

2 海上における油の漂流と拡散

倉品 昭二
(海上保安庁水路部)

1 ま え が き

近年における産業の発展は特に目ざましいものがあるが、これにともない原料製品、燃料などの運搬に多くの船が就航した大型化している。この海上交通量の増加と石油関係産業の伸展による油送船の増加は必然的に油による海水汚濁の災害を多発させ激増させた。「海上保安の現況」⁽¹⁾によれば、油による海水汚濁の発生は、昭和38年108、同42年149、同43年では246件に達している。

昭和42年4月紀伊水道の徳島県側橋湾にある礁にスウェーデンの鉱石運搬船バネツサ号(22700 ton)が座礁し、船底の破孔から燃料の重油が流出し椿泊浦を横切つて、対岸に漂着した(図1)がこの調査⁽²⁾を契機として、洋上における油の流出事故について資料を集めて来たので、油が海上にあるときどのように流れ拡がっていくかという問題について、海上保安庁警救部が行なつた実験をもととしてその実際について考察を行なつてみた。



第1図 流出油の分布状況

2 油の流出原因

沿岸ののりや魚類に被害を与えたり、護岸など港湾施設を汚染する油の流出原因は船舶を発生源とするものが圧倒的に多く全体の65%に達しているが、その流出原因となるものには大体次のようなものがあげられている。

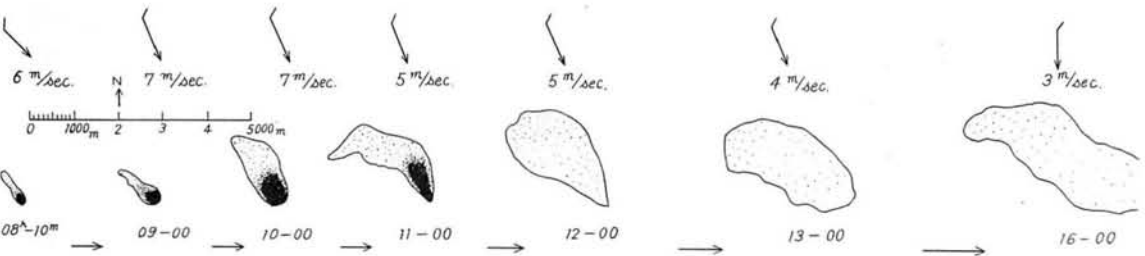
- (1) 座礁、衝突、沈没などによつて生ずる積荷としての油及び燃料油の流出
- (2) タンカーなどの船内クリーニングに伴う油性汚水の廃棄
- (3) 廃油の投棄
- (4) バランス用海水と油との混合液の放出
- (5) 海難防止のための油の投棄や荒天時制波のための油の放出

(6) 沿岸貯油タンクの破損流出

この外積荷や積換え中のバルブ操作の誤りなどから油が海中に流出する例も少なくない。

3 流出油の拡がり方

海面に油が投げられた場合ただちに拡散の現象を起こすが、その油の源泉としてのあり方でつぎの2つに分類することにする。すなわちある定点で一定量の油が拡散する場合を点源瞬間拡散 (Instantaneous Point Source Deffusion) といひ、船舶が海上の一定点で

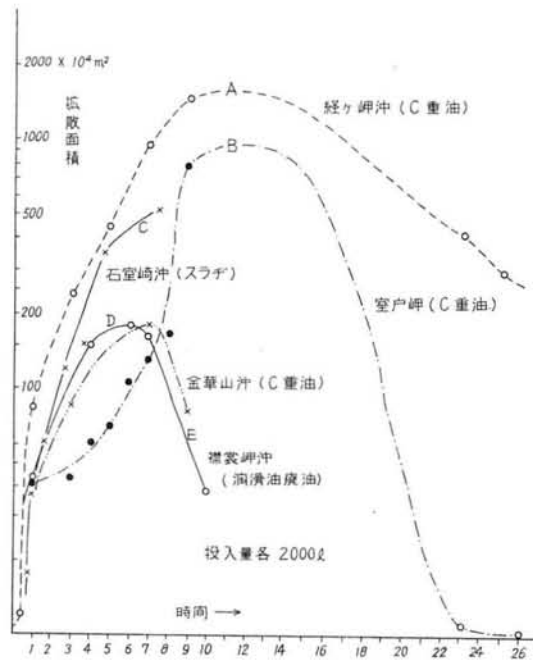


第2図 洋上における油の拡散

船倉のクリーニングなどを行ない油性汚水を一度に投棄したとすればこの拡散方式で海上を拡がって行く。またある点で油が連続して流出した場合を点源連続拡散 (Continuous Joint Source Deffusion) と呼び、座礁した船から続いて油が流出している場合などがこの拡散方式に従うはずである。

いま点源瞬間拡散の1例として図2に石廊崎沖に投入されたスラッチ200ℓこの実験については後述する一の拡散状況を示した。また図1のバネツサ号からの流出油の分布状況は点源連続拡散の状況を示すが、これは拡散が海潮流と風で南に帯状にのび更に先端が陸地でストップされた特別の形である。いま前例について少し細かく拡散状況を調べてみよう。

昭和41年～42年にかけて海上保安庁では、科学技術庁の特別研究



第3図 油の拡散の減衰

促進調整費によつて「船舶廃油による海水汚濁に関する特別研究」(a)を行なつた。この研究の一環として全国7ヶ所の岬沖に重油、潤滑油、ビルチなど2000ℓを投棄し、巡視船および航空機から目視や写真撮影によつて拡散と漂流状況を調査し、合わせて気象、海象の観測を実施した。

この拡散に影響を及ぼした風や海流についてはあとで述べるとして、その広がり^{*}の面積と経過時間との相関は図3のとおりで、A、B、C海区の実験では投入後9~10時間で最大面積に拡がりその後A海区では徐々に、B海区では急速に分散消滅した。D、E海区では約6時間で $180 \times 10^4 m^2$ に拡散しただけで急に分散したがこれはA、B、C海区の約 $\frac{1}{10}$ にまでしか達していないことになる。

このように同種同量の油でも拡散面積において10倍、消滅時間においても約2~3倍の違いがあるのは全く海象と気象の影響をうけるためで、風が弱くしかも海潮流が弱いかまたは風と逆方向に流れてでもいれば、油は不規則な楕円形に拡がりながら漂流する。風が強ければ濃い部分を先頭に魚雷型や帯状に拡がりながら風下側に流れる。こんな時風向が変わるとのび切つた油帯は各所で分断され消滅が非常に早められる。この実験では2000ℓという実際に起こり得る油の流出量に比較して少ない量を投棄したが、もしこの百倍千倍の量の油が流出した場合当然拡散面積において、時間においてこのテストとちがつた結果が出るであろうが、このパターンが大きき目安になることは確かである。

つぎに点源連続拡散の場合、もし流や風のない海面で連続的に油が流れ出したとすれば、その拡散状況は流出源を中心とした同心円と考へてよい。だが実際には、海潮流もなく風もない海面などないと考へても良いので、流出した油は次第に末拡がりの帯状となつて拡がりつつのびて行く。この型を知る一つの方法として筆者は、風のない日、あらかじめ流を調べた海域で、ごく少量の油を容器に入れて海底に沈め、その容器から一定量の油が次々に海面に浮上するようにした。つぎつぎに海面に浮上した油は拡散しながら流れて行くがこれを写真にとつて、流程と面積を求めると第4図のとおりで、この円の縁辺を結んで出来た細長い油の分布が、この拡散の一般的な型と考へて良い。

この連続拡散は瞬間拡散とちがつて流出源が無くならない限り長く続くが、一般に油が拡散しているときの程度とこれを断ち切る風もしくは波、または、流れの力のつりあひ限界で分断して必ずしも極端な長さにはならない。

4 油の漂流におよぼす諸要素

さていまいちはん問題になるのは事故・災害などと、海面に流出した油がどのように流れ拡がつていくかということである。これがはつきりすれば、その油が沿岸に漂着する可能性があれば

* 航空写真や目視によつて作図された分布図を引伸機により修正し、さらにプランメーターにより面積を求めた。

その対策を立てることができるし、沖合に流出して自然消散するものであればそれなりの準備で済む。漂流の推算を行なう前に影響を及ぼすいくつかの要素をあげるとつぎのとおりである。

(1) 海 流

油は海流に乗つてほとんど同じ運動をすると考えて良い。ただ海流が大きく蛇行したり反流が相接して存在する海域では見かけ上表面の油は複雑な動きをする。

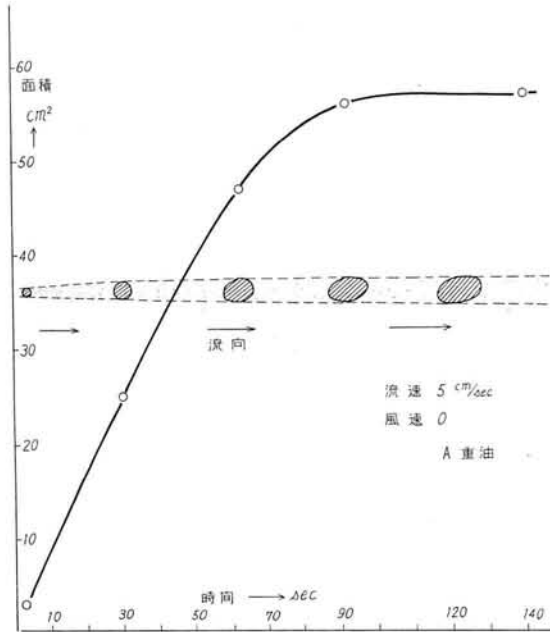
日本近海での海流調査は主流を対象としたものが多いので、きわめて岸に近い部分とか小海湾などでは比較的観測資料が少ないことが多く、事故発生と同時に必ずしも明確な資料が得られるとは限らない。タンカーなどは、航海上の必要性とは別の意味でさらに十分な海況のは握が必要であろう。参考とすべき資料としては

- | | | | |
|---|---------|----------|------|
| a | 日本近海海況図 | 海上保安庁水路部 | 定期刊行 |
| b | 海洋速報 | " | " |
| c | 海洋概報 | " | " |
| d | 全国海況旬報 | 気象庁 | " |
| e | 漁業海況図 | 水産研究所 | " |

などがある。このほか表面水温の高低も拡散などに関係すると思われるので同時に知っておく必要がある。

(2) 潮 流

潮流も海水の運動である点では海流と同じであるが、周期的に流向が変化するという大きな相違点がある。すなわち、地球自転の影響や摩擦作用が及ぼす影響などを無視して単純に考えれば、ある点から潮流にのつた油は半日なり一日なりの周期でまた元の場所に戻つていくことである。もちろん油の拡がりの形はその間に変形しているであろうが、幸なことにこの潮流は強くなつたり弱くなつたりする比較的規則正しい変化はするが、海流のように季節によつて位置を変えたり年によつて突然なくなつたりしないことである。一度作つた潮流図はたいがいいつでも使用できるし、先々どう流れるかも相当の精度で予報できるから、漂流物を推算



第4図 流油帯のでき方

する者にとつて確かな手助けの一つとなる。

潮流を知るためには瀬戸内海を主とした14カ所の潮流図(水路部)、潮汐表(水路部)などがある。

(a) 吹送流と風圧流

海面上に風が連吹した場合風の摩擦によつて海の表面に生ずる流も、油を漂流させる。

一般に吹送流 V_0 はトラージェにより次式で与えられ、

$$V_0 = \frac{0.259}{\sqrt{\sin\phi}} W^{\frac{1}{2}} \quad W < 4\text{m/sec} \quad (1)$$

$$V_0 = \frac{0.0126}{\sqrt{\sin\phi}} W \quad W \geq 4\text{m/sec} \quad (2)$$

ϕ = 緯度 W = 風速で、風速が 4m/sec をこえ6時間以上連吹したら(2)式を使用することにしてゐる。普通吹送流は風速の2~4%の速さでひきおこされ、流向は北半球では右に 45° 偏する。

これとは別に油は風によつて別な運動を起こす。いまこの例を示すと、海中に投棄したときローダミン(海水中で発色させてマーカーとさせる薬品)を同時に投入すると一定時間経つと、油とローダミンは分かれて流れて行く。

これは水の表層に溶けこんだローダミンは海潮流、吹送流などをすべての海水の運動に従つて動くが、表面に乗つた油はこれらの運動に風圧をプラスした動きをしているわけである。これによつて前述の実験の例から風圧流を計算してみると、風速 $2\sim 3\text{m/sec}$ で 0.08m/sec 、 $7\sim 9\text{m/sec}$ で 0.14 、 0.19 、 0.17m/sec 、すなわち風速の2~3%程度の風圧流を生じていることになる。

また別の方法として、油の実際の漂流経路から G. E. K (電磁海流計) により求めた海水の総合的な流れをベクトル的に差引いてやると、やはり油の風によつて流された量が出てくる。この結果では風速の3~5%という値が出ているので、海水の表面を覆つた油の濃度などによつて少しちがうが、油は風圧によつて風速の2~5%スピードを与えられ、流れる方向は風向の右に 10° 内外の偏角をもつことがわかる。

(4) 油自体の拡散と海水の拡散

海面の油は、油自体の拡がりとともに、海水の拡散でその面積を拡げて行く。いま前述の 2000L の投入実績での A, B, C 海区の時間と拡散との関係を平均化した曲線を図5に a で示した。これは比較的海面が静かな時の拡散を示し、b は、D, E の平均で海上が荒れている時の拡散状況を示している。またこの a を用いて時間毎の拡がりを同心円で示した。

この図を用いて油の拡散の実験式を求めるとは可能であるが、それはあくまでも 2000L の重油についての実験式であり、これをもつと各種の油、油量にあてはめることは無理であると考えられるので今回は中止することとした。但し、この曲線を中心として各量に対する拡

散の時間と面積の関係曲線を推定することは可能と考えている。

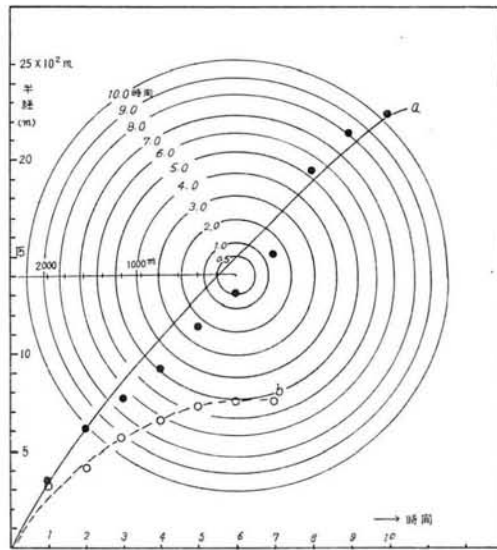
現在、油の拡散についてはSearch and Rescue Note にあげられている式や渡辺氏の実験式があり、海水の拡散について外国ではJoseph-Sender, Ozmido, 日本では大久保、二谷、岩田各氏の式が実用化されている。

5 油の漂流の推定

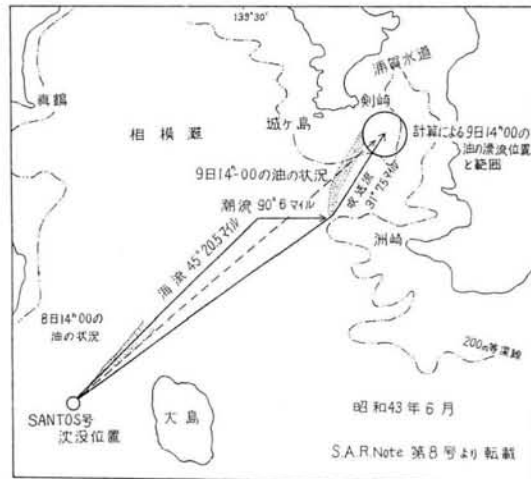
以上の諸要素をもとにして計算し作図をすれば、ある点で油が投げられた場合何時間後にどこに漂流して行くかを求めることができる。

いま Santos 号が昭和43年6月大島の西で沈没し推定400keの油が流出したさい、海上保安庁警救部で計算推定した油の流路を第6図(4)に示した。これによると8日5時30分ごろ湧出点から拡散しながら流れ始めた油は、計算では翌9日14時には三浦半島の剣崎と房総半島南の洲ノ崎を結んだ線の中央よりやや剣崎よりの位置に漂流して行くと推定された。そして実際に油は城ヶ島洲ノ崎の間に流れてきて、その計算上の位置と実際に漂流してきた位置は非常に近い。海流はもとより潮流も変化がはなはだしいこのような湾口部でこのような少ない誤差で漂流位置を決定できたことは、何回かの実験から得られた貴重な経験と計算技術の優秀性もたらした結果であろう。

また第7図に、昭和43年12月5日浦賀水道でタンカー-Adijayanti号(20418ton)と富浦丸(10019ton)が衝突しA号は水線下にクラックを生じたが、そのまま千葉に入港したがその翌日の油の流出流況を示した。この分布と東京湾の状況とを合わせ考え



第5図 油の拡散面積と時間との関係



第6図 計算による油の漂流位置の決定

てみよう。

東京湾には図に示すとおり右廻りの恒流があり⁽⁵⁾、上げ潮は湾全体が大体北に向い流で大勢からみて西半分が流勢が強く東半分が弱い。また下げ潮は南流であるからこの恒流と潮流を合わせ考えると、千葉から五井・木更津沖にかけては上げ潮時には流が打消し合つてほとんど流がないか、あつてもきわめて弱い流になつてしまふことが多い。これに反して下げ潮時は恒流と合わさつて岸沿いに比較的はつきりした流を生ずる。油はこの南下流にのみ乗つて伸長した結果となり図のよな岸にそつてゆるく湾曲した油帯となつたと考えられる。もちろん沿岸に油を漂着させた力に北よりの風の影響がきいていることは確かである。

あ と が き

現在海上の油がどのように流れどのように拡がっていくかを完全に予報するまでには至つていない。しかし各関係機関で鋭意この問題に取り組んでいるので近い将来に解決されるであらう。

この報告を作成するに当つて海上保安庁警救部発行のSearch and Rescue Noteに負うところがきわめて大きいし、また同部の河端氏の意見を参考とさせて頂いたことを厚く感謝いたします。

なお本報告は先に昭和44年公害と対策(公害対策技術同友会)に掲載したものに若干の考察を加えたものである。



第7図 東京湾の恒流と流出油の分布状況

参 考 文 献

- (1) 海上保安の現況：海上保安庁 昭和43年、44年
- (2) パネッサ号座礁事件に伴う流出油調査報告：昭和42年4月 水路部(未刊)
- (3) 船舶廃油による海水汚濁に関する特別研究報告書：科学技術庁研究調整局 昭和43年3月
- (4) Search and Rescue Note 第8号：海上保安庁警救部 昭和43年