Supported by 日本財団 THE NIPPON FOUNDATION

北極海航路ハンドブック

実務編（上巻）

公益社団法人 日本海難防止協会



はじめに

近年、北極海の温暖化の増幅及び氷の減退に伴い、北極海航路を利用する商船が増加している。今後、北極海沿岸域の資源開発が進み、又、北極海の氷がさらに減退するような状況となれば、北極海航路の利用は一層活発化することが予想される。

現在、北極海航路を利用する商船に乗り組む船員は、北極海沿岸国の出身者又は冬期バルト海もしくは冬期セントローレンス湾等において氷海経験を積んできた者が多くを占めている。今後、北極海航路の利用が活発化してきた場合は、これらの船員だけでは足りず、新たな船員需要への対応が求められる。我が国商船隊を支える日本人及び外国人船員のほとんどは、これまで氷海航行経験がなく、新たな船員需要に的確に応えていくには、氷海経験を補うに等しい知識や技術の普及が喫緊の課題となっている。

氷海を安全に航行するためには、特に見張り及びレーダーによる氷の早期発見方法、氷況の観測及び予測方法、砕氷船先導による縦列船隊操船、着氷防止対策、ビセット（氷による閉じ込め）防止対策等、専門的な知識や特殊な技術等が不可欠であり、一度対応を誤れば重大な海難や海洋汚染事故等にもつながりかねない。

本書は北極海航路又は氷海を安全に航行するために必要な知識又は技術等をわかりやすく解説した運航実務書である。本書には我が国の海事関係者及び北極海研究者等の助言に加え、北極海又は冬期オホーツク海もしくは南極海等における氷海経験者のノウハウが随所に取り入れられている。

本書が北極海航路を利用する我が国商船隊の船員諸氏、北極海での活躍を夢見る海事教育機関の学生諸氏等の座右の書として広く親しまれ、役立つことを期待してやまない。

最後に「北極海航路ハンドブック検討委員会」のメンバーの皆様をはじめ、本書の執筆・編集にご協力頂いた多くの皆様に紙面をお借りして厚く御礼申し上げる。

2016年3月　公益社団法人　日本海難防止協会

北極海航路ハンドブック　実務編(上巻)

目　次

第一章　北極海航路の基礎知識…… 001
1. 北極海航路の地理等及び気象・海象に関する基礎知識　… 001
1.1 北極海航路の概要 …… 001
1.1.1 北東航路及び北西航路…… 001
1.1.2 北極海航路の沿革…… 002
1.1.3 北極海航路のメリット及びデメリット…… 003
1.2 地理に関する基礎知識 …… 004
1.2.1 北極海の面積…… 005
1.2.2 北極海の水深…… 005
1.2.3 北極海航路の水深…… 006
1.2.4 北極海の河川…… 006
1.2.5 北極海航路の海…… 007
1.2.6 北極海航路周辺の島々…… 010
1.2.7 北極海航路の海峡…… 011
1.2.8 北極海航路周辺の港…… 013
1.2.9 北極海航路の通航ルート…… 017
1.3 気象・海象等に関する基礎知識 …… 018
1.3.1 気温…… 019
1.3.2 極夜・極昼…… 021
1.3.3 降水量…… 021
1.3.4 積雪量…… 023
1.3.5 北極層雲及び霧…… 024
1.3.6 アークティックヘイズ…… 026
1.3.7 低気圧…… 026
1.3.8 氷の動きと表層海流…… 029
1.3.9 海水温…… 030
1.3.10 うねり …… 031
1.3.11 風 …… 031
1.3.12 オーロラ …… 033
2. 海氷に関する基礎知識 …… 035
2.1 北極海の海氷 …… 035
2.2 氷の種類及び用語 …… 038

2.2.1 氷の種類に関する用語…… 038
2.2.2 海氷の発達過程に関する用語…… 039
2.2.3 定着氷の形態に関する用語…… 044
2.2.4 流氷の形態に関する用語…… 045
2.2.5 海氷の表面の特徴に関する用語…… 049
2.2.6 海氷の融解過程に関する用語…… 051
2.2.7 海氷の量又は密接度に関する用語…… 053
2.2.8 海氷の分布状況に関する用語…… 055
2.2.9 氷域中の海水面に関する用語…… 057
2.2.10 海氷域の大気現象に関する用語 …… 059
2.2.11 船舶運航に関する用語 …… 060
2.2.12 陸氷に関する用語 …… 061
2.3 海氷の生成 …… 064
2.4 海氷の構造 …… 066
2.5 海氷の強度 …… 066
2.6 海氷の成分 …… 067
3. 氷海船舶に関する基礎知識 …… 071
3.1 アイスクラス …… 071
3.1.1 氷海特有の危険…… 071
3.1.2 主なアイスクラス…… 073
3.1.3 階級別の対象船舶…… 074
3.2 氷海船舶の役割 …… 076
3.3 氷海船舶の特徴と構造 …… 078
3.3.1 船体重量…… 078
3.3.2 船体形状…… 078
3.3.3 積載貨物量…… 078
3.3.4 エンジン出力…… 079
3.3.5 船首形状…… 080
3.3.6 船尾形状…… 081
3.3.7 船底及び横断面…… 082
3.3.8 アイスベルト…… 083
3.3.9 推進器…… 083
3.4 氷海船舶の設備 …… 086
3.4.1 シーベイ…… 086
3.4.2 加熱装置…… 086

3.4.3 曳航装置…… 086
3.4.4 エアバブリング…… 087
3.4.5 ウォータージェット装置…… 088
3.5 氷海船舶の砕氷方法と氷荷重 …… 088
3.5.1 連続砕氷と曲げ破壊…… 088
3.5.2 ラミングと圧壊…… 090
3.5.3 氷海船舶に作用する氷荷重…… 091

第二章　北極海航路における航海実務…… 093
1. 航海の基本原則 …… 093
1.1 氷回避の原則 …… 093
1.2 安全速力の原則 …… 094
1.3 高所見張りの原則 …… 094
2. 見張りの方法 …… 097
2.1 氷映による氷出現兆候の察知 …… 097
2.2 その他による氷出現兆候の察知 …… 098
2.2.1 霧との遭遇…… 098
2.2.2 温度の急低下…… 099
2.2.3 海面の静穏化…… 099
2.2.4 海面の擾乱…… 099
2.2.5 氷片との遭遇…… 099
2.2.6 動物との遭遇…… 099
2.2.7 音の変化…… 101
2.3 開放水面の察知 …… 101
2.4 氷況等の見張りの原則 …… 103
2.5 色調等の判定 …… 103
2.6 密接度の判定 …… 104
3. レーダー利用の方法 …… 109
3.1 基本原則 …… 109
3.2 周波数による使い分け等 …… 110
3.3 氷の早期発見方法 …… 111
3.4 氷況の把握方法 …… 114
3.4.1 氷の密接度の把握…… 114
3.4.2 海面反射等の影響…… 114
3.4.3 氷丘脈等の把握…… 115

3.4.4 サブ・リフラクションの影響…… 117
3.5 氷海専用レーダー …… 117
4. 氷の種類ごとの把握方法 …… 119
4.1 氷山 …… 119
4.2 多年氷等 …… 121
4.3 定着氷 …… 123
4.4 氷片 …… 124
5. 狭視界時等の注意事項 …… 127
5.1 一般的注意事項 …… 127
5.1.1 安全な速力…… 127
5.1.2 適切な見張り …… 127
5.1.3 法定航法の遵守…… 128
5.1.4 航海計画 …… 129
5.1.5 航海当直 …… 129
5.2 海氷域における追加的注意事項 …… 129
5.2.1 海氷域迂回の原則 …… 129
5.2.2 海氷域での減速・停止等…… 130
5.2.3 サーチライトの有効活用等…… 131
5.2.4 氷況情報等を反映した航海計画 …… 131
5.2.5 海氷域の特殊性を考慮した航海当直 …… 132
6. 航海計画と航路選定等 …… 133
6.1 航海計画 …… 133
6.2 アイスチャートとエッグコード …… 134
6.3 航路選定等 …… 138
6.4 海図及び水路誌等 …… 140
6.4.1 海図図法…… 140
6.4.2 BA 版海図 …… 141
6.4.3 カナダ版海図…… 142
6.4.4 ロシア版海図…… 143
6.4.5 水路誌等…… 145
6.5 ブリッジチーム …… 146

第三章　北極海航路における操船実務…… 149
1. 基本原則 …… 149
1.1 氷回避の原則 …… 149

1.2 操船の原則 …… 150
1.2.1 砕氷船誘導の原則 …… 151
1.2.2 指示・助言遵守の原則 …… 151
1.2.3 機関等準備の原則 …… 151
1.2.4 安全速力の原則 …… 151
1.2.5 見張り徹底の原則 …… 152
1.2.6 夜間操船回避の原則 …… 152
1.2.7 気象情報等反映の原則 …… 152
1.2.8 性能及び操船能力等熟知の原則 …… 152
1.2.9 喫水及びトリム調整の原則 …… 153
1.2.10 氷に逆らわない操船の原則 …… 153
1.2.11 適切な船橋当直体制維持の原則 …… 154
1.2.12 冷却海水対策の原則 …… 154
1.3 船体・機器類等の原則 …… 154
1.4 配慮すべき自然現象 …… 157
2. 船体着氷対策 …… 159
2.1 発生メカニズム …… 159
2.2 発生場所 …… 161
2.3 投錨装置に対する配慮 …… 162
2.4 一般的予防策 …… 163
2.5 船灯等に対する予防策 …… 164
2.6 着氷除去作業 …… 165
3. 単独航行時の操船法 …… 167
3.1 基本原則 …… 167
3.1.1 海氷域への進入 …… 168
3.1.2 安全な速力 …… 170
3.1.3 航路の選定 …… 170
3.1.4 氷の硬さ又は厚さの判定 …… 171
3.1.5 氷の移動 …… 172
3.1.6 氷との間隔 …… 173
3.1.7 踟躊（ちちゅう） …… 173
3.1.8 プロペラ及び舵の防護 …… 173
3.1.9 ビセットの防止 …… 174
3.2 連続砕氷操船法 …… 178
3.2.1 海氷域への接近 …… 178

3.2.2 氷盤への接触 …… 179
3.2.3 砕氷開始 …… 180
3.2.4 安全な速力 …… 181
3.2.5 針路 …… 182
3.2.6 側壁影響 …… 182
3.2.7 砕氷の中断 …… 183
3.2.8 砕氷時の針路保持等 …… 183
3.2.9 砕氷中の旋回 …… 184
3.2.10 砕氷中の方向転換 …… 186
3.2.11 砕氷中の後進 …… 187
3.2.12 ビセット時の操船 …… 189
3.2.13 被救助船の操船 …… 191
3.3 ラミング操船法 …… 192
3.3.1 基本方針 …… 193
3.3.2 安全な速力 …… 195
3.3.3 助走距離 …… 195
3.3.4 後進 …… 196
3.3.5 幅広ラミング …… 198
4. 砕氷船誘導時の操船法 …… 199
4.1 基本原則 …… 199
4.1.1 ランデブー …… 199
4.1.2 通信連絡 …… 200
4.1.3 基本遵守事項 …… 204
4.1.4 コンボイ時の追加遵守事項 …… 204
4.2 被誘導操船法 …… 206
4.2.1 正確な追尾 …… 207
4.2.2 針路、船間距離、船隊全長距離及び速力 …… 208
4.2.3 水路の開放 …… 211
4.2.4 船間距離及び船隊全長距離の拡大防止 …… 212
4.2.5 減速への対応 …… 214
4.2.6 停止等への対応 …… 214
4.3 被救助操船法 …… 218
4.3.1 被援助船の自力脱出操船 …… 218
4.3.2 砕氷船による救助方法と被援助船の操船法 …… 219
4.3.3 二船間の相互作用 …… 221

5. 特殊操船法 …… 223
5.1 被曳航操船法 …… 223
5.1.1 基本遵守事項 …… 224
5.1.2 曳航方法 …… 224
5.1.3 メイン・エンジンの使用 …… 225
5.1.4 減速への対応 …… 226
5.1.5 停止等への対応 …… 227
5.1.6 見張り …… 228
5.1.7 曳航索長 …… 228
5.1.8 曳航索の構成及び結合 …… 229
5.1.9 懸垂曲線 …… 230
5.1.10 曳航索の張力 …… 231
5.2 停泊操船法 …… 231
5.2.1 海氷域の選定 …… 232
5.2.2 氷盤の選定 …… 233
5.2.3 係留操船 …… 233
5.2.4 係止具 …… 235
5.2.5 錨泊操船 …… 236
5.2.6 係留又は錨泊中の注意事項 …… 237
5.3 荒天操船法 …… 239

【コラム】
航海で使用されるロシア語会話 …… 241
操船で使用されるロシア語会話 …… 252

【資料 1】 執筆・編集協力等一覧 …… -1- 〜 -4-
【資料 2】 参考文献等一覧 …… -1- 〜 -3-
【索　引】 …… -1- 〜 -4-

【第一章】

北極海航路の基礎知識



第一章　北極海航路の基礎知識

1. 北極海航路の地理等及び気象・海象に関する基礎知識

北極海航路の安全航行に必要な専門的な知識又は特別な技術等を理解するためには、北極海又は北極海航路に関する一般的な基礎知識を学ぶ必要がある。以下に北極海又は北極海航路の地理、気象･海象等に関する基礎知識について解説する。

1.1　北極海航路の概要

近年、北極海の温暖化の増幅及び氷の減退に伴い、北極海航路を往来する商船が夏を中心に増加し、世界の注目が集まっている。

以下に北極海航路の概要について解説する。

1.1.1 北東航路及び北西航路

ヨーロッパ（Europe）ではロシア（Russia）沿岸のユーラシア大陸（Eurasia）沿いに北極海を通航する航路のことを古くから北東航路、ロシアでは北方航路（NSR：the Northern Sea Route）と呼んできた。

一方、カナダ（Canada）沿岸の北米大陸沿いに北極海を通航する航路のことを北西航路と呼んできた。しかし、この北西航路は大小約 37,000 に及ぶ島々から成る北極諸島と呼ばれる多島海を航行する必要がある。北極諸島の通航は、迷路のように複雑に入り組んだいくつもの海峡の通過を伴う海の難所である。また、北西航路の氷況は北東航路に比べ厳しいことが多いこと等から、利用する商船の数は少数に限られている。そのため、単に北極海航路と言った場合、北東航路のことを指すことが多い。

本書でも特に断わりのない限り、北東航路を北極海航路として取り上げていく。ただし、最近は北東航路及び北西航路を併せて北極航路と呼ぶこともある。

ところで、北東航路を利用するためには、ロシアの国内法に従い、事前にロシアの北極海航路局（NSRA/Northern Sea Route Administration）に申請を行い、その許可を得なければならない。また、北極海航路航行中はロシア国内法の定めにより、通航船は常に NSRA の管制下にあり、その指示に従わなければならない。また、通航船は決められた地点及び時刻に決められた方法により、NSRA に無線連絡を行わなければならない等の決まりがある。



図 1-1 北極海航路
(NASA World Wind http://worldwind.arc.nasa.gov/java　初夏の状況をもとに作成)

1.1.2 北極海航路の沿革

北極海における航海は、古くは 9 世紀に支配地域の拡大を目指していたヴァイキングの時代や 14 世紀にクジラの漁場を求めていたバスク人の時代までさかのぼる。

16 世紀の大航海時代に入ると、北極海を経由して大西洋から太平洋に至る海上交通路がヨーロッパとアジア（Asia）とを結ぶ最短ルートであると考えられ、開拓のための探検航海が繰り返し行われるようになった。しかし、北極海は常に過酷な自然環境下にあり、また、当時は航海計器や造船技術が十分でなかったため､19 世紀末ヴェガ号（SS Vega）が航路開拓に成功するまで、遭難する船が後を絶たなかった。

やがて 20 世紀になり、砕氷船や無線通信の誕生等、北極海の航海を容易にする技術革新が進んだ結果、ロシア沿岸のユーラシア大陸沿いに北極海を航行する海上交通路が確立され、ヨーロッパでは北東航路、ロシアでは北方航路と呼ばれるようになった。しかし、1917 年のロシア革命によって誕生したソビ

エト連邦（Soviet Union）は、政治的な理由により北極海航路の排他的な利用を進めたため、諸外国の商船が同航路を利用できない状態が長く続いた。最盛期の 1980 年代、ソビエト連邦では年間 600 万トン以上の貨物が北極海航路を利用して輸送されていた。

1987 年、冷戦の終結により北極海航路の戦略的価値が低下したことから、ソビエト連邦は諸外国の商船による北極海航路の利用を認めるに至った。しかし、直後にソビエト連邦が崩壊し、新しく誕生したロシアでは経済混乱等が続いたため、諸外国の商船による利用が進まないばかりか、ロシア国内での利用も急減した。2000 年以降の貨物輸送量は年間 200 万トン前後にとどまっていた。

やがて、北極海の氷の減少傾向が進むとともに、ロシア側の航行支援態勢が整備されたこと等から、2009 年、ドイツ（Germany）船籍の耐氷貨物船 2 隻が発電用プラントを韓国のウルサン港で搭載し、ベーリング海峡（Bering Strait）から北極海航路を経由してロシアの港まで輸送した。ロシア船籍以外の商船による初めての北極海航路利用となった。これを契機に北極海航路を利用する商船が増加し現在に至る。

1.1.3 北極海航路のメリット及びデメリット

北極海航路を利用すると、これまで地球上の東西輸送の両端にあったヨーロッパとアジア間の海上輸送距離が従来のスエズ運河（Suez Canal）経由と比べ 3 ～ 4 割ほど短縮される。そのため、輸送時間の短縮や燃料費の節約等のメリットが生じる。

なお、北極海航路利用による距離の短縮効果は、アジアに関しては北に行くほど又東に行くほど顕著となる。したがって、極東アジア諸国（日本・韓国・中国・ロシア・北朝鮮等）が最大の受益国である。たとえば、ロッテルダム（Rotterdam）から横浜に航海する場合、北極海航路経由はスエズ運河経由に比べ 3,750 マイル・33％も距離が短縮する。同じ速力で航海した場合、13 日も早く横浜に到着する計算となる。また、政治的に不安定な海域又は海賊が出没するおそれのある海域を回避できるメリットもある。

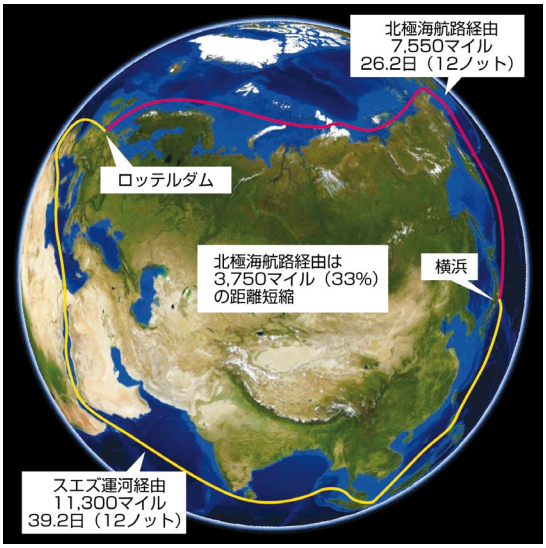


図 1-2 北極海航路経由とスエズ運河経由の比較
(NASA World Wind http://worldwind.arc.nasa.gov/java　をもとに作成)

一方、北極海航路の利用にあたっては、アイスクラス（Ice class）を取得するための割高な船舶建造費又は保険の割増料金等、運航コスト面でのデメリットが生じる。また、通航の可否が氷況等の自然条件に大きく左右されるため、航海途中の減速運転や氷況が回復するまでの待機等の時間的ロスを余儀なくされることもある。

さらに、水深データの充実、捜索救難及び通信システムの強化、緊急時の避難港及び水・燃料・食糧等の補給体制の整備等が課題となっているほか、海難に伴う北極海の海洋汚染を懸念する声もある。

1.2 地理に関する基礎知識

北極海はユーラシア大陸及び北米大陸とグリーンランド（Greenland）等の多くの島々に囲まれた海であり、北極海航路は北極海のユーラシア大陸沿いのロシア沿岸の大陸棚付近に設置されている。

以下に北極海及び北極海航路の地理に関する基礎知識について解説する。

1.2.1 北極海の面積

北極海はユーラシア大陸及び北米大陸とグリーンランドなど多くの島々に囲まれた面積約 1,200 万平方キロメートル（日本の国土面積の約 31.5 倍）の海で、世界の 7 つの洋（うみ）の一つである。しかし、面積は世界の全海洋面積の約 3%に過ぎない小さな海である。

一方、地球の反対側、南極大陸の面積は約 1,400 万平方キロメートルでほぼ一緒の広さである。また、南極大陸を取り囲む南極海の面積は北極海の約 1.7 倍、約 2,000 万平方キロメートルである。

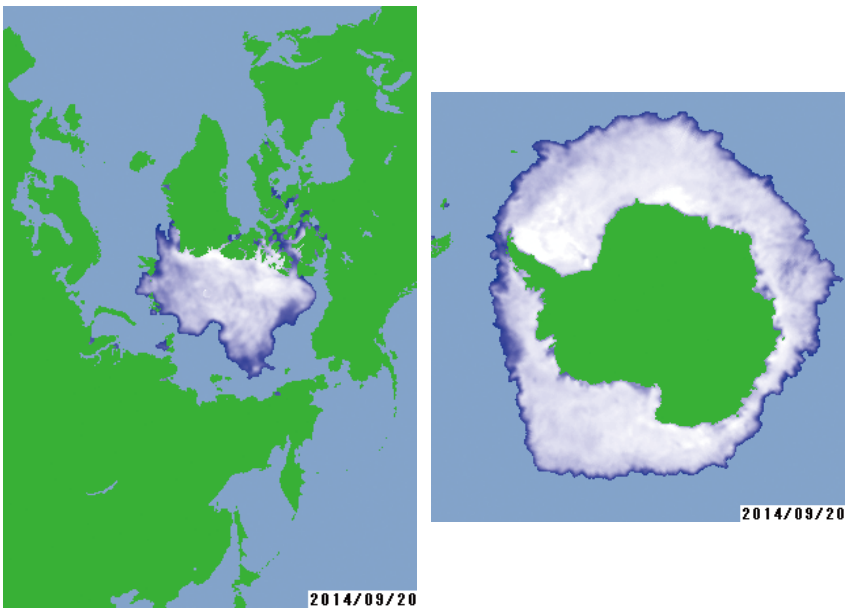


図 1-3 北極域と南極域の海氷分布図　2014 年 9 月 20 日（出典：気象庁ウェブサイト）

1.2.2 北極海の水深

北極海はほぼ全周にわたって陸地で囲まれている。そのため、南極海に比べ氷の動きが少なく、隣接する太平洋又は大西洋に氷が流れ出にくい構造となっている。

北極海の中央部には水深約 4,000 メートルの海底平原が広がり、最深部は 5,440 メートルに達する。なお、北極海全体では水深 1,000 メートル以上の比較的深い海が 70%、残り 30%が水深 1,000 メートル未満の比較的浅い海となっている。

1.2.3 北極海航路の水深

近年、北極海の氷、特に夏の氷は減少傾向にあるが、北極海の氷は沿岸部を中心に融解する傾向にあり、沖合に向かうほど夏でも融解せずに氷が残る傾向にある。そのため、北極海中央部の深い海域は、夏であっても船舶の通航が不可能又は困難な状況となっている。

したがって、現在、北極海航路は夏に氷が融解している又は氷が少ない、ユーラシア大陸沿いの大陸棚上に設定されている。すなわち、氷況に関しては好条件ではあるが、ユーラシア大陸又はその周辺の島々に接近するため、水深は深くても 200 メートル程度、もっとも浅いところでは 20 メートル未満となっている。中には 10 メートル未満の浅所や暗岩等も多くあり、島と大陸又は島と島の間の海峡をいくつか通過する必要もある。

1.2.4 北極海の河川

北極海には多くの大河が流れ込んでいる。そのうち、ユーラシア大陸から流れ込んでいるレナ川（Lena River）、エニセイ川（Yenisei River）及びオビ川（Ob River）、北米大陸から流れ込んでいるマッケンジー川（Mackenzie River）を北極海の 4 大河川と呼んでいる。

北極海に流れ込む河川水の流量は、世界の全河川水の流量の約 10%に相当する。そのため、北極海の平均塩分は他の大洋と比較して著しく低く、塩分により密度成層が決まっているのが特徴で、海面で冷やされた海水が深くまで沈みこめない。そのため、表層のみが集中的に冷やされるため、結氷水温まで低下しやすく海氷が生成されやすい状況になっている。また、河川水の中には大河上流の中緯度帯の森林からもたらされた栄養分が豊富に含まれているため、

北極海の豊かな生態系の形成にも大きな影響を与えている。

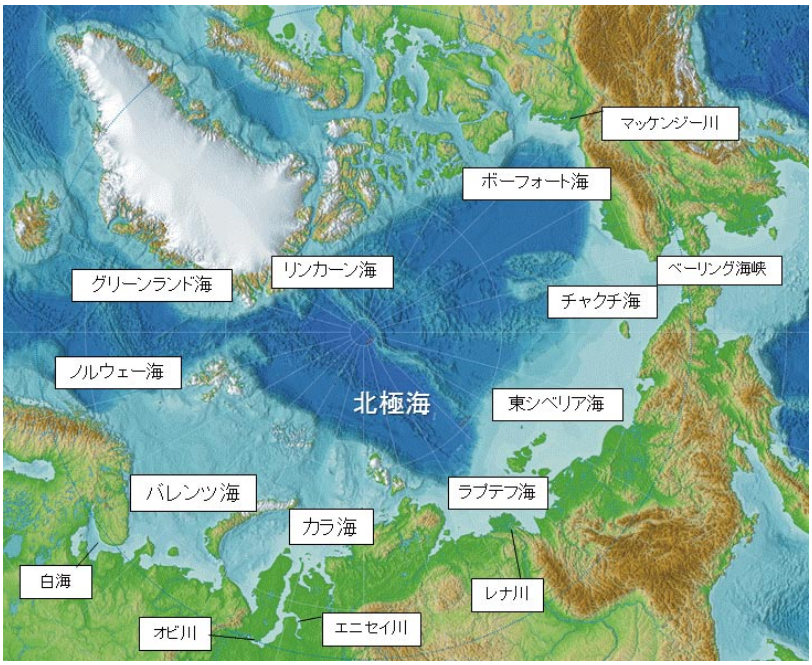


図 1-4　北極海航路の流入河川及び海
（出典：国立極地研究所「北極域 Arctic Region」を基図として利用）

1.2.5 北極海航路の海

北極海航路が設定されているユーラシア大陸沿いの大陸棚付近の北極海には、ヨーロッパから東方向にベーリング海峡に向かって、それぞれバレンツ海、カラ海、ラプテフ海、東シベリア海及びチャクチ海という名前が付けられている。

【バレンツ海（Barents Sea）】

バレンツ海は西部の平均水深が約 200 メートル、東部の平均水深が約 100 メートル、全体の平均水深は約 230 メートル、最深部の水深は約 600 メートルである。通常、北極海航路を利用する船舶に対し、バレンツ海では水深約 50 メートルから約 250 メートルの大陸棚上に針路が設定されることが多い。

バレンツ海は西側及び北側を比較的水深の深いノルウェー海（Norwegian Sea）及びグリーンランド海（Greenland Sea）に接し、東側を比較的水深の浅いカラ海に接している。なお、バレンツ海の南西部、コラ半島（Kola Peninsula）の西側には白海（White Sea：Beloye More）と呼ばれる大きな湾がある

【カラ海（Kara Sea)】

カラ海は平均水深が約 120 メートルであり、100 メートル未満のところが多い。起伏が激しく、水深が数メートルから 20 メートルの浅瀬も多く見られる。カラ海は西部のノバヤゼムリヤ北東端、ジェラニエ岬の沖合が比較的深く、最深部の水深は約 600 メートルに達する。

通常、北極海航路を利用する船舶に対し、カラ海では水深約 20 メートルから約 200 メートルの大陸棚上に針路が設定されることが多い。ただし、ジェラニエ岬の沖合の通航が指示された場合、水深が 500 メートルを超えることもあり、北極海航路の中では比較的水深の深い区間の一つとなる。

カラ海は西側をバレンツ海、東側はラプテフ海に接している。また、カラ海には北極海の 4 大河川のうち、エニセイ川及びオビ川が流れ込んでいる。なお、バレンツ海及びカラ海の一部の海域は、北大西洋から流れ込む暖流の影響を受けるため温暖で、北極海でありながら一年中氷がない状態が続く。

【ラプテフ海（Laptev Sea)】

ラプテフ海はその大半が大陸棚であるため、水深約 50 メートル、大陸付近では水深約 25 メートル未満、比較的起伏が緩やかな海域である。ただし、ラプテフ海の北部は大陸棚をはずれ北極海中央部の深い海域につながっているため、水深が 3,000 メートルを超える。

通常、北極海航路を利用する船舶に対し、ラプテフ海では水深約 20 メートルから約 80 メートルの大陸棚上に針路が設定されることが多い。ただし、比較的沖合の通航が指示された場合、大陸棚をはずれ水深約 1,000 メートル以上となり、北極海航路でもっとも深い

区間となる。

ラプテフ海は西側をカラ海、東側を東シベリア海に接している。なお、ラプテフ海には北極海の 4 大河川のうち、レナ川が流れ込んでいる。

カラ海からラプテフ海、さらに東シベリア海に至る海域は比較的寒冷な気候で、また、ユーラシア大陸から流れ込んでいる大量の河川水のため、氷が発達しやすくなっている。

【東シベリア海（East Siberian Sea）】

東シベリア海は西側をラプテフ海、東側をチャクチ海に接している。

東シベリア海は大陸棚が広く張り出した海域で、その大半が水深約 50 メートル未満、大陸付近では水深約 25 メートル未満、比較的起伏が緩やかである。東シベリア海は、北極海航路が設定されている海域の中ではもっとも浅い。

通常、北極海航路を利用する船舶に対し、東シベリア海では水深約 12 メートルから約 40 メートルの大陸棚上に針路が設定される。ただし、東シベリア海の北部は大陸棚をはずれ北極海中央部の深い海域につながっているため、水深は 1,000 メートルを超える。しかしながら、夏でも氷が融解しないため、通航が指示されることはない。

【チャクチ海（Chukchi Sea）】

チャクチ海は西側を東シベリア海、東側をベーリング海峡に接している。

チャクチ海は東シベリア海と同様、浅く比較的起伏の緩やかな海域で、その大半が水深 50 メートル未満である。

通常、北極海航路を利用する船舶に対し、チャクチ海では水深約 30 メートルから約 50 メートルの大陸棚上に針路が設定される。

なお、チャクチ海では、北太平洋から流れ込む温暖な海水の影響を受け、氷が存在しない期間が長く続く。

【その他の海】

カナダ沿岸の北米大陸沿いの大陸棚付近の北極海は、ボーフォート海（Beaufort Sea）という名前が付けられている。また、グリーンランドの北西部の北極海沿岸に広がる大陸棚域をリンカーン海（Lincoln Sea）

と呼ぶ。

北極海航路が設定されているユーラシア大陸沿いの大陸棚と比べ、北米大陸沿いの大陸棚は極めて狭く、北極諸島又はグリーンランドの沖合は直ぐに北極海中央部の深い海域につながっている。

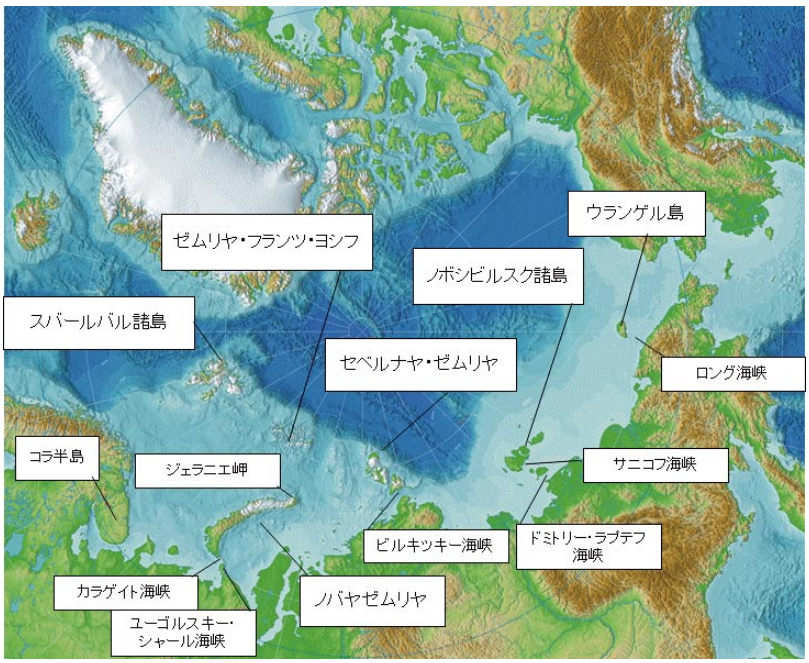


図 1-5 北極海航路周辺の島々及び海峡等
（出典：国立極地研究所「北極域 Arctic Region」を基図として利用）

1.2.6 北極海航路周辺の島々

北極海航路が設定されているユーラシア大陸沿いの大陸棚付近の北極海は、ヨーロッパから東方向にベーリング海峡に向かって、順にスバールバル諸島（Svalbard）、ノバヤゼムリヤ（Novaya Zemlya）、ゼムリヤ・フランツ・ヨシフ（Franz Josef Land）、セベルナヤ・ゼムリヤ（Severnaya Zemlya）、ノボシビルスク諸島（Novosibirskiye Ostrova）、ウランゲル島（Otrov Vrangelya）等の島々が存在する。

1.2.7 北極海航路の海峡

北極海航路が設定されているユーラシア大陸沿いの大陸棚付近の北極海には、島と大陸又は島と島との間に多くの海峡が存在する。北極海航路を利用する船舶に対し、北極海航路局（NSRA）又は同局から管制業務を委託された運航管制所によって、このうちのいくつかの海峡の通航が指示されることがある。

どの海峡の通航を指示するかは、北極海航路局（NSRA）等が通航船の仕出港又は仕向港、最新の気象情報及び氷況等を総合的に判断し決定する。

なお、これらの海峡の中には水深が浅いため、航行する船舶の喫水が制限されているものもある。通航が指示される可能性のある主な海峡は以下のとおりである。

【カラゲイト海峡（Proliv Karskiye Vorota）】

カラゲイト海峡はバレンツ海とカラ海とを結ぶ海峡で、ノバヤゼムリヤとヴァイガチ島（Ostrov Vaygach）の間にある。海峡内では、IMO（International Maritime Organization：国際海事機関）において採択・決議された「航路指定」に基づく分離通航方式が採用され、対面通航が行われている。水深は約 20 ～ 200 メートルで起伏がある。潮流は強風時に最大 3 ノット以上に達することがある。

ところで、バレンツ海南西部、白海沿岸のアルハンゲルスク港を仕出港とし、バレンツ海からカラ海に抜け、ヤマル半島（Poluostrov Yamal）のサベッタ港を仕向港とした場合、カラゲイト海峡を通航する方が、ノバヤゼムリヤ北東端のジェラニエ岬（Mys Zhelaniya）の沖合を通航するよりもかなり距離が短くなる。そのような場合、氷況等に問題がなければ、カラゲイト海峡の通航が指示される可能性が高い。

一方、ムルマンスクを仕出港とし、バレンツ海からカラ海に抜ける場合、カラゲイト海峡を通航しても、ノバヤゼムリヤ北東端のジェラニエ岬の沖合を通航しても、距離はほとんど変わらない。しかしながら、カラゲイト海峡があるカラ海南西部は、夏になっても定着氷又は流氷が融解せず、しばらく残ることがある。そのような場合、カラゲイト海峡ではなく、ノバヤ

ゼムリヤ北東端のジェラニエ岬の沖合の通航が指示される可能性が高い。

【ユーゴルスキー・シャール海峡（Proliv Yugorskiy Shar）】

ユーゴルスキー・シャール海峡はカラゲイト海峡と同じく、バレンツ海とカラ海とを結ぶ海峡で、ヴァイガチ島と大陸の間にある。カラゲイト海峡から南東に約 70 マイル離れている。カラゲイト海峡と比べ幅が狭く、最峡部の幅は 6 マイルに満たない。水深は 13 ～ 17 メートル程度で通航船の喫水が制限されている。また、夏になっても定着氷又は流氷が融解せず、しばらく残ることがある。最狭部の潮流は最大 3 ノット程度に達することがある。

こうしたことから、北極海航路を利用する外航商船は、バレンツ海からカラ海に抜ける場合、ユーゴルスキー・シャール海峡ではなく、カラゲイト海峡又はノバヤゼムリヤ北東端のジェラニエ岬の沖合の通航を指示されることが多い。

【ビルキツキー海峡（Proliv Vil'kitskogo）】

ビルキツキー海峡はカラ海とラプテフ海を結ぶ海峡で、セベルナヤ・ゼムリヤの島の一つボリシェビク島（Ostrov Bol'shevik）と大陸の間にある。水深は概ね 20 ～ 200 メートルであるが、10 メートル未満の浅所も点在し、最峡部の幅は 4.5 マイル程度である。

通航が指示される可能性のある海峡の中で、夏になってももっとも遅くまで氷が残る、又は、夏になっても氷が融解しない可能性のある海域で、北極海航路最大の難所である。

北極海航路では、カラ海からラプテフ海に抜ける際、セベルナヤ・ゼムリヤの北端の沖合を通航するルートも古くから採用されてきた。しかしながら、同海域付近は夏になっても遅くまで氷が残る、又は、夏になっても氷が融解しないことが多い。そのため、北極海航路を利用する外航商船は、カラ海からラプテフ海に抜ける場合、たとえ北極海航路最大の難所であっても、ビルキツキー海峡の通航を指示されることが多い。なお、調査船又は観光クルーズ船等がセベルナヤ・ゼムリヤの北端の沖合を通航することがある。

【ドミトリー・ラプテフ海峡（Proliv Dimitrya Lapteva）】

ドミトリー・ラプテフ海峡はラプテフ海と東シベリア海を結ぶ海峡で、ノボシビルスク諸島と大陸の間にある。最峡部は 30 マイル程度であるが、平均水深は 12 ～ 15 メートルと浅く 10 メートル未満の浅所もあることから、通航船の喫水が制限されている。

こうしたことから、北極海航路を利用する外航商船は、ラプテフ海から東シベリア海に抜ける場合、ドミトリー・ラプテフ海峡以外の通航を指示されることが多い。

【サニコフ海峡（Proliv Sannikova）】

サニコフ海峡はドミトリー・ラプテフ海峡と同様、ラプテフ海と東シベリア海を結ぶ海峡で、ノボシビルスク諸島内にある。可航幅は 20 マイル程度、水深は全般に浅く 13 メートルの浅所もあることから、通航船の喫水が 12.5 メートルに制限されている。

北極海航路では、ラプテフ海から東シベリア海に抜ける際、チホノフ・ルート（Tikhonov Route）と呼ばれるノボシビルスク諸島の北端の沖合を通航するルートも古くから採用されてきた。しかしながら、同ルートは測量が不十分であり、又、夏になっても氷が融解せず残る等の理由により、北極海航路を利用する外航商船に対しては、サニコフ海峡の通航を指示されることが多かった。最近では氷況に応じサニコフ海峡又はチホノフ・ルートのいずれかが指示されている。

【ロング海峡（Proliv Longa）】

東シベリア海とチャクチ海を結ぶ海峡で、ウランゲル島と大陸の間にあり、幅は約 60 マイルに及ぶ。平均水深は 40 メートル程度である。

東シベリア海からチャクチ海に抜ける場合、ウランゲル島の北端の沖合を通航するルートも古くから採用されてきたが、現在、北極海航路を利用する外航商船はロング海峡の通航を指示されることが多い。

1.2.8 北極海航路周辺の港

北極海航路周辺の港は数が少なく、主なものは以下のとおりである。

【キルケネス港（Kirkenes)】

バレンツ海沿岸にあるノルウェー（Norway）最北端の港で年間を通じ凍結しない。ロシア国境に近く、ノルウェーのビョルネバトン(Bjørnevatn)鉱山で採掘された鉄鉱石等が扱われる。

入出港可能な最大船型はタンカーで載貨重量２万トン・喫水 10.06 メートル、バルカーで載貨重量 12 万トン・喫水 15.54 メートルである。燃料及び清水等の補給、機器修理等が可能なほか、病院等の医療設備があり、廃棄物受入サービス等が整っている。

【ムルマンスク港（Murmansk)】

バレンツ海沿岸のコラ半島北部に位置するロシアの港で年間を通じ凍結しない。古くから北極海航路の拠点港の一つである。石炭、燐灰石（りんかいせき：アパタイトとも言う。化学肥料の原料となるリン酸塩を含有)、ガスコンデンセート(天然ガスと一緒に採取される軽質な石油類)、鉄鉱石、肥料、水産物等が扱われる。

入出港可能な最大船型はタンカーで全長 160 メートル･喫水 7.5 メートル、バルカーで載貨重量 16 万トン・全長 300 メートル・喫水 15.5 メートルである。燃料及び清水等の補給、すべての種類の機器修理等が可能なほか、病院等の医療設備があり、廃棄物受入サービス等が整っている。

【アルハンゲルスク港（Arkhangelsk)】

バレンツ海につながる白海に面したロシアの港で凍結する。古くからムルマンスクに次ぐ北極海航路の拠点港の一つである。パルプ、木材、石炭、石油類等が扱われる。

入出港可能な最大船型は非凍結時には全長 190 メートル、凍結時には全長 165 メートル・幅 30 メートルとなっている。また、9.2 メートルの喫水制限があるが、年間を通じ自然条件等によって変動することがある。

燃料及び清水等の補給、すべての種類の機器修理等が可能なほか、病院等の医療設備があり、油性を含めた廃棄物受入サービス等が整っている。

【アムデルマ港（Amderma)】

カラ海南部のユーゴルスキー・シャール海峡近くのロシアの港で凍結する。ペチョラ海(Pechora Sea)の資源開発のための物資補給等の用に供される。大型船が着桟できるバースはなく、錨地にてバージ等を利用して荷役する。町には病院がある。

【サベッタ港（Sabetta)】

カラ海につながるオビ湾（Gulf of Ob）に面したロシアの港で凍結する。ヤマル半島の資源開発のための物資補給等の用に供されるほか、液化天然ガス（LNG）の積み出しが行われる。北極海航路の新しい拠点港の一つである。

【ディクソン港（Dikson)】

カラ海南部のエニセイ川河口にあるロシアの港で凍結する。入出港可能な最大喫水は、港への進入ルートによって異なり、10 メートル又は 11 メートルに制限されている。　燃料及び清水等の補給、機器修理等が可能なほか、病院等の医療施設がある。

【ドゥディンカ港（Dudinka)】

カラ海南部のエニセイ川河口より約 215 マイル上流のロシアの港で凍結する。水深約 40 メートルの泊地を有し、入出港可能な最大船型は載貨重量 1 万トン級である。北シベリア地方の資源開発のための物資補給等の用に供され、北極海航路の拠点港ともなっている。ノリリスク（Norilsk）近郊で生産されたニッケル等の輸送拠点として、耐氷貨物船等による通年輸送が行われている。燃料及び清水等の補給、機器修理等が可能なほか、病院等の医療設備がある。

【ハタンガ港（Khatanga)】

ラプテフ海に注ぐハタンガ川河口より 115 マイル上流にあるロシアの港で凍結する。石炭、砂利・砂、木材、雑貨、石油類等が扱われる。

喫水 5.2 メートルまでの船舶が着桟可能なバースを有する。燃料及び清水等の補給、機器修理等が可能なほか、病院等の医療設備があり、油性を除く廃棄物受入サービス等が整っている。

【ティクシ港（Tiksi)】

ラプテフ海南部のレナ川河口にあるロシアの港で凍結する。木材、石油類、燃料等が扱われる。港内の水深は約 5 ～ 10 メートルで、全長 200 メートル級のものを含め多くのバースを有する。

燃料及び清水等の補給、機器修理等が可能なほか、病院等の医療設備がある。

【ペベク港（Pevek)】

東シベリア海沿岸にあるロシアの港で年間を通じ凍結しない。水深約 12 ～ 25 メートルの複数の錨地、最大 150 メートル級のバースを有する。

燃料及び清水等の補給、すべての種類の機器修理等が可能なほか、病院等の医療設備がある。

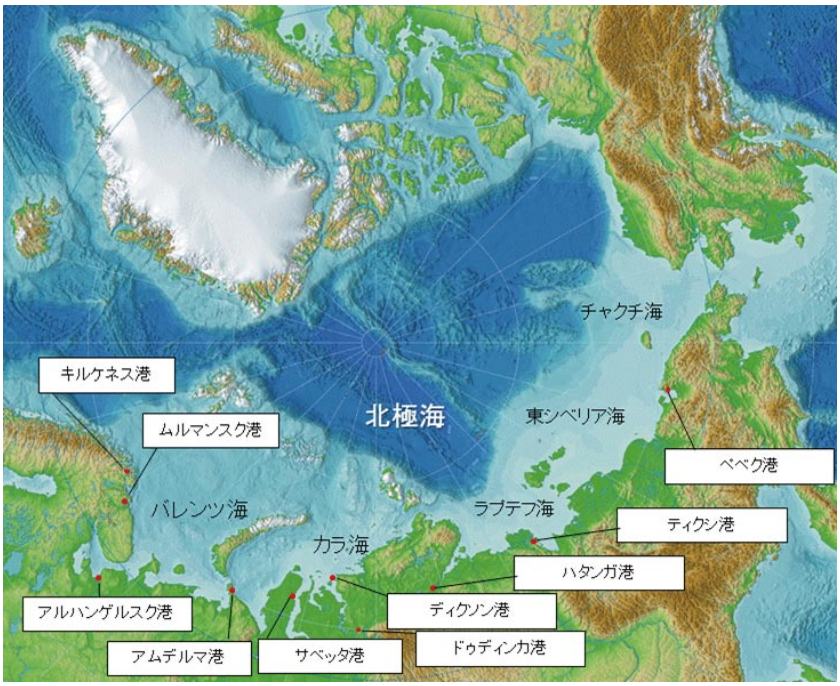


図 1-6 北極海航路周辺の港
（出典：国立極地研究所「北極域 Arctic Region」を基図として利用）

1.2.9 北極海航路の通航ルート

北極海航路とは、ロシア沿岸のユーラシア大陸沿いに北極海を通航するためのルート全般を指した言葉であり、航路標識等によって区分された特定の航路が存在するわけではない。通航船が実際に利用するルートは、北極海航路局（NSRA）又は同局から管制業務を委託された運航管制所等がその都度指示する。

北極海航路局等は通航船が有するアイスクラス、通航船の船型、通航船の喫水、通航船の性能及び操船能力、通航船の仕出港又は仕向港、最新の気象情報及び氷況等を総合的に判断し通航ルートを検討する。したがって、北極海航路を同方向に同時に通航する場合であっても、通航船ごとに指示されるルートが異なることもあり得る。

【北航路】

北極海航路の通航ルートは大きく北航路と南航路の２つに分けられる。北航路はバレンツ海から、ノバヤゼムリヤ北東端のジェラニエ岬の沖合、セベルナヤ・ゼムリヤ北側の海域、ノボシビルスク諸島北端の海域（チホノフ・ルート）、ロング海峡を経てベーリング海峡に至るルートである。北航路は南航路より約 230 マイル短いが、北航路は夏になっても氷が融解しないことも多く、いつでも利用できるとは限らない。

【南航路】

南航路はバレンツ海からノバヤゼムリヤ南側のカラゲイト海峡、セベルナヤ・ゼムリヤ南側のビルキツキー海峡、ノボシビルスク諸島南側のサニコフ海峡、ロング海峡を経てベーリング海峡に至るルートである。

【混合ルート】

最近では氷況等に応じ、北航路及び南航路を適宜組み合わせた混合ルートが指示されることが多い。たとえば、バレンツ海からノバヤゼムリヤ北東端のジェラニエ岬の沖合、セベルナヤ・ゼムリヤ南側のビルキツキー海峡、ノボシビルスク諸島南側のサニコフ海峡、ロング海峡を経てベーリング海峡に至るルートが指示されることがある。このルートは

カラ海までは北航路、カラ海以東は南航路を利用する組み合わせとなっている。

あるいは、バレンツ海からノバヤゼムリヤ南側のカラゲイト海峡、セベルナヤ･ゼムリヤ南側のビルキツキー海峡､ノバヤゼムリヤ北端の海域（チホノフ・ルート）、ロング海峡を経てベーリング海峡に至るルートが指示されることがある。このルートはラプテフ海までは南航路、ラプテフ海以東は北航路を利用する組み合わせとなっている。

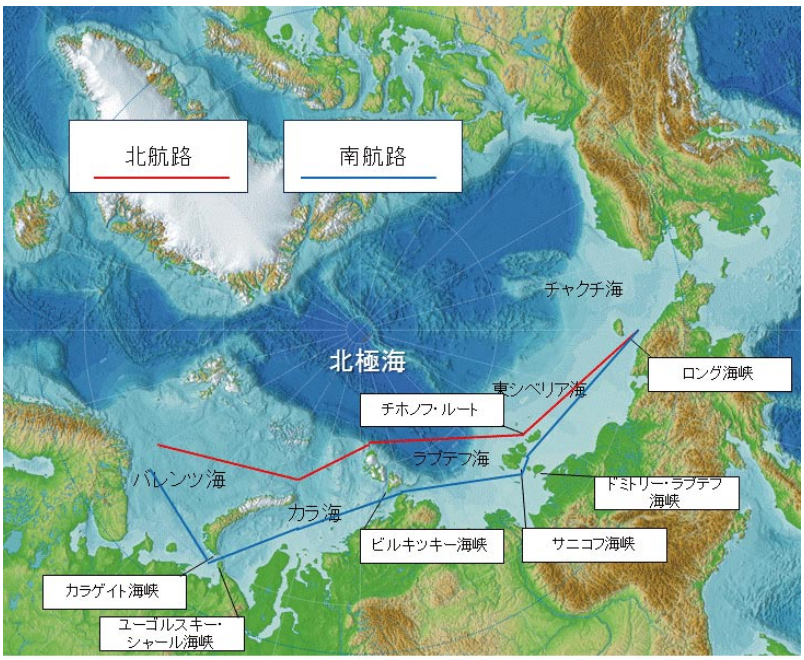


図 1-7 北極海航路の通航ルート
（出典：国立極地研究所「北極域 Arctic Region」を基図として利用）

1.3 気象・海象等に関する基礎知識

近年、地球規模による気候変動が懸念される中、北極海では温暖化の増幅及び氷の減退が加速している。北極域の最近 30 年間の気温上昇状況は、地球全体の平均の 2 ～ 3 倍の大きさで、地球上で気候変動による影響がもっとも

顕著に表れるエリアの一つとなっている。一方、北極海では依然、一般海域では見られない極地ならではの特異な気象現象が発生する。

以下に北極海及び北極海航路の気象・海象等に関する基礎知識について解説する。

1.3.1 気温

北極と南極は同じ極地でありながら、気温には大きな違いがある。南極は厚さ平均 2,000 メートル以上の氷床が覆う大陸であり、平均標高が 2,300 メートルに達する高地である。そのため、南極は北極と比べ低気温となる。南極では 1983 年 7 月に摂氏マイナス 89．2 度、2010 年 8 月にマイナス 93.2 度という低気温が観測されている。

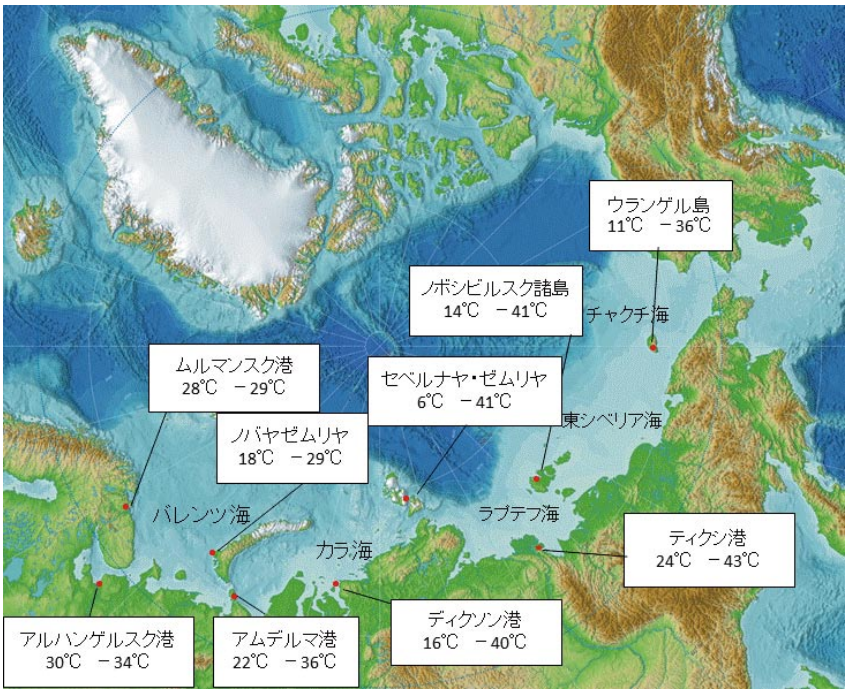


図 1-8 北極海航路の港又は島々における年間最高気温及び年間最低気温の平均値
（出典：国立極地研究所「北極域 Arctic Region」を基図として利用。世界気象機関（WMO）データベースのデータを使用。）

一方、北極は海であるため標高は0メートルである。また、海表面を覆う氷の厚さは平均約2メートル､厚いところでも3～4メートル程度までである。しかも、氷の下の海水の温度は低くてもマイナス2度以上あり、保温材の役割を果たしている。したがって、北極の気温は南極に比べそれほど低くはならない。冬、気温がもっとも低い1～2月、北極海の中央部でも平均気温はマイナス30～35度ほどである。また、夏、気温がもっとも高くなり外航商船の往来が増え始める7～8月、北極海航路周辺の気温はおおよそプラス5～10度まで上がる。温暖な気候に見舞われるとプラス20度を超えることさえある。

世界気象機関（WMO：World Meteorological Organization：WMO）のデータによれば、バレンツ海沿岸のムルマンスク港で観測された年間最高気温の平均値はプラス28度、年間最低気温の平均値はマイナス29度であった（1974年～2009年の平均値)。同じくバレンツ海沿岸のアルハンゲルスク港で観測された年間最高気温の平均値はプラス30度、年間最低気温の平均値はマイナス34度であった（1984年～2009年の平均値)。

ノバヤゼムリヤ西岸で観測された年間最高気温の平均値はプラス18度、年間最低気温の平均値はマイナス29度であった（1984年～2010年の平均値)。

カラ海沿岸のアムデルマ港で観測された年間最高気温の平均値はプラス22度、年間最低気温の平均値はマイナス36度であった（1984年～2010年の平均値)。同じくカラ海沿岸のディクソン港で観測された年間最高気温の平均値はプラス16度、年間最低気温の平均値はマイナス40度であった（1984年～2010年の平均値)。

セベルナヤ・ゼムリヤ西岸で観測された年間最高気温の平均値はプラス6度、年間最低気温の平均値はマイナス41度であった（1984年～2010年の平均値)。

ラプテフ海沿岸のティクシ港で観測された年間最高気温の平均値はプラス24度、年間最低気温の平均値はマイナス43度であった（1984年～2010年の平均値)。

ノボシビルスク諸島北岸で観測された年間最高気温の平均値はプラス14度、年間最低気温の平均値はマイナス41度であった（1984年～2010年の平均値）。

ウランゲル島南岸で観測された年間最高気温の平均値はプラス11度、年間最低気温の平均値はマイナス36度であった（1984年～2010年の平均値）。

1.3.2 極夜・極昼

北極海航路では、冬（秋分から春分までの間）には太陽が1日中現れない日（極夜）、又は昼に比べ夜が極端に長い日が現れる。一方、夏（春分から秋分までの間）には太陽が1日中沈まない日（極昼又は白夜）、又は夜に比べ昼が極端に長い日が現れる。

極夜又は極昼は高緯度ほど継続日数が長くなる。北緯73度付近では年間約80日間の極夜及び約90日間の極昼が現れ、北緯80度付近では約125日間の極夜及び約140日間の極昼が現れる。北緯90度の北極点では約175日間の極夜及び約190日間の極昼が現れる。なお、極昼の日数が極夜の日数と比べ長いのは、太陽が視半径、すなわち一定の大きさを有すること、又、太陽が空気中の光の屈折により水平線下約0.5度にあっても視認できることに起因する。

極夜又は極昼は地球の自転軸が太陽面に対し、23.5度の傾斜を生じているために起こる現象で、北極圏（北緯66度33分以北）もしくは南極圏（南緯66度33分以南）に限って発生する。なお、北極海航路はベーリング海峡付近のごく一部の海域を除き、すべて北極圏内に存在する。

1.3.3 降水量

北極海航路周辺の降水量は、砂漠や中東諸国なみの少なさで、年間100～400ミリメートル程度しかない。冬に比べ夏の降水量が多いのが特徴である。東京の年間降水量は1,500ミリメートル程度なので、その7～26%ほどの少なさである。なお、気温が比較的高い夏は雪ではなく雨となる。

北極海航路周辺の降水量が少ないのは、比較的気温が低いため飽和水蒸気量

が少ないことに起因する。なお、ヨーロッパで発生した煤煙等は、北極海の降水量が少ないため、雪又は雨と共に北極海には落下せず、アラスカにまで達して大気汚染をもたらすとも言われている。

世界気象機関のデータによれば、バレンツ海沿岸のムルマンスク港で観測された年間降水量の平均値は 420 ミリメートル、降水日（1 日の降水量が 0.1 ミリメートル以上の日）の年間平均値は 195 日で、降水量は冬より夏の方が多く、降水日は冬より夏の方が若干少なかった（1986 年～ 2009 年の平均値）。同じくバレンツ海沿岸のアルハンゲルスク港で観測された年間降水量の平均値は 484 ミリメートル、降水日の年間平均値は 168 日で、降水量は冬より夏の方が若干多く、降水日は冬より夏の方が少なかった（1986 年～ 2009 年の平均値）。

ノバヤゼムリヤ西岸で観測された年間降水量の平均値は 259 ミリメートル、降水日の年間平均値は 164 日で、降水量は冬より夏の方が多く、降水日は冬より夏の方が若干多かった（1995 年～ 2010 年の平均値）。

カラ海沿岸のアムデルマ港で観測された年間降水量の平均値は 435 ミリメートル、降水日の年間平均値は 211 日で、降水量は冬より夏の方が多く、降水日は冬より夏の方が若干少なかった（1984 年～ 2010 年の平均値）。同じくカラ海沿岸のディクソン港で観測された年間降水量の平均値は 379 ミリメートル、降水日の年間平均値は 190 日で、降水量は冬・夏ほぼ同じ、降水日も冬・夏ほぼ同じであった（1984 年～ 2010 年の平均値）。

セベルナヤ・ゼムリヤ西岸で観測された年間降水量の平均値は 166 ミリメートル、降水日の年間平均値は 130 日で、降水量は冬より夏の方が多く、降水日は冬・夏ほぼ同じであった（1984 年～ 2010 年の平均値）。

ラプテフ海沿岸のティクシ港で観測された年間降水量の平均値は 328 ミリメートル、降水日の年間平均値は 146 日で、降水量は冬より夏の方が若干多く、降水日は冬・夏ほぼ同じであった（1984 年～ 2010 年の平均値）。

ノボシビルスク諸島北岸で観測された年間降水量の平均値は 219 ミリメートル、降水日の年間平均値は 147 日で、降水量は冬より夏の方が多く、降水日は冬・夏ほぼ同じであった（1984 年～ 2010 年の平均値）。

ウランゲル島南岸で観測された年間降水量の平均値は 183 ミリメートル、降水日の年間平均値は 93 日で、降水量は冬より夏の方が少なく、降水日は冬・夏ほぼ同じであった（1984 年～ 2010 年の平均値）。

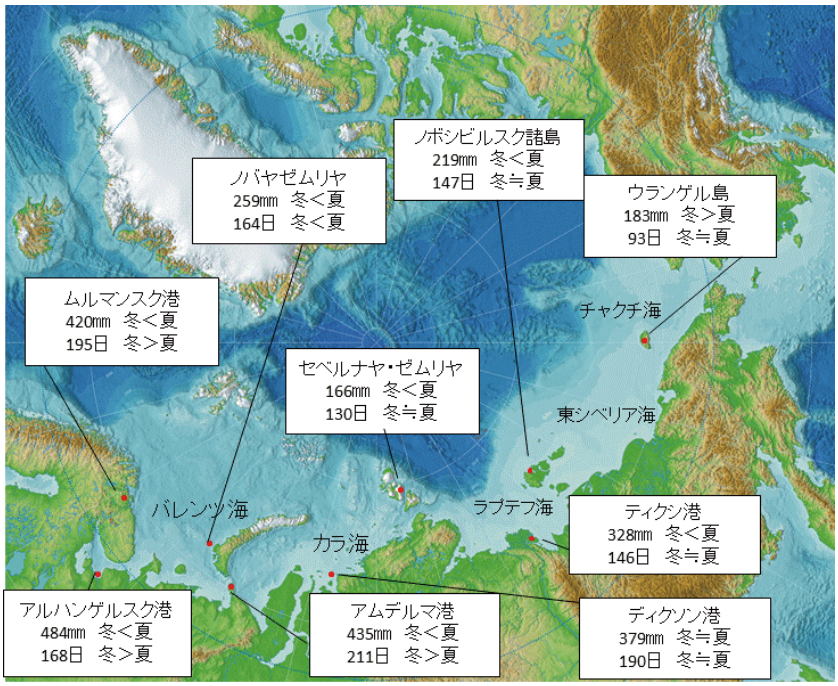


図 1-9 北極海航路の港又は島々における年間降水量及び降水日の平均値
（出典：国立極地研究所「北極域 Arctic Region」を基図として利用。世界気象機関（WMO）データベースのデータを使用。）

1.3.4 積雪量

氷上の積雪は、砕氷船等の砕氷抵抗を増加させ、有効砕氷能力を減少させる障害物となり、最悪の場合、砕氷不能による船体停止に陥らせることもある。また、氷上の積雪は、氷の成長又は融解に大きな影響を与える因子の一つでもある。

北極海航路周辺における氷上の積雪量は、一年氷の場合では 0 ～ 10 センチメートル程度、二年氷等の場合では 12 ～ 18 センチメートル程度である。

ただし、氷どうしが押し合い積み重なってハンモック状に盛り上がった氷丘（Hummock）、又は氷丘がうね状に連なった氷丘脈（Ridge）等は、ブリザードによって周囲の雪が吹き寄せられるため積雪量が多くなる傾向にあり、通常は 60 ～ 100 センチメートル程度、時に 200 センチメートルに達することもある。

1.3.5 北極層雲及び霧

北極海航路周辺では、大陸からの暖かい空気が氷と接し、北極層雲と呼ばれる雲底高度 500 メートル以下の低い雲又は霧が発生しやすいのが特徴である。特に夏は晴天の日がほとんどなく、概ね 70 ～ 80％の確率で北極層雲又は霧に覆われたどんよりとした天気が続く。一方、冬は北極層雲等の発生確率が 20 ～ 40％程度に低下する。また、開放水面と海氷域との境界付近では、厳しい濃霧に遭遇することがあるので特に注意を要する。

なお、最近の北極海では夏、氷の減少によって現れた海面と冷たい氷との間の寒暖差によって、海面から大気への熱及び水蒸気の供給が盛んになるため、北極層雲又は霧ではなく、雲底高度が高い対流性の雲が発生することも珍しくない。

世界気象機関（WMO）のデータによれば、バレンツ海沿岸のムルマンスク港で観測された霧発生日の年間平均値は 17 日で、春から夏にかけての発生が多かった（1974 年～ 2009 年の平均値）。同じくバレンツ海沿岸のアルハンゲルスク港で観測された霧発生日の年間平均値は 20 日で、春から夏にかけての発生が多かった（1984 年～ 2009 年の平均値）。

ノバヤゼムリヤ西岸で観測された霧発生日の年間平均値は 24 日で、春から夏にかけての発生が多かった（1984 年～ 2010 年の平均値）。

カラ海沿岸のアムデルマ港で観測された霧発生日の年間平均値は 60 日で、春から夏にかけての発生が多かった（1984 年～ 2010 年の平均値）。同じくカラ海沿岸のディクソン港で観測された霧発生日の年間平均値は 45 日で、夏から秋にかけての発生が多かった（1984 年～ 2010 年の平均値）。

セベルナヤ・ゼムリヤ西岸で観測された霧発生日の年間平均値は 25 日で、夏の発生が多かった（1984 年～ 2010 年の平均値）。

ラプテフ海沿岸のティクシ港で観測された霧発生日の年間平均値は 20 日で、夏の発生が多かった（1984 年～ 2010 年の平均値）。

ノボシビルスク諸島北岸で観測された霧発生日の年間平均値は 19 日で、夏の発生が多かった（1984 年～ 2010 年の平均値）。

ウランゲル島南岸で観測された霧発生日の年間平均値は 34 日で、夏から秋にかけての発生が多かった（1984 年～ 2010 年の平均値）。

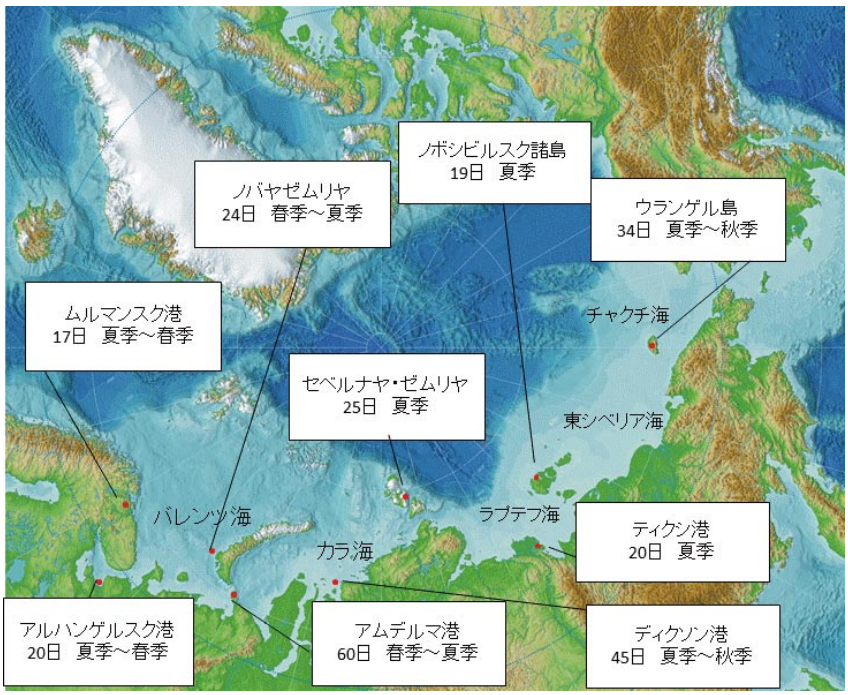


図 1-10 北極海航路の港又は島々における霧発生日の平均値
（出典：国立極地研究所「北極域 Arctic Region」を基図として利用。世界気象機関（WMO）データベースのデータを使用。）

1.3.6 アークティックヘイズ

北極海航路周辺では、春先、アークティックヘイズ（Arctic haze）と呼ばれるスモッグ（煙霧）がたびたび発生する。アークティックヘイズが発生すると視程は数マイル程度まで低下してしまう。

一般にスモッグは大気汚染物質が大気中に浮遊する現象で、近年、中国、ブラジル（Brasil）、インド（India）等の都市部で発生し深刻な社会問題となっている。我が国でも昭和時代の高度成長期、工業地帯などで発生し、人の健康又は生活環境に被害を与える公害問題となった。

なお、アークティックヘイズの発生原因は北半球で排出された排気ガス及び煤煙等であると言われている



写真 1-1 アークティックヘイズ（国立極地研究所提供）

1.3.7 低気圧

冬、北極海の低気圧の代表的な進路としては、アイスランド（Iceland）方面又は白海方面から進入しバレンツ海、カラ海及びラプテフ海に至り、さらには東シベリア海、チャクチ海方面に抜けて行くものがある。また、ノルウェー海方面から進入しスバールバル諸島に至るもの、ベーリング海峡

から進入しチャクチ海方面を北上して行くもの、ラプテフ海から進入するもの等もある。

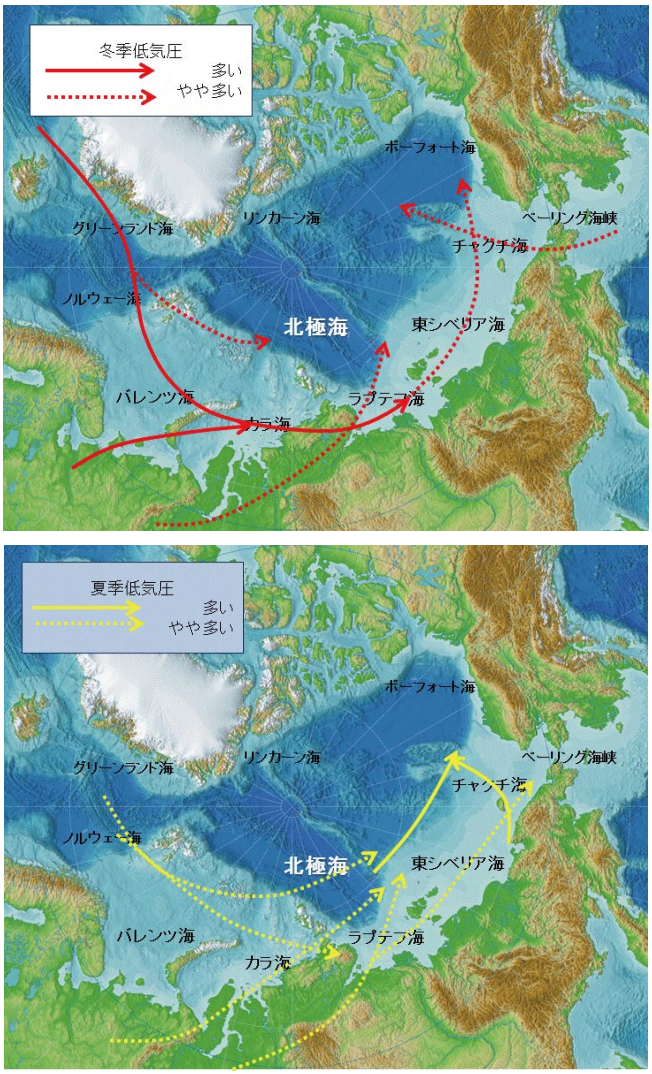


図 1-11 北極海の低気圧の代表的進路
（出典：国立極地研究所「北極域 Arctic Region」を基図として利用。英国海洋情報部「北極海水路誌」のデータを使用。）

夏、北極海の低気圧の代表的な進路としては、ラプテフ海又は東シベリア海の北部で発生し東進して行くもの、シベリア沿岸で発生しチャクチ海方面を北上して行くもの等がある。また、グリーンランド海又はノルウェー海方面から進入し、スバールバル諸島を経てカラ海又はラプテフ海方面に至るもの、ロシア沿岸部から進入しカラ海、ラプテフ海又は東シベリア海方面を東進するもの等がある。

従来、夏の北極海では晴天は少ないものの、風の弱い穏やかな日が続くのが特徴であったが、近年、氷の減少に伴い発生した対流性の雲が鉛直方向に発達し、低気圧が発生しやすくなっている。特に氷の減少が著しい年ほど低気圧の活動は活発となる。中緯度で発生し北極海に進入するのではなく、北極海内の極前線帯の極側、すなわち海氷域の先端付近で発生するこうした低気圧のことを北極低気圧又はポーラーロー（Polar low）と呼ぶ。北極低気圧は直径 400 ～ 600 キロメートル未満と小型であること、暖気を持たず寒気のみで構成され前線を持たないこと、渦を巻いていること、急激に発生・発達・消滅すること等が特徴である。北極低気圧は激しい暴風雨雪を伴い、北極海に荒天をもたらし船舶の通航に支障を与える。時に台風並みに発達することもある。北極海航路を利用する船舶は十分な警戒が必要である。

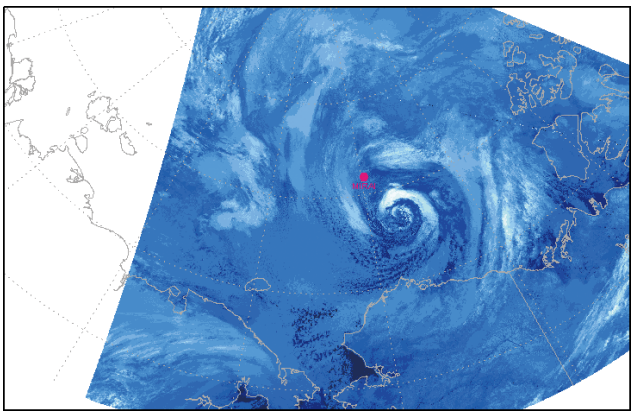


写真 1-2　2010 年 9 月 25 日、海洋地球研究船みらいで取得された
北極低気圧の衛星画像（猪上淳氏提供）

また、発達した低気圧による強風が氷を移動させ北極海の外に押し出すことによって、北極海の氷がますます減少すると言われている。北極低気圧による氷の移動は地球規模の気候変動にも影響を与えている。

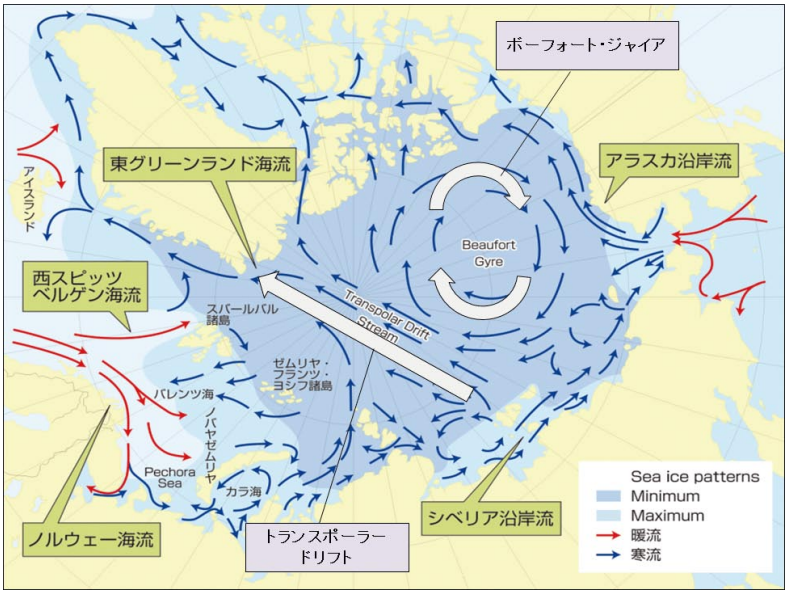


図 1-12 北極海の氷の動きと表層海流
（出典：CraftMAP　http://www.craftmap.box-i.net/ を基図として利用。「Arctic Ocean currents and sea ice extent. Map courtesy of Phillippe Rekacewicz、UNEP/GRID-Arendal.」を参考に作成。）

1.3.8 氷の動きと表層海流

北極海には主要な２つの氷の動きが存在する。１つ目がボーフォート・ジャイア（Beaufort Gyre）と呼ばれる北米大陸沖のカナダ海盆で見られる時計回りの循環である。２つ目がトランスポーラー・ドリフト（Transpolar Drift）と呼ばれるもので、ロシア沿岸のラプテフ海及び東シベリア海方面から、北極点に向けて北上した後、グリーンランド北東部のフラム海峡（Fram Strait）方面に抜ける直線的な動きとなっている。

北極海の表層海流は、これら２つの氷の動きによって駆動されるもののほか、海岸線又は大陸棚の斜面に沿って流れる沿岸流に分類できる。前者の海流は

氷の動きに類似した様相を呈している。すなわち、１つ目の海流はボーフォート・ジャイアと同様、北米大陸沖のカナダ海盆をゆっくりと時計回りに循環している。流速は循環中心の南側と西側で速く、北側と東側では緩やかである。

また、後者の沿岸流の代表的なものとしては、北大西洋を北上してきた暖流がスカンジナビア半島（Scandinavian peninsula）沿いにバレンツ海に入るノルウェー海流、スカンジナビア半島を離れ北上しフラム海峡東水道を通じて北極海に流れ込む西スピッツベルゲン海流（West Spitsbergen Current）、北極海からグリーンランド東海岸沿いにグリーンランド海に流れ出る東グリーンランド海流、暖かい太平洋の水がチャクチ海のアラスカ沿岸に沿って北上するアラスカ沿岸流（Alaska Coastal Current）、チャクチ海のシベリア沿岸に沿ってベーリング海峡方向に向かうシベリア沿岸流（Siberian Coastal Current）等がある。

なお、北極海航路をヨーロッパ方面から東に向かって航行する場合、バレンツ海からカラ海、ラプテフ海及び東シベリア海までは、概ね表層海流に従って進むこととなる。ただし、北極海航路はユーラシア大陸に連なる比較的水深の浅い大陸棚の上を通っているため、その周辺には季節又は風向等によって複雑に変化する流れがあることが予想されるので注意が必要である。北極海航路周辺の流速は海峡等の狭水道を除き全般的にそれほど速くなく、最強でも 0.5 ～ 1 ノット程度までである。

1.3.9 海水温

夏、北極海航路周辺の海水温度は概ね摂氏プラス５度以上、低くてもマイナスになることはない。なお、バレンツ海では北大西洋から流れ込む暖流の影響を受けるためプラス 10 度以上になることもある。

冬、カラ海からラプテフ海、東シベリア海及びチャクチ海に至るまでの広い範囲で海水温度はマイナスとなり、最大マイナス２度まで下がる。なお、暖流の影響を受けるバレンツ海（及びカラ海の一部）では概ねプラスとなり、最大

プラス５度以上になる。

1.3.10 うねり

北極海航路周辺海域は、低気圧が発生又は発達した場合等を除き、比較的穏やかであるため、うねりは比較的小さい。また、低気圧に遭遇し強風に見舞われた場合であっても、沖合の氷が障害物となって風の吹走距離が短くなるため、大きなうねりになりにくいのが特徴である。

なお、うねり及び波は氷盤又は定着氷を粉砕し、もしくはこれらを融解する効果がある。慣れてくると、うねりの進入状況等を観察することにより、氷縁までの距離、又は海氷域の氷の密接度を推定することができる。

1.3.11 風

世界気象機関（WMO）のデータによれば、バレンツ海沿岸のムルマンスク港で観測された強風、すなわちビューフォート（Beaufort）風力階級７（相当風速 28 ～ 33 ノット：13.9 ～ 17.1m/s）以上の風の発生日数は年間７日間で、夏より冬の方が多かった。また、冬の強風の風向は概ね南寄り、夏の強風の風向は概ね南寄り又は北寄りであった（1974 年～ 2009 年の平均値）。同じくバレンツ海沿岸のアルハンゲルスク港で観測された強風の発生日数は年間１日未満であった（1984 年～ 2009 年の平均値）。

ノバヤゼムリヤ西岸で観測された強風の発生日数は年間 75 日間で、夏より冬の方が多かった。また、冬の強風の風向は概ね東寄り又は南寄りで、夏の強風の風向は概ね東寄り又は北寄りであった（1984 年～ 2010 年の平均値）。カラ海沿岸のアムデルマ港で観測された強風の発生日数は年間 20 日間で、夏より冬の方が多かった。また、冬の強風の風向は概ね南寄りで、夏の強風の風向は概ね東寄り又は南寄りであった（1984 年～ 2010 年の平均値）。同じくカラ海沿岸のディクソン港で観測された強風の発生日数は年間 16 日間で、夏より冬の方が多かった。また、冬の強風の風向は概ね南寄りで、夏の強風の風向は概ね北東寄り又は南寄りであった（1984 年～ 2010 年の平均値）。

セベルナヤ・ゼムリヤ西岸で観測された強風の発生日数は年間 4 日間で、夏より冬の方が多かった。また、冬の強風の風向は概ね東寄りで、夏の強風の風向は概ね北東寄りであった（1984 年～ 2010 年の平均値）。

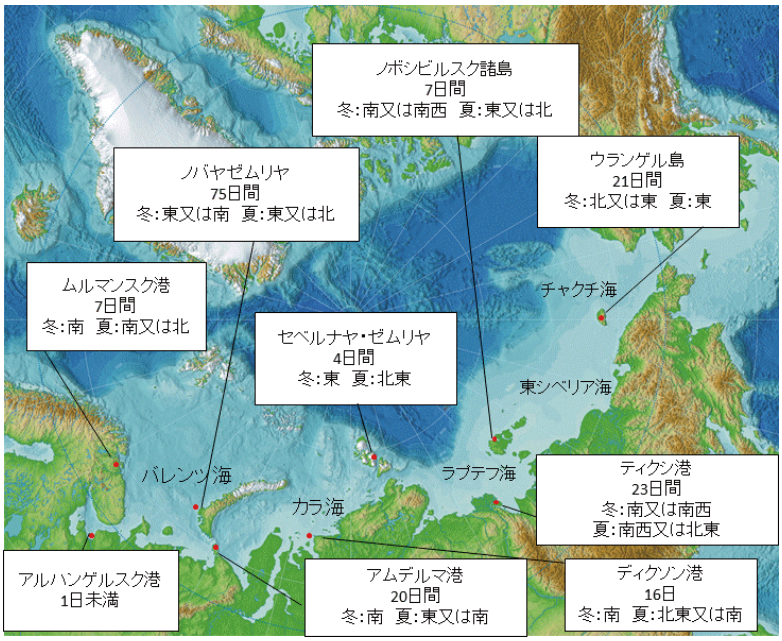


図 1-13 北極海航路の港又は島々における強風発生日数の平均値及び風向
（出典：国立極地研究所「北極域 Arctic Region」を基図として利用。世界気象機関（WMO）データベースのデータを使用。）

ラプテフ海沿岸のティクシ港で観測された強風の発生日数は年間 23 日間で、夏より冬の方が多かった。また、冬の強風の風向は概ね南又は南西寄りで、夏の強風の風向は概ね南西寄り又は北東寄りであった（1984 年～ 2010 年の平均値）。

ノボシビルスク諸島北岸で観測された強風の発生日数は年間 7 日間で、夏又は冬ほぼ同じ割合であった。また、冬の強風の風向は概ね南寄り又は南西寄りで、夏の強風の風向は東寄り又は北寄りであった（1984 年～ 2010 年の平均値）。

ウランゲル島南岸で観測された強風の発生日数は年間 21 日間で、夏より冬の方が多かった。また、冬の強風の風向は概ね北寄り又は東寄りで、夏の強風の風向は概ね東寄りであった（1984 年～ 2010 年の平均値）。

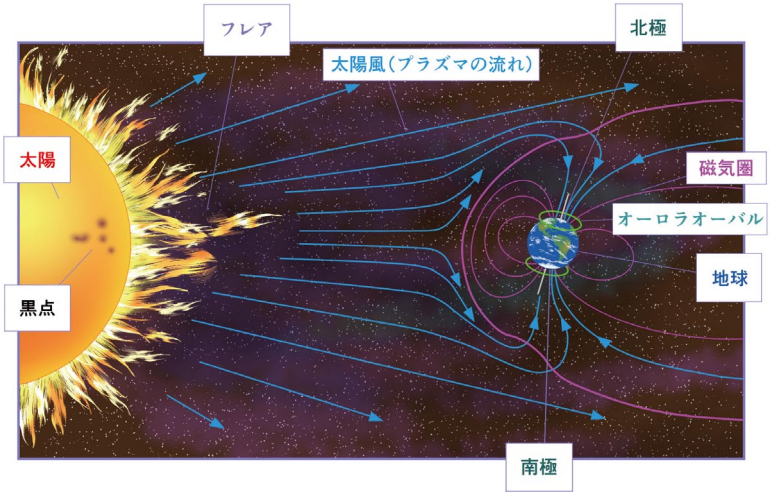


図 1-14 オーロラ発生のメカニズム

1.3.12 オーロラ

空にゆらめく幻想的で壮大な風景のオーロラ（Aurora）は極光、北極光等とも呼ばれ、極地でしか見られない自然現象である。太陽は太陽フレア（Solar flare）と呼ばれる表面爆発、又、表面大気であるコロナ（Corona）の大規模な放出が起きると、太陽風と呼ばれる電離した粒子（プラズマ：Plasma）を高速で放出する。このプラズマは地球の磁気圏に到達すると、磁場の影響を受けて極地に運ばれる。極地は磁力線が束となっているためである。プラズマが極地の地上 100 ～ 500 キロメートルの高さで、大気中の原子や分子と衝突して発光する現象がオーロラである。ブラウン管、蛍光灯、ネオンサイン等と発光原理は同じである。プラズマが大気中の酸素原子と衝突すると緑又は赤に光り、窒素原子やイオンと衝突すると紫又は青に光る。

オーロラは北極点付近ではあまり発生せず、地球の磁極を楕円形に取り囲む

オーロラ帯と呼ばれるベルト状のエリアで多く発生する。オーロラ帯の緯度は概ね 65 度から 70 度までであり、スウェーデン（Sweden）のキルナ（Kiruna）、ノルウェーのトロムソ（Tromsø）、アラスカのフェアバンクス（Fairbanks）、カナダのイエローナイフ（Yellowknife）等がこのエリアに属していて、オーロラ観測の名所として世界中から観光客が訪れている。オーロラ帯では年間概ね 100 日間の高確率でオーロラが発生すると言われている。北極海航路はほぼ全航程がオーロラ帯の中にある。なお、宇宙から地球を見た時、その瞬間にオーロラが出現している場所のことをオーロラオーバル（Aurora oval）と言う。オーロラ帯とオーロラオーバルが一致するとは限らない。

ところで、オーロラが激しく動きながら爆発的に広がると、しばしば、電磁気的な擾乱が活発化して磁気嵐が発生することがある。これはオーロラ嵐と呼ばれる現象で、大気中に放出される数 10 万から数 100 万アンペアに及ぶ高電流のため、地表面に磁場変動等がもたらされ、船舶の通信機器又は航海計器等に悪影響を及ぼすことがあるので注意が必要である。

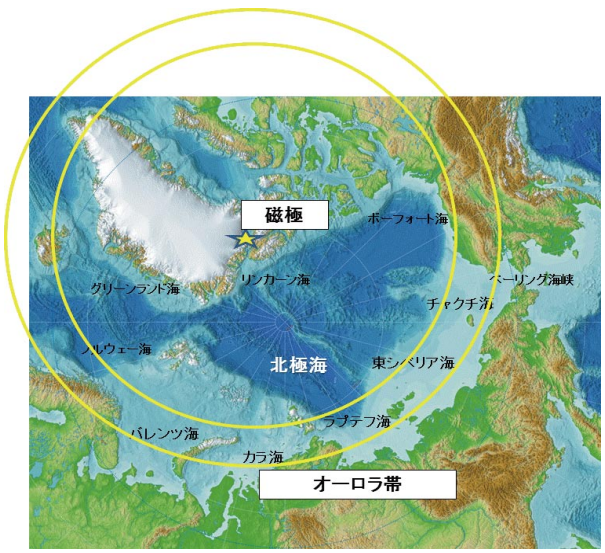


図 1-15 北極のオーロラ帯
（出典：国立極地研究所「北極域 Arctic Region」を基図として利用。）

2. 海氷に関する基礎知識

地球表面に存在する氷の体積全体の約 90%は南極大陸の氷床で、又、約 9%がグリーンランドの氷床である。残り 1%が海氷又は高山の雪氷である。すなわち、海氷の体積は、地球表面に存在する全ての氷の体積の 1%にも満たないほどのわずかな量である。しかしながら、海氷の面積は南極大陸又はグリーンランドの氷床等、陸氷の面積とほぼ同じである。地球上の海の約 10%が凍結するが、海氷は陸氷に比べ極めて薄く、地球温暖化の影響を強く受けやすいのが大きな特徴である。

氷海経験がない又は少ない運航者にとって、海に浮かぶ氷はもっとも厄介な航路障害物の一つであり、その存在又は存在の可能性は大きな脅威となろう。しかしながら、北極海航路を安全に航行するため必要な専門的な知識又は特別な技術等を修得し確実に実践するためには、まずは相手の正体を正確に知ること、すなわち、氷に関する正しい知識を基本から学ぶことが不可欠である。以下に海氷に関する基礎知識について解説する。

2.1 北極海の海氷

冬、北極海の氷は毎年 3 月頃にもっとも発達する。暖流が流れ込むバレンツ海等を除き、北極海のほぼ全域が凍結する。春を迎え 5 月頃になると氷は融解し始める。夏を迎え 9 月頃になると北極海の中央部に向かって氷がもっとも後退し、氷の面積は最小となる。北極海航路周辺は、場所によってはまったくの無氷状態となり、航路利用の最盛期を迎える。そして、10 ～ 11 月頃になると再び凍結を開始するというサイクルを繰り返している。

なお、北極海航路で遭遇する氷の厚さは、冬にあっては 2.0 メートル程度、夏にあっては 0.5 メートル程度のものがもっとも多く見られる。ただし、厚さ 5 メートル以上に成長した小さな氷山のような多年氷に遭遇する可能性もあり油断はできない。

北極海航路周辺海域のうち、バレンツ海からカラ海の南西部に至るまでの海域は、北大西洋から流れ込む暖流の影響を受けるため、一年中氷がない状態が

続く。一方、カラ海からラプテフ海、さらに東シベリア海に至る海域は比較的寒冷な気候で、また、ロシア沿岸の各大河から大量の淡水が流れ込んでいるため、氷が発達しやすくなっている。特にカラ海とラプテフ海の間の海域、セベルナヤ・ゼムリヤの島々周辺の海域、東シベリア海の西部海域等の氷況がもっとも過酷で、夏でも氷が融解せず残ることがある。また、東シベリア海の東のチャクチ海では、北太平洋から流れ込む温暖な海水の影響を受けるため、海氷が存在しない期間は長くなっている。

図 1-16 に示したように、北極域の海氷域面積は人工衛星による観測が始まった 1979 年頃から減少傾向が続き、1998 年以降は減少が加速している。北極域の気温上昇は、地球全体の平均の 2 ～ 3 倍も大きい数字となっている。当初、夏の氷の減少傾向が目立ったが、2004 年以降は冬の氷も大きく減少している。

2007 年の夏には、北極海航路周辺の氷がほとんど消滅してしまった。また、図 1-17 に示したように、2012 年 9 月 16 日には、北極域の海氷域面積が 1978 年の衛星観測の開始以降、最小となる 3.44×10^6㎢を記録した。1980 年の夏の海氷域面積が 7.89×10^6㎢であったので、約 30 年で半分以下となってしまった。

現在、こうした氷の減少の原因に関する研究が進められており、地球温暖化に加え、北極海の海流の変化に起因する海の温暖化、低気圧の強化と襲来頻度の増加等が指摘されている。なお、北極海の氷の減少は、地球の熱バランスに大きく影響を与え、偏西風の異常な蛇行などを引き起こし、世界各地に異常気象をもたらす要因になっているとも考えられている。

なお、北極海航路を安全に航海するためには、気象又は海象予測と併せ、海氷予測に関する情報収集が必要不可欠である。海氷予測には目的別に以下の 3 種類があり、船舶の運航実務者が主に活用するのはこのうち短期予測及び中期予測である。

【短期予測】

数日内から 1 週間程度先までの海氷予測で、北極海航路利用時における

日々のルート選定等に必要となる。数値天気予報及び海洋・海氷数値モデルを用いた計算等により予測する。

【中期予測】

数ヶ月先までの海氷予測である。当該年における北極海の航行の容易性を早期に判断し、配船計画等を立案するために必要となる。

数値天気予報等を用いた計算では精度が悪く実用に供せないため、冬における海氷の衛星リモートセンシングデータの高度解析及び経験的又は統計的な手法を組み合わせた方法等により予測する。

【長期予測】

1年から数10年先までの海氷予測である。北極航路を利用する船舶の建造計画又は港湾整備等の意思決定のために必要となる。

地球温暖化予測に用いられている気候モデルの細密化及び高精度化等により達成する。

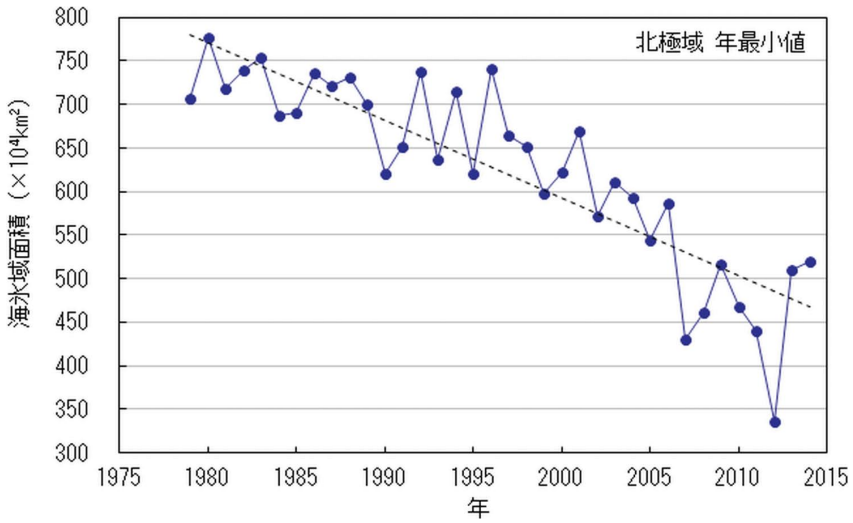


図 1-16 北極域の海氷域面積の年最小値の経年変化 /1979 年～ 2014 年
（出典：気象庁ウェブサイト）
※海氷域面積とは氷の密接度が 15%以上の海域の面積のこと。青色の折れ線は北極域年最小値の海氷域面積の経年変化を示す。点線は変化傾向。

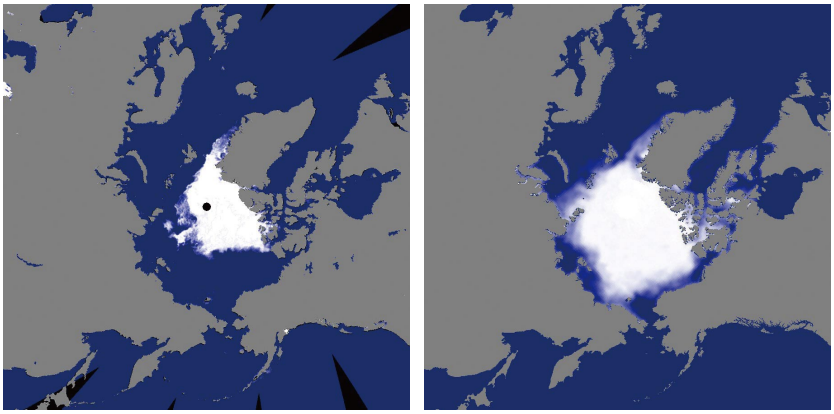


図 1-17 北極海の夏の海氷域面積の比較
（左：2012 年 9 月 16 日 / 右：1980 年代の 9 月最小時期の平均的分布）
提供　宇宙航空研究開発機構（JAXA）（出典：ウェブサイト 「人工衛星プロジェクト最新情報詳細 2012 年 9 月 20 日　－北極海の海氷面積　観測史上最小記録を更新－」）

2.2 氷の種類及び用語

氷に関しては世界気象機関（WMO）等が定めた多くの専門用語がある。北極海航路を航行する際、砕氷船又は運航管制所との交信等で使用される可能性があるので覚えておくと良い。

2.2.1 氷の種類に関する用語

水に浮いているあらゆる形態の氷のことを浮氷（Floating ice）と言う。浮氷には海水が凍結して形成され海で見られる海氷（Sea ice）のほか、陸上又は棚氷で形成され水に浮いている陸氷（Ice of land origin）、観測された場所に関係なく湖で形成された湖氷（Lake ice）、観測された場所に関係なく河川で形成された河氷（River ice）等がある。陸氷には浅瀬又は陸に乗り上げ、あるいは接岸している氷も含まれる。

海氷のうち、海岸等に定着している海氷のことを定着氷（Fast ice）と言い、定着氷以外の海氷のことを流氷（Drift ice 又は Pack ice）と言う。この場合の流氷は学術用語であり、日本で使われている話し言葉としての流氷（海氷のみならず湖氷又は河氷までを含めた氷のこと。学術用語の浮氷に相当する）とは異なる。

なお、北極海航路及びその周辺海域で遭遇する氷のほとんどは学術用語で言うところの流氷である。ただし、稀ではあるが、氷河から分離した氷山等の陸氷、沿岸部の湖から流出した湖氷、レナ川等の大河から流出した河氷等に遭遇する可能性もある。

そこで、本書では混乱を避けるため、学術用語の流氷は本章に限り使用することとした。また、第二章及び第三章では、北極海航路及びその周辺海域に存在する氷のことを発生源等に関わらず一律に海氷と呼ぶこととした。

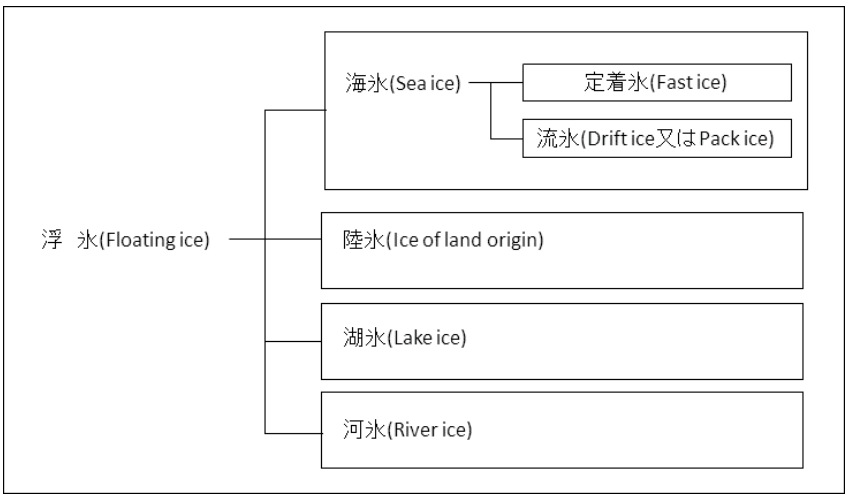


図 1-18 氷の種類に関する用語の分類

2.2.2 海氷の発達過程に関する用語

海氷の発達過程に関しては以下のような用語が使用される。

【ニューアイス（New ice）／新成氷】

新しくできた氷に対する総称で、晶氷、グリース・アイス、雪泥、スポンジ氷等が含まれる。この種の氷は凍結しているものの、ごくわずかの氷の結晶から形成されていて、形を作るほど固くはない状態。浮いている場合のみ一定の形になっている。

・〈晶氷（Frazil ice)〉・・・水中を浮遊する微細な針状又は板状の氷の結晶。海水が凍結温度以下まで冷却されると晶氷が発生する。
・〈グリース・アイス（Grease ice)〉・・・晶氷より後の凍結段階で、氷の結晶群が互いに集まり海面を覆い、スープ状の層を作っている状態。あまり光を反射しないので海面はにぶく、どろりとした状態となる。
・〈雪泥（Slush)〉・・・陸上又は氷上で水分を十分含んだ雪、もしくは多量の降雪の後に水中を浮遊するねばねばした雪の塊のこと。
・〈スポンジ氷／海綿氷（Shuga)〉・・・直径数センチメートルの海綿状の白い氷の集合体のこと。グリース・アイス、雪泥等が海面に浮上して形成される。密度を増した結晶群が波間に揺られて離集合を繰り返している状態で、まるでイワシ等の小魚の群れのように見えることがある。

【ニラス（Nilas)】

膜状の結晶群が板状にまで成長した状態のもの。表面が硬くなり弾力が生じるが、厚さはまだ10センチメートル未満である。表面は光沢がなく灰色に見える。波及びうねりの作用で簡単に変形する。横方向から強く押されると、指を組み合わせたような形に重なり合う。明るさによって以下のように分類される。

・〈暗いニラス（Dark nilas)〉・・・厚さ5センチメートル未満。まだ、氷厚が薄く海水を透過しているため暗く見える。
・〈明るいニラス（Light nilas)〉・・・厚さ5センチメートル以上。氷厚がやや増すため白く明るく見えてくる。

【氷殻（Ice rind)】

穏やかな海面で直接結氷することによって、又はグリース・アイスから形成される。表面は硬く光沢を持ち明るく見える。厚さは約5センチメートルである。風及びうねりの作用によって容易に割れ、しばしば矩形の氷片になる。通常、河口付近等において塩分の低い海水から形成される。

【いかだ氷（Rafted ice)】

ニラスどうしが重なり合い、さらに厚さを増した氷板が形成される。うね

りの作用による垂直運動、風の作用による水平運動によって、“いかだ”を組み合わせたような姿に変形することからいかだ氷と言う。

【パンケーキアイス（Pancake ice）／ハス葉氷】

氷どうしが互いにぶつかり合い、縁がハスの葉状にまくれ上がり、ほぼ円盤状となった氷である。直径 30 センチメートルから 3 メートル、氷厚は約 10 センチメートル前後になる。色は白又は灰色である。

グリース・アイス、雪泥又はスポンジ氷の新成氷から弱いうねりの作用によって形成されたり、氷殻やニラスが壊れて形成されたり、波及びうねりの激しい時は薄い板状軟氷が壊れたりして形成される。また、しばしば、一定の深さで物理的性質の異なった水塊間の境界面で形成され、表面に浮いてくることがあり、急速に広い海面を覆う。



写真 1-3 外力による変形作用によるいかだ氷（島田浩二氏提供）

【ヤングアイス（Young ice）／板状軟氷】

ニラスから一年氷への移行の段階で、厚さは 10 ～ 30 センチメートルの氷のこと。パンケーキアイスなどが互いに擦れ合って、ハスの葉の縁が持ち上がるとともに、互いに重なり合って厚みを増してゆくことによって

形成される。氷厚によって以下のように分類される。

・〈グレーアイス（Grey ice）／薄い板状軟氷〉・・・厚さ 10 ～ 15 センチメートルの板状軟氷で灰色をしている。ニラスより弾力がなく、うねりによって破壊される。横からの圧力によって積み重なることが多い。

・〈グレーホワイトアイス（Grey-white ice）／厚い板状軟氷〉・・・厚さ 15 ～ 30 センチメートルの板状軟氷で灰白色をしている。横からの圧力によって積み重なるよりも、隆起して氷丘脈（圧力によって作られ壊れた氷の山脈状又は壁状の部分）を形成することが多い。



写真 1-4 ハスの葉のようなパンケーキアイス（島田浩二氏提供）

【一年氷（First-year ice）】

ヤングアイスがさらに発達したものの、一冬より長い時間を経過していないものを一年氷と言う。色は概ね白色で厚さは 30 ～ 200 センチメートル程度となる。氷厚によって以下のように分類される。

・〈薄い一年氷（Thin first-year ice）〉・・・厚さ 30 ～ 70 センチメートルのもの。

・〈並の一年氷（Medium first-year ice)〉・・・厚さ 70 ～ 120 センチメートルのもの。

・〈厚い一年氷（Thick first-year ice)〉・・・厚さ 120 センチメートル以上のもの。

なお、北極海航路を利用する外航商船が遭遇する氷のほとんどがこの一年氷までである。ロシア沿岸のユーラシア大陸沿いに設定された航路上で、それ以上に発達した氷に遭遇することはそれほど多くはない。



写真 1-5 厚みを増したヤングアイス（舘山一孝氏提供）

【古い氷（Old ice)】

一年氷が融解せず、少なくとも一夏以上残ったものが古い氷である。厚さは 2.5 ～ 3 メートル以上に達する。古さによって以下のように分類される。

・〈二年氷（Second-year ice)〉・・・一夏融解せず海面に残った古い氷のこと。氷厚は 2.5 メートル程度までである。表面には夏の気温上昇等によって氷が融解して形成された規則的なパドル（Puddle ／水たまり）が多数存在する。積雪のある部分は白色、積雪のない部分もしくはパドル部分は緑青色である。

・〈多年氷（Multi-year ice)〉・・・少なくとも二夏融解せず海面に残った古い氷のこと。氷厚は 3 メートル以上に達する。表面のパドルは大きく不規則な形状となっている。積雪のある部分は白色、積雪のない部分もしくはパドル部分は青色である。

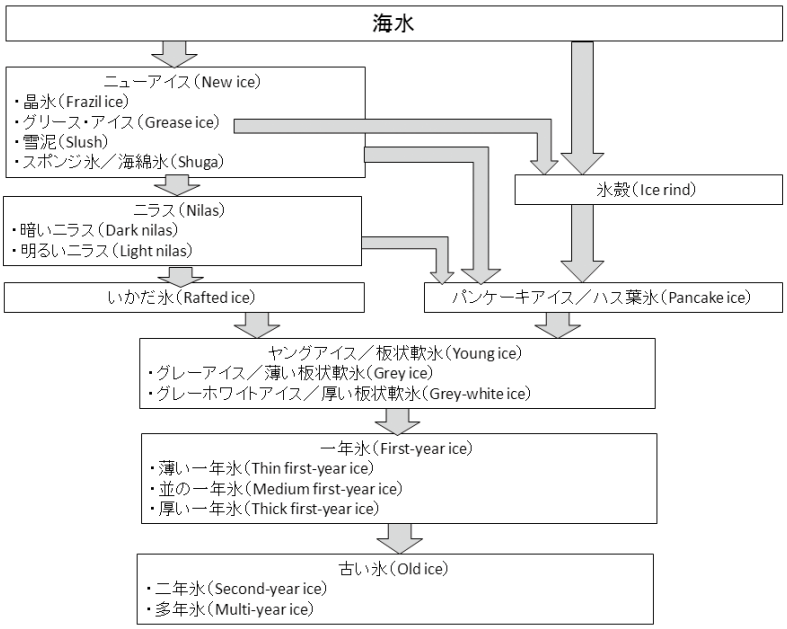


図 1-19 海氷の発達過程に関する用語の分類

2.2.3 定着氷の形態に関する用語

海氷は海岸等に定着している定着氷及びそれ以外の流氷の 2 種類に分類される。

定着氷は海岸や氷河壁、浮氷壁等に接して定着している海氷で、座礁している氷山の間を埋めて動かない海氷も含まれる。定着氷はその場の海水が凍結するか、又は流氷が海岸に固着することによって形成され、水位の変化によって垂直な上下動が見られる。幅は狭いもので海岸から数メートルから、広いものだと数 100 キロメートルに達する。その他、定着氷に関しては以下のような用

語が使用される。

【初期沿岸氷（Young coastal ice）】

ニラス又はヤングアイスによって形成された初期段階の定着氷のこと。幅は海岸線から数メートルから 100 ～ 200 メートルに及ぶ。

【氷脚（Ice foot）】

海岸線に沿って固着した狭く長い氷の帯のこと。波打ち際に沿って細長く伸び、まるで氷の壁のように見える。潮汐によって動かされることもない。定着氷が動き去った後も融解せず残っている部分。

【いかり氷（Anchor ice）】

海底に接触又は固着している水中に存在する氷のこと。

【座礁氷（Grounded ice）】

浅瀬に乗り揚げた状態の浮氷のこと。

【座氷（Stranded ice）】

満潮が終わった後も海岸に居座り続けている浮氷のこと。

【座礁氷丘（Grounded hummock）】

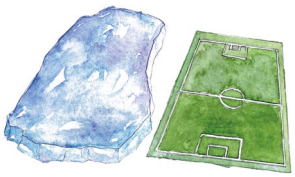
座礁氷が氷丘状に連なったもの。単独のものと線状（又は鎖状）のものとがある。

2.2.4 流氷の形態に関する用語

海氷のうち定着氷以外のすべてのものを学術用語として流氷と言う。その形態又は配置等は関係しない。英語では氷の密接度が 7/10 以上の場合、“Drift ice” の代わりに “Pack ice” を用いても良いとされている。流氷の形態に関しては以下のような用語が使用される。

【パンケーキアイス（Pancake ice）／ハス葉氷】

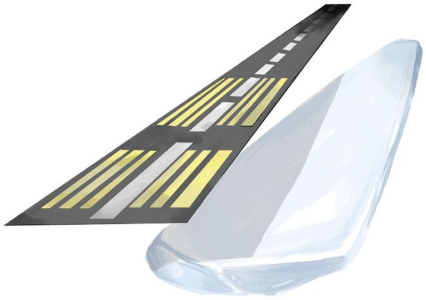
前述のとおり、海氷の発達過程のうちの一つ。氷どうしが互いにぶつかり合い、縁がハスの葉状にまくれ上がり、ほぼ円盤状となって浮かんでいる流氷のこと。直径 30 センチメートルから 3 メートル、氷厚は約 10 センチメートル前後である。



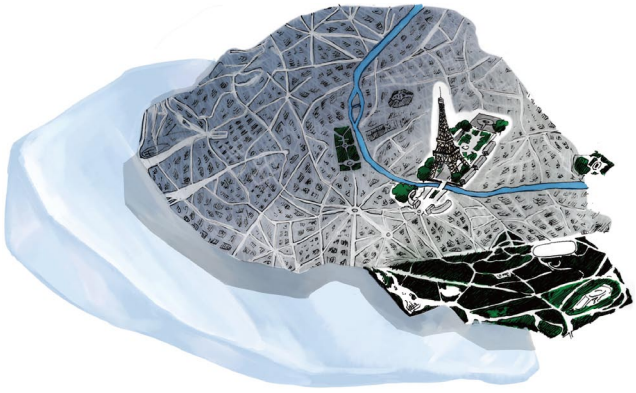
サッカーコートサイズの小氷盤
（直径 20 ～ 100 メートル未満）



大学のキャンパスサイズの中氷盤
（直径 100 ～ 500 メートル未満）



滑走路サイズの大氷盤（直径 500 ～ 2,000 メートル未満）



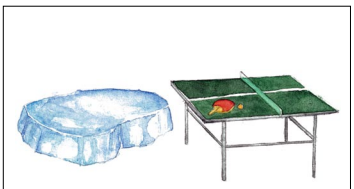
パリ市街サイズの巨大氷盤（直径 10 キロメートル以上）

図 1-20 氷盤の大きさの比較

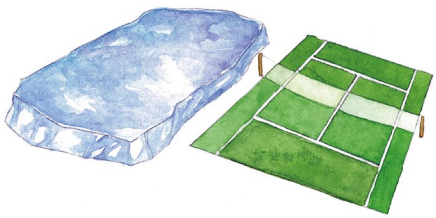
【氷盤（Floe）】

流氷のうち、直径が 20 メートル以上の比較的平らな海氷塊のことを氷盤と言う。広さによって以下のように分類される。

・〈小氷盤又は小氷原（Small ice floe）〉・・・直径 20 ～ 100 メートル未満の表面の平らな海氷塊のこと。
・〈中氷盤又は中氷原（Medium ice floe）〉・・・直径 100 ～ 500 メートル未満の表面の平らな海氷塊のこと。
・〈大氷盤又は大氷原（Big ice floe）〉・・・直径 500 ～ 2,000 メートル未満の表面の平らな海氷塊のこと。
・〈巨氷盤又は巨氷原（Vast ice floe）・・・直径 2 ～ 10 キロメートル未満の表面の平らな海氷塊のこと。
・〈巨大氷盤又は巨大氷原（Giant floe）〉・・・直径 10 キロメートル以上の表面の平らな海氷塊のこと。



卓球台サイズの小板氷（直径 2 メートル未満）



テニスコートサイズの板氷（直径 2 ～ 20 メートル未満）

図 1-21 板氷の大きさの比較

【板氷（Ice cake）】

流氷のうち、直径が 20 メートル未満の比較的平坦な海氷塊のことを板氷と言う。大きさによって以下のように分類される。

・〈小板氷又は小氷片（Small ice cake)〉・・・直径２メートル未満の比較的平らな海氷塊のこと。
・〈板氷又は氷片（Ice cake)〉・・・直径２～20メートル未満の比較的平坦な海氷塊のこと。

表 1-1 板氷及び氷盤の大きさ別の分類

名　称	大きさ
小板氷又は小氷片（Small ice cake）	直径2メートル未満
板氷又は氷片（Ice cake）	直径2～20メートル未満
小氷盤又は小氷原（Small ice floe）	直径20～100メートル未満
中氷盤又は中氷原（Medium ice floe）	直径100～500メートル未満
大氷盤又は大氷原（Big ice floe）	直径500～2,000メートル未満
巨氷盤又は巨氷原（Vast ice floe)	直径2～10キロメートル未満
巨大氷盤又は巨大氷原（Giant floe）	直径10キロメートル以上

【氷盤岩（Floeberg)】

流氷のうち、一つの氷丘又は複数の氷丘が凍結してできた大きな海氷塊のことで、周囲の海氷とは離れている。高さは海面上５メートルに及ぶものもある。

【モザイク氷（Ice breccia)】

流氷のうち、いろいろな発達過程の氷が一緒に凍結している状態の氷塊のこと。

【ブラッシュアイス（Brash ice）／砕け氷】

流氷のうち、様々な形に砕けた直径２メートル未満の小氷片が集まっている状態のもの。ブラッシュアイスは砕氷船が海氷域内を通航することによっても形成される。直径 30 センチメートル程度の大きさの氷片で埋め尽くされた状態の水路のことをブラッシュアイス・チャンネルと呼ぶ。

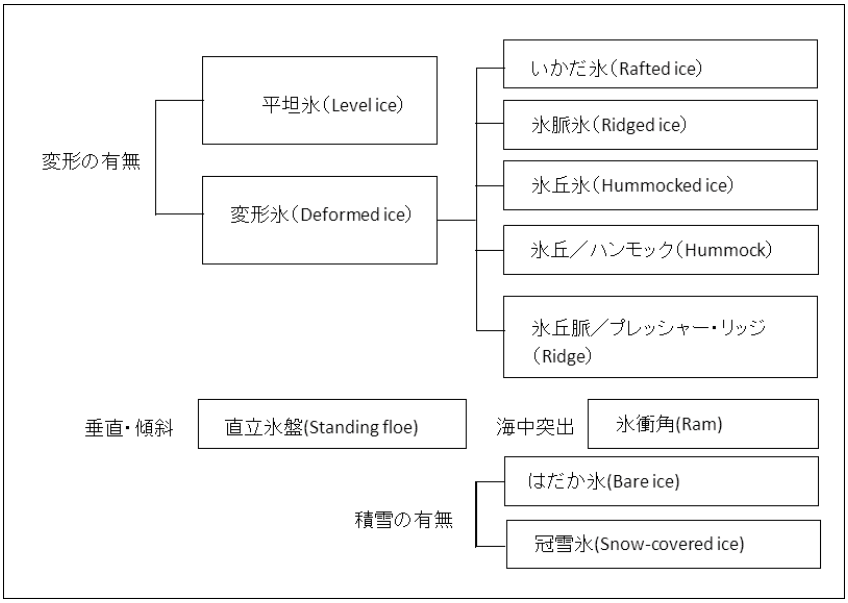


図 1-22 海氷の表面の特徴に関する用語の分類

2.2.5 海氷の表面の特徴に関する用語

海氷の表面の特徴に関しては以下のような用語が使用される。

【平坦氷（Level ice）】

変形のない平坦な氷のことを平坦氷と言う。

【変形氷（Deformed ice）】

氷の表面には風の影響、底面には海水の影響等、常に外力が働いている。そのため、氷野が圧縮され又は分散もしくは拡散し、さらに、氷どうしが互いに押し合い、場合によっては押し上げ又は押し下げられること等によって変形が生じる。変形を受けた氷の総称のことを変形氷と言う。変形氷は以下のように分類される。

・〈いかだ氷（Rafted ice）〉・・・前述のとおり、氷どうしが重なり合い、いかだ状になっている変形氷のこと。

・〈氷脈氷（Ridged ice)〉・・・氷どうしが不規則に積み重なって山脈状又は壁状になった変形氷のこと。通常、一年氷で見られるが、古い氷でも見られることがある。
・〈氷丘氷（Hummocked ice)〉・・・氷どうしが不規則に積み重なった状態の起伏のある変形氷のこと。風化するとなだらかな丘陵状になる。
・〈氷丘／ハンモック（Hummock)〉・・・氷どうしが押し合い積み重なってできた氷の丘のこと。新しいもの及び風化したものがある。圧力によって下方に押しつけられ、氷丘の下で破壊された氷塊の水中部分を逆さ氷丘（Bummock）と言う。
・〈氷丘脈／プレッシャー・リッジ（Ridge)〉・・・氷丘がうね状に連なったもの。湖などでも見られる。圧迫によって押し下げられた氷脈の下の水中部分を竜骨氷（Ice keel）と言う。氷丘脈等は硬いことが多く、船舶の航行は困難である。

【直立氷盤（Standing floe)】

垂直又は傾斜して立っている単独の氷盤のこと。比較的平らな氷で囲まれている。

【氷衝角（Ram)】

海面下に形成された氷の突出部のこと。浮氷壁、氷山、氷壁等から張り出している。通常、それらの氷の水面上部の激しい融解又は浸食によって形成される。水面上部に著しい融解又は侵食の痕跡を残している２つの氷盤間には、氷衝角が突出している可能性が疑われるので船舶の航行は危険である。

【はだか氷（Bare ice)】

表面に積雪のない状態の氷のこと。

【冠雪氷（Snow-covered ice)】

表面が積雪に覆われた状態の氷のこと。



写真 1-6 氷丘が繰り返し形成されることによって生じた氷丘脈群（島田浩二氏提供）

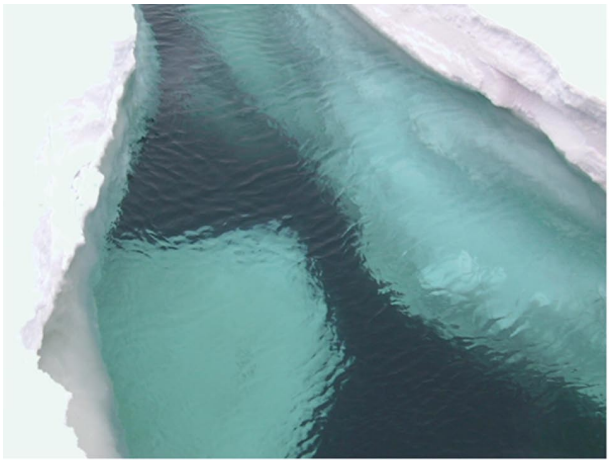


写真 1-7 海面下に突出した危険な氷衝角（茂原清二氏提供）

2.2.6 海氷の融解過程に関する用語

海氷の融解過程に関しては以下のような用語が使用される。

【パドル（Puddle）又はメルトポンド（Melt pond)】

氷上に水がたまった状態のもの。夏の気温上昇等によって、主に氷上の積雪が融解したことによる水たまりのこと。さらに進んだ段階では、氷自体の融解によっても形成される。初期段階では融雪の斑点ができる。

【底なしパドル（Thaw holes）】

パドルが進行し、氷の下の海水まで突き抜けてできた海氷中の垂直な穴のこと。

【はちの巣氷（Rotten ice）】

融解や崩壊が進み、ハチの巣状となった氷のこと。

【乾き氷（Dried ice）】

亀裂又は底なしパドルが形成されたため、それまでたまっていた溶けた水が表面から流れ去った後の氷の状態。乾燥している間は表面が白っぽくなっている。

【浸水氷（Flooded ice）】

浸み込んだ水や表面の湿った雪のため、重たくなっている氷のこと。

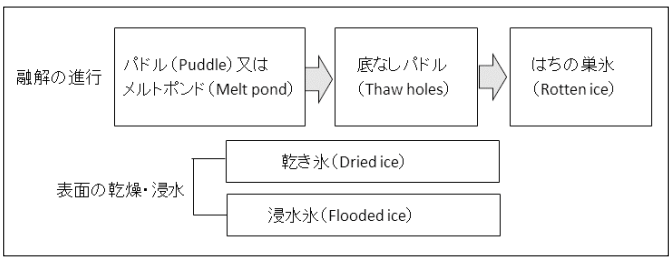


図 1-23 海氷の融解過程に関する用語の分類

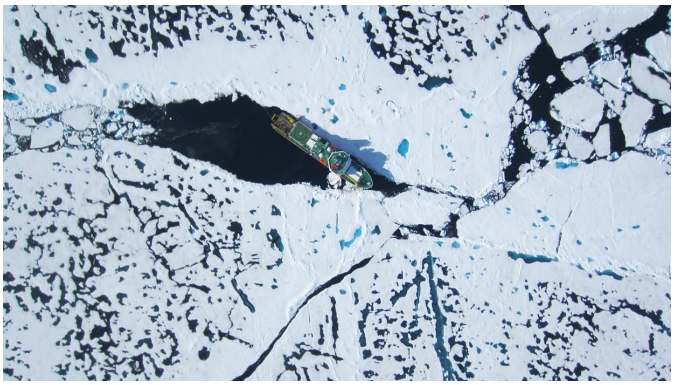


写真 1-8 上空から見たパドル又はメルトポンド（韓国極地研究所提供）



写真 1-9 氷上から見たパドル又はメルトポンド（島田浩二氏提供）

2.2.7 海氷の量又は密接度に関する用語

海氷の量又は密接度に関しては以下のような用語が使用される。

【氷量（Ice cover）】

全球又は半球もしくは特定の海あるいは湾等のかなり広い海域において、その全海面に対して密集している海氷が占める比率のことを言う。「現在の東シベリア海の氷量は 6/10 である。」等として使う。

【密接度（Concentration）】

ある海域において海面に占める氷の割合を 10 分位数やパーセンテージなどで表したものである。たとえば、海面の 5 割が氷で覆われている場合、氷の密接度は 5/10（0.5）、又は 5 度もしくは 50％と表現する。海面のすべての氷を対象とした密接度を全体密接度（Total concentration）、特定の氷を対象とした密接度を部分密接度（Partial concentration）と呼ぶ。氷の密接度に応じ、海面の状態を以下のように表現する。

・〈無氷海面（Ice-free）〉・・・密接度 0/10（0.0）、海氷又は陸氷のいずれもがまったく存在しない状態の海域のこと。どのような種類であっても、氷が少しでも存在すればこの用語は使用しない。

・〈氷山海面（Bergy water）〉・・・海氷は存在せず、いくつかの陸氷（氷山等）のみが存在している航行自由な海域のこと。
・〈開放水面（Open water）〉・・・密接度 1/10（0.1）以下、船が自由に航行できる広い状態の海域である。密接度 1/10 未満であるならば、海氷又は陸氷のいずれかが存在しても良い。
・〈分離氷域（Very open ice）〉・・・密接度 1/10（0.1）～ 3/10（0.3）、氷より海面の方がはるかに広い状態の氷域である。
・〈疎氷域（Open ice）〉・・・密接度 4/10（0.4）～ 6/10（0.6）、氷と海面の割合がほぼ同じ状態の氷域である。多くの水路又は氷湖があり、氷どうしが通常は接触していない。
・〈密氷域（Close ice）〉・・・密接度 7/10（0.7）～ 8/10（0.8）、氷どうしが概ね接触している状態の氷域である。
・〈最密氷域（Very close ice）〉・・・密接度 9/10（0.9）～ 10/10（1.0）。
・〈全密接氷域（Compact ice）〉・・・密接度 10/10（1.0）、一面が氷で覆われ海面がまったく見えない状態の氷域である。
・〈凍結密氷域（Consolidated ice）〉・・・密接度 10/10（1.0）、氷どうしが互いに凍りついている状態の氷域である。



写真 1-10　全密接氷域（舘山一孝氏提供）

表 1-2 氷の密接度

名称	密接度	海面と氷域の割合
無氷海面（Ice-free）	0/10（0.0）	
氷山海面(Bergy water)	陸氷（氷山等）のみが存在	
開放水面（Open water）	1/10（0.1）以下	
分離氷域（Very open ice）	1/10(0.1)～3/10（0.3）	
疎氷域（Open ice）	4/10（0.4）～6/10（0.6）	
密氷域（Close ice）	7/10（0.7）～8/10（0.8）	
最密氷域（Very close ice）	9/10（0.9）～10/10(1.0)	
全密接氷域（Compact ice）	10/10（1.0）	
凍結密氷域（Consolidated ice）	10/10（1.0）	

2.2.8 海氷の分布状況に関する用語

海氷分布状況に関しては以下のような用語が使用される。

【流氷野（Ice　field)】

いろいろな大きさの氷盤群からなる流氷域で直径 10 キロメートル以上のものを言う。大きさによって以下のように分類される。

- 〈小流氷野（Small ice field)〉・・・直径 10 ～ 15 キロメートルの流氷域のことを言う。
- 〈中流氷野（Medium ice field)〉・・・直径 15 ～ 20 キロメートル流氷域のことを言う。
- 〈大流氷野（Large ice field)〉・・・直径 20 キロメートルを超える流氷域のことを言う。

【流氷原（Ice　patch)】

いろいろな大きさの氷盤群からなる流氷域で、直径 10 キロメートル未満のものを言う。

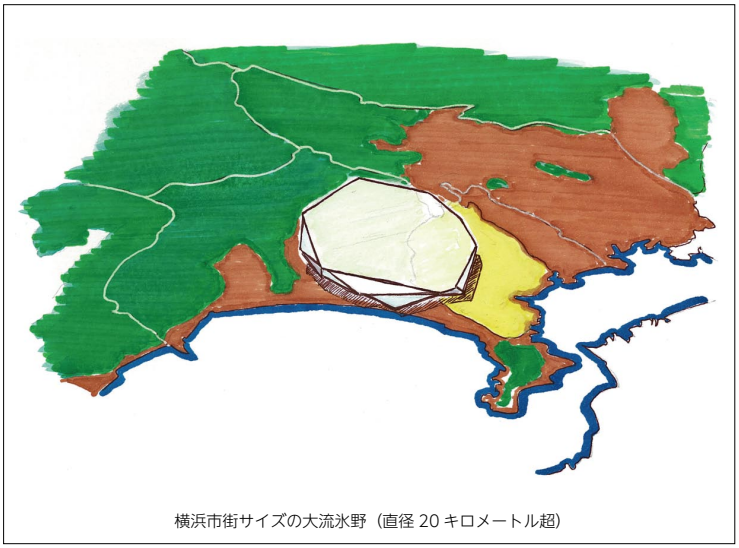


図 1-24 大流氷野の規模

表 1-3 流氷原及び流氷野の大きさ別の分類

名　称	大きさ
流氷原（Ice patch）	直径10キロメートル未満
小流氷野（Small ice field）	直径10～15キロメートル
中流氷野（Medium ice field）	直径15～20キロメートル
大流氷野（Large ice field）	直径20キロメートル超

【流氷帯（Belt）】

幅1～100キロメートル以上にわたり細長く伸びる流氷の帯のことを言う。

【氷舌（Tongue）】

風又は海流によって、氷の縁が長さ数キロメートルにわたって舌状に長く張り出したものを言う。

【小氷帯（Strip）】

流氷の本体から分離した小氷片が、幅１キロメートル以下の細長い筋状となったものを言う。風又はうねりもしくは海流等の影響を受けて移動する。

【入江（Bight）】

氷の縁の中で、広く三日月状に入り込んだ部分のことを言う。風又は海流によって形成される。

【アイス・ジャム（Ice jam）】

海峡又は狭水道もしくは河川等がブラッシュアイス等によって閉塞され、氷のダムのようになったような状態のことを言う。

【氷縁（Ice edge）】

海氷域及び開放水面との境界部分のことを言う。氷縁の位置は時間と共に変化する。通常、流氷域の風上側には明瞭な氷縁が形成されるが、風下側には崩れた氷縁が形成される。

【氷域境界（Ice boundary）】

定着氷及び流氷との間、又は異なる密接度の流氷域の間の任意の時刻における境界のことを言う。

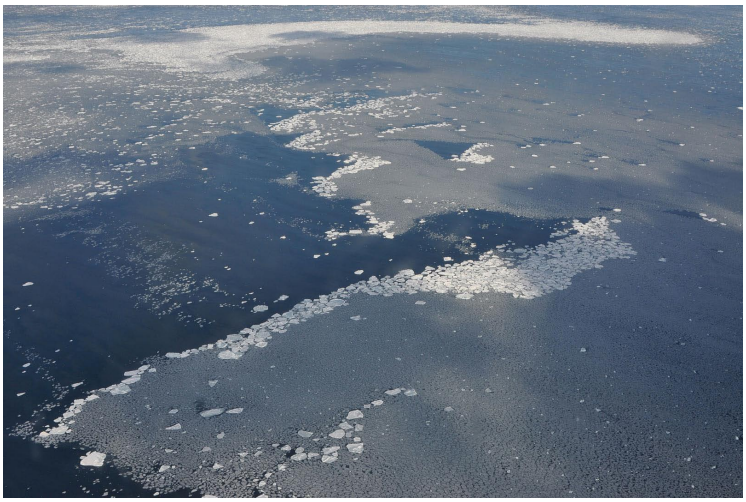


写真 1-11 風下側の崩れた氷縁（舘山一孝氏提供）

2.2.9 氷域中の海水面に関する用語

氷域中の海水面に関しては以下のような用語が使用される。

【割れ目（Fracture)】

氷の変形作用によって、最密氷域、全密接氷域、凍結密氷域、定着氷又は単独の氷盤に生じる切れ目又は裂け目のことを言う。大きさによって以下のように分類される。

・〈微小割れ目（Very small fracture)〉・・・幅 1 ～ 50 メートルの割目のことを言う。

・〈小割れ目（Small fracture)〉・・・幅 50 ～ 200 メートルの割目のことを言う。

・〈中割れ目（Medium fracture)〉・・・幅 200 ～ 500 メートルの割目のことを言う。

・〈大割れ目（Large fracture)〉・・・幅 500 メートルを超える割れ目のことを言う。

【クラック（Crack)】

氷を互いに分離させるまでには至らない、幅数センチメートルから 1 メートルまでの亀裂のことを言う。

表 1-4 クラック及び割れ目の大きさ別の分類

名　称	大きさ
クラック（Crack）	幅数センチメートルから1メートル
微小割れ目（Very small fracture)	幅1～50メートル
小割れ目（Small fracture）	幅50～200メートル
中割れ目（Medium fracture）	幅200～500メートル
大割れ目（Large fracture）	幅500メートル超

【タイド・クラック（Tide crack)】

動かない氷脚、又は氷河壁及び定着氷との接合部に生じたクラックのことを言う。潮汐によって上下する。

【分離帯（Flaw）】

流氷及び定着氷との間の狭い亀裂のことを言う。その内部は氷片が混乱した状態となっている。強風又は海流の影響によって、定着氷の境界に沿って流氷が切り取られることによって形成される。

【割れ目域（Fracture zone）】

多数の割れ目がある氷域等のことを言う。

【水路（Lead）】

海氷域の中で、船舶の航行が可能な割れ目又は狭い通路のことを言う。

【氷湖／ポリニヤ（Polynya）】

氷で囲まれた不規則な形の海面のことを言う。まるで海の中の湖のように見える。氷湖内にブラッシュアイスが存在し、又は新成氷・ニラス・板状軟氷等で覆われていても良い。氷湖の片側が海岸又は定着氷に接している際には、沿岸氷湖（Shore　lead）もしくは分離帯氷湖（Flaw　lead）と言う。また、毎年同じ場所に現れるならば再現氷湖（Recurring　polynya）と言う。

2.2.10 海氷域の大気現象に関する用語

海氷域の大気現象に関しては以下のような用語が使用される。

【水空（Water sky）】

氷が存在しない海面の上空の雲の下部が、暗い灰色の縞（しま）がかかっているように見える現象のことを言う。氷が存在しない開放水面の表面では太陽光の反射がないためである。霧の場合も、開放水面の直上に黒い斑点状のものが現れることがある。

【氷映（Ice blink）】

氷映は氷が存在する海域の上空に現れる現象で、氷の表面を反射した太陽光が上空の雲に映るために生じる。一般に水平線近くの雲の下部が白色又は黄白色に光って見える。

【氷煙（Frost smoke）】

海氷域の海面又は氷縁の風下付近で発生する霧のことを言う。氷上を

移動してきた寒気が、それより暖かい海面に接することによって生じる。寒気が特に厳しい時には凍結し氷霧（Ice fog）となることもある。

【幻氷（Mirage of ice）】

水平線付近の氷が浮き上がって見える、又は拡大した虚像として見える現象のことを言う。密度の異なる大気中における太陽光の異常屈折により発生する。蜃気楼現象の一つで、海水温が異常に低い時等に発生する。

2.2.11 船舶運航に関する用語

海氷域における船舶運航に関しては以下のような用語が使用される。

【ビセット（Beset）】

船舶が氷に取り囲まれて動けなくなってしまう状態のことを言う。

【氷塞（Ice bound）】

湾又は入江等において、氷の影響により砕氷船のエスコートなしでは船舶の航行ができない状態のことを言う。

【ニップ（Nip）】

ビセット等に陥り、周囲の氷から船舶に対し強い荷重が加わっている状態のことを言う。船体が損傷を受けていなくても、ニップを受けていると言う。

【圧迫氷（Ice under pressure）】

変形作用が活発に行われている氷のことを言う。船舶の航行を妨げ危険を及ぼすおそれがある。

【難航氷域（Difficult area）】

船舶の航行が困難なほど、氷況が厳しい海域のことを言う。

【可航氷域（Easy area）】

船舶の航行が容易なほど、氷況が穏やかな海域のことを言う。

【アイス・ポート（Ice port）】

船舶が直接係留し、荷卸し等を行うことができる棚氷等のことを言う。多くの場合一時的なものである。

2.2.12 陸氷に関する用語

陸氷に関しては以下のような用語が使用される。

【氷床（Ice sheet）】

広大な陸地が厚い雪氷に覆われた状態のことを言う。海面上に張り出して浮かんでいる棚氷を含めることもある。現存する氷床は南極大陸の南極氷床及びグリーンランドのグリーンランド氷床の２つである。

【氷河氷（Glacier ice）】

氷河の中の氷､又は氷河を起源とする氷のことを言う。陸上にあるのか、氷山のように海に浮いているのかは問わない。

【棚氷（Ice shelf）】

氷床が陸地を滑り降り、海まで張り出し、その先端が海岸に固着・浮遊している状態のものを言う。海面上２～50メートル、又はそれ以上のかなりの厚さで、海岸に固着し又は浮いている。毎年の積雪、時には氷河が海まで延びることによって生成する。通常、水平方向に大きく広がり、表面は平坦又は緩やかに起伏している。氷の一部は着底していることもある。海側の縁の垂直の壁の部分を浮氷壁（Ice front）と呼ぶ。

【氷山（Iceberg）】

氷河又は棚氷から割れて海に流れ出した氷河氷である。海面上高さが５メートル以上のものを言う。浮いていても座礁していても良い。

なお、北半球に見られる氷山のほとんどが、グリーンランドの陸地の氷河から分離して大西洋に流れ込んだものである。ロシア沿岸の北極海航路付近で見かけることはほとんどない。

氷山はその形状から卓状型、ドーム型、傾斜型、せん塔型、風化型又は氷河氷山等に分類される。海面上高さが５メートル未満のものは、大きさによって以下のように分類される。

・〈氷山片（Bergy bit）〉・・・海面に浮いている氷河氷のうち、大氷片のことを言う。海面上高さは１～５メートル未満で、面積は約100～300平方メートルである。

・〈氷岩（Growler)〉・・・海面に浮いている氷河氷のうち、小氷片のことを言う。氷山片又は氷盤岩より小さな氷塊である。しばしば透明であるか、緑がかったり、あるいはほとんど黒っぽく見えたりすることもある。海面上高さは1メートル未満で、面積は約20平方メートルである。

表 1-5 海面の氷河氷の大きさ別の分類

名　称	大きさ
氷山（Iceberg）	海面上高さ5メートル以上 面積約300平方メートル以上
氷山片(Bergy bit)	海面上高さ1～5メートル 面積約100～300平方メートル
氷岩(Growler)	海面上高さ1メートル未満 面積約20平方メートル



写真 1-12 卓状氷山（山口一氏提供）



写真 1-13 氷河氷山（柴田啓貴氏提供）

【氷河氷山（Glacier berg）】

氷河から割れてできた氷山のことを言う。不規則な形をしている。

【卓状氷山（Tabular berg）】

頂上が平らな氷山のことを言う。その多くは棚氷から割れてできたものである。表面には水平な縞（しま）模様が見られる。

【氷島（Ice island）】

北極海の棚氷が割れたことによってできた、海面上高さ 5 メートル以上の大きな浮氷のことを言う。厚さ 30 ～ 50 メートル、面積は数平方キロメートルから 500 平方キロメートル、又はそれ以上に達する。

通常表面には規則的な起伏があり、航空機からは肋骨状に見える。陸氷が起源であるため、氷の表面が砂礫及びコケ等に覆われていて、本物の島と見間違えるものもある。

かつて、北極海の氷島の上には漂流ステーションと呼ばれる気象観測所が開設され、観測員が滞在し、風まかせ波まかせの観測が行われていた。

【氷山舌（Iceberg tongue)】

海岸から張り出している氷山群の大集合域のことを言う。座礁していたり、定着氷で連結されていたりする。

2.3 海氷の生成

海表面が冷却されると鉛直方向に密度の逆転が生じ対流が起きる。塩分が同じ場合、海水は温度が低いほど重たくなって下に沈む。冷却された海面の海水は下に沈み、温かい海面下の海水と入れ替わりながら次第に冷却が進む。やがて上下の海氷温がマイナス 1.7 度に達すると、鉛直方向の対流は小さくなる。

さらに、海水の結氷温度である摂氏マイナス 1.7 ～ 1.8 度となっても冷却が続いて潜熱が奪われてくると、一部が微細な針状又は板状の結晶と呼ばれる結晶となり、海水は凍結を開始する。ただし、真水の結氷温度は 0 度であるが、海氷の結氷温度は塩分及び圧力によって変化する。

海水中の塩分はパーミル／千分率(‰)で表される。たとえば､塩分 32 パーミルの海水 1 キログラムの中には、32 グラムの塩類が溶け込んでいることになる。

海水の結氷温度 T (℃) は、海水の塩分 S (‰) 及び圧力 P (bar, 1 bar = 10^5 Pa) の関数として、次式で表わすことができる（Millero,1978)。すなわち、海水の結氷温度は塩分に反比例して低下する。

$$T = -0.0575S + 1.710523 \times 10^{-3} S^{\frac{3}{2}} - 2.154996 \times 10^{-4} S^2 - 7.53 \times 10^{-3} P$$

なお、海水の結氷温度 T (℃) は、近似的に次式で表わすこともできる (Maykut,1985)。

$$T = -0.055 \times S$$

表 1-6 近似式による結氷温度と塩分との関係

塩分S‰	20	25	30	32	33	34	35
結氷温度T℃	－1.100	－1.375	－1.655	－1.760	－1.815	－1.870	－1.925

通常、海水の塩分は 30 ～ 33 パーミル程度であるから、表 1-6 に示したように、結氷温度は摂氏マイナス 1.7 ～ 1.8 度となる。なお、実際に凍るのは海水の中の真水の成分だけであり、高濃度の塩水は未凍結の状態の海水中に排出されるか、又は海氷内に閉じ込められたままとなる。これら高濃度の塩水のことをブライン（Brine）と呼ぶ。海氷の冷却が進むと、ブラインの中の真水の成分がさらに結氷することにより、ブラインは次第に体積を減少させるとともに塩分を増していく。海氷は真水部分だけを凍結させ、ブラインを外に排出することによって成長を重ねて行く。なお、排出されたブラインは、高濃度の塩水であるため、海水と比べ密度が大きく海中に沈んでいく。

その後、海面に波又はうねり等がなく穏やかであるならば、晶氷は互いに凍結し合いながらゆっくりと成長し、やがて、ニラス又は氷殻となり、海面に広がりながら厚さを徐々に増していく。

一方、海面にある程度の波又はうねりがあるならば、晶氷は互いにぶつかり砕け合いながら結合し、グリース・アイスと呼ばれるスープ状のどろりとした層となり、海面を覆いながら成長を続ける。

やがて、グリース・アイスは波又はうねりの作用によって、互いにぶつかり合いながら縁がハスの葉状にまくれ上がり、パンケーキアイス又はハス葉氷と呼ばれるほぼ円盤状の氷へと成長する。

パンケーキアイスまで成長した段階になると､氷どうしの摩擦の影響により、波又はうねりは次第におさまる。その結果、海氷の成長及び氷間の凍結が促進され、氷厚及び硬さを増していく。そして、ヤングアイス又は板状軟氷と称する厚さ約 10 センチメートル以上の海氷へと成長する。

2.4 海氷の構造

海氷は主に海水中の真水が凍結した薄い板状の氷の結晶の集合体である。海氷の垂直断面を顕微鏡で拡大して見ると、氷の結晶は上層より下層が大きなクサビの形をしていることがわかる。

また、海氷の水平断面を顕微鏡で拡大して見ると、ブラインが円筒状又は球状となって、氷の結晶の隙間を埋めていることが分かる。これらをブライン細胞又は濃縮塩細胞と呼んでいる。ブライン細胞の中は高濃度の塩水又は気泡が閉じ込められている。ブラインは海氷の強度に大きく関わっている。

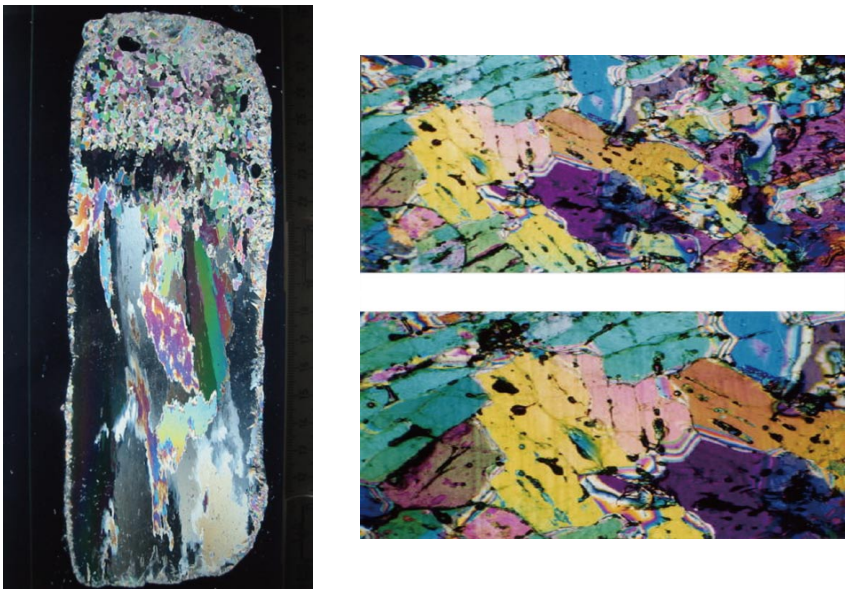


写真 1-14 海氷の垂直断面（左）と水平断面（右）（榎本浩之氏提供）

2.5 海氷の強度

海氷の内部は円筒状又は球状のブライン細胞によって、氷の結晶の隙間が埋められている。ブライン細胞の間隔は平均して 0.5 ミリメートルほどで、氷厚が増すほど大きくなる。海氷は内部のブライン細胞が緩衝材の役割を果たすため、隙間がほとんどない真水からできた氷と比較するとかなり柔らかく、

強度は約３分の１程度である。なお、海氷の強度は結晶構造のほか、氷温、塩分、含有する気泡の量等に依存する。すなわち、氷温が低いほど、塩分が少ないほど、含有する気泡の量が少ないほど、海氷の強度は高まり硬くなる。海氷に含まれる塩分は、凍結時の海水の塩分が多いほど、又、海氷が急速に成長するほど多くなる。

一方、ブラインが内部からほとんど抜け出し、塩分が激減してしまった氷は、時に真水からできた氷のように硬くなっていることがある。凍結前の海水１キログラムの中には約 30 ～ 33 グラムの塩分が含まれているが、凍結直後の海氷１キログラムを融解した場合、融解水の中には約 10 ～ 12 グラムの塩分しか含まれていない。さらに、氷厚１メートルを超えるまでに成長した海氷１キログラムを融解した場合、融解水の中には約５～６グラムの塩分しか含まれていない。海氷内部のブラインは、時間の経過とともに重力によって海氷の下部へと移動し、やがて内部から抜け出し、海中に排出されてしまうためである。このように成長し脱塩が進んだ海氷は、氷どうしの圧縮によって形成された氷丘脈等と同様、強度が増して硬くなっていることが多く、船舶の航行を困難又は危険とするおそれがあるので十分な注意が必要である。

なお、氷山は真水によってできた陸氷であるため、緩衝材となるブライン細胞を有していない。しかも、長期間にわたる氷雪の圧縮によって形成された氷河を起源としているため、他の氷と比べ極めて硬く、その強度は真水からできた氷の約２倍、誕生したばかりの海氷の約６倍とも言われている。

2.6 海氷の成分

海水中には塩化ナトリウム等の様々な塩類が溶け込んでいる。海水の塩分は海域によって異なるが、通常ならば 30 パーミル以上である。ただし、北極海は大河から大量の河川水の流入、又は夏における海氷の融解に伴い、表層の海水の塩分が他の海域に比べ低くなっていて、25 パーミル以下の海域が沿岸部を中心に広がっている。塩類は様々なイオン等として海水中に溶け込んで

いるが、その組成比はどの海域でも大きな差はなく、塩素（約 55.0%）、ナトリウム（30.6%）、硫酸（7.7%）、マグネシウム（3.7%）、カルシウム（1.2%）、カリウム（1.1%）等となっている。

海水の凍結によってできた海氷は真水が凍結した純氷、ブライン及び固体の塩類によって組成されている。冷却が進むとブラインの中の真水の一部がさらに凍結し、ブラインの外に析出される。すると、ブラインの体積が縮小するとともに、ブラインの塩分が上昇する。ブラインの体積率 v（‰）は海氷の塩分 S（‰）及び氷温の絶対値 t（℃）の関数として、次式で表わすことができる（Frankenstein and Garner,1969）。

$$v = S\left({}^{49.185}/_{t} + 0.532 \right)$$

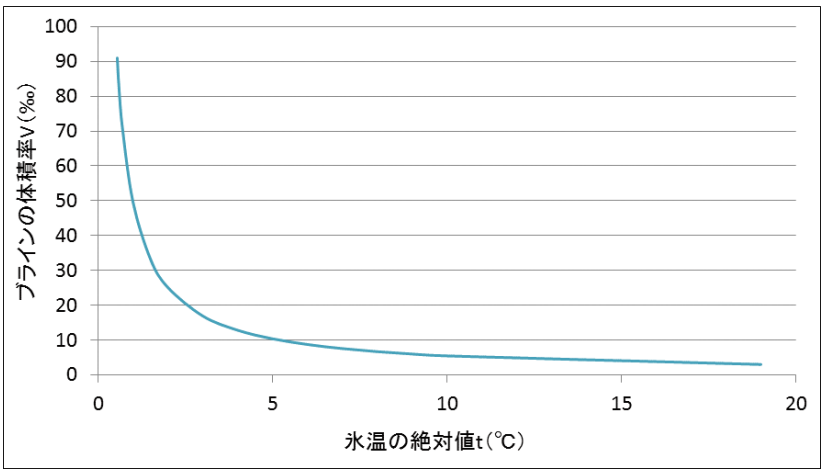


図 1-25 ブラインの体積率と氷温の絶対値との関係（塩分 1 パーミルの時）

海氷の塩分が 1 パーミルの時、ブラインの体積率及び氷温の絶対値との関係は図 1-25 のようになる。

さらに、冷却が進むと塩分がブラインから外に析出し始める。標準海水と呼ばれる塩分 34.33 パーミルの海水から作られた海氷の場合、摂氏マイナス 8.2 度

では硫酸ナトリウム（$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$）が析出し、マイナス 22.9 度では塩化ナトリウム（$NaCl \cdot 2H_2O$）が析出する。さらに、マイナス 44 度では塩化マグネシウム（$MgCl_2 \cdot 12H_2O$）が析出する。マイナス 55 度では、ブラインは海氷内からほぼ消滅し、海氷の組成は真水でできた純氷及び固体の塩類だけとなる。

3. 氷海船舶に関する基礎知識

氷の存在又は存在の可能性は北極海航路の特徴であり、運航者にとっては船体損傷等の事故にもつながりかねない危険でもある。このような海域を安全、かつ、効率的に航行するためには、運航者が専門的な知識又は特別な技術等を習得するだけではなく、氷海航行に適した船体補強等が施された特別な船舶を用意する必要がある。このような船舶は一般に氷海船舶（Ice class ship）と呼ばれ、通常、砕氷船（Icebreaker）及び耐氷船（Ice-strengthened ship/Ice-worthy ship）の２つに分類される。以下に砕氷船及び耐氷船に関する基礎知識について解説する。

3.1 アイスクラス

船舶が氷海を安全、かつ、効率的に航行するためには、氷と衝突又は氷に接触しても損傷しないための船体及び推進機関の補強が必要である。また、氷を破壊又は排除するために適した船首形状、破壊した氷を早く水面に浮上させるのに適した船尾形状等も必要である。さらに、一般海域用に建造された同型の船舶と比較して強力な推進能力、プロペラ（Propeller）又は舵等を氷から防護するための設備、船体及び機器等を低温又は着氷から保護するための装備等も必要である。加えて、極海の脆弱な海洋環境を油、廃棄物等による汚染から保護するためには設備、機器等のハード面での対策も重要である。

氷海を航行する船舶は、氷海特有の運航上の危険を考慮した上で、船体構造、機関、設備・装備等が一定基準以上に達している必要がある。アイスクラスとは氷海における船舶の安全確保及び環境保護等のため、船舶の砕氷性能又は耐氷性能が、一定基準以上であることを各船級協会が証明するための公的な等級のことを言う。

3.1.1 氷海特有の危険

船舶が北極海等の氷海で遭遇する可能性があり、船体構造、機関、設備・装備等の基準を決定する上で考慮すべき運航上の危険として以下が考えられる。

【氷荷重】

氷との衝突又は接触による氷荷重は船体抵抗の増加、船体損傷等の影響を及ぼすおそれがある。また、氷がプロペラに接触すると急激なトルク（Torque）上昇を発生させるおそれがある。さらに、氷が船体を取り囲み動けなくさせ、最悪の場合は船体を押し潰すおそれもある。

【船体着氷】

低温下、浴びた波しぶきが、甲板上構造物等に付着したまま凍結する現象､船体着氷が発生することがある｡大量の船体着氷は船体をトップヘビーな状態とし、復原力を損失させるおそれがある。大型船でも甲板での作業性の悪化、暴露機器の機能低下又は停止もしくは損傷等のおそれがある。

【脆性（ぜいせい：Brittleness）破壊】

低温下、一部の金属材料の靱性（じんせい：Toughness）が低下することがある。そのため、船体又は甲板機器等に使用されている鋼材等が弾性（だんせい：Elasticity）を失い、脆性破壊を起こすおそれがある。

【甲板凍結】

低温下、甲板上の水たまり又は係留・投錨装置等の下部に設置されているオイルパン（Oil pan）内にたまっている水が凍結することがある。甲板凍結は作業の効率性の低下、甲板機器等の機能の低下等を招くほか、転倒又は落水等の事故原因ともなる。

【タンク・配管・バルブ損傷】

低温下、清水又は海水等の液体が凍結し、もしくは油等の液体が粘度増加又は固化を起こすことがある｡これら液体の凍結等に伴う体積の増加により、バラスト水（Ballast water）タンク、清水タンク又は油タンク等、もしくは清水･海水･油等の配管･バルブ等が閉塞し、あるいは破損するおそれがある。

【冷却海水閉塞】

氷海では、船体に設けられたメイン・エンジン（Main engine：主機関）等の二次冷却用の海水吸入口（シーチェスト：Sea chest）から、シャーベット状の海水又は氷片を取り入れることがある。それらが清水クーラー

（Cooler）に到達するとクーラー内部の閉塞を誘発し、十分な冷却効果が得られず、メイン・エンジン等がオーバーヒート（過熱：Overheating）を起こすおそれがある。

3.1.2　主なアイスクラス

アイスクラスには、IMO が策定したガイドラインに基づき、IACS（International Association of Classification Societies：国際船級協会連合）が統一規則として定めたもの、又は各船級協会が定めたもの等があり、いずれも各船級協会等が行う検査を受けて合格した船舶に対し付与される。各船級協会は氷海船舶の船体構造、機関、設備・装備等の基準に関し、検査及び認定のための規則を定めている。これらの規則は、氷海特有の船舶運航上の危険を十分考慮した上で、多くの場合、IMO 又は各国政府が定めた氷海船舶の安全確保及び極海の環境保護等のための諸規則を取り込んだ内容となっている。

表 1-7 アイスクラスの比較

極地氷海船階級（IMO）	アイスクラス（ロシア船級協会）	耐氷船階級（FSICR）
PC1		
PC2	Arc9	
PC3	Arc8	
PC4	Arc7	
PC5	Arc6	
PC6	Arc5	IA Super
PC7	Arc4	IA
	Ice3	IB
	Ice2	IC
	Ice1	ID

砕氷・耐氷性能大

表 1-7 は世界で利用されている代表的な 3 つのアイスクラスを取り上げ、相互にどのレベルに該当するのか、おおよその比較を示したものである。

極地氷海船階級（Polar Class）とは、IMO が採択した「氷海航行のガイドライン（Guideline for ships operating in Arctic ice-covered waters）」に従い、

世界の主な船級協会が加盟するIACSが統一規則として定めたアイスクラスのことを言う。北極海を自力航行可能な船舶までも対象としたもので、PC1～PC7までの7段階に分かれている。数字が小さいほど砕氷性能又は耐氷性能が高い船舶となる。

ロシア船級協会が定めたアイスクラスのうちArc9～Arc4は主に北極海を自力航行可能な砕氷船を対象としたものである。また、Ice3～Ice1は主に北極海を砕氷船による誘導等の航行援助を受けながら航行する耐氷船を対象としたものである。数字が大きいほど砕氷性能又は耐氷性能が高い船舶となっている。

耐氷船階級とは、フィンランド（Finland）及びスウェーデンの両国が定めた規則、“FSICR（Finnish-Swedish Ice Class Rules）”に基づくアイスクラスである。もともとは、北バルト海のような冬及び春にのみ凍結する海域を航行する船舶を対象に耐氷性能を証明するためのものであった。しかし、現在は耐氷船のアイスクラスとして世界でもっともポピュラーなものとして利用されている。

3.1.3 階級別の対象船舶

表1-8は極地氷海船階級において、各階級がどのような船舶を対象としているのか、航行時の氷況及び季節、並びに氷厚の参考値を示したものである。これらは各階級に適合した船舶を建造する際、構造要件等を決定する上での目安となる。

表1-9は耐氷船階級において、各階級が求めている能力面での船舶の定義を示したものである。

なお、IACS統一規則に基づく極地氷海船階級は、主に多年氷の中を航行する砕氷船を対象としたアイスクラス、FSICRに基づく耐氷船階級は、主に一年氷の中を航行する耐氷船を対象としたアイスクラス、又、ロシア船級協会が定めたアイスクラスは両方の船舶を対象としたアイスクラスであると言える。

ただし、アイスクラスの取得は船主のオプションであり、強制力を伴わない。

すなわち、氷海航行に際しアイスクラスの保有は絶対条件ではない。実際、氷との接触に耐え得る船体及び推進機関の補強等が施され、砕氷性能又は耐氷性能が一定基準以上であるにもかかわらず、アイスクラスを保有していない船舶も存在する。

表 1-8 階級別対象船舶の航行時の氷況及び季節等（極地氷海船階級）

極地氷海船階級(IMO)	氷況及び季節	氷厚の参考値(cm)
PC1	すべての極地氷水域を通年航行する極地氷海船。	350以上
PC2	中程度の厳しさの多年氷が存在する氷水域を通年航行する極地氷海船。	300～350
PC3	多年氷が一部混在する二年氷の中を通年航行する極地氷海船。	200～300
PC4	多年氷が一部混在する厚い一年氷の中を通年航行する極地氷海船。	120～200
PC5	多年氷が一部混在する中程度の厚さの一年氷の中を通年航行する極地氷海船。	70～120
PC6	多年氷が一部混在する中程度の厚さの一年氷の中を夏季又は秋季に航行する極地氷海船。	50～90
PC7	多年氷が一部混在する薄い一年氷の中を夏季又は秋季に航行する極地氷海船。	30～60

表 1-9 各階級が求めている能力面での船舶の定義（耐氷船階級）

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

北極海航路の利用にあたり、ロシア国内法でも、通行船舶に対しアイスクラスの保有を強制要件とはしていない。ただし、アイスクラスを保有している耐氷船等は、階級のグレード、通航季節、通航海域、通航時の氷況等に応じ、砕氷船による誘導等の航行援助を必要としない単独航行が認められることもある等、航行許可基準が緩和される仕組みとなっている。一方、アイスクラスを保有していない船舶又はグレードの低いアイスクラスしか保有していない耐氷

船は、冬の通航が認められず、又、夏における軽度の氷況下であっても砕氷船による誘導等の航行援助が必要である等、厳しい航行許可基準が課される仕組みとなっている。

3.2 氷海船舶の役割

氷海船舶のうち、砕氷船は海面を覆った氷を破壊しながら単独航行できる能力を備えた船舶である。北極海又は南極海等における氷との衝突に耐えられる頑丈な船体及び推進機関、氷を破壊又は排除するために適した船首形状等の特別な設計が施されている。砕氷船の多くは政府機関等が所有するもの、又は軍事用もしくは科学調査用のものであるが、一部は商船あるいは観光船である。通常、砕氷船は各船級協会が砕氷能力を証明するための公的な等級、すなわち極地氷海船階級等のアイスクラスを保有している。

日本の砕氷船としては､南極観測基地への人員及び物資輸送を行う「しらせ」が有名である。なお､「しらせ」は南極観測を所管する文部科学省では南極観測船と呼んでいるが、同船を運航する防衛省では砕氷艦と呼んでいる。また、北海道沿岸域等で活動している海上保安庁の巡視船「そうや」及び「てしお」も砕氷船である。さらに、冬のオホーツク海の流氷観光で親しまれている「ガリンコⅡ」､「おーろら」及び「おーろら 2」も砕氷船である。

砕氷船の主たる役割の１つ目は航行援助である。砕氷船は氷海において船舶を先導し、航路上の氷盤を破壊して水路を開放する等、航行援助を行う役割を担っている。

２つ目は救助活動である。砕氷船は氷海において機関故障等によって航行不能となった船舶又は氷に囲まれてビセット状態に陥った船舶に対し、曳航又は水路開放等による救助活動を行う役割も担っている。

３つ目は資源開発支援である。砕氷船は北極海等の沿岸域における資源開発にあたり、生産・掘削プラットフォーム等の氷海構造物の周囲の氷を除去して同構造物を氷荷重から防護する、又は同構造物へ人員及び物資を輸送する等の支援を行う役割も担っている。

4つ目は観測支援である。砕氷船は北極海沿岸域又は南極大陸に設置された観測施設・基地へ人員及び物資を輸送する等の支援を行うほか、自らが移動式の洋上観測プラットフォームとして機能することもある。

5つ目は貨物輸送である。氷海域において単独航行が可能なバルクキャリア、タンカー、ラッシュ船、多目的貨物船等の砕氷型の商船がカナダ、ロシア等の国々で建造され、エネルギー資源及び貨物等の輸送の用に供されている。

6つ目は港等の環境整備である。凍結した港又は河川において、砕氷船を利用した水路の開放、ブイ等の保守・点検、安全パトロール等が行われている。

表 1-10 砕氷船の役割と具体的内容

砕氷船の役割	具体的内容
航行援助	氷盤を破壊して水路を開放する等の航行援助
救助活動	曳航又は水路開放等による救助活動
資源開発支援	氷海構造物の周囲の氷除去、人員・物資輸送
観測支援	観測施設・基地への人員・物資輸送、移動式洋上観測プラットフォーム
貨物輸送	エネルギー資源及び貨物等の輸送
環境整備	凍結港・河川における水路開放、ブイ等の保守・点検、安全パトロール等

一方、耐氷船は砕氷船のように氷を破壊するほどの能力はないものの、周囲からのある程度の氷荷重に耐え得る強度を有し、海面を覆った氷を押しのけ排除しながら航行することができる船舶である。ただし、厳しい氷況下では、砕氷船による誘導等の航行援助を受けた場合のみ航行可能となる。

耐氷船は氷との接触に耐えられる強固な船体及び推進機関等の特別な設計が施されている。通常、耐氷船は各船級協会が耐氷能力を証明するための公的な等級、すなわち耐氷船階級等のアイスクラスを保有している。多くの場合、耐氷型の商船として、エネルギー資源及び貨物等の輸送の用に供されている。

3.3 氷海船舶の特徴と構造

氷海船舶は氷海を安全、かつ、効率的に航行するというコンセプトに基づき設計された船舶で、一般船舶とは異なる様々な特徴及び構造を有する。

3.3.1 船体重量

氷海船舶には氷と接触しても損傷しないための船体及び推進機関の補強が必要である。そのため、当該補強のための鋼材量の増加等に伴い、一般海域用に建造された同サイズの船舶と比べ船体重量が大きくなる。したがって、氷海以外の海域航行時、氷海船舶は同船型の一般船舶と比べ、燃費が悪くなる傾向にある。

3.3.2 船体形状

氷海船舶のうち砕氷船の船体形状は独特である。氷域での操縦性能を向上させ、又、砕氷能力を向上させるため、耐氷船又は一般海域用に建造された船舶と比べ、船の長さに対する幅が広く、肥えていることが特徴である。

船舶の肥痩の度合いを示すＬ／Ｂ（船舶の水線長Ｌと水線幅Ｂの比）は、数字が小さいほど幅広の肥えた船型であることを表す。通常、一般海域用に建造された外航自動車運搬船のＬ／Ｂは 5.5 ～ 6.2 程度、外航バルクキャリアのＬ／Ｂは 5.8 ～ 6.2 程度、VLCC（載貨重量 20 ～ 30 万トン級の超大型タンカー）のＬ／Ｂは 5.3 ～ 5.9 程度、大型カーフェリーのＬ／Ｂは 7.3 ～ 8.0 程度である。

一方、砕氷船のＬ／Ｂは大型砕氷船で 4.5 ～ 5.0 程度、中型砕氷船で 4.0 程度である。さらに、港等における環境整備を目的とした小型砕氷船は、操縦性能を一層向上させる必要があるためＬ／Ｂはさらに小さくなってくる。

3.3.3 積載貨物量

氷海船舶は砕氷能力を向上させるため、一般海域用に建造された同型の船舶と比較して、強力な推進能力を有するメイン・エンジン（主機関）を搭載している。そのため、メイン・エンジンの重量が重たく、又、機関室のスペースが

広くなる。したがって、一般海域用に建造された同じ大きさの船と比べ積載貨物量が 20 ～ 30%少なくなる。

載貨重量（トン）を満載排水量（トン）で除した値を載貨重量指数と呼び、船舶の貨物積載効率を示す目安となる。通常、一般海域用に建造された外航バルクキャリア及び VLCC の載貨重量指数は 0.86 ～ 0.88 程度、外航コンテナ船の載貨重量指数は 0.60 ～ 0.70 程度、大型カーフェリーの載貨重量指数は 0.35 ～ 0.38 程度である。

一方、耐氷型の外航バルクキャリア及びタンカーの載貨重量指数は 0.6 程度で一般海域用に建造された外航コンテナ船のレベルである。また、砕氷船の載貨重量指数は 0.3 程度で一般海域用に建造された大型カーフェリーのレベルである。



写真 1-15 ロシアの原子力砕氷船「戦勝 50 周年」（西城仁氏提供）

3.3.4 エンジン出力

氷海船舶は砕氷能力を向上させるため、船型に対するエンジン出力が高いことが特徴である。軸馬力（SHP）を満載排水量（トン）で除した値は船舶の推進能力の大小を示す目安となる。通常、一般海域用に建造された外航自動車運

搬船の場合は 0.5 程度、外航バルクキャリアの場合は 0.1 ～ 0.15 程度、VLCC の場合は 0.1 程度、外航コンテナ船の場合は 0.75 程度、大型カーフェリーの場合は 1.5 ～ 2.0 程度となっている。

一方、氷海船舶については、ロシアの原子力砕氷船「戦勝 50 周年」の場合は、メイン・エンジン出力 49,000 キロワット（66,620 馬力）に対し、満載排水量 25,840 トンなので 2.58 である。また、日本の砕氷自衛艦の南極観測船「（二代）しらせ」の場合は、出力 22,070 キロワット（30,010 馬力）に対し、満載排水量 12,500 トンなので 2.40 である。いずれも大型カーフェリー並みの強力な推進能力を有している。

さらに、日本の耐氷型の海洋地球研究船「みらい」の場合は、出力 7,352 キロワット（9,996 馬力）に対し、満載排水量 10,627 トンなので 0.94 となり、外航コンテナ船級の大きな推進能力を有している。

3.3.5 船首形状

氷海船舶には、氷を砕いたり押しのけたりするのに適した船首形状をしているものが多い。特に砕氷船の場合、その多くは船首の特殊な傾斜形状によって氷を下方に押し込み、曲げて破壊しながら航行することとなる。その際の抵抗を少なくするため、船首部の水面に対する傾斜角（船体の長さ方向のステムの角度及び船体の正横方向のフレアの角度）が小さくなっている。

なお、砕氷船の船首形状には、南極観測船「しらせ」又は砕氷型巡視船「てしお」等が採用している伝統型と呼ばれるタイプのほか、スプーン型（Spoon bow）、コンケーブ（凹）型（Concave bow）、バース型（Waas bow）、コニカル（円錐）型（Conical bow）等のバリエーションがある。

また、通常、砕氷船の船首の下部には、船体が氷板上に過度に乗り上がり、操船不能となることを防ぐため、フォアフット（Fore foot）又はバウストッパー（Bow stopper）と呼ばれる仕切りが設置されている。

一方、耐氷船については、その多くは氷海における単独航行を行わず、

砕氷船による航行援助を前提としている。したがって、船首に特殊な傾斜形状を持たないものが多く、場合によっては、一般海域用に建造された船舶と同じような球状船首（Bulbous bow）を有するものもある。また、氷を砕いたり押しのけたりするのに適した船首形状ではなく、砕氷船が通航した後のブラッシュアイスを排除するのに適した船首形状が採用されることもある。



写真 1-16 砕氷型巡視船「てしお」の船首部（日本海難防止協会撮影）

3.3.6 船尾形状

氷海船舶は砕氷性能を向上させるため特別な船尾形状をしているものが多い。特に砕氷船の場合、氷荷重による船体抵抗を緩和させ、又、氷との接触によるプロペラ又は舵の損傷を防止するため、砕氷時に船底に潜り込んだ氷をできる限り速やかに排除するために適した船尾形状となっている。砕氷船の船尾形状はプロペラ及び舵の形式、配置又は個数によっても異なるが、通常、船首と似たような傾斜形状を採用することが多い。

ただし、耐氷船については、砕氷船による航行援助を前提としているため、一般海域用に建造された船舶と同じような船尾形状のものが多い。

ところで、氷との衝突又は接触によってもっとも破損しやすいのは、強度を増している船首部より、むしろ船尾に配置されているプロペラもしくは舵である。

そのため、通常、氷海船舶の舵の上部には、特に後進時における氷との接触によるプロペラ又は舵の損傷を防止するため、アイスナイフ（Ice knife）又はアイスホーン（Ice horn）と呼ばれる三角形の突起が設けられている。

また、氷海船舶、特に砕氷船のプロペラ及び舵は海面から比較的深い位置に配置され、氷との接触のおそれをできる限り少なくしている。

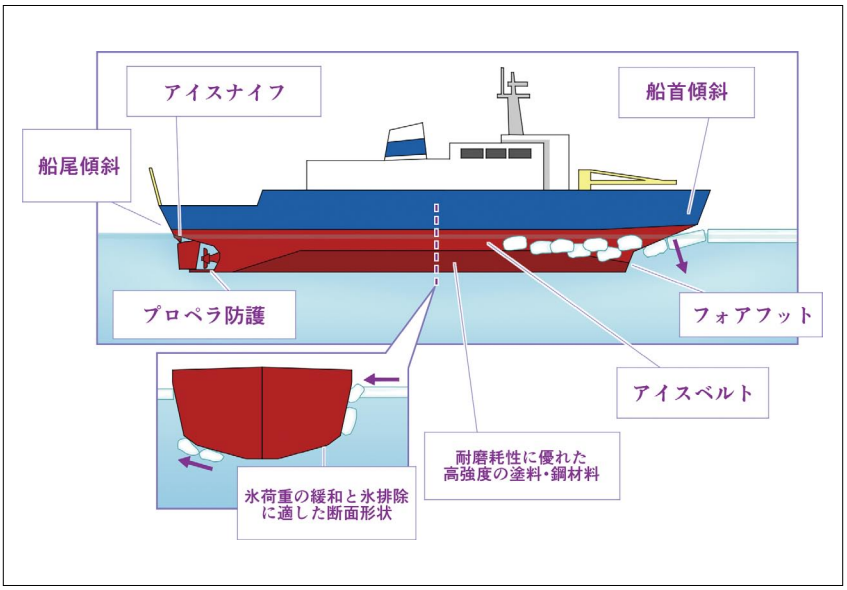


図 1-26　砕氷船の特徴

3.3.7 船底及び横断面

氷海船舶、特に砕氷船は、砕氷時に船底に潜り込んだ氷をできる限り速やかに排除するため、船底と船側に傾斜を持たせることが多い。

一般海域用に建造された船舶がほぼ長方形であるのに対し、砕氷船の横断面は氷荷重による船体抵抗を緩和させ、又、船底に潜り込んだ氷をできる限り速やかに排除するため、上記のように船底及び船側に傾斜を持たせるか、又は、お椀のように丸みを帯びている。さらに、ビルジキール（Bilge keel）も装着できないので、波浪中では揺れやすい。

3.3.8　アイスベルト

氷海船舶の水線付近のアイスベルト（Ice belt：耐氷帯）には大きな氷荷重が働く。そのため、特に砕氷船のアイスベルトには、他の部分より厚く、又、低温に耐えられる特殊な鋼材が用いられることが多い。

また、氷海船舶のアイスベルト周辺及び船首部は、一般海域用の塗料をそのまま使用すると、氷との接触により簡単に剥離してしまうおそれがある。そのため、氷と船体との間の摩擦を低減させ剥離しにくい、氷海用の特殊な耐低温塗料が使用されることが多い。

なお、耐磨耗性及び耐食性を強化させ、氷荷重による船体抵抗を緩和させるため､アイスベルトにステンレスクラッド鋼（表面をステンレス鋼で覆った鋼材）を使用し、金属表面のまま無塗装としている砕氷船もある。この場合、アイスベルト付近に使用されている通常の鋼材とステンレスクラッド鋼との間の電位差により、電食が発生するおそれがあるため防食対策が講じられている。

3.3.9　推進器

氷海船舶、特に砕氷船は氷との接触によりプロペラが損傷し、航行不能となる事態に備え、通常、推進器を２基又は３基有するものが多い。

また、プロペラと氷との接触によって発生する急激なトルク変動、又はラミング（前後進を繰り返しながら氷盤を破壊し、前進するする操船法）を行う際の前後進の切り替えを迅速、かつ、確実に行うため、ディーゼル機関を推進器に直結させず、ディーゼル発電機によって一旦モーターを駆動させて推進器を動かす方式､すなわち､電気推進システムを採用することが多い。ただし､耐氷船、特に耐氷商船については、一般海域用に建造された船舶と同様、推進器を１基とし、又、ディーゼルのメイン・エンジン（主機関）を直結しているタイプのものが比較的多い。

一方、氷海船舶の中には、氷域での操縦性能を向上させるため、水平方向に360度全回転するアジマススラスター（Azimuth thruster）等の推進装置を有するものもある。また、その進化形として、ポッド推進器（POD propeller）、

すなわちポッドと呼ばれる繭（まゆ）型の容器に電動モーターを収め、プロペラを直結させた推進器もある。

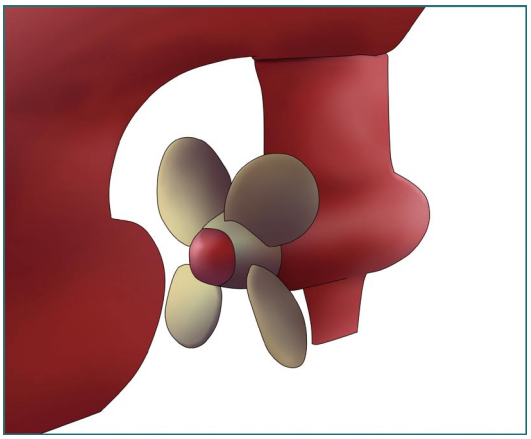


図 1-27　ポッド推進器

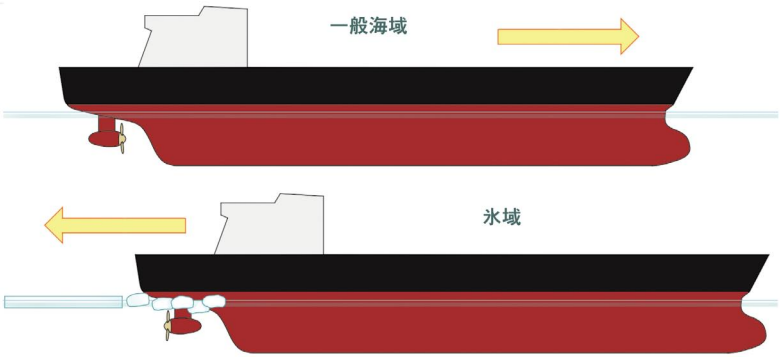


図 1-28　ダブル・アクティング船

さらに、ダブル・アクティング船（Double acting ship：DAS）は、氷海及び一般海域いずれにおいても、効率的な航行を実現するため、前後どちらの方向にも自由に進むことができる氷海船舶である。一般海域を航行する際は、球状船首を有する従来の船首に向かって、従来の船尾に設置されたポッド推進器のプロペラを回転させながら進む。一方、氷域を航行する際には後進状態、

すなわち従来の船尾に向かって進む。その際、操舵室の前後が逆転し、又、ポッド推進器も水平方向に回転し逆向きとなる仕組みとなっている。船尾は堅固に作られ、氷を下方に押し込み曲げて破壊しながら航行するのに適した形状となっている。

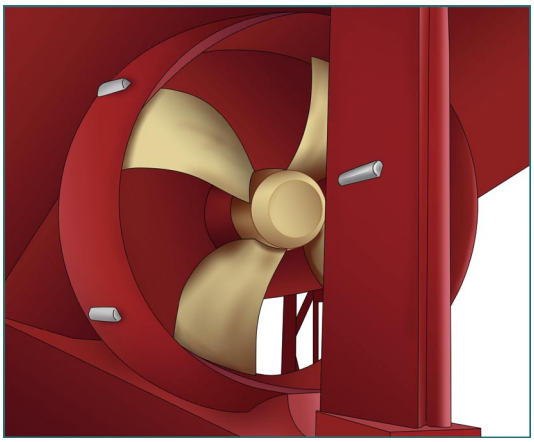


図 1-29　ダクテッド・プロペラ

なお、氷海船舶のプロペラの厚さや径は、氷との接触によるトルク及び氷荷重等を考慮して設計されている。また、氷片が咬みこまないようプロペラの翼端と船体との隙間が比較的多めに取られている。さらに、氷との接触からプロペラを防護するため、円筒形のガードでプロペラ全体を覆ったダクテッド・プロペラ（Ducted propeller）が採用される場合もある。

ところで、北海道・紋別市の観光船「ガリンコⅡ」は、通常のプロペラに加え、アルキメディアン・スクリュー・ロータ（Archimedes' screw rotor）と呼ばれる特殊な推進装置を有する氷海船舶である。ガリンコⅡは一般海域を航行する際は、一般船舶と同様、船尾に設置されたプロペラを主に使用する。一方、氷域では、船首に設置された長さ 6 メートル太さ 1.5 mの 2 本のロータを回転させながら前方に進む。厚い氷に対してはロータの回転力によって上に乗り上げ船体の重みで破砕する。「ネジを回すと前に進む」という古代

ギリシアの発明家アルキメデスのねじの原理を応用したものである。世界的に珍しい推進器だが、北極海航路等を航行する氷海船舶に採用されることはない。

3.4 氷海船舶の設備

氷海船舶は氷海を安全、かつ、効率的に航行するため、又、船体及び機器等を低温又は着氷から保護するため、一般船舶とは異なる様々な設備を有する。

3.4.1　シーベイ

氷海船舶が氷域内を航行する時、メイン・エンジン（主機関）等の二次冷却用の海水吸入口（シーチェスト）から、シャーベット状の海水又は氷片を取り入れてしまうおそれがある。それらが清水クーラーに到達すると、クーラー内部が閉塞し十分な冷却効果が得られず、メイン・エンジン等がオーバーヒートを起こし緊急停止してしまうことがある。そのため、氷海船舶には冷却海水を一旦貯め、一緒に取り込んだ氷片等を融解するためのタンク、シーベイ（Sea bay）の設置等の対策が講じられている。

3.4.2　加熱装置

氷海船舶のバラストタンク、清水タンク、配管、甲板機器類等には、凍結防止又は低温もしくは着氷に考慮した材料が使用されているほか、トレース・ヒーター（Trace heater）、ヒーティング・ケーブル（Heating cable）、スペース・ヒーター（Space heater）等の加熱装置が装備されている。また、船体等への着氷時、機械的に氷を落とす除氷装置（De-icing system）が装備されている氷海船舶もある。

3.4.3　曳航装置

氷況が極めて悪い海域等において、被援助船が水路閉塞等による航行不能を頻繁に繰り返し、砕氷誘導の続行が危ぶまれるような場合、砕氷船が被援助船を曳航することがある。

多くの砕氷船はトーイングウインチ（Towing winch）、トーイングワイヤー（Towing wire）、トーイングチェーン（Towing chain）等の曳航装置を有している。また、曳航索を使用せず、両船が密着した状態で曳航するための特殊な装置（スターン・ノッチ：Stern notch）を備えた砕氷船もある。



写真 1-17　曳航装置の準備作業（日本サルヴェージ株式会社提供）

3.4.4　エアバブリング

氷海船舶の中には、バラストタンク又は清水タンク等の凍結防止対策として、タンク内部で気泡を強制的に発生させ、液体の凍結を防止するエアバブリング装置（Air bubbling system）が装備されているものがある。

また、砕氷船の中には、船首部から気泡を放出させて船底及び船側部を覆うためのエアバブリング装置が装備されているものもある。この場合、気泡の浮上とともに、砕氷片が早く浮上するため、厳寒期航行中に砕氷片が船底に貼り付くことを防止するとともに、砕氷時の抵抗が小さくなる。また、航跡中に浮かび上がる氷片が少なくなるため、他船を従えて航行する時に使われることもある。

3.4.5　ウォータージェット装置

氷と船体との間の摩擦抵抗は氷海船舶の砕氷能力を低下させる要因となる。特に氷板上に積雪があると、摩擦抵抗が著しく増加し砕氷が困難となり、最悪の場合、航行不能に陥ることさえある。そのため、船首にウォータージェット装置を装備した砕氷船もある。ウォータージェット（Water jet）装置は、氷海船舶の船首部に装備される散水装置で、海水等の噴射によって積雪を吹き飛ばし又は融解し、氷と船体との間の摩擦抵抗を減少させることによって、砕氷能力の低下を防ぐ効果がある。

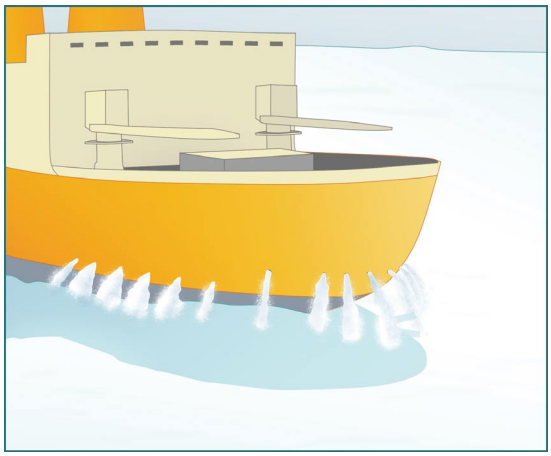


図 1-30　ウォータージェット装置

3.5　氷海船舶の砕氷方法と氷荷重

氷海船舶の砕氷方法にはいくつかの種類がある。砕氷方法によって、船体に作用する主な氷荷重も異なってくる。

3.5.1 連続砕氷と曲げ破壊

氷海船舶が氷域内において、速力を一定の低速に保ちながら連続して氷を砕き割り又は押しのけ、停止することなく航行する操船法を連続砕氷という。連続砕氷を行う氷海船舶は主に砕氷船である。耐氷船は氷の密接度が比較的小さくしかも薄い一年氷である等の場合、又は砕氷船の誘導を受けずに海氷域に進

入してしまったような場合等を除き、連続砕氷を行うことはない。

連続砕氷時、砕氷船は船首の特殊な傾斜形状によって氷を下方に押し込み、曲げて破壊しながら航行する。図 1-31 に示したように、氷は船体と接触した部分から亀裂が発生して崩壊し、曲げられて割れる。このような氷の破壊を曲げ破壊と言う。連続砕氷では、主に曲げ破壊によって砕氷が行われてゆく。なお、曲げ破壊によって、氷には放射状又は楕円状の亀裂が生じ、通常、破壊された氷片の形は三日月状又は半楕円形となる。

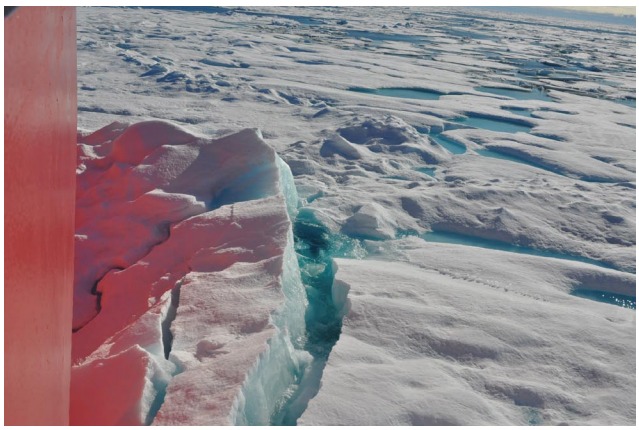


写真 1-18 船首部で三日月状に破壊された氷片（柴田啓貴氏提供）

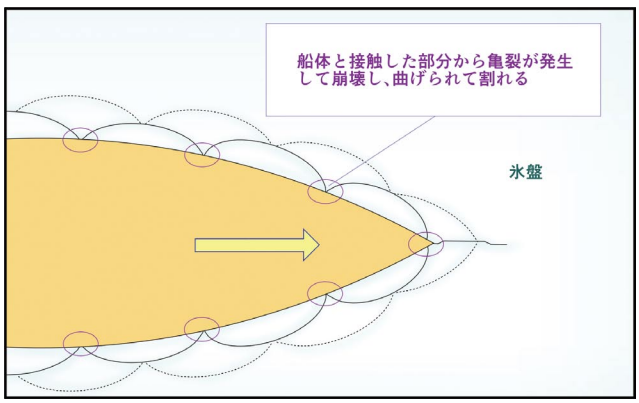


図 1-31 連続砕氷時の曲げ破壊

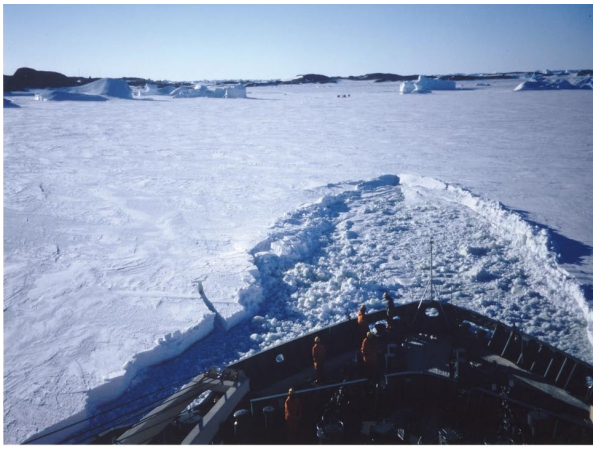


写真 1-19 ラミングによる圧壊で粉砕された氷（茂原清二氏提供）

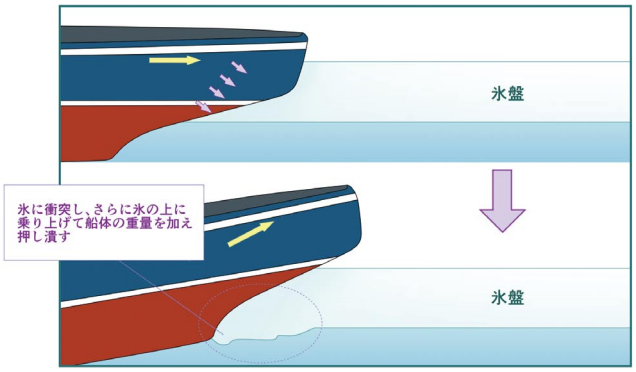


図 1-32 ラミング時の圧壊

3.5.2　ラミングと圧壊

ラミング（Ramming）とは、連続砕氷では破壊できない厚く硬い氷に遭遇した時、氷の手前で一旦船体を後退させ、次に前進して加速しながら衝突することにより氷を破壊する砕氷方法である。ラミングを行う氷海船舶は主に砕氷船で、耐氷船又は一般船舶、特に球状船首を有するものが行うと船体を損傷する。

図 1-32 に示したように、ラミング時、砕氷船は氷に衝突し、最初に氷を圧縮により破壊する。これを圧壊と言う。さらに、氷の上に乗り船体の重量を氷に加え、強引に押し曲げて氷を破壊する。なお、氷の上に乗り上げた後、船首トリムタンク（Trim tank）への海水等の注水によって船首部の重量を増し、効果を高める砕氷船もある。

3.5.3　氷海船舶に作用する氷荷重

氷海船舶のうち、連続砕氷又はラミングを行うのは主に砕氷船である。氷の密接度が比較的小さく、かつ、薄い一年氷の海氷域にやむを得ず進入してしまった場合、又は差し迫った危険を回避する場合等、特段の理由がある場合を除き、耐氷船が連続砕氷等を行うことはない。

一方、耐氷船は通常、砕氷船に先導され、砕氷船が連続砕氷又はラミングによって開けた水路内を航行する。その際、耐氷船は直径２メートル未満の小氷片が集まった状態のブラッシュアイスを押し分け又は沈降させながら航行することとなるが、時に砕氷船が破壊し損ねた氷片等を避けきれず衝突することがある。また、耐氷船がやむを得ず連続砕氷等を行った際にも、氷片等との衝突の可能性がある。

したがって、耐氷船の設計にあたっては、通常、小氷片の押し分け又は沈降、小氷片との衝突等に伴い作用する氷荷重が考慮される。一方、砕氷船の設計にあたっては、これら耐氷船と同様の氷荷重に加え、連続砕氷時の曲げ破壊及びラミング時の圧壊等、氷盤の破壊に伴い作用する氷荷重が考慮される。砕氷船と耐氷船では、設計に当たっての氷荷重に関し想定するシナリオが大きく異なる。

【第二章】

北極海航路における航海実務



第二章　北極海航路における航海実務

1. 航海の基本原則

海氷域が不慣れな運航者にとって、氷の存在又は存在の可能性は北極海航路を航海する際の最大の脅威の一つであろう。事実、見張りが不十分等によって、漂流中の多年氷等に気付かず、原速力のまま衝突した場合等にあっては、船体は大きなダメージを受け、最悪の場合は沈没等の重大海難に発展するおそれもある。しかしながら、海氷域の航海に必要な正しい知識を修得し確実に実践すれば、他の海域と同じように安全航海の達成は可能である。北極海航路における航海にあたっての基本原則について、主に耐氷船の視点から解説する。

1.1 氷回避の原則

北極海航路において耐氷船は、北極海航路局（NSRA）及び同局から管制業務を委託された運航管制所の指示のもと、氷との遭遇を可能な限り回避し、原則、開放水面を航行するのが基本である。海氷域に接近するおそれがある時は、砕氷船による誘導等の航行援助を受ける場合等を除き、気象情報及び氷況情報等を参考とした上で、運航管制所又は砕氷船の指示もしくはアイスパイロット（Ice pilot：氷海水先人）等からの助言を受けながら、できる限り早目に当該海域を迂回しなければならない。

北極海航路を利用する商船の多くは、海氷域の氷の密接度が比較的小さく、かつ、氷厚も薄いような場合、それらを押しのけて航行可能な船体補強等が施された耐氷船である。しかし、自船の船体性能又は操縦性能もしくは運航者の操船能力等を過信し、砕氷船の航行援助なしで、むやみに海氷域に進入すると、船体損傷等の事故に遭遇するおそれがある。また、船体は無事であっても、プロペラ又は舵の損傷等によって航行不能となるリスクもある。積荷の安全輸送を使命とする商船としては得策とは言えない。回避できる危険は可能な限り回避するのが北極海航路での航海の原則である。

アドバイス 氷との遭遇を可能な限り回避せよ！

1.2 安全速力の原則

北極海航路を航行中、適当な迂回ルートが見つからず、海氷域に接近又は進入してしまった場合は、直ちに安全な速力まで減じるのが北極海航路での航海の原則である。減速せずに漫然と航行したまま氷に衝突すると、プロペラ又は舵もしくは船体に損傷を招くおそれがある。

特に、やむを得ない理由により、砕氷船の航行援助なしで単独で海氷域に進入してしまった場合、耐氷船は運航管制所又は砕氷船の指示もしくはアイスパイロット等からの助言を受けながら、氷の状況（密接度、厚さ、硬さなど）、自船の船体性能及び操縦性能、運航者の操船能力等を見極めた上で、できるだけ氷の密接度の小さい、あるいは氷の薄いところを見つけながら安全な速力で慎重に航行し、開放水面等の安全海域に早急に退避する必要がある。

アドバイス 海氷域では常に安全な速力を維持せよ！



写真 2-1 海氷域を航行する砕氷観測船（舘山一孝氏提供）

1.3 高所見張りの原則

北極海航路のように氷が存在する、又は存在する可能性のある海域では、耐氷船はできる限り高い位置から見張りを行い、早期に氷を発見することが重

要である。周囲を氷に囲まれかけた際､あわてず眼高を少し上げたことにより、氷の密接度の小さな海面の発見につながり、窮地を脱したという実例もある。逆に眼高が低いと氷の発見が遅れるだけでなく、氷の影になった黒い部分が海面に見えてしまい、誤った操船につながる可能性もある。

眼高を上げるためには、操舵室上のフライング・ブリッジ・デッキ（Flying bridge deck)、又は、遮蔽型の専用見張台が設置されているマスト等に登ることが有効である。ただし、気温が著しく低い場合又は強風の場合、長時間にわたる見張りは危険を伴うことがある。その場合には、高所からの見張りは連続ではなく、適宜実施するようにする。

また、海氷域での見張りではサングラスを有効活用することが重要である。晴天時の海氷域は太陽光を反射し、見張りの妨げとなるためである。また、極地特有の強い紫外線から眼を保護する必要がある。なお、夜間航海ではサーチライト（探照灯）を有効活用しなくてはならない。

海氷域の見張りに慣れてくると、氷の色調又は形状等を見て、その厚さもしくは硬さの判定がある程度できるようになる。一方、慣れないうちは海面に浮遊する海鳥等を氷と見間違えること等がある。経験を重ね海氷域での見張りに早く慣れることが肝要である。

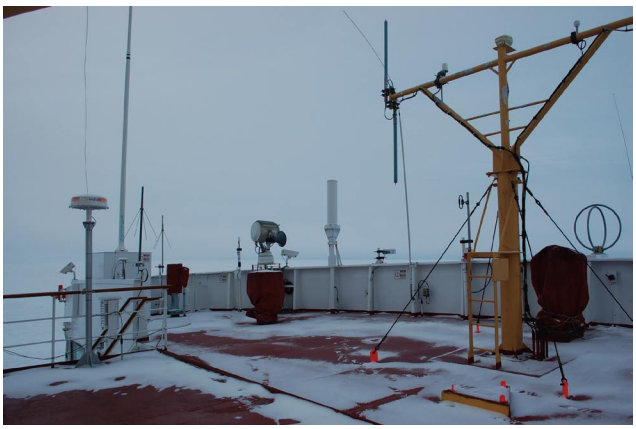


写真 2-2 砕氷観測船のフライング・ブリッジ・デッキ（舘山一孝氏提供）

アドバイス 高所からの見張りを実践せよ！



写真 2-3 砕氷観測船の船橋からの見張り／船尾方向（山口一氏提供）

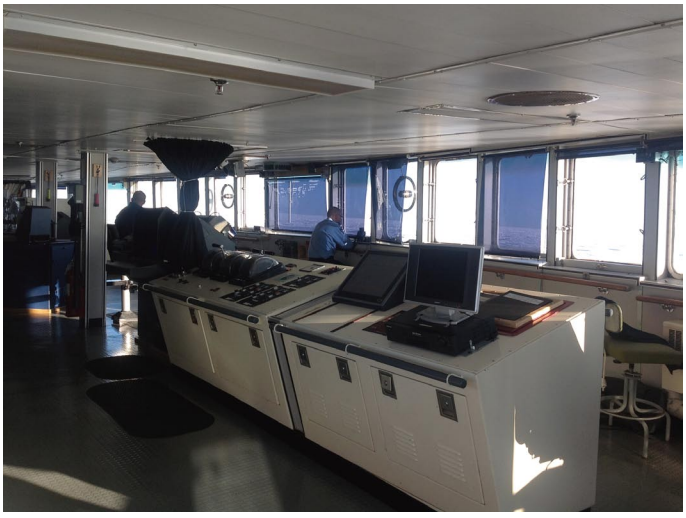


写真 2-4 砕氷観測船の船橋からの見張り／船首方向（山口一氏提供）

アドバイス 晴天時にはサングラスを有効活用せよ！

2. 見張りの方法

一般に、見張りとは周囲の船舶の通航状況の把握、衝突又は乗揚げ等のおそれの把握、その他自船に危険を及ぼす障害物の存在の把握等、自船の周囲に注意を払い、安全に航行するための確認を行うことが目的である。北極海航路のように氷が存在する、又は存在する可能性のある海域では、他の海域とは異なり、氷出現の兆候の察知、開放水面の発見、氷況把握等、氷に関する事項が見張りの目的として加わる。北極海航路における見張りの方法について、主に耐氷船の視点から解説する。

2.1 氷映による氷出現兆候の察知

氷が存在する海域の上空には、氷映（又は氷光／Ice blink）と呼ばれる現象が見られることがある。氷映は氷の出現を察知する上で、かなり信頼できる兆候の一つである。氷映が視認されたならば、自船がかなり高い確度で、海氷域の近辺を航行していることを示す証となる。



写真 2-5 北極海に現れた氷映（館山一孝氏提供）

氷映は氷の表面を反射した太陽光が上空の雲に映る現象で、一般に水平線近くの雲の下部が白色又は黄白色に光って見える状況を指す。氷の上に積雪があ

る場合、雲は強い白色に見え、積雪が新雪の場合はその鮮明度が増す。また、積雪がなく氷だけの場合、雲は弱い黄白色に見える。晴天の日に現れる氷映はそれほど明白ではなく、黄色がかった霞のように見えることがある。

なお､氷の上空に雲があまりない場合でも､氷の表面を反射した太陽光によって空の青みが若干増すので、注意深く観察すれば氷の存在を察知することができる。また、氷映は晴天の日の夜間でも、月又は星の光の反射によって見られることもある。

アドバイス 氷映を発見し氷の存在を察知せよ！

2.2 その他による氷出現兆候の察知

氷映の発見以外にも、以下のような方法で氷の出現の兆候を察知できる。

2.2.1 霧との遭遇

霧の近くには氷が存在しやすく、氷の近くには霧が発生しやすい。海氷域に接近するとかなりの確度で濃霧に遭遇する。氷出現の兆候を早期に察知するためには、見張りによって遠方から霧の存在を発見することが肝要である。



写真 2-6 霧に遭遇したら氷が近い！（日本海難防止協会撮影）

アドバイス 霧との遭遇は氷出現の兆候！

2.2.2 温度の急低下

海氷域に接近すると気温や水温が急激に低下する。短時間のうちに気温が摂氏２～４度以上、又は水温が２度以上低下した場合は、海氷域が近くに存在する可能性がある。なお、大西洋の氷山の近くでは、水温が一気に 15 度も低下した例がある。氷出現の兆候を察知するためには、見張りに際して気温及び水温の変化にも注目する必要がある。

2.2.3 海面の静穏化

海氷域は氷による防風及び静波効果があることから、荒天時であっても開放水面と比べて穏やかであることが多い。そのため、海氷域に接近すると周囲の風が急に弱くなったり、海面が急に穏やかになったりすることがある。

特に風下側から海氷域に近づいている場合、海面の急激な静穏化が起こりやすい傾向にある。氷出現の兆候を察知するためには、見張りに際してこうした海面変化を見逃してはならない。

2.2.4 海面の擾乱

海氷域に接近すると、氷との衝突による海面の乱反射のため、波又はうねりの方向が急に定まらなくなることもある。氷出現の兆候を察知するためには、見張りに際してこうした海面変化を見逃してはならない。

2.2.5 氷片との遭遇

海氷域に接近すると事前に小さな氷の塊、氷片を見かけることがある。氷片の漂流が確認された場合､そう遠くない場所に海氷域が存在する可能性が高い。氷出現の兆候を察知するためには、見張りに際して氷片の漂流を見逃してはならない。

2.2.6 動物との遭遇

海氷域に接近すると氷上又はその周辺を生活域としているワモンアザラシ、

セイウチ等の鰭脚類（ききゃくるい）に遭遇することがある。また、普段見かけない海鳥が現れたり、海鳥の数が急に増えたりする場合も、海氷域に接近している兆候である可能性が高い。氷出現の兆候を早期に察知するためには、見張りによって、遠方から動物の存在を発見することも重要である。



写真 2-7 氷上のセイウチ（島田浩二氏提供）



写真 2-8 氷上の海鳥（柴田啓貴氏提供）

2.2.7 音の変化

氷に接近している場合、氷が軋（きし）む音又は波が氷に当たって砕ける音が聞こえることがある。また、自船の汽笛又はエンジン音が氷に反射して戻ってくることがある。氷出現の兆候を察知するためには、見張りに際してこうした音の変化を見逃してはならない。

アドバイス 氷出現のさまざまな兆候を見逃すな！

2.3 開放水面の察知

氷映とは対照的に、氷が存在しない開放水面の上空には、水空（Water sky）と呼ばれる現象が見られることがある。水空は開放水面を発見する上で、かなり信頼できる兆候である。

水空とは氷が存在しない開放水面の表面では太陽光の反射がないため、上空の雲の下部が薄暗く見える現象のことを言う。具体的には開放水面の上空の雲の下部に、黒又は暗い灰色の斑点状もしくは縞（しま）状等のものが見える現象である。上空の雲が低い場合の水空は暗い斑点状に現れ、上空の雲が高い場合の水空は縞状又は黒い塊状に現れることが多い。

霧の場合も、開放水面の直上に黒い斑点状のものが現れることがある。ただし、曇天下の雲の下部に現れる水空と違い、遠方からこれを発見するのはかなり困難である。

なお、北極海では主に晴天の日、密度の異なる大気中における太陽光の異常屈折により、遠方の地物が歪んで見えたり、浮き上がったり拡大した虚像として見えることがある。幻氷（Mirage ice）と呼ばれる蜃気楼現象の一種である。幻氷が発生すると、海氷域ははるか遠方に存在する場合であっても、海氷域の虚像が開放水面の実像と重なり合って現れ、あたかも巨大な氷壁が自船に迫っているように見えることがある。

アドバイス 水空を見つけ開放水面を察知せよ！



写真 2-9 開放水面のすぐ近くに迫る氷縁（舘山一孝氏提供）



写真 2-10 南極の定着氷上で撮影された幻氷（読売新聞社提供）

アドバイス 幻氷に惑わされるな！

2.4 氷況等の見張りの原則

周囲の氷況を的確に把握するためには、できる限り高い位置からの肉眼による見張りが重要である。

たとえば、眼高 22 メートルの船橋から見張りを行った場合、氷の実像に歪みが生じるため、氷況が観察できる範囲はせいぜい 1 マイル程度までである。しかしながら、フライング・ブリッジ・デッキ、又は、遮蔽型の専用見張台が設置されているマスト等に登り、仮に眼高を 30 メートル以上とした場合、水平方向の可視距離が増大するとともに、氷の実像の歪みが改善されるため、氷況把握等の精度は格段に上昇することが多い。

2.5 色調等の判定

氷の色調又は形状等から、おおよその厚さ又は硬さを判定することができる。一般に一年氷等の薄い氷盤は白色又は灰色・鉛白色で、二年氷等の厚い氷盤は青色又は緑青色である。また、氷どうしが重なりハンモック状に盛り上がった氷丘又は氷丘脈は硬い。さらに、氷の密接度の大きな海氷域はほぼ純白で全体的に色調が均質に見え、密接度の小さな海氷域は灰色に見える。

ただし、たとえ砕氷船であっても、薄いと判断した氷が硬くて割れない等、セオリーどおりいかないことがある。耐氷船の乗組員も経験を重ねることが肝要である。



写真 2-11 白色の一年氷と青色の二年氷（島田浩二氏提供）

さまざまな形に砕けた直径２メートル未満の小氷片が集まった状態をブラッシュアイスと言う。ブラッシュアイスは砕氷船が海氷域内を通航することによっても形成される。砕氷船が海氷域内の同じ場所を繰り返し通航することにより、水路が形成され、当該水路が直径 30 センチメートル程度の大きさの氷片で埋め尽くされた状態となっている時、当該水路のことをブラッシュアイス・チャンネルと呼ぶ。

ブラッシュアイスは褐色又は黒灰色で、通常、水路を完全に覆った状態であっても、耐氷船は容易にそれらを押しのけて通航することができる。また、軟化している氷盤も褐色又は黒灰色に見える。

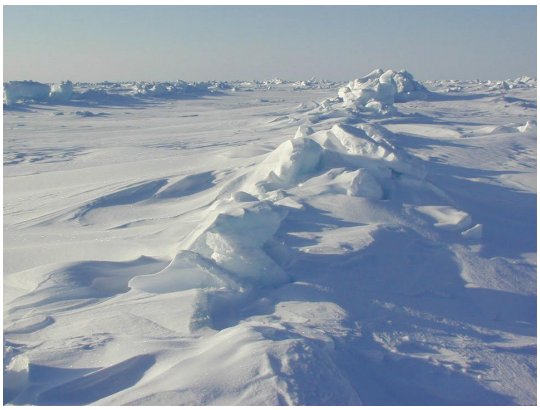


写真 2-12 氷どうしが重なり合い形成された氷丘脈（島田浩二氏提供）

アドバイス ハンモック状に盛り上がった氷丘又は氷丘脈は硬い！

2.6 密接度の判定

北極海の氷は一枚板ではない。大小さまざまなサイズの氷盤が集まり海氷域を形成している。海氷域では海面に存在する氷の量を密接度（Concentration）で表現するのが一般的である。氷の密接度とは、ある海域において海面に占める氷の割合を 10 分位数やパーセンテージなどで表したものである。たとえば、海面の５割が氷で覆われている場合、氷の密接度は 5/10（0.5）、又は５度もし

くは50％と表現する。なお、海面のすべての氷を対象とした密接度を全体密接度（Total concentration）、特定の氷を対象とした密接度を部分密接度（Partial concentration）と呼ぶ。

見張りによって周囲の海域の氷の密接度を常に正しく把握することは、砕氷船のみならず耐氷船にとっても、海氷域において安全な航海を達成するための基本事項の一つである。また、氷の密接度は砕氷船又は運航管制所との通信連絡の中でよく使われる用語でもあるので覚えておく必要がある。

アドバイス　“氷の密接度”は通信連絡でよく使われる用語！

なお、自船の前方の海氷域の密接度を航空機のように上空からではなく、船橋等での水平方向からの見張りによって把握するには熟練を要す。たとえば1マイル前方の海氷域の密接度を把握したい場合、当該海氷域の実像だけで決めつけるのではなく、レーダー（Radar）映像を見ながら、2マイル前方又は3マイル前方の同心円上に存在する海氷域の実像と比較する等の工夫が必要となる。

氷の密接度に応じ、海面の状態は以下のように表現される。

- 〈無氷海面（Ice-free）〉…密接度0/10（0.0）、氷がまったくない状態の海域である。
- 〈開放水面（Open water）〉…密接度1/10（0.1）以下、耐氷船が自由に航行できる広い状態の海域である。
- 〈分離氷域（Very open ice）〉…密接度1/10（0.1）～3/10（0.3）、氷より海面の方がはるかに広い状態の氷域である。耐氷船の航行はある程度制約される。
- 〈疎氷域（Open ice）〉…密接度4/10（0.4）～6/10（0.6）、氷と海面の割合がほぼ同じ状態の氷域である。多くの水路があり、氷どうしが通常は接触していないが、耐氷船の航行はかなり制約される。
- 〈密氷域（Close ice）〉…密接度7/10（0.7）～8/10（0.8）、氷どうしが概ね接触している状態の氷域である。砕氷船の航行援助なしでの単独航行は困難である。

・〈最密氷域（Very close ice)〉…密接度 9/10（0.9）～ 10/10（1.0)、砕氷船の航行援助なしでの単独航行はかなり困難である。
・〈全密接氷域（Compact ice)〉…密接度 10/10（1.0)、一面が氷で覆われ海面がまったく見えない状態の氷域である。砕氷船の航行援助なしでの単独航行はほとんど不可能である。
・〈凍結密氷域（Consolidated ice)〉…密接度 10/10（1.0)、氷どうしが互いに凍りついている状態の氷域である。砕氷船の航行援助なしでの単独航行は極めて困難である。

氷の密接度が 7/10（0.7）以上の場合、一定の船体補強がなされ、ある程度の氷を押しのけて航行できる能力を有する耐氷船であっても、砕氷船の航行援助なしでの単独航行は危険を伴う。ただし、個々の氷盤が比較的小さく、しかも、氷盤と氷盤の間がブラッシュアイスで埋め尽くされている等、好条件に恵まれた場合等にあっては、たとえ氷の密接度が 7/10（0.7）以上であっても、例外的に砕氷船の航行援助なしでの単独航行が可能なこともある。

氷の密接度が 6/10（0.6）から 7/10（0.7）の場合、氷が比較的薄い一年氷である等の状況次第では、メイン・エンジン（主機関）及び操舵装置等が正常に機能し、かつ、安全な速力で適切な操船が行われている限り、砕氷船の航行援助なしでの耐氷船の単独航行が可能なことがある。

氷の密接度が 6/10（0.6）以下の場合、航行可能な水路（Lead）又は開氷（Open pack）を発見して低速で慎重に縫航すれば、氷との接触によるダメージを最低限に抑えることができ、多くの耐氷船は砕氷船の航行援助なしでの単独航行が可能である。

一方、アイスクラスを有さず、氷荷重に対する船体補強がなされていない非耐氷船は、たとえ薄い氷であっても、密接度がある程度の大きな氷に囲まれた場合、完全に動けなくなるビセットに陥る可能性が高い。

❗アドバイス 密接度を的確に判定し航行の可否を決定せよ！

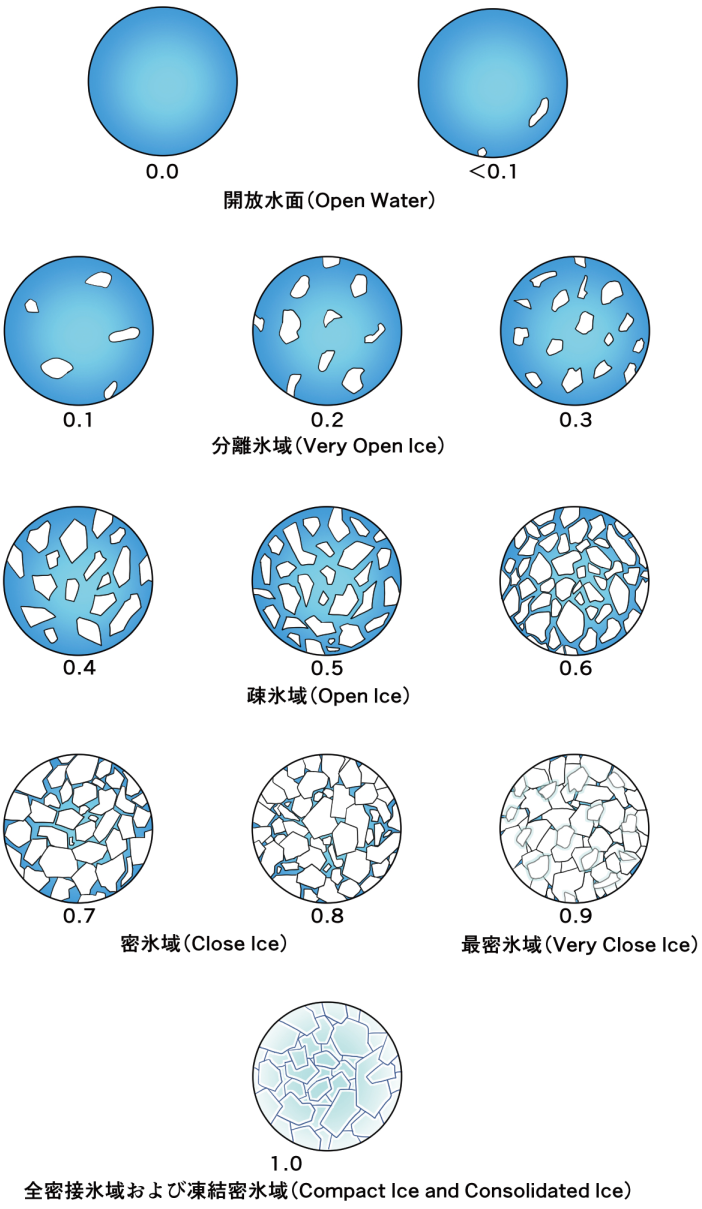

0.0
<0.1
開放水面（Open Water）
0.1
0.2
0.3
分離氷域（Very Open Ice）
0.4
0.5
0.6
疎氷域（Open Ice）
0.7
0.8
0.9
密氷域（Close Ice）
最密氷域（Very Close Ice）
1.0
全密接氷域および凍結密氷域（Compact Ice and Consolidated Ice）

図 2-1 氷の密接度



写真 2-13 分離氷域（舘山一孝氏提供）



写真 2-14 疎氷域（柴田啓貴氏提供）



写真 2-15 全密接氷域（舘山一孝氏提供）

3. レーダー利用の方法

北極海航路は夏を中心に霧が多く発生し、しばしば肉眼による見張りが妨げられる。霧の近くには氷が存在しやすく、氷の近くには霧が発生しやすいため、氷が存在している、又は存在している可能性のある海域では、肉眼による見張りの補強手段としてレーダーの有効活用が重要である。北極海航路でのレーダー利用の方法について、主に耐氷船の視点から解説する。

3.1 基本原則

正しく調整され性能が十分生かされたレーダーでないと、氷ははっきりと映し出されない。海氷域でのレーダーの利用に際しては、事前に同調（Tuning）、感度（Gain）、海面反射抑制（STC）、雨雪反射抑制（FTC）、画面輝度（Brightness）等の各スイッチ類を正しく調整した上で、性能点検を行っておくことが基本である。

また、視界の状態等に応じ距離レンジ（6 マイル、3 マイル、1.5 マイルなど）を適宜使い分けるとともに、レーダーの波長又は送信電力等の違いによる特色を十分理解した上での氷況把握等も重要である。



写真 2-16 レーダーが捉えた氷の映像（西城仁氏提供）

3.2 周波数による使い分け等

航海用レーダーはマイクロ波（Microwave）と呼ばれる波長が極めて短い電波が使用されている。商船に主に装備されているものは、波長 10 センチメートル帯・周波数３ＧＨｚ帯を使用するＳバンドレーダー（S band radar）及び波長３センチメートル帯・周波数９ＧＨｚ帯を使用するＸバンドレーダー（X band radar）の２種類である。

ＳバンドレーダーはＸバンドレーダーより長い波長を使用し、大気中での電波の減衰が比較的少なく、遠方の物標を探知する能力に優れているほか、海面反射の影響を受けにくい等の特色がある。

また、ＸバンドレーダーはＳバンドレーダーより短い波長を使用し、電波の直進性や指向性に優れ、物標からの反射波を捉えやすい等の特色がある。

表 2-1 航海用レーダーの電波による分類

レーダーの名称	周波数帯	波長帯
Sバンドレーダー	3GHz帯	10cm帯
（Cバンドレーダー）	（5GHz帯）	（5cm帯）
Xバンドレーダー	9GHz帯	3cm帯

ＳバンドレーダーはＸバンドレーダーと比較し、遠距離から氷を発見するのに適している。一方、Ｘバンドレーダーは近距離においてＳバンドレーダーよりも氷の映像が鮮明であることから、氷況を細かく観察するのに適している。

したがって、氷が存在している、又は存在している可能性のある海域では、ＳバンドレーダーＸバンドレーダーが使用する電波の特色等を十分理解した上で、氷の早期発見又は氷況把握等の用途別にこれらのレーダーを適宜使い分ける必要がある。

なお、これらのレーダーは氷況把握等以外にも、陸地の確認又は通航船の動静把握等の用途にも使う必要がある。さらに、霧の発生等に伴う視界の状態に

応じ、距離レンジ（6マイル、3マイル、1.5マイルなど）の切り替え又は感度等のスイッチ類の調整等を行う必要もある。加えて、同じ北極海航路でも、氷が存在しないことが明らかな開放水面と海氷域とでは、レーダー使用時の距離レンジの切り替え又は感度等のスイッチ類の調整が異なる。

すなわち、北極海航路における航海用レーダーの適切な利用にあたっては、一般海域と比べかなり複雑な使い分け等を必要とする。なお、北極海航路のように、氷が存在している又は存在している可能性のある海域では、Sバンドレーダー及びXバンドレーダーを必ず同時に稼働させ、遠方からの氷の早期発見及び自船周辺の氷況観察を並行して行うことが望ましい。

アドバイス レーダーは波長による特色を十分理解した上で使いこなせ!

3.3 氷の早期発見方法

一般にレーダーの最大探知距離は送信電力が大きく、アンテナ（Antenna）開口面積が大きく、受信機の感度が良く、大気中での電波の減衰が少なく、物標の有効反射面積が大きく、アンテナ高さが高く、雨雪又は海面反射の影響を受けにくいほど大きくなる傾向にある。

氷の早期発見に関しても、原則、同様の条件があてはまるが、雨雪又は海面反射の影響、氷の大きさ又は形状、氷の海面上の高さ等に大きく左右される。気象・海象等の状況に応じ、2台のレーダーを適宜使い分けることが早期発見の近道である。また、氷の早期発見に関しても、送信電力が大きなレーダー、アンテナ高さが高いレーダー等が有利である。

アドバイス 氷の早期発見は電波の減衰の少ないレーダーが有利！

レーダーから発射された電波が物標から反射し、アンテナに戻ってきた時の受信電力$S(w)$は次式で表される。

$$S = \left(\frac{PG}{4\pi R^2}\right) \times \left(\frac{\sigma}{4\pi R^2}\right) \times A = \frac{PG\sigma A}{(4\pi R^2)^2}$$

P：送信電力（w）、G：アンテナの利得、R：物標までの距離（m）、σ：物標の有効反射面積（m^2）、A：アンテナの有効開口面積（m^2）

また、レーダーの画面上に表示可能な最小の受信信号の電力を $Smin$（w）とした場合、最大探知距離 $Rmax$（m）は次式で表される。すなわち、次式はレーダーの送信電力、物標の有効反射面積、アンテナの有効開口面積によって決まる最大探知距離を示したものである。

$$Rmax = \sqrt[4]{\frac{PG\sigma A}{(4\pi)^2 Smin}}$$

さらに、レーダーのアンテナ高さを h（m）、物標の高さを H（m）とした場合、最大探知距離 $Rmax$（m）は次式で表される。すなわち、次式はレーダーのアンテナ及び物標の高さによって決まる最大探知距離を示したものである。

$$Rmax = 2.23\left(\sqrt{h} + \sqrt{H}\right) \times 1{,}852$$

前式から、最大探知距離はレーダーの送信電力の 4 乗根に比例するため、送信電力 10 キロワットのレーダーと 30 キロワットのレーダーを比較した場合、後者の方が氷の早期発見能力が優れていることがわかる。また、後式から最大探知距離はアンテナ高の平方根に比例するため、アンテナ高 22 メートルのレーダーと 33 メートルのレーダーを比較した場合、後者の方が氷の早期発見能力が優れていることがわかる。

しかしながら、航海用レーダーによる実際の氷の発見距離は、最大でも２～3マイル程度までで､3～4マイル以上離れてしまうと発見できないことがある。特に海面上の高さが十分でない氷又は表面が板状の滑らかな氷のレーダーによる早期発見は困難な場合が多い。

氷はその体積の９割が海面下にあり、海面上の高さが十分でないことが理由の一つである。また、表面が板状の滑らかな氷にあっては、電波の有効反射面積は十分であっても、電波の反射強度が鉄製の船舶等の物標と比較して劣ることも理由の一つである。特に氷の上に積雪がある場合の反射強度の低下は著しい。

こうした状況の中、レーダーによる氷の早期発見のためには、距離レンジの切り替え又は感度等のスイッチ類の調整等の運用面での工夫に加え、北極海航路を航行する船舶には送信電力の大きなレーダーを搭載する等の抜本策を検討することも一案である。

アドバイス 海面上高さが十分でない氷に注意せよ！

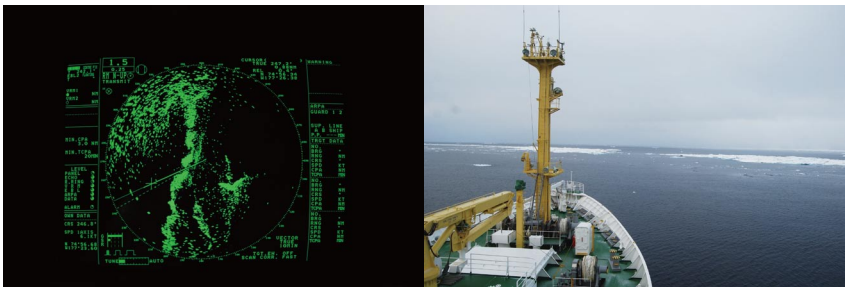


写真 2-17 氷のレーダー画像と実際の氷況（島田浩二氏提供）

なお、降雨、降雪、霧、波浪等の影響によって氷の発見が困難となる場合があること、小さな氷片がレーダーで探知できない場合があること等にも注意しなければならない。

北極海航路を航海するにあたっては、一般海域と同様にレーダーを過信せず、肉眼による見張りを優先すべきである。しかしながら、濃霧又は荒天等の理由により、レーダーに頼らざるを得ないこともある。経験を重ね、海氷域特有のレーダーの取扱いに早く慣れることが肝要である。

3.4 氷況の把握方法

周囲の氷況等を的確に把握するためには、できる限り高い位置からの肉眼による見張りが重要ある。一方、レーダーを利用した遠方からの氷況把握も、ある程度までは可能である。

3.4.1 氷の密接度の把握

一般に氷の密接度が大きな海域ほど、レーダーによって発見しやすい傾向にある。レーダーによって思いのほか遠方から海氷域が発見された場合、当該海域の氷の密接度が大きい可能性を疑う必要がある。

氷の密接度が大きい場合でも、氷の海面上の高さが十分でない場合又は表面が板状の滑らかな氷である場合には、レーダーから発射された電波がほとんど自船に戻ってこないことがある。そのため、氷の密接度が大きい海氷域が自船に迫っているにも関わらず、映像として映らないため気付かず、開放水面と錯覚することがある。

また、静穏な海面の場合、海面上の海鳥又は小魚の群れからの反射波をレーダーが受信し、そこに氷盤が存在していると錯覚することがある。いずれにしても注意を要する。

3.4.2 海面反射等の影響

自船が海氷域内を航行している場合、氷で覆われた周囲の海面は静穏であるため海面反射等の影響を受けにくくなる。したがって、海氷域内の氷が板状の滑らかなものであっても、感度等のスイッチ類の適切な調整を行えば、レーダーによる氷の発見は比較的容易であることが多い。

自船が開放水面内を航行している場合、天候の状況次第では、周辺に存在する海氷域の氷縁が海面反射の影響によって目立たなくなり、レーダーによる発見がしにくいことがあるので注意を要する。

ある程度以上の高さ及び広さを有する海氷域等は、電波の反射が強いため、天候の状況次第では、海面反射よりさらにはっきりとした、まるで陸岸のような映像として現れることがある。また、移動している氷盤の映像は、しばしば海面反射と錯覚することがあるので注意を要する。

なお、海面反射がまったくレーダー画面に映らない場合、周囲の海面が静穏であると理解すると同時に氷の存在を強く疑うべきである。

アドバイス 海面反射が映らない静穏な海は氷の存在を疑え！

3.4.3 氷丘脈等の把握

氷どうしが押し合い積み重なってできた氷丘、又は氷丘がうね状に連なった氷丘脈等は硬いことが多く、やむを得ず海氷域を航行する場合にあっても、必ず避航したい箇所である。氷丘脈等は海面上からある程度の高さがあることが多く、レーダーから発射された電波を反射しやすいため、比較的発見しやすい。

ただし、氷丘脈等のレーダー映像は、海氷域内の水路、氷が互いに重なり合った変形氷の一種のいかだ氷等とも酷似している。これらをレーダーだけで明確に区別することは困難である。

アドバイス 氷丘脈をレーダーで区別することは困難！

アドバイス レーダーを正しく活用し氷の早期発見に努めよ！

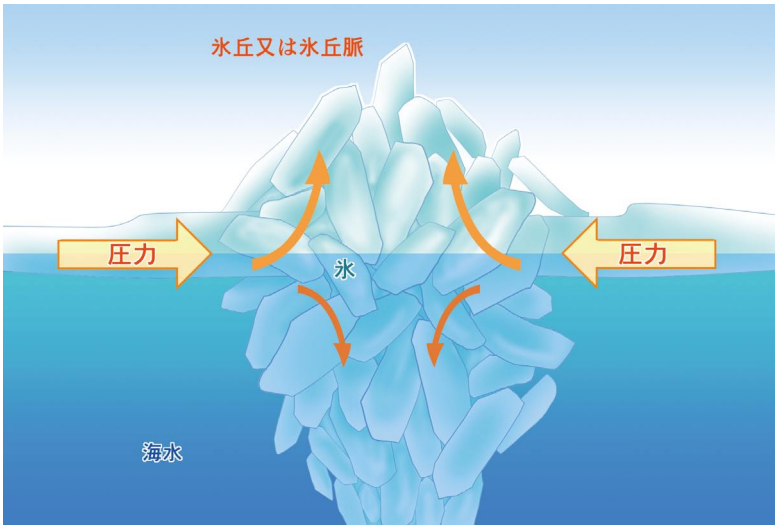


図 2-2 氷丘又は氷丘脈の形成概念

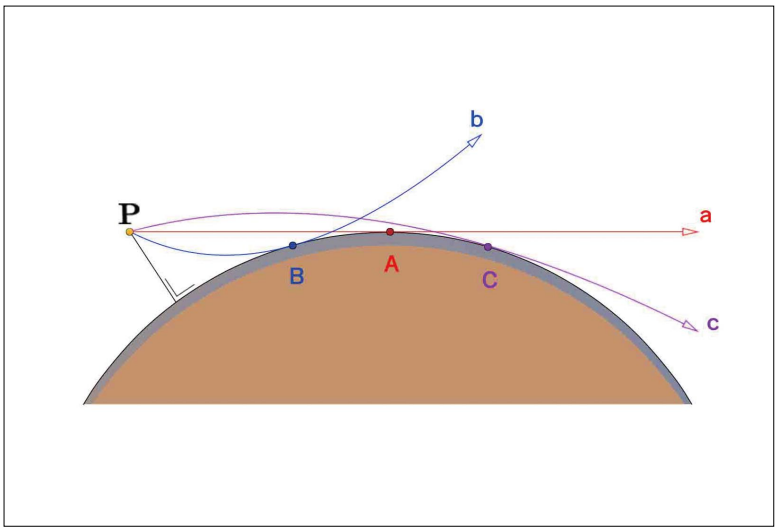


図 2-3 サブ・リフラクションの原理

P：自船のレーダーアンテナ、a：異常伝搬により直進する電波、b：異常伝搬により上空に曲げられる電波、c：正常な伝搬の電波

3.4.4 サブ・リフラクションの影響

北極海のような極地では、上空の温度低下の割合が激しくなる、又は相対湿度が上空に行くほど増加する等、標準とは著しく異なる大気の状態となることがある。その際、図 2-3 に示したように、サブ･リフラクション（Sub-refraction）と呼ばれる電波の異常伝搬現象が発生し、レーダーから発射された電波が直進、又は上空に曲げられてしまうため、水平方向の最大探知距離が減少することがある。

サブ・リフラクションの発生時、レーダーによる氷山等の発見が他の物標の発見と比べ困難となる場合があるので注意を要する。

3.5 氷海専用レーダー

北極海航路等の極海を航行する船舶は、極海コード（Polar Code：北極海及び南極海を航行する船舶の安全確保や極海の環境保護などを目的に、IMO が定めた国際規則）に従い、氷の位置情報を表示するための装置の搭載が義務付けられている。具体的な装置としては氷海専用レーダー等が挙げられる。

一般海域で使用されている従来型の航海用レーダーは、陸地の確認又は通航船の動静把握等を目的に設計されている。一方、氷海専用レーダーは氷の早期発見又は氷況把握等に関しても、一定レベル以上の効果が発揮できるよう特別な設計がされている。



写真 2-18 氷海用の処理装置の設置例（古野電気株式会社提供）

一般に、氷海専用レーダーは、従来型のXバンドレーダーからビデオ（Video）信号、トリガー（Trigger）信号、空中線回転信号等を取り出し、特殊な処理装置によって氷が認識しやすくなるよう変換し、専用のディスプレイ（Display）に映し出す仕組みとなっている。また、Xバンドレーダーに当該処理装置が組み込まれたタイプのものも開発されている。

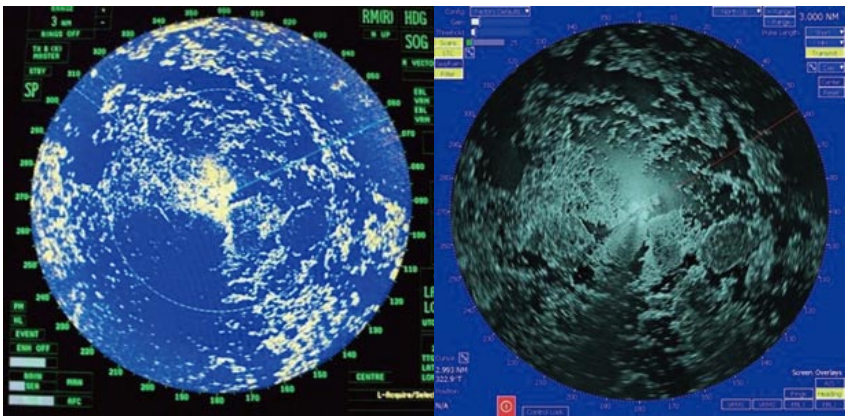


写真 2-19 従来型Xバンドレーダーの映像（左）と改良型Xバンドレーダーの映像（右）
（出典：カナダ沿岸警備隊ウェブサイト）

氷海専用レーダーは氷を高い鮮明度でリアルに映し出し、開放水面と海氷域の区別等、氷況把握等の精度を向上させる効果がある。また、氷の大きさ又は形状等によっては、従来型のレーダーと比較して、より遠方からの探知が可能なこともある。さらに、従来型のレーダーでは困難な氷丘脈、水路、いかだ氷等の区別も氷海専用レーダーでは可能なこともある。

アドバイス 氷海専用レーダーを活用し氷況把握等の精度を向上させよ！

4. 氷の種類ごとの把握方法

氷はその種類ごとに肉眼による見え方又はレーダーによる映り方等に異なる特徴がある。北極海航路のように氷が存在する、又は存在する可能性のある海域での見張りにあたって、そうした特徴をよく理解しておく必要がある。氷の種類ごとの把握方法について、主に耐氷船の視点から解説する。

4.1 氷山

氷山とは陸上の氷河、又は棚氷と呼ばれる海岸に固着もしくは浮遊している氷床が分離し、海上に流出したもので、海面上の高さが５メートル以上の氷塊のことを言う。氷山はその形状から卓状型、ドーム型、傾斜型、尖塔型、風化型等に分類される。また、海上を漂流しているもののほか、海底に座礁した状態のものもある。

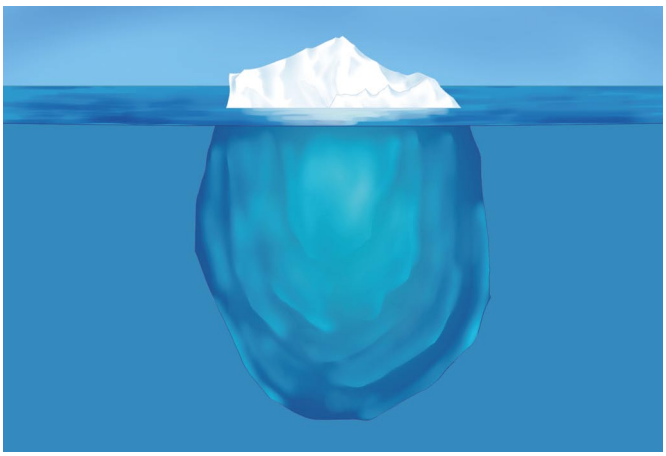


図 2-4 正横から透過した氷山のイメージ

北半球で見られる氷山のほとんどが、グリーンランドの陸地の氷河から分離し、大西洋に流出したものである。したがって、ロシア沿岸の北極海航路付近で遭遇することはほとんどない。しかしながら、カナダ沿岸の北米大陸沿いに北極海を航行する際には、グリーンランド沖の北極海で遭遇する可能性があるので、

その把握方法について知っておくべきである。

海面上から十分に突出した氷山等は、晴天の日の昼間であるならば、肉眼による見張りによって比較的容易に発見することができる。また、氷山の大きさ又は形状によっては、レーダーから発射された電波を強く反射するため、画面上には船舶等と同様のはっきりした映像として現れる。

一方、海面上からの突出が十分ではない氷山、もしくは表面が板状の滑らかな、あるいは表面に積雪がある氷山は、肉眼による見張りで早期発見が困難な場合がある。また、レーダーから発射された電波の反射が弱く、画面上にはっきり映らないこともある。さらに、荒天等で海面反射が激しい場合、レーダー映像が分かりにくいことがある。

ところで、レーダーによる氷の発見距離は、一般に最大でも 2 ～ 3 マイル程度であり、3 ～ 4 マイル以上離れてしまうと発見できないことが多い。一方、大きさ、形状等にもよるが、大きな氷山は 4 マイル以上、条件次第では 10 数マイル以上離れていても容易に発見できることがある。ただし、降雨、降雪、霧等の影響によって氷山の発見が困難となる場合もあるので過信は禁物である。また、自船の至近まで迫った大きな氷山の場合、レーダーから発射された電波の反射が強大であっても、状況次第では映像が小さくなる場合、又は映像として捉えられない場合がある。

なお、氷が存在する、又は存在する可能性のある海域では、レーダーに映らないからと言って、氷山の存在を完全に否定できるわけではない。双眼鏡及びサーチライトを有効活用した肉眼による見張りが、氷山を発見する上でもっとも重要であることを常に忘れてはならない。

一方、氷山がレーダーに直接映らない場合であっても、レーダーから発射された電波が氷山に遮断されることにより、氷山の後背部の海面反射が消滅して陰影が生じることがある。当該陰影は氷山に接近するほど大きくなるが、発生する位置又は形状は自船と氷山との相対位置関係等によって異なり、時間の経過とともに変化することがある。当該陰影の存在に早目に気付くことが、氷山の早期発見につながることもある。



写真 2-20 開放水面内に悠然と漂う氷山（柴田啓貴氏提供）

アドバイス レーダーに映らない氷山は陰影を見逃すな！

4.2 多年氷等

氷が溶けずに少なくとも一夏以上残ったものを古い氷（Old ice）と言い、厚さ 2.5 ～ 3 メートル以上に達するものもある。なお、一夏溶けずに残った厚さ 2.5 メートル程度までの古い氷のことを二年氷（Second-year ice）、少なくとも二夏溶けずに残った厚さ 3 メートル以上の古い氷のことを多年氷（Multi-year ice）と言う。

ロシア沿岸の北極海航路で氷山に遭遇することはほとんどないが、小氷山級に成長した多年氷と遭遇することがある。一般に、北極海航路及びその周辺海域で遭遇する氷のほとんどは一年氷で、厚さは冬に 2 メートル程度、夏に 0.5 メートル程度のものが主体である。一方、多年氷は厚さ 5 メートル以上に成長するものもある。多年氷等との不用意な衝突は、深刻な船体損傷を招くおそれ

がある。氷山が存在しないからと言って、多年氷等が存在する可能性のある海域は安心できない。

海面上から十分に突出した多年氷等は、晴天の日の昼間であるならば肉眼による見張りで発見することができる。また、大きさ又は形状によっては、レーダーから発射された電波を良く反射し、画面上には海面反射又は船舶もしくは突出岩等によく似た映像として現れることがある。

一方、海面上からの突出が十分ではない多年氷等、もしくは表面が板状の滑らかな、あるいは表面に積雪がある多年氷等は、肉眼による見張りで早期発見が困難な場合がある。また、レーダーから発射された電波の反射が弱く、画面上に映らないこともある。さらに、荒天等によって海面反射が激しい場合、あるいは降雨、降雪、霧等の影響がある場合、レーダー映像が分かりにくいことがある。

なお､多年氷等及び一年氷をレーダーだけで明確に区別することは困難である。レーダーによる探知の可否にかかわらず、最終判断はあくまでも肉眼による見張り以外に方法はない。

多年氷等の表面には夏の気温上昇などによって氷が融解してできた規則的なパドル（Puddle）と呼ばれる水たまりが多数存在する。二年氷の色調は積雪のあるところは白色、積雪のない部分及びパドル部分は緑青色である。多年氷の表面のパドルは大きく不規則な形状となっていて、色調は積雪のあるところは白色、積雪のない部分及びパドル部分は青色である。一方、一年氷等の薄い氷は白色又は灰色・鉛白色である。

海氷域においては、できる限り高い位置から肉眼による見張りを行い、色調の違い及びパドルの存在の有無等を見定め、多年氷等及び一年氷を区別しなければならない。眼高 22 メートルの船橋から見張りを行った場合、多年氷等及び一年氷が区別できるのはせいぜい 1 マイル程度からであるが、眼高を高くした場合は距離が増える可能性が期待できる。

アドバイス 一年氷と多年氷はレーダーでは区別できない！



写真 2-21 氷上のパドル（島田浩二氏提供）



写真 2-22 一年氷に交じっている二年氷（舘山一孝氏提供）

4.3 定着氷

海岸等に接続している氷のことを定着氷と言う。定着氷はその場の海水が凍結することにより、又は氷盤が海岸に漂着し固まることによって形成される。

陸地と定着氷がつながっている状態の時、肉眼による見張りによって各々を区別することは困難である。一方、感度等のスイッチ類の適切な調整により、レーダーの映像によって明確に区別することができる場合がある。経験を重ねることが肝要である。



写真 2-23 定着氷（茂原清二氏提供）

アドバイス レーダーのスイッチ類を調整し定着氷を把握せよ！

4.4 氷片

海氷域に接近すると事前に氷片に遭遇することがある。漂流する氷片が発見された場合、そう遠くない場所に海氷域が存在する可能性が高い。氷片のレーダーによる発見は非常に困難であり、専ら肉眼による見張りに頼らなくてはならない。大氷片又は氷片群であるならば、レーダーによって発見できる可能性はある。

なお、氷片は主に風の影響を受けて漂流するため、その風上側に海氷域が存在する可能性が高い。図 2-5 に示したように、レーダー又は肉眼で氷片群を発見したならば、その風下側を大きく迂回すれば、風上にある海氷域を避けることができる場合がある。

アドバイス 氷片を発見し海氷域を察知せよ！



写真 2-24 開放水面の前方に現れた氷片群（山口一氏提供）

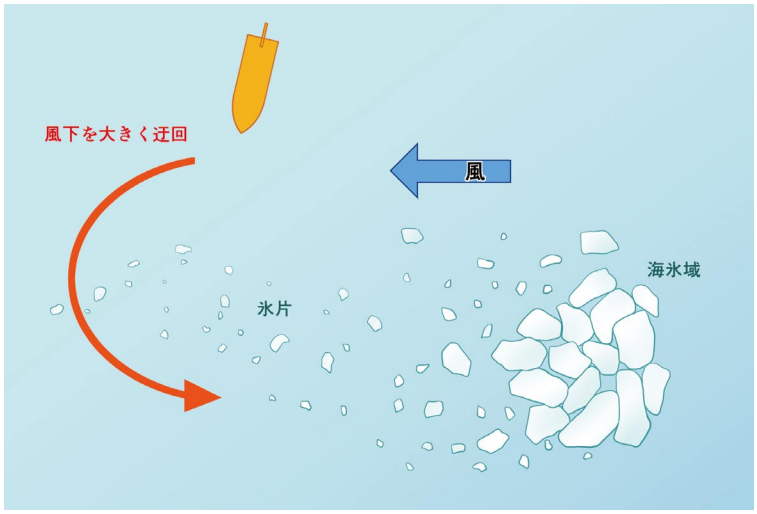


図 2-5 氷片の風下側から海氷域を回避



写真 2-25 海洋に注ぐ氷河（山口一氏提供）



写真 2-26 着氷した船首部（舘山一孝氏提供）

5. 狭視界時等の注意事項

北極海航路では夏を中心に霧が発生し、しばしば肉眼による見張りが妨げられる。北極海航路のように氷が存在している、又は存在している可能性のある海域では、狭視界時にあっては、一般海域と同様、船舶との衝突防止又は浅所等への乗揚げ防止のための注意に加え、氷との衝突防止に関しても細心の注意が必要となる。また、これらの海域を夜間又は暗闇下に航行する際にも、明るい時と比べさらに厳重な氷との衝突防止対策が求められる。北極海航路の狭視界時等における注意事項について、主に耐氷船の視点から解説する。

5.1 一般的注意事項

一般に、狭視界時にあっては、船舶との衝突防止又は浅所等への乗揚げ防止のため、常に適切な見張りを実施し、安全な速力を保ち、法定航法を遵守する等、以下のような事項に注意しなければならない。北極海航路についても同様であるが、確認のため以下に整理する。

5.1.1 安全な速力

他の船舶との衝突を避けるための適切、かつ、有効な動作をとること、又はその時の状況に適した距離で停止することができるよう、視界の状況に応じ、常に安全な速力で航行すること。

5.1.2 適切な見張り

周囲の状況及び他の船舶との衝突のおそれについて十分に判断することができるように、視覚、聴覚及びその時の状況に適した他のすべての手段により、常時適切な見張りを行うこと。また、必要に応じ見張員を増員し、適所に配置させること。

レーダー、自動衝突予防援助装置（ARPA：Automatic radar plotting aids）、船舶自動識別装置（AIS：Automatic identification system）、国際 VHF 等の航海計器又は無線装置等を有効、かつ、適切に利用すること。

また、聴覚による見張りの精度を上げるため、できる限り船内の静粛化を図ること。

5.1.3 法定航法の遵守

狭視界時には、「1972 年の海上における衝突の予防のための国際規則に関する条約（COLREG 条約）及び「海上衝突予防法」に定められた以下のような航法を遵守すること。

- メイン・エンジン（主機関）を直ちに操作することができるよう、常に準備しておくこと。
- 船舶等を避航する時は、その時の状況及び視界制限状態を十分に考慮すること。
- 他の船舶の存在をレーダーのみにより探知した船舶は、当該他の船舶に著しく接近することとなるかどうか又は当該他の船舶と衝突するおそれがあるかどうかを判断すること。
- 他の船舶の存在をレーダーのみにより探知した船舶は、他の船舶に著しく接近することとなり、又は他の船舶と衝突するおそれがあると判断した場合は、十分に余裕のある時期にこれらの事態を避けるための動作をとること。
- 他の船舶の存在をレーダーのみにより探知した船舶が避航動作をとる時、他の船舶が自船の正横より前方にある場合、やむを得ない場合を除き、針路を左に転じないこと（他の船舶を追い越す場合を除く）。
- 他の船舶の存在をレーダーのみにより探知した船舶が避航動作をとる時、自船の正横又は正横より後方にある他の船舶の方向に針路を転じないこと。
- 船舶は、他の船舶と衝突するおそれがないと判断した場合を除き、他の船舶が行う霧中信号を自船の正横より前方に聞いた場合、又は自船の正横より前方にある他の船舶と著しく接近することを避けることができない場合、針路を保つことができる最小限度まで減速、又は必要に応じて停止すること。
- その場合、船舶は衝突の危険がなくなるまでは、十分に注意して航行すること。
- 定められた灯火及び形象物を表示し、又、霧中信号を実施すること。

5.1.4 航海計画

最新の気象情報を入手・分析し、十分余裕を持った航海計画を立てること。

5.1.5 航海当直

狭視界時の航海当直にあたっては、以下の事項に留意すること。

・船舶等を避航した時は、当該船舶等の動静監視を十分遠ざかるまで連続的に行い、その効果を確認すること。
・船位の確認を常に怠らず、又、適宜測深を実施すること。
・船位等に関し不安を感じた時は、安全海域に迂回すること。
・船橋当直者に対し､狭視界となった際の船長への報告の徹底を図らせること。

5.2 海氷域における追加的注意事項

北極海航路では、夏を中心に発生する霧のほか、雪、みぞれ、氷晶雨、アークティックヘイズ（煙霧）等によって、狭視界での航行を余儀なくされることがある。また、北極海航路では冬（秋分から春分までの間）、太陽が一日中現れない日（極夜）、又は昼に比べ夜が極端に長い日が続くことから、長時間にわたり暗闇下での航行を余儀なくされることがある。

北極海航路での耐氷船による狭視界又は夜間もしくは暗闇下（以下、狭視界等と言う）における航行に際しては、前述の一般的注意事項のみならず、氷との衝突防止等の北極海特有の環境事情に鑑み、以下のような追加的注意事項を考慮する必要がある。

5.2.1 海氷域迂回の原則

狭視界等において､耐氷船が砕氷船の航行援助なしで海氷域に進入することは、原則、絶対に回避すること。

なお、狭視界時等において、耐氷船がやむを得ない理由により海氷域に接近するおそれがあると判断した時は、砕氷船による誘導等の航行援助を受ける場合等を除き、できる限り早く当該海域を迂回し、安全な海域への避難を試みること。

5.2.2 海氷域での減速・停止等

狭視界等において､耐氷船がやむを得ない理由により海氷域に接近する時は、予想される氷の厚さ、氷の密接度等の氷況の如何に関わらず、一旦、針路を保つことができる最小限度まで必ず減速又は停止すること。

なお、狭視界等において、耐氷船がやむを得ない理由により海氷域に接近し減速又は停止した時は、当該海氷域に潜在する危険の種類、規模等について速やかに判定すること。当該危険の判定はあらゆる情報又は手段を用いて的確に行い、確信が持てるまで絶対に加速等を行わないこと。

また、狭視界等において、耐氷船が氷の点在するような海氷域を安全な速力で順調に航行している場合等であっても、氷況悪化等の可能性を察知した時は直ちに減速すること。特に、多年氷等出現の可能性を察知した時は、躊躇することなく一旦停止すること。

なお、狭視界等において、耐氷船が氷況悪化等の可能性を察知し減速した時は、当該氷況悪化等の内容、規模等について慎重に確認を行うとともに、安全が確保されるまで絶対に加速等を行わないこと。



写真 2-27 霧による狭視界下、突然出現した氷盤（西城仁氏提供）

アドバイス 氷況悪化を察知したならば直ちに減速せよ！

5.2.3 サーチライトの有効活用等

北極海航路等の極海を航行する船舶は、極海コードに従い、船橋から 360 度以上の範囲を照射可能な遠隔操作式のサーチライト（水平全回転タイプの探照灯）の搭載が義務付けられている。耐氷船による狭視界等の航行にあたっては、当該サーチライトを有効活用した適切な見張りによって、氷等の障害物の早期発見に努めること。なお、サーチライトの使用にあたっての注意事項は以下のとおりである。

- サーチライトの照射範囲は限定されていることに留意すること。
- サーチライトは暗い海面にぽつりと浮かぶ氷片又は氷盤の発見には高い威力を発揮するが、周囲の海面が氷盤で覆われ真っ白な状態の場合等にあっては、氷況の変化等が把握しにくいことがあるので注意すること。
- サーチライトは氷海航行に欠かせない必需品である。使用中に減光又は遠隔操作不能等の不具合を起こさないよう、平素から整備を怠らないこと。
- 砕氷船による誘導等の航行援助を受ける際、狭視界等又は薄明時等にあっては、砕氷船の後方からサーチライトが照射されるので追尾の目安にすること。
- 狭視界等にあっても、霧又は降雨下でのサーチライトの使用は、しばしばグレア（Glare：眩輝）を誘発し、氷等の障害物の発見がかえって遅れる可能性がある。グレアとは周囲に比べ、高い輝度のものが人の視野内にある時、それを不快に感じる現象、又はそれに惑わされ他の物標が見えにくくなる、もしくはまったく見えなくなる現象を言う。

5.2.4 氷況情報等を反映した航海計画

耐氷船は最新の気象情報のほか、氷況情報を入手・分析し、狭視界となるおそれのある海域又は海氷域に接近しないよう、十分余裕を持った航海計画を立てること。

なお、近年、夏の北極海では激しい暴風雨雪を伴う北極低気圧がしばしば発生するが、正確な予測が困難である場合があることに留意すること。

5.2.5 海氷域の特殊性を考慮した航海当直

耐氷船による北極海航路における狭視界時の航海当直にあたっては、以下の事項に留意すること。

- 狭視界等において、氷と思しき映像をレーダーのみによって探知した時は、海面反射等の影響によってそれらを見失わないよう、同調（Tuning）、感度（Gain）、海面反射抑制（STC）、雨雪反射抑制（FTC）、画面輝度（Brightness）等の各スイッチ類を適宜調整し映像の消失を防ぐとともに、連続したレーダー・プロッティング（Radar plotting）を的確に行い捕捉し続けること。
- 狭視界等において､氷と思しき映像をレーダーのみによって探知した時は、自動衝突予防援助装置（ARPA）による自動追跡も行うこと。
- 狭視界等にあっては、必ず複数のレーダーを同時に稼働させ、波長等の違いによる特色を十分理解した上でこれらを使い分けるとともに、距離レンジの切り替えを的確に行い、できる限り遠方からの氷の早期発見及び自船周辺の氷況観察に努めること。
- 多年氷等及び一年氷をレーダーだけで明確に区別することは困難である。狭視界等において､氷と思しき映像をレーダーのみによって探知した時は、肉眼による見張りによって安全性が確認されない限り、多年氷等である可能性があることを考えて対応すること。
- 狭視界等において、砕氷船による誘導等の航行援助を受けている時、又は、コンボイ（Convoy：砕氷船に先導され複数の船舶が縦列船隊を組んで航行すること）を行っている時は、綿密な情報交換及び確実な意思疎通、並びに船間距離に関しレーダー等の航海計器による連続モニタリングを的確に行い、これら船舶どうしの衝突海難が発生しないよう最善を尽くすこと。

6. 航海計画と航路選定等

北極海航路では、海氷の存在、低温又は着氷等、極地特有の危険性等を考慮した航海計画又は航路選定等が必要となる。また、北極海航路では氷に対する特別な見張りを必要とするほか、砕氷船誘導時にはコンボイ等の複数の船舶が関連する共同作業が行われる。そのため、他の海域とは異なる船橋チームを組む必要があり又、他船間にまたがる複雑なコミュニケーションの確保等も必要とする。以下に北極海航路における航海計画、航路選定、航海当直等に関する注意事項等について、主に耐氷船の視点から解説する。

6.1 航海計画

航海計画は、船舶の安全運航及び経済運航を目的とした最適な通航ルートを確保するため、航海中に遭遇が予想されるすべての危険を総合的に評価した上で、気象・海象、外力の影響、自船の性能、交通環境、規則の遵守、航路障害物の存在等が勘案されたものである。本来であるならば、通航船の船長の指示のもと、担当航海士によって準備され、船長の最終承認を経た後、会社の担当者に提出されるものである。

ところで、ロシア沿岸のユーラシア大陸沿いの北極海航路の航行は、ロシアの国内法に従い、北極海航路局（NSRA）に申請し、許可を得て実施しなければならない。北極海航路局は通航船のアイスクラス及び氷況等を勘案し、砕氷船による誘導等の航行援助等、一定の航行許可条件を課す。また、通航船の船長の北極海航路の航行経験によっては、アイスパイロットの乗船義務も課す。通航船はこれらの条件及び義務に従わなければ北極海航路を航行することはできない。また、通常、通航ルート等は、北極海航路局又は同局から管制業務を委託された運航管制所が指示を出すので、通航船はそれに従わなければならない。

すなわち、北極海航路における航海計画は、一般海域の場合とは異なり、北極海航路局等からの通航ルート等の指示を前提に立案しなければならないという特別な事情がある。無論、通航船の船長は、北極海航路局等から指示され

た通航ルート等について、自らも氷況又は天候等を分析し、なぜそのような指示があったのか、その意図を正しく理解しなければならない。

なお、北極海航路局等から通航ルート等の指示があった場合であっても、航海計画の立案は最終的には通航船が責任を持って行うべきものである。船長は IMO（国際海事機関）が定める極海コードに従い、北極海航路特有の環境条件に即した航海計画を立案しなければならない。その際、通航船の船長は、「航海計画立案のための IMO 指針（the Guidelines for Voyage Planning）」を参考とするほか、以下のような情報源から安全運航及び経済運航に必要な諸情報を入手し、航海計画に反映させなければならない。

- 水路図誌目録・カタログ（ロシア版、英国版、カナダ版等）
- 海図（ロシア版、英国版、カナダ版等）
- 水路通報（ロシア版、英語版、カナダ版等）
- 水路誌（英国版：Admiralty Sailing Direction 等）
- 灯台表（英国版：Admiralty List of Lights and Fog Signals 等）
- 無線信号表（英国版：Admiralty List of Radio Signal 等）
- 距離表（英国版：Admiralty Distance Tables 等）
- 潮汐表（英国版：Admiralty Tidal Publications 等）
- 航行警報（ロシア等）
- 気象情報（テキスト情報、実況天気図、予想天気図、数値予報天気図、衛星画像等）
- 海象情報（テキスト情報、波浪図、海面水温図、潮流分布図、流況図、衛星画像等）
- 海氷情報（テキスト情報、アイスチャート：氷況図、短期・中期予測、衛星画像等）
- その他

6.2 アイスチャートとエッグコード

海氷域における航海計画立案に際し、氷況図（アイスチャート：Ice chart）

はもっとも重要な情報源の一つである。一般に、氷況図には世界気象機関（WMO）が国際標準として定めたエッグコードと呼ばれる卵状のシンボルマークが使用されている。エッグコードは、当該海域の氷の密接度、氷厚ごとの発達段階、氷厚ごとの氷盤の大きさ等の氷況情報が数字又は記号によって示されている。航海計画を策定する際には、エッグコード及び氷況図の見方を理解しておく必要がある。なお、国によっては、エッグコードを使用せず、独自の表現法を使用している氷況図もあるので注意を要する。

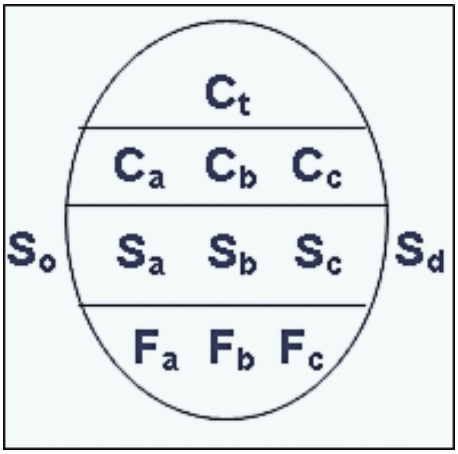


図 2-6 エッグコード

一段目の Ct は当該海域全体の氷の密接度を示すものである。

二段目は氷の厚さごとの密接度を示したものである。すなわち、Ca は当該海域でもっとも厚い氷の密接度、Cb は二番目に厚い氷の密接度、Cc は三番目に厚い氷の密接度を示す。氷の密接度に関し、エッグコードに記載されている数字等を表 2-2 に示す。

表 2-2 エッグコードに記載されている数字等（密接度）

数字	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9+	10
密接度	1/10 未満	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10	8/10	9/10	9/10~ 10/10	10/10

第三段目は氷の厚さごとの発達過程及び厚さを示すものである。すなわち、Sa は当該海域でもっとも厚い氷、Sb は二番目に厚い氷、Sc は三番目に厚い氷に関し、発達過程及び厚さを示す。

また、So は密接度 1/10 未満で Sa より厚い氷に関し、Sd はその他の氷があればそれに関し、発達過程及び厚さを示す。氷の発達過程及び厚さに関し、エッグコードに記載されている数字等を表 2-3 に示す。

表 2-3 エッグコードに記載されている数字等（発達過程及び厚さ）

数字等	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1.	4.	7.	8.	9.	▲.	X
発達段階及び厚さ	無氷海面	ニュ―アイス・新成氷	ニラス／10 cm未満	ヤングアイス／10～30 cm	グレ―アイス／10～15 cm	グレ―ホワイトアイス／15～30 cm	一年氷／30 cm～200 cm	薄い一年氷／30～70 cm	薄い一年氷／30～50 cm	薄い一年氷／50～70 cm	並みの一年氷／70～120 cm	厚い一年氷／120 cm以上	古い氷	二年氷	多年氷	陸氷	不明

四段目は氷の厚さごとの大きさを示したものである。すなわち、Fa は当該海域でもっとも厚い氷の大きさ、Fb は二番目に厚い氷の大きさ、Fc は三番目に厚い氷の大きさを示す。氷盤の大きさに関し、エッグコードに記載されている数字等を表 2-4 に示す。

アドバイス エッグコードを理解しアイスチャートを使いこなせ！

表 2-4 エッグコードに記載されている数字等（氷盤の大きさ）

数字等	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X
氷盤の大きさ	パンケーキアイス／30～300cm	ブラッシュアイス・小板氷／200cm未満	板氷／2～20m	小氷盤／20～100m	中氷盤／100～500m	大氷盤／500m～2km	巨氷盤／2～10km	巨大氷盤／10km以上	定着氷	氷山	不明

なお、国によっては、エッグコードの記載情報を独自に増やしている場合もあるので注意すること。

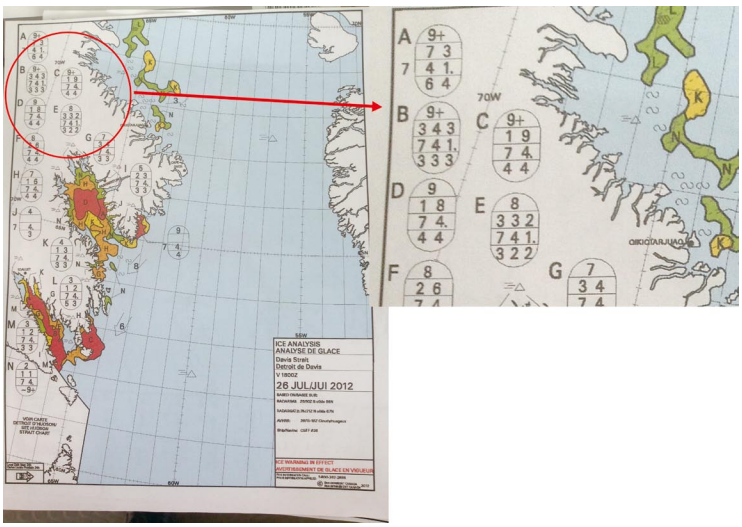


写真 2-28 カナダのアイスチャート（山口一氏提供）

6.3 航路選定等

北極海航路局は北極海航路の航行に関し、経験則に基づく標準的な２つの航路（北航路及び南航路）を設定しているが、通航時の氷況等に応じこれらを適宜組み合わせた混合ルートが指示されることもある（17 ページ参照）。

- 北航路・・・バレンツ海から、ノバヤゼムリヤ北東端の沖合、セベルナヤ・ゼムリヤ北側の海域、ノボシビルスク諸島北端の海域（チホノフ・ルート）、ロング海峡を経てベーリング海峡に至るルート
- 南航路・・・バレンツ海からカラゲイト海峡、ビルキツキー海峡、サニコフ海峡、ロング海峡を経てベーリング海峡に至るルート
- 混合ルート・・・北航路及び南航路を適宜組み合わせたルート

一般に、ロシア沿岸のユーラシア大陸沿いの北極海航路を航行する際には、北極海航路局又は同局から管制業務を委託された運航管制所、もしくは現場で誘導等の航行援助を行う砕氷船から通航船に対し、周囲の状況等を勘案した上で、航路、針路、速力等に関する指示が出されることがある。通航船は当該指示の意図を十分理解した上で、それに従わなければならない。また、指示のあるなしに関わらず、北極海航路を航行する際には安全運航のため以下の事項を遵守する必要がある。

- 氷との接触又は衝突による船体損傷、もしくは霧との遭遇による視界不良等のリスクを回避するため、できる限り海氷域を回避する針路を選定すること。特に、氷縁付近では濃霧が発生しやすいこと、又、外力による氷の移動等を勘案し、海氷域を迂回する際には十分な距離間隔を保つこと。
- 喫水、船型、速力、昼夜の別、視界の状態、氷況、気象・海象、北極海航路の航行経験、浅所・暗岩の存在等を勘案し、安全な離岸距離を常に維持すること。
- 海峡等を通航する際には、針路及びその周辺の水深の状況、浅所・暗

岩の位置等を海図で確認の上、避険線を設定し、その中に立ち入らない操船に徹すること。なお、高緯度の海図は距離、面積又は角度に誤差があるため、避険線は船首目標や物標からの方位などで設定すると良い。

・海峡等への接近方法、針路、通航時の注意事項等については、あらかじめ水路誌等で確認しておくこと。
・喫水、船型、速力、潮汐、気象・海象、水深データの信頼性等を考慮し、安全な余裕水深を維持すること。
・特に氷が存在する可能性のある海域、水深データに疑問がある海域、不測の潮流が予想される海域等を航行する際には、岬等における大角度による針路変更又はショートカットはできるだけ避けること。やむを得ない場合は、小角度での針路変更を複数回に分けて繰り返すこと。
・特に氷が存在する可能性のある海域、水深データに疑問がある海域、不測の潮流が予想される海域等を航行する際には、浅所・暗岩等との距離間隔を大きめに設定すること。
・水深データに不安がある海域等では、海図を過信することなく、必ず音響測深機（エコーサウンダー：Echo sounder）を作動させ、水深を実測・確認しながら航行すること。
・安全運航及び経済運航の達成のため、ウェザールーティング・サービス（通航船に対し気象・海象・海氷情報を提供するとともに、燃料消費量が少なくてすむ航路、速力が出やすい航路等を気象予報等に基づきアドバイスしてくれる気象会社の有償サービス）を活用するのも一案である。
・北極海航路局等による航路選定等の指示に関し、アイスパイロットが乗船している通航船は、そのアドバイスを受けること。
・北極海航路の航行は通航船、北極海航路局、運航管制所、砕氷船等による共同作業であることを忘れないこと。

❗アドバイス 海氷域を迂回する際は十分な距離間隔を保て！

6.4 海図及び水路誌等

以下に北極海航路における海図及び水路誌等に関する注意事項等について解説する。

6.4.1 海図図法

通常、多くの海図にはメルカトル図法（Mercator projection）が使われている。メルカトル図法は正角円筒図法とも呼ばれ、球形の地球を平面図として表す工夫がなされている。すなわち、地球儀を円筒の中に入れ、その地表面を当該円筒の内側に投影させ、平面図とする技法が使われている。その際、地球儀は赤道部分だけが円筒に接し、地球儀の両極に向かうほど投影面から距離が離れて行く。また、平面図の経線は等間隔の平行線となるが、経線と垂直に交わる緯線の間隔は高緯度になるほど大きくなり、両極で最大となる。

メルカトル図法では、地図上で出発点及び到着点を指定し、それらを直線で結べば、両点間の最短距離ではないにしろ、到着点までの針路を示した航程線を得ることができるという大きな特徴がある。そのため、ヨーロッパにおける羅針盤の普及に伴い、航海を行う上での利便性が高く評価され、海図用の図法として世界中で広く使われてきた。

一方、メルカトル図法は球形を平面上に投影させているため、緯度が高くなるほど、図上における長さ及び面積が実際のものより増大し、両極においてその誤差が最大になるという特徴がある。そのため、北極海航路のような高緯度地帯をメルカトル図法で表した場合、図上に大きな歪みが生じ、距離、面積又は角度に誤差が生じる。特に北極海航路周辺の海域を広範囲にカバーしている小縮尺海図に関しては、正確な航程線を得ることはほとんど期待できない。

メルカトル図法による歪みを補正し、距離等の誤差を少しでも軽減するため、北極海航路周辺の小縮尺海図に関しては、一般に、北極又は南極専用の平面直交座標系の図法であるユニバーサル極心平射図法（UPS：Universal polar stereographic projection）が使用されている。また、地球儀の緯線ごとに接する多数の円錐を乗せて投影させる多円錐図法（Polyconic projection）、地球儀

の北極点の上に円錐をかぶせて投影させるランベルト正角円錐図法（Lambert conformal conic projection）等も使用されることがある。

北極海航路において海図を使用する際には、図法が何かを確認した上で、できる限り大縮尺のものを使用するとともに、どのような図法であっても、距離、面積又は角度には、必ず多少なりとも誤差がある可能性を常に意識し、最大限の注意を払わなければならない。特に、航海計画立案等にあたっては、浅所等を通過する際の距離間隔を一般海域より大きめに設定する等の安全対策を講じなくてはならない。さらに、機会があるごとに、方位又は距離をクロスベアリング（Cross bearing：交叉方位法）もしくはレーダーによって実測し、海図上のものと照合しておく必要がある。

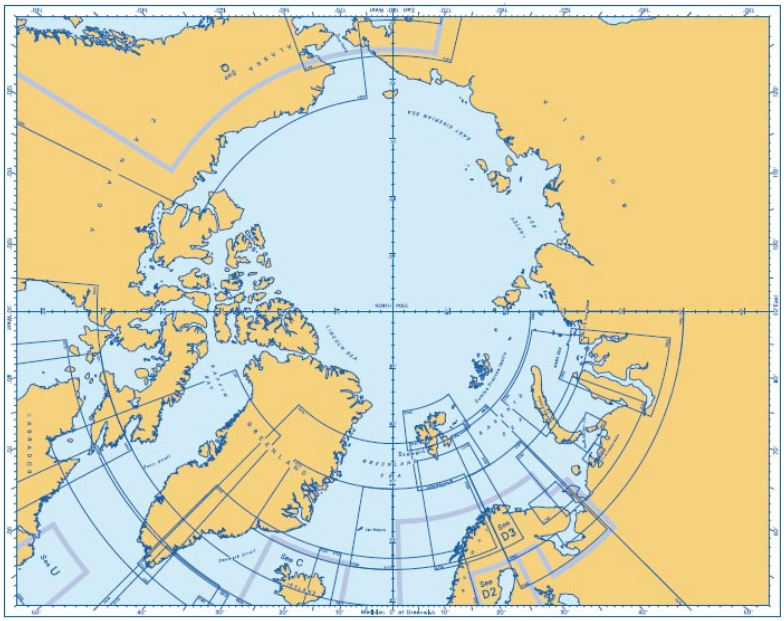


図 2-7 BA 版海図の北極海のカバーエリア（出典：英国水路部発行のカタログ）

6.4.2 BA 版海図

英国水路部（The United Kingdom Hydrographic Office：UKHO）が発行す

る航海用の海図は一般にBA（British Admiralty）版海図と呼ばれ、紙媒体又は電子媒体によって3,000版以上が発行され、ほぼ全世界をカバーしている。BA版海図は200年以上の歴史があり信頼され、又、英語表記であること等から、国際航海に従事する商船の多くが利用している。

しかし、ロシア沿岸のユーラシア大陸沿いの北極海航路に関し、ヨーロッパ方面はバレンツ海及びカラ海中央部付近のみ、アジア方面はベーリング海峡付近のみしかカバーしていない。

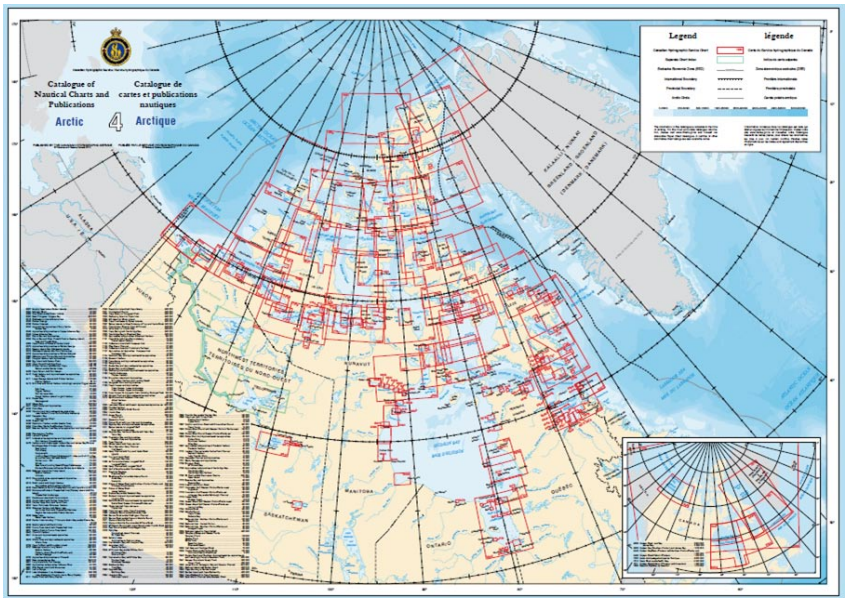


図 2-8　カナダ海図の北極海のカバーエリア（出典：カナダ水路部発行のカタログ）

6.4.3　カナダ版海図

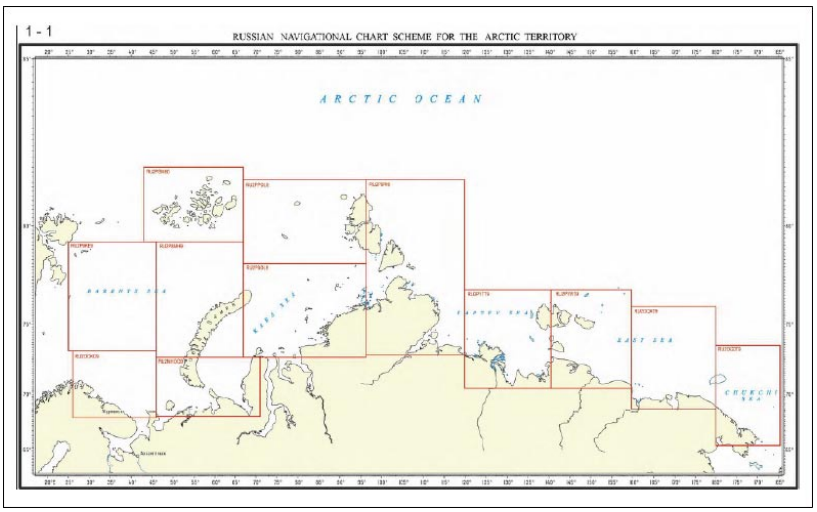
カナダ水路部（Canadian Hydrographic Service：CHS）は100年以上の歴史があり、紙媒体又は電子媒体によって900以上の海図を発行している。しかし、北極海に関しては自国沿岸に限定され、ロシア沿岸のユーラシア大陸沿いの北極海航路はカバーしていない。

6.4.4 ロシア版海図

ロシア海軍水路部(Hydrographic Service of the Russian Federation Navy)は、ロシア国防省航海・海洋局（Department of Navigation and Oceanography of the Russian Federation of Ministry of Defense：DNO of the RF MD）の一部門である。水路部が発行するロシア版海図は約 130 年の歴史を有し、紙媒体又は電子媒体によって約 10,000 版以上が発行され、ほぼ全世界をカバーしている。

ロシア沿岸のユーラシア大陸沿いの北極海航路及びその周辺海域に関しては、2011 年現在約 980 版の紙媒体及び約 250 版の電子媒体によってカバーされている。北極海航路を航行するためには、ロシア版海図を入手する必要がある。しかしながら、その多くがロシア語による記載が基本となっていて、ロシア語のほか英語が併記されているものは限られている。したがって、ロシア語に不慣れな者が使用する際には、ロシア語による海図用語の翻訳表をあらかじめ準備する等の対応が必要である。

また、ロシア版海図の日本国内での入手先は BA 版海図等とは異なり、限られている。航海計画立案等のためロシア版海図が必要な際には、早目の手配を心掛けること。



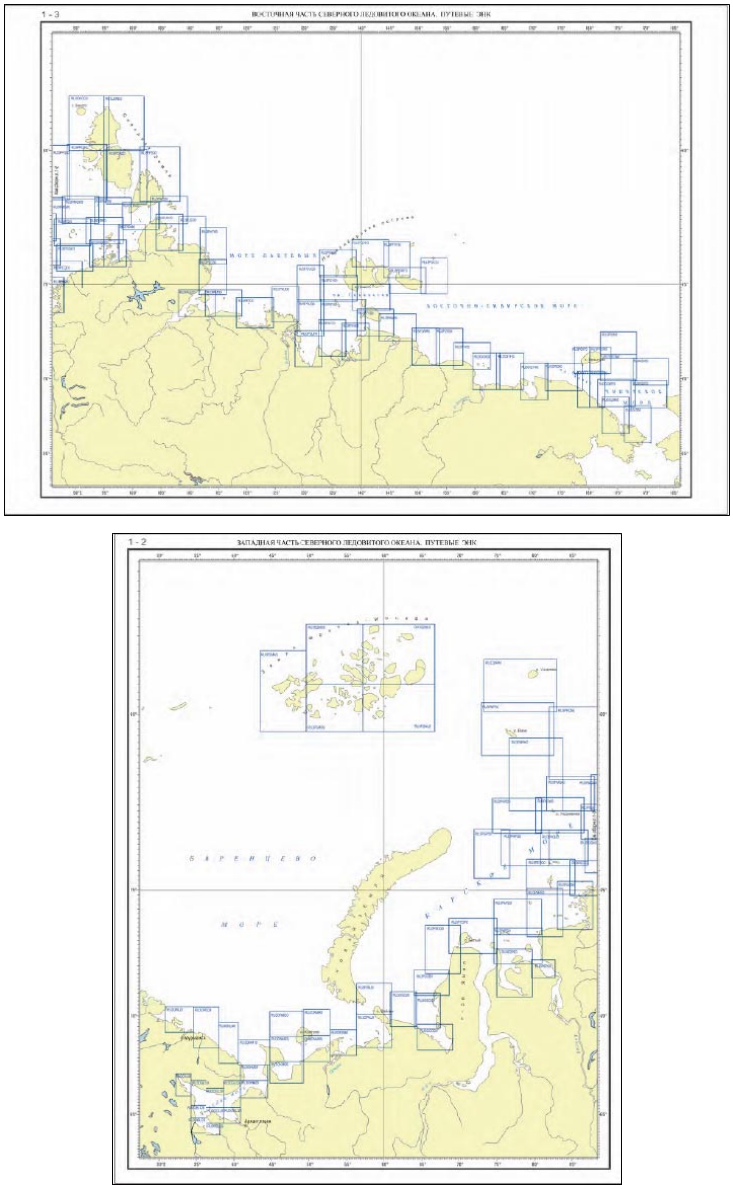


図 2-9　ロシア版海図の北極海のカバーエリア
（出典：NATIONAL REPORT OF HYDROGRAPHIC SERVICE OF THE RUSSIAN FEDERATION NAVY 2011）

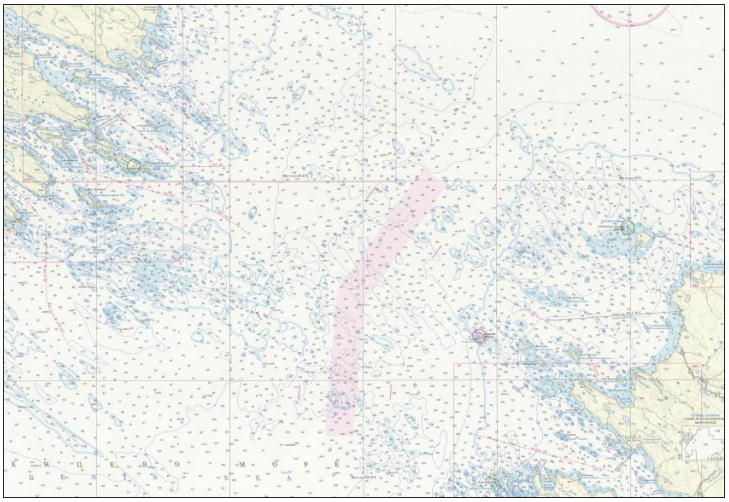


図 2-10　ロシア版海図のイメージ　カラゲイト海峡
（出典：Proliv Karskiye Vorota：Kara Sea DNO of the RF MD）

なお、北極海航路及びその周辺海域のロシア版海図の多くは 1990 年代の測量に基づき作成されたもので、水深データの不備等を改善するため、現在、再測量が進められている。水深データ等に不安がある海域では、海図を過信することなく、必ず音響測深機（エコーサウンダー：Echo sounder）を作動させ、水深を確認するよう心掛けること。

6.4.5　水路誌等

海図の使用にあたり、航路上のさらに詳しい情報を得るためには、水路誌を併用する。水路誌には海域ごとの気象・海象、航路の状況、針路法、沿岸域又は港湾の地形・施設等の諸情報が記載されている。

英国水路部が発行する水路誌（Admiralty Sailing Direction）は、全74冊によって世界中をカバーし、国際航海に従事する商船の多くが利用している。ロシア沿岸のユーラシア大陸沿いの北極海航路を航行する際には以下を準備し、海図と併用すると良い。なお、これらの水路誌には海図用語のロシア語及び英語の翻訳表も掲載されている。

・「北極海水路誌（NP10 Arctic Pilot）」
・「ベーリング海及び海峡水路誌（NP23 Bering Sea and Strait Pilot）」
・「南バレンツ海及び白海水路誌（NP72 Southern Barents Sea and Beloye More Pilot）」

また、英国水路部が発行する灯台表も準備すると良い。

・「北方海域灯台表（NP84 List of Lights and Fog Signals Volume L Northern Seas, Coast of Norway north of latitude 60deg. 55`N, Svalbard, the Faeroes, Iceland, Greenland and coast of Russia to Bering Strait）」

6.5 ブリッジチーム

北極海航路では他の海域と同様、安全運航を達成するため、視界の状況、交通環境、外力の影響、自船の性能、船型、運航者の操船能力及び健康状態等を考慮し、その時の状況にもっとも適したブリッジチームを組み船橋当直を実施しなければならない。

ところで、北極海航路の航行に際しては、他の海域では想定されていない、以下のような特殊な航海実務が行われる可能性がある。

・氷の発見及び回避
・海氷域での単独航行（航行可能水路等の低速縫航等）
・海氷域での砕氷船誘導による追尾航行
・海氷域でのコンボイ（縦列船隊を組んだ砕氷船誘導）による追尾航行
・海氷域での曳航索を使った砕氷船誘導
・その他

そのため、他の海域とは異なる船橋チームを組む必要が生じることがある。一部の乗組員に負担が集中しないよう、航海実務の難易度に応じブリッジチームのメンバーを増員する等、周囲の環境変化を読み取りながら、安全運航のための適切なブリッジチームを確保しなければならない。航海実務の難易度に応じたブリッジチームの構成例は以下のとおりである。なお、アイスパイロット

はメンバーに入れていない。

【レベル 1】

・無氷海面での単独航行（氷が存在する可能性なし）…航海士 1 名、操舵手 1 名

・無氷海面での砕氷船による誘導航行（氷が存在する可能性なし）…航海士 1 名、操舵手 1 名

・無氷海面での単独航行（氷が存在する可能性あり）…航海士 1 名、操舵手 1 名、甲板部員（船橋見張員）1 名

・無氷海面での砕氷船による誘導航行（氷が存在する可能性あり）…航海士 1 名、操舵手 1 名、甲板部員（船橋見張員）1 名

【レベル 2】

・無氷海面での単独航行（浅所等が存在する狭水道等）…船長､航海士 1 名、操舵手 1 名、甲板部員（船橋見張員）1 名

・無氷海面での砕氷船による誘導航行（浅所等が存在する狭水道等）…船長、航海士 1 名、操舵手 1 名、甲板部員（船橋見張員）1 名

・密接度の小さな海氷域での単独航行（通航船は航行可能水路等を発見しながら低速縫航等）…船長、航海士 1 名、操舵手 1 名、甲板部員（船橋見張員）1 名

・密接度の小さな海氷域での砕氷船による誘導航行（砕氷船は連続砕氷又は航行可能水路等を発見しながら低速縫航等）…船長、航海士 1 名、操舵手 1 名、甲板部員（船橋見張員）1 名

【レベル 3】

・密接度の大きな海氷域での砕氷船による誘導航行（砕氷船は連続砕氷を実施）…船長、航海士 2 名、操舵手 1 名、甲板部員（船橋見張員）1 名、甲板部員（船尾見張員）1 名

・密接度の大きな海氷域での砕氷船による誘導航行（浅所等が存在する狭水道等）…船長、航海士 2 名、操舵手 1 名、甲板部員（船橋見張員）1 名、甲板部員（船尾見張員）1 名

【レベル 4】

・密接度の大きな海氷域での砕氷船による誘導航行（砕氷船はラミングを実施）…船長、航海士 2 名、操舵手 2 名、甲板部員（船橋見張員）1 名、甲板部員（船尾見張員）1 名

【レベル 5】

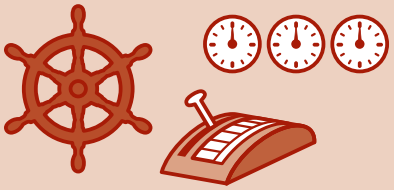
・密接度の大きな海氷域での砕氷船による曳航誘導航行（砕氷船は連続砕氷又はラミングを実施）…船長、航海士 2 名、操舵手 2 名、甲板部員（船橋見張員）1 名、甲板部員（船尾見張員）1 名、甲板部員（船首見張員）1 名

安全運航の達成のためには、ブリッジチームのメンバー個々の技能レベルを高めるだけではなく､互いに協力し合いチーム全体としての技能レベルを高め、船橋当直の資質向上に努めなければならない。そのためには船橋当直の前に全メンバー及びアイスパイロットを交えたブリーフィング（要旨説明会）を開催し、航海計画、見張り実施要領、航路目標、予想される気象・海象等、諸情報の共有化を図るとともに、互いの役割分担を明確にしておくこと等が有効である。

なお、北極海航路の通航はブリッジチームのメンバーだけでなく、北極海航路局、運航管制所、砕氷船（及びその運航会社）等、多くの人々による共同作業である。また、コンボイ等が行われる際には、他船間にまたがる複雑なコミュニケーションの確保等も必要とする。また、コミュニケーション手段は英語だけでなく、ロシア語等が加わり複雑でなる。ヒューマンエラーによる事故防止のため、的確な情報交換及び確実な意思疎通を常に心掛けなくてはならない。

【第三章】

北極海航路における操船実務



第三章　北極海航路における操船実務

1. 基本原則

ある海域における航行に際しては、当該海域における風、波浪及び潮流等の外力、並びに浅所又は狭水路等の地理的環境について、船の操縦性能に対しどのような影響をどの程度与えるかを知っておくことが重要である。これらを把握した上で針路及び速力を適切に調整し、船体を確実にコントロールするのが操船と呼ばれる船の操縦方法の基本である。北極海航路での操船にあたり、もっとも注意すべき外力の一つであり、又、浅所又は狭水路等の地理的環境と同様に航行の障害ともなるのが氷の存在である。北極海航路において操船を行うにあたっての基本原則について、主に耐氷船の視点から解説する。

1.1 氷回避の原則

氷との衝突又は接触による氷荷重は、耐氷船による操船に対し、以下のような影響を及ぼすおそれがある。

- 船体に接触し、航行中又は回頭する際の船体抵抗を増加させる。
- 船体に衝突し、外板・プロペラ・舵等を損傷させる。
- プロペラに接触し、急激なトルク上昇を発生させる（アイストルク：Ice torque）。
- 船体周囲を閉塞し動けなくさせる（ビセット）。最悪の場合、氷による圧迫によって船体を押し潰す。

北極海航路における耐氷船の操船に際し、不慣れな運航者にとって氷の存在は大きな脅威である。しかし、必要に応じ、砕氷船の誘導等の航行援助を受けながら、一定レベル以上の性能を有する船体を確実にコントロールすれば、たとえ氷が存在していたとしても、安全な航海が達成できることは、北極海航路を航行した多くの耐氷船が既に証明済みである。

一般に、氷海船舶が海氷域での安全な航海を成功させる上でもっとも重要なポイントは、氷との遭遇を可能な限り回避し、できる限り操船の自由を維持し続けることである。たとえ、砕氷船であっても、氷況が厳しい海域に入ってしまった場合、船体が氷に支配され自由が利かなくなり、氷が動く方向と同じ方

向にしか進めないような状況に陥ることがある。このような状況下での耐氷船の操船は、砕氷船による誘導等の航行援助の有無に関わらず、かつて経験したことのないほどの多大な労力や忍耐力を必要とする。絶対に避けなくてはならない。

氷との遭遇、接触、衝突等の危険は、可能な限り回避するのが北極海航路における耐氷船の操船の大原則である。なお、適当な迂回ルートが見つからず、氷況が厳しい海氷域に耐氷船が単独で入ってしまったような場合等にあっては、できる限り早く開放水面等の安全海域に退避するための操船が必要となる。ただし、ビセットに伴う圧迫等の危険な状態に直面した場合等にあっては、躊躇することなく 180 度反転し、今まで航行してきたルートを逆走する操船を優先させる必要がある。北極海航路では、「急がば回れ！」ではなく、「急がば戻れ（反転）」を考えた操船が重要である。



写真 3-1 海氷域を航行中の砕氷観測船（島田浩二氏提供）

アドバイス「急がば戻れ（反転）」を考えた操船をせよ！

1.2 操船の原則

北極海航路において、耐氷船がやむを得ない理由により、海氷域に接近又は進入する時、操船にあたって以下の原則に従わなくてはならない。

1.2.1 砕氷船誘導の原則

耐氷船が海氷域に接近又は進入のおそれがある時は、北極海航路局（NSRA）又は同局から管制業務を委託された運航管制所に連絡し、できる限り早く砕氷船誘導等の航行援助を受けること。

アドバイス 海氷域に進入のおそれあれば、早く砕氷船誘導を要請せよ!

1.2.2 指示・助言遵守の原則

耐氷船が海氷域に接近又は進入する時は、あらかじめ北極海航路局（NSRA）又は同局から管制業務を委託された運航管制所、もしくは航行援助のための砕氷船等に連絡し、その指示に従うこと。また、砕氷船又はアイスパイロットから助言を受け従うこと。

1.2.3 機関等準備の原則

耐氷船が海氷域に接近又は進入する時は、あらかじめメイン・エンジン（主機関）のスタンバイを発令するとともに、前進及び後進の試運転を行い、いつでも停止できる状態であることを確認しておくこと。

なお、海氷域内を航行するメイン・エンジン（主機関）がディーゼル機関の耐氷船は、あらかじめ始動用の十分な圧縮空気を空気槽内に蓄えておくこと。

アドバイス メイン・エンジンのスタンバイを発令せよ！

1.2.4 安全速力の原則

海氷域内での操船にあたっては、常に安全な速力を維持すること。

なお、過度な速力で航行し、厚い氷又は硬い氷に衝突すると、深刻な船体損傷を招くおそれがある。氷の状況に応じ、常に安全サイドに立った速力調整を心掛けること。

なお、海氷域内の氷の密接度が小さく、又、薄い又は柔らかい氷盤ばかりだと、先を急ぐあまり、ついつい速力を上げてしまいがちである。耐氷船はブラッシュアイスに覆われた水路等であっても決して油断しないこと。

1.2.5 見張り徹底の原則

海氷域に接近又は進入する時は、高所からの見張りを徹底させ、常に周囲の氷の状況を的確に把握し、操船に反映させること。

また、氷盤との接触によるプロペラ・舵等の損傷を防止するため、必要に応じ船尾に見張員を立てて操船すること。

アドバイス 高所見張りの徹底、船尾にも見張員を立てよ！

1.2.6 夜間操船回避の原則

夜間、耐氷船による海氷域への接近又は進入は極力避けること。

夜間、やむを得ず耐氷船が海氷域に接近又は進入する時は、サーチライト（探照灯）、レーダー等を有効活用すること。ただし、これらを過信してはならない。

1.2.7 気象情報等反映の原則

海氷域に接近又は進入する時は、最新の気象情報及び氷況情報を入手･分析し、操船に反映させること。

なお、氷況情報については、少なくとも針路方向の海域の氷況の一般的特徴、氷縁の位置及びその状態、今後数日間に予想される氷況の変化等について把握するよう努めること。

1.2.8 性能及び操船能力等熟知の原則

耐氷船が海氷域に接近又は進入する時は、自船の性能及び操船能力を熟知しておくこと。

なお、自船の性能又は操船能力を超えるような海氷域に接近するおそれがある時は、できる限り早く砕氷船による援助を要請すること。

また、海氷域に接近又は進入する時は、氷の厚さだけでなく、氷の密接度及び硬さにも注意すること。なお、自船の耐氷能力以下の薄い氷盤であっても、密接度又は硬さによっては、耐氷船では対応できない可能性があることに留意すること。

1.2.9 喫水及びトリム調整の原則

海氷域に接近又は進入する時は、プロペラ又は舵を氷盤との接触による損傷から守るため、できる限り喫水を深くし、又、船尾トリムに調整すること。ただし、船首が浮き上がるほどの縦傾斜は操縦性能を低下させ、又、船首部分の船底が氷盤に対し無防備な状態となるので回避すること。

アドバイス 氷による損傷防止のための喫水及びトリム調整を行え！

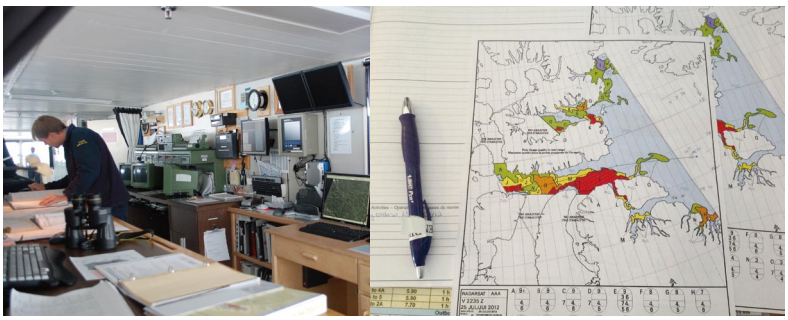


写真 3-2 氷況情報の入手・分析は操船の基本（舘山一孝氏・山口一氏提供）

1.2.10 氷に逆らわない操船の原則

耐氷船は海氷域内において、氷全体の大きな動きに逆らう操船は行わないこと。むしろ、その動きをうまく利用した操船に徹すること。

アドバイス 氷に逆らわない操船をせよ！

1.2.11 適切な船橋当直体制維持の原則

耐氷船が海氷域に接近又は進入する時は、状況に適したブリッジチーム（船橋当直体制）を組むこと。

なお、一部の乗組員に負担が集中しないよう、航海実務の難易度に応じチームのメンバーを増員する等、周囲の環境の変化を読み取りながら、安全運航に向け適切な船橋当直体制を常に維持すること。

アドバイス 海氷域の状況に適したブリッジチームを組織せよ！

1.2.12 冷却海水対策の原則

海氷域内を航行する時は、船体に設けられたメイン・エンジン（主機関）等の二次冷却用の海水吸入口（シーチェスト）から、シャーベット状の海水又は氷片を取り入れるおそれがある。それらが清水クーラーに到達すると、クーラー内部が閉塞し十分な冷却効果が得られず、メイン・エンジン等がオーバーヒートを起こし緊急停止してしまうことがあることに留意すること。

アドバイス 氷海では冷却海水対策が必須！

1.3 船体・機器類等の原則

海氷域では氷全体の動きをうまく利用した操船、氷のウィークポイントを見つけそこを突破口として速やかに安全海域に退避するための操船、氷盤との衝突を緊急回避する操船等、迅速かつ鋭敏な操船テクニックが求められている。また、氷への接触又は低気温や低海水温による操船への影響を軽減もしくは防止する必要がある。

耐氷船がやむを得ない理由により、海氷域に接近又は進入する時は、船体や機器類等に関し、少なくとも以下の原則を満たしていることが重要である。

・ 氷荷重に耐えるための船体補強又は氷荷重を軽減するための船体形状等、保有するアイスクラスに即した特別な措置が施されていること。

・各種操船オーダーに対し、迅速、かつ、鋭敏に反応するメイン・エンジン（主機関）及び操舵装置が準備されていること。
・長時間にわたる低負荷運転が行われても燃焼不良等を起こすことのないよう、点検・掃除などの整備が十分になされたメイン・エンジン（主機関）及び良質な燃料が準備されていること。
・砕氷船又は運航管制所との連絡体制が常時確保されるよう、信頼性に優れた通信装置が準備されていること。
・正しく調整され性能が十分生かされたレーダー､整備が十分になされ減光･作動不良等の障害が発生していないサーチライト、ウォーミングアップが完了し円滑に作動する油圧機器、ベストの状態の航海計器等が準備されていること。
・氷との接触による損傷から外板・プロペラ・舵等を保護するため、また、迅速かつ鋭敏な操船を行うため、バラスト水の漲排水又は移動による適切な喫水及びトリム調整がなされていること。
・長期間にわたる操船やメイン・エンジン（主機関）の発停の繰り返し等に備え、十分な量の燃料、清水、缶水、圧縮空気、食料等が準備されていること。
・シャーベット状の海水又は氷片の取り込みを防止するため、メイン・エンジン（主機関）冷却用の海水吸入口（シーチェスト）が高位側から低位側に切り替えられていること。また、空気抜き管等の掃除が行われたシーベイ（冷却海水を一旦貯め一緒に取り込んだ氷片等を融解するためのタンク）等が準備されていること。
・氷との接触による損傷を防止するため、電磁式ログ（EMログ:Electromagnetic log）のセンサ等、船底部に突出した装備が収納されていること。
・タンク、配管、モーター類、ウインドラス（Windlass)、クレーン（Crane）等の凍結防止又は低温対策として装備されているヒーティング装置、ヒーティング・ケーブル（Cable)、スペース・ヒーター（Spaceheater）等の作動が確認され準備されていること。

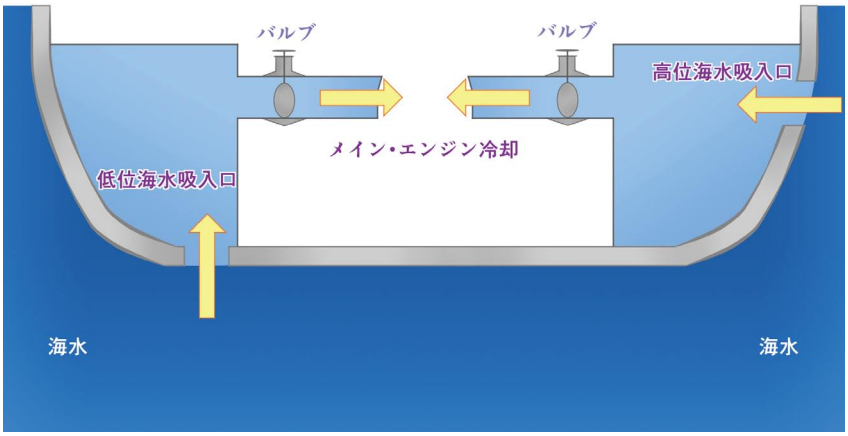


図 3-1 海水吸入口の切り替え

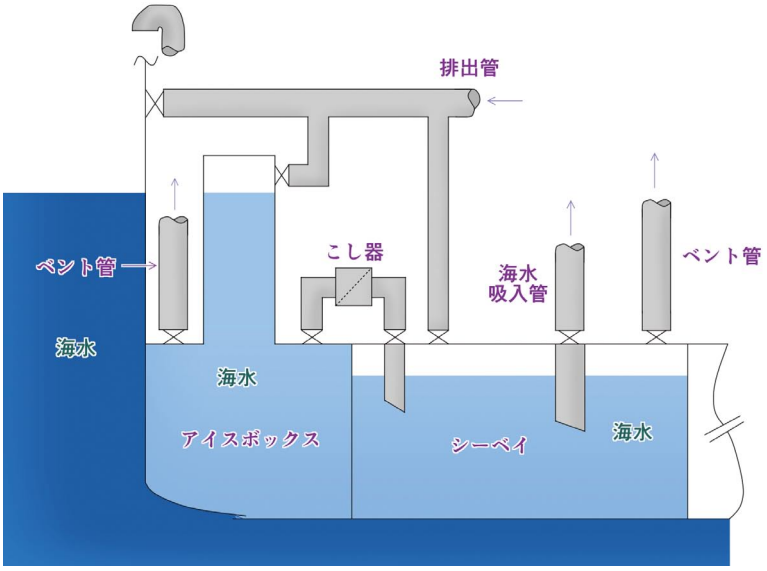


図 3-2 シーベイの構造例

1.4 配慮すべき自然現象

北極海航路での操船にあたっては、氷のみならず、自然がもたらす以下のような現象にも配慮する必要がある。耐氷船がやむを得ない理由により、海氷域に接近又は進入する時は、最新の氷況情報及び気象情報等を入手・分析し、自然現象による操船への影響を把握すること。

- 低気温、低海水温又は低湿度等がもたらすメイン・エンジン（主機関）及びその関連機器もしくは操舵装置等への諸影響。
- 霧、雪、みぞれ、氷晶雨、アークティックヘイズ（煙霧）等がもたらす視界等への影響。
- 強風又は高波浪等がもたらす船体への影響。
- 着氷がもたらす船体又は甲板機器等への影響。
- 地磁気による航海計器等への影響。
- オーロラ嵐による磁場変動等がもたらす通信機器又は航海計器等への影響。



写真 3-3 北極海に現れたオーロラ（島田浩二氏提供）

アドバイス オーロラ嵐による航海計器等への悪影響に注意せよ！



写真 3-4 ヘリコプターによる氷況調査（山口一氏提供）



写真 3-5 カナダ沖に浮かぶ巨大卓状氷山（山口一氏提供）

2. 船体着氷対策

北極海航路等の低温となる可能性がある海域を航行する際、荒天に遭遇し波しぶきを浴びたような時、それが甲板上構造物等に付着したまま凍り付いてしまうことがある。船体着氷と呼ばれる現象である。大量の船体着氷によってトップ・ヘビー（Top-heavy）な状態が生じると船舶の復原力が損なわれ、安全な操船に影響を及ぼす可能性がある。また、小型漁船等にあっては、氷の重量によって短時間のうちに復原力が失われ、修正不能な大傾斜又は転覆等の重大海難に発展するおそれがある。

船体着氷を回避するためには、針路・速力を調整し、主な原因である船体への波しぶきをできる限り浴びないような操船に徹しなければならない。また、やむを得ず着氷した場合には、危険な状態に陥る前に着氷除去作業を行う必要がある。

なお、北極海航路の利用のピークとなる夏については、同航路付近の気温はおおよそ摂氏プラス５～10度まで上がるため、船体着氷とは無縁と考えがちである。しかし、北極海航路は夏であっても寒冷な気候に見舞われると気温がマイナスになることがあり、風又は波等の状況次第では、船体着氷の可能性も否定できない。したがって、北極海航路では年間を通じ船体着氷対策を考えておく必要がある。船体着氷対策について、主に耐氷船の視点から解説する。

2.1 発生メカニズム

通常、船体着氷は荒天等に遭遇した船体が波しぶきを浴び、甲板上構造物等に付着した水滴が低温下で凍結することによるものである。なお、凍結に至るまでのプロセスは極めて複雑で、現場海域の気象・海象のほか、当該船舶の載貨状態、船体運動の状況、甲板上構造物等の位置又は形状等によって異なる。

また、船体着氷は波しぶきだけでなく霧、雪、みぞれ、雨等の水分が甲板構造物等に付着することによっても起こり得る。さらに、甲板上構造物等の表面に生じた結露が凍結することによっても起こり得る。加えて、甲板上の水たまり又は係留・投錨装置等の下部に設置されているオイルパン内にたまっている

水が凍結することによっても起こり得る。なお、甲板上の水たまり等が凍結した場合、それらが波しぶき等によって発生した着氷と合体し相互に増長するおそれがある。

低温下の海域では、一般に気温が摂氏マイナス 2 度以下となり、風がビューフォート風力階級で 5（相当風速 17 ～ 21 ノット：8.0 ～ 10.7m/s）に達した場合、船体着氷はいつ起こっても不思議はないと言われている。特に両条件が同時に満たされた場合の発生確率は極めて高い。なお、河口付近等の汽水域又は河川等においては、それよりも高い気温、時にはプラスの気温でも船体着氷が起こり得る。

表 3-1 に示したように、一般に、ビューフォート風力階級 5 程度では軽度の船体着氷、ビューフォート風力階級 7（相当風速 28 ～ 33 ノット：13.9 ～ 17.1m/s）になると中度の船体着氷、ビューフォート風力階級 8（相当風速 34 ～ 40 ノット：17.2 ～ 20.7m/s）を超えると重度の船体着氷が発生する可能性がある。

表 3-1 ビューフォート風力階級と着氷との関係

風力階級	名称		相当風速		着氷状況
	和名	英名	ノット	m/s	
0	平穏	calm	0～1	0.0～0.2	
1	至軽風	light air	1～3	0.3～1.5	
2	軽風	light breeze	4～6	1.6～3.3	
3	軟風	gentle breeze	7～10	3.4～5.4	
4	和風	moderate breeze	11～16	5.5～7.9	
5	疾風	fresh breeze	17～21	8.0～10.7	軽度
6	雄風	strong breeze	22～27	10.8～13.8	〃
7	強風	near gale	28～33	13.9～17.1	中度
8	疾強風	gale	34～40	17.2～20.7	重度
9	大強風	strong gale	41～47	20.8～24.4	〃
10	全強風	storm	48～55	24.5～28.4	〃
11	暴風	violent storm	56～63	28.5～32.7	〃
12	颶風	hurricane	63以上	32.8以上	〃

また、表 3-2 に示したように、一般に、船体着氷は気温が摂氏マイナス 5 ～ 15 度の範囲内で進行しやすく、特にマイナス 10 度前後の時にもっとも進行すると言われている。一方、気温がマイナス 16 度以下になると、波しぶきが瞬間的に凍結し氷晶となって船体に降りかかるため、船体着氷は進行しにくくなると言われている。

すなわち、気温がマイナス 10 度前後で、ビューフォート風力階級 6（相当風速 22 ～ 27 ノット：10.8 ～ 13.8m/s）以上の状況が、もっとも船体着氷が深刻となる可能性が高い条件と言える。なお、船体着氷の進行速度について、正確に予測することは極めて困難である。

アドバイス 北極海航路では年間を通じ着氷対策を講じるべし！

表 3-2 気温と着氷状況との関係

気温（℃）	着氷状況
-2未満	汽水域又は河川等では着氷の可能性あり
-2～-4	着氷の可能性あり
-5～-10	着氷が進行しやすい
-10前後	着氷がもっとも進行
-10～-15	着氷が進行しやすい
-16以下	着氷が進行しにくい

2.2 発生場所

荒天等に遭遇した際の波しぶきによる船体着氷の発生場所は、その時の風浪又はうねりの方向と船の針路との相対関係等によって変化する。

一般に船体着氷は船首部又は風上側に位置する場所で深刻化する。また、船体着氷は風及びしぶきが船首方向から来襲した時にもっとも激しくなる。なお、風及びしぶきが横方向から来襲する時は、風上側に位置する甲板上構造物等の着氷が急速に進み、両舷の重量バランスが崩れ、横傾斜等の危険を招くおそれがある。一般に船体着氷は以下のような甲板上構造物等に多く発生する。

・甲板上構造物（船首楼、船橋、クレーンハウス：Crane house、ウインチテーブル：Winch table、ウインチプラットフォーム：Winch platform、ブルワーク：Bulwark、ハンドレール：Hand rail 等）
・甲板・通路（アッパーデッキ：Upper deck、フライングパッセージ：Flying passage 等）
・マスト（フォアマスト：Fore mast、レーダーマスト：Radar mast 等）
・投錨又は係留装置・設備（ウインドラス、錨、錨鎖、錨鎖管、ウインチ、キャプスタン：Capstan、フェアリーダ：Fairleader、チョック：Chock、ビット：Bitt、ボラード：Bollard 等）
・荷役装置・設備（デッキクレーン：Deck crane、デリックポスト：Derrick post、デリックブーム：Derrick boom、ハッチカバー：Hatch cover、ハッチボード：Hatch board、ハッチコーミング：Hatch side coaming、ハッチ：Hatch、サイドスタンション：Side stanchion、タンクドーム：Tank dome、マニホールド：Manifold 等）
・荷役索具類（カーゴフォール：Cargo fall、トッピングリフト：Topping lift、ガイ：Guy、ブロック：Block、テークル：Tackle 等）
・通風装置（ベンチレータ：Ventilator 等）
・パイプ類（貨物油管、海水管、清水管、油圧管、雑用空気管等）
・甲板上貨物（コンテナ、木材等）
・その他（船灯類、アンテナ等）

2.3 投錨装置に対する配慮

船体着氷は船の復原力を損ない、安全な操船に影響を及ぼす可能性があるだけでなく、着氷下にある機器・装置・設備等の機能低下、又は作動不良等の原因ともなるので注意を要する。特にウインドラス等の投錨装置に着氷すると、作動不良のため正常な投錨ができなくなり、海難発生の原因となるおそれがある。

したがって、特に耐氷船が狭水道等を航行する際には、突然のブラックアウト（Blackout）に伴う乗揚げ海難回避のための緊急投錨等に備え、事前にウイン

ドラス等の投錨装置の着氷除去作業を行う必要がある。

なお、投錨装置の作動不良は、ウインドラス本体への着氷もさることながら、錨鎖管又は錨鎖庫にしぶきが入り凍結し、錨鎖が管内又は庫内で閉塞することによっても起こり得る。したがって、単にウインドラス本体の着氷除去作業を行うだけでなく、時々ウインドラスを暖機運転して錨鎖を微動させてやり、管内又は庫内での閉塞を防止する必要がある。

アドバイス 船体着氷は安全な操船に影響を及ぼす！

2.4 一般的予防策

一般に、船体着氷を回避するためには、耐氷船は針路・速力を調整し、主な原因である船体への波しぶきをできる限り浴びないような操船に徹しなければならない。具体的には波しぶきを回避するための減速又は針路変更、船首の動揺を低減させるための減速又は針路変更、静穏な海域又は温かい海域に向かうための針路変更等が挙げられる。

また、海氷域は氷による防風及び静波効果があることから、荒天時であっても開放水面に比べて穏やかであることが多い。したがって、緊急事態等にあっては、故意に海氷域に進入することにより、激しい船体着氷を回避できる場合があることに留意しなければならない。

ところで、北極海沿岸には、着氷のおそれのある波しぶきの発生を予測し、気象情報を発し注意喚起を行っている国がある。ただし、船体着氷の発生の有無及びその程度は船の大きさや種類等によって大きく異なるため、自船の船体着氷が気象情報の予測どおり発生するとは限らない。当該気象情報には細心の注意を払うとともに、注意喚起がない場合等にあっても、強風が予想され、かつ、気温が摂氏マイナス２度以下となるおそれがある時は、船体着氷を常に警戒しなくてはならない。

なお、高撥水性及び遮熱性を有し、着氷の防止効果並びに着氷の剥離効果をもたらすフッ素樹脂系やシリコーン（Silicone）樹脂系の塗料も開発されてい

るので、低温海域の航海が決まった時は、事前に塗装しておくことも一案である。その他、船体着氷が予測される場合は、事前に以下のような措置を講じておく必要がある。

・甲板上に置かれた移動可能な機器類又は備品もしくは漁具等はできる限り甲板下に格納するか、あるいは甲板上のできる限り低い位置に移動させ固定しておくこと。
・デッキクレーン、デリックブーム等は甲板上の最下部まで降ろし固定しておくこと。甲板上に設置された装置・設備・機器類、救命ボート等は丈夫な防水カバーで覆い、ロープ等で固縛しておくこと。
・甲板上に打ち上げられた海水を速やかに排出できるよう、あらかじめ排水口（スカッパー：Scupper）をきれいに掃除しておくこと。
・打ち上げ海水の排出を容易にするため、排水口（スカッパー）の溝蓋（グレーチング：Grating）は外しておくこと。
・排水口（スカッパー）を塞ぎ、打ち上げ海水の排水を妨げるおそれのある物品は、あらかじめ移動させ固定しておくこと。
・水密戸、舷窓等、水密を保持するために必要な閉鎖装置を閉鎖しておくこと。
・乾舷に余裕があるならば、空のバラストタンクはできる限りバラスト水を漲水しておくこと。
・緊急事態に備え、航行援助のための砕氷船又は救難機関等との無線連絡手段を確保しておくこと。

なお、船体着氷があまりにも激しく、また、着氷除去作業も思うようにならず、さらなる着氷が予想され、復原力の喪失等の最悪の事態が案じられる時は、耐氷船は最短ルートで最寄りの避難港又は至近の海岸に向かうための針路変更を躊躇してはならない。

2.5 船灯等に対する予防策

航海灯等の船灯類は、点灯中は発熱体として機能するため、着氷の可能性は

比較的低い。しかしながら、波しぶきを浴びやすい船首マスト灯等は、油断していると着氷し、使用できなくなる可能性がある。低温海域を航行する時は、航海灯等を常時点灯させておくことが望ましい。

また、耐氷船が低温海域を航行する時は、ワイヤー空中線（Wire antenna）、ホイップ空中線（Whip antenna）等のアンテナ類に着氷防止のための保護シートを装着しておくことが望ましい。

さらに、レーダーに関しては、アンテナ開口部の着氷に伴う閉塞によって、アンテナの輻射効率が低下し、最大探知距離が低下する等の障害が発生する可能性がある。また、アンテナ回転部（ペデスタル:Pedestal）等への着氷により、モーターの負荷が増加する等の障害が生じる可能性がある。凍結防止又は低温対策のため、事前にアンテナ開口部及びアンテナ回転部にヒーターを装備し、適宜有効活用することが望ましい。ただし、気温が高い時はヒーターのスイッチを切ることを忘れないようにしないと、逆に過熱による故障の原因となる。

2.6 着氷除去作業

耐氷船が予防策を講じたにもかかわらず、やむを得ず着氷した時は、必要に応じ着氷除去作業（氷落とし）を行わなければならない。特に小型船にあっては、氷の重量によって復原力が失われ、短時間のうちに修正不能な大傾斜又は転覆等の重大海難に発展するおそれがあるので、早目の作業が必要となる。船長は船の大きさや種類、現場海域の気象・海象、船体運動の状況等を考慮しつつ、着氷をもたらす荒天等の継続時間及び着氷の進行速度をできる限り正確に予測し、前広に着氷除去作業の開始を指示することが重要である。

着氷除去作業はホースで海水を噴射しながら、木又はゴムもしくはプラスチック製のハンマーによって着氷をひたすら叩き落とすのが一般的に行われている方法である。機械的に氷を落とす除氷装置（De-icing system）が設置された船もあるが限られている。

なお、低温下での屋外作業は過酷で、又、船体着氷時には多くの場合甲板も凍結しスケートリンクのような状態となるため、転倒や落水などの危険が伴う。

必要に応じ、ライフライン（Lifeline）を甲板上に張り、安全帽、安全靴、救命胴衣等の保護具を着用する等、万全の備えを整えなくてはならない。



写真 3-6 着氷除去作業の模様（第一管区海上保安本部提供）

3. 単独航行時の操船法

北極海航路において耐氷船は、主に開放水面を航行し、氷との遭遇を可能な限り回避するのが基本である。海氷域に接近又は進入する際には、アイスクラスを有し船体補強がなされていても、できる限り砕氷船による誘導等の航行援助を受けることが望ましい。ひとたび氷況が厳しい海域に単独で進入してしまうと、最悪の場合、船体が氷に支配され、コントロールできなくなってしまうおそれがあるためである。

しかしながら、北極海航路を耐氷船が航行中、適当な迂回ルートが見つからず、又、砕氷船による誘導等の航行援助も間に合わないまま、やむを得ず海氷域に進入してしまう事態も想定される。その場合、砕氷船の到着を待つまでの間、又は開放水面等の安全海域に退避するまでの間、耐氷船は海氷域において単独航行を余儀なくされることとなる。こうした場合、耐氷船は以下のような点に注意して操船を行う必要がある。

3.1 基本原則

耐氷船の多くは、氷の密接度が 6/10（0.6）以下であるならば、北極海航路局（NSRA）又は同局から管制業務を委託された運航管制所の指示もしくはアイスパイロット等からの助言を受け、航行可能な水路（lead）等を低速で慎重に縫航することによって、砕氷船の誘導等の航行援助なしでの単独航行が可能であると言われている。

また、耐氷船は、氷の密接度が 6/10（0.6）から 7/10（0.7）の場合であっても、砕氷船の誘導等の航行援助なしでの単独航行が可能なこともある。ただし、運航管制所の指示もしくはアイスパイロット等からの助言を受け、航行可能な水路等を低速で慎重に縫航すること、氷が比較的薄く柔らかい一年氷であること等、一定の条件が揃っていなければならない。

なお、アイスクラスを有していない非耐氷船は、密接度が大きな氷に囲まれた場合等にあっては、氷の厚さ又は硬さに関係なく、比較的簡単に操船の自由を奪われ、完全に動けなくなる状態に陥る可能性が高い。以下に耐氷船の単独航行時における操船上の基本原則を記す。



写真 3-7 前方を密接度の大きな氷に阻まれ動けなくなった漁業調査船（柴田啓貴氏提供）

❗アドバイス 非耐氷船はビセットに陥りやすいので注意せよ！

3.1.1 海氷域への進入

海氷域に進入する時、耐氷船は以下の事項に留意すること。

- 海氷域に進入する時は、氷縁（海氷域と開放水面との境界部分）に沿って航行すると、航行可能な水路等の発見につながることがある。ただし、氷縁付近は氷盤との衝突のおそれがあるほか、霧が発生しやすいことに留意すること。
- 海氷域に進入する時は、できる限り密接度の小さな海氷域を見つけ突破口とすること。
- 図 3-3 に示したように、海氷域に進入する時は、海氷域の風上側から氷縁に接近して突破口を見つけること。風上側から氷縁に接近した場合、氷縁の形は明瞭で開放水面との境界もはっきりしているためである。一方、図 3-4 に示したように、風下側から氷縁に接近した場合、氷縁の形は不明瞭で開放水面との境界もはっきりしていないので進入しにくい。なお、

風下側から氷縁に接近する時は、事前に氷片の出現等の兆候が見られることが多いが、風上側から氷縁に接近する時は、こうした兆候がなく突発的であることが多いので注意を要する。

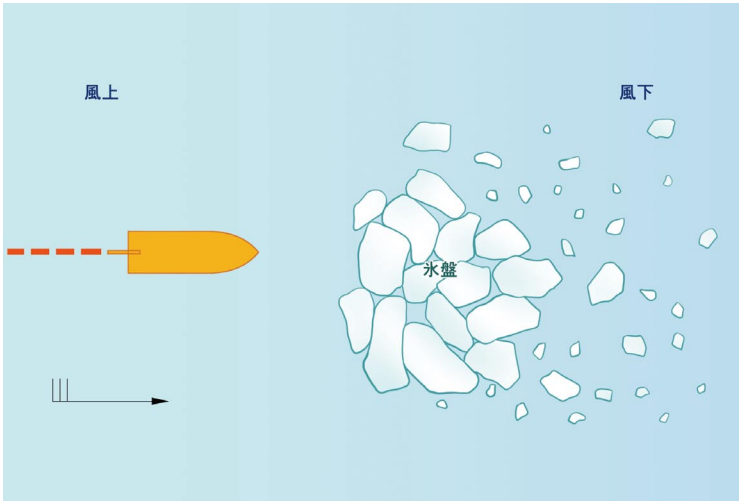


図 3-3 風上側からの氷縁接近

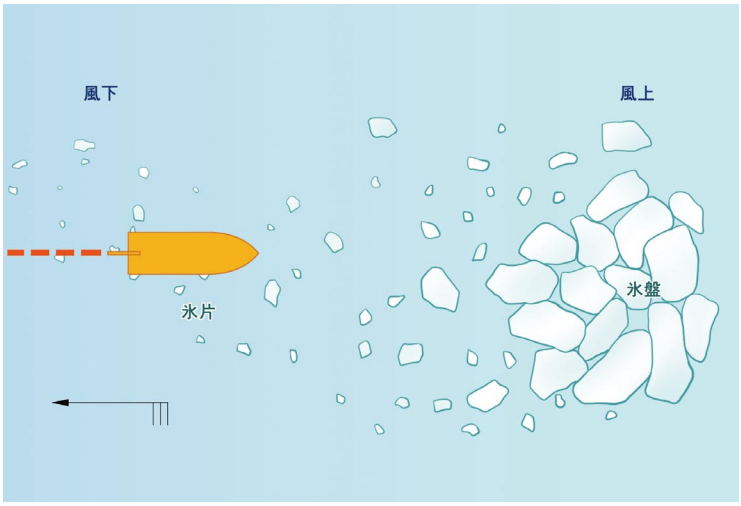


図 3-4 風下側からの氷縁接近

・海氷域の中には水路の入口となり得る割れ目等が一つだけではなく複数あることが多い。海氷域に進入する際は、いくつかの候補の中から、もっとも適した割れ目等を突破口として選択すること。
・海氷域の中に水路となり得る割れ目等を発見した場合であっても、時間の経過とともに氷どうしの位置関係が変化し、いつのまにか消滅してしまう可能性があることに留意すること。



写真 3-8 砕氷船が開けた水路（島田浩二氏提供）

3.1.2 安全な速力

海氷域に進入した時、耐氷船は海氷域内では氷況、自船の性能又は操船能力等に応じた安全な速力を常に維持すること。

3.1.3 航路の選定

海氷域に進入した時、耐氷船は北極海航路局（NSRA）及び同局から管制業務を委託された運航管制所等から指示又は推奨された航路について、最新の気象情報及び氷況情報等を踏まえた最善のものであると考えること。海氷域に接近又は進入する時は、原則、当該航路に従って航行すること。

また、海氷域に進入した時、耐氷船は高所から見張りを行い、海氷域内に開いている水路、密接度の小さな海氷域、氷が比較的薄く柔らかい箇所等を見つけ、開放水面等の安全海域を目指して縫航（ジグザク航行）を行うこと。

3.1.4 氷の硬さ又は厚さの判定

耐氷船は氷の硬さ又は厚さの判定にあたっては、以下の事項に留意すること。

- 海氷域に接近又は進入する時は、氷の色調又は形状等を見て、その厚さもしくは硬さを的確に判定し操船に反映させること。
- 表 3-3 に示したように、一般に、一年氷等の薄い氷盤は白色又は灰色・鉛白色で、二年氷又は多年氷等の厚い氷盤は青色もしくは緑青色である。また、直径 2 メートル未満の小さな氷片が集まった状態のブラッシュアイス、海岸に漂着した汚れた氷等は褐色又は黒灰色である。さらに、氷山、氷山片等は明瞭な空色等である。
- 氷の厚さ又は硬さの判定をする時は、自身の経験による過信は禁物である。少しでも疑わしい点がある時は、安全サイドに立ち、より硬く又は厚く判定すること。
- 風下側に流れてきた海氷域は、氷どうしが重なり合い、硬くなっていることが多いので、できる限り接近しないこと。

表 3-3 氷の種類と色調の目安

氷の種類	色調
氷山、氷山片等	明瞭な空色等
二年氷、多年氷等	青色もしくは緑青色
一年氷	白色又は灰色・鉛白色
ブラッシュアイス、海岸に漂着した汚れた氷等	褐色又は黒灰色

- 氷どうしが押し合い積み重なってハンモック状に盛り上がった氷丘、又は氷丘がうね状に連なった氷丘脈等は硬いことが多いので、できる限り接近しないこと。

3.1.5 氷の移動

耐氷船は氷の移動に関し、以下の事項に留意すること。

・ 海氷域内の各氷盤は外力（海流及び風）の影響を受けて常に移動している。連続したプロッティングを的確に行い、氷の移動方向及び移動速度を把握するとともに、開いてゆく傾向の海氷域なのか、閉じてゆく傾向の海氷域なのかを慎重に判断すること。

・ 図 3-5 に示したように、一般に、氷山のような大きな氷の移動は海流の影響を受けやすい。付近での操船にあたっては海流の方向及び速さに留意すること。

・ 図 3-5 に示したように、一般に、小さな氷の移動は風の影響を受けやすい。付近での操船にあたっては風向及び風速に留意すること。ただし、氷山級に成長した多年氷等は風上に向かって移動し、又は風を横切って海流が向かう方角に移動する等、氷山のような動きをすることがあるので注意を要する。

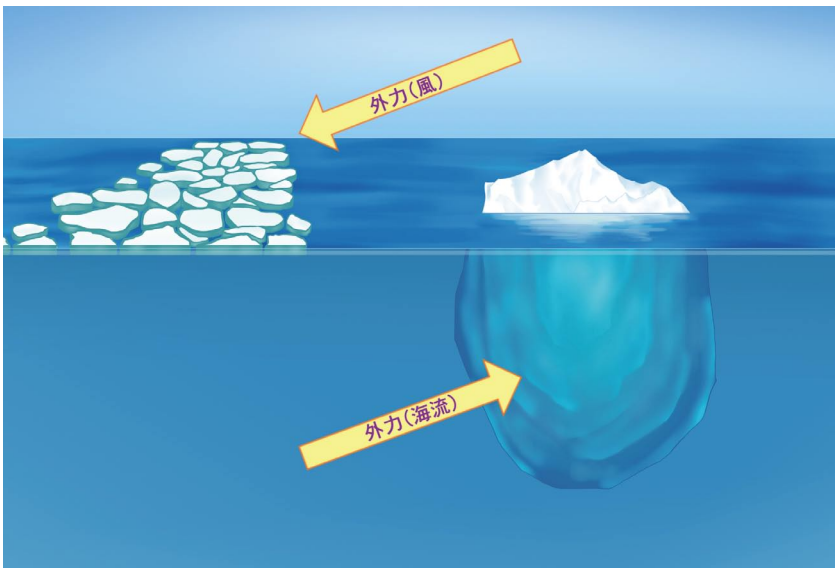


図 3-5 氷に対する外力の影響

・氷盤の移動速度が速い時は、それに逆らってまで操船することは危険である。おさまるまで待つこと。
・氷盤の移動速度は大きさ及び形状によって異なる。比較的速度の遅い氷盤を見つけ、その付近を航行すること。
・波が荒く氷どうしが互いに軋み合うような海氷域の航行は危険である。絶対に回避すること。

アドバイス 氷盤の移動速度が速い時は、おさまるまで待つこと！

3.1.6 氷との間隔

耐氷船が氷盤を避航する操船を行う時は、安全のため氷と十分な間隔を保つこと。

3.1.7 踟躊（ちちゅう）

狭視界、夜間、荒天等によって耐氷船が操船に不安を感じた時は、安全が確認されるまでの間、踟躊を行うこと。踟躊とはヒーブ・トゥー（Heave to）とも言い、舵が効く範囲での最低レベルまで速力を落とし、波浪を船首の斜め前方から受けるようにし、ほぼその場所に留まる操船法のことを言う。完全にプロペラを停止させてしまうよりも、氷によるダメージを受けにくくなる。踟躊に関しては、以下の事項に留意すること。

・踟躊は開放水面等の安全海域で行うことが望ましいが、やむを得ず海氷域内で行う際には、できる限り氷の密接度の小さい海域で行うこと。
・海氷域で踟躊を行う際には、海氷域の移動方向を常に予測し、可能ならば氷と十分な距離間隔を保つこと。

3.1.8 プロペラ及び舵の防護

プロペラ及び舵は、氷との衝突に際し、船体の中でもっとも脆弱な部分である。耐氷船が海氷域に接近又は進入する際は、氷盤との接触によるプロペラ及び舵

へのダメージを防止する操船に徹すること。プロペラ及び舵の防護に関しては、以下の事項に留意すること。

・海氷域におけるプロペラ及び舵の損傷は、後進する際に発生しやすい。メイン・エンジン（主機関）の後進を発令する際は、プロペラ及び舵と氷との接触防止に細心の注意を払うとともに、後進行き脚となった際には舵は必ずミッドシップ（Midship：中央位置）とすること。後進時に舵をむやみに左右に切るとプロペラ又は舵が氷と接触し、重大事故につながるおそれがある。

・海氷域において後進する際には、プロペラ及び舵と氷との接触を防止するため、氷盤が存在する方角ではなく、開放水面又は比較的氷が少ない今まで航行してきた水路の方角に向かうよう、船体の姿勢を事前にコントロールすること。

アドバイス プロペラと舵を真っ先に防護せよ！

3.1.9 ビセットの防止

耐氷船が海氷域に接近又は進入する際は、ビセットの防止に関し、以下の事項に留意すること。

・ビセットに陥り、圧迫等の危険な状態となるおそれのある時は、船を決して止めないこと。たとえ低速でも良いので、とにかく最後まで動き続けること。

アドバイス ビセットの危険を回避するには動き続けることが大事！

・周囲をすべて氷で囲まれ退路が塞がれてしまったような場合でも、海氷域のどこかに必ずウィークポイントがある。それを早く発見し、そこを突破口として速やかに開放水面又は密接度が小さい安全海域に退避するための操船を心掛けること。

・海氷域内に存在する氷丘又は氷丘脈等は硬いばかりでなく、氷どうしが互いに圧迫し合っている難所である。その中を通航する操船はビセットの可能性があり、絶対に避けなければならない。なお、やむを得ず氷丘又は氷丘脈等に接近し針路を遮られた場合は、圧迫の事象が終息するまでの間、その場での停泊待機を余儀なくされる可能性があることに留意すること。
・開放水面を航行中であっても、油断していると、卓越風等によって吹き寄せられた氷に囲まれ、ビセットに陥ることがある。特に低いアイスクラスの耐氷船（及び非耐氷船）は、ある程度以上の密接度の氷に囲まれた場合、意外と簡単にビセットに陥る可能性が高い。耐氷船は開放水面を航行している時であっても、風が強い時はビセットの可能性を常に意識し、密接度の大きな海氷域を発見したならば、早い時期に大きく回避すること。
・一年氷の中に二年氷又は多年氷が混在する海氷域では、氷に囲まれた時の船体に対する氷荷重が、一年氷だけの海氷域と比べかなり高くなる。そのため、多年氷等が混在する海域では、ビセットに陥るリスクが上昇する傾向にある。一年氷の中に多年氷等が混在する海氷域を発見したならば、早い時期に大きく回避すること。

アドバイス 海氷域のどこかに必ずあるウィークポイントを早く発見せよ！



写真 3-9 一年氷の中に二年氷が混在し圧迫の激しい氷盤（舘山一孝氏提供）



写真 3-10 上空から見渡した海氷域（山口一氏提供）

・耐氷船が海氷域を航行する時は、ビセット防止のため、船の前方の氷の状況だけではなく、必ず船尾に見張員を配置し、後方の氷の状況の確認も怠らないこと。海氷域を航行すると、船の後方の氷が拡散して水路ができる。通常、一旦拡散した氷は少しずつ集積し、当該水路は徐々に閉塞して行く。しかしながら、図 3-6 に示したように、ビセットの可能性のある海氷域は圧迫されているため、船の通航に伴い一旦拡散した氷の集積が早くなり、短時間のうちに水路が閉塞してしまう傾向にある。海氷域を航行する時は、ビセットの兆候を察知するため、船尾に見張員を配置し、後方の水路の閉塞状況を頻繁に確認させながら操船すること。

・図 3-7 に示したように、海岸に接続した定着氷と海氷域との間にできている水路、又は海岸と海氷域との間にできている水路は、外力の影響を受けやすく、他の水路と比べ閉塞しやすい傾向にある。耐氷船がこうした水路を航行する時は、風況及び波況の変化を常に監視し、ビセットの兆候を事前に把握すること。

アドバイス 氷荷重の高い海氷域内の水路は早く閉じる！

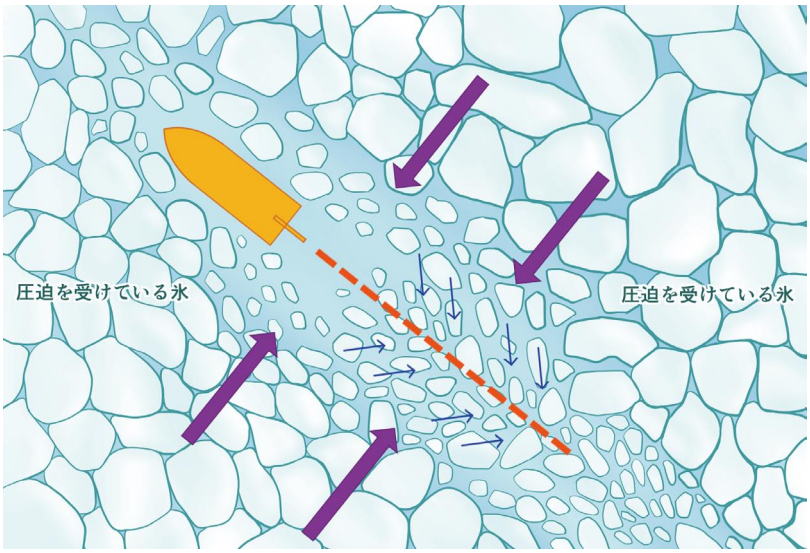


図 3-6 圧迫されている海氷域の水路の閉塞

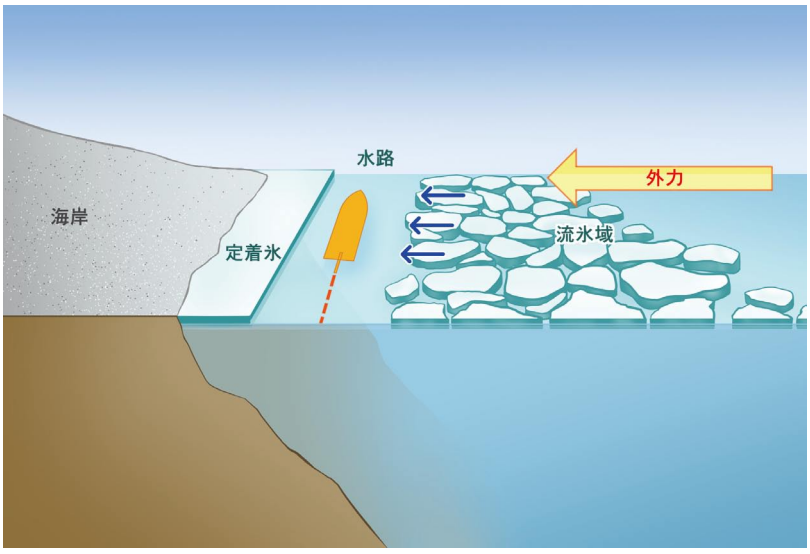


図 3-7 定着氷と海氷域に形成された水路の閉塞

3.2 連続砕氷操船法

氷海船舶が海氷域において、速力を一定の低速に保ちながら連続して氷を砕き割り又は押しのけ、停止することなく航行する操船法を連続砕氷という。

連続砕氷を行う氷海船舶は主に砕氷船である。しかしながら、適当な迂回ルートが見つからず、又、砕氷船による誘導等の航行援助も間に合わないまま、耐氷船がやむを得ず海氷域に進入してしまうケースも想定される。また、海氷域の氷の密接度が比較的小さく、又、氷厚も薄い場合、耐氷船であっても連続砕氷が可能なケースも想定される。このような場合、北極海航路局（NSRA）又は同局から管制業務を委託された運航管制所の指示もしくはアイスパイロット等からの助言を受けながら、砕氷船の到着を待つまでの間、又は、開放水面等の安全海域に退避するまでの間、耐氷船が連続砕氷を行うこともあり得る。

なお、耐氷船が連続砕氷を行うにあたっては、海氷域の氷況に耐え得る性能を有すること、運航者の操船能力が一定レベル以上であること、メイン・エンジン（主機関）及び操舵装置等が正常に機能し、かつ、安全な速力で適切な操船が行われること等が条件であることは言うまでもない。

以下に連続砕氷時の注意事項又は操船テクニック等について、主に耐氷船の視点から解説する。

3.2.1 海氷域への接近

連続砕氷のため、海氷域に接近するにあたっての注意事項又は操船テクニック等は以下のとおりである。

- 図 3-8 に示したように、連続砕氷を行う時は、できる限り密接度の小さな海氷域を見つけ突破口とすること。近くの海氷域だけでなく、視野内のすべての海氷域に注意を払い、もっとも抵抗が少ない進入路を探すこと。
- 連続砕氷のため海氷域に接近する時は、氷縁に対しほぼ直角となる針路を採用すること。なお、船体に対する衝撃を最小限に抑えられる針路も検討しておき、状況次第でそれを採用すること。
- 氷縁付近の氷盤は、風浪及びうねりの影響を受けやすい。連続砕氷のため海氷域に接近する時は、外力の影響による氷盤の動きに注意すること。

・氷縁付近の氷盤が、風浪及びうねりによって激しく動いている時は、鋭角又は大きな舵切りを伴う進入は絶対に避けること。損傷の原因となる。
・連続砕氷のため氷盤に接近する時は、船首に加わる氷荷重をできる限り小さくするため、舵効が維持できる限界となる最低レベルの速度まで落とすこと。ただし、あまり減速しすぎると舵効が維持できず、船体が制御不能となり、危険な状態に陥る可能性があるので注意すること。

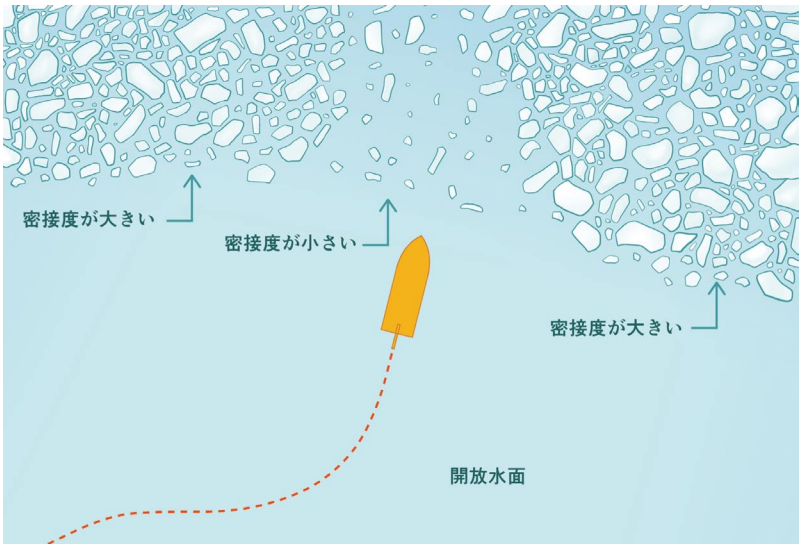


図 3-8 突破口は密接度の小さな海氷域

アドバイス 密接度の小さな海氷域を見つけ低速アプローチが基本！

3.2.2 氷盤への接触

連続砕氷のため、氷盤に接触するにあたっての注意事項又は操船テクニック等は以下のとおりである。

・連続砕氷の開始時、最初に船体を氷に接触させる際は、船首部に過度な衝撃を与えないようできる限り低速で､かつ､氷盤に対して直角に行うこと。なお､過度の減速によって舵効が維持できない状態に陥らないよう注意すること。
・連続砕氷の開始時、船首部を氷盤に接触させて異常がないようならば､船首が氷間に食い込み落ち着いたのを確認した後、船体の姿勢をコントロールしつつ、安全を確認しながら速力を徐々に上げてゆくこと。

3.2.3 砕氷開始

連続砕氷を開始するにあたっての注意事項又は操船テクニック等は以下のとおりである。

・プロペラ及び舵を氷との接触による損傷から守るため、船尾がクリアな状態となるための船体姿勢の維持に留意すること。
・サイド･スラスター（Side thruster）を保有する船は、連続砕氷を行う時、砕氷効果の向上又は船体姿勢の維持のためそれらを適宜有効活用すること。
・図 3-9 に示したように、可能であるならば、外力（海潮流及び風）を船尾方向から受けながら操船すること。

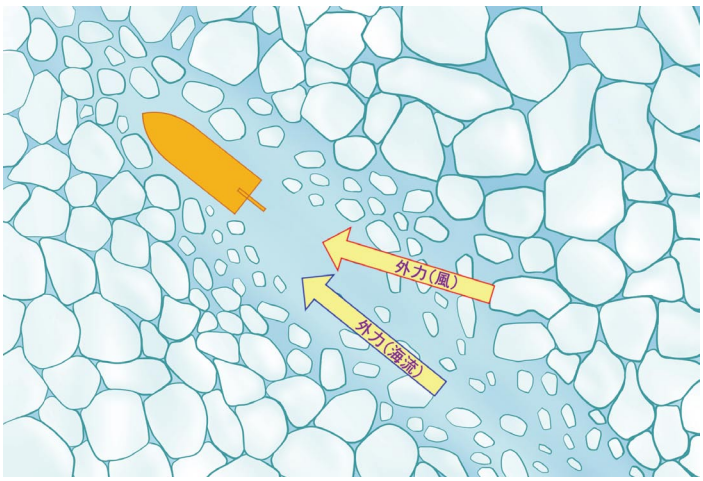


図 3-9 連続砕氷時の理想的な外力

3.2.4 安全な速力

連続砕氷時の安全な速力に関する注意事項又は操船テクニック等は以下のとおりである。

・ 連続砕氷を行う時は、常に安全な速力を維持すること。氷が薄い又は柔らかい海域、もしくは氷の密接度が小さな海域等では、ついつい速力を上げてしまいがちである。二年氷等が混在している可能性もあるので決して油断しないこと。

・ 疎氷域、すなわち 4/10（0.4）～ 6/10（0.6）の密接度の海氷域において、連続砕氷を行う時、アイスクラスを有する船の氷況に応じた許容速力の目安を表 3-4 に示す。あくまでも一つの目安であり、実際には氷況、自船の性能又は操船能力等を総合的に判断し決定しなければならない。

表 3-4 アイスクラスを有する船の氷況に応じた許容速力の目安

（＊氷が柔らかい時に限る）

氷の密接度	許容速力（ノット）の目安	
	砕氷船	耐氷船
2/10(0.2)未満	12以上	
～3/10（0.3）	10～12	7～8
～4/10（0.4）	6～7	4～5
～5/10（0.5）	5～6	3～4
～6/10（0.6）	5	3（＊）
～7/10（0.7）	3	

・ 連続砕氷を行う時、小氷片等が船底、プロペラ又は舵等に接触する衝撃、もしくは船体振動等がたびたび感じられるようならば速力の上げ過ぎである。直ちに減速すること。

・ 連続砕氷を行う時は氷の密接度、厚さ、硬さ、又は大きさ、もしくは視界の状況、自船の性能又は操船能力等を総合的に判断し、速力をこまめに使い分けること。

アドバイス 連続砕氷時、速力をこまめに使い分けよ！

3.2.5 針路

連続砕氷時の針路に関する注意事項又は操船テクニック等は以下のとおりである。

- 連続砕氷を行う時は、海氷域内に開いている水路、密接度の小さな海氷域、小さい氷ばかりの海氷域、氷が比較的薄く柔らかい海氷域等を見つけ、開放水面等の安全海域を目指しながら、縫航（ジグザク航行）する針路を採用すること。
- 連続砕氷中、密接度の大きな海氷域に遭遇した時は、風上から大きく迂回すること。

3.2.6 側壁影響

船舶が側壁に接近して航行する際、船体左右の水圧分布に差が生じ、船体を側壁側に引き付ける吸引力が生じるとともに、船首部を反対側に向かわせる回頭モーメントが生じ、保針が困難となる現象のことを側壁影響という。図 3-10 に示したように、連続砕氷を行う時、船体が氷盤に接近すると側壁影響が生じる可能性がある。側壁影響に関する注意事項又は操船テクニック等は以下のとおりである。

- 一般に、側壁影響は、氷盤との接近距離が 1L（L は船の長さ）未満となった時、操縦性に影響が出る程度となる。
- 連続砕氷中、側壁影響によって保針が困難な状態となった時は、氷盤側に当て舵を取り、回頭モーメントを調整することによって、立ち直れる可能性があることに留意すること。

アドバイス 側壁影響による保針困難の時は氷盤側に当て舵を取れ！

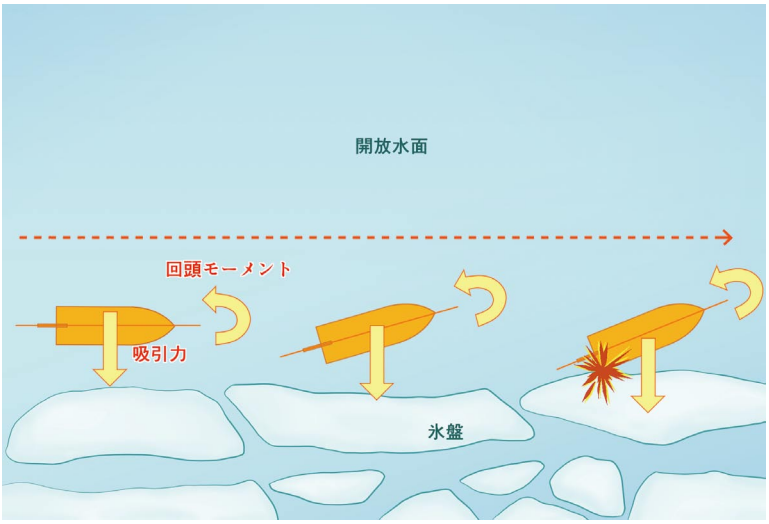


図 3-10 氷盤による側壁影響

3.2.7 砕氷の中断

連続砕氷時、狭視界、夜間、荒天等によって操船に不安を感じた時は、連続砕氷を中断し、安全が確認されるまで待機しなければならない。

その際は、プロペラを低速で回転させながらその場に留まる踟躊を実施すること。完全にプロペラを停止させてしまうと、氷によるダメージを受けやすくなるためである。

3.2.8 砕氷時の針路保持等

連続砕氷時の針路保持等に関する注意事項又は操船テクニック等は以下のとおりである。

- 連続砕氷中は、氷が船体に接触し抵抗が増えること等により、針路保持性能及び針路変更性能が低下し、開放水面での操船と比べ針路の保持又は針路の変更が著しく困難となることに留意すること。
- 連続砕氷中は、氷による抵抗がもっとも少ない水路等に船体が自然と導かれて行く傾向にある。したがって、針路保持又は小角度の針路変更に固執

するあまり、無理な操舵によって船体及び舵の抵抗を増加させることは得策とは言えない。多少の針路変化等を気に留めず、舵を中央としたまま自然に任せて航行を続け、抵抗を減少させることも一案である。

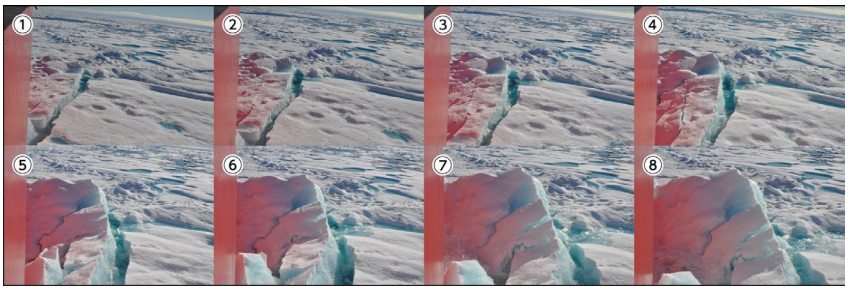


写真 3-11 砕氷船による連続砕氷時の船首部の氷盤の動き（柴田啓貴氏提供）



写真 3-12 砕氷され砕氷船の左舷を通過する氷片（柴田啓貴氏提供）

3.2.9 砕氷中の旋回

連続砕氷時、大角度変針等のための海氷域内での旋回は、氷との接触によるプロペラ又は舵もしくは船体の損傷のリスクが高まるため、できる限り避けなくてはならない。やむを得ず、旋回する必要がある時は、以下の注意事項又は操船テクニック等に従うこと。

・できる限り開放水面等の安全海域で行うか、又は氷の密接度が小さいもしくは氷が薄い海域で行うこと。
・海氷域内で旋回した場合、舵を切った方向の舷側には船首部分のみに氷荷重が作用する一方、反対側の舷側には船尾部分を中心としてほぼ船の全長にわたって氷荷重が作用する。こうした氷荷重の影響により、海氷域内での旋回性能は開放水面に比べ著しく悪化するので十分注意すること。
・海氷域内で旋回する時は、旋回性能の著しい悪化を考慮し、広さに十分余裕のある海域において早目に操舵するよう心掛けるとともに、過度に舵を切らないよう注意すること。
・海氷域内での旋回性能の悪化は、一般に氷が厚いほど顕著となる傾向にある。氷厚及び船型等の条件次第では、旋回径が開放水面で実施した場合の数十倍に達することさえある。たとえ、氷厚 30 センチメートル前後の薄い海氷域であっても、船型等の条件次第では、旋回径が開放水面での旋回と比べて 2 ～ 3 倍以上に達することがあるので注意を要する。

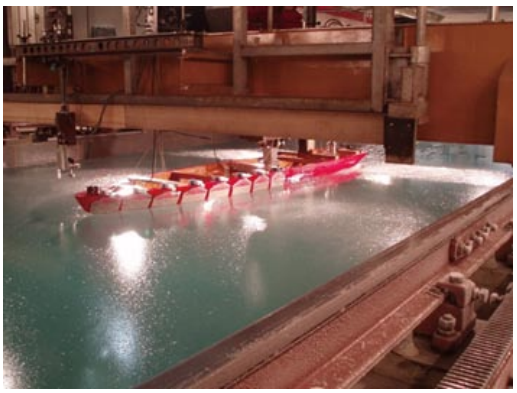


写真 3-13 氷海水槽を用いた氷海船舶の性能試験
(国立研究開発法人海上技術安全研究所提供。一様な厚さの氷板を一定船速で航行した場合の抵抗を計測。船側に貼られた 8 枚のシートは氷から受ける圧力分布を計測する特殊なセンサ)

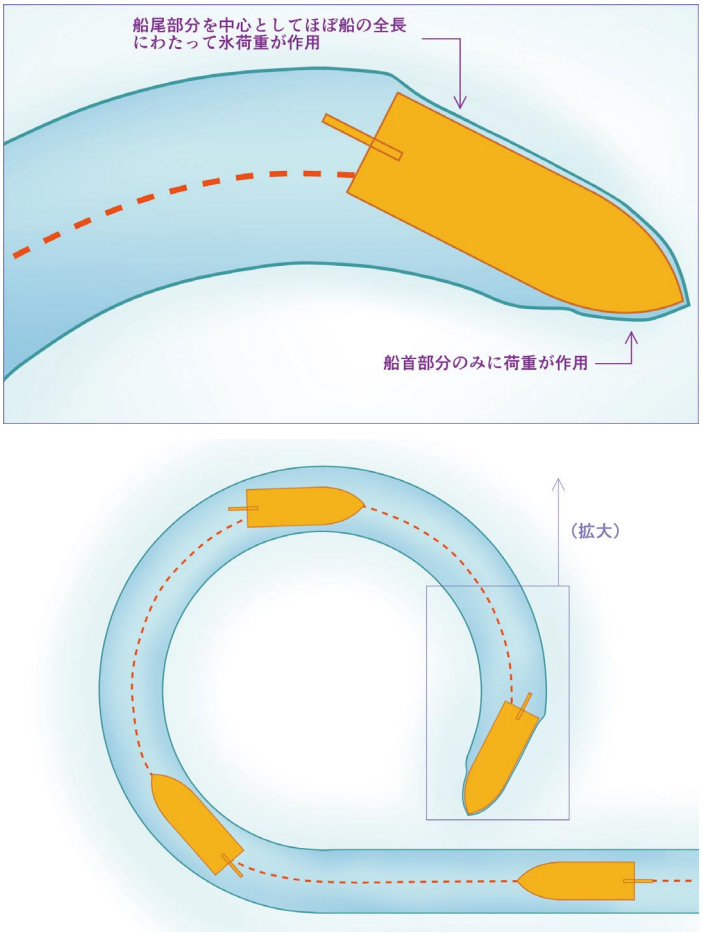


図 3-11 砕氷中の旋回と荷重

3.2.10 砕氷中の方向転換

連続砕氷時、海氷域内では旋回性能が著しく悪化するため、大角度変針等が必要であっても、広さに十分余裕がない海域では、旋回が実施できない可能性があることに留意しなければならない。

その場合、メイン・エンジン（主機関）の前後進及び左右への操舵を組み合わせて繰り返し行い、自動車の切り返し運転のような要領によって、限られた

スペース内で方向転換を行う操船テクニックが使われることがある。図 3-12 に示したように、一連の船の方向転換の軌跡を上空から見ると、星（又はヒトデ）のように見えるため、スター操船（Star maneuver）と呼ばれている。

なお、スター操船は、氷との接触によるプロペラ又は舵等の損傷に関し、極めて高いリスクを伴う操船テクニックである。したがって、やむを得ない場合に限り実施されるべきであり、又、海氷域での操船に熟練した者によってのみ実施されるべきである。

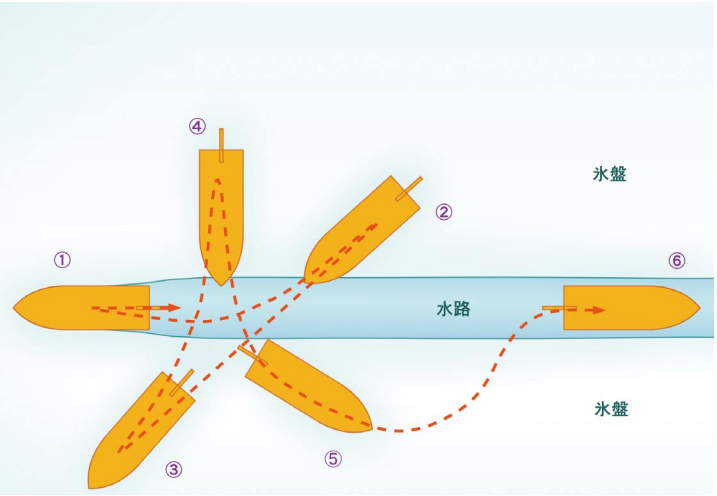


図 3-12 スター操船のイメージ

アドバイス 砕氷時の旋回性能は著しく悪化する！

3.2.11 砕氷中の後進

連続砕氷時、緊急事態等のやむを得ない場合を除き、後進エンジンを使用してはならない。氷片との接触によるプロペラ又は舵等の損傷事故につながるおそれがあるためである。

連続砕氷時、やむを得ず後進エンジンを使用する時は、図 3-13 に示したように、原則、デッド・スロー・アスターン（Dead slow astern）、すなわち極

微速後進とし、又、後進行き脚となった際には舵は必ずミッドシップ（中央位置）としなければならない。なお、操舵手は後進の際、操舵号令を待たず、自らの判断で直ちにミッドシップとするよう平素から教育しておくことが望ましい。

アドバイス 海氷域の後進は極微速及び舵中央が基本！

また、連続砕氷時、やむを得ず後進エンジンを使用する時は、氷盤との接触によるプロペラ・舵等の損傷防止のため、必ず船尾に見張員を配置しておくこと。

アドバイス 後進エンジン使用時には船尾見張員を配置！

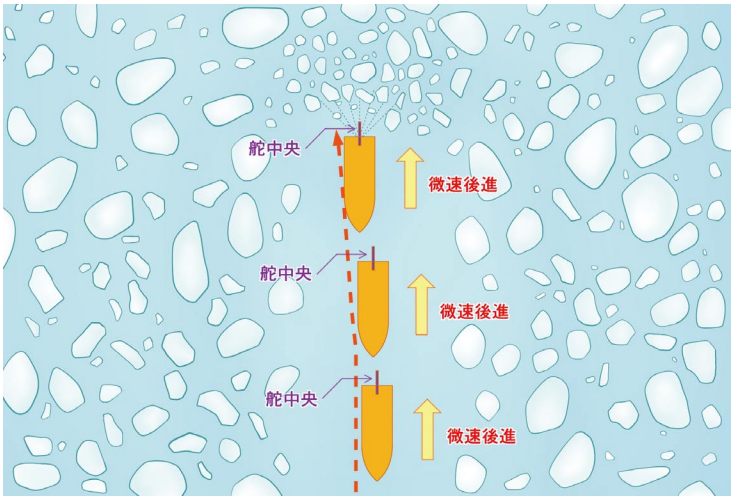


図 3-13 砕氷中の後進は極微速及び舵中央が基本

さらに、連続砕氷時、やむを得ず後進エンジンを使用する時は、氷盤との接触によるプロペラ又は舵等の損傷防止のため、その直前に極めて短時間、高出力の前進エンジンを使用し、船尾付近に浮遊している氷片をプロペラ流によっ

て吹き飛ばしてしまう操船テクニックが有効である。なお、この操船テクニックを使用する際には、船尾見張員との連絡を密にし、船尾が後方の氷盤と衝突しないよう細心の注意を払うこと。

3.2.12 ビセット時の操船

連続砕氷時、耐氷船がビセットに陥り又は陥りかけた時は、北極海航路局（NSRA）又は同局から管制業務を委託された運航管制所に緊急連絡し、砕氷船等による救助を要請する必要がある。その際には、以下の注意事項又は操船テクニック等に従うこと。

- ビセットに陥りかけた時、バラストタンク内のバラスト水を漲水又は排水もしくは移動することによって、船体と氷の間に隙間ができて脱出できる場合があること、又は、ビセット後の氷荷重を軽減できる場合があることに留意すること。
- バラスト水の漲水又は排水もしくは移動によってもビセットから脱出できない場合、最終的にはバラスト水を漲水し、自船の喫水を深目にしておくことが望ましい。喫水が浅いと救助時にプロペラ又は舵等が氷と接触し損傷する可能性があるためである。なお、救助を行う砕氷船からトリム又はヒール（Heel）の調整を要求されることはそれほど多くはない。
- 図 3-14 に示したように、ビセットに陥りかけた時、両舷交互に舵を切りながら、全速による前後進を短時間のうちに繰り返すことによって、周囲の氷盤を拡散させて脱出する操船テクニックが使われることがある。氷盤に対して船体全体を使った「てこの原理」によるものである。
- 二軸船がビセットに陥りかけた時、一軸を全速前進に、もう一軸を全速後進とし、数分ごとに各軸の前進又は後進を切り替え、周囲の氷盤を拡散させて脱出する操船テクニックが使われることがある。やはり、氷盤に対して船体全体を使った「てこの原理」によるものである。
- 「てこの原理」による二つの操船テクニックは、氷との接触によるプロペラ又は舵等の損傷に関し、極めて高いリスクを伴うことから、緊急時に限っ

て実施されるべきである。また、全速後進エンジンを使用した時に海氷域外に飛び出した場合、後進行き脚が付いたまま船体のコントロールができない状態となり、船尾が他の氷盤と衝突する危険があるので十分注意しなければならない。

・「てこの原理」による二つの操船テクニックを行う時は、必要に応じバラスト水の漲排水によって喫水及びヒールを調整し、プロペラ又は舵等の損傷防止を図るとともに、船首部に対し氷盤との接触にもっとも効果的な角度を与えること。

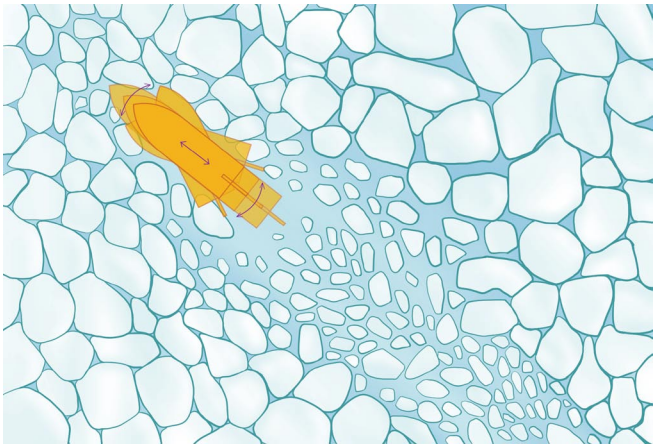


図 3-14「てこの原理」によるビセット回避操船



写真 3-14 日本近海で氷盤に閉じ込められた漁船を救助する巡視船
（第一管区海上保安本部提供）

アドバイス ビセットの危険、てこの原理で回避せよ！

3.2.13 被救助船の操船

連続砕氷時、耐氷船がビセットに陥り自力では脱出できなくなった時、砕氷船による救助方法は、被救助船の周囲の氷を排除し水路を開けた上で、被救助船を自力航行させ、安全な海域まで誘導するのが基本である。

砕氷船による救助が開始されたならば、被救助船である耐氷船はいつでも操船を再開できるよう準備しておくこと。また、被救助船は以下の注意事項又は操船テクニック等に従うこと。

・図 3-15 に示したように、通常、砕氷船は被救助船の後方から前進エンジンによって接近する。そして、被救助船の左右いずれかの舷側に沿って、被救助船の船首尾方向に対し約 20 ～ 30 度の角度で斜行しながら、被救助船の船尾から船首までを通過し、被救助船の周囲の氷を細かく砕き水路を開ける作業を行う。状況によって砕氷船は、被救助船の回りを一周して水路を開けることもあるので留意すること。

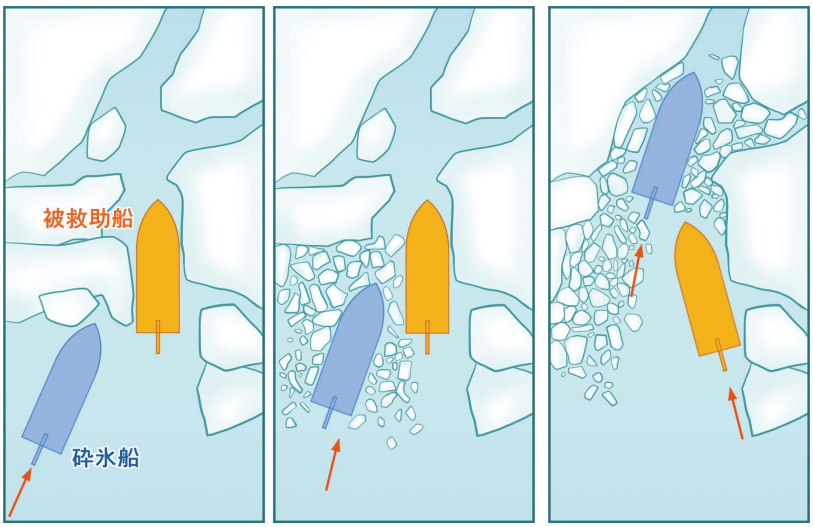


図 3-15 前進接近による救助（被救助船の単独航行時）

・被救助船が大型船の場合、退路の面積を広げる作業を伴うことから、救助にはある程度の時間がかかることに留意すること。
・砕氷船が被救助船を安全な海域まで誘導する際の相互の船間距離は極めて近いことに留意すること。砕氷船と被救助船は的確な情報交換と確実な意思疎通を行い、追突等の事故のないよう操船に万全を尽くすこと。
・砕氷船が被救助船を曳航する救助方法は最後の手段であることに留意すること。

3.3 ラミング操船法

ラミング（Ramming）とは一般にチャージング（Charging）とも呼ばれ、連続砕氷できないほどの厚い氷又は硬い氷に遭遇した時、氷の手前で一旦船体を後退させ、次に前進して加速しながら衝突することにより、あるいは氷の上に乗り船体の重量を加えることにより、それらを破壊して前進する操船法である。

ラムとは古代又は中世ヨーロッパの軍用船の船首水線下に装備されていた攻撃用の突起物、いわゆる衝角（しょうかく）のことを言う。衝角は海戦の際、体当たりによって相手の船体に大きなダメージを与えるためのもので、重火器が発明される以前のヨーロッパの軍用船の多くに装備されていた。加速しながら船首を氷盤に衝突させる攻撃的な砕氷方法が、ラムを使って相手に体当たりする昔の戦法に似ていたことからラミングと呼ばれるようになった。

なお、ラミングは主に砕氷船が行う砕氷方法である。通常、耐氷船はラミングを前提とした設計はなされていないので、海難等の緊急事態を避けるため等の理由がない限り、ラミングを行うことはほとんどない。特に、球状船首を有する船がラミングを行うと船体を損傷する可能性が高い。

しかしながら、砕氷船による砕氷誘導時、氷況によってはラミングが頻繁に行われることがあり、誘導される側の耐氷船としても、前方で砕氷船がどのような操船を行っているのか、基礎知識として知っておく必要がある。以下にラミング時の注意事項又は操船テクニック等について、主に砕氷船の

視点から解説する。

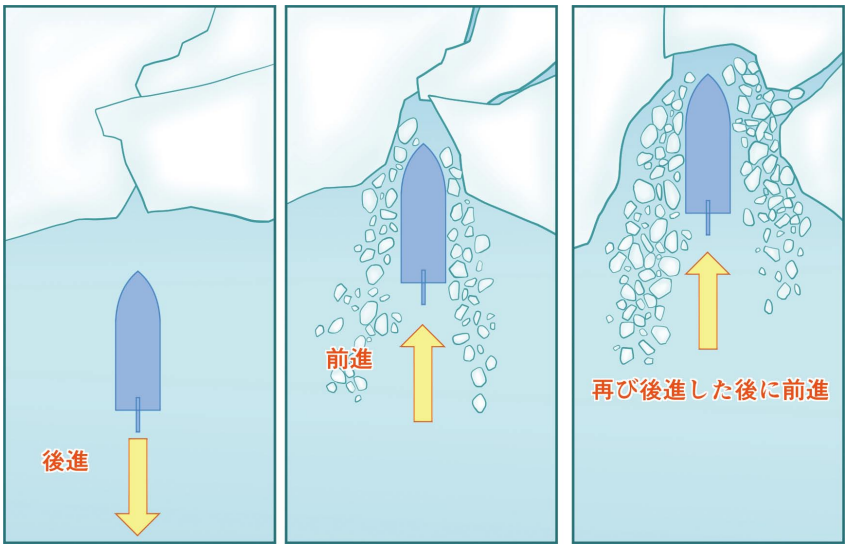


図 3-16 ラミング

3.3.1 基本方針

砕氷船がラミングを実施するにあたって基本方針は以下のとおりである。

・ 球状船首を有する船はラミングを絶対に行ってはならない。

・ ラミングを行う時は、一回の加速衝突によって氷盤を一気に破壊しようとはせず、低速を基本とした後進及び前進を何度か繰り返し、徐々に氷盤を破壊して水路を開く操船に徹する。

・ 砕氷船がラミング可能な最大氷厚のことを最大砕氷能力と言う。最大砕氷能力はプロペラの推力が増えるほど大きくなる。また、排水量が多いほど氷盤との衝突時の運動量が増し、最大砕氷能力は大きくなることに留意し、操船に反映させる。

・ ラミング及び連続砕氷は、砕氷船にとってはいずれも重要な操船テクニックである。砕氷船は氷況、自船の性能又は操船能力等を見極めた上で、ラミング及び連続砕氷を適宜使い分ける。

・ラミングはできる限り氷が薄い又は柔らかい海氷域で実施する。硬い氷丘脈又は厚い多年氷等に対する過度なラミングは、たとえ、砕氷船であっても難航もしくは船体損傷等を招く危険性があるので注意を要する。
・氷丘脈は氷盤の角どうしが接触している部分に形成されやすい。このような箇所へのラミングはできる限り避ける。
・商船は積荷を決められた時間内に輸送することを重視している。したがって、砕氷船が商船である場合、ラミングに多くの時間を費やすことは得策とは言えない。事実、今まで建造された砕氷商船の多くが、最大砕氷能力よりも連続砕氷能力を重視している。ビセットに伴う圧迫等の危険な状態に直面した場合等にあっては、ラミングによる前進に固執せず、躊躇することなく 180 度反転し、今まで航行してきたルートを逆走する等の操船を優先させる。



写真 3-15 氷荷重によって損傷した球状船首
(出典：カナダ沿岸警備隊ウェブサイト)

アドバイス 一般船舶及び球状船首船によるラミングは禁止！

アドバイス 氷丘脈又は厚い氷に対するラミングには注意！



写真 3-16 氷丘脈は氷盤の角どうしが接触している部分に形成（茂原清二氏提供）

3.3.2 安全な速力

砕氷船がラミングを行う際、船体への衝撃力は、連続砕氷と比べはるかに大きく、氷との衝突による船体等の損傷に関し、極めて高いリスクを伴う。耐氷船よりはるかに頑丈な構造の砕氷船であっても、設計荷重を越える衝撃を受ければ容易に損傷する可能性がある。

ラミングを行う際、砕氷船は自船の砕氷能力を熟知した上で、いつも以上に慎重となり、安全な速力の徹底を図る。また、常に安全サイドに立った低速を基本とし、過度な速力は絶対に避けなければならない。

アドバイス ラミングは安全低速が基本、過度な速力は絶対禁止！

3.3.3 助走距離

砕氷船がラミングを行う際、操船テクニック上の最大のポイントは、前進エンジンによって加速しながら氷盤に衝突する前に、後進エンジンによって助走のために一体どの位置まで後退しておけば良いかを決めることにある。すなわち、

ラミングは最適な助走距離をどうするのかを決める試行錯誤の繰り返しと言っても過言ではない。常に最適な助走距離を考えた操船に徹すること。

なお、ラミングを行う際の最適な助走距離とは、短時間の後進エンジンの使用であり、かつ、もっとも長距離の前進航走が達成できる助走距離のことを言う。具体的な距離は氷況、自船の性能等によって異なるが、図 3-17 に示したように、一般に 0.5 ～ 1.0L（L は船の長さ）程度が適当であると言われている。

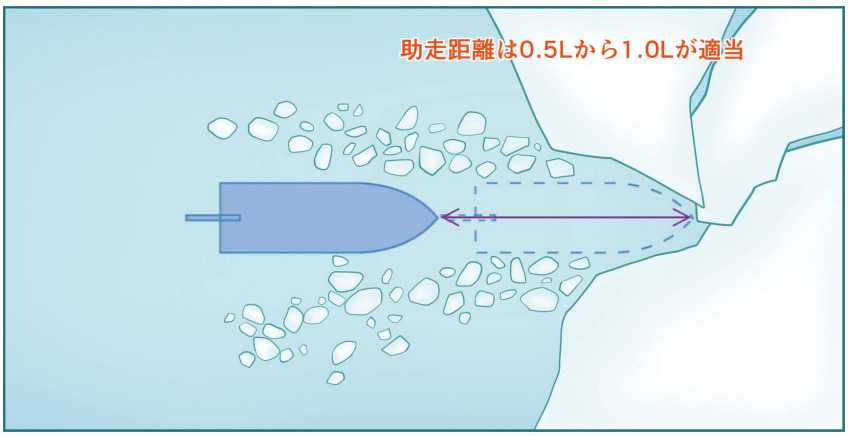


図 3-17 ラミング時の助走距離

3.3.4 後進

砕氷船がラミング中、後進エンジンを使用する時、又は、後進行き脚となった時には、舵は必ずミッドシップ（中央位置）としておくこと。また、前進エンジンを使用する際にも、前進行き脚がない時には、舵は必ずミッドシップとしておかなければならない。

なお、後進時又は前進行き脚がない時、操舵手は操舵号令を待たず、自らの判断で直ちにミッドシップとするよう平素から教育しておくことが望ましい。

アドバイス 前進行き脚がない時も舵中央にせよ！



写真 3-17 ラミングのため一旦後進した砕氷船（茂原清二氏提供）



写真 3-18 ラミングのため一旦後進した砕氷船（島田浩二氏提供）

3.3.5 幅広ラミング

氷況が極めて悪い海域では、砕氷船が船首の一方向にだけラミングを繰り返し行い、船幅ぎりぎりの狭い水路を開けていると、やがて周囲を氷に囲まれ水路が閉塞し、後進ができなくなり、最終的にはビセット状態に陥る可能性がある。

こうした事態を避けるため、図 3-18 に示したように、砕氷船は特殊なラミングを行い、幅の広い水路を開けることがある。

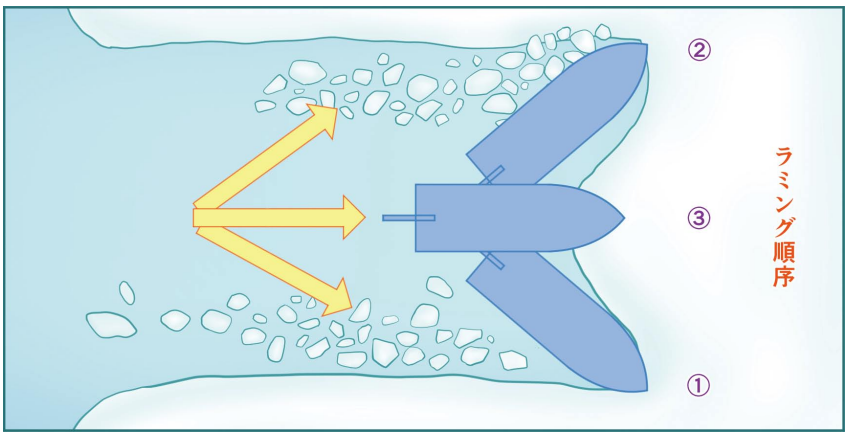


図 3-18 幅広ラミング

4. 砕氷船誘導時の操船法

北極海航路で海氷域に接近又は進入する耐氷船（又は非耐氷船）は、航行海域の氷況又は自船が有するアイスクラスのランク等に従い、北極海航路局（NSRA）等の指示のもと、砕氷船による誘導等の航行援助を受けなくてはならない。砕氷船による誘導時、耐氷船等の被援助船は以下のような点に注意して操船を行う必要がある。

4.1 基本原則

砕氷船誘導は複数の関係船によるチームプレーである。したがって、船舶又は氷との衝突海難等の事故を防止するためには、関係船が緊密な連絡及び情報交換を行い、十分な意思疎通を図ることが重要である。また、船間距離、針路、速力等については、砕氷船からの刻々の指示にその都度確実に従わなければならない。以下に砕氷船誘導時における、耐氷船等の被援助船による操船上の基本原則を記す。

4.1.1 ランデブー

砕氷船とのランデブー(Rendezvous)に関する基本原則は以下のとおりである。

- 砕氷船とのランデブーの際の場所、日時等については、北極海航路局（NSRA）等又は砕氷船からの指示に従うこと。
- 被援助船が砕氷船より先にランデブー場所に到着した場合、被援助船は砕氷船が到着するまでの間、必ずそこで待機すること。被援助船の単独による海氷域への進入は行ってはならない。海氷域に単独で進入しても、旋回して戻れば良いだろうと安易に考えていると、かつて経験したことのないほどの多大な労力や忍耐力を強いられる結果を生む。
- 被援助船がランデブー場所で待機する時は、舵が効く範囲での最低レベルまで速力を落とし、波浪を船首の斜め前方から受けるようにし、ほぼその場所に留まる操船法､すなわち踟躕（ヒーブ･トゥー）を有効活用すること。
- 砕氷船とのランデブー時、海氷域に近い海域での踟躕は、氷縁との衝突又は海氷域に進入してのビセット等の危険があるためできる限り避けること。

図 3-19 に示したように、踟躊は必ず海氷域から十分な安全距離を隔てた場所で行うこと。

・ 砕氷船とのランデブー時、海氷域から距離を隔てた場所で踟躊を行っている場合であっても、その時の気象又は氷況によっては、意に反して氷に囲まれ、身動きができない状態に陥ることがある。被援助船は砕氷船が到着するまでの間、気象及び氷況の監視を継続して行い、氷盤の移動方向及び速度を常に予測しながら待機すること。そして、海氷域と著しく接近するおそれがあると判断した時は、直ちに踟躊を中断し、安全な開放水面を目指して移動すること。

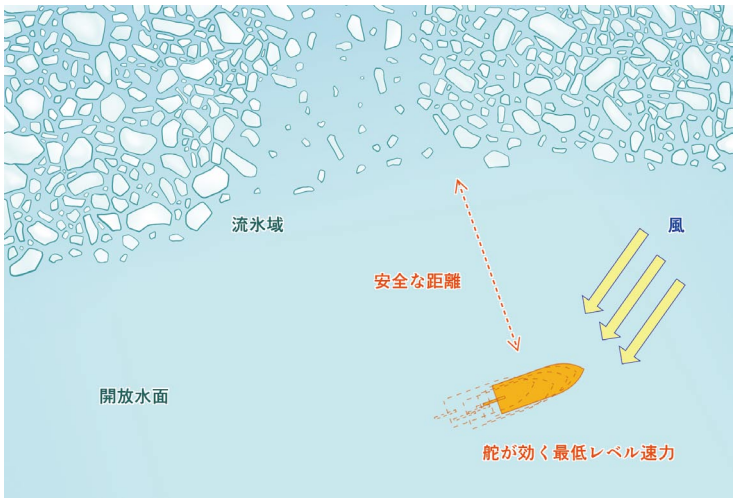


図 3-19 ランデブー時の踟躊（ヒーブ・トゥー）

4.1.2 通信連絡

砕氷船等との通信連絡に関する基本原則は以下のとおりである。

・ 砕氷船誘導時、被援助船は関係船との通信連絡手段を常に確保しておくこと。

・ 砕氷船誘導時、関係船間の通信連絡は、通常、主に国際 VHF によって行われる。一般的な呼び出し又は応答用チャンネルである “16ch” のほか、北極海航路局（NSRA）等又は砕氷船から指示されたチャンネルを聴取す

ること。また、中短波帯の無線電話の “2,182kHz” も併せて聴取すること。その他、北極海航路局（NSRA）等又は砕氷船から指示された中短波帯の無線電話の周波数があれば、それを聴取すること。

・砕氷船誘導時、国際 VHF 及び中短波帯の無線電話、両方の通信連絡が不通となった時、又は砕氷船から指示があった時は、国際信号書に記載されている「砕氷船と被援助船専用の信号」を使用して関係船間の連絡を行うこと。

・国際信号書の「砕氷船と被援助船専用の信号」は、国際信号旗を使用した旗旒（きりゅう）信号、又はモールス（Morse）符号を使用した信号灯等による発光信号、もしくはモールス符号を使用した汽笛又はサイレン等による音響信号等によって、意味を持つ 1 文字又は 2 文字のアルファベットもしくは数字を送信するものである。使用されるアルファベット又は数字が意味する指示又は応答の内容を次表に示す。また、国際信号書では、砕氷船による援助作業に際し、これら以外に使用しても良い信号（1 文字のアルファベット）を 4 つ定めている。当該信号を次々表に示す。



写真 3-19 砕氷船の船橋から見た海氷域（山口一氏提供）

表 3-5 砕氷船と被援助船専用の信号（出典：国際信号書）

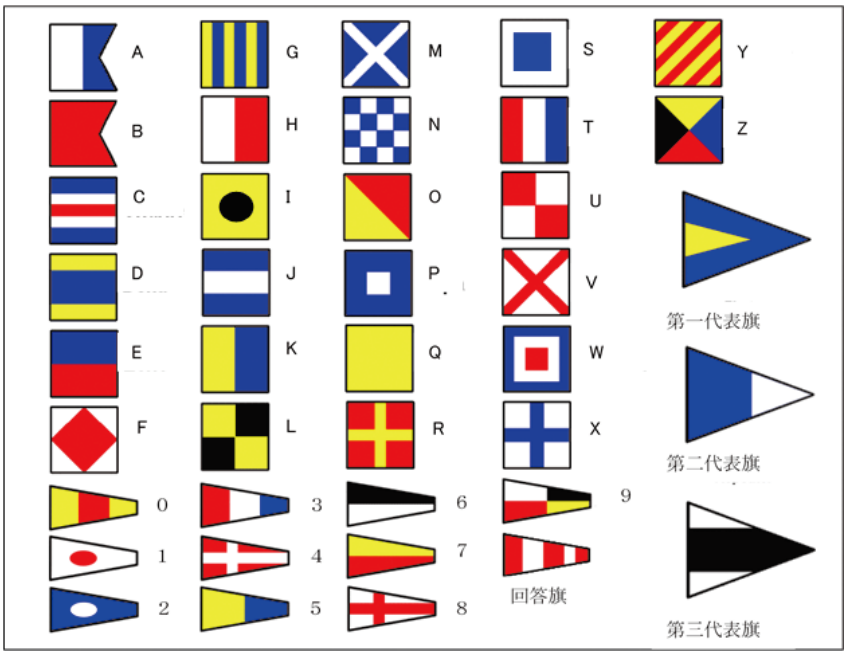
文字	砕氷船からの指示（英語・日本語）	被援助船の応答（英語・日本語）
WM	Icebreaker support is now commencing. Use special icebreaker support signals and keep continuous watch for sound, visual, or radiotelephony signals. 砕氷船による援助を今から始める。砕氷船援助の特別信号を使用し、音響、視覚、又は無線電話の聴取のための当直を続けよ。	
A	Go ahead (proceed along the ice channel). 前進せよ（氷間水路を進行せよ）。	I am going ahead. (I am proceeding along the ice channel) 本船は前進している（本船は氷間水路を進行している）。
G	I am going ahead, follow me. 本船は前進している。本船に続航せよ。	I am going ahead. I am following you. 本船は前進している。貴船に続航している。
J	Do not follow me (proceed along the ice channel). 本船に続航するな（氷間水路を進行せよ）。	I will not follow you (I will proceed along the ice channel). 本船は貴船に続航しない（氷間水路を進行しよう）。
P	Slow down. 減速せよ。	I am slowing down. 本船は減速しつつある。
N	Stop your engines. 機関を止めよ。	I am stopping my engines 本船は機関を止めつつある。
H	Reverse your engines. 貴船の機関を逆転せよ。	I am reversing my engines. 本船は機関を逆転しつつある。
L	You should stop your vessel instantly. 貴船はすぐに停船せよ。	I am stopping my vessel. 本船は停船しつつある。
4	Stop. I am icebound. 停船せよ。本船は氷に閉ざされた。	I am stopping my vessel. 本船は停船しつつある。
Q	Shorten the distance between vessels. 船間距離をつめよ。	I am shortening the distance. 本船は船間距離をつめつつある。
B	Increase the distance between vessels. 船間距離を増せ。	I am increasing the distance. 本船は船間距離を増しつつある。
Y	Be ready to take (or cast off) the tow line. 曳航索を受け取る（放す）準備をせよ。	I am ready to take (or cast off) the tow line. 本船は曳航索を受け取る（放す）準備をした。
FE	Stop your headway (given only to a ship in an ice channel ahead of an icebreaker). 貴船の行き脚を止めよ（氷間水路で砕氷船の前方の船にのみ使用する）。	I am stopping headway. 本船は行き脚を止めている。
WO	Icebreaker support is finished. Proceed to your destination. 砕氷船による援助は終わった。貴船は目的地に進行せよ。	
5	Attention. 注意せよ。	Attention. 注意せよ。

表 3-6 その他、砕氷船による援助作業の際に使用できる信号（出典：国際信号書）

文字	砕氷船からの指示（英語・日本語）	被援助船の応答（英語・日本語）
E	I am altering my course to starboard. 私は針路を右に変えている。	I am altering my course to starboard. 私は針路を右に変えている。
I	I am altering my course to port. 私は針路を左に変えている。	I am altering my course to port. 私は針路を左に変えている。
S	My engines are going astern. 本船は機関を後進にかけている。	My engines are going astern. 本船は機関を後進にかけている。
M	My vessel is stopped and making no way through the water. 本船は停船している。行き脚はない。	My vessel is stopped and making no way through the water. 本船は停船している。行き脚はない。

※砕氷船は“K”の信号を音響又は発光信号で送信し、被援助船に対し、
無線による聴取を続けることを要求することができる。

表 3-7 国際信号旗一覧（出典：国際信号書）



4.1.3 基本遵守事項

砕氷船誘導時、耐氷船等の被援助船による基本遵守事項は以下のとおりである。

- 砕氷船誘導時、砕氷船は周囲の氷況、視界の状況、天候、自船及び被援助船の船体性能又は操縦性能、もしくは被援助船の操船能力等を総合的に勘案し、適切な船間距離、針路、速力等を決定する。被援助船はその指示に確実に従うこと。
- 砕氷船誘導時、被援助船は先行する砕氷船に対する動静監視、連続モニター等を怠らないこと。
- 砕氷船誘導時、被援助船は砕氷船を絶対に追い越してはならない。また、砕氷船の指示なくして、被援助船はいかなる場合も増速又は停止もしくは減速してはならない。
- 砕氷船誘導時、被援助船は船尾にも見張員を配置し、後方水路の閉塞状況の確認に当たらせること。

アドバイス 砕氷船誘導時、船尾に見張員を配置せよ！

4.1.4 コンボイ時の追加遵守事項

1隻の砕氷船が2隻以上の被援助船を従え、縦列船隊を組んだ砕氷船誘導を行うことがある。いわゆるコンボイと呼ばれる砕氷船誘導法である。砕氷船と被援助船が1対1の時と比べ、コンボイの難易度は砕氷船にとっても被援助船にとっても格段上昇する。

コンボイ時、耐氷船等の被援助船による追加遵守事項は以下のとおりである。

- コンボイ時、関係船がより緊密な連絡及び情報交換によって確実な意思疎通を図り、砕氷船主導のもと船隊が一丸となった操船に徹すること。

アドバイス 砕氷船誘導はチームプレー、全船一丸となった操船に徹せよ！

・コンボイ時、砕氷船は周囲の氷の状況、視界の状況、天候、自船及び被援助船の船体性能又は操縦性能、もしくは被援助船運航者の操船能力等を総合的に勘案し、被援助船の隻数、船隊全長距離、被援助船の隊列順等を決定する。その指示に確実に従うこと。

❗アドバイス 砕氷船はチームの監督、その指示に確実に従うこと！

・コンボイ時、氷況等にもよるが、1 隻の砕氷船が一度に誘導できる被援助船の数は通常、2 ～ 3 隻までである。それ以上の被援助船を一度に誘導する必要がある時は、先導する主砕氷船の他に補助砕氷船がコンボイに参加することがある。補助砕氷船は縦列船隊の中央に配置されることが多い。補助砕氷船が加わった時は、主砕氷船の他、同船が出す指示にも従うこと。
・コンボイ時、船体性能又は操縦性能もしくは操船能力等が異なる被援助船どうしが集結した場合、通常、図 3-20 に示したとおり、砕氷船は性能等のもっとも低い被援助船を船隊の 2 番目（先導する砕氷船のすぐ後ろ）に、もっとも高い被援助船を船隊の最後尾に配置する旨の指示を出すので留意すること。
・コンボイ時、船体性能又は操縦性能もしくは操船能力等が同等の被援助船どうしが集結した場合、通常、図 3-21 に示したとおり、砕氷船は船幅の大きい被援助船から順番に隊列を組ませる指示を出すので留意すること。
・コンボイ時、被援助船は先行又は後続の砕氷船もしくは他の被援助船に対する動静監視、連続モニター等を怠らないこと。
・コンボイ時､各被援助船どうしが絶対に追い越しをしてはならない。また、砕氷船の指示なくして、各被援助船はいかなる場合も増速又は停止もしくは減速してはならない。
・コンボイ時、各被援助船は船尾に見張員を配置し、後続船の監視又は後方水路の閉塞状況の確認に当たらせること。

アドバイス コンボイ時の追い越し、無断停止は厳禁！

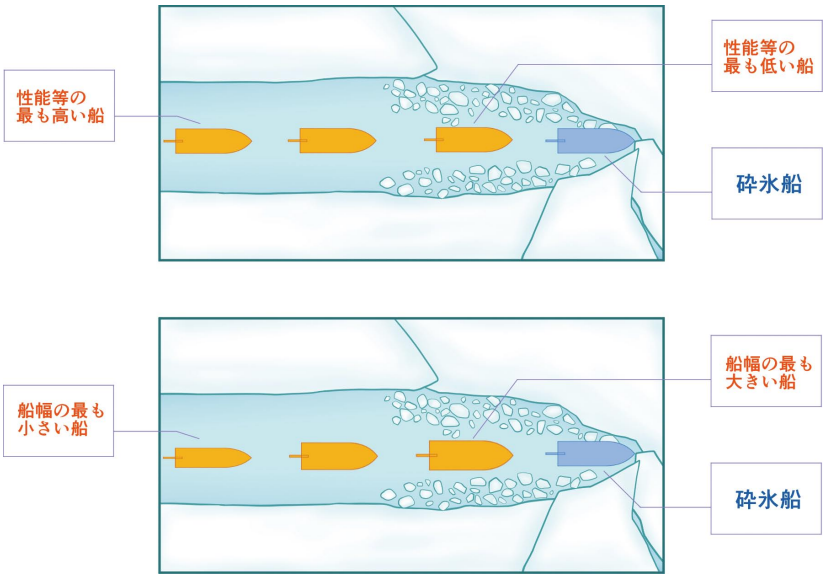


図 3-20 コンボイ時の船隊配列①（上図）、図 3-21 コンボイ時の船隊配列②（下図）

4.2 被誘導操船法

砕氷船誘導にあたり被援助船は前方の砕氷船等に追突しないための操船、前方の砕氷船等の動きに的確に追従するための操船、砕氷船が開放した水路が再び閉鎖しないうちに安全に通航するための操船等が常に求められる。そのため砕氷船は、こうした被援助船の操船が安全、かつ、容易に行えるよう、周囲の氷況、視界の状況、天候、被援助船の性能及び操船能力等を総合的に勘案し、適切な針路、船間距離、船隊全長距離及び速力を被援助船に対して逐次指示する。被援助船は砕氷船から刻々と送られてくる指示に的確に対応しなければならない。砕氷船誘導を成功させるためには、船隊のすべての被援助船が砕氷船の指示に従い、力を合わせてチームプレーに徹して行かなければならない。たとえ船隊の中の１船がチームプレーを乱しただけでも、船隊全体に影響が及ぶ。

以下に砕氷船誘導時における、耐氷船等の被援助船による操船上の注意事項又は操船テクニック等について解説する。

4.2.1 正確な追尾

耐氷船等の被援助船による正確な追尾に関する注意事項又は操船テクニック等は以下のとおりである。

・被援助船が前方を航走する砕氷船又は他の被援助船（以下、砕氷船等と言う）を追尾する際、針路が不安定だと水路からはずれ、脇の氷縁に衝突する等の危険がある。砕氷船等の針路を正確にたどり、かつ、自船の針路を安定させるためには、その航走波の中に入り追尾すると良い。

・氷と船体との間に生じる摩擦抵抗を減少させ砕氷を容易にするため、砕氷船が散水装置（ウォータージェット装置）を稼働させていることがある。その場合、砕氷船が発する航走波は視認しやすいことに留意すること。

アドバイス 正確な追尾は航走波を追え！

・狭視界、又は、夜間もしくは暗闇下の航行にあたっては、後方の被援助船に向け､砕氷船からサーチライトが照射されるので追尾の目安とすること。なお、サーチライトを直視し過ぎると、グレアを誘発し、氷等の障害物の発見が遅れることがあるので留意すること。

・被援助船は砕氷船等の動静を見張りによって常に監視すること。また、砕氷船等との船間距離、砕氷船等の速力等をレーダーやドップラー･スピード･ログ（船速計）等によって連続的にモニターし、正確な追尾のための操船に反映させること。

アドバイス 他船の動静を常に監視し連続モニターせよ！

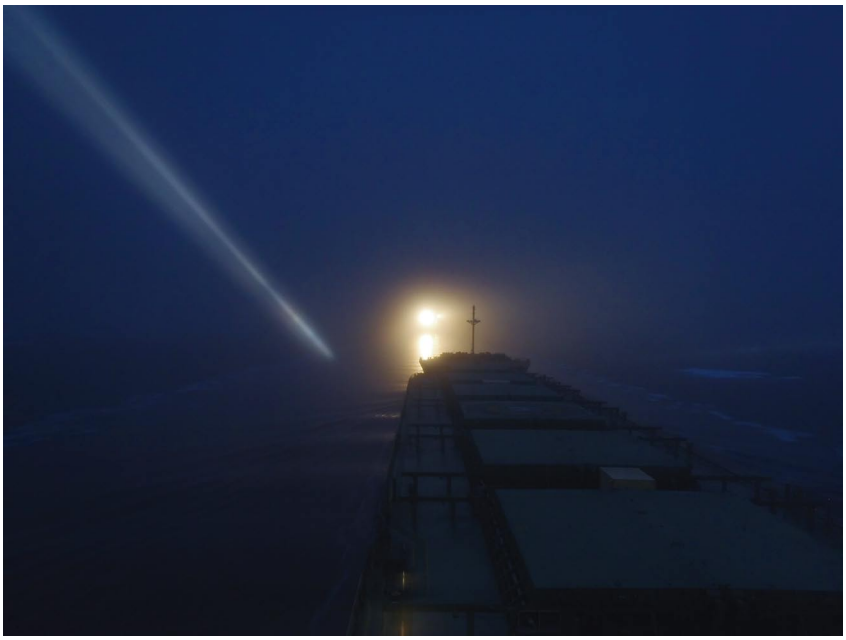


写真 3-20 砕氷船のサーチライト（画像中央）を追尾する耐氷貨物船（西城仁氏提供）
※左上から下方に向かって照射されているのは耐氷貨物船のサーチライト

4.2.2 針路、船間距離、船隊全長距離及び速力

耐氷船等の被援助船による針路、船間距離、船隊全長距離及び速力に関する注意事項又は操船テクニック等は以下のとおりである。

- 被援助船は砕氷船から刻々と送られて来る針路、船間距離、船隊全長距離及び速力に関する指示に迅速、かつ、的確に従うこと。
- 通常、海氷域内での砕氷船誘導時の船間距離は、少なくとも砕氷船の長さの 3 倍前後､距離にして 2.5 ケーブル（約 460 メートル）以上である。また、海氷域内での砕氷船誘導時の速力は、少なくとも舵効が維持できる限界となる最低レベルの速度である 3 ノット程度以上、最大でも 10 ～ 12 ノット程度までである。

・密氷域、すなわち 7/10（0.7）～ 8/10（0.8）の密接度の海氷域、又は圧迫されている海氷域等、氷況が比較的悪い海域では、砕氷船の航走に伴い一旦拡散した氷の集積が早くなり、短時間のうちに水路が閉塞してしまう傾向にある。そのような場合、図 3-22（上図）に示したように、砕氷船から被援助船に対し、一般に比較的短い船間距離及びそれに対応するための低速力等が指示されることがあるので留意すること。

アドバイス 氷況が悪いと遅い速力及び短い船間距離が指示される！

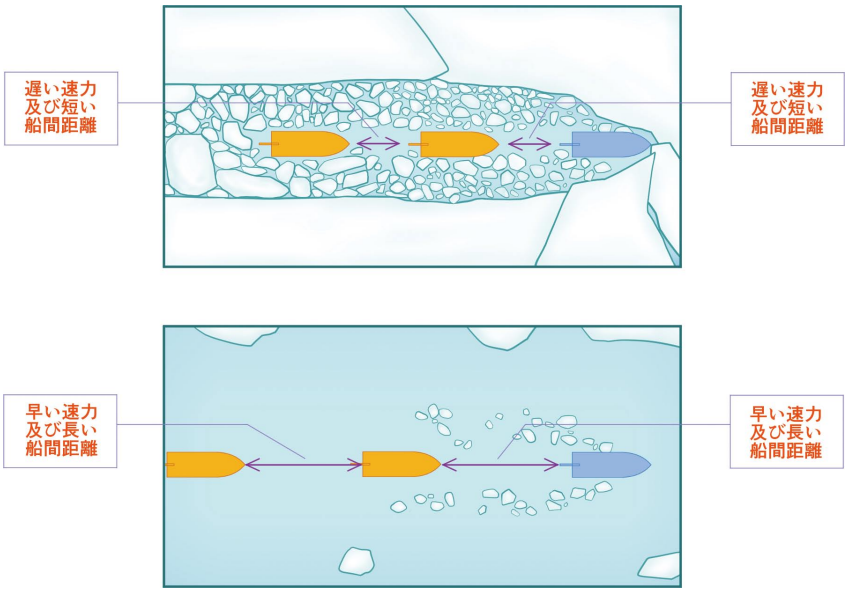


図 3-22 氷況が悪い海域（上図）及び良い海域（下図）における砕氷船誘導

・最密氷域、すなわち 9/10（0.9）～ 10/10（1.0）の密接度の海氷域、又は強く圧迫されている海氷域等、氷況が特に悪い海域では、砕氷船から被援助船に対し、一般に 2.5 ケーブル（約 460 メートル）未満の短い船間距離及びそれに対応するための微速等が指示されることがあるので留意すること。

・全密接氷域又は凍結密氷域、すなわち 10/10（1.0）の密接度の海氷域、又は非常に強く圧迫されている海氷域等、氷況が極めて悪い海域では、砕氷船誘導自体が不可能となることがあり得るので留意すること。また、たとえ可能な場合であっても、砕氷船から被援助船隊に対し、通常よりも極めて短い船隊全長距離及び船間距離が指示されることがある。特に最後尾の被援助船に対しては、0.5 ケーブル（約 93 メートル）程度の極めて短い船間距離が指示される可能性があるので留意すること。
・密接度の小さい海氷域又は氷湖を伴う海氷域、もしくは小さな氷片で埋め尽くされたブラッシュアイス・チャンネル等、氷況が比較的良い海域では、砕氷船の航走に伴い一旦拡散した氷の集積は遅く、水路の閉塞まで長時間かかる傾向にある。そのような場合、砕氷船から被援助船隊に対し、図 3-22（下図）に示したように、一般に比較的長い船間距離及びそれに対応するための高速力が指示されることがあるので留意すること。

❗アドバイス 氷況が極めて悪いと極めて短い船隊全長距離等が指示される！

❗アドバイス 氷況が良いと早い速力及び長い船間距離が指示される！

・被援助船は砕氷船から指示された船間距離を常に保つこと。何らかの理由により、指示された船間距離が維持できない時は、砕氷船に直ちに連絡し、その指示を仰ぐこと。また、緊急を要する時は、信号灯等による発光信号、汽笛又はサイレン等による音響信号等によって、砕氷船及び他の被援助船に対し注意喚起信号を送信すること。
・被援助船が何らかの理由によりやむを得ず前方の船と著しく接近した場合、水路内に氷が浮遊していれば、それが防舷材の役割をすることがあるので操船に反映させること。

・砕氷船の指示に基づく被援助船による速力調整は、エンジンテレグラフの全速前進、半速前進、微速前進等を用いた大まかなものではなく、船間距等を連続的にモニターしつつ、機関回転数を制御するハンドルのノッチ（Notch）を微調整する等、繊細な方法で実施すること。

❗アドバイス 砕氷船から指示された船間距離を常にキープせよ！

4.2.3 水路の開放

水路の開放に関する注意事項又は操船テクニック等は以下のとおりである。

・砕氷船から被援助船に指示される船間距離及び速力は、砕氷船によって開けられる水路の幅の大きさにも左右されるので留意すること。

・砕氷船によって開けられる水路の幅は、氷況によって左右されるので留意すること。海氷域に占める開放水面の割合が大きいと、砕氷船が押しのけた氷が容易に、かつ、遠方まで移動するため水路幅は広くなる。一方、海氷域に占める開放水面の割合が小さいと、砕氷船が押しのけた氷の移動が阻害されるので水路の幅は狭くなる。

・砕氷船によって開けられる水路の幅は、砕氷船の船型、速力及び砕氷能力によっても左右される。図 3-23 に示すとおり、砕氷船が低速で進み厚い氷を砕氷する場合にあっては、通常、水路幅は砕氷船の船幅より約 30 ～ 40%広いものとなる。一方、砕氷船が高速で進み薄い氷を砕氷する場合にあっては、通常、水路の幅は最大で砕氷船の全幅の 3 倍程度まで広がることもある。

・砕氷船が船体左右共に氷盤に接した状態で砕氷を行う場合、船首部で割られ押しのけられた氷片は左右に分かれ、開放された水路の外側方向に移動する傾向にある。一方、砕氷船が船体左右のいずれかのみを氷盤に接した状態で砕氷を行う場合、船首部で割られ押しのけられた氷片が、開放された水路内に進入することがあるので注意すること。

❗アドバイス ➤水路内に進入する氷片に注意せよ！

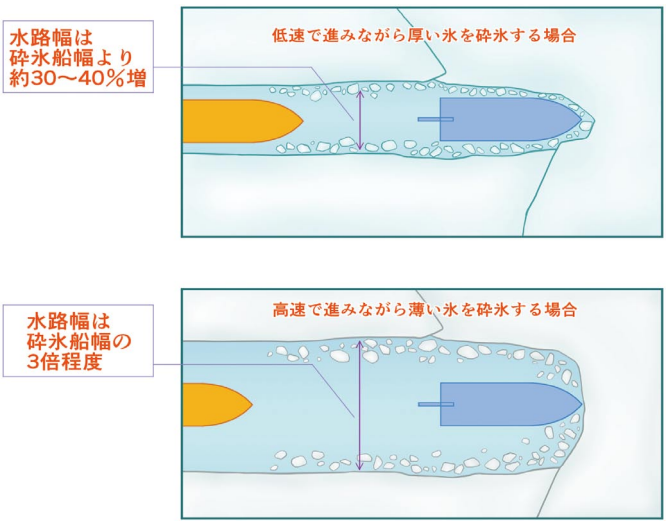


図 3-23 砕氷船が開放する水路幅

・ 通常、砕氷船によって開けられた水路内には大小さまざまな氷片が残る。砕氷船は可能な限り氷を丁寧に細かく砕氷し、後続の被援助船に及ぶ影響を低減させるための努力はするものの、時々大型氷片が水路内に進入してしまうことがある。大型氷片との衝突は､特に高速での誘導時にあっては､船体損傷につながることがあるので注意すること。

4.2.4 船間距離及び船隊全長距離の拡大防止

船間距離及び船隊全長距離の拡大防止に関する注意事項又は操船テクニック等は以下のとおりである。

・ 船間距離及び船隊全長距離の増大は、水路閉塞に伴う被援助船の航行困難又は航行速度の低下を招く。特にコンボイを行う時は、距離増大の影響が後続の被援助船に雪だるま式に波及し、最後尾の被援助船がもっとも深刻な被害を受けることに留意しなければならない。

アドバイス 船間距離の増大､積もり積もって最後尾船に深刻な被害と知れ！

・船間距離又は船隊全長距離の過度な増大は、水路閉塞に伴う被援助船の航行困難又は航行速度の低下にとどまらず、被援助船の航行不能、砕氷船誘導の続行不能、最悪の場合は被援助船がビセットに伴う圧迫等の危険な状態に陥る可能性すらある。絶対に避けなければならない。
・被援助船が砕氷船から指示された船間距離を一定に保つことは意外と難しいので留意すること。特に海氷域に慣れていない被援助船は、前方の船との衝突を危惧し、砕氷船からの指示より大きめの船間距離を無意識に取る傾向にある。たとえば砕氷船が3隻の被援助船を誘導するコンボイの場合、各被援助船が僅か60メートルずつ船間距離を広げただけで、船隊全長距離は200メートル近くも伸びてしまう。
・砕氷船誘導の典型的な失敗は、船間距離又は船隊全長距離の過度な増大に伴い水路閉塞を招き、被援助船が航行不能やビセットに陥る等のケースであることに留意すること。なお、船間距離を詰め過ぎてしまい、前方の船と衝突するケースも皆無とは言えないが、砕氷船が船間距離に応じた適切な速力を設定し、又、各被援助船が一定レベル以上の操船能力を有し、砕氷船の指揮のもと各被援助船がその指示に従い船隊一丸となったチームプレーを遂行する限り、衝突事故の発生リスクは思ったほど大きくはないと言われている。水路閉塞に伴う航行不能等の事故の方が発生リスクは高い。

アドバイス 砕氷誘導の典型的失敗､船間距離等の過大が原因と知れ！

4.2.5 減速への対応

減速への対応に関する注意事項又は操船テクニック等は以下のとおりである。

- 砕氷船誘導中、砕氷船から減速の指示があった時、被援助船は直ちにそれに従うこと。
- 砕氷船誘導中、砕氷船から減速の指示があった時、被援助船はやむを得ない場合を除き、プロペラを完全停止させ又は後進エンジンを使ってはならない。プロペラを完全停止させると船尾付近の水路閉塞のおそれがあり、又、後進エンジンの使用は氷との接触によるプロペラ又は舵等の損傷のおそれがある。
- 砕氷船誘導中、砕氷船から減速の指示があった時、被援助船は前進エンジンを回し続けながら、機関回転数を制御するハンドルのノッチを微調整する等の方法で対応すること。
- 砕氷船誘導中、砕氷船から減速の指示があった時、被援助船は先行船及び後続船に対する見張りによる動静監視、航海計器による船間距離及び速力の連続モニター等を強化すること。
- 砕氷船誘導中、砕氷船から減速の指示があった時、被援助船は船体抵抗を増加させ減速効果を向上させるため、必要に応じ、前進行き脚がある限り、舵を左右交互に大きく振ること。
- 減速中、先行船との船間距離が一定以下に縮まった時、被援助船は自船の船首を左右どちらかに振り、先行船の船尾をかわす姿勢を取ること。

アドバイス 減速指示、プロペラ停止や後進は禁止、前進エンジンで対応せよ！

4.2.6 停止等への対応

停止等への対応に関する注意事項又は操船テクニック等は以下のとおりである。

- 砕氷船誘導中、通常であるならば、砕氷船が船隊を停止又は急激な減速（以下、停止等と言う）をすることはない。しかしながら、砕氷船が予想

外に厳しい氷に遭遇し砕氷に手間取る等の事態に陥った場合等にあっては、やむを得ず船隊を停止等させなければならない時があるので注意すること。

・通常、砕氷船は船隊を停止等させる時、被援助船に対し国際ＶＨＦ等によって連絡をするのでその指示に従うこと。なお、急停止等の緊急を要する時は、砕氷船から信号灯等による発光信号、汽笛又はサイレン等による音響信号等によって警告信号が送信されることがあるので注意すること。

・砕氷船から船隊の停止等の連絡又は信号があった時、被援助船は先行船及び後続船に対する見張りによる動静監視、航海計器による船間距離及び速力の連続モニター等を一層強化するとともに、国際ＶＨＦ等による緊密な連絡及び情報交換によって確実な意思疎通を図ること。

・砕氷船から船隊の停止等の連絡又は信号があった時、各被援助船は後進エンジンを使用し、直ちに停止する等の措置を講じなければならない。なお、停止等の際には、船体抵抗を増加させ停止距離の低減を図るため、前進行き脚がある限り、舵を左右交互に大きく振り続けること。前進行き脚がなくなり後進行き脚となる直前、舵は必ずミッドシップ（中央位置）とし、氷片との衝突によるプロペラ又は舵等の損傷に十分注意すること。

・船隊が停止等する時、各被援助船は完全停止してはならない。完全停止すると徐々に進行する水路閉塞によって、最悪の場合、氷で囲まれてビセット状態に陥り、砕氷船による救助なしでは航行再開ができなくなるおそれがある。図 3-24 に示すとおり、ビセット防止のため完全停止はせず、前後進を繰り返し行い、水路内の短区間を繰り返し往復することによって、その場所に留まる方法を取ること。

・船隊が停止等した時、被援助船がその場所に留まるため前後進を繰り返し行い、それが長時間に及ぶと、やがて前方の水路が閉塞され、前進できなくなってしまうことがある。その場合、前進できる可能性がなくても、被援助船は船首を氷盤に当てたまま、ゆっくりと前進エンジンを使い続けることが望ましい。プロペラの放出流によって船尾側の水路閉塞を抑制さ

せるとともに、氷片との衝突によるプロペラ又は舵等の損傷の可能性を低減できるためである。

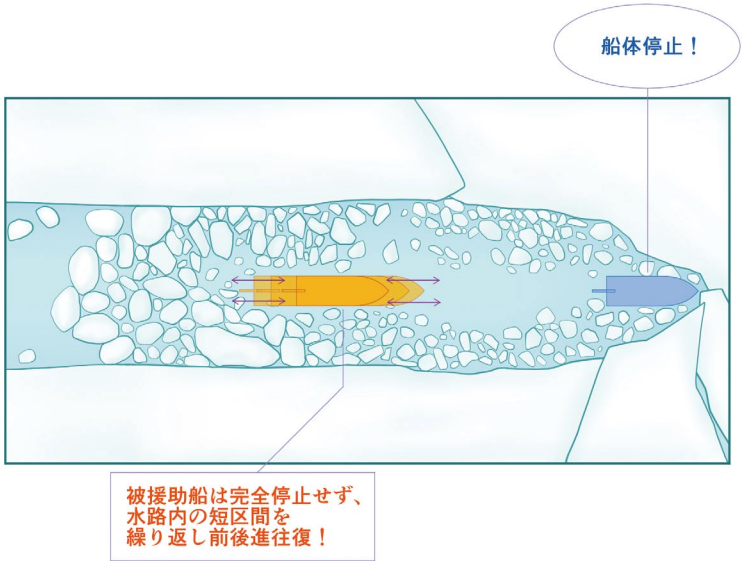


図 3-24 砕氷誘導時の停止方法

アドバイス 停止指示、プロペラ停止は厳禁、前後進の繰り返しで対応せよ!

・ 砕氷船誘導中、被援助船が船間距離を広げ過ぎて水路が閉塞してしまい、航行不能に陥る等、被援助船が原因となる停止等が発生することがある。何らかの理由によりやむを得ず停止等する時、被援助船は砕氷船に直ちに連絡し、その指示を仰ぐこと。また、緊急を要する時は、信号灯等による発光信号、汽笛又はサイレン等による音響信号等によって、砕氷船及び他の被援助船に対し警告信号を送信すること。

・ 被援助船から停止等の連絡又は信号があった時、他の被援助船は先行船及び後続船に対する見張りによる動静監視、航海計器による船間距離及び速力の連続モニター等を一層強化するとともに、国際ＶＨＦ等による緊密な連絡及び情報交換によって確実な意思疎通を図ること。

・被援助船から停止等の連絡又は信号があった時、他の被援助船は砕氷船の指示に従い、後進エンジンを使用し直ちに停止する等の措置を講じなければならない。また、停止等の際には、船体抵抗を増加させ停止距離の低減を図るため、前進行き脚がある限り、舵を左右交互に大きく振り続けること。なお、前進行き脚がなくなり後進行き脚となる直前にあっては、舵は必ずミッドシップ（中央位置）とし、氷片との衝突によるプロペラ又は舵等の損傷に十分注意すること。
・停止等する時、何らかの理由により自船の行き脚が止まらず、先行船に接近する時、被援助船は直ちに注意喚起信号を送信するとともに、自船の船首を左右どちらかに振り、先行船の船尾をかわす姿勢を取ること。
・停止等する時、何らかの理由により自船の行き脚が止まらず、先行船に著しく接近する時、被援助船は直ちに警告信号を送信するとともに、先行船との衝突を回避するため非常全速後進、投錨、旋回等あらゆる手段を講じること。なお、先行船との衝突が確実となった時は、自船の船首を左右どちらかに振り、先行船の船尾等への直撃を回避すること。なお、船首を振りながら反対舷側に沿って水路内の氷片を乗せると、それが防舷材の役割を果たすため、衝突回避又は衝突時のダメージを軽減できる場合があることに留意すること。

❗アドバイス 衝突は船首を振って回避、氷を乗せてダメージ軽減！

・停止等する時､何らかの理由により後続船の行き脚が止まらず､自船に迫った時は、直ちに注意喚起信号を送信するとともに、前方の水路が開いている時は、前進して衝突回避に協力すること。また、前方の水路が閉塞されている状況下、後続船との衝突が確実となった時は、自船の船首を氷盤に当てたまま全速前進エンジンを使うと、プロペラ放出流によって後続船の行き脚の軽減等が期待でき、又、後続船の船首の回頭を促し自船の船尾等への直撃を回避できる場合があることに留意すること。

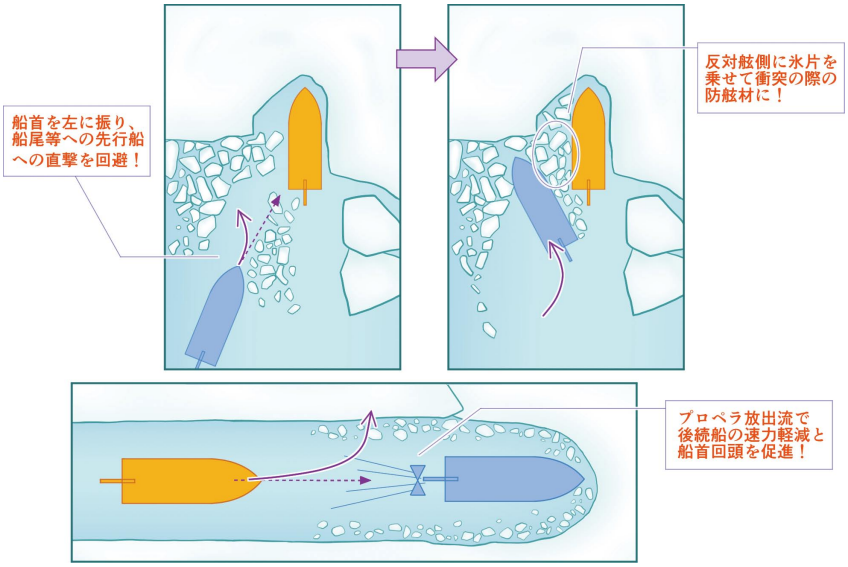


図 3-25 衝突の回避又は衝突時のダメージ軽減のための操船

4.3 被救助操船法

砕氷船は水路を開放し被援助船を誘導するのみならず、被援助船が航行不能又はビセット状態に陥った時、もしくはその可能性が高い時、被援助船を救助する役割も担っている。以下に砕氷船による被援助船の救助方法、救助される時の被援助船の操船に関する注意事項等について解説する。

4.3.1 被援助船の自力脱出操船

砕氷船誘導時、被援助船が前方を氷に阻まれ航行困難又はビセット状態に陥りかけた場合、被援助船は砕氷船に直ちに連絡しその指示を仰がなければならない。また、被援助船は両舷交互に舵を切りながら、全速による前後進を短時間のうちに繰り返す操船等によって自力脱出を試みること。

被援助船の自力脱出操船に関する注意事項等は以下のとおりである。

・ 被援助船が二軸船の場合、一軸を全速前進にもう一軸を全速後進とし、短時間で各軸の前進又は後進を切り替え、周囲の氷を拡散させる操船等によって自力脱出を試みること。

・自力脱出を試みる被援助船は、氷との接触によるプロペラ又は舵等の損傷に関し、極めて高いリスクを伴うので注意すること。また、全速後進エンジンを使用する時は、氷盤又は後続船との衝突に十分注意すること。
・自力脱出に失敗し航行不能等に陥った被援助船は、砕氷船に直ちに連絡しその指示を仰ぐこと。なお、緊急を要する時は、信号灯等による発光信号、汽笛又はサイレン等による音響信号等によって、砕氷船及び他の被援助船に対し警告信号を送信すること。

アドバイス 砕氷船誘導時の航行困難、まずは自力脱出を試みよ！

4.3.2 砕氷船による救助方法と被援助船の操船法

砕氷船誘導時、被援助船が航行不能又はビセット状態に陥った時、もしくはその可能性が高い時、あるいは自力脱出に失敗した時、船隊を先導する主砕氷船、又は補助砕氷船が船隊を離れ、当該被援助船の救助に向かうことがある。

主砕氷船又は補助砕氷船が船隊を離れ、自船より後方の被援助船の救助に向かう場合、通常、図 3-26 に示すとおり、後進しながら被援助船に向かう。そして、被援助船の左右いずれかの舷側に沿い、被援助船の船首から船尾まで後進エンジンで通過し、被援助船の周囲の氷を排除して水路を開ける。

また、補助砕氷船が船隊を離れて自船より前方の被援助船の救助に向かう場合、通常、砕氷船は被救助船の後方から前進エンジンによって接近する。そして、被救助船の左右いずれかの舷側に沿って、被救助船の船首尾方向に対し約 20 ～ 30 度の角度で斜行しながら、被救助船の船尾から船首までを通過し、被救助船の周囲の氷を細かく砕き水路を開ける作業を行う（図 3-15 参照）。なお、状況によって砕氷船は、被救助船の回りを一周して水路を開けることもある。

砕氷船による救助時の被援助船の操船に関する注意事項等は以下のとおりである。

・砕氷船が被援助船の舷側を後進しながら通過する際、通常、被援助船の前方の氷が一時的に分散し水路が開いてくる。それと同時に砕氷船から被援助船に対し、当該水路に向かって前進するよう指示が出る。当該水路は一時的なもので、僅かな時間で再び氷が密集し閉じてしまうことが多い。特に氷の圧迫が顕著な状況下では、閉塞までの時間は僅か２～３分程である。被援助船は与えられたタイミングを決して逃してはならない。砕氷船の指示どおり、いつでも操船できるよう準備しておくこと。

・被援助船が砕氷船の指示によって水路を前進している間、砕氷船は全速前進エンジンによって被援助船を側面から追い越し、開けたばかりの水路の終点に被援助船が到着する前に、先回りして被援助船の前方に廻り込み、砕氷船誘導の再開を試みるので留意すること。

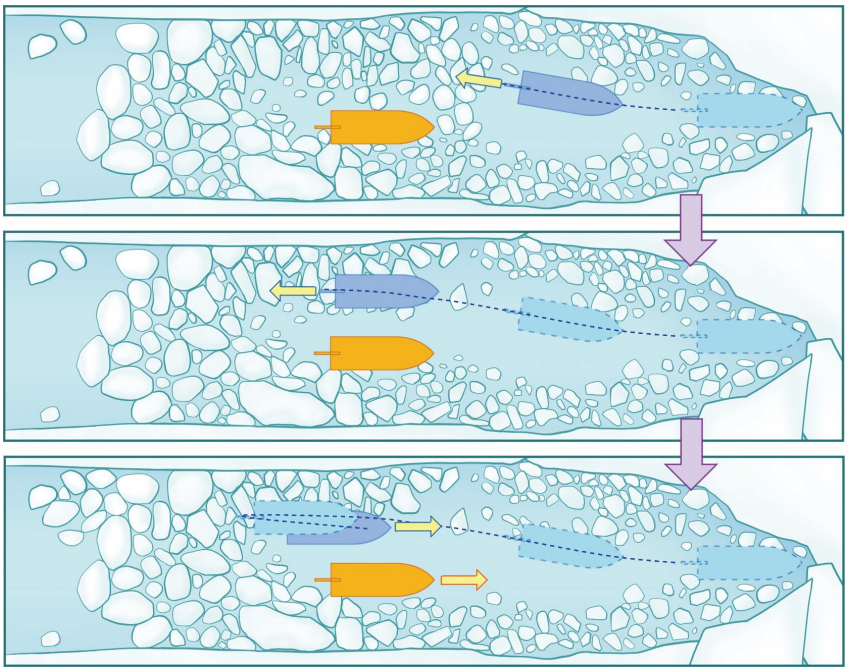


図 3-26 後進接近による救助（砕氷船誘導時）

・被援助船が再び航行不能等となった時、砕氷船は被救助船の舷側を後進し、次いで前進し水路を開ける一連の作業を、砕氷船誘導が再開できる状態となるまで繰り返し行うので留意すること。
・砕氷船による救助は被援助船を自力航行させ、砕氷船誘導を再開させることを基本としている。砕氷船が被援助船を曳航することによる救助方法は、最後の手段であることに留意すること。

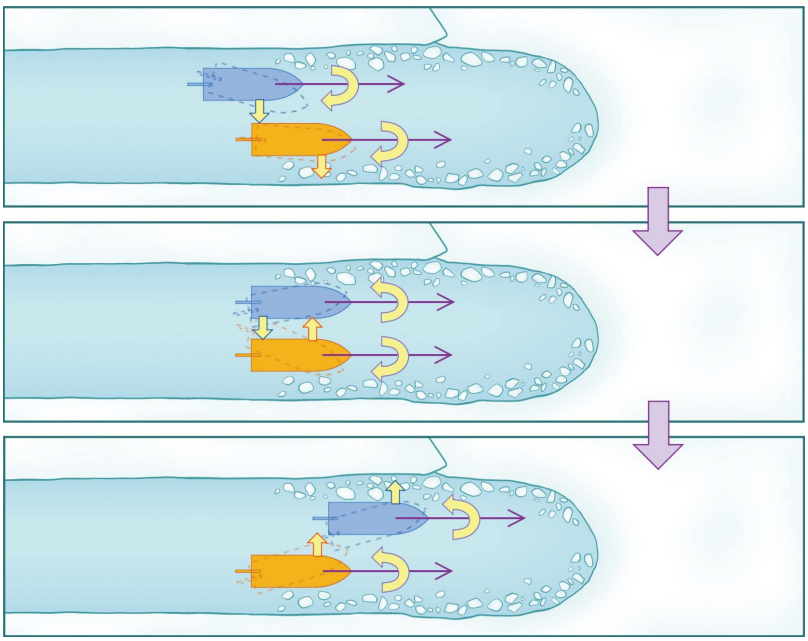


図 3-27 二船間の相互作用

4.3.3 二船間の相互作用

２隻の船舶が接近して航行する時、又は、停泊中の船舶の至近を他船が航過する時、側壁影響と同様、船体周囲の流れの変化によって、吸引力又は反発力が発生する。そのため、回頭モーメントが生じ、保針が困難となる又は意に反して回頭させられる等の現象が発生することがある。二船間の相互作用と呼ばれる現象である。

砕氷船による被援助船の救助時、図 3-27 に示すとおり、二船間の相互作用によって接触事故等が発生するおそれがあるので注意すること。また、砕氷船が割って押しのけた氷片等が、二船間の相互作用によって被援助船側に寄せられ、被援助船のプロペラ又は舵等の損傷につながることがある。特に砕氷船の速度が速い時に発生しやすいので注意すること。

5. 特殊操船法

本章では海氷域での操船法に関し、耐氷船の単独航行時の操船法、耐氷船の連続砕氷操船法、砕氷船のラミング操船法、砕氷船誘導時の耐氷船の操船法等を取り上げ、注意事項又はテクニック等について解説してきた。これらは海氷域における氷海船舶による操船法としてもっともポピュラーなものであり、北極海航路を利用するすべてのナビゲーター（Navigator）が基本知識として理解しておく必要がある。一方、海氷域ではこれら以外にも被曳航操船、停泊操船等の特殊な操船が行われることがある。海氷域での特殊操船法について、主に耐氷船の視点から解説する。

5.1 被曳航操船法

全密接氷域又は凍結密氷域等の密接度の大きな海氷域、又は非常に強く圧迫されている海氷域等、氷況が極めて悪い海域では、砕氷船誘導時、耐氷船等の被援助船が水路閉塞等による航行不能を頻繁に繰り返し、砕氷誘導の続行が危ぶまれる事態に陥ることがある。

このような時、砕氷船は被援助船の砕氷誘導を成功させるための最後の手段として、曳航に踏み切ることがある。海氷域での曳航は、曳航船及び被曳航船間の盤石な意思疎通並びに高度な操船テクニック等を必要とし、両船の呼吸がぴたりと合わないと衝突事故が発生する高いリスクを伴うことを認識しなければならない。

ところで、一般海域における曳航は通常であるならば、機関、プロペラ又は舵等の損傷が発生し、自力航行不能となった船舶の救助、すなわち海難救助である場合がほとんどである。無論、砕氷船誘導中であっても、一般海域と同様、被援助船が機関故障等により自力航行不能となり、曳航が必要となることはある。

しかしながら、実際に北極海航路で行われている曳航の多くは、海難救助を目的としたものではなく、砕氷誘導を成功させるための一つの手段として実施されるものである。そのため、海難救助の際の曳航とは異なり、海氷域で行われる曳航の多くは被援助船のメイン・エンジン（主機関）及び舵は正常に使え

る状態であり、しかも、砕氷船からの指示に従い、耐氷船等の被援助船が実際にそれらを使用しているのが大きな特徴である。海氷域で行われる曳航は、砕氷船及び耐氷船等の被援助船が一体となって行われる砕氷操船法であると言える。

以下に砕氷船による被援助船の曳航方法、曳航時の耐氷船等の被援助船の注意事項又は操船テクニック等について解説する。

5.1.1 基本遵守事項

被曳航時の基本となる遵守事項は以下のとおりである。

- 曳航時、砕氷船は周囲の氷況、視界の状況、天候、自船及び被援助船の船体性能又は操縦性能、もしくは被援助船の操船能力等を総合的に勘案し、曳航方法、曳航索の種類及び長さ、曳航針路、曳航速力等を決定する。被援助船はその指示に確実に従うこと。
- 曳航に際しては、砕氷船誘導等と比較しさらに緊密な連絡及び情報交換による盤石な意思疎通を図り、砕氷船及び被援助船が一体となった一糸乱れぬ操船に徹すること。
- 曳航時、被援助船は曳航する砕氷船に対する動静監視、連続モニター等を怠らないこと。

アドバイス 砕氷船による曳航は最後の手段！

5.1.2 曳航方法

海氷域における砕氷船による耐氷船等の被援助船の曳航には次の二つの方法がある。

【間隔曳航】

海氷域でも一般海域と同様、砕氷船が曳航索によって一定の間隔を保ちながら被援助船を曳航する方法（以下、間隔曳航と言う）が行われる。

【密着曳航】

図 3-28 に示すとおり、海氷域では、砕氷船が被援助船を船尾に設置さ

れた切り込み状の特殊な装置（スターン・ノッチ：Stern notch）に導き、両船が密着した状態で曳航する特殊な方法（以下、密着曳航と言う）が行われることがある。

密着曳航はクローズ・カップルド・トーイング（Close-coupled towing）又はフォーク・トーイング（Fork towing）もしくはノッチ・トーイング（Notch towing）とも呼ばれ、ロシア沿岸の北極海航路及びバルト海等において、冬の厳しい氷況下等に限り実施されている。

なお、密着曳航は氷況が均一なほど、効率的な運航が期待できる曳航法と言われている。

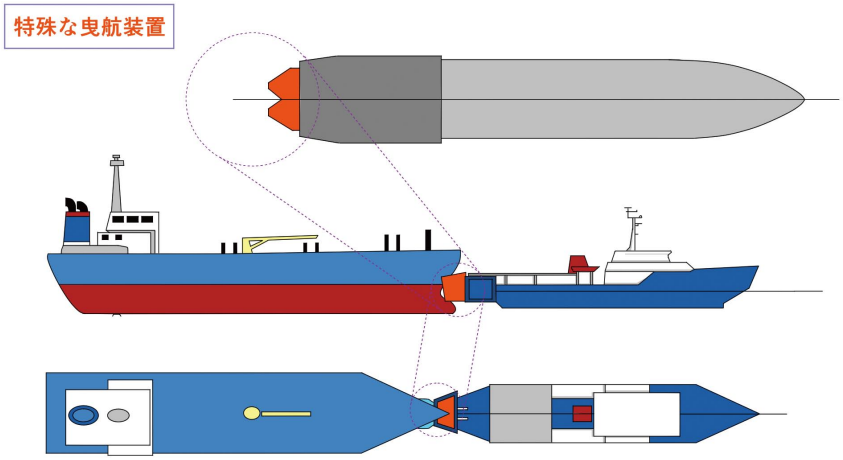


図 3-28 密着曳航の概要

5.1.3 メイン・エンジンの使用

耐氷船等の被援助船のメイン・エンジンの使用に関する注意事項又は操船テクニック等は以下のとおりである。

・ 曳航時、メイン・エンジン等が正常に使える状態である被援助船は、砕氷船からの指示に従ってメイン・エンジンを使用しなければならない。特に間隔曳航時の前進エンジンは、砕氷船との衝突防止の観点から、砕氷船から特別な指示がない限り、被援助船の独断では絶対に使用してはならない。

・曳航時、被援助船は後進エンジンをいつでも使用できるよう準備しておくこと。
・間隔曳航時､砕氷船及び被援助船が衝突しないよう一定の間隔を保つため、又、曳航索の切断を防止するため、もしくは砕氷船が開けた水路の閉塞を防止するため、砕氷船から被援助船に対して細かなメイン・エンジンの使用が指示されることが多い。一般海域における曳航とは異なり、被援助船のメイン･エンジンを使用しないケースの方が少ないものと認識すること。
・密着曳航時、砕氷船のエンジンの出力を補完し、砕氷能力の向上を図るため、被援助船に対し前進エンジン、時に全速前進エンジンが指示されることがある。密着曳航は間隔曳航とは異なり、砕氷船及び被援助船が一体化した砕氷作業の意味合いが大きいことを認識すること。
・通常、曳航時の速力は数ノット程度である。曳航速力が大きいほど、被曳航船の速力変動が増し、砕氷船との衝突又は曳航索の切断等の事故を招きやすいので注意すること。

❗アドバイス 曳航時､砕氷船からの指示に従いメイン･エンジンを使用せよ！

5.1.4 減速への対応

耐氷船等の被援助船による、減速への対応に関する注意事項又は操船テクニック等は以下のとおりである。

・曳航中、砕氷船から減速の指示があった時、前進エンジン使用中の被援助船は直ちにそれに従うこと。
・曳航中、砕氷船から減速の指示があった時、前進エンジン使用中の被援助船は、船尾付近の水路閉塞の防止のため、やむを得ない場合を除き、プロペラを完全停止させ又は後進エンジンを使ってはならない。
・曳航中、砕氷船から減速の指示があった時、前進エンジン使用中の被援助船は前進エンジンを回し続けながら、機関回転数を制御するハンドルのノッチを微調整する等の方法で対応すること。

・曳航中、砕氷船から減速の指示があった時、前進エンジン使用中の被援助船は先行する砕氷船に対する見張りによる動静監視、航海計器による船間距離及び速力の連続モニター等を強化すること。
・曳航中、砕氷船から減速の指示があった時、前進エンジン使用中の被援助船は、船体抵抗を増加させ減速効果を向上させるため、必要に応じ、前進行き脚がある限り、舵を左右交互に大きく振ること。
・曳航中、砕氷船からの減速の指示により、先行する砕氷船との船間距離が一定以下に縮まった時、被援助船は自船の船首を左右どちらかに振り、先行船の船尾をかわす姿勢を取ること。

5.1.5 停止等への対応

耐氷船等の被援助船による、停止等への対応に関する注意事項又は操船テクニック等は以下のとおりである。

・通常、曳航中に砕氷船が停止又は急激な減速（以下、停止等と言う）を行う時、被援助船に対し国際ＶＨＦ等によって連絡があるのでその指示に従うこと。なお、緊急を要する時は、砕氷船から信号灯等による発光信号、汽笛又はサイレン等による音響信号等によって警告信号が送信されることがあるので注意すること。
・曳航中、砕氷船から停止等の連絡又は信号があった時、被援助船は砕氷船に対する見張りによる動静監視、航海計器による船間距離及び速力の連続モニター等を一層強化するとともに、国際ＶＨＦ等による緊密な連絡及び情報交換によって確実な意思疎通を図ること。
・曳航中、砕氷船から停止等の連絡又は信号があった時、被援助船は後進エンジンを使用し、直ちに停止する等の措置を講じなければならない。なお、停止等の際には、船体抵抗を増加させ停止距離の低減を図るため、前進行き脚がある限り、舵を左右交互に大きく振り続けること。前進行き脚がなくなり後進行き脚となる直前、舵は必ずミッドシップ（中央位置）とし、氷片との衝突によるプロペラ又は舵等の損傷に十分注意すること。

・曳航中、砕氷船との衝突が避けられないと判断した被援助船の船長は、砕氷船の指示を待たず、自らの意志で後進エンジンを使用し衝突を回避しなければならない。
・曳航中に停止等する時、被援助船は船尾付近の水路閉塞の防止のため、やむを得ない場合を除き、プロペラを完全停止させてはならない。

5.1.6 見張り

耐氷船等の被援助船による、見張りに関する注意事項等は以下のとおりである。

・曳航時、被援助船は船首にも見張員を配置し、砕氷船の動静監視及び曳航索の状態の確認等の業務に当たらせること。
・船首見張員は、特に曳航が開始されて所定の速力に達するまでの間、曳航索の異常の有無等を慎重に見守ること。
・船首見張員は、曳航索と船体との接触部等に擦れ止めマット等の配置及び潤滑用のグリースの塗布を怠らないこと。

アドバイス 曳航時、船首にも見張りを立てよ！

5.1.7 曳航索長

一般海域における間隔曳航に際しての曳航索長の目安 $S(m)$ は、曳航船の長さ $L1(m)$ 及び被曳航船の長さ $L2(m)$ の和の 1.75 倍程度と言われている。

$$S = 1.75\,(L1 + L2)$$

全長 160 メートルの砕氷船が全長 185 メートルのハンディマックス・バルクキャリア（Handymax bulk carrier）を曳航する場合、曳航索長は 604 メートルとなる。

一方、海氷域における間隔曳航に際しての曳航索長は、一般海域と比べかなり短く指示されることが多い。長くし過ぎると砕氷船が開けた水路が被援助船の通過前に閉塞するおそれがあるためである。

曳航索長に関する注意事項等は以下のとおりである。

・海氷域における間隔曳航に際しての曳航索長は、周囲の氷況、特に氷の密接度等に大きく左右される。密接度 10/10（1.0）の全密接氷域又は凍結密氷域等の密接度の大きな海氷域、又は非常に強く圧迫されている海氷域等では、水路の閉塞が早いため、0.5 ケーブル（約 93 メートル）程度の極めて短い曳航索長が指示されることがある。
・密接度 4/10（0.4）～ 6/10（0.6）の疎氷域又は密接度 1/10（0.1）～ 3/10（0.3）の分離氷域等、密接度の小さい海氷域等では、水路の閉塞が遅いため、0.5 ケーブル（約 93 メートル）から 1.5 ケーブル（約 278 メートル）程度の曳航索長が指示されることがある。
・開放水面においては、一般海域と同程度の曳航索長が指示されることもある。

アドバイス 海氷域の曳航索長は一般海域より短いので注意！

5.1.8 曳航索の構成及び結合

間隔曳航に使用される曳航索は、図 3-29 に示すとおり、一般にトーイングワイヤー（Towing wire）、トーイングチェーン（Towing chain）等によって構成され、これらがジョイニングシャックル（Joining shackle）によって連結されている。曳航索の構成及び結合に関する注意事項等は以下のとおりである。

・曳航索は丈夫であり、かつ、長さの変更が容易にできるものであること。
・曳航索は、急激な張力が発生した時の緩衝用又は切断用として、曳航索の中間部にトーイングホーサー（Towing hawser：繊維製の曳航索）又はヒューズワイヤー（Fuse wire：トーイングワイヤー等の身代わりとなる径の細いワイヤー）が配置されることがあるので留意すること。

・曳航索は、一般に、被援助船の船首部にあるボラード等にワイヤーロープ（Wire rope）によって巻き止めること。

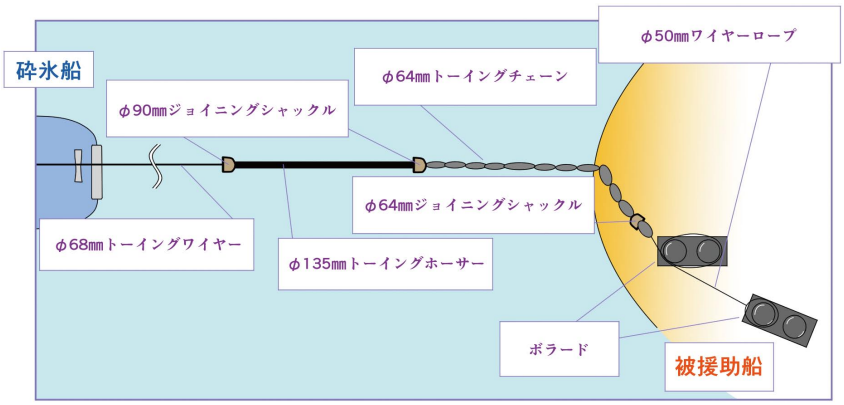


図 3-29 曳航索の構成及び結合例

5.1.9 懸垂曲線

図 3-30 に示すとおり、曳航中の曳航索は、自重により懸垂曲線（カテナリー：Catenary）を描いて垂れ下がり、一部が海中に没することもある。曳航索長 S（m）、曳航索の垂下量 d（m）垂下角 φ（度）、曳航索の 1 メートル当たりの重量 w（kg）、被曳航船の抵抗 R（kg）の関係は次式で表される。

$$S = 2\sqrt{d\left(d + \frac{2R}{w}\right)} \qquad d = \frac{R(\sec\varphi - 1)}{w}$$

一般に、曳航索が長いと懸垂曲線が拡大し垂下量が増加するため、急激な張力がかかっても切断しにくくなる。ただし、曳航索が長すぎると、海中に没する部分が増えるため、氷片との接触又は氷盤の下をくぐることによる切断等のトラブルが発生するおそれがある。

アドバイス 長すぎる曳航索は氷による切断の原因となる！

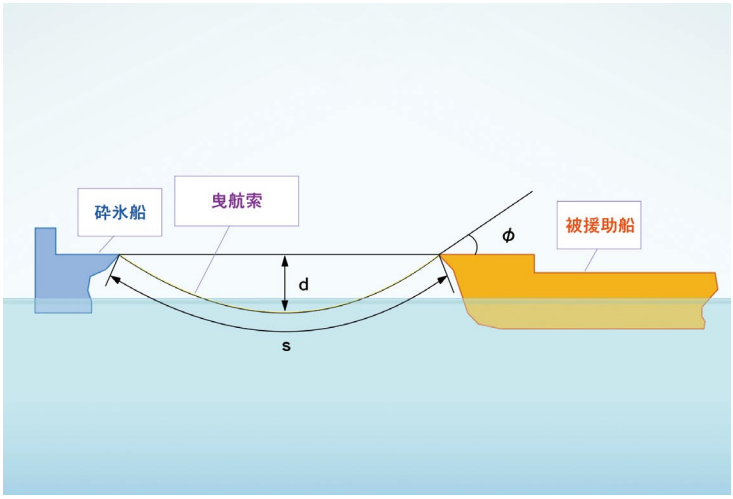


図 3-30 曳航索の垂下

5.1.10 曳航索の張力

海氷域における曳航に際しては、曳航索に対する荷重として、被援助船の抵抗力及び砕氷船と被援助船の速力差に伴う衝撃力に加え、砕氷のため必要な急加速又は停止等に伴う衝撃力が働く。そのため、一般海域における曳航に比べ、曳航索に加わる荷重が大きくなる傾向にある。曳航索の切断事故に十分注意する必要がある。

5.2 停泊操船法

耐氷船が氷盤に係留すること又は海氷域で錨泊することは、氷盤との衝突又はビセットに伴う船体圧迫等の危険があること、又、高度な操船テクニックを必要とすること、もしくは予想をはるかに超える作業時間を要する可能性が高いこと等の理由により、やむを得ない場合を除き回避しなければならない。

海難を避けるため等、やむを得ない理由により氷盤への係留又は海氷域での錨泊を実施する時、耐氷船は以下の注意事項又はテクニック等を参考に操船を行うこと。

❗アドバイス 氷盤係留及び海氷域錨泊はやむを得ない場合以外は禁止！

5.2.1 海氷域の選定

係留又は錨泊のための海氷域の選定に関する注意事項等は以下のとおりである。

- やむを得ない場合を除き、耐氷船又は非耐氷船が、係留もしくは錨泊のため、海岸に接続した定着氷域内に進入してはならない。
- 係留又は錨泊に際しては、衝突による船体損傷の危険を回避するため、周辺に氷山又は氷河が存在しない海氷域を選定すること。
- 氷盤との衝突又はビセットに伴う船体圧迫等の危険を回避するため、風上側に氷湖又は開放水面がある海氷域、もしくは風上側の氷の密接度ができる限り小さな海氷域を選定すること。なお、これら氷湖又は開放水面等の広さは、十分余裕を持って旋回又は回頭できるだけの面積であることが望ましい。

❗アドバイス 風上側に氷湖又は開放水面があるような海氷域を選定せよ！

- 荒天下の海氷域は、氷盤との衝突によるプロペラ又は舵もしくは船体損傷の危険性が高いため、係留又は錨泊場所として選定してはならない。荒天下の海氷域に進入した場合、直ちに氷縁に沿って安全な海域まで避難するか、海氷域から十分な安全距離を隔てた場所又は開放水面を見つけ踟躕（ヒーブ・トゥー）することが望ましい。
- うねりが大きな海氷域は、氷盤との衝突によるプロペラ又は舵もしくは船体損傷のおそれがあるため、係留又は錨泊場所として選定してはならない。一方、うねりが僅かに感じられるような海氷域は、ビセットの危険性が比較的低いと言われている。

・定着氷の氷縁付近にある海氷域は、ビセットに伴う船体圧迫等の危険性が高く、又、硬い氷丘又は氷丘脈等が形成されやすいため、係留又は錨泊場所として選定してはならない。
・錨泊に際しては、できる限り水深の浅い海氷域を選定すること。

アドバイス 荒天化の海氷域、定着氷の氷縁付近の海氷域等は避けよ！

5.2.2 氷盤の選定

耐氷船による係留のための氷盤の選定に関する注意事項等は以下のとおりである。

・ある程度以上の広さ及び厚みを有し、かつ、丈夫で安定した形状のものを選定すること。
・できるだけ氷縁が直線的、かつ、平坦なものを選定すること。また、海中部まで深く切り立っていて、海中での突起部分ができる限り少ないものを選定すること。
・荒天を避けるため氷盤に係留する場合、今後、予想される最悪の強風を船首方向から受けられる位置関係にあるものを選定すること。

アドバイス 係留氷盤は丈夫で安定し氷縁が直線的で平坦なもの選定せよ！

5.2.3 係留操船

耐氷船による係留操船に関する注意事項又はテクニック等は以下のとおりである。

・係留操船を行う時、氷盤への接近は船首部から行い、氷縁に対しできる限り直角の針路となるよう操船すること。
・氷盤に船首部を最初に接触させる際は、過度な衝撃を与えないようできる限り低速で行うこと。なお、過度の減速によって舵効が維持できない状態で氷盤に衝突しないよう十分注意すること。

・氷盤に船首部を接触させ異常がないようならば、船首部を氷盤に押し付けながら前進エンジンを静かに使い続け、船体が氷縁に対し直角な状態で安定させたまま船首係留索を繰り出すこと。なお、船首係留索の係止が完了するまでの間、当該船体姿勢を維持し続けること。
・氷盤への船首係留索の係止が完了したならば、前進及び後進エンジン並びに舵を適宜使用し、同索を支点とした 90 度回頭を行い、船体を氷盤に対し水平にさせながら静かに密着させること。その際、氷盤と船体との間の氷片は、プロペラの放出流によってできる限り排除することが望ましい。

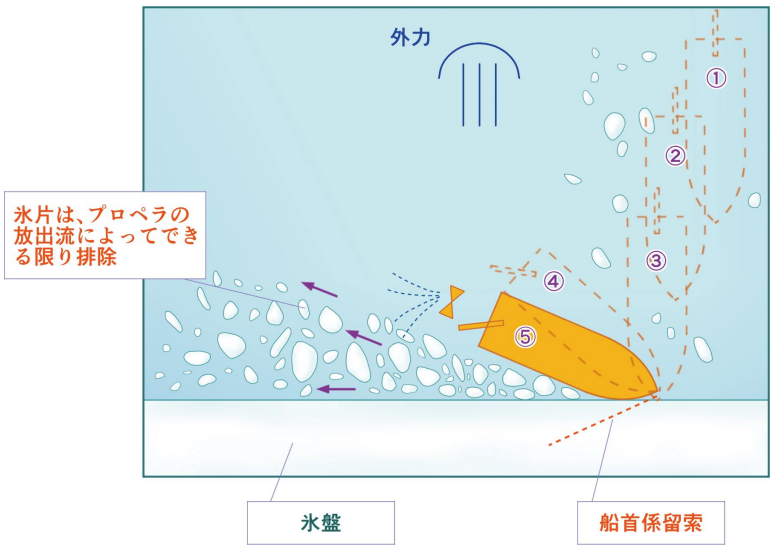


図 3-31 氷盤への係留操船法

アドバイス 氷盤に対し直角に針路を取ってアプローチせよ！

・係留操船を行う時、プロペラ及び舵を氷との接触による損傷から守るため、船尾がクリアな状態となるための船体姿勢の維持に留意すること。
・係留操船を行う時、サイド・スラスターを保有する船は効果的な操船又は船体姿勢の維持のためそれらを適宜有効活用すること。

・係留操船を行う時、可能であるならば外力（海潮流及び風）を船尾方向から受けながら操船すること。



写真 3-21 氷盤係留中のカナダ沿岸警備隊の砕氷船（舘山一孝氏提供）

5.2.4 係止具

氷盤への係留索の係止に際しては、アイスアンカー（Ice anchor）と呼ばれる専用の移動式の小型錨、又はデッドマン（Deadman）と呼ばれる装置を使用する。デッドマンは船内にある角材、ワイヤーロープ等を利用し、自分達で製作する係止具である。

通常、氷の表面を長方形に削り、その中にワイヤーロープ等を巻いた頑丈な材木（本来はこの材木のことをデッドマンと言う）を埋め込み、水を入れて凍結させる。完全凍結後､デッドマンから伸びたワイヤーロープ等をナイロン索、トグル（Toggle：留め棒）及びリンクを介し、船から伸ばした係留索とつなげると完成である。

トグルにはトグル索と呼ばれる緊急用の解放ロープが付いている。緊急事態が発生し、氷盤係留を中止する必要が生じた時は、船上からトグル索を引いてトグルを外すことにより、ナイロン索の結び目が解け、氷上に人が降りることなく、係留索の巻き取りが出来る仕組みとなっている。

❗アドバイス 氷盤係留時は係止具デッドマンを作成せよ！

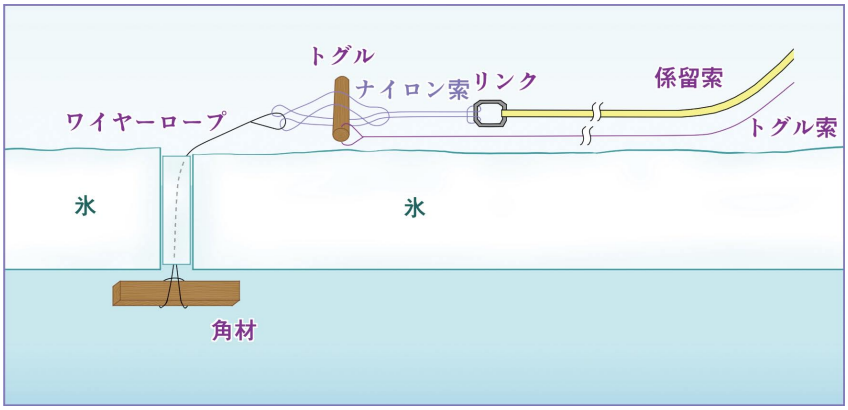


図 3-32 デッドマンの仕組み

5.2.5 錨泊操船

耐氷船による錨泊操船に関する注意事項又はテクニック等は以下のとおりである。

- 錨泊操船を行う時は、氷片との接触によるプロペラ又は舵等の損傷事故の可能性があるので、できる限り後進エンジンを使用しないこと。
- 錨泊操船を行う時、やむを得ず後進エンジンを使用する時は、原則、デッド・スロー・アスターン（Dead slow astern）、すなわち極微速後進とし、又、後進行き脚となった際には舵は必ずミッドシップ（中央位置）とすること。
- 錨泊操船を行う時、やむを得ず後進エンジンを使用する時は、氷片との接触によるプロペラ又は舵等の損傷防止のため、その直前に極めて短時間、高出力の前進エンジンを使用し、船尾付近に浮遊している氷片をプロペラ流によって吹き飛ばしてしまう操船テクニックが有効である。なお、この操船テクニックを使用する際には、船尾見張員との連絡を密にし、船尾が後方の氷盤と衝突しないよう細心の注意を払うこと。

・錨泊操船を行う時は、プロペラ及び舵を氷との接触による損傷から守るため、船尾がクリアな状態となるための船体姿勢の維持に留意すること。
・錨鎖はできる限り短く使用すること。長く伸ばし過ぎると、緊急事態が発生し、錨泊を中止する必要が生じた時、迅速に対応できないおそれがある。
・海氷域内の水深が深く錨泊に適さない時は、気象・海象状況、氷況、視界の状況、自船の船体性能及び操船能力等に関し一定の条件がすべて整い、氷との衝突又はビセット等の危険が少ないと判断できる場合に限り、錨泊せずに氷とともに海氷域内を漂流する手段も検討すること。

❗アドバイス 海氷域内の錨泊、錨鎖はできる限り短くせよ！

5.2.6 係留又は錨泊中の注意事項

耐氷船による係留又は錨泊中の注意事項等は以下のとおりである。

・氷盤に係留中又は海氷域に錨泊中は、停泊当直員を厳重に配置し、ビセット又は船体圧迫等の兆候の有無、周辺の氷況の変化、天候の急変等について細心の注意を払わせること。
・氷盤に係留中又は海氷域に錨泊中は、最新の気象情報及び氷況情報の入手・分析を怠らず、少なくとも周辺海域の気象・海象及び氷況の一般的特徴、氷縁の位置及びその状態、今後数日間に予想される気象・海象及び氷況の変化等について把握するよう努めること。
・氷盤に係留中又は海氷域に錨泊中は、メイン・エンジン（主機関）のスタンバイを発令し、いつでも使用できる状態としておくこと。
・氷盤係留中は、ホッキョクグマの襲撃を受けるおそれがあるため、ベアワッチャー（Bearwatcher：猟師）が同行していない限り、原則、上陸してはならない。なお、ホッキョクグマは地上最大の肉食獣で、北極海及びその周辺に約 22,000 頭が生息している。オスは体長 2 ～ 3 メートル、体重 300 ～ 800 キログラムに達し、アザラシ、トナカイ、ベルーガ（シロイルカ）などを捕食しながら、北極海の氷上を広く移動している。ヒグマ以上に危

険な動物で人も襲う。

・氷盤に係留中又は海氷域に錨泊中は、ウインドラス（揚錨機）又はムアリング・ウインチ（係船機）はいつでも確実に動くよう暖機運転、すなわち完全停止させず低速で回転させ続け各部を保温状態としておくこと。

❗アドバイス 氷盤に不用意に上陸するな、ホッキョクグマに襲われる！



写真 3-22 砕氷船の舷側に接近してきたホッキョクグマ（柴田啓貴氏提供）



写真 3-23 ライフル銃を携えたカナダのベアワッチャー（島田浩二氏提供）

5.3 荒天操船法

従来、通航のピークとなる夏、北極海航路は気候が比較的穏やかな時期で、通航船が荒天に遭遇することはあまりなかった。しかしながら、最近、夏の北極海航路周辺海域では、氷の減少によって出現した暖かい海面と氷との間の寒暖差により、鉛直方向に雲が発達して低気圧が発生し、通航船がたびたび荒天に遭遇する事態が起きている。特に氷の減少傾向が著しい年の夏ほど低気圧の活動は活発となり、時に台風並みに発達した荒天に遭遇することもある。北極海航路を利用する船舶は十分な注意が必要である。

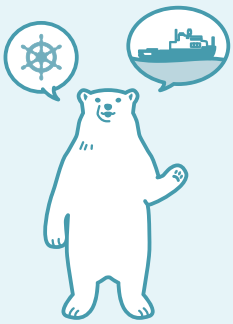
海氷域又はその付近で荒天に遭遇した時、耐氷船は以下の注意事項等を参考に操船を行うこと。

- 海氷域又はその付近で荒天に遭遇した時は、原則、氷縁に沿って安全な海域まで避難するか、又は開放水面を見つけて踟躕（ヒーブ・トゥー）すること。なお、海氷域は氷による防風及び静波効果があることから、荒天に遭遇した時であっても、開放水面と比べて穏やかであることが多い。したがって、気象・海象状況、氷況、視界の状況、自船の船体性能及び操船能力等に関し一定の条件がすべて整い、海氷域内での氷との衝突又はビセット等の危険が少ないと判断できる時は、海氷域に進入し荒天を回避するという手段も検討すること。
- 荒天に遭遇し踟躕を行う時は、舵が効く範囲での最低レベルまで速力を落とし、波浪を船首の斜め前方から受けるようにし、ほぼその場所に留まる操船に徹すること。
- 荒天に遭遇した時、海氷域に近い海域での踟躕は、氷縁との衝突又は海氷域に進入してのビセット等の危険があるためできる限り避けること。踟躕は必ず海氷域の移動方向を常に予測しながら、十分な安全距離を隔てた場所で行うこと。

【コラム】

航海で使用されるロシア語会話

操船で使用されるロシア語会話



航海で使用されるロシア語会話

北極海航路の航海で使われる可能性のある代表的なロシア語会話を紹介します。それぞれ英語、日本語、ロシア語、カタカナ表記によるロシア語会話の発音の順番で構成されています。安全航行の参考として下さい。



写真提供（舘山一孝氏）

【数字】

“Number, zero, one, two, three four, five.”

「数字、零、一、二、三、四、五。」

“Число, ноль(нуль), оди́н, два́, три, четы́ре, пять.”

チスロー、ノーリ（ヌーリ）、アジーン、ドヴァー、トリー、チェトゥィリエ、ピャーチ

“Six, seven, eight, nine, ten, hundred, thousand.”

「六、七、八、九、十、百、千。」

“Шесть, семь, во́семь, де́вять, де́сять, сто, ты́сяча.”

シェースチ、セーミ、ヴォーセミ、ジェーヴャチ、ジェーシャチ、ストー、トゥィシャチャ

航海で使用されるロシア語会話

【自船に関する情報】

“What is the name of your vessel?” “The name of my vessel is MV Tiger Gate.”

「貴船の船名は何ですか？」「本船の船名はタイガー・ゲートです。」

“Како́е назва́ние ва́шего су́дна?” “Назва́ние моего́ су́дна т/х Tiger Gate.”

カコーエ　ナズヴァーニエ　ヴァーシェヴァ　スードナ？　ナズヴァーニエ　マイェヴォー　スードナ　チェプラホート　タイガーゲート

“What is your flag state?” “My flag state is Japan.”

「貴船の船籍はどこですか？」「本船の船籍は日本です。」

“Под флагом како́го госуда́рства пла́вает ва́ше су́дно?” “Госуда́рство флага моего́ су́дна - Япо́ния.”

ポト　フラーガム　カコーヴァ　ガスダールストヴァ　プラーヴァイェト　ヴァーシェ　スードナ？　ガスダールストヴァ　フラーガ　マイェヴォー　スードナ　イポーニャ

“What is your position?” “My position is 77 degrees 31.8 minutes North, 65 degrees 30.5 minutes East.”

「貴船の船位はどこですか？」「本船の船位は北緯 77 度 31.8 分、東経 65 度 30.5 分です。」

“Где ва́ше местоположе́ние?” “Моё местоположе́ние - 77 гра́дусов 31.8 мину́ты се́верной широты́, 65 гра́дусов 30.5 мину́ты восто́чной долготы́.”

グジェ　ヴァーシェ　ミェスタパラジェーニエ？　マヨー　ミェスタパラジェーニエ　セーミジェシャト　セーミ

グラードゥサフ　トリッツァチ　トリー　イ　ヴォーセミ　ミヌートィ　セーヴェルナイ　シラトィ、シェズジェシャート　ピャーチ　グラードゥサフ　トリッツァチ　イ　ピャーチ　ミヌートィ　ヴァストーチナイ　ダルガトィ

航海で使用されるロシア語会話

“What is your present course and speed?” “My present course is 093 degrees, my speed is 12 knots.”
「貴船の現在の針路と速力はどうですか？」「本船の針路は 93 度、速力は 12 ノットです。」
“Каковы́ ва́ши курс и ско́рость в да́нное вре́мя?” “В да́нное вре́мя мой курс 93 гра́дусов, моя́ ско́рость. 12 узло́в.”
　カカヴィ　ヴァーシ　クールス　イ　スコーラスチ　ヴ　ダーンナエ　ヴレーミャ？　ヴ　ダーンナエ　ヴレーミャ　モイ　クールス　ジェヴィノースタトリー　グラードゥサフ、マヤー　スコーラスチ　ドヴェナッツァチ　ウズローフ

“What is your port of destination?” “My port of destination is Yokohama.”
「貴船の目的港はどこですか？」「本船の目的港は横浜です。」
“Како́й ваш порт назначе́ния?” “Мой порт назначе́ния - Йокога́ма.”
　カコーイ　ヴァーシ　ポールト　ナズナチェーニヤ？　モイ　ポールト　ナズナチェーニヤ　ヨコガーマ

“What was your last port of call?” “My last port of call was Murmansk.”
「貴船の最終寄港地はどこでした？」「本船の最終寄港地はムルマンスクでした。」
“Како́й был ваш после́дний порт захо́да?” “Мой последний порт захо́да был Му́рманск.”
　カコーイ　ブィル　ヴァーシ　パスリェードニイ　ポールト　ザホーダ？　モイ　パスリェードニイ　ポールト　ザホーダ　ムールマンスク



航海で使用されるロシア語会話

“What is your ETA at the confluence location?” “My ETA is 0930 UTC.”
「貴船の合流場所への到着予定時刻はいつですか？」「本船の到着予定時刻は世界標準時 9 時 30 分です。」
“Како́е ва́ше расчётное вре́мя в ме́сто стече́ния?“ “Расчётное вре́мя моего́ прибы́тия в 09 часов 30 мину́т UTC.”
　カコーエ　ヴァーシェ　ラスチョートノエ　ヴレーミャ　フ　ミェースタ　スチェチェーニヤ？　ラスチョートノエ　ヴレーミャ　マイェヴォー　プリブィーチャ　ヴ　ジェーヴャチ　チソーフ　トリッツァチ　ミヌート　UTC

“What is your draft?” “My draft forward is 7.9 meters, aft is 8.2 meters.”
「貴船の喫水はどうですか？」「本船の船首喫水は 7.9 メートル、船尾は 8.2 メートルです。」
“Кака́я у вас оса́дка?” “Моя́ оса́дка носом 7.9 метра, кормо́й 8.2 метра.”
　カカーヤ　ウ　ヴァース　アサートカ？　マヤー　アサートカ　ノーソム　セーミ　イ　ジェーヴャチ　ミェートラ、　カルモーイ　ヴォーセミ　イ　ドヴァー　ミェートラ

“What is your cargo?” “My cargo is iron ore.”
「貴船の貨物は何ですか？」「本船の貨物は鉄鉱石です。」
“Како́й у вас груз?” “Мой груз – желе́зная руда́.”
　カコーイ　ウ　ヴァース　グルース？　モイ　グルース　ジェリェーズナヤ　ルダー

航海で使用されるロシア語会話

【砕氷船による航行支援】

“Ice breaker assistance for convoy will start now.” “Your place in convoy is number two.”

「貴船団に対する砕氷支援を今から開始します。」「貴船の位置は船団の 2 番手です。」

“Ледоко́льная прово́дка карава́на начнётся сейча́с.” “В карава́не ва́ше ме́сто но́мер два.”

　リェダコーリナヤ　プラヴォートカ　カラヴァーナ　ナチニョッツァ　スィチャース。フ　カラヴァーニェ　ヴァーシェ　ミェースタ　ノーミェル　ドヴァー

“MV Tiger Gate will follow you.” “You will follow MV Tiger Hill.”

「タイガー・ゲートが貴船について来ます。」「貴船はタイガー・ヒルについて来て下さい。」

“За ва́ми бу́дет сле́довать т/х Tiger Gate.” “Вы бу́дете сле́довать за т/х Tiger Hill.”

　ザ　ヴァーミ　ブージェト　スリェーダヴァチ　チェプラホート　タイガーゲート。ヴィ　ブージェチェ　スリェーダヴァチ　ザ　チェプラホート　タイガーヒル

“Go ahead. Proceed along the ice channel.” “I am going ahead. I am proceeding along the ice channel.”

「進め。水路に沿って航行せよ。」「本船は進みます。本船は水路に沿って航行します。」

“Дайте пере́дний ход. Сле́дуйте по ледо́вому кана́лу.” “Я даю́ пере́дний ход. Я сле́дую по ледо́вому кана́лу.”

　ダイチェ　ピェリェードニイ　ホート。　スリェードゥイチェ　パ　リェドーヴァム　カナール。　ヤ　ダユー　ピェリェードニイ　ホート。　ヤ　スリェードゥユ　パ　リェドーヴァム　カナール

航海で使用されるロシア語会話

“Do not follow me.” “I will not follow you.”
「本船について来るな。」「本船は貴船について行きません。」
“Не сле́дуйте за мной.” “Я не буду сле́довать за ва́ми.”
　ニェ　スリェードゥイチェ　ザ　ムノーイ。　ヤ　ニェ　ブードゥー　スリェーダヴァチ　ザ　ヴァーミ

“Slow Down.” “I am slowing down.”
「減速せよ。」「本船は減速します。」
“Ме́ньше ход.” “Я замедля́ю ско́рость.”
　メーンシェ　ホート。　ヤ　ザミェドリャーユ　スコーラスチ

“Stop your engines.” “I am stopping my engines.”
「エンジンを停止せよ。」「本船はエンジンを停止します。」
“Стоп ва́ши дви́гатели.” “Я остана́вливаю мои́ дви́гатели.”
　ストープ　ヴァーシ　ドヴィーガチェリ。　ヤ　アスタナーヴリヴァーユ　マイー　ドヴィーガチェリ

“Reverse your engines.” “I am reversing my engines.”
「エンジンを逆転せよ。」「本船はエンジンを逆転します。」
“Дайте за́дний ход.” “Я даю́ за́дний ход.”
　ダイチェ　ザードニー　ホート。　ヤ　ダユー　ザードニー　ホート

“You should stop your vessel instantly.” “I am stopping my vessel.”
「貴船は直ちに停船して下さい。」「本船は停船します。」
“Вам сле́дует останови́ть ва́ше су́дно.” “Я остана́вливаю моё су́дно.”
　ヴァム　スリェードゥエト　アスタナヴィーチ　ヴァーシェ　スードノ。　ヤ　アスタナーヴリヴァーユ　マヨー　スードナ

航海で使用されるロシア語会話

“You are proceeding at a dangerous speed.” “You are running into danger.” “It is dangerous to alter course to 090.”
「貴船は危険な速度で航行しています。」「貴船は危険に向かっています。」
「針路を 90 度に変針するのは危険です。」
“Вы сле́дуете с опа́сной ско́ростью.” “Вы идёте к опа́сности.”
“Измени́ть курс на 90 градусов опасно.”
　ヴィ　スリェードゥエチェ　ス　アパースノイ　スコーラスチユ。
ヴィ　イジョーチェ　ク　アパースノスチ。　イズミェニーチ　クールス
ナ　ジェヴィノースタ　グラードゥサフ　アパースナ

“Keep a distance of 150 meters between vessels.” “Shorten the distance between vessels.” “I am shortening the distance.”
「船間距離を 150 メートルに保て。」「船間距離を縮めろ。」「本船は距離を縮めます。」
“Держите ме́жду суда́ми диста́нцию 150 метров.” “Сократи́те диста́нцию ме́жду суда́ми.” “Я сокраща́ю диста́нцию.”
　ジェルジーチェ　ミェージドゥ　スーダミイ　ジスターンツィユ　ストー
ピチジェシャート　ミェートラフ。　サクラチーチェ　ジスターンツィユ
ミェージドゥ　スーダミイ。　ヤ　サクラシャーユ　ジスターンツィユ

“Increase the distance between vessels.” “I am increasing the distance.”
「船間距離を広げろ。」「本船は距離を広げます。」
“Увели́чьте диста́нцию ме́жду суда́ми.” “Я увели́чваю диста́нцию.”
　ウヴェリーチチェ　ジスターンツィユ　ミェージドゥ　スーダミイ。
ヤ　ウヴェリーチヴァーユ　ジスターンツィユ

航海で使用されるロシア語会話

“Be ready to take (or cast off) the tow line.”“I am ready to take (or cast off) the tow line.”
「曳航索を取る（放つ）用意をしろ。」「曳航索を取る（放つ）用意をします。」
“Бу́дьте гото́вы приня́ть (отда́ть) букси́рный трос.” “Я гото́в к приня́тию (отда́че) букси́рного троса.”
　ブージチェ　ガトーヴィ　プリニャーチ (アトダーチ) ブクシールヌイ　トロース。
ヤ　ガトーフ　ク　プリニャーチユ（アトダーチェ）ブクシールナヴァ　トローサ

“Ice-breaker assistance for convoy finished.”“Open water ice conditions ahead.”“Proceed by yourself.”
「貴船団に対する砕氷支援を終了する。」「開放水面が前方にある。」
「自身で進め。」
“Ледоко́льная прово́дка карава́на зако́нчена.”
“Впереди́ - чи́стая вода́.” “Сле́дуйте самостоя́тельно.”
　リェダコーリナヤ　プラヴォートカ　カラヴァーナ　ザコーンチェナ。
フピィリィジー　チースタヤ　ヴァダー。スリェードゥイチェ　サマスタヤーチェリナ

【氷況情報】
“What is the latest ice information?”“Ice located in area around East Siberian Sea.”“No ice reported in area around Kara Sea.”
「最新の氷況情報はいかがでしょうか？」「東シベリア海付近に氷があります。」
「カラ海付近には氷がありません。」
“Какова́ после́дняя информа́ция о ледо́вой обстано́вке?” “Лёд обнару́жен на ме́сте о́коло Восто́чно-Сиби́рского мо́ря.” “Лёд не обнару́жен на ме́сте о́коло Ка́рского мо́ря.”
　カカヴァー　パスリェードニャヤ　インフォルマーツィヤ　リェドーヴァイ
アプスタノーフキェ？　リョト　アブナルージェン　ナ　ミェースチェ　オーカラ
ヴァストーチナ・シビールスカヴァ　モーリャ。リョト　ニェ　アブナルージェンナ
ミェースチェ　オーカラ　カールスカヴァ　モーリャ

航海で使用されるロシア語会話

“What ice situation is expected in my position?” “Ice situation is not expected to change in your position.”
「本船の位置ではどのような氷況が予想されますか？」「貴船の位置では、氷況の変化は予想されません。」
“Какая ледо́вая обстано́вка ожида́ется в моём райо́не?” “В вашем райо́не не ожида́ется измене́ния ледо́вой обстано́вки.”
　カカーヤ　リェドーヴァヤ　アプスタノーフカ　アジダーイェッツア　フマヨーム　ライオーニェ？　ヴ　ヴァーシェム　ライオーニェ　ニェアジダーイェッツア　イズミニェーニヤ　リェドーヴァイ　アプスタノーフキ

“Ice situation is expected to improve/deteriorate in your position.” “Thickness of ice is expected to increase/decrease in your position.”
「貴船の位置の氷況は改善 / 悪化が予想されます。」「貴船の位置の氷厚は増加 / 減少が予想されます。」
“В вашем райо́не ожида́ется улуч¬ше́ние/ухудше́ние ледо́вой обстано́вки.” “В вашем райо́не ожида́ется увели-че́ние/уменьше́ние толщины́ льда.”
　ヴ　ヴァーシェム　ライオーニェ　アジダーイェッツア　ウルチシェーニエ / ウフトシェーニエ　リェドーヴァイ　アプスタノーフキ。　ヴ　ヴァーシェム　ライオーニェ　アジダーイェッツア　ウヴェリチェーニエ / ウメンシェーニエ　タルシヌィ　リダー



写真提供（島田浩二氏氏）

航海で使用されるロシア語会話

“Navigation is dangerous in area around East Siberian Sea due to floating ice.” “Navigation in area around East Siberian Sea is only possible with ice-breaker assistance.”
「流氷のため東シベリア海付近の航海は危険です。」「東シベリア海付近の航海は砕氷支援を受ける場合に限り可能です。」
“Пла́вание в райо́не о́коло Восто́чно-Сиби́рского мо́ря опа́сно из-за пла́вающего льда.” “Пла́вание в райо́не о́коло Восто́чно-Сиби́рского мо́ря возмо́жно то́лько с по́мощью ледоко́ла.”
プラーヴァニエ フ ライオーニェ オーカラ ヴァストーチナ・シビールスカヴァ モーリャ アパースナ イズ・ザ プラーヴァユシェヴァ リダー。 プラーヴァニエ フ ライオーニェ オーカラ ヴァストーチナ・シビールスカヴァ モーリャ ヴァズモージナ トーリカ ス ポーマシユ リェダコーラ

【緊急事態】
“MV Tiger Gate has damage above waterline.” “What kind of assistance is required?” “I require tug assistance.”
「タイガー・ゲートは喫水線上に損傷があります。」「どのような支援を要請しますか？」「本船は曳航支援を要請します。」
“T/x Tiger Gate получи́л поврежде́ние вы́ше ватер¬ли́нии.” “Кака́я по́мощь тре́буется?” “Тре́буется по́мощь букси́ра.”
チェプラホート タイガーゲート パルチール パヴリェジジェーニエ ヴィシェヴァーチェルリーニー。 カカーヤ ポーマシ トリェーブイェッツア？
トリェーブイェッツア ポーマシ ブクシーラ

航海で使用されるロシア語会話

“Can you proceed without assistance?” “No, I cannot proceed without assistance.” “I require ice-breaker assistance.”
「貴船は支援なしで航行できますか？」「いいえ、本船は支援なしで航行できません。」「本船は砕氷支援を要請します。」
“Мóжете ли вы слéдовать без пóмощи?” “Нет, я не могу слéдовать без пóмощи.” “Мне трéбуется ледокóльная пóмощь.”
　モージェチェ　リ　ヴィ　スリェーダヴァチ　ビィス　ポーマシ？
ニエット、ヤ　ニェ　マグー　スリェーダヴァチ　ビィス　ポーマシ。
ムニェー　トリェーブイェッツア　リェダコーリナヤ　ポーマシ



写真提供（柴田啓貴氏）

操船で使用されるロシア語会話

北極海航路での操船に際し、使われる可能性のある代表的なロシア語会話を紹介します。それぞれ英語、日本語、ロシア語、カタカナ表記によるロシア語会話の発音の順番で構成されています。安全航行の参考として下さい。

【操舵号令】

“Port 5.”“Port 10.”“Port 15.”“Port 20.”“Hard a port.”“Midships.”

「左舵 5 度。」「左舷 10 度。」「左舷 15 度」「左舷 20 度」「左舷一杯。」「舵中央。」

“Руль ле́во пять.” “Руль ле́во де́сять.” “Руль ле́во пятна́дцать.”

“Руль ле́во два́дцать.” “Руль ле́во на борт.” “Пря́мо руль.”

ルーリ　リェーヴァ　ピャーチ。　ルーリ　リェーヴァ　ジェーシャチ。

ルーリ　リェーヴァ　ピトナッツァチ。 ルーリ　リェーヴァ　ドヴァッツァチ。

ルーリ　リェーヴァ　ナ　ボールト。　プリャーマ　ルーリ

“Starboard 5.”“Starboard 10.”“Starboard 15.”“Starboard 20.”“Hard a starboard.”

「右舵 5 度。」「右舷 10 度。」「右舷 15 度」「右舷 20 度」「右舷一杯。」

“Руль пра́во пять.” “Руль пра́во де́сять.” “Руль пра́во пятна́дцать.”

“Руль пра́во два́дцать.” “Руль пра́во на борт.”

ルーリ　プラーヴァ　ピャーチ。　ルーリ　プラーヴァ　ジェーシャチ。

ルーリ　プラーヴァ　ピトナッツァチ。 ルーリ　プラーヴァ　ドヴァッツァチ。

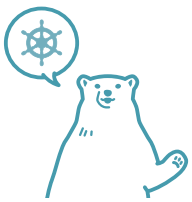
ルーリ　プラーヴァ　ナ　ボールト

操船で使用されるロシア語会話

“Steady as she goes.” “Steady on 112, Sir.”
「保針せよ。」「112 度に保針します。」
“Так держа́ть.” “Курс 112.”
　タークᅠジェルジャーチ。ᅠクールスᅠストーᅠドヴェナッツァチ

【機関号令】
“Full ahead.” “Half ahead.” “Slow ahead.” “Dead slow ahead” “Stop engine.”
「全速前進。」「半速前進。」「微速前進。」「最微速前進。」「機関停止。」
“По́лный вперёд.” “Сре́дний вперёд.” “Ма́лый вперёд.” “Са́мый ма́лый вперёд.” “Стоп маши́на.”
　ポールヌイᅠフピェリョート。ᅠスレードニイᅠフピェリョート。ᅠマールイᅠフピェリョート。ᅠサームイᅠマールイᅠフピェリョート。ᅠストープᅠマシーナ

“Full astern.” “Half astern.” “Slow astern.” “Dead slow astern”
「全速後進。」「半速後進。」「微速後進。」「最微速後進。」
“По́лный наза́д.” “Сре́дний наза́д.” “Ма́лый наза́д.” “Са́мый ма́лый наза́д.”
　ポールヌイᅠナザート。ᅠスレードニイᅠナザート。ᅠマールイᅠナザート。ᅠサームイᅠマールイᅠナザート



操船で使用されるロシア語会話

【投錨】

“We are going to anchorage.” “Stand by port/starboard anchor.” “Walk back port/starboard anchor one shackle.”

「本船は錨地に向かっている。」「左舷 / 右舷錨を準備せよ。」「左舷 / 右舷錨を１節巻き出せ。」

“Мы сле́дуем на я́корную стоя́нку.” “Находи́тесь в гото́вности для отда́чи ле́вого/пра́вого я́коря.” “Подобра́ть ле́вый/пра́вый на одну́ смы́чку.”

ムィ　スリェードゥエム　ナ　ヤーカルヌゥユ　スタヤンク。　ナハジーチェシヴ　ガトーヴノスチ　ドリャ　アトダーチ　リェーヴァヴァ / プラーヴァヴァヤーカリャ。　パダブラーチ　リェーヴィ / プラーヴィ　ナ　アドヌー　スムィチク

“Let go port/starboard anchor. “Let go port/starboard anchor, Sir.”

「左舷 / 右舷錨を投下せよ。」「左舷 / 右舷錨を投下します。」

“Отда́ть ле́вый/ пра́вый я́корь. “Мы бу́дем отдава́ть ле́вый/пра́вый я́корь.”

アトダーチ　リェーヴィ / プラーヴィ　ヤーカリ。　ムィ　ブージェムアトダヴァーチ　リェーヴィ / プラーヴィ　ヤーカリ

“How is the cable leading?” “The Cable is leading ahead/astern/to port/to starboard.”

「錨鎖はどちらの方向に伸びているか？」「錨鎖は船首 / 船尾 / 左舷 / 右舷に伸びています。」

“Куда́ смо́трит я́корная цепь?” “Я́корная цепь смо́трит в нос/в корму́/вле́во/впра́во.”

クダー　スモートリト　ヤーコルナヤ　ツェーピ？　ヤーコルナヤ　ツェーピスモートリト　フ　ノース / フ　カルムー / ヴリェーヴァ / フプラーヴァ

【資料1】

執筆・編集協力等一覧

「北極海航路ハンドブック検討委員会」

（順不同・敬称略）

委　員　長

山口　一	東京大学大学院　新領域創成科学研究科　教授

委　　員

庄司　るり	東京海洋大学大学院　海洋科学技術研究科　海洋工学系　教授
島田　浩二	東京海洋大学大学院　海洋科学技術研究科　海洋科学系　准教授
遠藤　小百合	独立行政法人　海技教育機構　海技大学校　航海科　准教授
小山　仁明	一般社団法人　日本船主協会　海務部副部長
北里　英昭	一般社団法人　日本船長協会　常務理事
森山　和基	一般社団法人　日本船長協会　常務理事
西城　仁	小川総合法律事務所　海事補佐人
木本　弘之	一般財団法人　海上災害防止センター　調査研究室長

関係官庁

志水　康祐	国土交通省　総合政策局　海洋政策課　主査
伊崎　朋康	国土交通省　海事局　船員政策課　国際業務調整官
木村　栄雄	国土交通省　海事局　船員政策課　専門官
鵜山　久	国土交通省　海事局　海技課　課長補佐
中林　茂	海上保安庁　海洋情報部　技術・国際課　課長補佐
鈴木　英一	海上保安庁　海洋情報部　技術・国際課　主任技術・国際官

オブザーバー

酒井　英次	公益財団法人　笹川平和財団　海洋政策研究所　海洋研究調査部　海事チーム長
丹下　博也	海上保安庁　海洋情報部　航海情報課　水路通報室　水路通報官
巣籠　大司	独立行政法人　航海訓練所　教育部　企画研究課　国際業務担当

事　務　局

小川　泰治	公益社団法人　日本海難防止協会　常務理事
大貫　伸	公益社団法人　日本海難防止協会　研究統括本部部長
水成　剛	公益社団法人　日本海難防止協会　主任研究員

ご協力頂いた皆様

（順不同・敬称略）

東京都

国立極地研究所　北極観測センター
国立極地研究所　北極観測センター長　榎本　浩之　教授
国立極地研究所　国際北極環境研究センター　猪上　淳　准教授
国立極地研究所　南極・北極科学館
国立極地研究所　情報図書室
東京海洋大学大学院　海洋科学技術研究科　海洋科学系
東京海洋大学海洋科学部　附属図書館（品川キャンパス）
東京海洋大学海洋科学部　海洋環境学科　学生有志の皆さん
東京海洋大学大学院　海洋科学技術研究科　海洋工学系
東京海洋大学大学院　海洋科学技術研究科　海洋工学系　櫃野　純　准教授
東京海洋大学海洋工学部　附属図書館（越中島キャンパス）
国土交通省総合政策局　海洋政策課
国土交通省海事局　船員政策課
国土交通省海事局　海技課
気象庁地球環境・海洋部　海洋気象課
海上保安庁警備救難部　管理課
海上保安庁海洋情報部　技術・国際課
海上保安庁海洋情報部　航海情報課
海上保安庁海洋情報部　海の相談室
独立行政法人 宇宙航空研究開発機構（JAXA）
独立行政法人　海上技術安全研究所
公益財団法人　笹川平和財団　海洋政策研究所
一般社団法人　全日本船舶職員協会
公益財団法人　日本海事センター　海事図書館
一般財団法人　日本海事協会
公益財団法人　日本極地研究振興会
一般社団法人　日本船主協会
一般社団法人　日本船長協会
公益社団法人　日本マリンエンジニアリング学会
北極海航路に係る官民連携協議会

株式会社　エァクレーレン
小川総合法律事務所
内外地図　株式会社
日本サルヴェージ　株式会社
読売新聞社

神奈川県

独立行政法人　海洋研究開発機構（JAMSTEC）
独立行政法人　航海訓練所
一般財団法人　海上災害防止センター
株式会社　グローバル・オーシャン・デベロップメント
八景島シーパラダイス／株式会社　横浜八景島（横浜市）
南極観測船「しらせ（初代）」元艦長　茂原　清二　氏

千葉県

東京大学大学院　新領域創成科学研究科

愛知県

愛知県立芸術大学大学院　美術研究科　白井　弓子　氏

三重県

ジャパン マリンユナイテッド株式会社　技術研究所　氷海研究グループ

大阪府

日本船舶海洋工学会　関西支部
日本船舶海洋工学会　関西船舶海洋流体力学研究会

兵庫県

海技大学校
神戸大学海事科学部　海事科学研究科　広野　康平　准教授
神戸地区 ILO 海上労働条約対応研究会（事務局：株式会社　東栄ジャパン）
古野電気　株式会社

広島県

海上保安大学校　海事工学講座　田中　隆博　教授

北海道

北見工業大学工学部　社会環境工学科　舘山　一孝　准教授
北海道大学　低温科学研究所
気象庁札幌管区気象台　気象防災部　地球環境・海洋課
気象庁稚内地方気象台
第一管区海上保安本部　総務部
第一管区海上保安本部　警備救難部
第一管区海上保安本部　海洋情報部
第一管区海上保安本部　釧路海上保安部
巡視船「そうや」 乗組員の皆さん
第一管区海上保安本部　稚内海上保安部
第一管区海上保安本部　紋別海上保安部
第一管区海上保安本部　羅臼海上保安署
巡視船「てしお」 乗組員の皆さん
紋別市
北海道漁業組合連合会　環境部
羅臼漁業協同組合
北方圏国際シンポジウム実行委員会（紋別市）
おたる水族館／株式会社　小樽水族館公社（小樽市）
オホーツクガリンコタワー　株式会社（紋別市）
北日本港湾コンサルタント　株式会社（札幌市）
道東観光開発　株式会社（網走市）
野村漁業　株式会社（紋別市）
ハートランドフェリー　株式会社　稚内支店（稚内市）
株式会社 北海民友新聞社（紋別市）
株式会社　丸正（紋別市）

【資料2】

参考文献等一覧

参考文献等一覧

参考文献等名	著者・編者・監修者等	発行所等	発行日
あ			
海からのサバイバル メッセージ	野間　寅美	(株)成山堂書店	2001年10月8日
海の安全管理学	井上　欣三	(株)成山堂書店	2008年10月8日
運航士のための航海計器	米澤　弓雄	(株)成山堂書店	1990年3月8日
英和対訳 国連海洋法条約［正訳］	外務省経済局 海洋課 監修	(株)成山堂書店	2004年3月28日
か			
海事一般がわかる本	山崎　祐介	(株)成山堂書店	2006年10月18日
海事基礎英語	高木 直之・内田 洋子・ 大津 皓平	海文堂出版(株)	2002年4月1日
海上のサバイバル技術	中村 祐三・桑野 浩	海文堂出版(株)	1984年8月25日
海洋観測指針	気象庁	−	1999年
第25回 海洋工学シンポジウム -めざせ!! 真の海洋技術立国- 講演論文集	日本船舶海洋工学会、 日本海洋工学会	−	2015年8月6日・7日
機関学概論（改訂版）	大島商船高専マリンエ ンジニア育成会 編	(株)成山堂書店	2014年4月10日
機関取扱タブー集【2訂版】	水沼　達夫	(株)成山堂書店	2006年3月28日
基礎航海計器（改訂版）	米澤　弓雄	(株)成山堂書店	1995年11月18日
キャプテンジローの北極海航路 乗船記	宮部　二郎	(株) ウェザー ニューズ	2013年2月1日
極地　第47巻、第50巻ほか	(公財)日本極地研究 振興会	−	−
極北の海と空　※少年による 極海旅行記（翻訳本）	加納　一郎	朋文堂	1943年5月1日
極北フラム号北極漂流記 （翻訳本）	フリッチョフ・ナンセン （加納 一郎　訳）	中央公論社	2002年3月25日
航海学概論（改訂版）	鳥羽商船高専ナビゲー ション技術研究会	(株)成山堂書店	2012年4月18日
航海訓練所シリーズ　三級航海 運用編	(独法) 航海訓練所	(株)成山堂書店	2013年9月28日
航海訓練所シリーズ　三級航海 航海編	(独法) 航海訓練所	(株)成山堂書店	2013年3月28日
航海訓練所シリーズ 読んでわかる機関基礎	(独法) 航海訓練所	(株)成山堂書店	2013年3月18日
航海便覧	航海便覧編集委員会	海文堂出版(株)	1991年10月16日
鋼船規則／鋼船規則検査要領 I編　極地氷海船等	(一財)日本海事協会	(一財) 日本 海事協会	2014年4月1日
(和英対訳) 国際信号書	海上保安庁監修	(一社) 日本 海委員掖済会	1981年4月1日
さ			
実践航海術	関根　博　監修・ 日本海洋科学著	(株)成山堂書店	2015年9月28日

参考文献等名	著者・編者・監修者等	発行所等	発行日
ジャイロコンパスとオートパイロット【新訂増補】	前畑　幸弥	(株)成山堂書店	2008年12月18日
白い海、凍る海　オホーツク海の不思議	青田　昌秋	東海大学出版会	1993年5月25日
新訂操船論	岩井　聡	海文堂出版(株)	1977年5月10日
世界の砕氷船	赤井　謙一	(株)成山堂書店	2010年6月18日
船長が見た北極（日本船長協会月報Captain　第398号特別記事）	赤嶺　正治	（一社）日本船長協会	2010年8/9月号
船舶安全学概論	船舶安全学概論研究会	(株)成山堂書店	2006年6月28日
船舶通信の基礎知識（改訂版）	鈴木　治	(株)成山堂書店	2013年7月16日
船舶用語辞典	東京商船大学船舶用語辞典編集委員会	(株)成山堂書店	1981年7月5日
操船通論	本田　啓之輔	(株)成山堂書店	1986年5月15日
操船の理論と実際	井上　欣三	(株)成山堂書店	2011年2月22日
た			
電波計器	西谷　芳雄	(株)成山堂書店	2002年3月15日
な			
南極観測船艤装員講話資料「南極の海」	茂原　清二	－	2015年8月1日
南極航海	ドピニオン氏(旧ソ連邦オビ号船長)	防衛庁南極観測支援室編	1967年10月1日
南極・北極の気象と気候（気象ブックス027）	山内　恭	(株)成山堂書店	2009年2月28日
日本北極海会議報告書	海洋政策研究財団	－	2012年3月1日
は			
氷海航海の実際	茂原　清二	－	2015年8月1日
氷海航海の経験	M.B.Gotsky	防衛庁南極観測支援室編	1961年
氷海工学	野澤　和男	(株)成山堂書店	2006年3月28日
氷海分野における技術動向と展望　－北極域の開発に向けて－／講演集	日本船舶海洋工学会関西船舶海洋流体力学研究会　日本船舶海洋工学会　関西支部	－	2014年12月1日
ブリッジ・リソース・マネジメント	廣澤　明　訳	(株)成山堂書店	2011年3月8日
北極域の環境と北極海航路への期待と課題／講演予稿集	（公社）日本マリンエンジニアリング学会	－	2014年5月23日
北極海（地図）	（財）日本極地研究振興会	（公財)日本極地研究振興会	2007年3月1日
北極海季報　第15号、第16号ほか	海洋政策研究財団	－	－
北極海航路　－東アジアとヨーロッパを結ぶ最短の海の道－	海洋政策研究財団	扇興社	2000年3月1日
北極海航路可能性調査事業委託業務報告書	北海道建設部空港港湾局物流港湾課	－	2014年3月15日
北極海航路就航SANKO ODYSSEY（日本船長協会月報Captain　第407号）	西城　仁	（一社）日本船長協会	2012年2/3月号

参考文献等名	著者・編者・監修者等	発行所等	発行日
北極海航路水域航行諸規則[仮訳]	丹下　博也	－	2013年1月17日
北極海航路の持続的利用に向けた国際セミナー in 東京 2013年　講演資料	海洋政策研究財団	－	2013年9月3日
北極海航路の利活用に向けた国際セミナー in 東京　2014年講演資料	海洋政策研究財団	－	2014年11月7日
北極海航路の初航海（JSE 日本海運集会所交流会講演録）	西城　仁	－	2012年2月16日
北極海航路の利活用に関する調査検討業務報告書	国土交通省　総合政策局　海洋政策課	－	2014年3月1日
北極海航路ハンドブック	北極海航路ハンドブック検討委員会	（公）日本海難防止協会	2015年3月1日
北極大変動　ＮＨＫスペシャル 加速する氷解／資源ビジネスの野望	NHK北極大変動取材班	日本放送出版協会（ＮＨＫ出版）	2008年11月25日
北極探検と開発の歴史	クライブ・ホランド（太田　昌秀　訳）	(株)同時代社	2013年3月1日
北極と南極の100不思議	神沼　克伊　監修	東京書籍（株）	2003年11月19日
ら			
流氷の世界（気象ブックス038）	青田　昌秋	(株)成山堂書店	2013年11月18日
リュツォ・ホルム湾氷海の脅威 南極OB会講演集	茂原　清二	－	2014年3月29日
ロシアの北極海航路水域航行諸規則について	丹下　博也	－	2013年
アルファベット			
Admiralty Sailing Directions（英国版水路誌NP10/北極海）	英国 Hydrographic Office	英国 Hydrographic Office	2013年
Admiralty Sailing Directions（英国版水路誌NP23/ベーリング海等）	英国 Hydrographic Office	英国 Hydrographic Office	2010年
Admiralty Sailing Directions（英国版水路誌NP72/南バレンツ海等）	英国 Hydrographic Office	英国 Hydrographic Office	2010年
Guide to port entry	Shipping guides LTD	Ｓｈｉｐｐｉｎｇ guides LTD	2011・2012 Edition
Ice Navigation in Canadian Waters	Ｃａｎａｄｉａｎ Ｃｏａｓｔ Guard	ｈｔｔｐ://ｗｗｗ.ccg-gcc.gc.ca/Ｉｃｅｂｒｅａｋｉｎｇ/Ice-Navigation-Canadian-Waters	2015年11月1日現在
ＩＭＯ Ｓｔａｎｄａｒｄ Ｍａｒｉｎｅ Ｃｏｍｍｕｎｉｃａｔｉｏｎ Ｐｈｒａｓｅｓ/ＳＭＣＰ	国際海事機関（IMO）	－	2004年
Islands of the Arctic	Julian Dowdeswell ほか	英国ケンブリッジ大学	2002年
Polar Ship Operations	Captain Duke Snider FNI	the Nautical Institute	2012年
Shipping in Arctic Waters	Willy Østreng ほか	Springer Berlin Heidelberg	2013年

【索引】

索　引

	用　語	掲載頁
あ	アークティックヘイズ	26
	IMO（International Maritime Organization）	11
	アイス・ジャム（Ice jam）	57
	アイスクラス	71, 73
	アイスチャート	134
	アイスパイロット	151, 167
	アイスベルト（Ice belt）	82, 83
	圧迫氷（Ice under pressure）	60
	アムデルマ港（Amderma）	15, 16
	アルハンゲルスク港（Arkhangelsk）	14, 16
い	いかだ氷（Rafted ice）	40, 41, 44, 49
	いかり氷（Anchor ice）	45
	一年氷（First-year ice）	42, 44, 103, 171
う	ウインチ	87, 162
	ウインドラス	162
	ウォータージェット（Water jet）装置	88
	雨雪反射抑制（FTC）	109
	運航管制所	11, 133
え	エアバブリング装置（Air bubbling system）	87
	曳航	86, 87, 223, 224, 230, 231
	エッグコード	134, 135, 136, 137
	煙霧	26
か	外航商船	12, 13
	海図	140, 141, 142, 143, 144, 145
	海水吸入口（シーチェスト：Sea chest）	72, 154, 156
	回頭	182, 221, 234
	海氷（Sea ice）	35, 39
	開放水面（Open water）	54, 55, 102, 105, 107
	海面反射抑制（STC）	109
	外力	49, 149, 180
	カラ海（Kara Sea）	7, 8
	カラゲイト海峡（Proliv Karskiye Vorota）	10, 11, 145
	乾き氷（Dried ice）	52
	間隔曳航	224
	眼高	95, 103, 122
	冠雪氷（Snow-covered ice）	49, 50
き	北航路	17, 18, 138
	極海コード（Polar Code）	117
	極地氷海船階級（Polar Class）	73, 75
	極昼	21
	極夜	21
	キルケネス港（Kirkenes）	14, 16

	用　語	掲載頁
く	砕け氷	48
	クラック（Crack）	58
け	幻氷（Mirage of ice）	60, 101, 102
こ	氷荷重	72, 88, 91
	国際海事機関（IMO）	11
	混合ルート	17, 138
	コンボイ（Convoy）	132, 204, 206
さ	最大砕氷能力	194
	砕氷性能	71, 74, 81
	砕氷船（Icebreaker）	71, 76, 77, 82, 199, 219
	座礁氷（Grounded ice）	45
	座礁氷丘（Grounded hummock）	45
	サニコフ海峡（Proliv Sannikova）	10, 13
	座氷（Stranded ice）	45
	サブ・リフラクション（Sub-refraction）	116, 117
し	シーベイ（Sea bay）	86, 156
	小氷帯（Strip）	56
	初期沿岸氷（Young coastal ice）	45
	除氷装置（De-icing system）	86
	浸水氷（Flooded ice）	52
	新成氷	39
す	水空（Water sky）	59, 101
	水路（Lead）	59, 145, 170, 177, 211
せ	世界気象機関（WMO）	20
	船体着氷	72, 159, 160, 161
	全密接氷域（Compact ice）	54, 55, 106, 107, 108
そ	底なしパドル（Thaw holes）	52
た	タイド・クラック（Tide crack）	58
	耐氷性能	71, 74
	耐氷船（Ice-strengthened ship/Ice-worthy ship）	71, 77, 167
	耐氷船階級	73, 74, 75
	卓状氷山（Tabular berg）	63
	ダクテッド・プロペラ（Ducted propeller）	85
	棚氷（Ice shelf）	61
	多年氷（Multi-year ice）	44, 121, 171
	ダブル・アクティング船（Double acting ship：DAS）	84
ち	蹴躊	173, 200
	チャクチ海（Chukchi Sea）	7, 9
	直立氷盤（Standing floe）	49, 50
て	ティクシ港（Tiksi）	16
	ディクソン港（Dikson）	15, 16
	定着氷（Fast ice）	38, 39, 44, 123
	デッドマン	235, 236
と	凍結密氷域（Consolidated ice）	54, 55, 106, 107
	ドゥディンカ港（Dudinka）	15, 16
	ドミトリー・ラプテフ海峡（Proliv Dimitrya Lapteva）	10, 13

	用　語	掲載頁
と	トランスポーラー・ドリフト（Transpolar Drift）	29
な	難航氷域（Difficult area）	60
に	ニップ（Nip）	60
	二年氷（Second-year ice）	43, 44, 121, 123, 171
	ニューアイス（New ice）	39, 44
	ニラス（Nilas）	40, 44
は	ハス葉氷	41, 42, 44, 45
	はだか氷（Bare ice）	49, 50
	はちの巣氷（Rotten ice）	52
	パドル（Puddle）	51, 52, 53, 122, 123
	バレンツ海（Barents Sea）	7
	パンケーキアイス（Pancake ice）	41, 42, 44, 45
	板状軟氷	41, 44
	板氷（Ice cake）	47, 48
	ハンモック（Hummock）	49, 50
ひ	ヒーブ・トゥー（Heave to）	173, 200
	東シベリア海（East Siberian Sea）	7, 9
	ビセット（Beset）	60, 174, 189
	ビューフォート風力階級	160
	氷域境界（Ice boundary）	57
	氷映（Ice blink）	59, 97
	氷縁（Ice edge）	57, 102
	氷煙（Frost smoke）	59
	氷海船舶（Ice class ship）	71
	氷殻（Ice rind）	40, 44
	氷河氷（Glacier ice）	61
	氷河氷山（Glacier berg）	63
	氷脚（Ice foot）	45
	氷丘	49, 50, 51, 116
	氷丘脈	49, 50, 51, 104, 115, 116, 195
	氷湖	59
	氷光	97
	氷塞（Ice bound）	60
	氷山（Iceberg）	61, 62, 119, 121, 171
	氷山舌（Iceberg tongue）	64
	氷床（Ice sheet）	61
	氷衝角（Ram）	49, 50
	氷舌（Tongue）	56
	氷島（Ice island）	63
	氷盤（Floe）	46, 47, 48, 130, 179, 183, 184
	氷盤岩（Floeberg）	48
	氷片	48, 99, 124, 125, 184
	氷量（Ice cover）	53
	ビルキツキー海峡（Proliv Vil'kitskogo）	10, 12
ふ	浮氷（Floating ice）	38, 39
	ブライン（Brine）	65

	用　語	掲載頁
ふ	ブラッシュアイス（Brash ice）	48, 104, 171
	ブリッジチーム（船橋当直体制）	146
	古い氷（Old ice）	43, 44
	分離帯（Flaw）	59
へ	ベアワッチャー（Bearwatcher）	237, 238
	平坦氷（Level ice）	49
	ペベク港（Pevek）	16
	変形氷（Deformed ice）	49
ほ	縫航	171, 182
	ボーフォート・ジャイア（Beaufort Gyre）	29
	ポーラーロー（Polar low）	28
	北西航路	1, 2
	北東航路	1, 2
	北極海航路	1, 2
	北極海航路局（NSRA）	1, 133
	北極層雲	24
	北極低気圧	26, 27, 28
	ポッド推進器（POD propeller）	83, 84
	ポリニヤ（Polynya）	59
ま	曲げ破壊	88, 89
み	密接度（Concentration）	53, 55, 104, 107, 114, 179
	密着曳航	224, 225
	密氷域（Close ice）	54, 55, 105, 107
	南航路	17, 18, 138
む	ムルマンスク港（Murmansk）	14, 16
め	メルトポンド（Melt pond）	51, 52, 53
も	モザイク氷（Ice breccia）	48
や	ヤングアイス（Young ice）	41, 44
ゆ	ユーゴルスキー・シャール海峡（Proliv Yugorskiy Shar）	10, 12
ら	ラプテフ海（Laptev Sea）	7, 8
	ラミング（Ramming）	90, 192, 193, 196, 197, 198
	ランデブー	199, 200
り	陸氷（Ice of land origin）	38, 39, 61
	流氷（Drift ice 又は Pack ice）	38, 39, 45
	流氷域	55
	流氷原（Ice patch）	55, 56
	流氷帯（Belt）	56
	流氷野（Ice field）	55, 56
れ	レーダー	109, 110, 117, 118
	連続砕氷	88, 89, 178, 180, 184
	連続砕氷能力	194
ろ	ロシア船級協会	73, 74
	ロング海峡（Proliv Longa）	10, 13
わ	割れ目（Fracture）	58
	割れ目域（Fracture zone）	59

あ と が き

北極の温暖化増幅と海氷減少は大きな環境問題の一つであり、その原因と将来予測に関する研究が盛んに行なわれている。一方で、海氷の無くなった海の安全、かつ、効果的な利用についても検討を進めなければならない。その一つとして、北極海航路の活用が挙げられる。

我が国は北極海に最も近いアジアの国であり、貨物輸送のハブ港としての役割も担えることが期待される。北極海航路実現のための研究で一部なりとも世界の先頭に立つことは、その開発と利用に際して我が国が主導権を握るための大きなチャンスであり、果たさなくてはならない責任である。

一方で東日本大震災以降、我が国の電力供給事情は激変し、エネルギー確保が急務な課題となった。長期的には原子力発電依存から脱却し自然エネルギー利用への移行が求められており、短期的には天然ガスの輸入量を確保し、火力発電による電力供給の継続が現実的な対応策と考えられる。ノルウェーやロシアの領海で開発されている天然ガス資源の確保と北極海航路を利用した輸送は、我が国が直面するエネルギー問題克服の有力な手段と考えられる。

ところで、我が国商船隊を支える船員のほとんどは北極海航路の航行経験がなく、海氷に関する基本知識も十分とは言えない。また、それらを学ぶための適当な教材も見当たらない。知識不足はヒューマンエラーの誘起要因の一つであり、一歩間違えれば北極海の汚染等を伴う海難事故にもつながりかねない。我が国商船隊に対し、北極海航路の安全航行に必要な基本知識を普及させることは喫緊課題の一つと考えられる。

こうした状況の中、日本海難防止協会が北極海航路プロジェクトを立ち上げ、我が国海事関係者及び北極海研究者らによる専門委員会を組織した。本プロジェクトは、北極海航路の安全航行のために必要な知識等をわかりやすく解説した、我が国初となる北極海航路運航実務書を3ヵ年計画で完成させる事業である。

昨年度（2014年度）は水産高校生をはじめ、一般市民も気軽に読める入門書「北極海航路ハンドブック」を編集した。同書は全国の

海事教育機関、海運会社、図書館等の関係先に約 1,600 冊が配付されたほか、日本海難防止協会のウェブサイトでも公開されている。

本年度（2015 年度）は主に船員及び海事関係大学の学生の皆さんを対象に、さらに詳しい内容の「北極海航路ハンドブック　実務編（上巻）」を編集した。本書では北極海航路における航海実務、操船実務、海氷及び氷海船舶等を取り上げ、安全航行及び環境保全に必要な技能や専門知識をわかりやすく解説している。

また、3 ヵ年計画の最後、来年度（2016 年度）は、北極海航路における船体整備実務、機関運転実務、通信実務、労働安全衛生、日常生活等を取り上げた「北極海航路ハンドブック　実務編（下巻）」を編集する予定である。

最後に「北極海航路ハンドブック検討委員会」の参加者の皆様をはじめ、本書の執筆・編集にご協力頂いた多くの皆様、資金面でご支援頂いている公益財団法人日本財団殿及び公益財団法人日本海事センター殿に対し、紙面をお借りして深甚の謝意を表したい。

2016 年 3 月　北極海航路ハンドブック検討委員会委員長
東京大学大学院　新領域創成科学研究科　教授
山口　一

北極海航路ハンドブック　実務編（上巻）　【非売品】
2016年3月発行

編　集：北極海航路ハンドブック検討委員会
発　行：公益社団法人　日本海難防止協会
東京都港区虎ノ門一丁目1番3号
〒105-0001　磯村ビル6階
TEL 03(3502)2231　FAX 03(3581)6136

印刷・製本：内外地図株式会社



北極海航路ハンドブック 実務編（上巻）

公益社団法人 日本海難防止協会