

災害波及メカニズムの構造化による 東京湾中央航路の閉塞発生シナリオの分析

(正) 赤倉康寛（国土技術政策総合研究所）、(正) 小野憲司（港湾空港技術研究所）
長津義幸（前国土技術政策総合研究所）、荒牧健（日本海洋コンサルタント）

1. まえがき

信頼度が高く、比較的低廉な海上輸送の進展が、経済のグローバルゼーションを支えてきた。図－１に、世界の自動車部品の貿易フローを示すが、北米地域を除けば、その多くが海上輸送に依っている。一方で、ジャスト・イン・タイムに代表される高効率なサプライチェーンは、余裕度が少ないため、輸送の停滞に対して脆弱性を有している。図－２に、2014～2015年の米国西岸港湾の労使交渉に伴う混乱時の、日本からの自動車部品の輸送経路を示すが、平常時にほとんどの輸送を担っていた西岸港湾経由の輸送が大幅に停滞した際、航空輸送で代替されていたが、十分な部品が届かず、北米工場では減産を強いられた。2020年後半以降のサプライチェーン・クライシスにおいても、コンテナ輸送は大きく混乱した。

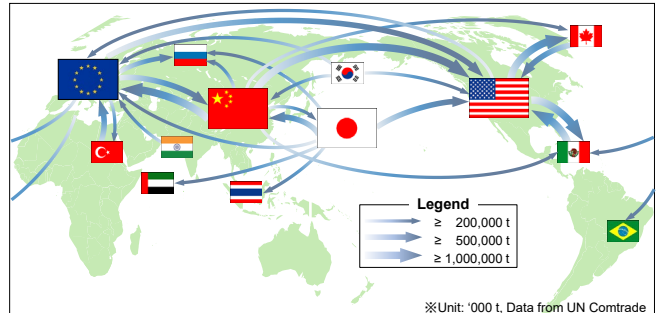
国際運河や海峡は、船舶航行が集中する“ホットスポット”であるが、2021年のスエズ運河の閉塞により、これらのホットスポットが通航不能となるリスクが明らかになった。東京湾でも、1974年にタンカー・第拾雄洋丸が貨物船と衝突して爆発炎上しており、1997年にはタンカー・ダイヤモンドグレースが浅瀬に抵触して油が流出した。

東京湾の港湾では、全国の外貿コンテナ貨物輸送の36%、原油輸入の33%、LNG輸入の45%を担っており、万が一、東京湾の航路が閉塞した場合には、我が国の経済社会活動に甚大な被害が発生する可能性がある。以上の背景を踏まえ、本研究では、東京湾の航路閉塞等による経済社会影響を分析し、その対応方策を検討していくこととしており、

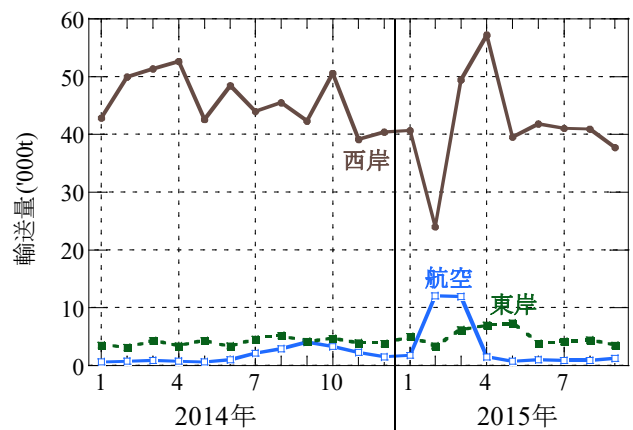
その中で、本稿では、東京湾中央航路の閉塞等航行障害の発生可能性について、様々な原因事象を想定し、その事象の波及メカニズムを構造化することにより、シナリオ分析を行った結果について報告する。

2. 分析手法

過去、東京湾中央航路の航行障害（航路閉塞及び航行制限）の事象として前例のない、もしくは、発



図－１ 世界の自動車部品の貿易フロー（2018）



図－２ 米国西岸港湾混乱時の自動車部品輸送経路



図－３ スエズ運河閉塞（2021年3月）

生確率が低いものの一旦発生すると重大な損失につながりかねない「テールリスク」も原因事象として分析対象にするため、国際リスクガバナンス協会によるマラッカ・シンガポール海峡の航路閉塞リスク分析¹⁾や、環境省による気候リスク・機会のシナリオ分析²⁾を参考として、シナリオ分析の手法を採用した。手順は、①航路航行障害の発生が想定される災害データベースを構築し、②フォールトツリー分析により航路航行障害のメカニズムを可視化した上で、③過去の海上輸送途絶被害の分析、④事故事例から帰納的に導かれる事故シナリオの作成である。原因事象を網羅的に洗い出し、その波及メカニズムを論理的にたどるために、包括的なフォールトツリー分析を行った上で、過去事例の分析を踏まえ、航路航行障害発生シナリオを作成した。

3. 事例収集と災害データベース構築

国内外における航路航行障害を招いた、もしくは、発展する可能性が想定された海難事故例を、Lloyd's List誌記事、英国海難事故調査局報告書、国土交通省運輸安全委員会資料、海難審判庁審査資料、論文等より収集整理した。また、石油コンビナートや倉庫等の火災・爆発事例、テロやサイバー攻撃等の事例についても収集し、災害データベース（合計125事例、分類：表－1）を構築した。さらに、航路航行障害の事例については、航路の閉塞・航行制限の期間から、その深刻度を短・中・長期に整理した（表－2、図－4）。

4. フォールトツリー分析

トップイベントを東京湾中央航路の航行障害とするフォールトツリーにより、①障害事由、②障害内容、③障害原因との形で、災害波及メカニズムの構造を整理した。例えば、航路内において沈船や座礁船が生じること（障害原因）によって、航路水深、または、航路幅が確保できなくなる（障害事由・内容）。また、積荷の海面流出が障害原因となって、船舶の安全な航行が阻害さ

れる。障害事由は、これらのような船舶航行空間の物理的閉塞の他に、浮遊可燃物の引火による海面火災の発生や、有毒ガスの放出によっても船舶航行の安全が阻害される。さらに、視界不良のような悪天

表－1 航路航行障害に繋がる可能性が想定された原因事象

分類	原因事象例
海難事故	海難事故 東京湾：第拾雄洋丸、ダイヤモンドグレース事故、関門航路：ガオトン沈没、海外：スエズ運河封鎖等
	その他の航路閉塞 霧による航路航行禁止、火災による熱風・有毒ガスの影響、荷崩れ等によるコンテナの流出等
	危険物 危険物船の海難事故による有害・危険物質の流 輸送事故 出・炎上等
コンビナート等火災	東日本大震災による千葉製油所の火災・爆発事故事例、天津港・ベイルート港爆発事故事例等
火山噴火	富士山宝永噴火、富士山噴火による降灰被害想定、桜島大正噴火、小笠原等海底火山噴火による軽石漂流・漂着事例等
サイバー攻撃	サイバー攻撃件数の経年変化、中東・黒海における船舶・港湾管理システム・石油コンビナート等に対するサイバー攻撃等
航空機墜落	航路周辺海域での航空機墜落事故（日本航空350便墜落、全日空羽田沖墜落、B737ジャカルタ沖墜落等）

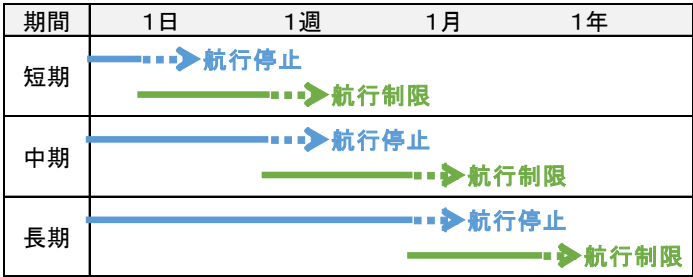
表－2 航路航行障害事例と深刻度

発生箇所	船名等	事故処理期間	航行障害の深刻度	
東京湾	第拾雄洋丸	12 日間	航路閉塞**	中期
	ダイヤモンドグレース	2 日間	航行制限	短期
関門航路	ガオトン	15 時間	航路閉塞	短期
		9 時間	航行制限	短期
	チューハイ	4 日間	航路閉塞	中期
		221 日間	航行制限	長期
東京湾（想定）	東京湾リスク報告書 ³⁾	6 時間	航路閉塞	短期
		27 日間	航行制限	中期
	第二海堡で危険物船が座礁炎上*	20 日間程度	航路閉塞	中～長期
	危険物船とPCC	20 日間程度	航行制限	中～長期
	船が衝突炎上*	3 日間程度	航路閉塞	中期
		420 日間程度	航行制限	長期

*「東京湾（想定）」は、サルベージ企業へのヒアリング結果をもとに事故処理期間を設定。

船種や船体により処理期間が変化するため、深刻度は中～長期とした。

**東京湾内で爆発炎上を続けたため、航路閉塞が発生したと想定



図－4 航路航行障害の深刻度の整理

候時には海上保安官署が入航の停止措置をとる他、灯浮標や航行管制システムが機能を失って航行支援機能が失われる場合にも、航路閉塞が発生する可能性を排除し得ない。

また、例えば、航路内に沈船が生じる場合（③障害原因）について、その誘因は、船舶同士の衝突や船舶火災の発生等様々な要因が考えられ、それらを引き起こす素因として悪天候などの自然現象の他、操船や積荷管理のミス、さらには、サイバー攻撃や船舶の爆破、乗っ取りのようなテロ行為等の人為災害なども想定されることから、おおもとの原因となる⑥災害原因とその⑤増幅要因、直接的に③障害原因を引き起こす④災害事象との構造に整理した。なお、具体例については後述する（図－6）。

5. 海上輸送途絶被害の分析及びシナリオの作成

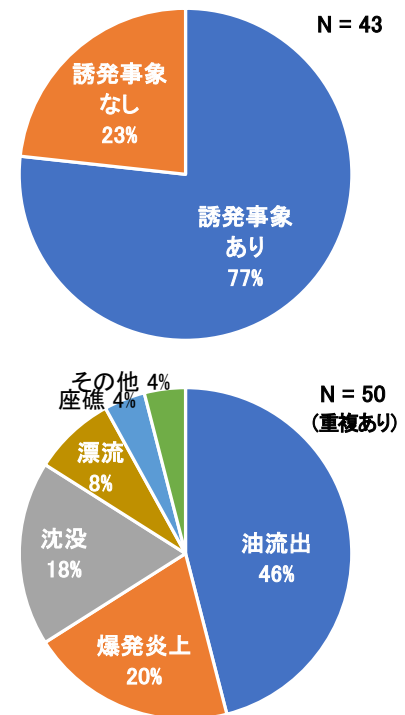
5.1 船舶衝突の例 東京湾は世界有数の船舶輻輳海域であり、2006年からの10年間ににおける事故発生件数（海上保安協会資料）に基づけば、浦賀水道において、0.016回/日で、平均2ヶ月に1回の頻度で事故が発生していた。また、2018年台風15号では、東京湾内に避泊していた345隻のうち、107隻が走錨し、19隻が衝突、6隻が座礁していた（第3管区海上保安本部資料）。

事故により、10万トン級のコンテナ船やVLCCタンカーが沈没すると、その船体により、浦賀水道航路の1方向航路の幅の半分を占める可能性がある。原油流出については、ダブルハル化の進展によりリスクが著しく減少したが、化学薬品等の危険物の流出事故は継続的に発生している。災害データベースでは、世界各海域での衝突事故は43件あり、約8割が、油流出、爆発炎上、沈没といった誘発事象を発生させていた（図－5）。

船舶衝突による航路航行障害の発生シナリオは、衝突が沈没等を誘発し、沈没船等を避けるための暫定航路の設置・周知、航行支援施設の移設等に1～2週間を要し、この間、航路の全面閉鎖を余儀なくされる可能性があり、また、沈船からの油抜き取り、再浮上又は船骸の解体、撤去などの作業も生ずることが想定される。この場合、航行障害が長期に及ぶシナリオとしては、爆発炎上により燃料油や有害・危険物質、コンテナ等が流出し、航行の安全性確保のための航行停止や、沈船の解体・サルベージ、積み荷の回収のため、状況により、数か月～1年を超える期間の航路航行制限が発生する可能性を排除し得ない。

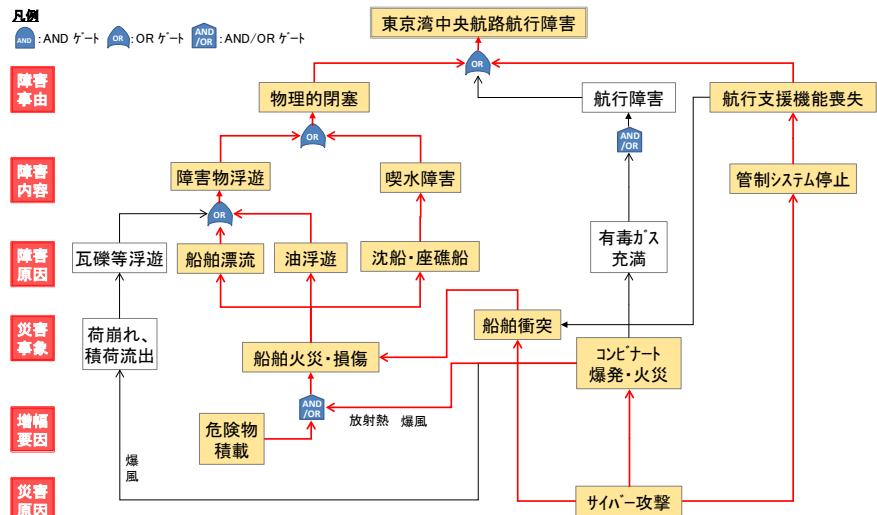
5.2 サイバー攻撃の例 船舶へのサイバー攻撃では、GPSのジャミングや誤った情報を与えるスプーフィング、航海システムのハッキングによる乗っ取りの事例が報告されており、港湾ターミナルへのサイバー攻撃でも、2017年のMaersk社システム、2020年のイランの主要港湾、2021年の南アフリカの国営物流会社Transnetへのサイバー攻撃によって、ターミナルの機能停止や大幅な機能低下が発生している。2014年にはドイツの製鉄所の溶鉱炉の制御システムへの攻撃により生産設備が損傷し、2018年にはイランの石油コンビナートの制御システムへの攻撃により火災が発生している。

サイバー攻撃による航路航行障害発生シナリオのフォールトツリーを図－6に示すが、船舶への攻撃によるシナリオとしては、大型コンテナ船やタンカー、危険物船の操舵システム等の乗っ取りにより衝突事故が発生し、爆発炎上、沈没、積荷流出等へ発展する可能性を排除し得ない。航行管制システムへの攻撃では、船舶位置情報（AIS）やバーチャルAIS航路標識の無効化や、東京湾航行管制センターのレーダシステムのウイルス汚染による無力化で航行支援機能が喪失すると、短～中期間の航路航行停止が発生する



図－5 船舶衝突の誘発事象・内容

可能性も排除し得ず、最悪の事態は、航路の航行船同士の衝突事故や沈没、爆発・火災事故等への発展である。コンビナートへの攻撃では、化学プラントや高圧ガスタンクの制御が困難になり、可燃性ガスの漏出、引火、巨大規模BLEVE発生等へ発展し、付近を航行中の船舶への延焼・損傷等に繋がり、漂流船の乗務員救助、曳航等に数日～1週間程度を



図ー6 サイバー攻撃による航路航行障害のフォールトツリー

要し、この間、航路の一部区間の航行停止や航行制限が発生するリスクを無視し得ない。

5.3 航路航行障害発生シナリオ（案） これまで述べてきた例のように、原因事象毎に、フォールトツリーに基づいてシナリオ（案）を作成しており、その全体（簡略版）を、表ー3に示す。航路航行障害発生の可能性については、3種類に分類したが、多くの論点が残されており、今後、専門家へのヒアリングにより、深刻度も含めて、精緻化が必要と考えている。

表ー3 東京湾航路航行障害発生シナリオ（案・簡略版）

分類	区分	航行障害発生の可能性	論点	深刻度
海難事故	船舶火災	可能性を排除し得ない	東京湾内で運悪く火災が発生し沈没に至るか？	中～長期
	船舶衝突	可能性はある	航行管制システムの発達により、現時点での発生可能性は低いのでは？	中～長期 短～中期
	船舶座礁	可能性を排除し得ない	湾外で荷崩れや機関故障等があった船の入湾では、エスコート船等により十分な安全が確保されるのでは？	中～長期
	荷崩れ事故	可能性を排除し得ない		中～長期
コンビナート等火災	機関故障・船体損壊	可能性を排除し得ない		中～長期
	ガスタンク爆発・炎上	可能性を排除し得ない	類似事例の報告もない中で、事態想定は現実的か？	短期
	発電所タンクの火災	可能性を排除し得ない		短期
	毒性ガス放出・拡散	可能性を排除し得る		—
火山噴火	降灰	可能性を排除し得ない		短期
	軽石等漂流	可能性を排除し得ない	閉鎖性の東京湾内への大量流入が発生するか？	短期
サイバー攻撃	対船舶			短～長期
	対航行管制システム	可能性を排除し得ない		短～中期
	対コンビナート		コンビナート等火災と同じ	短期
航空機	航空機墜落	可能性を排除し得ない	航空機・官制技術の向上で、現時点の想定は不要か？	短～中期

障害発生の可能性:「可能性はある」は東京湾での事例あり、「排除し得ない」はメカニズム及び他海域等での発生により、可能性を否定できなかったもの

6. おわりに

今後、本稿に記載の航路航行障害発生シナリオに加え、経済社会影響シナリオも高度化させ、その対応策の立案に繋げていきたい。

謝辞：本研究は、科研費22K040647の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) International Risk Governance Council: Risk Governance of Maritime Global Critical Infrastructure: The example of the Straits of Malacca and Singapore, 2011.
- 2) 環境省：TCFDを活用した経営戦略立案のススメ～気候変動リスク・機会を織り込むシナリオ分析実施ガイドver.3.0～，2021.
- 3) 海上保安庁：東京湾におけるリスク・アセスメントに関する調査研究報告書，2002.