

## 流出油防除のための環境影響評価と沈船の潜在的危険度評価

独立行政法人 海上技術安全研究所

海洋部門 深海技術研究グループ

黒田 貴子

### 1. はじめに

油を積載したタンカー等の船舶が座礁，衝突などの海難事故により船体損傷を起し，油流出が発生して周辺沿岸海域の環境に多大な影響を及ぼす例が世界中で後を絶たない．事故発生時の社会的影響を考慮すれば，今後も流出事故は起きるものとして対策を講ずることは必要不可欠である．環境問題への関心が高まる中，最近ではIMOのOPRC-HNS議定書（2000年の危険物質及び有害物質による汚染事件による準備，対応及び協力に関する議定書）を受けて油以外の危険物質及び有害物質（HNS）による汚染への対応も要求されている．また，海洋汚染源は海上での船舶事故だけではなく，事故で沈没した船舶からの油流出についても同様に環境へ多大な被害を与える．第2次世界大戦中に沈没した船舶からの貨物油，燃料油の流出については，IMO等で「潜在的恐怖」として関心が高まっている．日本近海に沈む沈船はこれまでに1200隻を超えており，その多くが終戦以前に沈んだものである．現在でも年間10隻程度の沈没事故が発生しており，沈船からの油流出事故が発生する可能性は大きく，対応策を講じておくことが重要である．沈船からの油回収作業は費用がかかり，危険性も高いため，費用対効果を十分に検討すべきである．流出油の防除作業の策定段階で流出油及び防除作業による環境への影響を総合的に評価し，合理的に判断することが求められている．

### 2. 流出油による環境影響評価

油流出事故は，事前の対応（危険性の把握・排除のための評価）・事故時の初動対策（監視計測・防除）が重要である．その際の判断指標の1つに，流出した油及び防除作業による環境影響が挙げられる．海上に流出した油の防除作業には，機械的回収と化学的処理の油処理剤散布がある．流出後1～2日間ほどの初期段階においては，油処理剤散布を行うのが被害を最小限に食い止めるために有効な手段である．しかし，油処理剤には対生物毒性を持つ界面活性剤が含まれるため，流出油が混合すると見かけの毒性が一時的に増大するという指摘がある一方，散布後のこれら混合物の拡散による生態系，水産資源等の環境に与える影響の評価がなされていない．このため防除作業現場では環境への影響を心配する沿岸住民等の油処理剤散布への同意を得ることができず，散布が遅れ，守るべき沿岸環境，海洋資源への被害を拡大してしまうという問題も起きている．

海上技術安全研究所では，流出油及び防除手法である油処理剤混合物が水産業及び生態系に及ぼす影響を評価する環境影響評価手法の構築を行っている．評価モデルの概念を以

下に述べる。

## 2.1 漁業被害予測モデル

油流出による環境影響は地域性が強く、また我が国では特有の条件として、水産資源が豊富で沿岸漁業が盛んであり、地域の経済活動に対して水産業の占める割合が大きい。従って流出油防除作業には沿岸自治体とともに漁業従事者の理解と協力が不可欠である。このためには流出油事故の被害予測と防除手法による環境影響評価を、漁業従事者に判りやすい指標で行うことが望まれる。

現在開発中である漁業被害予測モデルは油流出による日本沿岸の水産業への影響を水揚げ量の損失量および漁法ごとの休漁日数で評価するものである。油及び油と油処理剤混合物の生物への毒性評価については共同研究機関である鹿児島大学水産学部が生物毒性試験を実施している<sup>1)</sup>。ナホトカ号事故の後、流出油による生物影響に関しては多くの研究、試験が行われたが、短期的、致死的毒性評価が主体であった。ここでは魚卵、仔稚魚、成魚による油と油処理剤混合物への短期的暴露による短・長期的影響評価に関する試験を行っている。本予測モデルではその試験結果に基づく生物毒性データベースと日本の漁業の魚種別漁法別水揚げ量に関するデータベースの2つを用いる。また、漁場油濁被害救済基金がまとめる漁業影響情報図に収録されている漁業権、海岸線の属性、季節ごとの漁船漁業の漁場、養殖場、産卵場、幼稚子の分布データなどをGIS上で統合し、それらの情報も用いて漁業への被害を予測するものである。

## 2.2 生態系回復モデル

環境に直結した水産業への被害の予測と同様、環境・生態系全体への長期的な環境影響評価も重要である。油や毒性物質などによる特定生物種への致死影響についてはこれまでに各種生物試験によって評価されてきているが、ここでは、それらの生物種、もしくはその生物が含まれる群集が流出油による消失および機能低下することによる生態系全体への長期的影響を評価する手法を構築する。

共同研究機関である大阪府立大学工学部では沿岸域環境影響評価のためのC-N-P保存モデルを行っている<sup>2)</sup>。これは生態系モデルと呼ばれる主に生物間で行われる物質の循環を記述したモデルを用いるものであり、生物を含めた環境状態の将来予測とともに物質の循環量や蓄積量、浄化能力などを定量的に評価するものである。一般的に炭素・窒素・リンの動態を予測評価する必要があるが、これまでのモデルでは1つの物質に着目してモデル化され、その他については簡略に計算し、評価する手法が用いられているため、物質循環モデルでありながらも、物質が保存されない場合がある。ここで扱う保存モデルでは炭素・窒素・リンすべてについて生態系内で保存されるよう構築されたモデルである。

生態系の中の特定種、あるいは水産有用種の動態を表現した個体群動態モデルを構築し、本生態系モデルに導入し、さらに長期的生物毒性評価で表現される各栄養段階の生物相へ

の影響を，生態系モデルにおける計算変数(生物現存量)とそれらの生物パラメータの変化（例えば摂餌速度，呼吸など）の変化として取り組み，計算させる手法を確立する．この手法を用いて汚染された生態系の回復経過のシミュレーションを行い，生態系回復年数を予測する．

### 2.3 流出油防除作業意思決定支援ツール

前述した2つの環境影響評価手法に基づいて，当所では油流出時の緊急対応を迅速に行い，環境被害拡大を阻止することを目標とした流出油防除作業意思決定支援ツールを開発している．これは流出油防除手段の1つである油処理剤散布に着目し，流出油及び油処理剤散布による環境への影響を前述した短期・長期的視野で評価し，両者を比較して油処理剤使用の意思決定を環境影響の観点から合理的に判断するツールである．

本ツールは油処理剤挙動モデルを導入した流出油の3次元挙動予測モデル，水揚げ損失量と操業停止日数を予測する漁業被害予測モデル及び被害を受けた生態系の回復年数を推定する生態系回復モデルの3つのモデルで構成される．図1に本支援ツールの流れを示す．これらのモデルをGIS上で統合し，流出油や油と油処理剤混合物の挙動や環境影響を視覚的に表現する．

これまで不透明であった油処理剤散布による環境影響を明確にすることで，油処理剤散布を施行する側とその影響を受ける漁業従事者及び地域住民側との相互理解につながり，迅速な油防除作業を行うことで被害を最小限に食い止めることが可能となる．また，油防除諸機関の支援ツールとしてだけでなく，地方自治体，漁業協同組合などの地域での海洋汚染に対する事前対応の検討のために有効なツールになりうると考えている．

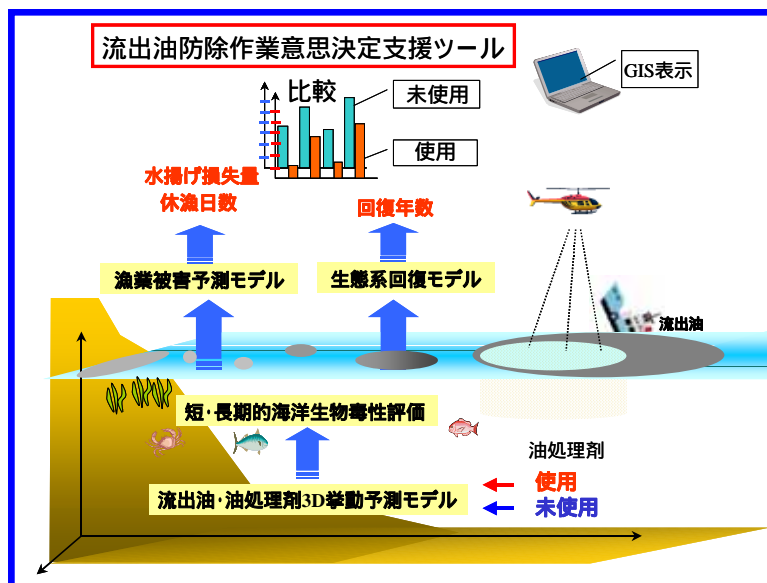


図1 流出油防除作業意思決定支援ツール

### 3. 沈船の情報管理と潜在的危険性

海洋汚染を引き起こす事故は海上だけで発生するのではなく、油や有害物質を積載したまま沈んだ船舶も汚染源となる潜在的危険性をもっている。現在、米国海域で報告されている沈船は 150,000 隻を超えており、沈没後の経過年数から船体の劣化による油や有害物質の流出が懸念されている。1800 年代を過ぎると多くの船舶が有害物質を積荷としており、年月が経つとともに沈船は劣化し、油や有害物質が流出する危険性は著しく増加する。

沈船からの油流出による被害の例として、1953 年に 1,950 トンの燃料油を積んだままサンフランシスコ湾沖 27km の海底 56m に沈没した Jacob Luckenbach 号が挙げられる。この沈船は汚染源として認められないまま 10 年以上に渡り油を流出し続け、この「謎の流出油」によって沿岸域の環境は汚染され、数千羽に及ぶ海鳥が犠牲となった。調査の結果、沈没してから 49 年後の 2002 年ようやく残存油の回収が行われた。また 1944 年にミクロネシア連邦の環礁に沈んだ米軍タンカー USS Mississinewa 号は 2002 年に油が漏れ出し、2003 年に 7500kl の重油を 560 万ドルの費用をかけて抜き取った Jacob Luckenbach 号のような長期間に渡る低レベルでの流出や USS Mississinewa 号のような大規模な汚染事故など、沈船の積荷からの油流出は時間の問題となっている。

#### 3.1 沈船データベースとハザードマップ

沈船からの油流出防除対策技術の向上を目的として当所では座礁・沈没船の油流出時期・規模の予測及び流出時の環境被害を総合的に評価し、危険度をランキングする沈船ハザードマップの作成に取り組んでいる。ハザードマップにより事前に沈船に対して危険度評価を行い、早急に油の漏洩防止の措置が必要な沈船に優先順位をつけて費用対効果を高めることが狙いである。現在、日本近海に存在すると記録が残されている座礁・沈船に関する情報を収集した沈船データベースを作成している。調査対象となる船舶は過去 100 年の間に座礁・沈没した総トン

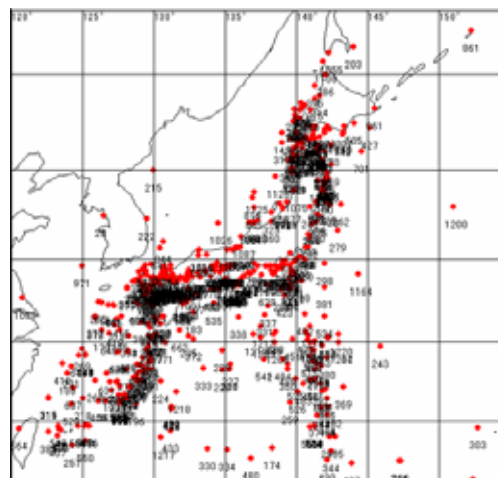


図 2 日本近海の座礁・沈船(一部)

数 100 トン以上のもので、調査項目は沈没位置・時期、主要目、主機関、搭載燃料、積荷、満載貨物量、事故原因などである。情報源は海難審判庁裁決録や日本船舶明細書など 20 種類以上の調査資料である。これまで収集したデータは 1200 隻を超えている。図 2 に日本近海にある座礁・沈没船(一部)の位置を示した地図を示す。

沈船ハザードマップは沈船データベースに登録された日本近海に 1200 隻以上存在する沈船からの流出時期、流出規模及び環境への潜在的危険性を評価するものである。船体からの油流出時期予測では船体板厚の腐食速度を実海域試験及び試験タンクによる腐食試験を

元に推定し，さらに船体構造の崩壊パターンによる船体崩壊時期の予測を行い流出時期，流出規模を推定する．これらの結果を用いて前述した環境影響評価と連動させて油流出が起きた際の環境影響を評価し，これを沈船の潜在的危険度として総合的に評価するものである．

### 3.2 沈船からの油流出予測

日本近海には第 2 次世界大戦中に沈没した船舶が多数存在しており，その中には油を積載したまま海底に沈んだ船舶も多い．戦後 60 年以上経過した現在，船体腐食により油が流出する潜在的な危険性が国際的にも指摘されている．沈船からの油流出時期を予測することが重要であるが，深海における船体の腐食速度については不透明な部分が多いのが現状である．1997 年 1 月に海難事故を起こしたロシアのタンカーナホトカ号は，大量の油を積載したまま日本海の海底約 2500m に沈んだままである．

当所では実海域試験としてナホトカ号沈没域に試験片を設置し，腐食速度試験を実施している．写真 1 は海底に沈むナホトカ号付近に設置した試験片である．試験片の 1 つは 1 年 4 ヶ月後に回収され解析を行った．図 3 にナホトカ号船体腐食速度の解析結果<sup>3)</sup>を示す．

また，当所が所有する高圧タンク（写真 2，内径 1.1m，高さ 3m，最大 60Mpa まで加圧可能）で深海模擬環境を再現し，水温，溶存酸素及び水圧が鋼材の腐食速度に及ぼす影響について研究を行っている．水温が 25 度以上になると酸化反応速度の増加とともに腐食速度も水温に比例して大きくなる．溶存酸素と腐食速度の関係は飽和状態前までは比例関係にあるが，飽和状態を超えると腐食速度は抑制される．また水温と溶存酸素一定の条件下で加圧すると，腐食速度は水深 3000m 相当（30MPa）以上の圧力下では試験片表面に溶存酸素が凝集し，腐食速度が大きくなることが実験で明らかにされている．

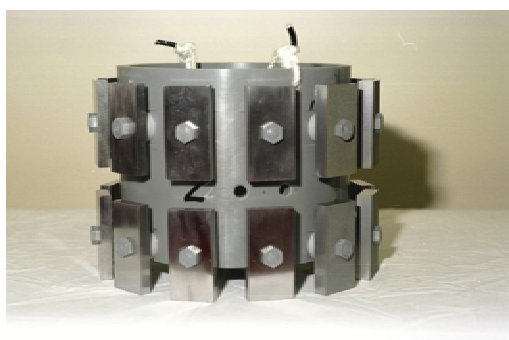


写真 1 ナホトカ号船体腐食試験片



写真 2 高圧タンク内部

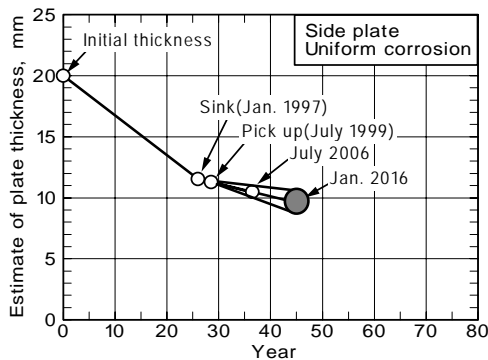


図3 ナホトカ号船体腐食速度

### 3.3 沈船内の残存油計測法の開発

沈船からの油流出の問題では沈船内の残存油の有無とその場所および残存油量の確認が必要となる。内部に油が存在する沈船については引き続き漏洩の監視が必要となる。効率的な油漏洩対策のためには、残存油の状況を非破壊検査手法により確認した後に、沈船内の油回収や漏洩対策を決定することが望ましい。

沈船内の重油タンクには燃料の重油とともに海水または空気層が存在すると考えられ、これらの境界位置が分かれば残存油量の推定が可能となる。当所では超音波計測による鋼製タンク内の油と水の弁別技術の研究<sup>4)</sup>

に取り組んでいる。これはタンクの外側から超音波を入射させ、水と油に接するタンク壁における超音波反射挙動の差を利用した油と水界面を検出するものである。垂直入射法による検出法は水と重油の物性値の差が小さいため弁別が困難である。そこで重油は水との粘性の差が大きいことを利用して超音波を斜めに入射し、反射率、屈折率計算に重油の粘性を導入し、反射率、屈折率に現れる粘性影響による水油界面弁別を検討している。図4に水と重油を満たしたステンレス製タンク(SUS304, 壁厚10mm)に対して斜め入射による重油・水境界の実験例を示す。カラースケールから水の部分より重油部分のエコー高さが低いことが分かる。

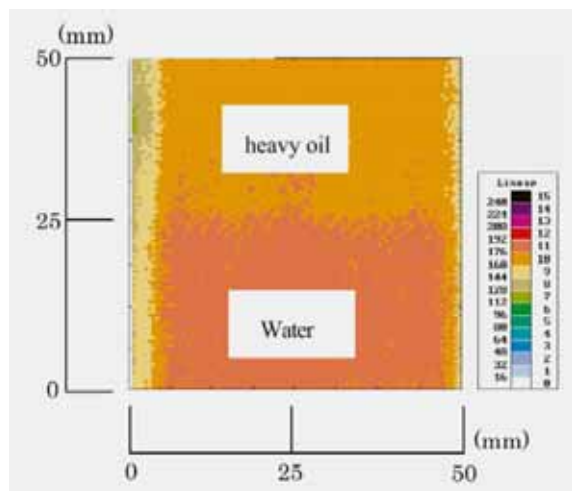


図4 斜め入射による重油・水界面弁別

## 4. おわりに

油や有害物質の流出による海洋汚染を最小限にとどめるには、流出事故を想定して事前に対応の準備を行い、事故発生時には防除手法の策定段階で環境への影響も含めて総合的

に評価することが重要である．ここでは当所で開発，研究に取り組んでいる流出油による環境影響評価に基づく流出油防除作業意思決定支援ツール，沈船ハザードマップ，沈船内残存油の計測技術について紹介した．今後，このような研究成果が現場において活用されれば幸いである．

#### 参考文献

- 1) J. Koyama and A. Kakuno : Toxicity of heavy fuel oil, dispersant, and oil-dispersant mixtures to a marine fish, pagrus major, Fisheries Science, No. 70, 2004, pp.587-594.
- 2) 中谷直樹：沿岸域環境影響評価のための C-N-P 保存モデルの構築，関西造船協会論文集，243号，2005，pp.117-123.
- 3) Y. Kobayashi, T. Kuroda and S. Hara : Corrosion Rate of Ship Structural Steels in Deep Ocean Environment , Proceedings of Techno-Ocean 2006, 2006.
- 4) 島田道男，星野邦弘，新井田直樹：沈船における残存油 - 水界面の超音波を用いた検出法，Proceedings of Techno-Ocean 2006, 2006.