



序文

油流出が起きると、多くの場合、政府やその他の組織は重要な資源が汚染される範囲または海洋環境が受ける事故の影響を知りたいと願う。人の健康または影響を受けやすい資源を守る上で迅速な対応の必要性を見極めるため、こうした情報が重要となるからである。意思決定を行うため監視プログラムを実行する。同プログラムには調査の実施と化学分析のための試料収集（油、海水、堆積物または生物相）手順が含まれる。

本資料では、油汚染の定性的・定量的な監視に使うことができる監視およびサンプリングの手順と手段について幅広く概観している。定性分析は油汚染の流出源を確定することができるが、監視プログラムは炭化水素レベルの定量的な経時変化に関係していることが多い。本資料では分析の適正手順に関するガイダンスを行うとともに、共通用語について説明している。しかし、特定の生態学的または生物学的影響および空気中の汚染物質を監視するために必要な技術および調査については本資料の対象としていない。

概要

油流出後の監視プログラムでは、目的に応じさまざまな方法で監視に着手することができる。空中監視や船または海岸を拠点とする調査によって油の汚染範囲を記録することは、通常どのような監視プログラムでも手始めに行われる。これによって汚染の分布および範囲を特定することができ、危険にさらされている資源を守るための対応戦略を策定できるかもしれない。汚染の範囲を視覚的に明らかにすること（図1）によって、あらゆる監視プログラムの設計を後押しし、監視目的に応じ特定された被害区域の内外でサンプリング地点の設定が可能になる。油流出後に監視に着手する理由は事故によって異なる。監視は必ずしも常に必要なわけではなく、特に油流出の規模が小さく資源が危険にさらされていない場合、または特定の資源に対する油の影響が十分に分かっている場合は、監視は不要である。監視を行う場合の目的は以下のとおりである。

- 油の汚染源を確定する。
- 汚染物質が人間の食物連鎖に転移する危険性を確認する。
- 漁業規制の必要性に関する意思決定に役立てるため、あるいは漁業規制を設けるため、魚介類に対する汚染の影響を解明する。
- 観測された環境被害について、特定の汚染事象から発生した高濃度の油に直接起因するかどうかを確定するために、原因と結果を検証する。
- 対応の継続もしくは終了についての意思決定に役立てるため、堆積物または水中に含まれる炭化水素濃度を測定する。
- 海洋環境内の炭化水素濃度の低下を確認し、回復を監視する。
- 回復措置に着手し持続することが妥当な条件を特定する。



◀ 図1: 油流出の後に、環境内の汚染物質レベルの変化を見極めるため監視プログラムが必要になる場合がある。

- 油流出当時の被害の評価から見て、回復が進行中で、海洋環境内の油の濃度が自然環境の水準に戻りつつあることを証明する。
- 海水浴場の水質基準など、該当する国の規制に従い設定された監視要件に取り組む。

どのような監視プログラムでも、その目的は、環境に流出した油に関する具体的で合理的な懸念に応えるために、信頼できる客観的かつ有用な情報を提供することではなくてはならない。環境内の汚染物質の範囲とレベルを経時的に実証することは、ほとんどの監視プログラムの根幹を成しており、大半の事故において測定する必要がある要素はこれらだけである。汚染物質の監視と並行し、油汚染による環境被害の可能性を調べるために、さらに詳しく調査することは可能である。しかし、個別の資源または生息環境を調査するために用いる方法論は多様で数え切れないほど存在する。従って、本資料では事故対応期間中の意思決定に役立つよう、汚染物質の監視を行うための論拠と方法論に重点を置く。

どのような監視プログラムでも、作業を始める前にその目的を可能な限り厳密に決めることは重要ではあるが、初期段階の調査結果に応じて目的を追加したり、初期の目的を調整したりするには、段階的な着手方法がふさわしい場合もある。

監視プログラムの実施に当たっては、以下の3つの相互補完的着手方法が可能である。

- ・ 流出後のデータと流出前のデータの比較
- ・ 汚染区域のデータと汚染されていない参照地点のデータの比較
- ・ 一定期間にわたる変化の監視

監視は、事故を科学、法律、作業、そして資金の見地から総合的に見ることで重要な機会となる。体系的にもたらされた結果は、油の流出源や法的責任を確認するため、防除作業中に下された判断の正当性を立証するため（例えば、手段の妥当性や最適な終了時点）、そして環境の回復を追跡するために使うことが可能である。監視調査の結果は補償金やその他金銭をめぐる問題に大きな影響を与えることがあるため、監視における最も建設的な着手方法はすべての関係者が協力して取り組むことである。これは、合同サンプリングと分析、独立した第三者の活用、または単独の当事者が行うサンプリングと分析であってもその結果共有を通じて達成することができる。こうした着手方法によっても結果の解釈で意見の相違が生じる可能性はあるが、どれもが労力と費用の重複を減らし、基本的事実について最大限の合意を得る機会となる。

監視プログラムの設計

流出油の結末、挙動および影響、さらに資源が炭化水素に暴露する可能性のある経路について把握できれば、監視プログラムの必要性について検討が進み、必要であればプログラムの設計に役立つことになる¹。汚染の地理的範囲が分かれば、

調査区域の線引きが可能になる。しかし、こうした線引きも油の流出が続く場合は見直す必要があるかもしれない。漂着油の再移動が原因の場合もあるし、初期のサンプリングと分析の結果により被害区域が当初の想定と異なっていることが分かる場合もある。流出油の種類と天然資源が油にさらされる程度も、監視プログラムを設計する際に検討すべき重要な要素である。暴露の危険性がある経路だけでなくこれらの要因も考慮することで、適切な空間および時間の要素の適用が可能になる。

監視プログラム設計の第一段階は、調査の目的を明確にすることと、目的を達成するために必要な情報およびデータを確定することである。調査の目的によってプログラムの範囲と内容が決まる。通常は政府当局が定めるか、汚染者に対する求償請求がされた場合に対応し定める。どちらの場合にも、調査範囲と実施計画についての合意は初期の段階で、そして理想的には先に述べたように協動的に行う必要がある。

目的が合意されれば、詳細な監視計画を作成し、取得すべきデータまたは情報の種類、試料収集の必要性、サンプリング地点の分布、そして各地点で採取すべき試料の種類、数および容量を定めることができる。サンプリングの頻度、分析の種類、そして調査全体の時間枠は、監視の目的によって異なる。例えば、もし目的が環境内の油濃度が自然環境の水準まで下がってきていることを立証することならば、一旦自然環境の水準に達した時点、または結果が十分な減少率を示した時点で調査は完了したと判断できる。船が原因の油流出事故は、多くの場合、適切な流出前データはあまりなく、正確な基準（コントロール）試料を入手する機会は乏しい。そのため、監視プログラムは事故の最中に汚染されていない近くの参照地点から集めた基準（コントロール）データに頼ることが多い。選ばれた参照地点が汚染区域内で調査している生息環境の種類を代表していること、そ

¹ 別紙「海上流出油の結末」、「漁業および養殖業に対する油汚染の影響」、「社会・経済活動に対する油汚染の影響」および「環境に対する油流出の影響」に関するITOPF資料参照。

| 所在地 | 監視目的 | 監視活動 |
|------|---|--|
| 南米 | 油汚染の範囲と防除措置の継続の必要性を決定するため。 | 海面の油の有無と海岸線油汚染の範囲を画像として記録するため、船舶による調査や汀線調査が大規模に実施された。防除を必要とする油の汚染場所が特定され、適切な防除技術が推奨された。防除作業中から作業完了後の最終検査まで監視を継続することにより、防除作業の終了に関する報告が適切な時期に可能となった。 |
| 欧州 | 事故による油で汚れた主要な現場での堆積物中の油汚染レベルを明らかにするため。 | 事故の最中に油で汚染されたことが分かっている主要な現場の砂浜や浅瀬の堆積物から3か月間にわたり試料が採取された。試料は全炭化水素（THC）と多環芳香族炭化水素（PAH）について分析が行われた。監視の結果によりほとんどの堆積物で油流出の影響をそれほど受けていないことが判明した。 |
| インド洋 | リン酸塩およびバンカー燃料の積荷が流出したことから、沿岸にある井戸で飲み水が汚染されているかどうかを確かめるため。 | 汚染された海岸沿いにある井戸水と汚染区域外の井戸水から試料が採取され、リン酸塩やPAH、重金属について分析が行われた。参照地点の井戸と汚染区域内の井戸のそれぞれから採取された水の平均値の比較では有意差は見られなかったため、現地の飲み水の供給に事故による汚染はなかったと結論付けた。 |
| 大西洋 | 漁場汚染の可能性について海域の範囲と持続期間をはっきりさせるため。 | サンプリングプログラムによって、影響を受けた海域および参照地点で生物種の試料収集が何か月にもわたり続いた。PAHの減少速度を監視するため、参照海域と影響を受けた海域の試料を分析した。 |

▲ 表1: 過去に起きた油汚染事故の監視目的および活動の例。分析されたさまざまな要素については囲み記事1で後述している。

して生物相や地形、物理的性質、例えば潮流または干満の影響など)の点で比較できることが重要である。さらに、定量的データの提供を目的としている調査では、どの生態系でも通常生じる自然変動を考慮しなくてはならない。参照地点と汚染区域の測定結果を時系列で比較すれば、自然発生的な変動と季節による変化を考慮に入れることが可能になる。

表1は、過去の油汚染事故の事例に見られる監視目的と監視活動の要約である。

監視地点の位置と数

現地調査は、油の位置および規模に関して参考となる地理的情報をいち早く収集するために役に立つ。海岸線の防除作業の有効性または自然回復の進捗を定性的に監視する上でも調査は役立ち、特に定期的実施されると有益である。現地調査に含むべき地点またはサンプリング地点の位置および数は、油流出による影響のばらつきおよび被害を受けた海岸線の範囲およびばらつきに大きく左右される。選定する地点が確実に防除区域、汚染が観測された地点または監視対象である生息環境を代表する場所であるよう常に注意を払うべきである。しかし、ほとんどの油流出シナリオは、調査する地点の数または収集する試料の数を決めるために高度な統計学的手法を必要としない。実際には、統計的信頼性への要求と、時間的・財政的制約の中で複雑な生態系の時空の変化を完全に説明するための実践的要求の両方を満たすためには、妥協やある程度の実践的な方法が求められることが多い。その上、油流出後の監視調査ではサンプリング地点の最適な位置および数に関する普遍的な基準はほとんどない。代わりに、監視プログラムの目的および事例ごとに特有の多くの変数に左右される。変数には以下のようなものがある。

- 流出油の量および種類
- 油の風化特性(例えば、拡散、溶解など)
- 被害区域の物理的特性(例えば、砂地、風雨にさらされる状況など)
- 影響を受けやすい資源の性質および位置
- サンプリングおよび分析に用いることができる方法
- サンプリングを制約する可能性がある物理的条件(例えば、アクセスまたは天候)

最も単純な状況、例えば監視の目的が汚染源を特定する場合などでは確率を基礎とするサンプリングの設計は必要ない。その代り、油膜または汚染された海岸線から採取した試料はごく少数であってもその汚染を代表する試料であるということは通常どの関係者でも同意するだろう。

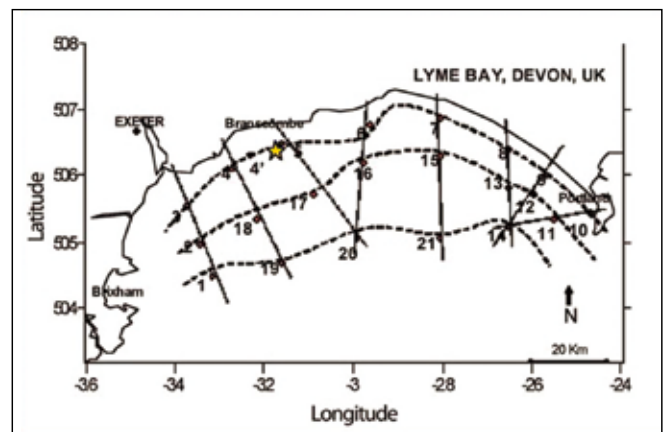
場合によっては、サンプリング地点の最適な位置および数は、調査エリアの地図に油汚染を示すGPS座標の注釈付き方眼を重ね合わせることで推定することができる。1本のトランセクト(帯状の横断標本地)または一連のトランセクトは、汚染源からの距離(図2)またはその他の環境変数(潮の高さなど)に関連する傾向を特徴づける上で有用である。この体系的な着手方法は、特に広域にわたる湿地または砂地などの比較的

均質な海岸線に設定された区域で役立つと思われる。物理的特性が多少複雑な沿岸区域(例えば、複数の湾が接していない場合)、または油流出が広域に影響を及ぼしている海岸線の区域では、区域全体を小さい層状の区画に細分化し、別々に監視することがある。実際にはサンプリング地点は油の分布および自然環境の勾配を反映するように選ばなくてはならず、この点において、監視プログラムを策定する際にその土地の知識を利用することは有用である。

完全に無作為な着手方法のサンプリングは可能であっても、監視プログラムにおいて汚染物質のためだけに行うサンプリングで用いることはまれである。無作為な着手方法を取れば、結果報告に当たり統計的推測を多用することができるが、莫大な数の試料を分析しなくてはならず、はるかに大きな費用をかけてもデータはほとんど改善されない。その代わり、複雑な事例の場合、特定の調査要素を無作為にすることで有益な折衷案を得ることができる。例えば、層化無作為サンプリングを用いたり、より精緻な手法である段階的(群落)サンプリングまたは複合サンプリングを実施したりすることである。そのような事例で確率を基礎とする適切なサンプリング設計を行うには、環境統計学者の尽力が必要となるかもしれない。統計的手法によってサンプリング計画を設計するためのさまざまな着手方法については表2で要約している。

監視プログラム実施のタイミング

流出後の汚染物質の監視やサンプリング活動に明確な期限はないが、監視を始めるのが早ければ早いほど、すぐに消えてしまう一過性の影響を検出し、汚染範囲の変動を記録することができる。サンプリングが必要な場合、流出源を確かめるために汚染区域から試料を集め、一過性のデータのために試料(特に試料水)を収集すると同時に、潜在的流出源から油の試料を確保し保存しておくべきである。多くの影響評価はモデル予測に基づいているため、予測の検証に必要な生物相が暴露した有効濃度を立証するためには一過性のデータが重要になることがある。



▲ 図2: 浜に乗り上げた船舶の位置(黄色い星印)に近い海水サンプリング地点の位置(出典:「2007年1月に起きたMSCナポリの座礁後にライム湾にて実施された環境監視と影響評価」、『CEFAS Aquatic Environmental Monitoring Report』No.61—<http://cefas.defra.gov.uk>)

| サンプリング設計 | 流出後の監視に関連する主な特徴 |
|----------------|---|
| 任意の判断によるサンプリング | 簡単に実行できる「常識的な」着手法。監視プログラムの中でも特に低労力な同定手法や合意に基づく分析に適している。サンプリングを行う者の判断に基づく、非確率的サンプリングの一例。 |
| 単純無作為サンプリング | 試料は大集団から完全に無作為に選ばれる。統計的に裏付けのある手法で、均質な区域（開水域、あまり変化のない長い海岸線、漁場）で簡単に実行できる。変化に富んだ海岸線や汚染物質レベルの差が大きい区域での実行は難しい。 |
| 層化無作為サンプリング | 単純無作為サンプリングに「判断による」抽出を加えたものであり、区域は無作為サンプリングのために状況に応じた小区画（または層）に分割される。区域全体でさまざまな小区画がある多様な特性を備えた不均一な区域での使用に適している。 |
| 系統的（方眼）サンプリング | ほとんど変動がないことが分かっている広い区域、特にトランセクトを設置することができる船上サンプリングに適している。他の変数（例えばその他の汚染源）が系統的に関わっている可能性がある場合、統計的に困難な問題がある。 |
| 群落サンプリング | 第一段階で特定された環境汚染地域で二度目のより詳細な調査を可能にする効果的な多相着手法（多くの場合、方眼設計）。 |
| 混合サンプリング | 分析のために試料を組み合わせることで広い区域を検査することができる、極めて効率的な段階的着手法。汚染度合の幅が大きい区域には適していない。 |

▲ 表2: 流出後の監視においてサンプル地点の分布を決める代表的な統計的着手法。

監視プログラムの期間および繰り返しサンプリングの頻度は、プログラムの目的と測定する特定要素の固有特性によって決まる。例えば、汚染された環境への油の総集積量の測定値は、自然環境での濃度が元に戻るまで何週間あるいは何か月にもわたる監視が必要となるかもしれない要素である。その一方で、監視プログラムの目的が油処理剤の使用など特定の対応技術の有効性を判定することであるならば、監視の即時実施と結果の迅速な処理が時宜を得た判断を下すためには不可欠になる。

プログラムの実施に当たっては関連する事業の計画や費用だけでなく、訓練されたスタッフや適切なサンプリング船舶などの資源の可用性も考慮する必要がある。試料を安全に正しく採取できる割合は、天候や海面状態、そしてサンプリング地点へのアクセスしやすさによって異なる。さらに、一過性の影響を測定する場合、可能な時間内に試料を採取するためには、懸念のある地域を調整するか、サンプリング比を望まれる値に合わせる必要が生じるかもしれない。すべての場合において、実施のタイミングとプログラム全体の設計には、分析実験室での試料処理にかかりそうな時間と結果が求められるスピードを考慮すべきである。例えば、油流出によって漁場が被害を受ける可能性について調査をする場合、サンプリングおよび分析のタイミングは、漁場の閉鎖または再開について判断材料となるデータの必要性に影響を受けることが多い。

費用の予算化

監視プログラムの支払い責任は事故または被害が生じた国内

で適用される法体制によって異なる。誰が支払うべきかにかかわらず、工程の初期段階で内訳を含む予算案を作成すると良い（表3）。作業を始める前に、必要に応じ、賠償金を支払う関係団体との間で予算案について話し合ってもよい。

一般的に監視の総費用の予算化には、費やす労力、着手する調査の頻度、試料またはサンプリング地点の数、そして必要な分析の種類を反映すべきであり、取り組む問題の規模に比例すべきである。しかし、例えば船舶の賃借料などの固定費用もあるため、最終試料単価は必ずしも採取する試料の総数によって影響を受ける訳ではない。ほとんど追加費用をかけることなく最小試料数よりも多く採取することが可能な場合がある。とは言っても、分析費用は試料数と直接関連する傾向にあるため、最小数の試料のみを分析し、残りの試料は後日必要になる時のために適切な保管場所で管理するよう推奨されることが多い。

段階的着手法の採用は監視費用を釣り合いの取れた金額に収めるためのもう一つの戦略である。油流出の直後に実施してもよいサンプリングの初期段階と比較し、後期はより範囲が絞られることが多い。監視プログラムの終了基準は早い段階で検討する必要があるが、汚染物質の監視は自然環境の水準に戻ったことが確認された時点で通常完了する。

検査機関の選定

試料分析の任務を引き受ける検査機関の選定には、すべての関係者がプログラムの設計段階で合意する必要がある。検査機関は予想される試料数に対応できる能力を有し、プログラ

| 背景 | サンプリング | 分析 | 事業実施 |
|---|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 件名、日付、位置 科学チームメンバーの名前と所属 目的、方法、手順 | <ul style="list-style-type: none"> 期間と頻度 地理的範囲 試料の種類 | <ul style="list-style-type: none"> 分析を引き受ける検査機関 分析計画および関連費用 結果報告の期日 | <ul style="list-style-type: none"> 資機材や物資の説明と費用 特別な事業支援の原価計算 交通費と宿泊費の原価計算 |

▲ 表3: 予算案の代表的な構成要素。

ムの目的を達成するために必要な技術を提供しなくてはならない。特定の検査機関の適性を判断するために行ってもよい予備審査の中には次のような項目がある。

- ・ 検査技師は炭化水素の分析について十分な経験と能力を有しているか。
- ・ 検査機関は必要不可欠な設備、特に(後述のように)紫外線蛍光(UVF)法による測定装置やガスクロマトグラフ/水素炎イオン化型検出器(GC-FID)、ガスクロマトグラフ/質量分析計(GC-MS)を保有しているか。
- ・ 検査機関は国の認定を受けているか、あるいは国際的に認められているか。
- ・ どのような品質保証および品質管理手順が実施されているか。
- ・ 油流出に関する業務は日常業務よりも優先されるか。
- ・ 試料のふるい分けおよび分析の実施に関わる費用はいくらか。
- ・ 結果報告はどのように行うか。
- ・ 検査機関は、必要な場合、法廷で分析結果の説明および弁護を行う用意があるか。

品質管理

サンプリングおよび分析の質の高さを維持するため、すべての監視計画は二つの重要な要素を組み込まなくてはならない。

- ・ 品質保証(QA):サンプリングや分析など監視計画の各側面が正しく行われているかを確認するための工程や手順が整っていることを保証する(工程の監査)。
- ・ 品質管理(QC):監視計画の目的実現を保証する(成果物の検査)。

品質管理の目的のために試料を分ける方法がいくつかあるが、試料採集の前には決定する。

- ・ 分割試料:十分に均質化されたそれぞれの試料を抽出または採取された後に分け、二者以上の関係者に独立した分析を引き受ける機会を与える。
- ・ 現地重複/反復検査試料:同じ場所で同じ道具および手順を使って二つ以上の同一の試料を採取する。このような試料は標本分散について検査するために使われ、検査機関はその正体を知らされない場合がある。
- ・ 検査機関重複/反復検査試料:同じ検査機関に分割試料が分析のために渡されるが、二つの異なる試料であると説明される。検査機関の分析精度を検査するために使用できる。

サンプリングおよび監視プログラムの実施

収集する現場データや情報の種類および範囲は、監視を行う目的によって決まる。例えば、油処理剤適用の有効性を監視するため水中の油濃度についてのデータを収集する場合は、

訓練された観測者の目視観測に加え、紫外線蛍光(UVF)法を用いればよい²。現地調査の結果を意思決定に役立てるためには、時機を逃さず指揮センターに送る必要があることは明らかである。

海上または海岸線に広がる油の地理的範囲全体から情報を集めるためには空中監視が有益だが、海岸線の油汚染を素早く記録するためにより詳細な汀線調査を行えば、適切な防除技術の決定に役立つ極めて重要な情報が提供される。汀線調査の結果を記録するには、メモやスケッチに加え写真や動画を用いることが一般的である。空中監視にとっても汀線調査にとってもGPSデータにより画像を記録することは有益であり、それによって、データや情報を直接参照することが可能になる³。

油の特性および油流出時の環境状況から大量の油が沈んだ可能性が示唆される場合、実際にそれが起きたかどうかを確認するとともに、被害海域の範囲を特定するために水中調査が必要になることがある。そのような調査の目的を達成するには、潜水作業員もしくは遠隔操作探査機(ROV)による視覚的評価、音響センサーおよび音波探知機、または機械的方法など、さまざまな手法がある。過去の事例では、沈下した油を検出する機械的方法として、吸着剤を定位置に固定するか、海底をけん引する形(図3)が用いられている。

収集する現場データや情報の種類にかかわらず、データや情報の収集方法の正確さと一貫性を確保するためには、SCAT(海岸清掃評価法)などの手順を開発すべきである。さらに、調査を請け負う人員は適切な訓練を受けている必要がある。着手する可能性のあるその他の監視調査の結果とリンクできるように、収集したすべての現場データまたは情報は適切に分類、記憶し、記録文書保管所に保管しなくてはならない。

² 別紙「流出油処理における油処理剤の使用」に関するITOPF資料参照。

³ 別紙「海上流出油の空中監視」と「海岸線における油の確認」に関するITOPF資料参照。



▲ 図3:潮下帯で吸着材を使用しサンプリングをしている。吸着材を取り付けたフレームを海底にはわせてけん引する。引き上げられた時に吸着材に付着した油によって油が沈下した地理的範囲を判断することができる。

| 試料の種類 | 最小必要量の指標(1試料当たり) |
|---|-----------------------|
| 流出源の手付かず油試料 | 30～50ミリリットル |
| 汚染された油(例えば、乳化した油、海または岸から回収した油、砂だらけの廃油ボールなど) | 10～20グラム |
| 油の付いたゴミ、油が染み付いた砂 | 油含有量が約10グラムになるのに十分な量 |
| 油で汚れた羽毛 | 付着した油の量に応じて羽毛5～10枚 |
| 魚、貝類(生身と臓器) | 合算して30グラムになる同一種の複数の個体 |
| 油が目に見える海水試料 | 1リットル |
| 油が目に見えない海水試料 | 3～5リットル |

▲ 表4:炭化水素分析で一般的に必要なとなる試料の量に関する指針。

試料収集

試料収集の手順は、国際的に認められた適正手順(最良実施例)に従わなくてはならず、また監視計画に詳細に記述しなくてはならない。この着手方法によって、現地のサンプリングチームが確実に同じ手順に従うとともに、結果を正しく解釈するために十分な情報が確実に利用可能になる。国際的に認められた適正手順に従えば、必要になった場合、その結果が法廷で擁護される可能性も高くなる。各種試料の量に関する指針は表4に記載のとおりである。

流出源の試料

監視プログラムの早い時期に入手すべき最も重要な試料は、考えられるすべての流出源から採取したことが検証されている混じりけのない油の試料である(図4)。破裂したパイプや船のタンクなど、流出源が分かっている接近可能な場合は、有資格者が直接試料を採取することができる(図5)。流出源が分かっていない場合は、流出源の可能性のある複数の対象から試料を集める必要があるかもしれない。積荷タンク内の油は通常一か所から抽出すればよいが、バンカータンクやビルジの中身は試料の抽出が一点ですむほど均質とはいえないため、

タンクの層別サンプリング(通常、上層、中間層、底層)が実施されることが多い。

油の試料は通常積荷の油またはバンカー油として船に積まれている間に採取され、商事紛争に備えた標準作業手続として保管される。そのように保管された試料は流出源試料として有益であったとしても、使用に際しては品質および一連の管理上の問題が関わってくる可能性があるため注意しなくてはならない。試料がプラスチック容器に保管されていた場合は特に注意が必要である。流出源が難破した沈没船であり、試料を採取するために接近することが不可能な場合、沈没船の真上の海面に浮かんできた油を油の試料として収集してもよい。その後、沈没船の油除去作業が着手されれば、サルベージ・チームから少量の回収油を入手できるかもしれない。流出源から試料を入手することが不可能な場合、汚染された海岸線から採取した油の複数の試料を流出源試料の代替として用いることができる。

流出油のサンプリング

浮遊または漂着した油の試料は、一般的には、濃度分布の地図を作るための定量目的よりも、油の流出源を確認するための定性目的で採取される。通常分析で必要とされるの



▲ 図4:事故の起きた船上で流出源油であるバンカー燃料の試料を注ぎ移している。



▲ 図5:船からの試料採取はかなり専門的かつ危険を伴う作業であるため、船舶の乗組員、海事鑑定人または海難救助者が行うべきである。



▲ 図6:きれいな吸着材パッドで浮遊油を採取している。

は10~20グラムの少量の油だけである。海面からは直接試料瓶または吸着材パッドを使い試料を収集することができる(図6)。立ち入りが制限されている場合は、バケツにロープを結んだものまたは延長棒を使い試料を集めることも可能である。サンプリング船の船体やエンジン排気、または冷却水から出る薄い油膜を避けるため、試料はサンプリング船の船首から採取しなくてはならない。

薄い油膜の試料が必要となる時があり、そのために目の細かいサンプリングネットなどの専門的なサンプリング機器がある。薄い油膜からは非常に少量の油しか採れず、試料を採取する膜が薄ければ薄いほど、(サンプリング船または機器などから)試料が汚染される危険性が高くなる。品質管理のため、試料と一緒に、未使用のサンプリングネットまたは吸着材パッドを分析の参照資料として検査機関に提供する必要がある。

海岸線または潮間帯に漂着した油のサンプリング手順では、通常、できる限り砂やゴミが入らないよう注意しながら、油を試料瓶にこすり取ったり、かき集めたりする(図7)。

環境試料

炭化水素汚染の定量化を目的としたサンプリングおよび監視は、流出油を対象とする調査から、汚染された可能性のある媒体のサンプリングへと転換していく。初期の着手方法では水中から試料を採取する場合が多い。なぜなら、水を通して油は海岸線、堆積物、そして生物相に移っていくからである。監視の着手時に決められた目的によっては、水中の油濃度の上昇を示す証拠が得られれば、サンプリングの体制を生物相など他の対象に広げるきっかけになる可能性がある。別の場合では、集中的な環境監視プログラム(汚染物質監視や生物学的影響評価)に着手することによって、海水、生物相、堆積物の試料一式が必要になることがある。しかし、このような取り組みが必要なのは、汚染が大規模で、重大な影響を及ぼす可能性がある場合に限られる。

サンプリングの取り組みすべてにおいて一貫性を保つこと、そして可能であれば比較可能な標本をターゲットにすることが重要



▲ 図7:海岸線に漂着した油のサンプリングをしている。

である。例えば、複数の場所で貝類の汚染を監視する場合、意味のある定量比較をするためには、すべての場所で同種の貝類(理想的には同程度の生存期間を経たもの)をターゲットとしなくてはならない。

各試料に必要な容量または質量は、計画されている分析の数および種類、試料に含まれる油の濃度、それぞれの分割試料を必要とする参加団体の数、そして品質管理のために必要とされる重複または反復検査の回数によって異なる。現代の検査方法では、比較的純度の高い油の場合、ごく少量の試料しか必要としない(表4)。

海水のサンプリング

水中監視は、現地で行う現場測定を行う方法、または手作業により収集、保存した試料を検査機関に運び分析するという方法により行うことが可能である。現場測定には基本的水質と油の特異的検出が含まれており、どちらにもリアルタイム出力を提供する携帯型現場センサーが用いられる。

- 電子水質センサーは、pHや塩分濃度、伝導度、化学的酸素要求量(COD)または生物学的酸素要求量(BOD)などの化学的・物理的変数を測定する。これらは油汚染監視と直接的なつながりはないが、関連する生態学的監視調査に役立つ可能性がある。
- 多波長蛍光光度計の水中けん引など油流出に特化した現場センサーの利用は、環境監視よりも対応作業で有用であり、例えば分散油濃度を示すために用いられる。

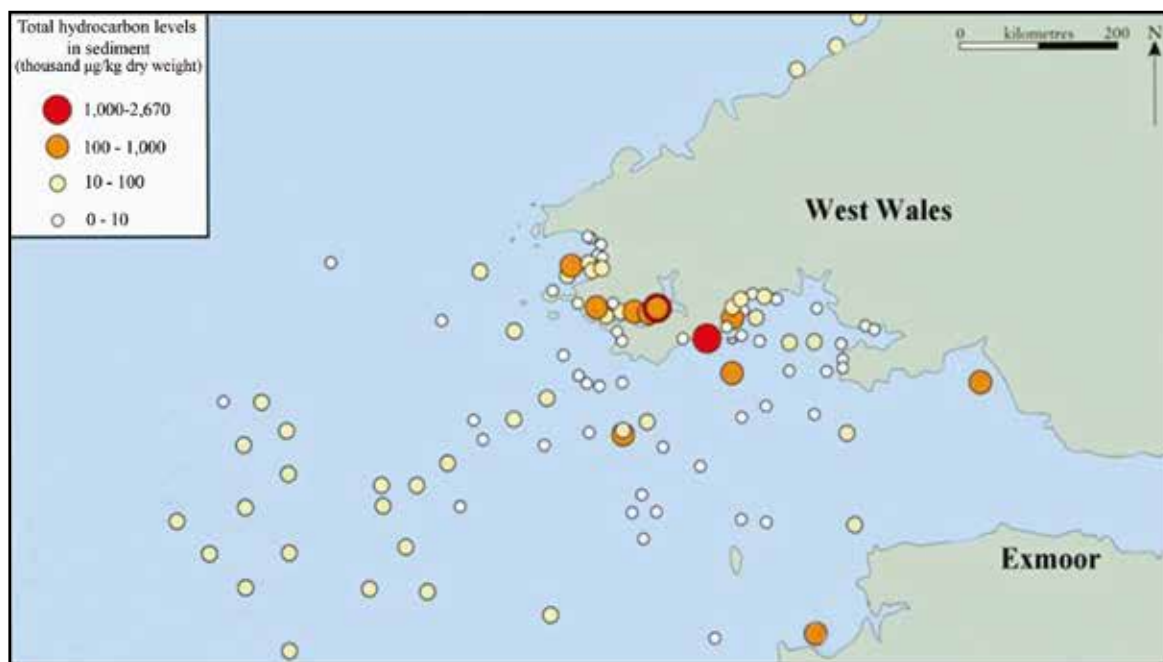
手作業による海水の試料収集は、専門的なサンプリング機器を閉鎖位置の求められる水深まで沈めることにより行うことができる(図8)。一旦そこに沈められると機器は試料を採取するために開かれ、海面にある油膜による汚染を防ぐため閉じてから回収される。その後の検査機関による分析のための手作業による収集活動はいまだに汚染物質監視における主流である。



▲ 図8: 試料収集装置から海水試料を複数のガラス瓶に移しかえ、分割試料にしている。

堆積物のサンプリング

油の総量または堆積物に含まれる油の分解による組成変化の定量的測定は、汚染物質監視プログラムの一部を形成している場合が多い(図9)。潮下帯の堆積物は通常船上から試料採取され、この種類の堆積物中への油の浸透率が低いため浅いグラブ(採泥器)がよく使われる。うまく設計されたグラブは回収中に内容物が流れ出ないようにになっている。また、試料を採取するたびに適切な溶剤でグラブを洗い流すことが望ましい。潜水作業員が操作するコアラー(柱状採泥器)が時々用いられるが、特に他の流出源からの汚染が既に存在していると疑われる場合に使われる。潮間帯堆積物のサンプリングは大抵面取り用のスクレーパーまたはコアラーを使って行う。サンプリングの結果を活用し、例えば、防除作業の終了時期を決定することに役立てることができる。



▲ 図9: 英国ウェールズでシー・エンプレス号の油流出事故が発生した後、海底堆積物の油汚染を評価するために選ばれたサンプリング地点の位置。この大規模な流出事故から約半年後、主に海岸に近い浅瀬の堆積物で汚染が続いていたことが分かる。(出典:『The Environmental Impact of the SEA EMPRESS Oil Spill』、シー・エンプレス号環境評価委員会(SEECC)、1998年)

生物相のサンプリング

生物相のサンプリング手法は対象となる生物や生息環境によってさまざまである。例えば、生物相は鳥類や哺乳類だけでなく、海底近くに生息または水中に漂泳する種や、海底や堆積物の中に生息する底生生物も含まれる。調査は標準からの変動をすべて記録しようとするよりも、当該生態系内の状態に重点を置くべきである。また、主要な指標となる種を用いるのが最良の調査方法であることが分かっている。主要な指標となる種は多くの場合、商業的に重要なものか、その特質および露出していることから汚染を記録するのに適しているものである(例えばムール貝やその他のろ過摂食生物)。試料は、臓器別(複数の個体から採った同じ臓器)かすべての軟部を均質にした個体全体のどちらかになる(図10)。

生物相の試料には野生種および養殖施設などに見られる養殖種の両方が含まれることがある。養殖施設では施設運営者と共同で、理想的にはサンプリングチームが選定した代表地点で試料の抽出を行うべきである。市場で取引されている野生資源の種については漁師から試料を購入することがある。この着手方法には漁獲の時期と場所および二次汚染の危険性に関する多くの品質管理上の問題があるが、漁師と一緒に試料を採取することによってこれらの問題は回避することができる。日常的に地元で漁獲した魚を水揚げしている零細漁業には最も適した方法だと思われる。

油汚染の監視において鳥類、哺乳類またはその他の高等生物は代表的な検査対象ではない。通常、汚染の有無は視覚的に確認でき、ムール貝などの低級指標種よりも個体のばらつきが大きいからである。油で汚れた動物の試料は死体から採取されるか、生きた動物から油で汚れた羽毛や毛皮などの負担をかけない方法で採取されることが多い。

試料の取り扱い

多くの場合、試料が採取される時点では試料および分析結果が最終的にどのように使われるか分かっていない。後で利用できるよう試料の完全性を保つためには、適切な取り扱いおよび保管の手順に従わなくてはならない。現場での試料の取り扱いには、保管、ラベル貼付、検査機関に渡す前の安定化、梱包、輸送、そしてこれらの工程管理が含まれる。それに伴い経時的に提出される書類は一連の管理文書として参照される。

保管

保管はサンプリングの不可欠な要素である。二次汚染および分解を最小限に抑えるために、試料は採取後すぐに直接保存容器に入れられるからである。浮遊油をすくい取ったり、油で汚れた砂をガラス瓶に直接移したりする場合など、時として容器自体が収集の道具として使われる。十分な数の適切な保存容器をあらかじめ確保しておく必要がある。他に適切な容器が入手できない場合を除き、ペットボトルなどの一般容器の使用は避けるべきである。溶解したプラスチックによる汚染の危険性がある場合は、容器そのものを分析し、試料の分析結果と比較する基準として利用することが可能である。適切な保存容器の多くの特徴については、表5および図11、図12で記述している。

ラベル貼付

試料を容器に入れた瞬間から事実上一連の管理工程が始まるため、保管とラベル貼付は並行して検討する必要がある。サンプリングのプログラムは時間と場所ごとに複数の容器を必要とするため、混乱の余地が多くあり、不注意による容器の入れ違いが起きる可能性が高い。これを防ぐためには標準試料ラベルを用意する必要がある。それによって利用者は試料採取の地点、日時、採取者に関する詳細な情報と併せ、試料に固有の識別参照番号を割り振ることができる。試料がサンプリングの共同行動により採取される場合は、ラベルにサンプリングの立会人の名前と連絡先も記載しておく必要がある。

ラベルの作成と並行し、スプレッドシートなどを使った試料目録を保持すべきである。そうすれば、ラベルと同じ情報が記録

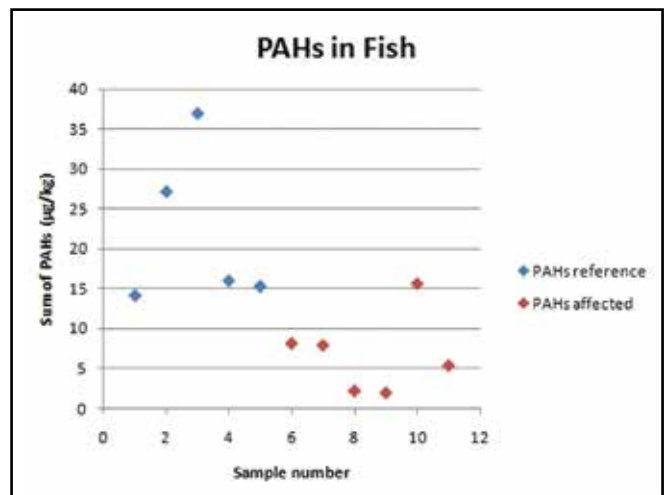
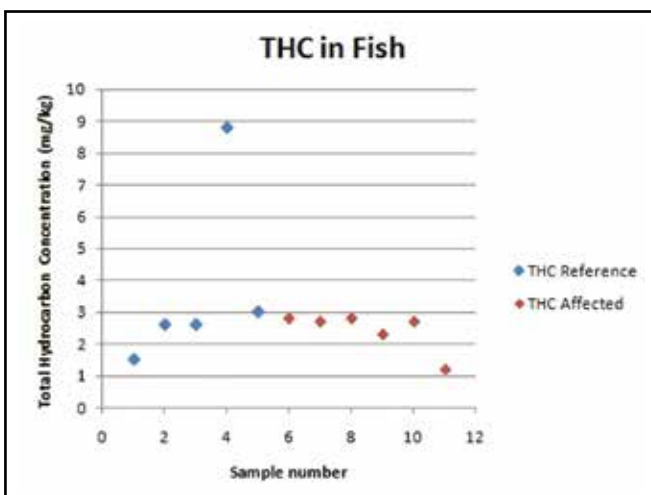
され、そのコピーを関係者や分析を行う検査機関が利用できる。サンプリングチームは、純粋に科学的な変数を記録するのに加え、試料の保管先が変わるたびに保管に関係する者の名前や日付、場所その他試料の管理にまつわる詳細な情報を記録していく必要がある。一連の管理工程を守ることで、試料が、故意であれ事故であれ、物理的異物混入、二次汚染またはその他のいかなる変質の危険にもさらされていないことが保証される。

安定化

多くの試料はしばらくの間安定した状態を保つことができ、元の試料容器に入れたまま保存しておくことができる。試料は風化した廃油ボールや純度の高い油などのように特に分解しやすい訳ではなく、また、魚の組織試料などのように冷却または冷凍されているからである。監視手順によっては、検査機関への配送が遅れる場合、試料の完全性を保証するために海水の試料や堆積物の試料を現場で安定させる必要が生じるかもしれない。試料は酸性化したり殺生物剤を加えたりすることがあるが、試料を採取した同じ日に溶媒抽出を行うことが一般的なやり方である。冷凍した場合でも、試料が劣化し物質が容器の壁に吸収される危険性がある。そのため、分析手順によっては試料の許容保管期間を厳格に定めている場合がある。また、抽出のための溶剤は最も純度の高いものだけを調達するよう注意を払わなくてはならない。特に対象となる化合物の濃度が非常に低い場合、溶剤の中に混入物質があると、対象化合物が検出されにくくなったり、隠されたりする恐れがあるからである。

梱包と輸送

主にガラス容器に保存されている試料は、破損、紛失、分解を防ぐため、発送前の梱包を注意深く行わなくてはならない。分析を行う検査機関まで安全に届けられるのであれば、仕切りのあるパッド付きの箱は固い保冷ボックスと同様に便利である。すべての場合において、油の試料に含まれる自由水を最小限に抑える、生物由来物質に適した温度であるよう配慮する、あらゆる外装容器に事故名のラベルを貼付する、そして荷物の中に試料目録を同梱することが推奨される。国内の輸送条件



▲ 図10: 魚に含まれる全炭化水素 (THC) および多環芳香族炭化水素 (PAH) の濃度を測定するために行われた検査の結果

は国によって異なるため、現地の条件について助言を求める必要がある。試料の国際配送は一般により複雑で、梱包や貼付ラベルに関する厳しい規定の順守が必要になることがある。そのような場合は、例えば引火点などの油の特性によって求められる梱包や輸送手段が変わることになる。

油汚染の分析技術

適切な検査機関が選定され、現場で試料が収集されると、油の流出源または汚染レベルを特定するための試料分析を開始することができる。専門家でない者が分析を行うことは想定されていないが、さまざまな分析技術およびその目的を理解することは監視プログラムの計画や実施に関わる人々にとって有益である。

試料の油汚染レベルを測定するとともに油の流出源を個別に確認するために特定の分析技術を使用する理由を理解するには、油の化学組成についての知識が役立つ(次ページの囲み記事1に要約)。

世界的に油汚染試料の分析について網羅した国際基準あるいは指針集は存在していない。しかし、試料分析の間に従うことのできる関連手順は国際レベルおよび国内レベルで数多く

あり、その中には以下の団体・機関が公表しているものもある。

- 米国試験材料協会 (ASTM)
- 米国石油協会 (API)
- 米国環境保護庁 (EPA)
- カナダ環境閣僚会議 (CCME)
- 欧州標準化委員会 (CEN)
- ユーロアジア標準化・計量・認証評議会 (EASC)

検査機関に到着すると、分析作業を開始する前に、試料は異物を除去し炭化水素化合物を濃縮するために洗浄しなければならない。最も一般的な技術は溶媒抽出とクロマトグラフィーである。この準備段階ですべきことは使われる最終分析技術および試料の状態によって異なる。試料に一見不純物がないように見えたとしても、例えば、堆積物の試料からはゴミを取り除く必要があり、乳濁液は解乳化し(水を分離し、上澄み液を別の容器に移す)、油の試料を抽出しなければならない(図13)。

クロマトグラフィーは移動相(精製する試料を含む)が固定相を通過する過程を利用した多くの分析技術のうちの一つである。炭化水素分子のグループを分画および分離するために最も一般的に用いられる技術の中に、シリカカラムを使用したガスクロマトグラフィー (GC) と高速液体クロマトグラフィー (HPLC)



▲ 図11:適切にラベルが貼られているバンカー油試料が口径の広いガラス瓶に入っている(この事例は1つのタンクから採取された分割試料)。



▲ 図12:口径の狭い透明な瓶(左)やペットボトル(右)は監視目的で用いる容器として理想的とは言えない。

| 一般的な指針 | 備考 |
|---|---|
| 試料は、テフロン製のフタが清潔なアルミ箔で覆われたフタの付いた清浄なガラス瓶に入れなくてはならない。流出源の油液はステンレス製の容器におさめても良い。固体または半固体の試料は未使用のキャンディーの棒か木製の舌圧子を使って移すことができる。採取する時はニトリル手袋の着用が必要である(図7)。 | プラスチック容器は試料を汚染する危険性がある。試料瓶は使用前に適切な溶剤ですすぐ必要がある。試料ごとに新しい試料棒を使わなくてはならない。手袋を使い試料を取り扱うことによって、皮膚からのごく微量な油による試料汚染の危険を回避することができる。 |
| 移動および保管する間は、黄褐色瓶を使うか、暗い場所に置く。 | 特に水中から採取した試料の光酸化および分解を防ぐ。 |
| 純度の高い油および油で汚染された堆積物に使う場合は30ミリリットル以上の試料瓶を使用する。口径の広いねじフタが推奨される。 | 口径が狭く薄いガラスの瓶は詰めるのが難しく、輸送の際に壊れる危険性がある。 |
| 試料瓶に液体または油にまみれたゴミをめいっばい詰めてはならない。 | 特に凍る危険性がある場合は、熱膨張に対応できるよう多少の空間を残す。 |
| 試料瓶には固有の参照番号、採取した地点と日時、試料の種類およびその他の関連情報(採取地点の深さなど)を正確に表示したラベルを貼付しなくてはならない。 | 試料を採取する直前に、可能な限り多くの情報を記した標準ラベルを用意する。油性ペンを使い、視認性を保つために透明テープをラベルの上に貼る。 |
| こぼれるのを防ぐとともに、一連の管理工程において異物混入が起きていないことを証明するためにフタをしっかりと閉じる。 | フタがしっかりと閉まっていることを保証するためにテープを使う。 |
| 汚染を回避すること。 | 試料採取ごとに使用したサンプリング機器を溶剤で洗浄する。禁煙は厳守。船の排気や類似の物は避ける。 |

▲ 表5:試料の保管に関する一般的な指針。

の二つがある。GCは比較的広く利用可能であるが、HPLCは極めて高性能な装置や、高い純度の溶媒を必要とするため、GCほど広まっていない。しかし、HPLCはGCより感度が高く、多環芳香族炭化水素 (PAH) を確実に検出することができる。

費用対効果を高め、工程全体を迅速に進めるため、通常、より詳細な調査に値する試料を選別するふり分けが行われ、それによって全項目の分析が必要な試料の数を減らしている。このふり分けのために一般的に用いるのが、ガスクロマトグラフィーと水素炎イオン化型検出を組み合わせた技術 (GC-FID) であるが、紫外蛍光分光法と感覚検査も用いる場合がある。感覚検査には訓練された感覚検査官から成るパネルが従事し、

制御された環境の中で疑わしい試料と基準 (コントロール) 試料を味覚・嗅覚・視覚から評価する⁴。

紫外蛍光分光法 (UVF)

紫外蛍光分光法は定性および定量の分析法であり、現場で水中の油の有無を携帯機器で検出したり、分析室で用意した試料中の油の有無を検出したりするのに用いることができる。検査する材料を特定周波数の紫外線にさらすと、芳香族分子が励起して蛍光を発生 (低エネルギー光を放ち)、それ

⁴ 別紙「漁業および養殖業に対する油汚染の影響」に関するITOPF資料参照。

囲み記事1: 油の組成

油は、単純な低分子量炭化水素分子から金属や他の元素を含むレジンやその他の巨大高分子までを含む、非常に複雑な混合化合物である。多くの油流出事故では、監視プログラムの焦点は全炭化水素含有量 (THC)、もしくは同義として全石油炭化水素 (TPH) を確定することである。THCもしくはTPHは脂肪族化合物と芳香族化合物の合算を示す。THCは一般的に環境試料内に存在する測定可能な炭化水素量を表しているが、個々の構成物質に関する情報は提供しない。THCの測定値は使用された抽出方法と抽出物による赤外光の吸収に左右されるため、結果は測定方法に依存する。試料内の油汚染の特性についてより詳しい情報が必要な場合 (例えば、海産物内の油汚染、油の流出源を特定するためなど)、特定の炭化水素化合物を個別に分析することができる。

直鎖アルカン (n-アルカン) は、直鎖状の炭素原子によって構成され、原油または留分製品の大部分を占める典型的な化合物である。低分子量n-アルカンは蒸発や生分解に対して感受性が高い。それ故に、新鮮な油よりも風化した油の方がn-アルカンの割合が低い。イソアルカン、いわゆる分枝鎖化合物は同様に新鮮な油に豊富に含まれており、同じく生分解に対して感受性が高い。イソアルカン化合物の中には生分解の指標として役立つものがある。

脂環式化合物は、生分解に比較的耐性がある環状飽和炭化水素である。飽和という言葉は、完全に水素化され、一重の炭素-炭素結合しか存在しない分子を指す。一部の高分子量脂環式化合物は相対的に安定しているという特色があるため、個々の油を同定する上で特に有用である。これらの化合物は生体物質が地質学的な変化により生成したため、バイオマーカー^(*)と呼ばれている。

脂肪族炭化水素は、直鎖、分枝鎖、または (非芳香族の) 環状鎖の炭素原子から成り、n-アルカンと脂環式化合物の両方を含む。

芳香族化合物は不飽和環状炭化水素で、通常、交互に二重と一重の炭素-炭素結合と、6個の炭素原子からなるベンゼン環を1つ以上持つ。揮発性有機化合物 (VOC) と多環芳香族炭化水素 (PAH) がある。VOCは急速に蒸発する低分子量化合物 (ベンゼンやトルエンなど) を含んでいるため、VOCの試料収集や分析は専門的な技術を必要とする難題である。

多環芳香族炭化水素 (PAH) は毒性のある発がん性の化合物であるため、多くの環境監視プログラムで焦点となる。特に、米国環境保護庁 (US EPA) が「重要汚染物質」として特定している16のPAHは測定されるのが一般的である。これについては、別紙ITOPF資料「漁業および養殖業に対する油汚染の影響」が詳しい。油が形成される時に発生するPAH混合物のばらつきは、それぞれの油が固有の識別特性またはPAHの特徴を持っていることを意味する。この特性と風化に対する高い耐性があるため、PAHは種類の異なる油を特定する重要な方法となっている。分析によりPAHの起源が油の燃焼由来 (燃焼生成物) であるか、石油由来 (原油由来) であるか、生物由来 (生物学的過程に由来) であるかを識別できることから、考えられる海水汚染の流出源を特定するための一助としてもPAHの調査を利用することができる。

* 環境監視においてバイオマーカーという言葉は、炭化水素同定手法により油を分析する際に使用される化合物、または動物の体内の酵素活性レベルを示す化合物を指す。ここでは前者の意味で用いているが、後者については別紙ITOPF資料「漁業および養殖業に対する油汚染の影響」を参照されたい。

が分光計で検出される。PAHは油特異的な組成をしているため、UVF法はさまざまな油の種類を特定するのに向いており(図14)、試料に含まれるTHCを測定するのにも適している。また、水中の極めて低い濃度の油を検出する性能も有しており、一般的には、既知の流出源試料との較正が実施されているならば、現場では1リットル当たり1.0マイクログラム(1.0 $\mu\text{g/l}$ 、1.0ppb)まで、分析室では1リットル当たり0.1マイクログラム(0.1 $\mu\text{g/l}$ 、0.1ppb)まで、そして堆積物内では1キログラム当たり1.0ミリグラム(1.0 mg/kg 、1.0ppm)まで検出することができる。UVF法は迅速で有用なふるい分け技術であると考えられているが、囲み記事1で強調されているような個別の油化合物の分析が必要となるため、流出源試料を確認するのに日常的に用いることはない。UVFは炭化水素同定手法には適していない。存在している非炭化水素分子が同じ励起波長で発光することができ、PAH信号を妨げる可能性があるためである。

ガスクロマトグラフィー／水素炎イオン化型検出(GC-FID)

GCは油に含まれる炭化水素の複雑な混合物を化学成分の分子集団に分離する工程を含む分析技術である。少量の液体試料が長細い金属カラムに注入され、カラムが事前に決められた温度域を制御された速度で通過し、加熱される。キャリアガス(通常ヘリウム)がカラムを絶え間なく洗い流す。カラム内の特殊なコーティングは気化した化合物が通過する際に相互に作用し、化合物の化学的特性(揮発度など)の違いによって分子が分離される。その結果、分離された各化合物は異なる時間間隔または保持時間でカラムから溶出される。

水素炎イオン化型検出(FID)は、水素炎に燃やされることによってGCカラムから溶出される分子の燃焼から放出されるイオンに反応するセンサーである。軽い分子は重い分子よりも素早くカラムを通り抜けるためカラム内の保持時間は分子量と関連しており、標準物質を導入することで個々の炭化水素を特定することができる。特定の化合物の濃度が高ければ高いほどFID信号は強くなり、コンピューター処理後に得られるクロマトグラムにピークとして表示される。GC-FIDはふるい分けと炭化水素



▲ 図13:分液漏斗を用いた油試料の抽出(写真提供:CEFAS)

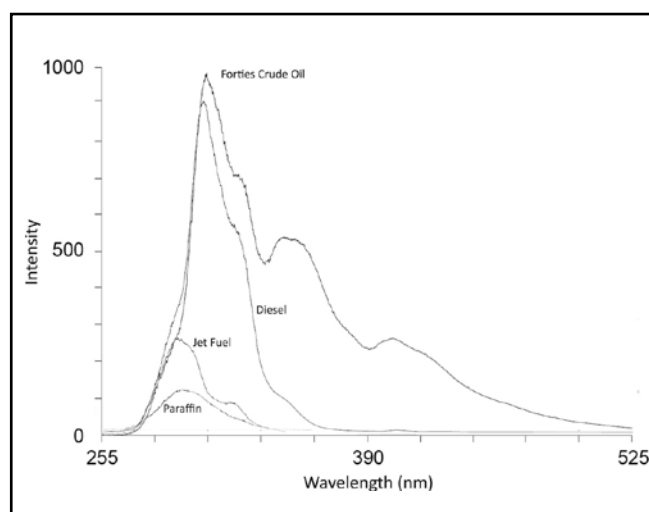
同定手法が複合した比較的高速な技術として用いることができ、炭化水素の定量的測定に適した技術でもある。

油は種類ごとにそれぞれ独自の分布パターン即ち識別特徴を持っているため、油の試料の多くは、流出油および流出源の試料のGC-FIDクロマトグラムとの比較調査によって特定することができる。場合によっては、GC-FIDだけでは二つの試料が一致しないこと(例えば油流出の試料と流出源の試料が一致しないこと)を確認するまでが限度である場合がある。これは特に比較的新鮮な油の場合に当てはまる。結果が決定的ではなく一致する可能性があるだけの時、または特定の化合物を定量化する必要がある時、さらに調査するためには、GC-MSの分解能より高い性能が必要となるかもしれない。

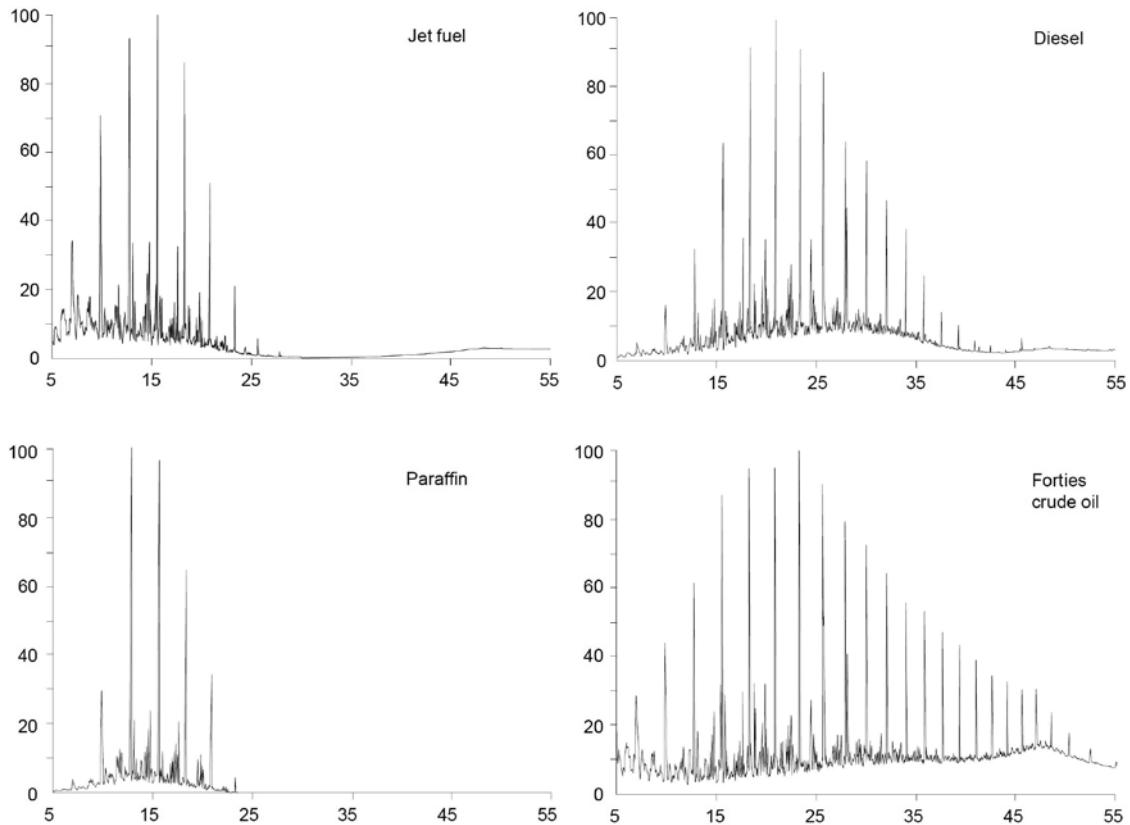
ガスクロマトグラフィー質量分析法(GC-MS)

GCとMSが結合した工程は各分子を別々に検出し分析する質量分析計(MS)に結合されたガスクロマトグラフから成り、正確で高い分解能によって分子の検出と特定が可能になる。質量分析にはイオン化、断片化、磁界偏向、そして陽イオンの検出の4段階の手順がある。さまざまなイオンフラグメントを数え図式化することによって、分子の全体構造が明らかになる(図15)。

GC-MSは高い分解能を持っているため、バイオマーカーやVOC、特定のPAHを同定する上で最も重要な技術である。GC-MSの検出限界は通常1キログラム当たり0.1マイクログラム(0.1 $\mu\text{g/kg}$)であるが、1兆分の1(ng/kg)レベルまで検出できる技術が利用可能である。とはいえ、船からの流出による海洋汚染の監視という状況でこの検出レベルが妥当かどうかは議論の余地がある。



▲ 図14:4種類の油のUVF分光スペクトルを重ねたもの。図15に記載されている同種の油のGC-MSクロマトグラムと比較することができる。(出典:「海洋試料に含まれる炭化水素およびPAHの分析方法」、『CEFAS Aquatic Environmental Report』No. 12, 2000年)



▲ 図15:ジェット燃料、ディーゼル燃料、パラフィンとフォーティーズ原油の4つの典型的な全イオンクロマトグラム(GC-MS)。ディーゼル燃料は軽質留分が支配的であることを示している。フォーティーズ原油は軽油とより重質な油分の2つのパターンを併せ持っていることを示している。(出典:「海洋試料に含まれる炭化水素およびPAHの分析方法」、『CEFAS Aquatic Environmental Report』No.12, 2000年)

分析技術の選択

適切な技術の選択は監視プログラムの目的によって決まってくる(表6)。流出油の試料が流出源と疑われる地点から抽出されたことを証明する目的ならば、GC-FIDふり分けを用いた定性的分析とバイオマーカーのGC-MS分析が最もよく使用されている。監視プログラムの目的が単に環境試料内の全炭化水素濃度の変化をたどり、自然環境の水準への回復を記録することであるならば、UVFまたはGC-FIDの技術を用いればよい。GC-MSは通常生物相の分析、特に食用種の分析でPAH濃度の測定が必要になる可能性がある場合に用いられる。

分析結果の解釈と報告

前述のような分析技術によって得られた結果の解釈は、使用した手法についての十分な知識と解析結果の審査経験が必要になるため、専門家の領分となる。結果を解釈する上では、試料採取される前に油がさらされてきた風化プロセスとともに、油に一般的に見られる起源が石油由来および生物由来のその他の炭化水素化合物の存在も課題となる。

油分析の結果および結論は、事故後に現場で行われた調査結果に照らし解釈するべきである。油流出によって生じた汚染の範囲と経路を十分に把握するためには、さまざまな地点の堆積物や生物相、そして水中から採取した試料の分析結果

を、各地点で炭化水素の自然環境の水準と関連付けて解釈しなくてはならない。

監視プログラムの結果報告に際しては、サンプリングおよび分析に適用した手順について詳細に示すことが重要である。結果の解釈には、例えば展開されたクロマトグラムなどの収集した原データを添付するべきである。

分析した試料が比較的少ない場合の目視観測や定量的データの報告には、数表やグラフ、コメントによる説明が適している(図16)。しかし、油汚染が複雑な地形にわたって分布している場合、調査した汚染の程度または個々のサンプリング地点から得られた結果を地図で示し、数表を補足することができる。

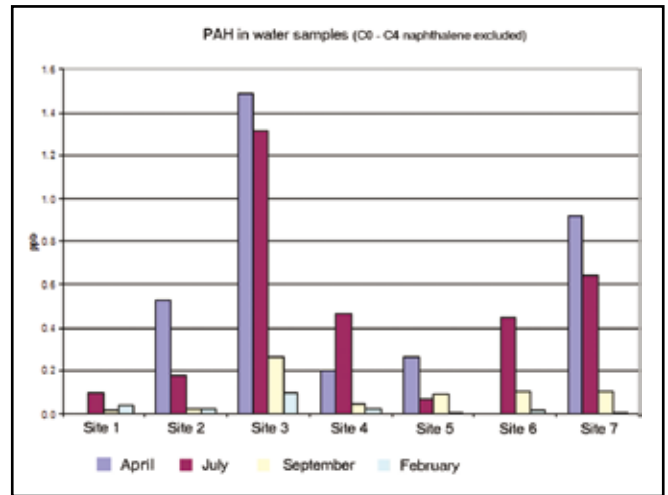
| 化合物 | UVF | GC-FID | GC-MS |
|---------|-----|--------|-------|
| n-アルカン | | X | X |
| イソアルカン | | X | X |
| バイオマーカー | | X | X |
| VOCs | | X | X |
| PAHs | X | X | X |
| THC | X | X | |

▲ 表6:分子群の分析に使用される分析技術

監視活動の終了

監視プログラムの設計の段階で、現場サンプリングの継続が想定される期間およびプログラムの終了を決めるための判断基準について検討すべきである。海洋環境内の油汚染の持続には自然発生および対応作業双方に起因する多くの要因が影響することを考えると、監視を継続する適切な期間を予測することは難しい。結果として、監視プログラムは繰り返し行われることが多い。そのため、以前のサンプリングの結果は次のサンプリングの前提条件および規模を決める根拠として、また監視プログラムの終了時期を決める判断材料として用いられる。

環境内の油を監視するプログラムはすべての油流出の後に必要になる訳ではなく、通常は次のような大規模事故の場合に最も適している。すなわち、大規模事故によって油が広い地理的領域に広がった場合、油によって重大な環境被害を引き起こす可能性があるか、海産物の安全性を脅かすおそれがある場合、または監視を行うことによって直接対応活動を後押しすることができる場合である。油汚染の規模および範囲の評価に用いることができる確かな情報を提供するためには、科学的厳密性と客観性を保ち、バランスよく監視を行うことが重要である。汚染物質のサンプリングと監視プログラムが適切に実行されれば、場合によっては、その結果をより長期かつ



▲ 図16: 海岸線の清掃作業期間中に、沿岸水域のPAHが自然環境の水準まで戻る過程を監視するための調査の結果。地点1と6は参照地点である。

複合的な環境影響調査と併用するか、その必要性を主張するために活用することができる。

事故発生後、大規模な監視プログラムに着手するよう政治家や世論から圧力をかけられることがあるが、影響を受けたかどうか分からないすべての資源や生態系を監視する必要はほとんどないし、現実的でもない。ITOPFの経験上、監視プログラムは事故に直結した明確な目的を持ち、適切な計画のもとで焦点を絞って行うことが最も効果的と思われる。

重要なポイント

- 流出規模が小さく資源に危険が及んでいない場合、または特定の資源に対する油の影響が十分分かっている場合、監視は必ずしも必要とは限らない。
- 合同でサンプリングや分析を行うことにより、監視に対する建設的かつ協調的着手方法を取ることができる。
- 監視プログラムでは調査の目的および目的達成に必要な情報・データを明確に定義する必要がある。
- サンプリング地点の最適な位置と数は監視の目的と事故の個別要因によって決まる。
- プログラムの費用は明確に予算化し、該当する場合は、作業を開始する前に賠償金を支払う団体と協議する必要がある。
- 選ばれた参照地点は、被害を受け調査対象となっている生息環境の種類を代表していなくてはならない。
- 流出源の試料採取は最優先するべきであるが、閉鎖的空間に入るには適任者の関与が必要になる場合がある。
- 試料の取り扱いおよび保管に関する適切な手順に従い、分析のための試料の完全性を保証しなくてはならない。
- 監視プログラムの初期に採取された試料の分析結果によって、それ以後の監視の範囲および期間を決めることができる。
- 試料の分析に用いる技術は監視の目的によって異なるが、ふるい分け技術を用いれば、高度な分析を必要とする試料の数を絞ることができる。

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

Web: 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