



最新気象予報技術を活用した運航判断 - 海難事例からの考察 -

濱地, 義法

大澤, 輝夫

圓尾, 太朗

(Citation)

日本航海学会論文集, 147:66-72

(Issue Date)

2022

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

クリエイティブ・コモンズ [表示 - 非営利 - 改変禁止 4.0 国際]ライセンス

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100489976>



最新気象予報技術を活用した運航判断 - 海難事例からの考察 -

濱地 義法¹・大澤 輝夫²・圓尾 太朗³

Operation decision using the latest weather forecasting technology - Consideration from marine accident cases -

Yoshinori HAMAJI, Teruo OHSAWA and Taro MARUO

Abstract

In this study, the meteorological knowledge necessary for deciding the operation of a ship was examined from the marine accident survey and the previous studies. By the comparison with the mariner examination, we considered the meteorological education that mariners should newly acquire to prevent marine accidents. In the marine accidents, some were caused by phenomena on the mesoscale γ to β and some were caused by mariners' misinterpretation of meteorological information. On the other hand, in the mariner examination, most of the questions were on the synoptic scale, and also there were no questions about the latest weather forecasting technology such as satellite images and numerical weather prediction. Based on the above results, it was concluded that maritime officer needs the knowledge of the latest meteorological observation and forecasting technology as well as the uncertainty of meteorological information based on numerical weather prediction models.

Keywords : Education, Weather and Sea States, Operation Decision, Maritime Casualty

キーワード：教育・訓練、気象、海洋気象、運航判断、海難防止

1. はじめに

2005年に発生した福知山線脱線事故を契機に、経営トップから現場まで一丸となった安全管理体制が構築され、実施・維持することを通じて安全文化の定着が図られる「運輸安全マネジメント制度」が設けられた⁽¹⁾。当然ながら、気象海難の防止対策も運輸安全マネジメント制度に基づくべきである。船長は、商法708条により、船舶所有者に代わって航海のために必要な行為をする権限が与えられ、運航判断を行うが、安全管理の本質は科学的合理性に基づく納得の形成⁽²⁾であり、船長の主観的で合理性に欠ける運航判断は、不安全で船主や荷主に損害を与える。

関係者に対する説明責任を果たせない。

本論では、社会的影響が大きい気象海難事例について、複数の先行研究や海難審判裁決等を調査し、気象海難の要因を海技試験の気象関連問題と比較することで、海技士、特に船長や運航管理者など運航判断を行う立場の関係者が新たに学ぶべき気象教育について提言する。

2. 気象海難の要因

気象・海象と関連する海難についてデータベースを構築して解析した石田ら⁽³⁾の研究によると、海難の要因としては、霧による視界制限状態を理由とする

¹ 正会員 神戸大学大学院海事科学研究科(〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5丁目1-1) y.hamaji@osakawanpilot.jp

² 正会員 神戸大学大学院海事科学研究科(〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5丁目1-1) ohsawa@port.kobe-u.ac.jp

³ 非会員 神戸大学大学院海事科学研究科(〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5丁目1-1) 198w314w@stu.kobe-u.ac.jp

る衝突事故が最も多く、次いで風や波浪を理由とするものが多い。国土技術政策総合研究所の分析⁽⁴⁾によると、約12年間の係留施設・護岸等との衝突事故のうち、発生要因の6割以上が風の影響であることが指摘されており、特にガントリークレーン等への衝突は港湾機能への影響が重大で最も避けるべきものであるため、その対策として卓越風向を考慮したバース配置、風データのネットワーク化、AIによるデータの利活用等が提案されている。

本研究では、先ず運輸安全委員会が公表している船舶事故報告書⁽⁵⁾について2009～2019年の11年間に発生した重大事故を調査した。その結果、海上強風警報等の発令または波高3m以上の波が存在した場合で、単純なヒューマンエラーによるものを除外したところ、高波または強風に伴う海難は32事例あった。漁船等の小型船の海難が比較的多いものの、大型船による人的、経済的損失の甚大な海難も度々発生していることが読み取れる。すなわち、強風や高波による気象海難の防止対策が、安全マネジメントの観点からも不可欠といえる。

3. 過去の気象海難事例

前章で抽出した気象海難32事例について、気象学的観点で解析された資料は乏しいため、本章では、社会的影響が大きく、比較的先行研究の多い下記の4事例を挙げ、最新の気象予測技術の理解と活用の必要性を検証していく。

- (1) 洞爺丸沈没事故：今日の気象予報・観測技術がない時代の運航判断、最新の気象予報技術活用の必要性について。
- (2) 練習船海王丸の走錨乗揚事故：これまで常識とされていた気象知識による運航判断の危険性、不確実な気象情報に基づく運航判断について。
- (3) 油タンカー関空橋衝突事故：船主や荷主等、関係先者の利益追求が求められる中で、不確実性を含む気象情報を基にした運航判断とその説明責任等。
- (4) 対馬海域での漁船転覆事故：時空間スケールを理解し、刻々と変化する気象情報を解釈しながらの運航判断。竜巻や突風等の局地的気象擾乱について。

3.1 洞爺丸沈没事故

1954年9月26日、台風15号により青函連絡船洞爺丸が沈没し、死者・行方不明者を合わせて1155

人という日本の海難史上最悪の惨事となった。当時はアメダス等の観測網や気象衛星、レーダーもなく、台風の中心位置推定が困難であった。洞爺丸の運航判断については諸説^{(6) (7)}あるが当時の船長が入手できた気象情報は、ラジオによる気象通報等を基に自身で描いた天気図と、他船や測候所の現況、気象官署の推測情報程度であった。当時の新聞では、海難原因となった台風15号が北海道に被害を与える可能性についてほとんど触れられていなかった⁽⁸⁾。我が国では洞爺丸事故の前年にテレビ放送が開始され、ようやく天気図を使った天気予報が視聴できるようになった。まだ波浪予想モデルは運用されておらず、スペクトルの概念を取り入れたモデル開発が始まろうとしていた時代である。船長は、この乏しいリソース環境下で自身の気象学的知識と経験により運航判断していた。この総観的手法の時代は、予報者の経験の有無が予報精度に大きく影響し量的な予測の裏付けが乏しかった⁽⁹⁾。

台風15号は西日本を縦断して日本海中部に至るまで100km/hと非常に速い速度で北東進した後、北海道西方海上で速度が半分以下になり、急激に再発達した。この台風の動静について、船長のみならず気象予報官も十分に把握できなかった。のちに村松の研究⁽¹⁰⁾で洞爺丸遭難時の台風15号は、既に温帯低気圧化が完了し、閉塞期の温帯低気圧として再発達、同時に急減速の過程にあったと判明した。船長や予報官らが「台風の眼」が通過したと判断を誤ったのは、このメカニズムが解明されていなかったためもあると考えられる。

今日では衛星画像により台風を常時観察できる。アメダスによる日本各地約840箇所の観測値や気象レーダーによる情報も入手でき、さらに数値予報モデルの発達により数時間先の台風や低気圧など総観規模擾乱について相当正確なシミュレーションが可能となった。

3.2 練習船海王丸の走錨乗揚事故

2004年10月20日22時47分、独立行政法人航海訓練所（現海技教育機構）所属の練習帆船海王丸が富山湾内にて錨泊中、台風23号の影響による強風と高波を受けて走錨し、岩瀬漁港の防波堤に座礁することにより、多くの実習生、乗組員らが重軽傷を負う事故が発生した。当時の海王丸船上の平均風速は35m/s、波浪は6mに達した⁽¹¹⁾。

同船は、19日夕方に北東25m/sの風と波5mに達

する可能性があるとの気象情報を入手した。20日09時50分、同海域に強風波浪注意報が発表され、20日宵のうちに暴風波浪警報に代わり、海上最大風速25m/sに達する可能性のあることが発表されていた。15時20分、暴風波浪警報に切り替わり、波高6mの予報が出され、18時24分に海上最大風速28mの予報が出された。19時以降、風速が強まり、平均風速35m/sに達するようになり、走錨するに至った。

多くの海技士は、予報を上回る強風が往々にして発生する事例を経験している。しかし、科学的に出された予報以上の荒天を想定した運航判断には、科学的合理性のある説明が必要である。船長は、前港の室蘭を発港後、一旦は陸奥湾への避難も検討したが、研修生の下船等、運航スケジュールを考慮し航行を継続した。もし、早期（18日室蘭出港後）に陸奥湾へ避難したもの、当初の予測通り最大風速25m/s以下の中止状況であったなら、自身の判断が運航スケジュールを乱し、多くの関係者に与える影響について説明が求められる。船長は、様々な情報に基づいて総合的に運航判断する。その判断材料となる情報には、運航スケジュールに関する船主や荷主等の意向も少なからず存在するため、安全運航だけでなく、経済性も考慮しなければならない。この運航判断は、刻々と更新される不確実な気象情報に頼っている。では、この不確実な気象情報をどう解釈し、運航判断に繋げていくべきであろうか。

藤井ら⁽¹²⁾は気象庁メソ客観解析値を用い、この台風23号の温帯低気圧化の過程を3次元的に調査した。その結果、北方からの寒気移流により台風の左半円側の気圧傾度が強まったため、980hPaという中心気圧から想定される以上の強風が発生したと結論付けている。本事例は、先に述べた洞爺丸沈没事故と同様、台風の温帯低気圧化の過程で発生した海難である。洞爺丸の時代と異なり、今日では台風に付随する様々な擾乱のメカニズムの解明が進んだ。運航者は、台風の一般的性質だけでなく、温帯低気圧化後の強風要因等についても理解を深めるべきである。

海難審判裁決⁽¹¹⁾では、船長が当該海域の水路事情を十分に把握していなかったこと等が事故原因とされ、また船長が同水先区水先人の助言を再検討しなかったことも是正すべき事項とされた。また、本件発生に至る事由として、可航半円の考え方について指摘された。船乗りの知識として、北東進する台風の西側の海域では、比較的風が弱いという一般的強風特性が浸透しており、強風への警戒心が低下して

いる事も懸念される。大澤⁽¹³⁾は、台風に伴う強風域について、気象学的観点から以下の4つの問題を挙げている。

- (1) 衰退期に入った台風縁辺部と高気圧との間で気圧傾度が大きくなり、台風中心から離れたところで強い風が吹く事がある。
- (2) スパイラルレインバンド付近では、レインバンドを形成する積乱雲群からの冷気外出流も重なり、風況は非常に複雑になる事が知られている。
- (3) 温帯低気圧化による傾圧大気下での気象現象は、2次元台風モデルの守備範囲外である。
- (4) 最大風速を右半円に持つ台風が約7割、左半円に持つ台風が約3割と、意外に左半円に最大風速を有する台風が多い。

これまで「常識」とされた気象知識による運航判断が海難事故を招くことの無いよう、台風に伴う強風域についての認識を改めるべきであろう。

3.3 油タンカー関空橋衝突事故

近年、特に社会的に甚大な影響を及ぼした海難として、2018年9月4日、台風21号の影響により油タンカーが走錨し、関西国際空港連絡橋に衝突した事故がある。海難審判所の裁決⁽¹⁴⁾によると、事故原因として下記の点が挙げられている。

- (1) 海難事例や水路誌を調査・理解していなかった。
- (2) 最新の気象情報により適切な解析をしなかった。
- (3) 運航管理者の支援体制が不十分だった。

この台風では、同タンカーに限らず様々な施設で過去の教訓を十分に活かしきれなかった。気象庁等が早期の段階で、最大級の警戒を要する台風であると注意喚起を行っていたにも関わらず、船舶の乗揚げ、ガントリークレーン倒壊、多数のコンテナ流出、関西空港水没など様々な被害が発生した。

最大級の警戒を要する台風とはいえ、その対策には膨大な時間的、経済的負担を強いられる。不確実な気象予測に基づいた対策が結果的に「空振り」となる事も往々にして生じ、各責任者はその説明に悩まされる。数値予報モデルの格子間隔やアンサンブル予報等、気象情報の精度や不確実性を理解することで、時機を失すことのない運航判断が可能となり、その説明責任を果たし易くなると考えられる。航空機分野での運航管理者は、国土交通大臣の実施する技能検定に合格する必要がある。一方、海運における運航管理者は、海上運送法によりその要件が定められている⁽¹⁵⁾ものの、技能検定等はない。運航

管理者に限らず、船主や荷主等の関係者も、気象予報技術の限界を理解すれば、船長はより安全な運航判断が可能になると考えられる。

本事故を受け、海上保安庁では「荒天時の走錨等に起因する事故の再発防止に係る有識者検討会」を開催⁽¹⁶⁾した。そこでは、安全な守錨に資する情報等について、海事局、運輸安全委員会、海上保安庁が連携して内航事業者向けの講習等の早期実現が必要であるとしている。

さらに、海上交通安全法第26条第1項に基づいた告示がされ、2019年1月31日より、関空島周辺海域、堺泉北港桟橋及び神戸空港周辺海域が荒天時ににおいて航行禁止または錨泊自粛となった。この結果、荒天避泊可能な海域が減少し、水深が深いためにこれまであまり利用されなかつた大阪湾中央部で錨泊する船舶が確認されている⁽¹⁷⁾。半世紀以上前から、大阪湾における避泊船舶の過飽和状態は懸念されており⁽¹⁸⁾、今後の動向に注意が必要である。

その後、2021年7月1日より湾外避難等の勧告・命令に関する制度が創設され、大型船の早期湾外避難という考え方が適用された⁽¹⁹⁾。1997年に発生した貨物船やまと丸遭難事件⁽²⁰⁾では、波浪により操舵室前面の窓ガラスが破損し3名が死亡した。2013年には、インド洋で大型コンテナ船「MOL COMFORT」が折損の後沈没する海難も発生している⁽²¹⁾。すなわち湾外避難は、船体構造等でその判断時期が異なることを考慮すべきであり、そのためにも気象予報技術の限界を理解する事は重要である。

3.4 対馬海域での漁船転覆事故

2015年9月1日午前3時台、長崎県対馬海域で突風により漁船5隻が転覆し5名が死亡する海難が発生した。当該船舶事故調査報告書⁽²²⁾によると、気象庁は8月30日16時18分、雷注意報に突風を付加事項として発表し、21時50分に付加事項が突風から竜巻となった。その後、9月1日00時45分に強風注意報が発表され、海上は最大風速12m/sとされた。地方海上予報（対馬）では、8月30日～9月1日の期間に海上警報の発表はなかった。報告書では、転覆事故を起こした漁船は8月31日15時頃に出港した後、刻々と変化する気象情報を十分に入手せず、操業に影響ないと判断したと考えられている。船長には、出港後も上対馬及び下対馬地区に発表された強風注意報及び竜巻を付加事項とした雷注意報を入手し、事故当時の気象・海象（風速約20～30m/sの

南方からの突風、東方からの波高約3mの波）を予測した運航判断が求められている。

この突風の原因が竜巻であるかは不明だが、西山ら⁽²³⁾は気象レーダーによる分析を行い、転覆した漁船3隻はフック状の強い降水強度領域(80mm/h以上)の近傍に、他2隻はドーナツ状の強い降水強度領域に位置していたとしている。フック状のエコーは、スーパーセルに伴って現れる独特的のもので、付近で竜巻が発生することがある⁽²⁴⁾。現在、気象庁ではインターネットを通じて、気象レーダーや竜巻発生確度等の情報提供をしている。竜巻発生確度の詳細は、気象庁ホームページでも解説されているが、例えば“発生確度2”的場合、竜巒などの激しい突風が発生する可能性は7～14%とされ「空振り」の可能性が高い。竜巻や突風による海難防止には、このような気象情報の不確実性を理解した運航判断が不可欠である。

4. 海技士の気象教育の現状

前章で述べたように、気象情報の不確実性、あるいは局地的擾乱による海難が少なからず発生している。海技士は、ライセンス取得のために気象を学んでいるが、同様の海難は後を絶たない。すなわち、海技免状取得のための気象教育では、気象海難の防止に不十分だと考えられる。そこで本研究では、過去の海技試験で出題された気象関連問題を調査した。

図1～3は、2015年7月～2021年4月の6年間の一級から三級海技士（航海）試験に出題された気象関連問題(24回)について設問内容から出題テーマを分類し、その出題頻度(回数)をグラフに示した。同一試験で同様のテーマが複数出題されている場合は、それぞれカウントしている。

図4は、気象学で最初に目にする様々な気象現象の時空間スケールである。海技士がそのライセンス取得のために学ぶ気象学は、総観規模スケールに関する内容が大半であった。一方、海難審判裁決や先行研究を調査すると、気象海難の発生原因是、時空間スケールの小さい気象擾乱によるものが見受けられた。

大洋における航路選定判断では、地形の影響による局地的擾乱がない。また数値予報モデルの格子間隔が粗く、観測網や気象レーダーによる情報も乏しいため、総観規模的な気象解析が中心となる。一方、沿岸部では、局地的で複雑な気象擾乱が生じる。したがって、特に沿岸部における気象海難防止には、

積乱雲に伴う突風や竜巻のメカニズム、さらには気象衛星やレーダー、アメダス、数値予報モデル利活用の教育が重要と言える。

海技試験での航海科目的設問では、GNSS（全球測位衛星システム）等、近年の航法技術に関する出題が多い。そのように気象関連問題も最新技術に対応できるようアップデートが必要と著者らは考えるが、総観規模の気象知識は、小規模スケールの気象現象を理解するための基礎知識として重要である。従つて、現在の海技士教育カリキュラムを安易に増やすのではなく、まずは優先順位を十分に検討することが先決であろう。その上で、海技士教育で理解が不十分な範囲について、実務者に対する継続的な最新気象教育システムの構築が現実的と思われる。

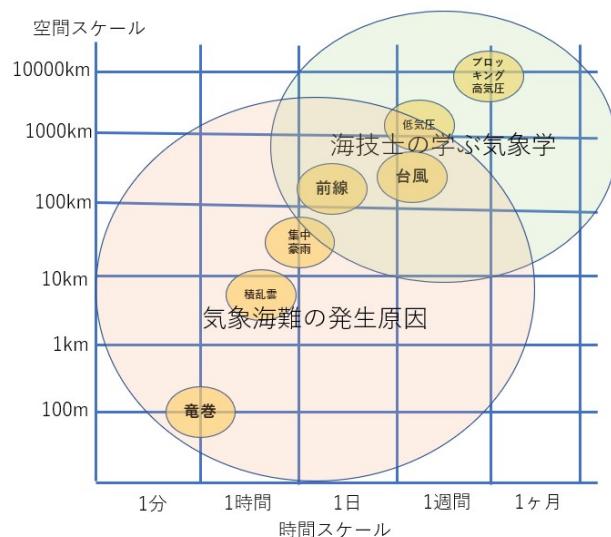


図4 時空間スケールとの関係

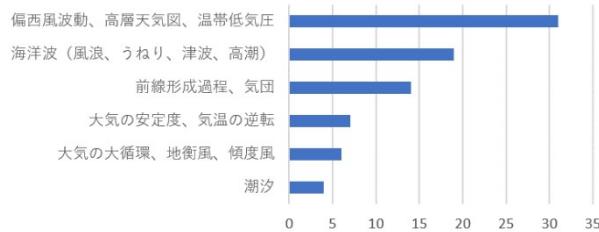


図1 一級海技士（航海）気象関連問題出題頻度

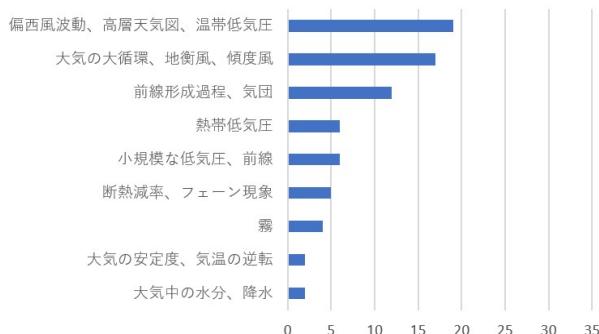


図2 二級海技士（航海）気象関連問題出題頻度

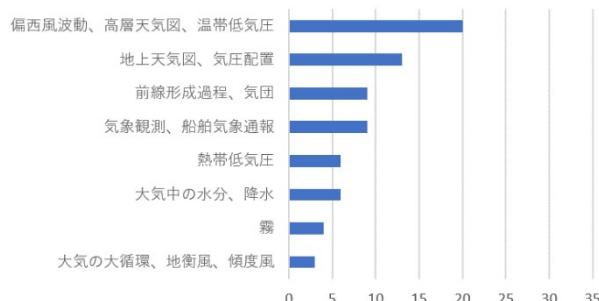


図3 三級海技士（航海）気象関連問題出題頻度

5. 考察と提言

気象海難は、船長らが運航可能と判断したものの、実際の気象・海象が想定を上回る荒天であった場合に発生する。洞爺丸の時代は、前述の通り気象情報の不確実性が大きく、運航判断が困難であった。気象観測・予測技術が格段に進歩した現代でも、その不確実性は完全には無くならない。

本章では、不確実性が潜在する気象情報に基づく意思決定について考察し、海技士に求められる気象教育を提言する。

5.1 運航判断の難しさ

図5は、横軸に運航可否判断、縦軸に運航可否の結果を示した運航判断マトリクスである。

船長が運航可能と判断した場合、その結果は、左側領域（I・III領域）のいずれかとなる。船長が運航不可の判断をした場合、その結果は、右側領域（II・IV領域）のいずれかに移行する。

船長の予測が的中した場合、その結果は通常運航状態のI領域か海難防止のIV領域となり、関係各所に利益をもたらし、高評価を得られる。一方、船長の予測が外れた場合、II領域かIII領域となるが、運航可能（左側領域）の予測が外れた場合（III領域）には、海難発生であり甚大な損失を招き、厳しい批判を受ける事となる。また、運航不可（右側領域）の予測が外れた場合（II領域）にも、関係各所に機会損失を与える、船長は責任を問われ批判されるかも知れない。この様な心理的背景により、I領域かIV

領域の「的中」に執着することで、時に主観的となり、非科学的な運航判断が誘発される事も考えられる。気象情報に不確実性が潜在する以上、「見逃し」と「空振り」の双方を避ける事はできない。したがって、可能な限り科学的な判断に基づき、利益を最大化していくことが肝要である。即ち、気象情報の不確実性を理解し、科学的根拠をもって「空振り」を恐れることなく「見逃し」を排除できる意思決定ルールの構築が必要である。



図 5 運航判断マトリクス

5.2 運航判断のための気象教育の提言

本論で挙げた気象海難事例を踏まえ、的確な運航判断のために、今後、海技士が新たに学ぶべき気象予測に関する教育について提言する。

- (1) 各種数値予報モデルの予測精度や格子間隔、不確実性についての理解を深めることで、気象予報が外れることも想定した運航判断が可能となり、「空振り」に対して科学的根拠のある説明ができる知識。
- (2) 気象衛星や気象レーダー等のリモートセンシング技術の観測原理を学ぶことで、台風や温帯低気圧、前線等の気象擾乱を従来の天気図で総観規模的に把握するだけでなく、刻々と変化する状況をそのメカニズムを踏まえ、局地的、立体的に把握できる知識。
- (3) 全国に観測網を有するアメダス等の実測データを基に、ある気象現象がもたらす影響を予測する能力。予測値と実測値の関係性を踏まえた意

思決定。風の振る舞いは、多種多様で、観測地点や風向によりその強風の出現頻度や突風率が変化することを踏まえた意思決定能力。

- (4) 热帯低気圧の一般的性質だけでなく、热帯低気圧から離れた場所における強風が発生のメカニズムの理解。例えば、スパイラルレインバンド付近で発生する強風や温帯低気圧化による傾圧大気下での強風など、熱帯低気圧に付随する気象現象を理解すること。
- (5) メゾン～β (2～200km) スケールの気象現象。特に地上天気図に表現されない局地的気象擾乱。極稀に発生する竜巻や突風等の局地的気象擾乱のメカニズムとその予測の難しさ。突風発生時の気象衛星や気象レーダー情報の特徴を学ぶことで、短時間予報の知識を身につける。
- (6) 時空間スケールを意識しながら、気象庁等が提供する様々な気象予報・観測技術を理解し活用する技術。例えば、竜巻発生確度を理解することで、突風に遭遇する確率も考慮しながら判断する能力。

5.3 今後の課題

海技士は、その資格取得のために学んだ総観規模スケールの擾乱だけでなく、さらに小さいスケールの擾乱にも目を向ける必要がある。数日先の気圧配置や台風の進路予想については、数値予報モデルを基にした予測が船長の経験則を上回る精度と信頼性を有する。一方、時空間スケールの極小さい現象、例えば特定の係留施設に対する数～数十秒スケールの乱流による船体の挙動については、もはや予測云々の段階でなく、人の直観や感覚によって対応せざるを得ない。不確実性を含む気象情報から最適な意思決定を行うには、確実な手順が必要である。自然災害対策としての「タイムライン防災」⁽²⁵⁾の考え方とは、船舶の運航判断にも応用できる可能性がある。

海技教育現場では、そのカリキュラムに限界があり、本論で述べた新しい気象教育を実現することは困難と思われる。海技士試験も、出題内容の刷新は容易ではない。そのため、運航判断を強いられる船長や運航管理者等の役職に至るキャリアアップの過程での教育・訓練が必要となる。とはいって、最新の気象予測・観測技術等の知見を運航判断に応用できるレベルの教育環境は見当たらない。従って、既に船舶の運航現場で活躍する実務者やその関係者が主体となり、教育研究機関と協力しながら的確な運航

判断手法とその教育環境を構築できるかが課題である。

以上の観点から、今後、科学的合理性のある運航判断にシフトする必要性を鑑み、神戸大学海事科学研究科 海洋・気象研究室では、最新の気象予報技術を活用した船舶運航判断と海技士教育の方向性、更には AI 技術を応用した風速予測精度の向上等について研究を進めて行く方針である。

参考文献

- (1) 木下典男：運輸安全マネジメント制度の解説，成山堂書店，2019. 2.
- (2) 井上欣三：海の安全管理学，成山堂書店，2008. 10.
- (3) 石田廣史・林美鶴・森脇千春・堀晶彦：気象・海象と関連する日本近海で発生した海難の解析，日本航海学会論文集，No. 113, pp. 259–266, 2005.
- (4) 松田茂・宮田正史：船舶の係留施設への衝突事故に関する基礎的分析，国土技術政策総合研究所資料，No. 1134、2020. 12.
- (5) 運輸安全委員会：報告書検索，<https://jtsb.mlit.go.jp/jtsb/ship/>, 2021. 10 . 15
- (6) 上前淳一郎：洞爺丸はなぜ沈んだか，文藝春秋，1980. 11.
- (7) 田中正吾：青函連絡船 洞爺丸転覆の謎，成山堂書店，2006. 6.
- (8) 相澤梢・鏡味洋史：洞爺丸、1954 年 15 号台風の北海道における被害の新聞記事，北海道地区自然災害科学資料センター報告，pp. 21–32, 2005. 2.
- (9) 新田尚・二宮洸三・山岸米二郎：数値予報と現代気象学，東京堂出版，2009. 3.
- (10) 村松照男：洞爺丸台風の温帯低気圧化について，日本気象学会機関紙「天気」，Vol. 30, pp. 461–468, 1983. 9.
- (11) 海難審判協会：海難審判庁裁決録，平成 17 年 横審第 36 号，2006.
- (12) 藤井勉・大澤輝夫・石田廣史：台風 0423 号による海王丸海難時の気象解析，日本航海学会論文集，No. 115, pp. 183–189, 2006.
- (13) 大澤輝夫：台風時における沿岸海上風の推定手法，日本風工学会誌，Vol. 32, pp. 369–378, 2007.
- (14) 海難審判所：裁決 油送船 C 橋衝衝突事件，平成 31 年海審 2 号，2020. 3.
- (15) 海上運送法施行規則：第 7 条の 2 の 3，運航管理者の要件.
- (16) 海上保安庁：荒天時の走錨等に起因する事故の再発防止に係る有識者検討会 第 2 次報告書，2019. 12.
- (17) 公益社団法人 神戸海難防止研究会：大阪湾における台風等来襲時の避泊場所の安全性に関する調査研究 報告書，2021. 3.
- (18) 大神弘・西谷芳雄：大阪湾における避泊錨地面積について，日本航海学会誌，No. 37, pp. 71–76, 1967.
- (19) 海上交通安全法等一部改正法の運用方針：海上保安庁交通部，第 17 回船舶交通安全部会配布資料，2021. 6. 30.
- (20) 海難審判協会：海難審判庁裁決録，平成 9 年神審第 78 号，1998.
- (21) コンテナ運搬船安全対策検討委員会：コンテナ運搬船安全対策検討委員会 最終報告書，2015. 3.
- (22) 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 (MA2016-3-38_2015mj0090)，pp. 1–33, 2016.
- (23) 西山浩司・清野聰子・石原大樹・森山聰之：対馬海域で漁船転覆事故を起こした突風を取り巻く降水域の特徴に関する気象レーダー分析，土木学会論文集 F6 (安全問題)，Vol. 72, No. 2, pp. 191–198, 2016.
- (24) 小倉義光：一般気象学，東京大学出版会，2016. 11.
- (25) 国土交通省 水災害に関する防災・減災対策本部：防災行動計画ワーキング・グループタイムライン（防災行動計画）策定・活用指針(初版)，2016. 8.