

ソーラー1号等沈没船からの油抜き取り —技術的考察—

ヒュー・パーカー

テクニカル・チーム・リーダー
国際タンカー船主汚染防止連盟 (ITOPF*)

第12回油流出に関する国際シンポジウム —油流出のリスク…その変遷—

2007年2月22日(木)～23日(金) 東京

*ITOPF Ltd. 1 Oliver's Yard, 55 City Road, LONDON, EC1Y 1HQ (登録事務所) 登記番号
944863

ここで発表する見解は著者個人の見解であり、必ずしも、ITOPF事務局、メンバー及び団体の見解を反映していない。

はじめに

2002 年、大西洋上でのタンカー「プレスティージ号」沈没を受け、スペインの石油会社 PEPSOL が率いるコンソーシアムが、船内に残った 13,000 トンもの重質燃料油貨物をスペインの沖合約 170 海里の水深 3,650 メートルの海底から引き上げる設備を設計し、実際に作業を行った。その作業は技術的に大成功を収め、以降の油流出を食い止め、ほとんどいかなる条件下でも深海の沈没船からの油回収が可能であることを実証した。しかし、IOPC 基金理事会は、一部の準備作業の費用は提供すべきであるが、油自体の除去作業費用に対してスペイン政府が求める補償請求は容認しがたいと判断した。本稿は、この決定の背景として理事会が策定した規準と、フィリピン沖で沈没した「ソーラー 1 号」に対して理事会が異なる結論に達した経緯について考察する。

リスク評価のアプローチ

「生態系の時限爆弾」は、石油積載タンカーの沈没後に頻繁に使われる感情的な表現の一例にすぎないが、このような感傷は、沈没船から石油を抜き取るか否かの政治的判断に強く影響する。しかし、技術的観点からは、沈没船が重大な油濁リスクを引き起こす可能性の有無だけが、判断規準となる。

リスク評価では、2つの事項への対応を分析しなければならない。ひとつは油流出リスク、もうひとつは流出の後に発生する被害である。流出リスクの評価では、沈没船内に残留する油量とそこからの予想流出速度が重要な要素となる。このようなリスク評価に基づき沈没船からの油抜き取り作業が決断されているが、その例を表 1 に示す。この表から、抜き取り作業が行われたのは、沿岸資源に近い、比較的浅い水域での沈没船がほとんどであることが分かる。

表 1.貨物の抜き取りを実施した沈没タンカーの例

Vessel name	Date of Incident	Quantity of oil	Distance offshore	Water depth
		<i>Tonnes</i>	<i>Nautical miles</i>	<i>Metres</i>
TANIO (Bow)	1980	<5,000	26 N Brittany, France	90
YUIL No.1	1995	670	5.5 Busan, Rep. Korea	70
OSUNG No.3	1997	27	Kojedo, Busan	70
ERIKA	1999	11,100	60 W Brittany, France	100 – 130
SPABUNKER IV	2003	~1,000	Algericiras Bay, Spain	60

i) 沈没船の推定残留油量

沈没船のタンクに残っている油量の推定は単純ではなく、この推定値の信頼性には多数の因子が関与する。プレステージ号事件では、油水界面挙動モニタリング (Reservoir Performance Monitoring) 装置という新しい手法を使って水と油の界面を特定し、各タンク内の残留量を計算した。これは石油探査・生産業界でよく使われる装置である。装置から放出される高エネルギーの中性子は物質と衝突するとガンマ線を放出するが、そのエネルギー・レベルはその衝突物質によって異なる。戻ってきた信号を電子処理すると、油と水の界面が特定できる。ソーラー1号の事故では、船のかなりの部分が泥に埋まっていたため、泥の除去作業が沈没船を不安定な状態にするおそれがあり、この技術を使用することはできなかった。

多くの事例で、遠隔操作探査艇に取り付けたビデオカメラを用いた水中調査 (ROV調査) を用いて沈没船の状況と貨物タンクの損傷を調べ、そこから残留油量の推測を試みている。ソーラー1号の場合、この調査は実施したものの、やはり沈没船内の残留油量についてはほとんど情報が得られなかった。ROV調査で、船尾トリム状態で直立していることが明らかになった。タンクNo.4のポートのハッチカバーが外れていることはわかったが、それ以外には、デッキレベルでは損傷の証拠はほとんどなく、他のタンク上部は全く問題がなかった。ソーラー1号は軟泥の中に沈んでいたため、底部の損傷程度を評価することはできなかった。しかし、外板に沿った各所にかかなりの縦の湾曲が認められ、海底との接触による強度な塑性変化が生じている可能性を示唆していた。調査時には、油流出の証拠はなく、数カ所で観察された漏出量は1時間当たりわずか10~20リットル程度と推測された。

ROV調査から引き出すことができた確実な結論として、No.4 積荷タンクの中身の約275 m³が船内に残っていないことは明らかだった。また、貨物タンクの通気穴から漏出したことを示す証拠も得られた。考えられるひとつの仮説として、貨物タンクのガスベントラインが開き、タンク底部まで水が侵入するような損傷が生じたため、この通気穴から相当量の油が漏出したと想定された。また、内部構造の損傷によってNo.4 ポートに隣接する一部のタンクから油が流出した可能性もある。

沈没から2日後にフィリピン沿岸警備隊が行った空中調査によるビデオ画像は、毎時10~20トンという相当量の石油が沈没船から流出していることを示していた。海面の油層の厚みは外

観からしか判断できず、そのときのスナップ写真からの推定であったため、その推定値は不確実なものであった。しかし、短いビデオ画像や海岸線の汚染度は、事故発生後早い時期に、沈没船の積載原油の半分以上が流出していることを示唆していた。しかし、沿岸警備隊のビデオやROV調査でも、大まかな流出量以上は明らかにならず、デッキレベルや船体上部への損傷がないことは、貨物の大半部分が船体の中にとどまっていることを強く示唆していた。

以上のことから、沈没船の残留油量を測る技術は確かに存在するが、確実に測定できることは少ないといえる。

ii) 流出速度

沈没船についてよく心配される点は、船の構造が壊滅的な損傷を受け、すべての残留油が一举に放出されるのではないかということである。しかし、現実には、このような事態は予想されない場合がほとんどである。その理由としてはまず、積荷原油は複数のタンクに分散しているので、すべてのタンクが同時に破壊されるという状況が想定しにくい。このような事態を招くような状況には、浅水域での沈没船が激しい暴風雨や津波に襲われる場合や、地震活動によって海底が動いて船が破壊するなどの場合がある。状況によっては、重い漁具や大型船の錨によって1つまたは複数のタンクが深刻な損傷を受けることも考えられる。

プレスティージ号事件については、沈没船周辺での地震活動も報告されているが、REPSOLの調査では、事故発生地域は地質学的に安定した地域であると見なされた。一方、ソーラー1号の沈没場所は地震活動が活発（図1を参照）な地域内で、沈没場所の西25海里のところに大きな断層が走っていることが指摘された。1948年には、マグニチュード8.3という最大規模の地震が発生しているが、周辺地域のその後の大きな地震としては1990年にマグニチュード7の地震が発生している。

ギマラスと周辺の地震地図
データ対象期間:1907年-2006年7月
すべてのマグニチュード、水深を網羅

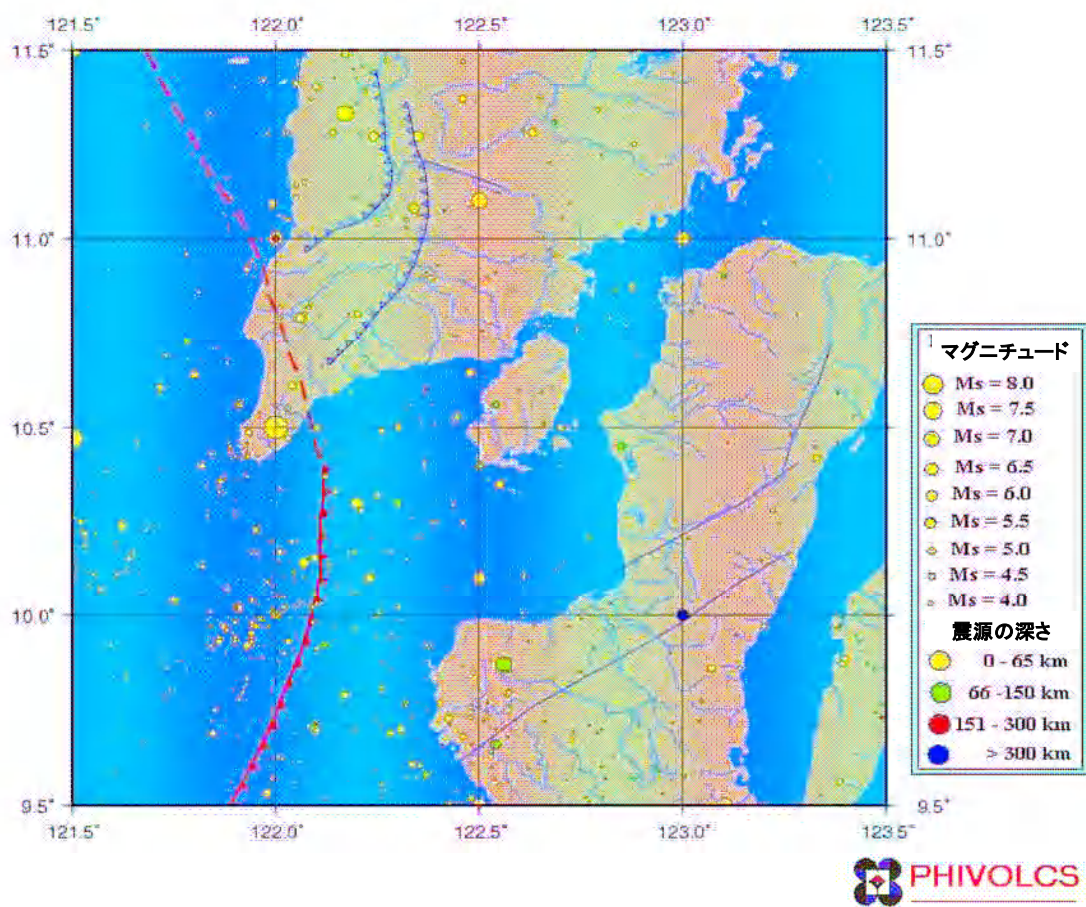


図 1

どのような難破船であれ、長い年月が経過すれば、スチールやタンクの腐食から生じたピンホールや亀裂から油漏出が開始する可能性が十分に考えられる。第二次大戦中の戦闘で沈没した船舶の例から考えると、腐食の影響が明らかになるまでに50年以上かかることもある。そのような例は通常、プレステージ号やソーラー1号より浅水域での事故であり、強い擾乱を受けやすく、腐食も速く進行するものと考えられる。このような状況であっても、油流出が最悪の事態に至った例はなく、流出は徐々に進行する。さらに、最近も原油搭載船の沈没例はいくつかあるが、沈没時の流出以後に流出が発生したという報告はない。表2を参照。

表2. 貨物の回収が行われなかった沈没船の例

Vessel name	Date of Incident	Quantity of oil*	Distance offshore	Water depth
		<i>Tonnes</i>	<i>Nautical miles</i>	<i>Metres</i>
ATLANTIC EMPRESS	1979	<270,000 crude	260 E Barbados & 350 ENE Trinidad	> 4,000
CASTILLO DE BELVER	1983	60,000 crude	136 W South Africa	> 3,000
– BOW				
– STERN		100,000 crude	24 W South Africa	420
ASSIMI	1983	~52,000 crude	170 E Oman	> 3,000
ABT SUMMER	1991	~260,000 crude	900 W Angola	~5,000
KATINA P	1992	~72,000 HFO	240 E Mozambique	~3,000
NAKHODKA	1997	10,000 HFO	75 N Japan	~2,500

* 火災による流出例が多く、流出量もわからないので、船の残留油量は不確実。

腐食したタンクからの油流出速度は、穴や亀裂の大きさ、原油の性状によって決まる。下表3は、プレステージ号やソーラー1号の積荷原油の最も重要な性状を比較している。表に示した流動点は、試験条件下で、これより低温になると石油が流動しなくなる温度をいう。プレステージ号の例では、深海の水温は流動点より低かったが、ソーラー1号では水温は流動点よりもはるかに高かった。

流動点以下でも原油は固体にはならず、海水より密度が低い限り浮き続ける。つまり、浮力がかかり、引き留めるものがなければ、原油は海面まで上昇する。この浮力で原油は「ゆっくり移動」する。すなわち、液体ではないが形状を変え、浮力を受けて徐々に移動する。難破船の上部に穴（例えば、開いた検測管、タンク清掃機械を入れるための箇所、通気管等）やタンク

の損傷があると、石油はそこから徐々に漏出する。流動点以下の石油を歯磨きのペーストになぞらえるとわかりやすい。つまり、チューブの蓋が開いていると、中身はゆっくりしか出てこないが、わずかな力をかけただけで簡単に絞りだせる。沈没船の中の原油には、絞り出す力ではなく、浮力がかかるのである。

表 3. 貨物の性質の比較

Cargo Properties	PRESTIGE Composite cargo	SOLAR 1
Quantity loaded tonnes	77,035	2,127
Density @15°C kg/m ³	993.0	965.3
Pour point °C	6	-6
Temperature °C @ depth (m)	~3 (3,650)	11 (630)
Viscosity @ 50°C mm ² .s ⁻¹	615	217
Asphaltenes % by weight	6.8	3.2

搭載されていた 2 種類の原油の性質を比較すると、ソーラー 1 号の積荷原油は流動性が高いため、一定の大きさの開口部からの流出速度が速いことがわかる。

iii) 流出によって生じる被害

沈没船からの油流出による被害は、流出量と流出速度、石油の挙動と最終的に左右され、また、風と海流の影響を受けながら流出油が海面を移動するルート上にある経済・環境資源にも左右される。プレスティージ号の原油の方が分解しにくく、英国からオランダにまで及ぶ遠距離を移動したが、どちらの油も、分解しない油のままか安定したエマルジョンとして移動する燃料油であった。しかし、重要な配慮は、流出に対して脆弱な資源の近傍性と、それに対して被害を与えるリスクだった。

漏出個所の密閉前の観察では、沈没したプレスティージ号から 1 日 1～2 トン程度の油流出が観測され、その結果をもとに、スペイン、ポルトガル、フランスの海岸資源に対するリスクは

非常に小さいと判断された。2003年には、沈没地点から漂流油のシミュレーションを行うブイを放って追跡調査を行い、追跡されたすべてのブイが大西洋のマデイラ諸島、カナリア諸島、アゾレス諸島に向かって南下した。その年にそれぞれのブイがたどった軌跡は大きく異なり、このことから、事故後も流出が続いたとしても、それによって生じる油塊は、百万平方キロメートルにわたる大西洋上にきわめて低濃度に分散するという結論が得られた。

ガリシア沿岸の海産食品業界は、油濁被害のリスクがある経済活動の中で抜群に高い経済価値を持つ産業であり、リアス・バイシャスに集中するムール貝養殖産業は特に重要であった（図2を参照）。それと比べ、沿岸漁業は重要度が低い。沈没地点は海岸から遠く離れ、水深が深かったため、周辺地域での海鳥の生息密度もゼロに近いと考えられた。燃料油の可溶成分はきわめて少ないため、環境中に放出される炭化水素は、油の経時変化によって生じる油塊に限定されるはずである。

沈没地点からの漂流軌道は、冬と春は北に向かい、夏と秋は南に向かう可能性が高いと考えられたが、季節や風や海流の方向によっては、沈没船から海面まで浮上してきた燃料油がガリシア沿岸（リアス・バイシャス）の海産物養殖地や大西洋の観光ビーチに到達するという危険性も考えられた。しかし、よほど大量の油流出が起きない限り、市場の信頼へのダメージを含め、大西洋の島々の観光産業やガリシア沿岸の海産物産業に重大な損害を与えるには至らないものと考えられた。



図 2. プレスティジ号沈没位置、スペイン、ガリシア沿岸沖

ソーラー 1 号の場合、ギマラス島の資源が油濁に特に脆弱であった。沈没船からの油流出が島の経済・環境資源に及ぼす脅威の評価では、複数の要素を考慮しなければならなかった。沈没地点は海岸から10海里程度（18.5 km）しか離れておらず（図 3 を参照）、流出速度や天候次第で流出油が海岸線まで到達する可能性もあった。



図3. ソラー号沈没位置よりの油の拡散、2006年8月

沿岸漁業は海岸から15km以内で行われるため、海面に油や油の光沢があると、漁業、特に夜間の漁業を妨害することになる。さらに、海岸線に到達した油は、島の南岸にある裾礁から魚や貝が集まってくるのを妨害するおそれもあった。潮の干満によっては干上がる礁があるため、礁自体の汚染リスクも検討しなければならない。これまでの結果では、流出油がマングローブに及ぼす直接的なインパクトはそれほど深刻ではないと思われる。しかし、同様の動植物生息地が何度も油で汚染された他の事故例から、1回の急性の油濁よりも、複数回の慢性的油濁による被害の方が大きいことが指摘されている。

沈没船からの油抜き取りに対する補償請求の容認性

国際油濁補償基金 (IOPCF) 事務局長は、国際タンカー船主汚染防止連盟 (ITOPF) に対し、プレスティージ号からの油抜き取り作業の技術的妥当性に関する見解を求めた。抜き取りに要する膨大な費用 (約 1 億ユーロ) に相当する規模の油濁被害が発生するのは、船が壊滅的な損傷を負い、脆弱な沿岸資源を破壊しうる 1,000 トンを超える大量の油が突然流出することが絶対条件であることが明らかになった。過去の事故を検証した結果、深海に沈んだ沈没船の中で、そのような膨大な流出例を見つけることはできなかった。したがって、プレスティージ号の原油抜き取り作業の費用は、残留油をそのまま放置した場合に起きうる被害額と比べて不釣り合いに巨額であると結論した。

IOPC基金理事会は、スペイン政府からの依頼を受け、欧州の別の専門家が作成した全く反対の見解の報告書についても検討した。しかし、沈没船がもたらすリスク評価に必要な費用の一部と沈没船の密閉費用は原則的には容認できることが明らかになったが、IOPC理事会は、同報告書の中の実際の油抜き取り作業費用は、船内への残留油の放置がもたらしうる経済・環境被害と不釣り合いであるという理由で、容認できないと報告した。

同理事会は、ソーラー 1 号からの油抜き取りは原則的には容認できるという決定を下したが、当時の情報では、抜き取り作業の費用は残留油量により、800～1,200万米ドルの間で上下する程度と見込まれていた。当時、ソーラー 1 号による油濁の損害は500～800万米ドルと予測されていたが、それ以後、さらなる損害請求が明らかになり、清掃費用は段階的に上昇した。理事会は、この事例では、抜き取り作業に提示された費用は、さらなる油流出による汚染損害リスクに対して不釣り合いな額ではないことに合意した。

プレスティージ号事件についてスペイン政府が提起した補償請求に関する理事会の議論を踏まえ、IOPC 基金の事務局長に対し、このような補償請求の容認性についての規準の策定が指示された。2006 年 10 月に開かれた 1992 年基金の総会で、事務局長は、沈没船からの油抜き取り費用の容認性を検討する際に考慮すべき因子を提示した。これらの因子を反映した内容が、いずれ IOPC 基金の補償請求マニュアルに盛り込まれることになる。事務局長が提案した検討因子は下記の通りである。

- (a) 船舶からの油流出の影響を最も受けやすい海岸線の油濁脆弱度、及び残留油の流出によって見込まれる経済的損失
- (b) 流出後の調査と復興対策に要する費用を含め、船舶からの油流出が環境に及ぼしうる損害

- (c) 近い将来に船舶から油流出が発生し、海岸または他の自然・経済資源に到達する見込み、流出しうる油の量・種類・特性、流出について見込まれる発生率
- (d) 船舶に無期限に油を封じ込めるか、または油を無害化する代替方法の可能性と適切性
- (e) 船舶の位置とその状況、油の種類、船舶の周辺地域の特性、その他関連環境を考慮した、抜き取り作業について見込まれる費用と作業が成功する見込み
- (f) 抜き取り作業中に大量の油が流出する見込みと、その流出の結果として発生しそうな損害額

下表4では、「高」「中」「低」の尺度を用いて上記因子を2つの事例にあてはめている。この基準によると、抜き取りの必要性は、プレスティージ号よりソーラー1号の方が高いことがわかる。しかし、補償請求の容認性を検討する理事会審議は、純粹に数学的な評価ではなく、事故の状況に応じて各因子の重要度を変えろという論拠の重もみに基づいたものであることに注意することが大切である。

表4. プレスティージ号とソーラー1号に適用される許容基準

Factor	PRESTIGE	SOLAR 1
a) Risk of economic consequences	Low	Moderate
b) Risk of environmental consequences	Low	Moderate
c) i] Likelihood of oil release, and ii] risk of oil reaching sensitive resources	Low Low	Unknown High
d) Alternative approaches	Considered	-
e) i] Costs and ii] likelihood of success	High High	Moderate High
f) Risks of release during extraction	Low	Low

理事会は、油濁に脆弱な経済・環境資源の近傍性、残留油量の不確実性、頻発する地震活動による予測不能の被害と、比較的浅い水深からの油抜き取り作業に要する予想費用が適度であること等を比較勘案し、ソーラー1号からの油抜き取り費用は容認できると決定した。

参考文献：

http://www.iosc.org/docs/IOSC_Issue_2005.pdf

2005年国際油流出会議（IOSC）論文「海洋汚染リスクのある沈没船（Potential Polluting Wrecks in Marine Waters）」

www.IOPCFund.org 92exc32-6_e.pdf

1992年基金理事会（2006年3月）「第32回理事会による決定記録（Record of Decisions of the Thirty-Second Session of the Executive Committee）」

www.IOPCFund.org 92exc34-11_e.pdf

1992年基金理事会（2006年10月）「1992年基金－ソーラー1号－が関与する事件－理事のメモ（Incidents involving the 1992 Fund - SOLAR 1 - Note by the Director）」

www.IOPCFund.org 92a11-35_e.pdf

1992年基金理事会（2006年10月）「第11回総会の決定記録（Record of Decisions of the Eleventh Session of the Assembly）」