



## 序

海岸に漂着する油により、油汚染事故の発生がわかる場合がある。流出油の除去並びに油の再移動の防止及び近隣の保護の必要な地域に影響が及ばないようにするため、対象となる油の量と種類に応じた清掃対応を計画する必要がある。汚染範囲についての信頼の高い早期の報告と推定は、清掃作業の適切な規模を決定し、作業のための適切な人員と資機材を準備するために非常に重要である。漂着油量の正確な推定は難しい。さらに、油の風化が著しい場合には、油種の特特定も難しい。

大規模な流出の場合には、漂着油の流出源が明らかな場合がある。しかし、流出した油の量が少ない場合には、損害や清掃費用の求償のために流出源の特定が問題となる場合が多い。本技術資料の目的は、読者が様々な海岸線に漂着した油の種類と量の両方を確認するための一助となることである。

## 油種

海上輸送され、海岸線を汚染する恐れのあるあらゆる種類の油の一覧表を作成することは、現実的ではない。その一つの理由は、漂着油は複数の種類の油が混ざっている場合があるからである。したがって、最も一般的な油種について、可能性のある流出源と関連付けて説明するのがより有益である。

オイル・タンカーからの偶発的な流出では、油は原油と原油から精製した製品のいずれの場合もあり得る。原油は、流出後間もなければ通常は黒い液体である（図1）。しかし、油は時間と共に風化するため、性状が変わる。例えば、比較的軽質な成分が蒸発するため、油の粘度は増大する。同時に、多くの原油は水を取り込むことができるため、高粘度の油中水型エマルジョンを形成する。このエマルジョンの色は茶、赤、又は橙黄である（図2）。暑く日照りの条件下では、漂着したエマルジョンが水を放出して、黒い油に戻る場合がある。

精製された重油は、貨物としてタンカーで、又は燃料として様々な種類の船舶のバンカータンクに入れて運ばれる。流出したばかりの重油は黒い液体で、流出後間もない原油と外観が似ている場合もあるが、特徴的な臭いがある（図3）。重油も安定的なエマルジョンを形成する場合があり、このエマルジョンは持続性が非常に高くなる可能性がある（図4&5）。

タンカー関連の事故の後、原油と重油の両方が流出し、別々にあるいは混合物になって海岸に漂着する場合がある。両者を区別することは簡単にはできない。特に両方の油の残留分が砂と混ざると、非粘性で密度が高くなる（図6）場合がある。化学的分析は油の特定に有用である。

バラ積みで輸送されるその他の石油精製品、例えばガソリンや灯油は、比較的揮発性が強く、急速な拡散と高い蒸発率によって、流出時に持続する可能性はあまりない。船用エンジンで使用されている潤滑油は、比較的非揮発性であ



▲ 図1：砂浜の流出したばかりの原油とゴミ。通常、油は黒色で、粘度は低から中程度である。

り、例外である。このような油は自動車のエンジンオイルと似ていると言える。そして、砂の上では個別的なレンズが集まった状態又は円盤を形成する傾向がある。その他の油も、流出すると同様の形態を取る場合がある（図7）。

潤滑油、グリース及び油圧油は、船底汚水タンクに廃油として蓄積される。油水分離と監視の正しい手順が遵守されないか、関連する設備の作動不良があると、油混じりの船底汚水が船舶から排出され汚染を引き起こす可能性がある。

油は、川に流れ込む都市排水、陸上の産業施設からの排水、都市下水からの汚水に混ざって海に流れ着く場合もある。しかし、これらの排水中の油が海岸線の著しい汚染を引き起こすほど高い濃度になることは稀である。ただし、砂浜に波が残した潮汐点に茶色の帯や油状のぎらつきが見られる場合もある。

海岸線で遭遇する油の中には、鉱物由来ではないものもある。動物性脂肪や植物油などもバラ積みで輸送される。こ



▲ 図2：乳化した原油。油の中に水が含まれるために、通常、色が深い橙黄色に変化する。（画像提供：NOAA）



▲ 図3：流出したばかりの重油。この事例では比較的流動性があり、色は黒い。



▲ 図4：乳化した重質重油。粘度が高く、色も茶色を呈する。



▲ 図5：乳化した重質重油の接写。高粘性の状態が保たれていることを示している。油に含まれる水分量が多いため、油が下の基層に付着する力が弱い。



▲ 図6：砂浜で風化した油。



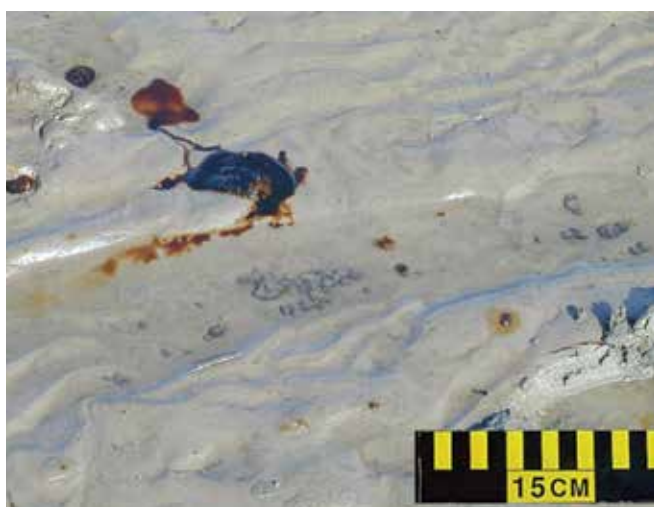
▲ 図7：潤滑油の生産に用いられる半透明の基油が、水面でレンズ状を形成している。この油は無色なため定量が難しい。



▲ 図8：磯で生成した、椰子油の灰色の油中水型エマルジョン。



▲ 図9：砂浜に散乱したタールボール。



▲ 図10：生成したばかりのタールボール。



▲ 図11：玉石の浜から広がったぎらつき。

これらの非鉱物系油は、水上に流出すると石油系油と同様に浮遊し挙動する場合がある。この範疇の油の多くは石油とは異なる腐臭を放ち、外観は半透明で、処理の程度によって白又は鮮やかな黄色と赤になる場合がある。エマルジョンも色は黄色と赤又は灰色と白になる場合がある(図8)。非鉱物系油としては、椰子油、菜種油、オリーブ油などがある。

## 海岸線での油の外観と持続性

浮遊ゴミが集まる場所を知っておくと、油が自然に蓄積する可能性のある場所を予測する際に役立つ。小さな湾や入江、並びに突堤、栈橋、その他の人工構造物の下は、一旦油が溜まるが、そこから油が再移動して別の場所を汚染する可能性がある。

漂着油の外観、持続性、影響は、海岸線の種類によって相当程度に異なる。海岸線は、岩がむき出しの磯、小石と砂の浜、そして植物に覆われた泥沼まで多様である。油汚染は、厚さでも汚染の範囲でも均一になることは稀

である。汚染は、液状油のたまり(図3&4)から様々な汚染の範囲、広く分散したタールボール(図9&10)やぎらつき(図11)まで様々である。しばしば風、波、海流によって油が連続的な一つの層ではなく、畝状又は断片になって海岸に残される。干満の大きい海岸では、比較的広い範囲の地帯が影響を受ける可能性があり、特に、平坦で植物に覆われた海浜はその可能性が高い。しかし、それ以外の場所では、汚染が高潮線に近い狭い帯状の範囲に限定される場合が多い。

海浜に漂着した油は、その後の潮や風によってたちまち砂の層に覆われる。掘削や掘り返しを行うことで、綺麗な砂に埋まっている油の層が一つ又は複数見つかる場合がある(図12)。

低粘度の液状油は砂に染み込むが、その染み込み方は基層の構成、粒径、及び水分含有量によって異なる。例えば、小さな粒子で構成される湿った珪砂は、粗く乾燥した貝殻砂より油の吸収量は少ない。玉石、小石、あるいは貝殻など粒径のより大きな海浜基層に浸透する油は、かなり深い層まで到達する可能性がある(図13)。



▲ 図12：波の作用によって綺麗な砂の中に埋まった油の層。



▲ 図13：油が砂利浜に浸透した重度油汚染。



▲ 図14：軽質油が石の突堤を汚している。この状態は、藻が成長した状態と見間違えやすい。



▲ 図15：波浪によって防潮壁に油が付着した重度の油汚染。

蒸発、酸化、生分解等の風化過程の速度が漂着油の持続性を決定する。しかし、海岸線から油が除去される最も実際の過程は、通常、剥離や鉱物又は粘土と油の凝集など自然の分散であり、それは高い気温や波の作用に曝されることで加速される。より長期的には、生分解や酸化などの風化過程の速度が漂着油の持続性を決定する。

タールボールは基本的に風化に対して非常に抵抗性が強いが、強い日光に当たると軟化し、分解しやすくなる。これに対し、岩や港壁などの固い表面に漂着した薄い油層は、強い日光を受けてこれらの表面に強く付着するため、除去がより困難になる場合がある（図14&15）。波の作用を受けると、最も持続性の強い油の塊でさえ最終的には小さな断片にまで縮小し、化学的過程や生物的過程によって容易に分解するようになる。植物に覆われた海岸では、作用する波のエネルギーが小さく、その結果、油はより長期間持続する場合がある。油が柔らかい堆積物の中に埋まると、波の作用からも、また酸素不足のために分解からも保護される。埋まっていた油が浸食や掘り返しによって再び吹き出しにならない限り、著しい分解が再開することはない。

漂着油の持続性に影響する要因は、技術資料「海上流出油の結末」において説明されている。

油と混同される可能性のある自然発生的な特徴と過程が幾つもある。その例を図16～24に示す。潮だまりでは、銀色あるいは多色の生物的由来のぎらつきが岩の表面を覆っている場合がある。一見油のように見えるこのぎらつきは、多くの場合生物的過程、例えば細菌分解の結果である（図16）。同様の効果が泥沼地の泥炭が露出している場所でも見られる。海岸汚染報告が、検査の結果、油とは無関係であることが判明する場合が時折ある。岩に付いた藻や地衣類（図17）、漂着した海草（図18）、その他の植物起源のもの（図19）がその良い例である。さらに、炭化木材粒子、炭塵（図20）、黒砂（図21）、軽石、その他の黒い岩（図22）、及び湿った堆積物や木の根（図23）も間違えやすい。一部の海浜では、砂を掘っていくと酸素のない層、つまり無酸素層に辿り着く場合がある。これは、多くの場合灰色又は黒色で、腐りかけた野菜のような激しい悪臭がある。これは自然の特徴であり、油と間違えないようにしなければならない（図24）。



▲ 図16：海草の腐敗によって自然に発生したぎらつき。



▲ 図17：磯に付着した地衣類。



▲ 図18：海岸に漂着した海草は、遠くから見ると軽度油汚染に似ている。



▲ 図19：黒い植物質。



▲ 図20：砂浜では粉炭が油のように見える。



▲ 図21：黒砂と黄砂の層は、風化した油によって海岸線が汚染されているような印象を与える（図6と比較）。



▲ 図22：黒い岩が油汚染のように見える。



▲ 図23：黒い濡れたマングローブの根は、油で汚染されている（差し込み図）と見間違えられる場合がある。



▲ 図24：嫌気性の堆積物は自然の特徴であり、油汚染と間違えないこと。

## 漂着油の説明と定量

海岸線清掃作業を開始し、その進捗状況を監視するため、海岸線のある特定の区間に存在する油の量の大きな評価が必要である。海岸線での油の分布は、場所により著しく異なる可能性があるため、漂着油の量の推定という任務は、慎重かつ一貫した態度を持って行わなければ、間違いに至る恐れがある。量の評価は主に視覚に頼って行うため、例えば油の漂着後に潮によって砂が浜に運ばれ、その砂の層によって油が隠されて（図12）、あるいは雪で覆われて（図25）見えなくなっていれば、この評価は非常に難しくなるか、不可能になる。ゴミや海草が積み上げられた砂浜（図26&27）の上、マングローブ林（図28）の中又はその他の種類の植物（図2）の上、磯（図4）の上、防潮施設（図29）の表面、あるいは突堤や波止場の下等に漂着した油も、さらに詳しく調査しなければ、目視だけで正確に定量することは困難である。

油が目視で確認できる場所では、二つの段階を経て定量を行うことができる。

## 汚染の範囲

最初に、海岸線における汚染の全範囲を海図又は地図上で推定して印を付ける。大規模流出においては、全容を把握するには、通常は航空機による調査がもっとも効率的で便利である。固定翼機は、通常、低空で海岸を詳しく調べるには飛行速度が速すぎるため、ヘリコプターが望ましい。航空機による調査の実施についてさらに詳しい情報は、技術資料「海上流出油の空中監視」を参照。

航空機による調査を行った後は、必ず実際に現場で確認すべきである（図30）。なぜなら、すでに述べたように、海岸線上にある多くの特徴が遠目には油によく似て見えるからである。海岸線の特徴が変化している、あるいは油の被覆範囲が変化している場所は、慎重に特定しなければなら



▲ 図25：雪に覆われた場所では、油の存在がわからなくなる場合がある。



▲ 図26：ゴミに覆われた海岸線に漂着した油は、ゴミの間に隠れて見えなくなるため、定量が難しい場合がある。



▲ 図27：海草に覆われた海岸線に漂着した油も、定量が難しい場合がある。



▲ 図28：油がマングローブの森の複雑に入り組んだ根の間に入り込むと、除去が困難になる場合がある。



▲ 図29：油がこれらのテトラポッドなどの防潮施設の間に入り込むと、海岸に漂着した油の真の量がわからなくなる場合がある。



▲ 図30：海岸線を歩いて確認する「グラウンド・トゥーリング」によって、汚染範囲の定量の精度を高めることができる。



ない。油の粘度と臭いを評価するための油の検査は、種類の特定に役立つことがある。

海岸汚染報告は、油そのものの説明の他、特に観察の場所と日時、油が汚染している範囲と場所、基層の種類、主要な海岸線の特徴、及び観察者の氏名が記載されていなければならない。

海岸線にある油の場所と外観を説明する文章にGPSと写真を添えると、非常に役に立つ資料になる。また、定規やペンなどを参照すると、写真を見る人が大きさの見当を付けられる(図10&12)。写真は、後に汚染の程度を比較して変化を判断するための基準になる記録として利用できる。油で汚染された現場に繰り返し訪れる必要がある場合には、特定の基準点から写真を撮影すると、後に容易に比較できるため有益である。

## 油の量

漂着油の定量の第2段階では、存在する油の量を計算するために、海岸線の代表試料を選択する。海岸線のタイプと汚染の程度に応じて海岸線を幾つかの区間に分割することが有益である。選択する海岸線の被調査区域は、妥当な時間内に油の量の信頼できる推定が行えるように、十分に小さくしなければならない。しかも、同様に油で汚染されている海岸線の区間の全体を代表できる程度に大きくなければならない。

油で汚染されている海浜の区間については、その面積を推定しなければならない。そして、汚染の程度が一定であれば、油の厚さの平均値は、比較的容易に測定できる。したがって、図31において海浜にある油の量は、図の見出しで説明されている方法によって、およそその推定ができる。

図32及び33に見られるように、油汚染の程度が高潮線と低潮線の間で変化している場合、例えば幅1メートルで海浜の一番上から水際までの代表的区画を調査するべきである。次に、その区画の中で数カ所の代表的な場所の油の厚さを目視によって決定し、その区画の面積を乗じて、その区画にある油の量を求めるというやり方で、海浜にある油の量を推定することができる。図の見出しで説明されているように、海浜の全長をその区画の油の量に掛ければ、油の総量の推定値が得られる。海岸線の性質又は油の被覆範囲が異なっている可能性のある区域では、区域毎にこの作業を繰り返す。

このようにして漂着油を定量する際、誤算定の原因が複数含まれることは避けられないため、得られる値は概数である。砂浜では、汚染された面積の計算は比較的容易だが、海浜基層に染み込んだ油がある可能性を忘れてはならない(図12&13)。海浜基層の粒径が大きくなるほど、染み込む油の量は多くなると思われる。したがって、粒径が大きいほど、その海岸線にある油の量を推定することはより困難になる。

染み込んだ油の量の推定は非常に困難だが(図34)、砂が均一に飽和していれば、実用的な経験則から、純油含有量は油が染み込んでいる砂の深さの約10分の1である。例えば、油が均一に深さ5cmまで浸透していると、表面より下にある油の量は、およそ $0.005\text{m}^3/\text{m}^2$ つまり5リットル/ $\text{m}^2$ である。さらに、油の量を計算するときには乳化の程度を考慮する必要がある。安定した油中水型エマルジョンは、通常、40~80%の水を含有している。つまり「真の」油の量は、汚染物質の観察された量の5分の1である。したがって、図31において観察された油が70%の水を含有するエマルジョンであるとすると、真の油の量は、海浜全体で $9\text{m}^3$ ではなく約 $2.7\text{m}^3$ である。しかし、海岸線清掃作業の準備を整えるときには、汚染物質の全体の量、つまりこの例では $9\text{m}^3$ が重要である。

状況によっては、上に述べたような比較的時間のかかる方法は実際に用いることができない。その場合は、代替の定性的方法を用いて被覆率を推定することができる。例えば、汚染度を標準的基準との比較により「軽」「中」「重」に分類すること、あるいは同様の用語を用いて推定することができる(図35)。又は、油に汚染された海岸線を本書10ページの写真と比較して分類することもできる。風化した油の個別の又は散乱した塊を、そのサイズに従って説明することができる。

多くの場合、漂着油の定量を行うための最も説得力のある理由は、清掃を行いやすくすることである。したがって、流出した油ではなく油混じりの物質の総量が最も重要な数字である。なぜなら、油と混じったゴミ、砂又は水も除去が必要だからである。しかし、砂浜では、油で飽和した砂の除去を行うには、場合によっては海浜にある油の量の最大10倍もの量の物質を処理する必要がある。その結果、海浜の浸食、集めた物質の一時的貯蔵、及び最終処分に関連する問題が生じる場合がある。この問題に対する詳細な助言は、技術資料「海岸線における油の清掃」を参照。

海岸線の油汚染の定量は、一部の国でSCAT(海岸線清掃評価チーム又は技術)作業の中で正式に定められている。SCAT調査を行うとき、適切な訓練を受けた担当者が位置情報を記入した観察結果をあらかじめ用意された書式に、具体的で標準的な用語を用いて、一定の方法に則って記録する。その一例を図35に示す。このような説明と定義によって、経時的な、異なる現場間での比較が可能になり、観察者は海岸線油汚染の状況と程度の空間的な全体像を作ることができる。

油の定量と説明から集めた情報は、対応作業の意思決定と計画策定、監視、終了及びその後の損害評価など、対応の様々な段階を進める中で利用することができる。油汚染現場の比較と優先順位の決定を可能にするため、海岸線の油汚染についてあらゆる状況と程度を理解することが重要である。それは、汚染された地域の規模及び油の量又は油と混じった物質の量に基づいて、海岸線の清掃に必要な資源、人員数、及び作業時間の計画を立てるために役立つ。



重度油汚染

◀ 図31：長さ300メートルの砂浜の重度油汚染。

油の量は、次のようにして計算することができる。

油の平均厚さは約1cmである。

油帯の幅は、高潮線と低潮線との間の約3mである。

$300\text{m} \times 0.01\text{m} \times 3\text{m} = \text{総計}9\text{m}^3$   
したがって  
 $9,000\text{リットル}/(300\text{m} \times 3\text{m}) = 10\text{リットル}/\text{m}^2$   
したがって  
海浜全体を通じて1メートル幅の区画にある油の量は約30リットルである。



中度油汚染

◀ 図32：長さ500メートルの砂浜の中度の断続的汚染。

油の量は、次のようにして計算することができる。

油の平均厚さは約1mmである。

油帯の幅は、高潮線と低潮線との間の約5mである。

$500\text{m} \times 0.001\text{m} \times 5\text{m} = \text{総計}2.5\text{m}^3$   
したがって  
 $2,500\text{リットル}/(500\text{m} \times 5\text{m}) = 1\text{リットル}/\text{m}^2$   
したがって  
海浜全体を通じて1メートル幅の区画にある油の量は約5リットルである。



軽度油汚染

◀ 図33：長さ200メートルの砂浜の軽度の不均一な油汚染。

油の量は、次のようにして計算することができる。

この場合も、油の平均厚さは約1mmだが、海浜の高潮線と低潮線の間で汚染されているのは面積にして約10%である。

油帯の幅は約5mである。

$200\text{m} \times 0.001\text{m} \times 5\text{m} \times 10\% = \text{総計}0.1\text{m}^3$   
(100リットル)  
したがって  
 $100\text{リットル}/(200\text{m} \times 5\text{m}) = 0.1\text{リットル}/\text{m}^2$   
したがって  
海浜全体を通じて1メートル幅の区画にある油の量は0.5リットル未満である。

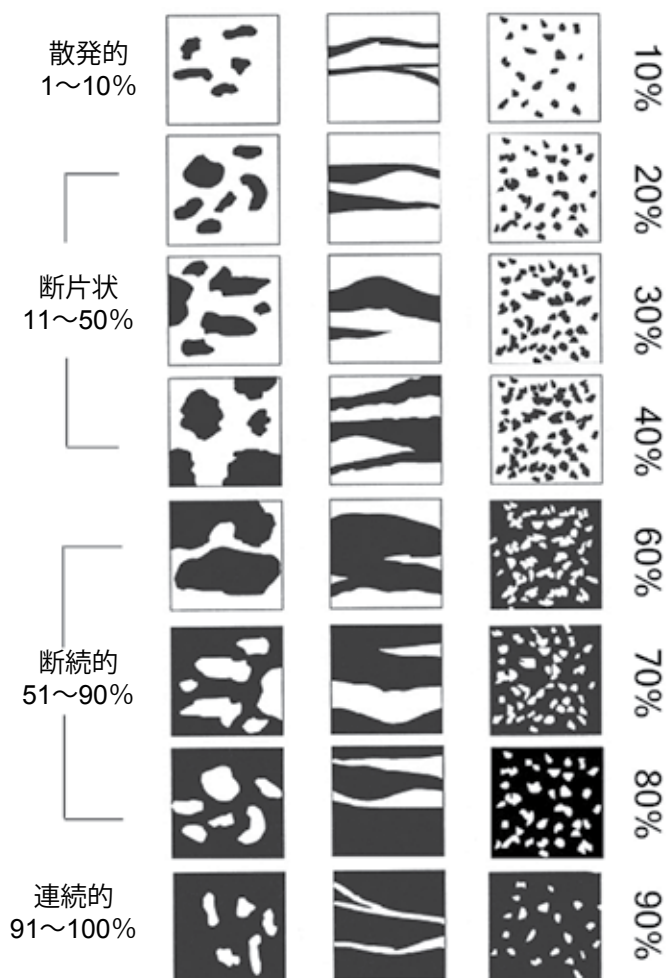


▲ 図34：砂に埋もれた油の場所を突き止めその範囲を定量することは、困難な作業になる場合がある。

## サンプリング指針

資源への損害の原因となる、又は海岸線清掃を必要とする油汚染について、求償が行われる場合がある。被った損害又は発生した費用と汚染源の関連を示す証拠が求められる。この関連は容易に証明できる場合もあるが、時には、疑わしい汚染源と汚染現場で採取した油の化学的分析が必要になる場合もある。化学的分析の費用は比較的高価なため、様々な試料を多数採取及び保管するのが賢明だろうが、分析は、紛争が生じたときに主要な試料のみ行うように止めるべきである。

環境被害の評価を目的としてサンプリングを行う場合、汚染区域の化学的分析結果を、事故現場の近隣にある類似の、ただし汚染されていない環境から採取した標準試料の分析結果と比較することが重要である。詳細は、技術資料「海上流出油のサンプリングと監視」を参照。



▲ 図35：汚染状況の比較と定性的推定を行うための油の面積の割合（参考値）（Owens, E.H. & Sergy, G.A., 2000, *The SCAT manual. A field guide to the documentation and description of oiled shorelines* 第2版。カナダ環境省、カナダ、アルバータ州エドモントンより抜粋した図を一部改変した。）

## 要点

- 海岸線上の油の想定流出源を検討すること、油の物理的外観と臭いに注目することで、その由来に関する手掛りが得られることがしばしばある。
- 海岸線には油に似た多くの特徴が見られるが、油ではない場合もあるため、油汚染報告を精査することが推奨される。
- 漂着油の量の有効な推定は簡単な方法で可能であるが、正確な算定は不可能である。
- 適切な対応計画を策定するには、油のある場所、種類、及び推定量、並びに海岸線の種類についての情報を併せ考えることが重要である。

## ITOPF技術資料

- 1 海上流出油の空中監視
- 2 海上流出油の結末
- 3 油汚染対応におけるオイルフェンスの使用
- 4 流出油処理における油処理剤の使用
- 5 油汚染対応における油回収機の使用
- 6 海岸線における油の確認
- 7 海岸線における油の清掃
- 8 油流出対応における油吸着材の使用
- 9 油とゴミの処分
- 10 油流出対応における統率、指揮、管理
- 11 漁業及び養殖業に対する油汚染の影響
- 12 社会・経済活動に対する油汚染の影響
- 13 環境に対する油汚染の影響
- 14 海上流出油のサンプリングと監視
- 15 油汚染に関する求償の準備と請求
- 16 海上油流出に対する緊急時対応計画の策定
- 17 海上の化学物質事故への対応

ITOPFは、油や化学物質、その他危険物質の海洋流出に対する効果的な対応の推進を目的として、世界中の船主や保険業者のために設立された非営利団体です。技術サービスには、緊急時対応、清掃技術におけるアドバイス、公害損害評価、流出油対応計画に対するサポートならびにトレーニングの項目が含まれます。ITOPFは海洋油汚染における総合的な情報ソースで、本資料はITOPFの技術スタッフの経験に基づく文書シリーズの一部です。本資料内の情報はITOPFから事前に許可を受けた場合にのみ複製可能です。詳細は下記までご連絡ください。



### ITOPF Ltd

1 Oliver's Yard, 55 City Road, London EC1Y 1HQ, United Kingdom

Tel: +44 (0)20 7566 6999

Fax: +44 (0)20 7566 6950

24時間受付: +44 (0)20 7566 6998

Eメール: [central@itopf.org](mailto:central@itopf.org)

Web: [www.itopf.org](http://www.itopf.org)



## 石油連盟

<http://www.paj-gr.jp/>

〒100-0004東京都千代田区大手町1-3-2 (経団連会館)

Tel: 03-5218-2306 (油濁対策室) Fax: 03-5218-2320

Eメール: [pajosr@sekiren.gr.jp](mailto:pajosr@sekiren.gr.jp)