

地球温暖化と台風の激甚化

一般財団法人 気象業務支援センター 研究員 山田 洋平

暖かい海面からは熱と水蒸気が大気へ供給されています。海面付近で暖められた空気や、水蒸気を多く含んだ空気が上昇して冷却されると、水蒸気（気体）が雲粒や雨滴（液体）へと変化する相変化（凝結）が起こります。このとき凝結潜熱が放出され、空気塊が暖められます。暖められた空気塊は密度が小さくなり、周囲の環境空気より軽くなるため、浮力を受けてさらに上昇します。こうした過程を経て、暖かい海面から供給される熱と、水蒸気の凝結によって放出される潜熱をエネルギー源として、台風は発達します。海域によってハリケーン、サイクロン、台風などと呼び名が異なりますが、ここでは全て台風と呼びます。

このため、台風は主に暖かい熱帯の海上で発生し、沿岸諸国に甚大な人的・経済的被害をもたらします。四方を海に囲まれた日本も例外ではなく、毎年のように台風が接近・上陸してその影響を受けています。例えば2018年9月に上陸した台風21号では、関西国際空港と陸地を結ぶ連絡橋にタンカーが衝突する事故が発生し、大きな社会的影響を与えました。記憶に残っている方も多いのではないのでしょうか。

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第6次評価報告書では、地球温暖化に伴い、台風の発生数は減少する可能性がある一方で、台風の最大風速の平均値は増加し、台風に伴う降水量も増加すると予測されています（Seneviratne et al. 2021）。強度や降水量の増加については多くの研究で共通して示されており、比較的確度の高い変化と考えられています。特に発生数に関しては依然として大きな不確実性が残されており、不確実性を軽減するために現在も研究が続けられています。

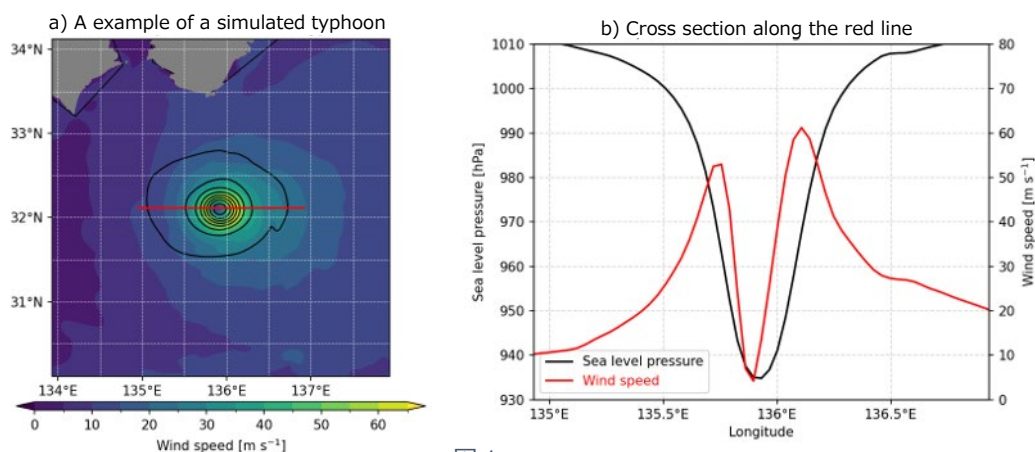


図 1

図 1. 台風の周りの風速と海面更正気圧。(a) NICAM のシミュレーション内で発生した台風の周りの風速（色）と海面更正気圧（等値線）を示す。(b) パネル a の赤線に沿った海面更正気圧（黒線）と風速（赤線）の分布を示す。

災害の観点から重要となるのは、台風が接近する頻度や強さだけではなく、強風の影響が及ぶ範囲、すなわち強風域の大きさも重要です。図 1 a は例として全球非静力学モデル NICAM (Satoh et al. 2014) を用いたシミュレーションの中で発生した台風の周りの風速と海面更正気圧の分布を示しており、台風の周りは等圧線が狭まり風速が大きくなっていることがわかります。台風周辺の風は気圧分布と密接な関係があります。台風の中心付近では気圧が最も低く、中心から離れるにつれて気圧は高くなり、やがて周囲の環境の気圧に近づきます (図 1b)。図 1b のように気圧分布はすり鉢のような形をしており、すり鉢の傾きが急であるほど強い風が生じます。本事例では台風が北向きに移動しているため、進行方向右側では台風循環に伴う風と台風の移動速度が加算され、左側に比べて風速が大きくなっています。

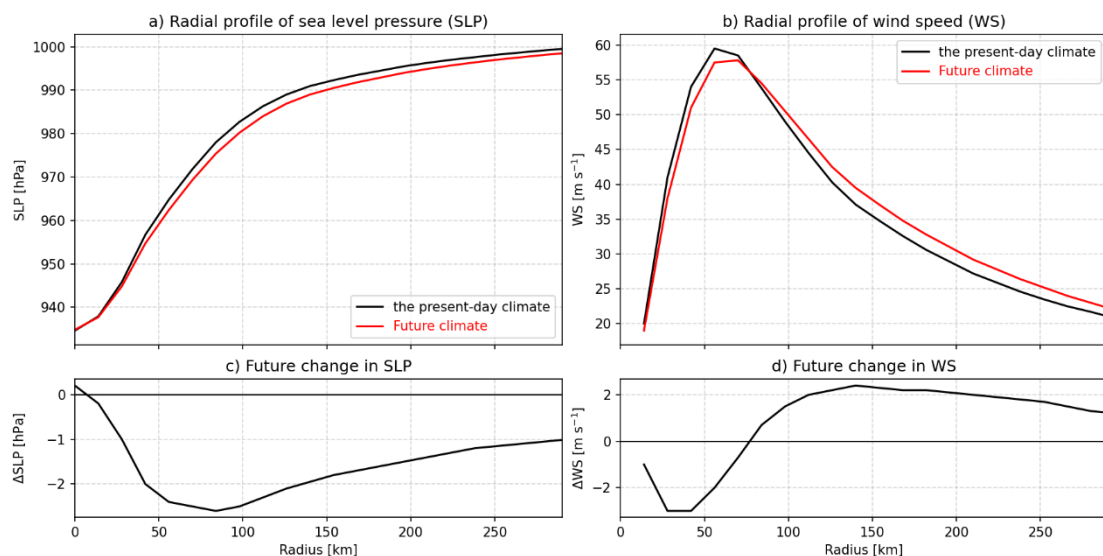


図 2

図 2. 台風周辺の海面更正気圧と風速の半径方向分布およびその地球温暖化による変化（シミュレーション内で発生した同程度の中心気圧をもつ台風の合成解析結果）。(a) 台風中心からの距離に対する海面更正気圧の分布。黒線は現在気候シミュレーション、赤線は将来気候シミュレーションの結果を示す。(b) (a)と同じ。ただし風速の分布を示す。(c) 海面更正気圧の将来変化（将来気候－現在気候）を示す。(d) (c)と同じ。ただし風速の将来変化を示す。Yamada et al. (2017) をもとに作成。

地球温暖化が進むと、台風に伴う降水量は増加すると予想されています。降水量の増加は凝結に伴う潜熱放出を強め、台風内部の温度構造や気圧構造を変化させることで、風の分布にも影響を与える可能性があります（Yamada et al. 2017）。図 2a および図 2b は、同程度の中心気圧をもつ台風について、海面更正気圧と風速の半径方向分布を示しています。温暖化環境下でも台風の基本的な構造は大きく変わりませんが、半径 50～100 km 付近を中心として海面更正気圧がさらに低下することが分かります（図 2c）。この領域は台風の眼を取り囲む壁雲域に対応しており、強い降水に伴って大量の凝結潜熱が放出されています。地球温暖化による降水量の増加は潜熱放出を強化し、壁雲域付近の大気をさらに暖めることで気圧の低下をもたらします。その結果、壁雲域の外側では気圧勾配が大きくなり、風速が増加します（図 2d）。このように、地球温暖化が進むと、同程度の中心気圧をもつ台風であっても強風域が外側へ広がり、広い範囲で強風をもたらす可能性が指摘されています。

また台風の移動速度も台風の影響の持続時間を左右する重要な要因です。台風の移動速度は台風よりも大きなスケールの大気の流れ（偏西風や貿易風）の影響を強く受けていると考えられています。地球温暖化が進むと大きなスケールの大気の流れも変化する可能性が指摘されています。例えば「気候予測先端研究プログラム^{*1} 領域課題 3 日本域における気候変動予測の高度化」等のもとで作成されている「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース」^{*2}（Mizuta et al. 2017）を用いることによって、日本が位置する北緯 30 度から 40 度の範囲では台風の移動速度が遅くなる可能性が指摘されています（Yamaguchi et al. 2020）。

これらの研究は今後更なる検証が必要なものの、現在と同じ程度の強度の台風であっても地球温暖化が進んだ将来では台風による暴風雨の影響を受ける時間が長期化する可能性が示唆されます。地球温暖化によって台風災害のリスクが変化する可能性が指摘されています。一方で、現在は観測技術や数値予報技術の発展によって台風の進路予測精度も着実に向上しています。こういった情報に基づく警報や注意報を活用することで被害を防ぐのに役立てられると期待されます。

脚注

*1 気候変動予測先端研究プログラム：これまで文部科学省が推進してきた気候変動研究をさらに発展させ、気候変動予測シミュレーション技術の高度化等による将来予測の不確実性の低減や、気候変動メカニズムの解明に関する研究開発、気候予測データの高精度化等からその利活用までを想定した研究開発を一体的に推進することで、気候変動対策（気候変動適応策・脱炭素社会の実現に向けた緩和策）に活用される科学的根拠を創出・提供するこ

とを目的としたプログラム。<https://www.jmbasc.or.jp/sentan/>

*2 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース：地球温暖化の影響を評価し、適応策を策定するには、気候変動予測とそれに伴う不確実性の定量評価が不可欠です。高解像度全球大気モデルおよび高解像度領域大気モデルを用い、これまでにない多数のアンサンブル実験を行うことによって、確率密度分布の裾野にあたる極端気象の再現と変化について、十分な議論を可能にするために作成されたデータベース（d4PDF）。
<https://www.miroc-gcm.jp/d4PDF/index.html>

参考文献

- ・ 気象庁, 台風予報の精度検証結果,
<https://www.data.jma.go.jp/typhoon/verification/index.html>
- ・ Mizuta, R., et al., 2017: Over 5000 years of ensemble future climate simulations by 60 km global and 20 km regional atmospheric models. Bull. Amer. Meteor. Soc. July 2017, 1383-1398. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0099.1>
- Satoh, M., et al., 2014: The Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model: description and development. Progress Earth Planet Science 1, 18. <https://doi.org/10.1186/s40645-014-0018-1>
- ・ Seneviratne, S. I., et al., 2021: Weather and climate extreme events in a changing climate. In V. Mason-Delmotte, et al., (Eds.), Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (pp. 11.1–11.345). Cambridge University Press. (<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-11/>)
- ・ Yamada, Y., et al., 2017: Response of tropical cyclone activity and structure to global warming in a high-resolution global nonhydrostatic model. Journal of Climate, 30, 9703–9724, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0068.1>
- ・ Yamaguchi, M., et al., 2020: Global warming changes tropical cyclone translation speed. Nature Communications, 11, 47, <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13902-y>

台風が来る前に動く ～ 走錨事故ゼロに向けた取組と課題 ～

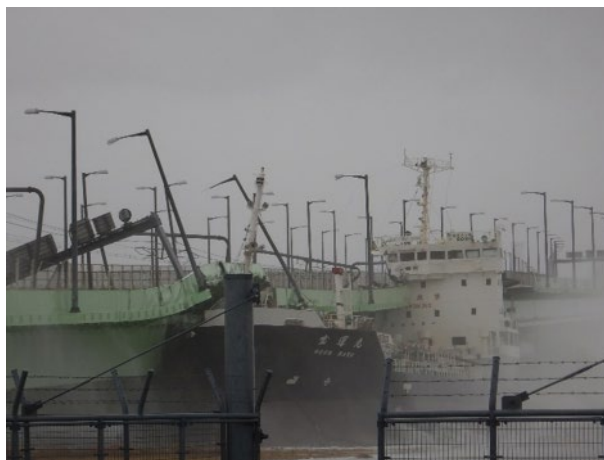
海上保安庁 交通部 航行安全課

1 はじめに

近年、台風の大型化・強大化に伴い、強風や高波による船舶の走錨事故を未然に防止するための取組の重要性が高まっています。記憶に新しいところでは、平成 30 年 9 月の台風第 21 号では、大阪湾に錨泊していたタンカーが走錨し、関西国際空港連絡橋に衝突する事故が発生しました。また、令和元年 9 月の台風第 15 号では、東京湾に錨泊していた貨物船が走錨し、横浜港南本牧はま道路に衝突する事故も発生しました。いずれの事故も復旧に長期間を要し、多額の損害が発生するなど、人流・物流に甚大な影響が生じました。

こうした事故を踏まえ、海上保安庁では、走錨に起因する重大事故の再発防止に向けた検討を進め、その一環として令和 3 年に海上交通安全法等を改正しました。同改正では、一定の大型船等*を対象とした湾外避難の勧告・命令制度や、海上空港等の周辺海域における情報提供・危険回避措置の勧告制度などを創設し、走錨事故防止対策の強化を図りました。

*主に船体形状や大きな風圧面により風の影響を強く受ける船舶。目安としては長さ 160m 以上の自動車運搬専用船、コンテナ船、タンカー、長さ 200m 以上の貨物船などを想定



台風第 21 号来襲時に関西国際空港連絡橋へ衝突したタンカー

2 異常気象等時における事故防止対策

(1) 気象・海象情報の的確な把握

近年、台風進路や暴風警戒域等に関する予報精度の向上により、船舶運航者は従来よりも早期に台風接近のリスクを把握することができるようになりました。

走錨事故を防止するためには、こうした情報を積極的に活用し、予想される最大風速や波浪、台風の進路等を的確に把握して早い段階から危険性を評価することが重要です。

特に、勢力の強い台風が接近する場合には、気象・海象の悪化後では避難や移動が困難になることから、十分な時間的余裕を持った判断と行動が求められます。

(2) 早期の湾外避難等の実施

令和3年の海上交通安全法等の一部改正により、東京湾、伊勢湾及び大阪湾を含む瀬戸内海において、特に勢力の強い台風が接近すると予想される場合には、一定の大型船等に対して湾外等の安全な海域への避難を勧告し、必要に応じて命令を行う制度を創設しました。

湾外避難は、避難対象船舶自身の安全確保だけでなく、湾内での走錨事故や船舶交通の混乱を未然に防止するための重要な対策です。海上保安庁では、海事・港湾関係者等で構成する各海域の協議会を通じて、避難対象船舶や避難時期、避難方法等についてあらかじめ調整を行い、関係者が共通認識のもとで行動できる環境づくりを構築しています。

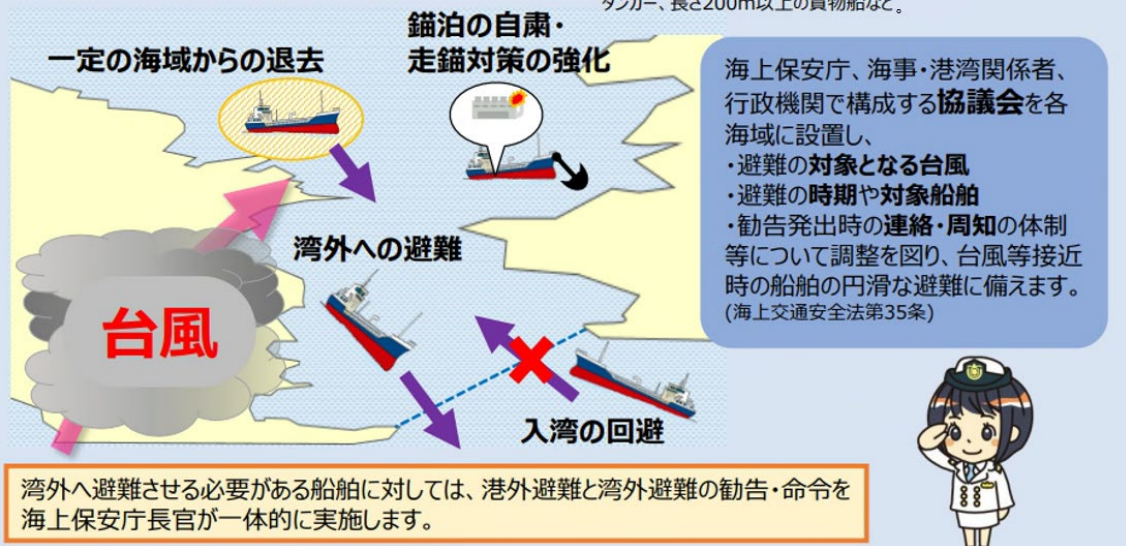
【湾内及び港内における勧告発出の主な流れ（東京湾の例）】

時間経過	湾内（本部長の権限）	港内（港長の権限）
台風強風域到達 3日程度前	東京湾台風等対策協議会 ・湾外避難等の勧告発出の必要性、 発出日時等を協議	京浜港等の台風対策協議会 ・東京湾台風等対策協議会の方針を共有 ・港外避難等の勧告発出の必要性
台風強風域到達 2日程度前	湾外避難等の勧告発出	港外避難の勧告発出 ・湾外避難対象船舶：本部長が発出(権限代行)
台風強風域到達 十数時間前から 数時間程度前	<参考> 臨海部に立地する施設関連の勧告発出	<参考> 第一体制（避難準備）の勧告発出（港長） 第二体制（港外避難）の勧告発出（港長） 臨海部に立地する施設関連の勧告発出（港長）
台風強風域到達		
台風強風域通過後等	湾外避難等の勧告の解除 <参考> 臨海部に立地する施設関連の勧告解除	港外避難の勧告の解除 ・湾外避難対象船舶：本部長が発出(権限代行) <参考> 第二体制（港外避難）の勧告解除（港長） 臨海部に立地する施設関連の勧告解除（港長）

異常な気象・海象が予想される場合の勧告・命令制度(海上交通安全法第32条)

- 特に勢力の強い台風の直撃が予想される際、大型船等の一定の船舶※に対し、**湾外などの安全な海域への避難や入湾の回避**を勧告します。
- 台風等の接近の際、湾内等にある船舶に対し、**一定の海域における錨泊の自粛や走錨対策の強化**を勧告します。

※主に船体形状や大きな風圧面により風の影響を強く受ける船舶。
目安としては長さ160m以上の自動車運搬専用船、コンテナ船、タンカー、長さ200m以上の貨物船など。



(3) 適切な錨泊措置の実施

異常気象時にやむを得ず錨泊を継続する場合には、走錨防止のため十分な措置を講じる必要があります。

主な対策としては、

- 海底地質や周辺状況を考慮した適切な錨地の選定
- 十分な錨鎖長の確保などの適切な投錨作業
- 主機関の即応体制の維持
- 錨泊状況の監視など適切な守錨当直（荒天当直）の実施

などが挙げられます。

特に大型船は風圧による影響を受けやすいため、平時以上に安全余裕を確保した運用が求められます。

(4) 海上交通センターによる情報提供の活用

海上保安庁では、東京湾、伊勢湾、大阪湾、備讃瀬戸、来島海峡及び関門海峡等に海上交通センターを設置し、24 時間体制で船舶交通の安全確保に努めています。海上交通センターによる監視と情報提供は、走錨事故防止対策の重要な柱の一つです。



東京湾海上交通センター

海上交通センターでは、レーダーや AIS 等を活用して船舶の動静を監視し、必要に応じて情報提供、警告、勧告等を実施しています。



(5) 関係者間の連携

走錨事故の防止には、船舶運航者、港湾管理者、水先人、タグボート事業者、海上交通センター及び海上保安機関などの関係者が平素から連携体制を構築し、気象・海象情報や避難海域の利用状況などを共有することが重要です。

特に台風等の異常気象時に、外洋避泊が可能な大型船や風の影響を受けやすい高乾舷船などは、混雑する海域での錨泊を避け、時間的余裕を持って安全な海域へ避難できるよう、荷役計画の見直しを含めた関係者間の協力と柔軟な対応を図り、適切な避難行動や安全対策を実施することが求められます。

(6) 法改正後の取組状況と今後の課題

令和3年の海上交通安全法等の一部改正から5年が経過し、湾外避難制度や海上交通センターによる情報提供・危険回避措置の勧告制度は着実に定着してきました。

湾外避難制度については、令和4年に瀬戸内海西部海域において初めて勧告を発出し

て以降、令和8年までに5つの台風で勧告を発出しています。この間、海事・港湾関係者等で構成する各海域の協議会を通じて、避難対象船舶、避難時期や避難方法等に関する事前調整が継続的に行われており、関係者が共通の認識のもとで対応する体制が構築されています。

海上交通センターにおいても、レーダー、カメラ、AIS等を活用した船舶の錨泊状況の監視や情報提供、走錨事故防止に係る指導を行う体制が整備されています。加えて、異常気象時における海上空港等の臨海部施設周辺海域においては、同海域への入域回避や錨泊制限を行うことで、重大事故の未然防止に寄与しています。

これらの取り組みにより、従前と比較して大型船等の早期避難が促進されるなど、走錨事故防止に備えた好事例が蓄積され、この成果は、まさに冒頭に記載したような重大事故0という結果に現れていると言えます。

その一方で、制度運用を通じて新たな課題も見えてきました。まず、対象船舶の多くが外国籍船であり、これら船舶への対策を確実なものとするため、制度に関する十分な理解の醸成と多言語による情報発信の強化を関係事業者とともに進めていく必要があります。また、現行制度では一定の大型船等を対象としていることから、勧告対象外となる中小型船舶への安全対策も引き続き重要な課題です。さらに、バーチャルAIS航路標識の活用など、デジタル技術を活用した事故防止対策も取り入れながら、より効果的な走錨事故防止対策の推進について検討しています。

3 おわりに

走錨事故は、一旦発生すると船舶交通や港湾機能、社会経済活動に大きな影響を及ぼす可能性があります。

海上保安庁では、湾外避難制度や海上交通センターによる情報提供に加え、バーチャルAIS航路標識の活用など、走錨事故防止対策の強化を進めています。

また、「走錨事故防止ガイドライン」や海上保安庁ホームページに掲載している地域情報等も活用いただき、台風等の接近が予想される際には、早期の安全対策と適切な避難行動の実施に努めていただきたいと思います。

海上保安庁としては、引き続き関係機関と連携し、走錨事故の未然防止と海上交通の安全確保に努めてまいります。





走錨事故防止ポータルサイト

(海上保安庁交通部航行安全課)

<https://www.kaiho.mlit.go.jp/mission/kaijyoukoutsu/soubyo.html>

事故防止に役立つ以下のような情報を掲載しています。

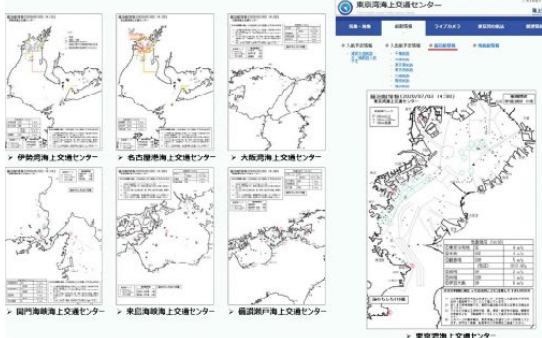
- ・台風進路図、外洋波浪予想図
- ・東京湾、伊勢湾、瀬戸内海（大阪湾含む）の錨泊船舶の状況図
- ・灯台等で観測した風向・風速等に関する情報
- ・投揚錨作業と事故防止、台風を錨泊避航した状況等、船員教育に役立つ動画情報
- ・走錨事故防止ガイドライン

等



海上保安庁

各海上交通センターのホームページにおいて“錨泊船情報”を30分毎に提供



海の安全情報において“気象現況”等の様々な情報を提供

- 1 気象現況**
日本気象庁の気象観測設備で観測した気象情報（風向、風速、気温、湿度）を30分間隔に更新し、提供しています。
- 2 気象警報・注意報等**
気象庁が発表する気象警報・注意報等を取り上げタイムに提供しています。
- 3 緊急情報**
海上保安庁が発表する緊急情報をリアルタイムに提供しています。
- 4 海上安全情報**
海上工事・海上行事等による交通規制情報を提供しています。
- 5 ライフカメラ**
観望所等に設置したライフカメラの動画・画像を提供しています。



走錨事故防止ポータルサイトにおいて“走錨事故防止に役立つ情報”を提供

- ・走錨事故防止のための普段からの備え、台風接近時の対応などをまとめた走錨事故防止ガイドライン（日本語、英語、中国語版等）
- ・全国各地の気象、海象に関する地域情報等を提供



走錨事故防止ガイドライン
地域情報

走錨防止の基本事項について

～ 走錨の早期の気づきと走錨認知後の対応 ～

公益社団法人 東京湾海難防止協会 安全事業部長 川口 修

1. はじめに

「走錨」は重大な海難事故に直結する蓋然^{がいぜん}性が高く、日本の海難史においても「走錨」に起因する重大海難が多く発生しており、昔から船乗りにとって荒天時に懸念すべき厄介な事象で、永遠の課題ともいえるのではないのでしょうか。

したがって、当協会においても、「走錨」が船舶の安全を阻害する深刻な問題であることを考慮し、走錨防止対策や錨地の安全管理等、走錨防止に関連する様々な検討を進めて参りましたが、このたび、(公社)日本海難防止協会情報誌「海と安全」に寄稿する機会をいただきましたので、これまでの検討内容を踏まえ、「走錨防止の基本事項」について寄稿させていただきます。

【参考】東京湾海難防止協会の「走錨防止に関連する検討内容」

＜平成 28 年度＞

「東京湾における荒天時走錨防止対策検討」報告書



＜令和元年度＞

「東京湾等における荒天時の走錨等に起因する事故防止対策検討会」報告書



＜令和 2 年度＞

「東京湾等における荒天時の走錨等事故防止対策に関するアンケート」



＜令和 3～4 年度＞

「京浜港（横浜区・川崎区）における錨地管理のあり方検討会」報告書



＜令和 5～6 年度＞

「京浜港錨地（横浜区・川崎区）の利用実態の評価に関する検討会」報告書



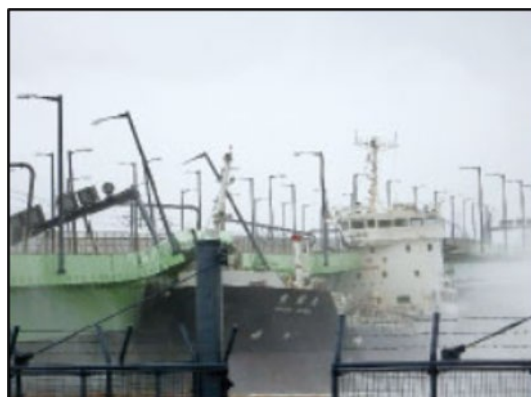
（注）必要以外の QR コードを手などで覆うようにしてご利用下さい。

2. 「走錨」が原因で発生した海難事故（振り返り）

船舶が輻輳する東京湾においては、これまで「走錨」に起因する海難事故やヒヤリハットが多数発生しており、令和元年 9 月、台風 15 号が首都圏を直撃した際には、100 隻以上の

船が走錨して、衝突などの海難事故が発生しました。

台風の通り道にある我が国では、昔から、走錨による重大な海難事故が発生しており、特に、昭和 29 年 9 月の台風 15 号（いわゆる洞爺丸台風）では、青函連絡船「洞爺丸」が沈没し、死者 1,155 名の海難史上最悪の海難事故となりました。また、平成 30 年 9 月、台風 21 号が大阪湾を直撃し、湾内に錨泊していたタンカー「宝運丸」が走錨して、関西国際空港の連絡橋に衝突したのは、記憶に新しいところです。

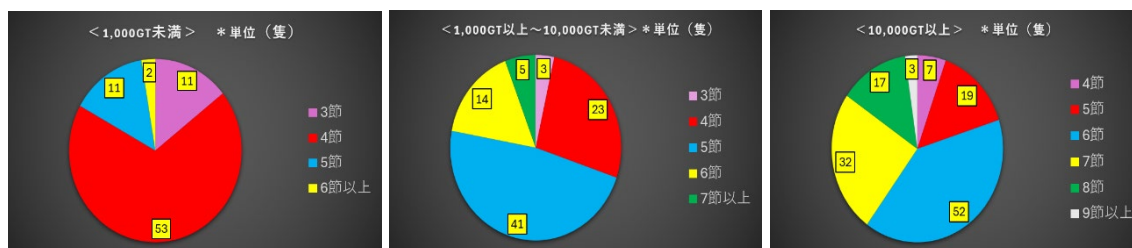


転覆した洞爺丸（出典：Wikipedia） 連絡橋に衝突したタンカー（出典：内閣府ホームページ）

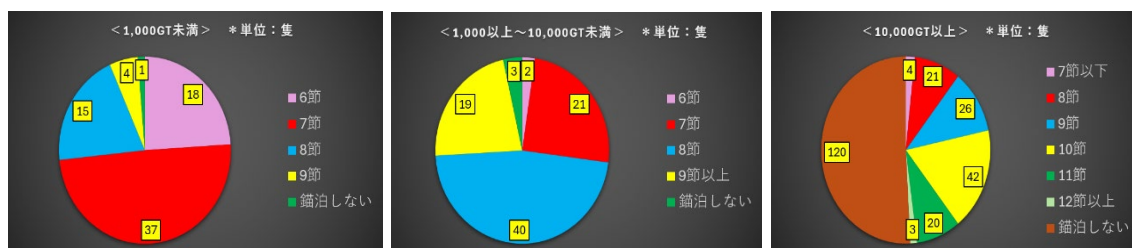
3. 走錨の防止に関する関係者の認識と対応

走錨防止の基本についてお話する前に、当協会が令和 2 年度に実施した「東京湾等における荒天時の走錨等事故防止対策に関するアンケート」の結果から、走錨の防止に関する関係者の認識と対応について幾つか抜粋して紹介させていただきます。

【平常時の使用節数】

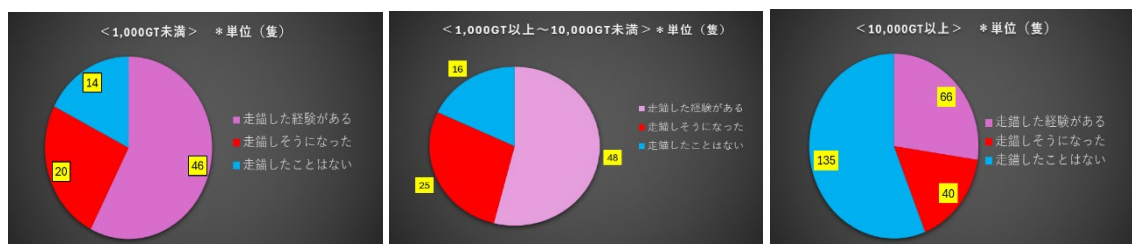


【荒天時の使用節数】



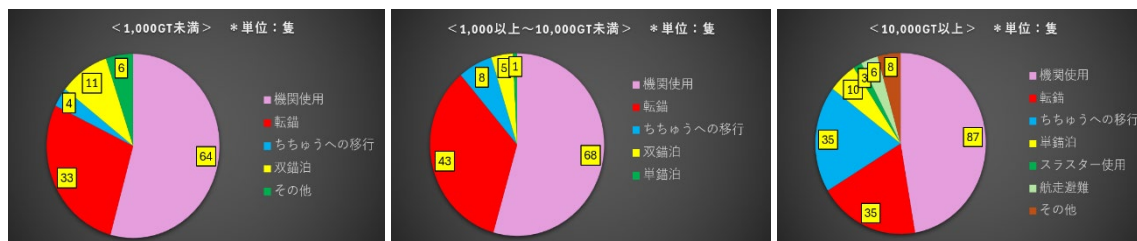
平常時の場合、総トン数 1,000 トン未満の船は 4 節使用、1,000 トン以上は 5 節使用が最も多く、10,000 トン以上になると、6～7 節使用の船の割合が高くなり、荒天時は、いずれの総トン数でも、平常よりも 3～4 節程度多く使用している傾向が窺えます。

【東京湾内における走錨の経験の有無】



総トン数 10,000 トン未満の船は、80%以上が走錨したか走錨しそうになった経験を有しており、一方、総トン数 10,000 トン以上では約 44%で、半数以上は経験なしという結果となりました。

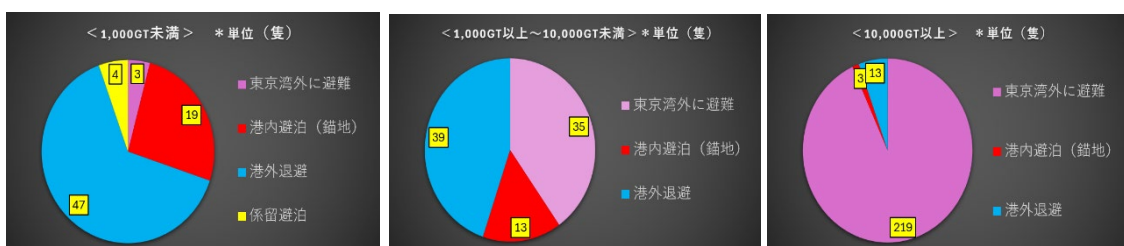
【走錨認知後の対応について】



総トン数にかかわらず、多い割合から順に機関使用、転錨となり、次に多かったのが、1,000 トン以上ではちちゅうへの移行、1,000 トン未満では双錨泊となりました。

なお、10,000 トン以上では、10,000 トン未満と比べて、船の装備を活用して色々な対応をとっていることが確認できました。

【強い台風が東京湾に接近する場合の避難先】



1,000 トン未満では港外退避が一番多く、次に多い港内避泊と合わせて全体の 90%に達しました。1,000 トン以上～10,000 トン未満は東京湾外への避難と港外退避がほぼ同数で合わせて約 85%程度、10,000 トン以上では、全体の約 93%が東京湾外へ避難していました。

4. 走錨の原因

走錨防止対策を考えるうえで重要となるのは、走錨の原因を理解し把握することです。ここで、走錨の原因をあらためて確認したいと思います。

船が走錨する原因を大別すると、自然現象や錨地の条件による環境的要因と錨泊・保船上の不適切に関連する人的要因の 2 つに分けられます。

具体例をあげると、前者は、錨の係駐力よりも錨泊場所の風や波・うねり、潮流などの外力が大きくなる場合、錨地の底質や海底の傾斜などで錨の係駐力の効果を得られない場合などが挙げられます。

また、後者の具体例としては、錨泊する際の錨鎖長の取り方、投錨方法（双錨泊、単錨泊の選択など）や錨泊時の見張りをはじめとする保船体制（気象に関する情報収集、守錨当直の体制、主機スタンバイの遅れなど）で不適切な点がある場合などが挙げられます。

それでは、これらの走錨の原因を踏まえて、走錨防止対策の基本について考えてみたいと思います。

5. 走錨防止の基本＜「早期の気づき」と「走錨の兆候を認知した後の対応」＞

走錨防止の基本は「早期の気づき」と「走錨の兆候を認知した後の対応」ですが、前項で確認した走錨の原因を踏まえつつ、走錨防止の基本事項である次の①～⑤について、「おさらい」の意味も含め順番に確認したいと思います。

- ① 最新の気象に関する情報の収集（気象・海象情報、台風・低気圧の進路予想など）
- ② 風、波・うねり、潮流等の自然現象を考慮した適切な錨地の選定
- ③ 船型や水深、底質に応じた十分な錨鎖長、適切な錨泊方法の決定
- ④ 船位、船種方位、錨鎖の張り具合の常時監視
- ⑤ 早めの機関のスタンバイと避難判断

【気象情報の収集】

台風接近時は特に、継続して収集する体制を維持するとともに、港長から発令される各種勧告についても確実に把握することが重要で、あらゆるリソースを活用する意識が必要です。たとえば、本船だけでなく、運航事業者や代理店など本船の運航に関する関係者（個人運航の船であれば家族も）との連携、協力も考慮する必要があります。

【錨地の選定】

荒天が予想される場合は、錨地の底質、水深をはじめ、風・波・潮流に対する遮蔽効果も考慮に入れるとともに、適切な錨地を確保できない場合、また錨泊船間を十分に確保できない場合は、錨泊以外の対応を検討する必要もあります。

【錨泊方法の決定】

本船の船型やこれまでの錨泊経験を踏まえたうえで、使用錨鎖長、単錨泊、双錨泊（V字 or Y字形の選択）、二錨泊、振れ止め錨など、錨泊する際の基本に立ち返るとともに、必要な場合はバラスト調整も考慮し、錨泊後は、把駐確認を励行することが重要です。

【錨泊状態の常時監視】

本船が装備する機器、器材と人的資材（乗組員のマンパワー）をフル活用することが必要です。錨泊当直（可能な場合は増員）を配置し、レーダー、AIS、GPS、目視で本船の位置と本船の周囲で錨泊する他船の位置を 24 時間体制で把握するとともに、無線（国際 VHF 等）を聴取することにより、異常な船位変化・錨鎖の挙動等により走錨の兆候を早期に検知して、走錨後の事故防止措置や他船に対する無線による注意喚起に迅速に対応することが重要となります。

なお、特に重要な走錨の早期の気づきのポイントは次のとおりですので、是非、参考にしてくださいと思います。

- ・ 風を両舷交互から受けずに片舷のみから受けるようになる場合
- ・ 異常なショック感を感じる場合
- ・ 錨鎖の張り具合が大きく変化し、通常と異なる場合
- ・ レーダー映像が変化する場合（固定物標の方位、距離の変化）
- ・ 本船の正横付近にある物標のトランジットが変化する場合
- ・ 他の錨泊船との位置関係が変化する場合
- ・ 走錨に関して無線による本船の呼び出しがある場合（「耳」見張り）

【早めの機関のスタンバイと避難判断】

鉄則は「タイミングを逃さず、早めに判断する」ということに尽きます。

特に、強い勢力の台風が接近する場合は、風勢が強くなる前に機関をスタンバイさせ、急速に変化する風向・風速に応じて、出力の調整を的確に実施しながら継続的に機関やスラスターを使用する必要があります。そして、本格的な走錨が始まってからでは、操船して船体を制御することが困難となることに留意し、機関等の使用によっても船位の保持が困難と判断した場合は、時機を失せず、直ちに転錨や他の海域への移動を考慮することが重要です。

6. おわりに

近年、地球温暖化により台風災害は激甚化し、今後も暴風特別警報の発表を伴う台風の発生が頻発するとともに、以前にも増して走錨海難が発生する蓋然性が高まって来ています。このような情勢において、走錨防止に関する関係者にとって重要なのは、「走錨するかもしれない」ではなく、「走錨する」という意識をもって、走錨防止に関する手段を尽くすことではないでしょうか。

そのためには、本稿の「走錨防止の基本事項」を励行していただくとともに、国土交通省海事局や海上保安庁による「走錨事故防止」に関する各種資料などを踏まえた安全管理マニュアル・チェックリスト、フローチャートの作成、船舶運航事業者による船舶の運航支援、港湾関係者や関係官公庁との連携、船舶乗組員の指導・教育等、関係者が一体となった効果的な走錨防止対策を推進することが望ましいと思いますし、また、ハード面に関しても、近年の AI 技術等を活用した走錨の早期認知システムの開発、導入も期待されるところです。

拙稿が皆様にお読みいただける頃は、まさに台風シーズンを迎えていると思いますが、少しでも「走錨防止」の参考にしていただけたら幸いです。

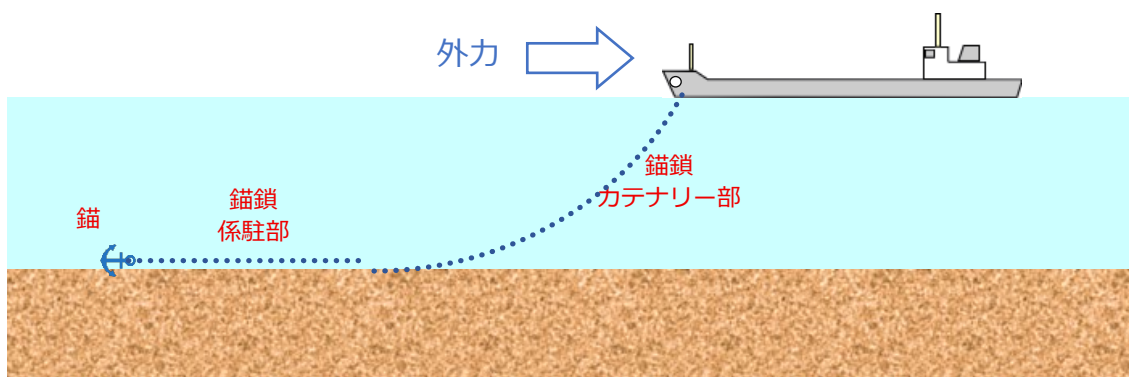
錨鎖の伸出量は適切ですか

「海と安全」編集部

錨泊する際の錨鎖の伸出量については学校で、通常時は $3d+90$ 、荒天時には $4d+145$ (d は水深、単位はメートル) と教わった記憶があります。この数字は錨地の底質やその船の風圧面積で異なってきますので、各船はこの式を目安に経験則で伸出量を調整したり、独自に算出している船（船社）もあろうかと思います。

本号では冒頭で「地球温暖化と台風の激甚化」について投稿を頂き、掲載しております。過去の経験だけで判断すると、場合によっては伸出量を誤り、走錨を引き起こす可能性があります。今回は錨鎖の適切な伸出量について考えてみたいと思います。

下の図は錨泊した際の錨・錨鎖・本船の概略図です。



海底にフリューク（爪）を立てた錨と、錨に接続された錨鎖のうち海底に接している部分（係駐部）が、船を繋ぎ留めておく「把駐力」として働きます。カテナリー部は把駐力はありませんが、係駐部を形成し、変化する外力を緩和するのに必要です。

外力が強くなると錨鎖が引かれ、だんだんと浮き上がり、係駐部が消失し、錨鎖全体がカテナリー部に移行すると把駐力は錨のみに依存し、外力に負けると走錨が始まります。

走錨を防ぐため、どれだけ錨鎖を伸ばさなければならないのか？ これを知るためには次の3ステップを踏む必要があります。

Step 1 予想される外力の推定

Step 2 錨と錨鎖による把駐力の算出

Step 3 外力に抗するために必要な錨鎖の伸出量の決定

Step 1 予想される外力の推定

潮流や波浪を考慮しないとした場合、船体が受ける外力、すなわち風圧力（F）を求めるには一般的にヒューズの式が用いられます。

【ヒューズの式】（注）元の式を簡略化しています。

$$F = V^2 \times (A \cos^2\theta + B \sin^2\theta) \times 0.06875$$

F：風圧力（kgf）

V：風速（m/sec）

A：水線上の船体正面投影面積（m²）

B：水線上の船体側面投影面積（m²）

θ：相対風向角（deg）

0.06875：1/2 × 空気密度 0.125 × 風圧計数 1.1

式を見て分かるとおり、風圧力は風速（V）の2乗に比例します。風速が2倍になれば風圧力は4倍、風速が3倍になれば風圧力は9倍になります。

風に正対しているときは正面投影面積（に係る数値）は最大となり、側面投影面積（同前）は0。風を正横から受けているときはその逆になります。一般的に正面投影面積より側面投影面積の方がはるかに大きいことから、船が真横から風を受けたときに風圧力が最大になることが予想されます。船体投影面積（A、B）は通常、完成図書に記載されています。

風圧計数は船種と風向角によって変動する数値ですが、本稿では従来から用いられている簡易値 1.0～1.2 の中間をとって 1.1 の値を使用しました。

一例として長さ 60m の仮想内航タンカー（船体正面投影面積：120m²、船体側面投影面積：360m²）について風速 10、20、30m/s における相対風向角 0、22.5、45、67.5、90deg の風圧力を計算してみます。風圧力の単位は tonf（kgf/1000）に換算しています。

相対風向角 → 風速 ↓	0deg 船首から 風を受ける	22.5deg	45deg	67.5deg	90deg 正横から 風を受ける
10m/sec	0.8	1.1	1.7	2.2	2.5
20m/sec	3.3	4.3	7.8	8.9	9.9
30m/sec	7.4	9.6	14.9	20.1	22.3

船が錨泊すると“8の字”運動により船体の風向角も変化します。上の例では船が正横から風を受けた場合、船首から受ける場合の約3倍の風圧力を受けることになります。

8の字運動をしている最中であれば相対風向角の最大はおよそ45deg くらいですが、いざ走錨が始まると、相対風向角は90deg 近くになり、その態勢を維持しながら圧流されていきます。そうすると揚錨は困難となり、揚錨できたとしても船の操縦を立て直すには広い海域が必要であり、その困難性は容易に想像できるかと思います。

Step 2 錨と錨鎖による把駐力の算出

把駐力（H）は錨の把駐力と錨鎖の摩擦力の和であり、次の式によって求められます。

$$H = Wa \times Ra + Wc \times Rc \times L$$

H：把駐力（kgf）

Wa：錨の水中重量（kg）

Ra：錨の把駐抵抗係数

Wc：錨鎖の 1m あたりの水中重量（kg/m）

Rc：錨鎖の摩擦抵抗係数

L：錨鎖（係駐部）の長さ（m）

錨と錨鎖の重さは完成図書に記載されています。水中重量（Wa、Wc）はそれぞれの重さに 0.87 を掛けた値。錨の把駐抵抗係数（Ra）と錨鎖の摩擦抵抗係数（Rc）は底質によって変わるため完成図書には記載されていませんが、下表の値が目安とされています。

抵抗係数 → 底質 ↓	錨（JIS タイプ B） 把駐抵抗係数	錨鎖 摩擦抵抗係数
砂	7.0	0.75～1.0
泥	10.6	

ここで前出の仮想内航タンカー（錨：JIS タイプ B・1,300kg、錨鎖：33kg/m、1 節：25m）が単錨泊した場合について、係駐部の長さが 0～12 節の把駐力を計算してみましょう。錨鎖の摩擦抵抗係数は中間をとって 0.875 としました。0 節は錨のみの把駐力です。把駐力の単位は tonf（kgf/1000）に換算しています。

係駐部長さ → 底質 ↓	0 節 0m	1 節 25m	2 節 50m	4 節 100m	8 節 200m	12 節 300m
砂	7.9	8.6	9.3	10.4	12.9	15.5
泥	12.0	12.7	13.2	14.5	17.0	19.5

上の表を見て分かりますとおり、12 節すべてが着底したとしても錨鎖の把駐力は錨の把駐力を下まわります。錨の重要性が分かります。

錨鎖の伸出量を決めるには係駐部に加えカテナリー部のことも考慮しなくてはなりません。カテナリー部の長さは水深と外力によって変化する値で、その長さ（C）は以下の式で求められます。

$$C = \sqrt{D^2 + 2D \times (F/Wc)}$$

C：錨鎖（カテナリー部）の長さ（m）

D：海底から本船ベルマウスまでの高さ（m）

F：風圧力（kgf）

Wc：錨鎖の 1m あたりの水中重量（kg/m）

水深 12m、水面からベルマウスまでの高さ 3m であった場合のカテナリー部の長さを、風速 0（無風）、10、20、30m/sec で計算してみましょう。風圧力（F）は、前出、風速と風向角から風圧力を求めた表から相対風向角 45deg の値（8 の字運動をしている（走錨していない）間のおよそ最大値と思われる数値）を使用します。

風速	相対風向角 45deg における 風圧力	カテナリー部の長さ C
0m/sec	0tonf	15 (0.6 節)
10m/sec	1.7tonf	44 (1.8 節)
20m/sec	7.8tonf	92 (3.7 節)
30m/sec	14.9tonf	126 (5.0 節)

風速が増すにつれカテナリー部の長さは増加します。もし錨鎖 8 節を有している船が全節を繰り出したとしても、風速 30m/sec ではカテナリー部は 5 節となり、係駐部は残りの 3 節のみ。半分以上が海底から浮いた状態となります。

Kg と Kgf の違い

これまで風圧力の単位は kgf（あるいは tonf）で表してきました。kg とどう違うのでしょうか。

kg（キログラム）が質量の単位であるのに対し、kgf（キログラムフォース）は重さ・力の単位です。

ここに 6kg の「おもり」があるとします。その質量は地球でも月でも 6kg です。地球上でこの「おもり」を手で持ち上げるのに必要な力は 6kgf ですが、月でこの「おもり」を持ち上げようとした場合、月の重力は地球の 1/6 です。必要な力は 1kgf となります。

前表で風速 30m/sec（相対風向角 45deg とした場合）における風圧力は約 15tonf です。これは地球上で 15ton の「おもり」を持ち上げるのに必要な力で船が押される、ということで、錨と錨鎖はこの力に対抗しなければならない訳です。

Step 3 外力に抗するために必要な錨鎖の伸出量の決定

今までは風圧力だけを考慮してきましたが、実際は船体にこれ以外の外力も加わります。例えば、8 の字運動に伴い錨鎖に瞬間的な強い張力が発生します。これは船体が 8 の字の端に振り切れ、再び中央に戻る際に発生し、最大張力は船体正面投影面積の、小型船で 3～5 倍、大型タンカーで 1.5～3 倍とされています。これらはカテナリー部が効果を発している状況であれば、ある程度カテナリー（の弛み）によって緩衝されるものと思われます。

また、波浪による外力は海域の海象状況にも左右され、船が小さいほど大きく影響を受けます。一方、大型船は慣性力（現在の状態を維持しようとする力）が大きいため、慣性力が外力の変動をある程度吸収することが期待されます。

ここで、0 から 30m/sec まで、5m/sec 毎に必要な錨鎖の伸出量 (L + C) を計算してみたいと思いますが、前述の風圧力以外の外力の存在、あるいは安全率を勘案し、ここでは最大値である相対風向角 90deg における風圧力の値を使用し、「風圧力 (F) = 把駐力 (H)」として計算してみます。以下、使用する式と緒元を再掲します。

$$\text{風圧力 } F = V^2 \times (A \cos^2 \theta + B \sin^2 \theta) \times 0.06875$$

$$\text{把駐力 } H = W_a \times R_a + W_c \times R_c \times L$$

$$\text{カテナリー部の長さ } C = \sqrt{D^2 + 2D \times (F/W_c)}$$

船種：内航タンカー 長さ：70m 船体正面投影面積：120m² 船体側面投影面積：360m²

錨種類：JIS タイプ B 錨重量：1,300kg 錨把駐抵抗係数：砂 7.0、泥 10.6

錨鎖重量：33kg/m 錨鎖摩擦抵抗係数：0.875

水面からベルマウスまでの高さ：3m 泊地水深：12m

風速	外力 F	係駐部長さ L	カテナリー部長さ C	錨鎖伸出量 L + C
		砂		砂
		泥		泥
0m/sec	0.0	0	15	15 (0.6 節)
		0		15 (0.6 節)
5m/sec	0.6	0	29	29 (1.2 節)
		0		29 (1.2 節)
10m/sec	2.5	0	53	53 (2.1 節)
		0		53 (2.1 節)
15m/sec	5.6	0	78	78 (3.1 節)
		0		78 (3.1 節)
20m/sec	9.9	79	103	182 (7.3 節)
		0		103 (4.1 節)
25m/sec	15.5	302	128	430 (17.2 節)
		140		268 (10.7 節)
30m/sec	22.3	573	153	726 (29.0 節)
		410		563 (22.5 節)

錨の把駐力だけで 7.9tonf (砂)、12.0tonf (泥) あることから、理論上では 15m/sec (砂)、20m/sec (泥) までは錨だけで本船を保持することができます。それ以上になると錨鎖 (係駐部) の助けが必要になりますが、錨鎖の把駐力は 1m あたり 25kgf (0.025tonf) しかありませんので、必要な錨鎖の長さは急激に長くなっていきます。底質が砂であったり、底質が泥であっても風速が 25m/sec 辺りになると、錨鎖を全量繰り出すか、それでも無理な場合は二錨泊を検討しなければならないかもしれません。

ただし、二錨泊は絡み錨を引き起こす可能性があるので、風向・風速の変化予測、それに

伴う転錨計画、あるいは錨地の地形や混雑状況も検討しなければなりません。風速が 20m/sec を超えてくれば徐々に操船が困難になり、もし走錨が始まれば揚錨や船の姿勢保持もままならなくなります。無理な錨泊はせず、安全第一を旨としてください。

L=3d+90、L=4d+145 との比較

風速 20m/sec までを 3d+90、20m/sec を超えると 4d+145、として今までの計算結果と比較してみました。(水深：12m、底質：泥)

	外力 F	錨鎖伸出量 L + C	L=3d+90 L=4d+145
0m/sec	0.0	15 (0.6 節)	126 (5.0 節)
5m/sec	0.6	29 (1.2 節)	"
10m/sec	2.5	53 (2.1 節)	"
15m/sec	5.6	78 (3.1 節)	"
20m/sec	9.9	103 (4.1 節)	"
25m/sec	15.5	268 (10.7 節)	193 (7.7 節)
30m/sec	22.3	563 (22.5 節)	"

本稿で計算に使った仮想船に関して言えば、“3d+90”については概ね適正なるも 10m/sec 以下では過大、“4d+145”にあつては過小となっています。外力に大きめの数値を用いたせいもありますが、皆様はこの結果をどう思われますか。

“8 の字”運動で安心していませんか

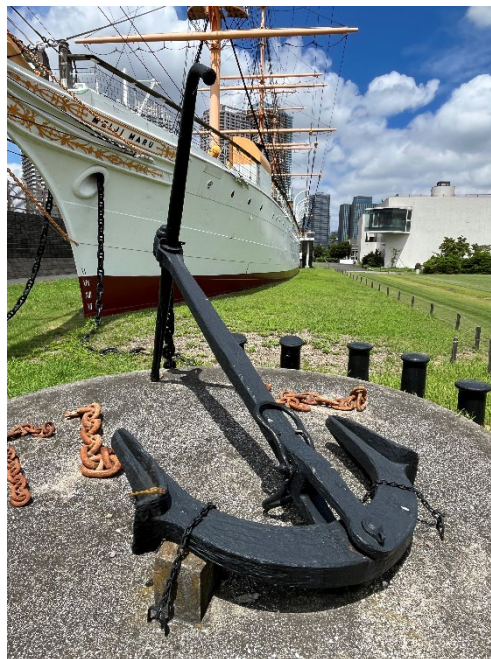
今までは 8 の字運動（振れ回り）をしている間は走錨しておらず、それが止まると走錨する、と言われてきましたが、GPS の普及により船位が正確に分かるようになったことで、振れ回りと走錨の間にもう一段階あることが分かってきました。振れ回りながら少しずつ走錨が始まっている段階です。

正常な錨泊	振れ回りをしており、錨の位置は動いていない。
振れ回り走錨	振れ回りはしているが、錨の位置が少しずつ風下に移動している。 船が風上に向いているので揚錨して転錨あるいは避航できる可能性がある。
圧流走錨	振れ回りが止まり、風を側面から受けた状態で風下に圧流される。 風を側面から受けているので揚錨が困難で、揚錨できない可能性もある。 揚錨できなければ操船が開始できず、そのまま圧流される。 揚錨ができたとしても時間がかかり、その間も圧流が続いている。 揚錨ができても舵が効くまでに広い海域を要し、その間も圧流が続いている。 海域が限られていれば舵が効かないまま危険に近づく。 既に風速が操船できる限界を超え、思うように操船できず危険な状態になる。

本船が振れ回りをしているからと安心できなくなりましたね。しかし裏を返せば、圧流走錨に至る前の 振れ回り走錨の段階で転錨あるいは避航できるチャンスがある！ ということです。このチャンスを逃さないよう、厳重な見張り、特に船位の変化に気を付けましょう。また、万が一、走錨が始まった場合の転錨や避航に備え、機関部（科）を交え、事前に段取りを決めておきましょう。

終わりに

本稿では風速と必要な錨鎖の伸出量について解説してきました。一例として仮想の船で錨鎖の伸出量を計算してみましたが、風圧力を多めにとったため、必要な伸出量が相当大きくなってしまいました。しかしながら、底質の状況によって良好な把駐力がいつも得られるとは限らず、また風圧力は風速 20m/sec を超えた辺りから爆発的に増大することはご理解いただけたことと思います。錨泊に当たっての注意事項等は他の記事にお譲りしますが、錨泊された際には厳重な見張りを怠らないようにしてください。



東京海洋大学「明治丸」の錨
いつの世も錨は航海者に安心を与えてきました

参考 本田啓之著「操船通論」（成山堂）