

図2-27 最終油膜サイズの90%に達するまでの時間

査により代表的な多相流計算アルゴリズムとしてVOF法、CIP法及びLevel-set法を採りあげ、それぞれの手法の得失を評価した。その結果、本研究ではこれらのアルゴリズムの中で最も計算精度が高いと考えられるLevel-set法を採用した。

(2) 氷板下流出油の拡散シミュレーション

平坦氷板下に流出した油の拡散挙動をLevel-set法で計算した。本研究ではカリフォルニア大学デビス校のサスマン助教授（研究当時）が開発した計算コードをベースに、氷板と水・油の三相が交わる接触点における接触角に関する境界条件を与えることによって固液間の界面張力をモデル化する手法を新たに提案した。

図2-28に氷板下流出油の軸対称拡散シミュレーション結果の一例を示す。ただし、油の比重及び動粘性係数はそれぞれ0.878 g/cm³及び0.254 mPa・sであり、油の流量率は24.59 cm³/sである。ただし接触角は160°とし、油水の界面張力は49.2 mN/mとした。本計算で設定したパラメータは平成8年度に氷海水槽で実施した実験結果と一致させている。時間の経過とともに油が拡散していく様子が図の曲線（=油水界面）の移動によって示されている。油が拡散する速さを実験結果と比較した結果、両者は非常に良く一致し、本計算手法の精度が十分に高いことがわかった。

2.3.4 まとめ

平成8年度及び9年度には流れのない条件下で氷盤下に流出した油の軸対象拡散に関する実験的及び理論的検討を実施した。その研究成果は平成10年度に

実施された数値シミュレーションの妥当性を検証するデータとして用いられた。これらの研究では氷盤底面の凹凸がない理想化した状態のみを対象としたが、実際の氷盤底面には凹凸がある場合が殆どである。この場合には局所的な窪みに油がトラップされるために、凹凸のない場合に比べて拡散範囲は狭くなると考えられる。従って、本研究結果は、十分に大きな氷盤の底面に油が流出した場合について、氷盤と流れの相対速度がない条件の下で初期に拡散し得る範囲の最大値を与えるとして解釈できる。

現実には氷盤底面の凹凸とともに氷盤とその下部の流れに相対速度が存在する。そこで相対速度の影響について平成10年度に氷海水槽を用いて実験を行った。その結果、油の移動速度が相対流速及びスリック半径に依存することを示すとともに、相対流れを有する現実に近い状況の下で油による汚染領域が拡散・移動するシナリオを提示した。

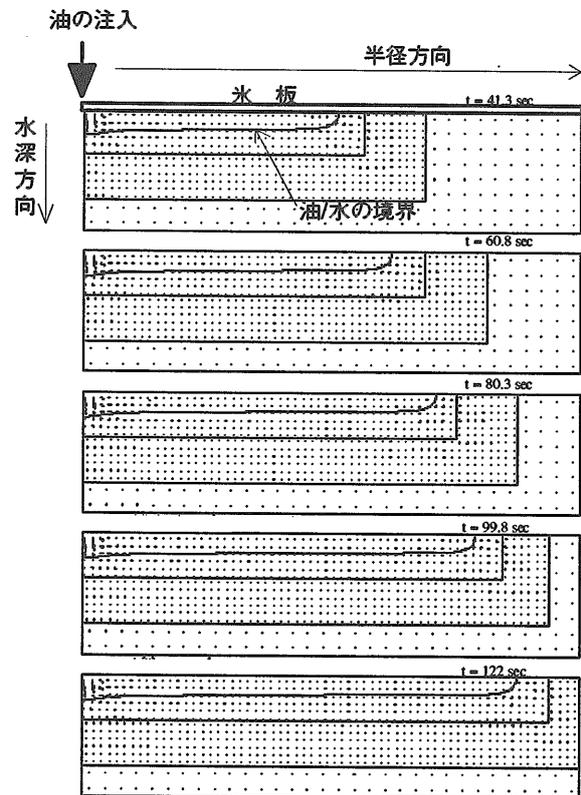


図2-28 氷板下流出油の軸対称拡散シミュレーション結果

2.4 オホーツク海海水データベース

2.4.1 概要

冬季オホーツク海で油流出事故が起きた場合、除去・漂着防除作戦の立案・実行には海水データが必

須である。また、将来、油を含有した海水の拡散数値予測を行う場合にも、基礎データとして海水データが必要となる。このため、本研究では、現状で手に入る限りのオホーツク海海水のデータを収集し、データベース化することとした。データベースは、氷密接度データベース、氷厚データベースの2種類のデータベースから構成される²⁶⁾。

2.4.2 氷密接度データベース

海水氷密接度データは、5日毎の氷密接度情報であり、気象庁及び第一管区海上保安本部のデータを基に作成した。現在1989年～96年度の7年分の海水期のデータを保有しており、海域の範囲は東経135度～162度、北緯42度～61度とオホーツク海ほぼ全域をカバーしている。分解能は15分×15分であるため、東西に約20 km、南北に約28 kmのセル毎のデータとなる。このセル毎に、氷密接度を0、1-3、4-6、7-8、9-10の5段階に区分し、青、緑、黄、赤と5色で色分して表示を行う。図2-29はその表示例である。

データベースソフトウェアは、Java言語とHTMLの組み合わせで独自に開発したものであり、インターネットのブラウザ (Netscape NavigatorやInternet Explorer等) を使用して、パソコンレベルで検索することが可能である。

氷密接度データベース使用の際は、Select Windowを表示させ、プルダウンメニューから、年平均、月平均、週 (5日毎) かを選択し、期間を選べば密接度が表示される。データベースとしては5日毎のデータを持っており、年平均、月平均はJava言語によってここから計算する。表示海域はズームイン、ズームアウトも可能である。年平均密接度の表示は、年間を通じて密接度の高い海域がわかるとともに、年毎の海水の勢力の強さの比較も行うことができる。

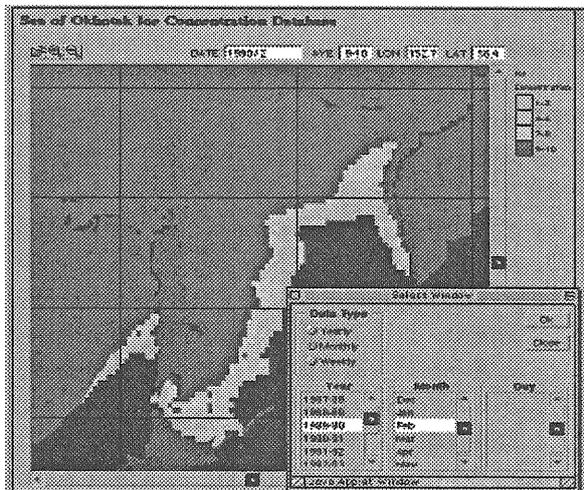


図2-29 海水氷密接度データベース表示例

2.4.3 氷厚データベース

氷厚情報は、作戦立案上、非常に重要性が高い情報であるが、現在のところ、衛星リモートセンシングによって定量的な情報を得ることは困難である。これを補完する目的で、当所では1991年より海上保安庁装備技術部と共同で冬季オホーツク海の氷厚データ収集を行って来た^{27), 28), 29), 30), 31)}。船上に設置したCCDカメラにより、船体によって割れて起きあがってくる氷塊をVTRに納め、画像解析により氷厚を解析する。

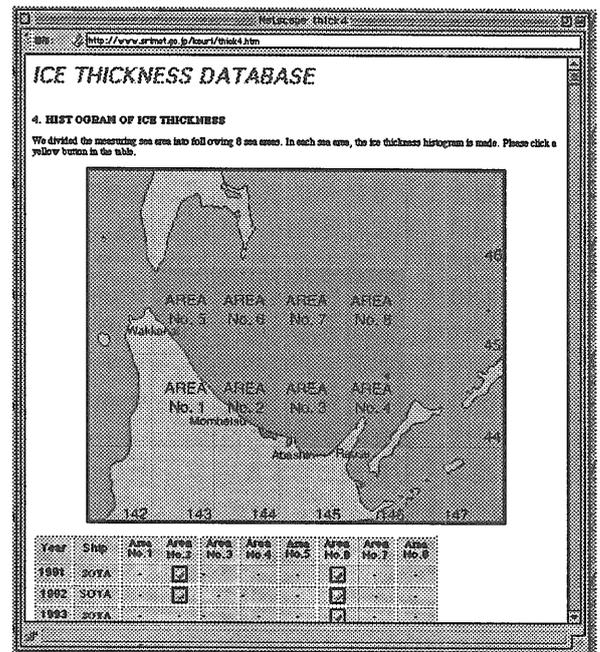


図2-30 実船試験海域分割方法

1991年から毎年行われている計測海域は、東経142度～146度、北緯44度～46度の範囲に集中している。そこで、これを図2-30に示すように、東経、北緯とも1度毎、8つの海域に分割し、海域ごとの氷厚のヒストグラムを計算した。データベースはHTML言語で作成されており、海域をクリックすることにより、図2-31に示すような海域ごとの氷厚のヒストグラムが表示される。時間的・空間的にも局所的なデータではあるが、希少な氷厚情報として注目度は高い。

2.5 油汚染対策の全体システム

2.5.1 あらまし

流出事故への対応を考察する際、事故現場の海域・海岸域の地理的・生態学的特徴や気候・海洋学条件を基礎として、起こりそうな事故のシナリオや流

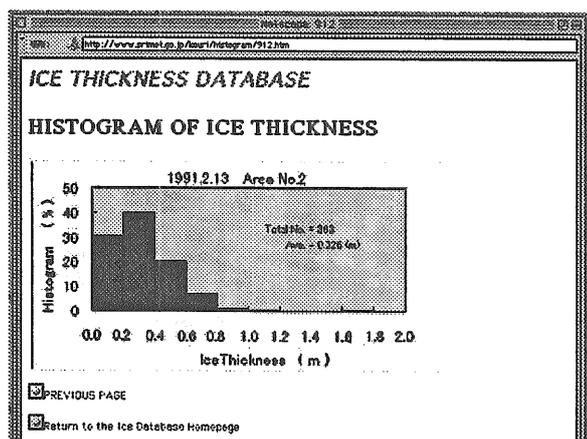


図2-31 氷厚ヒストグラム例

出油の種類などを想定する。こうした想定の下で、事故防止の施策、環境影響評価、流出の監視、緊急対応体制、油回収・処理技術や作戦支援のソフトの体系などを有機的に統合した体系を「全体システム」という。寒冷海域に対応するため、これまでのシステムにどのような変更を加えるべきかを考察した。

海洋油汚染対策の研究は、事故防止の施策、汚染事故への対応、事故後の補償、教訓のフィードバックなどに関連する極めて膨大な内容を含んでいる。平成8年度は、全体システムを構成するこれらのサブシステムに含まれる要素を抽出した。平成9年度は、我が国に直接影響を及ぼすであろうサハリンの石油ガス開発と冬季オホーツク海の自然条件を考察し、油汚染事故の可能性を考察し、海上交通の安全対策を考えた。そして、この海域の特殊事情に鑑み、前述の諸要素に重み付けを行った。重み付けとは、寒冷海域の地理・気候条件、社会事情などに起因する特別な要件を見いだすことである。平成10年度は、既存の全体システムを拡張し、新しい機能を付加するに際して、サブシステムまたは構成要素の着手の優先順位を示すと共に、それらの備えるべき要件や考慮すべき周辺条件について調査し考察を加えた。近い将来我が国が直面するであろうオホーツク海流氷域での油汚染事故に備えるために、この海域の氷況ならびに気象データは不可欠である。そこで、海上保安庁及び気象庁のデータを基に、流水の密接度データベースを、又氷厚のデータベースを海上保安庁/船舶技術研究所の共同観測を基に作成した。(2.4参照)

2.5.2 システムの構成要素

海洋油汚染対策は、事故防止施策、環境影響評価、監視、汚染の最適処理、事故後の補償、教訓のフィードバックなどに関連する極めて膨大な内容を含んで

いる。これを寒冷海域特有の事情に基づき、評価検討することが本研究の眼目である。平成8年度は、全体システムを構成するこれらのサブシステムに含まれる要素を拾い出し、その一般的要件を考察した。

a. 事故防止の施策

公海上でのタンカーの事故防止のためには、船体構造設備の規則・標準、船体等の定期検査、航路の規制、運航者能力の資格制度などの海事規則類が、国際的な見地より標準化・義務化される必要がある。海氷、着氷、暗夜と霧が重大な航行障害となる寒冷海域に対しては、一層厳しい規制が必要とされる。また、航路上の流水状況等を観測し、航海支援情報として放送するシステム、砕氷船による航行支援なども有効であろう。

b. 環境影響評価

事故が起きたときの汚染被害の大きさは周辺環境の汚染に対する鋭敏度に依存する。事前に沿岸部の環境影響鋭敏度マップ (ESI マップ: Environmental Sensitivity Index Map) を作り、これを参照しつつ、様々な事故を想定し、最適な対応作戦を準備しておくことがいざという急場に有効である。ESI マップに載せるべきデータの種類とアイコン等の表示形式を選定し、標準化する必要がある。我が国のESIマップ作りは東京湾、大阪湾、伊勢湾についてのみ作成が終わり、それ以外は未着手である。オホーツク海向けのESIマップの作成は緊急課題である。

c. 監視と拡散の予測

効果的な流出油回収作戦を立案するには、常に寒冷海域を航行中又は航行予定のタンカーの位置を把握すること、および流出油の発見と油種の同定が必要である。また、いったん事故が起きた場合、油がどのように拡散漂流するかシミュレーション出来るプログラムの開発が必要である。リアルタイムで、流出油の性質、海流、流水の漂流、海上の風速などの変数が直ちに入手できるネットワークやデータベースを構築する必要がある。

d. 最適処理と支援情報システム

寒冷海域での事故には他からの支援が得にくいので、流出直後には自船で一定の対応(流出の極小化)ができることが望まれる。近隣の汚染防除組織が到着後、その海域での最適処理(=機械的回収、現場焼却、分散剤散布など)を実行することになる。最適とは必ずしも汚染除去の観点での最適とは限らない。人命安全、コスト重視の判断も含まれる。何もしないと言う選択もあり得る。速やかに最適処理を選択できるためには、汚染事故情報や海域情報、ESIマップ関連情報、油類の風化特性、油処理剤の特性と油種適合性のデータ、油回収船・汚染防除機材の在庫および性能データ、防災組織およびその指揮連絡系統などの情報やデータが必要である。

e. 国際協力

タンカー等船舶の事故を未然に防止するには、船舶、設備および船員の質を高め、航行支援や航行制限を行う必要がある。事故が起きたとき、事故船、沿岸国、被災者、サルベージ会社、損害保険会社の利害が輻輳するが、これら当事者が様々な国籍に属する人が多い。適正な事故予防の規制および事故補償の体系を構築するには国際的協力を欠かせない。国際海事機構IMOの活動を通じて、我が国の周辺国を巻き込んだ取り組みを推進することが望まれる。オホーツク海を対象とするので、日露2国のみとせず、寒冷海域油汚染対策の経験知識が豊富な米国やカナダの参画を得ることが賢明であろう。

2.5.3 寒冷海域油流出シナリオの検討

寒冷海域での油流出事故に対応できる技術や汚染防除の全体システムを考察するための基礎として、過去の事故例に学ぶと共に、将来事故発生が予想される想定海域の自然環境特性を知ることが肝要である。そこで、カナダ、アラスカ、北欧等での過去の船舶事故例、および北極海沿岸での油田開発に関連して行われた油汚染防除技術の研究の歴史をレビューした。そして、今後油流出事故の発生が予想されるオホーツク海の開発動向および流水の特性について調べ、現実性がありそうな油流出のシナリオを検討した。全体システムに関しては、ナホトカ号事故の教訓に鑑み、我が国の政府や防災組織がどのような改善・改良を既存の防除機材や既存の全体システムに取り入れたかを調査し、寒冷海域での事故に対応出来る全体システムの持つべき特徴ないし要件を考察した。

a. 寒冷海域での油流出事故例

最も有名なものが1989年3月、アラスカ湾で起きたExxon Valdez号による4万kl余の原油流出事故である。寒冷海域では交通量が小さいため、衝突事故は少なく、多くは座礁事故が占める。アラスカ、カナダ、バルト海等を航行する船舶の座礁事故による油流出が数例記録に残されている。荒天の遠隔地で、汚染防除組織が早期に現地に派遣できない、寒気のため作業が極めて困難などの理由で、海上での油回収は不成功となるケースが大部分であった。座礁した大型タンカーTorry Canyon, Amoco Cadizの場合は、荒天で船体の破壊が進み、10～20万klもの大規模流出となった。流水域での大規模重油流出事故の例として、中型タンカーKurdistan号の船体破断事故が有名である。(1973年カナダ東岸) 荒天のため7,000 tonのC重油が流水と混じり合い、回収不能であった。油井からの原油流出も、火災や暴噴事故の場合は補修が困難で大規模なものになる。北極海沿岸部での石油資源開発では様々な形式のリグが使用

されたが、大規模油流出の記録は見あたらない。定着水域での油流出対策はカナダ、アラスカで研究され、回収・処理のマニュアルも整備されているが、これらの技術の多くは厚い定着水域には適するが、不安定な流水域での油流出には適用できない。

b. 寒冷海域での油汚染対策の特殊性

寒冷海域での流出油の挙動の最大の特徴は、海水があるため通常海面でのそれと全く異なる極めて複雑した状況を呈することである。海水は生成・融解・変形しつつ形態を変え、油も種類によって比重や粘度が違うため挙動が異なる。このため、回収や処理は一筋縄では行かない。流水の中での様々な油の滞留状態、変質状態に応じて、それに適する回収機器が必要になる。しかし、世界中を見ても流水域に適する油回収装置は未開発である。一方、酷寒のため回収機器の性能劣化や破損が生じやすく、作業員の能力が劣化し、暗黒や流水による船舶の航行障害がおきるなど数々の障害があり、これらを克服する技術が必要である。遠隔地ゆえ補給支援が困難で、生命の安全が脅かされる。その他あらゆる点で効率と安全のコストが大きくなる。

c. オホーツク海の流水と自然環境

サハリン島東海岸沖から北海道北岸に至る南部オホーツク海の流水のマクロな分布や漂流運動については、近年は人工衛星や航空機による日常的な定期観測が行われている。しかし、流水の生成・融解・変形、流水の下の海流・潮流などの詳細情報は不明であり、今後の科学的観測に待たねばならない。流水のマクロな動きが流出油の漂流拡散を支配するのであれば、サハリン島東北部大陸棚の石油開発現場での流出油は確実に北海道、北方四島方面に運ばれる。また、宗谷海峡やサハリン島南部での船舶の座礁事故からの流出油は、いわゆるオホーツク海岸沿いに流れて知床半島に達すると考えられる。いずれの場合も沿岸部を中心とする魚介類・海藻類など海洋生態系への油汚染被害が大規模となると考えられる。流水域に流れた油がどのように流水と混合し、変質するかについては、今後の詳細な実験的研究が必要であり、この結果を基礎として、沿岸部での汚染防除対策が検討されるべきと考えられる。

d. オホーツク海での油流出事故シナリオ

油井からの油流出はサハリン島東北部沿岸で生じ、巨大氷丘(スタムハ)の海底掘削による海底パイプラインの破損と掘削リグ上または海底部からの暴噴に起因するものが考えられる。一本の海底パイプラインからの油流出は規模が高々千klのオーダーだが、暴噴による流出量は数万klに達することもある。流出油は細い黒帯状になって南下し、日本に達するには30日程度掛かる。そのころには油は流水中に拡散し、回収不能となる公算が大きい。船舶からの油流

出は、サハリン産原油を満載したタンカーが宗谷海峡付近で座礁する場合が最大級であり、数万kl規模の流出が起こる可能性がある。この場合、毒性の強い原油が流れるため、海洋生態系に最も大規模な汚染被害をもたらすであろう。

e. ナホトカ号事故の教訓

ナホトカ号の油流出事故では老朽船が荒天下を航行し、8,000klあまりのC重油を漏出させた。荒天のため洋上での回収が進まず、重油は海水を含んでムース化し兵庫県から秋田県に至る海岸を汚染した。この事故で日本の油汚染防除体制には、次のような不備があることが明らかになった。

- 1) 数千kl級の大規模油流出に対応できるだけの組織・機材の備えが日本に無かった。
- 2) 油回収船や回収機器、防災組織が太平洋側、それも重要港湾にのみ偏在していた。
- 3) 従来の基準で認定された油回収船や回収機器が高粘度油の回収には不相当であった。
- 4) 領海外の事故に、国の責任で緊急対応する規定が無かった。
- 5) 沿岸国が協力して事故に対応する国際協定も成立していなかった。

事故発生後、国家および地方自治体、防災関係組織による熱心な反省と検討が為され、上記欠陥を是正する措置が国際協力を含めて実行されつつある。しかし、環境が特殊な北方海域に対する配慮は見られない。

f. 防除体制整備の緊急性

現在オホーツク海方面では、我が国はもとより、サハリン島においても油汚染防除の備えは貧弱である。サハリンプロジェクト主体が準備する防除体制や装備についてはまだ公開されていないが、事故の際、遠隔地からの支援で対応しようと考えているとの説も流布されている。オホーツク海方面に関しては、日中韓露のNOWPAPの協定は適用されない。従って、公海上での油流出事故への日露協力は今後の課題である。しかし、報道されているようにサハリンからの原油輸出が2005年に本格化されるのであれば、汚染防除の協力体制構築と装備・機器の配備を急がねばならない。流水中を航海する船舶の構造規制、航行規制、支援体制構築など事故予防のための施策を沿岸国が共同で案出し実施して行くことが肝要である。

2.5.4 寒冷海域適合油汚染対策全体システム

前年度に引き続き我が国をめぐる海洋油汚染防除に対する政府機関、防災組織の改善・改良の動向を調査した。また、オホーツク海方面でのプロジェクトの進捗にも目を注いだ。これらを配慮しつつ、引き続き全体システムへの考察を深め、最終的に、寒

冷海域油汚染防除に最も重要と考えられる下記6項目の提言を行った。

1) 国際協力体制の構築

氷海域を航行する船舶の構造・設備要件、運航・荷役オペレーションの安全基準の制度化、大規模海洋油流出への緊急対応、流水域に適した汚染防除技術の開発は、いずれも社会的コストが大きく、国際協力なしには達成できない。オホーツク海流水域での大規模油汚染事故に備えるには、氷海の知識が豊富で有力な砕氷船などを保有するロシア、アメリカ、カナダなどの協力が不可欠である。世界的な海産資源の宝庫と言われるオホーツク海を環境汚染から守るために、UNEP（国連環境計画）の一環であるNOWPAP（北西太平洋行動計画）の活動を強化して、適切な海洋汚染防止の協力体制が形成されることが望まれる。

2) 国内及び地域協力体制の構築

従来、オホーツク海沿岸部の地場産業は漁業と水産加工および観光であり、オホーツク海を大型船舶が航行することもなく、この地方での大規模油流出は皆無で、地域汚染防除の体制や装備の備蓄も港湾部を対象とする小規模なものに留まっていた。しかし、今後数年のうちに、管轄官庁・地方自治体および防災業者間の連携を強化し、地域の防災計画を策定しておき、緊急時の機動的運用を可能とすることが肝要である。特に防除を実施する当事者である海上保安庁、海上自衛隊、漁業共同組合、海洋土木建設組合等の組織化、指揮連絡網の確立、共同訓練の義務化とともに、緊急時財政措置や事故責任と補償の体系の合理化を図ることが肝要であろう。

そのほか環境NGOや油汚染防除の専門家とのネットワーク構築も欠かせない。もちろんこのような組織体制の整備充実は、国全体の緊急時対応体制整備との整合性を持たせる必要があるが、この地域特有の環境条件などの事情を十分勘案しなければならぬであろう。

3) 沿岸域環境鋭敏度マップ（ESIマップ）の整備

油汚染の被害は、魚介類、海草類および海鳥やほ乳類など生物相の豊かな海岸線に集中する傾向がある。それゆえ、各地の海岸の保護の優先度、そこでの流出油の処理方法を的確に判定するための基礎資料としてESIマップ（環境鋭敏度地図）の整備が優先される。ここには生物の生息情報以外に、海岸地形・土質や、養殖場等水産施設の情報も必要である。

オホーツク海沿岸については、冬季の水況の情報が欠かせない。ちなみに米国等では、ESIマップを基礎として、地域ごとの汚染防除対策が検討され、詳細な対応マニュアルが整備されつつある。

4) 流水域での流出油回収技術の開発

油にまみれた流水から、油を分離させ掃き寄せる

技術とプロセスを開発することが必要であるが、その前提として、流水域に流出した油が風化して氷に混ざり、どのような状態になるかを系統的に調べて置くことが不可欠である。流出油の性質と滞留状態に応じて回収装置の効率が異なるので、各種装置の得失を系統的に調査する必要がある。流水の混在と低温下での使用に耐える使い易い装置を開発すべきである。回収装置とは高級な機械である必要はなく、状況によっては、ナホトカ号事故の際に手作りされた道具のようなものも役に立つであろう。その上で、回収作業のマニュアルを整備することが肝要である。

5) 流出油の拡散予測技術と検知技術

流水域における流出油は、氷の上、下面、氷の中、隙間に滞留しつつ、拡散する。さらに、この上に雪が降り積もることもある。防除作業を効果的に実施するために、風・波などの外乱のある流水域での油の拡散の推定技術が求められている。そして、航空機の上から、氷原に隠された油膜を検知する技術と共にその性状を短時間で測定するポータブルな機器の開発も必要である。

6) 関連情報データベースの整備

油流出事故への効果的な対応を行うためには、油の風化特性、回収機器の性能、動員可能な人員や装備の在庫、事故現場海域の自然条件など様々な情報が必要である。前述のESIマップの情報もここに含まれる。これらをデータベース化し、コンピュータ画面で素早く参照できれば、防除作戦計画の立案が効率化され、緊急対応がより効果的に行えよう。米国ではこのようなデータベースを基に地域防災計画と緊急対応のマニュアルが整備されつつある。

我が国にとって北方のエネルギー資源へのアクセスは、21世紀にはますます死活の重要性を帯びると考えられる。サハリンの石油・ガス資源の採掘利用は必須であるが、海産資源の豊富なオホーツク海の海洋環境を損なうことなく進めることが望まれる。そのため、ロシアと協力しつつ、この方面での海域事情にふさわしい汚染防止の様々な施策と汚染事故への緊急対応等の仕組みを構築することが国家としての最重要課題である。これと平行して、北海道沿岸部の地域防除協力体制の構築ならびに沿岸環境及び生態系を適切に保護するための基礎資料としての「環境保全リスク情報マップ」の整備を自治体等が中心となり進める必要がある。流水域は極めて複雑で変化の大きい環境であり、流出油がこの環境でどのように風化変質するのかを解明し、状況に応じた適切な回収ないし現場処理の技術とそれらの選択基準をシステム化することが重要である。これは海上保安庁、海上災害防止センター、国立研究機関等が連携協力して研究すべき、我が国にとって新しく大き

な技術課題である。

油汚染防除のシステムは各国の国情に応じて異なっている。これまでの日本の体制は局地的な事故対応しか考えてこなかったが、外洋での大規模油汚染事故の対応は一国では不可能であり、多国間協力が必要である。ナホトカ号の重油流出事故を契機として、日本海方面での協力体制の構築が始まったことは大きな前進である。今後はオホーツク海方面での協力体制を早急に確立する必要がある。この成否によって全体システムのありようも大きく影響される。不安定な環境である流水域での油流出にいかに対応するかという技術的問題については、北方の各国とも実際の経験が十分にあるわけではなく、基礎的な実験的研究をベースとして開発研究を始めてから未だ日が浅い。非常に大きな複雑な問題であり、国際共同研究の形で知恵を集め、コストを分担できれば、効果的であろう。サハリン島大陸棚の石油・ガス開発が本格的に進めば、オホーツク海での船舶による油汚染事故のリスクが増大する、それも流水季であれば事故の確率は一層高いと考えられる。我が国には氷海域での航行の知識は乏しく、この面での経験知識が豊富な隣国ロシア等の協力を得つつ最適なシステムを構築すべきであろう。

3. おわりに

本研究は寒冷海域の油汚染問題に我が国として初めて取り組む先駆的な研究であり、全般的な視野と基礎的な知見を得ることを基本指針とした。また、本研究は、流水季オホーツク海の知識が不十分な段階で開始されたため、次の段階で現実的な知識を構築することを念頭に置きつつ、敢えて問題を単純化して、いわば第一近似的なアプローチで実施した。3か年の研究を通じて、制度的にも技術的にも問題全体の展望が得られ、今後解決すべき課題が次第に明らかになってきたことは、着実な成果であると考えられる。しかしながら、流水で覆われた海上や海岸での油汚染対策に直接適用出来る成果を得るには至らなかった。今後は、実務担当者との交流を深め、実用に結びつく課題を一つ一つ攻略してゆくことが肝要であろう。

なお、カナダ等の北方諸国において70年代以後に実施されたこの種の研究は、北極海の定着水域が対象であったので、不安定な流水のある海上での機械的油回収に関しては、そのまま利用できる研究成果に乏しいことがレビューの結果判明した⁴⁾⁷⁾。また、流出油および油分散処理に用いる化学薬品の生物毒性についても、欧米での研究結果は、生態系環境の異なるオホーツク海に対してはそのまま適用できな

いことは明らかである。本研究は寒冷季のオホーツク海の海洋事情等が詳しく判っていない段階で、我国では始めて行うパイロット的な性格を有する研究である。また、船舶技術研究所は寒冷海域油汚染の防除技術研究のための専用実験施設も保有しないため、3年という期間に達成できる範囲／レベルは自ずと限られる。

寒冷海域での油流出事故対応の実例は未だ世界的にも少なく、回収作業の成功例は定着水域での事故を除き殆どない。流出状況の複雑さ、作業環境の悪さ、機器の作動不良、遠隔地などがその理由である。対応に極めて高いリスクとコストが掛かるため、油流出事故の発生は是非とも未然に防止すべきである。第2章5節では、日本が今後寒冷海域での油流出事故に対する備えを構築するに当たり、最重要な事柄を6項目の提案として述べた。その中でも第1番目の事故の予防が最優先される。すなわち、船体構造の改善、乗組員資質の向上、航行管制、航行支援などの予防的措置を関係国が協力して早急に制定することが最善の策であろう。

通常海域での油流出の場合でも、流出油の種類、経過期間、海象条件等により最適な対応は異なっている。この方面の経験や研究の歴史は長い、現実の対応が満足のいく形で行われたことは少ない。まして、寒冷海域での油流出対応を検討する場合、まず事故現場の自然条件—海水の状態、海中の流れ、気象と海象—の情報が必要であり、それと共にその

環境の中での流出油の性状変化や拡散・漂流を予測できれば対応策が立てやすくなる。流水域で油流出事故が起きた場合、どのような汚染状態が発生・進行するのか、海洋生態系への毒性がいつまで持続するのか等は、現象が複雑なため予測が付きにくい。これの解明には、実態に即した研究が必要であり、例えばオホーツク海沿岸部に流水域油汚染実験水槽を作り、実物の原油を使って実験する必要がある。その結果を基に、回収機器や現場処理の技術を開発することが次の段階の中心的課題であろう。

図3-1は寒冷海域での油流出への対応スキームの一例であるが、この中で「海上での流出油の変化」のところが第一番目に具体的に解明され、それによって最適な回収・処理の方法が見いだされる必要がある。このプロセスは、通常海域の場合よりも格段に複雑であり、その解明には学際的協力が必要で、数多くの実証実験を必要とするが、我が国だけでなく、関係国と協力して進めるべき課題と思われる。また、工学分野のみならず、化学、生物学、水産学の研究者および汚染防除の実務エキスパートを含めた研究協力体制を構築すべきであろう。寒冷海域の中でもオホーツク海の海洋環境保全は、我が国の国益にも、地球環境問題にも強く関連しているため、我が国と近隣諸国の長期的かつ総合的な政策的課題として取り組むべきと考えられる。この見地より、国としての統一のとれた環境政策の一環として、寒冷海域での油汚染対策の研究をさらに強力に推進すべきと考えられる。

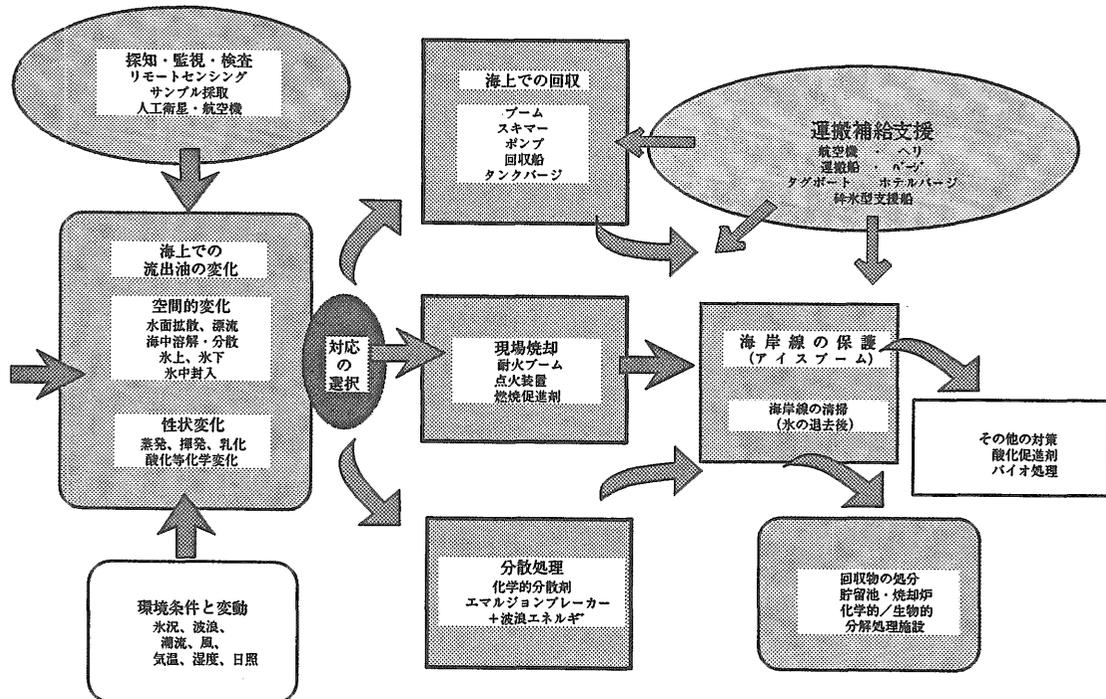


図3-1 寒冷海域での油流出対応スキーム

完結に当たり、本研究に付随して行った二三の関連事項を付記しておく。

本研究の助走段階では、北方諸国における寒冷海域での油汚染事故対応の事例や技術開発動向について予備知識を得る事に努めた。すなわち、油濁防除技術関係の重要な国際研究集会 (AMOP: 極域海洋油濁防止プログラム、IOSC: 国際油濁防止会議等) への参加を通じ、カナダ・米国の政府機関が制定した海洋油濁防止関連法規や緊急対応マニュアル、ならびに EXXON 社など巨大石油企業等が実施した技術研究報告等を入手することに努めた。また、科学技術振興調整費による国際研究交流制度を利用して、フィンランドからの最新研究情報を獲得した。このような情報収集を行う中で、当該技術分野の代表的レビューである文献²⁾の邦文意識を作り、関係者による勉強会を行った。平成7年12月、当所に於いて寒冷海域油汚染対策に関する氷海技術部主催のセミナーを開催し、勉強会で得た知識の紹介ならびに米国クラークソン大学の P.Yapa 教授による流出油拡散予測シミュレーションならびに海上災害防止センター防災訓練所所長の佐々木邦昭氏によるナホトカ号重油汚染事故対応の教訓に関する講演を行った。

本研究の実施にあたり、学識研究者として元つくば海洋油濁防止研究所長で当研究所顧問である田崎亮博士 (シップ・アンド・オーシャン財団)、岩手大学工学部環境建設工学科の堺茂樹助教授、伊勢湾防災株式会社取締役の浦上純也氏並びに前述の佐々木邦昭氏の四氏を定期的に研究検討会に招き、討論に参加していただくと共に、氏らの実務経験に基づく貴重な助言を得つつ、研究内容を修正・改善することに努めた。研究終了に当たり、四氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 「海洋油流出対応」(石油連盟翻訳)、1997、国際タンカー船主汚染防止連盟 (ITOPF)
- 2) "Cold Water Oil Spills", 1990, Cutter Information Corp., USA
- 3) "Oil Spill Response in the Marine Environment", 1992, J.W.Doerffer, Pergamon Press
- 4) Proc. of the 20th Arctic and Marine Oilspill Program (AMOP) Technical Seminar, 1997, Vancouver BC, Canada
- 5) 日本全国沿岸海洋誌、1985、日本海洋学会編、東海大学出版会
- 6) アルゴス・ブイによるオホーツク海流水の漂流観測、1995、望月、高塚、青田、第10回オホーツクシンポジウム
- 7) 氷海域における油濁防止装置の開発に関する調査研究報告書、1985、日本造船振興財団
- 8) タンカー事故による海洋汚染防止策について、1994、在田、足達、第12回海洋工学シンポジウム
- 9) 船舶技術研究所報告、第24巻、5号、昭和62年5月
- 10) 氷海域における油濁防止装置の開発に関する調査研究報告書、日本造船振興財団、昭和59年3月、67頁
- 11) 海洋油濁防止装置の性能評価基準に関する調査報告書、日本造船研究協会、昭和58年3月、58頁
- 12) Brown H.M., R.H.Goodman, C.-F.An, "Flow Around Oil Containment Barrier", Proceedings of the 21st Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar, Environment Canada, pp.345-354, 1998
- 13) Delvigne G.A.L., "Barrier Failure by Critical Accumulation of Viscous Oil", Proceedings of 1989 Oil Spill Conference, American Petroleum Institute, Environmental Protection Agency, and United States Coast Guard, pp.143-148, 1989
- 14) Tamiya, S., H. Kato, Y. Watanabe, T. Komura, "A Treatment of Equilibrium of Oil Layer on Water Flow", Journal of Society of Naval Architects of Japan, No.135, pp.71-80, 1974.
- 15) Proc.3rd Themat Conf. Remote Sens. Coast Environ, 1995 Vol.1, 2.
- 16) 運輸省型式承認試験基準
- 17) 粉末ゲル化剤の硬度についての報告書、平成10年5月、船舶技術研究所、粉末ゲル化剤懇話会
- 18) A CATALOG OF CRUDE OIL AND OIL PRODUCT PROPERTIES (1992 Edition), Environment Canada, Environmental Protection Directorate, River Road Environmental Technology Centre, Ottawa, Ontario K1A0H3, EE-144 Feb. ,1993
- 19) 氷海域における油濁防止装置の開発に関する調査研究報告書、日本造船振興財団、1985年3月、8頁
- 20) Izumiyama, K., Uto, S., Narita, S. and Tasaki, R. Effects of Interfacial Tension on the Spreading of Oil under an Ice Cover. Ice in Surface Waters, pp. 419-426, 1998.
- 21) Sussman, M. and Uto, S., 1998. Multi-Phase Flow Simulation of Oil Spreading Underneath an Ice Sheet. Proc. of 1998 Autumn Meeting of Ship Research Institute, pp. 31-34
- 22) Yapa, P.D. and Chowdhury, T., 1990. Spreading of Oil Spilled under Ice, Journal of Hydro Engineering, ASME, 116(12), 1468-1483
- 23) 泉山 耕、堺 茂樹 (1998): 氷海域に於ける流

出油の拡散に関する実験及び理論解析. 第44回土木学会海岸工学講演会論文集

- 24) 大島香織、大塚夏彦、宇佐見宣拓、高橋伸次郎、川合邦広、佐伯 浩 (1998): 氷盤下に流出した原油の回収方法の開発. 寒地技術論文・報告集、Vol. 14、pp.333-339
- 25) 堺 茂樹、花井宏太、笹本 誠、金田成雄、泉山 耕 (1999): 氷板下での油拡散に及ぼす流れの影響に関する実験的研究. 第44回土木学会海岸工学講演会論文集
- 26) 田村兼吉 他、オホーツク海水データベースの概要、第70回船舶技術研究所発表会 pp.222-225 (1997)
- 27) 宇都正太郎他: 巡視船「そうや」によるオホーツク海航行実験 (第3報)、第64回船研研究発表会 (1994)
- 28) H. Shimoda, et al., Measurement of Sea Ice Conditions and Manoeuvrability of Icebreaker "PLH SOYA" at the Sea of Okhotsk, POAC1997, pp.217-224 (1997)
- 29) 下田春人 他、JERS-1 SAR画像を用いたオホーツク海の海水識別について、第20回極域気水圏シンポジウム (1997)
- 30) 下田春人他、船上観測による北海道沿岸オホーツク海域の氷況について その2 JERS-1/SAR 画像の地上検証、第13回北方圏国際シンポジウム、pp.123-128 (1998)
- 31) Shotaro UTO et al., Preliminary Study on Sea Ice Observation using a ship-born laser altimeter, 14th International Symposium on Okhotsk Sea and Sea Ice, pp.72-77 (1999)

付録1：研究発表ならびに特許取得実績

研究発表

発表題名	掲載法/学会等	発表年月	発表者
(誌上发表) ・氷板下への油流出に関する基礎的実験結果について	第68回船舶技術研究所研究発表会講演集	8.12	泉山 他
・寒冷海域における流出油の性状変化	第70回船舶技術研究所研究発表会講演集	9.12	前田 他
・ Multi-phase Flow Simulation of Oil Spreading underneath the Ice Sheet	第72回船舶技術研究所研究発表会講演集	10.12	Sussman, M. and Uto, S.
(口頭発表) ・粉末油ゲル化剤の性能について	第31回日本水環境学会講演集	9.3	藤井
・氷板下における油の拡散について	第70回船舶技術研究所研究発表会	9.12	泉山 他
・既存の油回収・処理技術の寒冷海域適用性の評価 第1報 油層流れのせき止め	第72回船舶技術研究所研究発表会講演集	10.12	上田 他
・氷海域に於ける流出油の拡散に関する実験及び理論解析	土木学会海岸工学講演会	9.11	泉山 他
・寒冷海域での油汚染に関する研究計画	第70回船舶技術研究所研究発表会	9.12	成田 山口 他
・流水域での油流出のリスクと備えについて	第72回船舶技術研究所研究発表会	10.12	成田 山口 他
・既存の油回収・処理技術の寒冷海域適用性の評価 第2報 油の性状変化と堰き止め及び回収	第72回船舶技術研究所研究発表会講演集	10.12	上田 他
・寒冷海域での油層流れの堰き止め	第13回北方圏国際シンポジウム	10.2	上田 山之内 他
・流水域油汚染の可能性と対策について	第14回北方圏国際シンポジウム	11.2	成田 在田 他
・氷板下での油拡散に及ぼす流れの影響に関する実験的研究	土木学会海岸工学講演会	10.11	堺 泉山 他
・既存の油回収・処理技術の寒冷海域への適用	第14回北方圏国際シンポジウム	11.2	藤井 上田 他
・粉末油ゲル化剤のゲル化油硬度について	第33回日本水環境学会講演集	11.3	藤井
・ Possible Risk of Oil Spills in the Sea of Okhotsk	UJNR-MFP Regular Conference Proceedings	10.11	S. Narita et al.
・ Withdrawal of Highly Viscous Oil and Oil Layer at a Moving Barrier	22nd Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar, Canada	11.6	K.Ueda, H.Yamanouchi et al.
・ Effects of Interfacial Tension on the Spreading of Oil under an Ice Sheet	IAHR International Symposium on Ice	10.8	Izumiyama et al.

特許

特許等の名称	願書年月日	公告番号	公告期日	登録番号
波浪対応型流出油回収装置	9.4.30		11.8.10	2979142

付録2：寒冷海域での油流出事故例のまとめ

1 Exxon Valdez^{1),2)}

アラスカ州ノーススロープ産原油120万bblを積んだ20万DWTタンカー"Exxon Valdez"は、1989年3月24日の真夜中、アラスカ湾奥部の積出し基地Valdez港から25マイル西方のPrince Williams Soundの東端にあるBligh Leefに座礁した。当夜、船長は酒に酔っており、3等航海士が操縦していたこと、付近に流水があり、それを避けて航行していたことが座礁の原因とされる。8個の原油タンクが破損、25万8千bblの原油が数時間内に流出した。船主のExxon Shipping Companyは直ちに事故対応センターを組織し、同社の対策要員を事故発生後18時間で現場に送り込み、一方、Alyeska Pipeline Service Co.は初期対応の資材を動員し、さらに4つの防除会社に外洋向け回収資材を注文した。第1日目の終わりには15,000ftのブームと26隻の船が投入されたが、時化のためブームの大部分は破損した。3隻のタンカーによる原油の瀬取りは24日より4月3日迄行われ100万バレルが移送された。Valdez号は4月5日に離礁し、近くのNaked Islandで応急修理を受けた後回航された。

25、26日に分散剤散布と現場焼却の実施申請をしたが、許可が出されたときには、強風により油膜は西南西に流され、許可海域外に達した。油膜は1週間後に90マイル、11日後に140マイル、19日目に250マイル40日目に350マイル南西方向に流され、Prince William Sound内の多数の島々およびKenai Peninsula, Kodiak Islands, Alaska Peninsulaの海岸線を汚染した。漂流する油膜の囲い込みとすくい取りの努力は事故後数ヶ月に亘り行われたが成果は乏しく、6月には沖合での回収は大方中止された。海岸に漂着した原油はいろいろな程度にエマルジョン化し、海岸の岩や砂を汚染し、魚介類、海鳥、アザラシなどの哺乳類その他の水辺の生物を殺した。汚染された海岸の清掃浄化は様々な手段で行われた。Exxon Co.の事故処理報告では効果ありとされている処理手法のうち、後日の再評価の結果、副作用等を考えるとむしろ何もしない方が良かったと考えられるものも多い。この事故でExxon Co.が防除・清掃に費やした金額は、初年度が約20億ドル、2、3年度が合わせて30億ドルに達すると言われる。また、アラスカ州と住民に対する和解金の額は、11.5億ドルと伝えられる。これらの費用合算は邦貨で約7,200億円となる。原油1リットル当たり処理費用が約1万8千円掛かった計算になる。

2 Amoco Cadiz³⁾

1978年3月16日夜、VLCCタンカー Amoco Cadiz

はフランス北西海岸の岩礁に座礁した。翌日、船体が二つに裂け、2週間にわたり22万トンに及ぶ軽質のアラビア産・イラン産原油を流出した。原油は速やかにムース化し、風によってブリタニー海岸に吹き寄せられ140kmの海岸を汚染し、多数の海水浴場、養魚場及び各種の漁業施設に損害を与えた。強風と大波のため回収作業は殆ど出来なかった。現場焼却は危険と判断され、船から1.5km離れた陸地へ油をパイプで送ることも出来なかった。フランス政府は油分散剤の使用を禁じたが、後日この措置は不適當であると判定された。

数カ月にわたり大がかりな海岸汚染除去作業が行われ、ピーク時には8千から1万人、多数のスキマー、100台のタンク車、140台のバキュームトラック、80台の農業液肥散布車等が動員された。各種の化学的処理剤、油吸着剤、生物分解剤、海浜および岩の洗浄装置が用いられた。流出油とデブリ(油汚染ごみ)総計20万トンが回収され、これらから2万トンの油が抽出された。

数年間にわたって海岸付近の生態系の汚染が続いた。海藻類、貝類は汚染直後に死滅した。繁殖地や生息地の回復は2、3年かかった。船体の残骸付近の魚類は鱈などに奇形が発生した。波浪エネルギーレベルの低い沼沢地等では回復が遅く、数年を要すると考えられた。沖合漁業には大きな被害は無く平年並みの漁獲量が記録された。浄化作業や被害補償の費用は5千万ドルに及んだ。

3 Arrow³⁾

1970年2月4日、中型タンカー Arrowは、Nova Scotia州 Chedabucto Bay 沖で座礁し、C重油36,000～73,000bblを流出させた。強風と高波のため、流出油は300kmに及ぶ海岸線を汚染した。大部分の油は激しい波の作用と10トンの分散剤のために微細粒子に分解された。湾の北及び西側の海岸は油で汚染され、砂/砂利/油/岩の混合物によるしつかりした舗装面で覆われた。1976年に至って油汚染は漸く目に見えて減少した。いろいろな海岸が機械的方法で清掃された。10年後でさえも、閉囲水域では油汚染が残った。波浪エネルギーレベルが低い、生物堆積物の乏しいエリアでは、油汚染物質を機械的に除去するのは好ましくない。Teal and Howarthによれば、閉囲水域での草木は汚染直後に死滅したが、2年後に回復した。軟殻の貝類は6、7年後も発育不全である。魚類へのインパクトがどのようであったかについての調査結果は無い。油にまみれた海鳥200羽とアザラシ24頭が死体となって発見された。

4 Ekofisk Bravo³⁾

Ekofisk油田はノルウェー沖の北海にある。1977年

4月22日、Bravoプラットフォームで暴噴が起き、約一週間にわたって油流出が続いた。推定流出量はおおよそ195,000 bblである。噴出後の2週間で流出油の約60%を占める揮発成分が蒸発したと報告されている。付加的な防火対策として、プラットフォーム周囲に油分散剤が散布された。囲い込みの努力はおおむね無駄であった。機械的方法では1%程度が回収できたのみであった。拡散・漂流して海岸に達した油は無かったと報告されている。魚類の汚染度は軽微で、油が海底に達したかどうかは十分な証拠がない。別の報告では、海底の汚染は若干あったが、数週間で回復したとされる。

5 Tanio³⁾

フランス北西部のブリタニー海岸沖合いで、1980年3月7日、小型タンカーTanioは船体中央から二つに折れた。積荷のNo.6燃料油26,000 tonのうち約13,000 tonが流出した。現場は1977年にTorrey Canyon, 1978年にAmoco Cadizが遭難した場所の近くである。船首部分は水深90 mの海底に沈んだが、船内の積み荷は少しずつ流出した。7,500 tonの油を積んだ船尾は静穏な港に曳航され、荷降ろしされた。

時化のため海上での囲い込み・回収はうまく行かず、高粘度のため分散剤の効果も乏しかった。油は2、3日後に海岸に達し、最終的には潮位差が8 mもある延長200 kmの海岸線を汚染した。海水浴場や観光地も汚染被害を受けた。海岸の人工建造物はプラスチックシートで覆われ、重要地点ではオイルブームが展開された。油の回収にはトラクター牽引のパキュムトラックが使われたが、油が高粘度のため寒い日にはこの方法は効果が無かった。海浜に副作用があるも拘わらず、ブルドーザーやフロントエンドローダーが海岸で用いられた。回収された油はプラスチックバッグに詰められ、タンカー油濁水処理施設に運ばれて処分された。

クリーンアップの最も困難な段階は、磯の岩の洗浄であった。面積が広く、油が落ちにくい上、作業者の接近困難な場所が多かった。岩の洗浄は、中程度の圧力の温水、または高圧の冷水で行った。沈んだ船首は油の流出防止工事の後に油抜き取りを行ったが、全体で1年を要した。流出した油の毒性は弱かったので環境影響は小さかった。所々で渚の生物は窒息死した。商業的漁獲には影響はほとんどなかった。損害の額は50万ドル以上と推定された。

6 Torrey Canyon³⁾

1967年3月28日、大型タンカーTorrey Canyonはイングランド南海岸沖16海里の地点で座礁し、10日間にわたりクウェート産原油90万bblを流出した。イギリスは長年に亘り流出事故対策の充実に努めてい

たが、Torrey Canyon事故はそれまでとは異なる認識をもたらした。時化のため囲い込みは不成功で、油膜の現場燃焼も不首尾であった。結局、空軍機を使って、座礁した船に高性能爆弾やナパーム弾、航空機燃料を投下し、残っていた油を燃焼させた。船はロケット弾で破壊された。

この次の段階では、軍隊を動員して、分散剤散布、被害に敏感な港湾のブームによる保護、各種の機械的手段による回収が行われた。ブームは、波が2、3 mになると効果が失われた。

このときまでに開発されていた分散剤は、タンクの油落とし洗剤(detergent)であり、生物に対して毒性の強いものであった。かなり大量にかつ無秩序に撒かれたため、油の分散と岸への漂着防止には成功したが、海中の生物相を傷つける結果になった。総計250万gallon(8,200 ton)の分散剤が海上へ散布され、50万gallonが岸の洗浄に用いられた。英仏海峡諸島の島では分散剤が少量しか配られなかった事が幸いして、散布による海中生物への影響は殆ど無かった。

7 Tsesis³⁾

小型タンカーTsesisの油流出事故は小規模であったがその影響は良く調べられている。本船は1977年10月26日、SwedenのStockholmに近い小列島に座礁し、海洋生態系観測ステーションの近くで約1,100 tonのNo.5燃料油が流出し、そのうち500 tonが回収された。事故現場は比較的波浪エネルギーレベルの低い場所であった。調査の結果、油流出がプランクトンに及ぼす影響がかなりよく判明した。甚大な影響は数日間、しかも事故船近傍のみに限られた。流出直後には植物プランクトンの増大が見られ、反面、動物プランクトンは減少した。植物プランクトンの増加は、事故による動物プランクトンの減少のためかも知れない。植物相と動物相に対する汚染の影響度のはっきりした違いは、汀線部において観測された。植物は(冬のため)休眠していたので被害は少なかった。しかし海藻とこれを食物とする動物は激減した。汀線部の生態系の回復は2カ月後に始まり、1年後に従来の密度まで回復した。タンカーが座礁した場所でニシンの油汚染は検出されなかったが、ニシンの産卵に関しては事故の場所では比較用の他の場所においてよりも少なかったが、これがTsesisの油流出に起因するの否か断定は出来ない。

8 KURDISTAN⁴⁾

1979年3月15日、英国籍タンカーKURDISTAN(30,000DWT)は、カナダ、New Foundland州、Cabot Straitの流水域を通過し時化の海に出た直後、船体が船首と船尾に分断され漂流した。おおよそ7,000 tonの

C重油が流出した。事故処理は、流出した油、7,000 tonを積んだ船首、16,000 tonを積んだ船尾に対して、3面作戦で行われた。政府要員が漂流中の船首と船尾に対応した：

船尾は時化の氷海を通過して Nova Scotia の Port Hawksbury まで曳航され、油の抜き取りがなされた。船首はあらかじめ選ばれた Scotian Shelf 上の海面まで曳航され、艦砲射撃で撃沈された。

事故から12日後、油の漂着が始まり、700 kmの海岸が汚染され、6カ月に及ぶ海岸の清掃浄化作業が行われた。事故への対応は以下のような理由で困難であった。

- ・油がしばしば流水で包囲されたり覆われて回収ができなかった。
- ・油が海面下を漂い、高度のリモートセンシング技術を持ってしても、所在の確認ができなかった。また、油は突如として海面に浮き上がり、数カ月に及び海岸を汚染した。
- ・そして、時間とともに環境、社会経済的な関心がますます高まった。
- ・最終的に、油で汚染された百万個ものगरक्तを詰めた袋が集められたが、今度はこれを適切に処理する施設の不足が問題となった。
- ・幸いなことに、流水が流出油を外洋へ運んだため、この事故による沿岸への環境影響は概して少なかった。

9 LEE WANG ZIN ⁴⁾

1979年12月25日、Alaska州Panhandle南端沖合いで台湾籍鉱石運搬船LEE WANG ZINが転覆し、推定2,381から7,143 bblの燃料油とディーゼル油が、アラスカからカナダにかけての海域に流れた。事故後1週間で延長350マイル以上の海岸が油で汚染された。1カ月後、事故現場から210マイル北方の海上で油膜の漂流が観測された。深海に沈めるべく曳航中に、本船は国際的に著名な野鳥生息地からわずか8海里隔たった場所で突然沈没した。全般的にみて、数多くの敏感な魚、貝類、ほ乳類および鳥類が潜在的に影響を受けた。厳しい気象条件及び凹凸の多い複雑な地形のため、現場への接近、清掃浄化作業、回収作業にはそれぞれ固有の困難があった。1980年4月までに、推定585 bblの油が除去され、\$2,089,000のコストを支払った。

10 F.V. Ryuyo Maru No.2 ⁴⁾

1979年11月8日夕方、Alaska州本土から西方300海里にある、アザラシの繁殖地として良く知られたPribilof諸島のSt. Paul島に入港を試みた日本のトロール式漁船Ryuyomaru(第2陸洋丸)は折からの強風と高波にあおられて、Village Cove付近の岩場

に座礁した。座礁した際流出した油はおよそ40,000 gallon(130 ton)と推定される。南西からの風で吹き流された油はlagoonに流れて渚や浅海の生物を汚染し死滅させた。

難破船は、11月22日に海軍により爆破処分された。この事故への対応作戦の結果、寒冷な海域で遠隔地であること、地形的に輸送支援困難であること、生態系への影響等への配慮などの諸条件の下での回収・浄化作戦のいろいろな問題点—総合判断と作戦指揮などが教訓として得られた。

11 Tank Barge "the Bouchard #65" ⁵⁾

1977年2月28日の遅い午後、バージBouchard No.65はCleveland East Ledgeの西方0.6 km地点で座礁した。これは、タグF.E.Bouchardが針路上の密集氷に道を開こうとしてバージを離れた直後に起こった。左舷5タンクのうち4個に穴が開き、318 klのNo.2燃料油が流出した。バージが深みへ沈没するのを防ぐため、5.6 km離れたWings Neck南の砂地に乗り上げさせた。事故の翌日から2月22日まで米国沿岸警備隊が浄化活動を実施した。解氷が始まり、油が薄膜状に広域拡散したため、浄化作戦は中止された。

(訳者註： 事故現場はBoston市南方のバザーズ湾。流出油は流れやすいNo.2 Fuel Oilで動粘性係数は7.74 cP(センチポアズ)。氷況は海氷、厚さは0.3から0.5 mないしそれ以下であろう。早い潮流のために岸に押しつけられて、いかだ氷や氷丘を生じている。なお、この文献には、この事故の際の油の回収・除去の経験が述べられている。)

事故対応から得られた主要な結論：

- A. Rafted Iceの段差上に最大15 cmの深さの油溜まりが出来る。このように溜まった油が流出油全体の約30%を占めた。この油をバキュームトラックで直に吸引して回収し、流出総量の15%を回収できた。この油溜まりの発生は流出中の1日の間に生じた。これまではこの種の事象は知られていなかった。
- B. 氷は油の水面での広がりを抑制する。岸に固着した氷は岸を汚染から隔離する。また、氷は波浪を抑制するので、流出油が水中及び水底に散乱するのを防ぐ。
- C. 解氷(Break-up of ice)の後、汚染氷がCape Codの湾や入江に運ばれ、融解して僅かに風化した油をまき散らした。この氷(Ice floe)は既存のブームでは囲えなかった。このかたちでの油の長距離輸送が極地の油汚染の特徴的メカニズムであろう。
- D. 氷と低温の下でも、油の風化は起こる。より

長期間空気に曝された油はよりひどく風化した。二つの極端なケース：氷盤下の油では体積で6.2%のロス；回転した氷の中に含まれた油では体積で47.4%のロス。

- E. 水面の氷と氷の隙間 (lead) に油が確実に保持されることはない。0.5m/sec 程度の流れがあると油は氷盤の下に持って行かれる。岸辺の定着氷の下面にも薄い油膜の流れが観察された。
- F. 氷の下を潮によって運ばれた油の大部分は、2日間の間にハンモックアイス、リッジおよびラフトアイスの下面の窪みに溜まり、解氷までは安定して滞留した。
- G. 流出後7日して厚さ0.1 mの積雪が流出油を覆った。空中査察、調査活動および浄化活動がこのために著しく妨げられた。油溜まりの油は雪と混じり油分30%程のスラッシュとなった。
- H. 風が油溜まりの油を比較的平滑な氷の表面に吹き散らすので、油汚染氷を増加させ、その結果氷のアルベドを低下させ、油の風化を加速するメカニズムを産む。
- I. 油は氷の表面から5cmの深さにまで浸透した。氷中の油分は体積比で最大5%に達した。油分のばらつきは、油と氷の接触面積、接触時間、氷の表面粗度、氷の空隙率などによる。
- J. 氷から解放された油は薄い油膜=オイルシールとなり広大な水面に拡がる。油が氷に閉じ込められていたときの広さ0.1km²の汚染域が、解氷の後には19.4 km²にも拡大した。
- K. 氷板の上に出来た油溜まりの最良の浄化技術はバキュームホースでの吸引である。コーストガードの報告では、焼却では約50%が処理されたが黒煙と煤が問題となった。油汚染氷を力づくで引き上げてトラックに積むのは、極めて非効率的である：汚染氷に含まれる油分はわずか1%であるし、汚染氷から垂れた油が地表を汚染した。海面で用いる機械的な油回収手段はこの氷況の下では、役に立たなかった。

1981, American Petroleum Institute et al.

- 5) Cleanup Efficiency of a Fuel Oil Spill in Cold Weather; Eric Schirier and Carl Eidam, Proceedings of 1979 Oil Spill Conference, pp.419-427

参考文献

- 1) 重油汚染・明日のために－「ナホトカ」は日本を変えられるか、1998、海洋工学研究所出版部編
- 2) VALDEZ OIL SPILL TECHNOLOGY, 1989 OPERATIONS, 1990, EXXON PRODUCTION RESEARCH COMPANY
- 3) REVIEW OF OIL SPILL OCCURENCES AND IMPACTS, MAY 1989, EXXON PRODUCTION RESEARCH COMPANY
- 4) Proceedings of 1981 Oil Spill Conference, March