

《招待論文》

北極海航路の運航実務と技術的課題

－氷を知り氷に挑む－

大 貫 伸

((公社)日本海難防止協会)

目 次

1. はじめに
2. 調査検討方法
3. 調査検討結果の一例「北極海航路の特徴的な自然現象」
4. 調査検討結果の一例「北極海航路の航海」
5. 調査検討結果の一例「北極海航路の操船」
6. 調査検討結果の一例「北極海航路の労働安全」
7. 技術的課題
8. 謝辞

1. はじめに

近年、夏の北極海の氷の減少に伴い、北極海を商業利用する船舶が増加している¹。現在のところ、北極海航路²は夏でも氷が存在する、又は存在する可能性があるため、通航船の船員の多くは、北極海沿岸国の出身者又は冬期バルト海等において氷海経験を積んできた者（以下、氷海船員と言う）が占めている³。こうした中、ロシア運輸省は北極海航路の年間貨物輸送量について、2015年の460万トンから2030年には8,300万トンに達するとの試算結果を発表した⁴。その場合、北極海の今後の商業利用に際しては、現状の氷海船員だけでは足りなくなり、新たな需要への対応が求められることとなろう。しかしながら、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、これまで氷海航行の経験がないため、船員需要に的確に 대응していくには、当該経験を補うに等しい知識や技術の普及が

¹ Hajime YAMAGUCHI : Research on navigation support system for the Arctic sea routes, 第31回北方圏国際シンポジウム「オホーツク海と流水」講演要旨集, pp.45-48, 2016.2.

² 本稿ではいわゆる北東航路、すなわちロシア沿岸のユーラシア大陸沿いに北極海を通航する航路のことを北極海航路と言う。なお、北極海航路にはカナダ沿岸の北米大陸沿いに北極海を通航する北西航路もある。しかし、北西航路は大小約37,000に及ぶ島々からなる北極諸島内を通航する“海の難所”であり、又、氷況も北東航路に比べかなり厳しいこと等の理由から利用する商船は稀である。

³ 大貫伸・山口一：北極海航路の安全航行のための運航実務書の作成, 第25回海洋工学シンポジウム（日本船舶海洋工学会/日本海洋工学会主催）論文集, pp.115-118, 2015.8.

⁴ Hiroyuki GODA : Outlook for the Arctic Shipping from the ship owner's perspective, 第31回北方圏国際シンポジウム「オホーツク海と流水」講演要旨集, pp.143-146, 2016.2.

喫緊の課題となっている⁵。

全日本海員組合が行った調査によれば、2013年現在、我が国商船隊の外航船員の総数は58,636人であった。図1に示したとおり、うち、日本人船員は全体の3.86%（約2,000人）に過ぎず、残り96.14%（約56,000人）は外国人船員であった。うち、もっとも多いのがフィリピン人船員で全体の73.77%を占めており、次いでインド人船員の6.12%、ミャンマー人船員3.98%と続く。

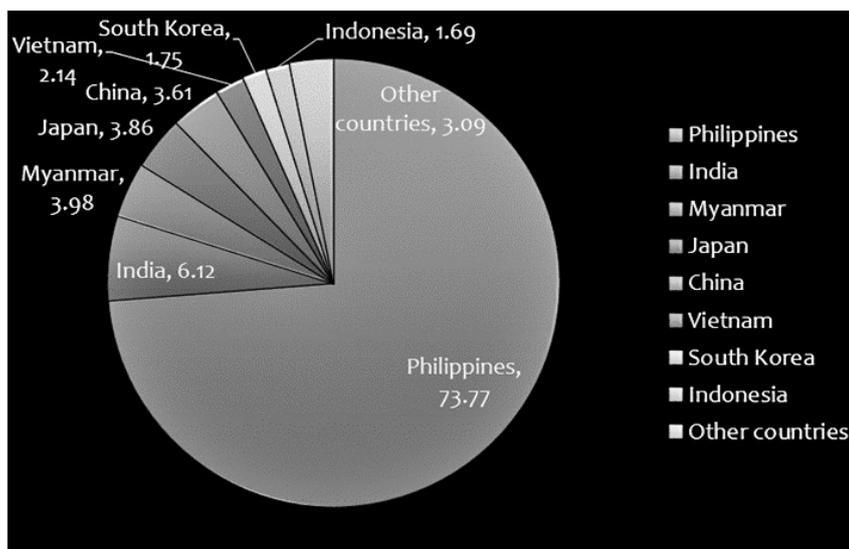


図1 我が国商船隊における国籍別船員比率（2013年）

出典：全日本海員組合の行った調査結果を基に筆者が作成

2. 調査検討方法

2.1 文献・資料調査

氷海又は極海における操船、航海、運用、法令、機関、通信、労働安全、緊急時対応等について取り上げた国内外の文献・資料を収集・調査した。文献・資料の一例を本稿末尾に「参考文献」として掲載した。

2.2 映像調査

南極海、北極海、冬期オホーツク海等の氷海における航海や操船等の状況を撮影した国内外の映像約12時間分を収集・調査した⁶。

2.3 ヒヤリング調査

北極海航路における安全航行のための運航実務について検討する上での参考とするため、北極海、南極海又は冬期オホーツク海等の氷海の航行経験を有する船長・研究者・自

⁵ 北極海航路ハンドブック検討委員会：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，2016.3.

⁶ 海上自衛隊・南極観測船「ふじ」及び「しらせ（初代）」の南極海通航、海上保安庁砕氷巡視船「そうや」のオホーツク海通航、道東観光(株)・砕氷観光船「おーら」のオホーツク海通航、カナダ沿岸警備隊・砕氷巡視船「ルイサンローラン（Louis S. St-Laurent）」の北極海通航、アメリカ国立科学財団・砕氷観測船「ナサニエル・B・パーマー（Nathaniel B. Palmer）」の南極海通航ほか。

衛官・海上保安官等を対象としたヒヤリング調査を行った⁷。

2. 4 専門委員会の開催等

以上の調査結果を基に、氷海又は極海における操船、航海、運用、法令、機関、通信、労働安全、緊急時対応等に必要な知識、注意事項又はテクニック等を整理し、我が国の海事関係者、北極海研究者らによって構成される専門委員会にて検討し、「北極海航路ハンドブック」の原案としてとりまとめた。

2. 5 乗船調査

氷海（冬期オホーツク海及び冬期バルト海）を航行する船舶に乗船し⁸、安全運行実務に関する実態調査を行い、「北極海航路ハンドブック」に反映させた。

3. 調査検討結果の一例「北極海航路の特徴的な自然現象」

3. 1 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。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⁹と氷海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¹⁰。

3. 2 アークティックヘイズ

春先、北極海航路周辺では、アークティックヘイズ（Arctic haze）と呼ばれるスモッグ（煙霧）がたびたび発生している。スモッグが発生すると視程は数マイル程度まで低下する。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、インド等の新興国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として問題視された。なお、北極海のスモッグの発生原因は、北半球で排出された排気ガス及び煤煙等であ

⁷ 三光汽船(株)・耐氷撒積貨物船「Sanko Odyssey」の元船長、海上自衛隊・南極観測船「ふじ」及び「しらせ(初代)」の元艦長2名、カナダ沿岸警備隊・砕氷巡視船「ルイサンローラン」乗船経験を有する研究者3名、韓国極地研究所・砕氷観測船「アラオン(Araon)」の乗船経験を有する研究者2名、海上保安庁・砕氷巡視船「そうや」及び「てしお」の船長・機関長・乗組員及び元船長、道東観光(株)・砕氷観光船「おーろら」の船長・機関長・乗組員、オホーツクガリンコタワー(株)「ガリンコⅡ」の船長・機関長ほか。

⁸ 冬期オホーツク海における海上保安庁・砕氷巡視船「そうや」での乗船調査、冬期オホーツク海における砕氷観光船「おーろら」及び「ガリンコⅡ」での乗船調査、冬期バルト海における耐氷客船「ギャラクシイ(Galaxy)」・耐氷フェリー「ワサ・エクスプレス(Wasa Express)」・砕氷観光船「サンポ(Sampo)」での乗船調査。

⁹ 氷の密接度（ある海域において海面に占める氷の割合を表したもの）が1/10(0.1)未満しかなく、船が自由に航行できる広い状態の海域のこと。

¹⁰ 前掲注5：北極海航路ハンドブック実務編（上巻），p.24。

ると言われている^{11, 12}。

3. 3 極低気圧

北極地方の極前線帯（氷海域の先端付近）等、気温が非常に低い寒気団の中で発生した低気圧のことを極低気圧又はポーラーロウ（Polar low）と言う。一般に、極低気圧は冬から春にかけて発生し、温帯低気圧等の他の低気圧に比べると規模はかなり小さい。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的であったが、近年、氷の減少に伴い発生する対流性の雲が鉛直方向に発達し、極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極低気圧の活動は活発となる。極低気圧は直径400～600キロメートル未満と比較的小型であること、暖気を持たず寒気だけ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。気象観測網が十分整備されていない北極海では、極低気圧の発生や進路予測が非常に困難であることから、通航船舶は極低気圧に伴う暴風雨雪に十分な注意が必要である¹³。

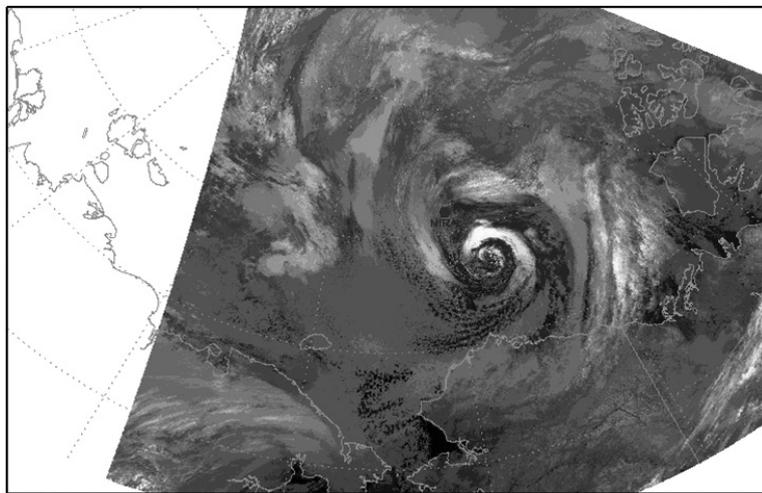


図2 海洋地球研究船「みらい」で取得された極低気圧の衛星写真/2010年9月25日)

提供：国立極地研究所 猪上淳（北極海航路ハンドブック実務編/上巻,p.28)

3. 4 極渦

晩秋から春にかけて、極域上空の成層圏で発生する強い西風（極夜ジェット）に囲まれた巨大な低気圧性の渦のことを極渦又はポーラーサイクロン（Polar cyclone）と言う。極渦は極低気圧より規模が大きく、直径1,000キロメートルを超え、時に風速毎秒30メートル以上の台風並みの暴風雨雪を地上にもたらすことがある¹⁴。また、極低気圧とは異なり、すぐに消滅せず、長期間にわたり極域内を迷走し、過去には北極海内に1ヶ月も留まった記録もある¹⁵。船舶は十分な警戒が必要である。なお、極渦はオゾン層を破壊する一因と

¹¹ 前掲注5：北極海航路ハンドブック実務編（上巻），p.26.

¹² 財団法人シップ・アンド・オーシャン財団：北極海航路－東アジアとヨーロッパを結ぶ最短の海の道－，p.25, 2000.3.

¹³ 前掲注5：北極海航路ハンドブック実務編（上巻），pp.26-28.

¹⁴ 大貫伸：極海を航行する船舶の基本訓練テキスト「第2章 極海での船舶の安全運航 2. 極域航路の基礎知識」，独立行政法人 海技教育機構 海技大学校，2017.4.

¹⁵ 田中博：北極低気圧（新用語解説），日本気象学会機関誌「天気」（TENKI）/60(1), pp.43-45, 2013-01

も指摘されている¹⁶。

3. 5 オーロラ

オーロラ（Aurora）は極光や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。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、電磁氣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おそれがあるので注意が必要である^{17, 18}。

4. 調査検討結果の一例「北極海航路の航海」

4. 1 氷海域特有の危険

氷海域を航行する船舶が遭遇する可能性がある運航上の主な危険として、以下の6点が考えられる¹⁹。

1) 氷荷重

氷との衝突又は接触による氷荷重は、船体抵抗を増加させ、旋回性能・針路保持性能・針路変更性能等を低下させるおそれがあるほか、船体・プロペラ・舵等を損傷するおそれがある。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、主機関の回転数の低下を招き、最悪の場合は停止させてしまうおそれがある。さらに、船体周囲が氷で閉塞され動けなくなる状態（ビセット：beset）に陥ると、最悪の場合は氷荷重によって船体を押し潰されるおそれがある。なお、氷と船体との間の摩擦抵抗は、船舶の砕氷能力を低下させる要因ともなる。特に氷盤上に積雪があると、摩擦抵抗が著しく増加し砕氷が困難となり、最悪の場合は航行不能に陥ることさえある。

2) 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。大型船であっても、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。

3) 脆性（Brittleness）破壊

低温下、一部の金属材料の靱性（Toughness）が低下することがある。そのため、甲板

¹⁶ 中根英昭：オゾン層の現状とオゾン層研究，科学技術・学術政策研究所機関誌「科学技術動向」（Science & Technology Trends）No.43, pp.23-24, 2004.10.

¹⁷ 前掲注5：北極海航路ハンドブック実務編（上巻），pp.33-34.

¹⁸ 北極海航路ハンドブック検討委員会：北極海航路ハンドブック実務編（下巻），公益社団法人日本海難防止協会，p.102, 2017.3.

¹⁹ 前掲14：極海を航行する船舶の基本訓練テキスト「第4章 海水に関わる航海実務」.

機器等に使用されている鋼材等が弾性（Elasticity）を失い、脆性破壊を起こすおそれがある。

4) 甲板凍結

低温下、甲板上の水たまり等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。

5) タンク・配管・バルブ損傷

低温下、清水や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増加により、タンク・配管・バルブ等が閉塞又は破損するおそれがある。

6) 冷却海水閉塞

氷海では、主機関等の二次冷却用の海水吸入口（シーチェスト：Sea chest）に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。それらが清水冷却器に到達すると内部閉塞を誘発し、十分な冷却効果が得られず、主機関等がオーバーヒートを起こすおそれがある。



図3 氷荷重によって船首を損傷した船舶

出典：Canadian Coast Guardウェブサイト<http://www.ccg-gcc.gc.ca/Icebreaking/Ice-Navigation-Canadian-Waters/Navigation-in-ice-covered-waters#4>(2017年6月26日閲覧)

4. 2 氷海域航海の基本原則

氷海域を航行中の船舶が漂流中の多年氷²⁰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がある。しかしながら、氷海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。氷海域における航海の基本原則として、以下の3点が考えられる²¹。

1) 氷回避の原則

氷海域では、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

²⁰ 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メートル以上にも達する。なお、一年氷（一冬より長い時間を経過していない氷）は厚さ30センチメートルから2メートル程度までである。

²¹ 前掲注5：北極海航路ハンドブック実務編（上巻），pp.93-96.

る。やむを得ず氷海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、できる限り早目に当該海域を迂回しなければならない。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、むやみに氷海域に進入すると、船体損傷等の事故に遭遇するおそれがある。

2) 安全速力の原則

適当な迂回ルートが見つからず、氷海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ことが基本である。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。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。

3) 高所見張りの原則

氷海域では、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。

4. 3 氷海域における見張り

1) 氷映の発見

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。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。積雪がなく氷だけの場合、雲は弱い黄白色に見える。氷映が視認されたならば、かなり高い確度で、自船が氷海域の近辺を航行していることを示す証となる。氷海域での見張りは氷映の発見に努めることが重要である²²。

2) 水空の発見

氷映とは対照的に、氷が存在しない開放水面の上空に、水空（Water sky）と呼ばれる現象が見られることがある。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が水空である。水空は開放水面を発見する上で、かなり信頼できる兆候と言える²³。

3) 氷の色調等の判定

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、多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氷海域はほぼ純白で全体的に色調が均質に見え、密接度の小さな氷海域は灰色に見える。加えて、ブラッシュアイス²⁴は褐色又は黒灰色に見える^{25、26}。

²² 前掲注5：北極海航路ハンドブック実務編（上巻），pp.97-98.

²³ 前掲注5：北極海航路ハンドブック実務編（上巻），pp.101-102.

²⁴ 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の氷域。

²⁵ 前掲注5：北極海航路ハンドブック実務編（上巻），pp.103-104.

²⁶ 前掲14：極海を航行する船舶の基本訓練テキスト「第4章 海氷に関わる航海実務」。

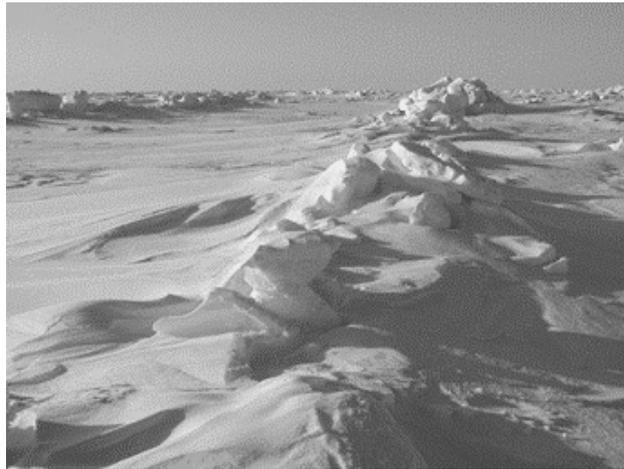


図4 氷丘がうね状に連なった氷丘脈 提供：東京海洋大学 島田浩二
(北極海航路ハンドブック実務編/上巻p.104)

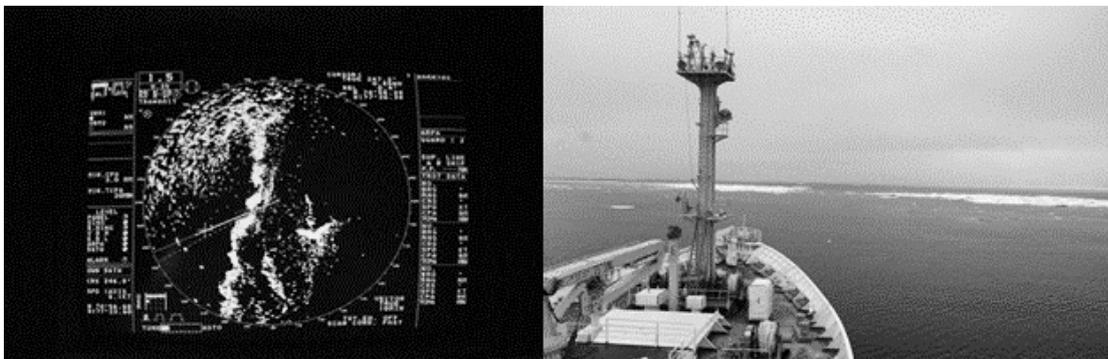


図5 氷海域のレーダー画像と実際の氷況 提供：東京海洋大学 島田浩二

4) レーダーによる氷の発見

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。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。氷海域で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²⁷。

5) 氷の移動予測

氷海域内の各氷盤は、外力（海流及び風）の影響を受けて常に移動している。連続したプロットイングを的確に行い、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

²⁷ 前掲注5：北極海航路ハンドブック実務編（上巻），pp.113-114.

く傾向の氷水域なのか、閉じてゆく傾向の氷水域なのかを慎重に判断する必要がある。図6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く、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必要がある。また、一般に小さな氷（氷片等）の移動は風の影響を受けやすく、付近での操船にあたっては風向及び風速に留意する必要がある^{28, 29}。

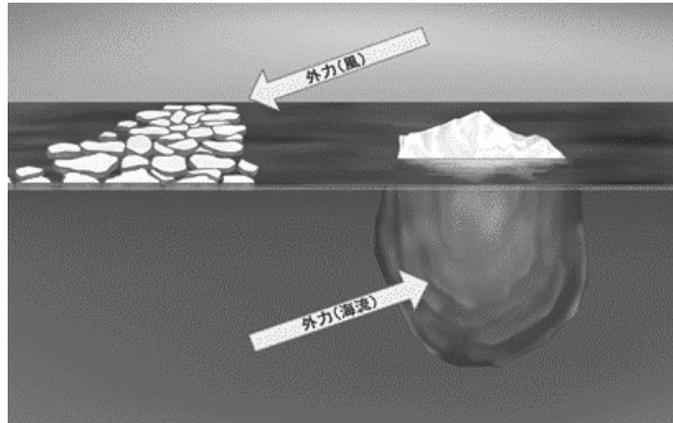


図6 氷に対する外力の影響

出典：北極海航路ハンドブック実務編/上巻p.119

4. 4 北極海航路の海図

北極海航路は高緯度帯にあるため、海図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、距離又は面積もしくは角度に誤差が生じる。特に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誤差を少しでも軽減するため、北極海航路で使用されている小縮尺海図は、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、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、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等が使用されている。

北極海航路を航行する際には、できる限り大縮尺の海図を使用するとともに、どのような図法であっても距離又は面積もしくは角度に多少なりとも誤差がある可能性を常に意識し、細心の注意を払わなければならない。特に、航海計画の立案等に当たっては、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策を講じなくてはならない。また、機会があるごとに、方位又は距離をクロスベアリングや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。なお、北極海航路で多用されている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あり、水深データに不備等がある場合もあり、現在、改善のための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、必ず音響測深機を作動させ、水深を確認する必要がある^{30, 31}。

²⁸ 前掲注5：北極海航路ハンドブック実務編（上巻），pp.172-173.

²⁹ 前掲14：極海を航行する船舶の基本訓練テキスト「第4章 海氷に関わる航海実務」.

³⁰ 前掲注5：北極海航路ハンドブック実務編（上巻），pp.140-145.

³¹ 大貫伸・巢籠大司・遠藤小百合：北極海航路の安全航行のための運航実務に関する基礎検討（航海編），日本航海学会講演予稿集Vol.4(2016)No.1，pp.28-31，2016.5.

5. 調査検討結果の一例「北極海航路の操船」

5. 1 氷海域操船の基本

北極海航路で操船を行う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、操船の自由を維持し続けることである。ただし、適当な迂回ルートが見つからず、砕氷船のエスコートがないまま氷海域に入った場合には、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縫航操船が必要となる³²。

その他、北極海航路での操船にあたっては、氷だけでなく、1) 低気温・低海水温・低湿度等による主機関・操舵装置等への影響、2) 霧・雪・みぞれ・氷晶雨・アークティックヘイズ等による視程への影響、3) 極低気圧・極渦等に伴う強風・高波による船体への影響、4) 着氷による船体・甲板機器等への影響、5) オーロラ嵐等による航海計器・通信機器等への影響にも配慮する必要がある。また、氷海域への夜間の接近や進入は極力避けるほか、常に安全な速力を維持するとともに、高所からの見張りを徹底し、周囲の氷況を的確に把握すること等にも留意しなければならない³³。

5. 2 砕氷船による誘導時の操船

砕氷船による誘導時の操船は、複数の関係船によるチームプレーである。船舶又は氷との衝突防止のため、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。船間距離・針路・速力等は、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。また砕氷船による誘導時、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ほか、1) 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、2) 砕氷船の指示なくして増速・停止・減速しないこと、3) 船尾に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等に留意しなければならない。なお、1隻の砕氷船が2隻以上の被援助船を従え、縦列船隊による誘導を行うことがある（コンボイ）。砕氷船と被援助船が1対1の時と比べ、コンボイ時の操船の難易度は格段に上昇する。

通常、氷海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ケーブル以上である。また、速力は少なくとも舵効が維持できる最低レベル以上、最大でも10~12ノットまでである。なお、氷況が特に悪い海域では、砕氷船から被援助船に対し、2.5ケーブ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。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ピセットに陥る等のケースである³⁴。

6. 調査検討結果の一例「北極海航路の労働安全」

6. 1 労働災害防止の基本

寒冷海域における屋外作業等は人体に対し、1) 皮膚感覚のバランス乱れによる冷熱判

³² 前掲注5：北極海航路ハンドブック実務編（上巻），pp.150-153.

³³ 大貫伸・巢籠大司・遠藤小百合：北極海航路の安全航行のための運航実務に関する基礎検討（操船編），日本航海学会講演予稿集，2016.10.

³⁴ 前掲注33：北極海航路の安全航行のための運航実務に関する基礎検討（操船編），2016.10.

断能力低下、2) 指趾・耳たぶ・鼻先等の末梢部組織の血液循環不全、3) 低体温に伴う警戒心の低下・論理的思考力の低下・記憶喪失・無関心等の症状、4) 積雪や海水に反射した太陽光の紫外線に晒された皮膚や角膜の炎症、5) 冷気を大量吸入することによる気管支の炎症、6) 屋内外の温度差による血圧上昇、7) 水分補給不足による脱水、8) 血行不良による筋肉の柔軟性低下に伴う動作緩慢、9) 厚着による運動制約に伴う体力消耗等の影響を及ぼすおそれがある。その結果、1) しもやけ・凍傷、2) 低体温症、3) 雪焼け・表層角膜炎、4) 風邪・気管支炎等、5) ヒートショックによる心臓疾患（心筋梗塞等）や脳血管疾患（脳出血等）、6) 脱水症、7) 転倒・滑落・転落・落水、8) 低温やけど等の疾病や傷害の発生が懸念される。寒冷海域における屋外作業等は、原則行うべきではない。やむを得ず行う時は、疾病や傷害の発生を防止するため、体感温度等に応じた防寒対策、適切な保護具の使用や転倒・落水防止対策等、万全を尽くす必要がある³⁵。

6. 2 健康管理（睡眠障害対策）

北極海航路では、夏に太陽が1日中沈まない日（極昼）や昼が極端に長い日が現れる。極昼は北緯73度付近で年間約90日間に及ぶ。人によって、昼夜のサイクルと体内時計のリズムが崩れ、望む時間帯に睡眠できない状態（概日リズム睡眠障害）に陥ることがある。極昼では太陽光をいつも浴びているため、メラトニンの分泌量が減り、バランスが崩れ眠りにくくなる。メラトニンは、脳内の松果体から分泌されるホルモンで、体内時計を調整する働きがある。質の高い睡眠を確保するためには、就寝の数時間前から居室を厚手のカーテン等によって完全遮光し、メラトニンの分泌量を意識的に増加させて体内時計を睡眠に適した状態に調整する等、予防策を講じる必要がある。なお、睡眠改善薬又は睡眠導入剤等の服用は自身の判断で決めるのではなく、医師の診察を受けその指示に従うこと³⁶。

6. 3 健康管理（季節性情動障害対策）

一年のある時期だけ、気の落ち込み・食欲不振・睡眠障害・やる気のなさ・だるさ等の症状が出る障害のことを季節性情動障害又は冬季うつ病と言う。原因は明確ではないが、日照不足によりメラトニンの分泌量が増加し過ぎ、又は分泌のタイミングが遅れ、体内時計に乱れが生じるためだと言われている。国内では東北・北海道等、海外では北米・北欧・ロシア等での発症率が比較的高い。太陽光に近い強力なライトを浴びる治療が有効であると言われている。北極海航路では、冬に太陽が1日中現れない日（極夜）や昼に比べ夜が極端に長い日が現れる。このような海域では、季節を問わず本障害が発生するおそれがある。平素から日差しが強く、暖かい環境に慣れ親しんでいる東南アジア人船員は、特に注意が必要である。もっとも有効な予防法は日光浴である。航海中、日差しが現れたならば、甲板等の状況が安全である限り、積極的に太陽光を浴びる努力をすべきである。なお、メラトニン受容体を刺激する作用のある薬剤の服用に関しては、自身の判断で決めるのではなく、医師の診察を受けその指示に従うこと³⁷。

7. 技術的課題

調査検討の結果、北極海航路の安全航行のための航海・操船等に関し、通常海域とは

³⁵ 大貫伸・巢籠大司・遠藤小百合：北極海航路の安全航行のための運航実務に関する基礎検討（労働安全編），日本航海学会講演予稿集，2017.5.

³⁶ 前掲注18：北極海航路ハンドブック実務編（下巻），pp.85-86.

³⁷ 前掲注18：北極海航路ハンドブック実務編（下巻），pp.86-88.

異なる知識や注意点等が明らかとなった。詳細については、「北極海航路ハンドブック」に記載されている。なお、2013年8月20日のILO海上労働条約（MLC）の発効に伴い、船舶所有者は船員の労働生活条件を条約要件に適合させるため必要な措置を計画し、確実に実施することが求められている。今や寄港国検査（PSC）による船舶拘留（Detention）事案の約50%が、MLC違反に起因するものであると言われている。したがって、航海や操船だけでなく、極海における労働安全に関する知見の構築も重要課題の一つであると考えられる。今後、さらに踏み込んだ技術面での検討を項目別に行ない、知見を積み重ねる必要があると思われる。

8. 謝辞

調査検討に当たり、資金面でのご支援を頂いた公益財団法人日本財団及び公益財団法人日本海事センターに深甚の謝意を表したい。

【参考文献】

- (1) ドゥビニン（ソ連オビ号元船長）：南極航海（防衛庁南極観測支援室訳），pp.1-39, 1967.10.
- (2) M.B.Gotsky：氷海航海の経験（防衛庁南極観測支援室訳），pp.194-261, 1961.
- (3) 茂原清二：南極観測船艙装員講話資料・南極の海，pp.1-152, 2015.8.
- (4) Captain Duke Snider：Polar Ship Operation，pp.63-120, 2012.
- (5) Canadian Coast Guard：Ice Navigation in Canadian Waters, <http://www.ccg-gcc.gc.ca/Icebreaking/Ice-Navigation-Canadian-Waters>, 2017.6.26閲覧.
- (6) 日本蘇生協議会監修：JRC蘇生ガイドライン2015, 株式会社医学書院, 2016.2.
- (7) Lawson Brigham：A Handbook of Ice Operations for the U.S Coast Guard's WTGB Class Cutter, 米海軍軍事大学先端研究センター, 1999.10.
- (8) 英国Hydrographic Office：Admiralty Sailing Directions（英国版水路誌NP10/北極海），2013.
- (9) 国際海事機関（IMO）：International Code for Ships Operating in Polar Waters（Polar Code）, 2014.11.
- (10) 野澤和男：氷海工学,（株）成山堂書店, 2006.3.