

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 882 Dec. 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

鶴谷 広 一
細川 恭 史
日比野 忠 史
三好 好 英

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. はじめに	4
2. 油流出直後（7月2日12：00時点）の想定シナリオ	4
2-1 流出事故前後の海象	4
2-2 予想される海象条件とこれに伴う流況	5
3-3 移流・拡散予測	5
2-4 必要とされる調査項目	6
3. 7月2日17：00時点の環境調査計画と調査結果	6
3-1 油の漂着予想と調査方針	6
3-2 調査項目	6
3-3 調査結果	7
4. 7月3日17：00時点の環境調査計画と調査結果	7
4-1 油の漂着状況と調査目的	7
4-2 観測項目と各々の観測目的	8
4-3 調査結果	12
5. 東京湾の水質への影響	12
6. 油の性状変化と海中での挙動	16
7. 生態系への影響（採水・採泥およびイガイのかき取り調査）	17
7-1 分析内容	17
7-2 分析結果	17
8. おわりに	20
謝 辞	20
参考文献	20

The "Diamond Grace" Oil Spill : Behavior of Spilled Oil and Environmental - Ecological Monitoring

Hiroichi TSURUYA ¹⁾
Yasushi HOSOKAWA ²⁾
Tadashi HIBINO ³⁾
Eiichi MIYOSHI ⁴⁾

Abstract

The "Diamond Grace" accident at 10:05 July 2 in September 1997 resulted in the oil release of about 1,550kl in the Tokyo Bay. By 21:30 July 4, withdrawal and treatment works of spilled oil were almost finished. This paper describes the process from the survey planning based on the prediction of oil spreading to the survey (observation and sampling of spilled oil, bottom materials, sea water and benthos) and analysis of estuary pollution by spilled oil. The survey was carried out as follows ; ① observation of spilled oil and its effect on the benthos, ② sampling of sea water, bottom materials, *Mytilus eduli* and spilled oil, ③ oil analysis of these samples. It is revealed from the present study that ① from the observation in the sea with video camera one month later from the oil spill, i) no influence of oil on macro benthos was observed, ii) it is impossible to find out the traces of spilled oil such as slush balls, ② the spilled oil varies its characteristics such as density and viscosity as the time going, ③ as the oil is dispersed after mixing detergent, the density of each oil particle increases and begins to settle down, ④ based on the n-paraffin distribution of spilled oil, bottom materials, and *Mytilus eduli*, the spilled oil assimilated in bottom materials and *Mytilus eduli* are estimated at most 1/2 of their original oil already included oil in them.

Key Words : "Diamond Grace" Oil Spill, Characteristics of Spilled Oil, Oil included in *Mytilus edulis* and bottom materials

1) Chief of Environmental Assessment Laboratory, Marine Environment Division

2) Chief of Purification Hydraulics Laboratory, Marine Environment Division

3) Senior Researcher, Marine Environment Division

4) Member of Purification Hydraulics Laboratory, Marine Environment Division

Address : 3-1-1, nagase yokosuka 239

TEL : (0468)44-5018 FAX : (0468)44-6243

e-mail : hibino@cc.phri.go.jp

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

鶴谷 広一¹⁾

細川 恭史²⁾

日比野 忠史³⁾

三好 英一⁴⁾

要旨

平成9年7月2日10時5分に発生したダイヤモンド・グレース号の座礁事故により、約1,550klの原油が流出した。油の回収は7月4日21時30分頃までにそのほとんどが終了した。流出油は油回収船や人力による汲み取りによる回収と油処理剤による処理(約170klの散布)によって行われた。本資料では原油流出事故発生時から想定したシナリオに基づいて、油の生物への影響調査の計画～実施～結果について経時的に記述している。具体的には、油の漂着状況を把握し、護岸・港湾構造物へ付着している生物の状況を継続的に観察するとともに、漂着前後の採泥、油漂着後の付着生物のかき取り、採水等の採取サンプルに対する油分析を行った。これらの調査・分析の結果、①海中での目視による観察では、i)大型生物への外観上の影響は認められなかった、ii)廃油ボール等、油の海中での状態を目視で確認することはできなかったこと、②流出油は時間の経過とともにその性状を変化させ、海水の粘性や密度に近づいていくこと、③流出した油と底泥やイガイに含有された油分(n-パラフィン類)分布の形状特性から、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こと、④観測地点の油分量を比較すると、油漂着量の多かった浮島で油分が海水中に多く含まれており、水深方向には下層での油分量が多いこと等の知見を得た。

キーワード：ダイヤモンド・グレース号、油流出事故、流出油の状態変化特性、イガイ・底泥への含有油分

-
- | | |
|----------|------------|
| 1) 海洋環境部 | 環境評価研究室長 |
| 2) 海洋環境部 | 海水浄化研究室長 |
| 3) 海洋環境部 | 主任研究官 |
| 4) 海洋環境部 | 海水浄化研究室研究員 |

所在地：〒239 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1 TEL：(0468)44-5018 FAX：(0468)44-6243

e-mail：tsuruya@cc.phri.go.jp

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1,550klの原油が流出した。事故当時の気象は, 快晴, 南南西の風約5m/s, 波高は約0.5mであった。流出当初は, 江戸川区等において流出した原油の揮発成分による異臭被害(21名の軽傷者)が発生した。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。事故当初から, 約170klの油処理剤が散布されている。流出油に対する使用基準量は原油の10~20%であるが, この値は, 閉じた系での実験から求められた使用基準であって, 流出場所, 油の状態によって散布量は変化し, 今回のように海域に油が流出した場合には, さらに多量の処理剤が必要となる。処理剤の使用基準のみを考えた場合, 今回の事故で散布された油処理剤は原油850~1700klが流出した場合に散布する量に相当する。

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¹⁾²⁾が, 例えば, 菊池³⁾は油の生物影響等に関して①ムラサキ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。

本資料では原油流出事故発生時から海洋環境部において行った気象状況等からの油の移流・拡散シナリオの想定, 油の生物への影響調査の計画~実施~調査・分析結果について経時的に記述している。具体的には, 油の移流・拡散予測, これに基づく調査計画の作成, 油の漂着状況の把握, 護岸・港湾構造物への生物の付着状況の水中ビデオによる油流出後, 2日, 1週間, 1ヶ月の定点観察, 漂着前後の採泥, 油漂着後の付着生物のかき取り, 採水等の実施, 採取サンプルに対する油分析結果と解析結果について述べている。さらに, 東京湾における運輸省第二港湾建設局による数年にわたる水質観測結果から流出事故の水質に与えた影響についても検討している。

2. 流出直後(7月2日12:00時点)の想定シナリオ

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2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2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, 20~30cm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9m/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9m/s程

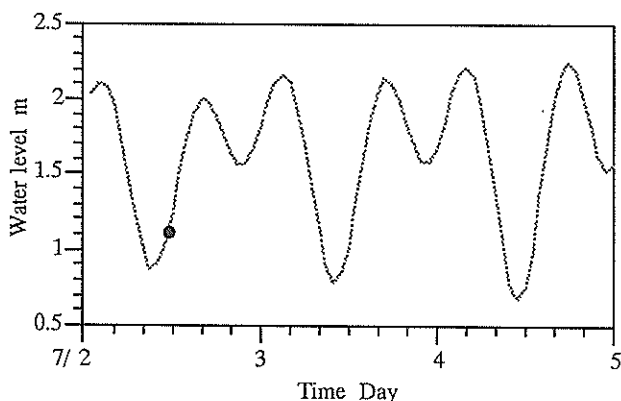


図-1 7月2~4日の潮位変化(横浜港)
(●は事故発生時点を表す)

表-1 東京湾第2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 時間	有義波		最高波		風	
	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

表-2 第2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((COMEINS)より入手)

2日 時間	有義波		風	
	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

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、このことから風系は少なくとも7月3日は7月2日 12:00現在と変化しないものと推定できる。

2-2 予想される海象条件とこれに伴う流況

海象およびこれに伴う流れは事故当時の天気図、アメダスデータおよび潮位図から以下のように想定された。

- (1) 風が南～南西風で引き続き吹く
 9m/s (風速) $\times 3\% = 30\text{cm/s}$ 程度の吹送流を想定
- (2) 潮汐は7月2日 16:00までは上げ(潮差 $1.1\text{m}/6$ 時間)の状態が続く。
 $10\sim 20\text{cm/s}$ の北東流を想定
- (3) 波は、やや荒れているが、沖合では比較的低い。
 $H_{1/3} \sim 0.6\text{m}$ $T_{1/3} \sim 3\text{s}$, 波向～南南西, $H_{\text{max}} \sim 1\text{m}$ 位
 $T_{\text{max}} \sim 3\text{s}$ を想定

2-3 移流・拡散予測

本予測は当初の情報であった原油流出量約 $16,000\text{kl}$ 、事故地点、事故対処状況、海象情報、ナホトカ号原油流出事故に対する情報等から潮位変化を基準として以下の3期間に分けた流出油の移流・拡散予測を行った。

- (1) 7月2日 16:00までの予測
 風で北東方向にまず流れ、大きくは潮流でゆっくり北東へ移流する。

潮流 10cm/s として仮定すると1時間で約 400m 移流すると考えられる。12時から16時までの4時間で $1\sim 2\text{km}$ 移流する。風に伴う吹送流が 30cm/s として仮定すると1時間で約 1.2km 移流すると考えられる。12時から16時までの4時間では $5\sim 6\text{km}$ 移流する。これらを合成して $6\sim 9\text{km}$ 北東方向に移流すると予測できる。

結論として7月2日 16:00までに 10km 範囲で北～北東に分布すると予測できる。

- (2) 7月3日 03:00までの予測

7月3日 03:00まで $0.2\sim 0.3\text{m}$ の下げ～上げがある。この間、同様の風が吹き続けば16:00からの12時間でさらに 15km (座礁地点から 25km)北～北東へ分布する可能性がある。

- (3) 7月3日 03:00以降の予測

その後、潮差 1m 以上の下げ潮となる。風がなければ横浜港沖を南下する。ただし、湾奥の盤洲干潟～川崎以北での時計廻り循環流にトラップされた油はかなり長期に亙り滞留する可能性があり、湾岸へ漂着する可能性がある。

一つの想定として、湾奥部の時計廻りの環流によって千葉から袖ヶ浦方面へ移動する可能性がある。一部は中ノ瀬廻りの環流によって木更津から富津沿岸へ漂着する可能性がある。この場合には、海浜、干潟に与える影響は甚大になるものと予想される。

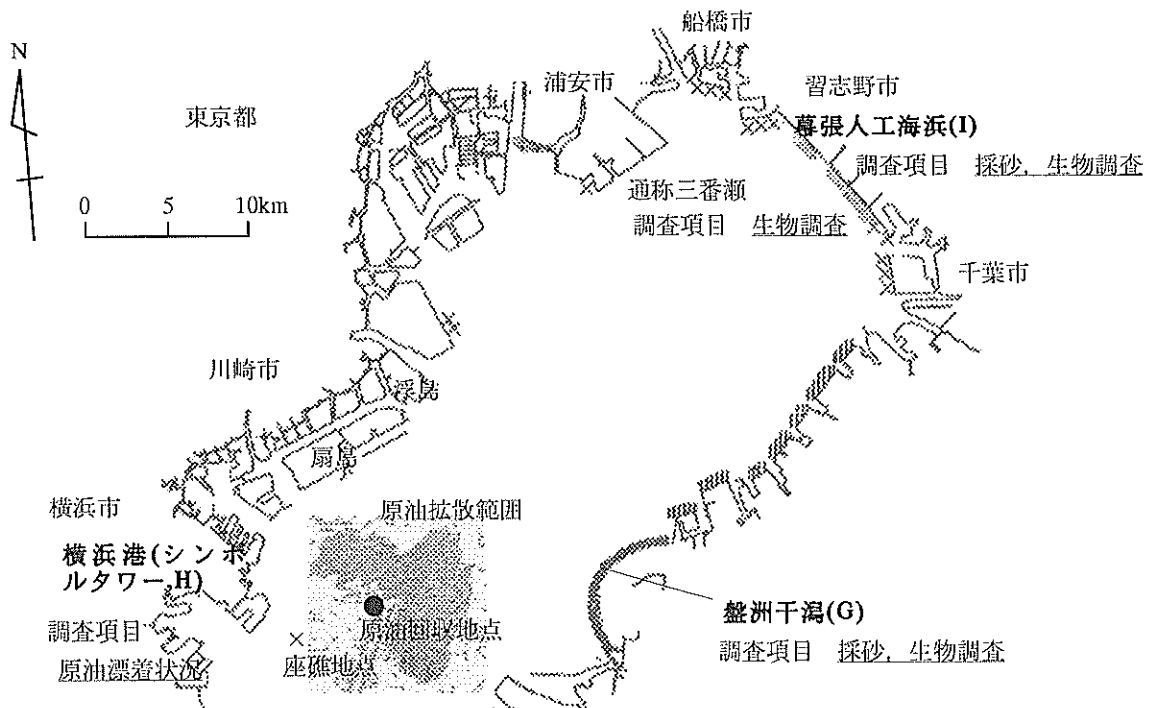


図-2 7月2日 16:00現在の原油拡散状況と7月3日の調査地点および調査項目

2-4 必要とされる調査項目

今回の流出事故に対して、7月2日時点で調査対象について以下の事項を考慮することが必要であると判断した。

(1) 油の移流・拡散状況

i) 外力:風, 潮汐, 波, 地形, ii) 拡散の方向, 領域

(2) 油の沈降, 揮発

i) 臭気の分布, ii) 沈降油量, 海底泥の含有油

(3) 油の水質影響

i) DO/ 表面曝気の制限, ii) COD, N, P, iii) 臭気, iv) 海底泥の変化

(4) 油の生物影響

生物に対する影響は、漂着前後の干潟・海浜の変化、および護岸・橋脚・港湾構造物への油付着状況を把握する(目視や砂・海水・生物等のサンプリング)ことを行なう。

a) 調査対象とする地域

i) 盤洲干潟, ii) 通称三番瀬, iii) 千葉, 船橋～幕張人工海浜, iv) 東京湾奥に位置するマリーナ施設

b) 調査項目

i) 藻場/(ノリヒビ), シオグサ, アオサ等の状態

ii) 動物/ゴカイ, イガイ, ヒトデ, 魚類等の状態, 油, 油処理剤の含有量

iii) 水質, 底泥/油の含有量

3. 7月2日 17:00時点の環境調査計画と調査結果

3-1 油の漂着予想と調査方針

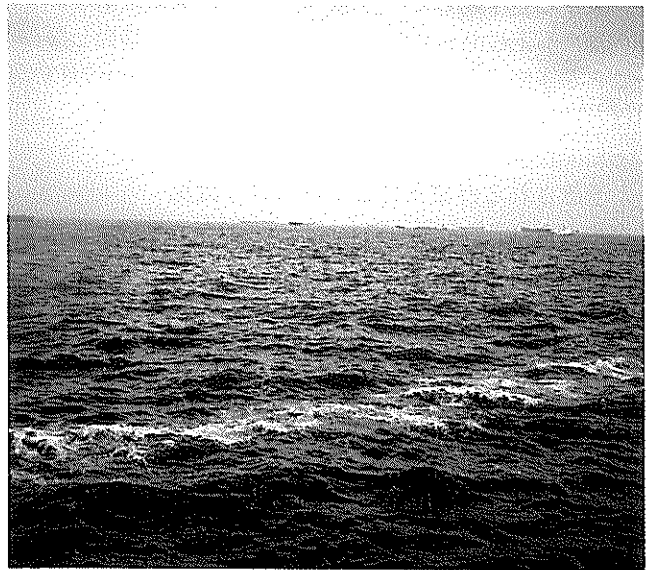
7月2日 16:00現在、流出油は当初想定したシナリオに近い状態で北西～南東方向に約11km, 北東方向に約7km 拡散している(図-2, 流出油の拡散状況は民間調査会社による航空写真モザイク図をもとに作成した)。約16,000klの油回収に相当の時間が費やされると想定した場合(7月3日に流出原油は1,550klと修正報告がなされた), 数日中には干潟・海浜への漂着の可能性が大きいと考えられる。このため、油漂着の干潟・海浜等への環境・生態系に対する影響を明らかにすることを目的として漂着前の干潟・海浜における現状調査を行う。7月3日は調査地点を図-2に示す油漂着以前の盤洲干潟, 通称三番瀬, 幕張人工海浜とし、上記2-4(4)項目を重視して調査を実施することとした。

3-2 調査項目

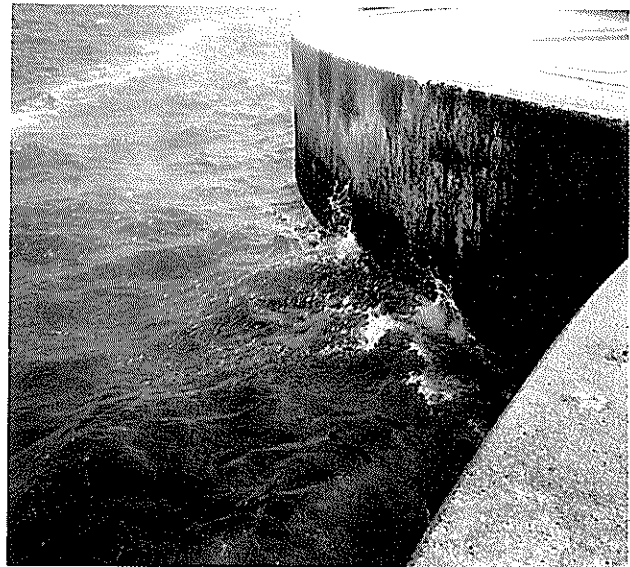
油臭や油の漂着状況を確認するとともに、以下の項目に対する調査を行った。

(1) 採砂調査

油漂着以前の砂を盤洲干潟, 幕張人工海浜において採



(a) 帯状に分布した処理剤散布後の原油



(b) 護岸と漂着油との関係(護岸にはイガいの付着が確認される。)

写真-1 油の漂着状況(横浜港シンボルタワー, 図-2のH地点, 7月3日 15:00)

集した。

(2) 生物調査

盤洲干潟, 通称三番瀬, 幕張人工海浜, 横浜港においてイガイ, アオサ等の付着生物を中心として生物の構造物への付着状況, 付着範囲の調査を行った。

(3) 流出油漂着状況

7月3日の調査時点における流出油の漂着状況(臭気等を含む)および生物への付着状況を各調査地点において確認した。

3-3 調査結果

盤洲干潟，通称三番瀬，幕張人工海浜における採砂，生物調査を行った。これらの地域においては現地到着(08:30)以降臭気は確認されなかった。流出油は7月3日早朝から横浜港，川崎港に漂着したため，横浜港における流出油漂着状況についても調査を行った。写真-1には7月3日15:00時点での横浜港における流出油の漂着状況が示されている。7月3日午後には写真-2(a)に示すように扇島～浮島にかけて流出油が漂着した(写真は14:15-15:33の状況)。横浜港調査時点(7月3日 15:00)では埠頭に油膜が漂着していたが，臭気は確認されなかった。写真-1は油処理剤の散布がなされた数時間後に撮影したもので，白濁物が帯状に浮遊しているのがわかる。護岸にはイガイが付着しているが，目視による油膜のイガイに対する影響は確認できなかった。なお，盤洲干潟，幕張人工海浜に

おける採泥調査および生物調査については7月4日以降の調査結果とともに検討する。

4. 7月3日 17:00時点の環境調査計画と調査結果

4-1 油の漂着状況と調査目的

7月3日 15:30現在，流出油は写真-2(a)と2(b)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1.5km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のサンプルを収集することを目的として行われた。

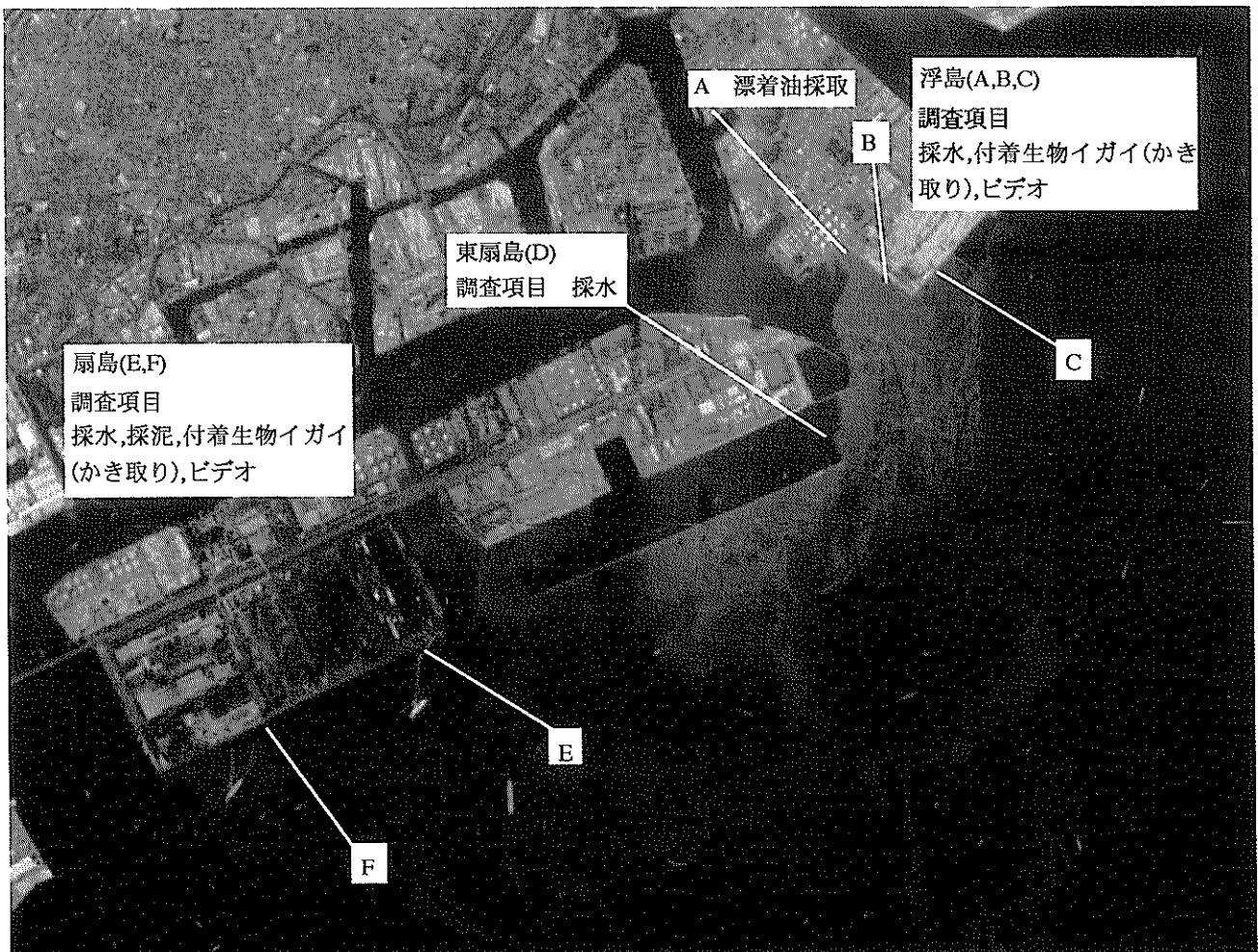


写真-2(a) 調査地点および調査項目(浮島，扇島)

(写真-2(a),(b)は民間調査会社によるデジタルモザイクによる原油拡散状況(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)

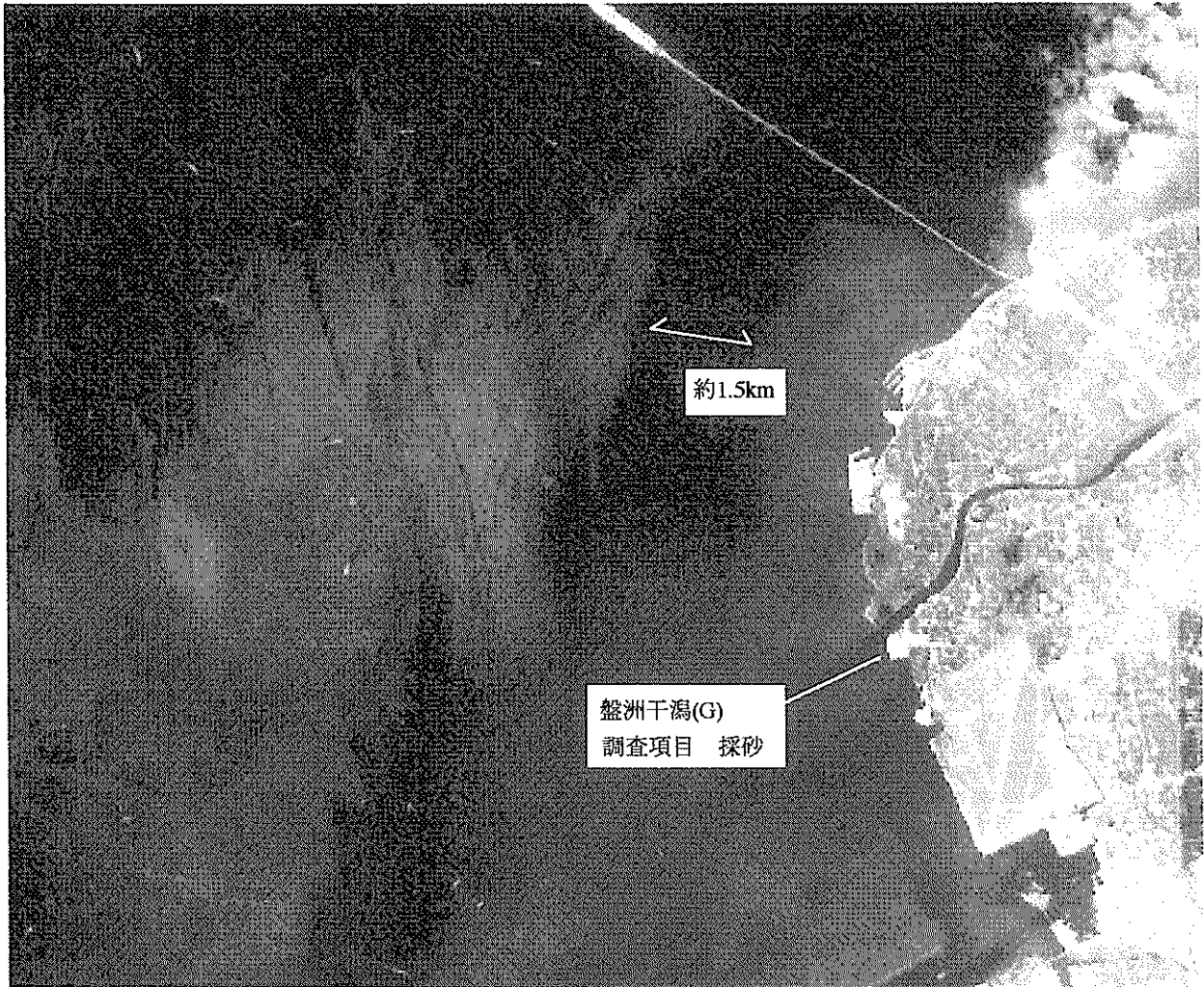


写真-2(b) 調査地点図（盤洲干潟，写真左が油，写真右側の海域内に白く写っている範囲が干潟である。）

4-2 観測項目と各々の観測目的

7月4日以降は写真-2(a)および2(b)に示す地点において以下に示す(1)～(6)の調査を行った。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。幕張人工海浜への油漂着は報告されていないため，ここでの漂着後の採砂は行わなかった。盤洲干潟に対しては油膜あるいは油処理剤等の漂着の懸念があるが，その量が微量である(蓄積に時間がかかる)と考えられるため，採砂は油流出20日後の7月23日に行われた。

(1) 油の護岸への漂着，油処理状況の確認(7月4日)

流出油がどのような状態で護岸に漂着するか，現地においてどのように漂着油の回収・処理が行われているかを確認する。

(2) 海面付近に生息するイガイの削り取り(7月8日)

採集時点での生物に対する油の影響度はどの程度であ

るかイガイに含まれる油分から推定する。

(3) 採水，採泥(7月8日)

表層水，底泥の油含有量を調査し，生物に対する影響度を推定する。

(4) 水中ビデオによる海底観測(7月4日，8日，31日)

海底における流出油の状態を確認し，油がどのような状態で海中に存在するかを確認する。

(5) 水中ビデオによる生物観測(7月4日，8日，31日)

海中における生物の生息状況を経時的に確認し，海中生物に対してどの程度の影響があるかを目視により確認する。

(6) 流出油，油処理剤の採取(7月4日)

現地での漂着原油および散布された処理剤を採取した。これらを用いて室内における流出油と油処理剤の攪拌実験を行い，油処理剤の散布後の海中における油の状態を把握する。



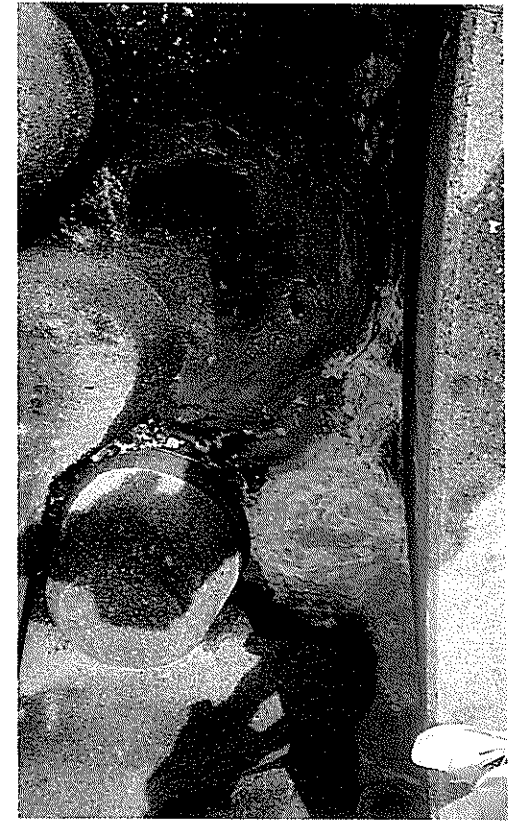
油の漂着状況(写真-2(a)のA地点)



消波ブロックへの油の漂着状況(写真-2(a)のB地点)

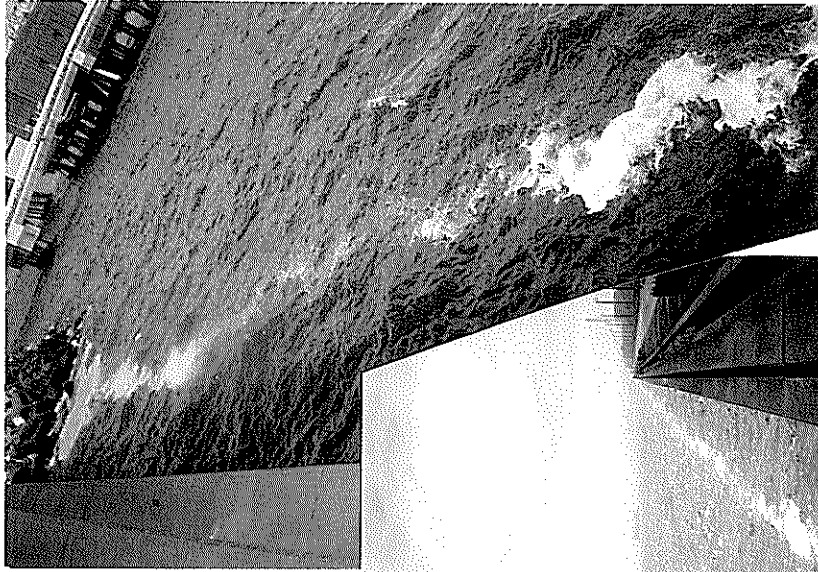


消波ブロックへの油の漂着状況(写真-2(a)のA地点)

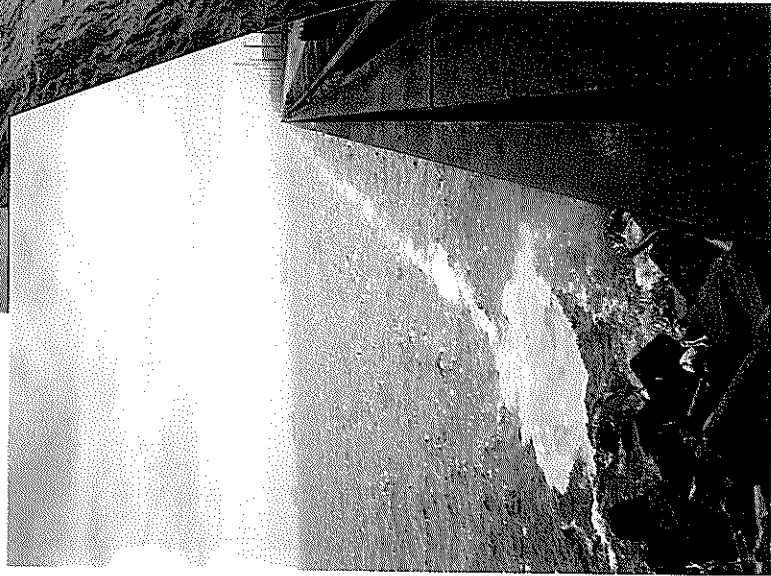


消波ブロックへの油の漂着状況(写真-2(a)のC地点)

写真-3 浮島での原油漂着状況(7月4日)



消波ブロック付近（鉛直護岸への漂着状況，写真-2(a)のE地点）

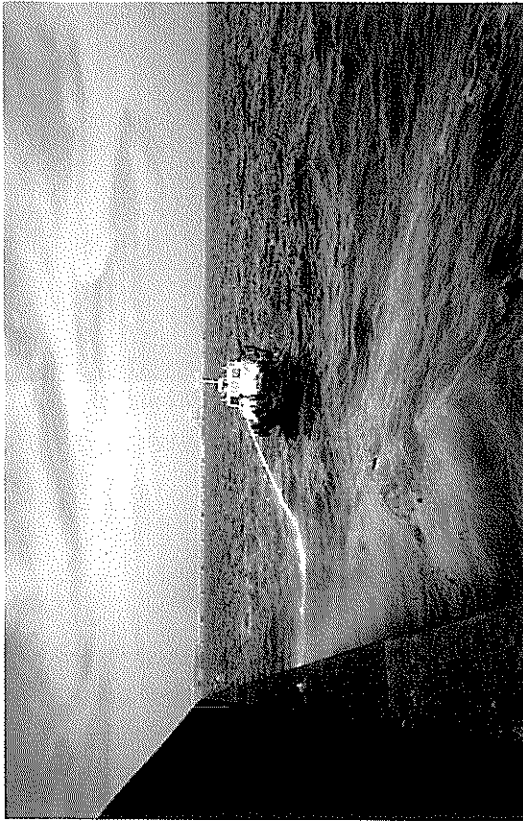


鉛直護岸への漂着状況(写真-2(a)のE～F地点)



鉛直護岸への油膜の漂着状況，写真-2(a)のE地点)

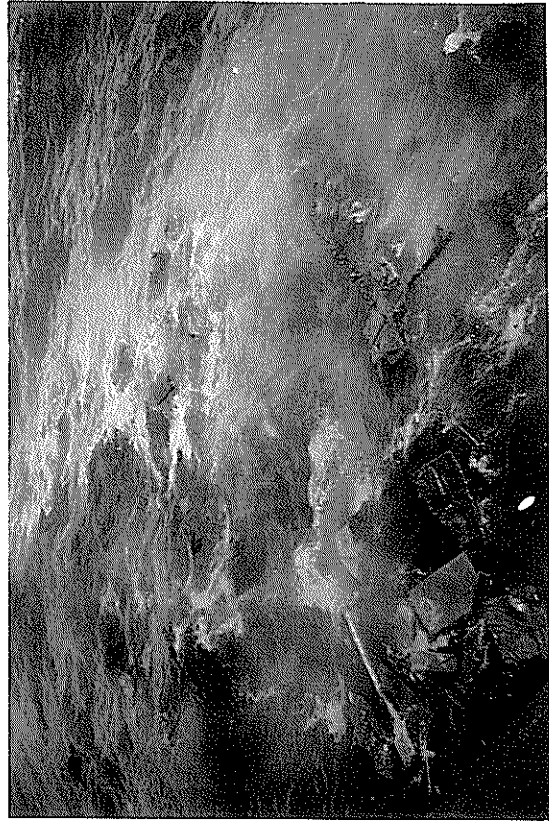
写真-4 扇島での原油漂着状況(7月4日)



処理剤散布状況（扇島，写真-2(a)のF地点）



処理剤散布状況（浮島，写真-2(a)のB地点）



処理剤散布直後の状況（扇島，写真-2(a)のF地点）



処理剤散布直後の状況（浮島，写真-2(a)のB地点）

写真-5 漂着油の処理状況(7月4日)

4-3 調査結果

(1) 油の護岸への漂着, 油処理状況

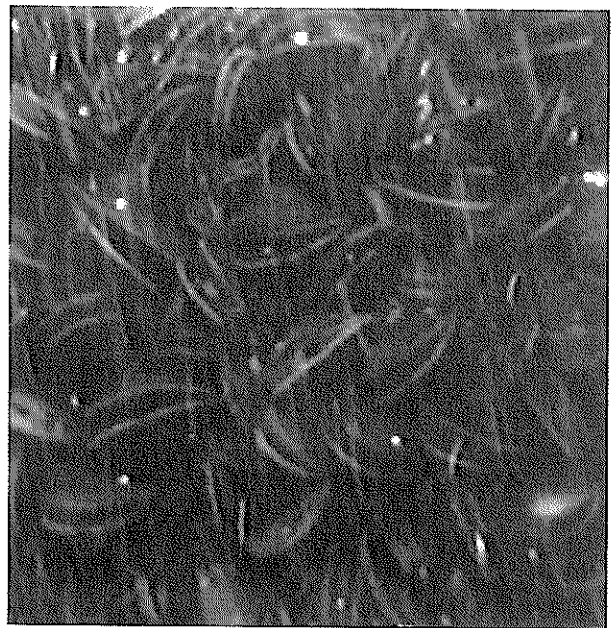
写真-3に浮島, 写真-4に扇島における7月4日 11:00~14:00頃の流出油の漂着状況, 写真-5に同時刻の油処理剤の散布状況と散布後の状況を示した。写真-2(a)のA地点(浮島)に数cm厚の流出油が漂着した(流出油はA地点で採取)。B地点に向かっては, 汲み取りによる油除去作業および油処理剤の散布が行われており, 写真-2(a)の油の拡散状況と写真-3を比較するとB~C地点に漂着した流出油がほぼ回収されていることがわかる。これは多量の油がA地点のような角部に溜まり, 作業が容易に進んだためと考えられる。ただし, 汲み取りによる消波ブロックの間に溜まった油の完全な回収は困難で写真-3のように消波ブロック間に油が溜まった状態にあった。これらに対しては油処理剤が散布されていた。油処理剤(スノーラップ, 日産化学工業)の散布は写真-5に示すように消防車を使用し, 原液を数10倍に薄められて行われていた。扇島への流出油の漂着量は浮島に比較して少量であるが, 護岸付近には油膜が漂着し, 消波ブロック間にも油が蓄積されている。ここ(写真-2(a)のF地点)での油処理剤の散布は船から行われており, 放水により分散が促進されていた。この近くには油吸着マット等が散在していたが, 油が鉛直護岸に漂着した場合には人力による回収や油吸着マット等による完全な回収は比較的困難であると感じられた。

(2) 付着生物の状況と海中での油の状況

写真-6に油漂着地点(扇島, 写真-2(a)のE地点)での水表面および海中に生息するイガイの状況を示した。写真に示すように油が直撃した空間においても"イガイ等の大型生物が死んだ"という状況は観測されなかった。写真-6(b)に示した水中でのビデオ画像から油らしき浮遊物は確認できるが, 油と確定することはできない。写真-7は数cm厚の流出油が漂着した浮島(写真-2(a)のB地点)と扇島(写真-2(a)のE地点)の海底の状況を示している。写真に示すように水中ビデオ撮影の期間中油濁にたいして感受性が高いとされるヒトデ, 魚類等の生存が確認されており, 大型生物への外観上の影響は認められなかった。写真-7は浮島((a)~(c))と扇島((d),(e))において7月8日に撮影されたものであるが, このビデオ写真から油の痕跡をみることはできない。写真(a)の中央に写っているのはヒトデであり, この周りにおいてもイガイやイソギンチャク等の生存を確認できた。水中ビデオによる海中の状況は7月4日, 8日, 31日に行ったが, ビデオから海底付近の変化の状況(油の影響)を目で確認することはできなかった。しかし, 7月8日の時点では海底に多数のクラゲの死骸があり, 表面を浮遊して生息するクラゲには浮遊油の直接的な影響があったものと考えられる。



(a) 消波ブロックに付着したイガイの状況

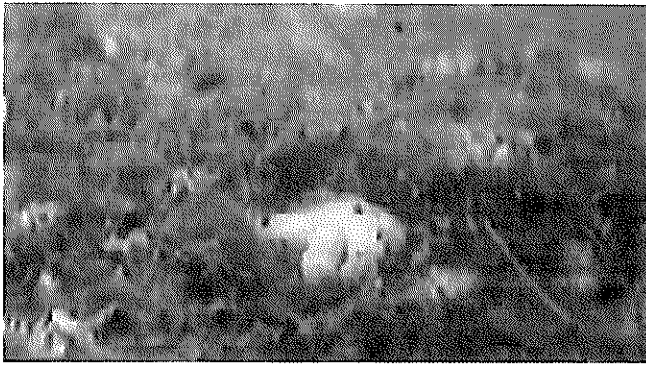


(b) 護岸に付着したイガイの状況(水深2m付近)

写真-6 油漂着地点(写真-2(a)のE地点)でのイガイの状況(7月4日)

5. 東京湾の水質への影響

図-3には東京湾内のNo.2~7の5地点で運輸省第二港湾建設局が観測した(a)CODと(b)溶存酸素量の経月変化が示されている。各々の図の上段には1995年と1996年の2年間に測定された2回の観測結果の平均値が月別に示されている。下段には1997年8月までの測定結果が示されている。なお, 図中にある上層は海面下0.5m, 下層は海底



(a) 浮島(写真-2(a)のB地点)での海底の状況(中央はヒトデ)



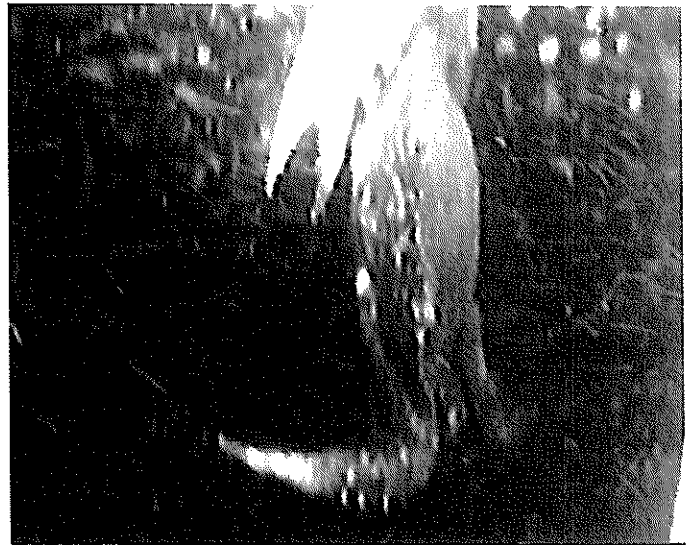
(b) 浮島(写真-2(a)のB地点)での海底の状況(右はメバル)



(c) 浮島(写真-2(a)のB地点)でのイガイの状況



(d) 扇島(写真-2(a)のE地点)での海底の状況(中央はスズキ)



(e) 扇島(写真-2(a)のE地点)でイガイを食べるガザミ

写真-7 原油漂着地点での海中の状況 (7月8日)

上1.0mの地点での観測値である。東京湾では、COD値は湾奥で高く、夏期には全域で高くなる傾向にある。また、溶存酸素量は夏に減少する傾向があり、下層でこの傾向が強いことがわかる。

油処理剤は精製パラフィンが主な成分(約80%)であるため、多量の散布があった場合にはCOD値は増大する。図-3(a)から1995, 1996年の平均値に比べ1997年の上層COD値は大きな値を示しているが、5月に急激に増大しており、処理剤散布の影響が出ているとは言えない。油

流出後(7月15日測定)の下層COD値は1995, 1996年と同様の傾向を示しており、処理剤散布のCODに対する影響は小さいと判断できる。

油流出前後の観測値と平年値とを比較すると油流出後に下層での溶存酸素量が数倍あることがわかる。これは7/11~13の梅雨前線の通過に伴った攪拌によるものと考えられ、これにより乳化された油も広い範囲に分散されたと考えられる。ちなみに、バクテリアによる油分解は以下のように行われる。

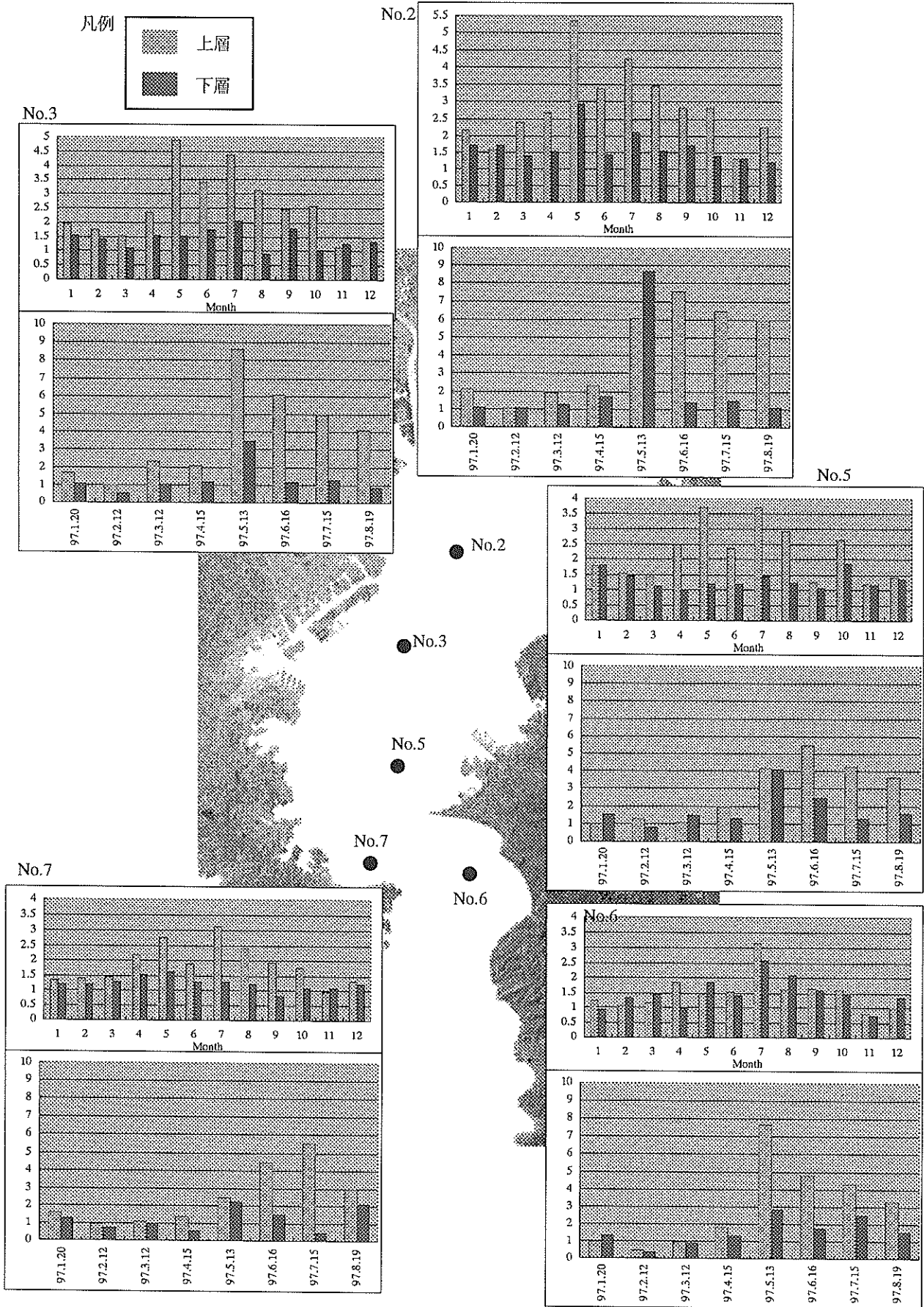
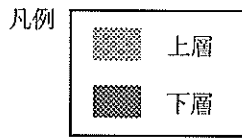


図-3(a) COD(ppm)の経月変化(上段は1995年と96年の平均値, 下段は97年の観測値)

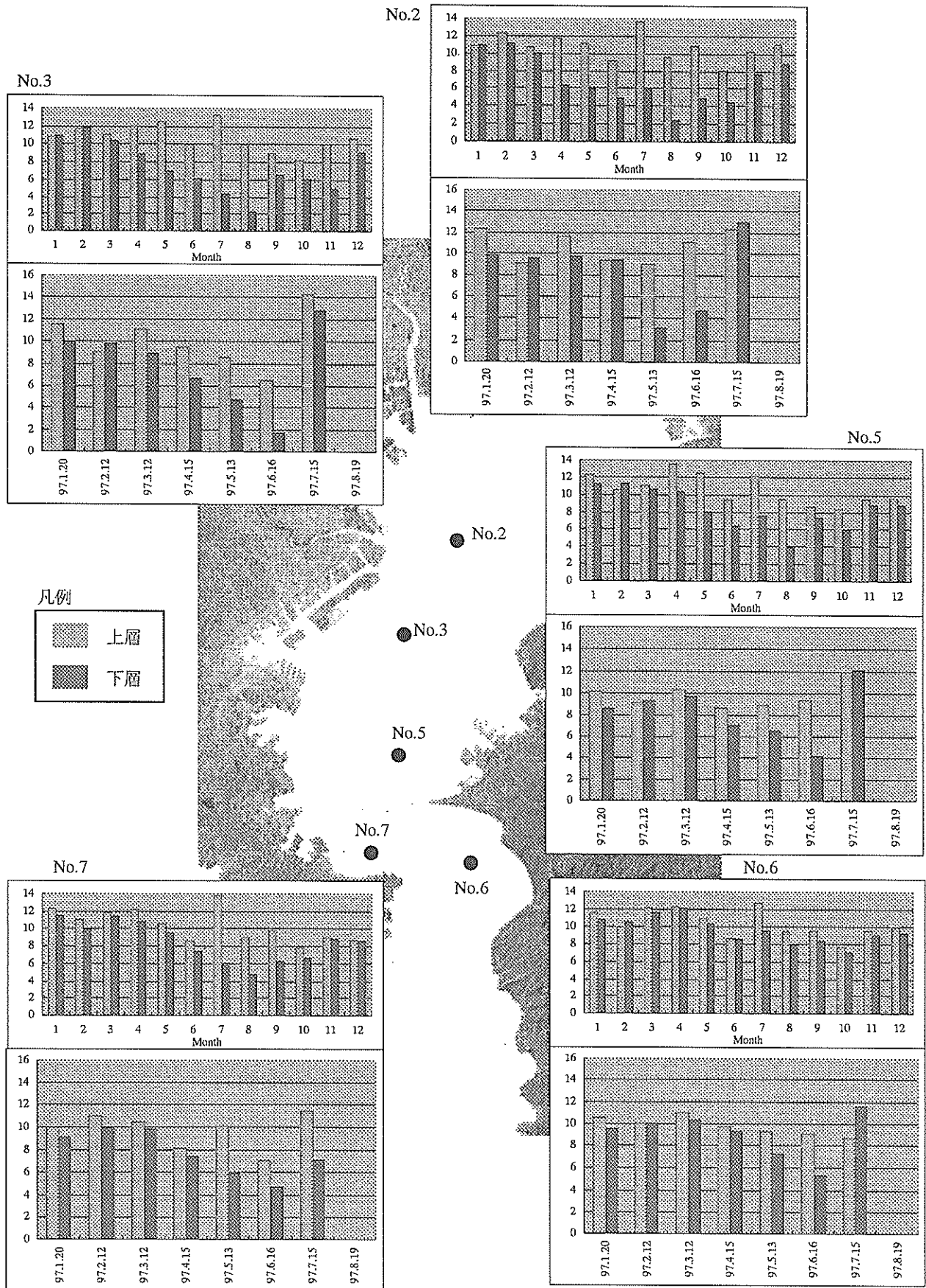


図-3(b) 溶存酸素(ppm)の経月変化(上段は1995年と96年の平均値, 下段は97年の観測値)

表-3 採水・採泥、イガイのかき取り、原油採取地点と時期
(表中に示す地点は写真-2(a)に示す地点である)

海水	浮島(B地点)	7/8
	東扇島(D地点)	7/8
	扇島(F地点)	7/8
底泥, 砂	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
浮遊油	流出直後(横浜港沖; 図2参照)	7/2 12:30
	清龍丸(回収後, 回収油水槽上層に浮いていた油)	7/3
	浮島漂着油(A地点)	7/3
油処理剤	スノーラップ(日産化学工業)	

油および油処理剤はメタン系炭化水素(C_nH_{2n+2})のnが大きい(分子量が大きい)パラフィン系炭化水素から成っており、酸化されると最終的には細菌によって二酸化炭素と水に分解される。したがって、油分解によって酸素は消費される方向に働き、溶存酸素量増加の原因とは考えにくい。

6. 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、含水油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¹⁾。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重要である。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。表-3には浮遊油等の回収された場所と時間を示しており、表-4には表-3に示した時間と場所の異なる

表-4 回収した浮遊油(表-3参照)の特性

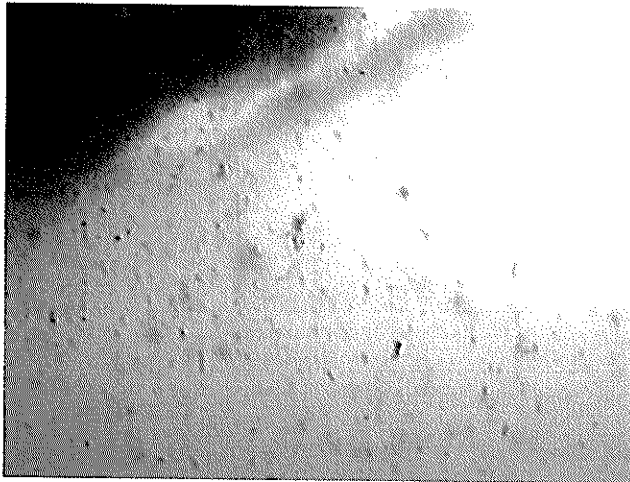
分析項目		単位	試料名		
			流出直後	清龍丸	浮島漂着油
比重	回収分	g/cm ³	0.957	1.021	0.98
	n-ヘキサン抽出物質	g/cm ³	0.880	0.945	-
発火点	回収分	°C	242	500以上	-
	n-ヘキサン抽出物質	°C	241	272	-
粘性 (30°C)	回収分	cSt	423.9	0.86	-
	n-ヘキサン抽出物質	cSt	20.6	39.3	-

* 各分析項目の上段は回収した浮遊油全部に対する測定値、下段はノルマルヘキサン(油分)抽出物質に対する測定結果を示している。

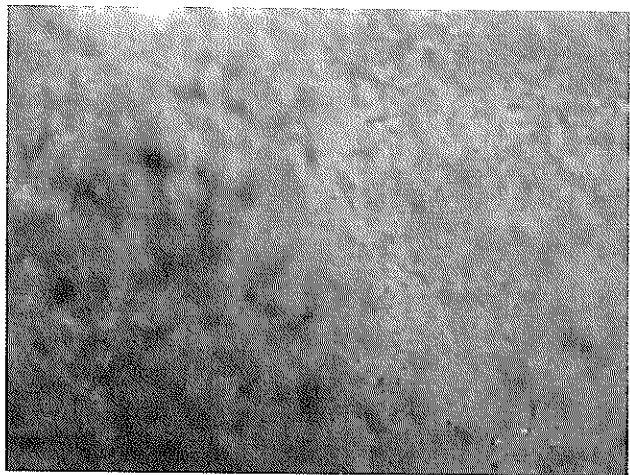
る3地点で回収された浮遊油の特性を示している。表-4に示した流出直後(7月2日12:30)に横浜港沖(図-2参照)で第二蒼海(第二港湾建設局)船上から海水を含んで回収された浮遊油、清龍丸による回収油は回収後、回収油水槽の上層に浮いていた浮遊油(7月3日に回収された220klの一部)、浮島(写真-2(a)のA地点)で7月3日に採取された漂着油は写真-3に示すように鉛直護岸に数cm厚で漂着した油の上澄みを回収したものである。

浮島漂着油は、流出直後に回収された浮遊油の比重(0.957g/cm³; 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(0.98g/cm³)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(423.9cSt)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-8は扇島(写真-2(a)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。海上から見ると写真-4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(含水油エマルジョン))。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-8(b))。

写真-9は浮島漂着油100mg/cm²に油処理剤(スノーラップ)1mg/cm²を混合攪拌した後の油の状況である。油の粒径は約0.1mm~0.数mmに分布しているのがわかる。浮島(写真-2(a)のA地点)で流出後約1.5日後に採取された漂着油の密度は0.98g/cm³、油処理剤の密度は約1.0g/cm³であること、さらに、エマルジョン化が進むことによって海水密度に近づくことから水分子と類似の挙動をすると考



(a) 海中での油の状態



(b) 写真(a)の左上の黒い部分の写真

写真-8 扇島(写真-2(a)のE地点)に漂着した油
(海中から撮影)

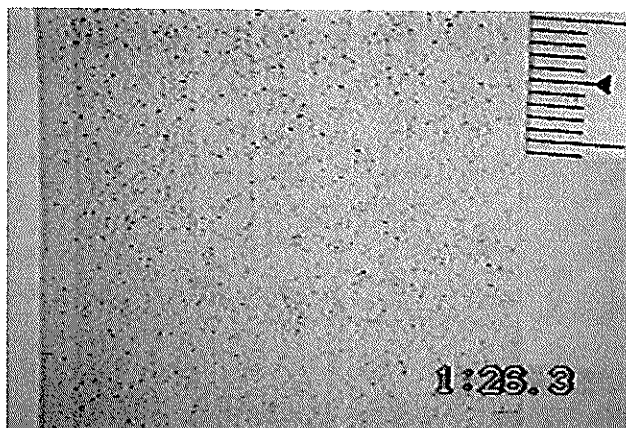


写真-9 採取油100mg/cm²に油処理剤(スノーラップ)
1mg/cm²を混合攪拌した後の油の状況(黒い粒
が油粒子)

えられる(処理剤は乳化成分を分散させる働きを持つ。さらに、処理中は強い攪拌を受ける)。したがって、処理剤が投入された後の油は波による運動の影響を受けると考えられる。干潟・海浜は今回の事故で直接的な漂着は受けなかったが、遠浅の海岸では分散された油が流れや波によって海岸線に蓄積されていくことも考えられる。さらに、浮遊物質等に付着し沈降することも考えられる。

7. 生態系への影響（採水・採泥およびイガイのかき取り調査）

オイルフェンスの展張や油回収船の動員および油処理剤の使用等により海域環境への短期的な被害は避けられたが、港湾構造物の護岸や干潟・海浜に生息している生物への油の影響については明らかではない。ここでは、本調査で採取したイガイや海水、底泥、干潟への油の蓄積量について数量的に検討する。採水・採泥およびイガイのかき取りは図-2、写真-2(a)および2(b)に示す地点で表-3に示す日に行われた。採水はバンドーン採水器による表層および底層の海水、採泥はエクマンバージ型採泥器によって底泥が採取された。

7-1 分析内容

分析は表-3に示した回収サンプルに対して下記のように実施された。分析方法は付表-1に示す通りである。

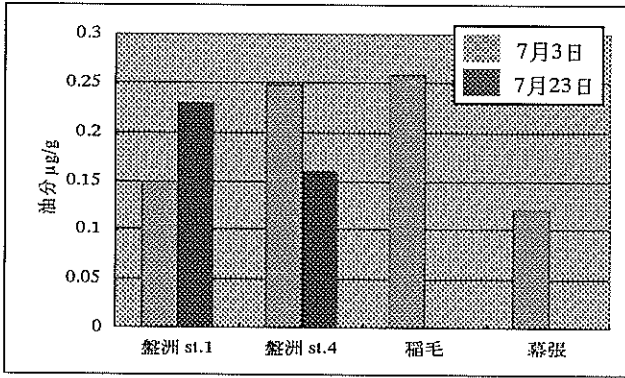
- (1) 油流出前後の干潟・海浜での油分(パラフィン系炭化水素)と界面活性剤濃度分析
- (2) 回収流出油の油成分と界面活性剤濃度分析
- (3) 油の漂着に伴う底泥、海水および護岸付着イガイの油分(パラフィン系炭化水素)と界面活性剤濃度分析
- (4) 蛍光法による海水の油分測定

7-2 分析結果

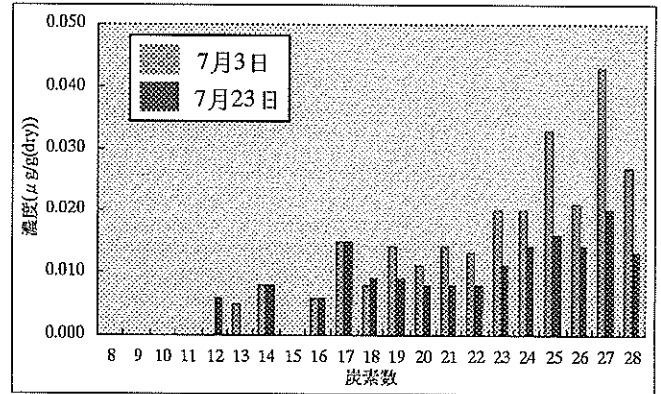
- (1) 油流出前後の干潟・海浜での油分量

図-4(a)には盤洲干潟において7月3日と23日に採取した砂と幕張人工海浜において採取された砂に含まれていた油分(パラフィン系炭化水素(n=8~28)の合計)量、(b)には7月3日と23日に盤洲(st.4)で採取された砂の炭素数別パラフィン系炭化水素濃度が示されている。(a)に示した結果からは流出事故前後の油分量に変化傾向がないことから盤洲干潟に油が漂着した事実は確認できない。また、油処理剤の存在を示す非イオン界面活性剤はどの地点においても検出されなかった(定量下限値未満)。

盤洲干潟の砂および稲毛・幕張人工海浜の砂には油流出以前から微量であるが、パラフィン系炭化水素が含まれており、図-4(b)から炭素数の大きいパラフィン系炭化水素濃度が大きくなっているのがわかる。これはnの大

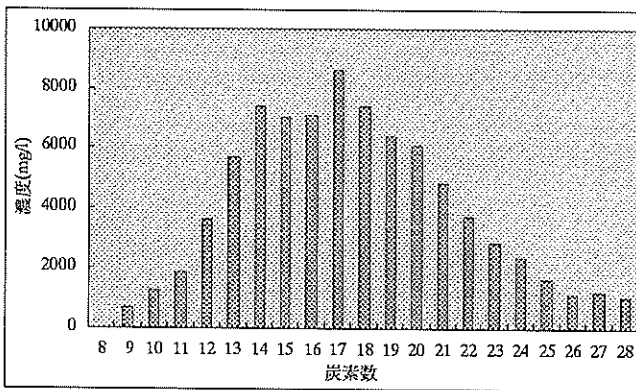


(a) 油流出前後の採砂内に含まれていた油分(n-パラフィン類濃度の積算値)の変化

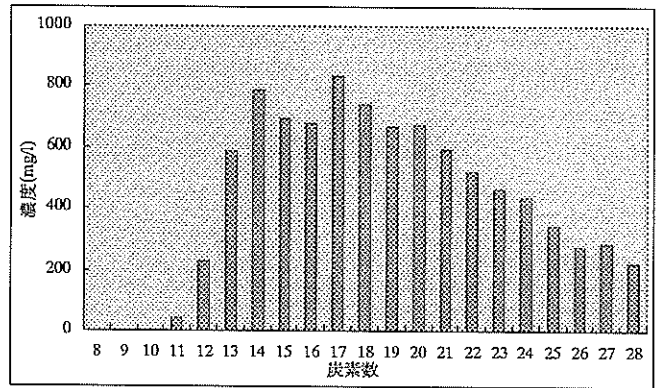


(b) n-ヘキサン抽出結果(盤洲 St.4)

図-4 油流出前後の採砂内に含まれていた油分分析結果



(a) 流出直後の回収油(7/2 12:30)



(b) 清龍丸による回収油(7/3)

図-5 n-ヘキサン抽出結果

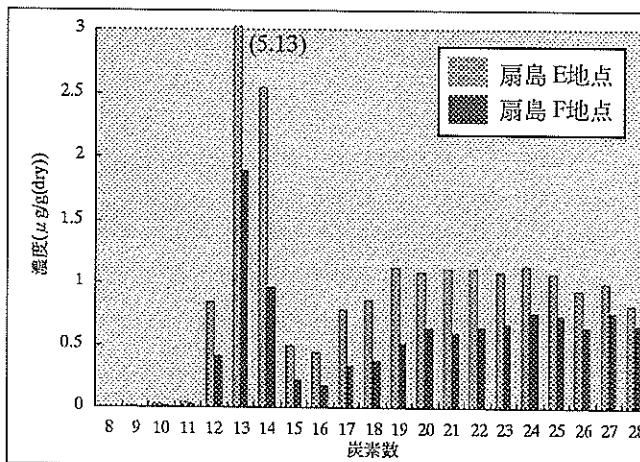


図-6 海底泥(7/8)の n-ヘキサン抽出結果

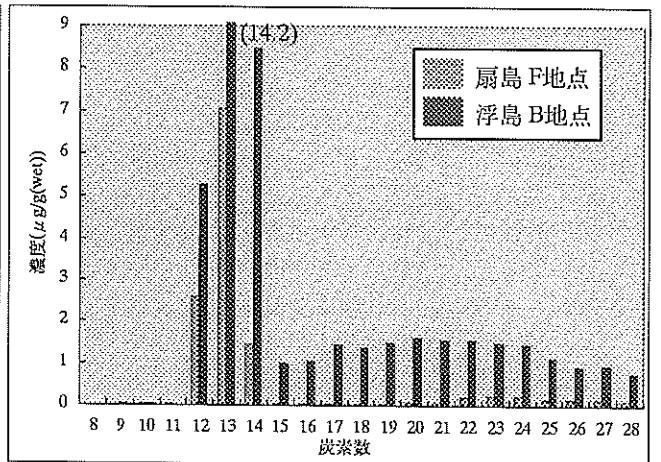


図-7 イガイ(7/8)の n-ヘキサン抽出結果

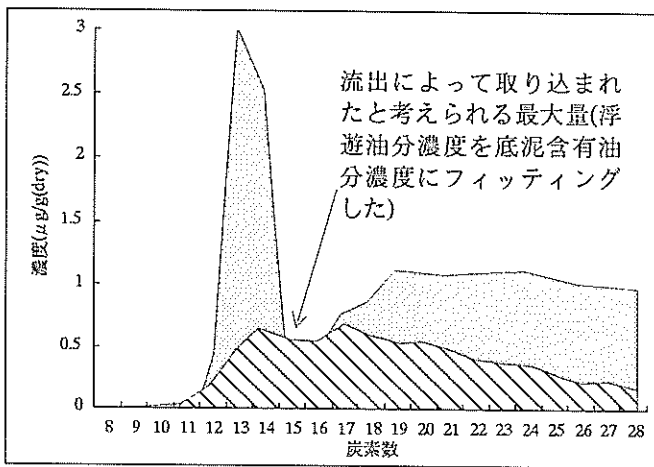
きなパラフィン系炭化水素は脂溶性が高く、懸濁物や生物に残存しやすいためである。

(2) 回収流出油の油成分と界面活性剤濃度

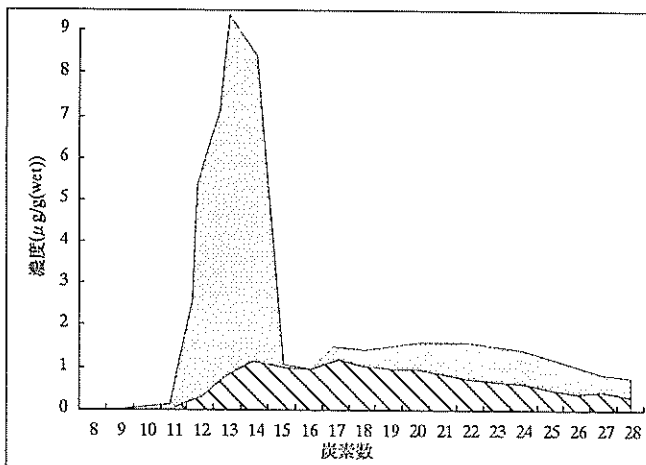
本分析は原油流出直後(7月2日 12:30)に横浜港沖(図-2中に●で印した地点)で第二蒼海(第二港湾建設局)によって回収された油、および油回収船清龍丸(第五港湾建設

局)によって回収された油(7月3日回収)について行われた。流出直後の浮遊油の比重は 0.957g/cm^3 、粘性(30°C)は 423.9cSt 、清龍丸によって回収された浮遊油の比重は 1.021g/cm^3 、粘性は 0.86cSt であった(表-4)。

図-5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



(a) 底泥



(b) イガイ

図-8 油流出によって底泥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(写真-3~5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考えた場合、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。)

龍丸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(付表-2参照)。両流出油とも炭素数17(n-ヘプタデカン)付近にピークを持った類似の形状をしている。清龍丸による回収油は炭素数9~11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)とともに揮発したためと考えられる。揮発性のパラフィン系炭化水素の指標としては流出40日程度経過するとn-ペンタデカン(炭素数15)付近のn-パラフィン類が揮発するとして考えることができる。

非イオン界面活性剤は流出直後に回収された浮遊油から0.17mg/l 検出されたが、清龍丸による回収油からは検

出されなかった。これは非イオン界面活性剤は油を乳化させた後は、本検出法(GC-MS法)では検出されにくいことも原因の一つとして考えられる。

(3) 油の漂着に伴う底泥、護岸付着イガイおよび海水に取り込まれた油分

図-6は扇島(写真-2(a)のE,F地点)で採取された海底泥、図-7は浮島(写真-2(a)のB地点)と扇島(写真-2(a)の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-8は図-5(b)に示した油分分布を図-6と7の結果にフィッティングしたものである。

図-6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-6と7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-5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(回収油の分布形状はB重油、底泥およびイガイに含まれていた油分の分布形状はC重油に類似の形状をしている)。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-3~5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-8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。

図-9に久里浜湾(東京湾外湾)で採取し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。久里浜湾に生息するイガイに含まれていた油分は浮島、扇島で回収されたイガイの1/100程度である。また、盤洲干潟の砂と同程度の濃度であり、油分の分布形状も類似している。なお、非イオン界面活性剤は採集したどのイガイからも検出されなかった(定量下限値未満)。

図-10に7月8日に採水された海水中に含まれる油分量(μg/l)を示した。海水の油分分析はn-ヘキサン抽出後、蛍

光光度法によって行われた。採水時、海面上には浮遊油、油膜は確認されていない。図から油流出後の比較的狭い調査範囲においても空間的な油の分布があり、油漂着量の多かった浮島で油分が多く含まれており、水深方向には下層での油分量が多いことがわかる。なお、油処理剤の存在を示す非イオン界面活性剤は採取されたもののイガイと海水においても検出されなかった(定量下限値未満)。

8. 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($n=9\sim 12$)を揮発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) 流出油漂着前後の底泥および付着生物(イガイ)の採取、流出油漂着後の採水を行い、生物の油吸収量、底泥への油沈降(蓄積)量について分析を行い以下の分析結果を得た。

a) 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。

b) 油流出後の比較的狭い調査範囲においても空間的な油の分布があり、油漂着量の多かった浮島で油分が多く含まれていた。また、水深方向には下層での油分量が多く検出されており、1週間程度の間油の下層への沈降が起こっている可能性がある。

謝辞

東京湾水質調査および油分分析は運輸省第二港湾建設局の支援を受けて行われた。本調査は小笹博昭海洋環境部長の指導のもとに行われたものであり、観測にあたっては、海洋環境部 古川恵太主任研究官、環境評価研究室 豊田政史研究官、西守男雄研究員、海水浄化研究室 桑江朝比呂研究官、木部英治研究員、江口菜穂子研究員、水理研究室 中川康之研究官の協力を得た。また、扇島観測

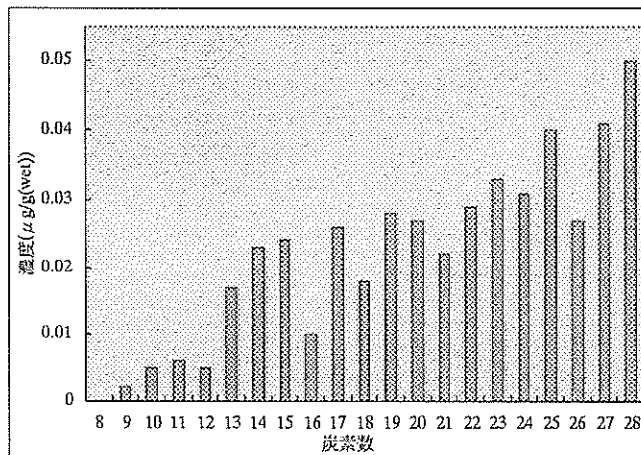


図-9 久里浜湾で採取したイガイに含まれていた油分

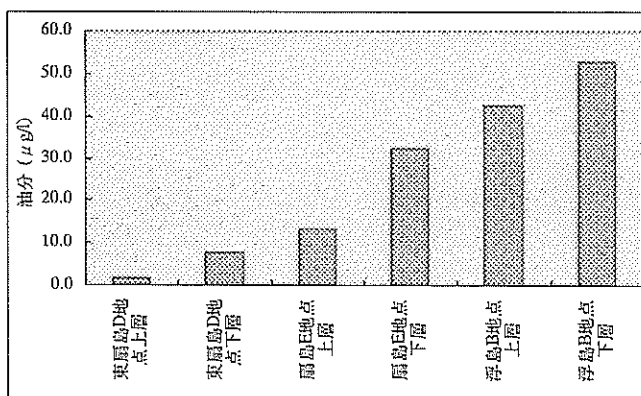


図-10 油流出後(7/8)の海水中に含まれていた油分量 (採水地点は写真-2(a)に対応する)

では(株)日本鋼管に配慮して頂いた。さらに、本資料をまとめるにあたり水産庁中央水産研究所 山田久環境保全部長の助言を頂いた。ここに、記して謝意を表する。

(1997年9月30日受付)

参考文献

- 1) 日本水産学会編：水産学シリーズ 16 石油汚染と水産生物，恒星社厚生閣，1976年，pp.93-107.
- 2) R. Elmgren, S. Hansson, U. Larsson, B. Sundelin and P. D. Boehm : The "Tsesis" Oil Spill: Acute and Long-Term Impact on the Benthos, Marine Biology 73, pp.51-65, 1983.
- 3) Kathryn A. Burns : Continuing Evidence for the Importance of Including Hydrocarbon Oxidation Products in Oil Spill Assessment Studies, Marine Pollution Monitoring, 1995.
- 4) 剣持堅志, 荻野泰夫, 松永和義, 森忠繁, 緒方正名: 油汚染時における化学成分のスクリーニング分析, 環境化学(Journal of Environmental Chemistry) Vol.7 No.3, pp.561-576, 1997.

付表-1 分析方法

分析対象	分析項目	分析方法
流出油	n-ヘキサン抽出物質量 油分	JIS K0102-1993 24 ・ n-ヘキサン抽出後、GC-MSによる測定 (測定対象物質 n-パラフィン類の炭素数8~28) ・ JIS K0102-1993 26(n-ヘキサン抽出後、赤外線吸光光度計による測定) ・ IGOSS法(n-ヘキサン抽出後、蛍光光度計(紫外))による測定
	比重	JIS K 2249
	発火点	ASTM E 659
	粘性	JIS K2283 (動粘度)
	分光吸光度	n-ヘキサン抽出後、蛍光光度計によるスペクトル測定(波長: 励起光310nm 蛍光250~500nm)
	非イオン界面活性剤	衛生試験法注解4.1.1.3 (43) 2)による前処理後、GC-MSによる測定
海水、底泥、砂	n-ヘキサン抽出物質量	n-ヘキサン抽出後、GC-MSによる測定
イガイ	非イオン界面活性剤	衛生試験法注解4.1.1.3 (43) 2)による前処理後、GC-MSによる測定
海水	分光吸光度	n-ヘキサン抽出後、蛍光光度計によるスペクトル測定(波長: 励起光310nm 蛍光250~500nm)

JIS : Japan Industrial Standard 日本工業規格

ASTM : American Society of Testing and Materials アメリカ材料試験協会

IGOSS : 総合世界海洋観測組織

GC-MS : Gas Chromatograph- Mass Spectrometer

付表-2 パラフィン系炭化水素の炭素数

化合物名	炭素数
n-オクタン	8
n-ノナン	9
n-デカン	10
n-ウンデカン	11
n-ドデカン	12
n-トリデカン	13
n-テトラデカン	14
n-ペンタデカン	15
n-ヘキサデカン	16
n-ヘプタデカン	17
n-オクタデカン	18
n-ノナデカン	19
n-エイコサン	20
n-ヘンエイコサン	21
n-ドコサン	22
n-トリコサン	23
n-テトラコサン	24
n-ペンタコサン	25
n-ヘキサコサン	26
n-ヘプタコサン	27
n-オクタコサン	28

港 湾 技 研 資 料 No.882

1997・12

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発 行 所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印 刷 所 (有)つばさ印刷技研

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1997) by P.H.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。