

東京湾におけるダイヤモンド・グレース号 原油流出事故時の環境調査*

二 宮 勝 幸¹⁾・前 田 裕 行²⁾・森 本 敏 昭³⁾・小 市 佳 延⁴⁾
武 田 裕⁵⁾・下 村 光一郎⁶⁾・坂 井 清⁷⁾・平 野 耕一郎⁸⁾
菅 原 継 好⁹⁾

キーワード

①原油 ②タンカー ③東京湾 ④海洋汚染 ⑤大気汚染

要 旨

1997年7月2日に東京湾本牧沖で発生したダイヤモンドグレース号原油流出事故による環境汚染の実態調査を横浜市沿岸域を中心に行った。水質については、*n*-パラフィンが事故現場に近い水域で4日まで少し残っていたものの、5日以降は流出油などによる影響はみられなくなった。大気については、3日から5日にかけて風向が流出油の漂流海域方面からの風に変化した時に芳香族炭化水素類の揮散ガスの影響を受ける場合があった。

1. はじめに

1997年7月2日午前10時20分ごろ、東京湾中の瀬（本牧沖約6km）において原油約26万tを満載したダイヤモンドグレース号が船底を浅瀬に接触させ、約1,550klの原油が流出した。その流出油の一部は横浜市および川崎市の埠頭に漂着したが、海上保安庁・地方自治体・漁業組合をはじめとする関係機関が精力的に原油の除去作業を進めた結果、環境汚染を最小限に止めることができた。

この原油流出事故時には流出油による環境汚染状況を把握するため、沿岸の自治体は環境調査を行った^{1,2)}が、当研究所および環境保全局水質地盤課・大気騒音課も横浜市沿岸域を中心に水質と大気環境調査を実施したので、その結果について報告する。

2. 調査方法

2.1 座礁位置および調査地点

座礁位置および調査地点を図1に示す。水質の調査地点は①大黒埠頭沖、②横浜港内、③本牧沖、④磯子沖、⑤富岡沖、⑥平潟湾沖の計6地点、大気の調査地点は南本牧埋立地(◆印)と中区本牧測定局(■印)の計2地点である。

2.2 調査期間

2.2.1 水 質

7月4日～6日および7月10日に横浜市沿岸6地点(図1)の上層海水を採取した。

なお、7月10日には、No.3とNo.5の2地点における下層海水も併せて採取した。

2.2.2 大 気

*Environmental Survey of Crude Oil Pollution Resulting from Accident by Diamond Grace in Tokyo Bay

1) Katsuyuki NINOMIYA, 2) Hiroyuki MAEDA, 3) Toshiaki MORIMOTO, 4) Yoshinobu KOICHI, 5) Yutaka TAKEDA, 6) Koichiro SIMOMURA, 7) Kiyoshi SAKAI, 8) Koichiro Hirano, 9) Tsuguyoshi SUGAWARA (横浜市環境科学研究所)

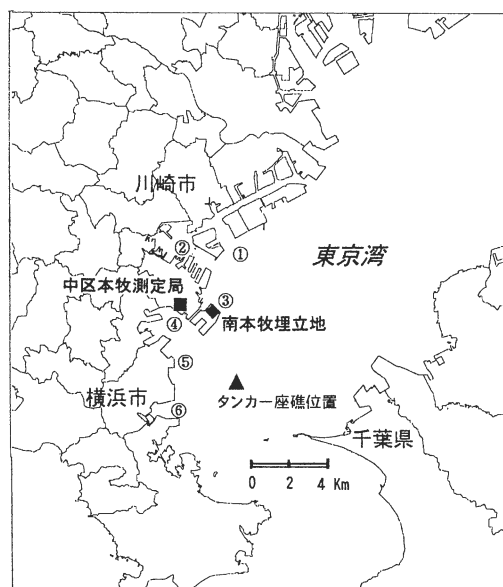


図1 座礁位置および調査地点 (番号付○は水質調査地点、◆と■は大気調査地点)

(1) 中区南本牧埋立

7月2日18時から7日6時(22検体)

(2) 中区本牧測定局

7月2日21時から7日9時(24検体)

2.3 測定方法

2.3.1 水質

採取した海水検体について、基本項目のCOD、ノルマルヘキサン抽出物質、四塩化炭素抽出物質、非イオン界面活性剤、および芳香族炭化水素類のベンゼン、トルエンおよびキシレンをJIS法等に従い分析した。

一方、石油類による水質汚濁事故は日常的に比較的多く発生しており、それらの事故対応のため地方自治体の研究機関は石油類に含まれる特徴的な成分についてGCやGC/MSなどを用いて評価を行っている³⁻⁹⁾。今回の調査においても、石油による汚染指標として有用な*n*-パラフィン(以降、炭素数が*m*個のノルマルパラフィンをC*m*とする。)等を調べるため、海水検体をヘキサンで抽出してから、乾固しないように注意しながら窒素パージにより濃縮した後、その溶液の一定量をGC/MSで測定した。

[*n*-パラフィン測定のGC/MS条件]

GC装置：HP5890

カラム：DB5, 30m×0.25mmI.D., 膜厚0.25μm
温度プログラム：90℃(2min)－7℃/min－290℃(15min)

キャリアーガス：He 2 ml/min

MS装置：VG AutoSpec

イオン化エネルギー：70eV

イオン化電流：200μA

2.3.2 大気

環境大気の採取は、活性炭チューブに大気を一定時間(2～3時間)、通気総量2lで炭化水素成分を吸着捕集する方法で連続的に行った。なお、チューブ捕集に用いる連続大気サンプラーは一定時間毎チューブを自動交換できる室内測定用の装置であり、それをハイボリューム・エアサンプラーのシェルターの内部に入れ屋外へ設置した。

大気捕集後のチューブは分析室に持ち帰り、試料をチューブから加熱脱着させ、キャピラリーGC(ガスクロマトグラフ)－FID(水素炎イオン化検出法)へ導入し、原油に含有される揮発性成分のうち有害大気汚染物質であるベンゼンを始めトルエン、エチルベンゼンおよびキシレンの芳香族炭化水素類を分析した¹⁰⁻¹²⁾。

[測定装置および機材]

採取装置：連続大気サンプラー STS-25 (PE社製)

PID計：MODEL PI-201 (HNU社製)

GC－FID：オートシステム GC－FID (PE社製)

加熱脱着装置：サーマルデソープションシステム ATD-400 (PE社製)

サンプリングチューブ：

充填吸着剤 Carbotrap 20/40mesh 300mg

+ Carbosieves SIII 60/80mesh 150mg

3. 調査結果および考察

3.1 水質

3.1.1 基本項目および芳香族炭化水素類

基本項目および芳香族炭化水素類の測定結果を表1に示す。

COD濃度の経日変化はほとんど認められなかった。また、CODの濃度範囲は1.8～5.7mg/lの範囲にあり、平年の7月における濃度レベル¹³⁾とほぼ同じであった。ヘキサン抽出物質、四塩化炭素抽出物質および芳香族炭化水素類はすべて検

表 1 水質の基本項目と芳香族炭化水素類の測定結果

地点番号 (環境基準)	調査日	COD (mg/l)	ヘキサン 抽出物質 (mg/l)	CCL4 抽出物質 (mg/l)	ベンゼン (mg/l)	トルエン (mg/l)	キシレン (mg/l)	非イオン 界面活性剤 (mg/l)
1 (B 類型)	4 日	3.8	ND	ND	ND	ND	ND	—
	5 日	5.0	ND	ND	ND	ND	ND	—
	6 日	2.6	ND	ND	ND	ND	ND	—
	10日	2.6	—	—	ND	ND	ND	—
2 (C 類型)	4 日	4.1	ND	ND	ND	ND	ND	—
	5 日	5.6	ND	ND	ND	ND	ND	—
	6 日	4.2	ND	ND	ND	ND	ND	—
	10日	2.8	—	—	ND	ND	ND	0.011
3 (B 類型)	4 日	3.5	ND	ND	ND	ND	ND	—
	5 日	4.4	ND	ND	ND	ND	ND	—
	6 日	2.5	ND	ND	ND	ND	ND	—
	10日	2.4	—	ND	ND	ND	ND	上層 0.008 下層 0.008
4 (C 類型)	4 日	3.1	ND	ND	ND	ND	ND	—
	5 日	5.7	ND	ND	ND	ND	ND	—
	6 日	2.2	ND	ND	ND	ND	ND	—
	10日	2.6	—	—	ND	ND	ND	0.009
5 (B 類型)	4 日	3.1	ND	ND	ND	ND	ND	—
	5 日	4.2	ND	ND	ND	ND	ND	—
	6 日	2.3	ND	ND	ND	ND	ND	—
	10日	2.6	—	ND	ND	ND	ND	上層 ND 下層 ND
6 (B 類型)	4 日	4.6	ND	ND	ND	ND	ND	—
	5 日	3.6	ND	ND	ND	ND	ND	—
	6 日	3.5	ND	ND	ND	ND	ND	—
	10日	2.0	—	—	ND	ND	ND	0.006

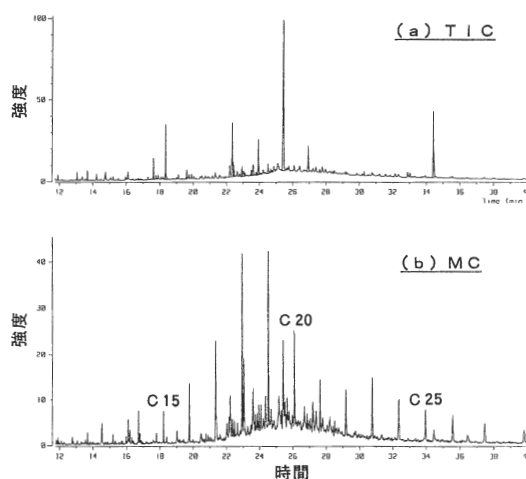
出限界以下であった。このように COD 等の測定結果からは、4 日以降における原油による水質汚染は認められなかった。これらの結果は川崎市や千葉県が行った調査結果^{1,2)}とほぼ同じであった。

一方、油処理剤の成分である非イオン界面活性剤の残留影響を調べるため、10日には非イオン界面活性剤についても併せて測定した。その濃度範囲は検出限界に近い ND～0.011mg/l で、川崎市や千葉県が行った調査結果^{1,2)}とほぼ同じであった。

3.1.2 *n*-パラフィン

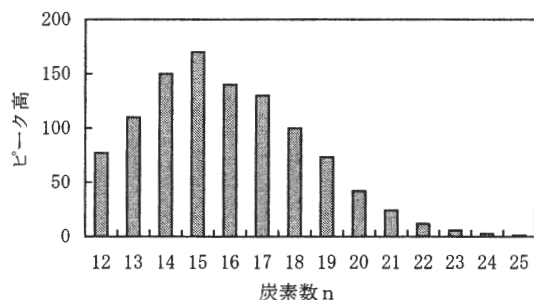
油膜が認められない比較的清浄な海水について GC/MS を用いて測定したトータルイオンクロマトグラム (TIC) と *m/z*85 のマスキロマトグラム (MC) を図 2 に示す。TIC には見られない *n*-パラフィンのピークが MC では選択的に感度良く出現している。そこで、今回採取した海水検体については、*m/z*85 の MC から各 *C_m* 成分のピーク高を求め、*n*-パラフィン組成を調べた。

まず、比較検討の参考とするため、ダイヤモンドグレース号に積載していた原油の *C*12～*C*25 までの成分組成を求めたので、その結果を図 3 に示す。*C*15 成分が最大となる組成パターンを示し

図 2 油膜のない海水の TIC と MC (*m/z*85)

ており、重油に比べて比較的低沸点成分を多く含有していた。

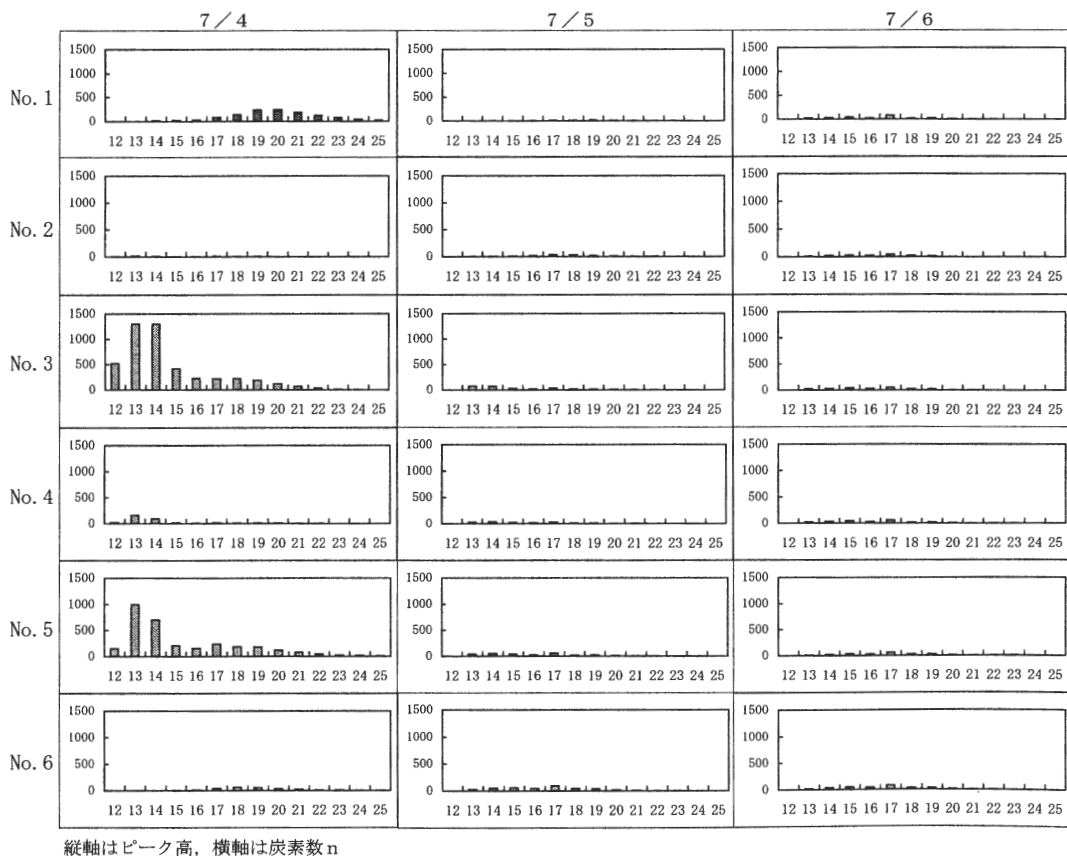
4 日～6 日の海水検体の *n*-パラフィン組成を図 4 に示す。経日変化をみると、4 日には *n*-パラフィンを比較的多く含有する地点が存在したが、5 日および 6 日になると全地点で *n*-パラフィンはほとんど認められなくなった。ここには示さ

図3 原油の *n*-パラフィン組成

なかったが、10日についても同様に *n*-パラフィンほとんど認められなかった。これは、2日から3日にかけて最大約 7 m/s の比較的強い南西風が吹いていたため、3日に横浜市の本牧埠頭や大黒埠頭などに原油が漂着した。その影響が4日まで残っていたが、強風とともに原油除去作業による効果もあって、5日以降は流出原油による環境汚染はほぼ認められなくなった。なお、5日以降

にわずかに認められる Cn 成分は日常的に東京湾流域や船舶などから排出されている石油類由来のものであると考えられる。

n-パラフィンが比較的多く認められた4日における成分組成について詳しくみると、No. 3とNo. 5の2地点は他地点に比べてピークが高く、なかでも C12~C13の低沸点成分のピークが比較的高かった。No. 4については、ピークは全体的に低いが、前2地点と同様に低沸点成分のピークが高いパターンを示した。このようにNo. 3~No. 5の3地点の成分組成パターンは類似していた。一方、これらは C15成分が最大となる組成パターンを示す積載原油(図3)とは異なっていた。強風の影響だけを考えると、流出原油は時間の経過とともに低沸点成分より高沸点成分のほうが多くなるパターンを示すはずだが、それとは逆の結果となった。この理由のひとつとして、周辺海域で使用していた油処理剤に含有する溶剤による影響が

図4 海水の *n*-パラフィン組成の経日変化

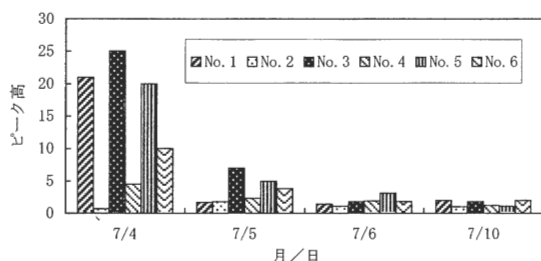


図5 海水のジメチルジベンゾチオフェン量の経日変化

考えられる。

一方、前3地点よりも北方に位置するNo. 1における主要成分はC20前後のものであった。これは、原油が強い南西風により事故現場から流されてNo. 1方面まで移動する間に、低沸点成分が揮散した結果と考えられる。なお、横浜港内のNo. 2や事故現場よりも南方に位置するNo. 6では原油の影響はほとんど認められなかった。

3.1.3 ジメチルジベンゾチオフェン

原油中には n -パラフィンなどの炭化水素成分以外にも特徴的な成分が含まれており、有機硫黄化合物のジメチルジベンゾチオフェン (DMDT) もそのひとつである。m/z212のMCからDMDTのピーク高を求め、その経日変化を図5に示す。

DMDTは4日にNo. 1、No. 3およびNo. 5の3地点において比較的高濃度であったが、その後低下していった。6日以降になると全地点でほぼ同じ低濃度状態となり、ほとんど変化しなくなった。このように、DMDTも n -パラフィンとほぼ同じ経日変化を示しており、 n -パラフィンと同様な推察が可能であった。

3.2 大気

芳香族炭化水素類の測定結果を表2示す。

3.2.1 調査地点濃度

南本牧埋立地ではベンゼンが $0.4 \sim 11.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、トルエンが $1.4 \sim 33.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、エチルベンゼンが $0.4 \sim 8.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、キシレンが $1.0 \sim 16.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度範

表2 大気環境中の芳香族炭化水素類濃度の測定結果

	採取時刻	ベンゼン	トルエン	エチルベンゼン	キシレン		採取時刻	ベンゼン	トルエン	エチルベンゼン	キシレン
南 本 牧 埋 立 地	2日18~20時	1.8	10.2	2.6	3.8	中 区 牧 測 定 局	2日21~23時	1.1	5.5	0.9	1.7
	3日2~4時	2.4	18.8	4.2	5.6		3日1~3時	1.3	6.5	1.5	2.9
	3日4~6時	7.6	11.0	2.4	3.0		3日3~5時	1.4	10.9	3.2	4.2
	3日6~8時	2.2	10.7	2.9	4.2		3日5~7時	1.6	7.5	1.2	1.7
	3日8~10時	3.4	13.8	4.1	5.3		3日7~9時	2.5	13.3	4.2	4.7
	3日10~12時	3.0	8.1	3.2	4.2		3日9~11時	4.4	17.6	3.1	4.5
	3日12~14時	1.6	4.0	2.1	3.8		3日11~13時	1.3	5.6	1.4	1.9
	3日14~16時	2.1	4.0	2.0	2.7		3日13~15時	2.1	4.2	1.1	1.5
	3日19~21時	2.0	11.0	5.1	6.5		3日15~17時	2.1	4.3	1.6	2.5
	4日1~3時	11.1	33.0	8.5	16.1		3日19~21時	3.6	9.1	2.6	6.0
	4日7~9時	3.5	7.6	2.1	3.5		4日1~3時	4.8	19.7	4.6	10.2
	4日13~15時	1.4	3.7	1.5	2.8		4日7~9時	2.3	9.3	2.8	4.6
	4日15~18時	—	9.8	3.6	5.0		4日13~15時	2.4	6.2	3.2	6.9
	4日21~0時	1.9	14.6	3.0	3.8		4日15~18時	1.9	6.8	1.7	2.0
	5日3~6時	1.6	6.4	0.8	1.8		5日0~3時	4.1	13.2	2.7	5.3
	5日15~18時	1.0	3.1	0.8	1.8		5日6~9時	1.1	6.4	1.6	3.0
大 気 環 境 基 準	5日21~0時	1.1	3.4	0.9	2.0		5日12~15時	3.5	5.2	2.1	3.7
	6日3~6時	1.2	5.3	0.9	1.9		5日18~21時	1.7	4.4	1.6	3.6
	6日9~12時	1.1	4.5	1.1	2.0		6日0~3時	3.3	8.3	2.8	6.9
	6日15~18時	0.9	1.7	0.5	1.4		6日6~9時	1.0	12.4	1.4	3.3
	6日21~0時	0.9	3.2	0.8	1.8		6日12~15時	0.4	0.8	0.2	0.5
	7日3~6時	0.4	1.4	0.4	1.0		6日18~21時	3.1	6.5	2.1	8.1
	最大値	11.1	33.0	8.5	16.1		7日0~3時	1.3	4.7	1.6	3.6
	最小値	0.4	1.4	0.4	1.0		7日6~9時	0.9	1.1	1.6	6.5
	平均値	2.5	8.6	2.4	3.8		最大値	4.8	19.7	4.6	10.2
	一般環境基準	3.0	—	—	—		最小値	0.4	0.8	0.2	0.5
	一般環境濃度(注)	2.5	8.9	2.4	5.2		平均値	2.2	7.9	2.1	4.2

(注)：一般環境濃度は、平成9年2月の環境科学研究所屋上における12回の測定結果の平均値

囲を示した。

また、中区本牧測定局では、ベンゼンが $0.4 \sim 4.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、トルエンが $0.8 \sim 19.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、エチルベンゼンが $0.2 \sim 4.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、キシレンが $0.5 \sim 10.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度範囲を示した。

両地点の平均濃度を比較すると、共通してトルエンの濃度が最も高く、次いでキシレンの濃度となっていた。環境基準値の定められているベンゼンについて見ると、南本牧埋立地は平均値 $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、中区本牧測定局は $2.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり基準値（ $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を下回っていた。この調査期間において南西の季節風が卓越しており、太平洋方面からの比較的清浄な空気が流れ込んでいたためと考えら

れた。

一方、濃度のピークの見られる7月4日1時に、両調査地点でそれぞれ $11.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $4.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と各地点調査期間中の最高濃度を示した。

3.2.2 濃度の経時変化

各地点における芳香族炭化水素類の濃度変化を図6、図7に示す。濃度ピーク出現時刻は、3日8～9時、4日1時、4日21時～5日0時付近に両地点とも共通してみられるパターンを示していた。とくに、タンカー事故現場および流出重油の漂流海域により近い南本牧埋立地の方がピークの濃度レベルが高い傾向を示していた。濃度ピークと風向の関係調べるため、2つの濃度ピーク前

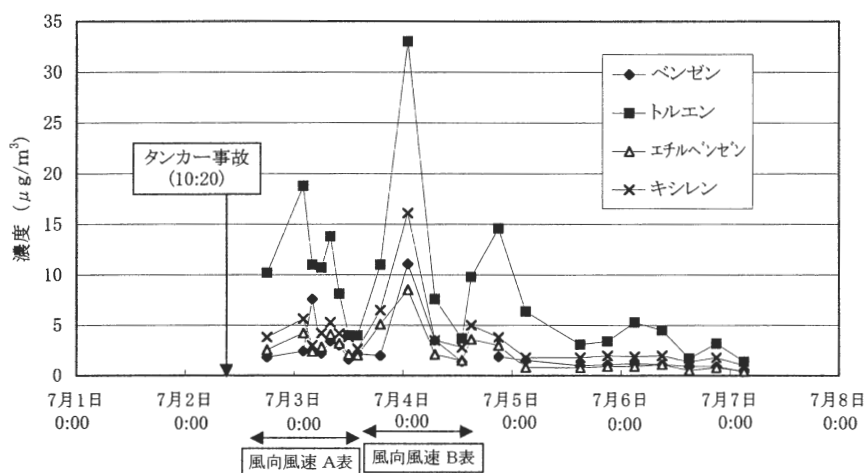


図6 南本牧埋立地における大気環境中の芳香族炭化水素類濃度の経時変化

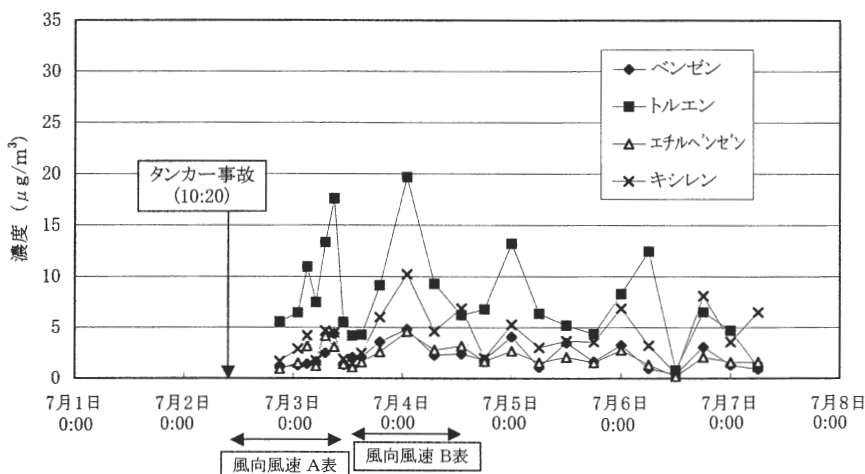


図7 中区本牧埋立地における大気環境中の芳香族炭化水素類濃度の経時変化

表3 芳香族炭化水素類濃度のピークが認められた期間の風向風速（中区本牧測定局）

<風向風速 A表>

	7/2										7/3													
時刻	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
風向	SW	SW	SW	SW	SW	SSW	WSW	S	SW	SW	N	SW	ESE	WSW	E	SSE	S	S	ESE	SSE	SSE	SSE	SW	SSE
風速(m/s)	6.5	6.8	6.3	4.4	3.0	3.2	1.6	2.0	1.6	1.8	0.9	3.0	0.8	1.5	0.7	0.5	0.9	2.4	1.6	3.1	2.6	3.9	3.9	4.1

<風向風速 B表>

	7/3										7/4													
時刻	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
風向	SW	SSW	SW	SW	SSW	SW	WSW	WSW	WSW	N	ENE	W	W	W	SE	SW	SE	SSE	ENE	SSE	SSW	SSW	SW	SW
風速(m/s)	6.4	3.2	3.5	4.8	1.2	1.5	1.7	1.9	2.0	0.9	1.2	1.5	0.8	1.2	1.4	1.4	1.1	1.6	1.2	3.3	3.0	2.8	5.1	6.6

後の時間帯の風向風速を表3に示す。初めにピークが出現する2日15時から3日14時まで（風向風速A表）をみると、2日15時から19時まで風速3から約7m/sの南西風が吹いていたが、しだいに風速が弱まり、3日1時に風速0.9m/sの弱い北風になっていた。さらに5時には弱い東よりの風も吹いたこともわかった。この時間は濃度ピークの出現と一致し、調査地点の北方に位置する埠頭では漂流油が存在していた。また、次のピークが出現する3日15時から4日14時まで（風向風速B表）をみると、やはり3日24時に風速0.9m/sの弱い北風、1時には東北東1.2m/sの風に変化したことがわかった。この時間帯も濃度ピークと一致していた。とくに南本牧埋立地では4日の1時にトルエンが $33.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ と今回分析した物質の

中でもっとも高い濃度を示していた。また、この時にはベンゼンも $11.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ と高い濃度を示し、これは環境基準値の3.7倍の濃度であった。

これらのことから、調査期間中のほとんどの風向はタンカー事故の影響を受けない南西寄りの風であったが、3日と4日の1時頃に陸風に変わり、弱い北風または東風に風向が変化した時に流出油の漂流海域方面からの炭化水素系の揮散ガスの影響を受けたことが推察された。

3.2.3 広域のNMHC(非メタン炭化水素)濃度分布

事故発生から約1時間40分後の7月2日12時におけるNMHC濃度分布状況を調べるため、東京湾岸地域の常時監視データを収集し、解析した結果を図8に示す。千葉湾岸5ppmCを超える高濃度地域が出現しており、事故時に卓越していた強

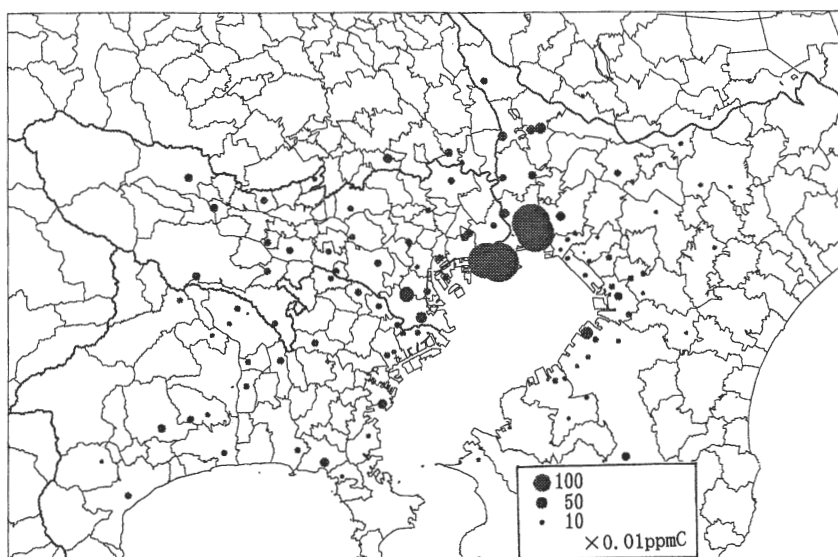


図8 広域のNMHC濃度分布

い南西風(約7 m/s)の影響で、流出油から揮発する高濃度ガスが到達していることが明らかとなった。

4. ま と め

ダイヤモンドグレース号による原油流出事故時における水質と大気環境調査を行った。

水質調査については、調査期間を通してヘキサン抽出物質やCODなどは検出限界以下あるいは通常時の濃度レベルにあった。この理由として、それらの項目の感度が低くまた分析過程で低沸点成分が揮散したためと考えられる。

水中の*n*-パラフィンには事故から2日目に事故現場に近い本牧沖やそれより北方の大黒埠頭沖で少し認められた。強い南西風のため流出油が大黒埠頭まで達したと考えられるが、3日目以降になると両水域とも油の影響はみられなくなった。一方、*n*-パラフィンのパターンから、流出原油のほかに油処理剤に含まれる低沸点の溶剤による影響もあったと推察される。有機硫黄化合物のジメチルジベンゾチオフェンについても調べたところ、ほぼ*n*-パラフィンと同様な傾向を示した。

大気環境調査については、事故に伴う大気汚染状況を把握するため、採取検体および装置が小型で経時的採取に適しているチューブサンプリング法による炭化水素類濃度調査を実施した。その結果南西風が卓越していたため、横浜地域では流出油からの揮散ガスの影響は比較的少なかったが、深夜に北よりの陸風へ風が変化した時に事故に伴って発生した有機ガスを検出し、その濃度レベルを把握することができた。

一般に、大気汚染防止法に示された揮発性有機化合物(VOC)の採取にはステンレス製キャニスターが用いられるが、タンカー油流出事故等災害時に伴う大気汚染調査には経時的なサンプリング

および運搬が容易なことからチューブサンプリング法が有効であった。今後、緊急時の調査において風向きにより濃度の変化が予想される場合、キャニスター法でサンプリングするには経時的な採取が可能となるような工夫が必要であると思われる。

—参考文献—

- 1) 山本順昭, 小塚義昭, 小清水正, 佐藤賢二: ダイヤモンドグレース号原油流出事故に伴う環境調査. 川崎市公害研究所報, **24**, 63-67, 1998
- 2) 飯村晃, 小倉久子, 相坂清子, 吉澤正, 豊倉善夫, 宇野健一, 土屋裕: 東京湾タンカー事故に伴う原油流出に係る水質調査. 千葉県水質保全研究所年報, 127-130, 1997
- 3) 富山典孝, 河野謙一, 関谷幸一, 杉本貴之, 安藤ゆかり, 河野和子, 小畑聡子: 流出油等による汚濁事例とその識別分析について. 全国公害研会誌, **23**(3), 122-130, 1998
- 4) 北野肇一, 泉広栄, 加藤充哉: 石川県沿岸に漂着したナホトカ号流出重油中の*n*-アルカンとアルキル PAH の組成. 石川県保健環境研究所年報, 5-14, 1998
- 5) 剣持堅志, 萩野泰夫, 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, **7**(3), 561-576, 1997
- 6) 山中栄美, 松原英隆: 鉱物油の成分及び水溶性成分の GC/MS による分析. 福岡市衛生試験所報, **21**, 87-92, 1996
- 7) 渡辺正敏: 流出油事件への迅速対応のための固相マイクロ抽出法(SPME 法) の応用. 名古屋市環境科学研究所報, **27**, 39-44, 1997
- 8) 飯村晃, 相坂清子: 流出油の性状調査. 千葉県水質保全研究所年報, 75-78, 1994
- 9) 二宮勝幸, 水尾寛己, 樋口文夫: 第6章 過去に発生した魚の死亡事故事例. 魚の死亡事故の原因究明に関する研究報告書, 横浜市環境科学研究所公害研資料 No. 91, 100-102, 1991
- 10) I. Seeley, A. Tipler, G. Broadway: Auto GC System for Enhanced zone Monitoring Network. Perkin Elmer Corporation Technical Document, 1994
- 11) 前田裕行: サーマルデソープション法を用いた大気中炭化水素類のモニタリング. 横浜市環境科学研究所報, **21**, 111-118, 1997
- 12) パーキンエルマージャパン: 最先端 GC サンプリング技術 ATD400サーマルデソープション法による定性・定量. 分析技術資料 GC, 1994
- 13) 横浜市環境保全局: 平成9年度横浜市公共用水域及び地下水の水質測定結果報告書, 1999