなり古くから行なわれ、赤緯表はアラビア人によって算定されていたと言われている。この表は、13世紀半ばカスティールアのアルフォンソ10世賢明王によってキリスト教国に伝えられ、「アルフォンソの表」として知られている。

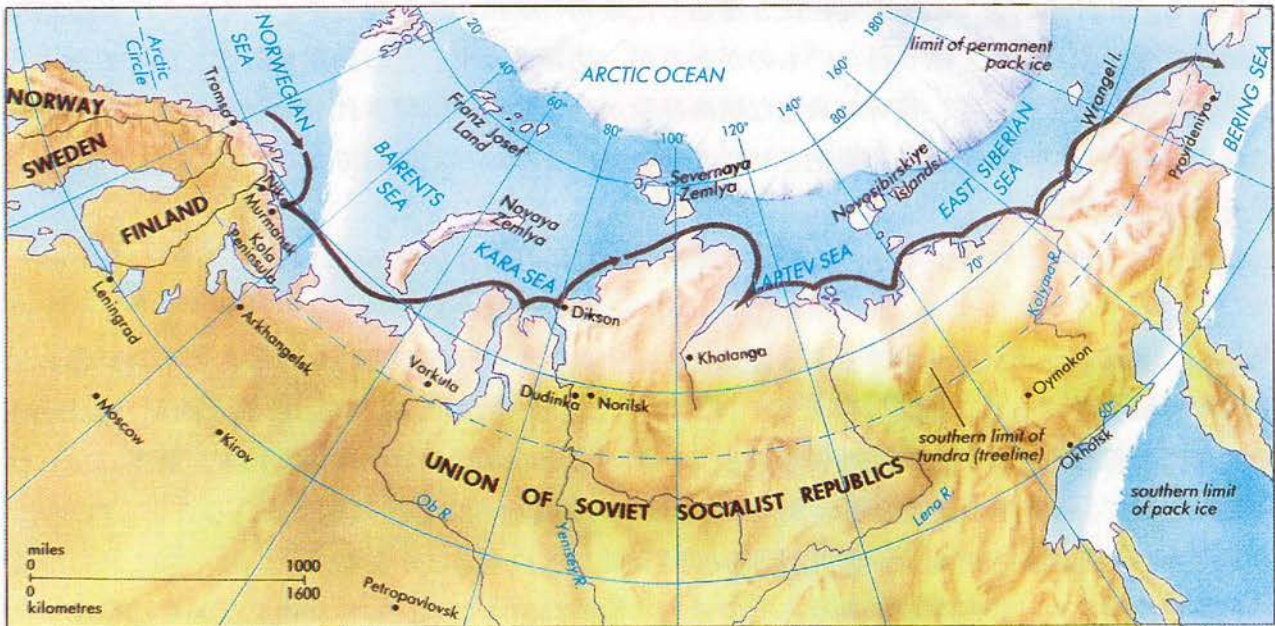
ポルトラーノ海図

現存する最古のものは、1300年代からであるが、その完成度が高いことから、幾世代もの間、描きつづけ修正されつづけられたものと言われている。ノーマル・ポルトラーノと称されるものは、ヴェラム紙に色インクで描かれた美しいものである。地中海、黒海、西ヨーロッパ、北アフリカ大西洋岸線などが描かれているが大陸内陸細部については殆ど白紙状態である。

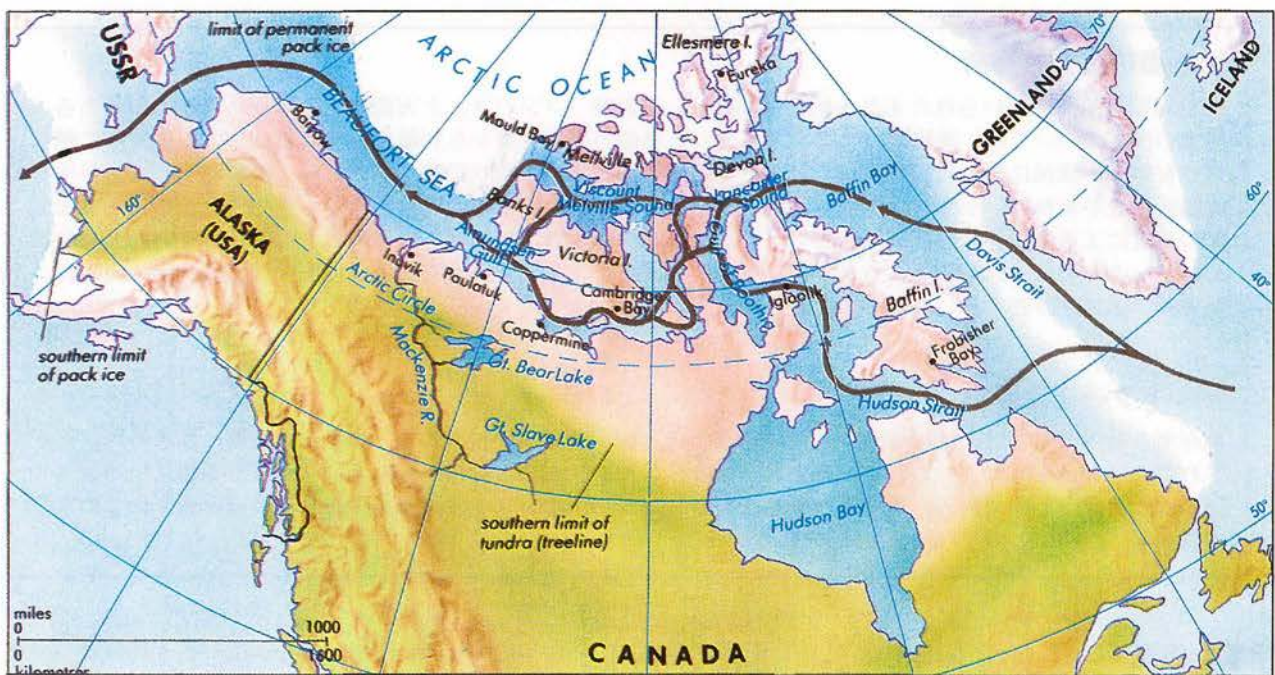
手書き海図

新たな資源を求めて航海海域は拡大し、船体そのものばかりでなく、船上の生活様式にも氷の海への航海を意識した様々な工夫が図られ、航海術にも航海経験に基づく進歩が見られるようになった。この時代に航海実務者によって作られた手書き地図は、大航海時代の地図製作術の基盤となった。手書き地図の作成術については、中世の「ポルトラーノ海図」まで遡る。その起源を遙かな古代に発するポルトラーノ海図は、プトレマイオスの考えや中世権威の象徴でもある「世界全図」の因襲に囚われた初期の印刷地図より、遙かに以前からより正確な情報を船乗りを提供し、北の海の航海者に対しても大きな影響を与えた。

2. 北極海航路の背景



北東航路 (Stonehouse, 1990)



北西航路 (Stonehouse, 1990)

大航海時代

欧州から北の海を巡って東へ、西へ、果てしない資源探査の努力は、次第に新航路啓開への夢として継続、発展し、やがて北東航路 (North East Passage) 及び北西航路 (North West Passage) 啓開を目指す大航海時代を迎えることとなる。

捕鯨業者に刺激され、北極海を巡って中国に至る新航路を探査したのはジョン・カボット (John Cabot) が最初である。ジョン・カボットはブリストル (Bristol) 住まいのヴェネチアの船長で、英国王ヘンリー7世 (Henry VII) の命を受けて英国の新領土を求めて西へ船を進め、ニューファ

ンドランド及びラプラドールを再々発見し、後の英国領カナダの根拠、礎を築いた。1496年のことである。ジョン・カボットの息子セバスチアン・カボット (Sebastian Cabot) は、恐らく父と北極の海の航海を共にしたものと思われるが、父親の意図を継承した。商才に恵まれたセバスチアンは、英国初期植民事業の立役者、ノーサンバーランド (Northumberland) 公の協賛を得、ロンドン指折りの市民達の強力な支援を受けて、冒険商人による共同出資株式会社の設立を唱導、頭取として3隻からなる遠征隊を組織した。この遠征隊は、ウィロビー (Willoughby) 卿を指揮者に迎えて1553年船出した。ウィロビー卿は、ノバヤゼムリヤ島 (Novaya Zemlya) を発見したものの、ラップランドにおいて部下全員と共に凍死するという悲劇の主人公となった。セバスチアンは、1555年にはロンドンの商人と共に、貿易商社ムスコヴィ (Muscovy) 社を創立、ロシアとの交易を促進した。セバスチアン・カボットが新航路啓開の夢を託した若き船長スティーブン・バロー (Stephen Burrough) は、小さなピネス、サーチ・スリフト (Search-thrift) 号により、ノルウェー北端、コラ (Kola) 半島を回航、ノバヤゼムリヤの南を航行してカラ (Kara) 海に達し、シベリア沿岸東航の最初の成功者となった。



航行障害となる難破船の焼却
(Pearsall, 1996)

アルハンゲリスク (Arkhangelsk) からの毛皮、木材資源を求めて、オランダは1578年ロシアとの交易を開始した。更に東への航路を求めたアムステルダム商人達は、1594年当時テルチェリング (Terschelling) の船乗りとして令名を馳せたバレンツ (Willem Barents) に依頼、マーキュリアス (Mercurius) 号による高緯度航路の可能性を探らせた。この時代にはまだ、海氷は陸地周辺のみが存在し極点周辺には広大な開水面があると信じられていたからである。バレンツの最初の航海では、ノバヤゼムリヤ西岸海域が詳細に探査されたものの、第二次航海同様、本来の目的を果たすことができなかった。1596年5月アムステルダムを出港した第三次航海では、ベアー (Bear) 島及びスバルバード (Svalbard) を発見したが、海氷に航路を閉ざされて上陸を余儀なくされ、後、乗組員の大半はオランダへの帰国を果たしたがバレンツ自身は故国を見ることが叶わなかった。

英国の船長ヘンリー・ハドソン (Henry Hudson) は、ムスコヴィ社で経験を積み、1607年5月、80トンのホープウェル (Hopewell) 号により北極海を越えて日本、中国に至る航路を求めて出港した。彼は、北緯73度まで北航し、グリーンランド東沿岸海域を探査、その後北緯81度を越えスバルバード西沿岸を探査した。この海域は、優れた鯨の漁場であるとのハドソンの報告により、数年を経ずして捕鯨業者の天国となった。1608年ハドソンの第二回航海では、極点周辺での開水域の存在を確かめ得る兆候は何一つ得られず、続いて1609年の航海では、オランダ東インド

2. 北極海航路の背景

会社の支援を受けて再度北東航路を目指すものの風に恵まれず、針路を西へ変え一転北西航路啓開を目指した。1610年には再び英国の支援の下、北西航路の探査を行い、ハドソン (Hudson) 海峡を発見、ハドソン (Hudson) 湾で翌1611年までの一冬を過ごした後、帰国の途に就いたが、船員の反乱により、ハドソン親子とハドソンに行動を共にした船員数名は小船への乗船を強いられた。以後小船の行方は判らず消息を絶ったが、その後の捜査活動と共に北西航路啓開史の中でも痛ましい悲劇として特筆される。

北西航路については、ジョン・デービス (John Davis)、ロバート・バイロット (Robert Bylot)、ウィリアム・バフィン (William Baffin)、トーマス・バトン (Thomas Button) などにより航路啓開の努力が続けられたが、カラ海以東の北東航路探査については、商業航路啓開への絶望感から、バレンツ以後は沿岸沿いの渡り歩き航海を行ったロシア交易業者を除けば、見るべき探査努力は見られず、一世紀が経過した。

ベーリングの探査

1725年に至って、ロシア皇帝ピョートル大帝の命令によるシベリア沿岸域の探査、海図の作成が始まった。デンマーク人で帝政ロシア海軍の軍人であったベーリング (Vitus Bering) は大帝の大命を拝して数次に及ぶシベリア沿岸域の探査を行った。1733～43年にわたるロシア領北極海域のベーリングの探査は、後世 "The Great Northern Expedition" と呼ばれた大事業で、カムチャッカ、東シベリア海、ベーリング海から、アリューシャン列島、アラスカ西海岸にまで及び、信頼に足る航路情報と捕鯨業者やアザラシ・ハンターに新たな漁場情報を提供した。が、一方で、NSR の将来性について暗い蔭を投げかけた探査航海でもあった。

ベーリングやその他ロシア海軍士官による探査により、シベリア沿岸域の地理的情報は次第に整えられはしたが、これらの努力にもかかわらず北東航路啓開は依然として捉えどころのない状態のまま、1878～79年のノルデンショルド (Adolf Erik Nordenskjold) の航海を待つこととなる。

ジェームス・クックの貢献

NSR 啓開を目的とした訳ではないが、ジェームス・クック (James Cook) の航海について触れる必要はあろう。1778年、クックはハワイを発見してサンドウィッチ諸島と命名し、さらにカナダとアラスカ沿岸を海図化するために北東に航行、ベーリング海峡を通り、北緯70度に到達したが氷に阻まれて断念、ハワイで悲劇的な死を迎える。彼の乗組員は再びベーリング海



ノルデンショルドとヴェガ号
(Raurala, 1992)

峡に戻ったものの、再度氷に阻まれ、カムチャッカ、日本、マラッカ海峡を経て南西に戻った。クックは基準線を天文観測によって設定、沿岸地形は数カ所から交差する観測で、距離は2隻の船の間で発砲の時間を測ることによって測定した。クックの2回目の航海からはクロノメータを使用し、従来の月距による経度測定と計器測定との誤差など、非天測位置推定法と天文学的位置決定との差違を調べ、潮汐及び海流調査を丹念に行うなど、クックの遺した海図と、その丹念な海図作成法はその後の海洋探検航行技法や測量技術の発展の新たな土台を築き、英国水路学に一時代を画した。クックの技法と業績はその後のNSR航行に活用された。

2.1.2 ノルデンショルドの航海以降ロシア革命まで

ノルデンショルドの航海

ヴェガ (Vega) 号によりトロムセ (Tromso) を出港した後、氷海中で一年余りを費やしたスウェーデンのノルデンショルド (Adolf Erik Nordenskjold) 教授は、1879年7月、ベーリング海を通航し、初めて北東航路完航に成功し、1879年9月、横浜港に入港した。ただし、ノルデンショルドの主たる意図は、欧州とアジアを結ぶ航路の啓開になく、後年“Kara Sea Route”と称される欧州とオビ・エニセイ (Ob・Yenisey) 川域を結ぶ航路、更にはレナ (Lena) 川周辺域と欧州を結ぶ商業航路の啓開にあった。

ジャネット号の悲劇

一方、合衆国建国の勢いに乗って、1879年ワシントン大統領の命を受けたデ・ロング (De Long) は、極域における新大陸の発見と極点到達の命を帯して、ベーリング海峡を通航して一路北極点を目指したが、北緯71度地点で厚い氷に阻まれた。デ・ロングの探査船ジャネット (Jeanette) 号は、以後2年間西へ漂流し、ノボシビルスク (Novosibirskiye) 諸島で難破した。この航海は、ウランゲル (Wrangel) 島発見の成果を見たものの、乗組員33名中僅か13名のみがレナ川河口に辿り着くことができた悲惨な航海でもあった。難破船ジャネット号の木片が3年後グリーンランド東南部で発見されたことから、従来様々な憶測が交わされた極点周辺での新大陸の存在についてはようやく疑問視され、否定的見解が大勢を占めるようになった。

苦難の啓開史と砕氷船の建造

ノルデンショルドが主張した、カラ海ルートについては、この地域の豊富な資源に刺激され、1876年から1919年までの間、122回もの航海が記録に残されている。ただし、これらの航海の中、大方はノルデンショルドが思い描いたような実質的な商業航海ではなく、危険率が高く、成功率の低いものであった。1874年から1901年間で見ると、オビ・エニセイを目指した87回の航海の中、目的地に到達したのは60回であり、22回は目的地に到達せずして帰港、5隻が難破した。シベリアから欧州へ向かったものについては、42航海中36航海が欧州へ到達、6隻が難破している。また1901年から1910年の間は、商業航海は一例もない。

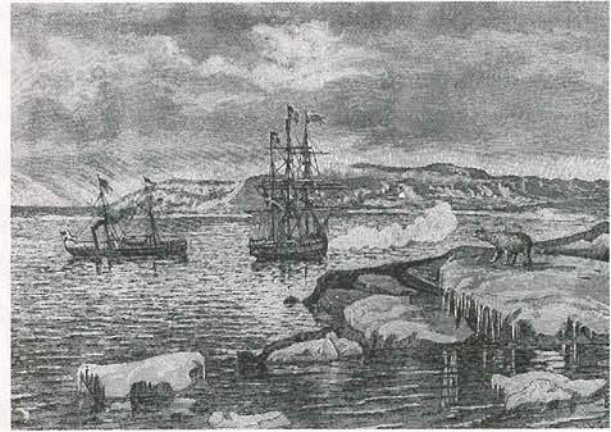
北極海航行を目的として設計建造された最初の砕氷船は、1898年マカロフ (Makarov) 提督指揮の下、英国ニューキャッスル (Newcastle) で建造されたイェルマク (Yermak : 長さ98m、排水量9,000トン、出力10,000馬力) である。その後、小型砕氷船タイミル (Taymyr)、バイガチ (Vaygach) の2隻が建造され、1894年設立された中央水路管理局 (Central Hydrographic

2. 北極海航路の背景

Administration) の水路調査活動を助け、1913年にはセヴェルナヤゼムリヤ (Severnaya Zemlya) を発見している。

ナンセン、アムンゼンの功績

近世北極海航海史において、ヴェガ号のノルデンショルドと並び称される航海にフラム (Fram) 号によるナンセン (Fridtjof Nansen) の航海が挙げられよう。NSR 啓開の歴史の中では、ナンセンの航海意図が科学調査であったことからしばしば軽く扱われるが、航路の啓開は航路上の自然環境の理解、把握が前提であること



タイミル半島を回航するヴェガ号
(Raurala, 1992)

を考えれば、ナンセンの果たした役割は間接的、基礎的ではあれ極めて重い。彼の漂流観測の発想や北極海での漂流を前提とした船の設計建造法など、そのコンセプトは現在なお生き続け、学術面では現在に至る北極圏研究の礎を築いた。

なお、北西航路については、ノルウェー生まれのアムンゼンが、1901年グリーンランド北西岸への言わば準備航海の後、同じユア (Gjoa) 号により、1903～1905年、3年の歳月をかけて北西航路を完遂している。最初の南極点到達者でもあるアムンゼンは、ヴェガ号による北東航路完成に感激し、ナンセンの極地探検に胸躍らせ、生涯、北西航路啓開に情熱を傾けたと言われる。

2.1.3 ロシア革命以後

革命初期

ロシア革命期においても、シベリアと西欧諸国との交易の道としてのカラ海の啓開を試みたコルチャク (Kolchak) 提督の努力があり、ピョートル大帝の意思は、革命以後も継承されたが、シベリア横断鉄道建設のための資材輸送と絡めて、NSR の啓開は次第に戦略的背景を色濃くしていく。

1930年代は NSR にとって記念すべき出来事が続いた年代である。1932年には商船隊 Soviet Pacific Fleet が1933年には Northern Naval Fleet がコラ半島に編成され、日露戦争での苦い経験も手伝って NSR の戦略的意義は一段と高まった。国際極地年の1932年には、国際科学観測プロジェクト事業として、小型砕氷船シビリヤコフ (Aleksander Sibiryakov) 号が、NSR を西から東へ完航した。この航海では、アルハンゲリスクを7月に出港後、一夏でウラジオストックに到達、続いて11月には日本にも寄港、ヴェガ号の航海日数を3分の1に短縮した。また、1934年には、砕氷船フェドール・リッケ (Fedor Litke) 号が初めて苦難の出来事なしに NSR を一季にて完航し、続いて翌1935年には、ヴァンツェッティ (Vantsetti) 号、イスクラ (Iskra) 号が砕氷船リッケ号の支援の下、貨物船として初めて NSR の東航に成功した。

NSR 管理局の設立

NSR の行政、管理については、1932年12月、国益を守る目的を以って NSR 管理局 (Glavsevmorput) が設立され、NSR 全域の開発、管理管制、保全を所轄することとなった。

初代局長はシベリアコフ（Sibiriyakov）調査隊のリーダーであったシュミット（Shmidt）が任せられ、更に、1941年には北極海航海で名を馳せたパパーニン（Ivan Papanin）が局長に任命された。NSR 管理局の下、戦略的意図から民間機関の協力を当然とした探査や、航路啓開のための活動が重ねられ、この間、ディクソン（Dikson）、チクシ（Tiksi）、シュミット岬（Mys Shmidta）、プロビデニヤ（Provideniya）が開港した。砕氷船についても、スターリン（Stalin）級砕氷船4隻の新造があり、砕氷船に率えられる貨物船団も次第に増強されて、暫くは海上輸送量も増大の一途を辿った。しかし、やがて第2次大戦戦時体制での NSR 時代を迎え、軍と民間の作業区別が曖昧となる。1942年には、ウラジオストック（Vladivostok）からポリヤーニ（Polyarnyi）まで、ソ連海軍初めての NSR 航行が砕氷船の支援の下成功した。

ソ連体制下では、シベリア穀倉地帯の産物の輸送、木材等のシベリア原材料と西欧工業製品とのバーター貿易のため、これらが外貨依存に無縁であることから、政府はカラ海における輸送路の整備に深い関心を示した。

第2次大戦以降

第2次大戦下では、防衛戦略上、北東航路（北極海航路）全般の認識が高まり、タイミル（Taymyr）半島東部の戦略基点ヤクティア（Yakutia）では、約50%の資材が北極海航路により海上輸送された。1978年以降は、デュディンカ（Dudinka）、ムルマンスク（Murmansk）間の海上輸送は通年ベースに拡大され、イガルカ（Igarka）からのニッケルは重要貨物となっている。

第2次大戦下、商業航路啓開を意図したものではないが、ドイツの仮装巡洋艦コメット（Komet）の NSR 通航や、米国からベーリング海峡経由でのシベリア北岸への戦時援助物資の輸送や、北極海域におけるソ連船支援に長期貸与された米国ウィンド（Wind）級砕氷船の活動などがあり、これらの船舶による航海実績、経験は、NSR 啓開への参考資料となって役立てられている。

その後も、ソ連は NSR 航行を積極的に行い、1972年12月から翌1月にかけては、7,430重量トンの砕氷貨物船インジギルガ号は、ムルマンスクからデュディンカまでを12日間で航行し、冬期の NSR 航行の先鞭をつけた。ソ連体制下における北極海輸送は、いずれも戦略物資輸送あるいは戦略的輸送であるか、又は政府統制・管轄下の輸送であり、西欧側の商業航行の定義から見れば市場原理に即した海上輸送と考えることは難しいが、これらの航行実績が、北極海航路啓開への確かな基礎を築いてきたことには異論はあるまい。

ロシアによる明確な国益意識と国策に基づく NSR 啓開の努力とこの地方の戦略的価値が認識される20世紀以前においては、NSR 及び北極域探査は、大航海時代スペインの支配権からの独立と言う潜在的な意図から次第に明確な報酬のない国際競争に終始し、国家競争、個人の努力と野望、科学とが複雑に混在し、ナンセン、アムンゼン等は国家的英雄となり、欧州を基点とする探険史の最終章を飾っている。

2.2 政治・社会的背景

北極海航路啓開に関わるロシアのシベリア政策は、帝政期のニコトール大帝のシベリア政策、革命以後ソ連体制における防衛戦略と社会主義統一国家体制整備を標榜してのシベリア政策を経て、経済的混乱と冷戦体制終結以後の共和国独立や自治州の自治権の拡大などの影響を受け、不透明な現状にある。

ソ連邦体制の変革の一つは、強固な結束を誇った連邦組織の崩壊にある。元々、1977年に制定された「ブレジネフ憲法」第72条によれば、ソ連邦は15の共和国が平等な権利を持つ諸民族の自由な意志による統合体であり、従って本来、各共和国は自由な連邦組織離脱権を持つものとされているが、実質上は、離脱は前提にされておらず、離脱に関する法制上の規定は一切なかった。しかし、バルト3国の連邦離脱宣言を受けるに及んで、俄かに連邦組織の箍が緩み始め、国際社会における多極化傾向もあいまって、組織間関係に新しいドクトリンの採用が促された。1988年7月のワルシャワ条約機構首脳会議で、ゴルバチョフ書記長は従来の「ブレジネフ・ドクトリン」を否定し、ペレストロイカと一体となった新理念を展開した。これは、現代世界は社会主義、資本主義と言う体制の相違を超えて、経済、環境保護など広範囲な問題において相互依存の関係にあり、全人类的価値が全てに優先すると言うものであり、安全保障において重要なことは政治的方策であり、軍事的手段は防衛に十分な範囲の合理的充分性であればよく、国際関係の脱イデオロギー化を意図したものであった。

このような背景の下、ゴルバチョフ書記長は、1987年10月1日、ムルマンスクにおける演説で、北極海航路の国際商業航路としての開放宣言を行った。これは海域の完全な開放を意味するものではないが、冷戦構造の終結により、少なくとも北極海航路の大半が戦略的価値を失ったことを認めたことを表すものである。同時にブレジネフ政権の末期頃から顕著になった経済の長期低落傾向からの脱皮を急ぐ必要があり、その一環としての外貨準備高の増大策上、北極海航路開放宣言は当然の帰結でもあったとも言える。

ゴルバチョフ連邦大統領の提案によるソビエト主権共和国連邦の夢は、1991年8月のクーデターの失敗を契機として潰れ去ると共に、クーデターの失敗は共和国の独立を加速させ、連邦権力と一体化していたソ連共産党を解体させることとなった。さらに、同年6月エリツィンがロシア共和国大統領に選出されるに及んで、エリツィン体制が急速に強化され、旧体制からの脱皮が促進された。

ロシアは、崩壊した連邦の最高政策決定機関に代わる機関として、連邦大統領と各共和国指導者によって構成される国家評議会を結成し、バルト3国の独立を承認することにより、新連邦条約の締結を進めたが、ウクライナによる政治同盟反対に脆くも新連邦体制は頓挫した。続いて、経済危機からの脱出と市場経済への移行を目指す経済共同体条約がグルジアを除く11カ国間で結ばれた。再度の新連邦条約締結に関するゴルバチョフ・エリツィン合意もウクライナの国民投票による連邦法失効宣言により無意味なものとなり、グルジアを除く共和国11カ国は独立国家共同体（Commonwealth of Independent States: CIS）の創設に調印した。このような政治的変化の大勢は変わらないものの、新体制への移行に対する擾乱の全てが沈静化した訳ではなく、今なお新たな擾乱の火種が各所に残されている点が、円滑な北極海航路啓開に懸念を懐かせる。ま

た、初めて民意によって選ばれたエリツィン大統領の中央集権確保のもくろみは地方主義の台頭の前に崩れ、1997年には行政府長官と呼ばれたロシアの州と地方知事の大半に対する大統領の任命権は失われ、全ての知事は住民による直接選挙によって選ばれることとなった。

この地方自治権の拡大は、NSRの啓開が関連地方にもたらすべき利益を明示することを要請し、その上で、関連地方に対して、NSRの前提でもあるインフラストラクチャー整備、沿岸環境保全などの問題に関して、計画のシナリオ、資金、実施機関、リスク請負機関等を明確にする必要がある。

2.3 経済・海運的背景

ペレストロイカやグラスノスチが氾濫する以前からロシア経済は破局的状態にあった。このため私企業の承認など新たな経済政策を採る必要に迫られた。企業のはぼ完全なる国家からの自立性を前提とする独立採算制と資金自己調達制、企業長選挙制などの経済改革は政治改革にまで踏み込まなければ実効が伴わないことの認識から、1987年の個人労働化活動法の実施、合弁企業法の施行、88年の協同組合法の採択など矢継ぎ早の政策が講じられた。しかし、改革の進め方を巡る党内の確執は激しく、十分な経済効果を見る前に政治的混乱が先行し、ロシア経済は昏迷の度合いを深めた。

経済の混乱期には、いずれの国でも実経済の二重構造、地下経済が現れる。ロシアでは、ソ連体制時代の計画経済は、中央統制経済と称され、ソ連の経済活動は強力な中央集権政府が策定、実施する計画によって厳格に制御された。市場原理に基づく自由競争が行われる余地は殆どなく、地下経済は、旧統制経済のもとで常に蔑視され続けた商業・サービス・輸送・流通部門で主として成り立ち、政府視点では明らかに非合法的な闇経済であった。しかし、市場経済への移行が連呼されるロシア連邦体制下では、犯罪の影のあるものは別として、地下経済は表面に浮上し、商業・サービス・輸送・流通部門は新しいロシア経済の中で、もっとも活況を呈する分野となる筈であった。

ロシア経済は、エリツィン大統領による性急な「ショック療法」経済政策が破綻し、1992、3年の諸生産の急激な落ち込み、1992～96年間連続のマイナス成長、財政の極端な悪化、などの経済どん底状態に陥った。幸い、1995年鉄鋼、非鉄、石油化学の3つの工業生産部門が外需に支えられて回復し、経済には回復兆候が見られ、併せてインフレの鈍化、ルーブルの安定化の兆しもあり、政府が採択した「総合投資プログラム」の効果も勘案できる96年以降の経済復調に期待が集った。しかし、96年のプラス成長の見込みは外れ、ロシア経済の復調は程遠いとの印象を強める結果に終わった。これは、エリツィン経済政策の失敗の結果でもあるが、IMFの強力かつ執拗な勧告に縛られての国内財政・金融引き締め政策にも遠因がある。通貨供給量の厳しい抑制はインフレ改善には効果を見たものの、投資を減退させ、企業の生産活動を停滞させると同時に、企業間債務を膨張させて信用不安を助長、労働者への賃金未払いを拡大させ、結果として企業からの税収を滞らせることとなった。また、大統領選挙を控えての人気取り・バラ撒き政策、チェチン戦争関連の莫大な軍事支出が、経済復興の足並みを乱し、悪化させたことも否定できない。

2. 北極海航路の背景

ロシアは世界有数の資源国である。ロシア工業製品による外貨獲得が難しいものであれば、ロシア、特にシベリア各地に賦存する天然資源を輸出若しくは一次加工の後輸出によって経済復調を目論むことは自然の発想である。一方で、ロシアの貴重な資源を諸外国に食い荒らされることへの反感、危惧が、次第に表面化しつつあった。また先住民社会が点在するシベリアでは、資源の開発、輸送が先住民の生活環境を根本から破壊する恐れありとしての反対運動や、先住民の権利がロシア法制によって完全に保護されねばならないとの主張も強くなっている。代表的な資源開発域であるオビ・エニセイ・レナ川周辺は、これらの先住民問題と外国資本の投資待ちなどのネガティブな面と、地域住民に対する生活物資の安定供給確保などのポジティブな面とがあり、加えて連邦政府及び地方政府の思惑、地域住民の期待と不安など、二者三様であり、局域海上輸送路を有機的に結ぶ北極海航路への期待は必ずしも単純ではない。

ロシアへの外国からの投資は乱高下し、確かな予測は難しいが、安定した税制の確立が果たされれば、増大基調であることは間違いない。ロシア政府の為替管理は、諸外国に比してかなりルーズであり、不法な資本流出も経済復調の妨げとなっている。イズベスチヤ紙（1997年6月）によれば、ロシアからの不法な資本流出は年間120～150億ドルにも上り、石油や非鉄金属などの輸出で得た外資がロシアへ還流することなく西欧諸国や租税避難地へ流出している。ロシアの対外貿易収支は1992から97年までの間は黒字であるが、このような黒字額のかなりの部分がロシアへ円滑に流入していないことが問題である。

ニューリッチの登場に象徴される階級層の分化、所得格差の拡大が進み、とりわけ年金生活者の貧しい暮らし振りが海外に喧伝されているが、ロシア国外での深刻な印象とは異なり、一方では、大都市中心ではあるが消費物資や食料品が次第に豊かになり、これらの主たる購買者、いわゆる中間層が形成されつつある。ロシア貿易では、第三国市場を経由しての輸出人がかなりの量に達し、乗用車、事務機器等の購買力は確実に増大している。このようなロシア経済の回復兆候は正しく認識されるべきであろう。

経済の悪化は、本来市場経済への移行によって最も恩恵を受ける筈であった海運にも当然のことながら大打撃を与えた。ロシア管轄海域を東西に二分して管轄権、運営権を与えられたムルマンスク及び極東の2大船舶公社は、ロシア総生産量の激減、貿易量の減少、戦略物資輸送量の激減、経済困難によるロシア僻地への生活資材輸送の減量あるいは停止等の悪条件下で民営化が行われ、大小幾つかの海運会社が創設された。国際的な海運情勢は長らく芳しくなく、厳しい合理化、軽量化策が講ぜられる最中でのロシア海運会社創設であり、その経営はいずれも厳しく、かつ確たる立て直しのシナリオを持たず、正しく前途多難の誕生であり、港には係留船舶が溢れることとなった。

北極海航路に関しては、輸送責務をムルマンスク海運会社と極東海運会社が東西に分割して担うシナリオには変わりはないが、それぞれが市場原理に基づく運営となれば、極東市場に比して、遙かに有利な市場を抱えるムルマンスク海運会社の発言権が次第に強まることは否めない。ムルマンスク海運会社にしても、運用を委ねられた原子力砕氷船の運用経費政府負担の公約が反古となっていることから、収入見込みの確かな砕氷船運航の機会を如何にして増やすかが問題となっ

ている。北極海航路の実質的啓開は、保険や料料体系等に多々問題を残してはいるが、ロシア海運界の救世主となることは確かである。

ロシア海運界が、ロシア資本の海外への不法流出の一員であってはならず、ロシア経済の復興がロシア海運界に及ぶには、海運界自体の努力は当然としても、国策としてのシナリオが必要であり、市場原理を基に整備された法制下の財政的約束がロシア海運界において守られることが、北極海航路発展の第一条件であろう。

2.4 技術的背景

北極海航路沿いの厳しい自然条件を克服するためには、技術面あるいは技術関連面では、少なくとも下記のような条件が整っていなければならない。

- 航路沿いの気象、氷況等に関する資料・情報は航海の安全性を保全するに足る水準で整備されていること
- 個々の航海においてこれらの情報が、ほぼリアル・タイムで入手し得ること
- 様々な氷況下における航法の確立
- 氷海域を安全に航行し得る航行性能の優れた船舶の設計、建造技術の確立
- 支援砕氷船の設計・建造技術の確立
- 航行支援・救難設備を持つ陸上基地の整備
- 氷海航行訓練設備または訓練制度の確立

航路沿いの気象、氷況資料については、ロシアのグラスノスチ政策により次第に開示が進みつつあり、未整理のデータについても国際協力等による整理解析が進む期待もあることから、海洋物理学分野の協力の下、新規観測事業結果と併せて、整備が進むものと考えられる。

航行情報のリアル・タイムでの入手については、人工衛星リモートセンシングにより実行段階を迎えている。今後のセンシング技術の進歩、更なる極軌道人工衛星の打ち上げによって、より有効な氷海域最適航法の確立も夢ではない状態にある。

氷海中を航行する船舶の設計建造技術については、採算性、設計仕様との見合いもあり、航行性能については最終ゴールのない技術目標であることから、確立されていると言う評価には異論もあるが、実用上差し支えない水準にあると言える。砕氷船の航行支援をどの程度の頻度で要請し、どのような具体的な支援を受けるのかによっては、そのような操船モードを前提とした船舶設計の在り方については、若干の研究が必要とされよう。

北極海航路においては、ロシア以外の砕氷船から支援を受けるシナリオは原則としてあり得ない。支援砕氷船については、ロシアが王政時代から育み、ソ連体制下においても戦略上の要件から連綿として研究開発を続け、改良してきた優れた設計・建造技術があり、それらが、西欧の採算性評価に耐え得るか否かは別として、当面ロシア固有の問題と考えてもよいと思われる。

陸上の航行支援施設、設備、救難設備については、現在、インフラストラクチャー全般の整備見通しが暗いことから、外国からの整備投資がなければ、今後の整備は殆ど期待できない状態にある。夏季の危険の少ない期間での航行では、ロシア側の主張のように、予測し難い突発的な事件がなければ、これら陸上施設の整備を航路啓開の絶対条件としなければならない理由はない。

2. 北極海航路の背景

しかし、氷況の経年変化は著しく、夏季航行と言えども不慮の事態を招く危険と背中合せの航海であるとも言えることから、インフラストラクチャー整備に関する具体的なシナリオを策定することが必要である。また、事故等による海洋汚染発生時等に対する危機管理については、管理計画は策定されているが、具体的な汚染防止、防除に関する実行計画に不安があり、汚染補償の見積もりが難しい。

北極海航路を航行するには、氷海中航行についての十分な経験が求められる。また特に、支援砕氷船の支援行動下での操船については、特殊な操船モードでもあり、時々刻々での正しい操船判断には支援モードでの十分な経験が要求される。乗組員としての実航海経験を重ねることが先ず大切ではあるが、操船シミュレータによる訓練などを取り入れる必要がある。ロシア側からの経験豊かな水先案内人の乗船指導は、航行距離が長大であり、航行時間もかなりの長時間となることから、問題がない訳ではない。

現在、北極海航路に関して、ロシアの経済的混乱もあって、これらの条件が全て満たされている訳ではないが、ロシア経済の復調を前提にすれば、近い将来、いずれの要件も満足されるものと考えられる。氷海中の航行は、ごく近い将来人工衛星ベースの航法が主流となることは間違いなく、その意味では、北極海航路啓開の技術的準備は整いつつあると言える。

3. 北極海航路の自然条件

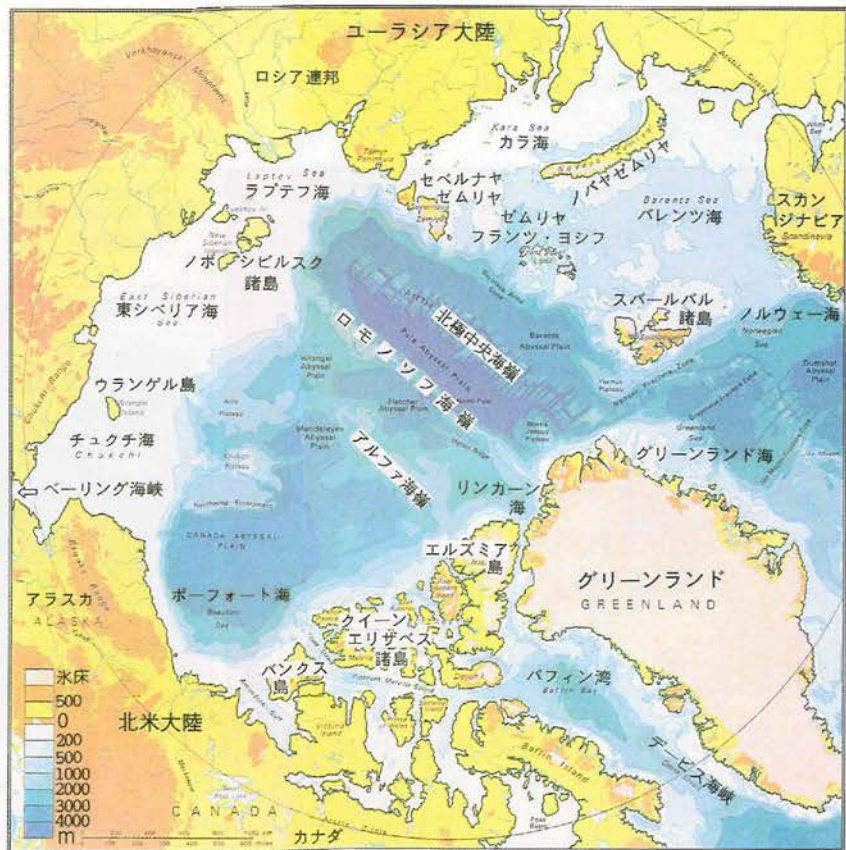
3.1 北極の自然環境

3.1.1 北極海の地理

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面積およそ1,400万 km²の海である。スカンジナビア半島とグリーンランドの間は1,400kmほど離れていて、深さ3,500mに達する深海平原が広がり、東部はノルウェー海、西部はグリーンランド海と呼ばれて北大西洋に隣接する。それに対してユーラシア大陸と北米大陸の間は、幅約80kmのベーリング海峡であり、ベーリング海を経て北太平洋につながるが、ベーリング海峡は最深部でも60mを超えない浅い海峡である。一方、カナダ北極諸島のエルズミア島とグリーンランドとの間は、幅約20km、深部の深さ約500mの狭い海峡であり、バフィン湾、デービス海峡を経て大西洋へと連なる。

北極海中央部は、水深およそ4,000mの深海平原で、最深部の水深は5,440mに達する。グリーンランドの北から北極点を通ってノボシビルスク諸島に向かう海底に、ロモノソフ海嶺（頂上部水深841m）があり、北極海の海底を北欧側とアラスカ側とに二分している。ロモノソフ海嶺とほぼ平行する海嶺が両側にあって、北欧側は北極中央海嶺（ナンセン・ガッケル海嶺）、カナダ側はアルファ海嶺と名付けられている。水深が1,000mを超える海域は北極海のおよそ7割で、残り3割は沿岸の広大な大陸棚である。ユーラシア大陸の大陸棚は沖合遠くにまで広がり、沿海は西からバレンツ海、カラ海、ラプテフ海、東シベリア海、チュクチ海と呼ばれる。北米大陸の大陸棚は岸近くに限られ、ボーフォート海、リンカーン海は共に1,000m以深の海域を含んでいる。

ユーラシア大陸側の大陸棚には、西からスバルバル諸島、ゼムリヤフランツヨシフ、ノバヤゼムリヤ、セベルナヤゼムリヤ、ノボシビルスク諸島、ウランゲル島などが沖合に存在する。北米大陸側は沖に離れた島はなく、カナダ北極諸島のバンクス島、クイーンエリザベス諸島、エルズミア島が、カナダ北岸の北極海を形作っている。



北極海地形図

3. 北極海航路の自然条件

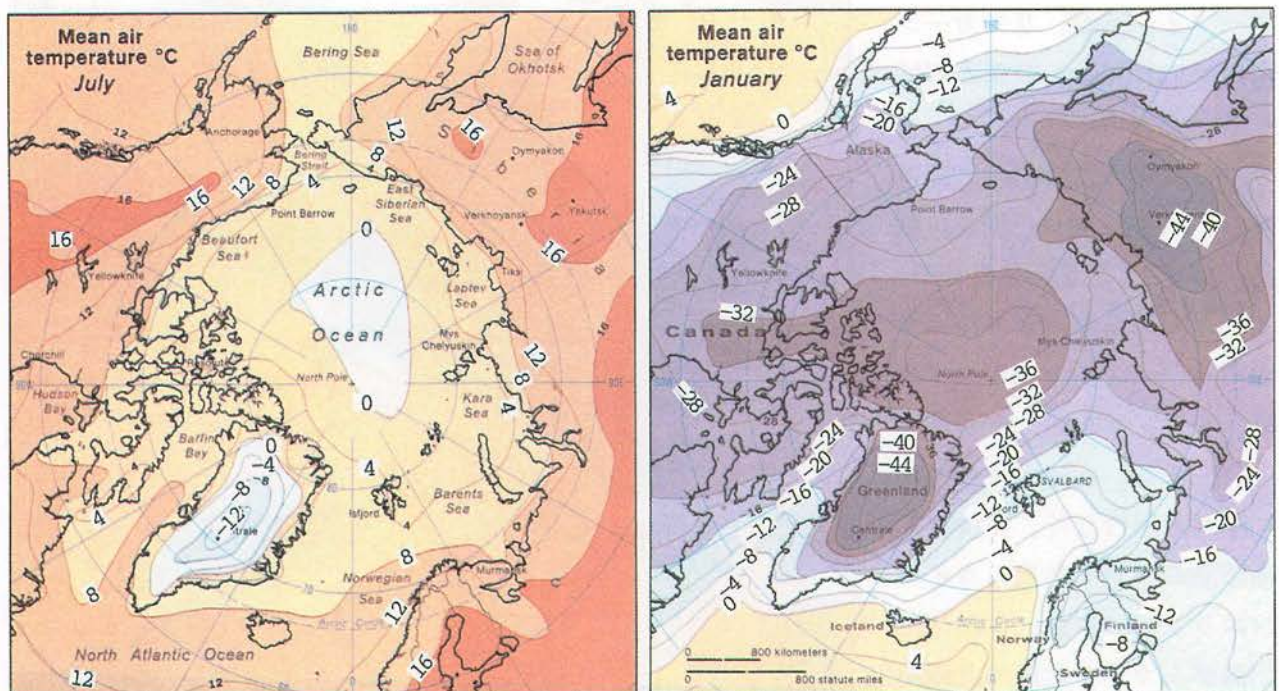
3.1.2 白夜・極夜と北極海の気温

北極海は、ベーリング海峡付近のごく小海域を除けば、ほぼ全域が $66^{\circ} 33' N$ 以北の北極圏にある。それゆえ、太陽が一日中沈まない白夜（極昼）と、太陽が一日中現れない極夜が存在し、その継続日数は北極点に近づくほど多くなる。ラプテフ海の海岸（ $72.5^{\circ} N$ ）付近では、白夜が88日、極夜が76日になる。さらに北に位置するスバルバル諸島やゼムリヤフランツヨシフの北岸（ $80.3^{\circ} N$ ）では、白夜が138日、極夜が126日に達する。白夜と極夜の日数が異なるのは、太陽が水平線下約 0.5° にあるときに、すでに光の屈折によって目に見えるからである。

白夜と極夜の期間の中心は夏至と冬至にあり、春と秋の日照時間も夏至と冬至に対して対称となるような変化を示す。夏至の頃に北極圏が受ける日射量は、太陽高度が低くても24時間受け続けるので、太陽高度が高くても半日だけしか受けない赤道域よりも、一日当たりの総日射量が多くなる。それにもかかわらず気温があまり上がらないのは、北極地方の夏に特有な雲と霧が日射を遮ること、雪や氷が受ける日射の大半を反射してしまうことなどの理由による。

北極海の海面気温の最高最低は、夏至と冬至から1か月ほど遅れて、7月と1月の頃に現われる。7月の月平均気温の分布を見ると、グリーンランドと北極海の中央部を除く広い範囲でプラスの気温となり、沿岸では $8^{\circ} C$ 位の気温となることがわかる。北極海中央部に夏を越して存在する多年海氷域では、夏には表面から融解し、気温を $0^{\circ} C$ 前後に保つ恒温効果が現れる。

一方、1月の月平均気温の分布からは、 $-44^{\circ} C$ 位の寒気のコアがシベリアとグリーンランドの大陸上にあり、 $-36^{\circ} C$ 前後の北極海中央部の寒気が $-32^{\circ} C$ 程度のカナダ北極諸島の寒気とつながっているのを見ることができる。ノルウェー海からバレンツ海にかけての海域は、メキシコ湾流の北上によって熱が運ばれるので極夜の期間でも凍らない海となり、北極海中央部に比べておよそ $30^{\circ} C$ ほど高い気温を保っている。



月平均気温分布（左：7月，右：1月）（POLAR REGIONS ATLAS に加筆）

3.1.3 オーロラと磁気嵐

オーロラは、ローマ神話の曙の女神アウロラであり、夜の暗さを追い払い人々の生活を夜明けに導く女神の名前であるが、極光（北極光）の別名として使われるようになった。

太陽表面でフレアと呼ばれる爆発やコロナの大規模な放出が起こると、超音速の太陽風が吹き出す。それは電離した水素ガス、すなわち陽子と電子であり、プラズマと呼ばれる高速荷電粒子である。太陽風は、太陽と地球の距離約1億5千万kmを3日位で吹き抜け、地球の近くでは秒速約450kmの速度を持つ。地球には磁場があるため、太陽風は磁場を横切って地表に到達することができない。地球と磁場とを包み込んだ磁気圏を作り、地球磁場を彗星の尾のような形に変形させながら、その外側を吹き抜ける。太陽風と磁気圏の相互作用は、発電機を形成して1千億ワット以上の大電力を発生する。この電流によってプラズマが地球の背後から磁力線に沿って南北両極域に導かれてオーロラを発生させる。

オーロラは地上80km以上の超高層で起こる。この高度はネオン管の中と同程度の真空状態であり、太陽からのプラズマによって超高層大気酸素原子や窒素分子が励起されて生じる、ネオン管と同じ放電発光現象である。最も一般的で最も明るい緑白色のオーロラは、地上約110km付近の超高層での酸素原子の発光によるものである。酸素原子は、地上400km付近でも暗赤色の光を出し、赤いオーロラと呼ばれる。電離した窒素分子は90~150kmで青い色を、中性の窒素分子は90km前後の低いところでピンク色の光を発する。それゆえ、背の高いカーテン型オーロラは上部は赤、中央部が緑と青、下部が赤紫とピンクといった多彩な姿となる。

オーロラが発生するのは、地磁気北極（78.6°N, 70.5°W）を中心とする地磁気緯度で65~70°のオーロラ帯と呼ばれる領域である。南極昭和基地とアイスランドは共にオーロラ帯の下にあり、しかも磁力線を共有しているので、似たようなオーロラが両方で同時に発生する。渦巻きの形が鏡に映したように逆向きになるオーロラが現れることがあるが、あまり似ていないオーロラが現れることも多い。



北極のオーロラ



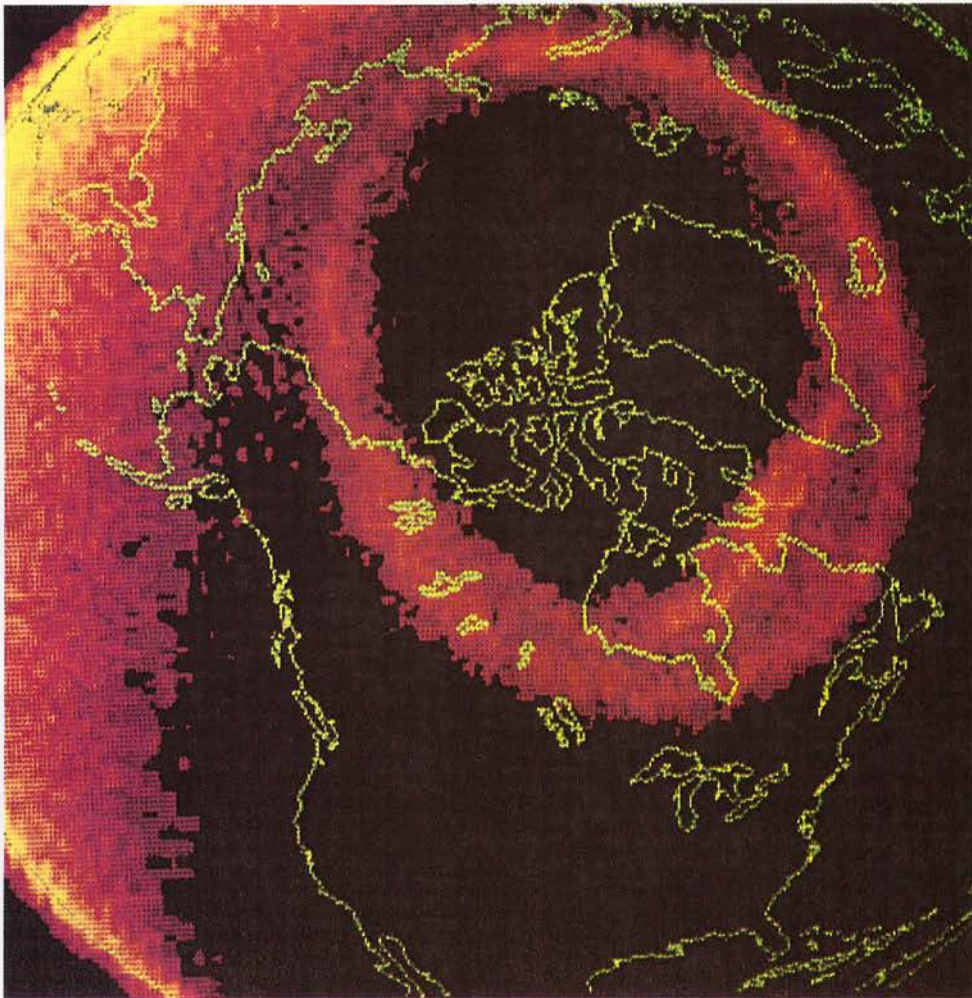
南極のオーロラ（渦巻きの形が逆）

（写真：国立極地研究所）

3. 北極海航路の自然条件

遙か上空から地球を眺める楕円軌道のオーロラ衛星で撮影したオーロラ画像からは、地表では見ることのできない昼間の部分にもオーロラが発生しているのを見ることができ、オーロラの全貌を知ることができる。環状のオーロラ発生域をオーロラオーバルと呼んでいるが、夜間のオーロラはオーロラ帯とほぼ一致するのに対して、昼間のオーロラは地磁気緯度の75~80°付近にあってオーロラ帯の内側に位置している。ユーラシア大陸沿岸のNSR海域は極光帯の下に位置するので、白夜の季節をはずれ、天候に恵まれれば、オーロラを眺める特等席となる。

地球磁気圏は、太陽風プラズマや宇宙線の地上到達を防いで地球生命を守ってくれているが、太陽の反対側から地球の磁力線に導入されてオーロラを発生させるプラズマは、短波通信、航海無線、高圧電線等に重大な影響を与えることがある。太陽表面で大きな爆発が発生すると、活発なオーロラ活動とともに、地球磁場の変化が起こる。地磁気の変動の大きなものを磁気嵐と呼ぶ。地上に誘導電流を生じ、この電流がオーロラ直下の高圧電線や石油パイプラインを流れる。カナダでは変圧器が発熱して大規模な停電を起こしたことがあり、アラスカやシベリアの石油パイプラインではパイプの腐蝕を起こしたこともある。オーロラの特等席に位置するNSRにとっては、強い磁気嵐のときには、衛星測位や衛星利用の海氷情報受信が不能になることも考えておかなければならない。



北極のオーロラオーバル (理科年表読本『二つの極』、丸善)

3.1.4 北極オゾンホールと有害紫外線増加

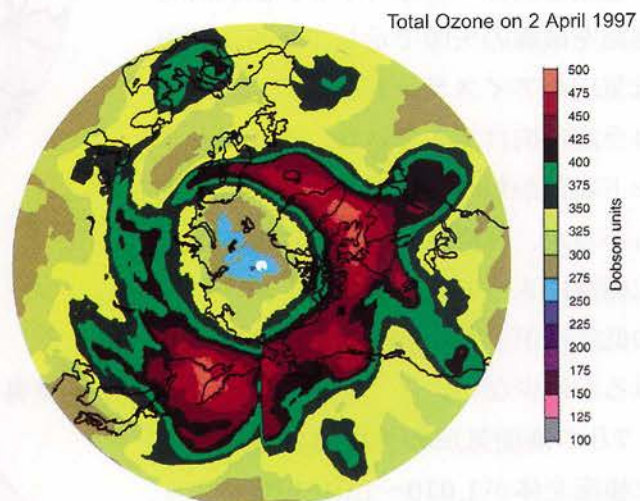
大気中のオゾン (O_3) は、大部分が成層圏に存在する。オゾン密度は、高度20~30km付近で最大となり、地表面の10倍近い値を示すので、オゾン層と呼ばれている。オゾン層は地球をすっぽりと包んで、太陽から降り注ぐ有害紫外線を吸収している。

1970年代に、フロンガスがオゾン層を際限なく破壊する可能性が指摘された。オゾン層破壊は有害紫外線の地上到達をもたらすので、皮膚ガン発生率の増加や主要農産物の収穫減少などの懸念があると指摘されて、フロンガスの使用禁止運動が始まった。1980年代になって、昭和基地で南極の春にオゾン層のオゾン密度が異常に減少することが観測され、諸外国の南極基地でも同様の現象が確認されて、オゾンホールと呼ばれるようになった。1990年代になると、北極でもオゾンホールと呼べる状況が観測された。

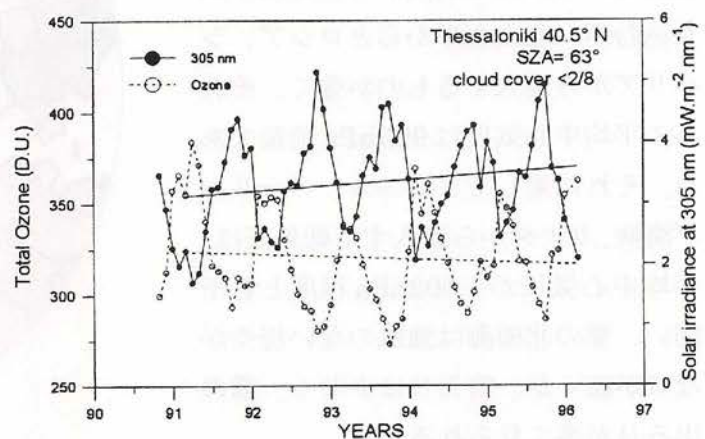
全大気を標準状態 ($0^{\circ}C$, 1気圧) にすると、その厚さは約8,000mになる。同様にオゾンのみを集めた厚さがオゾン全量と定義され、オゾン層研究者ドブソン (Dobson, G.M.B.) の名前をとってドブソン・ユニット (D.U.) という単位で記録されるようになった。オゾン全量は通常300~500D.U.位であるが、南極のオゾンホールでは120D.U.位の極小値が観測され、北極では

250D.U.位の極小値が観測されている。紫外線は、可視光線に近いほうから長波長紫外放射 (UVA:400~320nm)、中波長紫外放射 (UVB:320~290nm)、短波長紫外放射 (UVC:290~200nm) に分類される (単位nmはナノメートル)。太陽紫外放射のうち、UVCはオゾン層で完全に吸収されて地表には到達しない。一方、UVAはオゾン層でほとんど吸収されずに地表に到達する紫外線である。UVBの地上到達量は、成層圏オゾン量の増減によって変動する。一例としてギリシャのテッサロニキにおけるオゾン全量とUVB到達量の1990年代の推移を示した。

両者に見られる大きな季節変化と逆相関に加えて、オゾン全量の減少傾向、UVB到達量の増加傾向が現れている。UVB被曝は、上述の皮膚ガン発生率や主要農産物の収穫減少のほかに、遺伝子のDNA損傷を起こすことが指摘され、メカニズムの解明や防御・治癒プロセスの研究が急がれるとともに、北半球のオゾン全量と地上到達UVBの観測が重点的に行われるようになった。



北半球のオゾン全量分布 (NASDA/NASA 1998)



オゾン全量とUVB地上到達量の推移 (Zerefos, 1997)

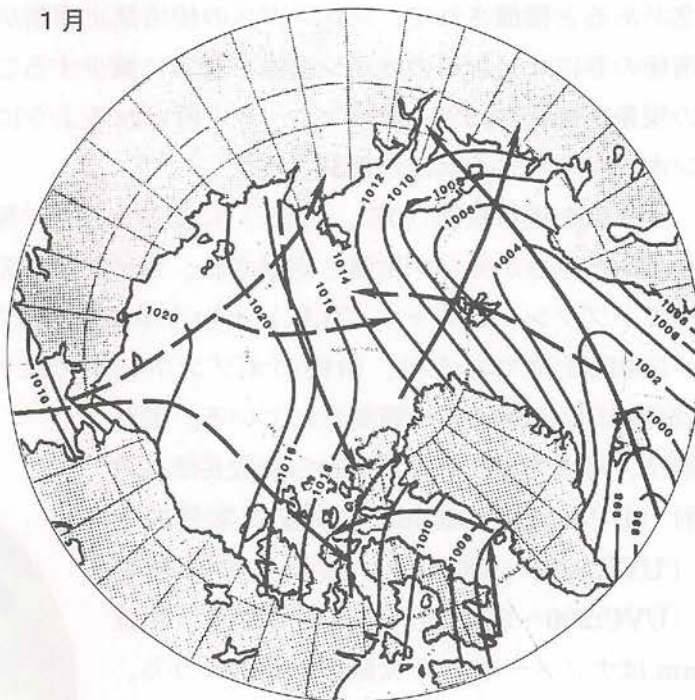
3.1.5 北極気団と低気圧の進入

極域の大気の動きを概観すると、低空で寒気が南（周囲）に広がり、上空でジェット気流の北側の空気が周囲から入り込む。北極圏の上空3~10kmには、北極海中央に向かって流入する偏西風の場合が低気圧性の循環を作っている。海面気圧は北極海中央部で年平均1,015.7hPa、月平均は一年を通して1,011~1,020hPaと弱い高压部の状態が続き、まとまった降水を見ることはほとんどないが、北極高気圧が現れている期間は約3分の1で、3分の2は高気圧の姿となっていないことのほうが多い。

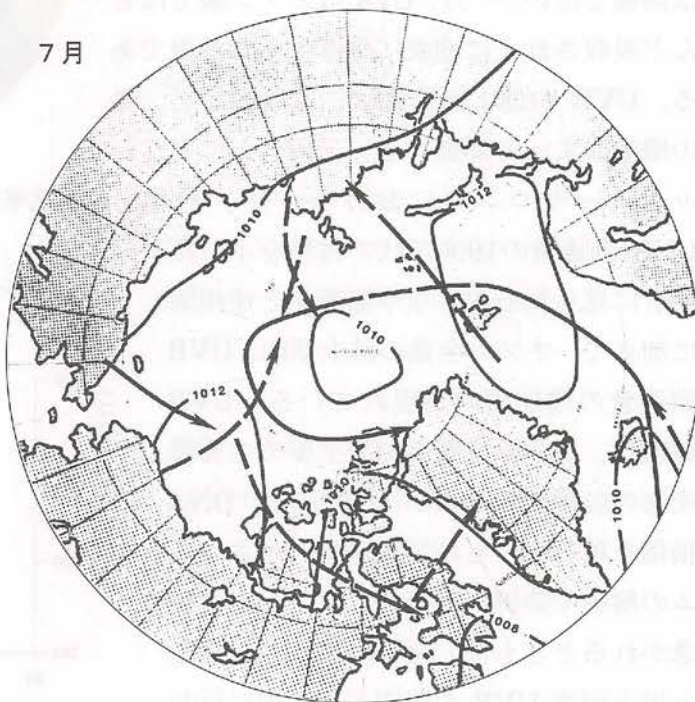
1月の海面気圧の月平均分布図を見ると、北極海に高気圧は無く、シベリアとアラスカの高気圧をつなぐ高压帯が北極海の中央部からベーリング海峡側にかけて現れているのを見ることができる。また図には、低気圧の卓越する進路を実線の矢印で示し、副次的な進路を破線の矢印で示してある。冬の低気圧がアイスランドからバレンツ海、カラ海に向けて入り込む。グリーンランド北部からバレンツ海に進む低気圧もあるが、時にはベーリング海峡から北極海に入ってくる低気圧もある。冬の低気圧がもたらす降水量は夏よりもはるかに少ない。

7月の海面気圧の月平均分布図では、北極海全体が1,010~1,012hPaであり、なだらかな等圧部となっている様子が現れている。時々周囲から低気圧が入り込むが、北大西洋からとロシア、シベリアから進入するものが強く、それらの平均中心気圧は995hPa前後である。それに対してアラスカ、ベーリング海峡、カナダから進入する低気圧は、平均中心気圧が1,002hPa程度と若干弱い。夏の北極海は強風のない穏やかな日が続くが、晴天日は少なく、霧の出る日が多く見られる。

1月



7月

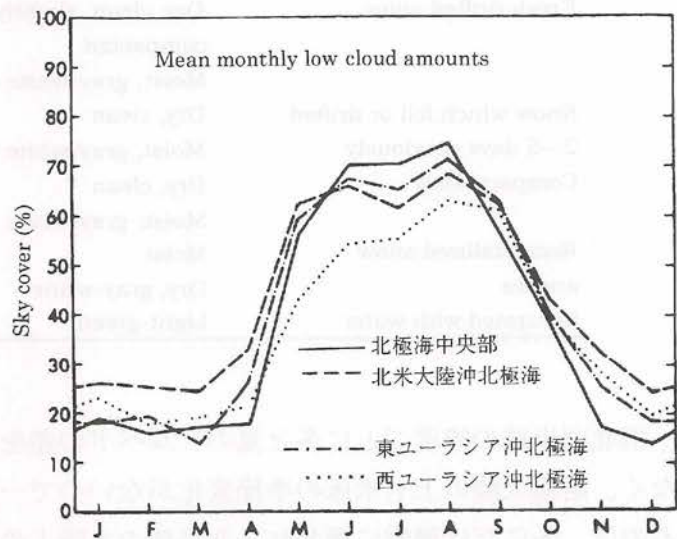


1月と7月の月平均海面気圧分布 (Barry,1989)

3.1.6 北極層雲とアークティックヘイズ

北極海は低い雲に覆われることが多く、北極層雲と呼ばれている。時には地表面に達して霧となっていることも多い。北極海の各海域の月平均低層雲出現頻度を調べると、11～4月の冬の期間は20～40%程度であるが、6～9月の夏の期間は70～80%と頻繁に発生していることがわかる。最も顕著な北極海中央部では、6～8月の月平均雲量は80～90%に達し、そのうち低層雲雲量は70%を占める。目視飛行の時代の北極海中央部への飛行不適日数は、6月が18日、7月が23日、8月と9月が22日と、約3分の2を占めていた。冬の期間の飛行不適日数は約3分の1に減少する。

北極の春には、しばしば、アークティックヘイズ（北極の霞、北極煙霧）と呼ばれるスモッグが出現する。晴れていれば200km先まで見通せる北極海氷域の水平線が、アークティックヘイズが発生すると、視程が3～8kmにまで落ちてしまう。アークティックヘイズを捕集して成分分析を行った結果からは、多量の硫酸、煤、有機物などが含まれていて人間活動の影響を示していた。春の大気浮遊微粒子の濃度は都市域の大気と同程度である。北極海では冬から春にかけての降水量は少ないので、降水による空気清浄作用はあまり期待できないが、夏の7～8月には霧や降水量が増えるので、アークティックヘイズは除去されて、夏から秋にかけて北極圏大気は清浄化される。NSR 海域においても、夏には視程が悪く目視の効かない日が出てくるので、諸島間の狭い海峡や浅瀬の通過はレーダや衛星航法などに頼ることになる。



海域別月平均低層雲雲量の推移 (Herman, 1986)



スピッツベルゲン島にかかる北極層雲 (写真: 国立極地研究所)

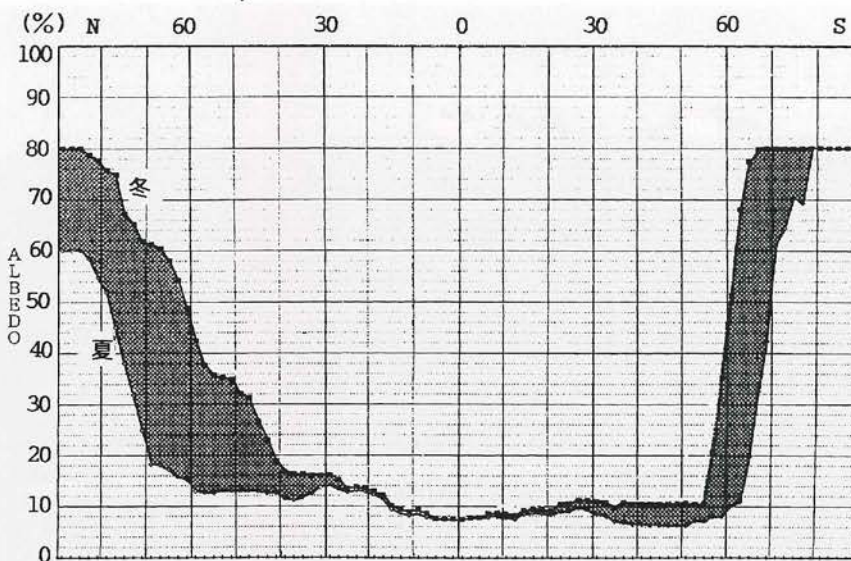
3.1.7 アルベドの季節変化

地球表面に当たる日射量に対する反射日射量の割合（反射率）をアルベド（albedo）という。地球全体の平均アルベドはほぼ30%である。種々の地球表面のアルベドを見ると、太陽高度が高いときの海面は8~10%、草地は15~25%であり、砂漠は明るさによって20~45%と変わる。雪氷域のアルベドは、新雪が75~90%、湿った積雪が40~60%、雪の載っていない海氷が30~45%であり、地球の平均アルベドを30%に高めているのは雪氷域であることがわかる。雪面は、状態によってアルベドが大きく変化し、表に見られるようにその変化幅は十数%以上にも達する。

種々の雪面のアルベド (Radionov,1997)

Snow State	Moisture and Color	Ave.	Max.	Min.
Fresh snow	Dry, bright-white, clean	88	98	72
	Moist, bright-white	80	85	80
Fresh drifted snow	Dry, clean, slightly compacted	85	96	70
	Moist, gray-white	77	81	59
Snow which fell or drifted 2-5 days previously	Dry, clean	80	86	75
	Moist, gray-white	75	80	56
Compact snow	Dry, clean	77	80	66
	Moist, gray-white	70	75	61
Recrystallized snow and ice	Moist	63	75	52
	Dry, gray-white	65	70	58
Saturated with water	Light-green	35	-	28

南北両半球の緯度ごとに冬と夏のアルベドの差を見ると、低緯度地方はアルベドの季節変化がなく、南極大陸の上も氷床の季節変化がないので一定である。夏と冬とでアルベドが大きく変わるのは、冬にだけ積雪に覆われる北半球の大陸上の季節積雪域と、冬に大きく広がる南極大陸周辺海域の季節海氷域である。北極海の多年海氷域は、夏になると表面が融けるので、冬と夏とのアルベドに差が現れる。



アルベドの緯度分布と夏冬変化 (小野,1995)

3.1.8 北半球の氷期と氷床

今からおよそ35万年前に始まった北半球の氷河時代は、氷期・間氷期の大きなサイクルを4回繰返した。現在は最終氷期の後の間氷期で、数千年前に始まり、後氷期と呼ばれている。氷期には陸上の氷床が拡大し、氷の蓄積によって海に戻る水の量が減ったので、海面が下がって大陸棚が海面上に顔を出した。間氷期に氷床が融けきらないうちに次の氷期がやってきたために、氷期の繰返しと共に海水準が低下した。海面が最も下がった最終氷期には、海水準が現在よりおよそ120mも低かったと推定されている。

最終氷期のおよそ2万年前には、拡大したスカンジナビア氷床が、北はスバルバル諸島からフランツヨシフ、セベルナヤゼムリヤにいたる大陸棚を覆い、西はイギリス全土に達し、東はタイミル半島付近にまで広がっていた。北米大陸では、ローレンタイド氷床がほぼカナダ全土を覆い、北ではグリーンランド氷床と接し、南は五大湖の南にまで広がっていた。カナディアンロッキーマウンテンの西はコルディレラ氷床と呼ばれ、アラスカ南岸沿いにアリューシャン列島に達していた。海水準の低下によってカラ海、ラプテフ海、東シベリア海の大陸棚が陸地となった。また、チュクチ海とベーリング海東部の広い範囲が海面上に現れ、ベリンギアと呼ばれた広大な陸地を形成した。このベリンギアを通して先史モンゴロイドがシベリアから北米に渡り、南米にまで移動したと考えられている。

タイミル半島からベリンギアを経てアラスカ北部にいたる地域は、氷床に覆われることなく氷期の寒気に晒された。そのため、地中深くまで凍結して永久凍土が形成された。

後氷期に入って、スカンジナビア氷床は局所的な氷帽や氷河を残して消失した。氷荷重の除去によって、スカンジナビア半島は隆起を続け、今でも毎年1cm位の速度で上昇を続けている所がある。

現在、北極圏に残っている氷床や氷河は、グリーンランド氷床と、カナダ北極諸島、スバルバル、ノバヤゼムリヤ、セベルナヤゼムリヤ、アイスランドなどにある小さな氷床や、アラスカ、カナダ、スカンジナビア半島にある氷帽や山岳氷河などとして、その姿を見ることができる。



最終氷期の氷床と陸地であった現大陸棚 (Peltier,1998)

3.1.9 永久凍土

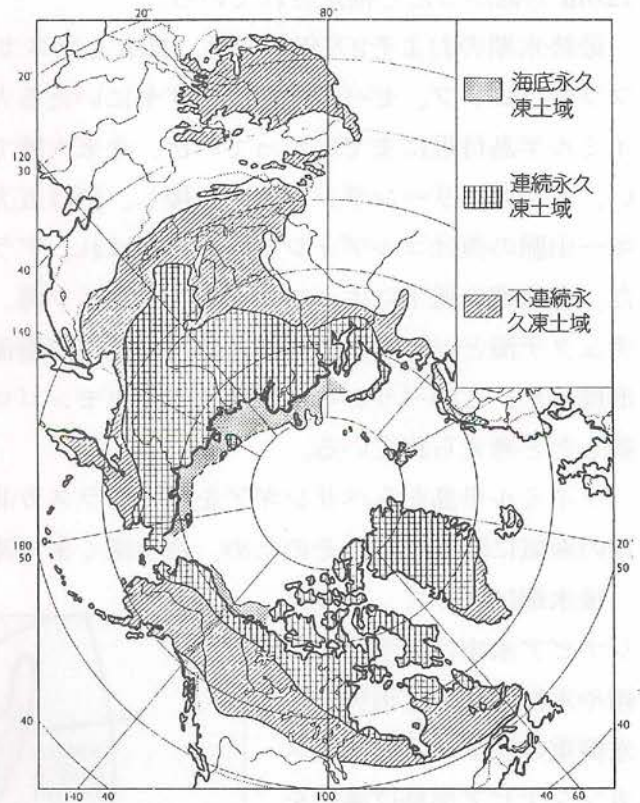
夏をはさむ2冬以上、凍結したままの状態を保つ表土や地盤の状態を永久凍土という。シベリア、中国奥地、アラスカ、カナダ北部に広く分布し、全陸地面積の14%を占める。永久凍土の厚さは、ヤクーチア地方が最も厚く、1,000m 近くに達している地域もある。

永久凍土が水平的にも鉛直的にも連続している地域を連続永久凍土、部分的に永久凍土でないところを含む地域を不連続永久凍土と呼ぶ。その現在の分布を図に示した。最終氷期に海面上に出ていた大陸棚は厚い永久凍土を形成したが、

その後の海水準上昇によって海中に没した。上を覆った海水は結氷温度が -1.5°C 前後であり、夏でも水温があまり上がらないので、この大陸棚の永久凍土はほとんど融けることなく海底に存在し続けている。それが、図の海底永久凍土である。最終氷期にスカンジナビア氷床、ローレントイド氷床に覆われることのなかったタイミル半島からマッケンジー河口付近までの大陸棚に、海底永久凍土が広く分布しているのを見ることができる。

この海底下永久凍土がほぼ一定温度で保存させているのに対して、陸上の永久凍土は、夏と冬とで 100°deg の温度差に達する気温の季節変化に晒された。冬の寒さでできた割れ目に融解水が流れ込んで凍り、氷のくさびが作られた。氷のくさびは年々成長し、北極海沿岸では、その氷が非常に

厚く、土の柱が逆にくさびに見えるところもある。シベリアの北極海沿岸やレナ川、ヤナ川、インジギルカ川、コリマ川の流域などには、氷の崖が存在する。永久凍土の地下水やくさびの氷の断面が露出したもので、融解による後退が速くエドマ（腐蝕した大地）と呼ばれている。



永久凍土分布 (木下, 1988)



エドマの景観 (写真: 福田正己)

3.1.10 亜寒帯針葉樹林

冬の気温が -40°C 以下になり、冬の日照時間がほとんどない北緯 60° 以北の大地に、大森林地帯タイガが存在する。タイガは、原生林（針葉樹林）を意味するシベリア先住民の呼び名であったが、今では広く北半球の亜寒帯に分布する針葉樹林全体に用いられる。落葉針葉樹のカラマツが主体の"明るいタイガ"と、常緑針葉樹が主体の"暗いタイガ"とがある。シベリアのタイガの面積は、アマゾンの熱帯雨林の面積より大きい。

永久凍土の表層は、夏に融け、冬に凍るので活動層と呼ばれる。活動層の下は、堅く凍結した永久凍土であり、水を通さないため、夏の融け水は活動層に溜まる。

タイガのカラマツの根は、地表約20cmの活動層に根を張って大木を支える。融解が活動層の下の永久凍土にまで進むと、カラマツの根が緩んで倒れてしまう。そこは更に日射を吸収して陥没し、池を作りながら亜寒帯樹林が崩壊していく。永久凍土が融解して体積減少による沈下でできる皿状の窪みをアラスという。その低地に水が集まり、冬には凍るが、次の夏には更に融けて沈下が進む。

長年のうちには深さ3~20m、広さ $0.5\sim 100\text{km}^2$ に及ぶものができる。氷が豊富なところでは、水が溜まり、沼や湖が点在することになる。冬に凍って夏に融け、地下に浸透しない水が大きな池や湖を作る姿が、北極海へと続くアラスカ北部のノーススロープなどに見ることができる。

亜寒帯樹林帯の北では、活動層が浅くなって、樹高の低い樹しか育たないツンドラに移行する。



アラスの進行による陥没（写真：国立極地研究所）



アラスカのノーススロープ景観（写真：国立極地研究所）

3. 北極海航路の自然条件

3.1.11 地下資源

北緯 60° 以北の北極域は、地下資源の宝庫である。広大なタイガやツンドラと、現在は海底となった大陸棚に、金、銀、銅、鉄、亜鉛、錫、ニッケル、ダイヤモンドなどの鉱物資源や、石炭、石油、天然ガスなどのエネルギー資源が埋蔵されている。

鉱物資源では、スカンジナビア半島からコラ半島にかけては鉄やアルミニウムが、エニセイ川流域では銅、ニッケル、プラチナ、コバルトが、レナ川上流のミールヌイ周辺ではダイヤモンドが、コリマ川上流では金が、カナダ北西部では亜鉛が産出されている。

石炭は、アラスカのノーススロープ、レナ川流域、ディクソンからタイミル半島にかけての埋蔵が知られているが、実際に採掘が行われていたのは、スピッツベルゲン島とヤマール半島西のボルクタ炭坑周辺である。図には示していないが、大陸棚の海底油田は、カナダ北極諸島では200年程前から発見されていたが、厳しい寒さと永久凍土や海氷などに妨げられて、開発には至らなかった。1968年にアラスカのプルドーベイ油田が発見され、埋蔵量も多いことがわかると、直ちに開発が計画された。翌年から砕氷タンカー実験が開始されたが、種々の困難に直面して、パイプラインの建設に切り替えられた。永久凍土地帯の環境保護のための高架パイプラインが完成し、アラスカ南岸のバルディーズまでの輸送を開始したのは10年後の1977年であった。カナダは、アラスカパイプラインの完成と第1次オイルショックに触発されて北極諸島での油田・ガス田の探査を進め、多くの試掘に成功しているが、採算ベースに載らないためにパイプライン建設も計画段階に留まっている。ロシアは、1970年代後半に、オビ川の下流域で天然ガス、ペチョラ周辺で石油の生産を行い、現在はパイプラインを使って中央に輸送している。



北極圏の鉱物資源分布 (POLAR REGIONS ATLAS に加筆)

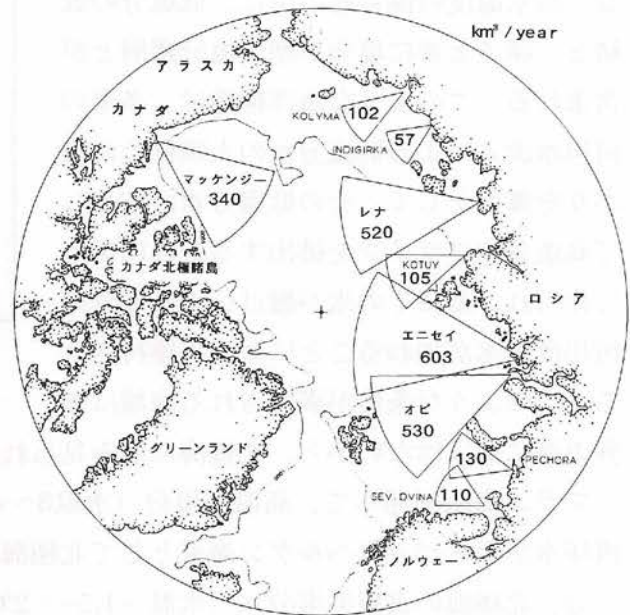
3.2 北極海の特徴

3.2.1 北極海に流れ込む大河

北極海を取囲むユーラシア大陸、北米大陸には、北極海に流れ込む大河が数多くある。河川流量で世界7位のエニセイ川を筆頭に、オビ川、レナ川、マッケンジー川の順に続き、この四つを北極海の4大大河と呼んでいる。北極海に流れ込む河川流入水の年間総量は、文献によって推定値に大きな違いがあるが、2,500~3,500km³に達すると見積もられている。北極海の表層水は東グリーンランド海流に乗って大西洋へと流出するから、北極海は河川流入水を貯えて大西洋に注ぐ巨大な貯水池と考えることができる。北極海から大西洋に供給される年間水量は、アマゾン川に次ぐ世界第2位の供給量となる。

北極海に流れ込む大河は冬には厚い氷で覆われるが、上流から春になり、雪解けを迎える。雪解け水を集めて水位を増した上流の水は、下流の氷を持上げて壊し、まだ厚い氷が張っている川下に向かって氷を運ぶ。氷の堰ができて氷が堆積した状態をアイスジャムと呼ぶ。アイスジャムは雪解け水の流れをも塞ぎ止め、氾濫洪水を起こして、新しい流路を生み出す。広大なツンドラを流れる河川では、半月湖や蛇行の跡をいたるところで見ることができる。

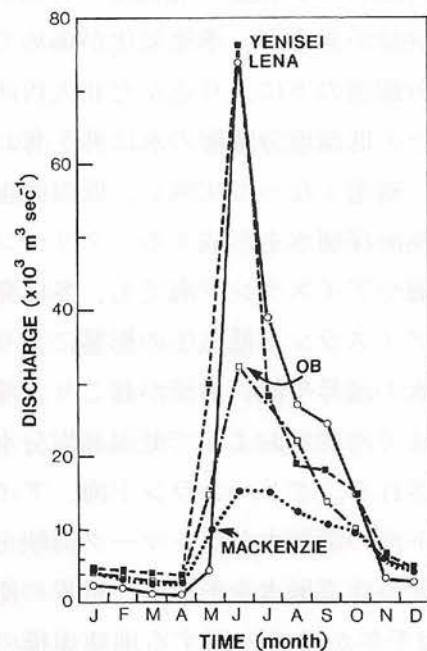
北極海への河川流入水の流量は、雪解け時期が最大で、顕著な季節変化を示す。月間流量がピークに達する6月には、エニセイ川とレナ川が毎秒8万トン弱、オビ川が約3万トン、マッケンジー川が約1.5万トンの流量となる。これらの河川は、冬は毎秒0.5万トン以下と雪解け時期の数分の一から十数分の一の流量に減少するが、それでも日本の主な河川の最大流量に匹敵する。



主要河川の年間流量 (Aagaard・Carmack,1989)



アイスジャム (写真：国立極地研究所)

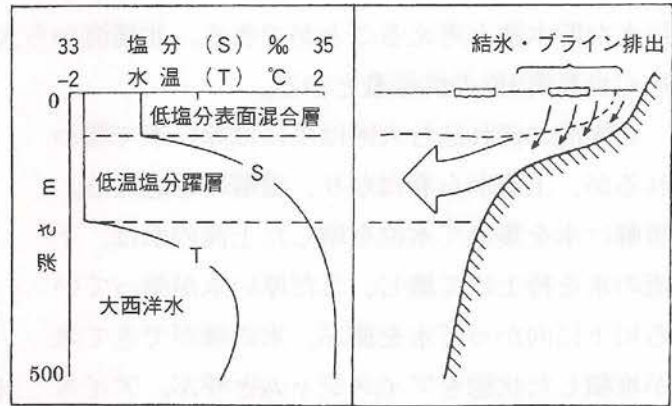


4大大河の流量季節変化 (Carmack,1986)

3.2.2 北極海の海洋構造と深層水形成

世界の海洋の表面近くには、日射の吸収、風による攪拌、蒸発や降水の影響が直接作用し、波浪や対流による混合が盛んに起こる表層水が存在する。この混合層では水温や塩分が均一化され、その下には水温や塩分が大きく変化する躍層が見られる。外洋においては、水温躍層と塩分躍層の深さはほぼ等しく、夏には風による混合がおおよぶ深さで10~20m程度と浅いが、冬には対流混合のおおよぶ深さとなって200m以上に達する海域もある。

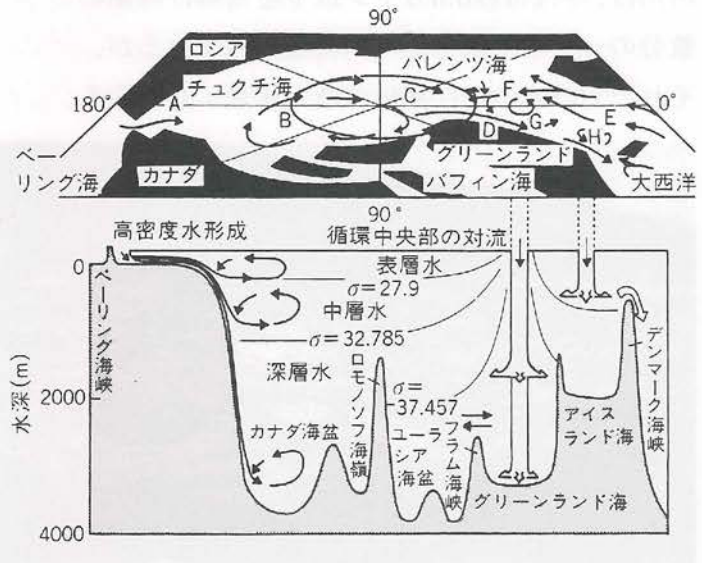
北極海の海洋構造の特徴は、水温躍層と塩分躍層の深さが大きく異なるところにある。結氷温度の混合層の中に、低塩分の表層と、深さと共に塩分が増す塩分躍層とが含まれる。このような海洋構造は、多量の河川水流入による低塩分水の大陸棚上の広がりをも舞台として、その低塩分水が結氷して高塩分のブラインを排出することによって作られ、夏にその氷が融け、また多量の河川流入水が加わることによって維持される。このような条件が満たされる海域は世界の海に他にはないから、北極海にのみ見られる特徴であるといえる。



北極海の水・塩分鉛直分布と塩分躍層の形成 (Carmack,1986)

フラム海峡を通して、高温高塩分（水温3~4℃、塩分35‰、塩分の単位‰は次節参照）の北大西洋水が西スピッツベルゲン海流として北極海に入り、塩分躍層の下に中層水として潜り込む。一方、北極海の表層低塩分水（水温-1.5~+2℃、塩分31‰）は東グリーンランド海流として北大西洋に流出する。その流量は毎秒約350万トンと見積られる。太平洋側のベーリング海峡は、毎秒約30万トン程度の北極海への流入である。沿岸の大河からは、年間平均で毎秒約10万トンの淡水供給があるが、季節変化が極めて大きい。

塩分躍層の下に入り込んだ北大西洋水は、上の低温塩分躍層の水に熱を奪われて、一層重くなって沈降し、低温高塩分の北極海深層水を形成する。グリーンランド海やアイスランド海でも、冬に発達するアイスランド低気圧の影響により、深層水の湧昇や深い対流が起こり、深い所にまで冷却がおよんで低温高塩分水が形成される。グリーンランド海、アイスランド海の深層水がデンマーク海峡を越えて北西洋深層水を形成し、世界の海洋を約2千年かけて一周する地球規模の深層水循環の供給水源となる。



北極海の海洋循環と深層水形成 (Aagaard,1985)

3.2.3 海氷

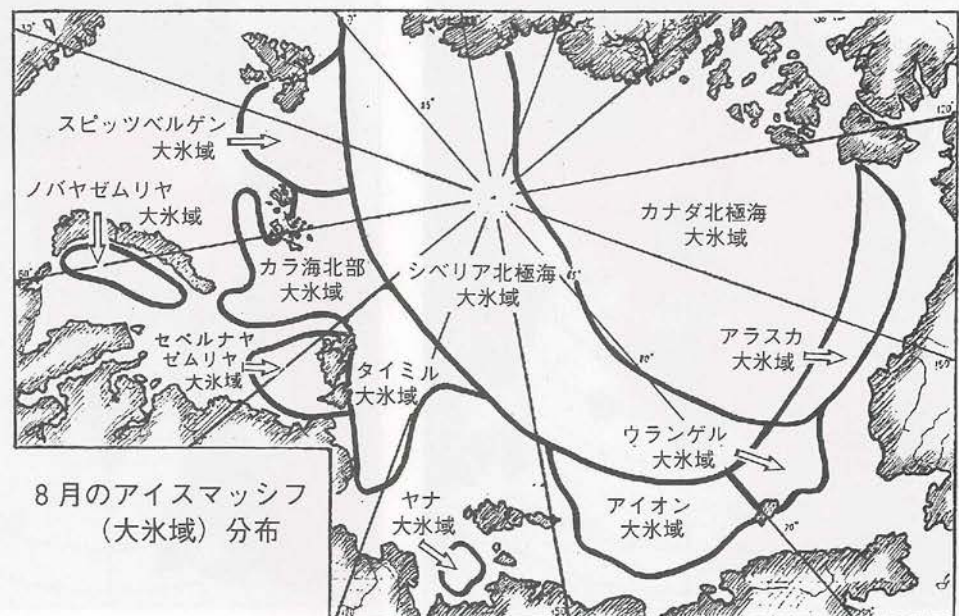
海面に浮いている氷の総称を浮氷といい、海水が凍った海氷と、陸から流れ込んだ川や湖の氷、氷河からの冰山、棚氷からの氷島を含む。北極海は、南大洋に比べて冰山や氷島の数が少ない。

海氷の用語、分類は巻末資料にまとめてある。海氷生成時の薄い氷を経ると、厚さ30cm以下の板状軟氷、30cm以上の一年氷となる。氷点下の日平均気温の絶対値を毎日加えた積算値を、積算寒度と呼んでいる。成長中の海氷の厚さは、積算寒度の平方根にほぼ比例することが知られている。一年氷が夏を越えて次の冬を迎えると二年氷、さらに冬を重ねると多年氷となる。多年氷の厚さは、積み重なりや融解の程度によってまちまちであるが、平坦部の厚さは3~6m位に達するものが多い。

海氷は塩分を含む。海水が凍るとき氷の結晶格子に塩分が入ることはないが、塩分濃縮された海水（ブライン）が純氷の結晶片と結晶片の隙間に閉じ込められるからである。海水は1kg中に35g位の塩分を含むので、重量千分率で塩分35パーミル（‰）と表現する。海氷の塩分は海水を融かした融け水の塩分で定義する。生成直後の海氷は10‰前後の塩分を含むので、海氷生成時に約3分の1のブラインが海氷の中に閉じ込められ、約3分の2のブラインが下の海水に流れ落ちたことになる。海氷中のブラインは時間とともに抜け落ちるので、厚さ1m位の1年氷の塩分は4~5‰、多年氷は表面は塩分をほとんど含まず、下層の塩分も2~3‰に減少している。海氷中のブラインは温度に対する平衡濃度を保ち、温度が下がると氷を析出して濃縮し、温度が上がると周囲の氷を融かして塩分の薄いブラインとなる。海氷の強度は海氷中のブラインや気泡の含有率に大きく依存するので、春になって気温が上がると、海氷が急速に脆くなるのに驚かされる。氷盤の集合体としての海氷域は、その広がりやの差し渡しが10km以下のものを流氷原、10km以上になると流氷野と呼び、大きさによって小流氷野、中流氷野、大流氷野に分けられている。海氷の密接度が7/10以上で、面積が1,000km²を超える大海氷域は、アイスマッシュ（大氷域）と呼ばれる。

北極海の多年氷がつくるアイスマッシュは、北極海大氷域と呼ばれ、カナダ側とシベリア側とに分けられる。その

周辺部の張出しは、スピッツベルゲン、カラ海北部、タイミル、アイオン、ウランゲル、アラスカなどの名を付けて呼ばれている。沿岸部にも、比較的安定した大氷域が現れる海域があり、ノバヤゼムリヤ、セベルナヤゼムリヤ、ヤナの名が付けられている。



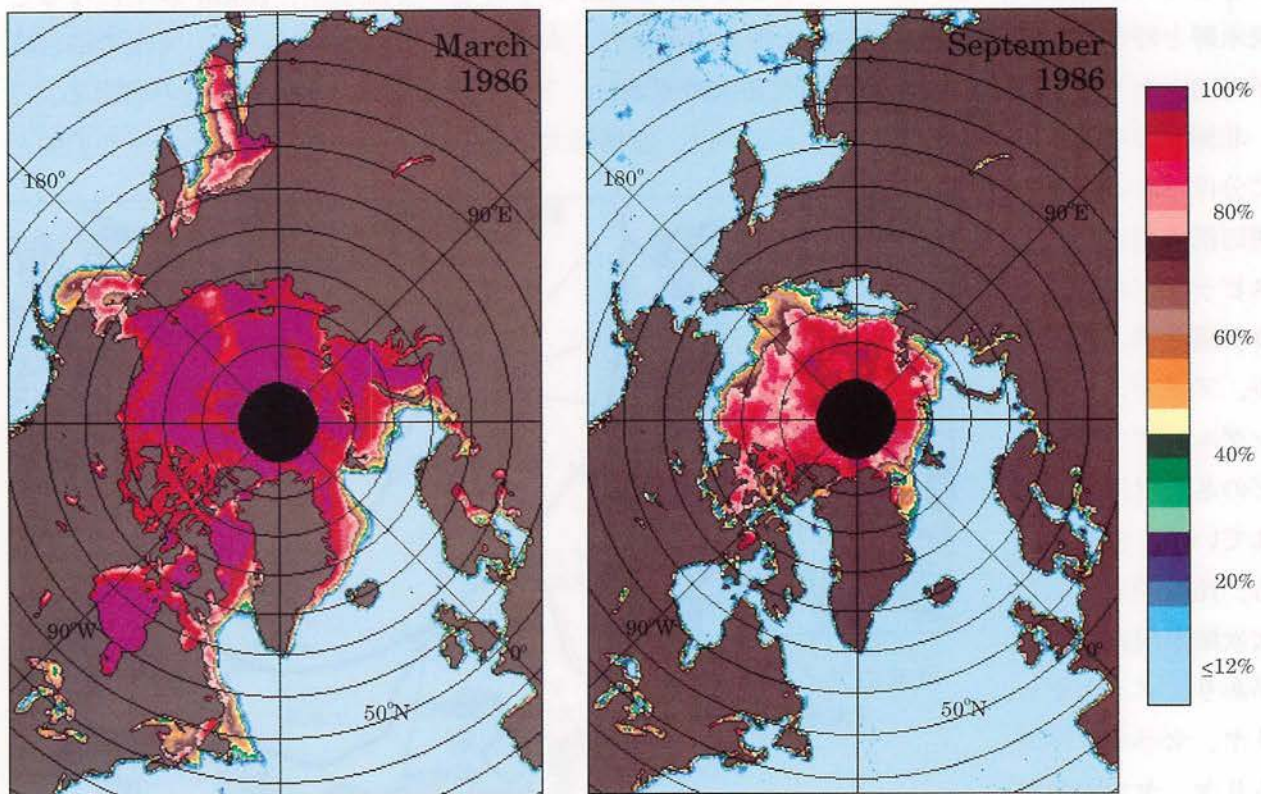
北極海のアイスマッシュ (Romanov,1994)

3.2.4 北半球の海水域

1973年以降、人工衛星に搭載されたマイクロ波放射計によって、極夜の季節を含む通年の海氷分布が広域に観測できるようになった。北半球の海水域が最も拡大する3月と最も縮小する9月の月平均海氷分布を、1986年を例にとりて並べて示した。薄い青色は海氷のない海である。海水域の中に水面が見えない密接度100%と推定される所を紫に近い暗赤色で示してあり、密接度に応じてスケールに示したような色分けが施してある。

冬（3月）の北半球海水域は、北極海はバレンツ海の一部を残して全面が海水で覆われ、その周辺の海域、ハドソン湾、パフィン湾、ラブラドル海、グリーンランド海、バルト海、オホーツク海、ベーリング海にも拡大する。北緯66.5°線はアイスランドの北岸近くに位置するから、グリーンランド海東部、ノルウェー海北部、バレンツ海南部は、極夜の季節でも凍らない広大な海面を維持していることがわかる。北極海とハドソン湾は毎冬ほぼ全域に海氷が現れるが、それ以外の周辺海域の海水域は、年によって海氷の占める割合が大きく変化する。

夏の終り（9月）には、北極海中央部の海氷だけが多年氷となって融けきらずに残る。この多年海水域はいくつかのアイスマッシュが集まったもので、年によって変動するが、面積の変化だけでなく、その位置も年によって片寄りを見せる。シベリア沿岸に近づく年と、アラスカ、カナダ沿岸に近づく年があり、NSR にとってはその動向を監視し把握している必要がある。この画像の例（1986年9月）では、セベルナヤゼムリヤの両側とウランゲル島の両側とで多年氷が接岸しているが、その両者を比較すると、ノバヤゼムリヤ周辺の方が密接度の多いアイスマッシュが存在していることが読み取れる。



北半球海水域の月平均分布（1986年の3月と9月）（Parkinson,1997）

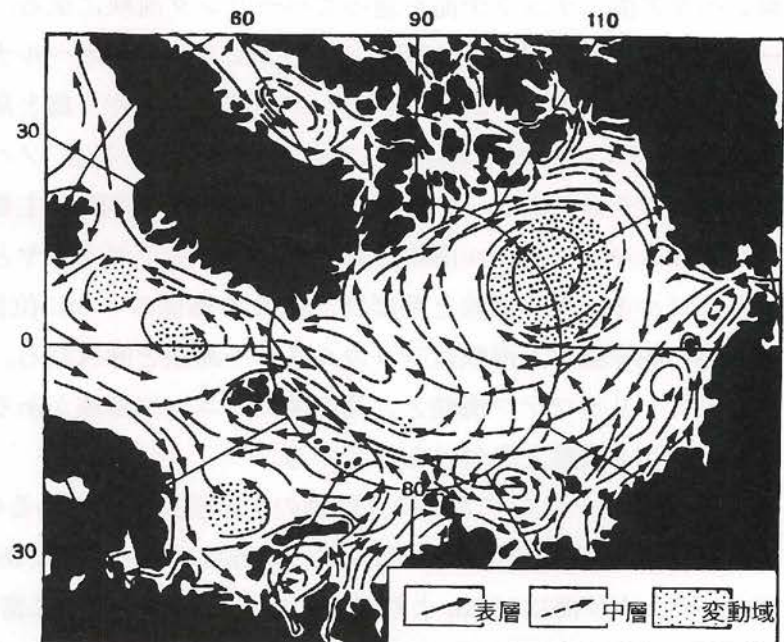
3.2.5 北極海の家流と氷の漂流

北極海の家流は、海氷のために広域の観測が少ないが、表層と中層とでその動きが異なっている。

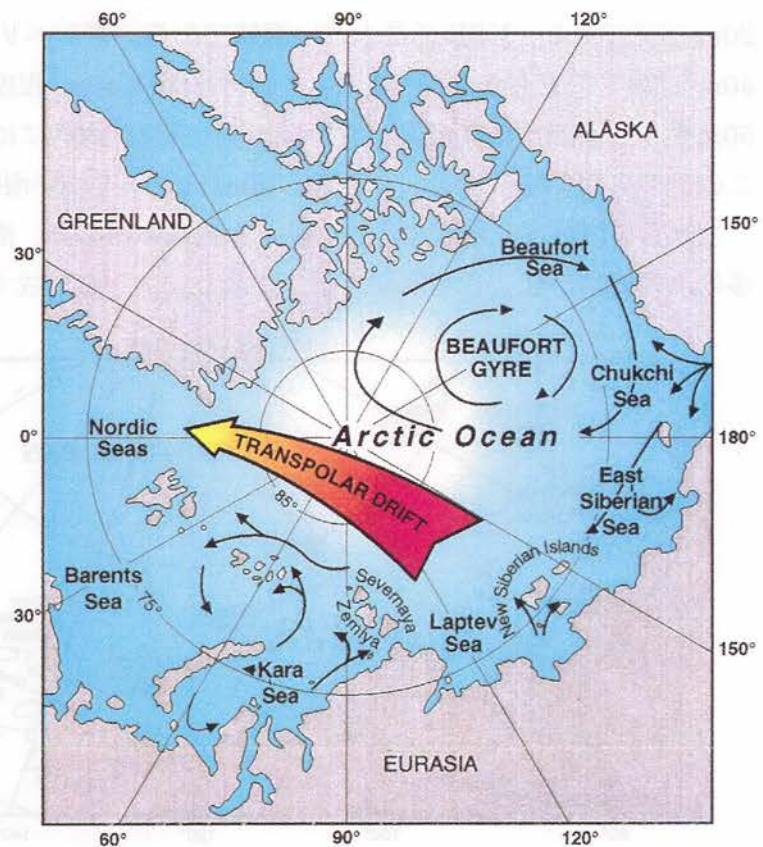
北大西洋を北上する湾流の続流は、西スピッツベルゲン海流としてフラム海峡から北極海に流入する。そこで、北極海表層水の下に潜り込んで中層に移りながら、ユーラシア大陸の大陸斜面に沿って北極海内部へと進入するが、北極海中央部で大きく湾曲してカナダ北岸に移動し、北極海の表層の大きな環流と同じ動きをするようになる。

北極海の表層海流には、アラスカ北岸と北極点との中間を中心とする時計回りのゆっくりとした環流がある。外側ほど流れが速く顕著になるが、中央部には流れの方向が一定しない海域がある。海氷もこの環流に乗って漂流する。この環流のシベリア側は、ベーリング海峡からフラム海峡に向かう流れであり、ナンセンのフラム号をはじめ、氷に閉じ込められて漂流した多くの船がこの海流に乗って移動した。

シベリア沿岸の大陸棚には、西から東に向かう流れがあり、大陸棚沖のフラム海峡に向かう流れとの間に諸島があるので、大陸棚上には渦を作るような複雑に変化する流れの場が存在する。岸の影響を受けない北極海内部の海氷の動きは、長期的には卓越風の影響を強く受け、北極高気圧の等圧線にほぼ沿って移動する。移動速度は海上風速の5%程度で、風速10m/sの風が吹き続けると1ノット位の漂流速度となる。



北極海の表層、中層の家流 (Kruglikova,1989)



北極海の氷の漂流の概観図 (Kassens,1998)

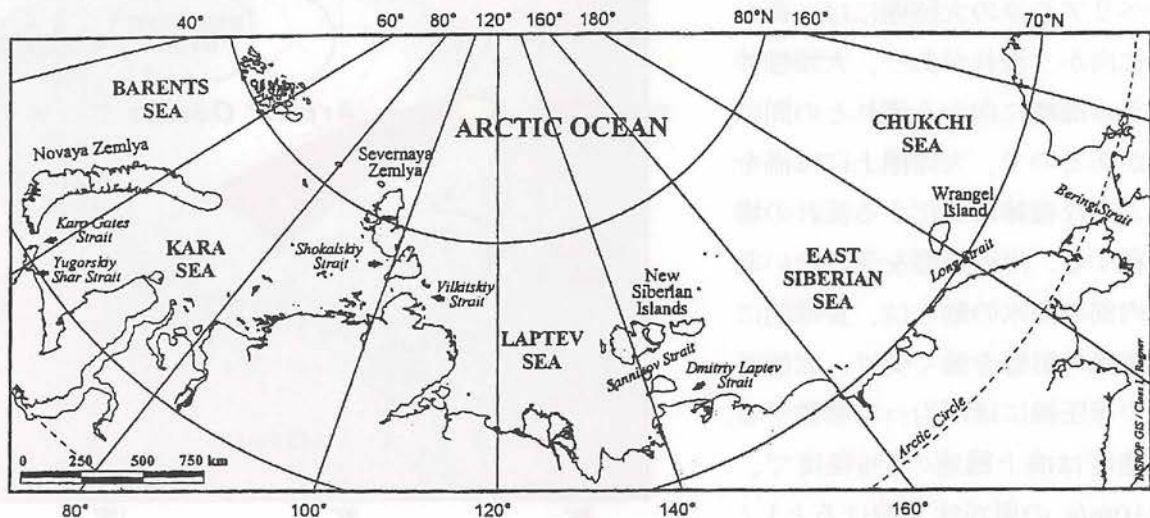
3.3 北極海航路の自然条件

3.3.1 地理的環境

北極海航路（NSR）は、スカンジナビア半島の北を回ると、バレンツ海、カラ海、ラプテフ海、東シベリア海、チュクチ海を通ってベーリング海峡に至る。これらの海域を分けているのは、ユーラシア大陸の大陸棚上の諸島、ノバヤゼムリヤ、セベルナヤゼムリヤ、ノボシビルスク諸島、ウランゲル島であり、島とユーラシア大陸との間や、島と島の間には、狭い海峡が存在する。NSR を航行する船舶が通過する主な海峡を列記すると、ノバヤゼムリヤとユーラシア大陸の間にはバイガチ島があり、この島の北側の海峡が NSR の主要航路となるカラゲイト海峡、南側がユーゴルスキーシャール海峡である。セベルナヤゼムリヤとタイミル半島のチェリユスキ岬との間はビルキツキー海峡と呼ばれ、NSR の難関の一つに位置づけられている。セベルナヤゼムリヤの島の間を抜ける海峡はショカルスキー海峡と呼ばれる。ノボシビルスク諸島の所では、大陸側のドミトリラプテフ海峡と、島の間のサニコフ海峡がある。そして、ウランゲル島と大陸との間は、ロング海峡と名付けられている。

NSR は、ユーラシア大陸の大陸棚の上を航路としているので、水深の浅いところが多い。バレンツ海は、西部は200m より深い、東部は100m 前後であり、カラゲイト海峡は30m 程度の水深である。カラ海は100m より浅いところが多く、起伏に富んでいて、水深が数 m から20m の浅瀬が多く見られる海である。ビルキツキー海峡は、100m よりも深い。ラプテフ海は北極海中央部の深海が最も近づいている海であり、NSR は1,000m 以深の海域を含むように通過する。ノボシビルスク諸島に近づくと、水深は20m よりも浅くなる。ドミトリラプテフ海峡もサニコフ海峡も20m 前後であり、NSR で最も浅い海峡である。東シベリア海は、西部は20m より浅く、東部は40m 前後のなだらかな海である。ロング海峡も40m 程度であり、チュクチ海に入ると中央部は50m 位で、ゆるやかに変化している。ベーリング海峡には中央に大小2つのダイオメド島があり、この島の東側が60m と深く、西側が50m 弱とやや浅い海峡となっている。

これらの海峡は、海水や海氷の動きを拘束するので、海流に重なる潮流が激しい動きを見せ、多年氷の集積が起こると地域的なアイスマッシュを形成する原因となる。



NSRの海域と海峡 (WP-167)

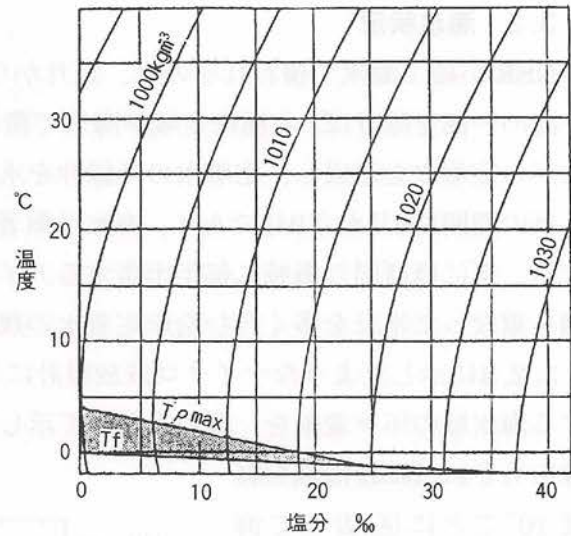
3.3.2 低塩分水

NSRの沿岸には、ユーラシア大陸から多量の河川水が流れ込んでいる。その結果、オビ川とエニセイ川が流れ込むカラ海や、レナ川が流れ込むラプテフ海、インジギルカ川とコリマ川が流れ込む東シベリア海などでは、沿岸大陸棚域の広い範囲に低塩分水が広がっている。

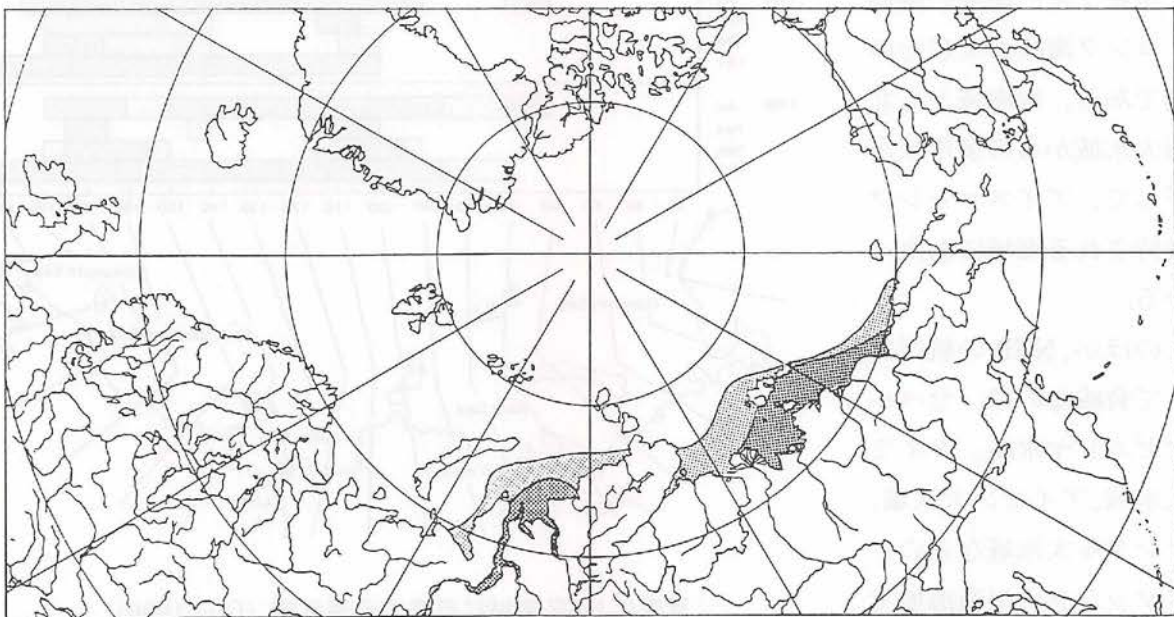
海水の密度は温度と塩分に関係する。海水の塩分は海水1kg中の塩のg数、すなわち重量千分率(‰、パーミル)で表わされる。塩分0‰の淡水は4℃で密度が最大になり、0℃で凍る。塩分が増すにつれて、密度が最大となる温度($T_{\rho \max}$)も、結氷する温度(T_f)も低下するが、

最大密度温度の下がり方が大きいので、塩分が24.7‰のところで両者が交叉する。秋から冬にかけて淡水の湖の水温が下がるとき、冷えた水は重くなって対流を起こすが、4℃以下になると今度は軽くなって成層しながら表面だけが冷えていき、やがて結氷が始まる。海水の塩分は通常33～35‰位であり、対流を続けながら結氷温度に達する。塩分24.7‰以下の水は最大密度温度が結氷温度より高く、淡水湖のような結氷をするので、結氷直前は成層していて対流混合が起こらない。

北極海で表層塩分が25‰以下の海域を示した図を見ると、カラ海、ラプテフ海、東シベリア海の広い範囲が25‰以下であることがわかる。明るい斜線を付けた所は、夏の25‰以下の海域であり、濃く斜線を付けた所は冬の25‰以下の海域である。NSRの広い海域が湖のような結氷条件にあることは特筆すべきことであり、世界の海でも他にはバルト海があるだけである。また、NSRの海水は、凍り始めの時期には、淡水氷に近い性質を示すことに留意する必要がある。



海水の密度の温度塩分図 (Ono, 1996)



NSR海域の低塩分水分布 (25‰以下, 濃: 冬, 淡: 夏) (Ono, 1996)

3.3.3 海水状況

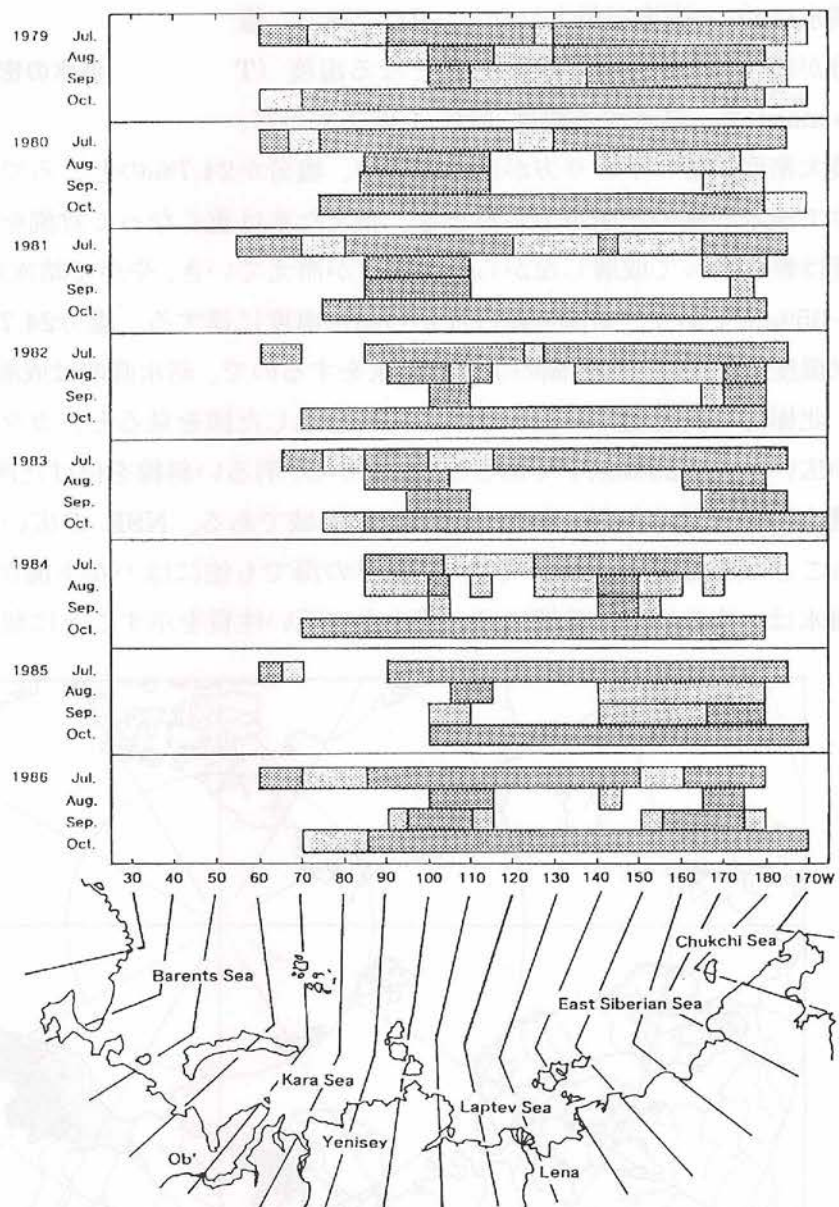
NSR が総て海水で覆われるのは、11月から4月までの冬の半年である。この冬の期間、バレンツ海の一部を除けば、北極海全域が海水で覆われる。NSR の沿岸部を一年氷が多年氷を混入させながら定着氷を形成し、定着氷の外縁沖を水量の多い流氷域が占める。

夏の期間は6月から9月であり、海氷は顕著な融解を見せ、海氷域は広がり強度が急速に減少する。夏にほぼ同じ海域に毎年出現するアイスマッシュは、北極海中央部からの多年氷や、厚く積み重なった氷丘を多く含む沿岸定着氷の残骸が集まったものである。

3.2.4に示したようなマイクロ波放射計による人工衛星画像を使って、NSR 海域に夏期に存在する海氷域の年々変動を、図にまとめて示した。1979年から1986年の各年7月から10月の衛星画像をもとに、NSR 海域を

経度 10°ごとに区切って海氷の有無を調べた。各年各月の海氷の存在海域を四角で囲み、密接度の多い所 (70%以上) を濃い網目、少ない所 (70%以下) を淡い網目で示した。この図から、1979年を除けば、8月と9月にはラプテフ海と東シベリア海の西部は海氷がほとんどなくなることがわかる。夏期でも密接度の多い海氷域が常時存在するのはビルキツキー海峡の両側と、ロング海峡およびその西側である。両海域とも北極海大氷域からの多年氷が南下して、アイスマッシュが維持される海域にあっている。

このほか、NSR の航行にとって脅威なのは、セベルナヤゼムリヤ氷域、タイミル大氷域、アイオン大氷域、ウランゲル大氷域などのアイスマッシュの出現海域である。



夏季に NSR 海域に存在する海氷域 (Ono,1996)
(濃い網目 : 氷量70%以上, 淡い網目 : 氷量70%以下)

各海域ごとに海氷状況を概観すると、次のようになる。

カラ海では、9月頃、北部から凍り始め、10月には南部に達する。10月から5月にかけてほぼ全域が種々の発達段階の海氷で覆われる。沿岸域には不均一な定着氷が存在し、座礁氷の沖には開水面や薄氷が見られるフローポリニヤ（定着氷と流氷との間にできる海水面）が存在する。カラ海南部のフローポリニヤは、アムデルマポリニヤ、オビ・エニセイポリニヤなどと呼ばれている。6月から9月にかけては、カラ海の家氷は少ないが、西部では厚い流氷が散在することがある。カラ海東部では、厚い一年氷が大半で密接度の高いセベルナヤゼムリヤ大氷域が航路に立ちはだかる。セベルナヤゼムリヤとタイミル半島の間のビルキツキー海峡は、氷の動きも激しく、NSRの最大の難関に位置づけられる。9月中旬に海氷がもっとも減少し、北緯75°以南のカラ海には氷がない。特に暖かい夏には、カラ海は北緯80°まで氷がなくなる。

ラプテフ海は、1月から6月にかけて、定着氷が最も沖へ張り出している海域である。真冬の平均気温が-30℃まで下がるので、定着氷の厚さは2mに達し、厳しい冬には2.5mになる。夏にはラプテフ海西部で海氷が南下し、セベルナヤゼムリヤとタイミル半島の沿岸に海氷が集積する。北極海航路にとっては、ビルキツキー海峡からタイミル半島沿岸の海氷集積域を通過する海域が、一年中挑戦を強いられる海域となる。

東シベリア海は、最も浅い大陸棚が広がる海域である。浅い大陸棚は定着氷を安定させ、厚さ170~200cmの定着氷が500km沖合にまで広がっている。冬には南からの卓越風が流氷を沖に運び、定着氷縁に沿って航行可能な薄氷域、フローポリニヤを作っている。東シベリア海は多年氷を最も多く含んでいる。アイオン大氷域では多年氷が60%を占め、冬の平均氷厚は2.5mに達する。夏には北よりの風に変わり、北から氷が供給されてアイオン大氷域が維持される。9月に北から結氷が始まり、10月中旬には全域が凍結する。

チュクチ海は、12月初旬から5月中旬の期間、ほぼ全域が海氷に覆われる。氷状の変化が激しく、冬の氷の約80%が夏には消える。氷状変化を激しくしているのは、気温、風、海流と、ウランゲル島および海底地形である。北から運ばれる多年氷が、ウランゲル島とシベリアとの間のロング海峡にも現れて、航路の選択に影響を与えることが多い。



北極海アイスマッシュの景観（写真：小野延雄）

3. 北極海航路の自然条件

3.3.4 降水と積雪

海氷上の積雪は、海氷の成長や融解を大きく支配する。また、氷域を航行する砕氷船にとっても、氷上積雪は船速や操船に大きな影響を受ける因子となる。

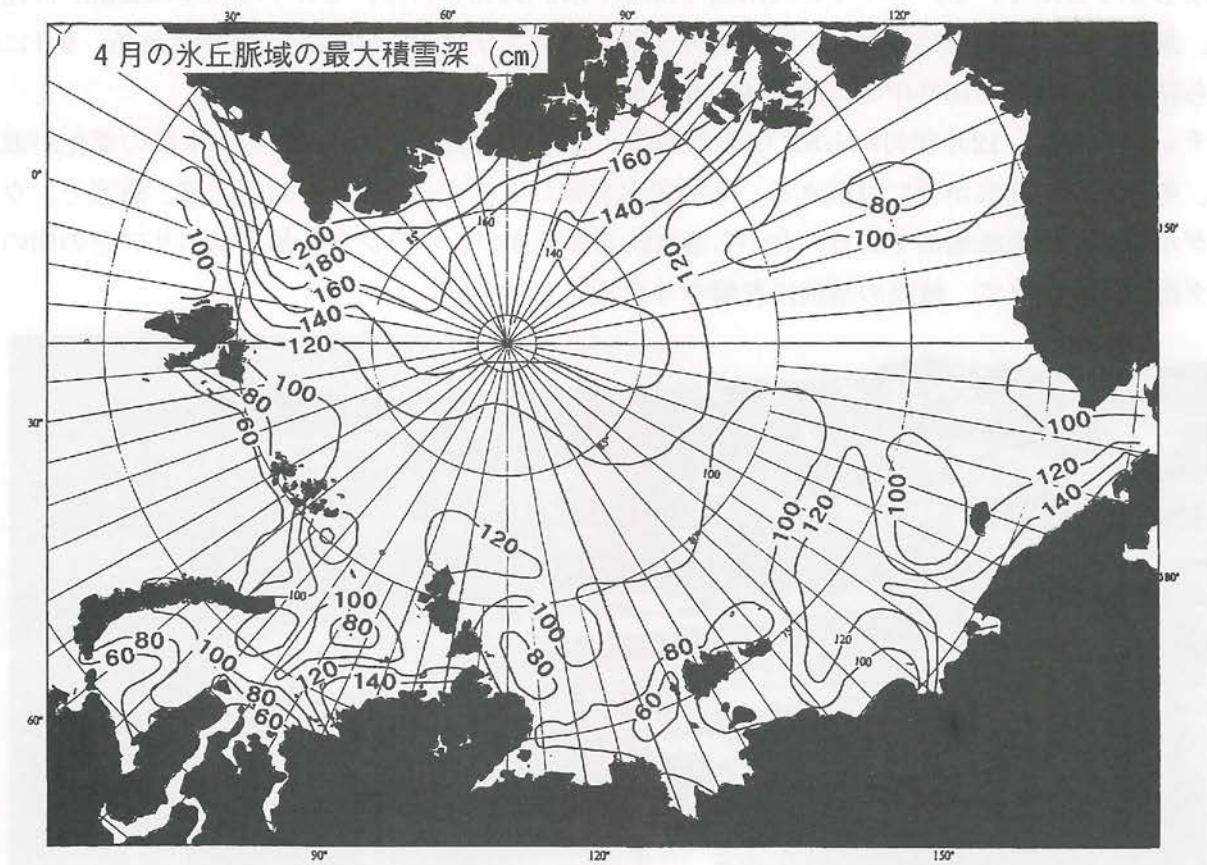
北極海は一年を通して弱い高気圧の中にあり、バレンツ海、時にカラ海にまでやってくるアイスランド低気圧の影響を除けば、嵐になることは希である。月別平均降水量の表を見ると、各地とも夏の降水量が最も多いが、それでも月40mmを超える所はなく、また、年間180~250mm程度の降水量であることがわかる。

平坦氷上の積雪でも積雪深は場所によって大きく変化するが、北極海の海氷上の積雪深の概況をまとめると、次のようになる。一年氷の比較的平坦なところを選ぶと、NSRの大陸棚上では積雪深が0~5cmの所よりも5~10cmの所のほうが2倍くらい多いのに対し、アラスカ・カナダ側では両者がほぼ同程度で0~5cmのほうが若干多い傾向にある。多年氷の上の積雪深は、100カ所以上の観測点でのヒストグラムをとると、平坦部では12~18cm、氷丘脈の近くでは60~100cmが最頻値であった。氷丘脈の近くは地吹雪が溜まるので、積雪深が増すが、氷丘脈域の4月の最大積雪深の分布を見ると、グ

リーンランド側で200cm、NSR海域側で140cmとなっているのがわかる。

北極海各地の月平均降水量 (mm) (Radionov,1997)

Location	Month												Year
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	
Arctic Basin	11	8	7	7	11	15	24	25	23	17	11	10	179
Rudol'fa Island	17	17	17	16	16	20	28	32	30	24	20	17	254
Zhokhov Island	13	8	8	9	14	21	39	33	22	16	13	10	206
Wrangel Island	16	10	10	8	13	15	34	35	32	24	17	15	229



4月の氷丘脈付近の最大積雪深 (cm) (Romanov,1995)

3.3.5 パドルの特徴

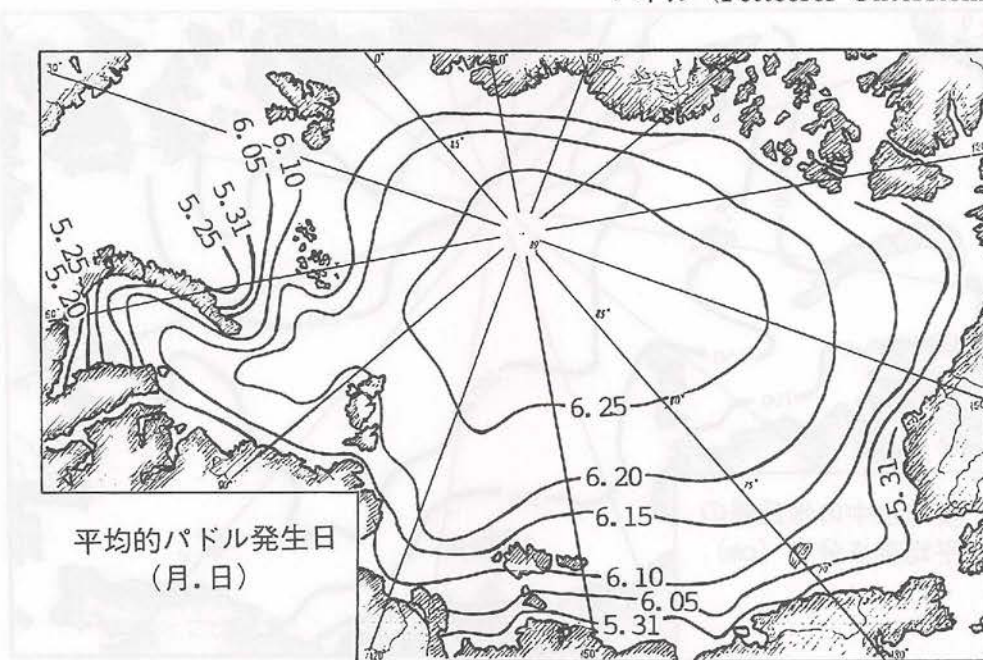
海氷中のブラインは氷の温度と平衡する塩分濃度を保つので、海氷の温度が変化すると、氷を析出したり、周りの氷を融かしたりして平衡の塩分を保つように変化する。夏に気温が上昇して氷温が結氷温度に近づくと、気温が氷点下でも氷中ブラインの量が増し、海水の重量の半分近くがブラインで占められるようになり、海氷は急速に強度を失う。

水面上の部分のブラインは海氷表面の凹凸の低いところに集まって、パドルと呼ばれる水溜りを作る。パドルは、日射を吸収して周囲の氷を融かし、大きくなり深くなる。気温が一時的に下がればパドルの表面に薄氷が張って蓋が出来るが、風があれば気温が氷点近くでも、蒸発の潜熱が蓋を維持する。蓋を通して入った日射の吸収によってパドルの中の水温はプラスの温度を示すことも多い。パドルの水の塩分は下の海水よりも低いので、融解が進んで、底が薄くなったり、底に穴があいても、密度の小さいパドルの水が抜け落ちることはない。多年氷の上のパドルの水は、ブラインを洗い流すので、多年氷の表層は塩分がほとんどない氷となる。夏の多年氷のパドルの水は、飲料水として使われることも多い。

パドルの形成は積雪の状態に支配されるが、緯度の低い沿岸定着氷から始まり、時と共に北極海中央部へと進む。NSRの沿岸では5月下旬にパドルが出来始め、北極海中央部では約ひと月遅れて6月下旬頃パドルが姿を見せる。パドルが姿を見せると、北極の短い夏の到来となる。海氷の内部融解の潜熱収支が、海氷を熱的慣性の大きな物質に仕立てて、融解の姿を遅らせ、海氷域の気温変化を抑える役割を果たしているからである。



パドル (Fetteerer・Untersteiner,1998)



パドルの平均発生日 (Romanov,1994)

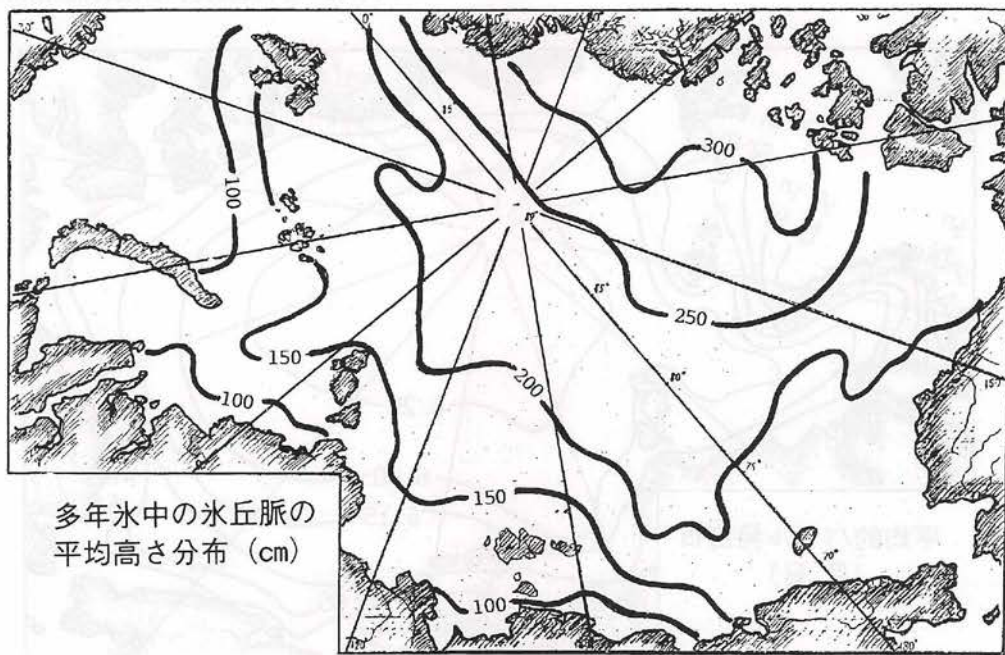
3.3.6 氷丘脈

海面を覆う海氷は、厚さが一年氷で1~2m、多年氷でも3~4mであるから、その面積に比べて極めて薄い。風や海流、潮流などによって動かされながら、剪断力を受けて割れ、水面が顔を出す。割れ目は大きく広がって水路となることもあれば、若干の時間の後に閉じることもある。その間に水面は結氷して薄い氷が張りつめるが、閉じる時に押しつぶされて上下にはみだし、もとの氷の上に堆積する。その重みで最初の割れ目に平行する新たな割れ目が入り、傾斜して更に押しつけられると同じ厚さの氷同士が積み重なるようになる。このようにして最初の割れ目に沿ってできる氷の山脈を氷丘脈という。その時、水中にも氷が押し下げられて堆積が生じているが、これを竜骨氷という。多年氷中の氷丘脈の平均高さは通常2~3mであるが、時には8mを超えるほどに発達することもある。

多年氷において、氷丘脈の高さに対する氷の厚さの比をとると、0.9~1.5となり、北極海中央部のアイスマッシュでは氷が厚く氷丘脈が低いのに対し、カラ海南西部やチュクチ海などの縁辺海域では、氷の厚さより高い氷丘脈が現れる。北極海の多年氷の氷丘脈の高さの分布図を見ると、カナダの沿岸沖が3mと高く、NSRの大陸棚上は1~1.5m程度であることがわかる。



一年氷域の水路と氷丘脈 (写真：小野延雄)



多年氷中の氷丘脈の平均高さ分布 (cm)

多年氷中の氷丘脈の平均高さ (Romanov,1994)

3.3.7 海流と潮流

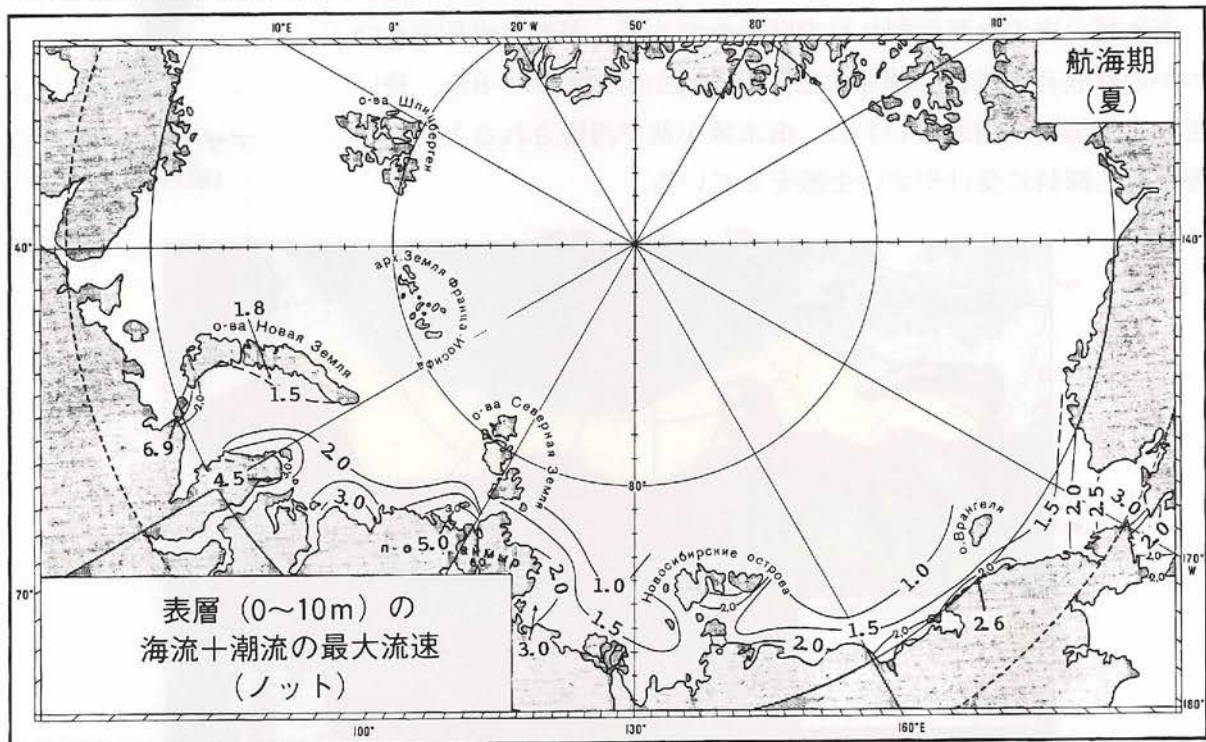
北極海航路の海流は、浅い大陸棚上の沿岸流として、地形的要素に支配されつつも、全体として西から東への流れがある。島々の間の狭い海峡では、潮流が顕著に現れ、激しい流れが往き来する。このことは、この航路を航行した探検時代の船舶によっても体験された。

潮流の流れが速い海峡の例をあげると、ノバヤゼムリヤとユーラシア大陸との間にあるバイガチ島の南側のユーゴルスキーシャール海峡では、北東風の強いときには吹送流が加わって、最大流速が6.9ノットに達することがある。セベルナヤゼムリヤの南のビルキツキー海峡付近で5ノット、ノボシビルスク諸島の南のドミトリラブテフ海峡でも3~4ノットの流速が強風の時に現れるようである。小さな船では流れに逆らっては海峡に入ることができず、潮の変わるのを待って航行したと記されている。

潮汐は12時間の半日周潮が卓越し、大河の河口付近や下流域に作られている港湾では、沿岸の地形によって大きな干満差が生じている。河川流量の大きな季節変化に大きな潮の干満が加わることに、港湾設備の利用には留意する必要がある。

潮汐の4主要分潮、主太陰半日周潮 (M2)、主太陽半日周潮 (S2)、日月合成日周潮 (K1)、主太陰日周潮 (O1) を用いて潮流の調和分析を試みた推算によると、北極海中央部に比べて NSR の大陸棚上で潮流が大きくなり、2ノット近い値が散在する結果が得られている (Kowalik and Proshutinsky, 1994)。バレンツ海は、大西洋北部との組み合わせで局所的に3ノット近い値が現れる。NSR 海域では、海流、潮流、吹送流などが累積したり、相殺したりするので流向流速の変化が大きく、特に狭い海峡では激しい流れが生じることになる。

GUIDE TO NAVIGATING THROUGH THE NORTHERN SEA ROUTE (No. 4151B)



NSR海域の最大流速分布 (Administration of the NSR, 1996)

3.3.8 海洋生物

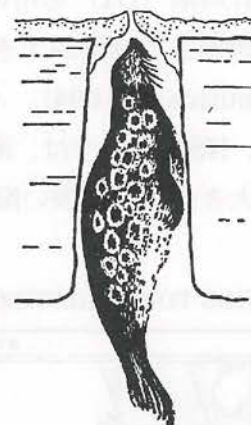
陸上の植物が北極海沿岸に近づくにつれて、タイガからツンドラへと厳しい自然環境を反映しながら適応しているのに対して、広大な大陸棚上の NSR 海域は、北極海の中でも海洋生物の豊富な海域である。極夜が明けて太陽が現れると、植物プランクトンの基礎生産が始まる。動物プランクトン、魚、鳥あるいは海洋ほ乳類と、春先から白夜の夏にかけて、食物連鎖の活動が活発になる。NSR 海域で食物連鎖の頂点を占める大型動物は、ホッキョクグマ、セイウチ、アザラシ、クジラなどである。

しかし、これまでの調査が空間的にも時間的にも極めて限られているために、生息分布や生態などは十分わかっているとはいえず、今後の調査に待たなければならぬことも多い。2、3の大型海洋ほ乳類を取り上げて、その生息分布状況を概観してみよう。

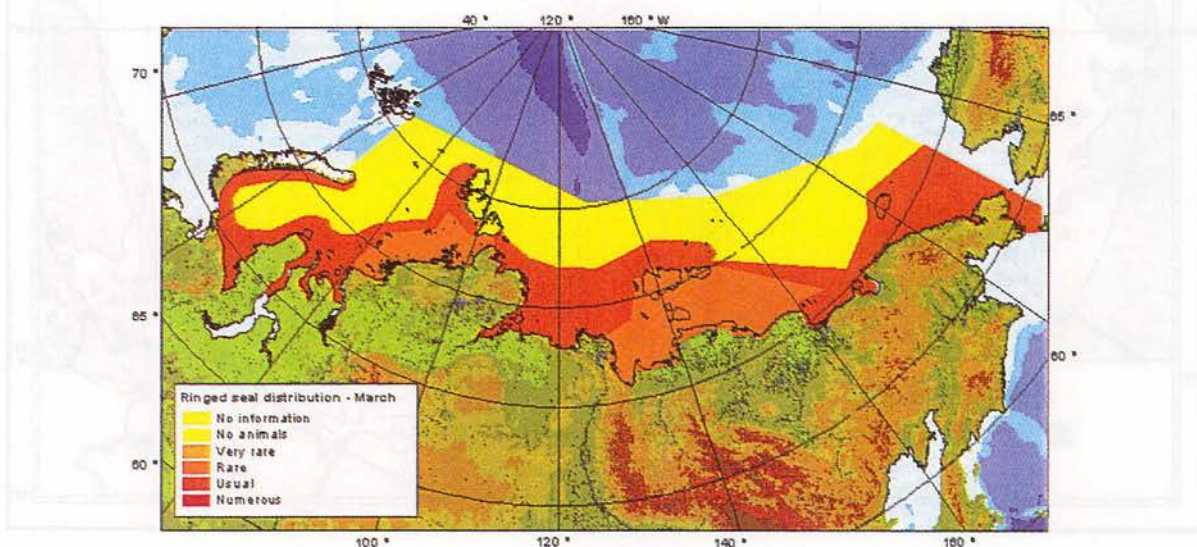
ホッキョクグマは、総数は2万～3万頭と推定され、行動半径もかなり大きい。氷縁付近を生活の場として、海氷域の前進後退と共に移動する。海氷が融け去ると、陸上で生活することもある。NSR 海域では、3月にはノバヤゼムリヤやカラ海の沿岸部、セベルナヤゼムリヤの東側、ノボシビルスク諸島の北、ウランゲル島からチュクチ海にかけて、多く生息する。8月にはセベルナヤゼムリヤとウランゲルを中心にその周辺に集まってくる。

セイウチは、25万頭位いると推定され、その大部分はチュクチ海からベーリング海にかけて生息する。NSR 海域ではラプテフ海やノボシビルスク北岸付近に5千頭位が生息する。

アザラシは、世界中には数百万頭はいると推定されているが、北極の数はあまり良くわかっていない。NSR の全海域にわたって見られるが、夏は沿岸近くに、冬は沖の定着氷縁のあたりに多く生息する。海氷域の中の水路や割れ目で呼吸をするが、海氷の成長中もいくつかの呼吸孔を維持し確保する。通常1回の呼吸で7～8分、長いときでも20分位の潜水といわれ、海氷域が油で汚染されると、その被害を最も深刻に受けやすい生態をしている。



アザラシの呼吸孔
(植村, 1977)



アザラシの生息分布 (3月) (WP-99)

4. 北極海航路の運航技術

4.1 氷海船舶

NSRの最大の特徴は、航路上における氷の存在である。氷は船舶の前進を妨げ船速低下を引き起こす大きな障害であるとともに、時には船体あるいは推進器等に損傷を与える危険な存在でもある。このような氷の存在する海域、氷海域を航行する目的を持って建造される船舶を氷海船舶と呼ぶ。氷海船舶は氷中を安全かつ効率的に航行するために、他の船舶には無い特徴を有する特殊な船舶でなければならない。本節においては、まず、氷海船舶の一般的特徴並びにこれに関わる規則等を述べる。次に、氷海船舶の具体的な例としてロシアの氷海船舶について概説する。ロシアは世界最大の氷海船舶保有国であり、NSRにおける運航を通して氷海域における航行の経験が豊富である。最後に氷海船舶の研究・開発について述べる。ここでは近年開発された氷海船舶の船型を概観するとともに、NSR用商船の船型開発プロジェクトについて述べる。

4.1.1 氷海船舶の満たすべき要件

(1) 一般的特徴

氷荷重に耐える船体

氷海中における船舶の船体には、周囲の氷との接触により船体に加わる力、氷荷重が発生する。氷荷重は、時に船体あるいは付加物に損傷を与え、最悪の場合には沈船に至る致命的損傷を引き起こすものとなり得る。氷荷重に耐えて乗員並びに積載貨物を護り安全に航海するために、氷海船舶の船体は頑強に造られるとともに、氷荷重を軽減するための工夫が為されている。16世紀から17世紀にロシア白海沿岸において、氷海域用の舟として koch 及び lod'ya と呼ばれる舟が製作されている。これらの舟は長さ18m、乗員30名程度の大きさであり、全体的に丸みを帯びた船体形状を有していた。このため、氷の中に閉じ込められて動きがとれなくなった場合においても、周囲の氷から船体に働く力により船体が氷上に持ち上げられて破壊を免れたことが記録されている (WP-28)。このような丸みを帯びた船体形状は、必ずしも氷からの力に対して船体を護ろうとする発想に基づくものではなく、当時の造船過程における技術的制約によるものであったが、このアイデアは、後年、Fridtjof Nansen の依頼により Colin Archer が設計した極地観測船フラム号にも反映することとなった (図4.1-1)。フラム号の船体中央断面はほぼ半円形の形状を有するとともに、船首・船尾ともに丸みを帯びた形状となっている。

丸みを帯びた船体により氷荷重を軽減しようとする考え方は、鋼船の時代にもしばらくの間受け継がれた。昭和40年に建造されたわが国の南極観測船「ふじ」もほぼ半円形の中央断面を有している。一方、「ふじ」の後継船として昭和57年に建造された「しらせ」は、丸みは無いものの多少傾斜した船体側面となっている (図4.1-2)。これは、氷中に閉じ込められるピセット状態において、船側に押し寄せる氷が圧縮ではなく曲げにより破壊されることにより、船体にかかる氷荷重の軽減を図るものである。氷荷重並びにこれに対応した船体構造に関する知見・技術は進展しているものの、船舶にとって氷荷重が大きな脅威であることには変わりはない。

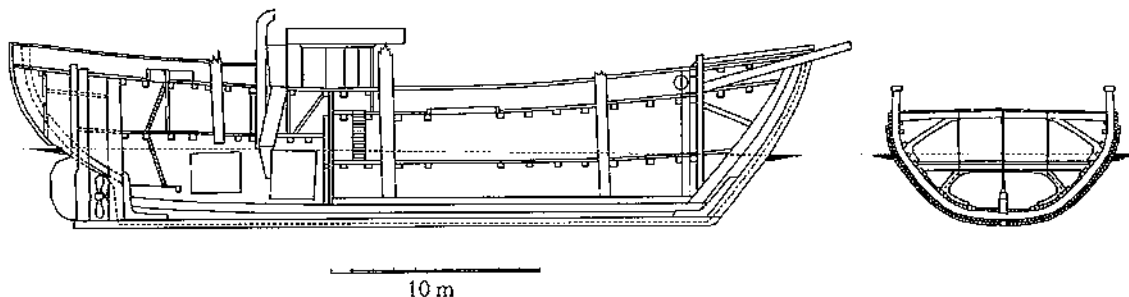


図4.1-1 フラム号概要図

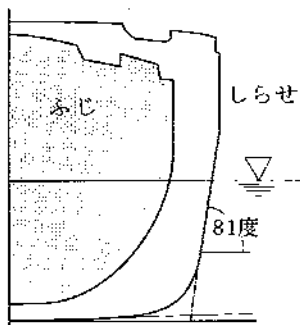


図4.1-2 「ふじ」と「しらせ」
の中央断面形状の比較

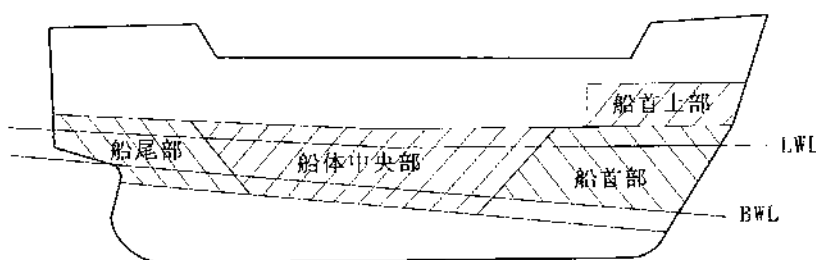


図4.1-3 氷海船舶のアイスベルト

い。氷荷重は、他の流体力に比べて、狭い面積に集中的に高荷重が発生すると言う特徴がある。このような氷荷重に対抗するため、現在の氷海船舶にあってもその船体は通常船舶に比べて遙かに多量の鋼材を使用して補強がなされている。特に、船首から船尾に至る喫水線周辺の船体は、氷による荷重を最も受けやすい部分であることから、アイスベルト (ice belt) として外板の厚さを増している (図4.1-3)。また、外板を船体内部から支えるフレームもその間隔が密となっている。

船型

氷の存在は、船舶の構造のみならず、船型にも大きな影響を与える。氷海船舶の船型を設計する上での重要な観点は、船首部における砕氷抵抗の軽減と砕氷片の船体近傍からの排除である。氷海域を航行する船舶に加わる抵抗は、周囲の氷を破壊あるいは押し退けることによるものであり、これは開水域におけるものに比べて格段に大きな抵抗となる。また、船体周囲に存在する氷とプロペラとの干渉は、時に推進システムの安全性をも脅かす現象であり、氷海船舶の船型は氷塊のプロペラへの接近を妨げることを考慮して設計されなければならない。わが国の南極観測船「しらせ」の船型にもこれらの点を考慮した特徴が見られる (図4.1-2及び図4.1-4)。

砕氷船としての特徴はまず船首部に見ることができる。喫水線から船底近傍にかけての船首部外板は、水平面に対して浅い傾斜角を持ち、特にステム部は21度と極めて浅い角度を持っている。氷板と船体が接触する場合の氷板の破壊様式は様々であるが、氷板に対して水平方向の力を与えて氷を圧縮破壊するよりも、鉛直方向の力により氷板に曲げを発生させる状態の方が氷の破壊は容易である。このため、船舶による砕氷については、船の推進力・慣性力等による

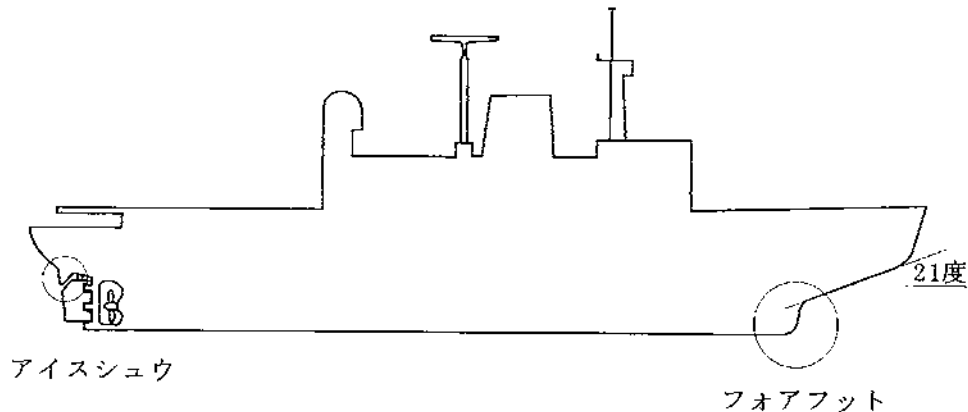


図4.1-4 「しらせ」に見る氷海船舶の特徴

水平方向の力を下向きの力に変換して砕氷するという考え方が基本的なものである。このような砕氷方法を効率良く実現するためには船首部は浅い傾斜角を有することが有利であり、「しらせ」の船首形状もこの考え方を踏襲するものである。一方、ステム下部にはフォアフット (fore foot) がある。フォアフットの役割は、氷板への船体の乗り上げに対するストッパーである。氷海船舶は、氷が頑強で連続的に砕氷航行ができない場合、一度後進して再度氷に突入するラミングという航法を採ることがある。この場合、氷への突入時に勢い余って船体が氷上に乗り上げ過ぎ、後進が困難となる状況が考えられる。フォアフットはこのような氷上への「乗り上げ過ぎ」を防ぐ役割を持つ。

一方、船底は水平ではなく傾斜 (rise-of-floor) がつけられている。これは船底へ流入した氷片が船側へ排除されやすいためである。船底に流れ込んだ氷片が船側に排除されない場合、最終的に推進器との接触を起こす可能性が高い。このような氷との接触は推進器に大荷重を発生させ、事故につながる場合がある。また、船尾の舵上部にある三角形の突起物アイスシュー (ice shoe) も、ラミング等のための後進時にチャンネル内に存在する氷片との接触から舵及びプロペラを保護するための付加物であり、氷海船舶特有のものである。

以上、「しらせ」を例にとって氷海船舶の船型の特徴を概観したが、本船の目的である南極への人員・物資の輸送のためには氷海域ばかりではなく開水域における特性も重要であり、「しらせ」の船型はこれらの両状態における性能を考慮して設計されている。これに対し、近年、氷中での性能を主眼に置いた幾つかの船型が提案・実用化されている。これら新形式の氷海船舶については4.1.3項において述べる。

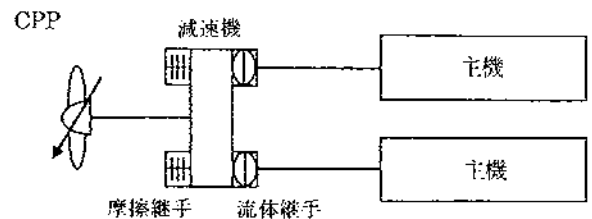
推進システム

一方、氷海船舶の推進システムには、氷中航行の特徴に基づき、次のような性能が要求される。第一に、低速領域において高出力を発生できることが求められる。氷海中では、一般に、大抵抗下、低船速での航行となることから、プロペラは、時にはボラードプル状態に近い条件の中で動作する。氷海船舶のプロペラ及び推進機関には、このような低速領域において高いプロペラ推力を発揮する特性が要求される。第二に、頻繁な運航状態の変更、特に前後進の切り替えに対応できるものでなければならない。氷海域を航行する船舶は様々な氷況に遭遇するた

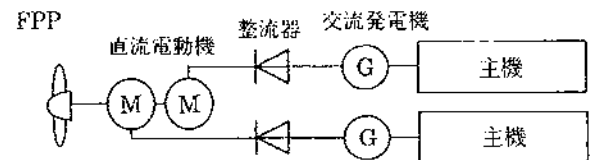
め、これに応じて運航状態の変更を強いられることも多い。特に、前述のラミング状態の操船を効率的に行うためには、船舶の推進システムは、十分な後進力を有するとともに、前進モードと後進モードとを迅速に切り換えられるシステムである必要がある。第三に、氷塊から受ける荷重に耐えられるものでなければならない。氷との接触によるプロペラ、プロペラ軸あるいは推進機関等の推進システムの損傷は、氷海域での航行安全を考える上で最も重要な問題の一つである。このため、前述のように、これを防ぐための様々な工夫が船型に採られているが、氷と推進器との干渉を完全に防ぐには至らない。プロペラと氷塊との接触は、プロペラ翼に強大な荷重を与え、軸トルクの急激な立ちあがり、アイストルクを発生させる。氷海船舶の推進システムは、このような荷重に十分に耐える強度、あるいは荷重を緩和する機構を有するものでなければならない。

このような要件を満たすものとして、電気推進システムがある。電気推進システムは、正・逆転の繰り返しを含めて軸回転数の変更並びに急激なトルクの変動への対応が、モーターの界磁電流を制御することにより容易に行えるという長所を持ち、現在多くの砕氷船に採用されている。発電用の主機としては、ディーゼル機関が主流である。原子力機関を主機とした電気推進システムも、ロシア保有の砕氷船等に採用されているが、安全性等の観点から一般的ではない。ディーゼル機関直結型の推進システムも商船を中心に氷海船舶に採用されている。この場合、前・後進を含めて出力変化の要求に迅速に対応するものとして、可変ピッチプロペラ（CPP）が採用される場合も増えている。図4.1-5に氷海船舶に使用されている推進システムの例を示す（岸他, 1999）。また、ダクトプロペラも、高負荷状態において効率が良いと言う特性が氷海船舶に有利であることから、これを採用する船舶もある。ただし、ダクトプロペラの場合は、ダクト前面が氷片により閉塞されることに対する対策として、ダクト前面にフィンを取り付ける等の工夫がされた船舶の例もある。

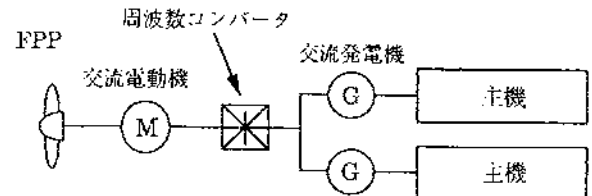
一方、近年アジマス（Azimuth）型推進器が氷海船舶の推進器として注目を集め、一部船舶に搭載されて実績を上げ始めている。これは、船外機のように、推進器自身が鉛直軸周りに回転することのできる推進器であり、舵は不用となる。プロペラ駆動用の電動モーターを筒状の容器に格納したタイプのものは、アジポッド（Azipod: Azimuthing Podded



(a) ディーゼル直結+可変ピッチプロペラ



(b) ディーゼル—電気推進（AC-D C）
+固定ピッチプロペラ



(c) ディーゼル—電気推進（AC-A C）
+固定ピッチプロペラ

図4.1-5 氷海船舶に使用されている
推進システムの例

Drive) として商品登録されている。アジマス型推進器の最大の特徴は、推進器を任意の方向に向けて使用できることから大きな旋回力を得ることができることであり、従来の舵方式に比べて水中での操縦性能の飛躍的な向上が期待できる。また、任意の方向に推力を発生させることのできるアジマス型推進器の特性を最大限に生かして、氷中と開水中では船の進行方向を逆転させる、DAS (Double Acting Azipod Ship) の発想も生まれている。DAS については4.1.3項において述べる。

氷海用塗料

氷海船舶の外板、特に氷との接触が頻繁となる船首部あるいはアイスベルトを中心とする部分には、氷海域用の特殊な塗料が塗られることが多い。氷海用塗料の目的の一つは、船体外板の保護である。氷海域においては、船舶の外板は絶えず氷との接触に曝されるとともに、水中酸素濃度が高いため、磨耗・腐食という観点からは極めて過酷な環境にある。このため、氷海用塗料には堅固かつ剝離しにくい塗膜を形成する特性が求められる。氷海用塗料のもう一つの目的は、氷と船体との間の摩擦の低減である。砕氷航行中の船舶に加わる抵抗は、各種の力学的メカニズムにより発生するが、氷と船体との間の摩擦もその重要な一因である。氷による摩擦力は船体外板の表面状態により大きく影響を受けるため、氷海用塗料として氷との摩擦係数の小さな塗膜を形成するものが開発・利用されている。なお、フィンランド及びロシアの砕氷船において、アイスベルトにステンレスクラッド鋼を用いることにより耐摩耗性・腐食性の強化並びに氷との間の摩擦係数の低減を図る試みが行われた。この場合、アイスベルトの無塗装化を実現できるが、アイスベルト周辺の通常鋼材部分はアイスベルト部との電位差により逆に腐食しやすくなる問題があるため、防食対策がとられている。

(2) 氷海船舶に関わる規則・分類

船舶は、一般に、形式・機能等の異なるいくつかの種類に分類される。これら各種船舶の安全性を担保するために、それぞれの使用目的・環境等に応じた規則・規準等が船級協会等により定められている。氷海船舶に関しても、ロシアの RR (Russian Register of Shipping) をはじめとして、LR (Lloyd's Register of Shipping)、AB (American Bureau of Shipping)、NV (Det Norske Veritas)、NK (日本海事協会) 等の船級協会が、その構造・機関等に関する規則を定めている。また、バルト海、カナダ北方の北極海及び NSR については、それぞれ、関係政府機関による氷海航行規則並びに航行船舶に対する建造規則が与えられている。バルト海ではフィンランド及びスウェーデンにより FSICR (Finish-Swedish Ice Class Rules) が、カナダではカナダ北極域船舶汚染防止規則 (Canadian Arctic Shipping Pollution Prevention Regulations: CASPPR) の中で氷海船舶の建造規則が定められている。また、ロシアでは、NSR に関する航行規則として "The Regulations for Navigation on the Seaways of the Northern Sea Route" を定めている。ロシアにおける氷海船舶の設計、装備要件等の詳細については4.3.3項を参照されたい。

これらの船級規則では、対象船舶が遭遇する氷況の程度、航行海域等に応じて、氷海船舶を耐氷船 (ice-strengthened ship あるいは ice-worthy ship) と砕氷船 (icebreaker) に分けて取り扱い、それぞれに対して、耐氷規則と砕氷規則を与えている (表4.1-1)。各規則においては、

耐氷船及び砕氷船は、さらにいくつかのアイスクラスに分けられる。耐氷船とは、文字通りに解釈すれば、周囲の氷からの力に耐え得る能力を有する船舶であり、この意味においては、全ての氷海船舶が耐氷船に分類できよう。しかしながら、ここでいう耐氷船は、砕氷船に対応するものとして位置付けられる船舶である。砕氷船とは、氷海域における他船の支援・救援、各種の調査・研究等の目的のために、積極的に氷中航行を行うことのできる構造・機能を有する船舶である。これに対し耐氷船は、主に貨物輸送等の商業目的の船舶であり、砕氷航行は比較的穏やかな氷況の中で必要最小限に抑えることを想定した船舶である。ただし、規則上は耐氷船、砕氷船に対してこのような機能上の分類は明確には与えられておらず、どちらの規則を適用するかは船主等の判断による。事実、耐氷規則により建造されながらもある程度の砕氷能力を有する船舶もある。例えば、後述するロシアの代表的な氷海商船である SA-15型商船は、ロシアの耐氷規則により建造された船舶であるが、厚さ1m の氷板を連続砕氷する能力を持つ。このように、耐氷規則による船舶であつてもある程度の砕氷能力を有する船舶を icebreaker に対して、icebreaking ship と呼ぶ場合もある。

耐氷船舶に関する規則については、各船級間においてある程度の類似性が認められる。例えば、NK の耐氷規則は、基本的には FSICR の規則に準拠して制定されている。FSICR では、耐氷規準の厳しい順に IA super から ID までの耐氷船のクラス分けをしているが、他の規則における耐氷クラスについても、一般的にこれらとの相当性を与えることができる。一方、砕氷船については、必ずしも全ての船級協会の規則において耐氷規則とともに砕氷規則が与えられ

表4.1-1 氷海船舶に対する船級協会等の規則

耐氷船級		アイスクラス			
船級協会等	高				低
RR	ULA UL	L1	L2	L3	L4
LR	IAS	IA	IB	IC	ID
AB	IAA	IA	IB	IC	
NV	IA*	IA	IB	IC	
NK	IA super	IA	IB	IC	
FSICR	IA super	IA	IB	IC	II
CASPPR	A	B	C	D	E

砕氷船級		アイスクラス			
船級協会等	高				低
RR	LL1	LL2	LL3	LL4	
LR	AC3	AC2	AC1.5	AC1	
NV	Polar-30	Polar-20	Polar-10 Ice-15	Ice-10	Ice-05
CASPPR	CAC1	CAC2	CAC3	CAC4	

註) この表は主立った砕・耐氷船級間のおおよその比較を示したものであり、厳密な対応を示すものではない。

ている訳ではなく、NK 規則及び FSICR には砕氷規則は含まれない。また、この他の船級協会あるいは政府機関によって制定された砕氷規則についても、砕氷クラスの設定等に規則間で大きな違いがある。

このように、氷海船舶に関する船級規則は、耐氷船舶については船級規則の間にある程度の整合性があるとはいえ、基本的には各船級協会が独自の規則を持っている。このような現状に鑑み、現在、極域を航行する船舶に関する各種規則・規制の統一化の動きが進められつつある (Karaminas, 1999)。この動きの背景には NSR の開放の影響が大きい。すなわち、NSR の国際的商業航路としての本格的利用は、船籍の異なる不特定多数の船舶の航行を意味し、これらの船舶の安全性を統一的に評価するための規則が必要となる。この統一化の検討のため、カナダ、ロシア、フィンランド、アメリカ等の関係者から成る作業部会が形成され、1993年からの協議を経て、1998年 "The International Code of Safety for Ships in Polar Waters (Polar Code)" の原案が国際海事機関 (International Maritime Organization: IMO) に提案された。この原案によれば Polar Code は、建造要件、装備、運航と多岐にわたる内容となっている。本コードでは現在の耐氷・砕氷船及びこれらをさらに分類する各クラスを統一して、Polar Class (PC) 1から7までに分類する (表4.1-2)。これらの各 Polar Class に対しては、それぞれに該当する船舶が航行できる氷況及び季節が与えられる。Polar Code では砕氷・耐氷の区別は行わないが、現規則との対応については、おおまかに言えば、PC1から PC5が砕氷船に、PC6及び PC7が耐氷規則上位の船舶にそれぞれ対応すると言えよう。また、本コードでは、地形により多少の出入りはあるが、基本的に北緯60度以北の海域は Polar Seas としてその対象海域とされることから、NSR を航行する船舶は本コードの適用を受けることとなる。なお、原案の段階では Polar Code は強制コードとはしないこととなっている。

Polar Code は IMO による採択を口指して、原案についての議論が現在も続けられている。また、コード内の船体構造及び機関に関する建造規則については、Polar Code 本体についての検討に並行して、国際船級協会 (International Association of Classification Societies: IACS) により URs (Unified Requirements) として取りまとめられる予定である。ただし、原案では Polar Code の対象海域とされていた南緯60度以南の南極周辺の海域を非対象とする動きが起こるなど (Karaminas, 1999)、IMO による最終的採択に向けては、関係政府・機関間の見解の調整が今後ともなお必要であろう。

表4.1-2 Polar Code における Polar Class の定義

Polar Class	航行可能な氷況及び時期
PC1	極海域で通年航行
PC2	中程度の厳しさの多年氷域で通年航行
PC3	多年氷が一部混在した二年氷内で通年航行
PC4	多年氷が一部混在した厚い一年氷内で通年航行
PC5	多年氷が一部混在した並の一年氷内で通年航行
PC6	多年氷が一部混在した並の一年氷内で夏季・秋季に航行
PC7	多年氷が一部混在した薄い一年氷内で夏季・秋季に航行

4. 北極海航路の運行技術

4.1.2 ロシアにおける氷海船舶

(1) SA-15型商船

結氷水域における船舶による交通は、NSRをはじめとしてバルト海、カナダ北極海、五大湖及びセントローレンス川等において発達し、各種物資の輸送のために氷海航行能力を有する貨物船、タンカー等の氷海商船が建造・使用されてきた（表4.1-3）。特にロシアでは、ソ連時代の計画経済下、NSR及びオビ・エニセイ等の大河川における水運の担い手として、一大氷海商船団が作り上げられた。1997年初頭のデータによれば、L3以上のアイスクラスを有する氷海船舶の数は150隻にのぼる（WP-167）。これらロシア保有の氷海商船団の中核を成す船舶が SA-15型商船である。SA-15型商船は、氷海商船としては、現在、ロシアのみならず世界的にも最も代表的な船舶といえることができよう。以下に、氷海商船の代表例としてSA-15型商船について述べる。

表4.1-3 世界の代表的な氷海商船 (その1)

船名	LENA	IVAN PAPANIN	AMGUEMA	KAPTAIN GOTSKIY	IGOR GRABAR	SAMOTLO R	DMITRIY DONSKOY	PIONEER MOSKVY	MIKHAIL STREKALOVSKIY
船級	RR	RR	RR	RR	RR	RR	RR	RR	RR
アイス・クラス	ULA	ULA	UL	ULA	UL	UL	UL	UL	UL
姉妹船数	5	3	14	6	6	14	13	22	12
船籍	Russia	Russia	Russia	Russia	Russia	Russia	Russia	Russia	Russia
船種	Cargo	Cargo	Cargo	Cargo	Cargo	Cargo	Cargo	Cargo	Cargo
建造年	1954-57	1962	1962-72	1965-72	1973	1975-77	1977	1973-80	1981
主要目									
全長 (m)	130.2	166.3	133.1	133.0	97.3	160.0	162.1	130.0	162.1
垂線間 (m)	117.3	147.1	123.0	118.4	90.1	148.0	154.9	119.0	154.8
幅 (m)	19.0	22.3	18.9	18.5	16.0	23.0	22.9	17.0	22.9
深さ (m)	11.2	13.4	11.6	11.6	7.7	12.9	13.5	8.3	13.5
喫水 (m)	8.3	9.0	9.1	8.9	6.4	9.2	9.9	7.3	9.9
総トン数 (t)	7,500	14,400	7,968	7,684	3,184	13,204	13,481	4,814	13,520
排水量 (m ³)	12,600	21,025	13,540	13,840	6,535	24,570	27,340	10,010	27,340
載荷重量 (t)	7,439	10,105	8,700	8,723	4,054	17,200	19,885	6,780	19,252
推進システム									
全馬力 (MW)	6.0	13.2	5.3	5.3	2.8	8.5	8.2	4.5	8.2
軸数	1	1	1	1	1	1	1	1	1
機関	Diesel dc-dc	Diesel Direct drive	Diesel dc-dc	Diesel ND	Diesel Direct drive	Diesel Direct drive	Diesel Direct Drive	Diesel Direct Drive	Diesel Direct Drive
推進器	1*FP	1*CP	1*FP	1*FP	1*FP	1*FP	1*FP	1*FP	1*FP
推進器直径 (m)	ND	5.7	ND	ND	ND	ND	5.15	ND	5.15
翼数	4	4	ND	4	4	4	ND	4	ND
ノズル	No	Yes	No	No	No	No	No	No	No
性能									
平水中 (knots)	15.4	17.1	15	15	13.2	15.7	15.2	15.6	15.2
氷中 (knots/a)	2/0.73	1.5/1.1	2/0.7	2/0.7	ND	ND	ND	ND	ND

(その2)

船名	FINN CARRIER	MT KIESLA	MT LUNNI	MT JENNI modified	KV ARCTIC	MV ARCTIC modified	MV FEDERAL BAFFIN	THULELAND	JAMSA DAN
船級	ND	FSR	DNV	DNV	LR	LR	DNV	DNV	ND
アイス・クラス	ND	IA	IA Super	IA Super	IA Super	IA Super	IA	IA Super	ND
姉妹船数	-	1	4	2	1	1	2	1	1
船籍	Finland	Finland	Finland	Finland	Canada	Canada	Canada	Sweden	Denmark
船種	Cargo	Tanker	Tanker	Tanker	OBO	OBO	Cargo	Cargo	Cargo
建造年	1969	1974	1976/77	1993-95	1978	1986	1995	1977	1973
主要目									
全長 (m)	ND	130.5	164.4	164.1	209.6	220.8	190.0	185.9	ND
垂線間 (m)	129.9	123.6	150.0	150.0	196.6	206.0	183.0	177.0	125.0
幅 (m)	24.6	17.6	22.2	22.2	22.9	22.9	30.5	26.5	18.1
深さ (m)	17.3	8.0	12.0	12.0	15.2	15.2	16.6	15.1	11.3
喫水 (m)	5.7	6.6	9.5	9.5	10.9	11.5	11.5	11.0	7.4
総トン数 (t)	ND	4,681	10,975	10,936	19,320	20,236	27,078	22,157	ND
排水量 (m ³)	10,567	ND	ND	ND	38,104	38,466	ND	ND	12,091
載荷重量 (t)	ND	6,863	15,956	15,748	28,004	28,373	43,706	31,400	80
推進システム									
全馬力 (MW)	8.2	3.7	11.5	13.8	10.9	10.9	11.5	11.2	6.8
軸数	2	1	1	1	-	2	1	-	1
機関	Diesel Direct Drive	Diesel Direct Drive	Diesel Direct Drive	Diesel Azipod	Diesel Direct Drive	Diesel Direct Drive	Diesel ND	Diesel Direct Drive	Diesel Direct Drive
推進器	2*FP	1*CP	1*CP	1*FP	1*CP	1*CP	1*CP	1*FP	1*CP
推進器直径 (m)	ND	ND	5.43	5.66	5.23	5.23	6.2	ND	ND
翼数	4	4	4	4	4	4	4	4	ND
ノズル	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No
性能									
平水中 (knots)	17	15	14.5	14.5	15	15	14	ND	17.5
氷中 (knots/a)	ND	ND	2/1.0	2/1.0	3-4/0.61	2/1.5	ND	ND	2/0.67

(その3)

船名	NORILSK (SA-15)	VENTSPILS	SEVMORPUT	PAVLIN VINOGRADOV	PARTIZANSK	KAPITAN GONCHAROV	IGOR ILYINSKIY	VITUS BERING
船級	RR	RR	RR	RR	RR	RR	RR	RR
アイス・クラス	ULA	UL	ULA	UL	UL	UL	UL	ULA
姉妹船数	19	10	1	7	11	3	8	3
船籍	Russia	Russia	Russia	Russia	Russia	Russia	Russia	Russia
船種	Cargo	Tanker	Lash	Cargo	Tanker	Cargo	Cargo	RORO
建造年	1982-87	1983-86	1988	1987-90	1988-90	1989-91	1990-91	1986-89
主要目								
全長 (m)	174.0	113.0	260.3	131.6	97.4	131.6	132.7	159.8
垂線間 (m)	159.6	105.3	228.8	122.0	90.1	122.0	122.0	142.4
幅 (m)	24.0	17.1	31.6	19.3	14.2	19.3	19.9	22.1
深さ (m)	15.2	8.5	18.3	8.8	6.5	8.8	8.8	12.0
喫水 (m)	9.0	7.2	11.7	7.0	4.9	7.0	6.9	8.5
総トン数 (t)	16,500	5,154	38,226	6,395	2,968	6,396	7,120	13,514
排水量 (m ³)	25,900	9,400	54,380	11,249	4,855	11,170	11,754	18,900
載荷重量 (t)	14,700	6,297	33,980	7,850	2,833	7,700	8,256	9,200
推進システム								
全馬力 (MW)	15.4	4.4	29.4	4.7	2.9	4.7	5.1	11.5
軸数	1	1	1	1	1	1	1	1
機関	Diesel	Diesel	Nuclear	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
推進器	Direct Drive 1*CP	Direct Drive 1*FP	Turbo electric 1*CP	Direct Drive 1*FP	Direct Drive 1*CP	Direct Drive 1*FP	Direct Drive 1*CP	Direct Drive 1*FP
推進器直径 (m)	5.6	ND	6.7	ND	ND	ND	ND	ND
翼数	4	4	4	4	4	4	4	4
ノズル	No	No	Yes	No	ND	No	No	Yes
性能								
平水中 (knots)	18.1	15.2	20.8	14.9	13.5	15	15.2	16.4
氷中 (knots/m)	2/1.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2/0.9

SA-15型商船は、多目的型貨物船として、1982年のNoril'skを皮切りに、1987年にかけて合計19隻がフィンランドの2カ所の造船所において建造された。1998年現在、これらの船舶は、ムルマンスク海運会社に9隻、極東海運会社に8隻、サハリン海運会社に2隻と、ロシアの海運会社に分かれて所属している (WP-107)。

1995年に行われたINSROPの実験航海に使用された Kandalaksha号は、ムルマンスク海運会社保有のSA-15型商船の一隻である。

SA-15型商船は、全長174m、幅24mで、喫水はNSRにおいては浅水域における喫水制限により9.0m、その他の海域においては10.5mである。耐氷クラスとしては、RRのULAにより設計されている。また、RO/RO デッキ並びに船尾ランプが装備され、冬期においては定着氷

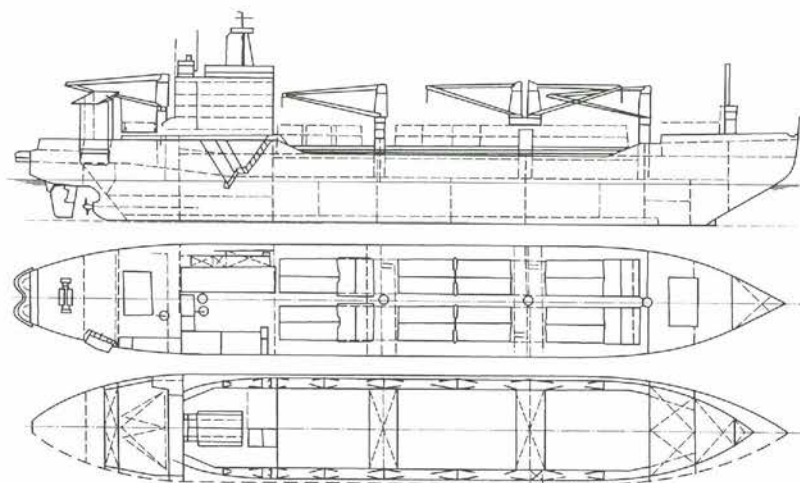


図4.1-6 SA-15型商船の一般配置図



図4.1-7 SA-15型商船

にランプを降ろし、載荷・揚荷を行う場合もある。SA-15型商船は楔形砕氷船首を有し、厚さ1mまでの平坦氷中における連続砕氷航行が可能である。NSRにおける運航は、夏期には単独航行を、冬期においてはArktika級の砕氷船によるエスコートの下の運航を想定している。

SA-15型商船には、氷海船舶としての様々な特徴を見ることができる。推進システムは、減速ギアを介してのディーゼル直結型であるが、可変ピッチプロペラが装備されている。前述のように、可変ピッチプロペラは、ラミング時の前後進の切り替え等に迅速に対応ができ、氷海船舶の推進器として有利である。一方、主機と減速ギアの間には、機械式（摩擦）継ぎ手と流体継ぎ手の二種類の継ぎ手が装備され、氷の有無に応じて両者が使い分けられるようになっている。すなわち、氷海域においては流体継ぎ手を用いて、プロペラと氷の干渉があった場合のアイストルク発生から主機を保護し、一方、開水域においては機械式継ぎ手を利用して燃費の向上を図る（図4.1-5(a)）。また、船体と氷との間の摩擦の軽減並びに冬期における碇泊時の船側への氷の凍着防止のためにエアバブリングシステムが装備されている。その他、前方の氷況監視のために船首部に監視台が設けられている。監視台と居住区画の間は船内通路でつながれ、暴露部へ出ることなく行き来ができるような構造となっている。

(2) 砕氷船

SA-15型商船をはじめとする氷海商船の建造の一方、ロシアではこれらの船舶のNSRにおける氷中航行支援を目的として、旧ソビエト連邦時代に、強大な砕氷船団が形成された。砕氷船による航行支援は、ウラジオストックの極東海運会社（FESCO）とムルマンスク海運会社（MSC）とにより、NSRを東西に分けてそれぞれ分担される。このため、砕氷船の多くはこの両社により運航されている（表4.1-4）。ただし、これらの砕氷船の所有者はロシア政府であり、両海運会社に運航委託される形式となっている（WP-96）。なお、現状ではFESCO保有の砕氷船の稼働率は低く、実質的な意味ではロシアの砕氷船はほぼ全てMSCの運用によっている。

ロシア砕氷船団の中核を成すものが5隻のArktika型の原子力砕氷船（Arktika、Sibir、Rossya、Sovetskiy Soyuz及びYamal）である。これらの原子力砕氷船は全てソビエト連邦に

表4.1-4 ロシアの砕氷船団

船名	所属	建造年	推進システム/軸馬力 (PS)	備考
Arktika	MSC	1975	原子力/75,000	2000年に退役予定
Sibir	MSC	1977	原子力/75,000	2000年に退役予定
Russiya	MSC	1985	原子力/75,000	NSRにて使用
Sovetskiy Soyuz	MSC	1990	原子力/75,000	NSRにて使用
Yamal	MSC	1993	原子力/75,000	NSRにて使用
Taymyr	MSC	1989	原子力/44,000	浅喫水型
Vaygach	MSC	1990	原子力/44,000	浅喫水型
Yermak	FESCO	1974	ディーゼル-電気/41,400	2000年に退役予定
Admiral Makarov	FESCO	1975	ディーゼル-電気/41,400	
Krasin	FESCO	1976	ディーゼル-電気/41,400	
Kapitan Solokin	MSC	1977	ディーゼル-電気/24,800	WAAS船型に改造
Kapitan Nikolaev	MSC	1978	ディーゼル-電気/24,800	Conical船首に改造
Kapitan Dranitsyn	MSC	1980	ディーゼル-電気/24,800	
Kapitan Khlevnikov	FESCO	1981	ディーゼル-電気/24,800	

より建造されている。これらの砕氷船は75,000馬力の推進器を備えて2.3mの氷板を連続砕氷して航行する能力を有する、ロシアが世界に誇る最強の砕氷船である。また、河川及び沿岸域における使用を目的とした浅喫水型原子力砕氷船 Taymir 及び Vaygach の2隻は、ロシア、フィンランドの共同開発により建造された。これらの原子力砕氷船は現在、全てムルマンスク海運会社に所属している。一方、ディーゼル-電気推進による砕氷船はフ



図4.1-8 原子力砕氷船 (Arktika)

ィンランドにおいて建造され、ムルマンスク海運会社及び極東海運会社に分かれて所属している。次項に示すように、近年砕氷能力に優れた船首形状が開発・実用化されているが、ロシアにおける砕氷船は従来型の楔形船首を有するものが殆どであった。しかしながら、ディーゼル-電気推進による砕氷船のうち、Kapitan Sorokin、Kapitan Nikolayev 及び Kapitan Dranitsyn の3隻は、浅喫水型の同型船として建造されたが、Kapitan Sorokin 及び Kapitan Nikolayev は後に、それぞれ、WAAS 船型及び conical 型船首に改造されている。

このように、ロシアは隻数、能力ともに世界最強の砕氷船団を有するが、ロシアの砕氷船は、1993年における Yamal の建造を最後に、新造船が無い。Arktika 級の原子力砕氷船 Ural は1985年に建造が開始されたが、起工後15年近くを経た現在に至るまでも完成を見ていない。なお、同号は Victory in World War II と改名されている。このような中、1970年代に建造された Arktika、Sibir 及び Yermak の3隻が2000年に退役の予定である。Arktika 及び Sibir は75,000馬力型の5隻の原子力砕氷船の中の2隻であり、Yermak もディーゼル-電気推進型の砕氷船の中核を成す1隻である。しかしながら、ロシアの経済的混乱の中にあって、これらの砕氷船の代替船の建造計画が具体化する見通しは現在のところ全く無い。ソビエト連邦時代に比べて NSR における海運量が激減した現状にあっては、これらの砕氷船による商船支援に対する需要も減り、極地観光船に転用されるものもある。しかしながら、砕氷船による航行支援システムは、NSR の国際商業航路としての本格的利用の可否を決定付ける最も重要な因子の一つであり、既存船の退役・老朽化が進む中、ロシア砕氷船団の維持が懸念される場所である。

(3) エスコートオペレーション

NSR における氷海商船の航行には2種類のモードが存在する。その一つは単独航行であり、商船が単独で氷野を航行する。しかしながら、氷況が厳しく、単独航行では遅延あるいは航行不能に陥る可能性が考えられる場合には、より砕氷能力の高い砕氷船のエスコートを受けながらコンボイを組んでの航行モードをとる。このモードでは、砕氷船が先頭で氷野に水路を切り開き、その中を後続の船舶が進む。コンボイの構成は氷況を勘案して決定され、氷況が厳しいほど被エスコート船の数を減らす。一般的には、氷の密接度が5/10から6/10程度の場合には1隻の砕氷船が3、4隻の船舶をエスコートし、密接度が8/10を越える場合には1ないし2隻にまで

隻数を減ずる。ロシアにおける NSR 航行の経験により、コンボイ形式による氷中航行手法について、一般的に以下のようなノウハウが知られている (WP-108)。

- 氷海航行能力の異なる船舶によりコンボイを組む場合は、先導の砕氷船の直後に最も能力の低い船舶を配置し、最大の能力を有する船舶を最後尾に置く。
- 一つのコンボイを複数の砕氷船が支援する場合は、コンボイの先頭及び中間に砕氷船を配置する。中間の砕氷船は他船が航行不能に陥った場合の支援にあたる。
- 氷中航行能力が同等で船幅の異なる船舶によりコンボイを組む場合は、幅の広い船から狭い船の順に航行する。
- 氷況が厳しいほどコンボイを構成する船舶の数を減らすとともに船間距離を短くする。
- コンボイ内の船舶が氷により前進不能状態に陥った場合は、砕氷船がその船舶の横を通過することによりその船舶を開放することができる。
- 上記航法をとる場合、砕氷船が被救出船に引き寄せられる場合があるので注意をする。
- 同じく上記航法をとる場合、特に砕氷船の速度が速い場合には、2船間に存在する氷塊により被救出船の船体・推進器・舵等に損傷を及ぼす場合がある。

氷況が厳しく、特に風・潮流等により氷野に圧縮力が働いている場合には、エスコート船が切り開いた水路が後続船の通過以前に氷により閉塞され、後続船の速度低下及び頻繁な航行不能状態を招くこととなる。このような場合には、砕氷船が被エスコート船を曳引する航法が採られる。曳引はケーブル等により行われる場合もあるが、氷況が極めて厳しい場合には、ロシア独特の航法であるクローズトローイング (close towing、フォーク曳航とも呼ばれる) が行われる (図4.1-9)。クローズトローイングでは、砕氷船船尾に設けられたスターンノッチ (図4.1-10) に被エスコート船の船首を直接連結した状態で曳引が行われる。原子力砕氷船 Arktika が厚さ160から200cmの一年氷内において SA-15型商船をエスコートしたデータによれば、曳引無しの状態では両船の平均的速度は2ノットであるが、クローズトローイングによる場合は、Arktika が同様の氷況を単独で航行した状態の速度である4ノットが達成された (WP-107)。なお、被エスコート船の排水量がエスコート船のそれを超える場合、エスコート船の操縦性能の低下が起きることが経験的に知られている。この意味において、約25,000トンの排水量を有する SA-15型商船は、排水量約24,000トンの Arktika 型原子力砕氷船がクローズトローイングに



図4.1-9 クローズトローイング

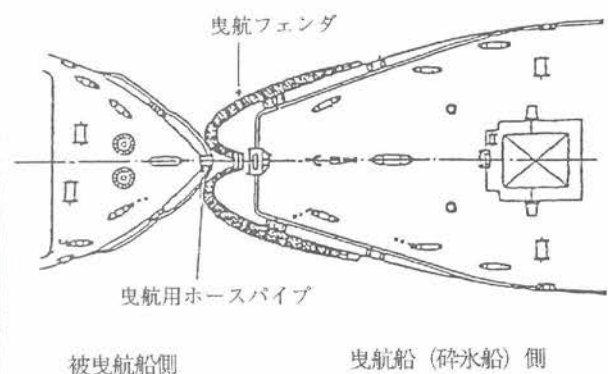


図4.1-10 スターンノッチ

よりエスコート可能な最大の船舶とすることができる。

コンボイを組んで氷海域を航行する場合、特にクローズトローイングによるエスコート状態においては、砕氷船と被エスコート船の船幅の関係が重要である。氷中を船舶が航行する場合、その後部には、氷況・船型等にもよるが、平坦氷中ではその船舶の最大幅を少し上回る程度の幅のチャンネルが形成される。従って、被エスコート船の幅がエスコート船よりも広い場合には、チャンネル縁と被エスコート船の効果的な砕氷が期待できない肩部以降の船体との接触が起こり、これに起因する摩擦・砕氷により新たな抵抗が発生する。被エスコート船の幅とエスコート船の幅はこのような状態を避けることのできる関係であることが必要である。このような観点からロシアの砕氷船と氷海商船の船体サイズを見てみることは興味深い。図4.1-11は、ロシア及びその他の氷海船舶の幅及び喫水を長さに対してプロットした図である。ロシアの氷海商船は、幅／長さ比が1/6から1/7程度に集中し、砕氷船の1/5程度に比べて細長い船型となっている。これに対してロシア船以外の氷海商船の幅／長さ比は船により様々である。ロシア氷海商船の幅は、例外的に大きな船体を有する原子力 LASH 船 Sevmorput を除くと、SA-15型商船の24m を最大として、砕氷船の幅よりも狭い。このようにロシアの砕氷船及び氷海船舶は、両者によるエスコートオペレーションを前提とした統一的な設計が為されている。なお、図4.1-11に見られるように、ロシア氷海商船の喫水は、やはり例外的なSevmorputを除くと、10m 以下である。これは NSR の浅水域での喫水制限によるものである。

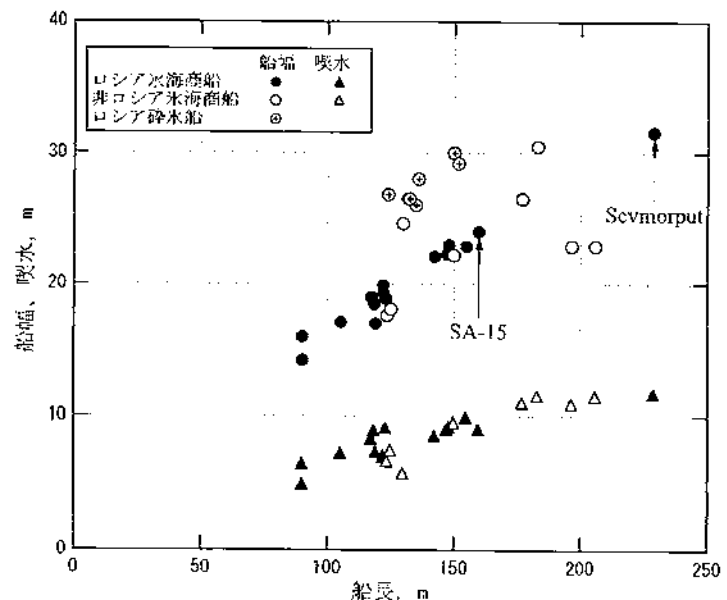


図4.1-11 氷海船舶の長さ・幅・喫水の関係

4.1.3 氷海船舶に関わる研究・開発

(1) 近年の氷海船舶の発達

氷海船舶に関する研究・開発は、本格的取り組みが開始されてまだ歴史の浅い若い分野である。従って、氷海船舶に関わる諸技術には、通常船舶についてのものの成熟度に比較して発展途上の部分が少なくない。しかしながら、それ故逆に、技術革新の余地は大きく、新たな発想に基づく技術の考案・実用化が続けられている。特に、近年における氷海船舶用の船型の発展は著しい。これは、一つには、氷の力学的特性並びに船体構造に関わるデータの蓄積及び解析手法の発達により新たな船型に対する構造強度面からの保証が進んだことによる。また、後述するように、新船型の開発並びにその有効性を検証するためのツールとして、氷海水槽におけ

る模型実験手法が発達したことよるところ
が大きい。

氷海船舶の船型開発にあたっての第一の目標は、氷から受ける抵抗の低減による砕氷能力の向上である。船舶による砕氷現象はその船首部において卓越することから、砕氷抵抗の小さい船首形状として様々な形式が提案された。氷海船舶における伝統的な船首形状は、V字型のフレーム形状を有する楔形船首である。この船首形状は、氷中と開水中の性能の最適化という観点から、多くの船舶に採用されている。

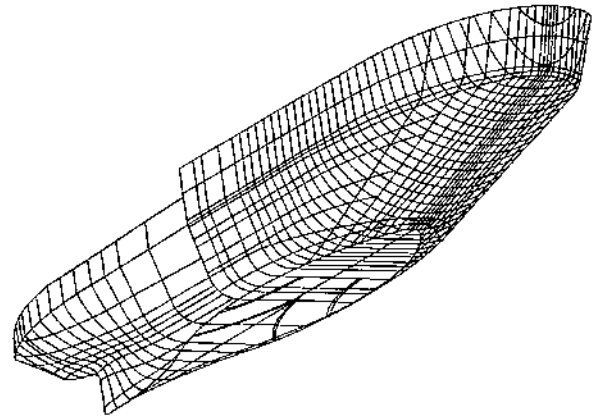


図4.1-12 スプーン型船首 (Kapitan Nikolaev)

しかしながら、ステム部の丸い鈍な水線形状を有する船首の方が砕氷抵抗が小さいことが、近年の研究により明らかにされてきた。この船首は、その形状がスプーンの裏側に似ていることから、スプーン型船首 (Spoon Bow) と呼ばれる (図4.1-12)。スプーン型船首では、氷と接触する船体外板の傾斜角が従来の楔形船首よりもさらに浅くなっており、氷板の曲げ破壊が卓越する。なお、スプーン型船首と同様に丸みを帯びた船首に対し、円筒型船首 (Cylindrical Bow) あるいは円錐型船首 (Conical Bow) という呼び方が使われることがあるが、これらを厳密に区別することはできない。

スプーン型船首は、従来の砕氷理論を踏襲して、氷の曲げ破壊をさらに卓越させることにより砕氷抵抗の軽減を図った船首形状であるが、これと全く異なるメカニズムによる砕氷を実現させるものとして WAAS 型船首が開発された (Freitas, 1978)。WAAS 型船首では、船首部底面の両側部が中央部よりも下に張り出して鋭角な隅部を形成している。船体が氷板中に進入すると、この両隅部が氷に対して鉛直下向きの力を加えることにより剪断により氷が破壊される (図4.1-13)。

船体がさらに進出することにより、両剪断線間の氷が船底により押し下げられて曲げにより破壊される。これらの破壊により形成された氷片は、最終的には傾斜した船底部において船体側部の氷板の下へ排除される。WAAS 型船首は、氷の剪断強度が一般に曲げ強度よりも低いことに着目して砕氷抵抗の軽減を図ったものであるが、この他の効果として、船後に形成されるチャンネルの両縁が明瞭であり、また、砕氷片が船体両側の氷板下に

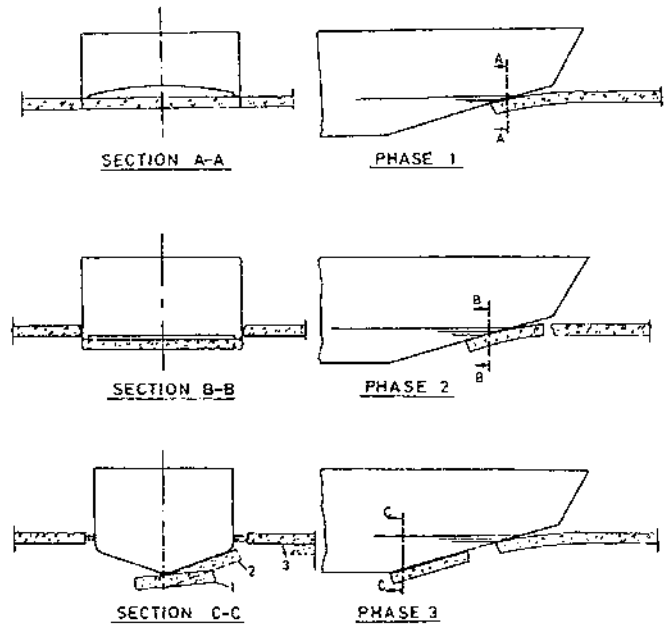


図4.1-13 WAAS 型船首による砕氷メカニズム (Freitas, 1978より)

排除されることにより、チャネルの中に残される氷片が少ないことが挙げられる（図4.1-14）。この特性は、氷板中において他船をエスコートする際に、後続船の安全を確保する意味で重要である。

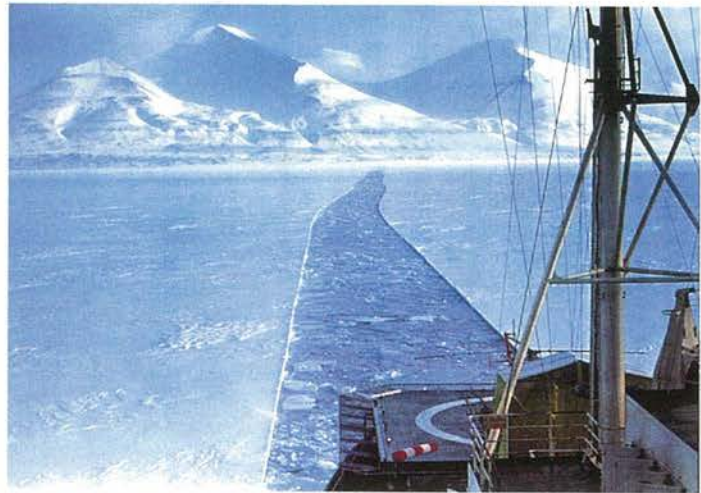


図4.1-14 WAAS 型船型により形成されたチャネル

近年の砕氷船においては、スプーン型船首あるいは WAAS 型船首といった新型船首とともに、船体平行部から船尾にかけての幅が船首部よりも狭く、両者の間に段差がついたリーマー (reamer) 型船型が採用される場合がある。

リーマー型船型の目的は、第一に船体平行部における抵抗の軽減にある。通常船型の場合、船体平行部と側部の氷板あるいは両者の間に狭窄された砕氷片との間に働く摩擦による抵抗が発生する。リーマー型船型では船首部で形成される砕氷チャネルの幅が平行部に対して十分に広く、この抵抗成分の低減が期待される。リーマー型船型の第二の目的は水中における旋回性能の向上にある。旋回では、特殊な船型を除いて船尾による砕氷が期待できないことから、旋回中の横流れ角が殆ど無く、旋回性能はチャネル内における船体の相対的回頭角度と船首部における砕氷量の左右非対称性の程度によって決まる。リーマー型船型では、チャネル内における船体の回頭角度の許容量が大きく、通常船型に比べて水中操縦性能が向上する。

以上のような新形式の砕氷船型は、様々な船舶に適用されて従来型船型に比べての優位性が実証されている。しかしながらこれらの船型が、氷中性能に注目して開発されたものであり、開水中の性能はある意味犠牲にされていることも記しておくべきであろう。これらの船型の平水中抵抗は従来型に比べて増加するとともに、特に波浪中においては性能の低下が著しい。スプーン型船首を有する船舶において波浪中でのフレアスラミングによる衝撃荷重による振動が激しく、上部構造でのクラック発生にまで至った事例もある。従って、商船のように、氷中のみならず開水中での性能も重要視される船舶においては、余り極端な船型は採用されず、従来型の船型が用いられることが多い。

このような、氷中性能と開水中性能を両立させる目的で考案されたアイデアが DAS (Double Acting Azipod Ship) である。DAS は船尾にアジマス型推進器を備える。船首部はバルバスバウ等開水中の特性に優れた船首形状として、砕氷型船首特有の開水中の問題を解決する。一方、氷海中において砕氷航行をする際には、船尾を先に進む。このため船尾形状は砕氷性能の優れた形状となっている。この航行状態は、プロペラと氷の干渉が懸念されることから、一見机上の空論と見られるが、DAS の発想が持たれたフィンランドでは、バルト海において船首プロペラを持つ砕氷船が使用され実績を上げており、DAS はこのような船首プロペラ時代の経験・実績に基づくものである。このような性能上の有利さに加え、商船では船尾近くにブリッジが設置されるために後進状態の方が前方の氷況の監視がより容易になるというオペレ

4. 北極海航路の運行技術

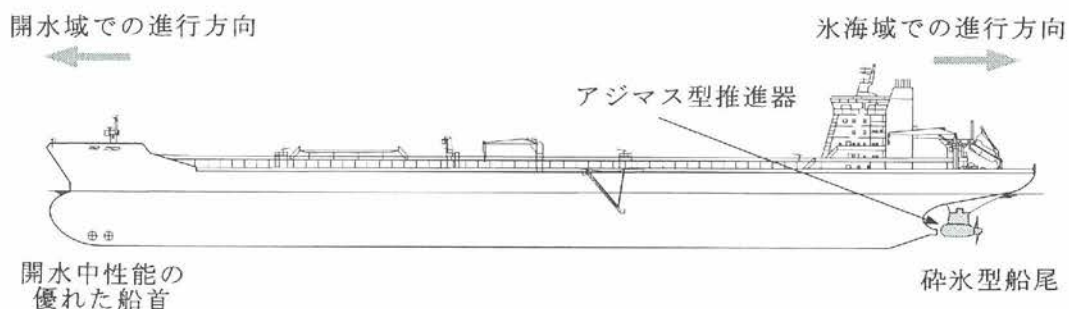


図4.1-15 DAS の概念

ーション上の利点もある。フィンランドのタンカーLunniでは船首形状こそ従来の砕氷型船首であるが、推進器をアジマス型に変更し、船尾形状も砕氷型に改良した。Lunniによる実船試験では、船尾砕氷航行が十分に可能であることが示された。しかしながら、大規模な氷丘脈等、厳しい氷況の下でのDASの安全性は現状ではまだ保障されておらず、DASの本格的利用の可能性・限界を知るためには、今後とも模型及び実船試験による更なる研究が必要であろう。

上に述べた、通常船舶の概念からすると一見突飛とも見えるような船型開発の背景には、氷海水槽における模型実験技術の発達がある。氷海水槽とは、船舶の氷中性能に関する模型実験施設であり、1960年代後半のカナダ及びアラスカ沖の北極海における海底資源発見後、1970年代から80年代にかけて、世界各地に十数水槽が建設された。氷海水槽は、試験水槽を冷凍庫内に封設した設備であり、併設の冷凍施設により庫内を冷却することにより水槽内に製氷する能力を有する。図4.1-16は氷海水槽における模型実験の様子である。試験水槽部の形状は、通常船舶の試験用の曳航水槽同様、直進試験を主目的とした長水槽がほとんどであるが、フィンランドには旋回試験の実施が可能な角水槽も建設されている。



図4.1-16 氷海水槽における実験風景

(2) NSR 用商船の船型開発研究

シップ・アンド・オーシャン財団では、INSROP 開始に並行して、「北極海航路開発調査研究委員会」を設立し、INSROP の推進にあたりとともに、わが国独自の立場からの NSR 関連研究事業を JANSROP として実施した。この一環として、NSR での使用を想定した氷海商船の船型開発研究を行った。この研究は第1期（平成5から7年度）と第2期（平成9年度）の2期に分かれて、それぞれ、沿岸の浅海域を対象とした氷海商船及び沖合いの航路を対象とした船舶についての研究が行われた。ここでは、氷海船舶の船型開発の例として、第1期研究について述べる。

なお、4.4節において述べる NSR 航行シミュレーションの対象船舶の中の1隻である50,000 重量トン型バルクキャリアー（50BC）は、第2期の研究で開発した沖合い航路用商船である。

研究は以下の流れで行われた。

- 基本設計（平成5年）
沿岸 NSR の水深、港湾等の調査に基づき、対象船舶の主要目等を決定した。これに基づき候補船型を設計し、実験用模型船を製作した。
- 水槽実験（平成6年）
前年度に設計・製作した模型船を用いて、氷中及び開水中における各種模型実験を行った。
- 新船型の開発及び実験（平成6、7年）
上記実験結果から各種船型の特徴を解析し、これに基づき新船型の設計を行った。新船型についても模型船を製作し、模型実験に供した。
- 総合評価（平成7年）
模型実験結果から各種船型の総合評価を行い、これに基づいて最終船型の提案を行った。

基本設計の結果、表4.1-5に示すような主要目の船舶を研究の対象とすることとした。本船は、沿岸域 NSR を航行する（内陸河川における一部航行も考慮）多目的型氷海商船である。SA-15型商船と比べると、船長は長いが喫水は浅く、ほぼ同程度の排水量を有している。砕氷能力はSA-15型商船よりは高く、1.2mの厚さの氷板を3ノットで連続砕氷が可能である。推進器については、通常プロペラとダクトプロペラの両タイプについて検討することとした。この主要目の船舶に対し、氷中及び開水中の具体的な性能の検討を行うために、3種類の船首（船首 A、B、C）及び2種類の船尾（船尾 a、b）を設計し、模型試験に供するための模型を製作した。これらの船首、船尾の形状を図4.1-17に示す。それぞれの特徴は以下の通りである。

表4.1-5 研究対象船舶の主要目等

全長	180.0 m
垂線間長	175.0 m
幅	24.0 m
深さ	16.0 m
喫水	8.0 m
排水量	25,000 m ³
船設等	二重船設、エアバブリングシステム
軸数	1
推進器	4翼可変ピッチプロペラ (通常プロペラ及びダクトプロペラ)
氷中性能	厚さ1.2 mの氷板中で 3ノットで連続航行
開水中性能	16 ノット

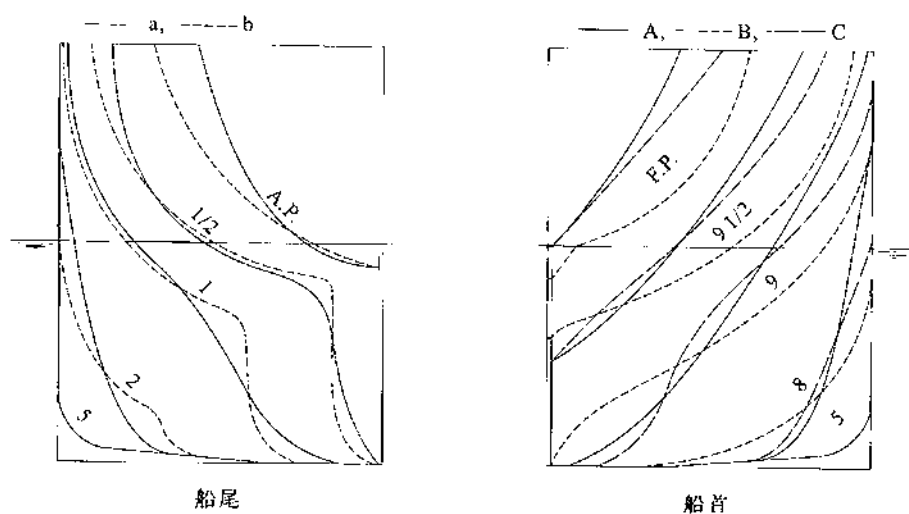


図4.1-17 研究の対象とした船首及び船尾形状

4. 北極海航路の運行技術

船首 A：比較的単純な V 字型のフレーム形状を有する従来型の砕氷船首。

船首 B：船首 A よりも凸型のフレーム形状を有するスプーン型船首的な船首。

船首 C：喫水線近傍のフレーム形状を船首 A よりも凹型とした船首。

船尾 a：やや緩やかな U 形のフレーム形状を有するマリナー型船尾。

船尾 b：船尾 a よりも船底付近の U 形を強調した船尾。

模型試験では、これらの船首・船尾を組み合わせて試験に供した。

以下においてはこれらの船型を、例えば船首 A と船尾 a の組み合わせの場合、A-a 船型のよう
に表す。また、これらの船型と2種類の推進器の組み合わせは、通常プロペラの場合は A-a(CP)、
ノズルプロペラの場合は A-a(NP)というように表す。

水槽実験は、運輸省船舶技術研究所（以下、SRI）、NKK エンジニアリング研究所（以下、
NKK）及び三菱重工長崎研究所（以下、MHI）が分担して行った。模型試験にあたっては、
上記の各船型に対して縮尺1/36の模型を製作し、上記3機関を持ちまわりながら試験に供した。
これらの機関の保有する氷海水槽のサイズ、模型氷の特徴等について表4.1-6に示す。実施した
試験項目は以下の通りである。

- ・平坦水中抵抗試験
- ・平坦水中旋回試験
- ・氷丘脈中抵抗試験
- ・平水中自航試験
- ・平水中操縦性試験
- ・波浪中試験

水中試験においては、模型試験に先立ち、模型氷板の弾性率及び曲げ強度の計測（氷質計測）
を行っている。また、開水中試験に加え、伴流計測並びにプロペラ単独試験も行った。

表4.1-6 氷海水槽の比較

	SRI	NKK	MHI
長さ, m	35.0	20.0	20.0
幅, m	6.0	6.0	9.0
水深, m	1.8	1.8	2.3
曳引速度	0.1~2.0 m/s	0.005~1.5 m/s	0.001~1.0 m/s
模型氷の構造	柱状結晶	粒状結晶	柱状結晶
水槽水添加物	プロピレン・グリコール	尿素	尿素

上記の試験により、各種の船型について水中並びに開水中の性能に関する多方面からのデー
タを得た。これらの試験結果の詳細については巻末資料5-1を、あるいはさらなる詳細について
はシップ・アンド・オーシャン財団の事業報告書を、参照されたい。ここでは、試験結果の代
表的な例として、水中における抵抗試験結果を示す（図4.1-18）。砕氷抵抗は船首形状に依存す
るところが大である事から、船尾 a に対して船首3種類を変えた組み合わせについての試験結
果である。なお、船尾の影響を確認するために、A-b 船型についても一部実験を行っているが、
A-a 船型の結果と有意な差は無い。試験結果より、船首 B の抵抗が明らかに低く、優位な船首
形状であることが判る。船首 C がこれに続き、従来型の楔形船首形状である船首 A の抵抗が最
も高い。

船首 A、B、C と船尾 a、b の組み合わせから成る船型についての試験から得られた結果は以

下のようにまとめることができる。

- 水中抵抗性能の観点からは船首 B が最も優れている。
- いずれの船型も水中旋回性能が悪い。特に、船首 B の旋回性能が劣る。
- 船尾 b は排水性能の観点からは良いものの、推進性能の観点からは船尾 a が好ましい。

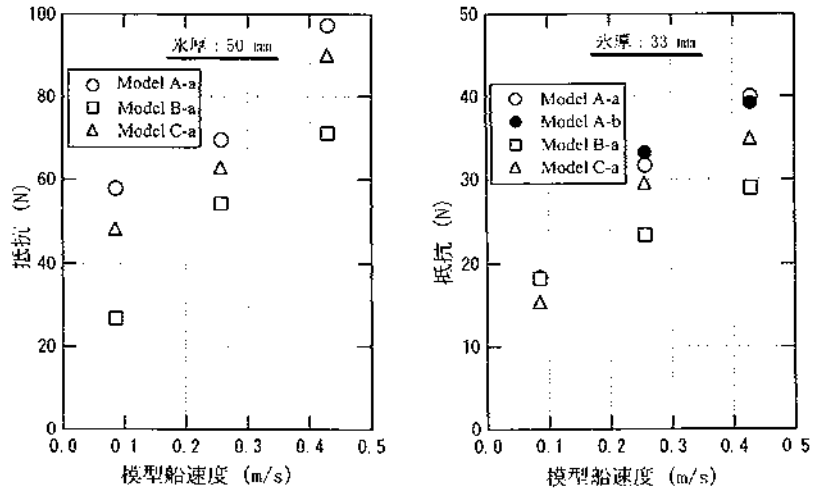


図4.1-18 各種船型の平坦水中での抵抗

- 平水中推進性能の観点からは船首形状の違いによる性能差は顕著ではないが、船首 A が最も優れ、B、C の順となる。
- 波浪中のスラスト増加の観点からは、船首 C がスラスト増加量が最も小さく、次いで A、B の順となる。

このような点を考慮し、総合的に優秀な船型を設計することを試みた (図4.1-19)。

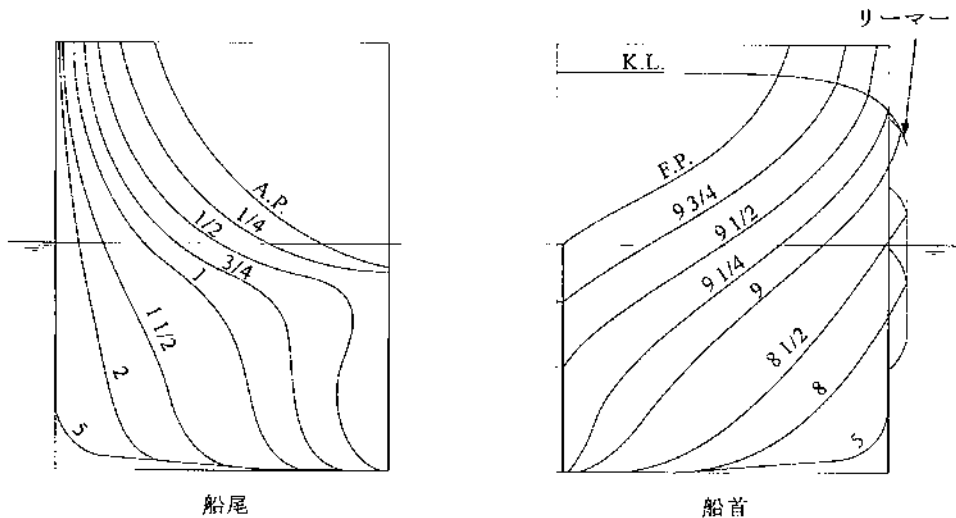


図4.1-19 新船型 (船首 D 及び船尾 d)

新船首は水中抵抗性能の優れた船首 B と開水中性能の優れた船首 A の特徴を採り入れた船首である。この船首は、船首角は25度 (船首 A と同一角度) とし、船首端付近での砕氷性能を確保するために船首 A に比べて水線の傾斜角度を大きく取った。また、水中旋回性能の向上を図るために船首肩部でのスプレッド角を小さくし、舷側部にナックルを設けるとともに、ナックルラインに沿ってリーマーを設けた。リーマー幅は、船の半幅の5%である。なお、リーマーの有無の影響を見るために、模型ではリーマーは着脱可能とし、リーマーのある船首を船首 Dr リーマーを外したものを船首 D と呼ぶ。一方、新船尾は、旋回性能の向上を図るために、S.S.

1/2～S.S. 3までの喫水線近傍の肋骨線傾斜を寝かせ、並行部を短くした。また、排水性能の優れた船尾 b をもとに、その推進性能向上を図るため肋骨線形状のナックルラインを寝かせた。この新船尾を船尾 d と呼ぶ。

新船型 D-d 及び Dr-d について、平坦氷中における抵抗・自航試験、旋回試験及び氷丘脈中における抵抗試験の4種類の試験を行った。また、開水中については、最も重要な項目である、平水中の抵抗・自航性能について試験を行った。この中から、ここでは、平坦氷中の旋回試験結果について示す（図 4.1-20）。図には新船型の結果に併せて船首 A 及び船首 B による結果も示す。図よりリーマー付き船首を備えた Dr-d 船型の旋回性能が最も良いことが判る。また、船型 A-a と船型 A-d を比較すると船尾の違いが旋回性能に与える効果も判る。リーマー及び S.S. 1/2～S.S. 3までの喫水線近傍の肋骨線傾斜を寝かせ並行部を短くした船尾 d の相乗効果により

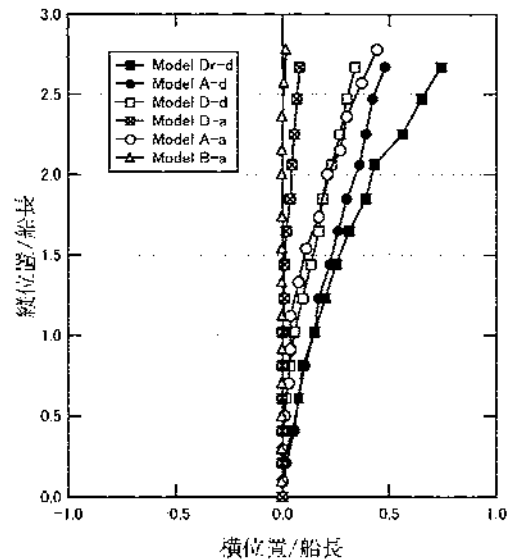


図4.1-20 平坦氷中における旋回試験結果

Dr-d 船型の旋回性能が高まったものである。なお、従来船型では船首 A と船首 C（図中では割愛）の旋回性能はほぼ同等であり、船首 B は旋回性能が劣る。

以上の試験結果をまとめて、各船型についての評価を行った。このような評価は、各船型の性能に対するデータをもとに本書4.4節に示したような航行シミュレーションにより行うことが最も望ましい。しかしながら、本研究の実施時点では、環境データ、特に NSR 上における氷況の詳細に関するデータが未整備であったため、このようなシミュレーションは実行できなかった。このため、定性的に各船型の評価を行うことを試みた。

評価項目としては、平坦氷中航行性能、平坦氷中操縦性能、氷丘脈突破性能、平水中推進性能及び波浪中性能の5項目とした。それぞれの項目について、試験結果より各船型を5段階得点により評価した。また、各項目には重み係数を設け、この重み係数と得点の積を評価項目に亘って足し合わせた値により各船型の評価値とした。重み係数は、ヨーロッパからわが国までの航海を想定し、この中における氷中航行（カラ海峽とベーリング海の間）と開水中航行（カラ海峽とヨーロッパ及びベーリング海と日本）にかかる時間の見積もり、氷中における各性能の重要性等を勘案して決定した。評価対象の船型は、A-a、A-b、B-a、C-a、A-d、B-d、D-a、D-d、Dr-d の9船型とし、実験結果から直接の評価ができない船型については類似船型の結果から評価した。

評価結果を表4.1-7に示す。この方式で評価した場合、最も総合評点が高い船型は、Dr-d 船型である。これは、氷中操縦性能をはじめとする氷中性能の良さを反映したものである。開水中性能の低さを氷中性能が補った結果となっているが、この評価において氷中性能を比較的重視した結果とも言えよう。これとは逆に、C-a 船型は開水中性能の評価は高いが、氷中性能の低さが総合評点の低い原因となっていると言えよう。

表4.1-7 各船型の評価表

評価項目	重み係数	A-a	A-b	B-a	C-a	A-d	B-d	D-a	D-d	Dr-d
平坦水中推進性能	8	3	2	5	3	3	5	4	4	4
平坦水中旋回性能	4	3	3	2	3	4	2	2	3	5
氷丘脈突破性能	4	5	5	5	3	5	5	5	5	5
平水中推進性能	2	5	5	5	5	5	5	5	5	4
波浪中性能	2	4	4	2	5	4	2	4	4	3
総合評価		74	66	82	68	78	82	78	82	86

上の評価結果に基づき、Dr-d 船型を NSR 沿岸域での航行を想定した氷海商船として最も有利な船型であるとして、最適船の検討を行った。氷中及び開水中における試験結果より、本船の性能は図4.1-21のように与えられる。主機の常用出力をその最大出力24,000馬力の85%、また、シーマージンを15%とすると、平水中の到達速度は18.1ノットと推定される。また、平坦氷中では、同じく最大出力の85%出力において1.2mの厚さの氷板を3.3ノットで連続砕氷が可能であると推定される。

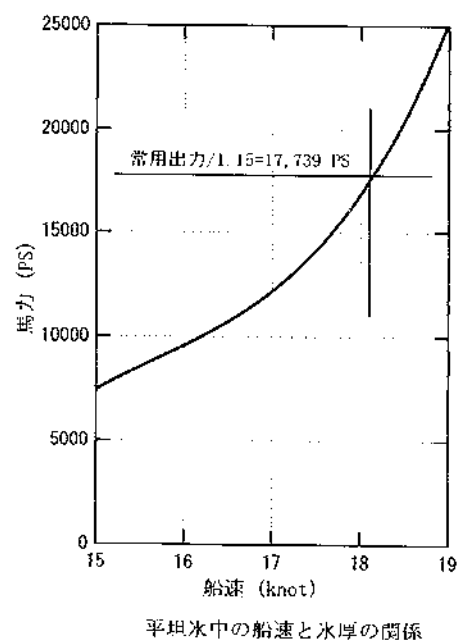
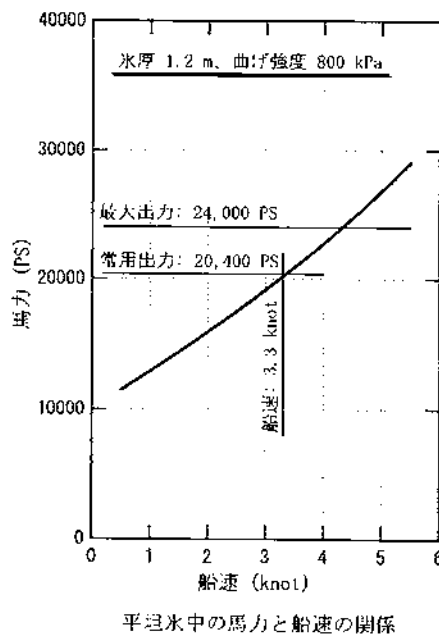
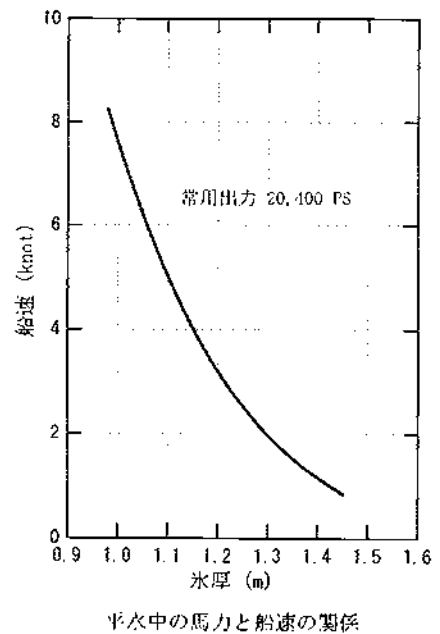


図4.1-21 沿岸 NSR 用最適船の性能

4.2 航路及び運航支援

船舶の運航の安全性及び経済性を決定する第一の要因は、その船舶が通過する航路の地理的特徴並びに気象・海象等の自然環境である。また、航行支援のための航路上の各種インフラストラクチャーあるいは航路情報提供システム等の整備の程度も、航路の利便性を大きく左右する。本節では、NSR の特徴及び航路の選定について述べた後、これを航行する船舶に対する航行支援施設のためのインフラストラクチャー・情報提供等について記述する。

4.2.1 航路の特徴及び選定

(1) 自然環境及び地理的特徴

NSR の範囲及びその通過海域については、NSR の航路としての利用目的により、いくつかの捉え方があるが、ここではロシアの "The Regulations for Navigation on the Seaways of the Northern Sea Route" による定義に基づいて議論を進めるものとする。これによれば、NSR はノバヤゼムリヤとベーリング海峡を結ぶ航路であり、その通過海域には、西から、カラ海、ラプテフ海、東シベリア海及びチュクチ海が含まれる。また、この海域の西側に位置し、これらの海域と北大西洋とを接続するバレンツ海についても、必要に応じて言及することとする。

他の航路と比べた場合、NSR の特徴の第一はその自然環境の厳しさにある。NSR が通過する海域のほとんどは北極圏に属し、他の航路に比べて極めて寒冷な環境にある。この低温環境は、船体・各種装備への着氷の発生、乗員の作業性の低下、鋼材等の靱性の低下、パイプ内部等の液体の凍結、貨物の保温等々、通常海域とは異なる問題の発生原因となる。また、低温以外にも、高緯度海域を通過する航路であるために、極夜における視程の低下、磁気コンパス等への影響、通信衛星によるカバー率の低下、等の問題も発生する。このようにNSRにおける航行に対しては、低温並びに高緯度という条件の下、他の航路には無い厳しい環境が課せられることとなるが、最大の問題は、航路上における氷の存在である。NSR上の氷況については(2)で述べる。

NSR 上の気象・海象は、季節・海域等により大きく変化するが、全体を大きく西部・中央部・東部の3領域に分けると、それぞれ以下のような特徴がある。

- 西部（バレンツ海からカラ海南西部）

メキシコ湾流の影響を受け、比較的温暖な海域。特に、バレンツ海沿岸域は厳冬季においてもほとんど無氷状態が保たれる。これに面したムルマンスクは不凍港である。

- 中央部（カラ海東部からラプテフ海を経て東シベリア海の西部）

大陸性気候及び極点周辺の冷水及び氷野の影響を受けて寒冷であるとともに、大河からの大量の淡水の流入のため海水が発達しやすい。

- 東部（東シベリア海の東部からチュクチ海）

北太平洋からの比較的温暖な海水の流入の影響を受けるため、中央部に比べると海水の発達はやや穏やかである。

NSR の特徴の第二はその地形にある。NSR を構成する海域には、西から、ノバヤゼムリヤ、セベルナヤゼムリヤ、ノボシビルスク諸島、ランゲル島等の島々が存在し、航路の大半は、これらの島と大陸の間、あるいは島と島の間海峡を通る（図4.2-1）。これらの海峡は一般に、

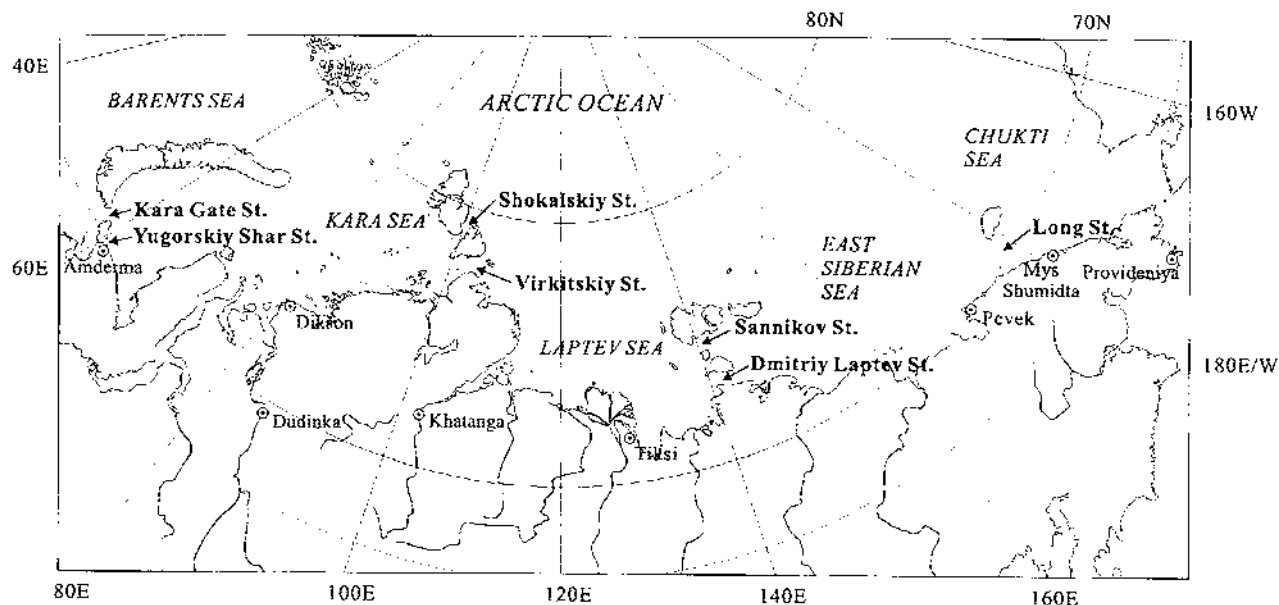


図4.2-1 NSR上の主要な海峡

狭隘であるとともに浅水域が多く、NSRを航行する際の難所となっている。代表的な海峡とその位置・特徴は以下の通りである。

- ユーゴルスキーシャール海峡 (Yugorskiy Shar Strait)

バイガチ島 (Vaygachi Island) と大陸との間の海峡。長さとも最狭部幅はそれぞれ、21及び5.5海里。最浅部の水深は13~15m。

- カラゲイト海峡 (Kara Gate Strait)

ノバヤゼムリヤとバイガチ島との間の海峡。バレンツ海とカラ海との間の交通の大部分はこの海峡を通して行われ、通航分離航路がある。最浅部の水深は21m。

- ビルキツキー海峡 (Vilkitskiy Strait)

セベルナヤゼムリヤとチェリュスキン岬 (Chelyuskin Cape) との間の海峡。幅、水深とも問題は無いが、8月でも定着氷が存在する場合があるなど、氷の状態によっては航行の難所となり得る。

- ショカルスキー海峡 (Shokalskiy Strait)

セベルナヤゼムリヤを構成する島々の間の海峡。こちらも幅、水深とも船舶の航行には問題無いが、氷況はビルキツキー海峡よりも一般に厳しい。

- ドミトリーラプテフ海峡 (Dmitry Laptev Strait)

ノボシビルスク諸島と大陸との間の海峡。長さとも最狭部幅は、それぞれ63及び30海里。水深は浅く、特に海峡東部には10m以下の浅水部が存在するため、船舶の航行は喫水6.7m以下のものに限られる。

- サニコフ海峡 (Sannikov Strait)

ノボシビルスク諸島を構成する島々の間の海峡。水深は一般に浅いが、中央部の16から18海里程度の幅の部分は13m以上の水深がある。定着氷が通年存在する場合もある。

4. 北極海航路の逆行技術

• ロング海峡 (Long Strait)

ランゲル島と大陸との間の海峡。幅は広く、南北2航路のどちらかを通るのが一般的である。それぞれの航路における最浅水部深さは、それぞれ20及び33mである。冬季には大陸からランゲル島へ定着氷が発達するが、夏季までこれが残ることは無い。しかしながら、アイスマッシュあるいは多年氷により航行が阻害される場合がある。

これらの海峡のうち、ビルキツキー海峡、ドミトリーラプテフ海峡、ショカルスキー海峡及びサニコフ海峡の4海峡については、航行にあたって砕氷船のエスコートが義務付けられている。

(2) 氷況

他の航路と比較して NSR の最も重要な特徴は、言うまでも無く、航路上における氷の存在である。NSR の航行には砕氷あるいは耐氷能力を持つ氷海船舶が必要となるとともに、船舶の航行する航路も氷の状況により影響を受ける。NSR における氷況は季節及び海域により大きく変化する。以下においては、船舶の航行という観点から、冬期と夏期における NSR 上の氷況を述べる。なおここで言う冬期及び夏期とは、一般的な四季区分ではなく、海氷の成長期である10月から翌年5月を冬期、海氷の融解期である6月から9月を夏期とする。また、海域による氷況の特徴を見るために、カラ海からベーリング海峡に至る海域を図4.2-2に示す以下の7領域に分けて扱う (WP-121)。

- ・カラ海南西部 ・カラ海北東部 ・ラプテフ海西部 ・ラプテフ海東部
- ・東シベリア海西部 ・東シベリア海東部 ・チュクチ海南西部

冬期 NSR における氷況は定着氷により特徴付けられる。定着氷は大陸あるいは島の沿岸から沖合いに向けて発達し、その厚さは海域によっては2m 以上にも達する。定着氷の発達は、カラ海東部からセベルナヤゼムリヤにかけての海域及びラプテフ海から東シベリア海西部のノボシビルスク諸島を付近の海域において顕著である (図4.2-3)。これらの海域における定着氷

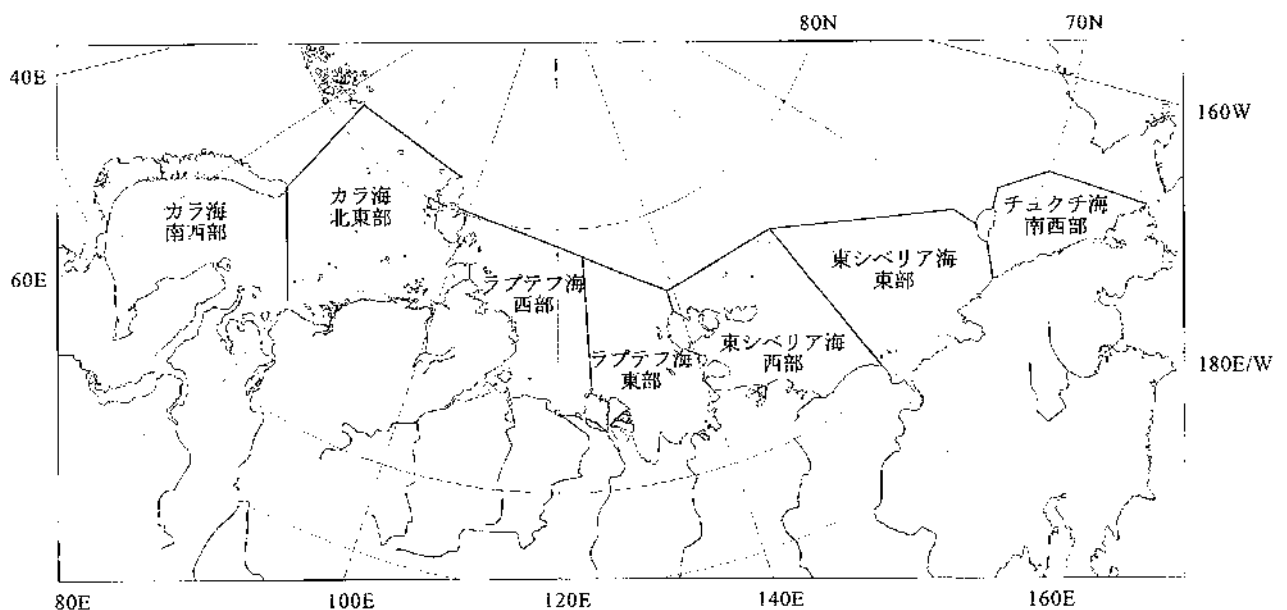


図4.2-2 海域の分割

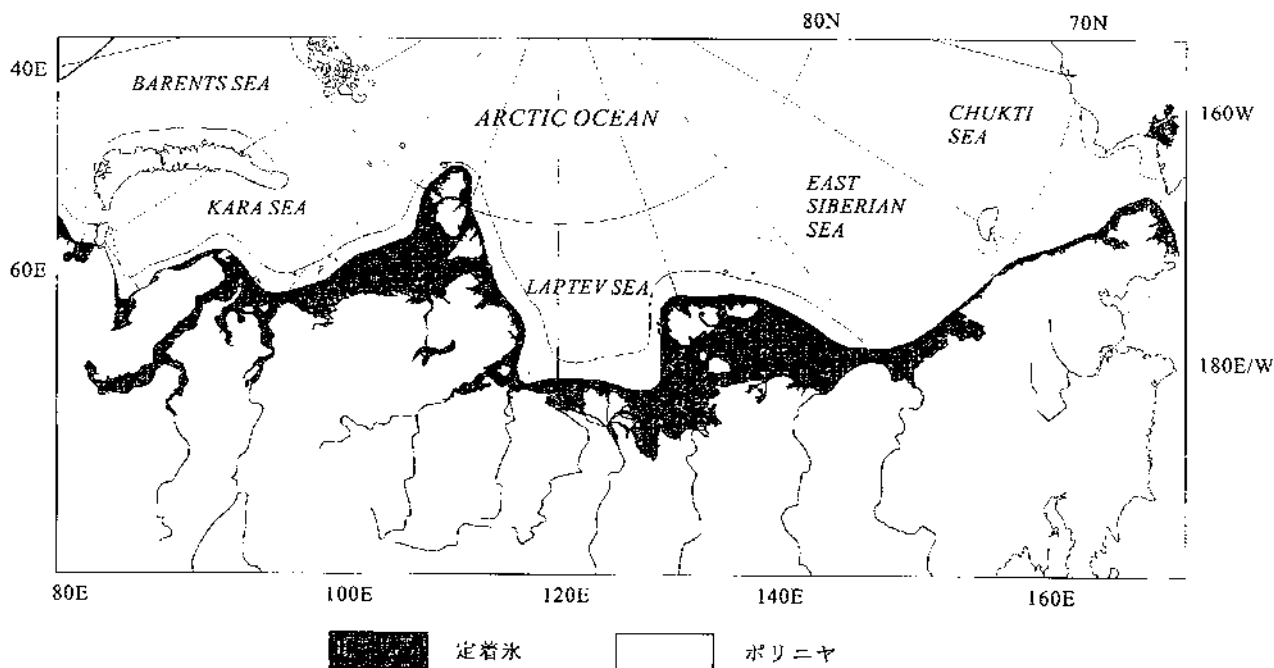


図4.2-3 定着氷

の発達、海域の地理的特徴に拠るところが大きい。すなわち、第3章に述べたように、これらの海域は、沖合いまで大陸棚が発達した浅水域であり、また、オビ、エニセイ、レナといった大河から大量の河川水が流入する。このため、表層海水の塩分濃度が低く、海氷の発達しやすい状態となっている。これに対し、チュクチ海から東シベリア海東部にかけての海域は、このような条件があまり整っていないことに加え、ベーリング海峡を通じての北太平洋からの海水の流入の影響も受けて、定着氷の発達は大陸沿岸の狭い領域に限られている。

この一方、冬期に発達する定着氷の外縁にはポリニヤの発達が見られる(図4.2-3)。定着氷と北極点を中心とする氷野との間に線上に存在するフローポリニヤ (flaw polynya) は、冬季NSRにおける船舶航行のための航路として利用される。なお、バレンツ海には広大な無氷域が存在するが、これは、温暖なメキシコ湾流の影響によるものである。

氷の広がりとともに、船舶の航行に影響を与えるパラメーターは、氷厚である。

一年氷は、一般に、冬期初期に成長を始め、月の経過とともに徐々にその成長速度を低下させながら、冬期終わりに最大氷厚に達する。図4.2-4に一年氷の成長の様子を示す。同図に示したデータは、各海域における平坦氷の成長率から各月の月末における氷厚を計算したものである。海氷の成長は海域により異なる。NSRの中央部のラプテフ海東部及び東シベリア

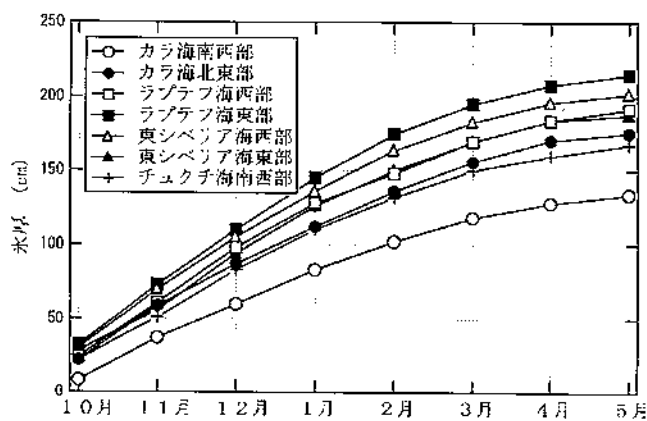


図4.2-4 冬期における海氷の成長

4. 北極海航路の運行技術

海西部では最も氷の成長が顕著であり、5月末における氷厚は2mを超える。これに対し NSR の東西両端域では氷の成長は比較的穏やかである。

冬期に発生・成長した定着氷は、一般に、夏期には融解してその存在範囲を縮小し開水域が発現する。図4.2-5は、各海域における開水域が占める割合の変化を示したものである。開水域の割合は月の経過とともに増大する。しかしながら、夏期においてもいずれの海域も完全に開

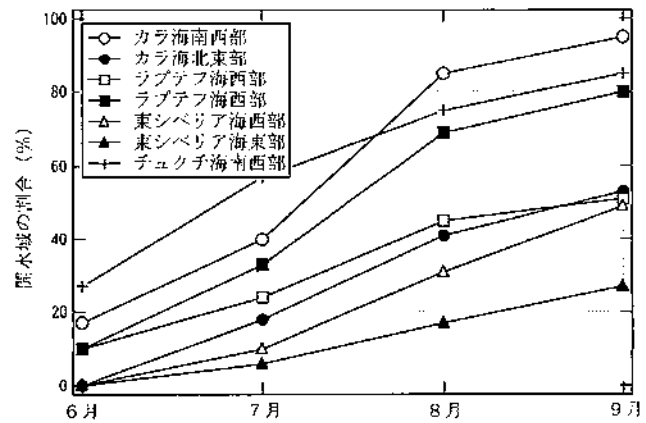


図4.2-5 夏期における開水域の拡大

水域となることはなく、氷況という観点からの NSR の厳しさが示されている。開水域の割合は海域によって大きく異なる。特に、カラ海北東部及び東シベリア海では6月末には開水域は存在せず、9月末においてもかなりの面積が海氷により覆われている。これに対し、これらの海域の東西両端に位置するカラ海南西部及び南西チュクチ海では、季節の進行とともに開水域が増加し、夏の終わりには僅かな氷が残るのみとなる。

このような海域による氷の存在率の違いは、前述の気候の違い及び大西洋・太平洋からの海流の影響等に加え、アイスマッシュの影響が大きい。3章で述べたように、夏期の融解期においても、一定の海域にはアイスマッシュが発現する。3.2.3節に示したアイスマッシュの存在海域と図4.2-5を比較すると、開水域が発現が小さいカラ海北東部、ラプテフ海西部及び東シベリア海には、それぞれ、セベルナヤゼムリヤ・アイスマッシュ、タイミル・アイスマッシュ及びアイオン・アイスマッシュが存在することが判る。次項に述べるように、夏期においてはこれらのアイスマッシュを避けるように航路が採られる。

(3) 航路の選定

これまでに述べてきたように、NSRにおける船舶の航路は、この航路の有する自然条件により大きな影響を受ける。NSRにおける船舶の航路選定に影響を与える第一の自然条件は、通過海域における水深である。前述のように NSR 上の海域では大陸棚の発達のため、いくつかの海峡を始めとする海域における水深は極めて浅い。水深が20mを切る浅瀬の存在も珍しくなく、船舶の喫水によっては座礁等の事故の可能性がある。航路選定に影響を与える第二の自然条件は、航路上における氷況である。NSR上における氷況は厳しく、夏季においても大規模な氷野が残っていることも珍しくない。このような条件の中、氷況によっては、船舶は時には航行不能に陥り、また、船体・推進器等に損傷を蒙ることもある。このため、NSRを航行する船舶は、しばしば厳しい氷況を迂回しながらの航行を強いられることになる。このような厳しい自然条件の中での船舶の安全航行を確保するために、NSRを航行する船舶の採る航路は、船舶の喫水と水深の関係、その時々氷象等の条件を勘案しながら、運航管制所 (Marine Operations Headquarters: MOH) において決定され、各船舶に伝達される。運航管制所は NSR における船舶の航行全般に対する監督組織であり、ペベク及びディクソンの2カ所の管制所が NSR を東

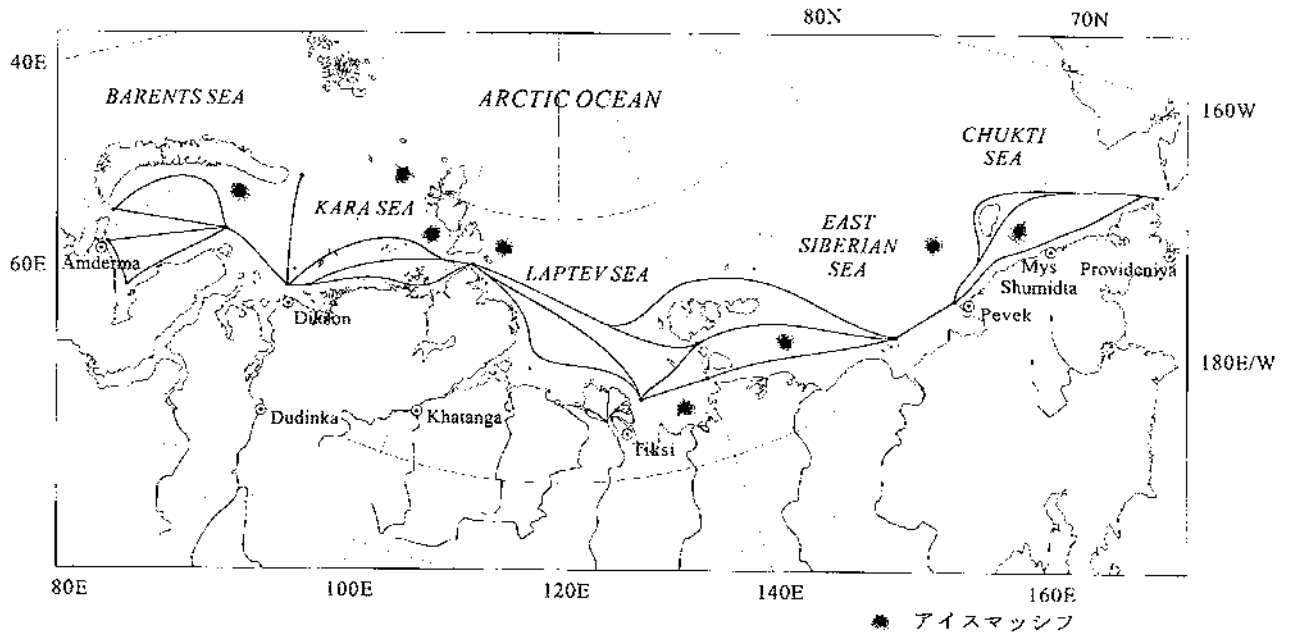


図4.2-6 夏期における標準的航路

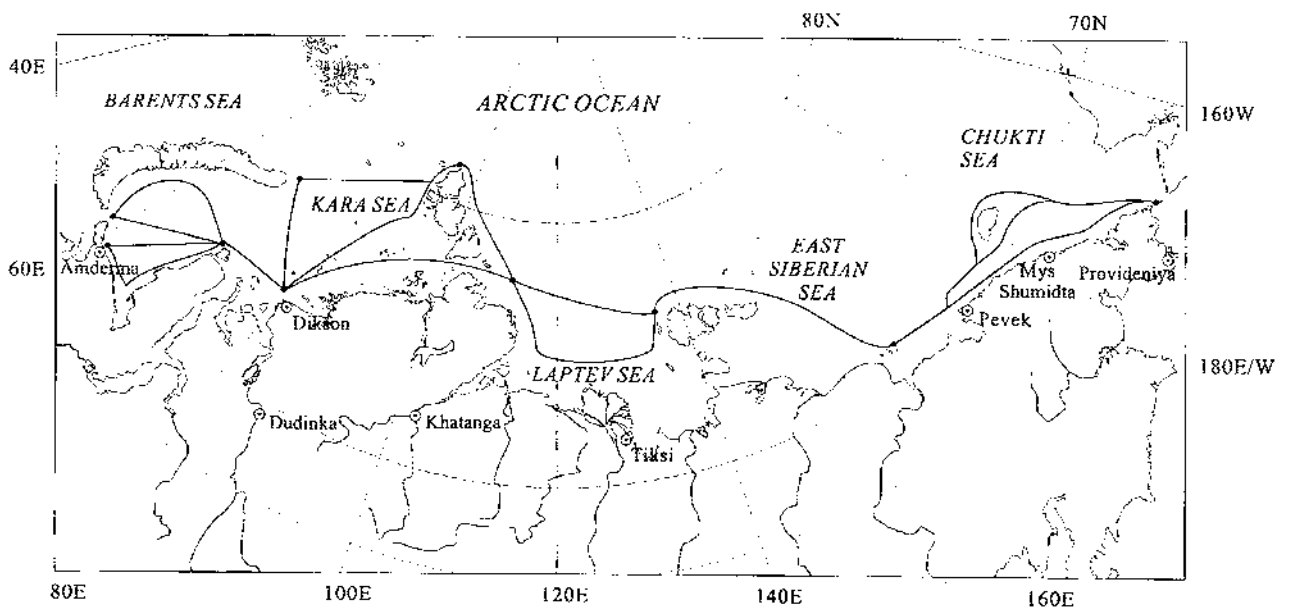


図4.2-7 冬期における標準的航路

西に分けて担当している。なお、運航管制所の役割については4.3節において述べる。

上記のような理由により、一般の航路と異なり、NSRにおいては航路を特定することはできない。しかしながら、ロシアにおいては、長年にわたる氷況観測データの蓄積並びに航行実績に基づき、幾つかの標準的な航路が考えられている。航路は夏期（6月から9月）と冬期（10月から翌年5月）により異なり、それぞれの季節における氷況の違いを反映したものとなっている（図4.2-6及び図4.2-7）。夏期においては、航路はアイスマッシフを避けながら、氷量の少ない海域あるいは水空きをたどりながら進んでいる。一方冬季における航路は、一般に夏期におけるものよりも北側にシフトしたものとなっている。これは、船舶が沿岸域の定着氷を避け、

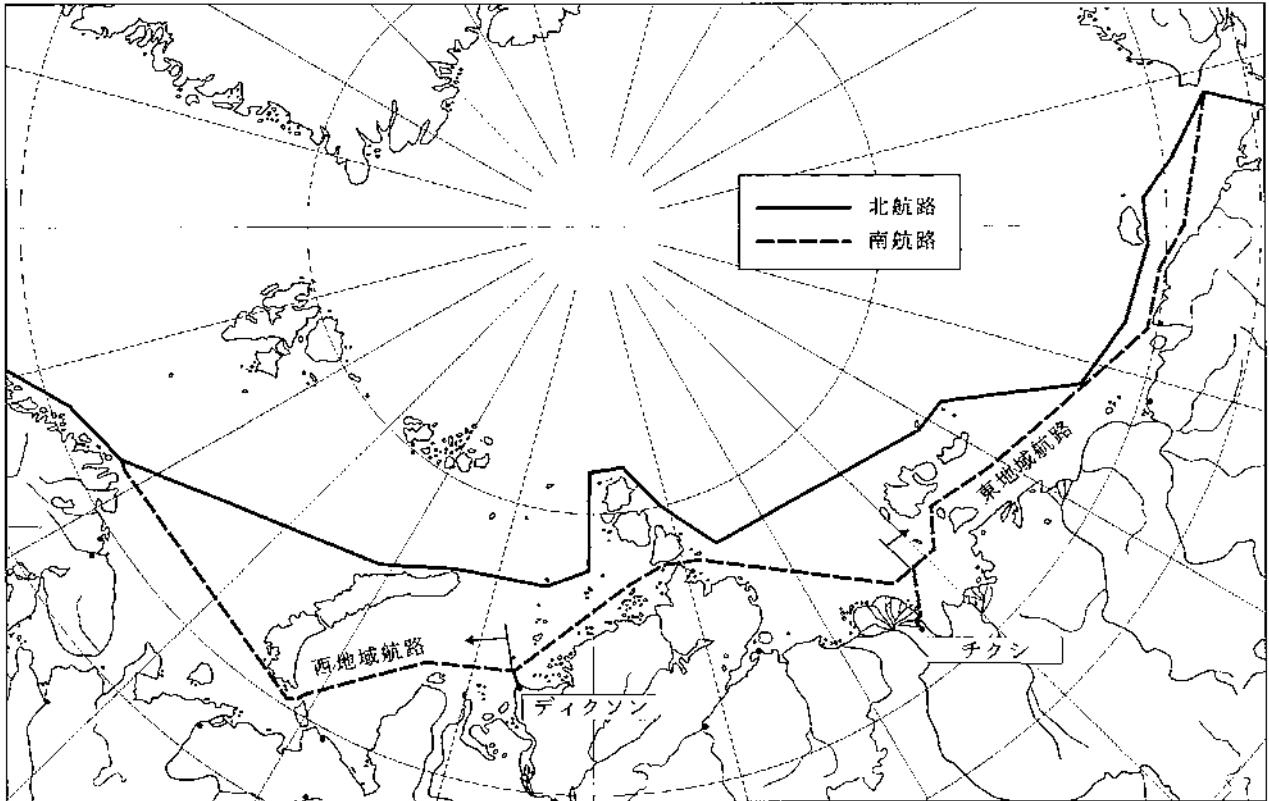


図4.2-8 CNIIMFにより選定された航路

その沖側にあるポリニヤ等を選びながら航行することが多いことを示している。なお、NSR 上には水路調査が充分ではない海域があり、これらの海域の通航には船長・パイロット等の経験が重要である。

一方、INSROP Phase II の研究においては、4.4節に示すように、NSR を通ってヨーロッパからわが国に至る航海をシミュレートし、他の航路による輸送との経済性比較等を行った (WP-164)。このシミュレーションのためのベースデータとして、ハンブルクから NSR を通って横浜に至る航路の選定と航路上20海里 (NM) 毎の地点における水深その他のデータの作成が CNIIMF により行われた (図4.2-8) (WP-108)。このシミュレーションでは、比較的小型で喫水が浅く大陸沿岸域の航行が可能な商船と、大型で喫水が深く島々の沖合いを通る商船とを研究の対象とした。これらの船舶の通る航路として、沿岸域の航路 (南航路)、沖合い航路 (北航路) を選定した。また、ロシア北極海沿岸地域とヨーロッパ及びわが国を結ぶ航路として、南航路上において、ディクソン沖とハンブルクを結ぶ航路とチクシ沖と横浜を結ぶ航路を、それぞれ、西地域航路及び東地域航路とした。南航路と北航路は、このシミュレーションの目的からは、喫水の異なる2種類の船舶を対象とするものであるが、季節による氷況の違いに基づく選定航路の代表例とも捉えることができよう。本研究において与えられた水深データより、沿岸域及び沖合いの両航路における水深変化を見ることができる (図4.2-9)。これまでにロシア沿岸域の一部の海域における水深の浅さについて述べてきたが、この図はこれを具体的に示す例である。図から判るように、東側 NSR は浅水域が続く。特に、大陸沿岸域は水深が浅く、20m を切る海域も多い。

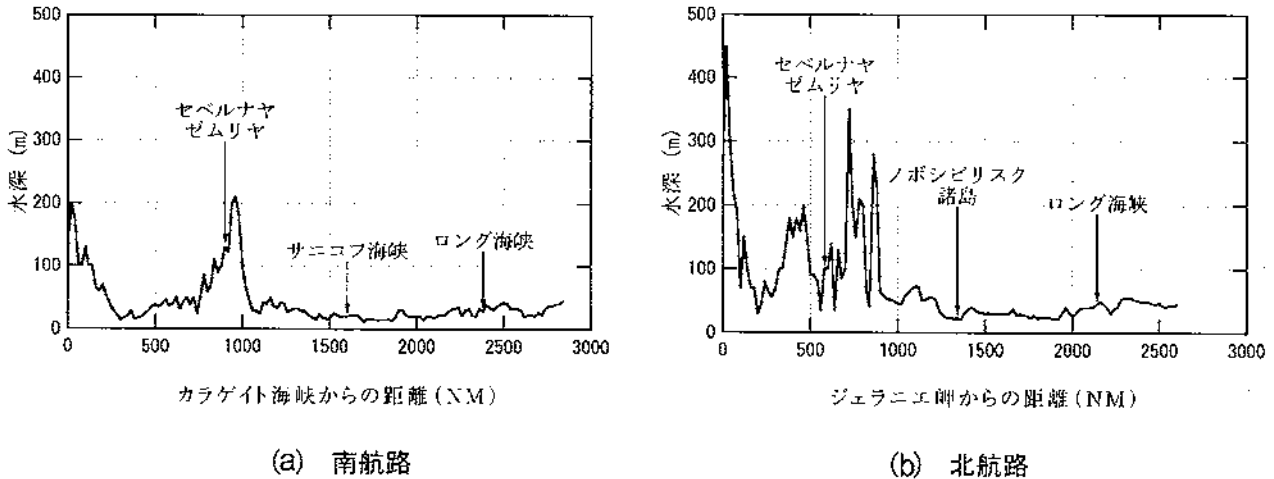


図4.2-9 CNIIMFにより選定された航路上の水深変化

4.2.2 運航支援

(1) 運航支援設備

前節において述べたように、NSR 上には浅瀬・暗礁等の危険域が多く存在する。また、ロシアにおいてはオビ・エニセイといった大河における河川水運も盛んであることから NSR とこれらの河川を結ぶ水上交通も多い。このような危険域あるいは河口等を中心にして、NSR 上の要所には各種の標識等が設置されている。これらには、無線標識、昼標・夜標、レーコン、レーダ反射器、各種ブイ等が含まれる。各種標識に加え、衛星による船位決定も現代の船舶における欠かせない運航支援情報である。NSR においても、他の海域同様、衛星による船位決定が行われる。

無線標識施設としては、現在47カ所に施設があり、そのうち17カ所が有人施設となっている。これらの無線標識の到達レンジには現在100NM と150NM の2種類があり、300NM レンジのものも開発が進められている。一方、河口・江口域を中心として現在約30カ所にレーコンがある。また、この他に200カ所にレーダ反射器が設置されている。ロシア沿岸域及びその北側に存在する島々は、一般に平坦で陸地からのレーダーの反射が得られにくい場合が多いことから、レーダ反射器が設置されている。これらのレーコン等には、多くの場合、昼標・夜標等が併設されているが、これらを含めて NSR 域には合計約250カ所に夜標が、200カ所に昼標がある。また、夏季においては約1,000カ所に浮標が設置される。

Global Positioning System (GPS) は、衛星情報を利用した位置決定システムであり、現在、船舶のみならず航空機、自動車等に幅広く使用されているが、NSR における船舶の船位決定にも有用なシステムである。また、ロシアの衛星による同様のシステム GLONOS も存在するが、これを利用するための受信設備はロシア船以外においては普及していない。GPS による位置決定システムは、元来は軍事目的で開発されたものであるため、一般船舶による利用の場合は船位決定精度が約100 m 程度となる。このため、さらに高精度の船位決定が求められる場合のために、陸上ステーションと船上との情報を比較することにより、精度10m 程度まで向上させることができる DGPS モードが開発されている。NSR においても、DGPS のための陸上ステー

4. 北極海航路の運行技術

ションが、カラ海を取り囲むオレニー (Oleny)、ステリゴフ (Sterligov)、ユーゴルスキーシャール (Yugorsky Shar) 及びパトニコボ (Lipatnikov) の4カ所に計画されている。これらの陸上ステーションからの情報は、カラゲイト海峡を中心とする海域における船舶の航行安全はもとより、カラ海域での海洋研究、資源探査・開発等の目的にも使用されることとなっている。

以上、各種標識、衛星による船位決定システムについてその概要を記したが、以上の情報は、INSROPにおける研究レポート (WP-108) に基づくものである。本レポートの内容は、1998年現在における情報をまとめたものと考えられるが、近年の経済的混乱の中でこれらの運航支援設備等の状況に変化があることが考えられる。例えば、標識等に対してどの程度の補修・交換等が行われているかについての正確な情報は無く、従って、特にNSR東側海域においては、これらの標識等が機能しなくなっている状態も考えられる。また、DGPS用の陸上ステーションの計画についても1998年では実験段階であるとされ、その後の実用化についても新たな情報は無い。

(2) 港湾

NSRはスエズ運河等を経由する航路に対し、大西洋と太平洋とを結ぶ航路としての位置付けをすることができるが、その一方、ヨーロッパ、極東あるいは北米の各都市とロシア北方の都市を結ぶための航路、あるいはロシア北方の都市間を結ぶ航路でもある。この意味において、NSR上における港湾の果たす役割は大きい。また、大西洋と太平洋を結ぶ航海においても、各種の補給、緊急の補修・避難等のためにこれらの港湾を利用する場合もあろう。NSR上及びその前後における主要な港湾及び地点間の距離を表4.2-1に示す。

表4.2-1 NSR上及びその前後における主要な港湾及び地点間の距離 (NM)

地名	トロムセ	ムルマンスク	アルハンゲリスタ	ユーゴルスキーシャール海峡	カラゲイト海峡	マトキン海峡	ジェラニニ	デンクソン	デニティンカ	イカルカ	ビルキツキー海峡	カタンガ	チクシ	サニコフ海峡	ドミトリアテフ海峡	ペベタ	ペーリング海峡	プロビデニヤ	ダツチハーバー	バルデス	パンクーパー	ウラジオストック
ムルマンスク	407																					
アルハンゲリスタ	772	435																				
ユーゴルスキーシャール海峡	848	578	659																			
カラゲイト海峡	799	523	607																			
マトキン海峡	678	466	617	320	260																	
ジェラニニ	905	745	920	650	590	330																
デンクソン	1,289	1,013	1,097	477	490	461	310															
デニティンカ	1,619	1,343	1,429	807	820	791	640	330														
イカルカ	1,715	1,439	1,523	903	916	887	736	426	136													
ビルキツキー海峡	1,686	1,410	1,491	874	887	858	521	496	826	922												
カタンガ	2,234	1,958	2,039	1,422	1,435	1,406	1,069	1,044	1,324	1,470	543											
チクシ	2,321	2,045	2,136	1,509	1,522	1,493	1,156	1,131	1,461	1,557	635	786										
サニコフ海峡	2,285	2,009	2,090	1,473	1,486	1,457	1,120	1,095	1,425	1,521	599	770	325									
ドミトリアテフ海峡	2,288	2,012	2,093	1,476	1,489	1,460	1,130	1,098	1,428	1,524	602	773	210	93								
ペベタ	2,864	2,588	2,660	2,052	2,065	2,036	1,699	1,674	2,004	2,160	1,178	1,349	819	579	609							
ペーリング海峡	3,850	3,074	3,155	2,538	2,551	2,522	2,185	2,160	2,490	2,586	1,664	1,838	1,290	1,065	1,110	558						
プロビデニヤ	3,460	3,184	3,265	2,648	2,661	2,632	2,295	2,270	2,600	2,696	1,774	1,948	1,508	1,175	1,220	668	110					
ダツチハーバー	4,180	3,871	3,955	3,338	3,351	3,322	2,985	2,960	3,290	3,386	2,464	2,638	2,190	1,865	1,910	1,258	690	615				
バルデス	4,955	4,679	4,760	4,143	4,156	4,127	3,790	3,765	4,095	4,191	3,269	3,443	2,995	2,670	2,715	2,063	1,495	1,420	805			
パンクーパー	5,682	5,406	5,487	4,870	4,883	4,854	4,527	4,492	4,822	4,918	3,996	4,170	4,080	3,755	3,800	3,248	2,332	2,241	1,626	1,210		
ウラジオストック	5,885	5,609	5,690	5,073	5,086	5,057	4,720	4,695	5,026	5,121	4,199	4,373	3,925	3,600	3,645	3,093	2,535	2,425	1,880	2,680	4,278	
岬	6,043	5,767	5,848	5,231	5,244	5,215	4,878	4,853	5,183	5,279	4,357	4,531	4,441	4,116	4,161	3,609	2,693	2,583	2,580	3,380	4,258	931

NSR 上における港湾に対する外国船の入港は、ロシア政府により制限されている。ロシア政府は、毎年始めに、“Notice to Mariners”の中で、その年に外国船に対して開放される港湾を発表する。例えば1997年の場合、これらの港湾は、イガルカ (Igarka)、ディクソン (Dikson)、チクシ (Tiksi) 及びペベク (Pevek) の4港湾であったが、翌1998年にはこれらにアムデルマ (Amderma)、ヤムブルグ (Yamburg)、デュディンカ (Dudinka)、カタンガ (Khatanga)、ゼレニー (Zelenyy Mys)、プロビデニヤ (Provideniya) を加えた10港湾となっている。これらの港湾が将来にわたって同様に開放されるのか、その他の港湾が開放の対象となることはあるのか等については、それぞれに対する国策的考慮により変化し予測が困難である。また、開放された港湾であっても必ずしも国際港湾としての要件を満足していない場合も考えられる。1998年に開放された10港湾の概要を以下に示す。

- アムデルマ (Amderma)

カラ海南部のユーゴルスキーシャール海峡近傍の港湾。碇泊地においてのみ揚荷が可能。空港、医療施設、郵便、電信・電話の設備がある。燃料その他の必要機材の補給は基本的には期待できない。

- ディクソン (Dikson)

カラ海南部のエニセイ湾近傍の港湾。入港可能な船舶の最大喫水は11m であり、港内に碇泊地がある。港湾の揚荷設備の最大載荷重量は8トン。清水の入手及び軽微な修理が可能。空港、医療施設がある他、救難及び無線設備の補修のための人員が配置されている。

- ヤムブルグ (Yamburg)

オビ湾内の Nude-Mongotoepoka 河口に最近建設された港湾。港湾までの水路の水深は5.5m。港湾内には浮きクレーン及び医療施設がある。

- デュディンカ (Dudinka)

エニセイ河口より231NM 上流にある港湾。水深40m の碇泊地を有し、10隻までの船舶の同時碇泊が可能。ガントリークレーン、タグボート、修理施設があり、ダイバーの利用も可能。河川からの清水及び必要機材の入手が可能。ノリリスク (Norilsk) に空港、医療施設、郵便、電信・電話の設備がある。

- イガルカ (Igarka)

エニセイ河口より370NM 上流にある港湾。描地の水深は10~11m であり、ガントリークレーン及び浮きクレーンを有する。簡易な補修及び河川からの清水の入手が可能。医療及び郵便施設があり、1.5km 離れて空港もある。

- カタンガ (Khatanga)

カタンガ河口より115海里上流にある港湾。Khatanga Hydrobase による水先案内がある。港内の水深は3.5~8m であり、載荷重量3~8トンのガントリークレーン、浮きクレーン及びタグボートを有する。簡易な補修のみ可能。医療、郵便及び空港施設がある。

- チクシ (Tiksi)

ラプテフ海南部のレナ河口にある NSR 上最大の港湾。港内の水深は5.4~10m であり、荷重量25トンのガントリークレーンを有する。補修設備があり、燃料油及び各種必要機材の入手

4. 北極海航路の運行技術

が可能。Hydrobase からダイバー、航行設備の補修、航行情報等の提供が受けられる。浮きクレーン及びタグボートを有する。医療施設、郵便、電信・電話設備及び空港がある。

- ゼレニー (Zelenyy Mys)

コリマ河にある港湾。入港には水先案内人の乗船が義務付けられている。碇泊地において揚荷。医療及び郵便サービスがある。空港のあるチェルスキー (Chersky) までバスによる移動が可能。

- ペベク (Pevek)

チュコトカ自治管区チャウンスキー地方の行政中心都市である人口1万人のペベク市近郊の港湾。ペベク市には、医療、郵便施設、銀行及び空港がある。

- プロビデニヤ (Provideniya)

チュコト半島のプロビデニヤ湾にある港湾。湾内の水深は30~35m 程度であり、描地の水深は9m。医療及びタグボートのサービスを受けることが可能。Provideniya Hydrobase より航行情報の提供がある。

以上の港湾に関する情報は、INSROP レポート (WP-17) に基づく情報である。従って、前述の運航支援設備に関する記述同様、上記の港湾機能についてもその後の変化の可能性のあることを記しておく。

(3) 通信

NSR 上においては、船舶の航行に対する管制、氷況情報の送信等を目的とした無線通信システムが構築されている。この無線通信システムは、東経125度を境界として東西に分かれる。西側では、ムルマンスク、ディクソン及びアムデルマに通信センターがあり、東側では、チクシ、ペベク、シュミット岬 (Mys Shmidta) に通信センターが設けられている。NSR を航行する全ての船舶は、中波帯の通信により該当海域の通信センターと常に交信ができる状態を保つとともに、定期的に船位等についての報告を行うことが義務付けられている。その他、氷況観測の航空機との通信あるいは砕氷船によるエスコートまたは船団を組んでの航行時における船舶間の通信は VHF 通信 (122.5 MHz) により行われる。

無線通信は、時として磁気嵐の影響を受ける。磁気嵐は25から30日程度の周期を持って繰り返される。一回の磁気嵐の継続時間は通常数時間であるが、時には1日以上にわたって影響を及ぼす場合がある。磁気嵐はオーロラの発生帯において最も顕著に発生する。これによる通信障害が出易い海域は、ノバヤゼムリヤの北側北緯72から74度にかけての海域、セベルナヤゼムリヤの北側の海域、オビ河及びエニセイ河の河口域である。

無線通信は、船舶間、船舶と航空機間あるいは船舶と地上基地間といった比較的近距離の通信に利用されるのに対し、異なる海域において航行している船舶間あるいは船舶と旗国間の通信といった遠距離通信には衛星を経由する通信が利用される。NSR を航行する船舶は衛星通信施設を装備することが要求される。NSR における衛星通信については、衛星による船位決定手法と同様に、現在世界で標準的に使用されている INMARSAT によるものと、ロシア保有の衛星 OKEAN によるものの二種類の通信が可能である。

NSR 領域をカバーする INMARSAT 衛星としては、インド洋上空東経64度に位置する衛星

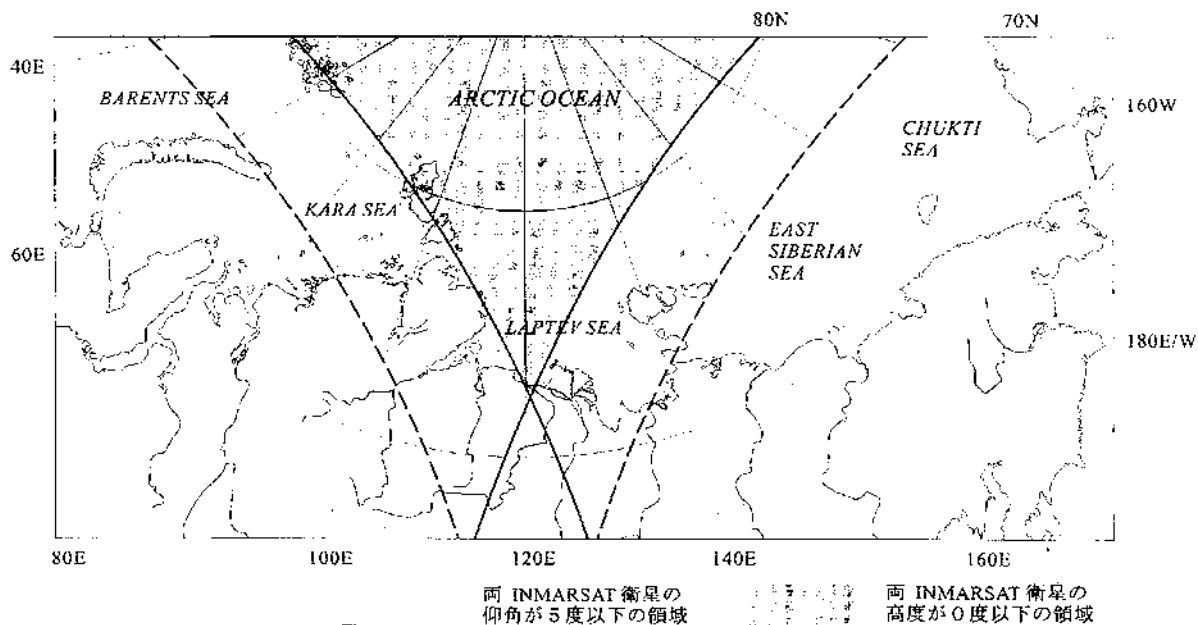


図4.2-10 INMARSAT 衛星の仰角が5度及び0度となる限界線

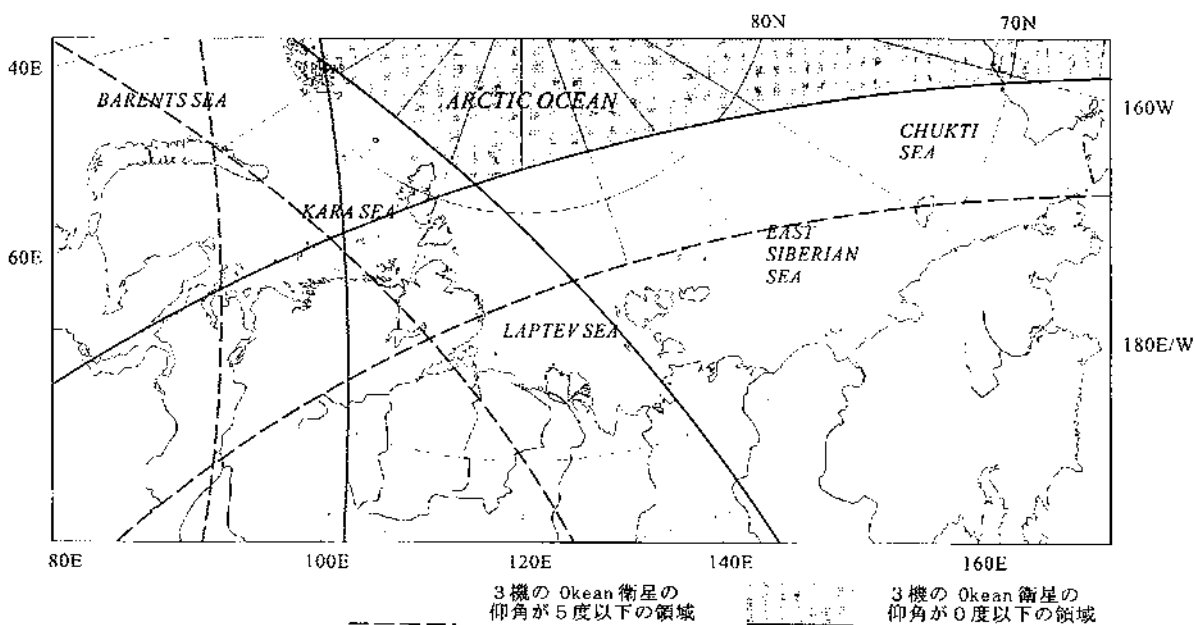


図4.2-11 OKEAN 衛星の仰角が5度及び0度となる限界線

(IOR) と太平洋上空東経178度の衛星 (POR) の2衛星がある。しかしながら、NSR は高緯度海域を通過する航路であるため、一般にこれらの衛星の水平線上高度が低く、一部海域においては通信が困難となる (図4.2-10)。水平線上の衛星仰角が0度となる曲線の外側においては、衛星は水平線下に隠れ理論的には通信は不可能となる。すなわち、東経120度前後のラプテフ海西部においては、IOR、POR 両衛星とも水平線下に沈んで INMARSAT による衛星通信が不可能な海域がある。なお、衛星仰角が0度以上となる海域においても、衛星アンテナとその他の構造物の位置関係によっては通信が困難となる場合があり、送・受信のために一時的に船の向きを変えるなどの工夫が必要となる場合もある。

4. 北極海航路の運行技術

一方、ロシアの衛星 OKEAN については、東経40度の大西洋上空、東経80度のインド洋上空及び東経140度の太平洋上空の3衛星が NSR 領域をカバーしている。OKEAN 衛星の場合は、NSR のほぼ全海域に亘ってこれらの衛星のどれかが水平線上に位置する（図4.2-11）。しかしながら、OKEAN 衛星に対応した送受信システムは、Volna-C 並びに Iceberg（ロシア製）、Saturn-3C（ノルウェー製）及び JUE-45（日本製）と限られていて、現状ではこれらの普及率は低い。

(4) 氷象・気象情報

これまでも述べてきたように、NSR における自然環境、特に氷況は極めて厳しく、船舶の安全な航行のためにはこれらに関わる情報の提供が不可欠である。このため、NSR における氷象・気象情報の収集・解析・予報及び利用者への提供のためのシステムが構築されている。このシステムの中核を成す組織が、サンクトペテルスブルグの北極南極研究所（Arctic and Antarctic Research Institute: AARI）内に置かれた、氷象・水文気象情報センター（the Center for Ice and Hydrometeorological Information: CIHMI）である。また、NSR 沿岸のディクソン、チクシ及びペベクには地域センターがあり、CIHMI はこれらのセンターとネットワークで結ばれている。

氷象・気象データの取得は様々な手法で行われるが、地上における観測データとしては、砕氷船その他の船舶からの情報並びに北極海上に点在する島々及び漂流する氷盤上に設置された自動観測機器からのデータが用いられる。自動観測機器からのデータは、OKEAN 衛星を介して CIHMI に送られる。一方、上空からの観測には、人工衛星によるリモートセンシング及び航空機からの観測が用いられる。人工衛星としては、METEOR、OKEAN といったロシアの衛星に加え、NOAA 衛星も利用され、可視光領域、赤外領域及びマイクロ波帯によるリモートセンシング画像が地上局において受信される。航空機からは目視観測が行われるとともに、サイドルッキングレーダーによる観測も行われる。

このような観測システムは、当然のことながら一日にして成った訳ではなく、技術の進歩とともに観測データの質・量を高めながら、現在に至っている。航空機による定期的な観測は1941年から42年にかけて開始された。当初は目視観測のみであったが、1968年以降はサイドルッキングレーダーが導入されるとともに通年観測が行われている。また、衛星データの利用は、1969年に METEOR-1シリーズの衛星からの可視光領域による画像の受信が開始された。その後、1975年からは可視光領域に加えて赤外領域に対応したセンサーを搭載した METEOR-2シリーズの衛星が利用され、現在は1987年から利用が開始された METEOR-3シリーズの衛星が用いられている。また、1983年からは、サイドルッキングレーダー、マイクロ波放射計及び可視光センサーを搭載した OKEAN-1シリーズの衛星が利用されている。

このような観測技術、特に人工衛星による観測技術の発展に伴い、NSR の氷況・海象に関する情報の収集・提供システムも変化してきた。人工衛星によるリモートセンシング情報の利用が本格化する以前は、ディクソン、チクシ、ペベク等の地域センターにおいて各種情報の収集・解析を行っていた。各地域センターは、これらの情報に基づき、氷況・気象等についての短期（一週間程度）予測を行うとともに、運航管制所への氷況マップの提供、NSR 上の船舶への航行についての助言等の業務を行っていた。各地域センターからの情報は CIHMI へも送られた。

CIHMI ではこれらを総合して NSR 全域に対する氷況マップを作成するとともに中・長期（2、3カ月程度から1年）にわたる氷況及び気象予報を行い、これらを運航管制所へ提供していた。しかしながら、氷況観測手段としての衛星データの有用性が質・量ともに高まり観測の中心となるにつれて、衛星データを含めた情報の処理をそれぞれの地域センターにおいて行うことのできる能力的限界が現れるとともにその必然性が薄れた。現在では、CIHMI が短期氷況予測及び氷況マップ作成を含めた氷象・気象データを一元的に扱い、各種情報を運航管制所その他のユーザーへ提供している。

(5) 人工衛星による氷況観測技術

NSR を含めた氷海域を航行する上で、氷況についての情報は極めて重要であるが、観測ステーション、観測に利用できる航空機・船舶等の絶対数が限られている。また、その自然環境の厳しさのために、現地における観測・計測が困難となる場合も多い。しかしながら、近年、人工衛星による地球表面の観測技術の発達により、衛星画像の氷況観測への適用が実用化され始めている。前述のように、衛星画像による氷況観測は、NSR においても氷況予報の中心的手段となっている。

人工衛星搭載のセンサーには、その対象となる電磁波の種類により様々なものがあるが、船舶の航行支援を目的とする氷況観測においては、マイクロ波帯の電磁波を用いるセンサーの画像の利用が最も有望視されている。マイクロ波は、太陽光あるいは雲の存在の有無に関わらず地上の情報を得ることができるため、極夜あるいは曇天の場合においても使用が可能である。マイクロ波を用いたセンサーは、大きく、受動型センサーと能動型センサーとに大別できる。受動型センサーは、地上から放射されるマイクロ波を受信して映像化するものであり、原理・オペレーションともに比較的簡便なセンサーである。マイクロ波能動型センサーの代表例としては、米国防衛気象衛星計画 (DMSP) の衛星に搭載された SSM/I (Special Sensor Microwave Imager) がある。一方、能動型センサーは、衛星からマイクロ波を地上に向けて放射し、その散乱放射を再び衛星において観測する原理によるセンサーである。能動型センサーとしては、MOS、NIMBUS、NOAA 等の衛星に搭載されたマイクロ波放射計 (Microwave Scanning Radiometer: MSR)、走査型多チャンネルマイクロ波放射計 (Scanning Multichannel Microwave Radiometer: SMMR) 及びロシア衛星 OKEAN に搭載されたサイドルッキングレーダー等がある。また、合成開口レーダー (Synthetic Aperture Radar : SAR) は、能動型マイクロ波センサーの一種であるが、画像分解能が約100m と極めて高いため、氷況把握のための有用なセンサーとして期待されている。

SAR を中心とするマイクロ波によるリモートセンシングは氷況観測にとっての有用なツールであり、前述のように、すでにロシアにおける NSR の氷況把握システムにも利用されている。また、NSR の開放以後、幾例かの試験航海が行われてきたが、これらにおいても航路決定に対する衛星情報の本格的利用についての検討が行われてきた。NSR 解放後非ロシア船として初めて NSR を完航した L'Astrolabe 号の航海では、ERS-1からの SAR 画像及び SSM/I 画像から作成された氷況マップが船上へとファクシミリ通信された (Johannessen, 1992)。また、シップ・アンド・オーシャン財団により行われた Kandalaksh 号による実験航海でも、同じく

ERS-1からの SAR 画像及び SSM/I 画像から作成された氷況マップが船上へと送られた。ただしこの場合、SAR 画像については、ファクシミリではなく画像ファイルがモデムを介して船上へのコンピューターへ送られた (Yamaguchi, 1995)。また、最近行われた冬期カラ海におけるタンカーの実験航海においても、ERS-2、RADARSAT、OKEAN、METEOR 等の衛星からの画像が航路決定に用いられた (Pettersson, 1999, Smirnov, 1999)。これらのプロジェクトは、マイクロ波による衛星画像の氷況把握ツールとしての有効性を示すものであったが、同時に将来の本格的利用に向けての課題を示すものでもあった。

● 撮影領域と分解能

SAR による画像は、空間分解能が約100m と高く、氷況の詳細についての情報を得ることができる。しかしながら、この一方、撮影領域の幅 (swath width) が約100km と狭い。従って、もし画像軸と直角方向に5ノット程度で航行したとすれば、半日足らずで画像の領域を越えてしまう。また、この狭い撮影領域のため、任意の地点に対する撮影の確率が低い。衛星による撮影領域は、地球の自転により周回毎に位置が変わり、ある一定周期で同じ位置に戻るが、例えば ERS 衛星の通常のオペレーションでは、この周期は3日である。また、撮影領域の中心間隔は、例えば北緯70度では300km であり、従って、NSR 上では約1/3の海域のみが3日に一度撮影可能となるだけである。このように SAR による画像は、一般に、撮影領域に対する任意性が低い。この点、受動型センサーである SSM/I の撮影領域は広く、NSR 上のそれぞれの海域を一画像でカバーすることが可能である。このような SAR 画像と SSM/I 画像のカバー領域の違いは Kandalaksha 号による実験航海時に取得した氷況画像にも見る事ができる (図5.8及び図5.9参照)。しかしながら、SSM/I の画像の空間分解能は約20km と低く、大まかな氷縁・氷密接度等が判るが、リードの存在、氷の種類の違い等は特定できない。一方、OKEAN 搭載のサイドルッキングレーダーによる画像は、この両者の中間的な撮影領域、空間分解能を持つ。このセンサーの画像幅は460km であり、11回の連続した軌道からの撮影により NSR のほぼ全域がカバーされる。また、画像の空間分解能は2km 程度であるが、冬期、多年氷内の500 m 幅のリードあるいは250 m 程度の大きさの多年氷盤の検出が可能であるとされる (Bushuev, 1998)。また、RADARSAT では、最大500 km の swath width を実現できることから、これまでの SAR 画像よりも遥かに広い領域の撮影ができる衛星として期待されている。

● 後方散乱強度と氷況の関係

能動型センサー、特に SAR は、画像の空間分解能が高いことに加え、一年氷・多年氷等、氷の種類を特定できる可能性があることが期待されている。能動型センサーにより得られる画像は、衛星から発したマイクロ波の地球表面からの後方散乱の強度を輝度差として表したものである。後方散乱の強度は、氷の表面の粗度、氷上の積雪、氷の塩分濃度、あるいは海面であっても波浪の状態により異なる。従って、衛星画像から海水と海面の区別、さらには海水の種類を特定を行うためには、氷況と後方散乱の強度との関係が予め判っていなければならない。このため、衛星画像と現地観測結果との比較研究が行われ、図4.2-12に示すような結果が一例として得られている (WP-38)。図の縦軸は後方散乱の強度である。しかしな

がら、この図から判るように、後方散乱強度と氷の種類との間に一対一の対応が得られている訳ではない。氷の種類によっては対応する後方散乱強度の幅が広く、また、同一の後方散乱強度に対して幾種類かの氷況が対応する場合もある。従って、衛星画像からの氷況マップの作成は、気温・風速等の補助データを参照するとともに、作業者の経験と熟練にまだ負うところが大きい。

- データの取得・処理・伝達

氷象は風・潮流により常に変化する。従って、リモートセンシングによる氷況データを航路決定に利用するためには、データ

の即時性、すなわち、画像撮影から利用者の手元に送られるまでの時間が重要である。NSRにおいて行われた実船試験においても、この観点から衛星情報の有用性の検討が行われている。近年カラ海で行われた実験航海においては、ERS-2及びRADARSATからの画像データをトロムセの地上局において受信し、処理をした後にINMARSAT経由でエスコート役の砕氷船へと送信された。画像撮影から砕氷船上においてデータが受信されるまでに要した時間は3から4時間程度である(Pettersson, 1999)。リモートセンシングデータによる航路決定の実用化のためには、この時間は3から5時間以内であるべき(Smirnov, 1999)という指摘に対しては、この結果はこれをほぼ満足するものと言えよう。しかしながらこれはあくまでも実験ベースの結果である。衛星画像の取得には、一般に画像撮影の指定を数日前から行う必要がある。このような手続きは、実験の場合には問題とならなくとも、実航海への適用にあたってはデータ取得の時間的任意性を下げる要因となる。また、この実験航海はカラ海において行われたものであり、衛星画像ファイルはINMARSATを介して問題無く砕氷船へ送信された。しかしながら、前述のようにNSR上のラブテフ海を中心とする海域にはINMARSATによる通信が困難な海域がある。今後この手法の利用が本格化される場合にはこの通信の問題が解決されなければならない。

このように、マイクロ波を用いたリモートセンシングについては、氷況把握技術としてのさらなる高度化に向けての課題があるが、大きな可能性を持った技術であることは明らかである。今後、SAR等のマイクロ波センサーを搭載した極軌道衛星の増加を含め、これらの課題の解決が望まれる。

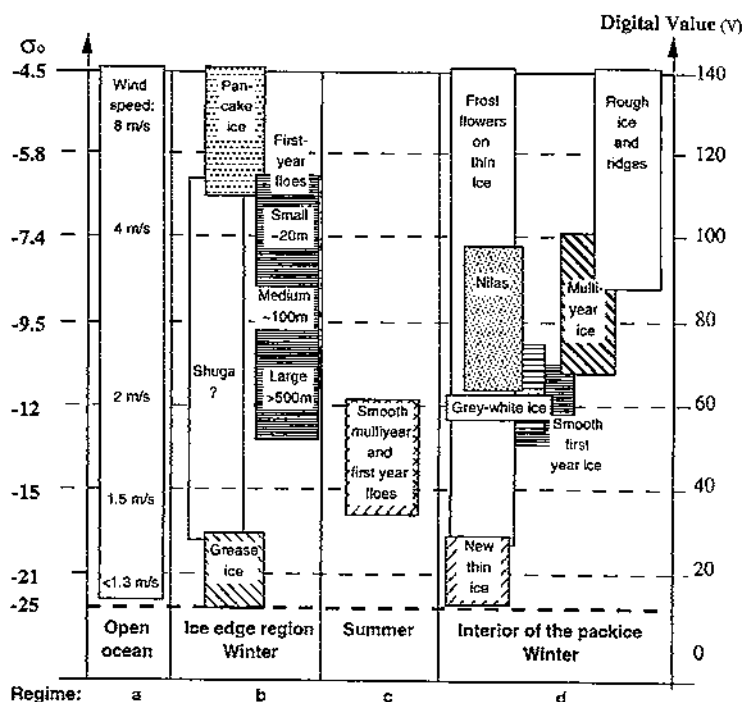


図4.2-12 ERS-1搭載の SAR の後方散乱係数と氷況との関係 (WP-38)

4. 北極海航路の運行技術

4.3 運航手続き

本節では、外国の商船が NSR に入るために必要な手続き、船としての具備すべき要件について述べる。一般に外国船が他国の領海を航行する場合は、無害通航権が適用され事前の申請、船舶検査は必要としない。しかしながら、NSR は苛酷な氷海域であるために、環境保護を目的として、1982年に採択された国連海洋法条約（United Nations Convention on the Law of the Sea: UNCLOS）を法解釈の拠り所とし、ロシア政府は、NSR 通航船の事前の申請手続き、通航船の構造的な技術要求、船員の氷海航行に対する経験、航路管制、砕氷船によるエスコート義務、刑罰などを規定している。1990年にソビエト連邦、商運省により承認された "Regulations for Navigation on the Seaway of the Northern Sea Route"（英文）に、NSR を通航する船舶に適用される基本的な事項を規定している。1996年には約400ページに及ぶ英文の "Guide to Navigating through the Northern Sea Route" を発行し、航路標識、海峡進入時の目標など航路に関する詳細な情報を提供している。また NSR に関する関連規則、氷海域の航行技術なども同書に併載し、利用者の便を図っている。これらのロシア政府が独自に制定した規則は、カナダの北極海諸島の環境保護を目的として制定したカナダ北極域船舶汚染防止規則（Canadian Arctic Shipping Pollution Prevention Regulations: CASPPR）に次ぐものであるが、必ずしも全てが国際法に従っているものではなく、一部には国際法から見た合法性についての批判もある。本節では上記の "Guide to Navigating through the NSR" から抜粋した通航手続きと技術要求などの基本的な知識を纏めた。またロシア政府が制定している諸規則の国際法から見た問題点について触れる。

4.3.1 運用組織

ソ連時代の中央集権的な経済システムと防衛戦略の恩恵を受け NSR は開発されてきたが、1991年、ロシア連邦の時代が始まり市場原理の導入とともに NSR の運用に大きな変革が起きている。現在では、大きくは連邦政府、地方政府、民間会社の三組織が NSR の運用に関与している。但し、その関係はロシア特有の組織だてであることに留意する必要がある。連邦政府レベルでは、運輸省に属する北極海航路局（Administration of the Northern Sea Route）、港湾局（Marine Administration of Ports）、環境省に属する北極南極研究所（Arctic and Antarctic Research Institute: AARI）等が主な機関である。船会社などの民間組織には国家代表（State Representative）が派遣され経営に関与している。政府レベルの責任として、氷況、気象情報を通じての安全性の確保、原子力砕氷船の維持、NSR につながる河川航路の維持に対する財政支援などを行うことになっている。具体的には、NSR の行政を司る局である北極海航路局が、NSR 関連の法制発行、安全政策の立案、民間船社に対する物資の輸送、砕氷船の運航命令、砕氷船の建造、保全、外国船に対する NSR 利用の許可、料料（NSR の通行料）の徴収などを行う。港湾局は政府の所有インフラである棧橋、タグボート、砕氷船、パイロットサービス、無線局などの管理責任を負っている。AARI は NSR の氷況データを収集し氷況マップを発行する役割を担っている。

各地方の基礎的なインフラの整備は各地方が責任を負うことになっており、NSR につながる内陸の河川交通インフラ整備に対する責任は、該当する地方政府が負うことになっている。このた

めに多くの地方政府は、設立された民間船会社や港湾ターミナルの運営会社などに出資する形でインフラ整備を行っている。サハ共和国 (Sakha Republic)、ヤマロ・ネネツ自治管区 (Yamal-Nenets Autonomous Okrug)、クラスノヤルスク地方 (Krasnoyarsk Krai) などの地方政府は、NSR のインフラを維持する代償として NSR の通行料の還元を連邦政府と交渉している。1991年以降の大きな特徴は、このように地方政府が NSR の維持に関して大きな役割を果たすようになったことである。民間船社は独立した事業会社で、NSR の商業輸送を行っている。NSR で運航している民間船会社は5社あり、その中で主要な船社は2社である。その一つは、ムルマンスクを拠点とするムルマンスク海運会社で、他はウラジオストックの極東海運会社である。株の一部は政府により所有されており、前述した国家代表が民間船社に送り込まれ運輸省の政策を反映する仕組みになっている。砕氷船は国家の所有物であるが、民間船社が依託を受け運用することになっている。NSR の殆どの砕氷船を運用しているムルマンスク海運会社は、1993年の政府合意に基づき原子力砕氷船を運用している。政府が砕氷船の維持費を負担することになっているが、支払いが滞っている。1998年の政府支出予定2億ルーブルに対して、実績は0.43億ルーブルであり、ムルマンスク海運会社は、その補填として4千万ドルを負担したと報告されている。NSR を実際に通航する船舶の管制業務は運航管制所 (Marine Operations Headquarters) が行う。航路の指示、先導する砕氷船の配船、氷況地図の電送などは、運航管制所の所掌である。NSR の運航管制所は2カ所あり、東経125度以東の管制はペベクの、東経125度以西はディクソンの各運航管制所が担当している。前者は極東海運会社が、後者はムルマンスク海運会社が北極海航路局の依託を受け代行している。NSR の維持運営に関する1991年以降の大きな特徴は、このように地方政府及び民間会社が、連邦政府の弱体、行政組織の改革、経済混乱に伴い、NSR の維持に関して大きな役割を果たすようになったことである。

4.3.2 通航の申請手続き

通航の申請と受理

NSR を通航する船舶の船主は北極海航路局に対して、事前に通航の申請書を提出し、当局は申請に対して通航の可能性と船主が考慮すべき状況を通知することになっている。従って、独自の判断で NSR を通航することは許されていない。具体的には、4カ月前に北極海航路局に以下の項目を記入し、申請する必要がある。緊急の場合、船主は1カ月前に申請することができるが NSR の通行料が割り増しとなる。

- 船名、船籍、船主名とその住所
- 登録総トン数とネットトン
- 総排水量
- 主要寸法、エンジン出力、喫水深さ、船速、建造年
- 耐氷クラス、船級、最終検査口
- NSR 通航に要求される設計、艀装、補給要求から逸脱する項目
- おおよその航海日時
- NSR で汚染事故を起こした場合に対する保険の証明

4. 北極海航路の運行技術

- 航海の目的（貨物輸送、旅客、科学調査）

船舶検査

北極海航路局は申請を受理して10日以内に、船舶検査の必要性を含めて通航の可能性を回答する。船舶検査が必要な場合、検査は船主の費用によりムルマンスク、ナホトカ、プロビデニヤ、または船主が希望する港で実施される。船舶が NSR の通航に必要な要件を全て満たさない場合は割り増し料金が必要となるが、砕氷船支援を通常よりも強化することを条件として許可される場合がある。船舶以外の浮きドック、海洋掘削リグ、浮き棧橋や他の浮き構造物を通航させる場合は、割り増し料金を支払うことを条件に許可される。

4.3.3 船舶の技術的な要件

前述した"Guide to Navigating through the NSR"に併載されている通航船に対する設計、装備要求の規則（Requirements for the Design, Equipment and Supplies of Vessels Navigating the Northern Sea Route）には、NSR を通航する船舶の技術的な要求が記述してある。主な要求事項は以下の通りである。

一般要求

- NSR を通航する船舶はロシア船級協会の最上位の耐氷クラスである ULA から次の UL、L1 までのクラス、または他船級協会の同等のクラスに適合する必要がある。ロシア船級協会と外国船級協会のクラス間のおおよその対比は表4.1-1を参照されたい。
- L1は氷況が良好であれば夏期、砕氷船の支援下、東経125度以西の NSR または以東の特定区間を航行できる。
- 砕氷船の航行は、当局側が個別に砕氷能力を判断し決定する。
- L2クラスの航行は夏期のみ氷況が良好な場合のみ、当局の判断により例外として許可される。ただし東側 NSR の航行は許可されない。

構造

- 全ての船舶は二重底を有することとし、二重底と二重殻内のタンクに石油類または汚染物質の積み付けを禁止する。
- 5,000重量トン以上のタンカーは、外殻から0.76m 以上の場所にタンクを設ける事、また二重底と二重殻内のタンクはバラストまたは空とする。
- 船体の形状は氷海航行に好適な形状とし、ロシア船級協会の推奨するものと異なる場合は当局の許可が必要である。バルバスバウのような船首形状は許可されない。
- 1981年以前の規則により建造されたロシアの国内船は特別の審査を行う。
- 砕氷船のスターンノッチ（図4.1-10）に、曳航される耐氷船の船首部を嵌め込み、砕氷船の船尾部と耐氷船のボラードを曳索にて固縛し曳航する、クローズトローイング（Close towing）を確実にを行うために、耐氷船の船首部船体は補強のためにフレームを増設し、曳索を取り付けられる構造とする。

機関部

- 主機の反転または CPP 翼の全力前進から後進までの切り替えが45秒以内に可能なこと。

- 後進出力は前進の少なくとも70%は確保できること。
- プロペラは最低4翼以上とし、ステンレスまたは高強度ブロンズとする。翼は取り外し可能であることが好ましい。

艀装

- 汚水は航海中に船外に排出してはならない。汚水収納タンクは30日以上の航海に対して十分な容量であること。
- 水線面から上、または近傍のバラストタンクには、バラスト水の凍結を防止するヒーターを設けること。

航海、通信機器

以下の機器の装備が要求される。

- ジャイロコンパス、水深測定装置
- 1,600トン以上の船舶については波長10cm のレーダーを含む2基のレーダー。それ以下の船舶では波長3cm のレーダーを一基
- 95%の確率で100m 以内の精度で位置を決定できる電波または衛星航行装置
- 音響または電波による船速測定装置
- 通常の無線装置の他、以下の機器を装備する
 - 衛星通信装置の地上局
 - 航行警報装置 (NAVTEX)
 - 遭難救助ブイ (衛星 EPIRB)
 - 気象情報用の録音装置とファクシミリ装置
 - 航空機、ヘリ、コンボイ間連絡用の122.5MHz の VHF 無線装置

準備品および非常装置

- 燃料および潤滑油は出港時には航路に必要な量の2倍を準備する。途中で寄港することなく NSR を横断するトランジットの場合、30日以上とす。清水（造水機からの補給を考慮してよい）とその他の貯蔵品は60日以上とする。
- 予備部品、機器、消火装置の貯蔵量はロシア船級協会または他の船級協会の該当する規則に従う。その他に、固定翼プロペラの場合はプロペラ1基、可変翼プロペラの場合はブレード2枚が予備品として必要である。
- ロシア船級協会または他船級協会の定める予備品の他、プロペラ交換用の滑車、溶接装置、サーチライト、防寒着、インマージョンスーツなどを装備すること。

4.3.4 運航に対する要求条件

船員

- 3交代勤務に十分な数の船員が乗船していること。
- 船長または船長の代わりにブリッジで当直にあたるものは氷海航行の経験を有すること。経験は15日以上である。経験者がいない場合は Ice Pilot(s)を強制的に乗船させる。
- 船長または船長の代わりにブリッジで当直にあたるものは砕氷船から出される合図に熟知し

4. 北極海航路の運行技術

ていること。

- 通信士は北極海の無線通信に熟知していること。
- 船員は汚染物質を排出しない旨、教育されていること。

その他

- ロシア政府発行の海図を具備していること。
- 保証の義務として「海洋と沿岸汚染に対する民事責任に対して十分な財政的な保証ができる証明書がない船舶は通航が許可されない」と規定している。具体的には通航に対し十分な保険が必要であることを規定している。

4.3.5 通航の管制と航路選定

"Regulations for Icebreaker and Pilot Guiding of Vessels through the Northern Sea Route" に通航規則を定めている。主たる規則を以下に要約した。NSR を通航する船舶は、運航管制所の指示に従うことを義務づけられていることが特徴である。

- 通航する船舶は、管制所が指定する航路を通航する義務を負う。
- 東経125度以西の NSR はディクソンの西運航管制所（West Marine Operations Headquarters）が、それより東側はペベクの東運航管制所（East Marine Operations Headquarters）が航行船舶を先導（Guide）する。
- 先導には運航官制所の判断により、氷況に応じて、陸上からの航路の指示、乗船したパイロットによる先導、氷況マップの供給、航空機・ヘリコプターによる先導から砕氷船による先導など、幾つかのレベルに分けられる。従って、常に砕氷船の先導が受けられる訳ではないことに注意する必要がある。ただし、ビルキツキー海峡、ショカルスキー海峡、ドミトリーラプテフ海峡、サニコフ海峡の4つの海峡は、氷況が厳しく航海の難所であることから安全性を確保するために、砕氷船の先導を義務づけられている。
- 東経125度までの西側はムルマンスク海運会社が、その東側は極東海運会社がエスコートする砕氷船を提供する。
- NSR に入る日時を事前通告すること。
- コンボイの選択も運航管制所の判断による。
- コンボイに入る場合は先導する砕氷船の管制下に入る。
- 航行管制所が指示した先導の方法を船長が拒否した場合は"Regulations for Navigation on the Seaway of the Northern Sea"の第7条の指示違反に該当し、同10条に従い NSR からの退去を命令される。退去に伴う費用は該当する船舶が支払う必要がある。
- 砕氷船と出会う場所も運航管制所が指示する。
- 船位置を1日2度、運航管制所に報告する。
- 運航管制所の指示はロシアの海図と海事出版物による。従って航行船舶はロシアの海図とその改定指示書を携行する必要がある。
- NSR の航海情報の変更は航行管制所及びディクソン、アムデルマ、チクシ、ペベク、シュミット岬のラジオ局を通じて通報される。

- 運航官制所を通じて伝達される国防省が発令する沿岸域の警告 (PRIP) の通告を無視した船長は、困難な状況下で予期できない状況であったと申し立てをすることが出来ない。
- 航海の妨げにならない開水中を航行した場合も、船長は指示された航路から大幅に外れてはならない。指示された航路を外れて困難な氷況、浅水域などに入った場合、速やかな支援は期待できない。

4.3.6 国際法から見た評価

ロシア政府が現在定めている NSR の運航規則は法制的に問題がない訳ではない。領海の範囲は1982年に採択された国連海洋法条約により12海里に統一されているが、主たる論争は海峡の通航権に関する法律的な解釈に起因している。本節では、議論されている法制的な問題点を紹介する。

国連海洋法条約 (UNCLOS) 234条

国連海洋法条約234条は「沿岸国は、自国の排他的経済水域の範囲内における氷に覆われた水域であって、特に厳しい気象条件及び年間の大部分の期間当該水域を覆う氷の存在が航行に障害又は特別の危険をもたらし、かつ、海洋環境の汚染が生態学的均衡に著しい害又は回復不可能な障害をもたらすおそれのある水域において、船舶からの海洋汚染の防止、軽減及び規制のための無差別の法令を制定し及び執行する権利を有する。この法令は、航行並びに入手可能な最良の科学的証拠に基づく海洋環境の保護及び保全に妥当な考慮を払ったものとする。」と規定し、氷海域の沿岸国に環境保護を目的に、独自の法令を定めることを認めている。本条項がロシア政府、カナダ政府が独自の氷海航行規則を制定している拠り所である。

NSR の運航規則

国連海洋法条約 234条に基づきロシアは、NSR の航行規則 " Regulation for Navigation on the Seaway of the Northern Sea Route"を1990年に制定し、1991年9月に施行した。本法令は、NSR におけるロシアの基本的な法制の拠り所となっている。排他的経済水域内およびその外側である公海における通航を規定している。4.3.5に NSR 通航規則の一部を既に紹介したが、その特徴は以下に要約できる。

- 1) NSR を航行する場合、船舶は特別に定める技術的な運航上の要件を満足する必要がある。船長またはその任にあたる人は氷海航行の経験が必要である。経験者がいない場合は、先導するために、当局はロシア国家の Ice Pilot(s)を当該船舶に派遣する。
- 2) NSR の通航を認めるための一つの必要条件として当該船舶が引き起こす海洋汚染に対する民事損害に対して十分な支払い能力を有する証明を有することが必要である。
- 3) NSR を通航する船主または船長は、当局に通航の事前通知と要求される書類を提出する必要がある。書類は審査され、諸般の事情を考慮し通航の可能性を提出者に通知する。
- 4) ロシア運航サービス機関である運航管制所により、NSR の航行は管制下に置かれる。運航管制所は北極海航路局の下部組織であり、ムルマンスク海運会社と極東海運会社を母体とする組織である。

ロシアの法制度の主たる問題点

INSROP では NSR の通航規則と国連海洋法条約との整合性について種々議論されている。主たる論点を以下に述べるが、適用海域の範囲と通航料に関して指摘する意見が多い。問題はあ
るが、NSR を通航する外国の船舶は NSR 通航規則に従わざるを得ないのが現実である。

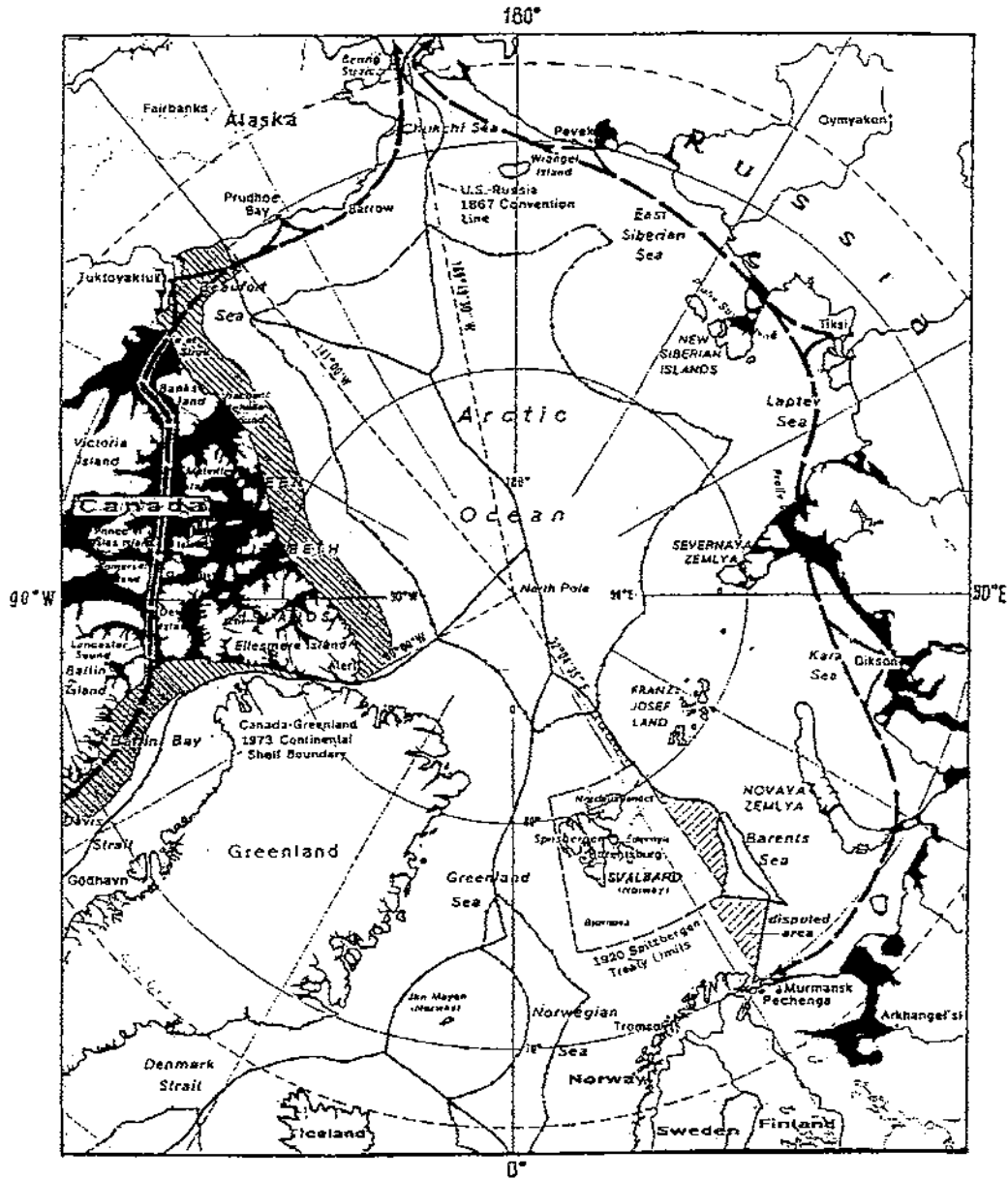
- 1) 環境保護と安全性を理由に通行料を船の種別とトン数に応じて徴収するようになっているが
ロシア船に対して徴収しているか疑問である。これは差別なく規制することを求めている234
条に反している。カナダ、米国のこのような通航料は要求していない。
- 2) 通航料は提供されたサービスに対して個々に支払われるものであり、単に領海を通航しただ
けで強制的に支払いを求める現行法は無害通行権を認める26条に反している。まして排他的経
済水域まで拡張することは出来ない。
- 3) 230条は外国船による損害に対して金銭的な賠償のみを認めている。故意による重大な汚染
を除き、領海内における相当の限度を設けている。しかしながら現行のロシアの法律では排他
的経済水域における環境法違反は刑事罰の対象となる。また必要な場合は停船、逮捕、違反者
の排除を認めている。
- 4) 234条は排他的経済水域の範囲での権利を認めている。現行のロシア法律は200海里にその範
囲を限定しているか曖昧である。"marine area adjacent to the northern coast" とだけ表現
している。排他的経済水域の外側である公海 (High Sea) を恐らく含むものと思われる。米国
は明らかに排他的経済水域の範囲で規定し、カナダは基線から100海里の範囲で規定している。
ロシアの公海を含むと思われる表現は国際的に受け入れられないと考えられる。

排他的経済水域

EEZ(Exclusive Economic Zone)とは、海洋法条約55、57条により、領海の外に接続して基線から200海里以内
で設定される。沿岸国は、上部水域、海底及びその下部の天然資源の探査・開発・保存・管理のための主権的
権利を有する。他国は、航行、上空飛行の自由、海底電線やパイプライン敷設の自由を享有する。EEZ は、大
陸棚制度と異なり、沿岸国が立法措置等により設定して初めて存在するもの。

カナダ北極域船舶汚染防止規則 (CASPPR)

Baffin 湾と Beaufort 海を結ぶ北西航路 (North West Passage) についても、北極海の島々の
海峡では、海峡の両側の基線から測った幅12海里の領海が重なることから独自の法律に基づき、
北極海の諸島間の海峡を全て内水 (Internal Water) であることを、カナダ政府は宣言している。
また領海、排他的経済水域についても規定しており、外国船はカナダの環境保護に対する法律に
従うことを条件にして通航が許可される。カナダは排他的経済水域の範囲である200海里ではな
く、規制の範囲は基線から100海里の範囲としている。これに対して米国などは反対しているが、
米国商船はカナダの法令に従い運航されている。参考として、NSR を含む北極海全体の法制的な
区分を概観した地図を示す (図4.3-1、WP-75)。



- — — — — Exclusive economic zones (200 mile limit).
- - - - - Treaty limits (Svalbard zone).
- - - - - Sector lines.
- — — — — Equidistant lines.
- — — — — Seaways of the NSR and the NWP.
- ▨ — Canadian pollution control zone (100 mile limit).
- — Internal waters of Russia and Canada.

Source: A. Yakovlev, A. Arikainen, O. Kossov and A. Ushakov: 'Political Aspects of International shipping along the Northern Sea Route', INSRP Working Paper No. 75-1997 IV.2.2. p.36.

図4.3-1 NSR 及び北西航路 (North West Passage) の法制的区分

米国とソビエト連邦の歴史的な論争

米国は NSR の法制問題に対して一貫して反対の立場を取っている。また国連海洋法条約も批准していない。両国の北極海に関する関係の中で、NSR は最も議論を呼んでいる問題の一つである。海峡の通航権に関して両国は両極端な立場を主張している。即ち、ロシアは基線に囲まれた海峡は内水（Internal Water）と宣言しているが、米国は氷結している国際海峡は通過通航権を有すると主張している。両国は安全保障を確保するために各々の立場を正当化していると言える。Vilkitskiy、Shokalskiy、Dmitriy Laptev、Sannikov、Eteriken、Yugorskiy Shar、Kara Gate、Red Army Straits などの主要海峡は基線から12海里以内の幅に包含されている。また、歴史的にもロシア以外の船が通行した例は希にしかない。海峡が他国の領海に接続し、海峡の通行が他国の領海に行くために必要な場合には国際海峡とみなされる場合があるが、これらの海峡は該当しない。これらの海峡を国際海峡とし通過通行権を主張する米国の立場を支持する根拠は弱く、ロシア側の解釈を支持する意見が多い。また米国は、内水を主張するカナダ北極海の通航規則である CASPPR にも一貫して反対の立場を取っている。これは海洋法条約を批准していない米国の政策と合致するところである。

4.3.7 まとめ

NSR を利用する船舶が必要とする運航手続きと、その背景にある法令規則を紹介してきたが、利用する船社の利便性を必ず満足するものとは言えない。NSR の利用を4カ月前に申請するのも、不定期船の契約がそれよりも短時間で決まる現状に合致していない。NSR の所要航行時間を知る唯一の手段である氷況データも無償で公開されていない。どうしても氷況の事前データあるいは予報を知りたいユーザーは、有償で AARI などから入手する必要がある。契約などの面倒な手続きを考えると即時の決断が必要とされる海運マーケットの現状からは、NSR の実用的な利用はまだやや遠い絵と言わざるを得ない。NSR の通行料も4.4節で解説しているようにスエズ航路と比較して格安と言う訳でもなく、高価な通行料を支払っても、NSR の通過時間が保証されている訳でもない。NSR の利用によりロシア側がユーザーに保証できるサービスを明確にして行く対応がロシア側に望まれる。現状は、NSR を開放するに当たり、取り敢えず必要な法整備を図った段階であろう。長年掛けて構築してきた NSR のインフラの老朽化が顕在化しつつある。完全にインフラが消滅すれば再建に、今以上の多大な投資が必要であるとの見方もある。外国船の試験的な利用を通じて、船社の利便性に応える NSR の運航システムおよび法制を改善することが急務である。

4.4 経済性評価

本節では NSR の経済的側面について述べる。過去から現在にいたるまでの輸送量の推移、貨物の輸送時期、貨物の種類、混乱するロシア経済下における NSR の経済的問題点などに触れる。また今後、NSR を活性化する一つのシナリオとして直接、極東とヨーロッパを結ぶトランジット貨物の増大が考えられる。NSR のトランジット輸送にシフト可能な貨物の種類を考察する。INSROP の Phase II では、将来の輸送形態と改善点を提言するために、SA-15より大型の砕氷商船の試設計を行い、コストシミュレーションを行った。その結果を紹介し、NSR の商業航路としての可能性を考察する。

4.4.1 輸送量の変遷

NSR の輸送量は1987年に最大の658万トンに達するが、それ以後減少し続けている(表4.4-1)。1995年は前年度と比べて若干増加しているがこれは例外であり、傾向として年々減少している。1995年は236万トンである。1996年は更に164万トンに下落した。これは、ピーク時の4分の1の量である。NSR の輸送量が過去増加してきたのは、主として地下資源の開発による。国内の輸送量の増加には、西側では油ガスの採掘、ノリリスクの銅、ニッケル、希少金属などの鉱物資源などが寄与し、東側では Chukotka、Yakutia からの非鉄金属、希少金属、金などであるが、輸送量は西側と比べると少ない。表4.4-1の内、輸出入の品目内訳を表 4.4-2に示す。ノリリスクからのニッケル等の輸出は1968年から始まり、年間250万トンを超え、輸送量の40%を超える。1976年からはヤマール半島のガス田開発が始まり、1988年までの累計は10.2万トンになる。本プロジェクト向けに日本からもパイプライン用建設機材が輸出されている。シベリアからの木材は主として Igarka から輸出されている。1980年代は70~75万トンの範囲で推移してきた。輸出量は1990年の120万トンが最大で1991、1992年は落ち込み、1993年から再び上昇している。表には記載していないが1996年には大きく減少している。これは主として Igarka と Tiksi からの木材の輸出が税制度の改定により赤字に転落し、停止したためである。輸入量は微々たるものであるがヤマール半島のガス田開発によりやや増加し、1994年には機材と食料などの輸入により5.7万トンに達している。表4.4-1、4.4-2はロシア側の統計値であるが、表中の合計値と各項目の間にはやや不整合があることを注記しておく。

表4.4-1 1945~1995年までの NSR の荷動き (単位:1000 t)

	1945	1960	1970	1980	1987	1990	1991	1992	1993	1994	1995
ソ連国内から 北極海地域への移送量	71.4	349.1	1563.0	2279.9	2943.6	2490.4	2261.6	1806.9	1413.6	795.3	829.3
内 西から	63.9	188.1	932.0	1418.9	1808.1	1355.1	1193.8	974.4	768.9	573.5	576.8
内 東から	7.5	161.0	631.0	861.0	1135.5	1135.3	1067.8	834.5	644.7	221.8	252.5
北極海から ソ連地域への移送量	116.2	113.4	392.7	1292.3	1684.7	1556.0	1450.7	1272.2	728.5	710.3	766.0
北極海沿岸間の移送量	85.4	88.0	340.7	398.6	358.6	136.2	170.0	169.7	95.3	18.3	10.8
北極海からの輸出入量	171.1	412.0	683.6	980.6	1590.7	1212.8	745.5	456.1	520.3	636.0	655.5
内 輸出品	51.3	412.0	616.9	888.1	1080.9	1201.0	743.6	450.8	517.3	578.9	606.0
内 輸入量	119.8	0	66.7	92.5	509.8	11.8	1.9	5.3	3.0	57.1	49.5
トランジット	0	0	0.1	0	1.0	115.1	176.2	202.3	208.6	140.2	100.2
合計	441.1	962.5	2980.1	4951.4	6578.6	5510.5	4804.0	3909.2	2966.3	2300.1	2361.8

4. 北極海航路の運行技術

表 4.4-2 NSR 地域の輸出入荷動き (単位:1000 t)

	1990	1991	1992	1993	1994	1995
全輸出品	1201.8	743.6	450.8	517.3	578.9	606.0
内訳						
Igarka からの木材	711.3	448.2	247.2	296.5	297.6	272.7
Tiksi からの木材	147.6	47.6	67.2	95.9	42.4	19.6
Dudinka からの非鉄金属	164.1	90.7	80.3	116.7	222.8	302.4
Dudinka からのニッケル	29.3	17.1	13.7	6.0	2.6	—
Dudinka からの硫黄	106.6	15.1	—	—	—	—
Yakutia からの石炭	25.9	108.7	39.0	—	—	—
Yenisey, Yamal からのコンテナ	—	—	—	—	13.5	11.3
全輸入品	11.8	1.9	5.3	3.0	57.1	49.5
内訳						
ポーランドから ノバヤゼムリヤ島への石炭	8.9	—	—	—	—	—
オビ湾への鋼管	—	—	—	3.0	1.3	—
Dudinka への鋼管	2.9	—	0.1	—	9.1	3.7
Pevek への鋼管	—	—	—	—	30.5	20.4
Mys Shmidta への鋼管	—	—	—	—	14.4	19.5

4.4.2 運航状況

輸送量と季節の関係

NSR の利用時期は、夏期の通常期間とそれ以外の延長期間に区分される。1995年で見ると、通常期間の輸送量は全体の60.1%で、延長期間は39.4% (秋期13.6%、冬期12.6%、春期13.2%) である。このような区分には、カラ海の氷況が大きく影響している。ビルキツキー海峡から東側の運航は通常5月に始まり11月に終わる。ムルマンスクからエニセイ川を溯るディクソン間の通年航行は ULA、UL クラスの耐氷船と砕氷船の組み合わせにより長年実現している。

経済危機下の運航状況

1990年からロシアの経済危機は始まったが、港湾設備等への公共投資の削減と石油、鉱物資源の枯渇により、ロシア北部の危機はこれよりも早く表面化している。自由経済への移行に伴う混乱により、物資の輸送が停滞し、多くの産業と同様に、NSR の砕氷船および港湾の運営も困難に直面している。1992年のインフレは、更に比較的高い給与水準を得ていた北極海地域の人々に壊滅的な打撃を与えた。ガス、石油、非鉱物資源、化学原料、木材など全ての産業の生産量は激減している。地下資源の試掘は全盛期の1/3まで低下している。政府による投資も殆どが停止している。この困難な状況からロシア系住民の人口流出が相次ぎ、1991～1993年には、ムルマンスクで1,000人につき21人が、チュクチでは107人が去っている。NSR の輸送量減少の原因は、北方地域の生産投資の減少とそれともなう人口減少による。NSR の輸送能力の低下が極域の経済危機を引き起こしたのではなく、このような極域経済の混乱の帰結として輸送量の減少が起きている。NSR の船はチャーター貨物を決められた場所に輸送できる能力とその信頼性は維持しているのである。これは鉄道貨物が宛先に届かない場合があるのと際立った違いである。

NSR の民間船社と収益構造

NSR の運航は、ロシア運輸省の海運局 (The Service of Marine Transport: SMT) との共同出資会社である次の5つの民間船会社により運営されている。

- ムルマンスク海運会社 (Murmansk Shipping Company) (本社、ムルマンスク)
- 北方海運会社 (Northern Shipping Company) (本社、アルハンゲリスク)
- 北極海海運会社 (Arctic Shipping Company) (本社、チクシ)
- 極東海運会社 (Far Eastern Shipping Company) (本社、ウラジオストック)
- プリモルスク海運会社 (Primorsk Shipping Company) (本社、ナホトカ)

砕氷船は国家が所有し、民間の船会社または港湾管理者に運航を依託している。従って、ムルマンスク海運会社が運航依託を受けている原子力砕氷船の維持費は、国家から支給されるはずであるが、滞っているのが現状である。また、これらの船会社は、連邦政府が規定した NSR の運航料金と必要経費との較差、ルーブルの下落による海外運航益と NSR 運航益の較差、減少する輸送量に対する砕氷船維持費などの固定費増などの問題に直面している。やや古い1993年の実績では、NSR 収入の経費に対する割合は67%であり、一方、海外航路の場合は240%であった。即ち、NSR は運航すればするほど赤字が膨らみ、海外航路は大幅な利益をもたらす構造となっている。上記 SMT フリート5社の海外航路の貨物取扱い高は、全体の26%に過ぎないが、売上では63%に達し、利益の75%を占めている。これらの海外航路の収益から砕氷船、国内輸送、船員費、船団の保守費などを補填している。また砕氷船を北極海ツアーの観光船として海外の旅行社とチャーター契約し、経費の補填に努めている。

4.4.3 北極海航路へシフト可能なトランジット貨物

NSR に期待される輸送の性格

輸送の信頼性はコストにまして重要である。近い安いだけでは NSR を選定する判断とはならない。定時性が要求されるコンテナは不向きである。また、温度差による荷物の劣化が懸念されるような高級な貨物も不向きである。運ぶとすればバルク貨物などの低級な貨物に対応するのが、最初の現実的な NSR 利用シナリオと分析する海運会社が多い。

NSR へシフト可能なトランジット貨物

NSR の沿岸の港に寄ることなくヨーロッパとアジア/北米西海岸を直接結ぶトランジット貨物は1995年には10万トンに過ぎない。NSR が信頼性のある安価な輸送手段となれば、潜在的にスエズ経山の航路に代わる貨物の輸送ルートになる可能性を秘めている。トランジット貨物の傾向を分析するためには、NSR の輸送システムとしての特性と潜在的な貨物の量と質について考えることが必要である。輸送方法の選択を考える際にはコスト競争力が重要であるが、同時に輸送の信頼性、確実性も大きな荷主の判断基準である。NSR は単純に近くて安い輸送ルートであると言うだけでは十分ではなく、NSR が荷主の要求にかなう十分な信頼性を提供することが前提条件となる。

現在の潜在的な荷動きから、NSR のトランジット輸送に適する輸送形態を考えることにする。NSR のトランジット貨物を増加させるためには、現在スエズまたはパナマ運河経由で輸送されている EU、極東、北米西岸間の貨物を NSR へシフトすることが必要である。EU から日本、韓国、中国、香港、台湾の5カ国に輸出されている石油製品、鉱石、肥料、穀物、金属製品、化学品、セメントの輸出量は1,600万トンに達する。また潜在的には自動車、電化製品、コピー機、電子

4. 北極海航路の運行技術

部品などの貿易もある。これらは高価な製品であり、専用船、コンテナ船などが必要であり定期性と定時性が求められるものである。また、これらの製品群は NSR 通過時の温度差による被害を受けやすく、NSR には不向きであると判断される。

ロシアおよびバルト海3国からアジア向けの輸送は1996年、約500万トンに達する。その大半は中国向けである。製品別の分布を見ると、鉄製品、肥料がその主たる品目である (図4.4-1)。これらの品目は定時性に対する要求が比較的 low、温度に対する耐性もあり、NSR に適した品目である。Isakov らは NSR の料率、NSR の入港税などの改善が図られ、荷主に対して十分な保護が与えられれば、この内、170~190万トンが NSR にシフトされる可能性があると報告している (WP-139)。NSR トランジット貨物の活性化のシナリオとしては、比較的、定期性、定時性を必要としない、温度差に強い、バルク貨物の増大から始まると予測するのが現行貨物の傾向からすると妥当であろう。特殊な用途として、夏期のヨーロッパから日本への鮮魚輸出などが検討された経緯がある。

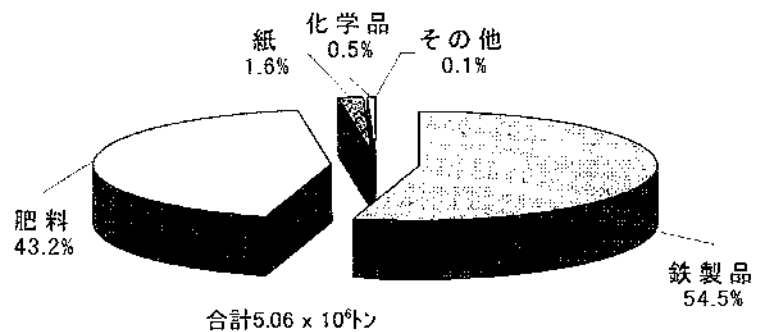


図4.4-1 ロシアおよびバルト海3国からのアジア向け輸出品の構成

4.4.4 コストシミュレーション

NSR の輸送量の変遷で触れたように、現在はロシアの貨物船により中国向けなどに細々とトランジット輸送が行われているに過ぎない。しかしながら NSR を将来、商業航路として利用した場合にどの船種を投入したら、どの程度の利益が期待できるのか知りたいのが海運関係者の率直な疑問であろう。「NSR はコスト競争力がありますか？」との問いに答える必要がある。INSROP の Phase II プロジェクトではこのようなユーザーの立場から、シミュレーションプロジェクトとして、SA-15タイプよりも大型の新船型3種類を NSR に投入した場合の運航コストを代表的な4つの航路について積算し、NSR の経済評価を行った (WP-164)。シミュレーションで重要な事項は、船速とそれを低下させる主な因子である氷厚、密集度、リッジなどの氷況データの関係を求めるアルゴリズムと、氷況データの正確な記述である。今までにも NSR の運航コストの試算例は幾つかあるが、いずれも船速と氷況の関係を表形式で表現したり、月別の船速を仮定したりしたもので、その信頼性は乏しいものであった (Wergeland, 1992, Schwarz, 1995, Mulherin, 1996)。本シミュレーションでは、ある氷況下における船速を予測する数学モデルを新たに開発し、氷況データについては AARI が過去約40年間の歴史的データを航路に沿って整理したものを用い、船速と氷況の関係を正確に評価した。氷況データの表記方法としては、過去の歴史的なデータから海域別に氷厚、密接度などの確率分布を求め、モンテカルロ法などにより航路の氷況を割り付ける方法と、ある長い期間の歴史的な氷況データをそのまま使い、忠実にある年月からある年月までの間、船を仮想的に運航し、その解析結果から評価する方法が考えられる。ここでは

後者の方法を選んだ。NSRの氷況の特徴として、東NSRで氷況が厳しい場合、西NSRでは氷況が穏やかな、またはこの逆になるような場合もある(3.3.3節参照)。モンテカルロ法により、このような現象を表現することは、容易ではない。また、船型開発には氷海水槽試験を用い、試験結果から船型と馬力の関係を求め、曖昧な仮定を極力排除し、精度向上に努めた。本シミュレーションは、現在までに行われた最も精緻なシミュレーションであると言える。シミュレーションにはロシア、フィンランド、日本の研究機関が参加した。ロシアが航路、過去の歴史的な氷況分布などを提供し、フィンランドが船の試設計、船速予測理論を担当し、日本側が各国から提供された研究を統合し、コストシミュレーションプログラムを作成し最終的なコストを積算した。また本シミュレーションにはJANSROPで開発した50,000重量トン型の砕氷バルクキャリアーも対象とした。

航路の選定

4.1節で紹介したように、4つの航路を選定した(表4.4-3、図4.2-8)。横浜～ハンブルク間を直接結ぶトランジット航路として比較的、水深の深い北航路と水深の浅い沿岸部の南航路の2航路を選定した。沿岸部とヨーロッパ/横浜を結ぶ地域航路として、西側のDiksonとハンブルクを結ぶ西地域航路、Tiksiと横浜を結ぶ東地域航路の2航路を選定した。北航路は喫水12.5m、南、東、西航路は喫水9mの船が航行できるように選定した。実際の航路は厳しい氷況をさけるように選定され、4.3節で解説したように航路管制所の指示した航路を走ることになるが、シミュレーションではこの決められた航路を走るものと仮定している。20海里ごとにポイントを決め、ロシア政府発行の海図上で水深、近傍の障害物などチェックした。西、東地域航路は各々ディクソン、チクシを出ると直ぐに南航路に出会い同じ航路を走ることになる。

表4.4-3 シミュレーションに用いた4航路 (海里)

航路名称	区 間	NSR内の距離 (%)	NSR外の距離 (%)	総距離(%)
北 航 路	ハンブルク～横浜	2,446 (34)	4,750 (66)	7,196 (100)
南 航 路	ハンブルク～横浜	2,680 (37)	4,650 (63)	7,330 (100)
東地域航路	Tiksi～横浜	1,326 (33)	2,694 (67)	4,020 (100)
西地域航路	Dikson～ハンブルク	468 (20)	1,929 (80)	2,397 (100)

船の選定

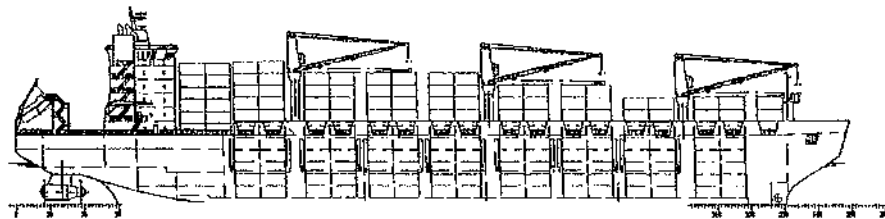
4.2節でNSRの商船について解説したように、現在運航されている最も近代的な砕氷商船はSA-15クラスであるが、その積載量は約15,000重量トンに過ぎない。運賃を下げるには可能な限り大型の船型を投入した方が、採算が向上する。従って、本シミュレーションでは、各9m、12.5mの喫水に対して試設計を行い、新しい船型を提案した(表4.4-4、図4.4-2)。これらの船は、氷況が厳しくなると砕氷船の後を走り、所謂、エスコートを受けることになる。エスコートされる船の幅が砕氷船より大きくなると、砕氷船が啓開した開水路を後続する船が進むことは困難になる。現在、NSRで最大の砕氷船はArktikaクラスで、その幅は28mである。砕氷船が造る開水路は周辺の氷も割れるので、船幅より若干広くなる。従って、後続の船の幅は30m以内とすることにした。喫水と幅が制限された上で排水量を確保しようとする、長さ/幅の比が大きな船となる

4. 北極海航路の逆行技術

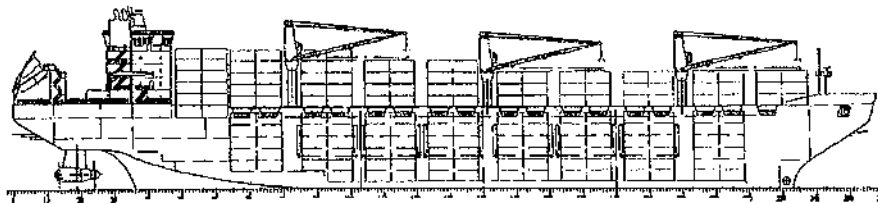
特徴がある。シミュレーションに用いた3船型の特徴を簡単に述べる。詳細は資料5-2を参照されたい。

表4.4-4 シミュレーションに用いた3船種の要目

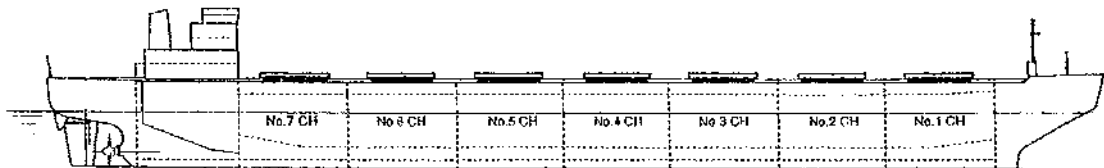
船種	項目	Lpp (長さ) x B (幅) x d (喫水) (m)	貨物積載トン数 (Ton)	常用軸馬力 (MW)	開水中速度 (knots)	砕氷能力 (m)	航路
25,000DWT 砕氷型バルク・コンテナ		184.1 x 25.1 x 9.0	21,500	24	14.5	1.85m at 1.0 m/sec	南航路 地域航路
40,000DWT 砕氷型バルク・コンテナ		186.1 x 27.5 x 12.5	36,000	28	14.5	1.85m at 1.0 m/sec	北航路
50,000DWT 砕氷型バルクキャリア		240.0 x 30.0 x 12.5	47,000	18	17.0	1.2m at 1.5 m/sec	北航路



25,000 DWT 砕氷型バルク・コンテナ船



40,000 DWT 砕氷型バルク・コンテナ船



50,000 DWT 砕氷型バルク・コンテナ船

図4.4-2 シミュレーションに用いた3船種

25,000 DWT 型 砕氷型バルク・コンテナ (25BC と以下略す)

本船は喫水9mで、南航路、及び西、東地域航路向けである。8カ月間単独航行できる砕氷能力を有することを条件に計画した。バルクまたはコンテナを積載できる所謂、オープンバルカータイプである。電気推進式でポッド型推進機を装備している。積載能力を達成するために40,000 DWT BC と比べると Lpp で約2m だけ短く、幅で約2m だけ狭い船型となった。これは浅喫水船では縦強度を満足する断面係数を得るために、船殻重量が増大するためである。

40,000 DWT 型 砕氷型バルク・コンテナ（40BC と以下略す）

25BC の喫水と幅を大きくし、北航路を対象に喫水12.5m で40,000 DWT(重量トン)を確保した。砕氷能力は25BC と同等である。

50,000 DWT 型 砕氷型バルク（50BC と以下略す）

本船はシップ・アンド・オーシャン財団の北極海航路開発調査研究委員会で試設計した船型である。砕氷能力は3ノットで平坦氷1.2m、平水中の速度は15%シーマージンを含み17ノットである。前記の40BC、25BC が砕氷能力を重視したのに対して、本船は平水中の性能を重視しており、主機出力は平水中の性能により決まっている。推進器はエンジン直結の固定翼プロペラである。

氷況データ

氷況データは、AARI が提供した航路に沿った歴史的データを使用した。氷厚、氷の密接度など18項目のデータを20海里の航路セグメント毎に1953～1990年間の38年間に亘って、各年の月別平均値を整理したものである。データの構成などの詳細は巻末資料5-2に記載した。

コストパラメーター

運航コストを積算するためには船の建造費、船員費、燃費、通行料など運航に要する種々のコストデータが必要である。以下の費目に区分し調査した。日本郵船株式会社の協力を得て、現行の運航費の調査を行い、平均的なコストを設定した（表4.4-5）。

資本費：新造船の建造費と乗り出し費用の合計である。資本費の借入金の金利を7%とし、15年間の元利均等払いで償却するものとし、年間の資本費を算定した。乗り出し費用は建造時の金利、新船用の諸備品等の諸経費で建造費の3%を算定した。

船員費：25BC、40BC で24人、50BC で25人を想定した。

保全費：建造後5年目の平均値を年間の保全費とした。使用した値は過去数年間の同等クラスの保全費平均で、修繕費、部品、予備品、潤滑油、その他の保全に関する費用を含む。

保険費：INSROP では保険に関する調査研究を行ったが、明確な結論には至っていない。保険業界では仮想的な問題に対しては、保険のマーケットが反応しないことから、INSROP の保険費用の算定は不可能であると結論している。しかしながら、保険業界は新規案件開拓に対しては積極的であり、NSR が保険の対象となることは確実である。また、保険会社はリスクを判断する信頼性のあるデータベースが存在することが必須であるうえに、事故時のサルベージなどの調査資料も必要とする。また種々のアンダーライターに対する要求、疑問に答える必要がある。INSROP のデータは、これらに答えるものであり、一步保険業界の要求に近づいたと言えるが、より実験的な航海により実績を積む必要があると INSROP の報告書は結んでいる（Ostreng et al., 1999）。このような背景から、実績値による算定は困難である。ここでは、氷海中はスエズ運河を通行するルートより危険率は高いと考えて算定することにした。保険は、P&I（Protection and Indemnity）と呼ばれる事故による環境汚染に対する賠償と、H&M（Hull and Machinery）と呼ばれる船体・機関の損失に対する保険に区分される。前者は主として船の大きさと積み荷の種類により決まり、後者は船価と事故率から決まる。NSR の事故率に関するロシア側のデータは公表されていない。ここでは NSR の事故率が0.1%と仮定し、H&M 保険を

4. 北極海航路の運行技術

1.0～2.9\$/GT（総トン）とした。また P&I 保険を8\$/GT と仮定し、それらの和として全体の保険を10\$/GT と本シミュレーションでは仮定することにした。一方、スエズルートについては今までの実績値から算定することができる。結果的には、NSR の保険料はスエズルートの約2倍の金額を設定したことになる。

燃 費：ここ数年、燃費は変動している。燃料の粘度を380cSt とし、過去5年間の平均値である91\$/ton を採用した。

港 費：トン税として課せられる港の使用料の他、タグボート、荷役装置の使用料から成る。港と荷物の種類により大きく異なる。ここでは、荷物は穀物、プラスチックなどのバルクと想定した。横浜、ハンブルクについては実績値を、Dikson、Tiksi については INSROP の報告書に記載されている調査値を採用した（WP-128）。

スエズ運河の通行料：通行料はスエズトンと呼ばれる容積トン的一种と船種によって決まる。ここではバルカーの総トン（GT）とスエズトンの相関を求め、GT 当たりの通行料を推定し、各船の総トン数から積算した。

表4.4-5 シミュレーションに用いた運航コスト一覧

項目	単位	25BC	40BC	50BC
建造費	百万 円	57	66	30
資本費	百万 $\text{円}/\text{年}$	6.45	7.46	3.39
NSR 通行料				
夏期北航路	$\text{円}/\text{GT}$		7.11	6.83
夏期南航路	$\text{円}/\text{GT}$	7.36		
夏期東地域航路	$\text{円}/\text{GT}$	4.78		
夏期西地域航路	$\text{円}/\text{GT}$	4.78		
冬期北航路	$\text{円}/\text{GT}$		6.89	6.56
冬期南航路	$\text{円}/\text{GT}$	7.14		
冬期東、西地域航路	$\text{円}/\text{GT}$	7.14		
アイスパイロット費				
北航路	$\text{円}/\text{日}$		672	672
南航路	$\text{円}/\text{日}$	672		
東航路	$\text{円}/\text{日}$	672		
西航路	$\text{円}/\text{日}$	336		
船員費	千 $\text{円}/\text{日}$	4.21	4.21	4.38
保全費	千 $\text{円}/\text{年}$	473	493	560
保険費				
NSR	$\text{円}/\text{GT}/\text{年}$	10.0	10.0	10.0
	千 $\text{円}/\text{年}$	210	226	310
スエズ航路	$\text{円}/\text{GT}/\text{年}$	5.7	5.5	4.8
	千 $\text{円}/\text{年}$	119.7	124.3	148.8
燃費	$\text{円}/\text{トン}$	91	91	91
港費				
Hamburg (6日)	千 $\text{円}/\text{回}$	78.2	84.2	113.1
Dikson (4日)	千 $\text{円}/\text{回}$	19.2		
Tiksi (4日)	千 $\text{円}/\text{回}$	19.2		
横浜 (6日)	千 $\text{円}/\text{回}$	44.5	47.4	59.7
スエズ通行料	千 $\text{円}/\text{回}$	122	127	139
船員数	人	24	24	25
総トン数	GT	21,000	22,600	31,000

NSRの料料(通行料): NSRを通行するためには通行税を支払う。これには砕氷船のエスコート費用を含んでおり、砕氷船のエスコート時間の長短に関係なく定額である。全く氷がなく、砕氷船の支援を受けることがなくても支払わなければならない料金である。ここでは北極海航路局が提示している最新の値を使った(表4.4-6、WP-128)。通行料は、砕氷能力、季節、NSRの地域により異なりGT当たりの料金として20,000GTまで設定されている。GTが増える程、GT当たりの料金は減じてある。砕氷船の支援頻度が高い冬が夏より安いのも合理性を欠いているように見える。最終的な通行料は、砕氷船を運航しているムルマンスク海運会社との交渉により決定するとの注記があり、この料金表は暫定的なものと考えらるべきである。ULAクラスと見做し、外挿しGT当たりの通行料を設定したのが表4.4-5の値である。50BCは砕氷能力が劣るので外挿値の10%増とした。

表4.4-6 NSR料料(通行料)一覽

アイスクラス	登録トン数 (GT)		通行料 米\$/GT		
			夏期		冬期
	以上	未満	全 NSR	部分 NSR	
Icebreaker	5,001	6,000	7.26	4.36	6.53
	10,001	11,000	6.58	3.95	5.92
	19,001	20,001	5.49	3.29	4.94
ULA	5,001	6,000	9.98	6.49	9.73
	10,001	11,000	9.04	5.88	8.82
	19,001	20,000	7.54	4.90	7.36
UL	5,001	6,000	18.15	11.80	17.70
	10,001	11,000	16.44	10.68	16.03
	19,001	20,000	13.72	8.92	13.37
L1	5,001	6,000	22.69	15.88	23.82
	10,001	11,000	20.55	14.38	21.58
	19,001	20,000	17.15	12.00	18.00

船速計算のアルゴリズム

コストシミュレーションで、最も重要なことは、さまざまな氷に対する船の航海速度を決定することにある。航海速度が決まれば、それに応じて出港から入港までの航海日数が決まり、必要な運航経費が計算できることになる。氷の種類とその密接度を勘案して、航海の難易度から見た氷の状態を、数値指標として表すことを考える。その数値指標と航海速度との間にある関係があれば、氷の状態を表す数値指標から航海速度を推定することが可能になる。これがIce Numeralと呼ばれる考え方で、CASPPRの一つである"Arctic Ice Regime Shipping System Standards"のなかで使われている。Ice Numeralが小さくなるほど、航海の難易度が高い氷況を表し、また同じ氷況でも、砕氷能力の低い船ほどIce Numeralが大きくなる仕組みとなっている。CASPPRでは、Ice Numeralが零の時、おおよそ船速が3ノットになるように較正されている。Ice Numeralが負になると航行が危険な海域と判断される。Kandalakshaの実船試験で得られたIce Numeralと船速の関係を見ると、バラツキはあるもののおおよその速度範囲をIce Numeralから予測でき

ることが解る (図4.4-3、Yamaguchi H.,1995)。本解析ではリッジの密度、氷の強度影響を考慮するためにカナダ氷海航行規則の方法を改良することにした。本書では、航海の難易度を表す数値を、Ice Numeral と区別するために Ice Index (I)と呼ぶことにする。次に示す3つの要素の和として I を定義する。

$$I = I_A + I_B + I_C$$

ここで

I_A : 氷厚、氷の年数、密接度の影響を表す指標

I_B : リッジの影響を表す指標

I_C : 氷の強度影響を表す指標

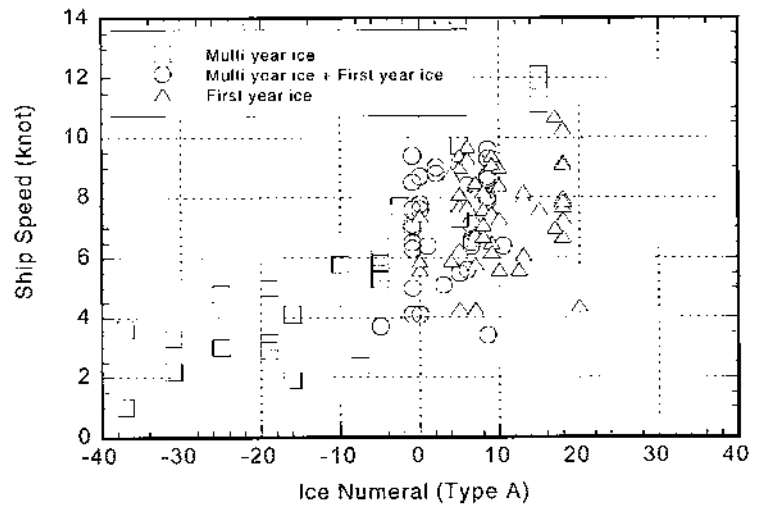


図4.4-3 Kandalaksha の実船試験から得られた Ice Numeral と船速の関係

一般には、Ice Numeral と船速の関係は、航海実績から求められるが、シミュレーションに用いる3船型の I と船速の関係を本シミュレーションでは理論的に求めた。計算には INSROP プロジェクトで開発した NEWSIM2 (WP-155) と呼ばれるコードを用い、種々の氷況下における船速を計算した。NSR 以外のバレンツ海、ベーリング海の一部にも海氷が存在し航海速度が低下することを考慮する必要がある。AARI が提供したデータセットにはこれらの海域の氷況データは含まれていないので、近接する NSR のデータから外挿し氷況データを推定し、船速を求めた。開水中は、表4.4-4に示した一定の速度で航行できると仮定した。

図4.4-4に50BC の計算例を示す。ある Ice Index に対する氷況の組み合わせは多数あるので、Ice Index のある値に対する船速は、ばらつきを示すことになる。ここでは、ある Ice Index に対する船速の頻度分布を5段階の確率で示した。Ice Index と船速の関係が求めれば、20海里ごとに定義した、ある航路の YY年 MM月のデータを読み込めば、図4.4-5に示すようなフローに従い、簡便に船速分布が決定され、あるセグメントの航海時間を計算することができ、これをセグメント毎に繰り返せば、航路全区間の航海日数の分布が計算できることになる。砕氷船のエスコートを受ける時の船速は、砕氷船の船速に等しい

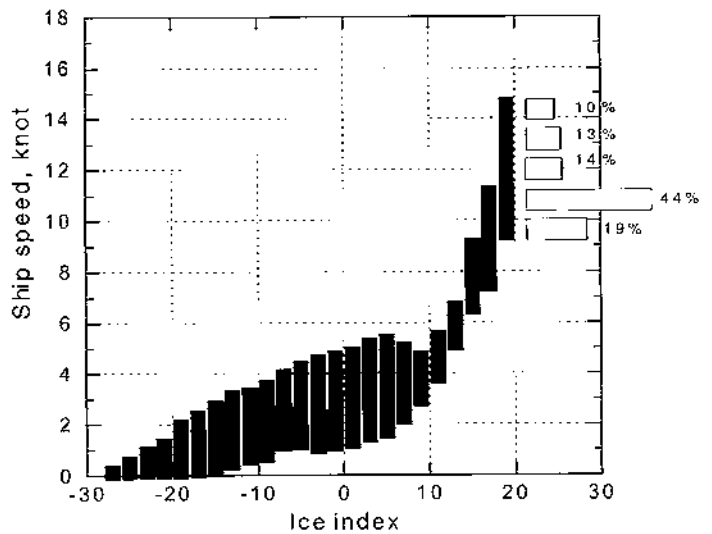


図4.4-4 50BC の Ice Index と船速の関係

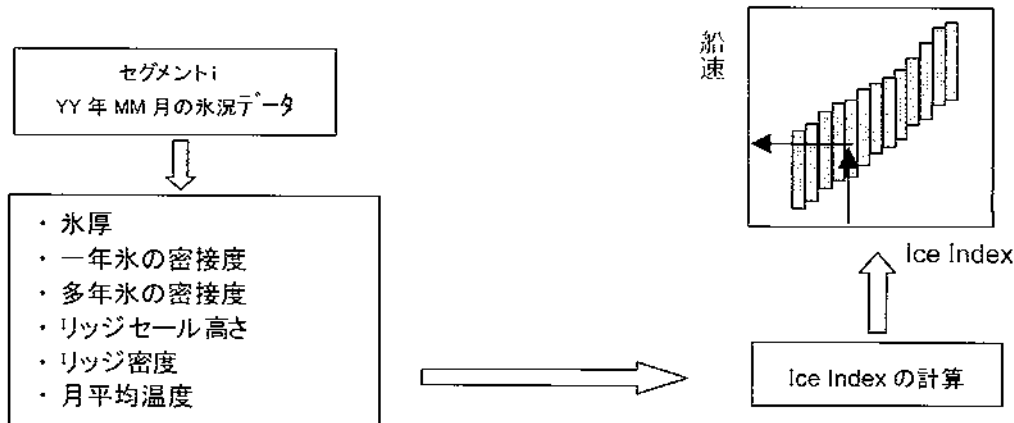


図4.4-5 船速計算のフロー

と仮定し、Arctika について求めた船速と Ice Index の関係から求めた。巻末資料5-2にシミュレーションに用いた3船型と砕氷船の船速と Ice Index の関係を示した。

シミュレーションプログラム

4種類の航路、3種類の船種を組み合わせることで運航コストを試算する。NSR の氷況はセグメント別、年別、月別に定義された過去の観測データを用いる。船が YY 年 MM 月、横浜を出港し NSR に入り順次、約130個のセグメントを航行する。セグメントを通過する時間を計算し、各セグメントで発生するコストを求める計算を繰り返すことになる。計算のロジックは簡単であるが、膨大なデータを取扱うことから本シミュレーションでは一連の計算プログラムを作成した。航行モードとして、砕氷船のエスコートの有無により次の3モードとした。

航行モードと砕氷船のエスコート判断

Ice Index が十分大きな場合は氷況も穏やかで、氷が存在しても独力で航海することができる。このモードをインディペンデントモード (Independent mode) と呼ぶ。氷況が厳しくなると Ice Index は小さくなり、砕氷船が啓開した航路を耐氷貨物船は進むことになり、この状態をエスコートモード (Escort Mode) と呼ぶ。砕氷船の支援が必要となる Ice Index を INc とし、平均船速と Ice Index の関係から INc を求めた。平均船速が3ノットになると砕氷船の支援が必要であると判断し INc を設定すると、INc は、25BC, 40BC で-4、50BC で-1となる。砕氷船がエスコートの必要な海域まで廻航する時間が必要であるが、ここでは衛星情報よりエスコートが必要な海域が将来的には予見できるようになるとして、廻航に必要な時間は無視できると仮定した。また、砕氷船のエスコートは一日単位で行い、その平均船速は約10ノットであると仮定した。従って、エスコートが始まるとエスコートが始まったセグメントを含む次の240海里、12セグメントの氷況を判断し、Ice Index が INc 以下になっているセグメントが一つでもあれば引き続きエスコートを継続することにした。このように Ice Index が INc 以上であっても引き続きエスコートを受ける状況をウッチモード (Watch Mode) と定義した。そうでなければ砕氷船はエスコートを止め離脱できることとした。砕氷船がエスコートする時の船速は、前述したように砕氷船の Ice Index と船速の関係から求めたが、その時のエスコートされる25BC、40BC、50BC の馬力は、開水中と比べると10%増しになると仮定し、所要燃費を計算した。

運航コストの積算

運航コストを表す指標としては、運賃 (Freight Rate) が一般的に使われる。これはある航路に船を投入した場合、1年間の所要総経費と総輸送量からトン当たりの輸送費を計算し、それに期待利益を加え、運賃として表示される。北米ガルフと日本間の穀物の運賃は12\$/tonなどと表示される。しかしながら、NSRのシミュレーションにこの方法を適用すると、月別、各海域別の速度などの重要な因子が分析できないのでまずは、月別の1航海に要する運航コストを計算し、その後、年間の運航コストと航海回数から運賃を積算した。何れも、ここでは利益を含まない運航コスト(Freight Cost)である。往復とも積み荷は満載状態を仮定して運賃を計算した。

月別の運航コストシミュレーション (Monthly Voyage Simulation)

月別の1航海の総運航コストを計算する。月別、海域別の航海速度などの傾向を調べるために行った計算である。この計算では航海の起点は北航路、南航路では必ず横浜で始まり、ハンブルクで終わると仮定し、月初めに横浜を出港することにした。航海日数が1カ月以上要する場合は翌月のデータを使用する必要があるが、ここでは、氷況データは出港月のデータをそのまま使用し、データの不連続性を排除することにした。本方法は Monthly Voyage Simulation と称し、略して MVS と表示する。地域航路では Dikson、Tiksi を起点とした。コストデータ (表4.4-5) が年単位で与えられたものは、本計算では適宜、月割り、日割りに換算し用いた。計算プログラムは、各セグメントの航行時間を計算し、発生するコストを計算するフローになっている (図4.4-6)。

通年運航コストシミュレーション (Annual Serial Voyage Simulation)

ある航路に、ある船を運航した場合の1年間に要する総運航コストと総輸送量から運航コストを算出する方法である。本計算では横浜からある年の1月1日に出港すると仮定した。横浜、ハンブルグ間の往復回数を計算することになる。即ち、ハンブルグに入港すると荷物の揚げ積みのために6日間滞在し、直ちに横浜に向けて出港することになる。横浜に入港し、6日間後またハンブルグに向けて出港することになる。この計算を繰り返す。1年の最後は、航路の途中にあるが人港するまで計算を延長し、日割りで年間航海回数に換算した。各港での滞在日数は実績値から決めた。またシミュレーションの途中で、

月が変わる場合は忠実にその月の氷況データを使うこととした。氷況によりスエズ運河を選択する最適運航の計算には、本計算を適用し、最終的な運賃として評価した。本方法は Annual Serial Voyage Simulation と称し、略して ASVS と表示する。図4.4-7に計算プログラムのフローを示す。

表4.4-7 NSR 通行料の値引き率

全 NSR			外挿値	26%割引値
			\$/GT	\$/GT
25BC	夏期	(7~10月)	7.36	5.45
	冬期	(11~6月)	7.14	5.28
40BC	夏期	(7~10月)	7.11	5.26
	冬期	(11~6月)	6.89	5.10
50BC	夏期	(7~10月)	6.83	5.05
	冬期	(11~6月)	6.56	4.86
NSR 地域航路			外挿値	26%割引値
			\$/GT	S/GT
25BC	夏期	(7~10月)	4.78	3.54
	冬期	(11~6月)	7.14	5.28

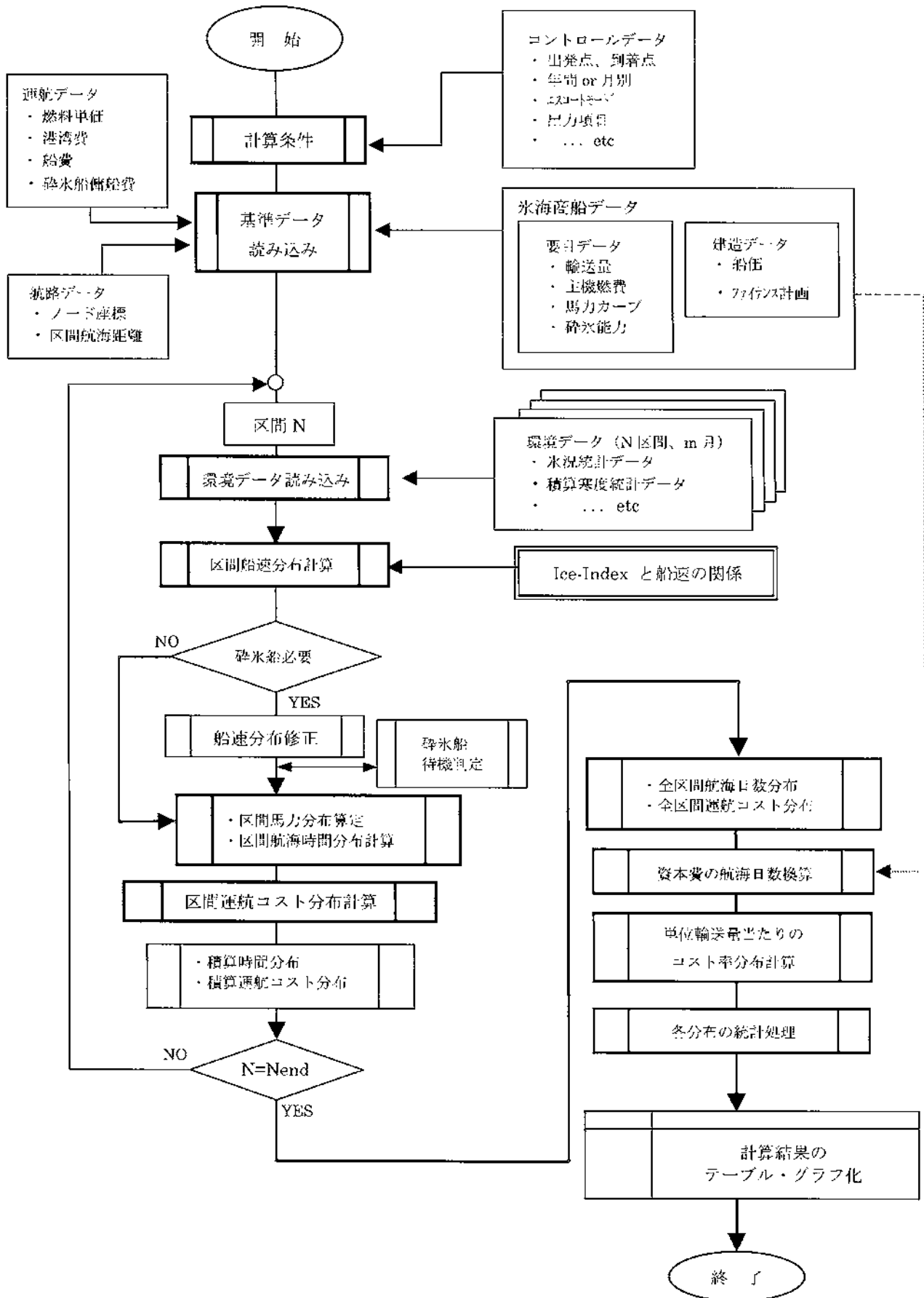


図4.4-6 Monthly Voyage Simulation のフロー図

4. 北極海航路の運行技術

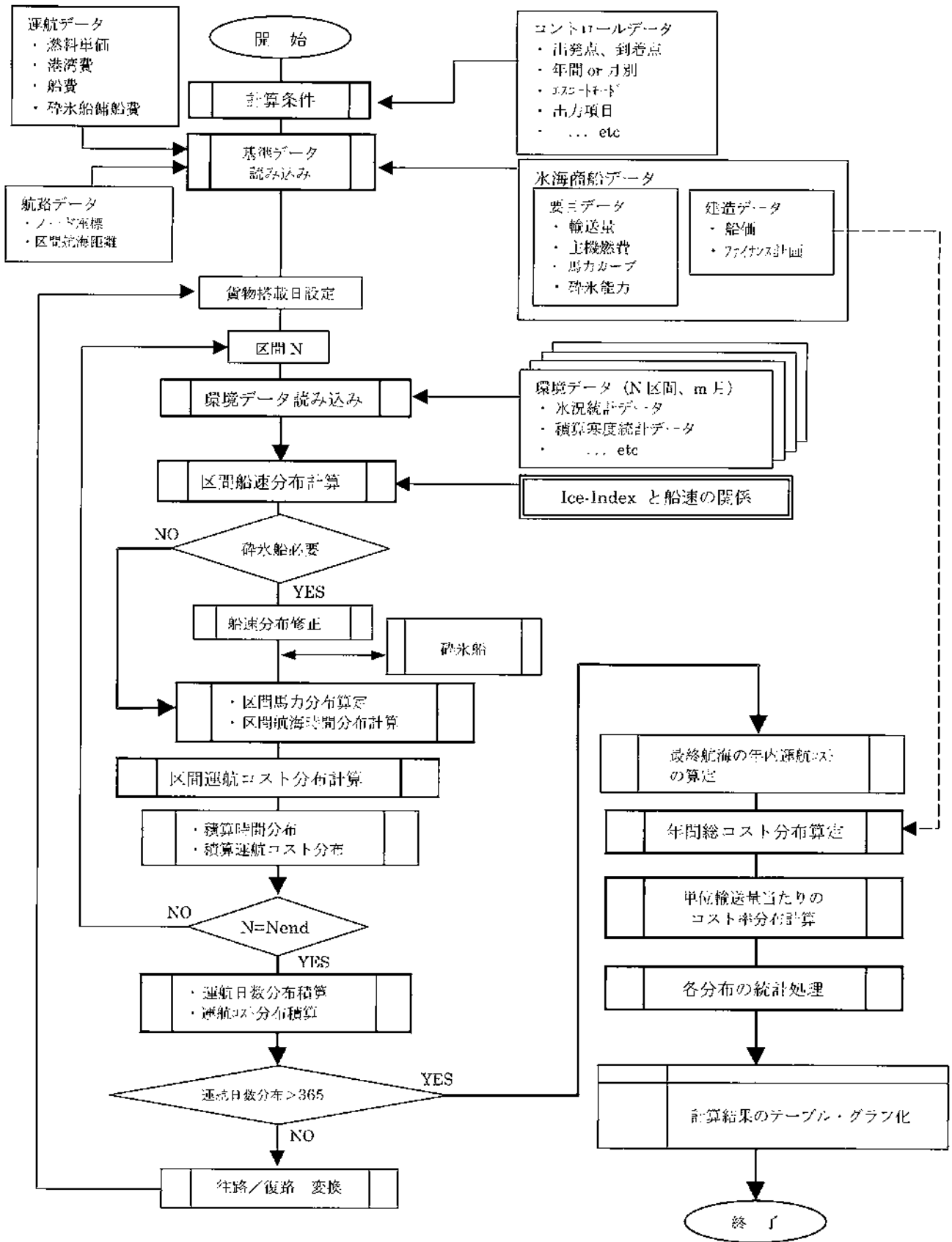


図4.4-7 Annual Serial Voyage Simulation のフロー図

シミュレーション結果

NSR 料料（通行料）の検討

NSR 通行料は運航コストの重要な因子である。高額な通行料を適用すると、スエズ航路に対して競争力がなくなる。そこで、一連のシミュレーションを行う前に、平均的な氷況を用い月別のシミュレーション (MVS) を行い、適正な通行料のレベルについて検討した。目安として、スエズ経山と NSR の運航コストを比較し、少なくとも40BC で NSR の運航コストがスエズ経山より約半年間有利になるレベルを設定した。その結果、大型船に対して外挿した値 (表 4.4-6) より更に26%減じる必要があることが分った (表 4.4-7)。26%減の値を NSR 通行料として、以降のシミュレーションに適用した。

トランジット航路（北航路、南航路）の結果 (MVS)

喫水の関係から、40BC と50BC は北航路を、25BC は南航路を航行する。1957～1990年の氷況データを用い、MVS による計算を行った。一例として40BC の1979、1980年の月別の航海日数を示す (図4.4-8)。Ice Index に対して、速度が確率分布を持つので、そのバラツキは小さいが航海日数も分布を示す。平均値と1%、99%テールの値も併せて示す。MVS により求めた25BC、40BC、50BC の月別の平均航海日数とその内訳を見る (図4.4-9)。40BC では、最長の航海日数は3月の44.1日 (内 NSR26.8日)、最短は9月の30.7日 (内 NSR15.7日) である。50BC は最長が3月の42.7日 (内 NSR27.3日)、最短が9月の28.8日 (内 NSR16.1日) である。50BC より40BC が NSR の通過時間は若干短い

表4.4-8 月別のトランジット航路の1航海の総コストと運賃

月	25BC		40BC		50BC	
	総コスト (千円)	運賃 (円/トン)	総コスト (千円)	運賃 (円/トン)	総コスト (千円)	運賃 (円/トン)
1	1,433	66.7	1,599	44.4	1,082	23.0
2	1,444	67.2	1,552	43.1	1,064	22.6
3	1,438	66.9	1,517	42.1	1,074	22.9
4	1,388	64.6	1,474	40.9	1,049	22.3
5	1,292	60.1	1,399	38.9	1,008	21.4
6	1,140	53.0	1,241	34.5	907	19.3
7	1,184	55.1	1,302	36.2	959	20.4
8	1,100	51.2	1,242	34.5	923	19.6
9	1,067	49.6	1,194	33.2	890	18.9
10	1,159	53.9	1,250	34.7	918	19.5
11	1,357	63.1	1,399	38.9	1,041	22.1
12	1,423	66.2	1,527	42.4	1,039	22.1

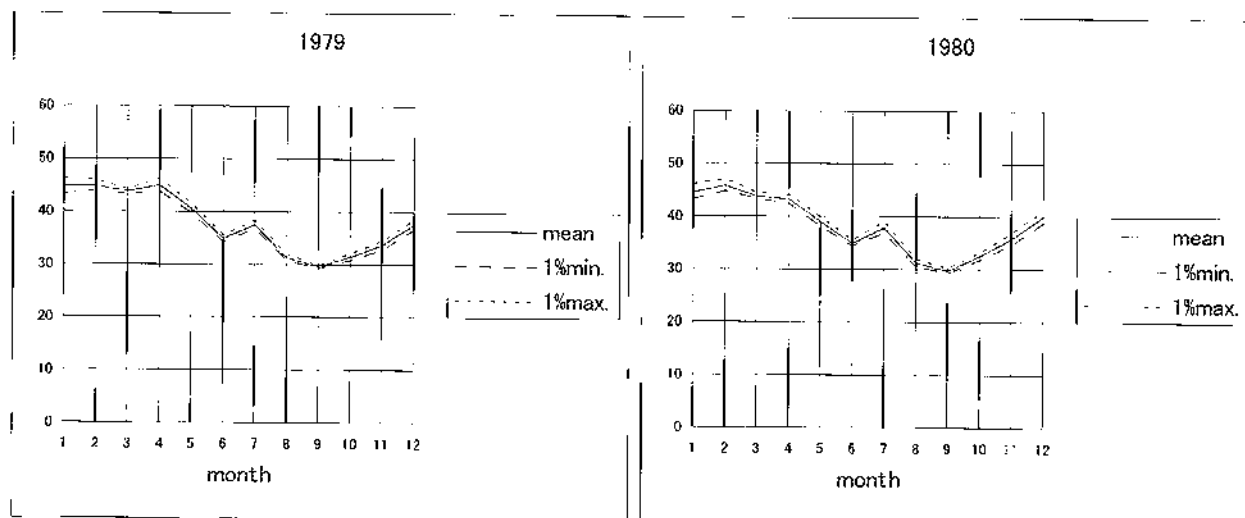


図4.4-8 40BC の航海日数の一例 (1979、1980年)

4. 北極海航路の運行技術

ものの、全体の航海日数は50BC が40BC より約2日間短縮できる結果になった。これは開水中の速力が、50BCの方が40BCより約2.5ノット速いためであり、開水中の速度が経済性に大きく寄与することを示唆している。砕氷船の支援日数は氷況の厳しさを表す。25BCと40BCの砕氷能力はほぼ同等である。北航路と南航路を比較すると12月～5月までは、25BCが走る南航路の砕氷船支援日数が長く、6月～11月までは逆に40BCの北航路の支援日数が長くなる。冬期は、南航路は沿岸定着氷

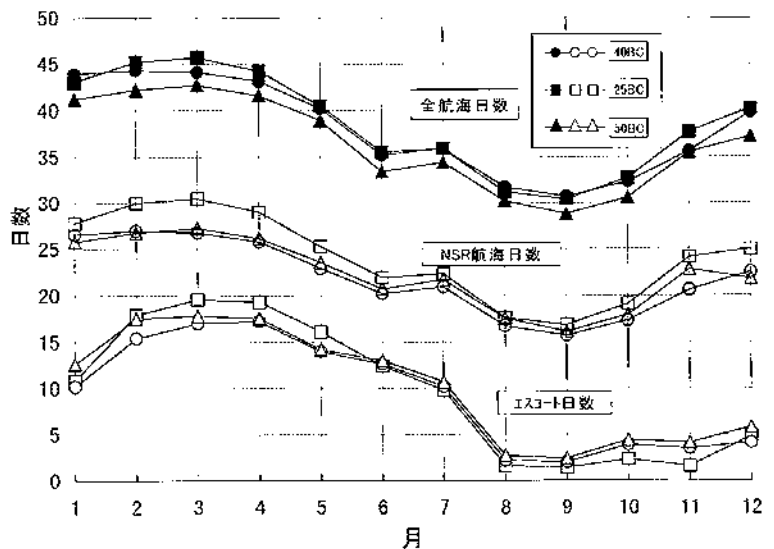


図4.4-9 3船種の月別平均航海日数とその内訳 (1957～1990年の平均値)

が発達し氷況が厳しくなるのに対して、北航路は沿岸定着氷の外縁を通るポリニヤの多い海域に沿う航路であることから、航海に有利であると考えられる。夏期は沿岸部に沿い開水域が発達することから、沿岸部の方が有利であると言える。50BCの海域別平均の航海速度の月変化を見る(図4.4-9)。12月～5月の冬場は、各海域ともに航海速度は4～7ノットの範囲であり、Laptev海の速度が若干速くなる。冬場は砕氷船のエスコートを受ける時間が長いので、砕氷船の航海速度が、速度傾向の支配的な因子となる。8～10月の夏場は最も氷況が緩やかで、50BCでは9～14ノットに達する。東シベリア海の航海速度は全般的に他の海域よりやや遅くなる傾向を示す。25BC、40BCの結果は巻末資料5-2に示したが、50BCと大差ない結果である。1航海に要する運航コストを貨物積載トン数で除した運賃を月別、船別に比較した(表4.4-8)。運航費の占める割合として資本費の占める割合が最も大きい(巻末資料5-2参照)。1航海の運航コストは、50BCが最も安く、0.89～1.08百万\$の範囲に、最も高いのが40BCで1.19～1.60百万\$の範囲に分布する。以上の航海日数、速度、運航コストなどの値は1957～1990年の氷況データを用いたもので約30年間の平均値である。なお

航海日数の中には、積み地で3日、揚げ地で3日、合計6日の港滞在日を含んでいる。コスト計算の詳細は巻末資料5-2に記載した。

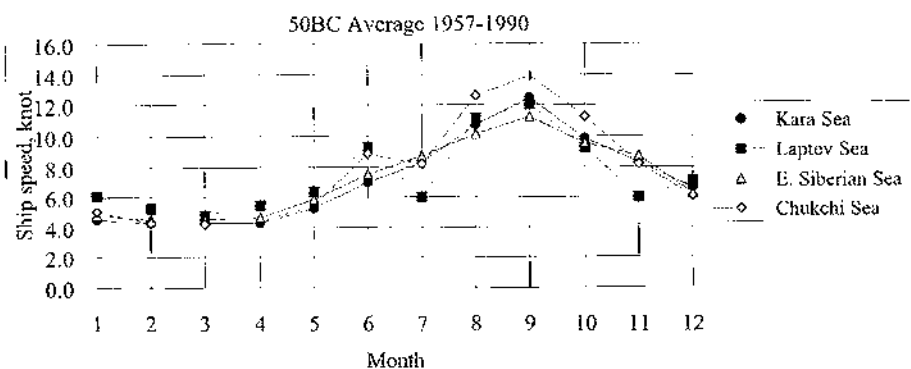


図4.4-10 50BCの海域別平均航海速度の月変化 (1957～1990年の平均値)

地域航路の運航コスト

西地域航路は Dikson とハンブルクを結ぶ距離4,020海里の航路である。東地域航路は Tiksi と横浜を結ぶ距離2,397海里の航路である。前者はNSR としてはカラ海だけを、後者はラプテフ海、東シベリア海、チュクチ海を通る。航路の殆どは前述した浅い南航路を走るために喫水の浅い25BC を対象としたシミュレーションを行い、両者の特徴を明確にした。シミュレーションの方法は前述したMSV によるもので、1957～1990年の氷況データを用い、約30年間の平均値として航海日数、速度、運航コストなどの月別の変化を調べた(図4.4-11、表4.4-9)。東地域航路は砕氷船のエスコート平均日数は0.9～11.2

表4.4-9 月別の1航海の総コストと運賃(地域航路)

月	25BC東地域航		25BC西地域航路	
	総コスト (千ドル)	運賃 (ドル/トン)	総コスト (千ドル)	運賃 (ドル/トン)
1	844	39.3	607	28.2
2	825	38.4	656	30.5
3	832	38.7	653	30.4
4	807	37.5	650	30.2
5	763	35.5	623	29.0
6	723	33.6	545	25.3
7	790	36.7	479	22.3
8	729	33.9	457	21.3
9	704	32.7	457	21.3
10	760	35.3	467	21.7
11	898	41.8	512	23.8
12	868	40.4	575	26.7

日と比較的長く、東NSR が氷況の厳しい海域であることが分る。一方、西地域航路はカラ海だけを通るので東に比べると氷況は遥かに穏やかで、砕氷船のエスコートを受ける平均日数も0.7～2日であり、氷況の穏やかな年には砕氷船のエスコートなしで通年航行も可能である。船速も西地域航路については2～5月のみが4～6ノットの範囲であるが、それ以外の季節では10ノット前後の航海が可能である。

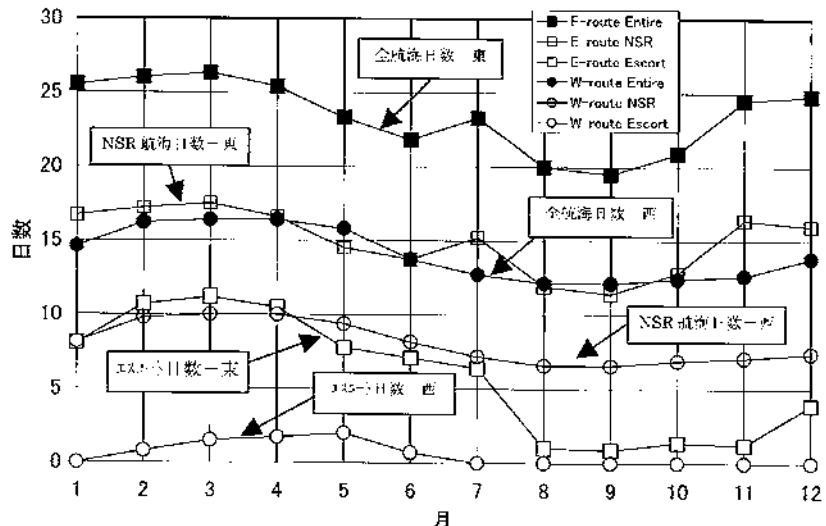


図4.4-11 東地域航路、西地域航路の月別平均航海日数とその内訳(1957～1990年の平均値)

1航海に要する月別の総コストと積載貨物量から換算した運賃

の一覧を表4.4-9に示す。1航海の総コストは東地域航路が704～898千ドル、西地域航路が457～656千ドルの範囲である。海域別の航海速度、運航コストの詳細は巻末資料5-2に示した。

NSR の季節的運用による年間の運航コスト

氷況の厳しい冬期はNSR を通るより、スエズ運河を通った方が運航費は安くなる傾向にある。氷況により、NSR とスエズ航路を切り替えて運賃がどこまで低減できるか試算することにした。対象としたのは北航路で、船は40BC と50BC を適用した。NSR が実用化される場合にも、季節により NSR とスエズ航路を切り替えて運用することが現実的なシナリオであろう。如何なる指標により、切り替えるか考える必要がある。ここでは航行の難易度を表すIce Index の積算値を使うことにした。40BC についてMVS により求めた1980～1989年の10年間の積算Ice Index と運航コストの関係を示す(図4.4-12)。バラツキがやや大きい、ほぼ積算Ice Index と運航コス

4. 北極海航路の運行技術

トとの間に負の相関がある。40BC がスエズ航路を利用した場合の運賃は、39.6 \$/ton であるから、積算 Ice Index が 26,000 以下の場合は、スエズ運河を通行した方が運賃は安くなると判断される。表4.4-10に1980～1989年までの、10年間の月別の積算 Ice Index を示す。ハッチング部は積算 Ice Index が限界である -26,000 より小さい月である。従って、2～5月に横浜またはハンブルグから出港する場合は、スエズ航路を選定することが得策であると判断できる。

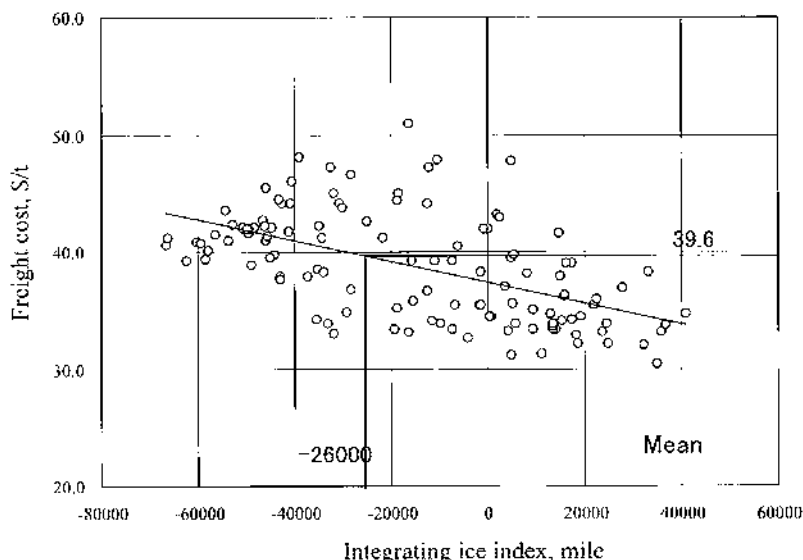


図4.4-12 40BC の積算 Ice Index と運航コストの関係

この条件で、ASVS を40BC、50BC について1960、1970、1980年の3カ年、適用した。結果の一例として、1980年の結果を示す(表4.4-11、表4.4-12)。航海日数については出港時の荷積みに3日、入港時の荷揚げに3日の合計6日の荷役期間を含む。

表4.4-13に1960、1970、1980年の3カ年の結果を総括した。スエズ運河を3～4回通過する40BC の運賃は、35.6～36.2 \$/ton、50BC の場合で20.1～20.7\$/ton の範囲にある。50BC の運賃が40BC より大幅に安いのは、資本費、輸送量、開水中での速度などが40BC より優れていることが寄与している。40BC の砕氷能力は優れているが、本シミュレーションでは独自航行が不可能となると砕氷船のエスコートを直ちに何度でも受けることができると仮定している。またその費用は定額としていることから50BC が経済的に優れている結果となった。

表4.4-10 40BC の1980～1989年の月別積算 Ice Index

月	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
1	-40906	-30608	-12573	-10532	-39056	-18914	-32497	-16310	-30065	-12142	-13460
2	-46008	-50524	-44641	-31872	-46470	-54445	-43169	-59402	-49435	-34429	-20598
3	-53759	-50823	-35042	-56387	-42612	-52777	-46153	-44126	-49955	-25121	-34944
4	-49678	-58413	-60327	-57841	-40478	-66545	-48491	-66268	-62363	-41260	-36330
5	-35284	-37292	-43012	-42940	-28454	-49060	-45855	-45671	-44935	-33957	-5639
6	-33148	-9731	-29388	-28240	-10974	-31804	-18858	-19403	-35439	-16488	-12603
7	-7320	-15633	-1753	-15956	-6732	-7501	8077	-11541	-12660	-1442	19493
8	13996	18182	27901	40902	33190	24610	21724	22378	13436	23730	42370
9	24675	365	36849	35692	32166	4908	-4198	10982	18622	35033	52651
10	684	4794	17227	13410	9137	19020	3622	15129	5797	4312	38756
11	-1630	14770	9128	4977	17314	15853	16000	15854	12837	13509	31671
12	-21730	1874	-6130	-18624	5295	15019	-45	-895	2284	4674	-897

表4.4-11 NSRの季節利用(40BC、ASVS、1980年の例)

航海数		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
出港-入港口		0101-0213	0214-0326	0327-0506	0507-0616	0617-0725	0726-0826	0827-0925	0926-1028	1029-1203	1204-0113
航路		NSR	via Suez	via Suez	via Suez	NSR	NSR	NSR	NSR	NSR	NSR
方向		E->W	W->E	E->W	W->E	E->W	W->E	E->W	W->E	E->W	W->E
航海日数	日	44	41	41	41	38	31	30	33	36	40
エスコート日数	日	19				10	4	3	6	6	11
総コスト	千\$	1,521	1,428	1,428	1,428	1,408	1,203	1,155	1,241	1,378	1,493
*資本費	千\$	893	824	824	824	780	638	608	665	730	824
*運航コスト	千\$	270	238	238	238	236	193	184	201	221	249
*港費	千\$	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
*燃費	千\$	162	172	172	172	202	181	175	183	240	229
*砕氷船料	千\$	130				123	123	122	124	120	124
スエズ通行料	千\$		127	127	127						

表4.4-12 NSRの季節利用(50BC、ASVS、1980年の例)

航海数		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
出港-入港口		0101-0212	0213-0320	0321-0425	0426-0531	0601-0704	0705-0811	0812-0909	0910-1007	1008-1108	1109-1217	1218-0125
航路		NSR	via Suez	via Suez	via Suez	NSR	NSR	NSR	NSR	NSR	NSR	NSR
方向		E->W	W->E	E->W	W->E	E->W	W->E	E->W	W->E	E->W	W->E	E->W
航海日数	日	42.4	36.0	36.0	36.0	33.0	37.5	28.6	27.9	31.6	38.2	38.1
エスコート日数	日	19.4				13.8	9.2	4.3	2.7	5.8	8.8	17.4
総コスト	千\$	1,079	1,055	1,055	1,055	892	1,049	869	860	931	1,066	987
*資本費	千\$	394	329	329	329	307	348	266	259	294	355	354
*運航コスト	千\$	287	224	224	224	223	253	194	189	214	258	258
*港費	千\$	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92
*燃費	千\$	140	271	271	271	108	190	156	159	168	203	118
*砕氷船料	千\$	166				162	165	162	160	163	158	164
スエズ通行料	千\$		139	139	139							

表4.4-13 40BCと50BCの年間運航コスト比較(1960, 1970, 1980年)

年		1960		1970		1980		
船種		40BC	50BC	40BC	50BC	40BC	50BC	
NSR	貨物積載量	トン	36,000	47,000	36,000	47,000	36,000	47,000
	航海回数		6.6	6.5	6.5	6.1	6.7	7.4
	全貨物量	トン	238,000	304,000	235,000	288,000	240,000	346,000
	総コスト	千\$	8,171	5,785	8,129	5,642	8,114	6,640
	運航コスト	\$/トン	34.3	19.0	34.6	19.6	33.8	19.2
スエズ	航海回数		3	4	3	4	3	3
	全貨物量	トン	108,000	188,000	108,000	188,000	108,000	141,000
	総コスト	千\$	4,281	4,222	4,281	4,222	4,281	3,167
	運航コスト	\$/トン	39.6	22.5	39.6	22.5	39.6	22.5
計 (NSR + スエズ)	全貨物量	トン	346,000	492,000	343,000	476,000	348,000	487,000
	総コスト	千\$	12,452	10,007	12,410	9,864	12,395	9,807
	運航コスト	\$/トン	36.0	20.3	36.2	20.7	35.6	20.1

最適運用

2～5月出港する場合にはスエズ航路を選定したシミュレーションを紹介したが、将来的には衛星情報が豊富になると NSR に入る前に正確な氷況予報を入手できることが将来的には期待できる。即ち、NSR とスエズの運航の切り替えを事前に予報結果からできるようになり常に最適な航路選定が可能と言う条件で、どこまで運賃が低減できるか50BC を対象に調べた。切り替えの指標は積算 Ice Index で、その値が 50,000以下の場合にはスエズ航路を選定するようにした。1980～1989年の10年間のデータを用いた。結果を表4.4-14に示す。運賃は20.3～21.6 \$/ton の範囲である。一例として1987年の結果を表4.4-15に示す。スエズ航路を1航海、NSR を9.3航海、合計10.3航海している。NSR を通る場合の平均速度は7.8～13.7ノットである。夏場のみの運賃は約18 \$/ton である。一方、開水中のみを航海する通常型の5万トン DWT ハンディサイズバルカーの運航コストを試算すると18.1 \$/ton である。従って、砕氷型バルクの夏場運賃は、ほぼ通常型のバルクキャリアーに等しく、通年運賃はやや割だかの結果となった。砕氷型バルクは、通常型のバルクキャリアーに対して十分に競争力があると言えよう。試算した通常型5万トン DWT ハンディサイズバルカー諸経費内訳は巻末資料5-2に示した。

表4.4-14 50BC の1980～1989年の年間運航シミュレーション結果 (ASVS)

年			1980	1981	1982	1983	1984
	貨物積載量	トン	47,000	47,000	47,000	47,000	47,000
NSR	航海数	回	8.3	8.1	9.0	8.3	10.0
	航海日数	日	293	293	329	293	365
	全貨物量	トン	390,100	382,100	421,600	391,000	468,600
	総コスト	千\$	8,071	8,043	8,967	8,121	10,117
	運航コスト	\$/トン	20.7	21.1	21.3	20.8	21.6
スエズ	航海数	回	2	2	1	2	0
	航海日数	日	72	72	36	72	0
	全貨物量	トン	94,000	94,000	47,000	94,000	0
	総コスト	千\$	2,111	2,111	1,056	2,111	0
	運航コスト	\$/トン	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
計 (NSR+スエズ)	全貨物量	トン	484,100	476,100	468,600	485,000	468,600
	総コスト	千\$	10,182	10,154	10,023	10,232	10,117
	運航コスト	\$/トン	21.0	21.3	21.4	21.1	21.6

年			1985	1986	1987	1988	1989
	貨物積載量	トン	47,000	47,000	47,000	47,000	47,000
NSR	航海数	回	8.2	9.8	9.3	8.5	10.5
	航海日数	日	293	365	329	293	365
	全貨物量	トン	386,300	459,700	437,600	400,900	493,000
	総コスト	千\$	8,132	9,925	9,045	8,122	10,028
	運航コスト	\$/トン	21.1	21.6	20.7	20.3	20.3
スエズ	航海数	回	2	0	1	2	0
	航海日数	日	72	0	36	72	0
	全貨物量	トン	94,000	0	47,000	94,000	0
	総コスト	千\$	2,111	0	1,056	2,111	0
	運航コスト	\$/トン	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
計 (NSR+スエズ)	全貨物量	トン	480,300	459,700	484,600	494,900	493,000
	総コスト	千\$	10,243	9,925	10,101	10,232	10,028
	運航コスト	\$/トン	21.3	21.6	20.8	20.7	20.3

表4.4-15 50BC、1987年の年間運航シミュレーションの事例

航海回数		1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12
出港-入港口		0101-0214	0215-0327	0328-0502	0503-0611	0612-0713	0714-0812	0813-0913	0914-1011	1012-1112	1113-1218	1219-0129
航路		NSR	NSR	via Suez	NSR	NSR	NSR	NSR	NSR	NSR	NSR	NSR
方向		E->W	W->E	E->W	W->E	E->W	W->E	E->W	W->E	E->W	W->E	E->W
航海日数	日	45	41	36	40	31	30	31	28	31	35	42
エスコート日数	日	18	22		16	10	9	3	4	5	6	13
総コスト	千\$	1,151	1,018	1,055	1,037	872	870	949	847	935	1,019	1,122
*資本費	千\$	414	380	329	368	289	279	292	259	291	328	390
*運航コスト	千\$	301	276	224	268	210	203	213	188	212	239	284
*港費	千\$	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92
*燃費	千\$	179	102	271	146	122	131	192	146	177	205	195
*砕氷船料	千\$	164	168		163	159	165	161	162	162	155	161
スエズ通行料	千\$			139								
平均船速	ノット	7.8	8.6	17.0	8.9	12.0	12.5	11.8	13.7	11.8	10.2	8.3
運航コスト	\$/t	24.5	21.7	22.5	22.1	18.6	18.5	20.2	18.0	19.9	21.7	23.9

まとめ

NSRの運航コストに最も大きな影響を与える因子は資本費である。砕氷能力を向上させると、主機馬力、船殻重量も増加し、資本費が大きく増加する。40BCと50BCの乗荷トン数あたりの年間資本費を比較すると前者が207 \$/ ton/ year、後者が72 \$/ ton/ yearである。約3倍の違いがある。砕氷能力を上げたために、40BC建造費用が50BCの約2倍要することが原因である。資本費と砕氷能力については、対比して考える必要がある。40BCと50BCの砕氷船のエスコート日数は冬期が最も差異があるが、1航海について最大で2日程度であり、夏期は殆ど差がなくなる。船速が3ノット以下になると直ちに砕氷船のエスコートが得られると仮定したことが影響していることは否めないが、40BCの砕氷能力の優位性が発揮できない結果となった。砕氷船がエスコートに現れるまでのスタンバイ日数が数日を要するようであれば、40BCが優位な結果になることも考えられる。現在、ロシアが提案しているように砕氷船のエスコート費用がその日数に拘わらず、定額で確実に砕氷船の支援が受けられるようであれば、砕氷能力は中程度として、平水中の性能を向上させることが得策と言える。砕氷船のエスコート費用については、本シミュレーションで提案しているように、50BCのハンディサイズバルカーで5\$/GT程度が実現できれば、トランジットでは、夏場は十分、スエズ運河を通る通常のハンディサイズバルカーに対して競争力を有しているものと思われる。通年で見れば、NSRを季節的に利用する場合も、スエズ航路を通るハンディサイズバルカーと比較すると、10%程度割だかの結果となる。ただし、冬期はNSR通行中の約7割程度が砕氷船のエスコートを受けることになり、現在、ロシアが提案しているような定額によるエスコートが非現実的なものとなる。一方、地域航路について見れば、25BCはほぼ通年航行が砕氷船のエスコートなしで可能である。このような場合でもNSRの通行料を支払う必要があるのか疑問が残るところである。エスコート時間当たりとするか定額とするかなど、砕氷船のエスコート費用の課金方法は、本シミュレーションのような考察を得て設定されるべきで、現在の設定方法には疑問が残るところである。

4.5 環境影響と保全

4.5.1 北極海の海洋構造

北極海に限らず、環境汚染物質の循環には海洋が大きな役割を果たす。ここでは、北極海の構造を概観してみる。

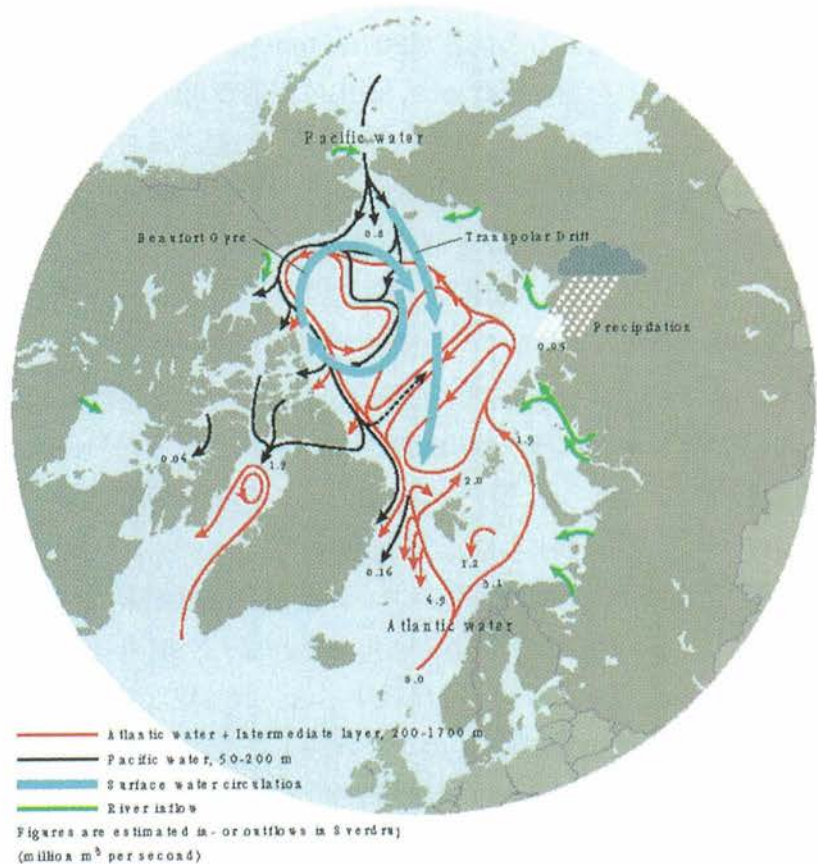
北極海を特徴付けるものとして、まず、1年間存在する海氷が挙げられる。海氷は海水と大気との熱・物質交換に大きな影響を及ぼす。北極海は、高緯度の大水深域と比較的浅い沿海域に分けられる。沿海域とは、チュクチ海、東シベリア海、ラプテフ海、カラ海、バレンツ海、ボーフォート海である。3.1.1に示すように、北極海はほぼ閉じられた海であり、大平洋と結ぶベーリング海峡、大西洋と結ぶカナダ多島海、フラム海峡、バレンツ海を通して、海水の出入りがある。北極海航路に使われるシベリア側の広大な大陸棚域は、100m 以浅の水深域が沖合200~800kmにも広がっている。この領域は、全北極海面積の36%を占めるものの、水量は2%でしかない。また、この付近では河川からの淡水流入が極めて多い。特に、融雪期に集中する。

鉛直循環については、相反する下記の2つのプロセスが存在する。

- 河川からの淡水流入により密度成層ができ、鉛直循環を起こしにくくなる。また河川流入により、北極海から大西洋への海流が生成される。
- 冬期に熱が奪われると、海氷ができる。海氷は、海水中の塩分や不純物を排出しつつ成長するので、海水が重くなり、深海へと沈み込む。

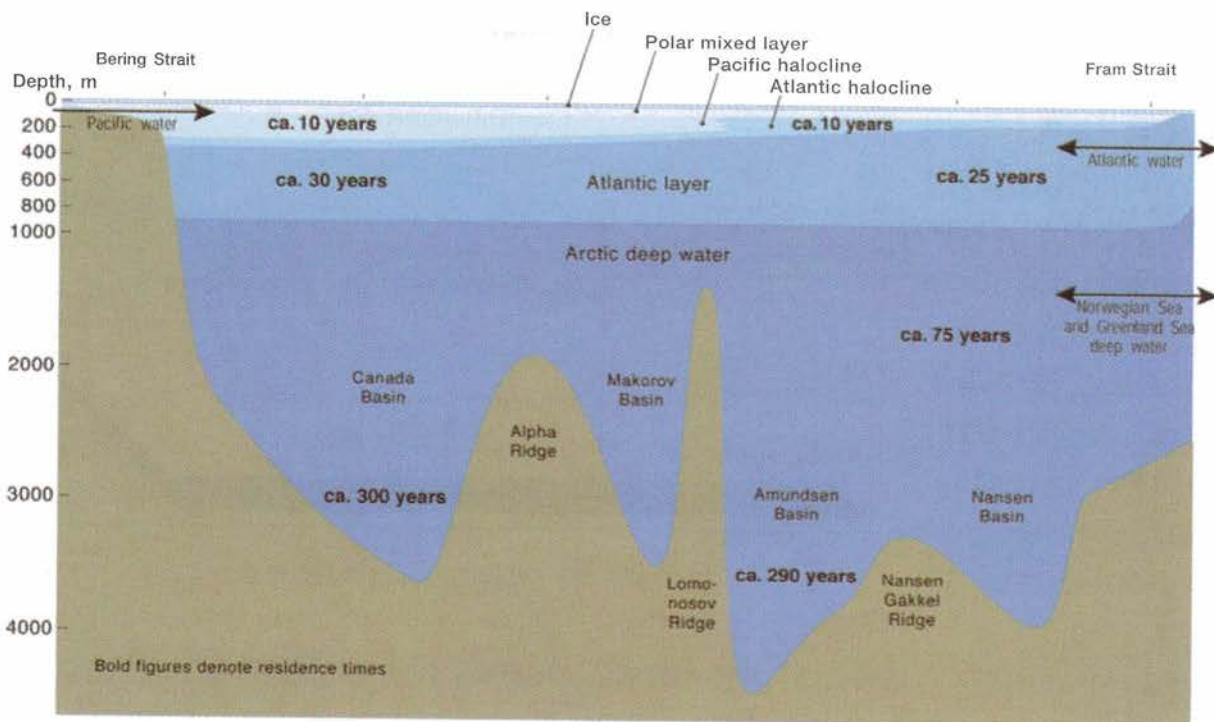
北極海全体については、海流の動きは年間を通してそれ程変わらない。しかし、塩分濃度は海氷の生成と融解に大きく影響され、水深25~50mの上層では、28‰~33.5‰まで変化する。水温も氷の動きによって大きく影響される。これは、氷の融解熱が80 kcal/kg（水の温度変化の80度分）であることから、容易に理解できるであろう。

水深ごとの海水の動きを汚染の観点から図4.5-1に示す。表層では、ベーリング海峡側から大西洋に抜ける貫北極海流と、カナダ側のボーフォート環流が特徴である。一方、深度が大きいところでは、水



Source: AMAP: Arctic pollution issues: A state of the Arctic environment report. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), 1997.

図4.5-1 北極海の海水循環



Source: AMAP: Arctic pollution issues: A state of the Arctic environment report. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). 1997.

図4.5-2 北極海の鉛直構造と海水の平均滞留時間

深の影響を受け、複雑なパターンになっている。表層海流の移送速度は概略1~4cm/sec（年間300~1,200km）程度である。北極海の大きさが約4,000kmであるから、表層水は平均滞留時間3~10年で入れ代わることになる。一方、氷の移動速度から換算すると、約5年になる。

北極海の海水の鉛直構造とその海水の平均滞留時間の概略を図4.5-2に示す。表層水については、上記の通りである。表層の低塩分水（Polar mixed layer）の下には塩分躍層（Halocline）があり、その水の平均滞留時間は10年程度、その下の Atlantic layer の平均滞留時間はおそらく30年程度であろう。その下の Arctic deep water の平均滞留時間は、100年を超える。

4.5.2 北極海の人類・生物環境

まずは、汚染源の拡散、影響範囲を理解するために、食物連鎖の仕組みを述べる。北極海の海洋生態系も、他の海域と同様に食物連鎖の根幹となる生産源は、浮遊性の単細胞藻類や植物プランクトンなどの小さな藻類（Algae）であり、全生産源の97%を占める。植物プランクトンの増殖は、光と栄養富裕層に支配されており、春に起きる氷縁の後退にも密接に関係している。植物プランクトンは、食物連鎖において、その一つ上の栄養階層である小さな甲殻類などの動物プランクトンにより捕食される。更に、3番目の栄養階層であるタラなどの魚が動物プランクトンを食べることになる。魚は食物連鎖の最上位に位置する哺乳類や鳥類にとって大事な餌であり、食物連鎖の最上位に位置する氷上に生息する脊椎動物に、プランクトンからのエネルギーを伝える役割を担っている。図4.5-3に食物連鎖の概念を示したが、この図から、各環境系の要素（例えば

4. 北極海航路の運行技術

海鳥) に影響因子が、どのように広がっていくか理解できる。影響因子は環境要素の生態数に影響をあたえる。ある一つの階層に対する影響は、その上の階層の環境に影響し、ひいては全体に悪影響を与えることになる。北極海の世界連鎖は、他の海域と比べると単純であると言われているが、その関係は十分に分っていない。この食物連鎖のある階層で汚染が発生すると、上

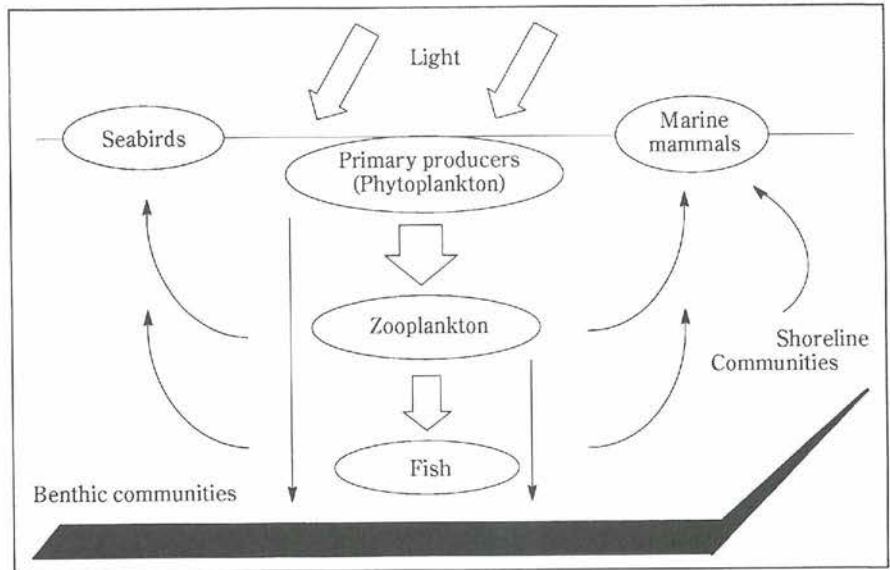


図4.5-3 北極海の世界連鎖の概念

位の階層に汚染が波及し、最後には、汚染の蓄積は北極海域に住む先住民に及ぶことになる。

広大な NSR には、生態系の全ての階層に及ぶ実に多くの生物が存在するが、INSROP のプロジェクトでは、結果的に全ての生態系について評価できないことから、限定した優先度の高い問題に対して環境評価を行っている。即ち、INSROP では、環境評価の指標として、船舶の運航状況や生息場所などを考慮し、重要度の高い生態系要素 (Valued Ecosystem Components) をスクリーニングし、代表値として選定した (表4.5-1)。これらの全てについて十分なデータが得られた訳ではないが、データは4.6節に述べる地理情報システム (GIS) に入力され、動的環境地図 (Dynamic Environmental Atlas) としてデータベース化されている。一例として、4月のホッ

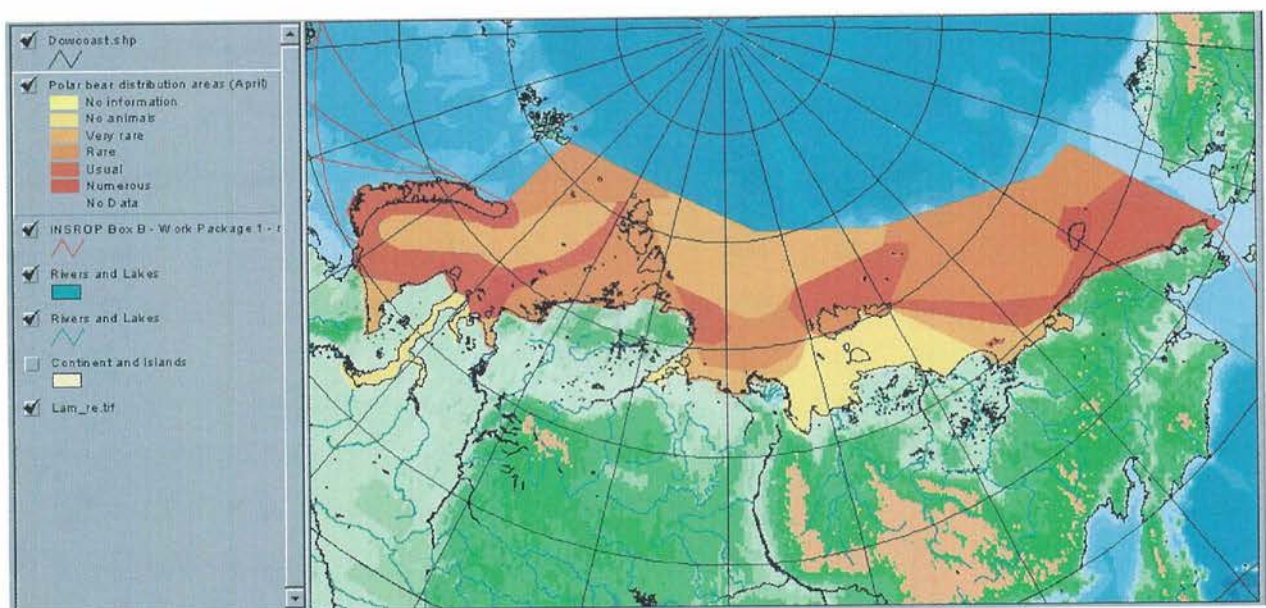


図 4.5-4 ホッキョクグマの分布

キョクグマの分布例を図4.5-4に示す。これらのデータは定量性に乏しい欠点は否めないが、INSROP 事業の成果として、初めてロシアから提出された貴重な資料であり、4.5.4節で解説する環境評価に欠かせないデータである。

表 4.5-1 重要度の高い生態系要素 (Valued Ecosystem Components)

Selected Valued Ecosystem Components — VEC_s			
Indigenous-local peoples: Human settlements; residence and subsistence areas of 16 northern indigenous minorities + 2 additional major ethnic groups.			
Waterland border zones: Shoreline attributes; sediment composition — topography; inundated riverine areas, also including polynyas.			
<p>Benthic Invertebrates, incl. distribution of:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Sampling and monitoring stations ● Sediment features ● Bio-coenosis ● Species name and numbers (corresponding to more than 2,000 different taxa) 	<p>Marine, Estuarine and Anadromous Fish, incl. distribution of:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Scorpion fishes (25 taxa) ● Salmonids (17 taxa) ● Gadoids (16 taxa) ● Whitefish (6 taxa), incl. recorded landings and catch statistics 1980-90 	<p>Birds, incl. distribution, abundance, migrations, feeding and breeding areas of:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Brunnich's guillemot ● Black guillemot ● Common guillemot ● Ivory gull ● Ross gull ● Kittiwake ● Common eider ● King eider ● Steller's eider ● Spectacled eider ● White-fronted goose ● Barnacle goose ● Brent goose, incl. dark bellied B. goose ● Bean goose ● Emperor goose ● Long-tailed duck ● Waders; feeding and resting areas 	<p>Marine mammals, incl. distribution, abundance, migrations, feeding and breeding areas of:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Polar bear ● Walrus ● Bearded seal ● Ringed seal ● White whale ● Grey whale ● Bowhead whale

4.5.3 北極海航路の活動と環境因子

NSR を航行する船舶が環境に与える影響因子 (Impact Factor) について述べる。

(1) 恒常的影響

北極海航路を航行する船舶のほとんどは、MARPOL73/78条約以降に建造されており、この要求を満たしている。それ以前に建造された船は、この条約とロシアの環境保護規則を満たす様に、改造されている。従って、恒常的な環境汚染としては、エンジン排気、油濁水、汚水、ゴミと考える良い。

排気による大気汚染とは、化石燃料の消費による SO_x、NO_x、炭化水素などの大気への排出である。これらの廃棄物については、規制されていなかったが、航行による総排出量を見積もってみる。北極海航路を航行する船舶は、低速もしくは中速ディーゼルエンジンを搭載しており、1日当たりの SO_x 総排出量は1~1.5トン、NO_x は2~2.5トンになる。

油濁水の源は、機関室から発生するビルジ、燃料や潤滑油の残余、洗浄などによるものである。シャワーやキッチンからの生活污水の環境影響は少なく、規制はない。しかし、トイレと医療による汚水は、処理しなければならない。

NSR を航行する全ての船舶には、汚水処理施設、油分フィルター、ゴミ収集・消却施設が搭載されている。船からのゴミの量は、乗り組み員の人数だけでなく、当該船舶の種類・大きさ・船齢にも依存する。表4.5-2に、種々の NSR 航行船についての、油濁水、汚水、ゴミの排出量見積もりを示す。ゴミの大部分は船上で消却され、不燃ゴミと汚水処理残余は、入港後陸上で処理される。

表4.5-2 船から排出される汚水量

Type of ship	No. of ships	Dw 10 ³ t	Size of crew	Ship waste volumes				
				Oily water			Sewage m ³ /day	Garbage kg/day
				Water m ³ /day	Oil kg/day	Oil discharge to sea kg/year		
Container carrier	3	5.7	35	1.5	30		3.4	30
		20	41	4.0	80	40	4.1	40
		20	41	4.0	80		4.1	40
Timber carrier	84	10	21	2.5	50		2.1	20
		8	38	2.0	40	490	3.8	35
		4	21	1.3	25		2.1	20
LASH	2	34	77	6.0	120	25	7.7	70
Dry cargo ship	27	20	41	4.0	80	480	4.1	40
Reefer	3	3	31	1.3	25	16	3.1	30
		17	46	3.6	70		4.6	45
Tanker	20	6	36	1.9	40	57	3.6	35
Multipurpose ship	46	5.0	31	1.5	30		3.1	30
		10	57	2.5	50	290	5.7	55
		20	57	4.0	80		5.7	55

ロシア標準では、エンジンノイズは105dBを越えないこととなっている。しかし、氷中航行時のノイズは、色々な因子が関係しており、見積もりは難しい。

(2) 事故による油汚染

その航行の困難さにもかかわらず、北極海航路においては、これまでタンカーからの大規模な油流出事故は起きていない。しかし、海上での油積み替え時や、一時布設のパイプラインからの油積み込み時などに小規模な油流出は起きている。これらの流出量は、100～200リットルを超えていないと考えられる。

船舶の事故と油流出の危険性は、多くの要因、主に船の構造や維持管理、航行状態、人的要因に支配される。ここ数十年の技術の進歩にも関わらず、人的要因が、最も不確定で、起こりやすい。油流出を伴う船舶事故の主なもの、衝突と座礁である。中型および大型タンカー事故の年間記録によると、31%が衝突、41%が座礁である。衝突には、他船との衝突の他、氷との衝突も含まれる。

GESAMP (1993) と Engelhardt (1985) には、北極海域での、油の船積み時や海洋油田の開発や生産時に起きた多くの小規模な油流出やガス噴出が報告されている。しかし、これらの統計でも、NSR での油流出事故の可能性を計算するには、不十分である。バルト海についての計算値によると、油流出の可能性は、公海上では1,000航海につき0.05、危険度の高い海域では0.25である (Maison and Forsman, 1995)。衝突及び座礁事故の頻度を考慮して、平均油流出量を1航海運搬量の1/48とすると、表4.5-3の様になる。これを北極海航路航行中のタンカーに当てはめると、事故による油流出量は、Ventspils 号の場合約207トンになり、Samatlor 号の場合約503トンになる。

表4.5-3 NSR における油流出量の推定値

Arctic Region	Transported quantity per year (1,000 tons)	No. of Journeys per year	Risk 1000 journeys	No. of spill-accidents per year	Spill quantity/year (tons)	Average spill quantity (tons)
Total of the NSR	392,401	50	0.4	0.02	3.3	163.5
West Region	166,893	23	0.25	0.006	0.9	151
East Region	225,508	27	0.25	0.007	1.2	174

上記の見積もりは、あくまでも確率論からの事故頻度と流出量の参照値でしかない。例えば、重大なクラックが搬入/搬出前に発見されなかった場合、船側全てに渡ってそれが一気に成長する可能性がある。この様なクラックの検出を怠った場合、1時間以内に500～1,000トンにも上る油が流出してしまう可能性がある。有名な Exxon Valdez 号の事故では35,000トンの油が流出し、Braer 号の事故では85,000トンもの油流出が起きてしまった。この様に、実際の事故と理論推定の間には、大きな差が発生し得る。前出の GESAMP の統計においても、事故による油流出は、年により大きく変動している。これは、事故の回数と、事故を起こした船の種類により結果が全く異なるからである。このことは、結果としての環境影響についても言えるこ

4. 北極海航路の運行技術

とである。全ての流出事故がそれぞれ固有の性格を持っており、環境影響も、油流出量のみの関数ではない。

(3) NSRにおける影響因子 (Impact Factors) の抽出

全ての環境因子は通常の運航 (Operational) または事故 (Accidental) に結びついていると言う基本的な前提に立てば、NSRの活動は、以下の3つの要素の1つまたは2つ以上に関連している。

- 砕氷船の支援を含む船舶そのものの活動
- 港湾施設 (貨物の貯蔵、荷揚げ設備、燃料、クルーの支援設備、汚物の受け入れ設備)
- 貨物およびクルーに対するインフラストラクチャ

上記の最初の要素は海上、最後の要素は陸上ベースのものであり、港湾施設は陸上、海上の中間に位置するものである。更に、以上の主たる活動は、幾つかの現場における特定の活動 (Specific Activities in situ) に分類される。環境に対して作用する機構は以下の5つのカテゴリーに分類される。

- 空気への放出 (Emission to air)
- 物理的な外乱 (Physical Disturbance)
- 海、氷、陸上への排出 (Discharge release to sea, ice and (or) land)
- 騒音 (Noise)
- 発育パターンの変化 (Changes of development pattern)

上記のカテゴリーは船舶について分類したものであり、港湾施設、インフラストラクチャについての環境因子は Thomassen et al. (WP-162) を参照されたい。船舶についての影響因子を通常の運航、事故について纏めたものを表4.5-4に示す。これらの環境因子をベースに環境影響評価を行うことが可能である。その概要については、4.5.4節に解説する。

4.5.4 環境影響評価

環境影響評価 (Environmental Impact Assessment) は、一般的に見解の相違からしばしば混乱が生じ易い問題である。開発側、環境保護主義者などの間で、影響の深刻性を巡って長時間の議論を要する問題でもある。見解の相違もあるが、用語の統一性を欠いていたり評価プロセスに透明性がなく、評価手法そのものの信頼性が乏しいのも一因である。従って、環境評価の原則と実際の手法を明確にして置くことが大切である。NSRの環境影響評価は、大きくは次の3つの要素に分けることができる。①については、既に4.5.3節で、②については4.5.2節で解説した。③の環境影響評価は①が②に与える影響を定性的、定量的に評価する手法であると言える。

- ① NSRにおける船舶の運航が与える影響因子 (Impact Factors) の洗い出し
- ② 重要度の高い生態系要素 (Valued Ecosystem Components) の定量的分布把握
- ③ 環境影響評価の実施

表4.5-4 通常の運航と事故レベルにおけるNSRの活動と影響因子の関係

Main type of activity Key parameters	Specific (<i>in situ</i>) activities	Main type of impact factors	
		Operational	Accidental
Ship			
Identification of ship: <ul style="list-style-type: none"> Type of ship Year of building Class, class notation (incl. hull type: single, double, ice-strengthened) Nationality of ship/flag state 			
Size of ship: <ul style="list-style-type: none"> Dead-weight (dw) Gross tonnage Wetted surface or outer dimensions Length (overall), width, depth 	Ship in operation	Physical disturbance Noise	Physical disturbance Noise
Engine specifications: <ul style="list-style-type: none"> Type of engine(s) Fuel consumption 	Ship operation Energy production <ul style="list-style-type: none"> Main engines Auxiliary engines Boilers, incinerators, refrigerating systems 	Emission to air: <ul style="list-style-type: none"> Exhaust gases Noise	Releases of: <ul style="list-style-type: none"> Fuel Radioactive material
Fuel specifications: <ul style="list-style-type: none"> Fuel type Volume of fuel 	Ship operation Energy production	Emission to air: <ul style="list-style-type: none"> Exhaust gases 	Releases of: <ul style="list-style-type: none"> Fuel Radioactive material
Cargo: <ul style="list-style-type: none"> Type of cargo (UN number) Volume of cargo 	Cargo operation: <ul style="list-style-type: none"> Liquid cargo Dry cargo 	Emission to air: <ul style="list-style-type: none"> Evaporation of cargo Discharges to sea: <ul style="list-style-type: none"> Loss of cargo 	Release of <ul style="list-style-type: none"> Cargo
General standards and procedures: <ul style="list-style-type: none"> Handling of ballast water: shifting routines, tanks segregation, and volume Handling of waste and spill Anti-fouling: type of paint 	Handling of ballast water: <ul style="list-style-type: none"> Shifting Tank washing Handling of waste and spill: <ul style="list-style-type: none"> Cargo residues Fuel residues and sludge Bilge Waste Anti-fouling treatment of hull/wetted surface	Emission to air: <ul style="list-style-type: none"> Combustion of waste Discharges to sea: <ul style="list-style-type: none"> Ballast water Cargo residues Fuel residues and sludge Bilge water Garbage and litter Sewage Release of anti-fouling paint Alien species	Releases of: <ul style="list-style-type: none"> Ballast water Cargo residues Fuel residues and sludge Bilge water Garbage and litter Sewage Alien species
Ship support: <ul style="list-style-type: none"> Helicopter Aeroplane 	Support routines	Noise	Physical disturbance Releases of: <ul style="list-style-type: none"> Cargo Fuel

(1) 生態学的な影響

影響因子は、化学的毒性または機械的なストレスによる鋭敏な生物学的な影響を直接に引き起こす。従って、生物の生息地が化学的また物理的に攪乱を受けると生物の重要な機能である光合成、酵素、神経、体温維持、食性、繁殖などの機能が抑制される。直接影響を受けない生物も餌と捕食される関係が変わることにより間接的に影響を受ける。

死亡率の増加と繁殖力、成長率の低下が最も生物にとって顕著な影響である。比較的高位の生物は、一般的に汚染による影響を中酸化し、順応しようとする。汚染が起きると、細胞レベルである特定の構成された要素を分解、排出しようとする反応が起きる。また、ある生物の種の死亡率が大きくなると、多産により補おうとする。

一方、汚染物質が生物に入り込み順応するような作用が起きると、その生物は環境的なストレスを受けていると考えられる。合成された物質を生物が分解、排出する能力が限界を超えると、汚染物質は生物体の中に蓄積されることになる。多くの生物レベルで、悪影響を推定する効率の良い手法が国際的学会の中で提案されている。一方、環境評価としては、個体の反応ではなく、生息数を把握することが生物学的には重要であることが認識されている。生息数の変化がなければ、影響の深刻度は少ないと考えられる。この考え方は INSROP の環境評価にも取り入れられている考え方であり、ノルウェーの石油開発における環境評価にも採用されている考え方である。

生物学的な影響と環境影響 (Environmental Impact) を発生させるためには、影響因子 (Impact Factor ; 汚染、騒音など) がある時間、生態系に対して作用する必要がある。影響因子と生態系 (Ecosystem) は、時間的にも空間的にも変化しており、同時に起きることは少ない。従って、潜在的な影響は、影響因子と生態系が遭遇した時点のみに対応している (最初は同時に存在するが、その後は汚染、撓乱のない状態になる場合が多い)。損害の最大値を算定するためには、

- 損害の範囲 (Extent of Damage)
- 損害の期間 (Duration of Damage)

の2つのパラメーターを組み合わせる必要がある。

初期の損害は汚染源に曝されたときに相当するが、損害の期間は最大の損害から生息数、構成などが同様の非汚染地域と同等にまで回復する期間を意味する。

全ての生物学的な資源が潜在的に環境復元に役に立つが、それらは主として無機的な因子 (汚染のタイプ、曝された時間、量など) と生物学的な因子 (汚染に対する適応反応、許容及び抵抗力、再生能力など) に分けられる。固有の因子としては、ある汚染に対しては、種、生息数、集団に特有の許容値 (tolerance-sensitivity) ができる場合がある。生息数が激減した極限状態では、生息数は回復することがなく、永続することになる。生息地が物理的、化学的またはその規模において外乱を受けたり、変化を受けた場合、その地域はある生物の生息に向かなくなる。有害物質および環境ストレスによる脆弱性 (Vulnerability) とは、影響因子に対して、ある生態系が潜在的にどの程度の被害を受けやすいかを示すものである。INSROP の環境影響評価では、生態系の個々と代表的な種の脆弱性は、幾つかの指標の相対評価として表示する方法が取られている。生態系の各要素は、あるタイプの影響を代表しているので、これらの指標は影響因子 (Impact Factors) を考慮して決められている。

(2) 脆弱性の評価と潜在的な影響レベル

生態系の各要素に対して、起こりうると考えられる事象を影響仮説 (Impact Hypotheses) として作成されている。INSROP Phase I では、59の影響仮説が選定された VEC に対して

表4.5-5 影響仮説 (Impact Hypotheses) の事例

Valued Ecosystem Components	VEC No	IH No	Impact hypotheses (IH)	Category	
				in general	this scenario
VEC Benthic invertebrates	A1	A1-1	● Accidental discharges of pollutants will affect benthic invertebrates.	B	_*
		A1-2	● Pollution from ship traffic will affect survival of pelagic larvae of benthic invertebrates at certain times of the year.	C	D
		A1-3	● Chronic pollution will cause accumulation, of pollutants in benthic invertebrates.	B	D
		A1-4	● Hardbottom epifaunal organisms can access new substrates by colonising the surface of dumped waste.	D	_**
VEC Marine, estuaries and anadromous fish	A2	A2-1	● Accidental pollution will cause reductions in certain fish stocks if it affects area with high concentrations of fish, such as migration, nursing or feeding areas.	C	_*
		A2-2	● Due to low diversity at each trophic level, effects on one single species will cause major impacts in the rest of the food chain.	B	D
		A2-3	● Discharges of oil or other pollutants in fresh water or along the coastal NSR area will cause increased mortality and reduced production in anadromous fish populations.	C	D
		A2-4	● Physical disturbance to fishes by the ship moving in ice will cause increased mortality in cryopelagic fishes.	C	C
VEC Plant and animal life in polynyas and marginal ice zones	A3	A3-1	● Any effect of NSR traffic will be manifested to a greater extent in polynyas than in other areas.	C	C
		A3-2	● Noise from ship traffic will scare fish, mammals and seabirds away from important feeding, resting and breeding areas in and near polynyas.	C	C
		A3-3	● Oil spills in polynyas will reduce primary production, and thus affect the whole feeding network.	C	_*
		A3-4	● Even minor oil spills in polynyas, from regular NSR traffic, will cause suffering and death to vertebrates.	B	_*

検討された。仮説は表4.5-4に示した NSR を通る船舶の個々の活動 (Specific Activity) と関連づけられており、活動によって各 VEC に生じる影響を示す概念図が各仮説に対して作成されている。

A：影響仮説が無効と判断されるもの。

B：影響仮説は有効であり、すでに実証されており、更に研究を必要としないもの。

C：影響仮説は有効であると考えられるが、更に仮説の妥当性を検討するために調査、モニターが必要なもの。

D：仮説は有効であるが、影響が小さく検討の必要がないもの。

などに各影響仮説は分類できるが、Aが4、Dが14、Bが14、Cが27であり、B、Cと評価された41の影響仮説が影響解析のベースになるものである。事例として、コンテナ船が夏期に NSR を航行するケースについて、VEC である Benthic Invertebrates (底性無脊椎動物)、Marine estuaries and anadromous fish (河口及び遡河魚) に対して検討された影響仮説 (Impact Hypotheses) の事例を表4.5-5に示す。

生物の脆弱性に対する定性的な評価法や環境評価の半定量的方法として、種々の手法が提案されているが、これらの方法を環境評価計画システム (Environmental Assessment & Planning System) として運用する場合はデータの緻密さが問題となる。一般的には、高精度のデータがある場合は半定量的な方法が、一方、そうでない場合は、定性的な評価法が用いられる。図4.5-5に環境評価計画システムの流れと原理を示す。影響評価を調べ、その重要度を算定する方法として ESSA 法と呼ばれる手法が適用された。この方法は潜在的な影響レベル (Potential Impact Level) を評価するスケールとして、空間的スケール (Spatial Scale)、時間的スケール (Time Scale)、攪乱度 (Perturbation Magnitude) の3項目を選び、各々の項目に対して3段階の点数を付与するもので、最高点は3項目を掛け合わせた27点になる (表4.5-6)。更に、評価した点数を3段階に分類し、各 VEC に対して、潜在的な影響レベルを Low、Medium、High の3段階に評価するものである。事例として INSROP GIS を適用し、VEC の一つである Ivory Gull が Impact Factor である航行時の Noise と Disturbance から受ける潜在的な影響レベル (Potential Impact Level) を評価した事例を示す (図4.5-6)。INSROP GIS のデータは定量性に欠けるものが多く、相対的に分布を提示したものが多く、表4.5-6に示すような定量的評価が困難な場合が多い。

表4.5-6 潜在的な影響レベル (Potential Impact Level) を評価するスケール

Score	Spatial scale (S)	Time-scale (T)	Perturbation magnitude (P)
1	Local effect	Short term	Small perturbation
2	Regional effect	Medium term	Moderate perturbation
3	National/international level	Long term	Large perturbation

Principle procedure of INSROP vulnerability assessment

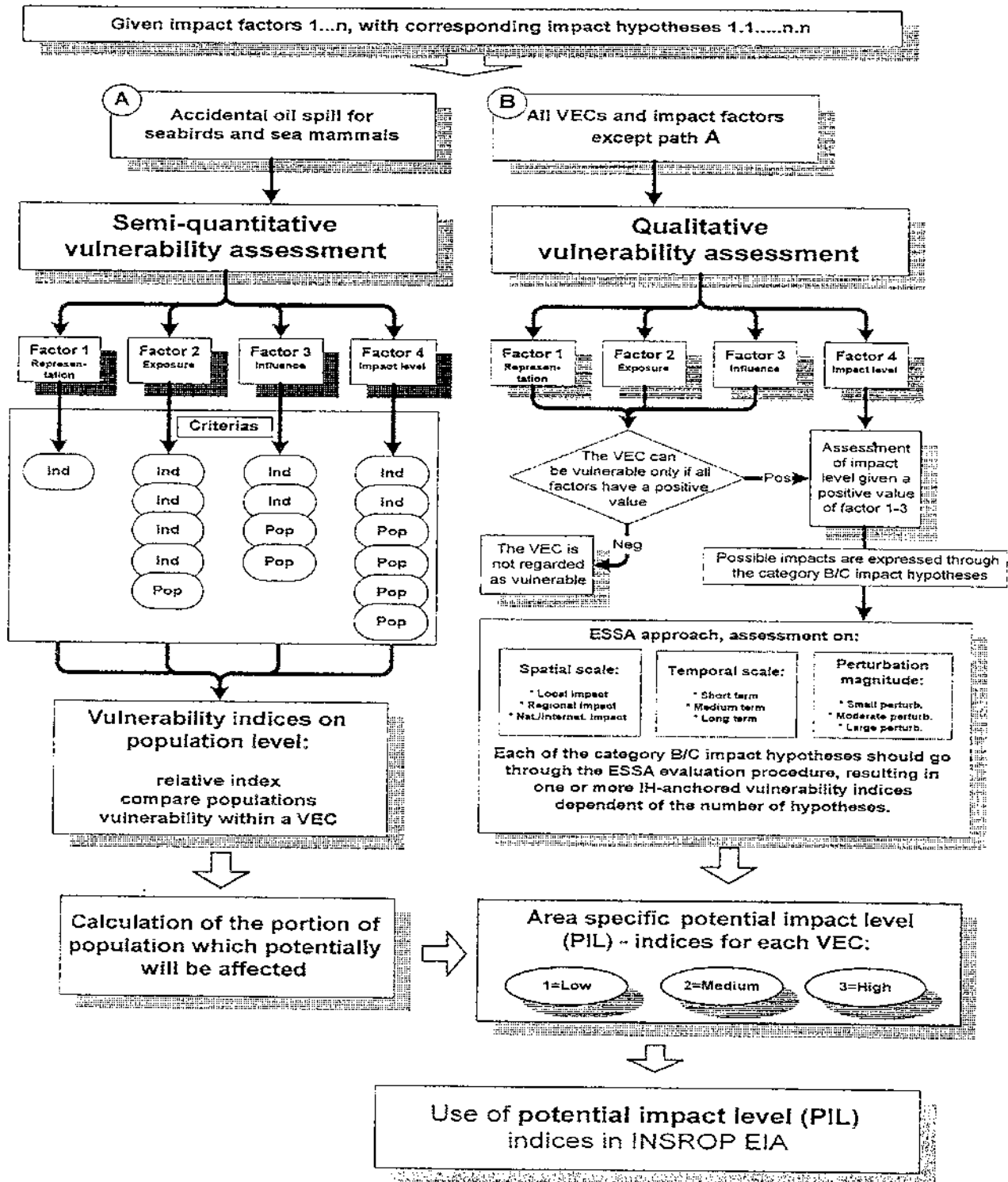


図4.5-5 環境影響評価のフロー

4. 北極海航路の運行技術

The following abbreviations are used: Valued Ecosystem Component — VEC; Dynamic Environmental Atlas — DEA; Impact Factor — IF.

- a) In the beginning was the natural environment ... In a selected area of the NSR, some VECs are common at certain periods of the year. The relevant type of data (in this example on Ivory gull) is stored in the DEA data-base and standard routines are developed for compilation of key information on maps and tables.
- b) Ships of the NSR fleet navigate the selected waters regularly. The spatial navigation pattern is applied to the environment in terms of historical sailing routes. The navigation however represents a certain level of physical disturbance and noise, two types of IFs to the VEC. The spatial range of the IF, in terms of the area that may be influenced by noise, are calculated and applied to the routes by tailored buffer-routines.
- c) By joining the area affected and the Ivory gull distribution, the intersections between the IF and VEC abundance can be identified and the fraction of the populations affected can be calculated.
- d) On the basis of the VEC distribution (3-16a), the range of the IF (3-16b) and the vulnerability to the IF, algorithms are developed to aggregate this information on a grid level, i.e. counting the fractions affected within each cell. The aggregated results are the non-dimensional PIL indices (none, low, medium, high), indicating the potential impact level.

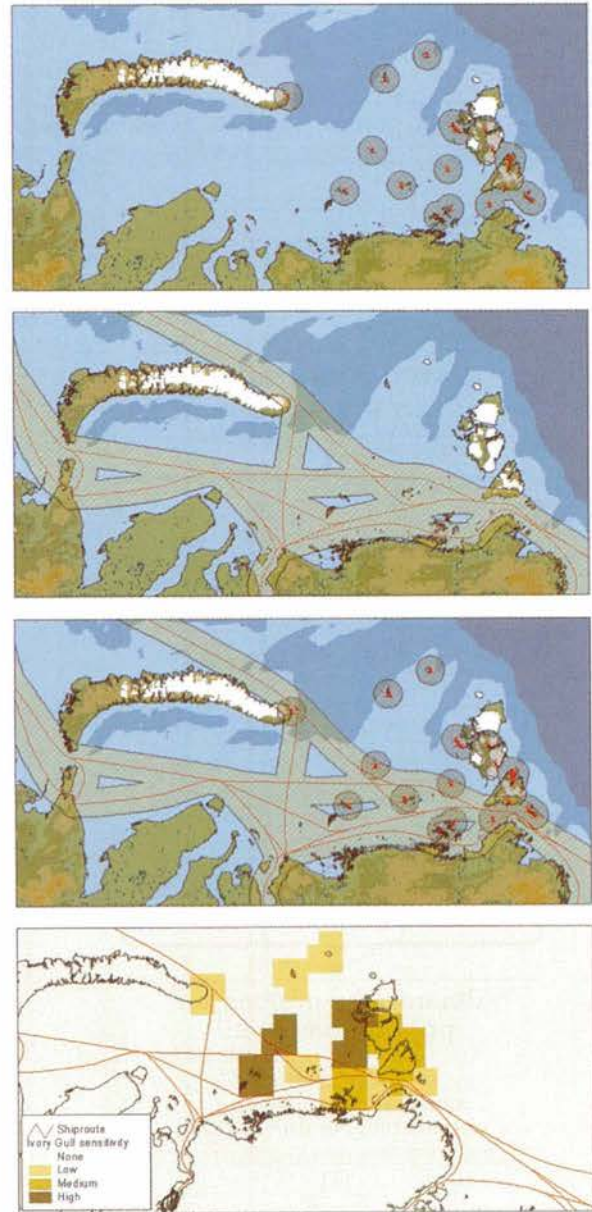


図4.5-6 環境評価の事例

4.5.5 環境関連法規

人間の活動に伴う環境汚染の防除・軽減は、汚染領域の広域化、汚染による将来的影響に対する理解の進展と共に、今や全地球的・全人类的課題として認識されるものとなっている。特に、地球表面積の70%以上を占める海洋の汚染は、地球環境全体に関わる重要な問題である。海洋汚染の汚染源は陸・海・空に様々に存在するが、このうち船舶に起因する汚染は全体の12%と比較的その割合は低い(栗林, 1999)。しかしながら、NSRは北極海という汚染に対して極めて脆弱な海を通る航路であるとともに、その過酷な環境は、他の海域に増して、通過船舶等の事故を懸念させるものである。また、従来は外国船舶に対して事実上閉ざされた航路であったNSRが開

放されることにより交通量が急激に増大するのであれば、船舶起因の汚染は NSR の環境に対する大きな脅威の一つとなろう。

船舶に起因する環境汚染は、一般に、汚染領域が広く、また、その影響及び対策が国際的な性格を有するものとなる。このため、船舶からの廃棄物あるいは事故時における有害物質の流出等による環境汚染の防止・軽減を目的として、国連等の国際機関あるいは関係諸国による条約等の国際法が比較的早くから整備されてきた。この一方、各国政府も、それぞれの独自の観点から、あるいは国際法に対応する目的で、船舶からの環境汚染に対する国内法を制定している。特に、NSR の国際航路としての利用を考えると、これはロシアの排他的経済水域、領海、あるいはロシアが主張するところの内水域を様々な船籍を有する不特定多数の船舶が航行することを意味し、このような船舶に起因する環境汚染に対しては国際法、ロシア国内法、両面からの検討が重要である。

本節では、まず、船舶に起因するものを中心とする環境汚染についての国際法を概説する。次に、北極海に対する環境保護の国際的取り組みについて述べる。最後に、船舶起因の環境汚染に対するロシア国内法を示す。

(1) 国際法

船舶を発生源とする環境汚染として、国際的に最も古くより認識されていたものの一つは、ビルジ水の廃棄等に起因する油による海洋汚染である。このため、1954年、海洋油濁防止条約（International Convention for the Prevention of Pollution of the Sea by Oil）が採択された。本条約は、1958年に正式に発足した国際海事機関（International Maritime Organization: IMO）により、その後数回の改正が加えられたが、1973年、油以外の有害物質・船舶からの排水等へも対象を拡大した MARPOL 条約へと発展した。MARPOL 条約はその後、1978年の議定書をはじめとして、数多くの改正を施されながら現在に至り、船舶からの環境汚染に関わる中心的な国際条約となっている。IMO ではこの他、海洋環境の保護を目的として廃棄物等の海洋投棄を規制することを主たる内容としたロンドン条約（1972年採択）等の条約並びに既存の条約に対する議定書・改正等を採択してきている。また、最近では、油汚染に対する対策・国際協力等に関する OPRC 条約が採択されている。

船舶あるいは海洋に関わる他の国際法においても、直接・間接的に環境保護に関わるものがある。近年発効した国連海洋法条約は、海洋における諸問題を包括的に規律した「海の憲法」とも言うべき条約であるが、全17部の中の1部を海洋環境の保護及び保全に関する規定に割いている。一方、船舶の安全に関わる条約等も、事故による有害物質の流出を未然に防ぐという意味において環境保護に関わる国際法規と言えよう。船舶の安全に関わる最も代表的な条約は SOLAS 条約である。SOLAS 条約の歴史は古く、その第1次条約は1914年にまで遡る。その後2回にわたって新条約が結ばれ、IMO 発足後は、1960年及び1974年にそれぞれ新たに条約が採択され、また、1978年及び1988年に1974年の条約に対する議定書が採択された。

これらの条約の主要なものの概要を以下に示す。

• MARPOL 条約

正式名称は、「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」

4. 北極海航路の運行技術

(The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto)。船舶による汚染防止を目的として1973年に原条約が採択され、その後、規則の早期かつ広範な実施などを図るため1978年に議定書が採択された。このため、一般にはMARPOL 73/78条約と呼ばれる。本条約にはIからVIまでの6種類の附属書があり、それぞれ、順に、油、ばら積みの有害液体物質、容器等に収納された有害物質、船舶からの汚水、船舶からの廃物及び硫黄酸化物(SO_x)・窒素酸化物(NO_x)・オゾン破壊物質の排出規準及び汚染防止に関する規則が示されている。なお、附属書IV及びVIはまだ発効していない。通常運航時における環境汚染防止のための規準に加え、事故時の汚染を軽減することを目的とした規定も設け、1992年の改正ではタンカーの二重船殻についての規定も採り入れている。また、1991年の改正では、油流出時の緊急対策計画(Shipboard Oil Pollution Emergency Plan: SOPEP)の制定を義務付けている。

• OPRC 条約

正式名称は、「油による汚染に関わる準備、対応及び協力に関する国際条約」(International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Cooperation, 1990)。船舶、沖合い構造物、海洋施設及び油関連施設に関わる大規模油汚染事故の被害の軽減を目的として、汚染事故に対応するための各国の能力に関する情報の交換、油による汚染に対する緊急時計画の作成、海洋環境または各国の沿岸及び関係利益に影響を及ぼす恐れのある重大な事件に関する報告書交換、並びに油による海洋環境の汚染に対応する方法についての研究開発に関する相互援助及び国際協力の推進について定めた条約。

• 国連海洋法条約

正式名称は、「海洋法に関する国際連合条約」(The United Nations Convention on the Law of the Sea of 1982)。本条約は、領海、接続水域、排他的経済水域、大陸棚、公海、深海底等の海洋に関する諸問題について包括的に規律した条約である。本条約は、第3次国連海洋法会議(1973年～1982年)において審議され、1982年に採択された。しかしながら、先進国の多くが深海底開発に関わる第11部の規定の内容に不満を表明したため発効が遅れた。このため、国連事務総長主催の非公式会議を続けた末、これらの規定を実質的に改訂する協定が1994年に採択され、同年本条約は発効した。本条約では、その第12部において海洋環境の保護及び保全、海洋環境の汚染の防止、軽減及び規制のための措置等について規定している。

• SOLAS 条約

正式名称は、「海上における人命の安全のための国際条約」(The International Convention for the Safety of Life at Sea)。海上における人命の安全を確保するために必要な船舶の構造、設備等に関する要件を定めた条約。1914年の第1次条約以降、造船技術及び航海術の発達、重大事故の発生等を契機として新たな条約・議定書・改正が採択されてきたが、1974年の議定書は海洋汚染防止の見地からタンカーの安全性の向上と船舶検査の強化を主な内容とするものとなっている。

(2) 北極海の環境保護に関わる国際法及び国際協力

上に述べたように、船舶に起因する環境汚染の防止・軽減を目的とした国際法は着実に整備

されつつある。しかしながら、北極海を含む氷海域の特殊性を考慮し、これに特化した規範・規準を設けているものは数少ない。国連海洋法条約においては、第12部「海洋環境の保護及び保全」の中に第8節「氷に覆われた水域」を設け、排他的経済水域内に氷結域を有する沿岸国に対し、船舶からの海洋汚染の防止・軽減及び規制のための法令の制定・執行の権利を認めている（234条）が、これ以上の規定はない。なお、本条の条文の詳細については4.3節を参照されたい。一方、MARPOL条約では、附属書I及びVにおいて、船舶からの油及び廃物を対象として、これらの排出についての規制を強める特別海域（special area）に南極域を加える改正が1990年に採択（1992年発効）されているが、北極海については特別海域としての指定はまだ無い。

このように北極海の環境保護については、国際法という観点からはまだ立ち遅れた状態にあると言えようが、一方、これを目的とした様々な活動が行われている。この中で、環北極海諸国のカナダ、デンマーク、フィンランド、アイスランド、ノルウェー、ロシア、スウェーデン、アメリカ合衆国及び関係地域の代表により構成される北極圏評議会（Arctic Council）はこのような活動の中心的存在であり、北極海を含む北極圏の環境保護を目的として、北極環境保護計画（Arctic Environment Protection Strategy: AEPS）の下、多方面からの国際的活動を行っている。北極圏評議会ではその活動の目的として5種類の項目を挙げているが、その一つに北極海の環境保護（The Protection of the Arctic Marine Environment: PAME）がある。PAMEは北極海の環境を各種の汚染から保護するための手法の確立、特に国際機関、国際法を通じての確立を目指すものである。北極圏協議会関係諸国はPAMEの一環として、MARPOL条約において北極海を特別海域に指定、あるいは、特に環境破壊が起き易い海域（particularly sensitive area）と規定するようIMOの中で働きかけている。

一方、4.1節に述べたように、極域における船舶の航行全般についての規定を示す“The International Code of Safety for Ships in Polar Waters (Polar Code)”制定に向けての動きもある。Polar Code原案では、極域を航行する船舶の構造・装備等に対する要件に加え、環境保護についての規定も盛り込まれている。これによれば、通常運航時の船舶からの汚染物質の排出は、MARPOL条約の特別海域についての規準あるいは沿岸国の定める規準のうち厳しい方とすることが求められる。

(3) ロシア国内法

ロシア国内法における環境保護に関する認識は、まずその根本法規である、連邦憲法に見ることができる。1993年に制定されたロシア連邦憲法では、その第9条において、国民生活の基本的要件として、土地及び天然資源の保護と使用について述べている。また、第36条では土地及び天然資源の所有について述べているが、これらは環境にとって有害なものであってはならないとしている。一方、第42条では、快適な環境の享受とこれに関する情報を得る権利並びに環境破壊により蒙った被害の補償について述べている。

一方、環境保護についての中心的法規は環境保護法（The Environment Protection Law）である。本法律はソビエト政権下の1991年に制定されたが、1992年及び1993年に一部改定された。環境保護法では、環境保護のための概念を示すと共に、これを達成するための基本的機構、

4. 北極海航路の運行技術

保護の対象、事故等による環境破壊・被害の補償、環境規準の設定、環境保護技術、企業体等への規制、等についての原則が示されている。環境基本法は環境保護の概念及びこれを達成するための手段についての原則を示すものであり、その詳細についてはそれぞれの項目に関わる国内法により定められるものとなっている。なお本法の最後に、国際的な法規・規準の遵守が述べられ、ロシアが批准した国際法等の国内法に対する優位性が示されている。

NSR をはじめとする、海域における環境保護に関する法律としては、大陸棚に関する法律 (The Continental Shelf Law) 及び水域に関する規定 (The Code of Water) がある。両者は共に1995年に制定され、類似した内容の法律となっているが、後者の方が環境破壊に対する責任・補償等についてより詳しい規定を盛り込んだものとなっている。両法に基づいて、国家環境保護委員会 (The State Committee of Environment Protection) 及び北極海航路管理局 (The NSR Administration) が NSR における船舶に起因する環境汚染に対する検査・監督にあたる。国家環境保護委員会は、連邦レベルにおける環境保護政策を担当し、環境保護区域を制定するとともに、レッド・ブックを作成する。また、両組織からの検査官はロシア船、外国船を問わずに検査の権限を有し、違反船については航行を差し止めることができる。

NSR における船舶からの環境汚染物質の排出に関する規準は、外海における汚染防止に関する規則 (Regulations for Preventing the Pollution of Offshore Waters)、外海給水海域の汚染防止のための衛生規準 (Sanitary Regulations and Norms for Preventing the Pollution of Offshore Waters in Water Supply Areas) において定められる。これらによれば、油濁水の排出は、MARPOL 条約の特別海域を対象とした規準を満たすこと、汚水については、船舶が航行中の場合、大腸菌群汚染指標が1リットル当たり1,000以下であることが求められる。廃物の海中投棄は認められない。また、氷の汚染及び廃棄物の氷上への貯蔵も認められない。

NSR における船舶起因の環境汚染に対する規制を含め、ロシアにおける環境保護に関する国内法規の整備は、ソビエト連邦からロシア連邦への体制の変換に伴う一時的停滞により、諸外国に比べて遅れ気味であった (WP-128)。このため近年、環境保護関連の法規・機構等の整備・見直しが急がれている (WP-167)。

4.5.6 まとめ

INSROP の成果は、VEC を識別し、おおよその分布を INSROP GIS に纏めたことと、環境評価法についてロシア側と手法ならびに問題点を共有したことであろう。影響仮説については、カテゴリー C と判定されるケースが殆どであり、NSR が本格的に利用され始めたら、観測点を決め定期的に今回識別した VEC をモニターする必要がある。現在の NSR の船舶通航量であれば、ヨーロッパ北部の大陸部から、大気、河川を通じて北極域に運ばれる汚染源の影響度が、船舶より遥かに深刻である。NSR の汚染によるものか、陸域からの環境影響なのか識別することは難解な問題である。

4.6 地理情報システム

4.6.1 はじめに

地理情報システム (Geographic Information System: GIS) とは、コンピュータ上のデジタル地図をビューアとしたデータベースシステムである。身近な所では自動車のカーナビも、地図の上に経路を表示したり、データベースとして持っている指示音声を選択してスピーカーから流したりと、データベース機能を持っているので、GIS の一種である。しかし、専門的な GIS は、それよりも高機能で、フレキシビリティを持っており、パソコンまたはワークステーション上で動作する汎用ソフトである。INSROP では、当初から GIS に注目し、NSR に関わるロシア側北極海を主としたデータの収集と、より使い易いシステムの構築を行ってきた。これを INSROP GIS という。すなわち、INSROP GIS の狙いは、以下の通りである。

- (1) 北極地域・海域の開発及び利用計画の策定や、北極海航行における航路選定・決定をするためには、容易に活用できるこの地域の情報システムの整備が望まれている。
 - (2) 一方、広大な領域で多岐に亘るトピックスの情報選択にあたり、質の高い意志決定ができる情報としては、地図や写真を活用した GIS が有効である。
 - (3) INSROP GIS は、上記の観点から NSR 地域及び北極海の地理データを可視化し、その検索・解析等を容易に行えるようにして、ユーザに体系化された INSROP 情報を提供する。
- ここでは、INSROP GIS と、その使用例を簡単に紹介する。

4.6.2 システムの特徴と構成

本システムの特徴は、以下の通りである。

- (1) 地理情報とリンクして、ビジュアルで分かりやすいデータ及び解析結果が得られる。
- (2) 日本・ノルウェー・ロシアの共同研究開発により、北極海（特にロシア側）に関する豊富で質の高い環境データが収録されている。
- (3) 北極海域の任意点における必要な環境データが、容易に検索・解析できる。
- (4) 本システムにより得られた各種環境データを用いて、環境汚染影響や航路計画や構造物設計の各種シミュレーションへの利用が期待できる。
- (5) 本システムは、通常のパーソナルコンピュータで動作し、操作が容易である。
- (6) 基本システムに有名な市販汎用 GIS ソフト ArcView を使用し、他のソフトウェアとのリンクなど、汎用性に優れる。

本システムの全体構成を図4.6-1に示す。INSROP GIS のソフトウェアとデータは CD-ROM で供給されるが、このシステムは ArcView をカスタマイズしたものであるため、パソコンには ArcView3.0がインストールされている必要がある。ハードウェアとして、データベース操作に十分な容量のハードディスクとメモリを搭載した Windows マシンが必要である。

本システムは、北極海からロシア北部の地理データ・自然環境・航路・生態系などのデータベース群と、これらを検索・解析したり、新テーマを生成・定義付けたり、保管・印刷する等の処理機能と、これらをビジュアルにウィンドウ画面上に表示させるビュー・テーブル・チャート等の画面処理機能に分かれている。

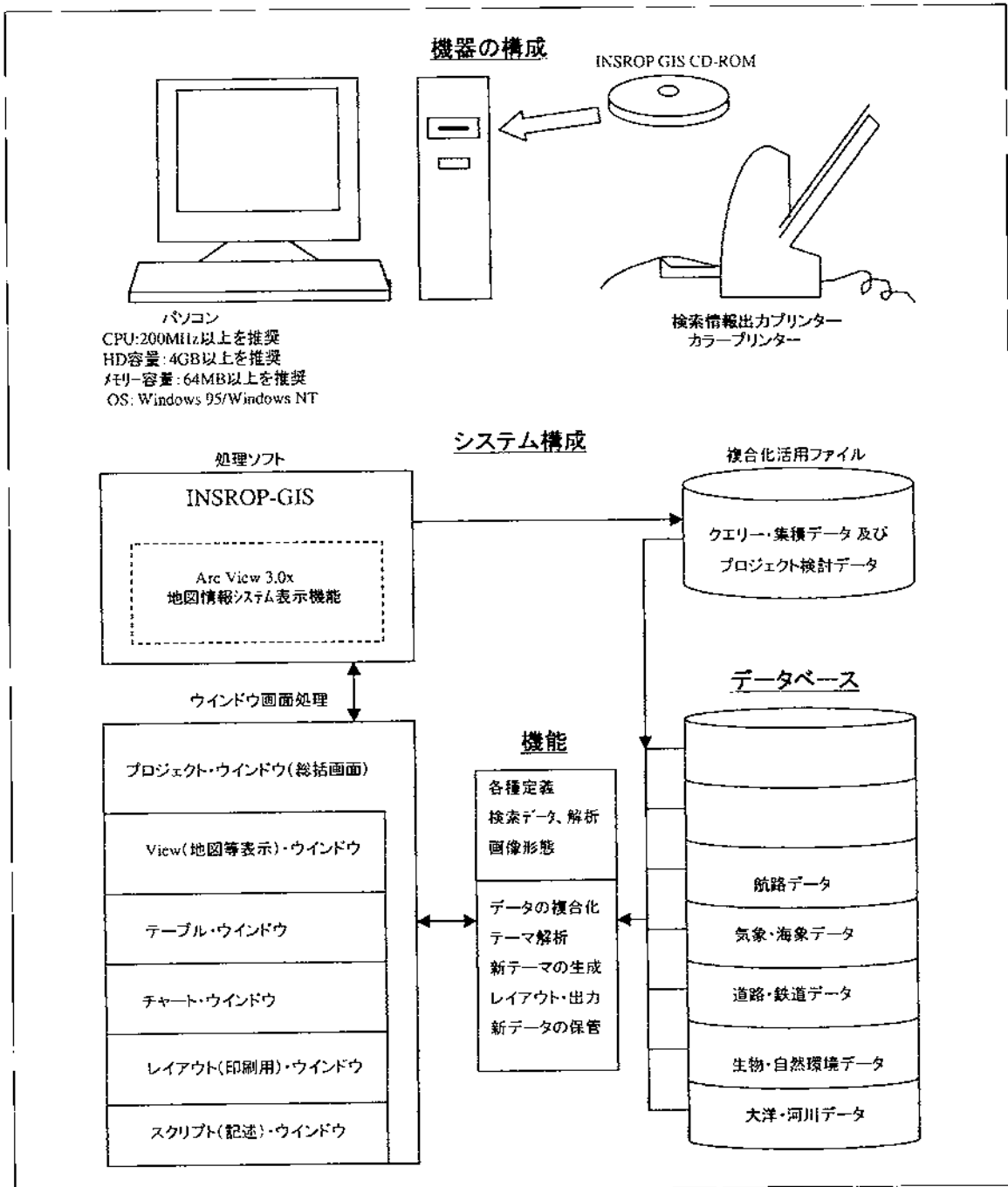


図4.6-1 INSROP GIS の全体構成（機器とシステム構成）

現在市販されている汎用 GIS ソフトウェアは種々あるが、本システムでは、ArcView を用いている。ArcView は米国 ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.) 社の製品であり、高機能と操作性を兼ね備えたツールで、地理データを空間的に可視化し、探索、紹介、解析等が行える。カスタマイズするための言語として、オブジェクト指向プログラミング言語である AVENUE が実装されている。

INSROP GIS は ArcView3.0 上でカスタマイズされたアプリケーションソフトウェアであり、ArcView の全ての機能が利用できる上、INSROP で蓄積した総合地理情報データと解析ツールを

追加して、さらにプレゼンテーション用のレイアウトテンプレートや特別メニューを付け加えたものになっている。

データには、地図情報、ソースデータ、検索・解析・画面表示の定義情報、及びこれらをリンクして統合するためのスクリプトが用意されている。また、NSR やその周辺のデータ解析を容易にするために、ArcView のメニューやヘルプ機能をカスタマイズするスクリプトも含まれている。

4.6.3 データベースの内容

本システムには、NSR を含む北極海及びロシア北部の自然環境データ、航路データ、生態系の分布状態、インフラ情報等のデータベースと、これらを可視化して分かり易く表示するための地図データが含まれている。これらは、INSROP の各種プロジェクトを通して収集されたものである。表4.6-1に、現在登録されているデータの一覧を示す。また、データの表示例として、1月の平均氷厚の分布を図4.6-2に示す。

表4.6-1 INSROP GIS に取められているデータ

カテゴリー	項目	データ・ソース	観測時期	内 容
水 雪	氷の密接度及び厚さ	AARI Ice chart	1972 - 91	全ての年の月別統計値 及び 単年(1983/1990)の月別統計値 (広域を25 x 25 km グリッドに分割のデータ)
		INSROP Phase 1	1953 - 90	NSR に沿って分割した24の点の 全年のデータによる月別統計値
		INSROP Phase 2	1953 - 90	NSR に沿って20海里間隔に分割した点の 各年、月別の統計値
	氷丘の存在率	INSROP Phase 1	1947 - 89	NSR に沿って分割した24点の 2月-4月/6月-8月の統計値
	氷盤の大きさ	INSROP Phase 2	1953 - 90	NSR に沿って20海里間隔に分割した点の 各年、月別の統計値
気 象	気 温	AARI	1964 - 94	NSR 領域内の232点の 全年のデータによる月別統計値
	気 圧	US National Center / Hydrometeorological Center of Russia	1964 - 94	NSR 領域内の385点の 各年、月別の統計値
	風 向 き	INSROP Phase 2	1953 - 90	NSR に沿って20海里間隔に分割した点の 各年、月別の統計値
海洋及び河川	潮 流	AARI	1956 - 95	NSR 領域内の夏季、111点の 平均的な流速と方向
	河 川 流 量	AARI	1961 - 89	月毎の平均流量
	海 水 温 度 塩 分 濃 度	AARI	1960 - 94	NSR 領域内の232点の 季節別(夏/冬)平均
航海情報	NSR の 航 路	INSROP Phase 2	-	NSR に沿った航路データ (距離、水深、位置等)
	航 歴	INSROP Phase 2	-	航海データ
インフラ ストラクチャー	主 要 道 路	Digital Chart of the World	-	ラインデータ
	居 住 地			
環境地理 (生態系の 分布状況等)	海 鳥	INSROP Phase 2	-	点及びポリゴンデータ
	海魚及び遡河性の魚			
	海 獣 類			

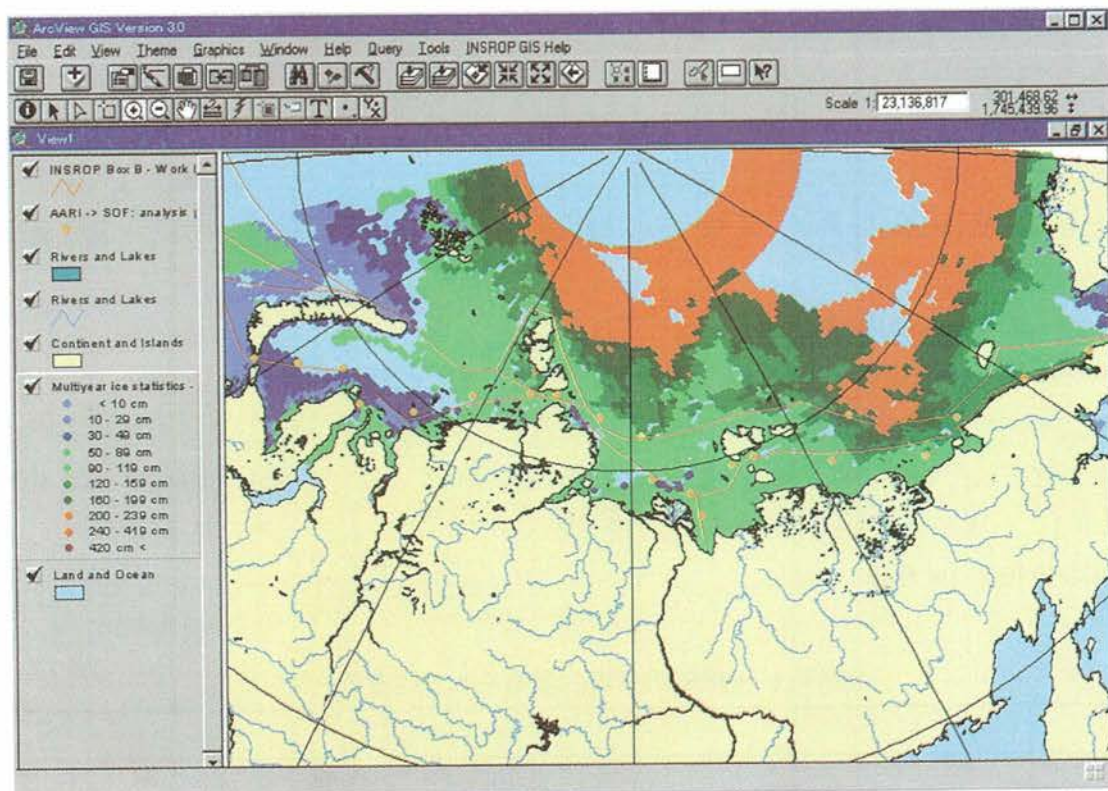


図4.6-2 INSROP GIS のデータ表示例（1月の平均氷厚分布）

各データベース・トピック及び各トピックの中のデータセットについて、以下に述べる。

(1) 地図データ

色々なデータ表示のベースとなる。北ヨーロッパからシベリア地域を経て極東に至る広範囲の北極海の地図が用意されている。

(2) 氷況データ

主に AARI（ロシア北極南極研究所）から幾つかに分けて収集されたため、以下の3種類のデータソースがある。

1. 北極海の広範囲にわたる地点の氷況データ：衛星画像データの解析による過去20年間のデータで、海域を25kmの格子に分割して整理してある。
2. NSR 付近の24観測点のデータ。
3. 第4.4節に記した NSR 航行シミュレーション計算のために収集されたデータ。図4.2-8に示した航路の20海里ごとに、航空機観測や衛星画像から解析されたもので、過去約40年間、月別のデータを整理してある。

データの内容は、以下の項目に示す通りである。

a. 海氷の密接度

10分率または100分率で表現されており、一年氷、多年氷等の氷の種別に対して、平均値、最大値、最小値等の統計量が登録されている。

b. 海氷の氷厚

平均値、最大値、最小値等の統計量が登録されている。

c. 氷丘脈 (ridge) の存在率

距離1km に存在する氷丘の数で示されている。(但し、上記3のデータのみ)

d. 氷盤の大きさ

氷盤の大きさが登録されている。(但し、上記3のデータのみ)

(3) 気象データ

以下の気象データが登録されている。

a. 気圧データ

1964～1989年の US National Center of Atmospheric Research の観測データと、1989～1994年の Hydrometeorological Center of Russia の観測データが登録されている。データ点は、東経40～210度、北緯60～85度の領域に385点設定されている。

b. 気温データ

東経40～210度、北緯60～85度の領域内の AARI のデータに基づいている。

(4) 海象・河川データ

以下のデータが登録されている。

a. 潮流データ

1956～1995年の夏季に係留ブイで観測された水深5～10m の海流データであり、平均的な流速と方位が登録されている。計測点は、ロシア沿岸である。

b. 河川流量

シベリア地域の代表的な河川の月平均流量が登録されている。

c. 海水の密度

d. 海水の塩分濃度

(5) 航海情報

NSR の航路情報で、緯度経度で表された点の連結で示されている。水深やそれぞれの区間の距離が登録されている。

(6) インフラストラクチャー

主要道路と鉄道の地図データや、人口密集地域の位置情報等が登録されている。

(7) 環境地理

環境影響評価のために収集された生物データが登録されている。すなわち、ホッキョクグマ等の哺乳類、鳥類、魚類の分布状況が収められている。

4.6.4 応用例

GIS はデータベースシステムであり、目的に応じて様々な使い方ができる反面、その操作にはやはり習熟が必要である。INSROP GIS は、NSR 利用に特化して操作を単純化したメニューを備えているが、それでも、始めたその日に必要な解析ができる様なものではない。詳しくは INSROP GIS 付属のマニュアルを御覧頂きたいが、ここでは、解析例として航路に沿った氷況の抽出を示す。図4.6-3は、東シベリア海西部を拡大したもので、図中の点列が、データのある点である。これに想定航路を適当な幅を持って設定すると、その幅の中に入るデータ点が抽出される。

4. 北極海航路の運行技術

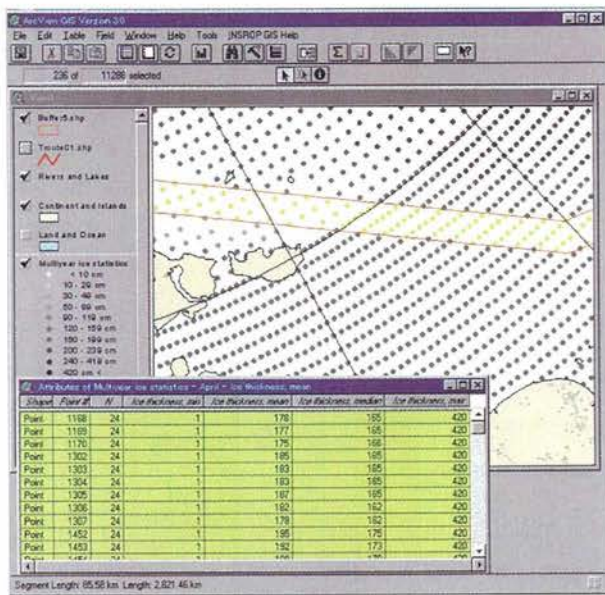


図4.6-3 INSROP GIS の応用例
(想定航路に沿ったデータの抽出)

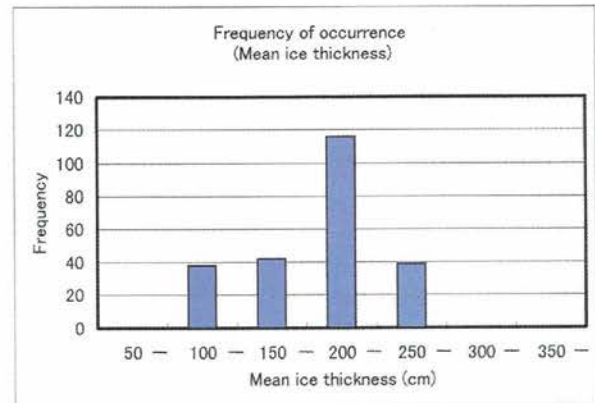


図4.6-4 INSROP GIS の応用例
(想定航路に沿った氷厚の頻度分布)

図では、幅を持った想定航路が赤線で、その中に入るデータ点が黄色の点で示されている。図中の表は、想定航路内に入る点のデータのリストである。これらのデータに対し、GIS ソフトが持っている機能を使って、簡単な統計処理を施すこともできる。図4.6-4は、遭遇する氷厚の頻度分布を棒グラフ化したものである。この程度の処理ならば、GIS ソフト内で行うことができる。また、定型の処理ならば、そのスクリプトを書いておき、必要に応じてメニューに登録することも可能である。

上記のように簡単なデータ処理は GIS ソフト内で可能であるが、数値予報等の複雑な計算と組み合わせるには、どうしても外部プログラムとのリンクが必要になる。GIS はデータベースソフトであるからこの様な外部処理とのインターフェースも考慮されており、ダイナミックリンクの機能を有するソフトも多い。また、テキストファイル、Excel ファイル、dBase ファイル等の主要なデータフォーマットのファイルを使ったデータの入出力もできるので、ダイナミックリンクでなくても、データのやり取りは可能である。図4.6-5は、この様な機能を利用して考えられる GIS をデータベースとビューワとして使用した環境変動予測/評価システムの想定図である。この様に、GIS は、将来のしっかりした環境影響評価システム、さらには環境調和型開発の基礎技術の一つとなる可能性を有している。

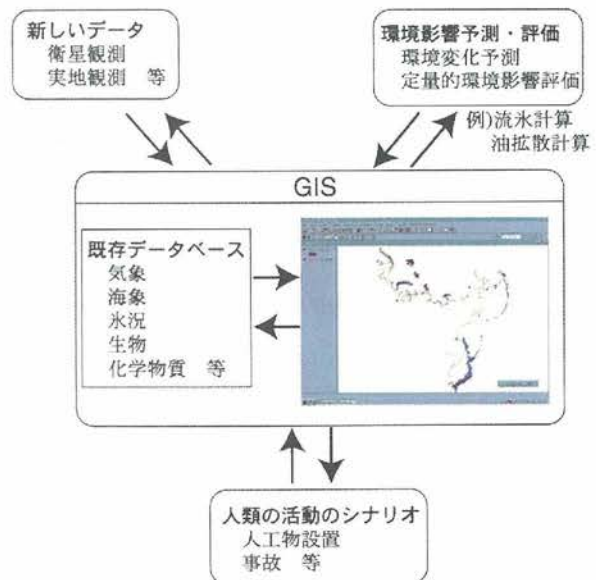


図4.6-5 GIS を中心とした環境影響予測・評価システムの想定図

5. 北極海航路実船航海試験の実施とその評価

5.1 はじめに

NSR 利用の可能性は、INSROP で種々検討されたが、それらは北極海データベースの作成・整備など、どちらかと言えばデスクワーク的なプロジェクトの多いのが特徴である。一方、日本独自のプロジェクトとして、模型試験ベースの氷海航路航行用最適船の研究開発が行われてきた。しかしながら、模型実験と環境データが揃えば最適船が設計・建造でき、最適な運航ができるかと言え、そうではない。実際の航行環境、運航技術、船体性能・応答などの定量的データ、ノウハウなどを実体験とともに取得し、それを活用して将来の研究開発の糧とすることが必要不可欠である。そのため、日本財団の支援の下、シップ・アンド・オーシャン財団の実施による NSR 実船航海試験が1995年夏に行われた。本実船航海試験の目的は、NSR の実態を実体験を通して総合的に把握するとともに、衛星氷況データ、船体性能データなどの多岐にわたる情報の統合化による、将来の安全かつ効率的な氷海航行のための基礎データを取得することである。

ゴルバチョフ書記長による1987年10月1日の NSR 開放宣言 (2.2節) 以降、NSR 最初の西側資本による商業航行は、ドイツのハンブルクの海運会社 Detlef von Apen 社が、今回用いた Kandalaksha の姉妹船の SA-15型氷海商船 (4.1.2(1)節) Tiksi をチャーターして、ハンブルクから千葉まで14,109トンの金属貨物を輸送した航海である (Matyushenko, 1992)。当船は、1989年7月12日にハンブルクを出港し、同年8月4日に千葉に到着した。その後、7月から10月にかけて、NSR 利用によるヨーロッパ・極東間の海上輸送が、幾度か行われた。西側船としての最初の全 NSR 航行は、1991年に行われたフランスの観測船 L'Astrolabe の、西から東への航海であった。但し L'Astrolabe は僅か950トンの小型船であり、航海そのものもデモンストレーション色の強いものであった。また、1995年夏の本試験航海以降、1997年秋にフィンランド船 Uikku が、最初の西側貨物船として、プロビデニヤ湾まで全 NSR を航行している。貨物はディーゼル油であった。(Säävälä, 1999)。その他にも、最近では、ラトビア、フィンランド、ドイツといった非ロシア船による NSR 航行実績があるようである。

これらに照らし合わせて、本試験航海の意義は、使用した船はロシア貨物船であるものの、通常の貨物を搭載した航海に対して、種々の分野の専門家、学識経験者からなる国際調査団が全航海を通して乗船し、詳細にわたり客観的に航海を評価するとともに、自然環境や船舶の氷中航行性能についての基礎データを収集したことにある。

5.2 実験計画

試験船としてロシアの第一級氷海商船である SA-15型シリーズ船 (最初に建造された船名から Norilsk 型とも呼ばれる) を選定し、1995年夏に日本からヨーロッパまでの実船航海試験を、貨物積載状態で行うこととした。4.3.2節に記されているように、ロシア発行の“Guide to Navigating through the Northern Sea Route”によれば、NSR の航行には4カ月前の申請が必要である。しかし、本航海は科学的調査を含むため、ロシア連邦共和国閣僚会議決定第400号「ソ

連の北極海沿岸地用接続水域における学術遠征活動実施および観光旅行実施に対する許可の交付に関する臨時規則の承認について に従い、実施6カ月前までの申請が別途必要であった。

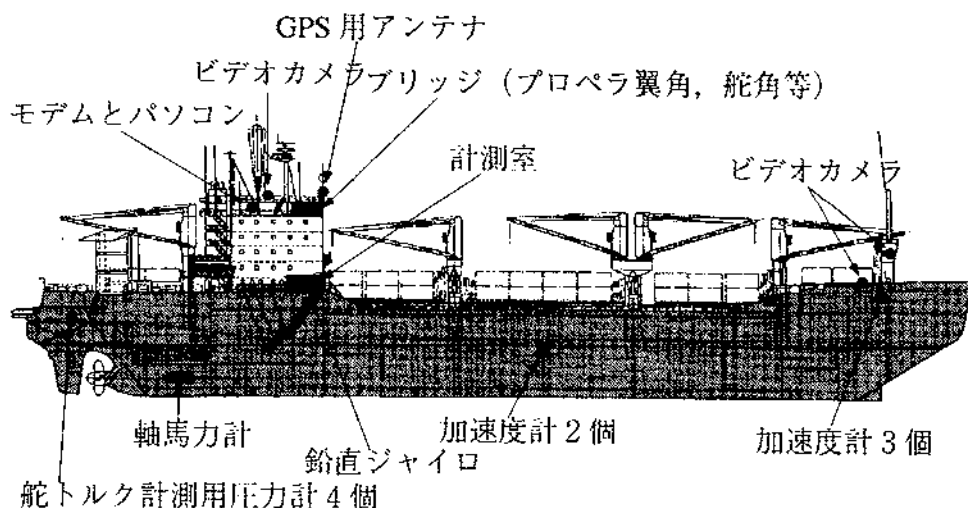
そのため、試験についてのロシア政府よりの許認可は、INSROP の共同実施者であったロシア中央船舶海洋設計研究所(CNITMF)と打ち合わせの上 CNITMF から申請し、1995年3月30日付けで許可証が交付された。試験船所有者のムルマンスク海運会社(MSCO)との備船契約交渉は5回にも及び、1995年6月、漸く合意に至り、備船契約が行われた。最終的に試験船として備船された Kandalaksha は、1982年から19隻建造された SA-15型船の中の1隻で、1984年にフィンランドで建造された全長174m、極域積載貨物量14,700トンの多目的貨物船である (図5.1)。ロシア商船としては最高のアイスクラス ULA に属する。本船は中国・ロシア沿海州でマグネサイトと硼酸を積載した後、試験準備のため1995年7月29日、横浜港に入港した。8月1日出港までの3日間にて、下記の計測器・解析器を搬入・取付・据付・配線・動作試験を行った。センサー等配置場所を図5.1に示す。全てのセンサーの信号は居住区の一室に設けた計測センターに配線し、記録・解析作業を行った。

- GPS と解析用パソコン：船位置、船速、旋回径の測定など。
- モデムとパソコン：通信室に設置し、衛星氷況画像ファイルをコンピュータ通信で受信。
- 加速度計：船首に3個、船体中央部に2個。氷中での船体加速度を測定。
- 鉛直ジャイロ：計測センターに据付。船体のピッチング・ローリング運動を計測。
- CCD-TV カメラ：船首部2台、船側1台。氷況をビデオ記録。画像処理による氷密接度・氷厚の計測。
- 軸馬力計：プロペラ軸に取付。プロペラのスラスト、トルク、回転数、軸馬力を測定。
- 圧力計：操舵機室の舵ピストン圧力計測用に4個取付。舵トランクに換算。
- アナログデータレコーダ、パソコンセット数式：計測室に設置。センサー信号の記録・解析。
- 電気伝導度計、屈折式塩分濃度計：海水の塩分濃度を計測。

この様に、貨物船を用い、更に貨物積載状態で試験して種々の定量的計測を行ったことが、本実船試験航海の特筆すべき点である。

本試験航海で行った調査活動を要約すると、以下の通りである。

- (1) ロシア語で記録される航海日誌を英語に転記し、解析する。また、基礎データとして、航路に沿った氷況を全て記録する。これらを用い、さらに文献等によるこれまでの航海実績・データと照らし合わせ、本航海全体を評価する。
- (2) 人工衛星による氷況観測画像を航海中順次入手し、それらの氷海航行への有効性を評価する。
- (3) 推進性能試験、旋回性能試験を実施して、SA-15型船舶の氷中航行性能を定量的に把握し、評価する。
- (4) 本航海での実体験や船員の経験談を通して、NSR 航行における技術的課題を明らかにする。
- (5) 海水の塩分濃度や水温の他、気温・気圧・雲などの気象観測を行い、航路に沿った自然条件を調査する。
- (6) 本航海や文献データ、さらには船員の意見などを通して、NSR の商業航路としての可能性を検討する。



全長	174.0m	航続距離	16000NM
垂線間長	159.6m	タンク容量:	
型幅	24.0m	燃料重油	3740m ³
型深さ	15.2m	ディーゼル油	783m ³
喫水 (夏期満載状態)	10.5m	潤滑油	85m ³
喫水 (北極圏満載状態)	9.0m	飲料水	174m ³
載荷重量 (夏期満載状態)	19442ton	清水	501m ³
載荷重量 (北極圏満載状態)	14700ton	バラスト水	972m ³
主機関	2×Wärtsilä Sulzer 14ZV 40/48	居住者数	52persons
出力	2×7700kw(21000BHP)		
プロペラ	1×CPP, 4翼, 直径=5.6m		

図5.1 Kandalaksha 主要目及び計測機器取付け位置

(7) 調査団に含まれるプロのテレビ・ビデオ番組ディレクターとカメラマンにより、調査活動の様子を記録し、英語版及び日本語版の記録ビデオを作成する。

これら多岐にわたるミッションを遂行するため、調査団は日本、ロシア、カナダからの国際的な構成とし、専門分野も造船、航海、計測、海洋、海氷、気象の広い範囲から団員を選定した。調査団の構成は、日本人15名、ロシア人2名、カナダ人1名の計18名であり、お互いおよび本船乗組員との綿密な協力の下、船体に取り付けた種々のセンサや解析装置を駆使して、所定の調査活動を行った。本船は、Sokolov 船長以下31名の乗組員全員ロシア人であったが、NSR 啓開という大きな目的のために心を一つにし、言葉の障壁を乗り越えて、期待以上とも言える最高の協力関係を築くことができた。

5.3 実験結果

本実船試験航海は、1995年8月1日に横浜港を出港し、同年8月28日にノルウェー北端のキルキネス港に入港することにより、成功裏に終了した。NSR の氷況に関しては、1995年は異常な年であった。7月終わりに調査団に合流したロシア人団員によりもたらされた情報によると、NSR の東側において特に氷況が厳しく、ロシア観測史上、1948年以来2回目という厳しきであった。しかしながら、8月中旬に本船がベーリング海峡を通過するまでに北極海に低気圧が居座って南

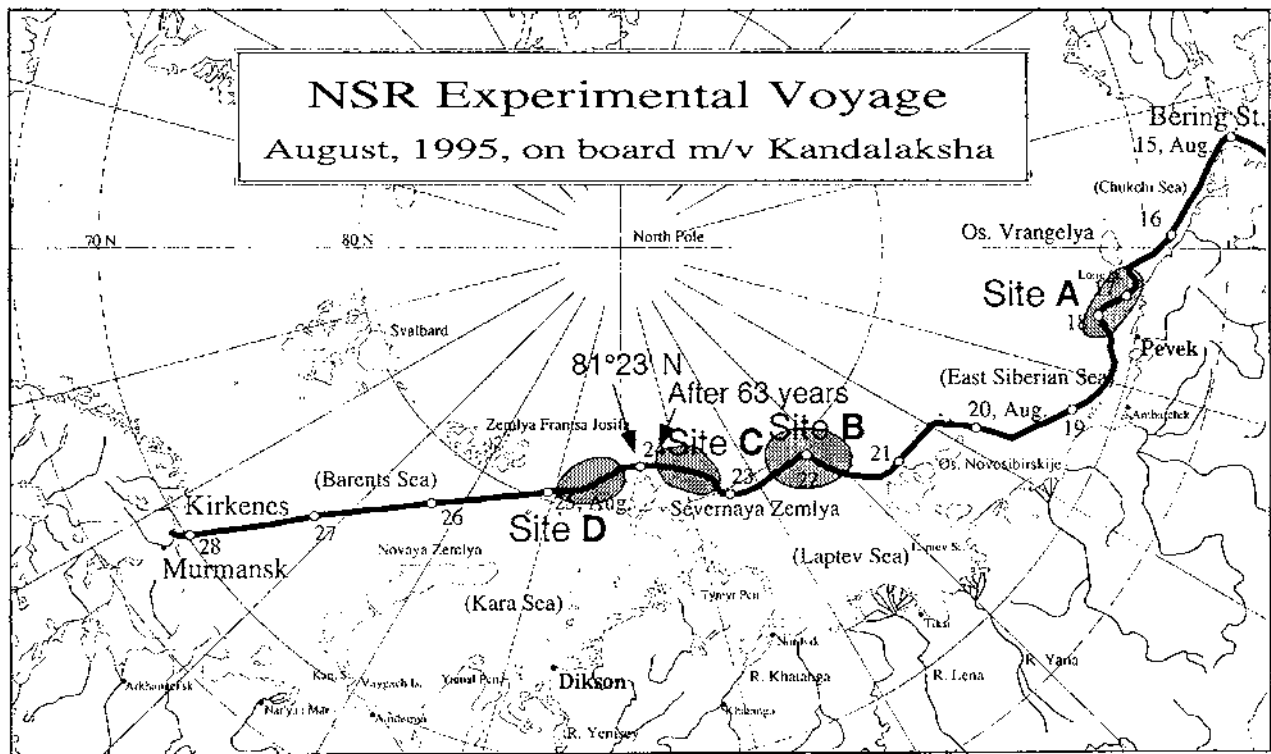


図5.2 航路図と実験場所：Site A ～ Site D
 (航路上の数字は、船内時間でその日付けの正午の位置を示す)

西風を継続してもたらしたため、シベリア北岸沿いの通常の NSR には結局氷が殆ど無いという状況となった。そのため本船は実験用の氷を求めて、北に航路をとることとした。本航海のベーリング海峡通過後の航路図を図5.2に示す。また、水中試験遂行中の Kandalaksha を図5.3に示す。

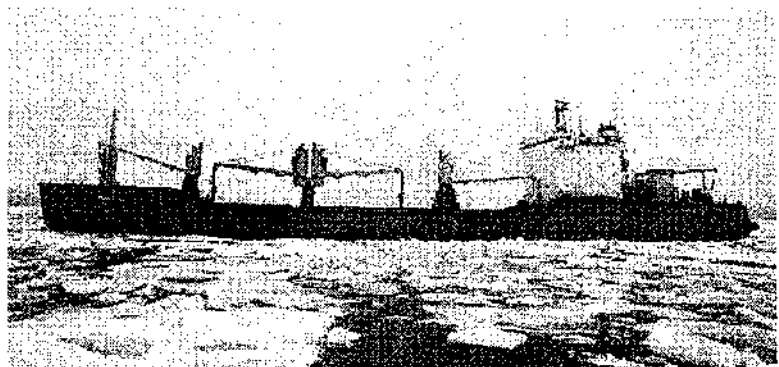


図5.3 氷海実験中の Kandalaksha : 1995年8月22日

図5.4に、航路全体に付いての約1時間平均の船速の推移を示す。この船は、2つのエンジンを搭載しているが、燃費向上の為、通常は1エンジンで運航された。平水中での1エンジン使用時の船速は約12ノット、2エンジン使用時は14ノット強である。横浜からキルキネスまでの総航行距離は6,887海里、平均船速は11ノットであった。また、氷海域では、図5.2の Site A (ウランゲル島付近) で、氷密接度の低かった前半では8～10ノット、後半は氷密接度が上がり2～4ノットであった。ここは、多年氷の氷盤群が多く、航行中、最も厳しい氷況であった (アイオン大氷域：3.2.3節)。一方、Site B では4～5ノット、Site C では6～8ノット、Site D では8～10ノットであった (タイミル大氷域およびカラ海北部大氷域：3.2.3節)。これら船速と氷密接度の関係を図5.5に示すが、密接度が高くなると船速が遅くなるという傾向が見て取れる。なお、航行中、連続した巨大氷盤に遭遇することなく、殆ど中氷盤以下の氷盤群で構成された氷況であった。

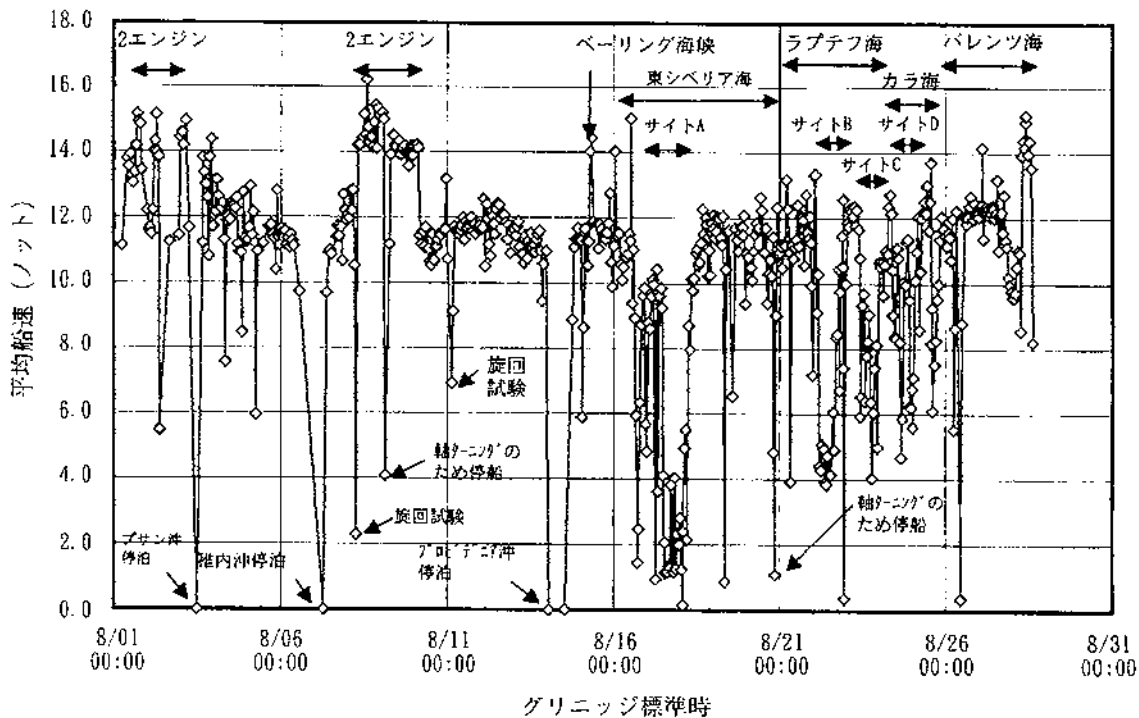


図5.4 1時間毎の平均船速の推移

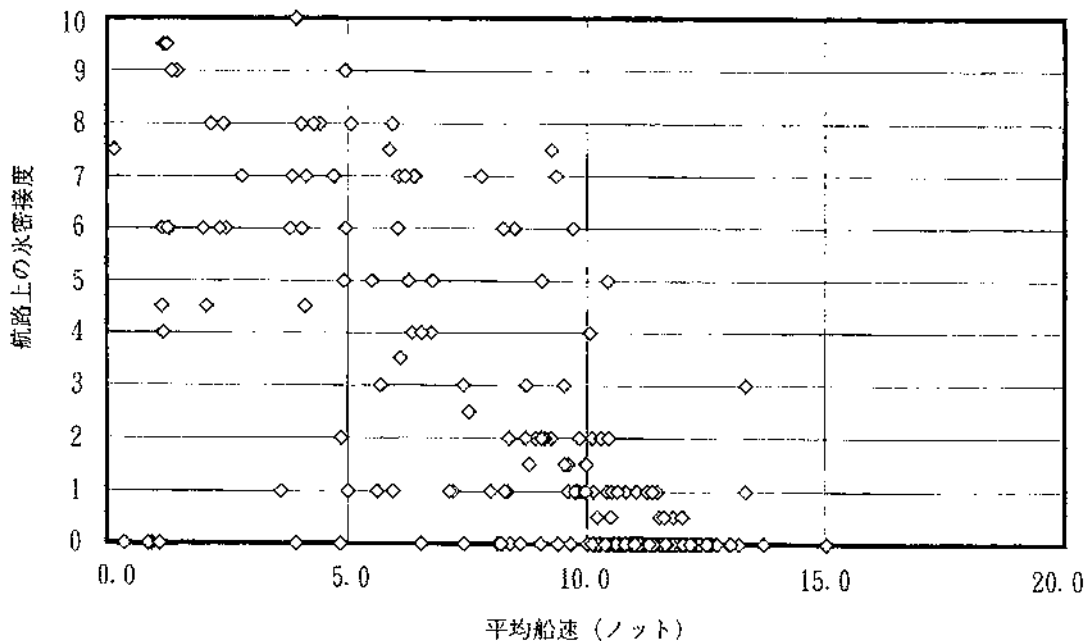


図5.5 平均船速と航路上の水密接度の関係

その他の主な結果は、以下の通りである。

- (1) 北寄りに航路をとったことにより、通常のNSRより距離を短縮できた(図4.2-6)。ベーリング海峡からキルキネスまでの3,140海里を、13日間で航行することができた。実験やビデオ撮影などの調査活動による遅れは約3日間と見積られるので、キルキネスに直行すれば10日以内の短期間航海であったと推測される。これは最も短い航海期間に属する。氷況が穏やかであ

5. NSR 実船航海試験の実施とその評価

ったこと、また衛星情報などにより、適宜最適な航路を選定できたことによる。

- (2) 本船は、砕氷船の支援無しに、セベルナヤゼムリヤ群島の北、北緯81度23分（本航海の最北点）を通過した。これは、1932年に蒸気船 Sibiriyakov が通過して以来の、63年ぶりの快挙であった。
- (3) 調査団のロシア人チームにより、船橋からの目視による氷況の24時間観測を行った。観測は、ロシアとカナダの調査員を中心に作成したデータシートを用い、CASPPR（カナダ北極域船舶汚染防止規則）の氷海域船舶運航管制システムに最近取り入れられた Ice Numeral（巻末資料5-2参照）を計算した。また、国際規格による氷況マップを作成した。一例として、東シベリア海の氷況マップを図5.6に示す。本船は、航行に支障無い非常にまばらな氷塊が点在する場合も

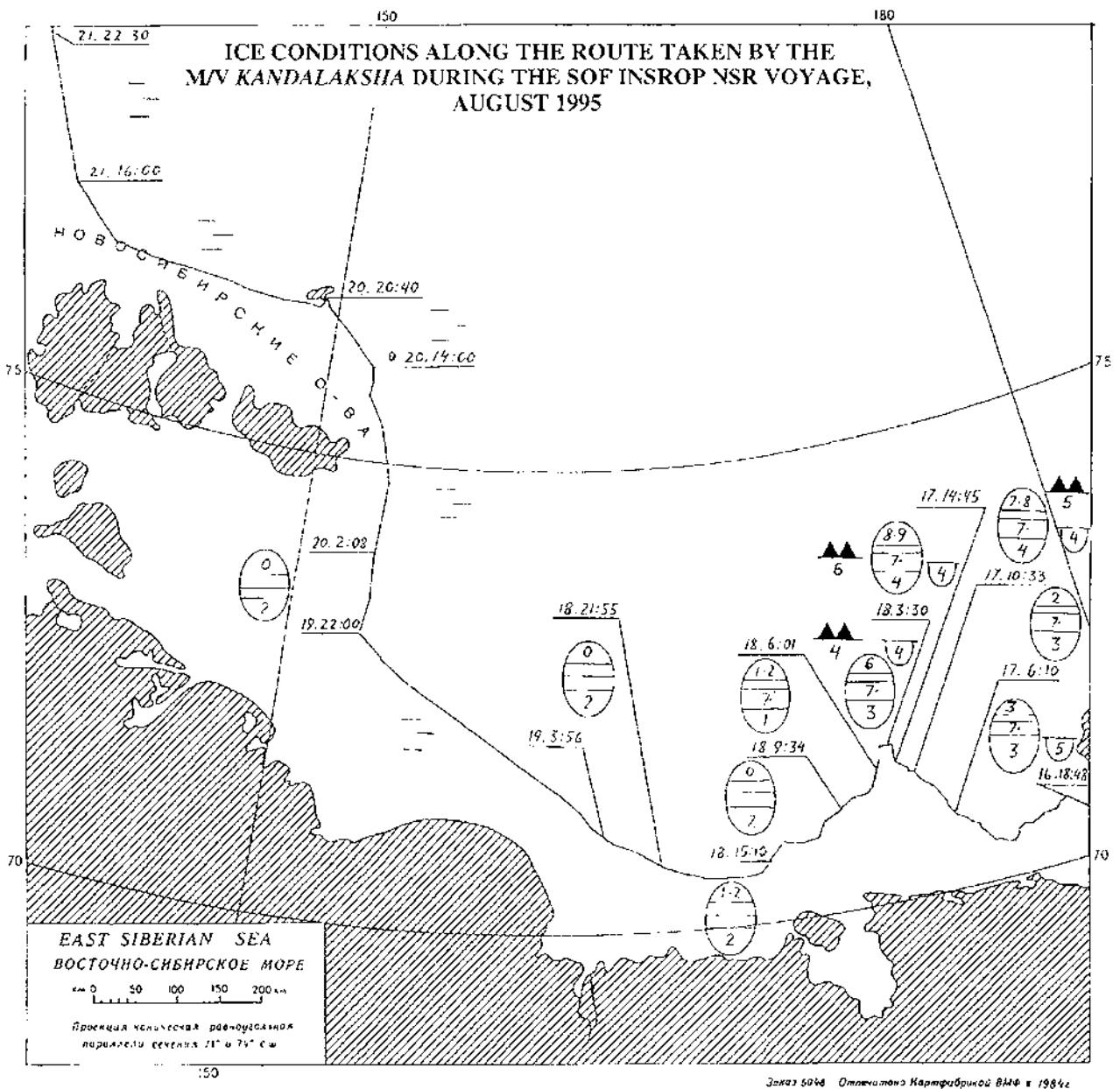


図5.6 氷況観測結果例（東シベリア海）：国際表記法に基づく標示
（海水の国際表記については、巻末資料4参照）

含めて、合計6.5日間、氷中を航行した。平坦氷と見做せるような均質な大氷盤に遭遇することは無かった。

その他に、船体に取り付けたビデオカメラの映像を画像処理することによる氷密接度・氷厚の計測も行い、上記目視観測の結果と比較・検討した。

- (4) ノルウェーの NERSC (ナンセン環境・リモートセンシングセンター) との緊密な連絡により、同研究所から2種類の衛星氷況データを、航海中、継続的に取得した。1つはヨーロッパの資源探査衛星 ERS-1の SAR (合成開口レーダー) による画像である。これは、空間解像度は高いものの、幅わずか100kmの狭い範囲しか見られない。その例を図5.7に示す。もう一つは、NOAA (米国海洋大気庁) から NERSC のデータ処理・経由で取得した SSM/I (Special Sensor Microwave Imager) 画像である。これは、解像度は低いものの、広範囲なデータが得られる。これらの氷況画像は、通信衛星インマルサット経由の FAX 受信の他に、同回線を用いたコンピュータ通信によって、高品質の原画像を入手した。これら衛星氷況画像の撮影位置を図5.8、5.9に

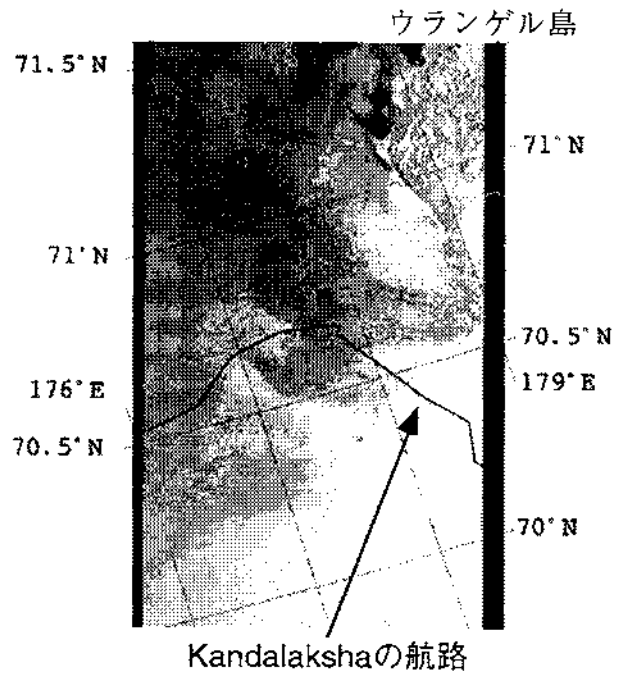


図5.7 SAR衛星氷況画像の例
(ウランゲル島南西、1995年8月17日)

示す。なお、現在ではカナダの打ち上げによる RADARSAT が稼動しており、それに搭載されている SAR センサは、最大観測幅500km になり、大変有効と思われるが、現在の所、画像が極めて高価なのが欠点である。

上記の他に、ロシアのペベク、ディクソンにある航行官制所から、2種類の氷況情報を入手した。一つは、ペベクからテレックスにて入手した航空観測による数値データ表であり、調査団のロシア人専門家により、アイスマップに加工した。もう一つは、ディクソンから入手したロシアの観測衛星 OKEAN-1のデータを基にした手描きのアイスマップである。

- (5) 上記氷況データを基に、航路についての議論と決定を行った。本航海においては、通常より北寄りの航路を採ったため、残念ながら、SAR 画像は航路決定に殆ど役立たなかった。これは、SAR 画像の撮影位置と時刻を何カ月も前に指定しておかなければならないという事情による。一方、SSM/I 画像とロシア側アイスマップは大変役に立ち、セベルナヤゼムリヤ群島北の北極岬単独通過の快挙の主要因となった。また、これらのデータから、船が実際に遭遇する将来の氷況を予測するのも大変重要である。本航海の場合、調査団中のロシア人研究者と本船船長の予測は大変有効であった。将来、このような経験的な予測に、コンピュータによる数値予測を加味すれば、効率的かつ正確な予測に繋がるものと期待される。

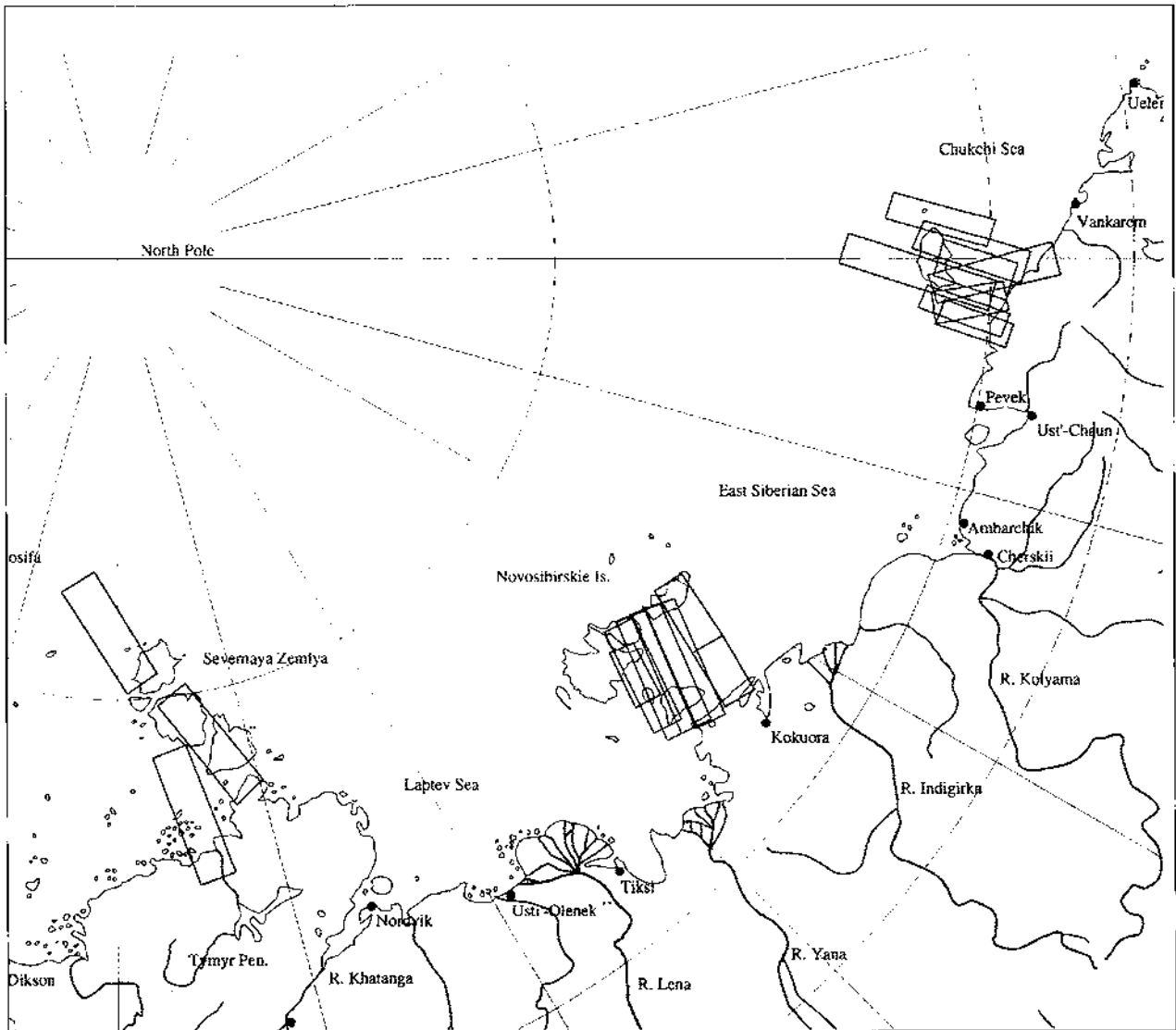


図5.8 SAR 衛星氷況画像取得位置及び範囲

SSM/I 画像は本航海で非常に有用であったものの、その空間解像度は25kmと粗く、詳細な情報は得られない。これは本来、日単位以上の中・長期的航路決定のための支援や SAR の詳細情報取得のための補助的情報に用いるべきものである。SAR については、RADARSAT や ICESTAR 計画による広範囲の両像を活用すれば、その有効性は深まる。データ取得手続きの融通性の向上、現場データの蓄積による、SAR 信号から氷況に変換するためのアルゴリズムの確立などが、今後の課題である。ロシア航行官制所からの、豊富な経験に基づく氷況情報は非常に信頼できるものであるが、現在のロシア内の混乱による情報の少なさが問題である。氷況情報は氷海航行に必要不可欠なものであるから、これらのインフラ整備は大変重要な課題である。

- (6) 氷海航行における情報の重要性、特に氷況情報の重要性が再認識された。しかしながら、ラプテフ海の大部分で、インマルサット衛星による通信が不可能になる(図4.2-10)。この問題を解決するためには、ロシア沿岸の通信設備の充実が必要である。また、実際の商業的運用を考

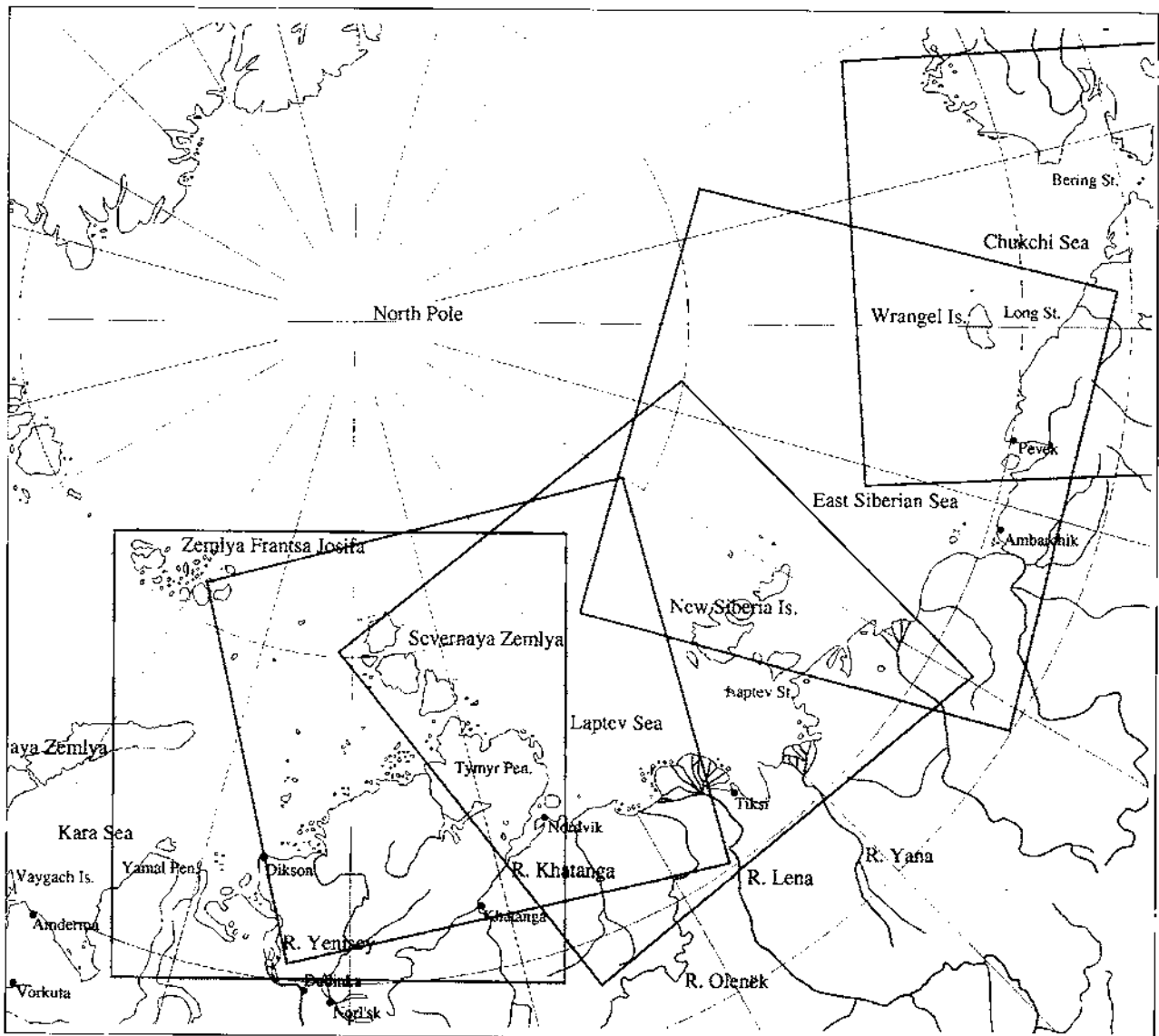


図5.9 SSM/I 衛星氷況画像取得位置及び範囲

えると、出港前に NSR を選択するか南回り航路を選択するかの決定をする必要があり、そのためには、航行1カ月前には NSR 全体の氷況情報と予報が必要である。これらは責任ある公的機関により成されるべきである。

- (7) 本船に軸馬力計をはじめとする種々の計測器を取り付け、その航行性能の定量的計測、すなわち氷中及び開水中の推進性能試験・旋回性能試験を、図5.2の Site A～D にて約150回行った。これら計測器からのデータは、船内計測室に設置した記録器・解析機に自動記録され、船内解析をできる限り行った。推進性能試験の結果を図5.10、5.11に示す。氷中性能試験は、東シベリア海の多年氷盤群中、およびラプテフ海、カラ海の一年氷中で行った。主機関の連続最大出力が21,000馬力であるのに対して、計測した軸馬力は、最も条件の厳しい多年氷中航行でも高々13,000馬力で、船速1～6ノットで航行できた。本船は NSR を通年航行し、ロシアの港に入港することを想定して設計されたためにこの様なエンジン出力になっているが、必ずしもこの出力は適当でなく、夏期航行には大き過ぎ、冬期や春期航行には小さ過ぎると思われる。

5. NSR 実船航海試験の実施とその評価

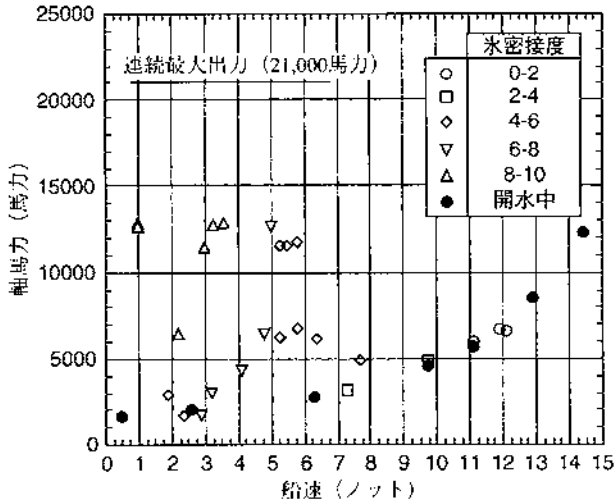


図5.10 多年氷中での推進性能試験結果 (Site A)

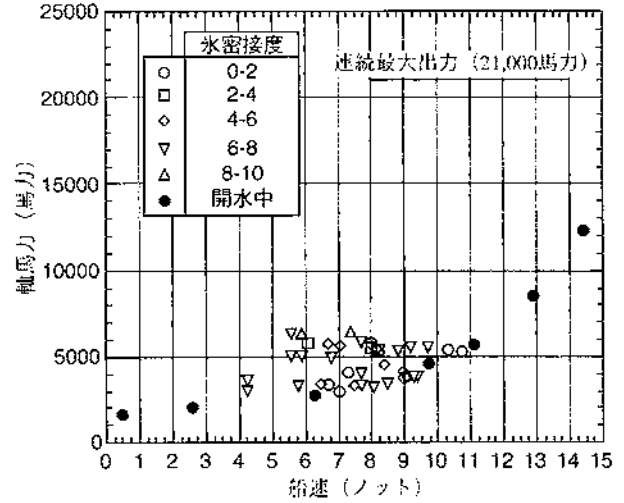


図5.11 一年氷中での推進性能試験結果 (Site B&C)

(8) 推進性能試験の結果を、氷況観測結果から得られた Ice Numeral と対応付けた。Ice Numeral と船速の関係を図5.12に示す。Ice Numeral が減少すると船速が減少し、エンジン出力が増加するという傾向は合理的である。カナダの規則 (CASPPR) における Ice Numeral 導入の意味は、「実績データによると、Ice Numeral が0のところでは船速がほぼ3ノットになる。行動できる最低船速を3ノットと考え、Ice Numeral が0以下では危険海域とみなす」というものであった。しかし今回の結果では、Ice Numeral が0で4~9ノットの船速が出ており、より安全側（航行し易い）ということになっている。CASPPR においては、今回のように夏期に融けかかった氷の場合には、Ice Numeral の計算法を修正しているが、今回の結果を見る限り、その修正をもっと大きく行っても良いのかも知れない。

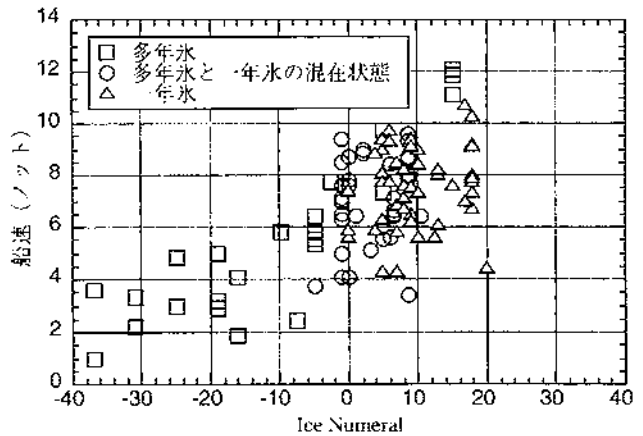


図5.12 Ice Numeral と船速の関係

(9) 氷密接度4-6における旋回半径は、開水中のそれとほぼ同じであった

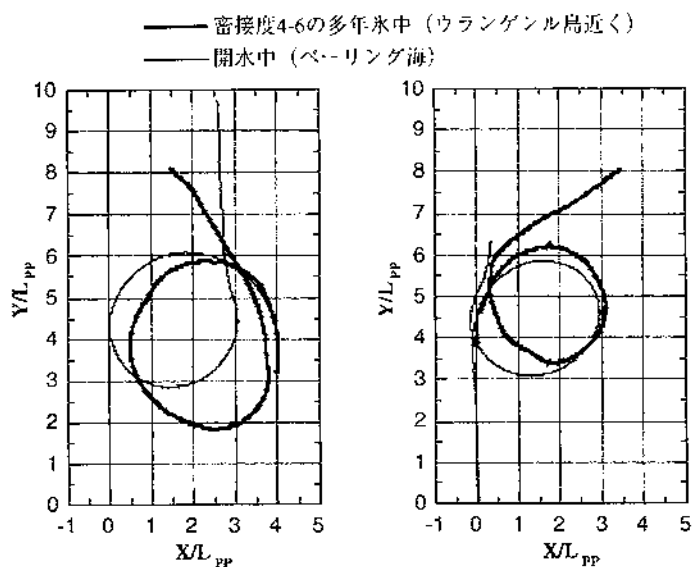


図5.13 多年氷中での旋回試験結果 (Site A)

(図5.13)。しかしながら、より厳しい氷況では、360°の旋回を達成できなかった。

- (10) 原則的に3時間おきに、航路に沿った気象・海象・氷況・表面海水の塩分濃度などの自然条件を観測した。時間をおいての塩分濃度の測定結果を、図5.14に示す。塩分濃度は、オホーツク海からベーリング海にかけては約32‰(‰はパーミル。3.2.3節参照)と通常の値であったが、本船が沿岸域を航行したチュクチ海から急激に下がり始め、東シベリア海においては最低2‰にまで低下した。その原因として氷の融解と河川からの真水の流出が考えられるが、後者が主要原因であると思われる(3.3.2節)。これらの海域では塩分濃度が急変する箇所もあり(特に、

チュクチ海と東シベリア海の間)、沿岸の複雑な海流と河川水との混合により乱流渦が多く形成されていることを物語っている。その後、本船が沿岸域から離れるにつれて塩分濃度が増加し、変化も少なくなった。塩分濃度と水温の関係を表す T-S diagram (海水温と塩分濃度の相関図。図5.15)において、海域の違いが明確に表された。

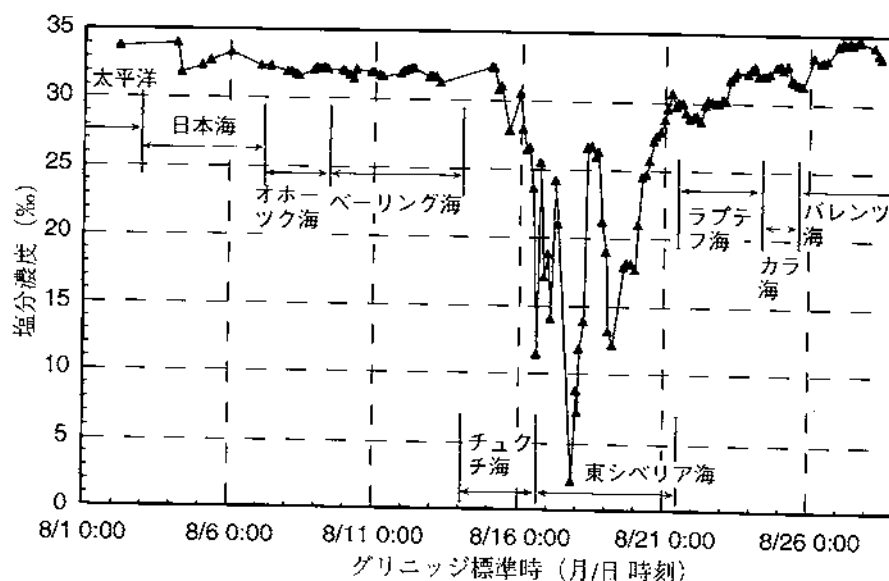


図5.14 表面海水の塩分濃度の変化

- (11) 本実船航海試験の進捗と調査団の活動を記録した35分のビデオ番組を、日本語版と英語版の両者作成した。

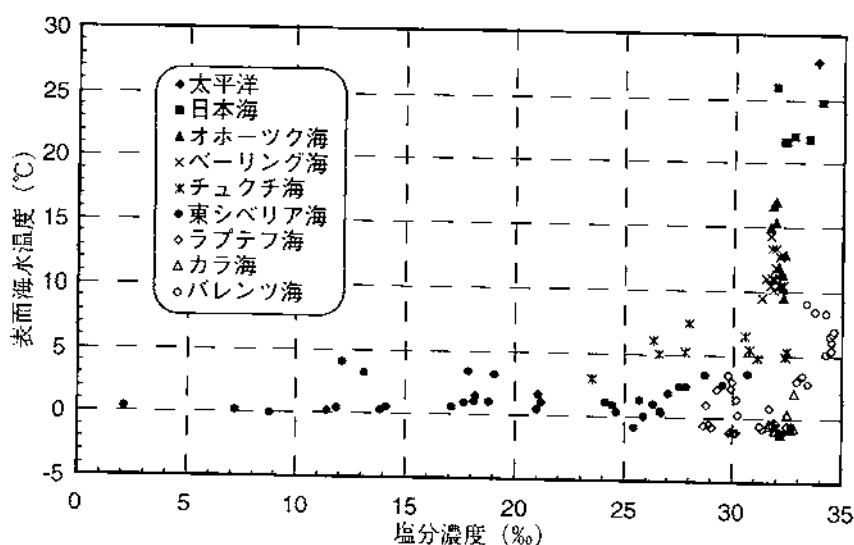


図5.15 表面海水の塩分濃度と水温の関係

5.4 まとめ

以上、歴史的な本実船航海試験の成果を要約した。今航海での NSR は異常とも言える氷の少ない状態であり、そのため、本船は氷を求めて北に針路を採った。その結果、記録的な短期間航海と、セベルナヤゼムリヤ群島の北の単独通過という63年ぶりの快挙を成し遂げることができた。今回の状況では、通常の沿岸沿いの NSR であれば、通常型の船舶でも十分航行可能であったと思われる（規則により、通常船型の船舶は NSR を航行できないが、4.3.3節）。勿論、本航海のみで NSR 啓開の可能性を決定付けることはできないが、NSR の夏期航海が人々が想像する以上に容易であることを実証し、貨物満載状態のロシア主力氷海商船の航行性能を定量的に把握したことは、我が国のみならず、広く世界の造船・海運界の発展に寄与するものである。また、氷海航行における氷況情報の有用性と NSR における通信の問題点を明らかにすることができた。

本航海においては、ロシア貨物船をチャーターした。船長は外国航路のみならず NSR 航行の経験も豊富の上、英語も大変流暢で、意思疎通に苦勞することは殆どなかった。しかし、若い航海士・機関士の中には、氷海航行の実経験が少なく、英語の得意でない船員も見られた。また、支援砕氷船はロシアにとっては内航船であるため、船長であっても英語が得意でないこともある様である。もし商船側が外国船である場合、英語の得意な Ice Pilot を乗船させることになるが（4.3.4節）、ロシア特有の運航習慣もあるであろうから、その様な場合でも、支援砕氷船とのスムーズかつ迅速な意思疎通が実現できるかは、若干の心配がある。調査団としては、今回と同様の試験航海を、西側船・西側乗り組み員により、また異なる季節にて、更に行うことが、次の課題であると感じた。但し当面は、ロシア当局が英語に堪能なロシア人船員を乗り組ませて、運航に支障が無い様に取り計らうとのことである。

総じて言えば、ロシアの氷海航行技術は大変高く、その支援体制もかなりのレベルを有している。しかし、長引く経済混乱による NSR 航行の減少と施設の老朽化のため、その技術の維持が危機に瀕していることも痛感した。

本章の記述は、以下の報告書を纏めたものである。

シップ・アンド・オーシャン財団 1996.3、平成7年度「北極海航路開発調査研究」事業 北極海航路実船航海試験調査報告書

6. 北極海航路の課題

6.1 関連技術

北極海航路啓開に際して必要となる技術については、いずれも実用水準にあり、啓開に当たって、今後早急に本格的、あるいは抜本的な研究開発を必要とするものはない。ただし、採算性と調和しての航行性能や安全性の向上については、永遠の課題であり、また最適船舶設計は、エネルギー情勢の推移や航行安全に関わる国際規制を含めた国際海運市場に連動することから、関係技術に関しては継続的、恒常的な研究、開発を怠る訳には行かない。

船舶による海上輸送は、大量輸送が本義であり、貨物需要に上限がなく、航行安全上の制約がなければ、大型船程採算性は向上することになる。NSR 航路の浅い水深と支援砕氷船の大きさによる制約、重損事故時の環境汚染への懸念は、大型船舶の就航を拒む要因の一つではあるが、予想 NSR 輸送貨物量を別とすれば、現行船舶の載貨重量が国際海運市場において採算性を欠いていることは否定できず、特に、NSR 季節運航のシナリオを検討する場合には、今後航行リスク及び環境保全との見合いの上で、支援砕氷船団の問題を含め、妥当な解答を見出す必要がある。

(1) 船体等

氷海域を航行し得る船舶については、一定水準の水中航行性能を持ち得ること、氷荷重について実用上許し得る程度の信頼度を持って船体、舵、プロペラ等の推進装置の設計ができること、が先ず要求される。様々な操船モードにおけるプロペラ・氷相互干渉の十分な精度での推定については、今後の研鑽に待つ必要があるが、船体周りの基本的な技術課題には、一応実際の解決の道、設計指針が得られている。

NSR 航行特有の航行状態である支援砕氷船との連携操船に必要な牽引・曳航装置については、ロシアの経験豊富な分野であり、ロシアにて汎用されているシステムをベースに検討を図るのが得策であろう。

なお、貨物倉保温・断熱、甲板水処理、着氷防止、暗視装置などについては、今後より実際の、実用的な研究開発が待たれる。断熱材として多用されているウレタン系素材は、フロン規制の上からは難点があり、今後は、修理、更新、廃船処理のプロセスを見通した材料使用、船体設計が必要となろう。

運航シミュレーション結果からも明らかなように、NSR が競合力ある商業航路として利用されるためには、一般船舶との建造コスト格差、ペイロード格差を縮める工夫が、技術的にも規則上でも必要である。

(2) 機関

船用主機関の高出力化に関する技術開発により、主機については一般船舶共通の問題を除いて大きな課題はない。ただし、機関故障によって引き起こされる状況は、無氷域での一般航路に比してかなり深刻なものが想定されることから、主機系装置面あるいは点検維持のあり方について、何らかの仕様要求が必要となる可能性もある。また、機関からの大気汚染物質の排出防止、あるいは防除については、最終的な規制値次第では、排気処理関係の研究が必要となる。

6. 北極海航路の課題

(3) 艙装及び航海計器

人工衛星情報の取得、通信等について、若干の NSR 用航海機器が必要となるが、これらの最適システムについては、運航船舶種別、運航頻度等によって変わる、NSR 運航支援システムの将来像に依存する。防寒対策、着氷防止対策については、維持管理が容易で安価かつ効果的な方法の開発が望まれる。

(4) ソフト

人工衛星ベースの氷況リアル・タイム情報を基にした、推奨航路マッピング、氷海中最適航法アルゴリズムの構築が望まれる。

流氷域航行の安全性向上のためには、氷荷重モニターと警報システム、関係自動操船ソフトの開発など、幾つかの課題がある。

(5) 支援砕氷船

ロシア側の問題ではあるが、ロシア関係者は従来の北極海運航の経験に照らして今後の支援砕氷船のありようを決定する動きがあり、国際海運の現状及び将来を検討した上での支援砕氷船でなければならず、国際要望が伝えられるシステムが必要である。

砕氷・耐氷船舶に関わる各国規則及び船級協会規則の調整、harmonization については、1989年11月に調印された北極域に関するカナダ及びソ連政府間協力協定（Agreement Between the Government of Canada and the Government of the Union of Soviet Socialist Republics on Cooperation in the Arctic and the North）と言う下地もあり、現在 IMO ベースで行われている調整作業は間もなく結実することとなるが、これによって、ロシア側が要求する NSR 航行船舶に関する構造、性能仕様とその査証手続きが簡素化される可能性があり、その早期合意が望まれる。

カナダ・ソ連政府間協力協定

平等原理に基づく両国の国益を相互に尊重し、極域の自然環境保護を念頭に両国間で極域に関する科学技術協力をを行うことを協定したもの。6箇条からなる。

北極海航路を運航する船舶に対するロシアの仕様要求は、IMO や国際保険業界の要件に見合ったものでなければ、大きなハンデキャップを持つ北極海航路は商業航路としての成立はおぼつかない。航行船舶に対する国際海運市場の中での採算性を無視した規制や勧告はあってはならないが、市場経済への移行が成熟した段階には程遠い現状にあっては、現時点での規制や要件が、極く近い将来、見直され改定される可能性も高く、アイスクラス規則の国際調整が行われている点を考慮すれば、最終的には西欧諸国から納得の得られる規制、法規、ガイドラインとなるものと考えられる。

短中期的な問題としては、支援砕氷船について、その近代化、船幅の増幅、大型化、維持運営経費の安価な砕氷船への脱皮が求められ、そのためには何よりもロシア経済の復調が肝要である。

6.2 運航システム

運航システムについては、問題が山積している。これは一つには、NSR 運航船舶の支援経費の算出法に問題があり、支援経費と NSR 運航量との反比例関係、即ち支援要請件数が増えれば支援関係経費が安くなる仕組みにある。厳しい海運環境の中で、下準備もなく民営化されたロシア海運会社にしてみれば、現在を生き延びることが先ず大切であり、将来の展望は二の次となることには同情の余地はある。しかし、少なくとも当初、NSR 運航船舶量が低レベルにあると推定されている訳であるから、それだけの運航量をもって、現存の支援砕氷船団の運営経費を捻出し得るだけの料金体制を講じただけでは、NSR の商業航路としての魅力は全くない。つまり、国策として北極海航路の啓開を策定したのであれば、少なくとも当座、政府の然るべき経費負担を前提としなければ、NSR の国際商業航路としての進水は至難のこととなる。勿論、このような制度が、国際慣習に馴染まず、ガット違反の疑いも否定し得ない懸念もあるが、解決の方法は充分残されている。

また、航路沿いの航行支援、救難施設等のインフラストラクチャーを欠く現状では、本来航行リスクに対しても、何らかの政府保証が必要である。なお、インフラストラクチャーの整備については、何をどのような手順で整備して行くのか、整備の具体的なシナリオを欠いている現状では、NSR を国際商業航路と考え、NSR での船舶運航を計画的かつ真剣に検討し、必要な投資を考える海運会社が存在するとは到底思えない。

NSR 運航システム整備のための投資を海外に望み、委ねるのであれば、投資効果を明確にし、投資利益の見通しが可能となる確かな計画を提示することが肝要である。

人工衛星情報を利用する氷況予報サービスについては、どのようなシステムが最適かは、利用者数と利用形態に依るものであるから、現状で、将来システムを確定することは難しいことは理解できるが、具体的にどのようなサービスが得られるのか定かでなければ、商業運航を検討する側で時期いまだしと考えられても致し方なく、少なくとも具体的な計画提示は必要である。

6.3 経済・社会・政治体制

6.3.1 経済

(1) エネルギー産業と経済

近代においては、エネルギー市場は常に世界を揺さぶり、国家経済を動かし、他産業に対して大きな影響を与え続けてきた。昏迷をつづけるロシア経済を救済し得るものは、ロシアに豊富に賦存するエネルギー資源の開発であり、ロシア石油・ガス産業の対外事業拡大である。ソ連体制時代、開発、輸送、供給、輸出の全てを掌握、支配していたガス工業省をそっくり株式会社化した独占企業体ガズプロム（初代社長はチェルノムイルジン元首相）は、20世紀が石油の世紀なら、21世紀は天然ガスの世紀、との観点から、欧州への天然ガス輸出拡大戦略をたて、壮大な開発プロジェクトに次々に着手している。ガズプロムは国内の他、世界25カ国で事業を展開し、従業員40万人、所管のガスパイプライン総全長14万5千キロ、ロシア国家の中の国家と称される強大な経済力を有する。国内開発中のガスラインの内、最も大規模なものは、ヤマル半島にある大型ガス田を開発、ベラルーシとポーランドラインを通りドイツの首都ベルリン

6. 北極海航路の課題

まで大口径パイプライン2本を建設するもので、ヤマル・ヨーロッパ計画と呼ばれている。総延長4,500km、総工費400億ドル、2001年完工の暁には、年間650億 m³の天然ガスを欧州に供給する新ルートが開通する。ロシアは現在でも年間1,330億 m³の天然ガスを東西欧州に供給し、欧州総需要の3分の1を満たし、全てガスピロムの独占となっている。

ガスピロムの対外戦略は、アジア・太平洋地域にまで及び、1998年にはアジア・太平洋地域を統括する系列会社、「東ガスピロム」を新設し、西シベリアから東方へのガスパイプライン整備や、東シベリア・極東地域での新規ガス田開発にも大きな関心を示している。ガスピロムは、イラン関連で警戒心を緩めない米国政府の資金調達妨害もはね退け、既に米国をも恐れぬ巨大組織になっている。

他産業の振るわぬロシア経済界にあって、外貨獲得の旗手として、また事業規模において、ガスピロムは際立った例外的な組織であり、今後のロシア政財界に測り知れない影響力を持っている。

石油産業の現状はガス産業とは異なり、1992年以降、大規模な民営化が行なわれ、ルークオイル、ユコス、シダンコ、スルグートネフチガス、シブネフチなどの大石油会社を筆頭に大小様々な石油会社が誕生し現在に至っている。1995年以降、政府財政不足を補うため、大石油会社の政府保有株を次々に売却したことから、政府の石油産業への統制力は急速に弱化し、有力商業銀行と石油産業との結びつきがロシア型金融・産業グループの雛形となった。ロシアの石油会社の規模は、ガスピロムとは比肩すべくもないが、国際的には、ロシアン・メジャーと呼ばれる巨大企業であり、最近では、1997年、ペトロリアム・インテリジェンス・ウィークリー発表の石油企業上位50社の中にランクされている。

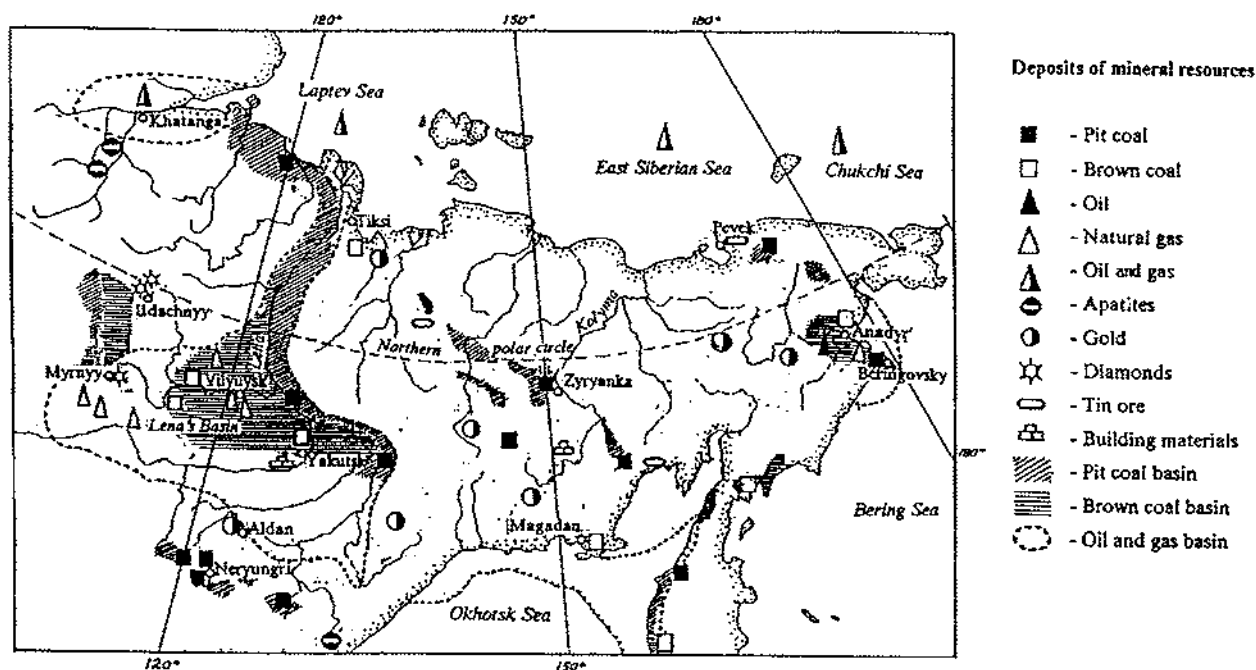
ロシア最大の産油量を持つルークオイルは、1996年には世界第14位の5,100万トンの原油を生産、原油埋蔵量では世界第11位にランクされている。ガスと共に、資源国ロシアの石油産業が有する世界経済への影響力は大きなものがあり、資源開発主導の NSR 啓開のシナリオでの鍵でもある。

ガスピロムの例は、確かな利益が保証されるか、少なくとも確実な根拠を基に想定できる産業へは、海外からの十分な投資が得られることを証明したものであり、逆に、不確かな情報、不安定な政策、規制では、海外の投資はおろか関心を引くこともできないことを示している。いずれにしても、ロシアにおけるエネルギー・ビジネスの動向をしっかりと把握することが、これからの北極海航路の行方、有り様を考える上で重要である。

(2) 水産資源

輸出を念頭に置いてのロシア極域における水産資源開発は、未知の領域である。この海域には、東洋系民族の嗜好に合う魚介類も豊富であり、先住民の自活水準を超える漁獲量の可能性、全体の生態系への影響等については、生態系に関わる今後の慎重な調査が必要とされる。特に、極東のオホーツク海域においては、野放図な漁獲が行われこの海域における水産資源は間もなく枯渇の危機に曝されることが懸念されている。

我が国との関係では、近年の対口輸入商品の最たるものは魚介類であり、年間輸入額は10億ドルを上回り、対口輸入全体の30%近くを占める。カニ、エビ、イクラ、スケソウなどが多い。



NSR 航路と資源 (Ostreng, ed., 1999)

魚介類の過度の対アジア輸出は、水産資源保護の観点からは望ましいことではなく、ロシア・アジア諸国双方の理性ある対応が望まれている。なお魚介類の輸出入に関しては日ロ貿易資料にかなりの差違があるので、注意が必要である。

(3) 木材資源

木材は東南アジアと並んでロシアが誇る資源である。ロシア材は松属の丸太が主力である。日本向けでは1997年には、米国材を抜いて首位を占めた実績もあるが、少なくとも現在では対アジア貿易におけるロシア材の重要性は低下している。しかし、東南アジア材や北アメリカ材の生産にも陰りが見える昨今では、将来的にはロシア材への期待が再び高まるとの予測がある。ロシアのタイガ樹林は、年々山火事で膨大な面積の森林が焼失し、炭酸ガス発生による大気汚染、永久凍土への影響などが懸念されているが、森林保護、ひいては地球環境保護のためにも乱伐を避け、更に計画的な木材生産が実施されることが望まれる。

(4) 鉱物資源

近年有望な対ロ輸入品目としてアルミ・同合金・ニッケル地金が浮上している。ただし、ロシアにおけるアルミ精錬は欧米の貿易商社の委託生産によって行われる「トーリング」であり、材料輸入もロシアからの直接輸入ではなく、欧米の貿易会社との輸入契約を介して行われている。ロシア商品の荷動きについては、間接的なものが少なくなく実態調査に基づく将来予測等では注意が必要である。

(5) 流通

北極海航路による海上輸送に対抗する輸送路は、空路とシベリア横断鉄道による鉄路がある。トレーラ等による自動車輸送は、輸送距離が長く、かつ道路状況が悪いことから対抗馬とはならないが、いわゆる Land Bridge や、複合一貫輸送システムの構想については検討しなければ

6. 北極海航路の課題

ならない。INSROPでは、これらの点についての検討が不十分であり、海上輸送物資を如何に効率よく宅配するかを十分検討した上でのNSR港湾のあり方が問われるべきである。陸、海、空の輸送路は、競合すべきものではなく、それぞれの特徴を生かした輸送の分担が行われるべきであり、今後、NSRを含めた複合輸送システムが検討されねばならないが、この問題は必然的にNSR海上輸送貨物のコンテナ化を示唆するものとなる。

政治力によってNSRを啓開することは可能であるが、物流を欠いて海運が健全に育つ可能性はなく、形式上、国際法上、国際的に開かれた航路であっても、実態は国内航路でしかあり得ない。そのためには、何よりも先ずロシア経済の立て直し、あるいは諸外国に理解し得る、かつ信頼に足る経済復興のシナリオの提示が急務である。なお、INSROPで検討された経済資料は、必ずしもロシア経済の実態を表していないことに留意する必要がある。第三国経由による輸出入量を含めると、かなりの物流量となり、政府公表資料と一見矛盾するロシア市民中間層の増大や市民生活の向上傾向がこれを裏付けている。

また、北欧諸国やヨーロッパ・ロシア地域からの極東アジアへの輸送のシナリオでは、少なくともアンダライターが納得し得る水準でのNSR関連インフラストラクチャー整備、維持に必要な物流量を想定することはできない。NSR啓開の現実的なシナリオがNSR完航輸送ではなく、様々なローカル・ルートの複合システムとして成り立つものであるのなら、世界最大の資源国であるロシアNSR沿いに賦存する様々な天然資源開発計画を長期展望の上で合理的なものとする必要がある。このような計画的な資源開発に則って行われる開発資源の海上輸送計画のみが、当面NSRを現実の通年商業航路として啓開させ得る可能性を持っている。

6.3.2 社会・政治・法制

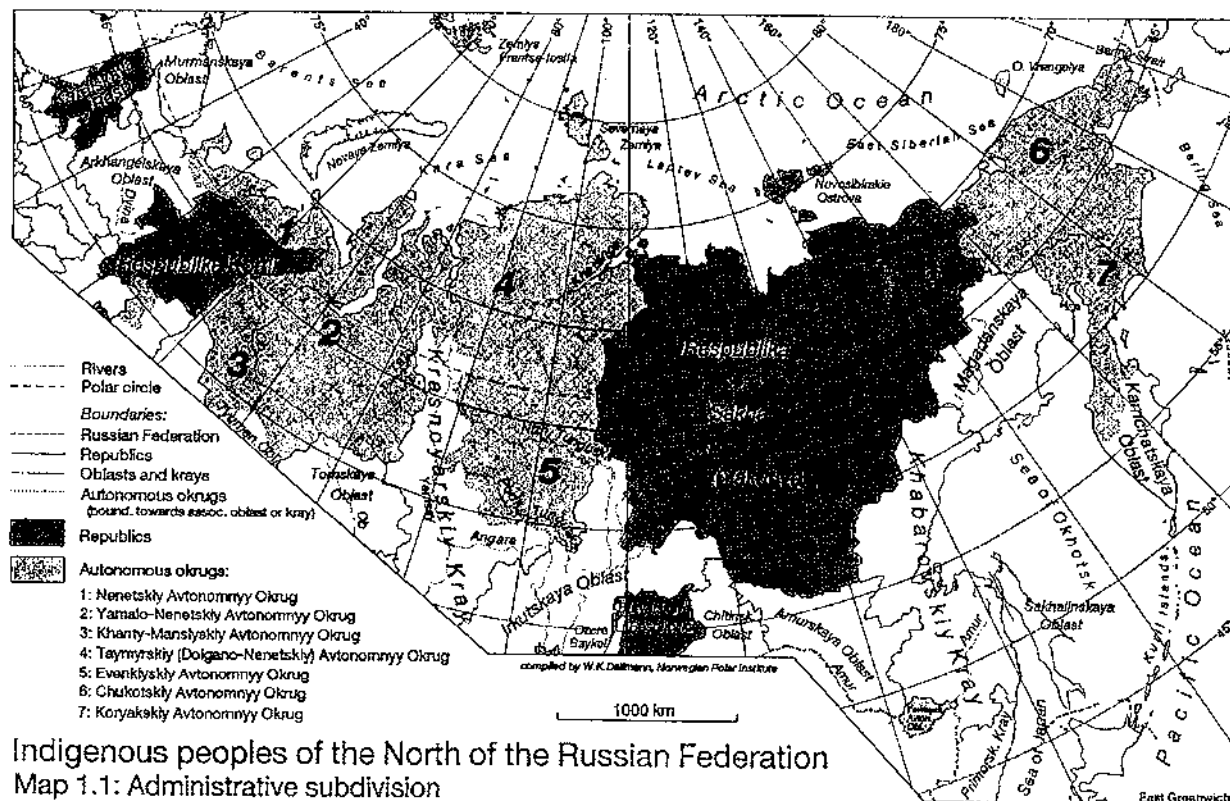
NSR啓開の条件の一つとして、政治体制の安定が挙げられる。これは、単に大統領を頂点とする政府首脳部についてばかりでなく、行政組織についても意味合は若干異なるが同様である。行政機関同士の利権・管轄権争いは、何もロシアに限ったことではないが、開発に伴う環境保護に関する問題等で、しばしば深刻な問題を惹起するからである。折々の曲折はともかく、近い将来に向けての確かな方向が見受けられれば、諸外国の関心を集め、投資の可能性も生まれる。

海洋法に関する問題もある。海峡の無害通航権や排他的経済水域内の通航、強制航行支援の国際法上の論拠などである。しかし問題の大半は、ロシア固有の問題ではなく、むしろ、慣習法と大国のエゴが根底にあっての問題であり、国連等の場で、論議と調整を繰り返しつつ、国際合意に至る問題であろう。いずれせよ、ロシアのNSR通航関係法制が国際的に妥当か否かは、海運市場原理が判定してくれる筈である。

(1) 先住民族

NSR沿いには、多数の先住少数民族の生活がある。

ロシアのシベリア進出は16世紀に溯る。17世紀には、既にヤクート、ツングースがロシア統治下に置かれ、ロシア人による東北シベリア征服、アムール川への到達、中露国境の設定など、ロシア人の活躍が活発となる。シベリアの先住民族は、16世紀のロシア人の侵人以来、ロシア



Indigenous peoples of the North of the Russian Federation
Map 1.1: Administrative subdivision

先住民族 (Ostreng, ed., 1999)

帝国時代の非人道的な扱い、ロシア革命後では、大規模なシベリア植民政策、流刑人、政治犯の扱いなど、ロシア人中心の政策によって、中央政府の立法措置による先住民族保護政策とは裏腹に、有形無形の迫害を受け続けてきた。長年にわたるロシアの植民地化および国境地域での中国の植民地化が先住民族に与えた影響は、既に修復し難いレベルに達している。

ロシア経済崩壊まで、ロシア人のシベリア進出は増え続け、自治共和国を持つヤクート、自治州や自治管区（1977年以前は民族管区）しかないネネツなどはまだ恵まれた状態にあるとも言われるが、名目上の自治すら許されなかった少数民族の多くは、個別の共同体としては消滅する運命に直面している。

資源開発や地域産業振興が先住民族社会に及ぼす影響も甚大である。ソ連体制時代、最も疎遠であった北極圏で、ドルガン・ネネツ自治管区は、非鉄冶金工場からなる産業都市ノリリスクによって侵略的な支配を受け、ノリリスク近郷の広大なトナカイ牧草地は、トラック走行に蹂躪され、回復、修復の困難な自然条件によって生命のない荒地地に変貌した。また、最も東のトナカイ飼育コルホーズは先住民の管理によりその繁栄が遠く北歐にも伝えられる程であったが、ノリリスクの都市化に併せて国营化が図られ、官僚的かつ腐敗した国营農場の管理下に合併され、やがて消滅の運命を辿った。この国营農場は、毛皮と魚の生産で大きな収益を上げたが、数千頭に及ぶ家畜トナカイは野生に戻り、トナカイの生態系にも大きな影響をもたらすこととなった。先住民族は、ロシア人により狩猟の機会さえも奪われ、職はなく、住居は劣悪で、幼児死亡率は異常に高く、短命であり、トナカイ飼育民の共同体は、無気力に陥り酒浸り



NSR 周辺の海洋先住民の生活 (Bruemmer, 1993)

の日々を過ごすようになった。

民族の固体数がある限度を超えて減少すれば、文化的にも生物的にも固有性を保持することが難しく、また長年の植民政策によりロシア人との混血率は増大し、民族文化の継承が次第に困難となっている。シベリア先住民族固有の文化を維持しながら、先住民族を次元を異にするとも言える現代社会へ編入することには多くの問題が伴う。

シベリアは、政治的実体として分離するか、若しくは極東等、多数の地域的単位に分割されるべきかも知れない。しかし、将来の構造がどのようになると、シベリア先住民族にとって、かれらの土地がロシア人支配者達に搾取される植民地ではないこと、民族の殆どが望むものであれば、かれらの主権が正当に認知される国家の設立が保証されねばならない。北極海航路啓開が、特に漁労を生活の糧とする先住民族の生活を乱すものであってはならず、さらに続いて起こるであろう航路沿い沿岸各地における僻地振興や産業振興、資源開発、資源輸送路の整備などが、先住民族の生活を脅かすものであってはならない。

(2) 税制・科料

ロシアにおける税制と税の徴収現状、税に対する国民意識は、西欧社会の理解を超えるものがある。また、海外投資や外国資本に対する税制を含め、ロシア税制、科料体系は極めて流動的である。

NSR 環境保護に関しては、外部不経済を論拠とする環境税的保護法制があり、NSR 運航規則には EU 共通環境政策第5次環境行動計画 (1993年) に盛り込まれた予防原則 (precautionary principle) への転換や汚染者負担・パートナーシップ原則の影響が散見できるが、実際重大汚染を引き起こした場合の損害賠償額の見積りについては不明確な点が多く残されている。これは、一つには、生態系の価値評価が未完であることにも因る。

ロシアにおける現在の社会経済データから、NSRの将来性を予測することは不可能である。物流量は経済状態に直結したものであり、長大なNSRでは、強力な政治的判断、実行施策があったとしても、効果は短期的であり、海運、NSRの活性化については、何よりもロシア経済の復興が肝要である。いずれにせよ、運航に対しては、船社、運航者側にも投資が必要であり、投資対象としてのNSRを見極めるためには、ロシア経済の動向を正確に把握しておくことが大切である。どのような形であれ、将来NSRを介して輸送されるであろう天然資源の開発権限や外国資本導入に関わる法制の推移、インフラストラクチャー整備や運航様式に係る、航路沿いの各自治州あるいは自治区、各地域におけるロシア人人口の増減推移や先住民社会における意識革命などの動向も注意深く見守る必要がある。

ロシア法制については、行政機構、税制、環境保護、科料体系における変革の動きは激しく、NSRにとって現状で馴染めない法制についても、短期的には逆風、順風が繰り返されようが、長期的にはより好ましい方向に推移するものとの見解が支配的である。現状法制に固執した議論は誤った結論を導く恐れがある。

ただし、財政的に厳しい状況に置かれている自治州については、部分的であれ、連邦政府主導による具体的なNSRの啓開とそれに伴う様々な波及効果を期待する向きとNSR啓開によって当面明確なメリットが見えない先住民族の生活様式保護を強く求める運動が絡み合い、行政権限の地方政府委譲が急速に進んだ場合には、NSR啓開、整備について、各地方自治体間合意を得るまでには相当の時間を要するものと考えられている。

6.4 保険

保険業界の見解では、ロシアの施政や計画に信頼に足る確かなものが殆どなく、保険上の懸念事項の吟味、検討が極めて難しいとされている。

北極海航路あるいはその周辺海域におけるロシア船舶の運航実績は、統計上の吟味に足る数量に上っているが、損傷・故障データについてのグラスノスチは十分でなく、危険確率の推定、リスク・アナリシスに基づく船体設計等が不可能な状況にある。また、NSRにおける船舶の運航実績と言っても、全てロシア船舶であり、かつ大半は何らかの国家的使命を担っての運航であることから、仮にロシア船の運航データの全てが開示されたとしても、西欧社会に所属する船舶の然るべき数量の運航とその運航経験の分析の検討なくしては、保険制度の源点にあるアンダライターを納得させることは難しいと言える。またそのような運航実績、データの蓄積のみが、他の航路と比較して、NSR保険を競争力あるものにすることができよう。仮に、保険料金が従来航路に倍するものとなれば、商業航路としてのNSRの成立はかなり難しく、航路の商業性を立証するためには、砕氷船支援料金等と合せ、NSR運航間接総経費をかなり正確に見積もる必要があることは、運航シミュレーション・プロジェクトの検討結果からも明らかである。

INSROPにおいても、保険制度の項目箇条的な検討に利用すべき資料に乏しく、保険関係研究者の最終研究結果は、基本的には問題の提起に終始した内容となっている。

6. 北極海航路の課題

通常船舶の運航に際して保険は必要不可欠な項目であり、保険業界の必要とする諸資料を呈示した上で、関係インフラストラクチャー、航行支援システム、関係法制、科料システムについて保険業界の意見を参考にしつつ整備を急ぐべきである。

保険業界の仕組み、体質を考慮すれば、NSR 保険の将来を具体的に検討するために最も有効な手法は、ロシア外船舶による試験的 NSR 商業運航を実施することであることは言うまでもない。

6.5 自然・生物環境

(1) 自然環境

自然環境については、INSROP 事業を通じて、ロシア側から相当量のデータ開示があり、自然科学分野での観測資料を補填し、少なくとも北極海航路周辺の自然状況については、理解を深めることができた。しかし、総体的には、古典的な観測技術による観測結果故に、計測個所及び連続量としての計測結果が殆どなく、特に NSR の東半分の海域については、厳しい自然条件の故に、特に冬季を中心とする期間の資料の欠落が著しい。

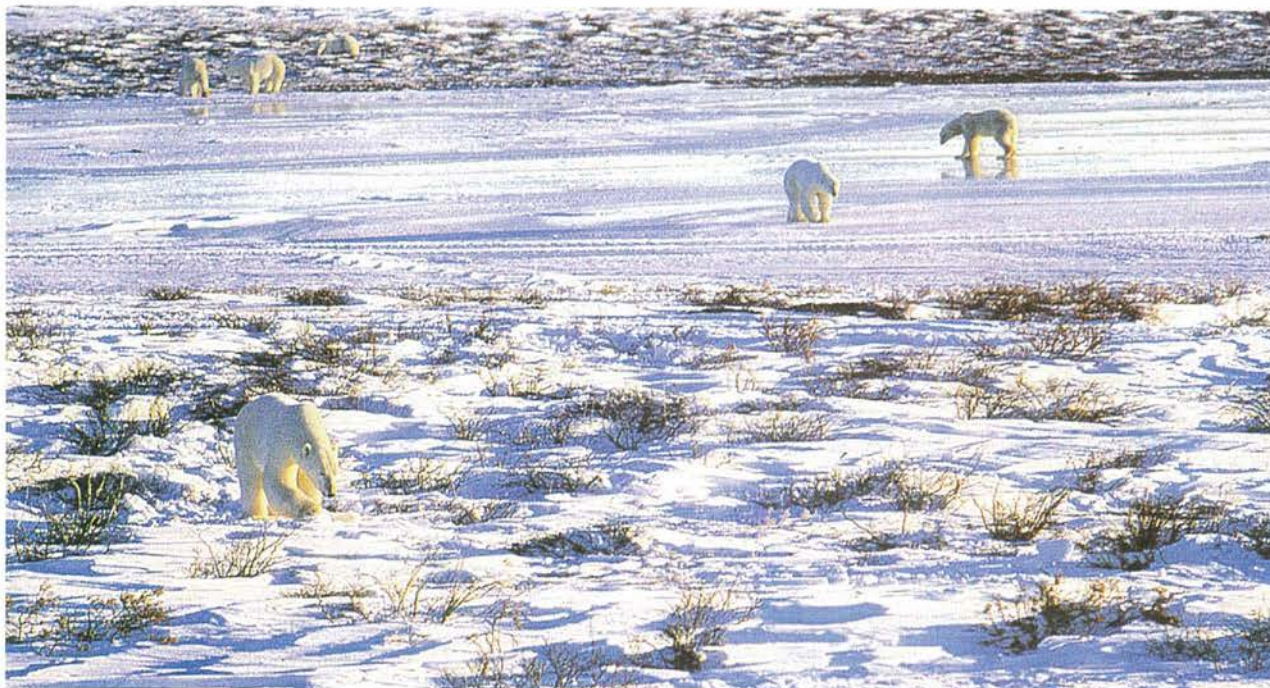
夏季の運航のみを検討する場合には、これら資料の不足が決定的な障害となる懸念は少ないが、夏季運航期間の延長等を検討する段となれば、資料不足の欠陥がクローズ・アップされよう。人工衛星ベースのリモートセンシングには、解像度、測定範囲等に問題が残っており、最適航行レベルの氷況等データを確実に供給し得る段階までには至っていない。リモートセンシング技術の活用については、明るい近未来が期待できるが、リモートセンシングとシー・トルース・データとの整合は必要であり、今後、国際協力により、これらの観測が鋭意行われることが望まれる。これらの観測結果は、NSR 運航上のデータとしてのみならず、地球・海洋の深い理解、地球規模での環境保全など幅広い分野での活用が考えられる。

GIS は、現状では過去の統計データを活用する方向で調えられているが、気象、氷況等の自然情報についても、リアルタイムあるいは準リアルタイム・データとのやり取りが容易なダイナミック・アトラスに進化させる必要がある。

(2) 生物環境

北極海域における海洋生物の生態系は、最も調査、研究が遅れている分野である。要観測・調査海域が広大であること、厳しい自然環境によって調査が困難を極めること、それ故に調査経費が高額となること、調査に多くの時間を要し高効率の調査が難しいこと、などがその理由として挙げられよう。

生態系調査は、食餌連鎖を含め、時間的な因子が重要となるものであり、時間的にも空間的にも広域調査と局所調査の有機的連携作業などが必須であり、INSROP 事業のスケールで完遂できるものではない。従って、INSROP では、生態系の指標となる生物種を選定し、NSR 航行船舶が、騒音障害を含めての大気、海洋空間に対する影響、あるいは汚染の影響を従来資料を活用しつつ、多くの制約の中で評価したものである。従って、このような評価手法によって NSR 船舶の運航により生態系に見るべき影響ありとの結論が導かれたとすれば、NSR 船舶の運航はかなりの制約を受け、場合によっては、既にあるサンクチュアリに加えて、通航を禁ずる海域指定を行う必要がでることになる。幸い、INSROP における調査結果は、騒音障害を含

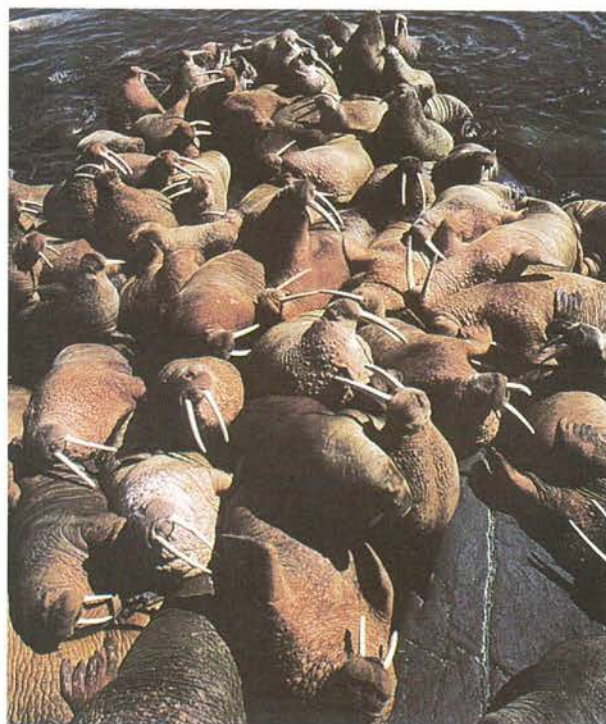


NSR 沿岸の哺乳動物（ホッキョクグマ）（Stonehouse, 1990）

め生態系への影響は殆ど無視できるとの結論ではあるが、船舶の運航がもたらす微量汚染や、繁殖行動への影響など、十分な時間を掛けての調査結果を待たねばならないものも少なくなく、今後の慎重な調査、資料蓄積が肝要である。

NSR に関わる生態系については、本来、顕示選好法（revealed preference）あるいは表明選好法（stated preference）、いずれかの方法によって価値評価が行われるべきであるが、INSROP では、この点が等閑視されている。価値評価は、生物環境に損害を与えた場合の損害賠償の論拠となり得るものであり、また NSR 航行に対する保険に対してもインパクトのある問題であることから、今後、ロシア政府による価値評価が行われ、提示される必要がある。

INSROP を通じて整理された先住民族を含む生態系データは、自然環境データと共に、地理情報システム、GIS として取りまとめられ、今後様々な分野での活用が期待されている。

NSR 周辺の海生哺乳動物（セイウチ）
（Stonehouse, 1990）

6. 北極海航路の課題

北極海の自然状況の経年変化は著しく、NSR 航行船舶に課せられた運航仕様を満たした航行が行われる限り、NSR 啓開が自然に及ぼす影響を特定するには、少なくとも数十年のモニタリングが必要である。船舶主機等からの排気汚染評価についても、近い将来予想される運航量から推論すれば、大気大循環によって北極域に運ばれる有害物質との仕分けは難しく、NSR 港湾等局所的な評価に留まるものとなろう。

生態系への影響については、先ず影響評価を行うために必須の統計母集団の構築が急務であり、これは NSR 啓開を別としても、地球生態系モニタリングの一環として必要不可欠な資料であり、過酷な自然環境を考慮すれば、逆に NSR 運航船舶への調査協力依頼が真摯に検討されるべきであろう。

6.6 まとめ

INSROP の総合的な結論から見れば、北極海航路が国際商業航路として成立するための当座の課題は、殆ど全てロシア側の問題であり、法制、税制、科料制度等多岐にわたる。しかし、一方では、インフラストラクチャーの整備を別とすれば、NSR 啓開を妨げる問題の多くは、仕組みの改変、方針の見直しによって解決し得るものが多く、外国資本の侵略、資源の経済的略奪などに対するややもすれば過剰防衛的政策を捨て、資源・文化大国としての誇りを守りつつ、国際社会、国際市場の一員としての施策を講ずれば、自ずから道は拓けるものと思われる。

7. 北極海航路の今後

北極海航路の啓開は、航路の大半についてロシアが領土権を確立するまでは、喜望峰を廻る南方航路同様、利害を伴う国々によって啓開の努力が試みられた。しかし、ロシアの支配権が次第に鮮明になると共に、ピョートル大帝以降、形姿を変えはしたが、ロシアの国益を守るための国策として、連綿と啓開の努力が続けられ、NSR は永くロシア一国の航路として認識されてきた。NSR の国際商業航路としての開放宣言と INSROP を代表とするその後の活動の全ては、あくまで啓開への努力の第一歩であって、それで商業航路が確立するという類のものではない。真の商業航路の確立には、何よりも、多くの商業運航実績が必要であることを、歴史が教えている。

また同時に、商業航路の啓開後の健全な航路発展には、それが資源開発であれ、資源輸出であれ、航路沿いの地域社会の発展が不可欠であることは、かつての商業航路啓開史が示している。その意味で、NSR の今後は、先ず NSR 運営の当面の採算性は棚上げにするとして、国際海運市場において NSR が魅力あるものとしての条件を整えられるか否かに依存している。併せて、ロシア経済を早急に復興させること、あるいは少なくとも経済復興への明快な見通しを提示し、国際資本の導入を図ることが望まれよう。

1997年、ロシア連邦構成主体の指導者が大統領の任命制から住民の直接選挙によって選ばれることになったことは、NSR 関係地方の自力発展の道を開き、自治権強化への第一歩でもある。しかし、今後の中央・地方政府の関係を如何に構築して行くかは、NSR の将来性云々以前に、ロシアが連邦としての国体を維持できるかに関する重大事である。現在中央・地方政府間には縦割りの指揮命令関係は存在せず、憲法上は対等の立場にあり、権利・義務に関する相互合意によって曖昧な関係が成立している。これは、権益の配分方式、賠償など直接利権の絡む問題が生じた場合、合意に達するまでのプロセスが容易でないことを示唆している。

地方にあっては、豊かな資源に恵まれながらロシア中央部にあって資源輸送に問題を抱えるクラスノヤルスク州の動向が NSR の具体的な発展の上で最も注目されよう。また、サハリン石油・ガス開発は、NSR 東端部からの潜在的航路啓開刺激効果が期待される。しかし、このような刺激効果よりは、1995年ロシア議会で採択され翌年発効となった PS 法（プロダクション・シェアリング：生産物分与協定法）に拠る、融資売鉱からプロダクション・シェアリングへの転換好例としてのロシア資源の国際化効果が、間接的ではあっても NSR にとって重要な意味を持つ。ロシア国内経済・政治に絶対的に支配されるのではなく、国際市場によって資源開発のシナリオが構築され得るからである。ただし、資源開発のような長期プロジェクトを PS 方式で行う場合の必須条件は、ロシアが法的に安定していることであることは言うまでもない。法的に安定するための条件は、政治経済の安定であることを考えると、PS 方式の今後が楽観できる訳ではなく、その意味でもサハリン・プロジェクトの成否が多くの関心を集めている。

ロシア以外の CIS（独立国家共同体）諸国は、それぞれ、経済、エネルギー資源等におけるロシア依存が著しい。昨今のロシア経済の混乱は、CIS 諸国に深刻な経済危機をもたらし、至難の

7. 北極海航路の今後

問題ではあるがロシア依存からの脱皮が問われ、凶られようとしている。しかし少数派とはいえ大ロシアの政治的、経済的支配を警戒し反ロシアの姿勢を次第に明確にする動きもあり、経済・政治におけるロシア離れの動向は、NSRにとって、ポジティブ、ネガティブ、両面の影響があることから、今後の CIS の動向を注目する必要がある。

全ての商業航路は、それが海運業界において必要であるが故に啓開され、利用される。ロシアが、あるいは関係国が、理論上、あるいは国策上の要件だけで、商業航路を啓開することはできない。スエズ経由航路に比して、所要航行日数において、採算性において、安全性において、十分競合でき、かつスエズ経由では果たせ得ない運航ポイントを海運業界に提示し得て初めて NSR が認知される。NSR は、変化の激しい海運業界の動向に合わせて、変幻自在とまでは行かないにせよ、フレキシビリティのある航路運営を前提とするものでなければならない。

北極圏は、地球環境を理解把握する上で重要な地域であり、今後北極圏における様々な観測調査が必要とされている。これらの学術的な調査活動は、NSR 啓開への新たな情報を提供するばかりでなく、北極海域での科学調査活動そのものが、過酷な自然条件へのアレルギーを解消し、自然環境・生態系への慎重な配慮と、十分な準備、用意さえすれば、この海域が決して人間の社会活動を拒むものではないことを立証してくれる筈である。

ただし、このような学術調査を担う北極域海洋観測船についても、NSR 運航規定が課せられることは留意しなければならない。

INSROP (International Northern Sea Route Programme) (巻末資料1) は、日本、ロシア、ノルウェーの3カ国協力により、北極海航路啓開の要件を明確にする目的を以って計画され実施された事業であるが、国際協力の背景はそれぞれであり、ロシアは社会経済活性化を、ノルウェーは海洋環境データの整備、日本はロシア・データの開示と入手を、事業の結果として得られる成果として期待し、3カ国それぞれが連動する国内研究計画や他の国際研究事業と関連させて実施したものである。

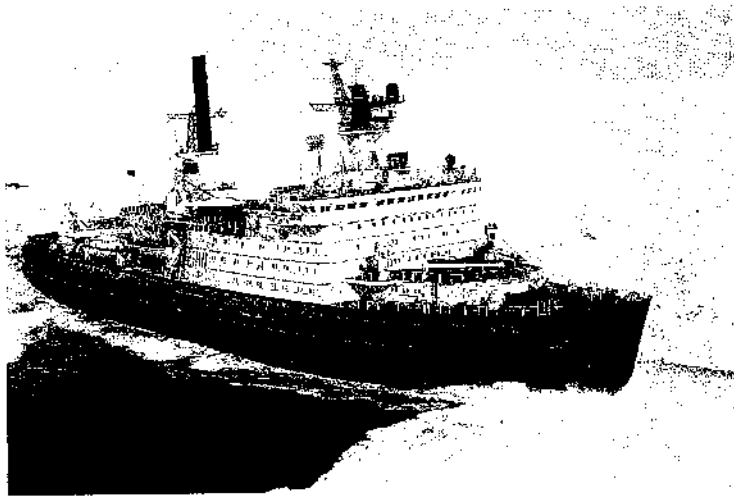
北極圏の陸上の問題についてはいささか調査検討手薄の感は否めないが、本務である北極海に関する研究資料としては、現在最も充実した研究成果として評価され、特定の物資輸送路としての関心、期待や、航路そのものに関心の薄い研究者、地球・海洋物理学者、民俗学者等からも貴重な研究成果として高い評価を受けつつあり、20世紀末を飾る研究成果として21世紀に受け継がれるものと思われる。

しかし、北極海航路啓開の可能性評価については、残念ながら、確たる結論が得られていない。これも現在及びここ当面のロシア事情を勘案すれば、むしろ当然の帰結とも言える。ただし、航路啓開可能性の鍵を握るロシア側の関係事項が、どの方向であれ、決定的なものとして呈示されれば、INSROP 研究成果を活用して、商業航路としての妥当性は速やかに、かつ容易に検討することができる。

現代の時間スケールは、ヴァスコ・ダ・ガマの時代に比べれば、遥かに短い。南方航路啓開の経緯は、一つの商業航路確立には、かなりの年数を要することを示唆している。やがて開かれる航路として、それぞれの関係分野で研鑽を積み、弛まぬ関心と努力とが肝要である。

特に我が国には、徳川時代の鎖国による北方域への無関心政策の後遺症があり、加えてロシアとの過去の不幸な国際関係の影響が色濃く残存し、北方海域への関心が伝統的に薄く、学術面ですえ、事ありての対症療法的対応で凌いできた経緯が見える。大戦の負の遺産を21世紀に持ち越さないためにも、四辺を海に囲まれた海洋国日本は、NSR 啓開の機運を契機として、国際協調、国際貢献の中で、国益を遵守しつつ、学術的にも、海運業、水産業、さらには外交面においても、北方海域に対する基本方針を抜本的に見直す時がきている。

7. 北極海航路の今後



8. あとがき

国際北極海航路計画(INSROP)は、北極海航路(NSR)及び周辺海域に関わるプロジェクトとしては過去類例のない規模の、かつ幅広い視野での国際共同研究事業であり、167編の研究論文、成書刊行、国際シンポジウムの開催などを通じてその成果は高く評価された。少なくとも、NSR及びその関連問題について、INSROPを凌駕するような包括的かつ詳細な研究成果は見当たらないであろう。

市場原理に基づく仕組みや活動に対してアンチテーゼが提示され、持続的発展、あるいは持続型社会の提言が聞かれる現在、市場原理の理解を説くことにはいささか違和感を禁じえない。しかし、NSRはロシア領海内の航行が中心となるため、ロシア側で自由経済の市場原理について西欧社会と同様な理解なしにはNSRの啓開はあり得ないことも事実である。

北極海は、大循環、深海流の生成、地球温暖化モニタリングなど、地球環境の上から最も注目されている海域である。また同時に豊富な資源の眠る海域でもある。いずれ世界が、とりわけ我が国が、これらの資源に深く依存する時代が訪れるのは時間の問題である。

北極の海は、無限の海から限りある海の認識と言う、新しい基本理念を遵守しつつ、21世紀に向けて今後我々人類が有限な地球生態系の中で、海洋と、さらには水の惑星地球と共生し得るかが真に試される場でもある。

INSROPのもう一つの成果は、国際協力の実を挙げたことにある。INSROPはロシア、ノルウェー、日本の3カ国を中心に実施してきたが、最終的には14カ国390名の研究者がかかわって完成したものである。このような国際協力事業は、外交二輪の一つ、民間外交の一翼を担うものであるからである。極めて日常的な個々の問題を検討吟味することにより、彼我の相違を認識し合い、それぞれの価値観を認めた上での合意を探る努力が払われる。つまり、各論の議論を通じて、総論のおぼろげな姿を模索し、構築する。このような作業過程を経て、相互理解を深め、折々の外圧や好ましからざる環境によって、紆余曲折はあっても、双方の信頼を確かなものにする事ができる。このようなアプローチは、広義での民間外交ならではのものであり、本来の事業目的、成果同様に貴重な成果となった。

NSRの啓開にあたっては、INSROPの実施によってさまざまな問題や課題が公になり、整理されたが、すぐに商業航路として利用できるわけではない。NSR実船航海試験や各種調査研究によって要件の認識確認が行われ、また、事業成果を総括した上で商業航路としての啓開のシナリオをより明確にし、啓開にとって支障となる問題点を明確にすることができた。

ここに、恒久的な商業航路として成立するためには次の要件を満たす必要があることを述べておきたい。

- 1) 想定航路に対する充分かつ信頼性の高い水路調査資料があり、利用できること。
- 2) 航行保全上の支障、懸念を起ささない程度に航路周辺における気象・海象状況が把握されていること。
- 3) ハード、ソフト両面における航行支援システムが確立されていること。

8. あとがき

- 4) 緊急時の避難、救難体制が確立していること。
- 5) 想定航行海域での安全航行を保証できる船舶の設計・建造が可能なこと。
- 6) 想定航行海域での航法が確立していること。
- 7) 国際港としての港湾の整備が充分であること。
- 8) 航行に伴う環境影響評価が確定していること。
- 9) 法制、保険、税制の面での採算性、経済性の条件が満たされること。
- 10) 国際物流の経済的評価に耐えるものであること。

これらに加えて、航路が安定して発展するための要件として、NSR では、

11) NSR 沿いにある未開発地域の開発振興シナリオの妥当性が問われる。

ヴァスコ・ダ・ガマがインド洋航路啓開に向けて、母国ポルトガルを離れたのは1497年7月のことである。未知の海を乗り越え、10カ月を超える長旅の末、拓かれた海の道は、その後、アフリカ、アジアの国々に激動の500年をもたらしたことがよく知られている。ヴァスコ・ダ・ガマの航海から5世紀を経た今、NSR の啓開は間近かであるが航路沿いの国々に何をもたらしてくれるのであろうか。

参考文献

- 植村直己、1977、『極北に駆ける』、文春文庫
 運輸省運輸政策局環境課監修、『海洋汚染防止条約』
 大嶋孝友、1999、MARPOL73/78議定書、関西造船協会誌第44号、pp12-15
 小野延雄、1995、北極海の海洋・大気研究、測候時報、62.1、pp33-55
 海洋基本法研究会監修、1997、『海洋基本法の解説』、国政情報センター
 梶田雅紀、1999、SOLAS条約、関西造船協会誌第44号、pp7-11
 岸 進他、1999.1、氷海船舶、関西造船協会「らん」第42号
 木下誠一 編著、1988、『雪と氷のはなし』、技報堂出版
 栗林忠男、1999、『現代国際法』、慶應義塾大学出版会
 小口 高他編、1989、理科年表読本『二つの極』、丸善
 シップ・アンド・オーシャン財団、1994.3、平成5年度北極海航路開発調査研究事業報告書
 「北極海航路最適船の研究」
 シップ・アンド・オーシャン財団、1995.3、平成6年度北極海航路開発調査研究事業報告書
 「氷海航路航行用最適船の研究開発」
 シップ・アンド・オーシャン財団、1996.3、平成7年度北極海航路開発調査研究事業報告書
 「氷海航路航行用最適船の研究開発」
 シップ・アンド・オーシャン財団、1996.3、平成7年度北極海航路開発調査研究事業報告書
 「北極海航路実船航海試験調査」
 シップ・アンド・オーシャン財団、1996.3、平成7年度北極海航路開発調査研究事業報告書
 「北極海航路実船航海試験計測データ集」
 シップ・アンド・オーシャン財団、1998.3、平成9年度北極海航路開発調査研究事業報告書
 シップ・アンド・オーシャン財団、1999.3、平成10年度北極海航路開発調査研究事業報告書
 シップ・アンド・オーシャン財団、1999.3、INSROP GIS（国際北極海航路計画地理的情報システム）
 日本海事協会、1989(Ⅲ)、平成元年鋼船規則及び同検査要領C編一部改正の解説、Ⅲ耐氷構造、
 日本海事協会誌 No.208、pp194-212
- Aagaard, K., et al., 1983, On the halocline of the Arctic Ocean, Deep Sea Res., 28A, pp529-545.
 Aagaard, K., et al., 1985, Thermohaline circulation in the Arctic Mediterranean Sea, J.
 Geophys. Res., 90(C3), pp4833-4846.
 Aagaard, K., et al., 1989, The role of sea ice and other fresh water in the Arctic circulation, J.
 Geophys. Res., 94(C10), pp14485-14498.
 Administration of the Northern Sea Route, 1996, Guide to navigating through the Northern
 Sea Route, No.4151B.
 ASPPR, 1997, Arctic Ice Regime Shipping Standards.
 Barry, R., 1989, The present climate of the Arctic Ocean and possible past and future states,

- The Arctic Seas – climatology, oceanography, geology and biology (Herman, Y. ed.), pp1-46.
- Carmack, E.C., 1986, Circulation and mixing in ice-covered waters, *The Geophysics of Sea Ice* (Untersteiner, N. ed.), pp641-712.
- Engelhardt, F.R. (ed.), 1985, Petroleum effects in the Arctic environment, *Elsevier Appli. Sci.*, pp117-215.
- Fetteerer, F., et al., 1998, Observations of melt ponds on Arctic sea ice, *J. Geophys. Res.*, 103(C11), pp24821-24835.
- Freitas, A., et al., 1978, A new icebreaking concept, *Proceedings of IAHR Symposium on Ice Problems*, part 1, pp293-317.
- GESAMP, 1993, Impact of oil and related chemicals and wastes on the marine environment, IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution (GESAMP), *GESAMP Reports and Studies No.50*, IMO London.
- Herman, G.F., 1986, Arctic stratus clouds, *The Geophysics of Sea Ice* (Untersteiner, N. ed.), pp465-488.
- Izumiyama, K., et al., 1996, Ice resistance of three bow forms for the NSR cargo ship, *The Proceedings of INSROP Symposium Tokyo '95, SHIP AND OCEAN FOUNDATION*, pp459-467.
- Johannessen, O., et al., 1992, ERS-1 SAR ice routing of L'Astrolabe through the northeast passage, *The Nansen Technical Report No. 56*, Environmental and Remote Sensing Center.
- Karaminas, L., 1999, Harmonization of Polar Shipping Rules – new prospects for the maritime industry, *Proceedings of the 15th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions*, vol.2, pp899-906.
- Kassens, H., et al., 1998, Russian and German scientists explore the Arctic's Laptev Sea and its climate system, *Eos, Trans., AGU* 79, pp317-323.
- Kitagawa, H., 1996, R & D project of a cargo ship for the NSR, *The Proceedings of INSROP Symposium Tokyo '95, SHIP AND OCEAN FOUNDATION*, pp453-457.
- Kowalik, Z., et al., 1994, The Arctic Ocean tides. The polar oceans and their role in sharpening the global environment (Johannessen, O. M., et al., ed.) pp137-158
- Kruglikova, S.B., 1989, Arctic Ocean radiolarians, *The Arctic Seas – climatology, oceanography, geology and biology*, (Herman, Y. ed.), pp461-480.
- Maisson, K., et al., 1995, Inventory on transport patterns and risk estimation of oils carried in the Baltic Sea area, *HELCON Report 75 96-1*.
- Marine Environment Division, IMO, 1995, *The OPRC Convention in Brief, OPRC Colloquium'95*.
- Matyushenhko, N., 1992, The Northern Sea Route: challenge and reality, international challenges, vol.2 no.1, *The Fridtjof Nansen Institute Journal, Special Issue on the Northern Sea Route*, pp58-63.
- Mulherin, N.D., et al., 1996, Development and results of a Northern Sea Route transit model, *U. S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory Report 95-5*.

- NASDA/NASA, 1998, ADEOS Earth View, '98/10.
- Ono, N., 1996, Variability of Arctic sea ice along the Northern Sea Route, The Proceedings of INSROP Symposium Tokyo '95, SHIP AND OCEAN FOUNDATION, pp505-508.
- Østreg, W., et al.(ed.), 1999, The natural and societal challenges of the Northern Sea Route: a reference work, Kluwer Academic Publishers.
- Parkinson, C.L., 1997, Earth form above, University Science Books.
- Peltier, W.R., 1998, Postglacial variations in the level of the sea: implications for climate dynamics and solid-earth geophysics, Rev. Geophys., 36, pp603-689.
- Pettersson, L., et al., 1999, Satellite radar ice monitoring for ice navigation of the ARCDEV tanker convoy in the Kara Sea, Proceedings of the 15th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, vol. 1, pp141-153.
- Polar regions atlas (National Foreign Assessment Center), 1978, Central Intelligence Agency.
- Radionov, V.F., et al., 1997, The snow cover of the Arctic basin, Appl. Phys. Lab.-Univ. Washington, TR9701.
- Romanov, I.P., 1994, Ice cover of the Arctic basin, St. Petersburg.
- Romanov, I.P., 1995, Atlas of ice and snow of the Arctic basin and Siberian shelf seas, Backbone Publ. Co.
- Saavala, J., 1999, Suggestions for future NSR shipping based on NSR experience, Executive Summaries of the Northern Sea Route User Conference, The Fridtjof Nansen Institute, Oslo, Norway, pp91-94.
- Schwarz, J., 1995, Can the Northern Sea Route be profitable, The Proceedings of INSROP Symposium Tokyo '95, SHIP AND OCEAN FOUNDATION.
- Smirnov, V., et al., 1999, The use of satellite information for ice navigation support, Proceedings of the 15th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, vol. 1, pp154-165.
- Wergeland, T., 1992, International challenges, The Fridtjof Nansen Institute Journal, volume 12 number 1-1992, Special Issue on the Northern Sea Route.
- Yamaguchi, H., 1996, Experimental voyage through Northern Sea Route, The Proceedings of INSROP Symposium Tokyo '95, SHIP & OCEAN FOUNDATION.
- Zerefos, C.S., et al., 1997, Variability of UV-B at four stations in Europe, Geophys. Res. Letters, 24, pp1363-1366.

映像資料

- 「北極海航路実船航海試験～極北からの報告～」1995年8月1日～28日 (約30分)
- 「北極海航路実船航海試験～極北からの報告～<ダイジェスト版>」(約20分)
- 「Experimental Voyage through Northern Sea Route ～A Report from the Northern Sea～」(NTSC type, PAL type) August 1 to 28, 1995 (約30分)

参考図書

- アイザック・アジモフ (口下実男・田平貞穂子訳)、1977、『アジモフ博士の極地論』(Issac Asimov; The end of the earth—the Polar regions of the world, 1975)、文化放送出版部
(極地の科学の解説啓蒙書)
- 青木康征、1998、『海の道と東西の出会い』、世界史リブレット25、山川出版社
(欧州とアジアとの出会いを海の世界から述べた小冊子)
- 秋月俊幸、1999、『日本北辺の探検と地図の歴史』、北海道大学図書出版会
(江戸時代頃からの北方域における日本の探査活動と地図作成の歴史等を述べた専門書)
- 『朝日講座 探検と冒険6』、1972、朝日新聞社
(北極・南極の探検、調査研究史、科学調査法など)
- 大型ドキュメンタリーNHK取材班、1989、『北極圏』、1、日本放送出版
(北極圏の自然、生物、住民の生活のドキュメンタリー記録)
- 岡田宏明、1994、『北の文化誌』、アカデミア出版会
(北方民族の歴史、文化の解説)
- 岡田宏明他編著、1992、『北の人類学』、アカデミア出版会
(北方諸民族の生活、固有の文化についての解説書)
- 加納一郎、1960、『極地の探検・北極』、時事通信社
(北極の探検、科学調査史の物語)
- 坂光二、極地油・ガス田開発技術の現状及び動向、石油の開発と備蓄、1987年12月号～1994年
12月号
(米国、カナダ、グリーンランド、ノルウェー及びロシアに関連した極地の探検・開発、気象・
海象および流水の制御、石油及び天然ガスの輸送、支援システム等をまとめたもの)
- 平岡雅英訳編、1935、『ソヴェト極北探検船チェリュスキンの最後』、ナウカ社
(チェリュスキンの科学調査と難破、全員救助の物語)
- 福田正己他編著、1997、『極地の科学、地球センサーからの警告』、北海道大学図書刊行会
(極地から見た地球環境の解説書)
- フリッチョフ・ナンセン (太田昌秀訳)、1998、『フラム号：北極海横断記—北の果て—』、ニュー
ートン・プレス
(フラム号による北極海横断記録の詳細)
- フリッチョフ・ナンセン (澤田洋太郎訳)、1976、『極北 (上、下巻)』(Fridtjof Nansen; Farthest
North, 1897)、福音館書店、
(ナンセンの北極海探査の航海談)
- ヘレン・ライト (大日本文明協会訳)、1914、『北極』(H.S.Wright; The great white north)
(ピアリーの北極点到達までの北極探検史)
- 梶本セツ訳編、1956、『北極 大氷原のナゾはどう解かれたか』、春秋社
(IGY 開始までのソビエト探検隊の科学成果)

- A. コンドラトフ (斎藤辰二訳)、1991、『北極大陸物語』、地人書房
(氷河時代の北極圏の姿を紹介する啓蒙書)
- A. E. ノルデンシェルド (小川たかし訳)、1988、『ヴェガ号航海誌 (上、下)』、フジ出版社
(1878-1880年の北東航路初通航、アジア・ヨーロッパ周航記)
- R. A. スケルトン (増田義郎・信岡奈生訳)、1991、『図説 探検地図の歴史、大航海時代から極地探検まで』、原書房
(第5章 北東航路、第6章 北西航路などを含み、北極占地区も豊富)
- Amundsen, R., 1908, The north west passage, Archibald Constable & Co., Limited.
(アムンゼンが著した北西航路啓開の探検談)
- Boies, P., 1952, Travel and discovery in the renaissance 1420~1620, Harvard Univ. Press.
(大航海時代における探検、海図、航海術、船舶の発達などを述べた名著)
- Brigham, L. W., 1991, The Soviet maritime arctic, Belhaven Press.
(北極海域における旧ソ連体制時代の海事活動とその問題点を述べたもの)
- Brubaker, D., 1993, Marine pollution and international law ; principles and practice, Belhaven Press.
(海洋汚染に関わる国際法、条約、規定等を詳述した専門書)
- Bruemmer, F., 1993, Arctic memories : living with Inuit, National Book Network, Inc.
(北極域で生活する先住民の生活の易しい紹介。写真等豊富)
- Forsyth, J., 1992, A history of the peoples of Siberia, Cambridge University Press.
(シベリア先住民の生活、歴史を述べた大著)
- Frankel, E., 1995, Ocean environmental management : a primer on the role of the oceans and how to maintain their contributions to life on earth, Prentice Hall, Inc.
(海洋環境の特異性、海洋の地球環境への影響を論じた専門書)
- Harley, J.B., et al., 1987, 1993, History of cartography, vol. 1, vol.2.
(地図、海図の技法の発達史を論じた名著)
- Haykin, S., et al., 1994, Remote sensing of sea ice and icebergs, John Wiley & Sons, Inc.
(人工衛星による海氷及び氷山のリモートセンシング技術を述べた専門書)
- Herman, Y. (ed.), 1989, The Arctic Seas; climatology, oceanography, geology, and biology, Van Nostrand Reinhold.
(北極海の自然及び生態系に関する専門書)
- Johannessen, O. M., et al. (ed.), Aug. 1994, The Polar Oceans; and their role in shaping the global environment, Geophys. Monograph 85.
(北極海の海洋と気候に関する科学専門書)
- Kondratyev, K. Ya., et al., 1996, High latitude climate and remote sensing, John Wiley & Sons, Inc.
(高緯度地域における人工衛星ベース・リモートセンシング技術を述べた専門書)
- Pearsall, R., 1996, Lost at sea: great shipwrecks of history, Todtri Productions Limited.
(古代から現代に至るまでの海難、海戦の歴史。絵図豊富)

Raurala, N.-E. (ed.), 1992, The northeast passage, from the Vikings to Nordenskiöld, Helsinki University Library.

(ヴァイキングの時代からノルデンショルドまで、北東航路啓開の歴史を記した大著で、地図、海図等図も豊富)

Romanov, I. P., 1995, Atlas of ice and snow of the arctic basin and Siberian Shelf Seas, Backbone Publishing Co.

(主としてロシアが調査収集した北極海氷況データをとりまとめたもの)

Smith, W. O., Jr. (ed.), 1990, Polar oceanography: part A physical science, Academic Press Inc.

(北極海の地理、気象、海洋に関する専門書)

Stonehouse, B., 1990, North Pole・South Pole, Multimedia Books Ltd.

(北極、南極の自然、資源、生態系についての入門書、著者は英国スコット極地研究所の著名な研究者)

Untersteiner, N. (ed.), 1986, The geophysics of sea ice, NATO ASI Series B146, Plenum.

(北極海の海氷に関する科学専門書)

Westermeyer, W. E., et al. (ed.), 1984, United States Arctic interests, the 1980s and 1990s, Springer-Verlag.

(アメリカの北極政策とその背景を述べた専門書)

Whitfield, P., 1996, The charting of the oceans, The British Library.

(海図史の易しい解説書。豊富な絵、図が特徴)

資 料

1. INSROP	172
2. 北極海航路啓開年譜	175
3. 北極海科学研究史（抜粋）	176
4. 海氷用語解説	177
5. 運航技術関係資料	
5-1 資料 A：JANSROP における船型開発	185
5-2 資料 B：運航シミュレーション補足資料	200
6. ロシア関係資料	
6-1 ロシア近代概史	215
6-2 ロシア連邦 行政単位	216
6-3 ロシア以外の CIS（独立国家共同体）諸国	217
6-4 連邦国家ロシアの主体組織	222
7. List of INSROP WORKING PAPERS	223
8. INSROP 関係入手資料	232

1. INSROP

(1) INSROP の経緯

INSROP、International Northern Sea Route Programme は、そもそも、1987年10月、ゴルバチョフ書記長の北極海航路開放宣言を受けて、ロシア運輸省がその具体策を検討、1988年11月、ノルウェー、フリチョフ・ナンセン研究所 (FNI) に協力を打診したことに始まる。1990年ほぼ一年を掛けての審議の結果、ロシア、セントペテルスブルグの中央船舶海洋設計研究所 (CNIMF) 及びオスのフリチョフ・ナンセン研究所の主導による北極海航路に対するフィージビリティ・スタディ予備調査を行うことで合意、一年半の調査の結果、本格研究に進むべしとの結論を得て、新規研究調査組織の構築に向けての活動が開始された。

北極海航路の東端に位置する経済圏の代表としての日本の参画が真摯に望まれ、協議の結果として、ロシア・ノルウェー間で既に検討された研究調査計画を抜本的に見直すこと、及び研究事業における日本・ロシア・ノルウェー3カ国の平等な立場を前提として、シップ・アンド・オーシャン財団 (SOF) が、日本財団の支援を得て、北極海航路啓開に関する本格的フィージビリティ研究計画への参画を承認、ここに1992年、INSROP の研究方針、詳細計画、資金調達方策、会計年度等、計画実行に向けての審議が始められた。1993年4月、SOF、FNI、CNIMF 3者間の計画合意が成立し、同年5月3者により、計画の最終的承認が行なわれ、先ず第一期3年間の INSROP 事業に着手した。

INSROP には、日本財団笹川陽平理事長を議長とする運営委員会 (SCS: Steering Committee of Sponsors) を設け、3カ国の意見を調整し基本方針を決定することとし、また併せて、実際的な研究内容、課題を審議、調整、選択し、研究実行計画を立案する共同研究委員会 (JRC: Joint Research Committee) が設けられた。

我が国においては、INSROP に対応して、シップ・アンド・オーシャン財団に、藤田 謙委員長指導の下、関係有識者を集めて北極海航路開発調査研究委員会を設け、国際事業である INSROP を推進すると共に、我が国の技術的、社会的現状において、INSROP 事業成果を最も効果的に吸収、活用し得るよう、INSROP に合せ、我が国独自の調査研究事業を実施することとした。

(2) INSROP の概要

INSROP は、1993年より1995年までの Phase I 計画、及び1997、1998年の両年にわたる Phase II 計画から構成された。1996年には、中立的な INSROP 外部の有識者、専門家による評価委員会を設けて、Phase I 成果の検討、評価を行い、Phase II 計画について、その必要性、研究基本方針、優先課題等について評価委員会の諮問を仰いだ。Phase II 計画は、この評価委員会の勧告に従って研究計画を審議、作成し、事業を実施した。

Phase I では、下記のサブ・プログラム毎に、日本、ロシア、ノルウェー3カ国の委員からなる共同研究委員会が、検討、決定した個々の研究課題が、世界各国の専門家によって個別に調

査、研究された。

- サブ・プログラムⅠ：北極海の自然条件と氷海航行技術
- サブ・プログラムⅡ：北極海航路啓開が自然、生態系及び社会環境に及ぼす影響評価
- サブ・プログラムⅢ：北極海航路の経済性評価
- サブ・プログラムⅣ：北極海航路啓開に関する政治的・法制的背景

これらの個別研究課題成果は、一旦、DISCUSSION PAPERとしてINSROP事務局FNIへ提出され、INSROP関係者以外の専門家によって審査、評価され、文章上、表現上の手直しを含め修正後、審査委員及び著者のコメントを付して、INSROP WORKING PAPERとして出版、公表された。

また、PhaseⅠにおける個別的研究成果は、日本財団の支援を得て、各専門分野の国際的権威を座長に迎えて、1995年10月、東京において開催された国際シンポジウムIST'95, "Northern Sea Route; Future and Perspective"にて発表され関心を呼んだ。

1996年8月には、Murmansk Shipping Co.所属の砕氷貨物船Kandalaksha号によるNSR実船航海試験が行われ、驚異的な短期間にて横浜・キルキネス（ノルウェー）間を無事航行し、航路の有効性の確認、今後の問題点の検討の他、北極海そのものの理解を深めた。

国際評価委員会の勧告に基づくINSROP PhaseⅡ計画は、事業年度を1997、1998の2年度とし、この間

- PhaseⅠ事業の補足
- INSROP事業成果の統合と集大成
- 地理的情報システムINSROP GISの補充と普及
- 航行シミュレーションによるNSR運航評価

が行なわれた。

INSROP事業成果の統合と集大成は、日本、ノルウェー、ロシア3国の編集者3名によって編集され、INSROP Working Paper No. 167, "The Challenges of the Northern Sea Route - Interplay between Natural and Societal Factors"として刊行された。12名の著者が下記の各章をそれぞれ担当し、関係分野でのINSROP成果の取りまとめを行った。

1. 北極海航路の歴史的、地政学的意味
2. 自然条件、氷海航行及び造船技術
3. 環境影響評価
4. 経済性評価
5. 戦略、政治、法制、及び先住民族問題
6. NSRの多様な現実：運航上の問題個所

INSROP GISは少なくとも関係分野で既存あるいは開発中のものに比して、優れた内容を持つものと評価できるが、致命的なデータの欠落部分もあり、これらが、今後の国際協力研究によって早急に補填されることを望みたい。

NSR航行シミュレーションは、内外の専門家を集め、グループ組織として研究を実施し、NSR用船舶の概念設計を行い、概念設計船舶をパソコン上で走らせて運航経済性を運航モード

毎に吟味したものであり、航路選択、航路沿いの海域区分、区分海域毎の氷況、航行支援体制、輸送貨物・荷動き予測、環境影響、科料及び関係法制等を考慮した。

INSROP 事業には、14カ国、総計390名の研究者の協力が得られ、INSROP Working Paper は、Phase II におけるものを含め、167編の研究報告書が刊行された。この他、国際シンポジウム、専門紙、学会等への投稿論文を含めれば、200編を超す論文が発表されたことになる。

日本側の参画意図の一つは、ロシア・データの開示を促し、広く国際的に活用することであり、北極海に対して現実感があり、実務経験のあるロシア、ノルウェーとは、やや立場に相違があったことは否めない。計画策定において、ややもすれば、自国エゴに陥りがちなノルウェー、ロシア両国に対して、International の意味を問い直させ、真の国際プロジェクトとしてより豊かな成果を求めて両国間の見解の相違を調整し、ロシア・データの開示を承認させ、本事業を成功に導いた日本の役割は大きい。

2. 北極海航路啓開年譜

1000	ノルマン北アメリカへ到達：ブゴロド住民ノバヤゼムリヤ南海峡へ進出
1271～1290	マルコポーロ中国旅行
1415	ポルトガル王エンリケの航海事業
1492	コロンブス第1回航海
1497	ヴァスコ・ダ・ガマ、インドへ
1520	マゼラン世界回航
1553	チャンセラー白海からモスクワへ：ウイロビー北東航路探検
1565	フロイス、日本北方の大島について記述
1576	フロビッシャー北西航路探検
1577	ドレイク世界周航
1578	コサックのエルマク、シベリア征服
1585	デービス北西航路探検（～1587）
1597	バレンツ、ノバヤゼムリヤからコラ半島へ回航（遭難）
1599	松前藩「蝦夷之凶」を家康に献上
1600	リーフデ号豊後に漂着
1605	ハドソン北西航路横断（～1607）
1616	バフィン、バフィン湾を発見
1643	フリース日本北辺を航海
1648	デジネフ、アジア北東端を回航
1697～1699	アトラソフ、カムチャッカ探検
1711	コズイレフスキー第2回千島遠征
1725	ベーリング第1次カムチャッカ探検、オホーツクへ到達
1733～1743	ロシア探検隊シベリア北岸大規模調査（Great Northern Expedition）
1741	ベーリング・チリコフ、アラスカに到達
1779	クラーク等ベーリング海調査：クック第3次探検
1804	近藤重蔵「辺要分界図考」
1808	間宮林蔵「カラフト島大概地図」
1821	伊能忠敬「大日本沿海輿地全図」
1858	ロシア、アムール河左岸を獲得（アイグン条約）
1860	ロシア、沿海地方を獲得（北京条約）
1874	オーストリア北極探検隊フランツヨーゼフランド発見
1875	樺太千島交換条約
1879	ノルデンショルド北東航路完航、横浜入港：デ・ロンク北緯71度に到達
1879～1881	ジャネット号ノボシビルスク諸島にて遭難
1893	ナンセン北極探検（～1896）：郡司大尉千島探検
1898	砕氷船イエルマク建造
1903～1905	アムンゼン、ユア号にて北西航路完遂
1909	ピアリー北極点到達
1913	ロシア中央水路管理局セベルナヤゼムリヤを発見
1932	シビリアコフ号、一夏でNSRを通航：ロシアNSR管理局設立
1942	ソ連軍艦NSRを完航
1972	砕氷貨物船インジギルガ号冬期NSR航行に成功
1995	砕氷貨物船カンダラクシャ号夏期実験航海

3. 北極海科学研究史（抜粋）

1831	英国：ジェームス・ロスの北磁極（69° 34′ N, 94° 54′ W）調査
1878~1880	瑞典：ノルデンショルドのヴェガ号北東航路調査（2年がかりで初通航/米日）
1882~1883	国際極年（第1回）：北極域に13観測所
1893~1896	ノルウェー：ナンセンのフラム号漂流による北極海横断調査
1932~1933	第2回国際極年（IPY）：ソ連の北極圏有人観測所は22地点
1932	ソ連：シュミットの砕氷汽船シベリアコフ号北東航路調査（初単年通航/米日）
1932	ソ連：北洋航路中央管理局（後に総局）を創設（シュミット局長）
1933	ソ連：シュミットの汽船チェリュスキン号北東航路調査（チュクチ海で沈没）
1934	ソ連：北洋航路中央管理局に北極研究所を設置
1937~1938	ソ連：バパーニン北極氷上漂流ステーション（後に北極1号に位置づけ）
1941	日本：快鳳丸の両極縦断航海計画。北極海より反転帰国
1947~1955	米国：北極海定期航空気象観測（アラスカ⇄北極点/後に毎日）
1950~1951	ソ連：漂流ステーション北極2号（ソモフ隊長）
1952	米国：氷島 T-3に基地建設（1954閉鎖/IGYに再開）
1957~1959	国際地球観測年（IGY）：北極域に約80の観測点。米国 T-3、ソ連北極6号（氷島）・7号が活躍。北極7号は、西側各国に公開された。
1958	米国：原子力潜水艦ノーチラス号の北極海横断潜航
1958	ソ連：北極研究所を北極南極研究所に拡充
1961	米国：氷島 ARLIS-II の漂流観測
1969~1970	米国：大型砕氷タンカー・マンハッタン号の北西航路航行実験
1972~1975	米国・カナダ：北極海氷動態国際観測（AIDJEX）
1972~1981	国際極域実験観測（POLEX）
1987	ソ連：北極30号を砕氷輸送船ビトラス・ベーリング号で開設
1987	ソ連：ゴルバチョフのムルマンスク演説、北極科学調査に国際協力
1988	ソ連：北極31号開設。翌年4月 NHK 取材
1990	日本：国立極地研究所に北極圏環境研究センター設置
1990	国際北極科学委員会（IASC）発足
1991	ソ連：北極30号・31号撤退。北極漂流ステーション計画終了
1993~1998	国際北極海航路計画（INSROP）
1995	日本：カンダラクシャ（Kandalaksha）号による NSR 実船航海試験
1997~1998	カナダ・米国：北極海の表面熱収支観測（SHEBA）氷海漂流実験
1998	米国：アラスカ大学フェアバンクス校に国際北極圏研究センター（IARC）創設
1998	日本：北極圏航空機大気観測（日本からの往復飛行観測）

4. 海氷用語解説

海氷の成長過程や流氷野の状態を示す呼び名は、国や地域によってまちまちであり、出版されている海氷用語集も十指を超える。国際的な統一用語の制定は、国際地球観測年 (IGY) に備えて1956年に世界気象機関 (WMO) によって試みられた。WMO は1970年に新しい海氷用語を英・仏・露・スペイン語で併記し、写真をつけた海氷用語集を刊行した。その邦訳は、久我雄四郎・赤川正臣 (1971) 「新しい WMO 海氷用語について」 (雪氷33, 98~105) として示されたが、後に修正が加えられて『海洋観測指針 (気象庁編)』 (1990 日本気象協会複製版) に抄録された。分類一覧と若干の解説は『雪氷辞典 (日本雪氷学会編)』 (1990 古今書院) にも収められている。

この WMO 海氷用語の制定当時は、沿岸、船上、航空機からの口視観測が主であり、それに適した分類であった。その後、若干の改定 (1985, 1989) が行われて、潜水艦からの水中観測用語などが付加された。人工衛星利用の海氷観測が主役となって広域の海氷状況が得られるようになり、新たな海氷用語の追加と統一が求められているが、まだ国際的な選定には到っていない。広域の海氷用語に関してはロシアが使っている『海氷用語辞典』 (2000 シップ・アンド・オーシャン財団訳) があるので、その分類と定義を加えることにして、WMO の海氷分類を中心に用語解説を記述する。

1. 浮氷の種類

水に浮いている氷の総称を浮氷 (Floating ice) という。浅瀬や岸に乗り上げている氷を含む。海水が凍結した海氷 (Sea ice)、湖でできた湖氷 (Lake ice)、河川でできた河氷 (River ice) と、氷河や氷床などの氷が水面に浮いた陸氷 (Ice of land origin) とに分類される。

2. 発達過程 (Development)

新しく出来た氷を総称して新成氷 (New ice) という。まず水中に針状または円板状の微細な氷の結晶が現れるが、これを晶氷あるいは氷晶 (Frazil ice) という。晶氷が水面に集まった薄い層はグリース・アイス (Grease ice) と呼び、光をあまり反射しないので海面は鈍く見える。凍り始めに雪が降り注ぐと雪泥 (Slush) ができる。グリース・アイスや雪泥が直径数 cm 位の柔らかい塊を作り始めると、白く見えるようになり、スポンジ氷あるいは海綿氷 (Shuga) と呼ぶ。

海面が比較的穏やかな時には、光沢のない薄い氷が表面を覆う。厚さは10cm 以下で、弾力があり、波やうねりでたやすく曲げられる。これをニラス (Nilas) と呼び、厚さ5cm 未満の暗いニラス (Dark nilas) と厚さ5~10cm の明るいニラス (Light nilas) とに分ける。

低塩分の水面が結氷するときには、もろくて堅い表面を持つ輝いた氷、氷殻 (Ice rind) が生まれる。厚さはおよそ5cm で、風やうねりによって簡単に割れ、矩形の氷片が作られる。

ニラスが厚くなった10~30cm の段階を、板状軟氷 (Young ice) と呼び、厚さ10~15cm の灰色の薄い板状軟氷 (Grey ice) と、厚さ15~30cm の灰白色の厚い板状軟氷 (Grey-white ice) とに分ける。薄い板状軟氷はニラスより弾力がなく、うねりによって破壊され、圧力によって積み

重なるが、厚い板状軟氷は圧迫されると積み重なるよりも隆起状になる。

板状軟氷が成長して厚さが30cm以上(2m以下)になり、1年以上を経過していない海水を一年氷(First-year ice)と呼ぶ。厚さによって、30~70cmの薄い一年氷(Thin first-year ice)、70~120cmの並の一年氷(Medium first-year ice)、120cmを超える厚い一年氷(Thick first-year ice)に分類される。薄い一年氷は、白い氷(White ice)と呼ばれることもある。

少なくともひと夏は融けずに残った氷を古い氷(Old ice)といい、ひと夏だけ融けずに残っている二年氷(Second-year ice)と、ふた夏以上融けずに残った多年氷(Multi-year ice)とに分ける。二年氷は、一年氷よりも密度が小さくなって水面上に高く出るようになり、形状も滑らかになるのが特徴である。夏の融解期に小さなパドルを定期的に数多くつくり、パドルの部分や積雪のない所は緑青色を呈する。多年氷は、厚さが3m以上に達し、二年氷より更に滑らかになり、塩分はほとんどない。積雪のない所は青色となる。融解期には、不規則なパドルが互いに連結して、発達した排水組織ができる。

3. 定着氷の形態 (Forms of fast ice)

岸に接して陸続きとなっている海氷を定着氷(Fast ice)という。海岸のほか、氷河壁や浅瀬の座礁冰山などに接して張りつめている氷も含む。潮汐に伴う上下動が見られる。定着氷は沿岸の海水が凍結したり、ある年令の流氷が海岸に凍着したりして形成される。幅は海岸から数mから数100kmにおよぶ。ニラスや板状軟氷の定着氷は、初期沿岸氷(Young coastal ice)と呼ぶ。1年以上存在する定着氷は、年令によって、二年定着氷、多年定着氷あるいは古い定着氷と呼んで区別する。厚さを増して海面上の高さが2m以上になれば「棚氷」と呼んでよい。

潮汐で上下することもなく、定着氷が流れ去ったあとの海岸に狭く長く残る固着した氷を氷脚(Ice foot)という。氷の生成過程とは無関係に、海底に接触または固着している氷をいかり氷(Anchor ice)、浅瀬にのり上げた氷を座礁氷(Grounded ice)、座礁氷が氷丘状になったものを座礁氷丘(Grounded hummock)、潮が引いたあとの海岸に残る氷を座氷(Stranded ice)と呼ぶ。

4. 浮氷の姿、流氷 (Drift ice / Pack ice)

海氷域に見られる定着氷以外の総ての氷を流氷(Drift ice/Pack ice)といい、その形態や配置には関係しない。英語の修正版(1989)では、それまで密接度に関係なく Pack ice が用いられていたのを、密接度が7/10未満を Drift ice、7/10以上を Pack ice と使い分けることが示された。

地球全体、北半球、北極海、オホーツク海のようなかなりの大きさをもつ海域で、その全海面に対する氷の部分の面積比率を、アイスカバー (Ice cover) という。一方、視界内とか、ある海域とか、場所を限定して、その海面に対する氷の占める面積の割合を10分比で表わしたものを、密接度あるいは氷量 (Concentration) という。

密接度が10/10で、水面がまったく見られない流氷域を全密接流氷 (Compact ice)、全密接流氷で氷盤が互いに凍り着いている状態を凍結密流氷 (Consolidated ice) という。密接度が9/10~10/10の流氷域を最密流氷 (Very close ice)、密接度が7/10~8/10でほとんどが接触した氷盤

からなる流氷域を密流氷 (Close ice)、密接度が4/10~6/10で氷盤同士は通常接触せず多くの水路や氷湖がある流氷域を疎流氷 (Open ice)、密接度が1/10~3/10で流氷より水面のほうがはるかに多い流氷域を分離流氷 (Very open ice)、航行可能な広い海域で、その中に海氷があってもその密接度は1/10以下の海域を開放水面 (Open water)、氷が全く無い海域は無氷海面 (Ice-free) という。

浮氷の形態による分類では、結氷初期のグリース・アイス、雪泥、海綿氷などが弱いうねりで揺すられたり、氷殻やニラスが割れたりすると、互いにぶつかり合っただけの縁のまくれ上ったほぼ円形の氷、はす葉氷 (Pancake ice) となる。直径は30cm~3mで、厚さは10cm前後のものが多い。はす葉氷によって波長の短い波浪が押しえられ、一緒に上下するはす葉氷が互いに凍りついて次々に大きなはす葉氷、小板氷、板氷へと移行する。直径が2mより小さい比較的平坦な海氷が小板氷 (Small ice cake)、直径が2mを超え20mより小さい比較的平坦な海氷が板氷 (Ice cake) である。

直径が20m以上の比較的平らな海氷を氷盤 (Floe) という。氷盤はその大きさによってさらに分類されるが、WMO海氷用語とロシアの現行海氷用語とは区別の大きさと呼び方に違いがある。WMO用語では、直径が20~100mのものを小氷盤 (Small floe)、100~500mを中氷盤 (Medium floe)、500m~2kmを大氷盤 (Big floe)、2~10kmを巨氷盤 (Vast floe)、10km以上を巨大氷盤 (Giant floe) と呼ぶ。それに対して、ロシアの海氷用語では、2~25mを板氷片、25~100mを小氷盤片、100~500mを氷盤片、500m~2kmを中氷盤、2~5kmを大氷盤、5~10kmを巨氷盤、10km以上を巨大氷盤としている。それゆえ中氷盤、大氷盤などは、両者でその大きさが完全に食い違っている。

氷塊の集合体は、直径2m以下のさまざまな形に砕けた氷片の集合を砕け氷 (Brash ice)、一つの氷丘またはいくつかの氷丘が凍りついた大きな浮いている海氷塊で海面上の高さが5m以下のものを大氷岩 (Floeberg)、年令の異なる氷と一緒に凍結している氷塊をモザイク氷 (Ice breccia) と呼んでいる。

いろいろの大きさの氷盤群からなる流氷域で、さしわたしが10kmより小さい流氷域は流氷原 (Ice patch)、10kmより大きい流氷域は流氷野 (Ice field) と呼ぶ。流氷野は更に10~15kmの小流氷野 (Small ice field)、15km~20kmの中流氷野 (Medium ice field)、20kmを超える大流氷野 (Large ice field) に分けられる。大流氷野より広範囲の数千km²におよぶ全密接流氷域は、大氷域、アイスマッシフ (Ice massif) と呼ばれ、毎年夏にほぼ同海域に現れる多年海氷域である。ロシアの現行海氷用語ではアイスマッシフを更に細かく分類し、北極海規模大氷域 (Oceanic ice massif)、海域規模大氷域 (Regional ice massif)、地方大氷域 (Provincial ice massif)、局所大氷域 (Local ice massif) などに分けている。

流氷の本体から分離した小氷片が、1km以下の幅で細長い筋状となって漂流する流氷を小氷帯 (Strip) といい、1kmから100kmにおよぶ幅で細長く伸びている流氷の配列を流氷帯 (Belt) という。密接度7/10以上の2つの流氷域を繋ぐ狭い結合部をイスマス、氷峡 (Ice isthmus) と呼ぶ。しばしば航路として推奨されるが、通過するのは困難なことが多い。海峡に砕けた海氷が詰まったり、河川で河氷が詰まったりする状態はアイスジャム、つまり氷 (Ice jam) と名付けられ

ている。

風や海流の作用によって、氷縁が数 km の長さに張り出したものを氷舌 (Tongue)、氷縁の中に日月状に広く入り込んだ部分を入江 (Bight) と呼ぶ。

海氷と開水面とが時々刻々につくる様々の形の境界を氷縁 (Ice edge) という。定着しているか漂流しているかを問わない。定着氷と開水面との境界は定着氷の氷縁 (Fast-ice edge) という。定着氷と流氷の境界は定着氷境界 (Fast-ice boundary)、明らかに異なる氷量の二つの流氷域の境界は氷量境界 (Concentration boundary) と呼び、両者をまとめて氷域境界 (Ice boundary) ということがある。通常流氷域の風上側にでき、風や海流で圧縮された明瞭な氷縁を密氷縁 (Compact ice edge)、通常流氷域の風下側にでき、氷が分散して境界が明瞭でない氷縁を緩氷縁 (Diffuse ice edge) という。

多年にわたる観測に基づき、ある特定月や期間における氷縁の平均位置を平均氷縁 (Mean ice edge) という。最大平均氷縁、最小平均氷縁という用語もある。多年の観測期間中の最大最少氷縁位置を氷限 (Ice limit) と呼ぶ。特定月、特定期間、最小、最大などを付けて、気候学的用語として用いる。

5. 流氷の運動作用 (Pack-ice motion processes)

氷野や氷盤群が発散状況下にあることを分散 (Diverging) といい、氷量が減少し、圧迫がゆるむ。それに対し、収束状況下にあることを密集 (Compacting) といい、氷量が増加し、圧迫が起こって変形をもたらす。氷が回転力を受け、動きに直角な方向に変形が現れる場合、流氷域がずれ (Shearing) の運動を受けているという。

6. 変形作用 (Deformation processes)

圧迫により破壊し裂け目などを生ずることを破碎 (Fracturing)、氷丘ができるような圧迫作用を氷丘化 (Hummocking)、氷丘脈を作るような圧迫作用を氷脈化 (Ridging) という。圧力を受けて新成氷や板状軟氷が互いに重なり合うことをのしあがり (Rafting) といい、指を交互に上下させて組むような状態ののしあがりをゆび状組合わせ (Finger rafting) という。氷表面の起伏をしだいに消してゆくような削剥と蓄積の作用を風化 (Weathering) と呼んでいる。

7. 氷域中の海水面

変形作用の結果、密流氷域や定着氷、または単独の氷盤に走る裂け目を割れ目 (Fracture) という。割れ目には砕け氷があったり、ニラスや板状軟氷が張りつめていることもある。長さは数 m から数 km に及ぶものもある。氷を互いに分離させるに至らない数 cm から 1m の幅の亀裂をクラック (Crack) といい、動かない氷脚あるいは氷河壁と定着氷との間のクラックを、タイド・クラック (Tide crack) という。タイド・クラックの沖側の定着氷は潮汐によって上下する。

流氷と定着氷との間の狭い分離帯をフロー (Flaw) という。強い風や海流によって定着氷境界に沿って流氷が切り取られてでき、その中は氷片が混乱した状態になっている。割れ目は、その幅によって、1~50m の極小割れ目 (Very small fracture)、50~200m の小割れ目 (Small

fracture)、200~500mの中割れ目(Medium fracture)、500mを超える大割れ目(Large fracture)に分類される。割れ目が多数あるところを割れ目域(Fracture zone)という。

航行が可能な海水中の割れ目や狭い通路は水路(Lead)と呼ばれる。流氷と海岸、あるいは流氷と浮氷壁との間の水路を沿岸水路(Shore lead)、流氷と定着氷との間の航行可能な水路をフロー・リード(Flaw lead)という。

直線的な形でない氷に囲まれた様々な海水面をポリニヤ、氷湖(Polynya)という。氷湖は砕け氷があったり、新成氷、ニラス、板状軟氷で覆われていてもよい。沖側が流氷で岸側が海岸や浮氷壁のときを沿岸氷湖(Shore polynya)、岸側が定着氷ときはフローポリニヤ(Flaw polynya)といい、毎年同じ場所に現われるときは再現氷湖(Recurring polynya)という。

8. 氷の表面の特徴 (Ice-surface feature)

変形を受けていない海氷を平坦氷(Level ice)、互いに押し合い、所によっては押し上げまたは押し下げられたりしている氷を総称して変形氷(Deformed ice)という。変形氷は、いかだ氷、氷脈氷、氷丘氷などに分けられる。

氷塊が互いに重なり合っている変形氷がいかだ氷(Rafted ice)であり、いかだ氷の一種で指を交互に上下させて組んだような姿の氷をゆび状いかだ氷(Finger rafted ice)という。

圧力を受けて壊われた氷が山脈状あるいは壁状に盛り上がり連なる部分を氷丘脈(Ridge)という。氷丘脈の下に押し下げられた水中の部分は竜骨氷(Ice keel)という。出来て間もない氷丘脈は斜面の傾斜が40°位の鋭い峯を持ち、新氷丘脈(New ridge)と呼ばれる。斜面の傾斜が30~40°位で頂上が少し丸くなって個々の氷塊が見分けられない氷丘脈は風化氷丘脈(Weathered ridge)、斜面の傾斜が20~30°位で頂上が非常に丸みを帯びた氷丘脈は最風化氷丘脈(Very weathered ridge)、峯の起伏が特徴を残す相当に風化した氷丘脈は老氷丘脈(Aged ridge)などと呼ばれている。凍結氷丘脈(Consolidated ridge)は土台の部分が互いに凍りついている氷丘脈である。通常一年氷の氷片が不規則に積み重なり合って山脈状や壁状になった氷を氷脈氷(Ridged ice)という。同じような特徴をもった氷脈氷が大量にある区域を氷脈氷帯(Ridged ice zone)と名付けている。

圧力によって壊われ押し上げられた氷の山を氷丘(Hummock)、押し下げられて水中で氷丘の下に溜まる氷塊の部分をさかさ氷丘(Bummock)という。垂直あるいは傾斜して立っている単独の氷盤で、比較的平らな氷で固まっているものを直立氷盤(Standing floe)と呼ぶ。氷片が互いに不規則に積み重なった起伏のある海氷は氷丘氷(Hummocked ice)と呼ばれ、風化するとなだらかな丘陵状になる。氷河壁、浮氷壁、冰山や氷盤の水面下に氷の張出しができた部分を氷衝角(Ram)という。通常それらの氷が海面で激しく融解したり浸食されたりして生ずる。

積雪のない氷をはだか氷(Bare ice)といい、積雪のある氷を冠雪氷または載雪氷(Snow-covered ice)という。風で吹き飛ばされた雪が障害物の風下に溜まったり、風の渦で堆積したりした雪を吹きだまり(Snow drift)という。両端が風下方向に向いた三日月形の吹きだまりは雪バルハンとして知られる。風食や堆積により雪面に生じた鋭い不規則な起伏をサスツルギ(Sastrugi)という。サスツルギはそれが作られた期間の主風向に平行な峯をつくる。

9. 融解過程

氷上の融け水の溜まりをパドル (Puddle) という。主として積雪の融け水であるが、さらに進んだ段階では氷自身の融け水が加わる。初期の段階では融雪の斑点ができる。パドルが大きくなって下の海水まで突き抜けた海水中の垂直な穴を底なしパドル (Thaw holes) と呼ぶ。クラックや底なしパドルができて、溜まっていた融け水が表面から流れ去ったあとの氷をかわき氷 (Dried ice) といい、乾燥している間は氷表面が青みがかって見える。崩壊が更に進むと穴が無数にあいた海氷となり、はちの巣氷 (Rotten ice) と呼ばれる。氷上積雪に融け水や河の水がしみ込んで重くなった雪の載った海氷を浸水氷 (Flooded ice) という。

10. 陸氷 (Ice of land origin)

古い雪が再結晶して高密度となっている雪をフィルン (Firn) という。雪と異なり氷粒がくつきあって一体化しているが、氷とも違って中の空隙はまだ互いに連結していて通気性がある。

高所から低い方へと常に動いている雪と氷の塊を氷河 (Glacier) という。氷河の主な形態は、氷床 (Ice sheet)、棚氷 (Ice shelf)、氷帽あるいは氷冠 (Ice cap)、山麓氷河 (Ice piedmont)、氷河流 (Ice stream)、圏谷氷河 (Cirque glacier)、山岳氷河 (Mountain glacier) などに分けられる。

氷河の氷を氷河氷 (Glacier ice) という。陸上にあるか、氷河舌、冰山、冰山片、氷岩などとなって海に浮いているかは問わない。氷河が海に向かって張り出している部分を氷河舌 (Glacier tongue) という。通常は浮いている姿であり、南極の氷河舌には数10km を超える長さのものがある。海岸から張り出して座礁したり定着氷で連結されていたりする冰山群の大集合域は冰山舌 (Iceberg tongue) と呼ばれる。

海面上の高さが2~50m またはそれ以上で、海岸に固着し浮いている氷床を棚氷 (Ice shelf) と呼び、普通水平方向に大きく広がり、表面は平たんかゆるやかな起伏をしている。棚氷または浮いている氷河の海側の面が垂直の壁を形成しているところが浮氷壁 (Ice front) で、高さは海面上2m から50m 以上にも及ぶ。海上に浮かんでいない座礁した氷河で海に面した縁が壁状になっている場合は氷河壁 (Ice wall) という。氷河壁、浮氷壁または冰山から氷塊が割れて離れることを分離 (Calving) という。

氷河から分離した海面上5m 以上の氷塊を冰山 (Iceberg) といい、浮いているものと座礁しているものがある。冰山は形状によって卓状型、ドーム型、傾斜型、尖塔型、風化型、または不規則な形をした氷河冰山 (Glacier berg) などに分けられる。北極海の棚氷が割れた海面上の高さが5m 以上の大きな浮氷は氷島 (Ice island) と名付けられ、厚さは30~50m、面積は数千 m^2 ~500 km^2 またはそれ以上に達する。海面上の高さが5m 以下1m 以上で、面積が約100~300 m^2 の氷河氷の大破片を冰山片 (Bergy bit)、海面上の高さが1m 以下で面積が20 m^2 程度の小さな氷塊は氷岩 (Growler) と呼ばれている。

11. 大気中の現象

低い雲の下面での反射を利用して遠方にある氷や海水面の情報が得られる。暗い縞は海氷域付

近に海水面があることを示すので水空 (Water sky) と呼ばれ、明るい輝きは氷の存在を示すので氷映 (Ice blink) と呼ばれる。冬季の海氷域に生じた開水面や氷縁の風下の比較的暖かい水面に寒気が接して生じた霧状の雲は氷煙 (Frost smoke) と名付けられ、氷が張って水面が塞がるまで持続する。

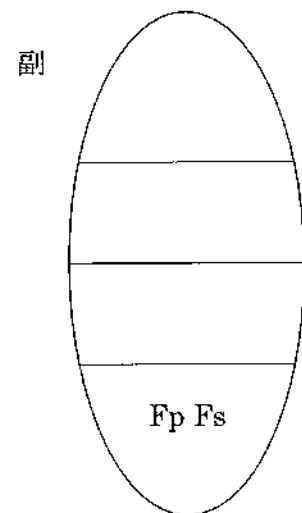
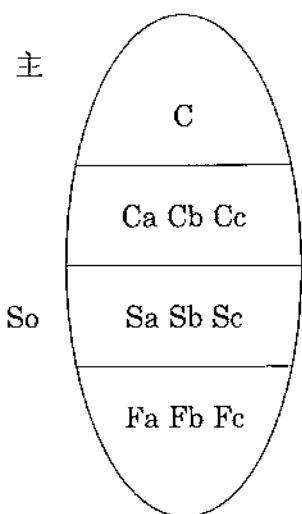
12. 海上航行に関係ある用語

船が氷にとり囲まれ動けない状態をビセット (Beset) と呼ぶ。湾や入江などが氷のために船の航行が妨げられている状態を氷塞 (Ice-bound) という。ただし、砕氷船の援助が可能などときには使用しない。氷が船を強く押しつけている状態はニップ (Nip) と呼ばれ、氷に挟まれている船が損害を受けていなくてもニップを受けていると表現する。航行の障害や危険が起こる恐れがあるほど変形作用が活発に行われている氷を圧迫氷 (Ice under pressure) と名付けている。ある海域で、航行が困難な厳しい氷の状態が卓越している海氷域を難航氷域 (Difficult area) といい、航行が困難でない状態が卓越している海氷域を可航氷域 (Easy area) という。この二つは、相対的で定性的な表現である。浮氷壁が湾入していて船を横付けして直接棚氷上に荷揚げができるような所を氷港 (Iceport) という。一時的に形成されて短期的に使用される場合が多い。

13. 水中航行に関係ある用語

潜水艦から流氷を見上げた状態の氷を天蓋氷 (Ice canopy) という。天蓋氷の中の薄い部分を水中から見上げた状態をスカイライト (Skylight) と呼び、厚さは普通1m 以下で、下から見ると暗く囲まれた中の比較的明るく半透明の部分で、スカイライトの下面は通常平らである。潜水艦が海面に浮上を試みるにじゅうぶんな大きさ (差渡し120m 以上) があれば大スカイライト、それ以下は小スカイライトと呼ぶ。潜水艦の浮上に適した多くの大スカイライトをもつ天蓋氷を浮上安全氷 (Friendly ice) というが、潜水艦の浮上には航路30海里につき10個以上そのような浮上適地がなければならない。潜水艦の浮上に適したスカイライトがない天蓋氷を浮上困難氷 (Hostile ice) と呼ぶ。氷丘と対称的に天蓋氷の底面から下に向かって突き出した部分をさかさ氷丘 (Bummock)、氷丘脈と対称的に天蓋氷の底面から下に向いて突き出している部分を竜骨氷 (Ice keel) という。さかさ氷丘や竜骨氷は、場所によっては海面下50m 程も突出していることがある。

海水状況の国際表記（ジ・エッグ/卵記号）



密接度 (C) : 当該海域の氷全部の密接度

$$C = Ca + Cb + Cc$$

厚さごとの密接度 (1/10以上の水量のものを記載)

Ca : Sa の密接度 / Cb : Sb の密接度 / Cc : Sc の密接度

厚さごとの発達段階 (S)

Sa : 最も厚い氷 / Sb : 次に厚い氷 / Sc : 3番目の氷

So : 密接度1/10未満で Sa より厚い氷の発達段階

Sd : その他の氷があればその発達段階を記載

氷盤の大きさの段階 (F) :

Fa : Sa の大きさ / Fb : Sb の大きさ / Fc : Sc の大きさ

Fp, Fs : S によらず多いものから2つ

	C	S (発達段階・厚さ)	F (氷の大きさ)
0	< 1/10		はず葉氷 (30~300cm)
1	1/10	新成氷	小板氷・砕け氷 (< 2m)
2	2/10	ニラス・氷殻 (< 10cm)	板氷 (2~20m)
3	3/10	板状軟氷 (10~30cm)	小氷盤 (20~100m)
4	4/10	薄い板状軟氷 (10~15cm)	中氷盤 (100~500m)
5	5/10	厚い板状軟氷 (15~30cm)	大氷盤 (500m~2km)
6	6/10	一年氷 (30cm~2m)	巨氷盤 (2~10km)
7	7/10	薄い一年氷 (30~70cm)	巨大氷盤 (> 10km)
8	8/10	薄い一年氷 I (30~50cm)	定着氷・氷岩・大氷岩
9	9/10	薄い一年氷 II (50~70cm)	氷山
9+	9/10~10/10		
10	10/10		
1.		並の一年氷 (70~120cm)	
4.		厚い一年氷 (> 120cm)	
7.		古い氷	
8.		二年氷	
9.		多年氷	
▲		陸氷	
X	不明	不明	不明

5-1 資料 A : JANSROP における船型開発

シップ・アンド・オーシャン財団では、INSROP 開始に並行して、「北極海航路開発調査研究委員会」を設立し、INSROP の推進にあたりとともに、わが国独自の立場からの NSR 関連研究事業を JANSROP として実施した。JANSROP においては以下のような研究が実施された。

- 北極海航路最適船の研究（平成5～7年度）
- 氷海用船舶の基本性能に関する研究調査（平成9年度）
- NSR における氷況の数値予測システムの研究開発（平成9、10年度）

平成5年度から7年度にかけて行われた「北極海航路最適船の研究」は、さらに以下の項目について研究が行われた。

- 最適船型の開発に関する水中及び開水中模型実験
- 氷海用プロペラの特性解析及び氷との干渉に関する研究
- 氷盤と波浪の干渉に関する研究
- 実氷海域データの分析

本資料中の図においては必要に応じて以下の記号を用いた。

B	: 船幅
D	: 船の深さ
F_n	: 船長を用いたフルード数
L	: 船長
R	: 氷板中全抵抗
V	: 船速
g	: 重力加速度
h	: 氷厚
t	: スラスト減少係数
w	: 伴流係数
p	: 水の密度

ここでは、本書第4章の内容に対応する資料として、NSR 用氷海商船の船型開発に関わる研究内容を中心としてその概要を示す。なお、これらの研究の詳細については、シップ・アンド・オーシャン財団による事業報告書を参照されたい。

NSR 用氷海商船の船型開発に関わる研究は、第1期（平成5～7年度）、第2期（平成9年度）の2期に分けて行われた。第1期研究では、ロシア沿岸の浅水域における航行が可能な浅喫水の氷海商船を対象とした船型開発を行った。一方、第2期研究においては、沖合いの航路を航行することを想定したより喫水の深い氷海商船についての研究を行った。この研究は、スエズ経由等の従来航路との経済性比較の上で喫水制限の緩和による船舶の大型化が重要なポイントであることとともに、この研究に並行して行われた INSROP における NSR 航行シミュレーションの対象船舶とすることを目的として実施された。以下それぞれの研究について述べる。

1. 沿岸 NSR 用氷海商船の開発

沿岸 NSR 用氷海商船の船型開発は、以下の手順で行われた。

- 基本設計（平成5年）

沿岸 NSR の水深、港湾等の調査に基づき、対象船舶の主要目等を決定した。これに基づき候補船型を設計し、実験用模型船を製作した。

- 水槽実験（平成6年）

昨年度に設計・製作した模型船を用いて、水中及び開水中における各種模型実験を行った。

- 新船型の開発及び実験（平成6、7年）

上記実験結果から各種船型の特徴を解析し、これに基づき新船型の設計を行った。新船型

についても模型船を作成し、模型実験に供した。

●総合評価（平成7年）

模型実験結果から各種船型の総合評価を行い、これに基づいて最終船型の提案を行った。以下にそれぞれの過程の内容・結果等を示す。

1.1 基本設計

研究の第一段階として、研究対象として想定する船舶についての基本設計を行った。まず、対象船の船種・主要目の選定のために、輸送貨物及び航路の想定並びに NSR における水深、港湾の船長・喫水制限等の調査を行った。これらの検討結果をもとに、ムルマンスク港から NSR を経由してわが国に至る航路を通る（内陸河川における一部航行も考慮）多目的型貨物船を研究の対象とすることとし、表 A-1に示すような主要目等を決定した。本船の一般配置図を図 A-1に示す。本船は、船尾に機関室を有し、船側・船底は共に二重壁構造とし、バラストタンクは船首、船尾及び船側部に設けた。主機については、想定した砕氷能力から既存の砕氷抵抗式に基づき必要馬力を決定した。また、推進器の形式としては、ディーゼル直結型の可変ピッチプロペラとし、通常プロペラとノズルプロペラの両者について検討することとした。船種・主要目等の選定に続いて船型計画を行った。ここではわが国における氷海商船の建造実績が乏しいことを勘案し、水槽試験等において船型と性能の系統的な調査を行うために、まず、以下に示す、船首形状3種類、船尾形状2種類の船型について検討を行うこととした。

表 A-1 沿岸 NSR 用氷海船舶の主要目等

全長	180.0m
垂線間長	175.0m
幅	24.0m
深さ	16.0m
喫水	8.0m
排水量	25,000m
船殻等	二重船殻、エアバブリングシステム
軸数	1
推進器	4翼可変ピッチプロペラ (通常プロペラ及びダクトプロペラ)
水中性能	厚さ1.2mの水板中で 3ノットで連続航行
平水中性能	16ノット

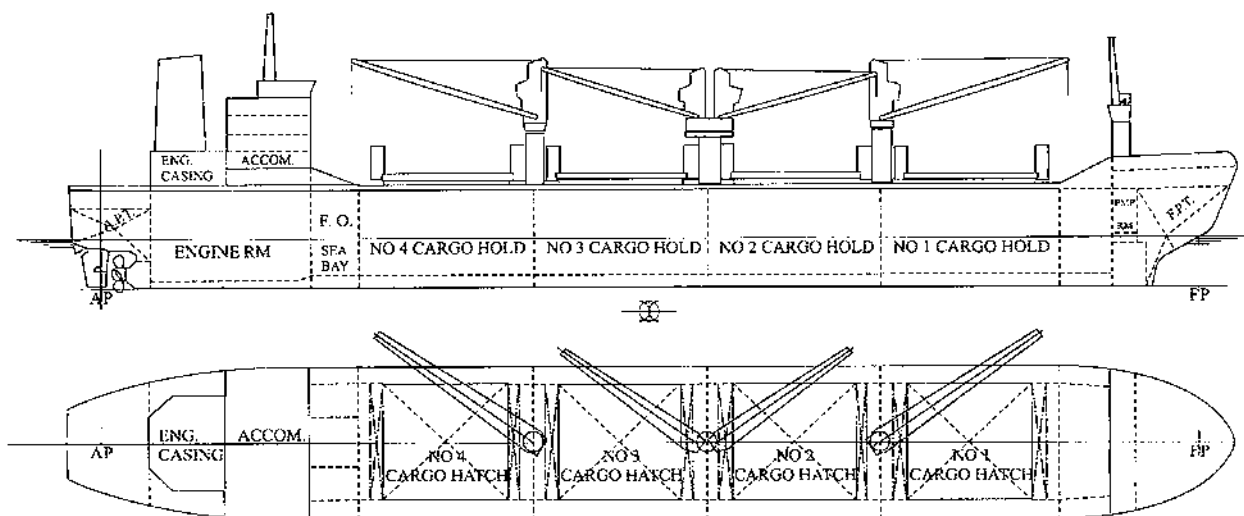


図 A-1 沿岸 NSR 用氷海商船の一般配置図

船首 A： 比較的単純な V 字型のフレーム形状を有する従来型の砕氷船首。

船首 B： 船首 A よりも凸型のフレーム形状を有するスプーン型船首。

船首 C： 喫水線近傍のフレーム形状を船首 A よりも凹型とした船首。

船尾 a： やや緩やかな U 形のフレーム形状を有するマリナー型船尾。

船尾 b： 船尾 b よりも船底付近の U 形を強調した船尾。

これらの船型の形状を図 A-2に示す。これらの船首・船尾を組み合わせて試験に供した。以下においてはこれらの船型を、例えば船首 A と船尾 a の組み合わせの場合、A-a 船型のように表す。また、これらの船型と2種類の推進器の組み合わせは、通常プロペラの場合は A-a(CP)、ノズルプロペラの場合は A-a(NP)というように表す。

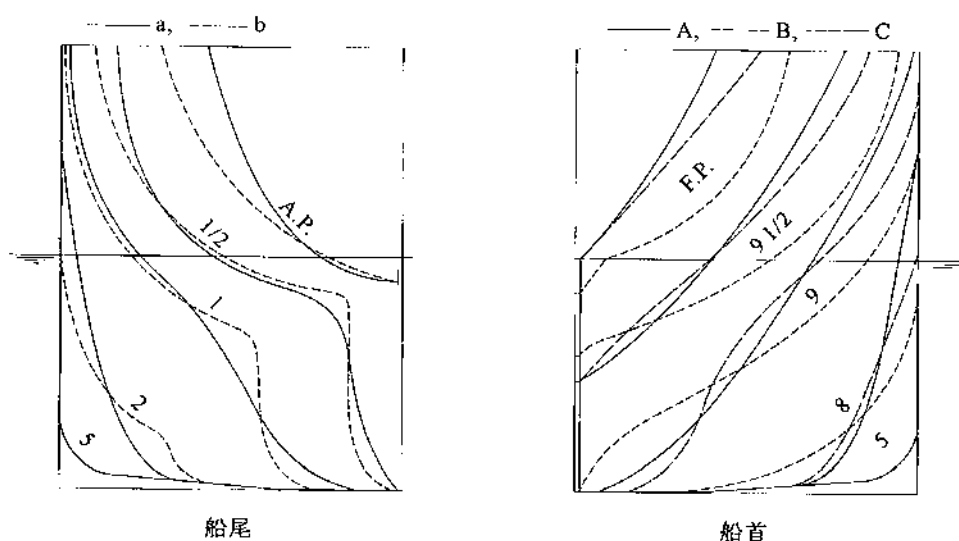


図 A-2 沿岸 NSR 用氷海商船についての研究対象船型

1.2 水槽実験

基本設計の後、各船型の氷中及び開水中性能を検討するために、水槽試験が行われた。これらの試験は、運輸省船舶技術研究所（以下、SRI）、NKK エンジニアリング研究所（以下、NKK）及び三菱重工業長崎研究所（以下、MHI）が分担して行った。模型試験にあたっては、上記の各船型に対して縮尺1/36の模型を作成し、上記3機関を持ちまわりながら試験に供した。これらの機関の保有する氷海水槽の特性について表 A-2に示す。

表 A-2 氷中試験を行った氷海水槽

	SRI	NKK	MHI
長さ, m	35.0	20.0	20.0
幅, m	6.0	6.0	9.0
水深, m	1.8	1.8	2.3
曳引速度	0.1~2.0m/s	0.005~1.5m/s	0.001~1.0m/s
模型氷の構造	柱状結晶	粒状結晶	柱状結晶
水槽水添加物	プロピレン・グリコール	尿素	尿素

水中における試験としては、平坦氷中における抵抗・自航試験、旋回試験及び氷丘脈中における抵抗試験の4種類の試験を行った。試験内容は以下の通りである。

● 平坦氷中抵抗試験

本試験は、船舶の水中性能を知る上で最も基本的な試験である。表 A-1に示すように、本船には氷厚1.2mの氷板を3ノットで連続砕氷する能力を想定しているため、これらの条件を中心として試験条件を表 A-3のように設定した。試験においては、設定された条件の下、模型船を平坦氷中で曳引し、模型に加わる全抵抗、模型船の運動等を計測した。なお、模型試験に先立ち、模型氷板の弾性率及び曲げ強度の計測（氷質計測）を行った。

● 平坦氷中自航試験

平坦氷中自航試験についても、抵抗試験と同様の試験条件に対して実施した。試験においては、設定された条件の下、模型船を氷中で自航させ、軸スラスト・トルク・回転数及び模型船の運動等を計測

表 A-3 平坦氷中試験条件（抵抗・自航試験）

	実 船	模型試験
氷板の厚さ	0.9, 1.2, 1.8m	25.0, 33.3, 50.0mm
氷の曲げ強度	800kPa	22kPa
船 速	1, 3, 5, 7kn	0.086, 0.257, 0.429, 0.600 m/s

した。また、自航試験においても、模型試験に先立ち、抵抗試験時同様の氷質計測を行った。

● 平坦氷中旋回試験

平坦氷中での旋回試験は、設計条件である、氷厚33.3mm（実海氷厚1.2m）の氷板に対して行った。舵角15度と30度の条件に対して試験を行った。

● 氷丘脈中抵抗試験

ロシア沿岸の北極海における氷の運動は活発であり、様々な種類の変形氷が形成される。この中でも氷丘脈は船舶の航行にとって最も大きな障害となる氷況である。このため、水槽実験においても各種の大きさの氷丘脈を水槽内に作成し、これらの中を模型船が通過する時の抵抗を計測した。

一方、開水中における試験としては、平水中における自航試験、操縦性試験及び波浪中試験を行った。各試験の内容は以下の通りである。

● 平水中自航試験

開水中巡航速度である16ノットに相当する1.37m/sを含む、0.50～1.70m/sの速度範囲の条件について試験を行った。試験は、船首をA船首として、これに船尾2種類プロペラ2種類を組み合わせたA-a(CP)、A-a(NP)、A-b(CP)、A-b(NP)の4種類の組み合わせについて行った。

● 平水中操縦性試験

平水中において、旋回試験、逆スパイラル試験、ジグザグ操船試験の3種類の試験を行った。試験は、船尾をa船尾、プロペラを通常型プロペラとして、船首を変えたA-a(CP)、B-a(CP)、C-a(CP)の3種類の組み合わせについて行った。

● 波浪中試験

正面向き規則波中において自航試験を行った。波浪中スラスト増加並びにスプレーイング

の挙動に対する船首形状の違いの影響を評価することを目的として、船尾を a 船尾、プロペラを通常型プロペラとして、船首を変えた A-a(CP)、B-a(CP)、C-a(CP)の3種類の組み合わせについて行った。波浪条件は、波高をベーリング海の冬期平均波高4.07m として波長・船長比を0.75から2.00へと変化させた。

以上の試験に加え、伴流計測並びにプロペラ単独試験も行った。

1.3 実験結果

上記の実験計画の下に行われた実験は、3研究機関の氷海水槽及び開水水槽を駆使して行った極めて広範な実験であり、その結果は非常に膨大なものとなった。このため、ここでは主要な結果のみを示す。

• 水中試験結果

水中での抵抗試験から得られた各船型の砕氷抵抗の計測結果を図 A-3に示す。砕氷抵抗は船首形状に依存するところが大きいことから、船尾 a に対して船首3種類を変えた組み合わせについての試験結果である。なお、船尾の影響を確認するために、A-b 船型についても一部実験を行っているが、A-a 船型の結果と有意な差は無い。試験結果より、船首 B の抵抗が明らかに低く、優位な船首形状であることが判る。船首 C がこれに続き、従来型の楔形船首形状である船首 A の抵抗が最も高い。

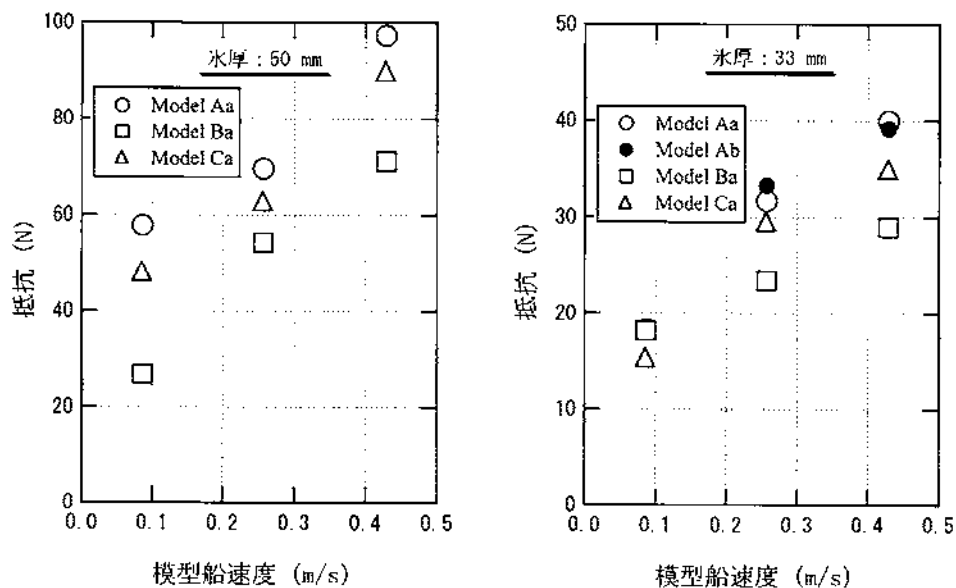


図 A-3 平坦水中抵抗試験結果

水中での自航試験結果から、トルク係数を求めた結果の例を図 A-4に示す。図中の実線は、平水中で実施した過負荷試験の結果である。水中自航試験においては、プロペラと氷片の干渉のため、トルク係数が、一般に、平水中過負荷試験結果よりも高くなるが、この実験結果でもこのような傾向が見られる。しかしながら、二軸船の場合、水中自航試験の結果が、平水中過負荷試験結果の2倍にもなる場合が報告されているが、本実験の結果ではこのような大きな差

が現れない。これは、一つには、本船が一軸船であり、氷とプロペラの干渉の程度が比較的良かったことによるものと思われる。氷とプロペラの干渉の頻度を示したものが図 A-5で、1船長航行する間に起きる氷とプロペラの干渉の回数をフルード数の関数として示したものである。データのばらつきは大きいですが、一般に、船尾 bの方が船尾 aよりも氷とプロペラの干渉の頻度が低いことが示される。これは、船尾 bの方が排水性能、すなわち氷片をプロペラに近づけない性能、が高いことの表れと考えられる。

氷中旋回試験において得られた航跡の例を図 A-6に示す。一般に、氷中での旋回径は開水中におけるものに比べて大きく、また、氷海水槽のサイズは限られている。従って、氷海水槽において完全旋回を行うことは困難である。従って、図 A-6のような航跡図から、一定距離を航行した時点に於ける初期進路からの横方向への変位量により旋回性能を評価した。各船型による旋回試験結果の違いは、新船型についての試験結果と併せて次項において示す。

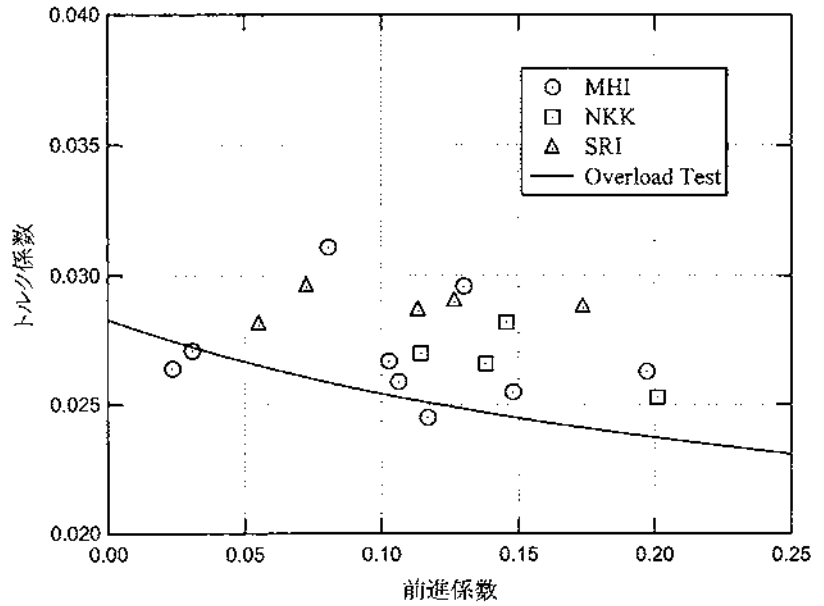


図 A-4 氷中自航試験から求めたトルク係数

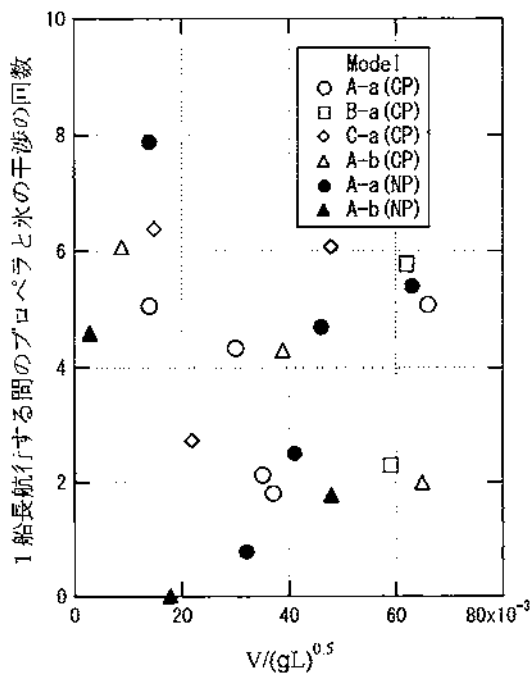


図 A-5 氷とプロペラの干渉の頻度

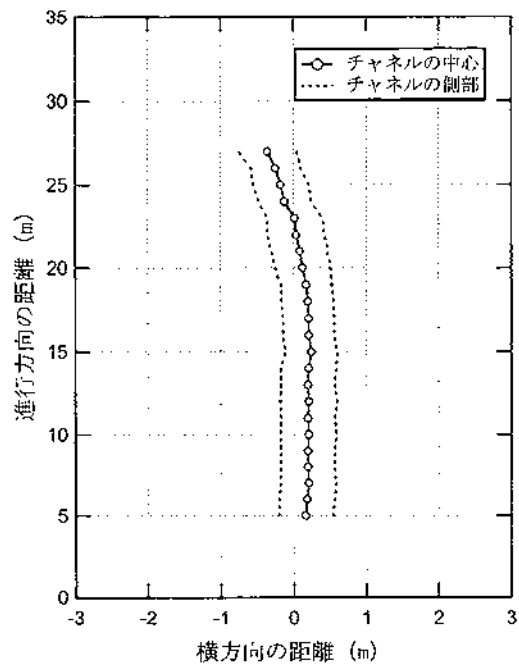


図 A-6 氷中旋回試験において得られた航跡の例

氷丘脈中における性能の評価は、抵抗試験結果より氷丘脈を突破するのに必要なエネルギーを計算し、この大小により行うこととした。図 A-7(a)に氷丘脈中における抵抗の計測例を示す。模型船速度は一定であるから、この抵抗を時間積分し速度を乗じることにより模型船が氷中で消費するエネルギーが計算される(図 A-7(b))。中央部分のエネルギーの急激な立ちあがり氷丘脈中を突破することにより消費されたエネルギーである。各実験結果からこのエネルギーを計算し、氷丘脈の断面積の関数として示したものが図 A-8である。図より、船首 C の場合には他の2船首に比べて氷丘脈を突破するのに高いエネルギーが必要となることが判る。これは、氷丘脈通過中の模型船の姿勢変化によるものと考えられる。すなわち、氷丘脈中においては、抵抗が大きいため船首部が大きく持ち上げられ、氷と船体との接触は、船首部の底部近傍において卓越する。船首 C は船底近傍においてフレームラインが立った形状となっており、従って氷から受ける抵抗も大きいものと考えられる。

●開水中実験結果

平水中自航試験結果から求めた自航要素を図 A-9に示す。ここでは船尾形状の影響を見るために、船首を A として船尾を変化させたときの結果を比較している。推力減衰係数 (1-t) には

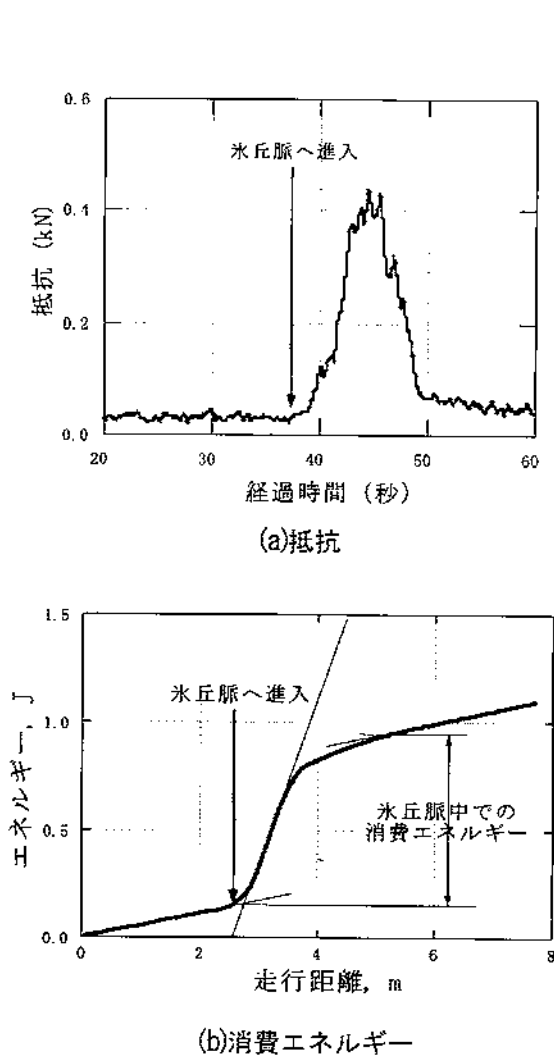


図 A-7 氷丘脈中の試験結果の例

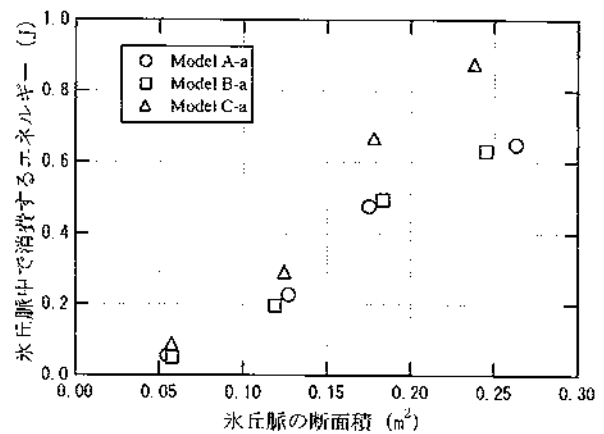


図 A-8 氷丘脈中において消費されるエネルギー

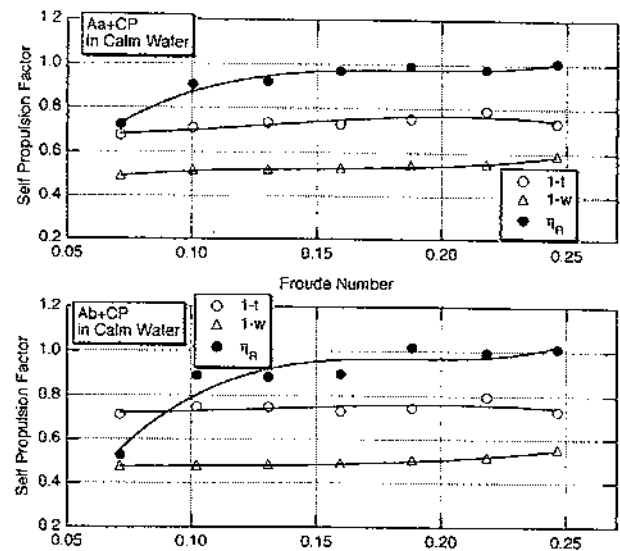


図 A-9 平水中における自航要素

船尾による違いは殆ど認められないが、伴流係数 $(1-w)$ は船尾 b が船尾 a に比べて小さくなっている。これは、船尾 b のフレームラインが極端なナックルを有し、船尾近傍での水線面下の排水量が絞られていること、並びに、船底付近のじ型フレームラインが強調されているために、船尾付近の境界層及びビルジ渦の発達が促進されたためであると考えられる。このような船尾による流れの違いは伴流計測結果から認めることができる。

旋回試験の結果を表 A-4 に示す。船首形状、プロペラによる大きな違いは認められない。旋回圏・船長比及びアドバンス・船長比は、いずれも 3.0 程度となっている。

波浪中試験結果から、スラスト増加係数 τ を計算した結果を図 A-10 に示す。スラスト増加係数は船首 B の場合が最も高く、この傾向は短波長領域でより顕著となる。これは船首 B の喫水線形状が丸みを帯びたものとなっていることによる。逆に、ステム部における喫水線形状が鋭い船首 C は最も小さい抵抗増加を示す。

表 A-4 平水中旋回試験結果

	船速 (ノット)	舵角 (度)	旋回圏/ 船長比	アドバンス /船長	旋回半径 /船長比
A- a(CP)	10	+30	3.4	3.2	1.4
	10	-30	2.9	3.1	1.2
	3	+10	3.5	3.1	
A- a(NP)	10	+30	3.4	3.4	1.4
	10	30	3.1	3.1	1.2
B a(CP)	10	+30	3.4	3.3	1.4
	10	-30	2.9	2.9	1.2
	3	+10	3.5	3.1	

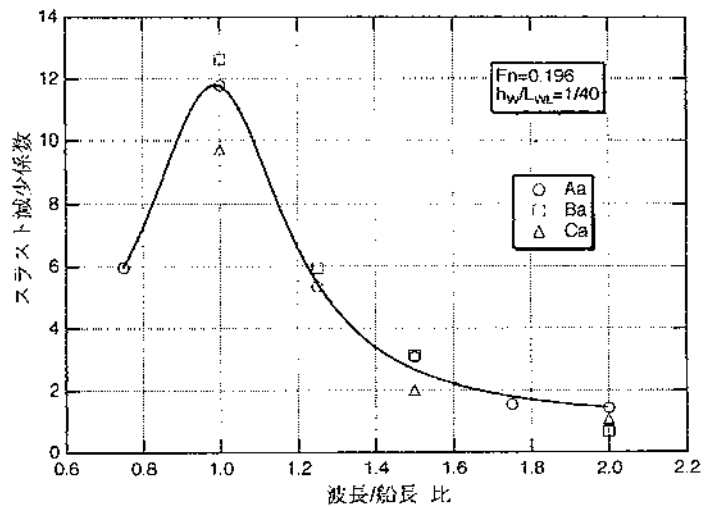


図 A-10 波浪中におけるスラスト増加係数

1.4 新船型の開発及び模型実験

上に述べた、船首 A、B、C と船尾 a、b の組み合わせから成る船型についての試験から得られた結果は以下のようにまとめることができる。

- 氷中抵抗性能の観点からは船首 B が最も優れている。
- いずれの船型も氷中旋回性能が悪い。特に、船首 B の旋回性能が劣る。
- 船尾 b は排水性能の観点からは良いものの、推進性能の観点からは船尾 a が好ましい。
- 平水中推進性能の観点からは船首形状の違いによる性能差は顕著ではないが、船首 A が最も優れ、B、C の順となる。
- 波浪中のスラスト増加の観点からは、船首 C がスラスト増加量が最も小さく、次いで A、B の順となる。

このような点を考慮し、総合的に優秀な船型を設計することを試みた。

新船型の形状を図 A-11 に示す。新船首は氷中抵抗性能の優れた船首 B と開水中性能の優れた船首 A の特徴を採り入れた船首である。この船首は、ステム角は 25 度（船首 A と同一角度）と

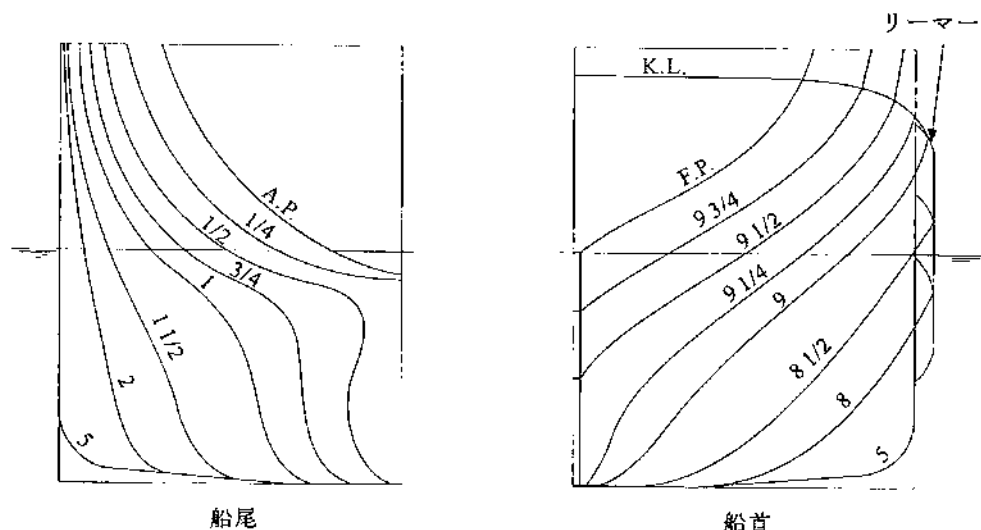


図 A-11 新船型 (船首 D 及び船尾 d)

し、船首端付近での砕氷性能を確保するために船首 A に比べて喫水線の入射角度を大きく取った。また、水中旋回性能の向上を図るために S.S. 8 $\frac{1}{2}$ ~9 の喫水線付近のフレームラインを傾斜させ舷側部にナックルを設けるとともに、ナックルラインに沿ってリーマーを設けた。リーマー幅は、船の半幅の 5 % である。なお、リーマーの有無の影響を見るために、模型ではリーマーは着脱可能とし、リーマーのある船首を船首 Dr、リーマーを外したものを船首 D と呼ぶ。一方、新船尾は、旋回性能の向上を図るために、S.S. 1/2~S.S. 3 までの喫水線近傍の肋骨線傾斜を傾斜させ、並行部を短くした。また、排氷性能の優れた船尾 b をもとに、その推進性能向上を図るため肋骨線形状のナックルラインを傾斜させた。新船尾を船尾 d と呼ぶ。

新船型 D-d 及び Dr-d について、平坦氷中における抵抗・自航試験、旋回試験及び氷丘脈中における抵抗試験の 4 種類の試験を行った。また、開水中については、平水中の抵抗・自航性能について試験を行った。これらの新船型に対する試験は NKK 及び MHI が分担した。

平坦氷中での抵抗試験結果を図 A-12 に示す。船首 D の抵抗は、船首 A 及び船首 B の抵抗の中間的な値を示す。また、リーマー付き船首 Dr の抵抗と船首 D の抵抗との間に有意な差が認められないことは興味深い。これは、リーマーの設計にあたってリーマー幅を船体平行部の幅の 5 % と比較的 low に抑えた結果、リーマーによる船首幅の増加分が砕氷チャンネル幅内に収まり、リーマーによる抵抗の寄与の割合が小さかったためと考えられる。なお、ここで抵抗の無次元表示に用いて船幅 B は、リーマーを含まない幅である。

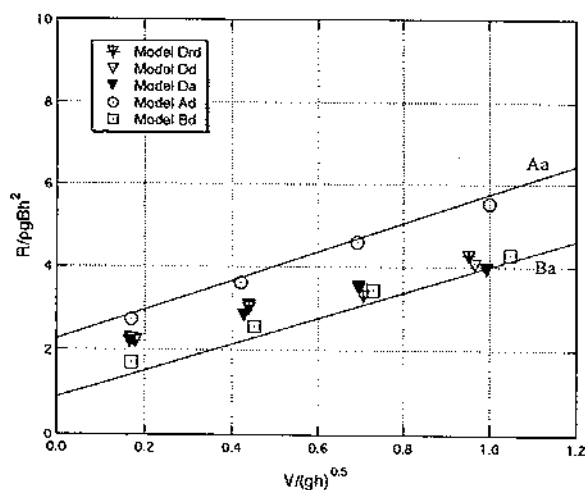


図 A-12 平坦氷中での抵抗

平坦水中における旋回試験結果を図 A-13に示す。同図には新船型の結果に併せて船首 A 及び船首 B による結果も示す。図よりリーマー付き船首を備えた Dr-d 船型の旋回性能が最も良いことが判る。また、船型 A-a と船型 A-d を比較すると船尾の違いが旋回性能に与える効果も判る。リーマー及び S.S. 1/2~S.S. 3までの喫水線近傍の肋骨線傾斜を傾斜させ並行部を短くした船尾 d との相乗効果により Dr-d 船型の旋回性能が高まったものである。なお、従来船型では船首 A と船首 C (図中では略) の旋回性能はほぼ同等であり、船首 B は旋回性能が劣る。

船首 Dr の氷丘脈突破に要するエネルギーは船首 A とほぼ同等のものとなった。

平水中の試験結果より所要馬力の計算を行った (図 A-14)。リーマー付き船型 Dr-d の所要馬力は、従来の3船首による馬力に比べて高い。平水中抵抗試験から求めた形状係数は Dr-d 船型が最も高く、これが所要馬力が高くなった要因である。形状係数の増加は、一つには船体後半部の排水量分布の差によるものである。また、今回の実験では直接の確認はしていないが、リーマー後縁での流れの剥離もこの一因と考えられる。この点を考慮してリーマー後縁の傾き、形状等について詳細設計を行うことにより、リーマー付き船型 Dr-d の所要馬力はある程度改善できるものと考えられる。

1.5 船型の評価

以上の試験結果をまとめて、各船型についての評価を行った。このような評価は、各船型の性能に対するデータをもとに本書4.4節に示したような航行シミュレーションにより行うことが最も望ましい。しかしながら、本研究の実施時点では、環境データ、特に NSR 上における氷況の詳細に関するデータが未整備であったため、このようなシミュレーションは実行できなかった。このため、定性的に各船型の評価を行うことを試みた。

評価項目としては、平坦水中航行性能、平坦水中操縦性能、氷丘脈突破性能、平水中推進性能及び波浪中性能の5項目とした。それぞれの項目について、試験結果より各船型を5段階得点により評価した。また、各項目には重み係数を設け、この重み係数と得点の積を評価項目に亘って足

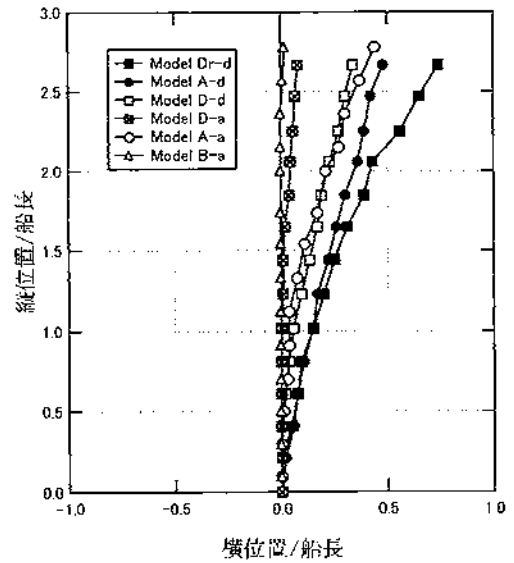


図 A-13 平坦水中における旋回試験結果

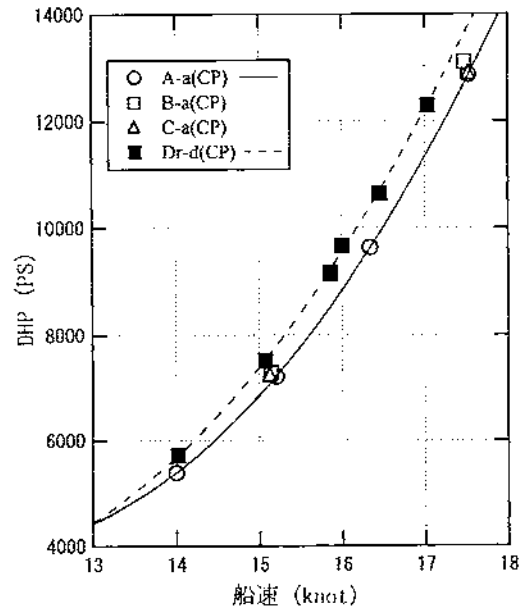


図 A-14 平水中における所要馬力

し合わせた値により各船型の評価値とした。重み係数は、ヨーロッパからわが国までの航海を想定し、この中における氷中航行（カラ海峽とベーリング海の間）と開水中航行（カラ海峽とヨーロッパ及びベーリング海と日本）にかかる時間の見積り、氷中における各性能の重要性等を勘案して決定した。評価対象の船型は、A-a、A-b、B-a、C-a、A-d、B-d、D-a、D-d、Dr-dの9船型とし、実験結果から直接の評価ができない船型については類似船型の結果から評価した。

評価結果を表 A-5 に示す。この方式で評価した場合、最も総合評点が高い船型は、Dr-d 船型である。これは、氷中操縦性能をはじめとする氷中性能の良さを反映したものである。開水中性能の低さを氷中性能が補った結果となっているが、この評価において氷中性能を比較的重視した結果とも言えよう。これとは逆に、C-a 船型は開水中性能の評価は高いが、氷中性能の低さが総合評点の低い原因となっているとも言えよう。

表 A-5 各船型の評価表

評価項目	重み係数	A-a	A-b	B-a	C-a	A-d	B-d	D-a	D-d	Dr-d
平坦氷中推進性能	8	3	2	5	3	3	5	4	4	4
平坦氷中旋回性能	4	3	3	2	3	4	2	2	3	5
氷丘脈突破性能	4	5	5	5	3	5	5	5	5	5
平水中推進性能	2	5	5	5	5	5	5	5	5	4
波浪中性能	2	5	5	5	5	5	5	5	5	4
総合評価		74	66	82	68	78	82	78	82	86

表 A-5 に示した結果に基づき、Dr-d 船型を NSR 沿岸域での航行を想定した氷海商船として最も有利な船型であるとして、最適船の検討を行った。図 A-15 に本船の氷中並びに平水中での性能を示す。主機の常用出力をその最大出力24,000馬力の85%、また、シーマージンを15%とすると、平水中の到達速度は18.1ノットと推定される。また、平坦氷中では、同じく最大出力の85%出力において1.2mの厚さの氷板を3.3ノットで連続砕氷が可能であると推定される。

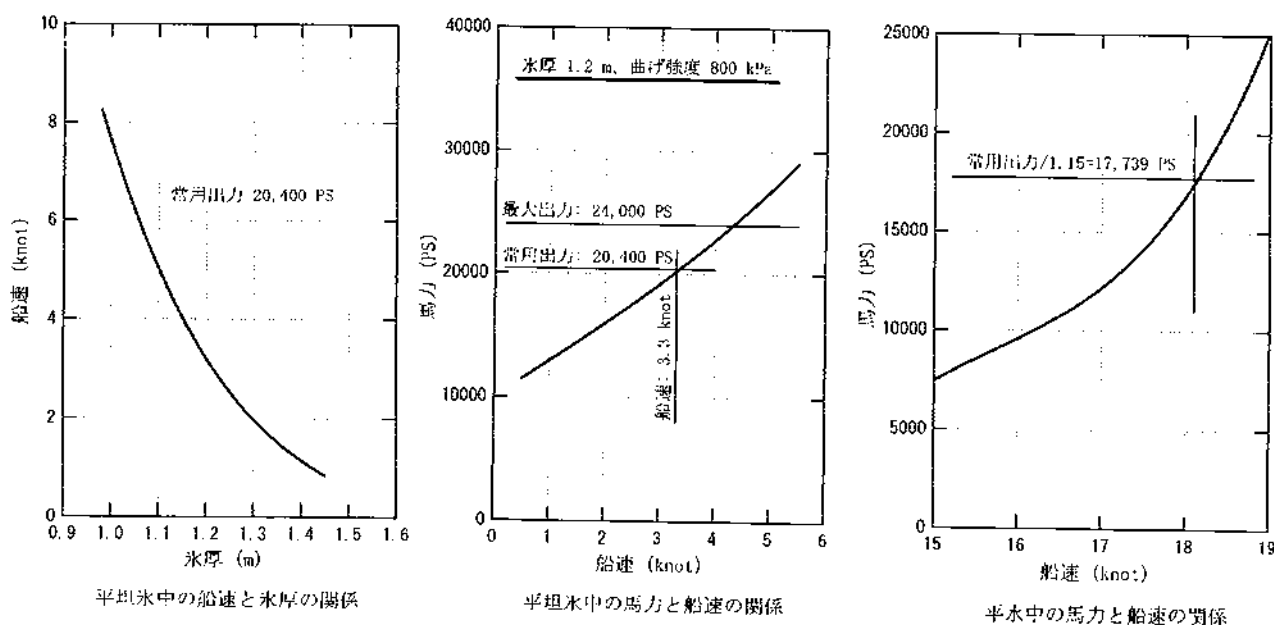


図 A-15 沿岸 NSR 用氷海商船の最適船の性能

2. 沖合い NSR 用氷海商船の開発

沖合い NSR 用氷海商船に関わる研究も、上記の沿岸 NSR 用商船の開発同様、基本計画、水槽実験、結果の評価という手順で進めた。しかしながら、INSROP 研究に合わせて比較的短時間で研究結果を得なければならないこと、第1期研究において各船型の性能についてのデータが得られ、この結果が本船の設計にも利用できること、等の理由により、水槽実験により各種船型の性能を比較・検討するという過程は行っていない。

2.1 基本計画

本研究では、日本とヨーロッパ間を NSR 上の港湾に寄港することなく沖合い NSR を航行する商船について研究する。このような船舶においては、スエズ経由等の他の航路に対する経済上の競争力が重要なポイントである。このため、まず、研究対象の船種を決定するために、極東とヨーロッパ間の荷動きの現状及び将来予測を勘案しながら、コンテナ輸送船とバルク輸送船について検討した。この結果、コンテナ船は、その物流需要が最も高くなると予想されたが、その特性である高速航海・定期運航の観点からは、NSR の他の航路に対するメリットは必ずしも活すことができない、一方バルクキャリアーの場合は、現状の運航速力と氷海中の速力との較差がコンテナ船に比べて少なく、予測される物流需要も比較的高い、との結論に達した。このことから、本研究ではバルクキャリアーを対象船種として研究を行うこととした。

本船は沖合い NSR の航行を想定しているため、沿岸 NSR の場合のような喫水制限は緩和される。このため、スエズ経由の航路に対する経済上の競争力を高めるために、想定航路に対して最大の排水量となるような船型を狙うこととした。また、その性能に関しては、砕氷能力については第1期研究の対象船舶程度に保ちながらも、航海日数の短縮を図るために開水中性能の向上を図ることとした。主要目等は以下のように決定した。

- 主要寸法：想定航路上の最浅水域であるサニコフ海峡の水深を考慮して、喫水 d は 12.5m、また、砕氷船によるエスコートを考え、幅 B は 30m とした。これらの値に基づき、従来の氷海商船の緒元間の関係を参考に、垂線間長は $8B$ 、深さ D については D/d が 1.4 から 1.5 程度となるようにした。
- 船型：第1期研究の成果に基づき、氷中及び開水中の性能のバランスが良い $D-d$ 船型をベースに、船長/幅比の増大に伴って平行部を延長させるようこれを改良した船型とした。方形係数は 0.75 から 0.77 程度とする。
- 船体構造：アイスクラスを IA Super とし、二重船殻とする。
- 排水量、載荷重量：上記の主用寸法及び船種・船尾の特徴から排水量は 71,000 トンと推定される。また、耐氷構造及び二重船殻であることを考慮して軽荷重量を 20,000 トン程度と推定し、載荷重量は 51,000 トン程度に計画した。この載荷重量は、既存の代表的な氷海商船の延長線上にあるものと言えよう（図 A-16）。
- 砕氷能力：厚さ 1.2m の氷板を 3ノットで連続砕氷が可能。
- 開水中速力：現在の PANAMAX バルクキャリアーによるスエズ経由での横浜—ハンブルク間の年間最大航海数を上回ることを目標とし、氷海航行時の速度低減を勘案して、開水中の航海

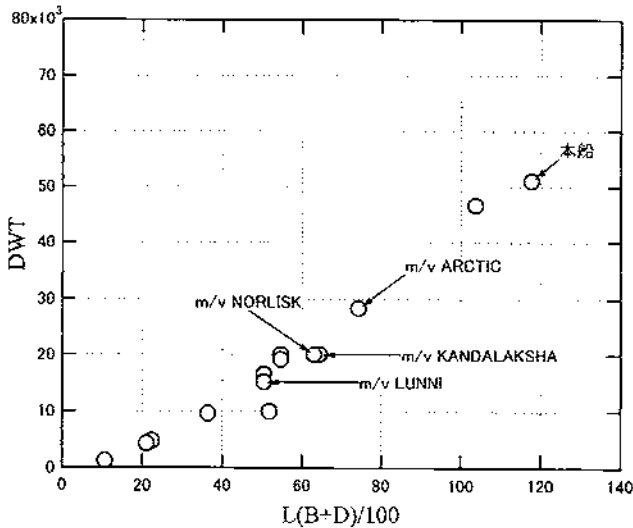


図 A-16 氷海商船の載貨重量と船体サイズの関係

表 A-6 沖合い NSR 用氷海商船の主要目等

全長	252.0m	
垂線間長	240.0m	
幅	30.0m	
深さ	18.0m	
喫水	12.5m	
排水量	70,900m ³	
載貨重量	50,900m ³	
主機馬力	(連続最大)	24,160PS
	(常用)	21,750PS
軸数	1	
推進器	4翼固定ピッチプロペラ	
氷中性能	厚さ1.2mの氷板中で 3ノットで連続航行	
平水中性能	17ノット	

速力を17ノットとした。

- 主機：主機は経済性を考慮して低速ディーゼルとした。馬力については、砕氷航行に必要な馬力を、船級協会規則、類似氷海商船の実績等から21,000馬力と推定した。また、開水中については、要口の近い PANAMAX 船を参考に、船型の違いによる馬力増加を20 %程度と見こむと常用航海出力 NSO は21,750馬力となる。従って、本船の主機馬力は開水中における所要馬力により決まる。初期計画においてはこれに基づき、本船の主機の最大出力 MCO を 24,160馬力とした。
- 舵：マリナー型とした。
- プロペラ：ノズル無しの固定ピッチプロペラとした。

対象船舶の主要目等並びに船種・船尾形状をそれぞれ、表 A-6並びに図 A-17に示す。

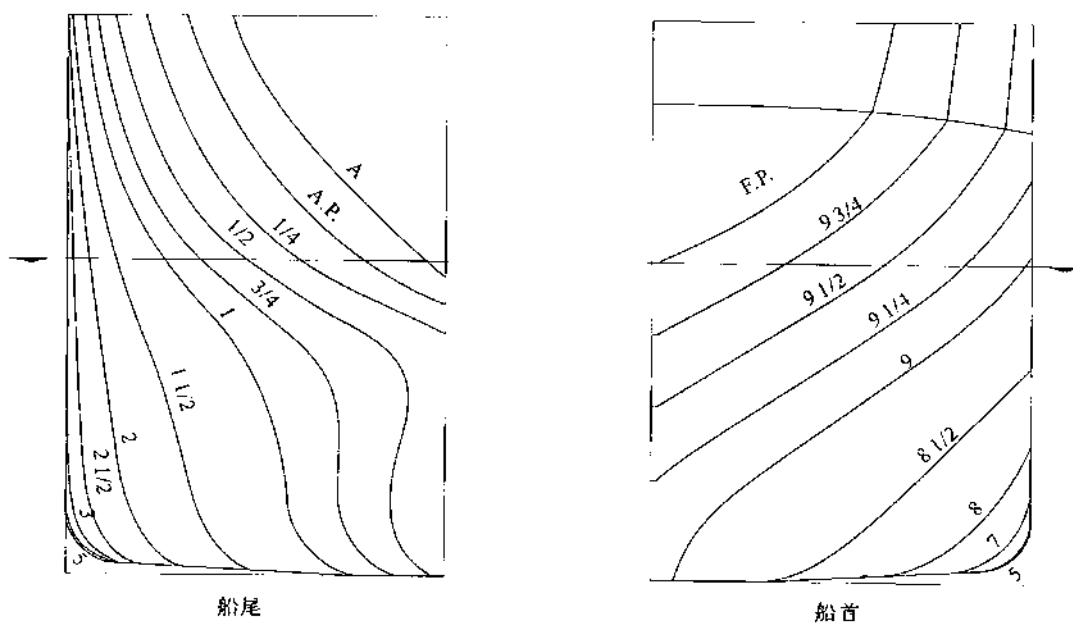


図 A-17 沖合い NSR 用氷海商船の船型

2.2 水槽実験及び評価

供試模型として、垂線間長さ5.5m（縮尺：1/43.64）の模型船を作成し、試験に供した。平坦氷中における抵抗・自航試験及び氷丘脈中における抵抗試験の3種類の試験を行った。また、開水中については、平水中の抵抗・自航試験、荷重度変更試験、旋回試験及び波浪中試験を行った。試験の手法は、第1期試験におけるものと基本的に同様の手法である。これらの試験のうち、平坦氷及び平水中における試験を NKK が、氷丘脈中抵抗試験及び波浪中試験を SRI が担当した。

平坦氷中での抵抗計測結果を図 A-18に示す。図には第1期研究で行われた D-d 船型に対する結果も併せて示す。両試験結果はほぼ一致するが、本船の方が僅かに抵抗が高い。これは D-d 船型に比べて平行部が長いことによる摩擦抵抗の増加及び喫水の増大に伴って砕氷片を没水させるための

抵抗成分が増加していることによるものと考えられる。自航試験結果から氷片とプロペラとの干渉の頻度を調べた（図 A-19）。本船は第1期研究の対象とした船型に比べてプロペラと氷との干渉の頻度が低い。これは、平行部が長いことにより砕氷片が排除されやすいことによるものと考えられる。スラスト減少係数並びに伴流係数を図 A-20に示す。平坦氷中における試験から得られた、馬力・速度・氷厚の関係を図 A-21に示す。

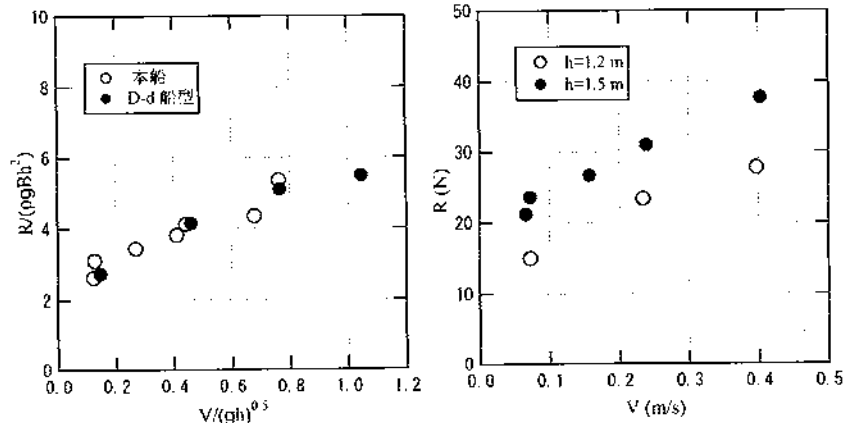


図 A-18 抵抗試験結果

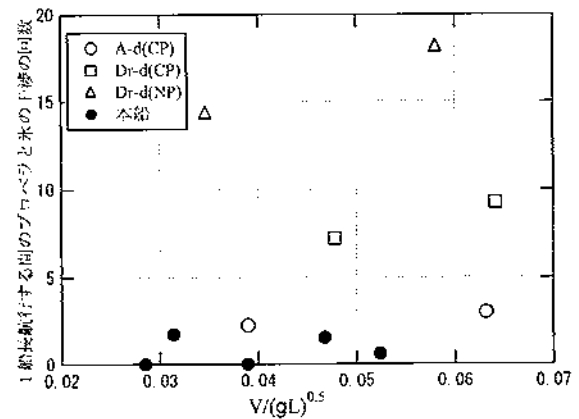
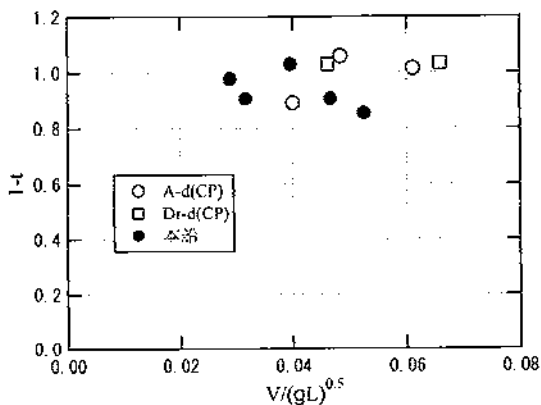
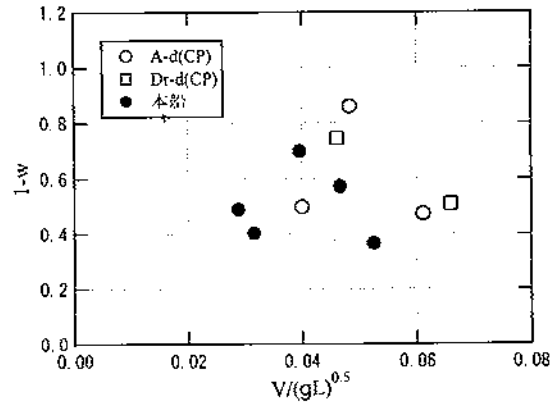


図 A-19 氷片とプロペラの干渉の頻度

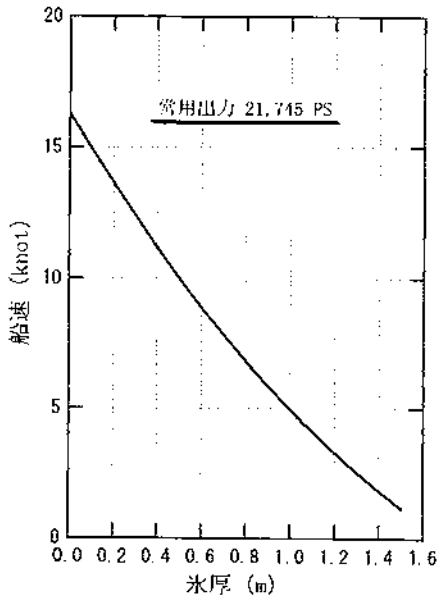


(1) スラスト減少係数

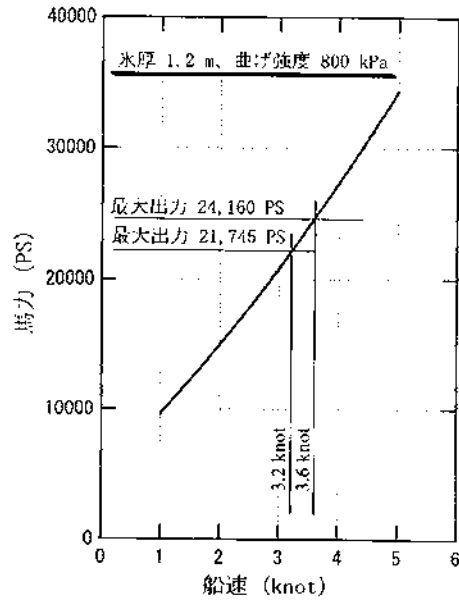


(2) 伴流係数

図 A-20 氷中でのスラスト減少係数及び伴流係数



(1) 馬力と船速の関係



(2) 船速と氷厚の関係

図 A-21 平坦水中における性能

平水中試験結果から得られた馬力推定曲線を図 A-22 に示す。この図から、満載状態では常用出力 (NSO=21,740 PS) により 17.00 ノットが、最大出力 (MCO=24,160 PS) により 17.45 ノットがそれぞれ達成される。しかしながら設定常用馬力に 15% のシーマージンを見込むと船速は 16.4 ノットまで低下する。このため、常用出力を 25,000 馬力、最大出力を 28,000 馬力と設定しなおすこととした。

波浪中試験結果よりスラスト増加を推定した (図 A-23)。本船のスラスト増加を第 1 期の研究結果と比較すると、本船の船首形状のもととなっている船種 D と直接比較するデータは無いが、船首 A、B、C の中で最もスラスト増加の低かった船首 C と同程度のものとなっている。また、この結果は、通常のパルクキャリアーに対する試験結果と比べても遜色無いものといえる。

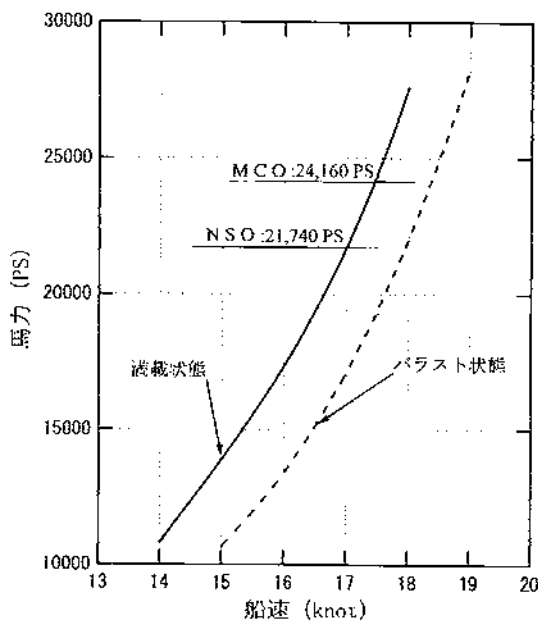


図 A-22 平水中における馬力推定曲線

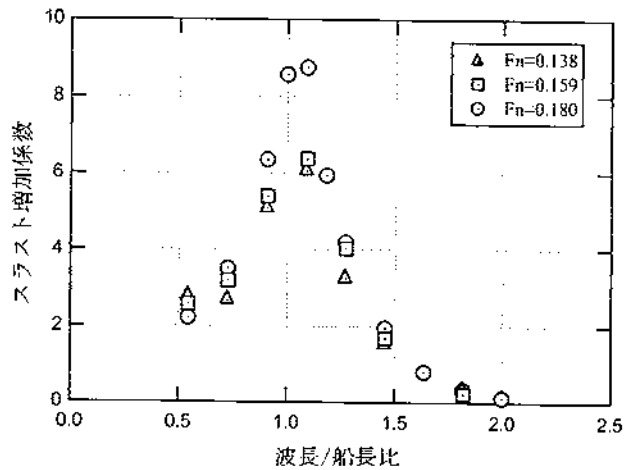


図 A-23 波浪中におけるスラスト増加係数

5-2 資料 B : 運航シミュレーション補足資料

氷況データ

AARI が提供したデータは、表 B-1 に示す 18 項目のデータを 20NM の航路セグメント毎に 1953～1990 年間の 38 年間に亘って月別平均値を整理したものである。従ってデータは Segment No. / year / month / data (I=1～18) の形式からなる膨大な数のデータである。Segment が北航路では 130 あり、そのデータ数は $130 \times 38 \times 12 \times 18 = 1,067,040$ となり、約 100 万個強のデータから構成される。積算寒度はポーラステーションで測定されたデータを補完して求めたものである。また密接度は 1978 年までは航空機による観察で、1979 年からは衛星観測によるデータである。No.6 の平坦氷の氷厚は積算寒度から Zubov の推定式を用いたものであり、No.7～9 の氷厚は氷厚が最大となる 5 月の観測値に成長、融解の修正を施したもので、多年氷も含む全てのカテゴリーの氷を含む平均氷厚である。風速、潮流は予測モデルにより推定された値である。氷盤のサイズは、航空機から得られたモデルを用い 10 階級に分類した値を用いた。平均リッジサイズは Romanov のデータから氷厚とリッジセール高さの関係を求め、氷厚から推定した値である。パラメーター 14、15 の値も平均セール高さの分布がワイブル分布に従うと仮定し各期待値を推定したものである。パラメーター 16～18 はリッジの密接度を表す 5 段階の観測値とセール高さの関係から推定した値である。詳細は Breskin et al. (WP-121) の報告書を参照されたい。データそのものは INSROP GIS (1999) の CD-ROM にも収録されているのでデジタルデータが必要な読者は利用されたい。実際の船速データの計算には、表 B-1 で太字表示となっている合計 7 個のパラメーターを用いた。これらのデータは、観測されていない領域があり、全てが完全にそろったものではない。全般的には東 NSR のデータは欠落のみであり、観察が十分出来ない年度もある。1953～1956 年、1961～1964 年、1972 年の観測データの充足率は 50% 以下であることからシミュレーションには使わないことにした。不足しているデータは欠落している前後のセグメント又は前後の月のデータから補完し推定した。また、重要なパラメーターであるリッジ密度の観測値は充足率が 27% しかないことから補完が不可能であった。従って、リッジ密度の欠落データには全データの平均値を充てた。

表 B-1 航路に沿った環境データの一覧

No.	パラメーター	単位	No.	パラメーター	単位
1	積算寒度	°C day	10	風向	degree
2	平均一年氷密接度	1/10	11	潮流方向	degree
3	平均多年氷密接度	1/10	12	氷盤サイズ	km
4	最少密接度	1/10	13	平均リッジサイズ (セール高さ)	cm
5	最大密接度	1/10	14	最大リッジサイズ (1%期待値)	cm
6	平坦氷の氷厚	cm	15	最大リッジサイズ (0.1%期待値)	m
7	平均氷厚	cm	16	平均リッジ密度	1/km
8	最少氷厚	cm	17	最少リッジ密度	1/km
9	最大氷厚	cm	18	最大リッジ密度	1/km

供給されたデータの傾向を分析するために、各パラメーターの約30年間の平均値を海域、月別に求めた。図 B-1～B-4に積算寒度、一年氷、多年氷の密接度、氷厚のデータを北航路、南航路について示す。

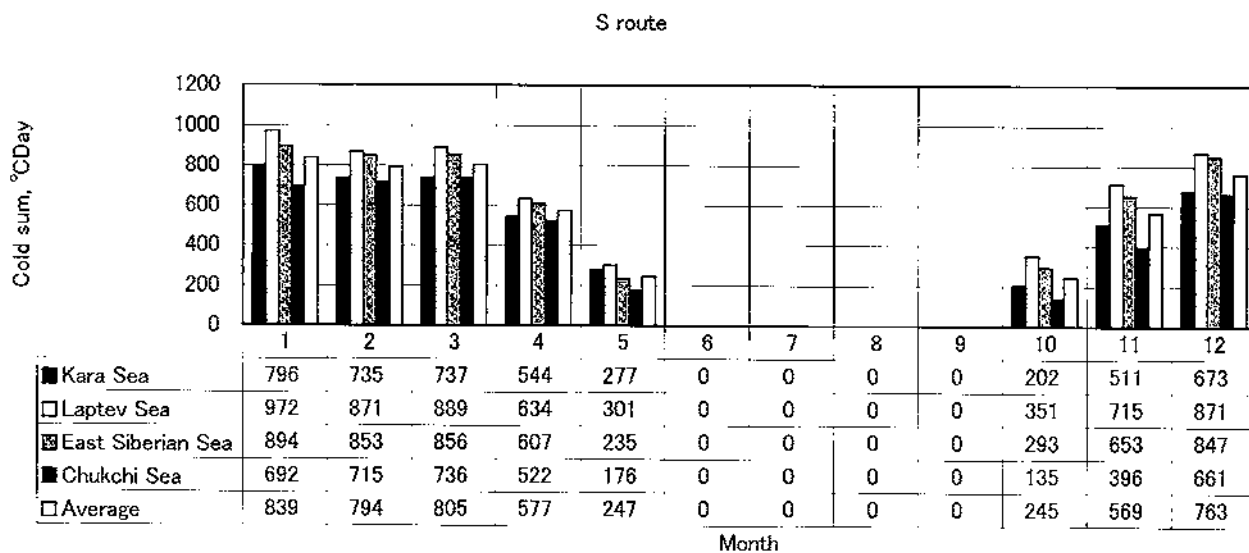
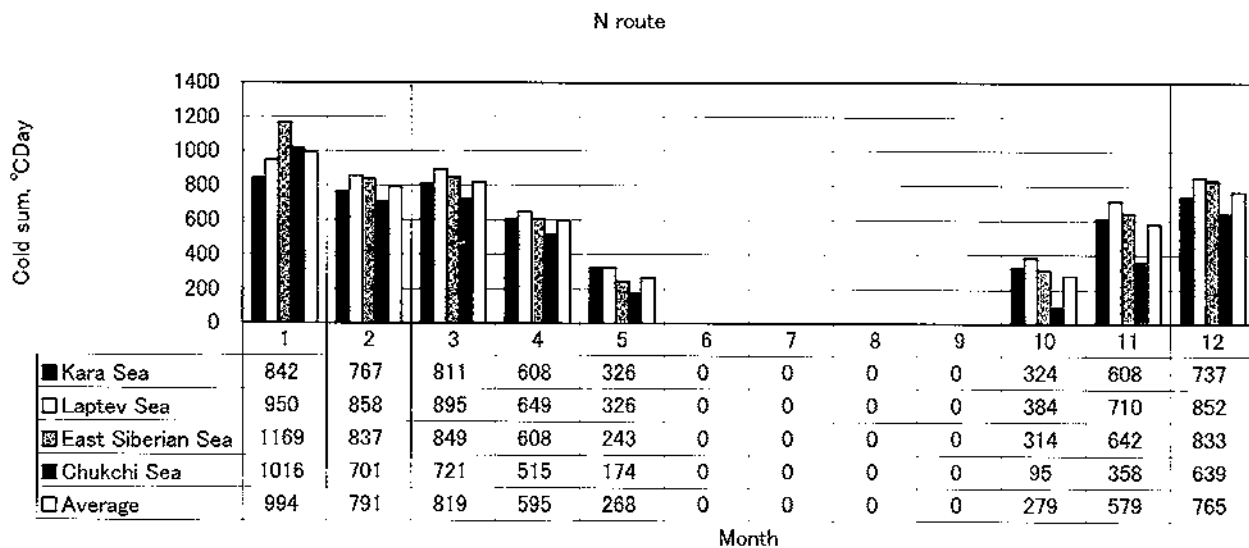


図 B-1 積算寒度の海域別、月別変化（上：北航路、下：南航路）

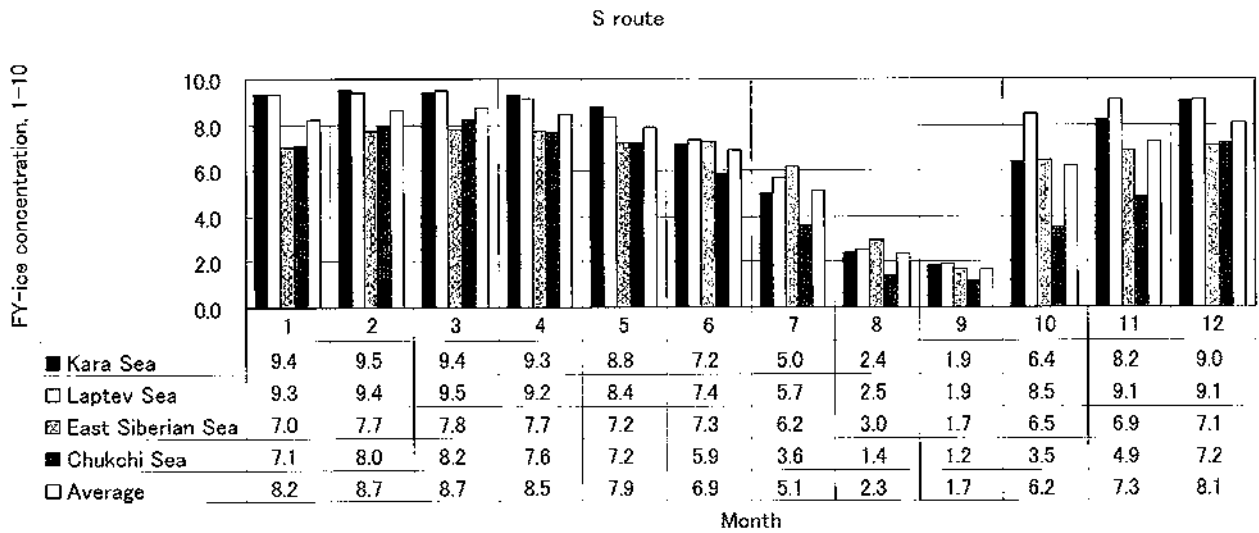
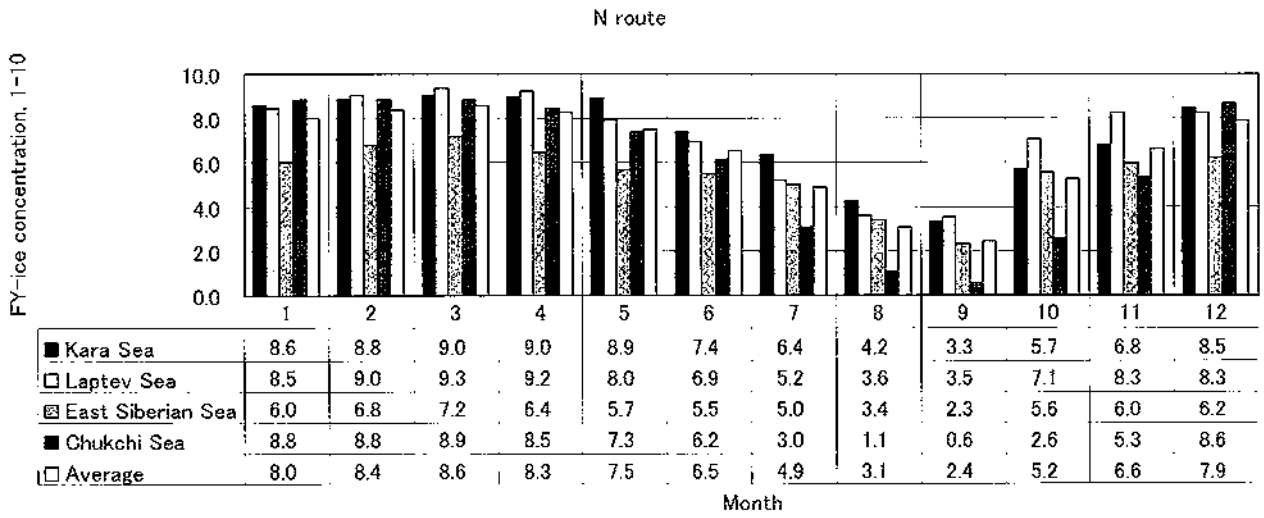


図 B-2 一年氷密接度の海域別、月別変化（上：北航路、下：南航路）

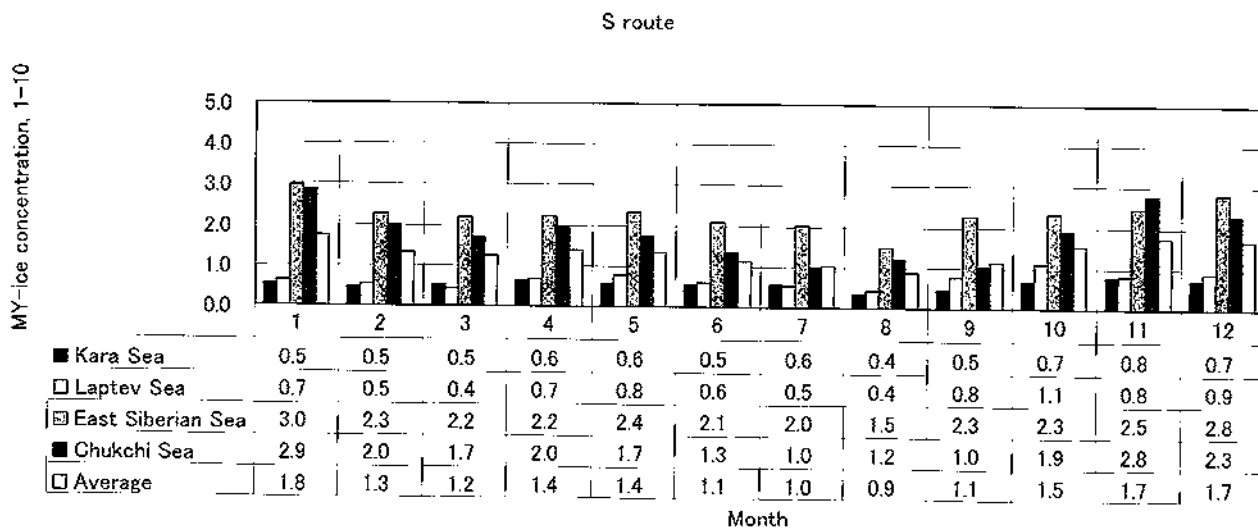
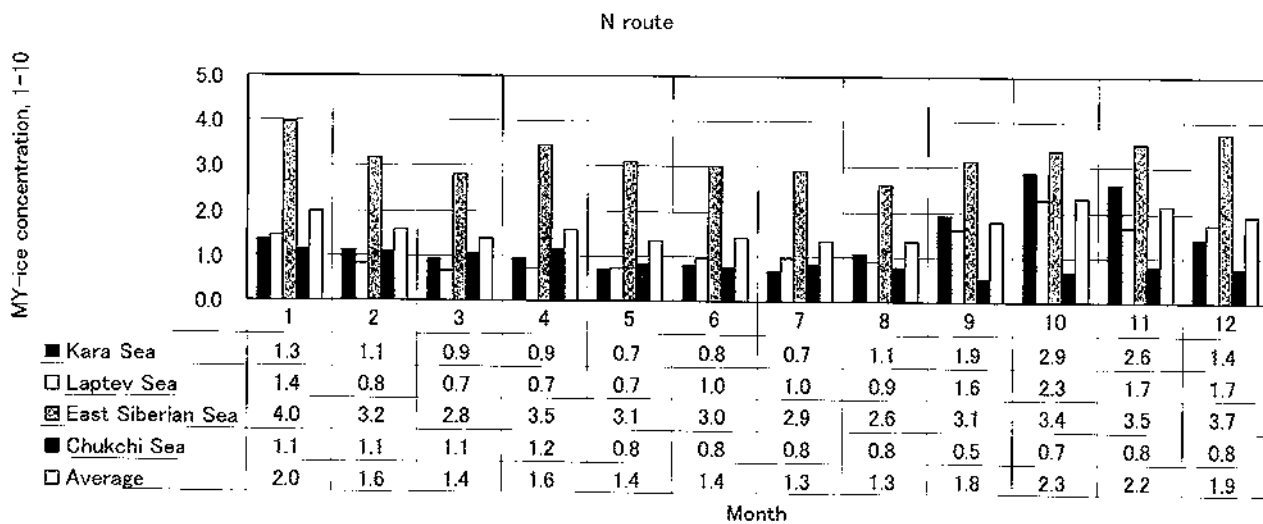


図 B-3 多年氷密接度の海域別、月別変化 (上 : 北航路、下 : 南航路)

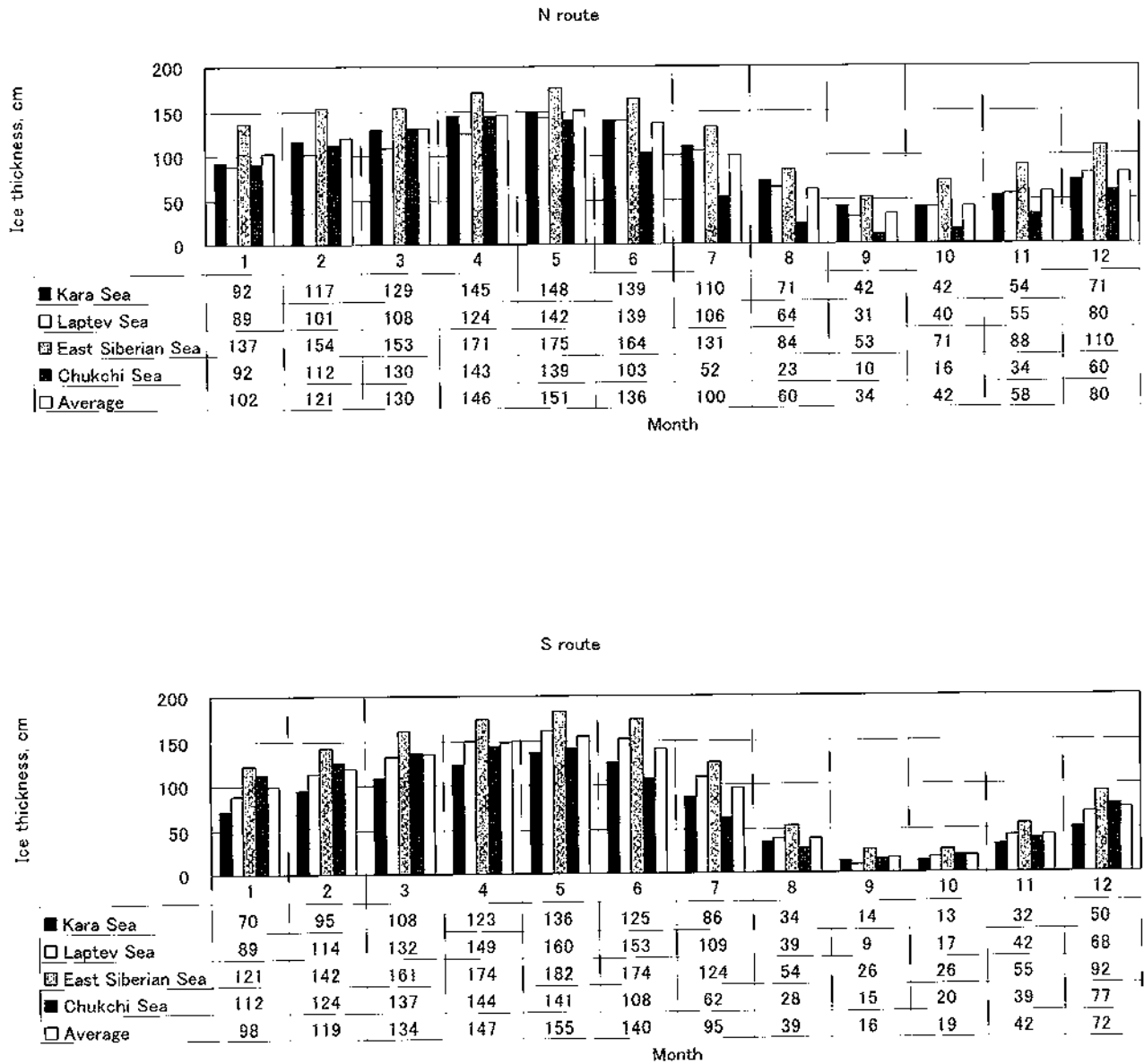


図 B-4 氷厚の海域別、月別の変化

Ice Index の計算

I_A は、CASPPR の CAC4 と TYPE A の MY に対する係数を修正した以外は CASPPR の Ice Numeral の算式と同じである。表 B-2 に一年氷の種類とその定義、各氷に対する係数を示す。一年氷の密接度を C_f 、多年氷の密接度を C_m とすると表 B-2 の一年氷と多年氷の係数から(1)式により I_A を計算できる。

$$I_A = (\text{該当する一年氷の係数}) \times C_f + (\text{多年氷の指数}) \times C_m + 2 \times (10 - C_f - C_m) \quad (1)$$

表 B-2 氷の種類と該当する係数

氷の種類	氷厚 h_i (cm)	砕氷船・氷海商船のクラス				
		Type A	CAC4	CAC3	CAC2	CAC1
MY (多年氷)	—	3.5	-2.5	0	2	2
TFY (非常に厚い一年氷)	$120 \leq h_i$	-1	1	2	2	2
MFY (中間の一年氷)	$70 \leq h_i < 120$	1	2	2	2	2
THFY 2 (薄い一年氷)	$50 \leq h_i < 70$	2	2	2	2	2
THFY 1 (更に薄い一年氷)	$30 \leq h_i < 50$	2	2	2	2	2
OW	$0 \leq h_i < 30$	2	2	2	2	2

I_B はリッジを表す指数である。リッジの密接度を表す10階級の指数を C_r と定義する。リッジは図 B-5に示す形状で近似することにする。パラメーター16で定義したリッジ密度を D_r とすると C_r は(2)式により定義できる。

$$C_r = W_k \times (D_r / 1000) \times 10 \quad (2)$$

リッジ幅 W_k を、 $W_k = 20 H_s$ と近似すれば

$$C_r = (H_s D_r) / 5 \quad (3)$$

I_B を(1)式により近似する。

$$I_B = F(C_r) \times (C_f + C_m) \quad (4)$$

ここで $F(C_r) = -2 \times (C_r / 10)$

CASPPR では1/3がリッジで覆われ、氷の密接度 ($C_f + C_m$) が6以上の場合、表 B-2の係数から1減ることになっている。全面がリッジで覆われた時、即ち $C_r = 10$ の場合、(4)式は CASPPR の倍のペナルティを与えることになる。氷強度に関する指標 I_c を表 B-3と(5)式により定義する。気温が低いほど、また多年氷程ペナルティを大きくとる。

$$I_c = M_{cs} \times (\text{一年氷}) \times C_f + M_{cs} (\text{多年氷}) \times C_m \quad (5)$$

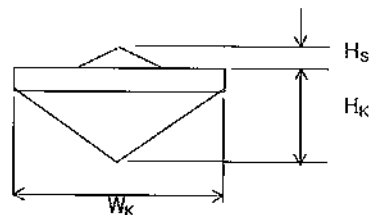


図 B-5 リッジの形状

表 B-3 氷強度による係数

氷の種類	一 年 氷			多 年 氷		
	$T \leq -10$	$-10 \leq T \leq -2$	$-2 \leq T \leq 0$	$T \leq -10$	$-10 \leq T \leq -2$	$-2 \leq T \leq 0$
月平均気温 T(°C)	$T \leq -10$	$-10 \leq T \leq -2$	$-2 \leq T \leq 0$	$T \leq -10$	$-10 \leq T \leq -2$	$-2 \leq T \leq 0$
曲げ強度 (kpa)	600	450	300	1600	1200	800
圧縮強度 (kpa)	6000	4500	3000	9000	6500	4000
係数 M_{cs}	-0.12	0	0.12	-0.44	0	0.44

理解を容易にするために、氷況と Ice Index の例題を以下に示す。

氷況例

- 氷厚 : 1m (MFY)
- 一年氷密接度 : 6
- 多年氷密接度 : 1
- リッジセール高さ : 0.5m
- リッジ密度 : 20/km
- 月平均温度 : -5°C
- アイスクラス : Type A

計算例

$$I_A = 1 \times 6 - 1 \times (-3.5) \times 1 + 2 \times (10 - 6 - 1) = 8.5$$

$$C_r = 0.5 \times 20 / 5 = 2.0$$

$$I_B = -2 \times 2.0 / 10 \times (6 + 1) = -2.8$$

$$I_C = 0 \times 6 + 0 \times 1 = 0.0$$

$$I = I_A + I_B + I_C = 8.5 - 2.8 + 0.0 = 5.7$$

次に各船型について Ice Index と船速の関係を求める。AARI が提供した各セグメント/年/月別の全ての組み合わせに対して計算すると膨大な時間を要することから AARI が提供したデータを適当に組み合わせ、その組み合わせたデータに対して NEWSIM2 のコードにより船速を求めることにした。先ず、表 B-1 に示したシミュレーションに用いる環境データのパラメーター 2, 3, 7, 14, 16 の最小、平均、最大値を求め、その組み合わせにより Ice Index の発現する範囲をカバーすることにした。最小値 = 平均値 - 標準偏差、最大値 = 平均値 + 標準偏差 として求めた。表 B-4 にその値を示す。従って、5 個のパラメーターに対して $3^5 = 243$ 個の Ice Index の組み合わせが出来るが、その中から有意な組み合わせに対して NEWSIM2 により船速を計算し、Ice Index に対する船速を求めた。氷盤サイズは平均値を用いることにした。アイスクラスとしては、商船は Type A とし、Arctika は CAC1 とした。氷海航行する船舶は密接度が高い場合、風、潮流により発生する氷圧力 (Ice Compression) により著しく速度が低下したり航行不能になることがある。従って、この影響係数として船の平行部の長さに応じて表 B-5 に示す C_{co} を乗ずることにした。また氷海航行する場

合、常に操船者は氷況の穏やかな所や開水中を航行する習慣がある。針路の操船影響として表 B-6 の係数 C_{ma} を乗じた。氷密接度が高くなる程針路が変え難いことから、密接度が高い程ペナルティを大きくした。2階級毎の Ice Index として船速を整理した。船速はある階級の Ice Index に対してバラツキを示すが、そのバラツキを5段階の確率分布として整理することにした。3船型及び Arktika の結果を図 B-6 に示す。ある Ice Index に対して複数の氷況が存在する訳であるから、ある Ice Index の階級に対して、船速はある範囲での分布を示すことになる。

表 B-4 氷況パラメーターの最大値と最小値

パラメーター	単位	最少	平均	最大
平均一年氷密接度	1/10	2.3	6.3	10.0
平均多年氷密接度	1/10	0.0	1.4	4.0
平均氷厚	cm	27	97	168
平均リッジサイズ(セール高さ)	cm	39	94	149
平均リッジ密度	1/km	0.0	13.9	27.7

表 B-5 氷圧力の修正係数

船型	C_{co}
Arktika	0.95
25BC、40BC	0.88
50BC	0.80

表 B-6 操船影響による係数

総氷密接度	C_{ma}
10/10 - 6/10	0.95
5/10 - 1/10	0.97

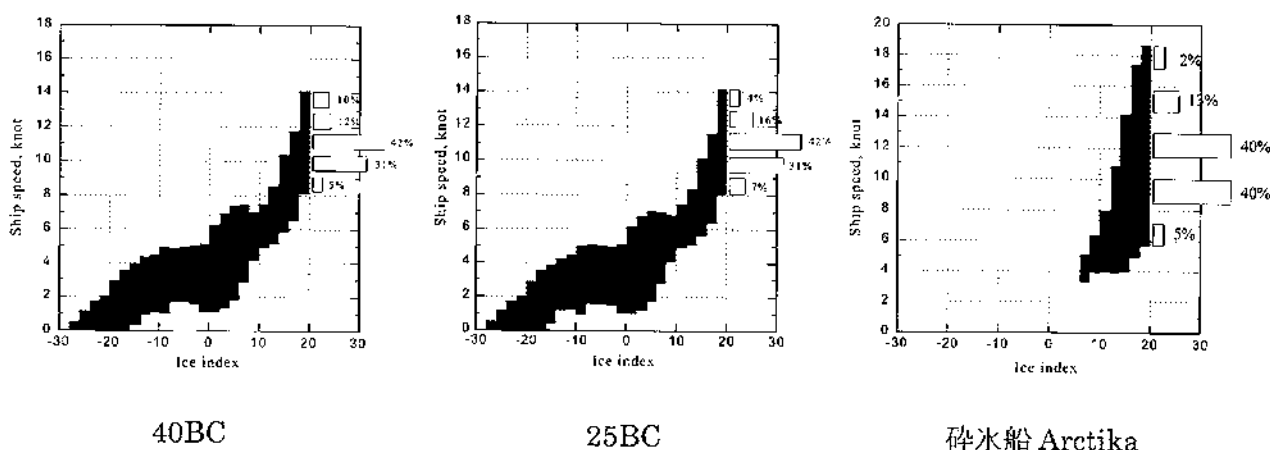
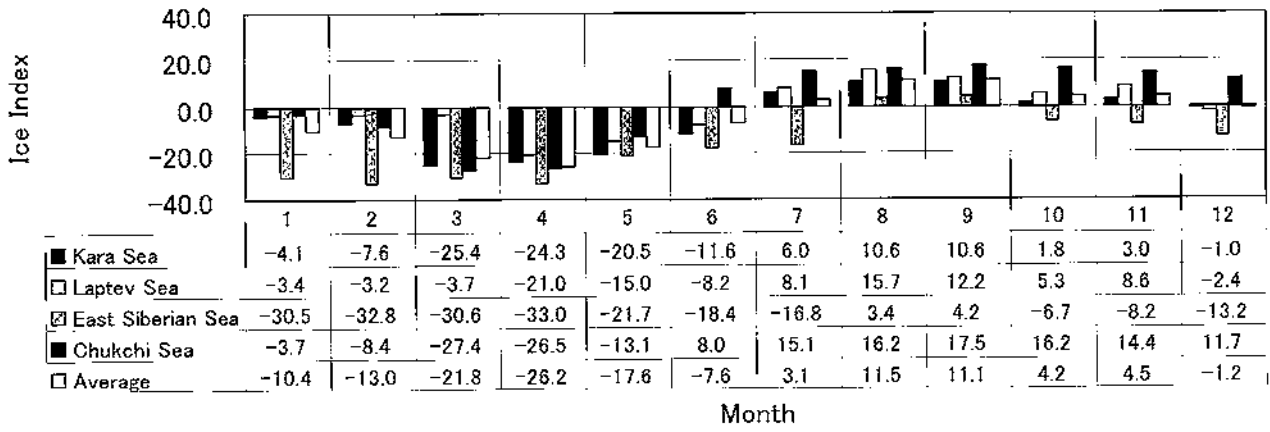


図 B-6 Ice Index と船速の関係

表 B-1 から表 B-3 に示した、各海域の平均値を用い TYPE A 商船の Ice Index を海域別、月別に求めた。図 4.4-9 の碎氷船のエスコート日数と Ice Index は同じ傾向を示すことが解る。また東シベリア海は多年氷が存在する割合が高く、最も氷況の厳しい海域であること、ラプテフ海は、冬期は沿岸定着氷が発達するために、南航路の方が、氷況は厳しいことが定量的に理解できる。

N-Route



S-Route

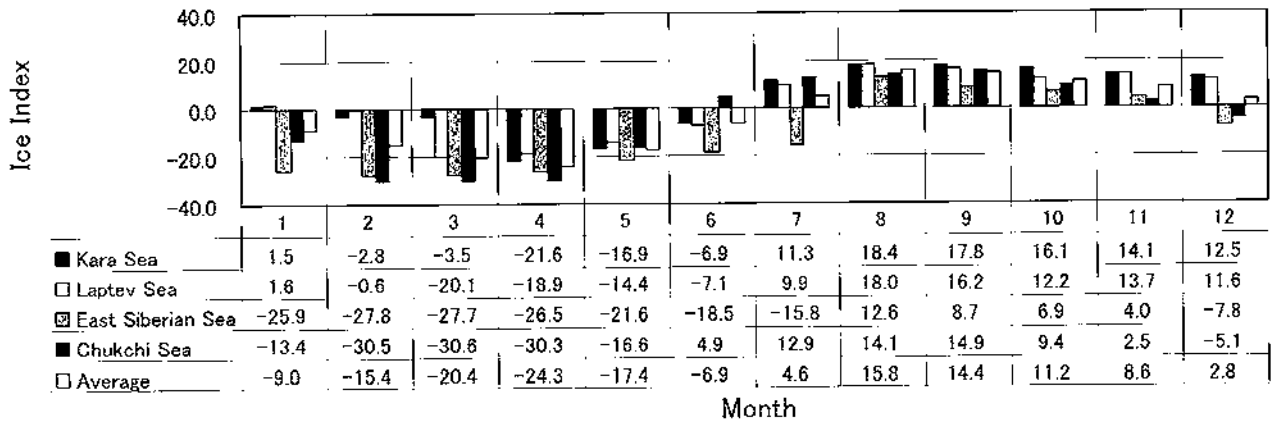


図 B-7 Ice Index の海域別の月変化 (上 : 北航路、下 : 南航路)

運航コスト計算結果の補足

表 B-7 月別の3船種の1航海の総コストとその内訳(トランジット航海)

(1957~1990年の平均値)

(単位:千円)

月	資本費			運航費			港費			燃費			砕氷船料料等			全費用		
	25 BC	40 BC	50 BC	25 BC	40 BC	50 BC	25 BC	40 BC	50 BC	25 BC	40 BC	50 BC	25 BC	40 BC	50 BC	25 BC	40 BC	50 BC
1	754	894	384	260	270	279	61	67	92	237	242	164	121	126	163	1433	1599	1082
2	799	907	393	275	274	286	61	67	92	183	174	127	126	130	167	1444	1552	1064
3	806	901	397	278	273	289	61	67	92	165	145	128	127	131	167	1438	1517	1074
4	780	882	387	269	267	282	61	67	92	150	128	122	127	131	167	1388	1474	1049
5	716	823	361	247	249	263	61	67	92	143	131	127	125	129	164	1292	1399	1008
6	628	720	310	216	218	226	61	67	92	113	110	118	122	126	161	1140	1241	907
7	634	733	320	218	222	233	61	67	92	148	152	149	122	128	166	1184	1302	959
8	551	649	281	190	196	205	61	67	92	182	207	185	116	122	160	1100	1242	923
9	536	629	268	185	190	195	61	67	92	168	186	175	116	121	160	1067	1194	890
10	577	661	285	199	200	207	61	67	92	205	198	172	117	123	162	1159	1250	918
11	666	728	330	229	220	240	61	67	92	287	265	224	113	118	154	1357	1399	1041
12	711	813	346	245	246	252	61	67	92	291	279	190	116	121	158	1423	1527	1039
平均	680	778	339	234	235	246	61	67	92	189	185	157	121	126	162	1285	1391	996

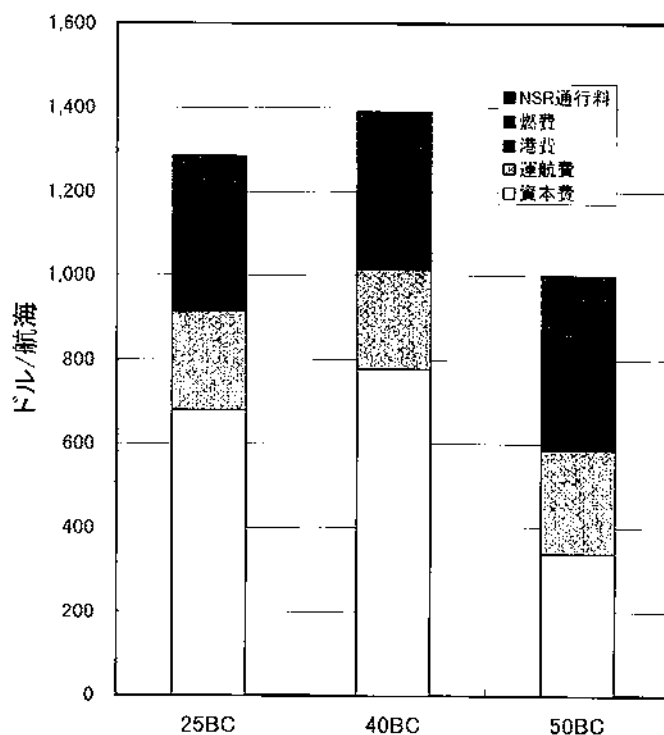


図 B-8 1航海当たりの平均運航総コストの内訳(トランジット航海)

表 B-8 地域航路の月別平均運航コストとその内訳

(1957~1990年の平均値)

(単位:千円)

月	資本費		運航費		港費		燃費		NSR 通行料		全費用	
	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東
1	258	451	89	156	49	37	98	82	114	118	607	844
2	287	459	99	158	49	37	110	51	112	120	656	825
3	290	465	100	160	49	37	103	50	112	120	653	832
4	290	448	100	154	49	37	100	47	112	120	650	807
5	279	412	96	142	49	37	88	55	112	118	623	763
6	242	386	83	133	49	37	59	51	112	117	545	723
7	225	412	78	142	49	37	53	79	74	120	479	790
8	215	354	74	122	49	37	43	101	77	116	457	729
9	214	344	74	119	49	37	43	90	7	116	457	704
10	219	369	75	127	49	37	49	111	74	116	467	760
11	222	433	76	149	49	37	54	166	111	113	512	898
12	243	438	84	151	49	37	88	128	111	115	575	868
平均	249	414	86	143	49	34	74	84	100	117	557	795

西：西地域航路 東：東地域航路

表 B-9 通常型のハンディサイズバルカーの要目と運航コスト一覧

要口
全長:180.0m
垂線間長:173.0m
幅:32.2m
型深:16.5m
喫水:11.73m
船倉数:5

Ship type	50BC
DWT (ton)	50,900
Gross tonnage (GT)	28,000
Gargo tonnage (t)	47,000
Ship speed (knot)	15.0
Power NSO(PS)	11,000
M/E FOC (t/day)	35.72
D/G FOC (t/day)	1.54
D/G FOC in port (t/day)	3.08
Ship price (k\$)	22,000
Voyage distance (NM)	11,588
Voyage days (including port and canal)	39.19
Voyage days	32.19
Anchorage day (day/voyage)	6
Suez canal transit day	1
Number of voyage	9.31
Annual cost (k\$)	7,913
Capital cost (k\$/year)	2,488
Maintenance fee (k\$/year)	560
Insurance (k\$/year)	1,599
Fuel cost (k\$/year)	1,032
Port cost (k\$/year)	805
SUEZ canal transit tolls (k\$)	1,295
Total cargo tonnage (ton/year)	437,752
Freight cost (\$/ton)	18.1
Cost per one-voyage (k\$)	850

航海速度補足資料

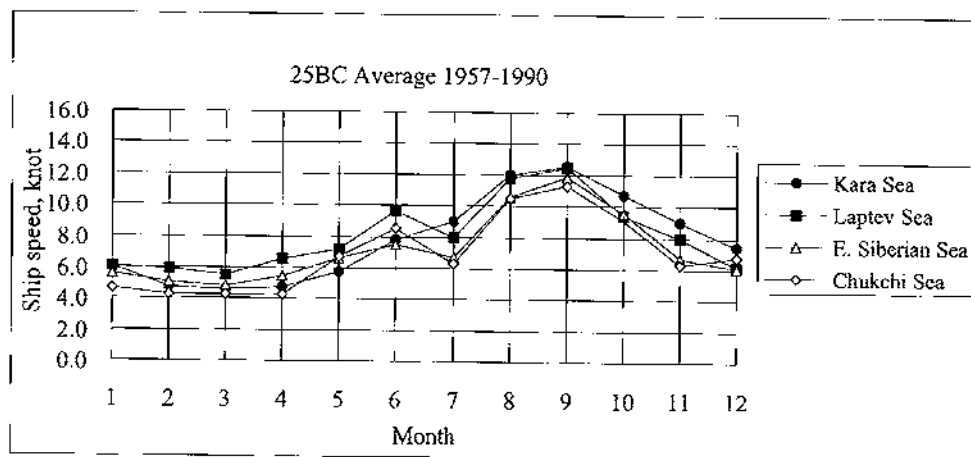


図 B-9 25BC の海域別平均航海速度の月変化 (1957~1990年の平均値)

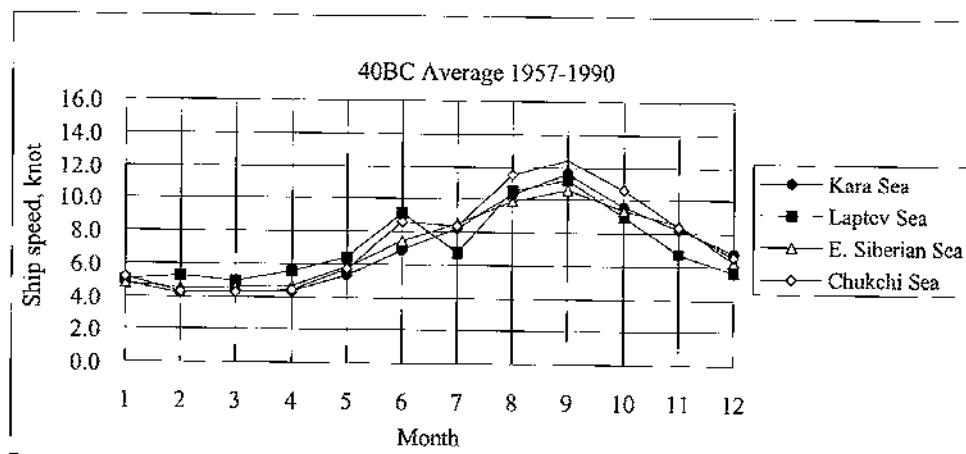


図 B-10 40BC の海域別平均航海速度の月変化 (1957~1990年の平均値)

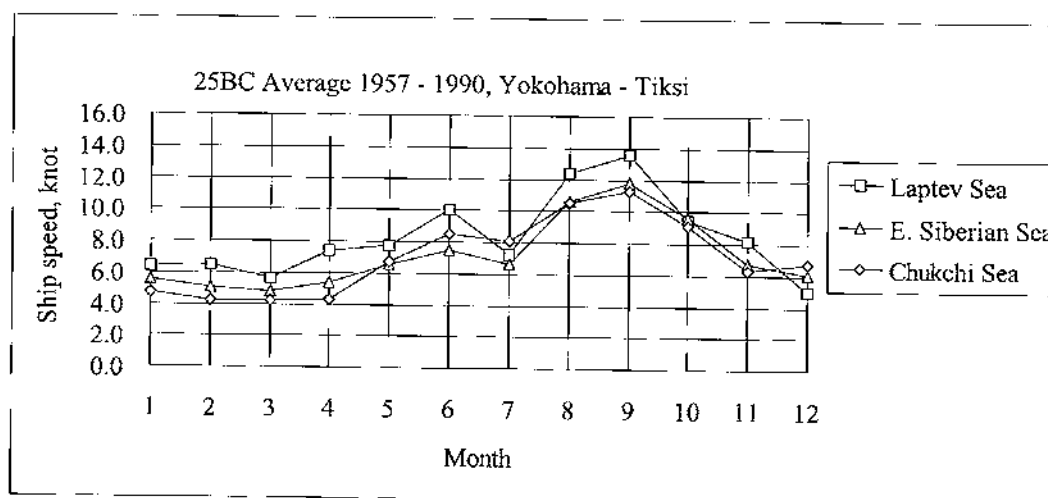


図 B-11 東地域航路の海域別平均航海速度の月変化 (25BC、1957~1990年の平均値)

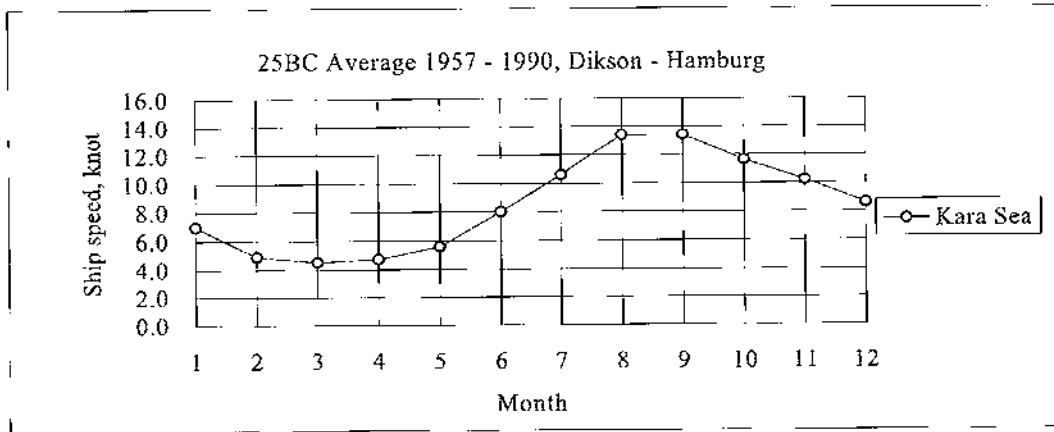


図 B-12 西地域航路の海域別平均航海速度の月変化 (25BC、1957～1990年の平均値)

シミュレーションに用いた船の補足解説

40,000 DWT 型 砕氷型バルク・コンテナ

北航路を対象に、喫水12.5m で40,000DWTを確保し、8カ月間単独航行できる砕氷能力を有することを条件に計画した。図 B-13にその一般配置図を示す。バルクまたはコンテナを積載できる所謂、オープンバルカーである。コンテナ搭載時にはハッチを開けて船倉内に825TEU、甲板上に846TEU、合計1671TEU のコンテナを積むことができる。推進器としては砕氷タンカーLunni にも採用されている電動モーターを格納した容器とプロペラを一体にした Azipod を2基装着している。モーター、発電機ともに交流でサイクロコンバーターにより回転数を制御する回路を採用している。Azipod の合計出力は28MW である。比較的穏やかな一年氷の中では、船首と船尾が逆になり船尾を先頭にして推進器が船を引張る形で進む船尾モードの砕氷を行う。船尾も効率良く砕氷できるような形状にしてある。Azipod は360° 回転することができるので舵を必要としないし、氷中での旋回性が極めて優れているのも特徴である。多年氷の中では、強固な多年氷片が Azipod にあたると損傷する危険性があるので船首を先に前進する通常の船首モードの推進方式をとる。穏やかな一年氷の中だけ航行する船舶であれば、船首側をバルブ付きの平水中船首とし平水中の性能を向上させる DAS (Double Acting Azipod Ship) と呼ばれる概念を導入することができるが、多年氷が多い東 NSR を航行する本船では採用していない。砕氷能力は氷海水槽試験を行い確認した。船尾モードでは1.8m の平坦氷を船速1.0m/sec で、船首モードでは1.2m の平坦氷を船速1.0 m/sec で各々砕氷することができる。リッジ突破時には、船尾モードでは Azipod を左右に旋回させリッジキール部の氷片を水流で飛ばすことにより排除し、かつリッジ下方の圧力が低下することによりリッジを沈み込ませることで連続的に前進することができる。試験ではキール深さ約15～20m に相当する一年リッジを進むことができる。通常の船首モードではキール深さ15m のリッジを突破するために3回のラミングを必要とする。平水中は発電機2台 (氷中は4台) で運転し、出力15.8MW にて15%シーマージンを見て、速力は14.5ノットである。

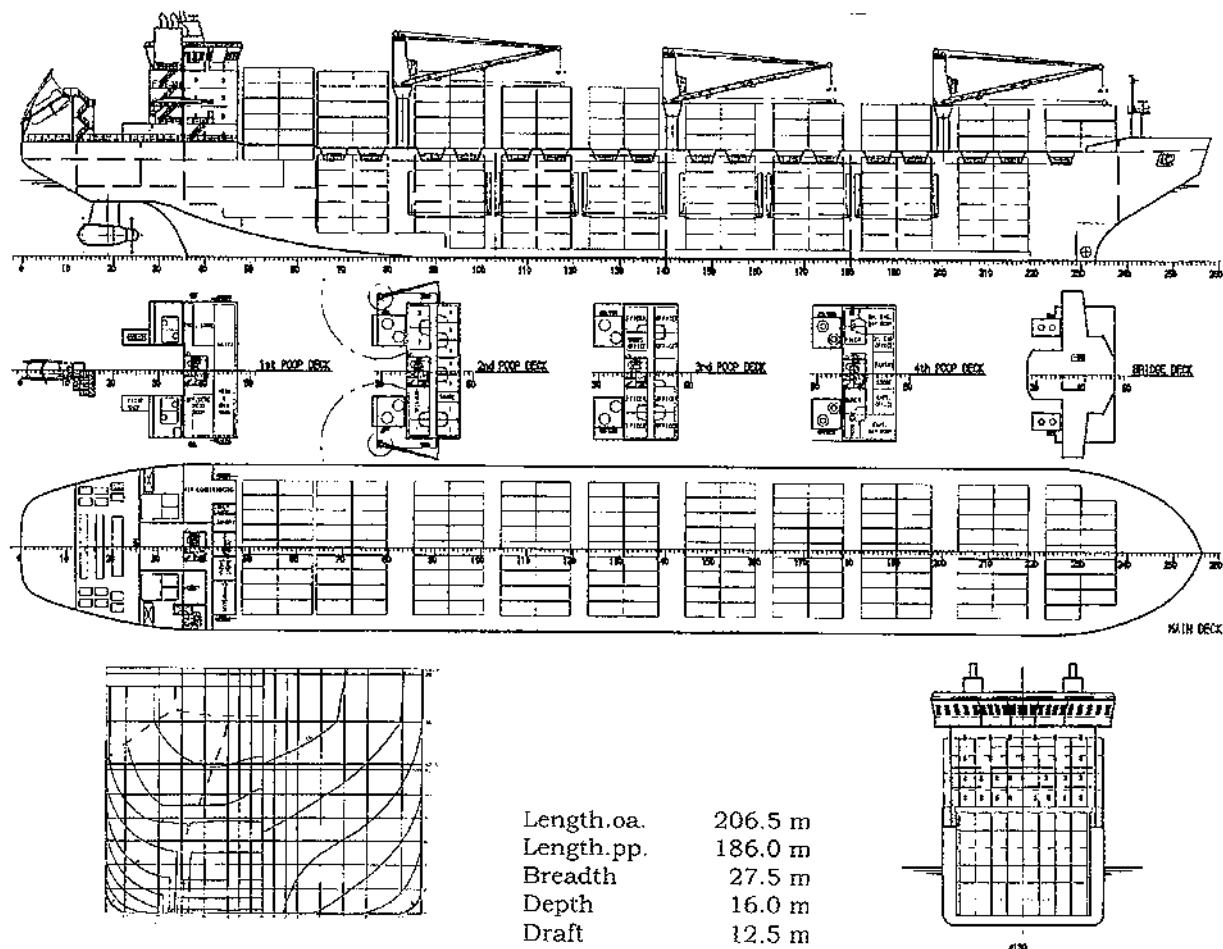
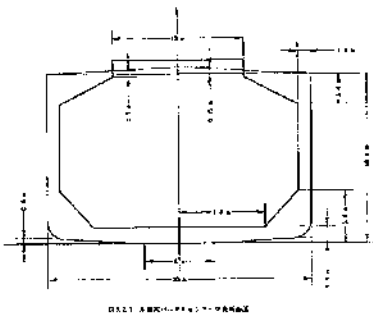
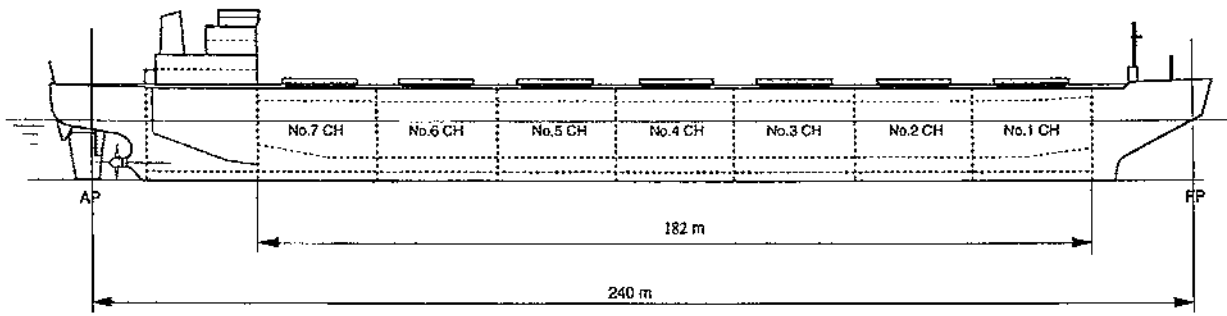


図 B-13 40,000DWT 砕氷型 バルク・コンテナ船 の一般配置図 (40BC)

50,000 DWT 型 砕氷型バルカー

本船はシップ・アンド・オーシャン財団の北極海航路開発調査研究委員会で試設計した船型である。H5～7年度に喫水8m、排水量27,000トンの要目に対して、最適船型を絞り込むために、船首形状3種類、船尾形状2種類の組み合わせに対して氷海水槽試験、平水中試験などのシリーズ試験を行なった。その試験結果をベースに、更に H9年度、北航路向けに喫水を12.5m に拡張した50,000DWT 型砕氷型バルクの開発を行った。シリーズ試験の結果、平水中の性能が優れた従来型の船首形状Aと砕氷性能の優れたスプーンバウ型と呼ばれる船型Bの利点を取り入れた船首形状Dを採用し、船尾については船尾bを元にフレアーの傾斜を大きくし旋回性能を改善した船尾dを採用した(図4.1-17)。試験結果から推定すると、砕氷能力は3ノットで平坦氷1.2m、平水中の速度は15%シーマージンを含み17ノットである。40,000DWT 型砕氷型バルク・コンテナが砕氷能力を重視したのに対して、本船は平水中の性能を重視しており、主機出力は平水中の性能が支配的である。推進器はエンジン直結の固定翼プロペラである。一般配置図を図 B-14に示す。



Principal Particulars for
50,000 DWT Icebreaking Bulk Carrier

Length O.A.	232.2m
Length P.P.	240.0m
Breadth	30.0m
Depth	18.8m
Draft	12.5m
Block Coefficient	0.767
Displacement	78,900t
Dead Weight	50,900t
Cargo Capacity	abt. 70,000M ³
Velocity in open water	17.0 knots at NSO with 15% S.M.
Velocity in level ice	3 knots in 1.2m thick level ice
Engine power, MCO	18.02 MW
Engine power, NSO	16.21 MW, 90% MCO
Propeller	7.1m Dia. x 1 (Fixed)

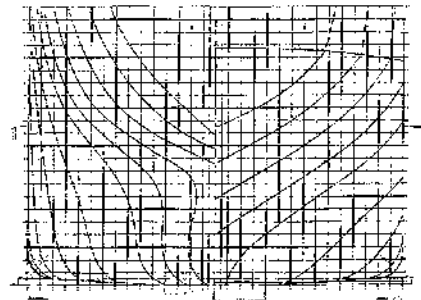


図 B-14 50,000DWT 砕氷型 バルクキャリアーの一般配置図 (50BC)

6-1 ロシア近代概史

1598	リューリク朝断絶。ボリス・ゴドノフ、ツァーリに選ばれる。
1610	ポーランド軍、モスクワ占領
1611	スウェーデン軍、ノヴゴロド占領
1613	ミハイル・ロマノフ、全国会議でツァーリに選ばれる。
1618	スウェーデンと講和、ポーランドと休戦
1649	会議法典発布（農奴制の法的完成）
1670	ステンカ・ラージンの乱
1682	ピョートル1世、イヴァン5世共同統治
1703	サンクト・ペテルブルグ建設
1755	モスクワ大学開設
1760	ロシア軍、ベルリン占領
1768	対トルコ戦争
1772	第一次ポーランド分割
1812	ナポレオン、ロシア侵攻
1825	ニコライ1世即位、デカブリストの乱
1830	ポーランド反乱
1853	対トルコ戦争（クリミア戦争始まる。）
1855	日露和親条約締結
1856	パリ条約
1861	農奴解放令公布、各地で農民暴動・大学紛争
1875	千島樺太交換条約締結
1891	メーデー始まる。シベリア鉄道建設開始
1895	レーニン等「労働者階級解放闘争同盟」結成
1896	ロシア社会民主労働党第一回大会
1903	ボルシェヴィキ、メンシヴィキの分裂
1904	日露戦争開始
1905	血の日曜日事件。ポーツマス条約。モスクワ市街戦
1914	第一次世界大戦に突入
1917	二月革命、帝政ロシアの崩壊
1922	スターリン書記長に就任
1939	独ソ不可侵条約。第二次世界大戦始まる。ソ連・フィンランド戦争
1941	日ソ中立条約。米、対ソ援助（武器貸与法）。真珠湾攻撃。
1945	ヤルタ会談。ドイツ降伏。日本敗戦。
1953	スターリン死去、フルシチョフ第一書記に就任
1955	ワルシャワ条約調印
1964	ブレジネフ第一書記に就任
1982	ブレジネフ書記長死去
1985	ゴルバチョフ書記長に就任
1987	ゴルバチョフ書記長による北極海航路開放宣言
1990	複数政党、私的所有権承認、ゴルバチョフ大統領選出。バルト3国独立
1991	エリツィン大統領選出
1993	ロシア新憲法採択
1997	ロシア、ベラルーシ統合連邦条約調印
1998	経済、金融危機

6-2 ロシア連邦 行政単位

共和国
アジゲイ、アルタイ、バシコルトスタン、ブリヤード、ダゲスタン、イングーシ、カバルダ・バルカル、カルムイク、カラチャエボ・チェルケス、カレリヤ、コミ、マリー・エル、モルドバ、サハ、北オセチヤ、タタールスタン、トゥワ、ウドムルチ、ハカシヤ、チェチェン、チュバシ
自治州
ユダヤ
自治管区
アギンスク・ブリヤート、コミ・ペルミヤック、コリヤーク、ネネツ、タイミル、ウスチ・オルダ・ブリヤート、ハンチ・マンスク、チュコトカ、エベンキ、ヤマロ・ネネツ
州
アルハンゲリスク、ボログダ、ムルマンスク、レニングラード、ノブゴロド、アスコフ、ブリャンスク、ウラジーミル、コストロマ、モスクワ、オリョール、リャザン、トベリ、スモレンスク、トゥーラ、ヤロスラベリ、イワノボ、カルーガ、ニジニ・ノブゴロド、キーロフ、ベルゴロド、ボロネジ、クールスク、リペック、タンボフ、アストラハン、ボルゴグラード、ペンザ、サマーラ、サラトフ、ウリヤノフスク、ロストフ、クルガンスク、オレンブルグ、ベルミ、セベルドロフスク、チェリャピンスク、ノボシビルスク、オムスク、トムスク、チュメニ、イルクーツク、チタ、アムール、カムチャツカ、マガダン、サハリン、カリーニングラード、ケメロフスク
地方
クラスノダール、スタブローポリ、アルタイ、クラスノヤルスク、ハバロフスク、クリモロスク
連邦都市
モスクワ、サンクト・ペテルブルグ

6-3 ロシア以外の CIS（独立国家共同体）諸国

(1995～1997資料による)

ウクライナ共和国 (Ukraine)

面積：603,700km²

首都：キエフ

人口：5,050万人

民族：ウクライナ (72.7%)、ロシア (22.0%)、ユダヤ (0.9%)、ベラルーシ (0.9%)

公用語：ウクライナ語

産業：農業、鉄鋼業、造船業

G N P：840億ドル

キーワード：ロシア発祥の国、ロシアの穀倉地帯、ソ連崩壊の契機となった独立、ロシアへのエネルギー依存

ベラルーシ共和国 (Republic of Belarus)

面積：207,600km²

首都：ミンスク

人口：1,025万人

民族：ベラルーシ (77.9%)、ロシア (13.2%)、ポーランド (4.1%)、ウクライナ (2.9%)、ユダヤ (1.1%)

公用語：ベラルーシ語（準公用語；ロシア語）

産業：機械工業、電子機器、化学繊維、肥料、食品工業

G N P：214億ドル

キーワード：東スラブ族、潜在的経済力、市場経済化の遅れ

モルドヴァ共和国 (Republic of Moldova)

面積：33,700km²

首都：キシニョフ

人口：424万人

民族：モルドヴァ（ルーマニア）(64.5%)、ウクライナ (13.8)、ロシア (13.0%)、ガガウス (3.5%)、ブルガリア (2.0%)

公用語：モルドヴァ語（ルーマニア語方言）

産業：機械工業、農業、食品加工業

G N P：43億ドル

キーワード：オスマントルコ支配、肥沃な国土、民族紛争

ウズベキスタン共和国 (Republic of Uzbekistan) _____

面 積 : 447,400km²

首 都 : タシケント

人 口 : 2,387万人

民 族 : ウズベク (75.8%)、ロシア (6.0%)、タジク (4.8%)、カザフ (4.1%)、
タタール (1.6%)

公用語 : ウズベク語 (チュルク諸語系)

産 業 : 綿花生産、鉱工業

G N P : 234.9億ドル

キーワード : キジルクム・カラクム砂漠、チムール帝国、綿花輸出

カザフスタン共和国 (Republic of Kazakhstan) _____

面 積 : 2,717,300km²

首 都 : アスタナ (旧アクモラ)

人 口 : 1,580万人

民 族 : カザフ (45.9%)、ロシア (34.8%)、ウクライナ (4.9%)、ドイツ (3.2%)、
ウズベク (2.3%)

公用語 : カザフ語 (チュルク諸語系)

産 業 : 工業、農業、冶金、金属

G N P : 221億ドル

キーワード : 豊富な天然資源、ロシアに次ぐ国土面積、セミパラチンスク旧核実験場

トルクメニスタン共和国 (Turkmenistan) _____

面 積 : 488,100km²

首 都 : アシハバート

人 口 : 469万人

民 族 : トルクメン (73.3%)、ロシア (9.8%)、ウズベク (9.0%)、カザフ (2.0%)

公用語 : トルクメン語 (トルコ語系)

産 業 : エネルギー産業、綿花生産

G N P : 41.3億ドル

キーワード : 永世中立国、天然ガス

キルギス共和国 (Kyrgyz Republic) _____

面 積 : 198,500km²

首 都 : ビシュケク (旧フルンゼ)

人 口 : 467万人

民 族 : キルギス (52.4%)、ロシア (21.5%)、ウズベク (12.9%)、ウクライナ (2.5%)、

ドイツ (2.4%)

公用語：キルギス語（トルコ語系）

産 業：農業、畜産業、鉱業

G N P：31.6億ドル

キーワード：山岳地帯、金鉱山

タジキスタン共和国 (Republic of Tadjikistan)

面 積：143,100km²

首 都：ドウシャンベ

人 口：607万人

民 族：タジク (64.9%)、ウズベク (25.0%)、ロシア (3.5%)

公用語：タジク語（イラン系）

産 業：綿花生産、果樹生産、畜産業

G N P：19.7億ドル

キーワード：山岳国（パミール高原）、政情不安

アゼルバイジャン共和国 (Azerbaijan Republic)

面 積：86,600km²

首 都：バクー

人 口：763万人

民 族：アゼルバイジャン (82.7%)、ロシア (5.6%)、アルメリア (5.6%)

公用語：アゼルバイジャン（チュルク諸語）

産 業：石油産業、農業

G N P：36.7億ドル

キーワード：石油資源、シルクロード、民族紛争

グルジア共和国 (Republic of Georgia)

面 積：69,700km²

首 都：トビリシ

人 口：568万人

民 族：グルジア (70.1%)、アルメリア (8.1%)、ロシア (6.3%)、アゼルバイジャン (5.7%)、
オセッット (5.0%)

産 業：畜産業、農業

G N P：23.5億ドル

キーワード：スターリン生国、果実、茶

アルメニア共和国 (Republic of Armenia)

面積：29,800km²

首都：エレバン

人口：379万人

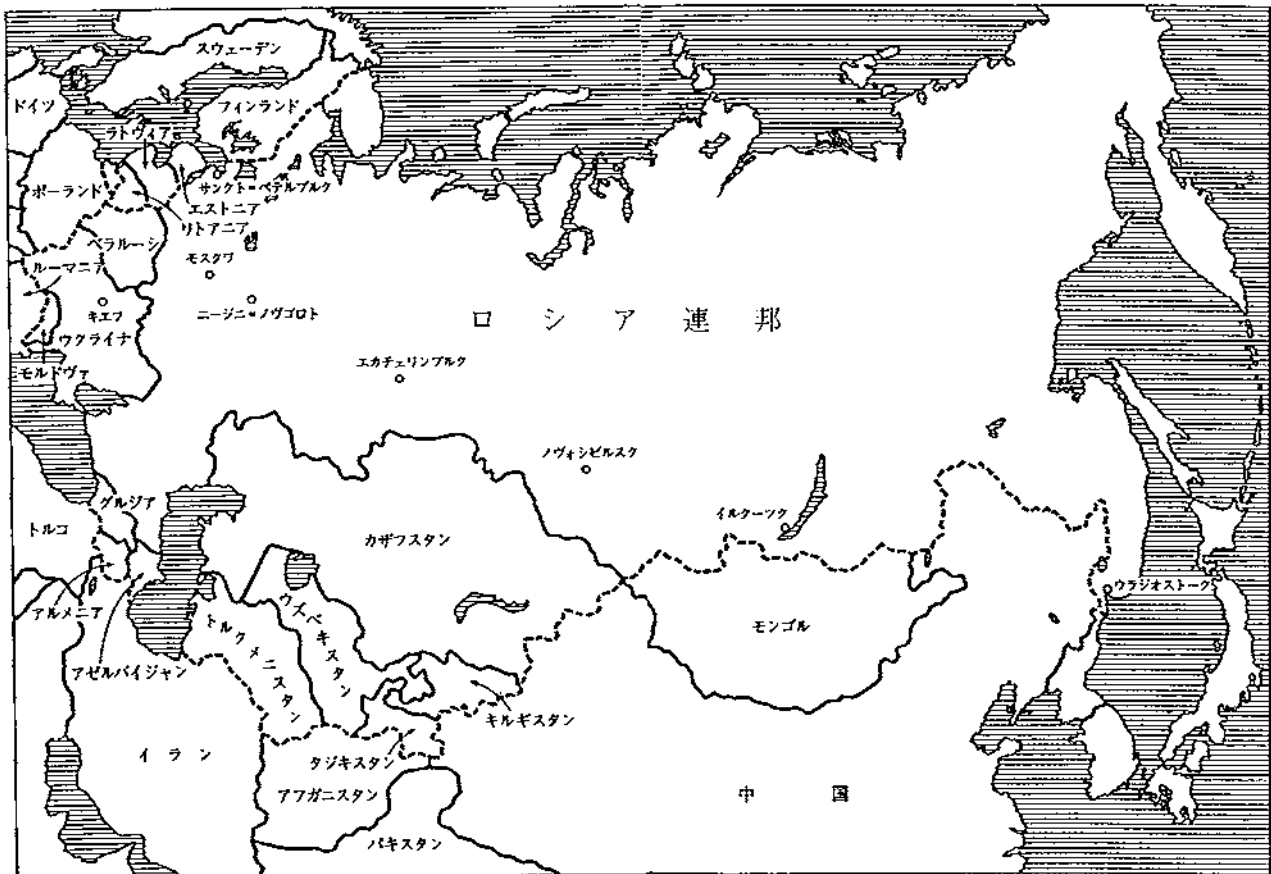
民族：アルメニア (93.3%)、アゼルバイジャン (2.6%)、クルド (1.7%)

公用語：アルメニア語

産業：農業

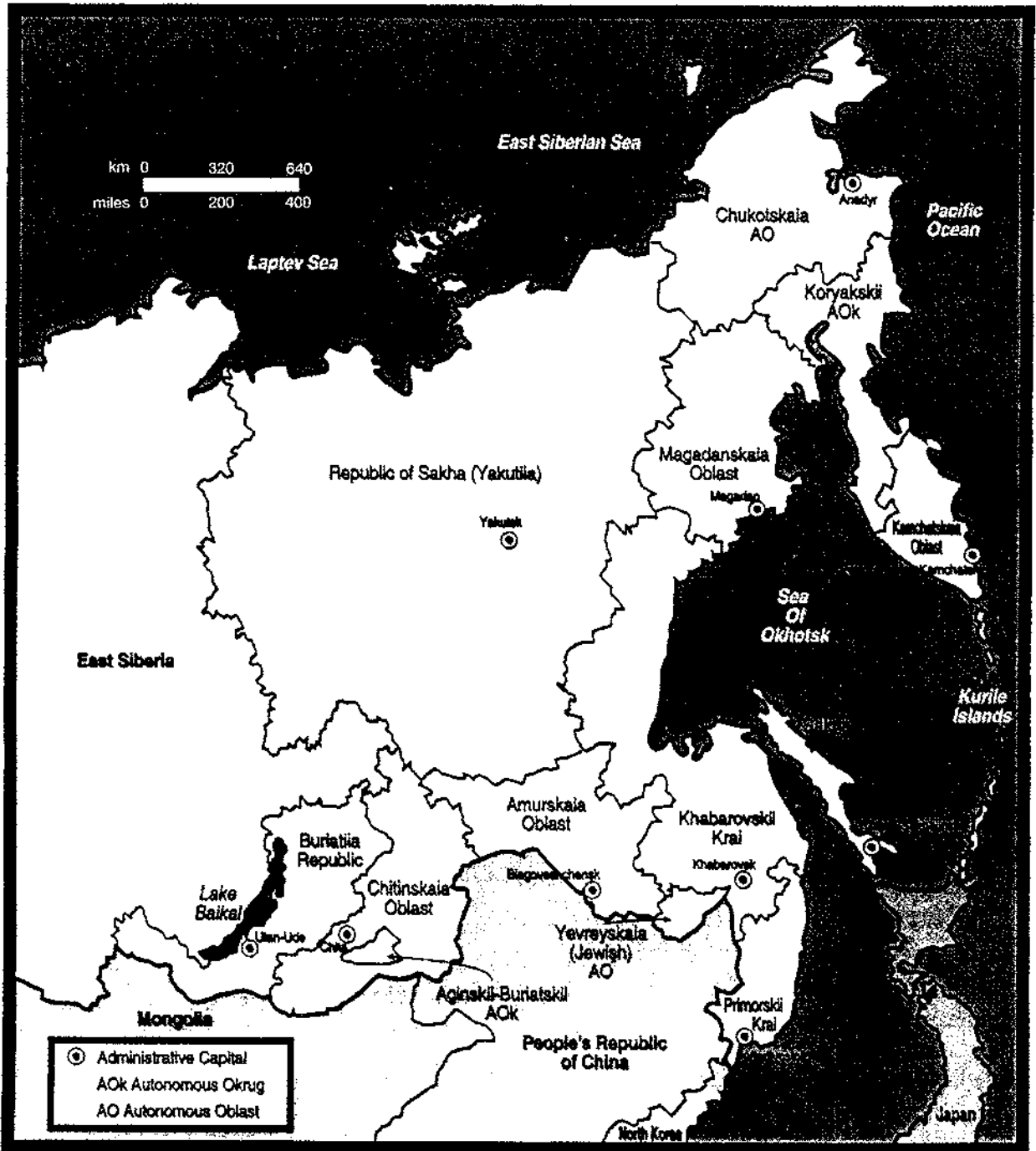
G N P：23.9億ドル

キーワード：面積最小、歴史の国、コニャック



----- 独立国家共同体の境界

独立国家共同体 (CIS) 諸国

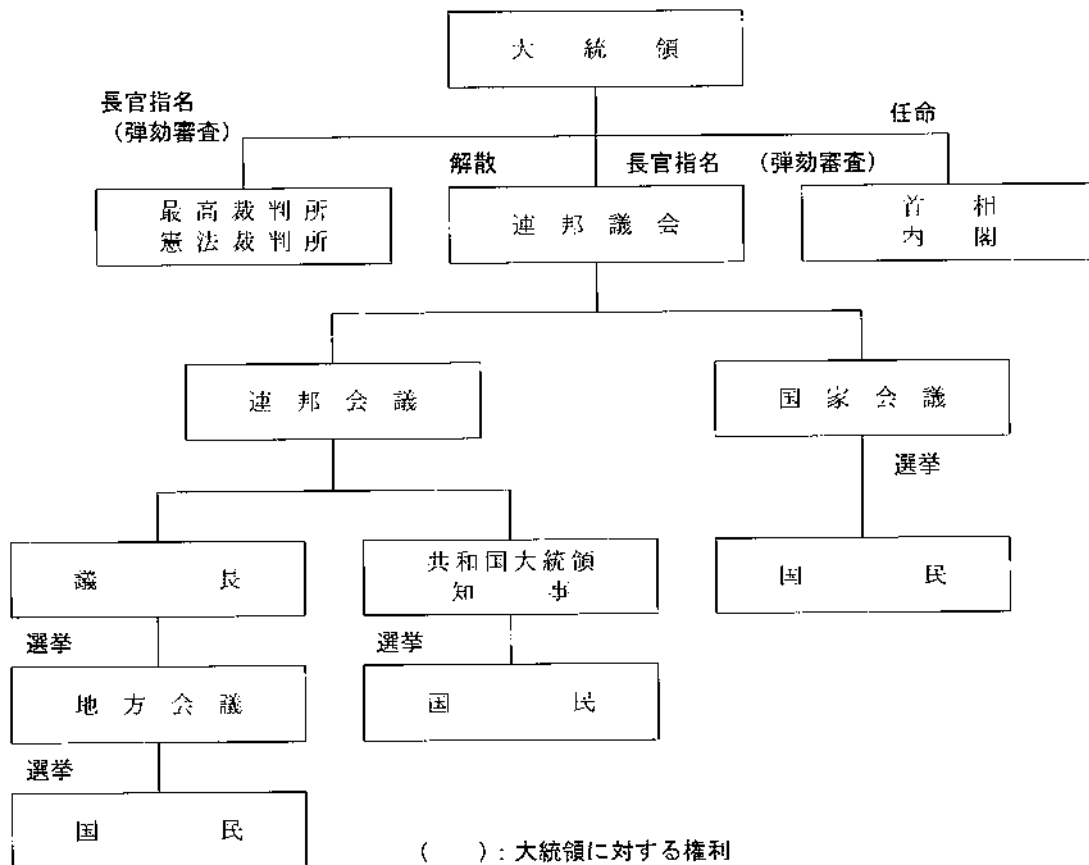


The Russian Far East: Administrative Regions

Copyright © 1984 by Russian Far East Update
Seattle, Washington, USA

6-4 連邦国家ロシアの主体組織

ロシア連邦は、89の行政単位からなる。その区分は、州（オブラスチ：Oblast）49、地方（クライ：Krai）6、共和国21、自治州1、自治管区10、連邦都市2からなる。ロシア憲法では、中央国家権力と個別地域権力機関との国家権力の配分様式で、地域権力機関に固有の権限が存在し、中央権力によって一方的な変更ができないと規定され、地域の特殊性を生かし得る仕組みになっている。構成主体と呼ばれる州、地方、共和国などの単位は、国家機関であり、連邦一主体は国家権力機関を持つ。ロシア連邦は、州の単純な集合体である米国とは異なり、種類の異なる主体からなる非均質な連合体である。主体の下部には1868の地区があり、辺境にあるクライは内部に民族単位を持つ主体であるが、ハバロフスク・クライのようにユダヤ人自治州が分離してもなおクライと称する例もある。ロシア憲法第五条により、共和国、地方、州、自治州、自治管区、連邦都市をそれぞれ対等な主体と規定している。また1992年3月の連邦条約により、連邦と共和国、連邦と地方、州の権限が定められている。ただし、一部の共和国では、共和国独自の法の連邦法に対する優位を規定していて、連邦と主体との関係は複雑かつ一様ではない。



ロシア連邦政治体制

7. List of INSROP WORKING PAPERS

- WP- 1
Marine Insurance for the NSR. Pilot Study.
By D.L. Torrens, July 94.
- WP- 2
Routing Communication and IT-Customizing.
By N. Kjerstad, Aug. 94.
- WP- 3
Ice Monitoring by Non-Russian Satellite Data.
Phase 1. Feasibility Study.
By S. Sandven & K. Kloster, Aug. 94.
- WP- 4
Design and Development of Information System.
By S.M. Løvås, C. Smith & K.A. Moe, Aug. 94.
- WP- 5
Content of Database, Planning and Risk
Assessment.
By S. Løset & S. Vefsnmo, Oct. 94.
- WP- 6
Oil Spreading on the Snow/Ice Surface.
By S. Ovsienko, S. Zatsëpa & A. Ivchenko, Jan.
95.
- WP- 7
Ice Flaking Tests Conducted with a Gas Actuator
System.
By S.J. Jones, R.E. Gagnon, D. Masterson & P.
Spencer, Jan. 95.
- WP- 8
Oil Product Export from North West Russia.
By T.R. Ramsland, Jan. 95
- WP- 9
Initial Survey of Russian Data Sources.
By M. Gavriilo & B. Sirenko, Apr. 95.
- WP- 10
Operational Tools.
By Z. Gudkovich et al, May 95.
- WP- 11
Assessment of Potential Cargo from and to
Europe via the NSR.
By Ø. Andersen, T.J. Heggeli & T. Wergeland,
May 95.
- WP- 12
Linkages and Impact Hypothesis concerning the
Valued Ecosystem Components (VEC's)
Invertebrates, Fish, the Coastal Zone and Large
River Estuaries and Deltas.
By L.H. Larsen, A. Evenset & B. Sirenko, June
95.
- WP- 13
The NSR in the Context of Arctic Military and
Ecological (Environmental) Security.
By A.Y. Roginko, June 95.
- WP- 14
Routing, Communication and IT-Customizing.
Volume 2.
By N. Kjerstad, July 95.
- WP- 15
The Potential of the Northern Sea Route for a
Regular Cargo Service.
By B. Buchan, Aug. 95.
- WP- 16
The Northern Sea Route and Possible Regional
Consequences.
By S. Høifødt, V. Nygaard & M. Aanesen, Aug. 95.
- WP- 17
Operational Aspects (Volume 1).
By A. Baskin, A. Buzuyev, Y. Yakshevich et al,
Sept. 95.
- WP- 18
Northern Sea Route Social Impact Assessment:
Indigenous Peoples and Development in the
Lower Yenisei Valley.
By D.G. Anderson, Sept. 95.
- WP- 19
The Significance of the NSR for Regional
Development in Arctic Areas of Russia.
By A.G. Granberg, Oct. 95.
- WP- 20
The Northern Sea Route. Conditions for Sailing
according to European Community Legislation -
with Special Emphasis on Port State Jurisdiction.
By P. Ørebech, Nov. 95.

WP- 21
New Concepts of Removing Ice: Patent Search, Generalization and Analysis of Existing of Russian Inventions.
By A.V. Ierusalimsky et al, Oct. 95.

WP- 22
Development of Oil and Gas Exports from Northern Russia.
By A. Backlund, Nov. 95.

WP- 23
Planning and Risk Assessment. Volume 1 - 1993 project work.
By A. Brovin, L. Tsoy et al, Nov. 95.

WP- 24
Operational Information on Nature Conditions. Volume 1 - 1993 project work.
By E. Makarov et al, Dec. 95.

WP- 25
Design of Information System. Volume 1 - 1993 project work.
By V. Grishchenko, E. Yakshevitch et al, Dec. 95.

WP- 26
Content of Database. Volume 1 - 1993 project work.
By A. Baskin, L. Tsoy, S. Brestkin et al, Dec. 95.

WP- 27
Northern Sea Route Freight Operations: Survey of Logistic Modelling.
By S.I. Heimdal, Dec. 95.

WP- 28
Historical and Current Uses of the Northern Sea Route: Part 1.
By T. Armstrong, Jan. 96.

WP- 29
Perspective Research. Volume 1 - 1993 project work.
By V. Zacharov, A. Baskin et al, Jan. 96.

WP- 30
Requirements for Ice Performance of Large Ships with Shallow Draft.
By L. Tsoy, Jan. 96.

WP- 31
The Adaptive Environmental Assessment and Management AEAM in INSROP - Impact Assessment Design.
By J. Thomassen, S.M. Lovås & S. Vefsnmo, Jan. 96.

WP- 32
Evaluation of the Northern Sea Route Using the Ice Regime Shipping Control System.
By D.L. Hagen & S.J. Jones, Jan. 96.

WP- 33
Impacts of Transportation Systems on the Communities of Western Alaska: Analysis of the Literature.
By N.E. Flanders, Jan. 96.

WP- 34
Planning and Risk Assessment. Volume 2-1994 project work.
By A. Brovin, L. Tsoy et al, Jan. 96.

WP- 35
Content of Database, Planning and Risk Assessment. Volume 2 - 1994 project work.
By S. Vefsnmo, S.M. Lovas, A. Backlund & E. Ranki, Feb. 96.

WP- 36
Operational Tools. Volume 2 - 1994 project work.
By Z. Gudkovich, I.D. Karelin et al, Feb. 96.

WP- 37
The Legal Status of the Russian Baselines in the Arctic.
By R.D. Brubaker, Feb. 96.

WP- 38
Ice Monitoring by non-Russian Satellite Data. Phase 2: Pilot Demonstration.
By O.M. Johannesen, S. Sandven, K. Kloster, V.V. Melentyev & L. Bobylev, Feb. 96.

WP- 39
Influence of Ice Compression on Feasible Navigation on the Northern Sea Route.
By T. Heideman, Mar. 96.

WP- 40
Selection of Marine Mammal Valued Ecosystem Components and Description of Impact Hypotheses in the Northern Sea Route Area.
By O. Wiig, S.E. Belikov, A.N. Boltunov & G.W. Garner, Mar. 96.

- WP- 41
European Gas Markets and Russian LNG. Prospects for the Development of European Gas Markets and Model Simulations of Possible New LNG Supplies from Year 2000.
By T. Eldegard, Mar. 96.
- WP- 42
Content of Database. Volume 2 - 1994 Project Work.
By Loly Tsoy, A. Baskin, S. Brestkin et al, Mar. 96.
- WP- 43
Behaviour of Ice Floe in Restricted Waters.
By H. Yamaguchi, Apr. 96.
- WP- 44
The Northern Sea Route and the Rivers Ob-Irtysh and Yenisey.
By T.R. Ramsland, Apr. 96.
- WP- 45
Variability Analysis of Natural Conditions and Influence on NSR Sailing.
By S. Vefsnmo & S.M. Lovas, Apr. 96.
- WP- 46
Marine Insurance for the NSR: Towards a New Risk Regime?
By E. Gold, J.A. Cantello & P.L. Wright, Apr. 96.
- WP- 47
INSROP GIS v1.10a - User's Guide and System Documentation.
By S.M. Løvås & O.W. Brude, May 96.
- WP- 48
Marine Transportation of Oil from Timan Pechora and from Inland Russian Fields.
By D. Andresen & A. Backlund, May 96.
- WP- 49
Influence of the Northern Sea Route on Social and Cultural Development on Indigenous Peoples of the Arctic Zone of the Sakha Republic (Yakutia).
By S.I. Boyakova, V.N. Ivanov, G. Osherenko, L.I. Vinokurova, B.V. Ivanov, T.S. Ivanova, B.V. Ignat'yeva, S.P. Kistenev, & D.A. Shirina, May 96.
- WP- 50
Seagoing Logistics Solutions to Oilfield Material Supplies.
By T. Wood & R. Martin, June 96.
- WP- 51
Indigenous Peoples and Development in the Chukchi Autonomous Okrug.
By D.L. Schindler, July 96.
- WP- 52
Jurisdiction Governing the Straits in Russian Arctic Waters.
By R.D. Brubaker, July 96.
- WP- 53
The Marine Invertebrates, Fish and Coastal Zone Features of the NSR Area.
By L.H. Larsen, R. Palerud, H. Goodwin & B. Sirenko, Aug. 96.
- WP- 54
Selected Issues on Regional Economic Development along the Northern Sea Route.
By S. Høifødt, V. Nygaard, M. Aanesen & G.B. Hønneland, Aug. 96.
- WP- 55
Survey of Logistics Models. Part 2: The Methodology of Simulative Modelling of Transport and Ice Breaker Fleets Operations in the Arctic.
By A. Schelkanov & Y. Kelberg, Aug. 96.
- WP- 56
West Siberian Oil and the Northern Sea Route: Current Situation and Future Potential.
By V. Kryukov, A. Moc & V. Shmat, Sept. 96.
- WP- 57
The Legal Status of Straits in Russian Arctic Waters "Internationality. (Chapter 4)"
By R.D. Brubaker, Sept. 96.
- WP- 58
Regional Cooperation in Northeast Asia: New Opportunities for the Russian Arctic?
By H. Simonsen, Sept. 96.
- WP- 59
The NSR Transit Study (Part IV): The Economics of the NSR. A Feasibility Study of the Northern Sea Route as an Alternative to the International Shipping Market.
By T.R. Ramsland & S. Hedels, Sept. 96.

WP- 60

Selection of Marine Bird Valued Ecosystem Components and Descriptions of Impact Hypothesis in the Northern Sea Route Area.

By V. Bakken, M.V. Gavrilov, K. Isaksen & K.B. Strann, Sept. 96.

WP- 61

Historical and Current Uses of the Northern Sea Route. Part III: The period 1855-1917.

By J.P. Nielsen, Sept. 96.

WP- 62

New Concepts of Removing Ice. Investigation of the Efficiency and Advisability to Use Non-traditional Shape of Hull Lines for Icebreakers and Icebreaking Cargo Ships of Arctic Navigation.

By A.V. Ierusalimsky, S.M. Ponomarev & T.M. Semanova, Oct. 96.

WP- 63

Control of Pollution from Ships on the Northern Sea Route.

By G. Semanov, J. Kirsh, V. Karev, N. Sisemov & O. Zhuravlev, Oct. 96.

WP- 64

Requirements to NSR Shore Reception Facilities.

By G. Semanov, V. Molchanov, S. Lotukhov, A. Stepanov & L. Gagiova, Oct. 96.

WP- 65

NSR Shipboard Oil Pollution Emergency Plan.

By V. Somkin, D. Ilyscenko-Krylov & P. Lastochkin, Oct. 96.

WP- 66

Ice Environment and Ship Hull Loading along the NSR.

By M. Lensu, S. Heale, K. Riska & P. Kujala, Oct. 96.

W- 67

The Participation Rights under the World Trade Organization General Agreement on Trade in Services (GATS): The Case of International Northern Sea Route Shipping Transportation Services.

By P. Ørebech, Oct. 96

WP- 68

Content of Database.

By V. Vasilyev, L. Tsoy, Y. Glebko, L. Timofeeva, S. Brestkin, A. Buzuyev, Y. Gorbunov, S. Nikolayev, V. Porubayev, K. Teitelbaum, S. Frolov et.al, Nov. 96

WP- 69

Perspective Research (Vol 2.). Part I: Changes in Climate, Ice and Shipping Conditions along the NSR during the XXth Century. Part II: Accurate Positioning in the Arctic.

By V.F. Zakharov, A. Baskin, G.V. Alekseyev, A.Y. Buzuyev & S. Samonenko, Nov. 96.

WP- 70

Environmental and Structural Safety of Ships.

By L. Tsoy, V. Volkov, S. Karavanov, F. Moreymis & A. Zubkova, Nov. 96.

WP- 71

Operational Information on Nature Conditions (Volume 2).

By E. Makarov, N. Adamovich, A. Korzhikov, Y. Vanda, I. Karelin & A. Buzuyev, Dec. 96.

WP- 72

Freezing Damage to Northern Sea Route Cargo: Liability and Insurance Considerations.

By A. Fakhry, Dec. 96.

WP- 73

The Potential of the NSR with a Nuclear Icebreaking Container Ship.

By T. Takamasa, K. Kondo, K. Miyashita, S. Hayashi & I. Aya, Dec. 96.

WP- 74

Selected Studies in Regional Economic Development along the Northern Sea Route.

By A.G. Granberg, Jan. 97.

WP- 75

Political Aspects of International Shipping along the Northern Sea Route.

By A.N. Yakovlev, A.I. Arikainen, O.A. Kossov & A.P. Ushakov, Jan. 97.

WP- 76

Coastal Pollution Emergency Plan. Part I.

By G. Semanov, V. Volkov, V. Somkin & D. Ilyushenko-Krylov, Feb. 97.

- WP- 77
Northern Gas Fields and NGH Technology - A Feasibility Study to Develop Natural Gas Hydrate Technology for the International Gas Markets.
By T.R. Ramsland, E.F. Loy & S. Døsen, April 97.
- WP- 78
Experimental Study to Separate into Components the Interaction Force between Propeller and Ice Piece.
By K. Tamura & H. Yamaguchi, May 97.
- WP- 79
Environmental Regulation in the Russian Arctic.
By R.D. Brubaker, May 97.
- WP- 80
Design of Information System.
By V. Grishchenko, E. Yakshevitch, O. Deviatayev, Yu. Shcherbakov, V. Smirnov & A. Shigabutdinov, May 97.
- WP- 81
Navigating the Straits of the Northern Sea Route.
By G.B. Hønneland, June 97.
- WP- 82
Improvement of Information Support to Navigation along the NSR.
By A. Baskin, V. Vasilyev, S. Samonenko, V. Isakov & E. Danilov, June 97.
- WP- 83
National Security and International Environmental Cooperation in the Arctic - the Case of the Northern Sea Route.
By W. Østreng (ed.), F. Griffiths, R. Vartanov, A. Roginko & V. Kolossov, July 97.
- WP- 84
Historical and Current Uses of the Northern Sea Route. Part IV: The Administration of the Northern Sea Route (1917-1991).
By V. Bulatov, Aug. 97.
- WP- 85
Marine Insurance for the Northern Sea Route: The Feasibility of a New Risk Regime. Some Initial Conclusions.
By E. Gold, J.A. Cantello & P.L. Wright, Aug. 97.
- WP- 86
Seaborne Exports of Gas from Yamal.
By N.A. Isakov, E.G. Logvinovich, F.A. Moreynis, A.E. Nikulin, N.V. Popovich, A.N. Silin, N.N. Stenin, I.L. Sverdlov & V.A. Erashov, Sept. 97.
- WP- 87
Regional Port Development along the NSR.
By N. Isakov, G. Serebryansky, A. Parfenov, T. Patrakova & N. Sadofieva, Sept. 97.
- WP- 88
Matters of Responsibility for Marine Pollution under the Legislation of the Russian Federation. (Review of the Main Legislative Acts).
By A.L. Kolodkin, O.V. Kulistikova & E.M. Mokhova, Sept. 97.
- WP- 89
Marine Oil Transportation from Timan Pechora and Inland Russian Fields.
By N. Isakov, A. Nikulin, N. Popovich & I. Sverdlov, Oct. 97.
- WP- 90
Indigenous Peoples of the Northern Part of the Russian Federation and their Environment. Atlas and Historical/Ethnographical Background Information.
By W.K. Dallmann, Oct. 97.
- WP- 91
Operational Aspects (Volume 2).
By A. Baskin, A. Buzuyev, Y. Yakshevich et al, Oct. 97.
- WP- 92
Russia and its NSR Neighbours in Northeast Asia and the Barents Region: A Comparative View of Relations and Perceptions.
By H. Simonsen, Nov. 97
- WP- 93
The Northern Sea Route and Native Peoples. Lessons from the 20th Century to the 21st.
By G. Osherenko, D. Schindler, A. Pika & D. Bogoyavlensky, Nov. 97
- WP- 94
Legal Regime of Navigation in the Russian Arctic.
By A.L. Kolodkin, V.Yu. Markov & A.P. Ushakov, Nov. 97.

- WP- 95
Using the INSROP Phase 1 Data in a Transport Evaluation Process.
By A. Backlund, E. Gold & J. Kivela, Jan. 98.
- WP- 96
Current Use of the NSR.
By Y. Ivanov, A. Ushakov & A. Yakovlev, Jan. 98
- WP- 97
Oil Vulnerability Assessment for Marine Birds occurring along the Northern Sea Route Area.
By M. Gavrilov, V. Bakken, L. Firsova, V. Kalyakin, V. Morozov, I. Pokrovskaya & K. Isaksen, Mar. 98
- WP- 98
Marine Insurance for the Northern Sea Route.
By V. Musin, Mar. 98.
- WP- 99
The NSR Dynamic Environmental Atlas.
By O.W. Brude, K.A.Moe, V. Bakken, R. Hansson, L.H. Larsen, J. Thomassen & Ø. Wiig, May 98.
- WP- 100
The NSR in Japanese Views of Trade.
By K. Shikano & H. Kitagawa, May 98.
- WP- 101
Operational Aspects. Volume 3 - 1995 project work.
By A. Baskin, A. Buzuyev, E. Yakshevich et al, Jun. 98.
- WP- 102
Analysis and Evaluation of Economic Conditions of Energy Prospects Implementation of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug.
By V. Kryukov, A. Tokarev & V. Schmat, Jun. 98.
- WP- 103
Some Aspects of Port and Harbour Management along the NSR.
By H. Kitagawa, K. Izumiyama & T. Ozeki, Jul. 98.
- WP- 104
Environmental Safety of Nuclear Icebreakers.
By V. Pravdin, N. Tkachev, A. Levin & B. Levin, Jul. 98.
- WP- 105
Some Aspects of Foreign Trade Regime of the Russian Federation and Co-operation in the Field of International Shipping.
By A.I. Frolov, M.S. Khanin & I.N. Mikhina, Aug. 98.
- WP- 106
Russian Administration of the Northern Sea Route - Central or Regional?
By Y.M. Ivanov, A.P. Ushakov & A.N. Yakovlev, Aug. 98.
- WP- 107
Collection of SA-15 Operations Data.
By L.G. Tsoy, S.B. Karavanov, Yu. V. Glebko et al, Aug. 98.
- WP- 108
Routes and Associated Operational Infrastructure.
By A. Baskin, L. Egorov et al, Aug. 98.
- WP- 109
An Overview of Russian Satellite Data for the Northern Sea Route.
By A. Bushuev, V. Loshilov, S. Sandven, V. Smirnov et al, Aug. 98.
- WP- 110
Influence of Ice Compression on Feasible Navigation on the Northern Sea Route.
By K. Juurmaa, T. Heideman, A. Uuskallio, M. Patcy & L. Kosomaa, Aug. 98.
- WP- 111
Assessment of Social and Cultural Impact on Indigenous Peoples of Expanded Use of the Northern Sea Route.
By Z. Sokolova & A. Yakovlev, Sep. 98.
- WP- 112
Indigenous Peoples and Development of the Yamal Peninsula.
By A. Golovnev, G. Osherenko, Yu. Pribylski & D. Schindler, Sep. 98.
- WP- 113
Historical and Current Uses of the Northern Sea Route. Part II: The Period 1745-1855.
By E. Okhuizen, Sep. 98.
- WP- 114
Large Scale Hull Loading of First-year Sea Ice.
By R. Gagnon, R. Frederking, S. Jones, P. Spencer & D. Masterson, Sep. 98.

- WP- 115
Oil Spilling From Grounded Mid-deck Tanker.
By H. Tamama, Sep. 98.
- WP- 116
The Future of Murmansk, Archangelsk and Other
Western NSR Ports in a Regional Perspective.
By A. Brodin, Sep. 98.
- WP- 117
Economic Development in Northern Siberia and
the Russian Far East: Implications for the
Northern Sea Route.
By R. Castberg, A. Moe & A. Berteig, Sep. 98.
- WP- 118
The Distribution of Marine Mammals in the
Northern Sea Route Area.
By S. Belikov, A. Boltunov, T. Belikova, T. Belevich
& Y. Gorbunov, Oct. 98.
- WP- 119
Requirements to Environmental and Structural
Safety of Ships.
By F. Moreynis, V. Likhomanov, S. Karavanov et
al, Oct. 98.
- WP- 120
Design of the NSR Service Ships. Model Tests in
Ice with M-224. Design of 40 000 and 25 000 dwt
Ice Breaking Bulk / Container Carrier.
By Ann-Cristin Forsen, Jari Kivela & Erkki
Ranki, Nov. 98.
- WP- 121
National Conditions along the Selected Routes.
By S. Brestkin, A. Yulin, V. Karklin, I. Ashik, Z.
Gudkovich, I. Karelin, S. Klyachkin, E. Makarov,
E. Sapershtcin, I. Sergeeva, V. Smolyanitsky, K.
Teitelbaum & S. Frolov, Nov. 98.
- WP- 122
Navigational Safety Management System of the
NSR. Part 1: ISM Code Implementation in the
Russian Arctic. Part 2: Satellite Communication
Used for Safety Management of NSR Navigation.
By V. Vasilyev, E. Yakshevich, A. Baskin & A.
Shigabutdinov, Dec. 98.
- WP- 123
The Distribution, Population Status and Ecology
of Marine Birds Selected as Valued Ecosystem
Components in the Northern Sea Route Area.
Edited by M. Gavriilo, V. Bakken & K. Isaksen,
Dec. 98.
- WP- 124
Shipping and Marine Insurance on the Northern
Sea Route: Conclusions 1993-1998.
By E. Gold, J.A. Cantello & P.L. Wright, Jan. 99.
- WP- 125
Prediction of Ice Conditions along the NSR Using
Satellite Data.
By C.K. Rheem & H. Yamaguchi, Jan. 99.
- WP- 126
Environmental Conditions Affecting Commercial
Shipping on the Northern Sea Route.
By A.Yu. Proshutinsky, T. Proshutinsky & T.
Weingartner, Jan. 99.
- WP- 127
Hydrometeorological and Navigational Support
for NSR Navigation.
By V.D. Grishchenko, V.G. Smirnov, O.S.
Deviatayev, Yu.A. Shcherbakov & S.V. Kovachev,
Jan. 99.
- WP- 128
Legal and Environmental Evaluation of the
Routes Selected for the INSROP Simulation
Study.
By A. Yakovlev, G. Semanov, K.A. Moe et al, Jan.
99.
- WP- 129
Oil Spill Contingency Plan.
By G.N. Semanov, Y.B. Kirsh and O.B. Grachova,
Jan. 99.
- WP- 130
Analysis and Evaluation of Economic Conditions
of Energy Prospects Implementation in the
Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. Part II:
Comparative Analysis of Taxation Schemes
Potentially Applicable in the YaNAO Hydrocarbon
Reserves.
By V.A. Kryukov, A.N. Tokarev and V.V. Schmat,
Jan. 99.
- WP- 131
Development of the Databases on Natural
Conditions of Navigation along the NSR.
By S. Brestkin, V. Karklin, V. Bokov, Yu.
Gorbunov, I. Karelin, S. Losev, E. Makarov, I.
Potekhin, I. Sergeeva and S. Frolov, Jan. 99.

WP- 132

Russian Fertiliser Industry, Potential Cargo for the NSR.

By N. Isakov, I. Krupsky, M. Kostenko, L. Alekseeva, T. Maksimova and A. Nikulin, Jan. 99.

WP- 133

Guide for Ship-generated Waste Management on the Northern Sea Route.

By G.N. Semanov, Y.B. Kirsh & O.B. Grachyova, Feb. 99.

WP- 134

Practical Demonstration of Real-time RADARSAT SAR Data for Ice Navigation on the Northern Sea Route.

By S. Sandven, V. Alexandrov, Ø. Dalen, M. Lundhaug, V. Melentyev, V. Smirnov, N. Babich & K. Kloster, Feb. 99.

WP- 135

Cargo-forming Potential of Sakha (Yakutia), Chukot Autonomous District and Other Far-eastern Regions for the Northern Sea Route.

By A. Granberg, G. Kobylkovsky & V. Plaksin, Feb. 99.

WP- 136

Statistical Oil Spill Simulations for the Northern Sea Route.

By S. Vefsnmo, Feb. 99.

WP- 137

The Cargo Generating Potential of the Angaro-Yenisei Region for the Northern Sea Route.

By M.K. Bandman, V.V. Vorobieva, T.N. Yesikova, V.D. Ionova & B.V. Robinson, Feb. 99.

WP- 138

Organisational Forms of Shipowner Liability Insurance for The Northern Sea Route with Specific Reference to the Perspective of P&I Clubs in Russia.

By V. Musin, Feb. 99.

WP- 139

Potential Cargo Flow Analysis & Economic Evaluation for the Simulation Study.

By N. Isakov, A. Yakovlev, A. Nikulin, G. Serebryansky & T. Patrakova, Mar. 99.

WP- 140

Economic Evaluation of NSR Commercial Shipping.

By T.R. Ramsland, Mar. 99.

WP- 141

Reindeer of the Russian Arctic.

By S.E. Belikov, A.N. Boltunov & T.P. Belikova, Mar. 99.

WP- 142

A Guide to EIA Implementation for the NSR.

By J. Thomassen, K.A. Moe, O.W. Brude, S.M. Chivilev, M. Gavrilov, V. Khlebovich, V. Pogrebov, G. Semanov, & S. Zubarev, Mar. 99.

WP- 143

Scenarios of Seasonal and Year-Round Navigation along the Northern Sea Route.

By Y.M. Ivanov, N.A. Isakov, A.N. Yakovlev, V. P. Smirnov, A.E. Nikulin & E.G. Logvinovich, Mar. 99.

WP- 144

Energy Prospects in Yamalo-Nenets Autonomous Okrug.

By T.R. Ramsland, Mar. 99.

WP- 145

Cargo Analysis, North West Europe - The Far East & Canada US West Coast - NW Europe.

By T.R. Ramsland, Mar. 99.

WP- 146

Financing the NSR: Regional Aspects.

By V. Kryukov, A. Moe & V. Shmat, Mar. 99.

WP- 147

Legal Regime of Navigation in the Russian Arctic.

By A. Kolodkin, O. Kulistikova, E. Mohova & I. Mihkina, Mar. 99.

WP- 148

Report on Residents of the Nenets AO, Past and Present Impacts of Development of the NSR.

By E.N. Andreeva, Mar. 99.

WP- 149

Impact of the Northern Sea Route and the Activity of the Lena River Steamship Line on the Socio-Economic Situation and Development of the Sakha Republic (Yakutia).

By V.I. Pavelenko & A.N. Yakovlev, Mar. 99.

WP- 150

A Time and Cost Prediction Model for Northern Sea Route Shipping.

By N.D. Mulherin, D.T. Eppler & D.S. Sodhi, Mar. 99.

- WP- 151
Arctic Environmental Law. Harmonization of Polar Ship Rules. International and National Provisions.
By L.G. Tsoy, S.B. Karavanov, Yu.V. Glebko, M.A. Grechin & V.V. Mikhailichenko, Mar. 99.
- WP- 152
The Northern Sea Route and Local Communities in Northwest Russia: Social Impact Assessment for the Murmansk Region.
By Y. Konstantinov, Mar. 99.
- WP- 153
Environmental Policy in the Russian Arctic: Formation, Implementation, Effectiveness.
By V. Kotov & E. Nikitina, Mar. 99.
- WP- 154
The Sami People and the Northern Sea Route: Juridical, Social and Cultural Concerns.
By L.-N. Lasko with G. Osherenko, Mar. 99.
- WP- 155
Simulation of Ship Transit through Ice.
By K. Riska & M. Patey, Mar. 99.
- WP- 156
The Russian Fertiliser Industry.
By T.R. Ramsland, Mar. 99.
- WP- 157
The Angara - Yenisey Region.
By T.R. Ramsland, Mar. 99.
- WP- 158
The Russian Far East Region.
By T.R. Ramsland, Mar. 99.
- WP- 159
The Application of LOSC Article 234 - Russian Arctic Waters.
By R.D. Brubaker, Mar. 99.
- WP- 160
Design Requirements for Future NSR Ships.
By L.G. Tsoy, S.B. Karavanov, Yu.V. Glebko, F.A. Morcinis, N.A. Vyssotskaya & S.M. Ponomarev, Mar. 99.
- WP- 161
Modification of Canadian Ice Regime System to Include Ship Operation.
By R. Frederking, Mar. 99.
- WP- 162
NSR Valued Ecosystem Components: Indigenous People, Wild Reindeer, Domestic Reindeer and Protected Areas.
By J. Thomassen, W. Dallmann, K. Isaksen, V. Khlebovich & Ø. Wiig, Mar. 99.
- WP- 163
NSR Environmental Impact Statement.
By J. Thomassen, K.A. Moe & O.W. Brude, Mar. 99.
- WP- 164
Simulation of NSR Navigation Based on Year Round and Seasonal Operation Scenarios.
By K. Kamesaki, S. Kishi & Y. Yamauchi, Mar. 99.
- WP- 165
INSROP GIS v3.0a - User's Guide and System Documentation.
By S.M. Løvås, Mar. 99.
- WP- 166
INSROP GIS - Data Set Documentation & Information Structure
By O.W. Brude, S.M. Lovas & C. Smith, Mar. 99.
- WP- 167
INSROP Integration Book.
By W. Østreng (ed.) et al, Mar. 99.

8. INSROP 関係入手資料

1. 北極海航路の海図

ロシアのパートナーである CNIIMF (Central Marine Research & Design Institute) から NSR に関する海図203枚 (1994年版原寸コピー、ロシア語) を入手した。同海図は北極海に面したロシア沿岸域のもので、次頁に掲載されている観測点位置付近を網羅するものである。入手した海図は東京商船大学に保管し、シップ・アンド・オーシャン財団ではフィルム化したものを保管している。

なお、ロシアの NSR の海図は INSROP を契機に改訂が行われており、1998年1月1日現在までに329枚が発行されている。改訂版の入手に当たっては下記を参照されたい。

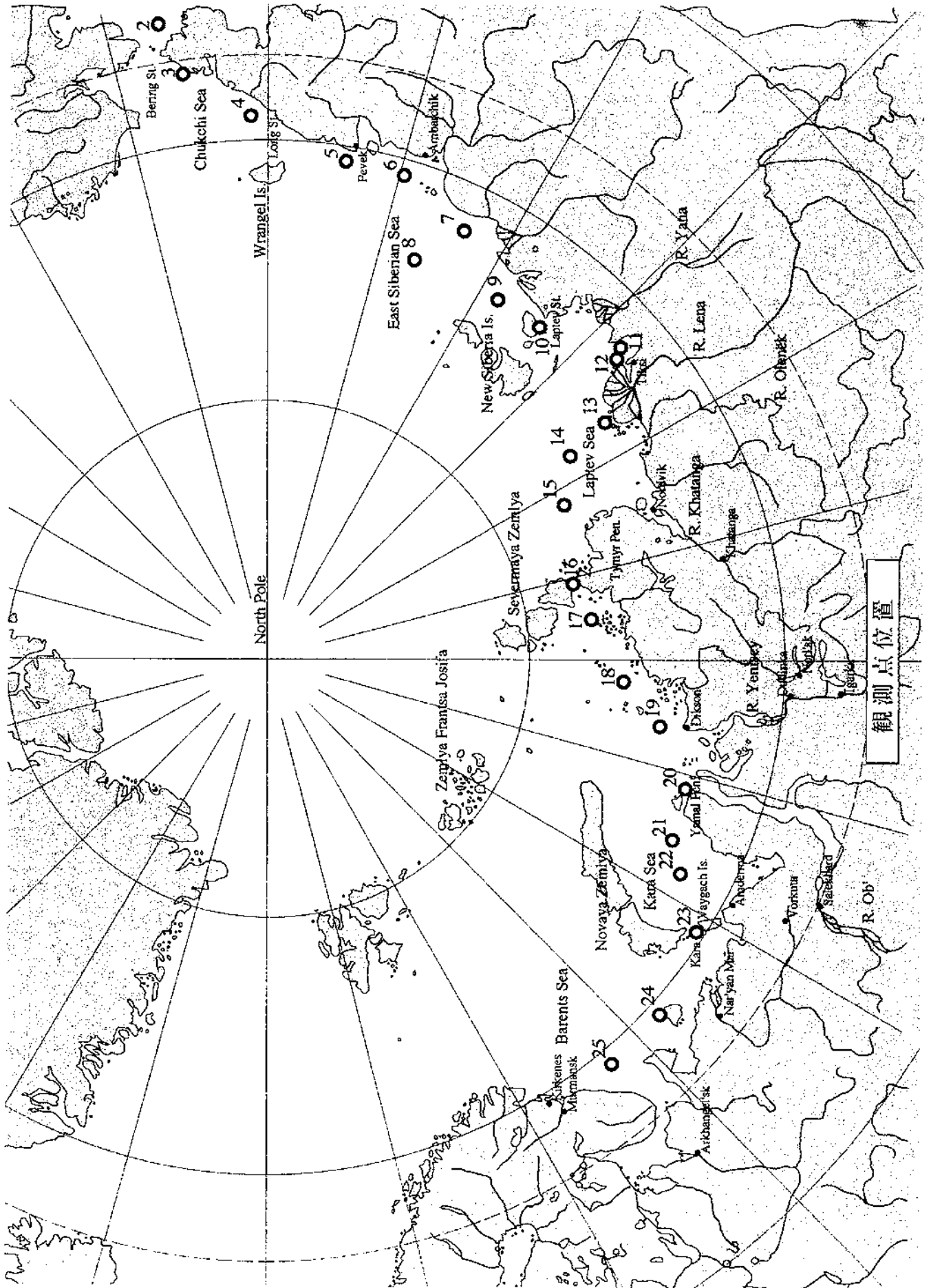
(1) 販売所：

Navi-Dals Corp. (Director: O.V.GLUSHKOVA)
17, Chapayev street, St.Petersburg,197046 Russia
TEL/FAX No.: (812) 233-4437

(2) 海図の種類、価格

1998年1月1日現在カタログ No.7107に基づくものである。

Item No.	Designation	Measuring Unit	Unit Price (US \$)
1	Sem chart(radio-facility chart, navigation and fishery chart,general purpose and review/geographical map with a clearly evident representation of the sea bottom relief, with bearing and distance grids, hydrometeorological chart) with corrections	1 sheet	13
2	Navigational chart(general navigation chart, gidroacoustic, chart of inland shipping routes, ocean grounds, for rescue facilities, time zone chart, for yachts and pleasure boats, sightseeing places) with corrections	1 sheet	12
3	Outline nautical chart(hydrometeorological chart range/azimuth, submarine cable laying, maneuvering platters, demonstration plans, charts of distances, flooding areas)	1 sheet	3
4	Nautical lattice chart	1 sheet	1
5	Insert for the chart	1 copy	3
6	Sailing directions. Instructions for ships calling at a port(with corrections)	1 book	20
7	Lights and marks, Radio engineering navigation equipment. Yearbook of Nautical astronomy. Tide tables(with corrections)	1 book	14
8	Correction tables for radionavigation systems, nautical distances etc.	1 book	8



9	Catalogue, Sailing Regulations (with corrections)	1 book	20
10	Instructions and Reference books (Manuals) 1 group	1 book	16
	2 group	1 book	9
	3 group	1 book	4
11	Ocean atlas, hydrometeorological atlases		
	1 group	1 book	16
	2 group	1 book	9
	3 group	1 book	4
12	Summary corrections	1 book	1
13	Supplements	1 book	2
14	Blanks and forms	1 form	1

Note:

- ① Foreign customers are offered Price-List No.708-1 for editions of the Central Office of Navigation and Oceanography of the RF Ministry of Defense.
- ② When the summary corrections and supplements are supplied with the sailing directions, their price is included in the sailing directions price.

2. Guide to Navigating through the Northern Sea Route 1996 (No.4151 B)

ロシア連邦国防省海洋航行総局(Head Department of Navigation and Oceanography of the Ministry of Defense of the Russian Federation)が1996年7月13日付け(発行番号29)で英文(384ページ)にまとめたものである。

(1) General Overview

- Overview of Geographical and Navigation Conditions
- Hydrometeorological Conditions
- Rules of Navigation
- Regulations for Navigation on the Seaways of the Northern Sea Route
- Regulations for Icebreaker and Pilot Guiding of Vessels through the Northern Sea Route

(2) Navigation Directions

- Chapter 1 : Kara Sea
- Chapter 2 : Laptev Sea
- Chapter 3 : East Siberian Sea
- Chapter 4 : Chukchi Sea and Approaches to Bering Strait
- Chapter 5 : List of Visual and Radio Aids to Navigation

(3) Reference Section

- Practice of Navigation in Ice
- Salvage and Rescue Support
- Requirements for the Design, Equipment and Supplies of Vessels Navigating

the Northern Sea Route

- ・ Rough Correspondence between the Literal Designations of Ice Resistance in the Class Symbols of the Russian Federation Registry and Other Classifying
- ・ Organizations
- ・ Table of Horizon Visibility Range
- ・ Morse Code
- ・ Illustrations

3. ロシア連邦氷海航行マニュアル

ソビエト連邦（ソ連）海洋船舶省海洋航行総局がまとめたものを1970年に同国防省水路局が露文(83ページ)で刊行したものである。このマニュアルはロシア船員の多年にわたる経験が総括されている。

なお、資料は、和文（87ページ）に仮訳しており、内容は以下のとおりである。

- 第1章 氷中自力航行
- 第2章 砕氷船による支援航行
- 第3章 流氷中の支援航行
- 第4章 定着氷中での支援航行

4. Regulations for Navigation on the Seaways of the Northern Sea Route 1991

ソ連閣僚会議決議 No. 565（1990年6月1日）に基づき、ソ連の定める当該条項ならびに、国際法の定める当該規則全般を考慮して作成された NSR の航行に関する規則である。ソ連商業海運省1990年9月14日承認済み。

なお、資料は和文に仮訳しており、内容は以下のとおりである。

- 第1章 定義
- 第2章 本規則の根拠、目的及び適用対象
- 第3章 北方水域航路における先導依頼
- 第4章 船舶と操船責任者の必要条件
- 第5章 損害賠償の保証
- 第6章 検査
- 第7章 航行に関する規則
- 第8章 航行の管制
- 第9章 航行の禁止
- 第10章 航路を逸脱した船舶の排除
- 第11章 責任
- 第12章 通知（海洋環境汚染）

5. Natural Resources of Russia along Eastern Half of the Northern Sea Route

(北極海航路東側のロシアの天然資源)

I.S.Gramberg, V.L.Ivanov and I.E.Frolov, 1996, 35p.

NSR を有効活用するに当たっては、貨物が重要な要素となる。その中でも特に重要な品目と考えられるロシア領域内の天然資源については、従来資料があまり公表されていなかった。そこで、ロシアのパートナーである CNIIMF に特別に資料収集を依頼して、ロシア語で出版された資料の一部をとりまとめたものである。(35ページ)

本資料は、和文に仮訳 (57ページ) されており、内容は次のとおりである。

(1) 国家科学技術プログラム「海洋の複合研究、北極および南極」

1991～1995年の研究結果報告、第5巻

ロシア連邦科学技術政策省、ロシア科学アカデミー、ロシア連邦環境・天然資源保護省、ロシア連邦燃料・エネルギー省、ロシア連邦運輸省、ロシア連邦地質学・地下資源利用委員会、ロシア連邦気象・環境監視所、ロシア医学アカデミー。

- ロシア北極海域東部の陸棚の石油及び天然ガス予測資源量の地質学・経済学的評価
- 鉱石資源評価
- 結論
- 参考文献

(2) 雑誌「地下資源探査と保護」1993年8号の論文

① ロシア地域の地質学的知見段階および新たな鉱産地区発見の見通し

- アルダン楯状地、エニセイ楯状地、アナバル楯状地
- ロシア北東部

② ロシア陸棚の石油・天然ガス資源

- 北極海域の陸棚
- 極東海域の陸棚

(3) 雑誌「CIS 石油・天然ガス・プラント市場」1997年6号所収、「投資家を待ち望む東シベリア」

6. 入手資料

上記以外に入手した関連資料は次のとおりである。

(1) АТЛАС ОКЕАНИОВ : Северный Ледовитый Океан (海洋図集:北氷洋) 1980 (184p.)

(2) Morphometric Characteristics of Ice and Snow in the Arctic Basin (152p.)

Romanov, I.P., 1993, St.Petersburg

(3) Ice Cover of the Arctic Basin (192p.)

Romanov, I.P., 1994, St.Petersburg

(4) Atlas of Ice and Snow of the Arctic Basin and Siberian Shelf Seas (277p.)

(5) Atlas of Arctic Icebergs (70p.)

(6) Northern Sea Route Directory of Icebreaking Ships, 1994-1995, (217p.)

(7) Transport Canada-Ship Safety Northern Region Reference Regulations (312p.)

- (8) АЛЪБОМ ЛЕДОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА МОРЯХ 1995 (海洋における氷形成写真集) (143p.)
- (9) СЛОВАРЬ ИОРСКИХ ЛЕДОВЫХ ТЕРМИНОВ 1994 (海洋氷用語辞典) (104p.)
- (10) Arctic Pollution Issues:
 A state of the Arctic Environment Report (188p.)
 AMAP : Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo 1997.
- (11) National Security and International Environmental Cooperation
 In the Arctic - the Case of the Northern Sea Route (367p.)
 Prof. Willy Ostreng, Oslo 1999.
- (12) Chukchi Sea
 Oil & Gas Lease Sale 126, Final Environmental Impact Statement
 Volume I, II. 1991
 MMS : U.S. Department of the Interior Minerals Management Service
 Alaska OCS Region
- (13) IASC Project Catalogue 1998
 The International Arctic Science Committee (44p.)

7. ロシア北極南極研究所ホームページの開設

入手資料とは異なるが、本事業を実施した成果として、ロシアの北極南極研究所 (Arctic and Antarctic Research Institute: AARI) の所有する北極海のデータが検索できるホームページが開設され、データが公表されたことは、大きな成果であった。

<http://www.aari.nw.ru>

(注) ロシア内の通信状態の問題により時間帯によっては通信不通の場合がある。

AARI のホームページには北極海の Ice data の一部が公開されている。

大きくは historical data と航行のための衛星解析情報がある。前者は INSROP GIS に取り込まれており、一部がこのホームページで公開されている。後者はある期間で更新される最新の情報である。

(1) Historical Ice data

Historical data は、SIGRID の形式のデータで表示される。Ice chart が中心で、画面ではこれを GIF のイメージで検索・表示することができる。SIGRID のデータはダウンロードすることができる。

公開されている AARI のデータは以下のとおりである。

- 年／月別の Ice chart
 - 1) 1953-1990, August の Ice chart
 - 2) 1982, January-December の Ice chart
- 統計解析
 1953-1990間の月別の平均、最大、最小の data に基づく Ice chart

そのほか NIC(National Ice Center)のデータに基づいた Ice chart も公開している。

(2) Operation data

Operation data は、ごく最近の主にデジタル化される前の Ice chart をイメージで公開している。

- 1 週間毎に作成された Ice map
- 向こう 6 日間の氷の移動予測、潮流予測

索引(和文)

【 あ 行 】

アイスジャム	31
アイスシュウ	47
アイストルク	48
アイスベルト	46
アイスマッシュ (大氷域)	33, 39, 70, 71
亜寒帯針葉樹林	29
アークティックヘイズ	25
アザラシ	44
アザラシの呼吸孔	44
アジマス型推進器	48, 59
油流出	117, 118, 126
アムンゼン	12
アラス	29
アルペド	26
イヌイト	5
インジギルガ号	13
運航管制所 (Marine Operations Headquarters)	83
運航コスト (Freight Cost)	94, 102, 105, 111
運賃 (Freight Rate)	102
永久凍土	28
影響因子 (Impact Factor)	116, 118
影響仮説 (Impact Hypotheses)	128
エイリク	6
エスコート	55
エドマ	28
塩分躍層 (Halocline)	32, 113
オゾン全量	23
オゾンホール	23
オーロラ	21, 76
オーロラオーバル	21

【 か 行 】

海運局 (The Service of Marine Transport: SMT)	92
海水の結氷温度	37
海水の密度	37
海底永久凍土	28
海水	33, 38
海氷用語	177~184

海洋油濁防止条約 (International Convention for the Prevention of Pollution of the Sea by Oil)	125
ガスプロム	149, 150
河川流入量	31
活動層	29
カナダ北極域船舶汚染防止規則 (CASPPR)	82, 90
可変ピッチプロペラ (CPP)	48, 54
料科 (NSR の通行料)	82
環境影響評価 (Environmental Impact Assessment)	118
環境評価計画システム (Environmental Assessment & Planning System)	122
基線	90
北航路	95
極東海運会社 (Far Eastern Shipping Company)	53, 83, 93
極夜	20
楔形船首	58
クック	10
クローズトローイング (Close towing)	56, 84
原子力砕氷船	54
港費	98
港湾局 (Marine Administration of Ports)	82
氷荷重	45
氷の漂流	35
国際海事機関 (International Maritime Organization: IMO)	51, 125
国際北極海航路計画 (INSROP)	1, 172
国連海洋法条約 (UNCLOS)	82, 87, 125, 126, 127
ゴルバチョフ	14
コンボイ	55

【 さ 行 】

サイドルッキングレーダ	78, 79
砕氷型バルク	97
砕氷型バルク・コンテナ	96, 97
砕氷船	49
砕氷船のエスコート	99, 101, 107, 108, 111
サニコフ海峡	67

磁気嵐	21, 76	西運航管制所 (West Marine Operations Head- quarters)	86
資本費	97	西地域航路	95
ジャネット号	11	ニューリッチ	16
シヨカルスキー海峡	67	燃費	98
食物連鎖	44, 113, 114	ノルデンショルド	11
ジョン・カボット	9	ノリリスク	153
しらせ	45	【 は 行 】	
人工衛星海水画像	34, 38	排他的経済水域	87, 126, 127
推進性能試験	143, 144	パイプライン	30
スカンジナビア氷床	27	ハドソン	9
スターンノッチ	56, 84	パドル	41
スプーン型船首	58	バレンツ	9
セイウチ	44	バロー	9
生態系要素 (Valued Ecosystem Components)	114, 115	東運航管制所 (East Marine Operations Head- quarters)	86
積算寒度 (Cold Sum)	33, 200, 201	東地域航路	95
セバスチアン・カボット	9	ビゼット	45
船長費	97	ビルキツキー海峡	67
旋回性能試験	143	白夜 (極昼)	20
船級協会	49	氷海水槽	60, 62
船舶検査	84	氷丘脈	42
藻類 (Algae)	113	フォアフット	47
【 た 行 】		ブライン	33
タイガ	29	プリモルスク海運会社 (Primorsk Shipping Com- pany)	93
大氷域 (アイスマッシュ)	33, 39, 70, 71	ブレジネフ憲法	14
耐氷船	49	平均滞留時間	113
太陽風	21	ベリンギア	27
ダクトプロペラ	48	ペーリング	10
地磁気緯度	21	北西航路	8
中央水路管理局	11	北東航路	8
潮汐	43	保険費	97
潮流	43	保全費	97
通過通行権	90	北極海海運会社 (Arctic Shipping Company)	93
通航の申請	83	北極海航路局 (Administration of the Northern Sea Route)	82
ツンドラ	29	北極海の海流	35
低層雲雲量	25	北極海の降水量	40
定着氷	68, 71	北極海の積雪深	40
デ・ロング	11	北極海の低塩分水	37
ドミトリラフテフ海峡	67	北極環境保護計画	127
トランジット貨物	91, 93		
【 な 行 】			
内水 (Internal Water)	90		
ナンセン	12		

北極気団	24
ホッキョクグマ	44
北極圏評議会 (Arctic Council)	127
北極層雲	25
北極南極研究所 (Arctic and Antarctic Research Institute: AARI)	82
北方海運会社 (Northern Shipping Company)	93
ポリニア	69, 72
ボルクタ炭坑	30
ポルトラーノ海図	7
ヴァイキング	6
ヴェガ	11

【 ま 行 】

南航路	95
無害通行権	82
ムルマンスク海運会社	53, 83, 93, 99

【 や 行 】

躍層	32
有害紫外線	23

【 ら 行 】

ラミング	47
リーマー	59, 63
ルークオイル	150
ロシア国内法	125, 127
ロシア連邦憲法	127
ロモノソフ海嶺	19

索引 (欧文)

Annual Serial Voyage Simulation	102
ArcView	129
Arktika クラス	95
CASPPR	49, 144
CIHMI	78
CIS	14, 217
DAS	59
FSICR	49
GIS	129
GPS	73
Guide to Navigating through the NSR	82, 84, 135, 234
H&M (Hull and Machinery)	97
harmonization	148
Ice Index	100, 101
Ice Numeral	99, 100, 140, 144
Ice Pilot	85, 87
INMARSAT	76, 81
INSROP	1, 172
INSROP GIS	129
Kandalaksha (ロシア氷海商船)	136
L'Astrolabe (フランスの観測船)	135
MARPOL 条約	125, 127, 128
Monthly Voyage Simulation	102
NSR 管理局 (Glavsevmorput)	12
NSR の運航規則	87
NSR の科料 (通行料)	99, 105
NSR の輸送量	91, 92, 94
OKEAN	76
OPRC 条約	125
P&I (Protection and Indemnity)	97, 98
Polar Code	51, 127
PS 法	159
RADARSAT	80, 141
SA-15型商船	52
SAR	79, 141
SOLAS 条約	125, 126
SSM/I	79, 141
T-S Diagram	145
Uikku (フィンランドの氷海タンカー)	135
UVB	23
WAAS 型船首	58

執 筆 者 紹 介



北川弘光 (きたがわ ひろみつ)

1935年東京生まれ。横浜国立大学造船工学科卒業後、運輸省入省。運輸省船舶技術研究所推進性能部長、同所長を歴任。財団法人日本造船技術センター理事長を経て、北海道大学大学院工学研究科 環境資源工学専攻 雪氷工学講座教授。専門分野は氷工学及び流体工学。INSROP 事業では、幅広い分野に精通していることから事業全体のコーディネータとして活躍。



小野延雄 (おの のぶお)

1933年東京生まれ。東北大学理学部卒業後、北海道大学 低温科学研究所に入所し、雪と氷、極地の海洋の研究に従事。低温科学研究所教授、国立極地研究所 北極圏環境研究センター長、国際北極科学委員会や北極海洋科学会議などの日本委員を歴任。国立極地研究所企画調整官、総合研究大学院大学数物科学研究科長などを経て国立極地研究所名誉教授、総合研究大学院大学名誉教授、(株)日本雪氷学会会長。その間、第3次南極地域観測隊（1958～59）や、北極海氷動態国際観測（1972）などに参加。



山口 一 (やまぐち はじめ)

1955年三重県生まれ。東京大学大学院工学系研究科 船舶海洋工学専攻博士課程修了後、同大学工学部 船舶海洋工学科専任講師、助教授を経て、同大学環境海洋工学専攻 教授。流水予測計算を中心とした極地環境工学と、流体機器のキャビテーションの研究に従事。その間、1992年～1993年 National Research Council of Canada の客員研究員。1989年日本造船学会賞・日本造船工業会賞・日本船舶振興会会長賞受賞。INSROP 事業では、氷況予測システムの研究の他、北極海航路実船航海試験に調査匠長として参加。



泉山 耕 (いずみやま こう)

1957年北海道生まれ。北海道大学大学院工学研究科修士課程修了後、運輸省入省。運輸省船舶技術研究所 氷海技術部 低温環境研究室 室長。この間、第26次南極地域観測隊に同行、National Research Council of Canada に留学。INSROP 事業では北極海航路実船航海試験に参加。専門分野は氷海船舶、海洋構造物への氷荷重、水中模型試験技術。



亀崎一彦 (かめさき かずひこ)

1951年生まれ。福岡県生まれ。九州大学工学研究科造船学専攻修士課程終了後、㈱日本郵船に入社。砕氷船「しらせ」の開発を契機に1979年より氷海技術の諸開発研究に従事し、NKK エンジニアリング研究所津研究センター船舶・構造研究室室長。INSROP 事業には開始当初から参加し、論文審査、NSR 実船航海試験、運航シミュレーションによる経済評価、Integration Book の執筆などを担当。

北 極 海 航 路

—— 東アジアとヨーロッパを結ぶ最短の海の道 ——

発 行 2000年3月

第2版 2001年2月

発行者 財団法人 シップ・アンド・オーシャン財団
〒105-0001 東京都港区虎ノ門1丁目15番16号
TEL (03)3502-1828 FAX (03)3502 2033

印 刷 株式会社 扇興社
〒105-0004 東京都港区西新橋2丁目13番5号
TEL (03)3501-0345 FAX (03)3580 0097

ISBN 4-916148-94-0 ©SHIP & OCEAN FOUNDATION 2000
本書の無断転載、複写、複製を禁じます。

