

東京湾“ダイヤモンド・グレース”号流出油状態変化の把握と 水域への影響調査

鶴谷 広一*・細川 恭史**・日比野忠史***

1. はじめに

平成9年7月2日10時5分に発生したダイヤモンド・グレース号(積載原油量; 257,000 トン)の中ノ瀬付近(北緯35度21分, 東経139度43分)における座礁事故に伴ない, 約1,550 klの原油が流出した。流出油は7月3日早朝に大黒埠頭, 本牧埠頭, 扇島護岸, 東扇島防波堤の全域に漂着した。流出油のほとんどが4日21時30分頃までに回収されており, 東京港, 千葉港, 木更津港, 横須賀港では流出油の漂着は確認されなかった。

石油汚染に対するベントスへの影響については様々な研究がなされているが, 例えば, 菊池(1986)は油の生物影響等に関して①ムラサキイガイ等の潮感帯に生息するベントスは石油汚染に強く, 新鮮原油との接触によってもムラサキイガイの死亡率が0であること, ②イソギンチャク類, ゴカイ類は極端に強く, 溶存酸素不足にも強いこと, ③ウニやヒトデといった棘皮動物は油濁に対し感受性が大きいこと, ④成体では石油汚染に対する抵抗力が高い動物でも浮遊幼生期にははるかに感受性が高いこと, また, 原油の毒性に対しても①揮発性成分を失った原油残渣は毒性が低いこと, ②油分がエマルジョンとなって水中に懸濁することや乳化懸濁することは幼生への取り込みを容易にする点で問題であること等を明らかにしている。

本論文では原油流出事故発生時から運輸省第二港湾局と共に行った気象状況等からの油の移流・拡散予測, 漂着状況の調査, 油の生物への影響調査の計画～実施～調査・分析結果について記述している。

2. 流出事故前後の海象と調査計画

2.1 流出事故前後の海象

図-1に事故発生前後(7月2～4日)の横浜港での潮位図, 表-1に7月2日の東京湾第二海堡における有義波, 最高波, 風向・風速, 表-2には気象庁による東京湾第二海堡における有義波, 風向・風速の予測値を示した。

潮位は事故発生約2時間前から16:00までは上げ傾向で, その後, 20～30 cmの下げ～上げとなる。3日早朝には大きく下げることがわかる。7月2日12:00現在, 約9 m/sで南西方向の風が吹いている。気象庁は夕方以降風速が9 m/s程度に上がると予測している(表-2)。また, 天気図から日本列島南海上に発達した高気圧は数日間大きく移動しないことが予測でき, 風系は少なくとも7月3日は7月2日12:00現在と大きく変化しないものと推定できる。

2.2 7月3日の環境調査計画

7月2日16:00現在, 流出油は当初想定したシナリオに近い状態で北西～南東方向に約11 km, 北東方向に約7 km拡散している(図-2, 流出油の拡散状況は民間調査会社による航空写真モザイク図をもとに作成した)。約16,000 klの油回収に相当の時間が費やされると想定した場合(7月3日に流出原油は1,550 klと修正報告がなされた), 数日中には干潟・海浜への漂着の可能性が大きいと考えられる。このため, 油漂着の干潟・海浜等への環境・生態系に対する影響を明らかにすることを目的として漂着前の干潟・海浜における現状調査を行う。7月3日は調査地点を図-2に示す油漂着以前の盤洲干潟, 通称三番瀬, 幕張人工海浜とした。

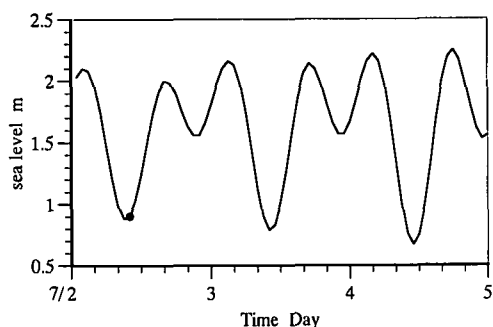
2.3 7月4日以降の調査計画

7月3日15:30現在, 流出油は写真-1に示すような状況で横浜港～扇島～浮島に漂着した。写真から東扇島防波堤～浮島にかけて流出油の漂着量が多いことがわかる。盤洲干潟へは1.5 km程度まで迫っていた。7月4日以降の調査は護岸への流出油の漂着状況を確認し, 護岸に付着した生物に対する油および油処理剤の影響について明確にするため, 写真-1に示す地点においてサンプルを収集することを目的として行われた。油の漂着状況は7月4日, 油分の含有量調査は事故後約1週間経過した7月8日, 海底観察は直後から約1ヶ月後までの7月4日, 8日, 31日に行われた。表-3にサンプリングした項目, 場所, 時間を示した。

* 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 海洋環境部 部長

** 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所 海洋環境部環境評価研究室 室長

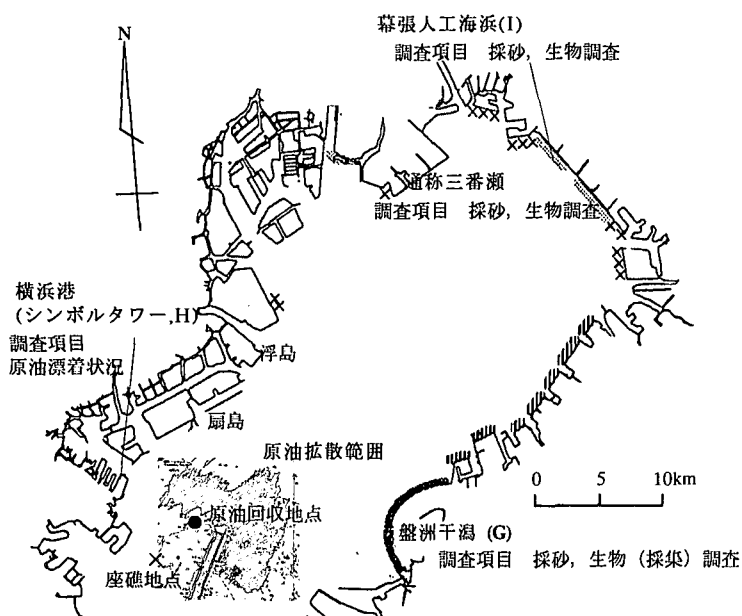
*** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 海洋環境部 主任研究官



図一 7月2～4日の潮位変化 (横浜港)
(●は事故発生時点を表す)

表一 東京湾第二海堡における7月2日の有義波、最高波、風向・風速 (COMEINS ((財) 沿岸開発研究センター) より入手)

2日	有義波		最高波		風	
時間	波高 (m)	周期 (s)	波高 (m)	周期 (s)	風向	風速 (m/s)
0時	0.27	3.3	0.62	2.9	南南西	6
2時	0.27	3.6	0.45	3.3	南	4
4時	0.25	3.5	0.49	3.8	南南西	7.6
6時	0.33	3.8	0.52	3	南	5.4
8時	0.46	3.8	0.68	3.9	南西	8.3
10時	0.59	3.3	0.98	2.7	南南西	9.2
12時	0.46	3.1	0.76	2.9	南西	9.2



図二 7月2日16:00現在の原油拡散状況と7月3日の調査地点および調査項目
(●は流出直後に油を回収した地点)

表二 第二海堡における有義波、風向・風速の気象庁による7月2日の予測値 (COMINS)

2日	有義波		波	
時間	波高 (m)	周期 (s)	風向	風速 (m/s)
3時	0.15	4.4	南西	3
9時	0.3	3	南西	9
15時	0.35	3	南西	6
21時	0.4	3	南西	9

含油水エマルジョン形式化と時間経過とともに様々な形状に変化している。流出油の拡散予測や生態系への影響を検討するためには流出油がどのような形状で拡散し、生物に吸収されていくかを解明することが必要である。

ここでは、原油流出後に、時間の経過や油処理剤の混合によって原油の性状がどのように変化していくかについて検討する。図-3は流出油に含まれる n -パラフィン類の濃度 (mg/l) を示したものである。(a) には流出直後の回収油、(b) には清龍丸 (第五港湾建設局) による回収油の分析結果が示されている。横軸の数値は抽出した n -パラフィン類の炭素数を表している。図 (a) 中の実線は図 (b) に示した清龍丸による回収油の分布を示しており、処理剤の影響を受けにくい (乳化しにくい) 炭素数 26-28 にフィッティングした。図から清龍丸による回収油は炭素数 9~24 のパラフィン系炭化水素量が小さくなっているが、これらのパラフィン系炭化水素が時間の経過 (約1日) とともに揮発 ($n=9\sim12$)・乳化 ($n=12\sim24$) したためと考えられる。

3. 調査結果

3.1 海中での生物と油の状況

7月4日、8日、31日に行った水中ビデオ撮影結果から海底付近の変化の状況 (油の影響) を目視で確認することはできなかったが、クラゲを除いて大型生物への外観上の影響は認められなかった。

3.2 油の性状変化と海中での挙動

原油が流出すると親水性成分は一部水中に溶けだし、沸点の低い成分は時間とともに揮発するため、流出油の化学成分や比重も時間経過につれて変化する。したがって、流出油は水面上の薄い油膜形式化、凝集による廃油ボール化、自然あるいは人為的な攪拌による含水油化、



写真-1 調査地および調査項目（浮島，扇島：白濁した部分が油の密度の濃い範囲），7月3日（14：15-15：33）撮影）



(a) 浮島（A地点）



(b) 扇島（E地点）

写真-2 漂着した油の状況（7月4日）

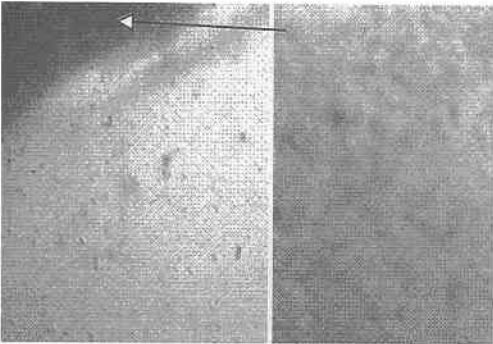
なお、油処理剤の主成分である精製パラフィンの炭素数は10～13である。

表-4には3地点で回収された浮遊油の特性を示している。流出直後の回収油は第二蒼海（第二港湾建設局）船上から海水を含んで回収された浮遊油、清龍丸（第五港湾建設局）による回収油は回収後、回収油水槽の上層に浮いていた浮遊油（7月3日に回収された220klの一部）、浮島漂着油は写真-2(a)に示されているものである。浮島漂着油は、流出直後に回収された浮遊油の比重(0.957 g/cm^3 ；海水を含んだものを分析したため流出油

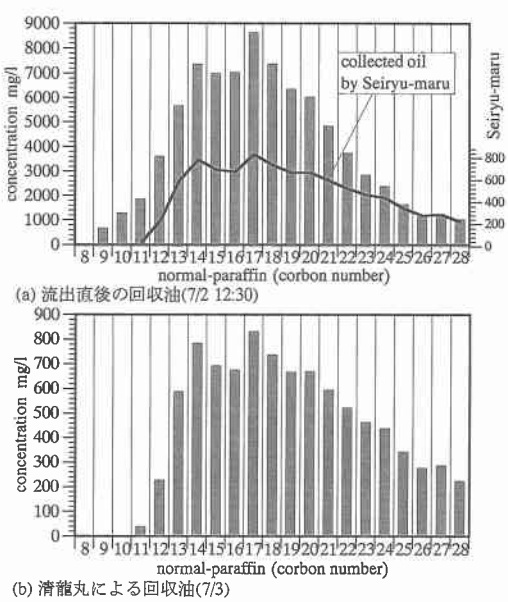
のみの密度よりも大きい)よりも大きな値(0.98 g/cm^3)を示しており、時間の経過(約1.5日)にともない海水を含み性状が変化(含水油化)していると考えられる。粘性値(動粘度)をみると流出直後の粘性(423.9 cSt)が高く、海水との接触によって硬化する傾向にあることがわかる。写真-3は扇島(写真-1のE地点)において海中から浮遊油を撮影したものである。海上からみると写真-2(b)に示すような状態で浮遊している(油の状態としては清龍丸によって回収された油に近い(含水水エマルジョン))。流出油の状態は時間の経過とともに油処理

表一3 採水・採泥、イガイのかき取り、原油採取地点と時期（表中に示す地点は図一2と写真一1に示す地点である）

項 目	採 集 地 点	採集日
海 水	浮島 (B 地点)	7/8
	東扇島 (D 地点)	7/8
	扇島 (F 地点)	7/8
砂・底泥	盤洲干潟 (G 地点)	7/3, 7/23
	幕張人工海浜 (H 地点)	7/3
	扇島 (E, F 地点)	7/8
イガイ	浮島 (B 地点)	7/8
	扇島 (E, F 地点)	7/8
	久里浜 (油の影響のない地点)	7/28
流出油	流出直後 (横浜港沖；図一2)	7/2
	清龍丸 (回収層上層)	7/3
	浮島漂着油 (A 地点)	7/3



(a) 海中での油の状態 (7/4) (b) (a) の黒い部分
写真一3 浮遊油の状態 (扇島 E 地点, 海中から撮影)



図一3 回収油に含まれた n-パラフィン (n-ヘキサン抽出法)

表一4 回収した浮遊油 (図一3, 表一3) の特性

分析項目		単位	試 料 名		
			流出直後	清龍丸	浮島漂着油
比 重	回収分	g/cm³	0.957	1.021	0.98
	n-ヘキサン抽出物質	g/cm³	0.880	0.945	—
発火点	回収分	℃	242	500 以上	—
	n-ヘキサン抽出物質	℃	241	272	—
粘 性 (30℃)	回収分	cSt	423.9	0.86	—
	n-ヘキサン抽出物質	cSt	20.6	39.3	—

剤と海水を含み、流出直後からはその性状を大きく変えている。浮遊油直下では、波によって浮遊油本体から粒径の細かい含水油（油＋海水＋懸濁体）となって分離しているようである（写真一3(b)）。

3.3 底泥、護岸付着イガイに取り込まれた油分

図一4 は (a) 扇島 (写真一1 の E, F 地点) で採取された海底泥、および (b) 浮島と扇島 (写真一1 の B と F 地点) でかき取ったイガイから抽出された n-パラフィン類の濃度 (μg/g) を示したものである。海底泥は乾燥重量、イガイは湿潤重量に対する油分重量で示されている。図一5 は図一3(a) に示した油分分布を図一4の結果にフィッティングしたものである。

図一4 から海底泥は、n=12~14 に濃度のピークがあり、n=19 以降にも大きな濃度で分布していることがわかる。図一4(a) と (b) を比較するとパラフィン系炭化水素濃度の分布の形状は底泥とイガイで類似しているこ

とがわかる。図一3(a) に示した流出油の濃度分布の形状と比較すると両者の形状が異なることから底泥およびイガイに含まれていた油分はこの海域の特性が強く現れていると考えることができる。本分析で底泥およびイガイに含まれていた油分の起源として①生物によるもの (n=17, 15 のパラフィン系炭化水素)、②油流出以前から含有されていた油分、③今回の油流出によって含有された油分の3つが考えられる。ここでは、底泥およびイガイを回収するまでの数日間では流出した油の成分が変化せず、漂着油 (写真一2 に示された状態の油) がそのまま底泥やイガイに取り込まれたと仮定した場合の流出油の底泥およびイガイへの取り込まれ量の最大値を検討する。これらの仮定に基づけば、図一5 から流出油の底泥およびイガイへの取り込まれ量の最大値は底泥、イガイとも1/2~1/3 程度になることがわかる。すなわち、今回の油

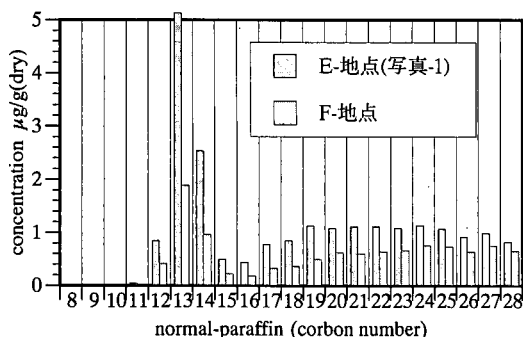
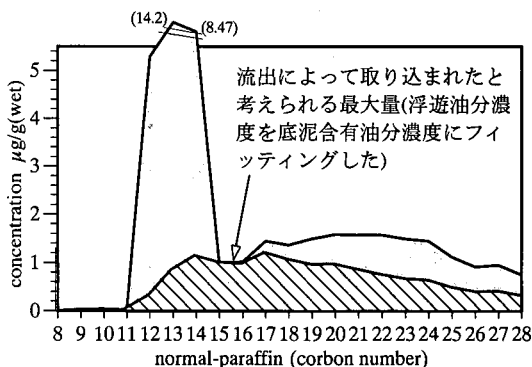
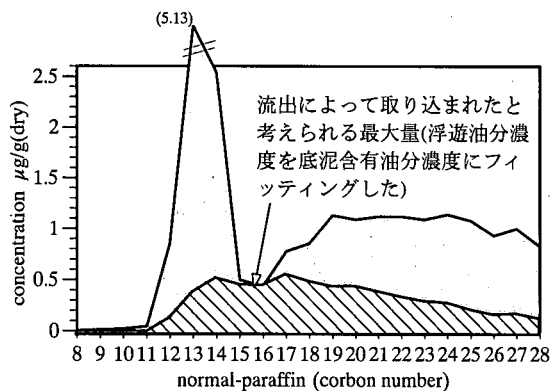
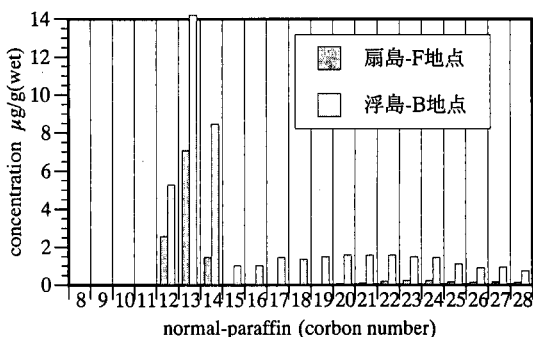
図-4 回収物質に含まれた *n*-パラフィン (*n*-ヘキサン抽出法)

図-5 油流出によって底泥とイガイに取り込まれたと考えられる油分の最大量

(イガイを回収するまでの数日間では流出した油の成分が変化せず、漂着油がそのまま底泥やイガイに取り込まれたと考えた場合が、今回の油流出によって底泥、イガイに取り込まれた油分の最大値として考えることができる。)

流出によって底泥やイガイに吸収された油分量は、本分析によって抽出された油分の0～約50%の範囲内であると考えられる。なお、流出油がそのまま底泥やイガイに取り込まれたと仮定したのは無機物の底泥とイガイに含まれていた *n*-パラフィン類濃度の分布形状が類似していることによる。

4. おわりに

原油流出後に、7月3日、4日、8日、23日、31日の5回の調査を行い、油の生物影響について考察を行った。以下にこれらの結果をまとめる。

(1) 今回の原油流出では人工護岸への漂着にとどまり、かつ、回収が比較的迅速に行われた結果、海浜等の海域環境への短期的な被害は避けられたと考えられる。

(2) 7月4日、8日、31日に行った水中ビデオ撮影結果から海底付近の変化の状況(油の影響)を目視で確認することはできなかったが、クラゲを除いて大型生物への外観上の影響は認められなかった。

(3) 流出油は時間の経過とともにその性状を変化させる。流出後、炭素数の少ないパラフィン系炭化水素($n=9\sim 24$)を揮発・乳化しながら海水を含有し、密度を増大していく。さらに、油処理剤の散布や攪拌により粘性、密度とも海水のもつ値に近くなる。

(4) イガイおよび底泥への蓄積量についての分析結果から流出した油と底泥やイガイに含有された油分の分布形状特性から、流出油の底泥、イガイに取り込まれた量は多くとも現含有量の1/2～1/3程度であると考えられる。

参考文献

- 菊池泰二(1976): 水産学シリーズ 16 石油汚染と水産生物, 日本水産学会編, 恒星社厚生閣, pp. 93-107.
- 鶴谷広一, 細川恭史, 日比野忠史, 三好英一 (1997): 東京湾“ダイヤモンド・グレース号”流出油の浮遊・漂着状況の把握と水域への影響調査, 港湾技研資料, No. 882.
- Kathryn A. Burns (1995): Continuing Evidence for the Importance of Including Hydrocarbon Oxidation Products in Oil Spill Assessment Studies, Marine Pollution Monitoring.