

寒冷海域での油流出に関する研究

山口 眞裕*、小山 鴻一*、成田 秀明*、北村 茂*、
泉山 耕*、前田 利雄*、高島 逸男*、宇都正太郎*、
田村 兼吉*、金田 成雄*、下田 春人*、瀧本 忠教*、
若生 大輔*、上田 浩一**、藤井 忍**、山之内 博**、
疋田賢次郎**、在田 正義***、櫻井 昭男***

On Oil Spill Problems in Cold Waters

by

Masahiro YAMAGUCHI, Koichi KOYAMA, Shumei NARITA, Shigeru KITAMURA,
Koh IZUMIYAMA, Toshio MAEDA, Hayao TAKASHIMA, Shotaro UTO,
Kenkichi TAMURA, Shigeo KANADA, Haruhito SHIMODA, Tadanori TAKIMOTO,
Daisuke WAKO, Koichi UEDA, Shinobu FUJII, Hiroshi YAMANOUCHI,
Kenjiro HIKIDA, Masayoshi ARITA and Akio SAKURAI

Abstract

Cold-water oil spill countermeasures may be very complicated by low temperature, presence of ice, short period of daylight and lack of support facilities in northern areas. Japan has had no offshore operating experience in such cold environments. Considering of the recent development of oil and gas resources at the Sakhalin shelf, it seems very critical that Japan should develop, strategically and technically, a level of preparedness to prevent and respond against accidental oil spills from tankers or offshore oil production facilities in the Sea of Okhotsk.

The main objectives of this study are 1) to identify a set of vital requirements and conditions needed to develop a national contingency system for preventing and responding to a big oil spill in ice-infested water, and 2) to develop fundamental understanding on the fate and behavior of spilled oil in ice-infested waters and to identify key technologies and techniques to recover spilled oil in drift ice.

With the abovementioned objectives in mind, the following themes have been studied. (See Fig.1)

* 水海技術部

** 装備部

*** 大阪支所

原稿受付 平成11年11月4日

審査済 平成12年9月13日

1) Study on total oil spill response system for cold oceans:

A general survey was made on existing maritime laws and regulations for the prevention of shipping accidents and pollution of marine environment, Japan's current contingency response system, environmental sensitivity index maps, and related information and database systems. Besides, sea ice and other meteorological and environmental conditions of the Sea of Okhotsk were reviewed and risks of oil spills were investigated.

Six recommendations were raised as the conclusions of this study: (1) To establish a cooperative relationship with Russia and other nations concerned, (2) To establish a regional cooperative network among governmental and local institutions and experts, (3) To prepare maps of environmental sensitivity index of the northern coasts, (4) To develop reliable technology for mechanical oil recovery in drift ice, (5) To develop a method for estimating the spreading and drifting of oil slick in drift ice and method for identifying the oil slick covered by snow and ice, (6) To develop a real-time information system for assisting the oil spill response operations

In addition to the above, an Internet-accessible sea ice database system for the Southern Sea of Okhotsk was established based on the data from three governmental institutes.

2) Review and assessment of the capability of existing oil-recovery equipments in cold icy ocean:

Existing different oil recovery systems have been evaluated when in use in icy waters and their defects were identified. Based on this review, an experimental effort was made to develop a "net-belt type" oil recovery system especially designed for collecting highly viscous oil. In addition, the leaking behavior of highly viscous oil captured in front of oil booms have been studied experimentally. Different gelling powders were examined of its gelling efficiency on different oils. And a trial was made on how to apply the gelling powder from underwater to oil slick staying under the ice.

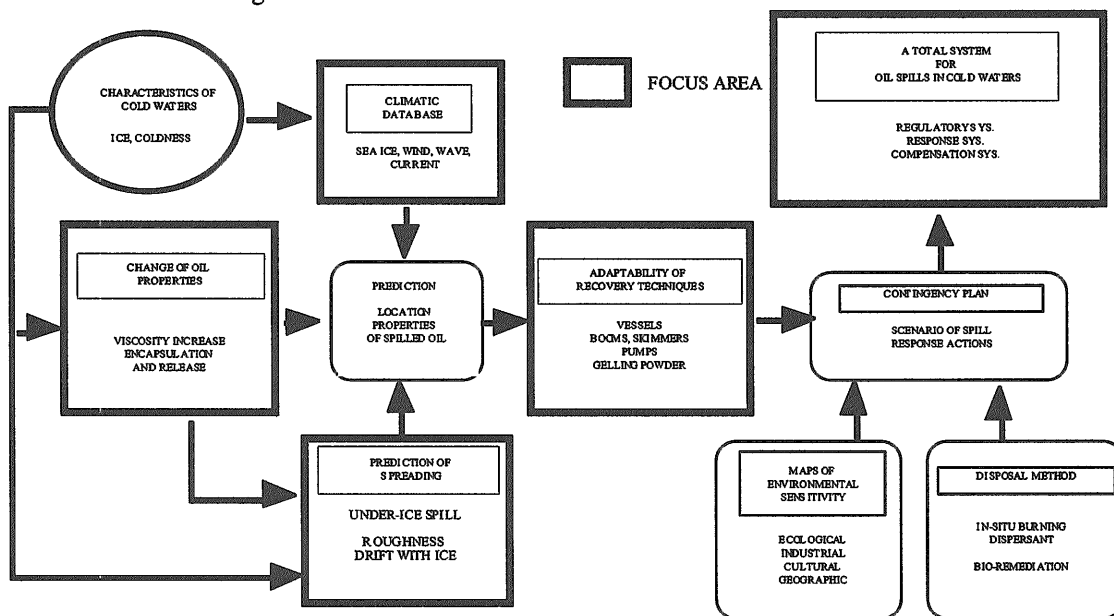
3) Study on the change of oil properties in icy waters:

Laboratory studies were made on changes of oil properties such as viscosity and interfacial tension when the oils were cooled down from normal temperature and brought to freezing temperature. The process of oil encapsulation in ice and release from ice were laboratory-studied. The adhesion strength of oil slick to ice was investigated and the removal of oil slick from ice was successful by flushing with sea water.

4) Study of oil spreading in ice-infested waters:

A theoretical analysis was made to predict the extent of oil slick spreading underneath the ice in the initial stage(short time after the release). A numerical simulation program for the same case has been developed, based on a level-set method describing the time-based change of oil slick profile. The numerical model seemed more adaptive to non-homogeneous cases than analytical method where ice has uneven underwater surface. The migration of the oil slick by sea current have been studied in the ice tank of SRI.

Fig.1 GENERAL SCHEME OF STUDY



目 次

1. 序章－研究の全体像	
1.1 研究目的と背景	
1.2 寒冷海域での油汚染対策の特殊性	
1.3 オホーツク海と流水	
1.4 総合研究計画	
2. 研究内容と成果	
2.1 既存の油回収・処理技術の寒冷海域適用性の評価	
2.1.1 はじめに	
2.1.2 ネットベルトによる回収	
2.1.3 吸引回収の評価	
2.1.3.1 実験方法	
2.1.3.2 実験結果および考察	
2.1.4 堰前の油層の挙動の把握	
2.1.4.1 水流上の堰	
2.1.4.2 前進する堰	
2.1.5 粉末ゲル化剤の性能評価	
2.1.5.1 ゲル化剤の油種適合性	
2.1.5.2 ゲル化油硬度の相対評価	
2.1.5.3 水中からの添加実験	
2.1.6 油汚染監視技術調査	
2.1.7 まとめ	
2.2 寒冷海域での油の性状変化に関する研究	
2.2.1 概要	
2.2.2 粘度	
2.2.3 表面張力	
2.2.4 油と水の界面張力	
2.2.5 油汚染水の性状	
2.2.6 汚染水からの油の分離	
2.3 寒冷海域における油の拡散挙動	
2.3.1 概要	
2.3.2 実験的研究	
2.3.3 拡散シミュレーション	
2.3.4 まとめ	
2.4 オホーツク海海水データベース	
2.4.1 概要	
2.4.2 氷密接度データベース	
2.4.3 氷厚データベース	
2.5 油汚染対策の全体システム	
2.5.1 あらまし	
2.5.2 システムの構成要素	
2.5.3 寒冷海域油流出シナリオの検討	
2.5.4 寒冷海域適合油汚染対策全体システム	
3. おわりに	
参考文献	
付録 1：研究発表ならびに特許取得実績	
付録 2：寒冷海域での油流出事故例のまとめ	

1. 序章－研究の全体像

1.1 研究目的と背景

20世紀後半、石油資源開発は温帯から亜寒帯、さらに寒帯へと拡げられて来た。1960年代アラスカ州ノーススロープでの大油田発見や1970年代北海での海洋油田開発に続き、アラスカやカナダの北極海沿岸水域、シベリヤの北極海沿岸部にも有望な油田が発見され、一部は開発が進められた。米国は96年よりアラスカ州産石油の輸出を解禁し日本向け輸出も始まった。現在サハリン島北東部沿岸では二つの石油・ガス資源開発プロジェクトが進行中で、21世紀初頭での本格生産開始が予告されている。将来日本や東南アジア諸国に対するサハリンやアラスカ方面の石油輸出は益々増加し、いきおい北方海域での原油採掘や輸送に伴う油流出事故も増加するであろう。それゆえ、寒冷海域の特性や周辺事情を十分に配慮にいった、油流出事故防止の為に各種法的規制ならびに流出事故発生に備えた行動計画や体制の整備を進める必要がある。サハリン島のあるオホーツク海は漁業資源の世界的宝庫であるうえ、地球環境と生態系維持の観点からも重要な海域であると多くの海洋生物学者が認めている。それ故、この海域の油汚染はあらゆる手段を用いて防止すると共に、不幸にして油汚染事故が発生したときの緊急対応の体制や回収・処理に関する技術を備える必要がある。

温暖海域においてすら、外洋で大規模油流出が起こると海上での速やかな回収・処理は困難である。酷寒と流水の支配する寒冷海域での油流出対応は、さらに幾層倍の困難が予想される。流出油は拡散しつつ風化・変質し、漂流の向きによっては海岸線に漂着して深刻な汚染に発展することがある。この間、および事故の後も長期に亘り、大自然及び人間社会に多大な損害を与える。油流出への対応は、現場海域の特性、流出油の量と性質等を考慮し、すみやかに十分な人的・物的資源を動員して一挙に行うことが肝要である。

このため本研究では、温帯を対象にした従来の油回収技術や緊急対応システムの総合的レビューを行った上で、寒冷海域固有の不利な事情に配慮して、油汚染防除の技術と事故対応体制のあるべき姿を探究することとした。ただし、次節で述べるように、流出状況の複雑さのために技術開発の面で取り組む問題が徒に広範になるのを避けるため、寒冷海域では一般に油の高粘性化が起こりやすいので、高粘性化した油の回収技術を中心に研究を進め、流水の回収への影響については、流水の形態があまりにも多種多様なので、平坦水のみを考慮した。事実、流水を選別除去する問題は、回収以前の機械的選別処理に属する問題であり、今後研究すべき内容である。流

出油拡散については、汚染域半径の第一近似を与える初期拡散に焦点を絞って研究を行った。

1.2 寒冷海域での油汚染対策の特殊性^{2), 3), 4), 7)}

流水の存在のために油流出の様相は複雑になり、酷寒の下では回収・浄化作業は極めて困難になる。図1-1は氷海域に流出した油がどのように氷の間に溜まり、拡散、溶解、生物分解して行くかを示す。海水は、油の水面での拡散を妨げ、氷板の上・下、氷片の間の隙間などに滞留させる。氷は成長時に内部に油を封じ込め、融解の際には油を解放する。低温のため、流出油の粘性が増加し、拡散は遅くなる。油の蒸発や乳化などの風化作用、海中への溶解や分散はかなり遅れる。油（分散）処理剤等の化学薬品の効果も悪くなる。微生物による油の分解も遅い。重要なことは、氷海域流出油は風化が極めて遅くなるので、毒性が長期にわたり保たれ、その分生物に及ぼす被害が拡大すると言うことである。

図1-1のように、流出油の存在は氷の状態に応じて様々な様相を呈するので、回収処理もそれに依って様々な方法・手段が必要になる。海面に多数の氷片が浮遊すれば油の回収の邪魔になるが、大きな厚い氷板は油の拡散を防ぐ堰として、あるいは作業足場として役立つ。密集した流水域の油汚染現場には、通常型の船舶がアクセス出来ない場合があり、航空機からの分散処理剤散布または海上での焼却ができない場合もある。油の回収を実施するには砕氷船ないし砕氷能力を持つ回収船が必要となるほか、ブームやスキマーなど機器類の補強や凍結防止対策が必要であろう。流水やその上に積もった雪は流出油を覆い隠し、視認することが困難となる。それ故、雪や氷が覆っていても使える新しい油探知技術も必要である。

寒冷海域においては、海面凍結のほか、降雪や着氷などが起こる。日射欠乏と低温のため生命活動が抑制され、生態系の汚染被害からの回復力も乏しい。低温下では回収用機器類の性能劣化や破損が生じ易く、船体着氷や霧の発生が作業員の能率低下や危険の増加を招く。このようにさまざまな障害を克服することが必要になる。寒冷海域の隣接地域は概して人口希薄でインフラが未発達であり、産業・経済の中心地からは遠い。そのため事故現場への速やかで手厚い支援は困難である。寒冷海域での油流出への対応は戦略的にも戦術的にも温暖海域での対応とは様相が異なり、一段と複雑になる。

1.3 オホーツク海と流水^{5), 6)}

オホーツク海はアジア大陸と千島列島弧で囲まれる半閉囲海域であり、西部は広大な大陸棚が発達し、東部は太平洋と多くの海峡で繋がっている。アムー

ル川等からの大量の河川水が表層水となるため、比較的低緯度でありながら結氷する。このようなユニークな海洋構造を有する海域である故に、世界的な漁業資源の宝庫であるうえ、地球環境と生態系維持の観点からも重要な海域であると多くの海洋学者が認めている。

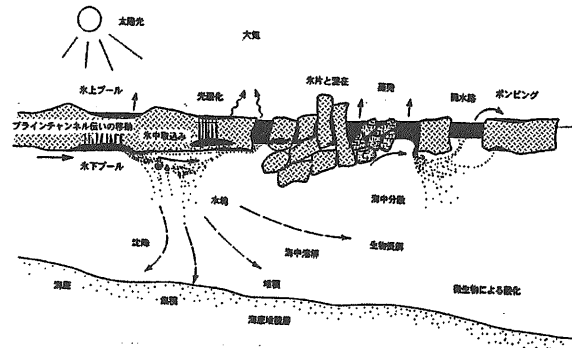


図1-1 寒冷海域流出油の運命

オホーツク海沿岸部一帯は、各種のカニが生息し、ホタテガイ、ホッキガイ、アワビ、カキ等の優れた養殖生産地であり、定置網による沿岸漁業も盛んである。オホーツク海に生息する魚類は、さけ・ます類、さんま、すけとう、ほっけ、いわし等多種で漁獲高も多い。海岸線は単調で大部分が傾斜の緩い砂質の海岸で、知床半島、能取岬周辺のみが岩石質の断崖地形をなす。知床半島を中心として国立・国定公園に指定され、自然保護指定地域が多い。一旦この付近で油流出事故が起これば、これらの貴重な海産資源や沿岸・海底の生態系に甚大な被害が生じるであろう。

冬季のオホーツク海の自然環境とその変動については、科学的研究調査も充分進んでいないため、詳細は不明である。海上気象と流水の動きの概略については、人工衛星や航空機からの定期観測で情報が得られるが、海中の様子は観測手段が乏しく殆ど判っていない。図1-2はオホーツク海の海流分布を示す。サハリン島東海岸を南下する寒流、宗谷海峡から流入し北海道オホーツク海沿岸に並行する宗谷暖流、およびクナシリ島・エトロフ島のまわりの海峡を通過して太平洋に向かう流れが我が国にとって重要である。これらが北海道周辺の流水の流れを基本的に支配し、ここに北寄りの風が加われば流水は北海道の岸辺に強く押し付けられる。図1-3はオホーツク海の流水分布の変化（拡張期）を示す。例年1月頃、流水はサハリン島東海岸に沿って南下し、同月末北海道北部の海岸に漂着し、以後約3ヶ月にわたりオホーツク海岸に沿って知床半島方面に展開しつつ離岸接

岸を繰り返す。このことから、この流水中に原油等が流出すれば、海洋はもとより、北海道北部沿岸一帯および根室海峡、さらには北方4島を含む南千島列島の沿岸と海洋が油汚染される確率が高いと想像さ

れる。

北海道に襲来する流水は、様々な成長段階の海水を含み氷野の凹凸も大きい、平均的な厚さは40から60 cmである。写真1-1および1-2は、南部オホーツク海でしばしば観測される流水野の景観の2例を示す。流水は海流と風力で漂流する。穏やかなときでも0.5ノット程度の速度を有し、天候が悪化すれば場所によりしばしば2から3ノット程度の速度を持つ。海域には直径10 km オーダーの渦がところどころに発生し、このため流水の漂流パターンは複雑である。氷野は厚いところ薄いところが混在し、開水面も出来易く、密接度にむらがある。この様な流水野の形態や運動に支配される流出油の拡散は複雑である。汚染範囲の予測や監視技術もこれに対応できるものを開発整備する必要がある。

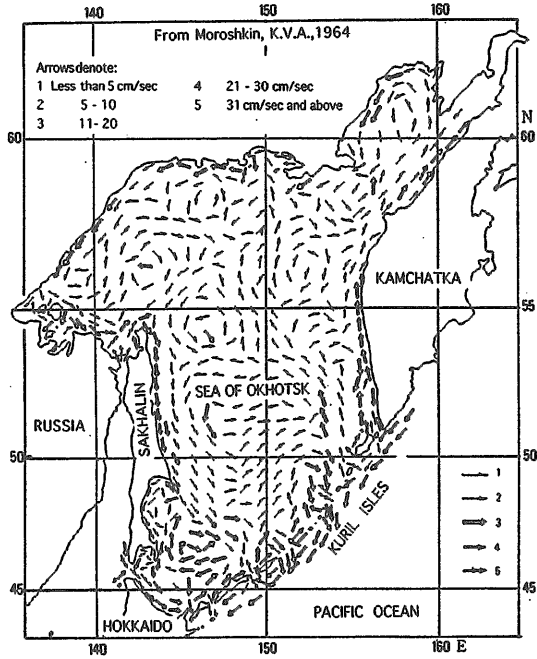


図 1-2 オホーツク海海流分布

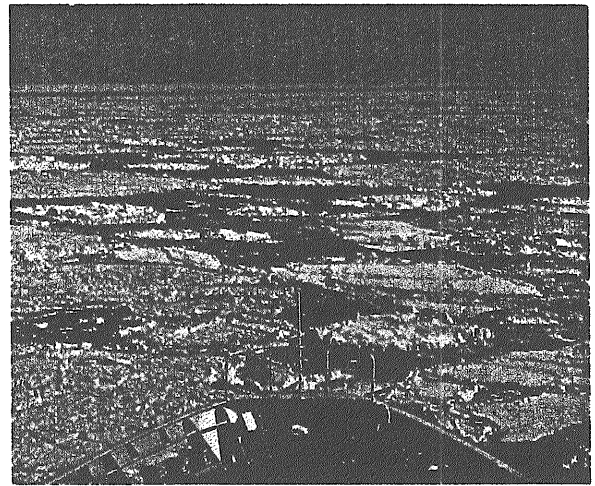


写真 1-1 オホーツク海の流水の景観
(比較的密集度の低い流水)

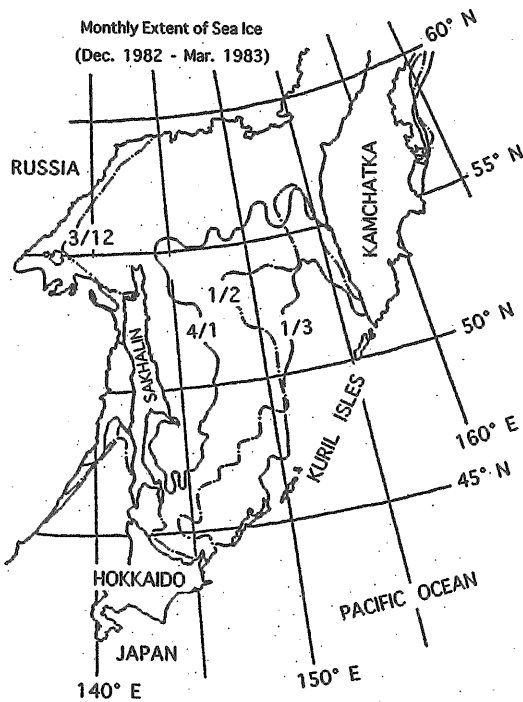


図 1-3 オホーツク海流水分布

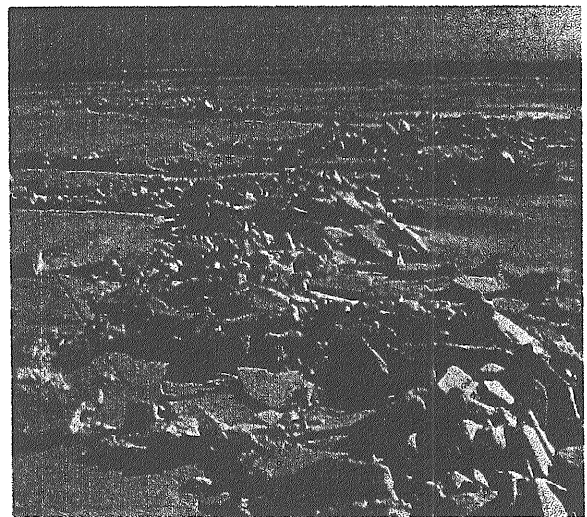


写真 1-2 オホーツク海の流水の景観
(氷丘脈を含む緊密な氷野)

1.4 総合研究計画

本研究では、寒冷海域油流出という事象が非常に複雑なものであり、一筋縄では対応できないことを配慮して二つの方向からのアプローチを試みた。これは、巨大な山塊に二つのルートから先遣隊を送り込むことに譬えることが出来よう。その一つが鳥瞰図を得るための視点からのアプローチであり、総合的な海上油汚染防除の全体システムの考察である。これは海洋汚染防止の規則と緊急対応の体制を含む政策を考察する立場である。もう一つのアプローチは一つの戦略的ポイントに肉薄するやりかたで、高粘度化した流出油の機械的回収方法の追求である。そして、ここには既存の油回収手法の寒冷海域適応性の評価、寒冷海域での流出油の性状変化ならびに拡散挙動の研究が付随している。図1-4は、研究全体の構成の見取り図であり、テーマごとのキーワードおよびテーマ相互の結びつきと進め方を示す。本研究は、第1のアプローチである「全体システム」、第2のアプローチである4つのサブテーマ「既存の油回収・処理技術の寒冷海域適用性の評価」、「寒冷海域における流出油の性状変化」、「寒冷海域における流出油の拡散」および「オホーツク海水況データベースの構築」で構成した。また、図1-5は、各研究領域で得られた知見が全体システムの計画或いは事故対応の作戦行動のどの段階で利用されるかを説明している。

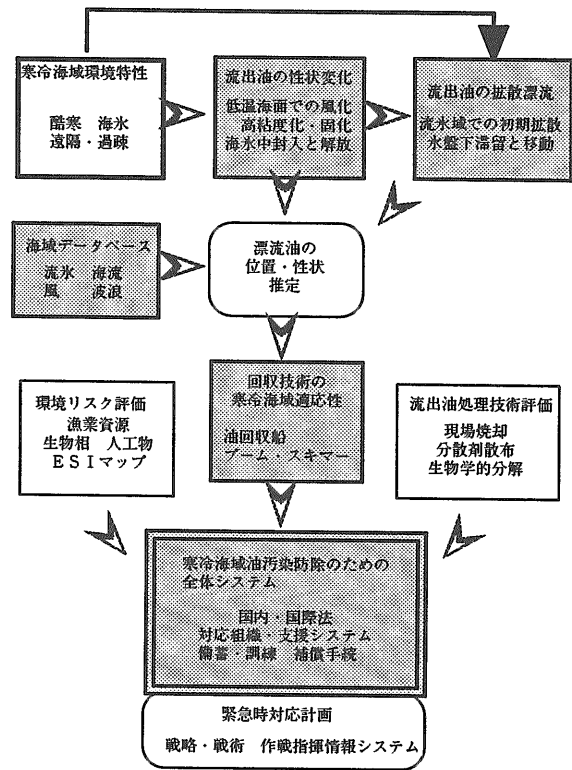


図1-4 研究の構成

このような制度、人、物および技術体系を含む総合的システムを、簡略のために、ここでは「全体システム」と称する。通常(温暖)海域での海洋油流出事故に対する全体システムは、従来からIMO(国際海事機構)での海洋汚染防止に関する国際条約制定の動きにリンクして世界各国でそれぞれの国情に合わせ構築されて来た。第1のアプローチである「全体システムの研究」においては、このような我国の既存システムを「寒冷海域の特殊事情」に照らして再点検し、補完・改善すべき点を抽出した。具体的には、ナホトカ号油汚染事故を含む汚染事故対応の実施例とそれから得られた教訓に基づき、寒冷海域に適用可能な、総合的な海上油汚染防除の全体システムを考察し、オホーツク海方面の発展動向を睨みつつ新たに補完構築すべき重要項目を見いだした。

第2のアプローチでは、寒冷海域での油流出事故の事例調査に基づき、寒冷環境が起因する流出油の挙動や回収・処理に関わる特殊性を抽出し、この特殊性を反映した油汚染防除技術について検討を加え向上を図ることとした。先ずカナダ等北方諸国での寒冷海域油汚染防除技術の研究状況を調査し、現状技術水準及び問題点の整理を行い、既存の(通常海域向けの)油回収技術の寒冷海域適用性を評価した。次に、流出油の性状変化や流水の存在を考慮した高粘度油回収メカニズムを考案し基礎実験を行い回収特

一般に総合的な海上油汚染防除システムは、油汚染の環境影響評価を基礎として、①事故防止、②流出量極小化、③流出油の回収・処理、④事故評価とフィードバックの4段階を考慮に入れて構築される。各段階には以下のような要素項目が含まれる^{1),3),9)}。

[事故防止]

航路整備、航行管制、航海性能・操縦性能の基準、船体構造・設備規則、船舶定期検査、船員能力資格規制、航行支援情報サービス

[流出量極小化]

船体構造規制(二重船殻、タンク容量規制など)、油回収設備の搭載

[流出油の回収・処理]

流出油監視・追跡、風化と性状変化の把握、拡散漂流予測、囲い込み、安定化、環境影響と最適処理の選択基準、回収現場への資材・機材の補給・運搬、回収・貯蔵・運搬、化学的分散処理、海上焼却、回収油・油汚染物処理

[事故評価とフィードバック]

損害査定、事故責任解明と補償、事故対応作戦評価、教訓のフィードバック、事故データベースの作成、事故影響追跡調査

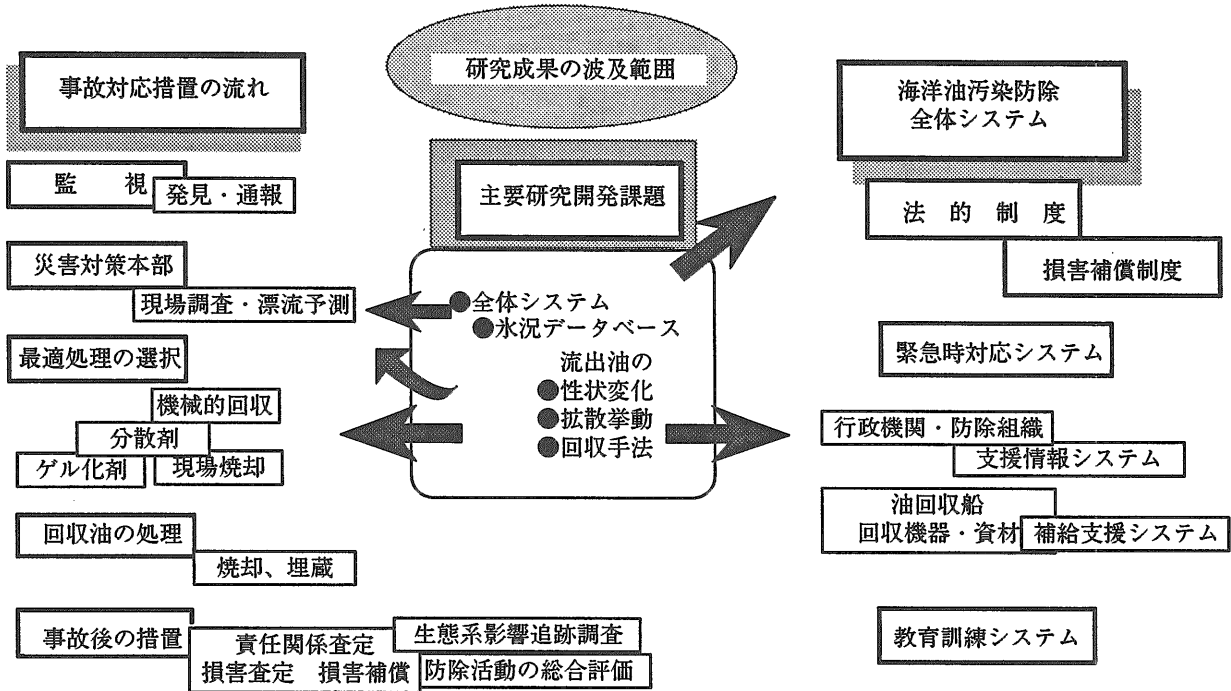


図1-5 研究成果の活用範囲

性を明らかにし、同時に油ゲル化剤等による回収効率向上の可能性を検討した。この際、流水の存在の回収への影響については、流水の形態があまりにも多岐にわたるため、平坦水以外は敢えて考慮外に於いた。同時に、流出油の寒冷海域における初期性状変化を実験的に調べ、さらに氷の成長と融解による流出油の水中閉じこめや解放について実験を行った。また、粘性と比重および界面張力を配慮した流出油の初期拡散メカニズムについて理論的に検討した。つぎに、海中の流れや波浪が氷野の下の油の拡散に及ぼす影響を評価し、多相流の計算手法を利用して、平坦水下の油膜拡散の数値シミュレーションの可能性を検討した。また流出油の漂流予測に必要な南部オホーツク海の流水分布と海上気象の観測資料のデータベース化を図った。

2. 研究内容と成果

2.1 既存の油回収・処理技術の寒冷海域適用性の評価

2.1.1 はじめに

寒冷海域で油が流出し、その油が閉鎖性海域に滞留すると、低温のため風化が遅れ生物による油の分解がゆるやかになるので、長期にわたり放置されれば、環境に大きく影響を及ぼす恐れがある。これを

避けるには流出油をすみやかに除去することが必要である。このため低温かつ氷の存在する環境下で既存の油回収技術、油処理剤の適用性、監視技術の適応性を評価する必要がある。

流出油の粘度は油種や温度、風化の度合で異なるが1 mPa・sから10⁵ mPa・sの広範囲にわたる。流出直後の油の流れやすい時以外は高粘度油の拡散防止や回収が必要になる。回収方式にはポンプ等による吸引方式、油の粘性を利用した回転円盤やベルトによる回収方式、水面下に堰を設けて油層を流し込む方式、モップ等に油を付着させて回収する方式、渦を発生させ中心に油を集めて吸引する方式等がある⁹⁾。しかし高粘度油の回収の場合は、油が回収部に流入しにくいいため、どの方式を用いても回収は難しい。従来の油回収機の性能認定試験ではB重油相当の油(20℃で100 mPa・s)で評価していたが、寒冷海域ではこれよりはるかに高粘度の油に対応していく必要がある。

高粘度油回収の必要条件として次のことが上げられている。①連続的に油を回収するメカニズムが必要。②波やうねりのなかで効率良く作動すること。③ゴミ処理能力を備えること。④回収油中の水量を極力少なくすること。⑤回収機は頑丈なもので、展開、操作、回収作業はできるだけ簡単なものであること等である¹⁰⁾。高粘度油の回収のために、上記の条件にかなうと考えられるネットベルトによる回収方式を検討した。この方式は流れや波を反射せずに通過

させるために油を回収部へ誘導し易く、水深方向に深く設置することにより波浪対策もできる。

ところが、流出直後の比較的低粘度の油はネットベルトで回収できないため、吸引式や堰方式によって回収する必要がある。これらの回収方法では油より水を多く回収する傾向にあり、それを防止するために、回収部に溜まる油層を厚くする必要がある。また回収条件を評価するためにはオイルフェンスにより油の広がりを防止するときと同様に、前進する堰前の油層の滞留状態について把握する必要がある。そこで、堰前の油層について2次元水槽で実験を行い、滞留状態を把握することを試みた。

流出油の処理については現場焼却や分散剤の研究が最近多く見られるが、我が国では海浜に人家が近いことや多くの漁場があるため、これらの処理は好まれない。そこで、破損したタンク内の残留油や水板下の油の場合には、水中からの粉末ゲル化剤の散布により油をゲル化してから回収する方法を検討した。

2.1.2 ネットベルトによる回収

我が国では法定で粘性係数が $100 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ の流れ易い油を回収機等の評価試験に使用しているが¹⁾、寒冷海域では油が高粘度化し、流入し難くなることが予想され、その対策が必要である。実際の流出油は粘性係数が $10^5 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 程度の高粘度になっている場合もあるため、このような高粘度油が回収でき、かつ波浪に対応できる油回収機が必要である。そこで高粘度油が回収できかつ波浪に対応できる油回収機として図2-1に示すような構造を考えて回収機の評価を行った。この方式は高粘度の油は傾斜させたネットベルトで回収し、低粘度の油は吸引回収する方式で、前方の両側面には波の影響を受けないよう水深方向に深い油層誘導ネットベルトを取り付け、流れ難い油層を回収部へ誘導する構造となっている。図2-2(a)に示すように、流れに抵抗のある回収装置では、反転流や反射波により油が回収部に流れ難いが、ネットベルトを使用することにより、図2-2(b)に示すように流れや波がネットベルトを通過し、浮遊油層がうまくネットベルトに乗りやすく、回収され易い。図2-3は粘度の異なる油を水面に浮かべて、それをメッシュの異なる網ですくい1分間保持したときの、平均回収厚さ h を、平均浮遊油層厚さ h_0 で割って回収率を示したものである。油は水面に注ぎ広がった状態にしておいて、油の粘度とすくえるか否かを調べたもので、網の目としては 2 mm 角、 4 mm 角、 6 mm 角のものについて調べた。 $2,500 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 以上の粘性の油ではすくった油はこぼれ落ちなかったが、すくい網の周辺部では油を完全に拘えないために、回収率が 100% になっていない。この結果から

$2,500 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 以上の粘度の油であれば $2\sim 6 \text{ mm}$ 間隔の網で十分に回収できる。写真2-1に実験に使用した高粘度油回収装置を示す。網の材質はポリエチレンで、格子間隔は $4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ の防風ネットを使用した。油層誘導用の網ベルトも網は油回収ネットベルトと同じものを使用した。写真2-2に回収網ベルトと油層誘導網ベルトを組み合わせた実験の状況を示す。水流速は約 17 cm/s とした。観察により油層誘導網ベルトにより油層が回収部へ誘導できることが確認できた。波高約 5 cm の波がある場合の実験を行ったが、この実験では油層が波により回収部へ打ち寄せられ、波のない場合より回収状況は良かった。

水流を妨げないようにネットの目詰まりを防ぐために、ネットに付着した油の掻き取り性能を良くする必要があることが最初の実験の結果判明した。そこで柔構造材として発泡ウレタンフォーム製のローラを実験装置のワイパー部に写真2-3に示すように内側から押さえるように取り付けた結果、油の掻き取り部で良く回収することができた。

油層中に氷塊が存在する場合には、氷塊が油の流れを妨げ油の回収性能は低下する。ネットベルトの水平からの傾斜角を 30° で実験を行ったが、時々氷は油と一緒に回収される。氷と油と一緒に回収する場合には傾斜角を 30° より小さくし、氷を回収しないためには傾斜角を 30° より大きくする必要があることがわかった。氷を油と一緒に回収しないと油層がたまった氷で邪魔されて回収油量は減少する。

流出油やゴミは潮目等に集まりやすい。ゴミには木材、プラスチック等いろいろなものが混じっている。流出油の回収装置には粉碎する装置が吸引回収機の中に取り付けられていて、油吸着材等を吸引した場合ディスパーゼーのように粉碎して吸引する方式もある。種々のゴミがある場合、ゴミの種類によって粉碎する方式が異なる。図2-1に示す油回収装置はゴミも高粘性油と同時に回収して粗大のまま焼却処分場で処分する方式を考えた。

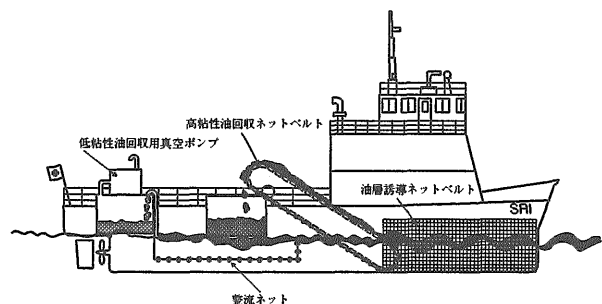
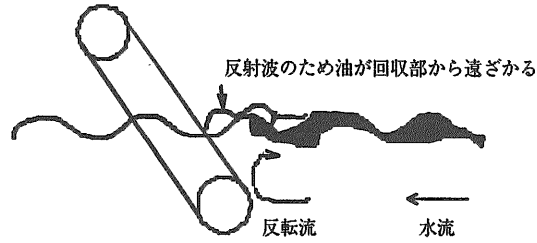
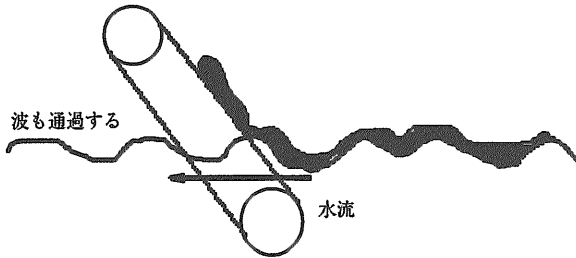


図2-1 波浪対応型高粘度油回収装置



(a) 流れが穴の無いベルトで妨げられる場合



(b) ネットベルトの場合

図2-2 ネットベルトにより回収する場合の利点

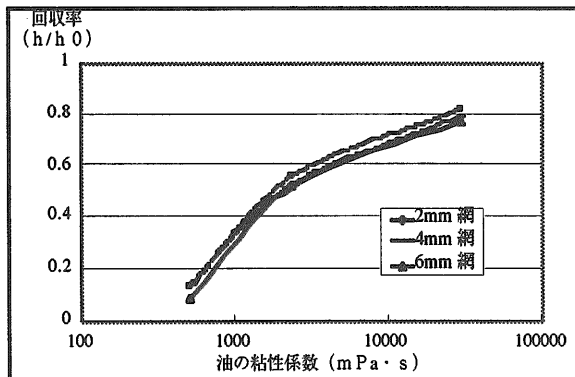


図2-3 ネットによる浮遊油の回収

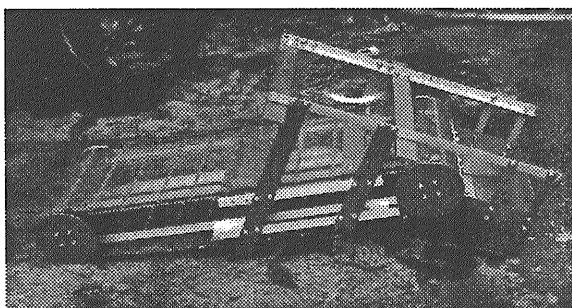


写真2-1 ネットベルト式回収装置模型

2.1.3 吸引回収の評価

ネットベルトで回収できない低粘度の油の回収方法として吸引回収方式を検討した。在来の堰方式回

収装置は回収油中の含水率が大きいため¹¹⁾、本研究では水面上からの吸引方式を検討した。

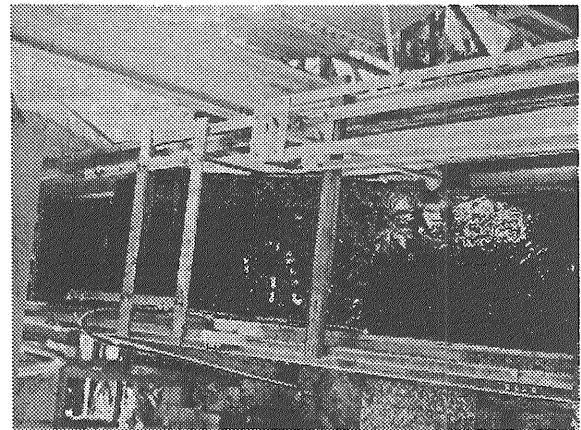


写真2-2 油回収ベルトと油誘導ベルト (片側のみ)

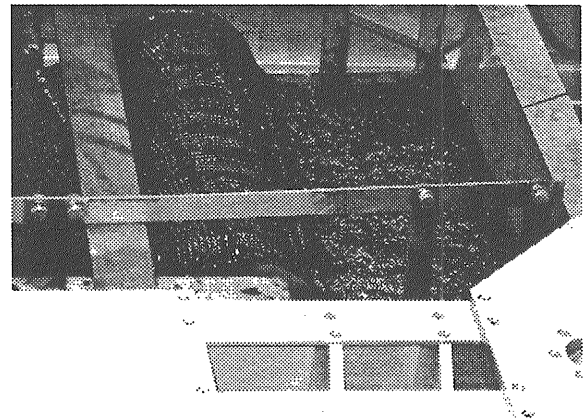


写真2-3 ネットベルト式油回収装置の油回収部と油溜まり

2.1.3.1 実験方法

油の粘度の吸引回収への影響を調べるために、軽油(L)、潤滑油基材3種類(L32、L56、T)、B重油(B)、C重油(C)の6種類の油を用い回流水槽の静止水面上に図2-4に示すように厚さ5mm、長さ6,580mm、幅450mmの油層を滞留させておき、油層面と吸引部の水平板との間隔Hを初期に5mmの状況にしておき吸引実験を行った。吸引部は油面に沿って100mmの平行部を有しており、有効幅は406mmである。静止水面上で油を浮かべた状態で吸引を開始し、2分間吸引を行った後、回収タンクに回収した油水の量を計量した。

氷板で閉ざされた油層を氷板下から吸引回収するモデル実験として、氷板を模した合板と水の間での回収実験を行った。図2-4の実験概略図においてH

= 0として間隙のない状態にし、その上に合板をかぶせて油の種類を変えて2分間の吸引回収実験を行った。

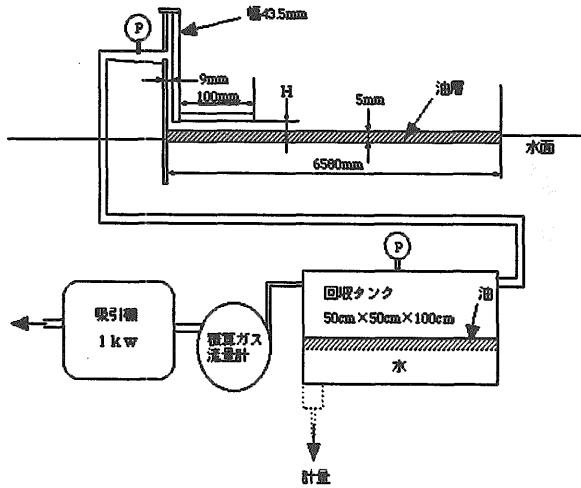


図2-4 吸引による浮遊油回収実験装置

2.1.3.2 実験結果及び考察

実験結果を表2-1に示す。粘性が低いと流れ易いが油層がとぎれて、中程度の粘度の油程追従性が良くないため、油の回収量が少なくなると考えられる。潤滑基材の100 mPa・s程度の油が流れも追従性も比較的良好。さらにB重油の450 mPa・s程度になると側壁への付着力が強く、吸引しても油が近寄らなくなる。しかし、C重油の様に高粘度になると固化するが、回収部の流れの振動等で油膜が破断され、回収部分への付着の影響が少なくなり、油の回収量が多くなっていると考えられる。

氷板を模擬した平板下からの吸引回収実験結果では、油層と氷板との界面と油層と合板との界面の付着状況は異なるので界面の影響についてはさらに検討する必要があるが、次のように考えられる。平板により気密性が高くなり、空気の吸引量が少なくなるだけ、水の吸引量が多くなり液体の回収総量は増加する。しかし油層と空気との界面より平板と油層の界面の方が摩擦抵抗が大きくなり、油の回収量は少なくなる。

表2-1 油の粘性を変えた場合の単位幅当たり
単位時間当たりの回収量

(単位: cm³/cm・s)

	水のみ	軽油	T	L32	L56	B重油	C重油
回収水量	5.8	5.2	4.51	6.72	5.04	8.87	5.58
回収油量	0.0	0.6	1.19	1.08	1.16	0.23	0.82
含水率(%)	-	90	82	86	81	97	87
動粘性係数(mPa・s)	1.0	5.5	120	110	160	500	3,200

結論としては、今回のように水面上から浮遊油を吸引する方式でも回収油水中の含水率はかなり大きく、中程度の粘度のB重油の回収率が良くなかった。

2.1.4 堰前の油層の挙動の把握

流出油を囲い込むオイルフェンスや油回収機の回収部で油層を厚くするために用いる堰を想定して水槽とモデル平板を用いて実験的に調べた。流れの場に置かれた堰前の油層及び前進する堰前の油層の滞留状況について水路実験により調べた。さらに油層中に氷板等が存在する時の状況や堰前の油量の影響、堰からの漏油防止の方法についてもそれぞれ実験を行って検討した。

2.1.4.1 水流上の堰

流れに垂直に平板を置き、滞留する油の種類を変え、粘性による滞留状況の差異及び漏油の状況について調べた。供試油として灯油(K)、軽油(L)、潤滑基材3種類(L32、L56、T)、B重油(B)、C重油(C)を使用した。幅45 cmの回流水槽に供試油を12リットル散布し、2~3時間後に実験を行った。高粘度のB重油及びC重油は加熱してから散布した。

流れがある場に置かれた堰の前の油層の滞留挙動についての実験¹²⁾、¹³⁾や解析¹⁴⁾等が多く行われている。図2-5(a)に示すように水槽の単位幅当たりの油量をS、油の密度をρ₁、水の密度をρ₂、σ = ρ₁/ρ₂、流速をV、堰から油層の先端までの長さをLとすると、田宮らの解析により次式¹⁴⁾が与えられている。

$$L/\sqrt{S} = 2.1F^2$$

ここでFは油層フルード数で、gは重力加速度。

$$F = V/\sqrt{g(1-\sigma)\sqrt{S}}$$

現実にはこの式から少しずれるため、

$$L/\sqrt{S} = aF^b$$

とおき、a、bを実験的に求める。a、bは粘度により異なるが、粘度が100 mPa・sの油を使った実験ではa = 4.8、b = -1.1が得られ、1.5 mPa・sの場合にはa = 4.0、b = -1.1であった。

いずれの実験でも水槽のセンターライン上の堰から油層の先端までの長さを油層の長さL cmとし、横軸に油層フルード数Fを、縦軸に無次元油層長さL/√Sをとり、油層の状況を表わすと共に、漏油状況を観測し漏油現象が現われ始める時まで実験を行った。氷板等が存在する時のFを計算する時のSはS = S₀ + S_p × ρ_p/ρ₁とした。S₀は水槽の単位幅当たりの油層量cm³/cm、S_pは水槽の単位幅当たりの氷板または模擬合板の量cm³/cm、ρ₁は油の密度、ρ_pは氷板または模擬合板の密度である。

[油の粘度の影響]

堰部の喫水を5 cmにし、油の種類を変えて行った