

# 北九州市沿岸海域の化学物質汚染と生態リスク比\*

門 上 希和夫\*\*・ 陣 矢 大 助\*\*\*・ 岩 村 幸 美\*\*\*\*

**キーワード** ①化学物質 ②一斉分析法 ③沿岸海域 ④生態リスク

## ABSTRACT

A study was carried out to elucidate the pollution by 285 chemicals in coastal waters around Kitakyushu City and estimate their effects on aquatic organisms. The total number of chemicals detected by the simultaneous analytical method was 180 out of 285 target chemicals, and the mean concentration of each location ranged from 0.24 to 15.8  $\mu\text{g/l}$ . Most of the chemicals detected at high concentrations were phthalates and the others were raw materials of chemical production. The most heavily polluted area among the survey areas was Dokai Bay around that many heavy industries and chemical factories are located. Therefore, the cause of the high concentrations probably is these factories and a sewage treatment plant. The risk of the detected chemicals to marine organisms was calculated by the quotient method; the division of a concentration by an end points such as a no-observed-effect concentration. Polycyclic aromatic hydrocarbons and pesticides contributed the most in the assessment. The quotient values were as high as toxic effects are expected to occur. In order to remedy water quality for aquatic organisms, a high priority must be put on the reduction of the emission and consumption amounts of chemicals having a high ecological risk such as polycyclic aromatic hydrocarbons and pesticides.

## 1. はじめに

内分泌攪乱化学物質などの微量化学物質による環境汚染が、生態系や人間の健康に悪影響を及ぼしている可能性が指摘されている<sup>1,2)</sup>。環境省では、PCB汚染をきっかけに1974年から化学物質環境汚染実態調査を実施し、全国を対象に環境汚染を調査している<sup>3)</sup>。北九州市でもこの調査に参加して環境調査を行うとともに、独自に多数の物

質をモニタリングしてきた。その結果、北九州市周辺海域の化学物質汚染が、東京湾や大阪湾などととも全国有数であることが明らかになっている<sup>4)</sup>。しかし、従来の調査では、分析法の制限のため同時に分析できる物質数が、最大でも数十物質であり、調査時点の環境全体の状況を把握することはできなかった。そこで、われわれは環境全体の状況を把握すべく、多数の物質(285種)を一

\*Chemicals Pollution in Coastal Waters around Kitakyushu City and Assessment of the Risk of the Chemicals to Aquatic Organisms

\*\*Kiwao KADOKAMI (北九州市環境科学研究所) Kitakyushu City Institute of Environmental Sciences

\*\*\*Daisuke JINYA (北九州市環境局) Kitakyushu City Environmental Bureau

\*\*\*\*Tomomi IWAMURA (北九州市建設局) Kitakyushu City Construction Bureau

斉に分析できる同時分析法を開発し<sup>5,6)</sup>、北九州市沿岸海域の環境調査を1年間にわたり実施した。本報告では、対象とした285種の化学物質による北九州市沿岸の汚染実態および水生生物への影響を生態リスク比で評価した結果を示す。

## 2. 調査方法

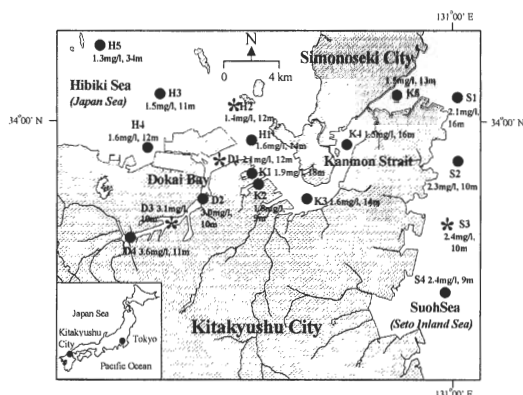
### 2.1 調査対象物質

対象物質は、285種である。それらを便宜上組成元素などで分類して **Table 1** に示す。これらは、日本や欧米の環境関連法令で規制を受けている物質、環境省の化学物質環境安全性総点検調査および北九州市の独自調査で検出されたものから一斉分析が可能な物質を抽出した。なお、内分泌攪乱化学物質と疑われている物質<sup>7)</sup>のうち、28種が調査物質に含まれている。

### 2.2 調査地域、調査地点及び調査期間

調査対象地域と調査地点を **Fig. 1** に示す。北九州市は、重化学工業が発達した都市であり、1995年の製造品出荷額22,826億円のうち、鉄鋼業が6,131億円、化学工業が3,261億円を占めている<sup>8)</sup>。工場の多くは、閉鎖性の湾である洞海湾(長さ13km, 幅0.7km)沿岸に立地しており、その結

果、洞海湾は、化学物質及び栄養塩類の汚染が著しい。響灘は日本海の一部であり、調査海域の中ではもっとも COD<sub>Mn</sub> が低い海域である。周防灘は瀬戸内海の西端に位置しており、干潟が広がった停滞性の海域である。また、その沿岸には水田地帯が広がっている。関門海峡は響灘と周防灘を



**Fig. 1** Location of survey area and sampling locations. Samples were taken at 4 asterisk locations every month and were taken twice at 14 black circles from April 1995 to March 1996. Figures by each sampling location are the mean COD<sub>Mn</sub> during the survey period and the depth

**Table 1** Summary of the target chemicals and the chemicals detected

Compound	Compound	Number
Compounds consisting of CH	Aliphatic compounds	25 ( 21 )
	Benzenes	16 ( 11 )
	Polyaromatic compounds	43 ( 34 )
	Others	4 ( 2 )
Compounds consisting of CHO	Ethers	8 ( 4 )
	Ketones	5 ( 5 )
	Phenols	22 ( 16 )
	Phthalates	9 ( 9 )
Compounds consisting of CHN (O)	Others	8 ( 5 )
	Aromatic amines	36 ( 21 )
	Quinoline	1 ( 1 )
	Nitro compounds	19 ( 14 )
Compounds consisting of CHS (NO)	Nitrosoamines	3 ( 0 )
	Others	1
	Phosphoric esters	7 ( 5 )
	Insecticides	6 ( 4 )
Pesticides	Herbicides	36 ( 11 )
	Fungicides	20 ( 9 )
	Fungicides	16 ( 7 )
Total		285 (180)

Parentheses show the number of chemicals detected.

結び、もっとも狭い地点は幅が0.8kmで、潮流が非常に速い。

調査は、1995年4月から1996年3月の1年間、**Fig. 1**の4地点(D1, D3, H2, S3)で毎月、その他の14地点で夏季と冬季の2回表層水を採取して実施した。各調査地点の水深と調査期間の平均COD<sub>Mn</sub>を**Fig. 1**に示す。

### 2.3 分析方法

分析は、既報の方法<sup>5,6)</sup>の試料量、試料pH、抽出溶媒量および最終濃縮液量を変更して行った。

試料250mlを分液ロートに取り、サロゲート混合液、pH7.0の2Mリン酸バッファ1mlおよび食塩13gを加えて良く混合後、ジクロロメタン30mlと20mlで10分間2回抽出した。つぎに抽出液を合わせ、無水硫酸ナトリウムで脱水後、KD濃縮およびマイクロスニードーカラム濃縮により0.3mlまで濃縮した。これに、内標準混合液を加えて、GC-イオントラップ型質量分析計(Finnigan Mat ITS40)で測定した。操作ブランクは、ジクロロメタン洗浄した精製水250mlを用いて、試料と同様に操作して得た。

全調査物質の検出限界は既報<sup>9)</sup>に示すが、操作ブランクから検出されなかった物質は、S/N=10を検出限界値とした。また、フタル酸エステル等

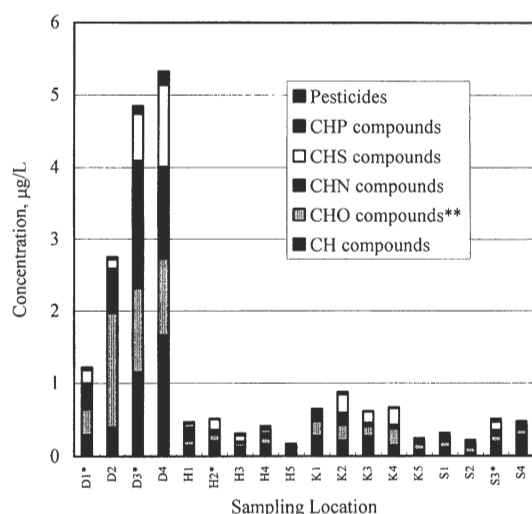
操作ブランクから検出された物質は、調査期間中に得た20個のブランク値を用いて、ブランクと95%の信頼限界で有意な濃度を検出限界値とし、それ以上の濃度が検出された場合、その値からブランクの平均値を差し引いて最終検出値とした。

## 3. 結果と考察

### 3.1 調査地点毎の濃度レベル

調査結果の詳細及び発生源の推定結果などは既報<sup>9)</sup>に示しているため、本報告では調査結果の概要を示す。

対象285物質の内、検出された物質は180物質である。もっとも多く物質が検出された地点は、1996年1月のD3であり103物質が検出された。一方、最少検出物質数は、1996年3月のH3で6物質が検出された。**Fig. 2**に各調査地点の平均検出濃度を**Table 1**の物質分類ごとに分けて示す。洞海湾において有機合成の中間体や原料として使用される物質が、高濃度で検出されている。検出濃度は下水処理場や化学工場が立地する湾奥に行くに従い上昇するため、発生源はこれらの施設と考えられる。また、湾奥にはいくつかの河川が流れ込んでいるため、湾内からは他海域に比べて農薬も高濃度で検出されている。K1およびK2の近傍にも重化学工場が立地しているため、この2地点からも比較的に高い濃度が検出されている。一方、工業地帯から離れた調査地点の総検出濃度は0.5 μg/l以下であり、陸地から7km離れたH5の濃度は0.24 μg/lであった。



**Fig. 2 Mean concentrations of each compound group at each sampling location. Not detected was considered to be zero. \*Samples were taken every month. The others are twice a year. \*\*Except phthalates from calculation**

**Table 2 Chemicals detected at high concentration**

No	Compound	Concentration, μg/l		Detected frequency, %
		Max	Mean*	
1	Di(2-ethylhexyl) phthalate	98	11	44.5
2	Diheptyl phthalate	16	9.9	8.4
3	Di-n-octyl phthalate	6.3	1.6	8.4
4	Dimethyl sulfone	4.4	0.75	19.3
5	Di-n-butyl phthalate	11	0.62	27.7
6	2,4-Dinitroaniline	0.47	0.35	2.5
7	Butyl benzyl phthalate	0.55	0.33	1.7
8	N-Ethylaniline	6.0	0.32	59.7
9	2,4,6-Trichlorophenol	5.7	0.29	42.9
10	1,3-Dichloro-2-propanol	1.0	0.19	63.9

\*Mean concentration was calculated except not detected samples

### 3.2 高濃度検出物質

不検出を除く検出濃度の平均値を求め、その上位10物質を **Table 2** に示す。フタル酸エステル類が上位を占めている。フタル酸2-ジェチルヘキシル、フタル酸ジヘプチルおよびフタル酸ジ-n-ブチルが10 $\mu$ g/lを超えた回数は、それぞれ17, 3および1回であった。これらの物質は洞海湾内だけではなく、他の海域からも検出されている。これらのフタル酸エステルは分解性が高いものの、フタル酸ジ2-エチルヘキシルが年間31万t、フタル酸ジヘプチルが7,100tと大量に生産され<sup>10)</sup>、また開放形で使用されることから低頻度ながら高濃度で検出されたものと推定された。また、分析に用いた抽出溶媒が、プラスチックを溶解しにくい公定法<sup>11)</sup>に指定されたヘキサンではなく、プラスチックを容易に溶解するジクロロメタンで

あることも高濃度が検出された理由の一つかもしれない。

環境省の過去の調査では検出例のない2,4-ジニトロアニリン、N-エチルアニリン、1,3-ジクロロ-2-プロパノールが洞海湾内から検出された。D3とD4で年間を通じて高濃度に検出されたジメチルスルフォンは、海藻などが生産するジメチルスルフィドの酸化によって生成したものである<sup>12)</sup>。

### 3.3 高頻度検出物質

高頻度で検出された物質を **Table 3** に示す。もっとも検出頻度が高かった物質は、ベンゾチアゾールである。この物質はタイヤなどゴムの加硫促進剤として使用されているために、その発生源は自動車タイヤと考えられる。カルバゾールとジフェニルアミン濃度に高い相関( $r=0.982$ )が認められた。そのため、これら2物質は同一の発生源から排出されたものと考えられるが、何かは不明である。アセナフテン、アセナフチレン、アセトフェノンおよびニトロベンゼンは、洞海湾内において高頻度かつ高濃度で検出されている。これらの物質は有機合成中間体やコークス製造の副生物である。2-ニトロフェノールは、全調査地点でほぼ同一濃度で検出されている。この物質は自動車排気ガス中から検出され、また大気中の多環芳香族炭化水素が素素酸化物により光酸化して生じることが報告<sup>12,13)</sup>されているため、その起源は自動車と推測される。

有機塩素系化学物質のようにハロゲンを含む物質は一般に有害性を有している。そこで、ハロゲン化合物の内、検出頻度の高い物質を **Table 4** に示す。クロロベンゼン類については、1980～1984年に内村らが11種を対象に北九州市周辺海域の調査を実施し、ジクロロベンゼンおよびトリクロロベンゼンを検出している<sup>14)</sup>。その結果によると、1,2-ジクロロベンゼンと1,4-ジクロロベンゼンの検出濃度比(1,2-体/1,4-体)は0.13であった。また、同様な傾向は環境省が実施する水質底質モニタリングでも得られている。しかし、本調査では、洞海湾以外で1,4-体が高濃度であるものの、洞海湾では湾奥に行くに従い1,2-体の濃度が上昇し、最奥部では1,2-体が1,4-体の4倍になっている。同様に、1,2,4-トリクロロベンゼンと1,2,3-トリ

**Table 3 Chemicals detected with high frequency**

No	Compound	Detected frequency, %	Concentration, $\mu$ g/l	
			Max	Mean*
1	Benzothiazole	100	0.65	0.076
2	Carbazole	91.6	0.43	0.014
3	Dimethyl phthalate	88.2	0.58	0.034
4	Acenaphthene	84.0	0.067	0.010
5	2-(Methylthio) benzothiazole	82.4	0.085	0.012
6	2-Nitrophenol	79.8	0.17	0.050
7	Acenaphthylene	79.0	0.020	0.0041
8	Acetophenone	78.2	0.29	0.032
9	Nitrobenzene	75.6	1.0	0.13
10	Diphenylamine	74.8	0.94	0.028

\*Mean concentration was calculated except not detected samples

**Table 4 Halogenated chemicals detected with high concentration**

No	Compound	Concentration, $\mu$ g/l		Detected frequency, %
		Max	Mean*	
1	2,4,6-Trichlorophenol	5.7	0.29	42.86
2	1,3-Dichloro-2-propanol	1.0	0.19	63.87
3	1,2,4-Trichlorobenzene	0.77	0.096	43.70
4	1,2-Dichlorobenzene	0.57	0.072	43.70
5	3,4-Dichloroaniline	0.41	0.057	25.21
6	2,6-Dichlorophenol	0.21	0.039	36.13
7	2,4-Dichlorophenol	0.38	0.039	36.13
8	1,4-Dichlorobenzene	0.12	0.035	31.93
9	2,6-Dichloro-4-nitroaniline	0.114	0.035	23.53
10	Tris(2-chloroethyl)phosphate	0.131	0.034	56.30

\*Mean concentration was calculated except not detected samples

クロロベンゼンも湾奥に行くに従って濃度が急上昇している。このことから洞海湾奥部にクロロベンゼン類の発生源があると考えられる。

Ishikawa らは、今回の調査と同一の海域からリン酸トリス 2-クロロエチルを検出し、その主要な発生源が工場や下水処理場であると報告している<sup>15)</sup>。今回の調査でもリン酸トリス 2-クロロエチルを含む 4 種の有機リン酸エステル類が、Ishikawa らの報告値と同レベルで検出された。有機リン酸エステル類の中には、有機リン農薬と同様の毒性を持つものもあるため<sup>16)</sup>、今後はモニタリングを充実させる必要があると考えられる。

### 3.4 検出農薬

調査した 72 農薬からは、27 物質が検出された。検出農薬の中で高頻度の 10 農薬を Table 5 に示す。検出濃度は農繁期に高く、とくに農業地帯に面した S3 では 7 月に  $0.34\mu\text{g/l}$  が検出され、他の季節の  $0.01\mu\text{g/l}$  以下を大きく上回った。

水田除草剤のシメトリン、チオベンカーブ、モリネート、プロモブチド、エスプロカルブおよびメフェナセツトは、それぞれ高い相関(平均  $r=0.876$ )をもって検出され、また殺虫剤のカルバリルと殺菌剤のトリシクラゾールもこれら水田除草剤と検出濃度に高い相関(平均  $r=0.858$ )があったため、これらの農薬が同時期に使用されていることが確認された。一方、水田用殺菌剤のフルトラニルとイソプロチオラン間には高い相関 ( $r=0.889$ )が認められるものの、それ以外の水田用農薬との相関は低く、使用時期が異なることが分

かった。テルブカルブ、ダイアジノン、フェニトロチオンなども相関が低い、これらは水田には使用されないためである。殺虫剤のフェノブカルブは、全国的には主に夏季に検出されているが、本調査では年間を通して検出され、とくに洞海湾内で高濃度であった。この結果から、湾内に特別な排出源があることが疑われた。

比較的高濃度の HCH が洞海湾内から検出された。HCH は 1972 年に農薬登録が失効するまで延べ 389,000 t 生産され、日本で生産された有機塩素系農薬の 90% を占める農薬である。HCH は土壤中で非常に安定であり、 $\alpha$  体は使用後 15 年経ても土壤中に 4% 残留し、 $\beta$  体は  $\alpha$  体以上に安定であると報告されている<sup>12)</sup>。われわれは洞海湾に流入する河川から HCH を検出しているため、土壌から溶出した HCH が河川を経由して湾に流入していると推測された。しかし、湾内での検出濃度は鈴木らが実施した 1981 年調査結果<sup>17)</sup>の 1/10 であった。

### 3.5 検出物質の生態リスク比

検出物質が水生生物に与える影響は、生態リスク比(Q)で計算されている<sup>18-20)</sup>。生態リスク比は、次式に示すように環境濃度(EC)を無影響濃度などの毒性値(TBC)で除したものである。もし、生態リスク比が 1 を超えた場合は、何らかの影響が生じる可能性がある。

$$Q = EC/TBC > 1$$

生態リスク比は、生態リスクを定量的に推定する方法としてはもっとも簡単な手法であり、欧米でよく使用されている方法である。今回生態リスク比の計算に使用した化学物質の毒性値は、米国 Clean Water Act<sup>21)</sup>、The Pesticide Manual<sup>22)</sup>、環境省の生態影響事業報告<sup>23)</sup>および水産用水基準<sup>24)</sup>から得た。しかし、検出 180 物質の内、毒性データが得られた物質は 110 物質のみであった。直接 TBC として使用できない毒性データは、次の安全係数(不確実係数)を乗じて TBC を得た。すなわち、種の違いの安全率、急性毒性と慢性毒性の差をそれぞれ 0.1 として、Clean Water Act の海水での急性毒性値には 0.1 を、The Pesticide Manual と環境省報告値の急性毒性値には、種の違いと慢性毒性・急性毒性の両者を考慮して 0.01、ミジン

Table 5 Pesticides detected with high frequency

No	Compound	Concentration, $\mu\text{g/l}$		Detected frequency, %
		Max	Mean*	
1	Fenobucarb (BPMC)	0.074	0.015	58.8
2	Isoprothiolane	0.040	0.010	26.1
3	Flutolanil	0.044	0.009	22.7
4	Terbucarb (MBPMC)	0.008	0.003	18.5
5	Bromobutide	0.064	0.016	12.6
6	Thiobencarb	0.068	0.015	12.6
7	$\alpha$ -Hexachlorocyclohexane ( $\alpha$ -HCH)	0.007	0.003	12.6
8	$\beta$ -Hexachlorocyclohexane ( $\beta$ -HCH)	0.022	0.010	7.6
9	Diazinon	0.017	0.006	7.6
10	Fenitrothion (MEP)	0.013	0.008	3.4

\*Mean concentration was calculated except not detected samples

**Table 6 Chemicals having high Q value**

No	Compound	Max	Mean*	Detected frequency, %
1	Benzo(a)pyrene (B(a)P)	11.6	1.44	51.3
2	Di(2-ethylhexyl) phthalate	1.64	0.09	44.5
3	Fenitrothion (MEP)	1.30	0.12	3.36
4	$\beta$ -Hexachlorocyclohexane ( $\beta$ -HCH)	0.65	0.05	7.56
5	Chlorpyrifos	0.36	0.18	0.84
6	Fenobucarb	0.25	0.03	58.8
7	Carbaryl (NAC)	0.23	0.05	0.84
8	Diheptyl pathalate	0.23	0.05	8.40
9	$\alpha$ -Hexachlorocyclohexane ( $\alpha$ -HCH)	0.21	0.04	12.6
10	$\delta$ -Hexachlorocyclohexane ( $\delta$ -HCH)	0.15	0.03	3.36

\*If any analyte was below the detection limit, half of the detection limit was used in the calculation of the mean of ecological risk

コの無影響濃度しかない場合は種の違いを考慮して0.1を毒性値に乗じてTBCを求めた。Clean Water Actの海水での慢性毒性値および水産用水基準の海域の基準値については、その値をTBCとした。なお、複数の出典からTBCが得られた場合は、もっとも小さい値を採用した。

生態リスク比の上位10物質を**Table 6**に示すが、すべてが環境常在物質と農薬である。生態リスク比がもっとも大きい物質はベンゾ(a)ピレンであるが、花田らは北九州市におけるその主要な発生源の一つが、コークス炉であると報告している<sup>25)</sup>。コークス炉からはベンゾ(a)ピレン以外にも多種類の多環芳香族炭化水素が排出されるため、多環芳香族炭化水素全体の生態リスクはさらに高いことが予想される。

化学物質の水生生物への影響を評価する上では、生態リスク比の大きさだけでなく、その出現頻度も重要である。リスク比が短時間に1を超えたとしても、濃度が急性毒性以上でなければ、その影響は無視することができるであろう。そこでリスク比の大きい物質のリスク比が1を超える確率を毎月試料を採取した4地点で求めた。化学物質の環境濃度は通常対数正規分布をしているため、測定値を対数変換して1を超える確率を求めた。その結果、D3とD1のベンゾ(a)ピレンだけが、それぞれ96%と40%の確率で1を超える可能性があることが分かった。この結果を踏まえると、洞海湾内ではベンゾ(a)ピレンが水生生物へ何らかの悪影響を与えていることが疑われ

**Table 7 Ecological risk (ER\*) at each sampling location**

Sampling location	D1	D2	D3	D4
ER	1.70	0.97	6.77	6.84

Sampling location	K1	K2	K3	K4	K5
ER	1.30	1.56	0.88	0.71	0.74

Sampling location	H1	H2	H3	H4	H5
ER	1.03	0.78	1.05	0.71	0.68

Sampling location	S1	S2	S3	S4
ER	0.91	0.65	0.83	0.72

\*ER is calculated using the formula.  $ER = \sum (EC_i/TBC_i) = \sum SQ_i$ , where  $EC_i$  is the mean concentration of a chemical (i); TBCi is a toxicological benchmark concentration of the chemical (i). Compound classes correspond to Table 1. ER of CHN, CHS and CHP compounds were ignored because of their small ER

た。

### 3.6 調査地点ごとの生態リスク比

化学物質による影響に相乗効果や相殺効果が無く、相加効果があると仮定すると、各調査地点の総生態リスク比 (ER) は次式で計算できる。

$$ER = \sum (EC_i/TBC_i) = \sum Q_i$$

ここで、 $EC_i$  および  $TBC_i$  は化学物質 (i) の平均検出濃度および TBC である。なお、化学物質濃度が検出限界未満の場合は、検出限界値の 1/2 を用いて平均値を算出した。全調査地点の総生態リスク比を**Table 7**に示す。用水産基準では総生態リスク比が1未満であることが、水生生物にとって望ましいとしている<sup>24)</sup>。

洞海湾内の調査地点やその他の小湾の総生態リスク比は1を超過している。毎月調査を行った4地点での総リスク比が1を超える確率を計算したところ、D3が99.6%、D1が89.1%、H2が13.1%およびS3が21.2%の確率で1を超えるとの結果を得た。この結果から、洞海湾内、とくに湾奥では化学物質による水生生物への影響が懸念されるものの、他の海域では調査した化学物質による水生生物への影響は低いことが確認された。この計算結果は、梶原らが報告<sup>26)</sup>した底生生物の生息調査結果、すなわち洞海湾湾奥での底生生物の活動は他の海域に比べて低いという結果と一致しており、洞海湾における化学物質の水生生物への影響調査の必要性が示唆された。

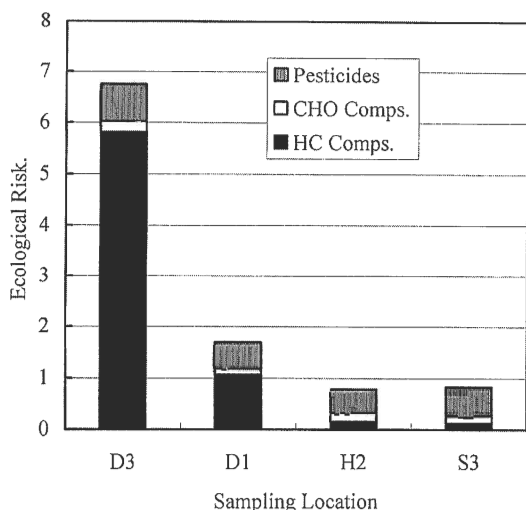


Fig. 3 Total ecological risk (ER) at the 4 locations where samples were taken every month. \*ER is obtained by the same way as Table 7

Fig. 3 は 4 地点での各物質群別の生態リスク比を示した図である。多環芳香族炭化水素、農薬およびフタル酸エステル類が生態リスクの大部分を占めている。今回の調査では、検出180物質のうち、毒性データを入手できた110物質を用いて総生態リスク比を求めたが、残りの70物質には多環芳香族炭化水素やハロゲン化合物などその構造から毒性が強いと思われる物質も含まれており、これらを含めると総生態リスク比は、今回計算した値より若干大きくなることが予想される。以上の結果から、化学物質の面から水生生物に適した水質にするためには、多環芳香族炭化水素や農薬など生態リスク比が高い物質の環境濃度の低減が必要であることが分かった。

#### 4. ま と め

285種の化学物質を対象に北九州沿岸環境を1年間調査した結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 調査285物質の2/3の180物質が検出された。
- (2) 各調査地点の検出濃度は、0.24~15.8 $\mu$ g/lであり、発生源に近づくほど濃度は上昇した。
- (3) 高濃度検出物質の多くはフタル酸エステル類であり、その他は有機合成の中間体であった。

- (4) ゴムの加硫促進剤として使用されているベンゾチアゾールがすべての試料から検出され、自動車が発生源と推定される2-ニトロフェノールも全調査地点から高頻度で検出された。また、洞海湾内からはコークス炉が発生源と思われる多環芳香族炭化水素が、高濃度で検出された。
- (5) 検出農薬は用途や使用時期を良く反映し、水田農薬は主に夏に検出されたが、それ以外は通年検出された。さらに、1970年代前半に禁止されたHCHも比較的高濃度で検出され土壌からの溶出が続いていることを伺わせた。
- (6) 生態リスク比（環境濃度／毒性値）を用いて化学物質による水生生物への影響を評価したところ、洞海湾内の水質が生物にとって良好でないとの結果が得られた。
- (7) 化学物質毎の生態リスクでは、ベンゾ(a)ピレンのリスクが高く、農薬のリスクも無視できなかった。

#### 謝辞

本調査の試料採取は、北九州市環境局環境保全部環境対策課の職員の協力を得て行った。記して感謝の意を表する。

#### 一 参 考 文 献 一

- 1) シーアコルボーン, ダイアンダマノスキ, ジョンピーターソンマイヤーズ: 奪われし未来, 翔泳社, 東京, 1997
- 2) デボラキッドバリー: メス化する自然, 集英社, 東京, 1998
- 3) 環境省環境保健部環境安全課: 化学物質と環境, 環境省, 東京, 1977-2002
- 4) 内村豊, 石川精一, 篠原亮太, 城戸浩三: 洞海湾と化学物質. 全国公害研雑誌, **15**, 98-104, 1990
- 5) Kadokami, K., Sato, K., Hanada, Y., Shinohara, R., Koga, M. and Shiraishi, H.: Simultaneous determination of 266 chemicals in water at ppt Levels by GC-Ion Trap MS. *Anal. Sci.*, **11**, 375-384, 1995
- 6) Kadokami, K., Sato, K., Koga, M. and Shinohara, R.: Simultaneous determination of 285 chemicals in water at ppt levels by GC-Ion Trap mass spectrometry. *Anal. Sci. Technol.*, **8**, 771-778, 1995
- 7) 門上希和夫: 内分泌攪乱作用が疑われる化学物質の我が国の環境中濃度. 環境ホルモン, 環境庁リスク対策検討会, pp. 67-88, 環境新聞社, 東京, 1997
- 8) 北九州市: 統計ハンドブック1997年版, p. 113, 北九州市, 1997
- 9) 門上希和夫, 陣矢大助, 岩村幸美, 谷崎定二: 北九州市

- 沿岸海域の化学物質汚染とその由来. 環境化学, 435-453, 1998
- 10) 13599の化学商品, 化学工業日報社, 1999
- 11) 環境庁: 水質汚濁に係わる人の健康の保護に関する環境基準の測定方法及び要監視項目の測定方法について, 環水規第121号, 環境庁, 東京, 1993
- 12) Hazardous Substances Data Bank in CHEM-BANK (CD-ROM), Silver Platter International N.V., Amsterdam, Netherlands, 1997
- 13) Bohm, H. B., Feltes, J., Volmer, D. and Levsen, K.: Identification of nitrophenols in rain-water by high-performance liquid chromatography with photodiode array detection. *J. Chromatogr.*, **478**, 399-407, 1989
- 14) 内村豊, 篠原亮太: 北九州市内における水環境中のクロロベンゼン類の濃度. 水質汚濁研究, **11**, 123-127, 1988
- 15) Ishikawa, S., Taketomi, M. and Shinohara, R.: Determination of trialkyl and triaryl phosphates in environmental samples. *Water Res.*, **19**, 119-125, 1985
- 16) 広瀬明彦: 有機リン酸トリエステル類の健康影響. 水環境学会誌, **19**, 708-712, 1996
- 17) Suzuki, M.: A Selected ion monitoring method for environmental contaminants, (I) hexachlorocyclohexane isomers in aquatic environment. *Biomed. Mass Spectrom.*, **10**, 352-357, 1983
- 18) Yoshioka, Y. and Ose, Y.: A quantitative structure-activity relationship study and ecotoxicological risk quotient for the protection from chemical pollution. *Environ. Toxicol. Water Quality*, **8**, 87-101, 1993
- 19) EPA: *Proposed Guidelines for Ecological Risk Assessment*. EPA/630/R-95/002B. Risk Assessment Forum, EPA: Washington, DC., 1996
- 20) Suter, G. W.: Introduction to ecological risk assessment for aquatic toxic effects. In: Rand G. M. ed. *Fundamentals of Aquatic Toxicology*, pp 803-816. Taylor & Francis, PA, 1995
- 21) Integrated Risk Information System in CHEM-BANK (CD-ROM), Silver Platter International N.V.: Amsterdam, Netherlands, 1997
- 22) Tomlin C.: *The Pesticide Manual*, 11th ed., British Crop Protection Council, Surrey, UK, 1997
- 23) 環境省: 化学物質の生態影響事業について, [www.env.go.jp/chemi/sesaku/seitai.html](http://www.env.go.jp/chemi/sesaku/seitai.html)
- 24) 日本水産資源保護協会: 水産用水基準 (2000年版), 日本水産資源保護協会, 東京, 2000
- 25) 花田喜文, 石川精一, 末田新太郎, 城戸浩三: 北九州市周辺海域底質中の多環芳香族炭化水素の濃度分布と特徴. 衛生化学, **36**, 8-14, 1990
- 26) 梶原葉子, 山田真知子: 洞海湾における付着動物の出現特性と富栄養度の判定. 水環境学会誌, **20**, 185-192, 1997