

油処理剤散布後の油の挙動に関する数値解析

NUMERICAL SIMULATION ON BEHAVIOR OF OIL AFTER SPRAYING CHEMICAL DISPERSANTS

杉岡伸一¹・桜井謙一²・朝位孝二³

Shinichi SUGIOKA, Kenichi SAKURAI and Koji ASAI

¹正会員 工修 芙蓉海洋開発株式会社 環境システムセンター (〒111-0051 東京都台東区蔵前3-15-7)

²非会員 財団法人 漁場油濁被害救済基金 (〒101-0041 東京都千代田区神田須田町1-18)

³正会員 博士(工) 山口大学大学院理工学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

The 3-dimensional oil diffusion simulation model is built in order to predict the behavior of oil after spraying a chemical dispersant quantitatively in this paper. In this model, it is assumed that the effect of the decrease in the surfacing velocity by reduction of the diameter of the oil drop reflect on the vertical diffusion. The validity of the model is confirmed by comparing the numerical results with the observation data of the site experiments conducted off in the Norway North Sea in 1995.

It is found that the presented model can simulate the behavior of oil treated by chemical dispersants. Especially, the rise of concentration of oil which is a characteristic phenomenon of oil treated by chemical dispersants can be simulated.

Key Words : numerical simulation, oil spill, chemical dispersants

1. はじめに

タンカーなどの海域における油流出事故では物理的に回収する方法が最も良い方法とされている。このためオイルフェンスや様々な油回収装置が開発・提案されている。しかしながら、荒天時にはこのような方法が適用できない場合がある。そのような場合、油処理剤(以下分散剤と記す)を使用することがある。実際に、多くの流出事故で分散剤が適用されており、平成9年1月に日本海で発生したナホトカ号の事故においても使用されている。

分散剤は通常界面活性剤と溶剤からなり、主体となる界面活性剤は油を水中油滴型(微粒子)に乳化させる作用を有し、溶剤は油の粘度を低下させ、界面活性剤と油を良くなじませる働きをする。分散剤は液体である油を細かい微粒子にして水中に急速に拡散させることを目的として使用される。広い海域に急激に拡散させることで油の濃度を低下させ海洋生物への影響を少なくするとともに、粒子化することで微生物分解を促進させる。しかしながら、漁業区域周辺への分散剤への適用については、魚介類など水産資源への影響が懸念されている。

毒性の低い分散剤も開発されており、ほとんど無害であると言われているが、漁業者や環境保護団体を納得さ

せるまでには至っていないようである¹⁾。分散剤の使用におけるステイクホルダー間の利害調整の取り組みについては文献2)に詳しい。また、分散剤の毒性よりも分散剤で処理された油の毒性が問題視されているとの指摘もある³⁾。しかしながら、分散剤によって処理された油の物理的な挙動についての知見は少ない。特に、分散剤の持つ拡散作用と実海域の流れや風によって、処理された油がどの程度拡がるかを知ることが、漁業区域などでの分散剤の適用場所等の選定にとって非常に意義深い。

水域に流出した油の挙動の解析方法は、様々な研究が行われている。二層流として一次元的に取り扱った方法として羽田野ら⁴⁾、⁵⁾および埜口らの研究⁶⁾がある。これらは静止流体中に放出された油の挙動を1次元漸変流方程式でモデル化している。後藤は油の運動を2次元に拡張し、平面2次元浅水方程式を差分法で解析している⁷⁾。

3次元的な取り扱いとしては渡辺ら⁸⁾、灘岡ら⁹⁾の研究がある。両者とも平成9年7月に発生した東京湾におけるダイヤモンド・グレース号の油流出事故を対象に数値計算を行っている。潮汐場に河川流入や風などの条件を入れて流れ場を再現し、油の輸送は油に見立てた中立粒子をラグランジュ的に追跡することで評価している。両者の研究はいずれも油の風化の作用は取り込まれていない。埜口ら¹⁰⁾は油の風化作用を取り込んだモデルを開発し、

第一次湾岸戦争時にペルシャ湾に流出した油の挙動をシミュレートしている。また同様のモデルでSugiokaらは昭和48年に発生した水島コンビナート事故による瀬戸内海の油濁のシミュレーションを行っている¹¹⁾。しかしながら、分散剤処理後の油を対象としていない。

分散剤処理された油の挙動に着目した研究例として荒川らの研究がある¹²⁾。彼らは波動場において砂浜に到達した油の砂浜への浸透を密度関数法でシミュレートしている。分散処理された油は非ニュートン流体として取り扱われている。

本研究では、汀線近傍ではなく沖合に流出した油が分散剤で処理された後の挙動に着目し、波動よりも潮汐流あるいは吹送流が卓越する場を対象とする。堀口らのモデルをベースとして分散剤を適用した後の油の挙動を定量的に予測するためのモデルの開発を試みた。実海域実験との比較によりモデルの妥当性を検討し、想定した環境での拡がりを議論する。

2. 計算モデル

(1) 堀口らのモデルの概要¹⁰⁾

a) モデルの構造

流れ場を求める流動モデルと油の挙動を求める移流拡散モデルに分割される。海域に流出した油は表面油膜となって移流拡散していく部分と水分を含んでエマルジョン化（乳濁化）して沈降・浮上する部分に分かれる。また表面油膜もエマルジョン化して水中に混入する。図-1は本モデルで考慮されている油の物理過程の模式図である。

微分方程式で記述される3次元の基礎方程式を鉛直方向に分割し層をつくる。層毎に鉛直積分し、層平均された方程式を最終的な基礎方程式とする。この方程式はスタガード格子を用いて差分法で離散化される。次項に3次元の基礎方程式を記述する。

b) 基礎方程式

流動については一般に良く用いられる静水圧近似を施した3次元の運動方程式と連続の式であるため、ここではその表示を割愛する。

移流拡散モデルは油の風化や各種物理プロセスを考慮した輸送方程式である。それらを以下に示す。

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_0}{\partial t} + \frac{\partial u_0 S_0}{\partial x} + \frac{\partial v_0 S_0}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial S_0}{\partial x} \right) \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial S_0}{\partial y} \right) + w_s S_1 - R_f - \Phi_0 S_0 + q \quad (1) \\ \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial u S}{\partial x} + \frac{\partial v S}{\partial y} + \frac{\partial (w + w_s) S}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial S}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial S}{\partial z} \right) + Q_l - Q_f \quad (2) \end{aligned}$$

式(1)は表面油膜の移流拡散モデルである。ここで、 u_0 ,

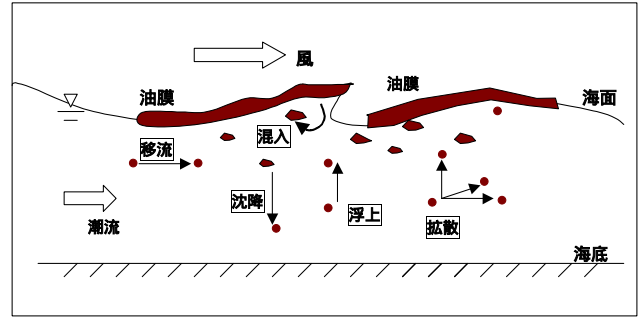


図-1 水中混入のモデル

v_0 はそれぞれ x, y 方向の表層の流速、 S_0 は表層の単位面積あたりの油の質量、 K_x, K_y はそれぞれ x, y 方向の拡散係数、 w_s は油の浮上速度、 S_1 は水中に浮遊する油滴の質量濃度（添え字1は水中第1層を表す）、 R_f は式(3)で表される水中混入油の質量フラックス、 Φ_0 は蒸発や生物分解などによる油の風化速度、 q は油の噴出量である。

式(2)は水中の油の挙動を予測する移流拡散方程式である。ここで、 u, v, w はそれぞれ x, y, z 方向の流速、 w_s は油の浮上速度、 S は油滴の質量濃度、 K_x, K_y, K_z はそれぞれ x, y, z 方向の拡散係数、 Q_l は水中での油の単位時間当たりの生成量、 Q_f は水中での油の単位時間当たりの消滅量である。

次式は前述した水面に存在する油の波による水中への混入を表す質量フラックスである。

$$R_f = \frac{\beta \pi H^3}{2TL} \exp\left(\frac{2\pi z}{L}\right) \cdot \frac{S_0}{D} \quad (3)$$

この式は乱流フラックスの混合距離モデルと微小振幅波理論から誘導されている。ここで、 β は無次元の比例定数、 π は円周率、 H は波の振幅、 T は波の周期、 L は波の波長、 S_0 は表層の単位面積あたりの油の質量、 D は最上層（表層）の層厚である。

境界では固体壁面（陸岸、海底）に対して不透過の条件（壁に対して直交方向の濃度フラックスが0）および水面で鉛直方向フラックスが式(3)で与えられるという条件を用いる。

c) エマルジョン形成のモデル

流出油は水分を取り込みエマルジョン化し、結果として粘度（粘性係数）や比重が増加する。含水率と粘度の評価にはMackayら^{13),14)}のモデルを用いる。

$$(1 - k_2 W) \exp\left(-\frac{2.5W}{1 - k_1 W}\right) = \exp(-k_3 t) \quad (4)$$

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \exp\left(\frac{2.5W}{1 - k_1 W}\right) \quad (5)$$

$$\rho_E = W \rho_w + (1 - W) \rho_0 \quad (6)$$

式(4)～(6)は、それぞれ含水率の時間変化の評価式、粘



図-2 海域実験場所と計算領域

表-1 再現計算ケースと入力データ

計算ケース	C-1	C-2	C-3	C-4
分散剤適用の有無	未適用	適用		
油量	12ton（瞬間流出）			
密度	Troll原油，比重：0.893，海水：1.028			
油性	初期粘度：700cp，含水率：57%			
油滴粒径	2mm	2μm	0.1μm	2μm
水中混入	考慮（波高2m、周期6s）			
水平拡散係数	2×10 ³ cm ² /s			
風向、風速	南西，1.4m/s			
風係数	3%			
鉛直拡散係数	20cm ² /s			10cm ² /s
境界濃度	0.0（mg/l）			
初期濃度	0.0（mg/l）			

性係数の評価式, 密度の評価式である。ここで, W は含水率, t は時間, k_1, k_2 は比例定数, k_3 は水の取り込み速度, μ_l はエマルジョンの粘性係数, μ_0 は油の初期の粘性係数, ρ_e はエマルジョンの密度, ρ_0 は油の初期の密度である。

d) エマルジョンの浮上・沈降速度のモデル

エマルジョンの浮上・沈降速度はStokesの式を修正したBondの式を用いる。

$$v_r = \frac{1 + \mu_p / \mu_w}{2/3 + \mu_p / \mu_w} \frac{g d^2 (\rho_w - \rho_p)}{18 \mu_w} \quad (7)$$

ここで, v_r は浮上速度 (負値をとった場合は沈降速度), μ_p, μ_w はそれぞれ油と水の粘性係数, ρ_p, ρ_w はそれぞれ油と水の密度, d は油滴の直径である。

(2) 分散剤処理された油の取り扱い

分散剤の効果の重要な点は, 油の粒径を小さくして油滴の浮上速度を遅くさせることで, 水中での分解促進を図る点である。本研究では, 分散剤の効果は油滴粒径の減少に伴う浮上速度の低下と鉛直拡散の変化で表現する。つまり式(7)の油滴粒径 d および式(2)の鉛直拡散係数 K_z をチューニングすることで分散剤の効果をモデルに取り込んだ。

(3) モデルの検証

分散剤処理後の油の挙動に関する観測結果は極めて少なく, モデルの検証は容易ではないが, ここでは1995年

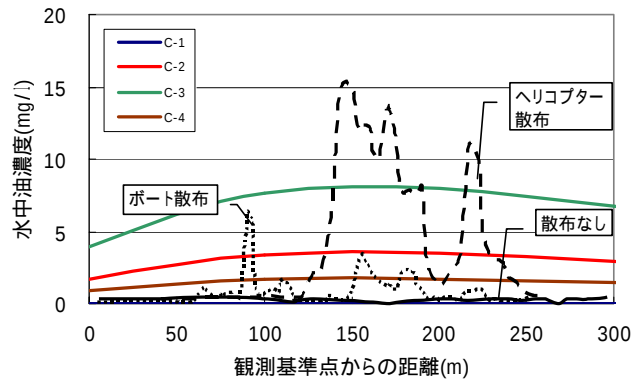
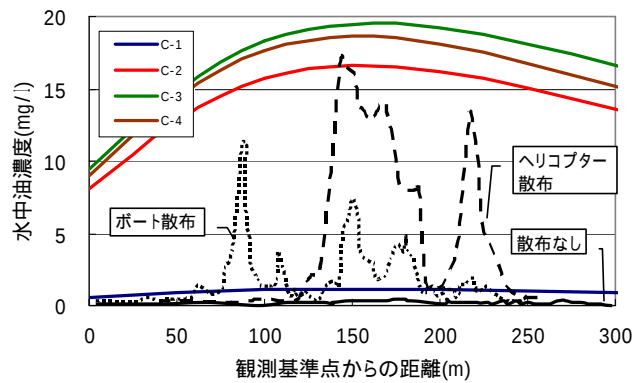


図-3 計算値と観測値の比較 (上: 1層目, 下: 3層目)

8月14~17日に北海 (ノルウェー沖) においてNorwegian Clean Seas Association for Operating CompaniesとIKU Petroleum Researchが主体となって行われた現場実験の結果と比較を行う。筆頭著者が所属する会社もこの実験に参加した。図-2に海域実験の場所を示す。実験ではTroll原油12 tに対し自己攪拌型の分散剤(Corexit9500)1,150lをヘリコプターおよびボートから散布した。モデルの検証では, 分散剤を適用したケースと適用しないケースについて観測値と比較した。計算領域は, 海域実験において油が投入された地点を中心に, 東西方向に8km, 南北方向に6kmとし, 鉛直方向には, 表層から水深方向に1m毎に12層とした。油の投入位置は, 1層目とし, 分散剤は油の投入直後に適用されたと仮定した。油の拡散計算に使用した流動データは, 当該海域を対象とした既存の再現計算結果¹⁵⁾を用いた。風向, 風速および波浪データについては, 海域実験時の観測値¹⁶⁾を用いた。

なお, 分散剤を適用したケースの油滴粒径, 鉛直拡散係数については観測データが無いため, 既存資料¹⁷⁾を基に設定し試行計算を行った。計算ケースと入力データは表-1に示すとおりである。

図-3に計算水深の1層目(0-1m)と3層目(2-3m)について観測値との比較を示した。図-3中の破線がヘリコプター散布, 点線がボート散布による濃度分布を示している。観測値はいずれも分散剤投入後からおよそ30分後の濃度分布であり, 図-3の上図は水深1m, 下図は水深3mでの観測値を示している。ヘリコプターでは分散剤を毎分

表-2 静水中での計算ケースと入力データ

計算ケース	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9
分散剤適用の有無	未適用	適用			
油量	100ton（瞬間流出）				
密度	A重油				C重油
	0.856(g/cm ³)				0.950(g/cm ³)
	海水1.028(g/cm ³)				
油性	初期粘度10cp				初期粘度1000cp、含水率：70%
	含水率：70%				
油滴粒径	6mm	2μm			
水中混入	考慮しない				
水平拡散係数	2×10 ³ cm ² /s				
風向、風速	考慮しない				
風係数	0%				
鉛直拡散係数	1cm ² /s	10 cm ² /s	20 cm ² /s	10 cm ² /s	
境界濃度	0.0 (mg/l)				
初期濃度	0.0 (mg/l)				

540lで散布し、ボートでは毎分60lで散布した。ヘリコプターの方が単位時間当たりの散布量が多いため、分散剤の効果が顕著にあらわれているものと思われる。一方、分散剤を用いない場合の観測値は濃度が非常に小さく、この図ではほとんど横軸に一致している。分散剤を散布しない場合には油は表面に浮上し、水中にはほとんど油が存在しないためである。分散剤の効果は粒径変化と鉛直拡散係数に取り込まれるので、それらをパラメータとして観測値と計算値との適合性を検討する。

粒径2mm、鉛直拡散係数を20cm²/sとして分散剤を散布しないケースの計算を行った(C-1)。1層目の計算値は、観測値よりも大きな値を示している。この理由としては、パラメータ設定の問題もあるがシミュレーションは1層目の平均値であることも理由として考えられる。

粒径の効果を検討するため拡散係数は20cm²/sとして、粒径2 μ m(C-2)と粒径0.1 μ m(C-3)を比較する。一般に分散剤処理された油の粒径は2 μ m粒径程度である¹⁷⁾。粒径が小さいC-3は浮上速度が小さくなるためC-2よりも濃度が大きくなる事が分かる。

次に鉛直拡散の効果を検討するため粒径を2 μ mとし、鉛直拡散係数を20cm²/s(C-2)と10cm²/s(C-4)とした場合を比較する。1層目ではC-4の濃度がC-2の場合よりも大きい、3層目ではそれが逆転している。これは鉛直方向拡散フラックスが小さいため、水深方向に広がらないためである。

本モデルでは油と分散剤が瞬時に混合し、油滴が均一粒径になると仮定している。それゆえ分散剤適用効果が速いヘリコプター散布の結果と比較するのが妥当と思われるが、現地では波浪の影響や散布の不均一などの不確定要素があり、直接的な定量的比較は困難である。しかしながら、本数値実験の範囲では、粒径の点からC-2およびC-4の計算の妥当性が高いと思われる。

3. 数値実験と考察

数値実験では分散剤を適用した油の挙動を把握するた

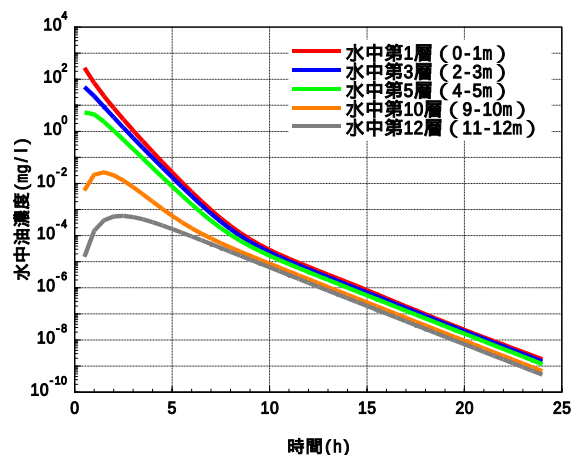


図-4 静水中の計算結果例 (C-7)

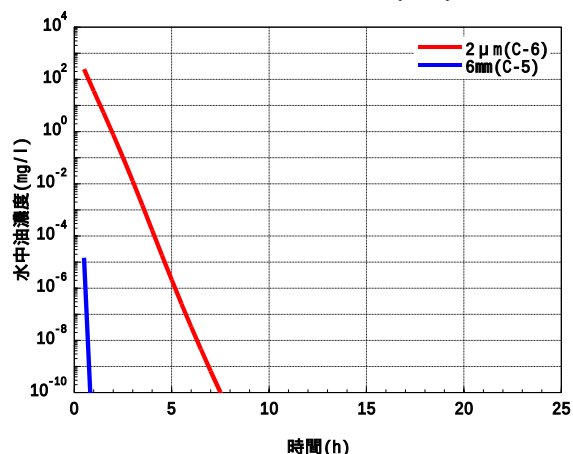


図-5 油滴粒径の違いによる第1層の水中油濃度の比較

め、再現計算で使用したパラメータを用いて静水中、および外洋域を想定した環境条件で計算を行った。

(1) 静水中での油の拡がり

計算は再現計算と同じ領域とし、流れや波、風などの条件は考慮していない。投入油量は100tonと仮定し、油の密度(油種)、鉛直拡散係数などを変えて複数設定した。計算ケースおよび入力データは表-2のとおりである。

a) 水中油濃度の経時変化

一例として図-4にC-7の計算結果を示した。流入地点における1, 3, 5, 10, 12層目の水中油濃度の経時変化を示している。1, 3, 5層目の水中油は、放流直後から海面への浮上および周辺への拡散により濃度の減少が見られる。10, 12層目は、上層の鉛直拡散の影響を受け一旦濃度が上昇するが、その後減少している。約10時間後には、各層間で油の混合が進み、濃度は徐々に減少している。他のケースもほぼ同様な傾向が見られたが、分散剤を適用しないC-5は、油滴粒径が大きいいため、各層の油滴は急激に浮上し水中油濃度の減少が見られた。

b) 分散剤適用の有無(油滴粒径の比較)

分散剤を適用しないC-5と適用したC-6について比較した。両ケースの第1層の水中油濃度の経時変化を図-5に示す。C-5の油滴粒径は6mm、C-6は2 μ mである。浮上速

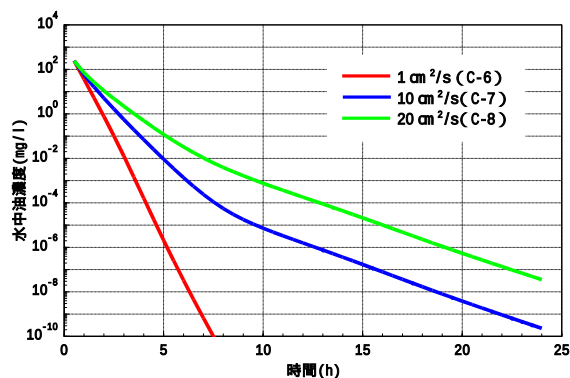


図-6 鉛直拡散係数の違いによる第1層の水中油濃度の比較

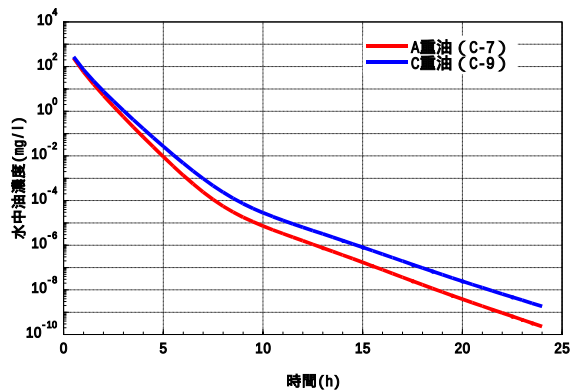


図-7 油の密度の違いによる第1層の水中油濃度の比較

度は、油滴粒径の2乗に比例して効くため、C-6はC-5の 3×10^3 の2乗倍だけ浮上速度が小さくなる。その結果、油の水中滞留時間が長くなり、C-6の水中油濃度は、C-5に比べて非常に高くなっている。

c) 鉛直拡散係数の比較

分散剤を適用したうち鉛直拡散係数が、 $1\text{ cm}^2/\text{s}$ (C-6)、 $10\text{ cm}^2/\text{s}$ (C-7)、 $20\text{ cm}^2/\text{s}$ (C-8)の3ケースについて比較した。各ケースの第1層の水中油濃度の経時変化を図-6に示す。鉛直拡散係数が大きくなると、水深方向への拡散速度と油滴の浮上速度がバランスする。その結果、油滴が水中に長時間留まり濃度が高くなる。水中油の濃度は、鉛直拡散係数が高いC-8、C-7、C-6の順に大きくなっている。油分濃度計の計測限界 0.1 mg/l を一つの目安とすれば、C-6の 0.1 mg/l 以上の滞留時間は約2.5時間、C-8は約5時間となっており、両ケースの滞留時間に約2倍の違いが見られた。

d) 油種の比較（油の密度の比較）

分散剤を適用したうち、A重油（密度 0.856 g/cm^3 ）のC-7、C重油（密度 0.950 g/cm^3 ）のC-9について比較した。両ケースの第1層の水中油濃度の経時変化を図-7に示す。油の密度が大きくなると、油滴の浮上効果が小さくなるため、結果的に水中油濃度が高まる。A重油とC重油の水中油濃度を比較してみると、時間と共に変化するものの24時間後には、約8倍程度（C重油濃度/A重油濃度）の濃度差が見られた。

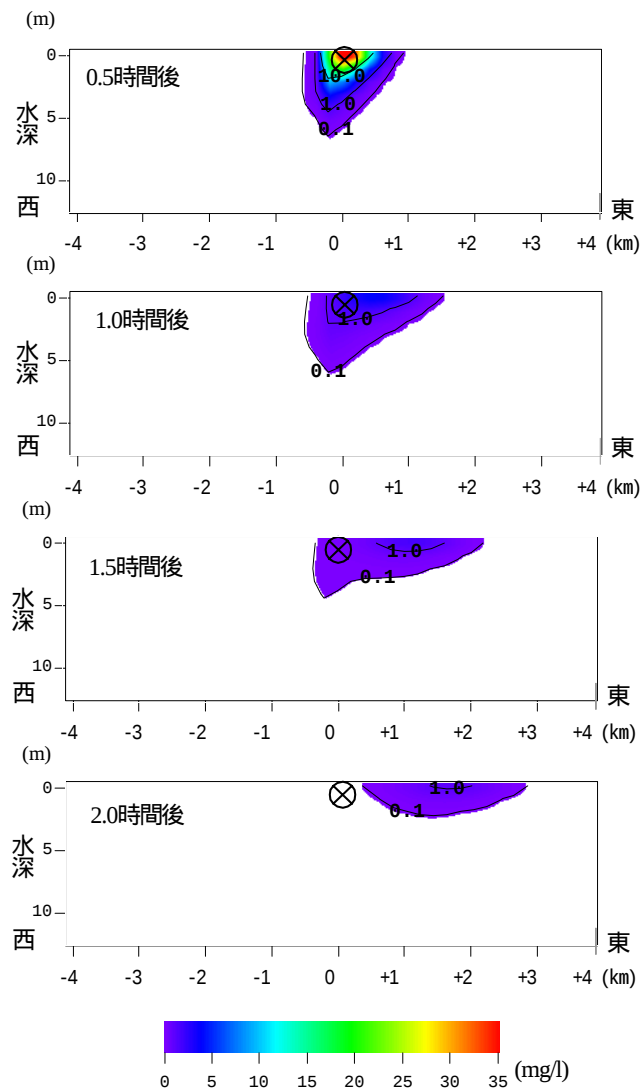


図-8 外洋域における油の鉛直分布の経時変化

(2) 外洋域での油の拡がり

外洋域として冬季の新潟周辺海域を想定し、分散剤を適用した油の拡散計算を行った。計算に使用した環境データは、既往資料^{(18),(19),(20)}に基づいて設定した。流動は、東向きに流速 36 cm/s の一樣流とした。波高は 1.5 m 、周期 6 秒 とし油の水中混入を考慮した。風は南南西、 4.2 m/s 、風係数は 3% とした。その他の油滴粒径、鉛直拡散係数などの条件はC-7と同じである。

a) 水中油分布の経時変化

分散剤適用後の油の鉛直分布の経時変化を図-8に示す。×印が油の流入地点である。分布は、時間経過とともに東向きに流動の影響を受けながら拡散した。2時間後には油の中心位置は、流入地点から東側に約 2 km の位置に移動している。

一方、鉛直分布については、 0.5 時間後に水深 5 m 程度まで 0.1 mg/l 以上の分布が見られ、その後油は時間と共に浮上し、 2 時間後には水深 2 m まで上昇した。

b) 水中油濃度の経時変化

流入地点における1, 3, 5, 10, 12層目の水中油濃度の経時変化を図-9に示す。静水中の計算と同様に各層に

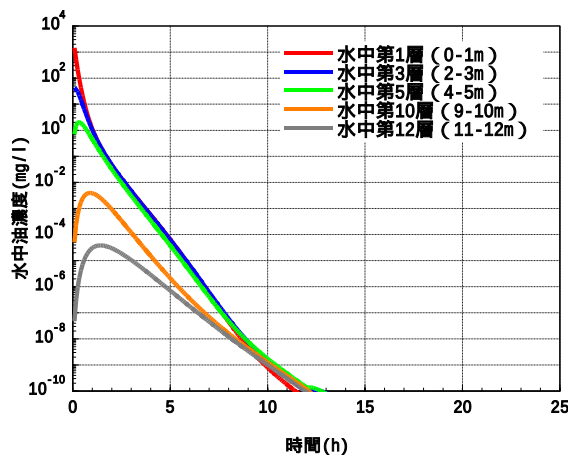


図-9 外洋域における水中油濃度の経時変化

において濃度に時間的な変化が見られたが、外洋域の計算では静水中と比較して、濃度の減少が速くなっている。これは、海水流動や風による油の移流拡散の効果によるものと考えられる。

4. おわりに

本研究は、分散剤を散布した後の油の挙動を定量的に予測する3次元油拡散シミュレーションモデルの開発を試みたものである。本論文の結論を以下にまとめる。

- ・ 堀口らのモデルを基礎として、分散剤投入後の油の挙動を解析するモデルを提案した。このモデルでは粒径と鉛直拡散係数をチューニングすることで分散剤の効果を取り込んだ。海域実験との比較を行った結果、定性的にはモデルの妥当性が確認できた。
- ・ 分散剤を適用すると浮上速度の減少により水中の油の濃度が高くなる。
- ・ 鉛直拡散効果が強くなると油の滞留時間が長くなる。
- ・ 油の密度が大きくなると浮上効果が小さくなるため水中濃度が高くなる。

モデルの精度向上には、計算結果の妥当性を検証する実験の実施が必要不可欠である。また分散剤処理後の油の粒径は重要なパラメータであるので、これに関する詳細な知見が必要である。これらは今後の課題としたい。

最後に、この論文は財団法人漁場油濁被害救済基金から依頼された調査に基づいてまとめたものであることを記す。

参考文献

- 1) 財団法人シップ・アンド・オーシャン財団：平成9年度外洋における油流出事故対策の調査研究報告書，http://www.sof.or.jp/jp/report/pdf/199803_rp9803.pdf，p.128, 1998.
- 2) 矢崎真澄，後藤真太郎，沢野伸浩，佐尾邦久，佐尾和子：分散剤使用における漁業者と行政のコンフリクトに

関する研究，社会技術研究論文集，Vol.4，pp.129-135，2006.

- 3) 1) の文献，p.66.
- 4) 羽田野袈裟義，天野卓三，松本治彦，埜口英昭，平野宗夫：水面上の油層の1次元的な広がりについて，土木学会論文集，No.593/II-43，pp.117-124，1998.
- 5) 羽田野袈裟義，田村宜史，杉岡伸一，朝位孝二：静止水面上に瞬間流出した油の広がりについて，土木学会論文集，No.663/II-53，pp.101-108，2000.
- 6) 埜口英昭，平野宗夫：静水面上に連続流出する油層の広がりに関する研究，土木学会論文集，No.393/II-9，pp.113-120，1988.
- 7) 後藤智明：津波による油の広がりに関する数値計算，土木学会論文集，No.357/II-3，pp.217-223，1985.
- 8) 渡辺正孝，天野邦彦，石川裕二，田村正行，村上正吾，木幡邦男：東京湾におけるタンカー事故による原油流出解析，海岸工学論文集，第45巻，pp.926-930，1998.
- 9) 灘岡和夫，吉野忠和，二瓶泰雄：高度化した沿岸流動数値計算法を用いた原油流出シミュレーション，海岸工学論文集，第46巻，pp.461-465，1999.
- 10) 堀口文男，中田喜三郎，小島 隆，金巻精一，杉岡伸一：ペルシャ湾におけるオイルスピルの運命について，公害，Vol.26，4，pp.39-62，1991.
- 11) Shinichi Sugioka, Takahashi Kojima, Kisaburo Nakata and Fumio Horiguchi : A Numerical Simulation of Oil Spill in the Seto-Inland Sea, La mer, 32, pp.295-306, 1994.
- 12) 荒川貴信，水藤 寛：流出油の浸透シミュレーション，第19回数値流体力学シンポジウム，B6-2，2005.
- 13) D.Macay and A.Watson: Behavior and effectiveness of dispersants at sea and at shorelines, 1979 Oil Spill Conference, pp.447-452, 1979.
- 14) D.Mackey, S.patespn. P.D.Boehm and P.L.Fiest:Physical - chemical weathering of Petroleum hydrocarbons from the Ixtoc I blowout-Chemica measurements and a weathering model, 1981 Oil Spill Conference, pp.453-460, 1981.
- 15) Ichiro Morita, Shinichi Sugioka and Takashi Kojima: Real-time forecasting model of oil spill spreading, 1997 Oil Spill Conference, pp.559-566, 1997.
- 16) Strom-Kristiansen, T., P.S.Daling, and P.J.Brandvik: Dispersant underwater release experiments. Surface oil sampling and analysis. Data report., IKU report, N25, pp.55-58, 1995.
- 17) 財団法人漁場油濁被害救済基金：油処理剤散布後の油の挙動に関する調査報告書，pp.12-17, 2007.
- 18) 日本全国沿岸海洋誌，東海大学出版，pp.1029-1036, 1985.
- 19) 独立行政法港湾空港技術研究所，海洋情報研究室，全国港湾海洋波浪観測年報（ナウファス波浪データ），2004.
- 20) 気象庁，気象統計情報1971～2000年データ.

(2008.9.30受付)