

<報文>

## 相模湾漂着マイクロプラスチックに吸着したPCB全異性体の測定及び発生源の推定\*

小澤憲司\*\*・池貝隆宏\*\*・三島聡子\*\*

キーワード ①マイクロプラスチック ②PCB ③吸着量 ④カネクロール ⑤有機顔料

### 要 旨

マイクロプラスチック (MP) に吸着したPCB全異性体の測定方法を検討し、ヘキサン浸漬抽出、硫酸シリカゲルカラムクロマト、スルホキシドカラムクロマトで前処理した後、四重極型GC-MSで分析する方法を確立した。

この方法により相模湾沿岸域で採取した漂着MPを材質ごとに測定することで、PCB吸着量の実態が把握でき、その異性体組成から吸着したPCBの主な発生源がカネクロールと有機顔料であることが分かった。また、MP漂着量とPCB吸着量からMPによるPCB汚染リスクの傾向を推定することができた。

### 1. はじめに

近年、海洋のマイクロプラスチック (MP) 汚染は世界的な関心事となっており、海洋中の有害化学物質がMPに吸着・濃縮され海洋生物に取り込まれることにより、海洋生態系への悪影響や食物連鎖を介したヒトへの健康影響が引き起こされると懸念されている。

これまで、代表的な残留性有機汚染物質 (POPs) であるPCBのMPへの吸着について、いくつかの論文で報告されている。世界各国の海岸で採取した樹脂ペレットやプラスチック片からは数～数百ng/g程度のPCBが検出され、特に日本などの先進工業国では高濃度であることが明らかとなっており<sup>1~3)</sup>、東京湾及び相模湾では、数十～数百ng/g程度のPCBが検出されている<sup>1~5)</sup>。また、東京湾の海水中と海岸漂着ペレット中のPCB濃度を比較した結果、MPによる濃縮倍率が10万～100万倍程度であったとの報告<sup>3,4)</sup>があり、MPが有害化学物質の運び手となることが示唆されている。

環境省が行っているMP調査は日本近海の漂流MPが対象であり、ローカルな汚染実態の情報が不足しているため、地元自治体が主体的に調査を行う必要がある。

海洋環境のMP汚染リスクを検討するためには、MPの漂流量と有害化学物質の吸着量の2つの視点から実態を把握する必要がある。本研究では、相模湾において沿岸海域の漂流状況を直接反映すると考えられる海岸漂

着MPを採取し、PCB吸着量を測定して、その発生源の推定を試みた。また、MP漂着量とPCB吸着量からMPによるPCB汚染リスクを検討した。

### 2. 方法

#### 2.1 測定方法の検討

##### 2.1.1 対象物質及び標準液

測定対象は、PCB全異性体 (209種) とした。標準物質はWellington Laboratories Inc. の62種混合標準液 (BP-MS) を、サロゲート標準物質 (<sup>13</sup>C指標化PCB) は同社の10種混合標準液 (MBP-CG) を、内標準物質 (シリジスパイク: サロゲート回収率確認用) はピレン-d<sub>10</sub>及びペリレン-d<sub>12</sub>を用いた。

検量線作成用標準液は「5～200 μg/L」とし、標準物質に含まれていない異性体の定量は、同一塩素数の標準物質から得られた検量線の勾配の平均値を用いて行った。

##### 2.1.2 前処理方法

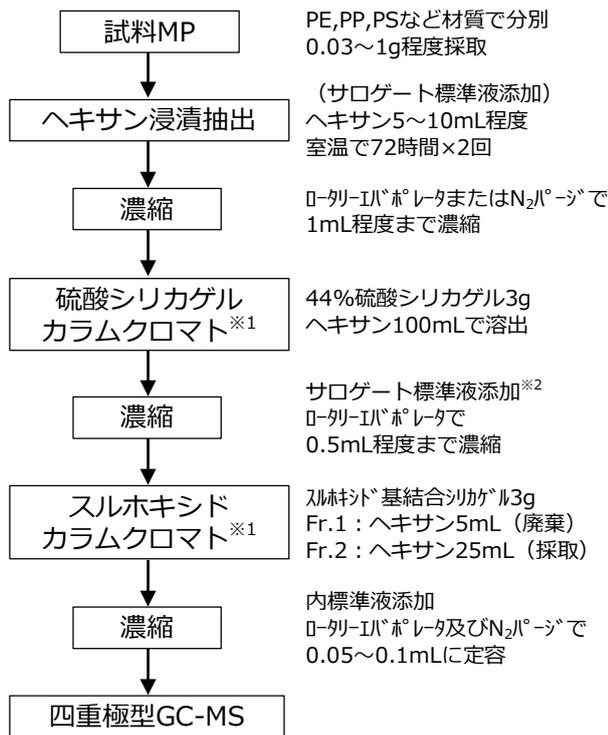
試料MPをヘキサン浸漬抽出<sup>1)</sup>し、硫酸シリカゲルカラムクロマト及びスルホキシドカラムクロマトによりクリーンアップした後、0.05～0.1mLまで濃縮し、GC-MS分析試料とした。

PCB吸着量の測定手順を図1に示す。

\*Measurement of All PCB Isomers on the Microplastics Found in Sagami Bay and Estimation of Emission Source

\*\*Kenji OZAWA, Takahiro IKEGAI, Satoko MISHIMA

(神奈川県環境科学センター) Kanagawa Environmental Research Center



※1 抽出後の濃縮液が清浄（無色透明）な試料は、  
クリーンアップ操作を省略  
※2 その他化学物質の測定用に濃縮液を分取する都合で、  
サロゲート標準液はクリーンアップ途中で添加

図1 PCB吸着量の測定手順

### 2.1.3 分析方法

四重極型GC-MSを用いてSIM法で分析を行った。なお、ピーク分離できない異性体は、ピーク面積値を合計して定量を行った。

四重極型GC-MSの分析条件を表1に、SIMのモニターイオンを表2に示す。

### 2.2 海岸漂着MPの測定

2018年4月に、図2に示す相模湾の相模川河口付近の高浜台海岸（平塚市）、引地川河口付近の鵜沼海岸（藤沢市）と、比較のため東京湾の平作川河口付近の久里浜海岸（横須賀市）の3地点で漂着MPを採取した。

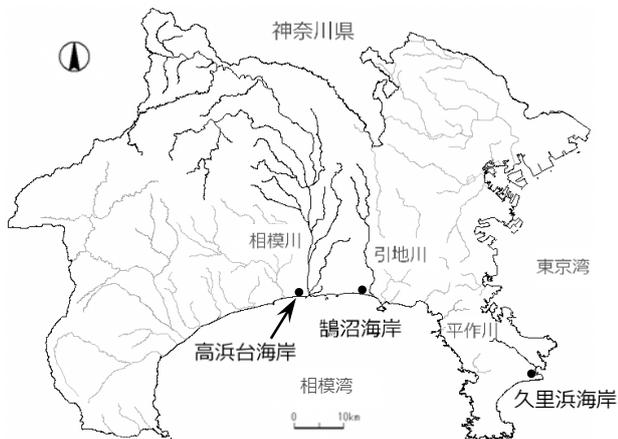


図2 漂着MP採取地点

表1 四重極型GC-MSの分析条件

使用機器	島津製作所 GCMS-QP2020
使用カラム	HT8-PCB (60m, 0.25mmID)
注入法	スプリットレス (サンプリング時間1min) (高圧注入: 250kPa, 1.5min)
注入口温度	280℃
注入量	2μL
キャリアガス	He
カラム流量	1.3mL/min (線速度制御)
昇温条件	100℃ (2min) → 20℃/min → 180℃ → 2℃/min → 240℃ → 5℃/min → 300℃ (10min)
インターフェイス温度	300℃
イオン源温度	230℃
測定法	SIM

表2 SIMのモニターイオン (m/z)

	測定対象		サロゲート・内標準	
	定量イオン	確認イオン	定量イオン	確認イオン
1塩素化体	188.0	190.0	200.1	202.1
2塩素化体	222.0	224.0	234.0	236.0
3塩素化体	256.0	258.0	268.0	270.0
4塩素化体	289.9	291.9	302.0	304.0
5塩素化体	325.9	323.9	335.9	337.9
6塩素化体	359.8	361.8	371.9	373.9
7塩素化体	395.8	393.8	405.8	407.8
8塩素化体	427.8	429.8	439.8	441.8
9塩素化体	461.7	463.7	473.8	475.8
10塩素化体	497.7	499.7	509.7	511.7
ビレン-d <sub>10</sub>			212.1	106.1
ペリレン-d <sub>12</sub>			264.2	132.1

採取及び材質判別は既報<sup>6)</sup>の方法により行った。

採取したMPから4.75mmメッシュのふるいを通し2mmメッシュのふるいの上に残ったものを選別し、ポリエチレン(PE)、ポリプロピレン(PP)、ポリスチレン(PS)に分別して測定試料とした。なお、測定試料量は0.03~1g程度(海岸で採取できた量により異なる)で、採取量が多いものは複数検体(PE①, PE②などと表記)とした。

測定試料の一例を図3に示す。



図3 測定試料の一例

### 3. 結果

#### 3.1 測定方法の検討

##### 3.1.1 前処理方法

各カラムクロマトで標準液の添加回収試験を行い、ほぼ100%の回収率が得られた。また、海岸漂着MPの測定におけるサロゲート回収率は概ね80%以上であった。

海岸漂着MPの測定におけるクリーンアップ操作の有無の比較検討を行ったところ、抽出後の濃縮液に着色のある試料では、クリーンアップ無しの場合、妨害ピークや測定対象ピークのS/N比低下が見られた。

一方、久里浜海岸の試料は、濃縮液が清浄（無色透明）であったため、クリーンアップ操作を省略したが、測定に支障はなかった。

#### 3.1.2 分析方法

四重極型GC-MSで標準液の繰り返し分析を行い、各PCB異性体の定量下限値は「CV値10%（10σ相当）以下かつS/N比10以上」を満たしている「0.5 μg/L」とした。また、検出下限値は3σ相当の「0.15 μg/L」とした。なお、測定試料量1g、分取により4分割、最終液量0.1mLの場合、各PCB異性体の吸着量の定量下限値は「0.2ng/g」となる。

#### 3.2 海岸漂着MPの測定

いずれかの試料MPで吸着量が5ng/L以上であったPCB異性体の測定結果を抜粋し、各同族体（塩素数ごと）の合計量とともに表3に示す。

吸着量が10ng/g以上のPCB異性体は、2塩素化体の#11、3塩素化体の#28、#31、#35、#36、4塩素化体の#52+#69、5塩素化体の#110、6塩素化体の#138、#139+#149、#153、

表3 2018年4月 海岸漂着MPの測定結果

採取地点 MP材質	相模湾 高浜台海岸					相模湾 鵠沼海岸								東京湾 久里浜海岸					
	PE①	PE②	PP①	PP②	PS	PE①	PE②	PE③	PP①	PP②	PP③	PS	PE①	PE②	PP	PS フォーム①	PS フォーム②	PS その他	
測定試料量 (g)	1.0	1.1	1.0	1.0	0.032	1.0	1.1	1.0	1.0	1.1	1.0	0.027	0.35	0.43	0.33	0.051	0.056	0.16	
検出下限値 (ng/g)	0.07	0.07	0.07	0.07	2.3	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.06	2.8	0.22	0.18	0.23	1.5	1.4	0.5	
定量下限値 (ng/g)	0.25	0.23	0.25	0.25	7.7	0.25	0.19	0.20	0.24	0.23	0.19	9.2	0.72	0.59	0.75	4.9	4.5	1.6	
PCB 吸着量 (ng/g)	2Cl #11 #14	5.9 ND	<b>72</b> ND	<b>180</b> ND	<b>430</b> ND	<b>86</b> ND	6.6 ND	<b>12</b> ND	<b>100</b> ND	<b>180</b> ND	<b>790</b> ND	<b>110</b> ND	ND (5.1)	4.4 ND	<b>10</b> ND	<b>270</b> ND	<b>14</b> ND	<b>46</b> ND	<b>110</b> ND
	3Cl #18	0.28 (0.17)	0.25	0.27 (4.3)		0.27	0.20	1.3	0.31 (0.22)	0.47	10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	#20+#33	0.29 (0.22)	0.26	0.28	ND	0.31	0.19	0.41	0.27 (0.21)	0.31	10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	#28	0.58	0.36	0.41	0.44 (5.2)	0.52	0.31	1.0	0.33	0.24	0.49	<b>14</b>	2.4	3.3	ND	ND	(4.3)	ND	ND
	#31	0.59	0.35	0.50	4.8 (7.3)	0.51	0.39	0.82	0.33	0.30	0.54	<b>16</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	#35	(0.20)	1.2	3.0	4.6	ND	0.37	0.32	0.75	2.4	<b>21</b>	1.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5.3
	#36	ND	0.36	9.3	4.6	ND	ND	ND	0.40	2.0	4.6	0.50	ND	ND	ND	<b>11</b>	ND	ND	7.1
	#37	ND	0.27 (0.21)	ND	ND	ND	0.26	ND	0.75 (0.13)	0.24	ND	(6.6)	1.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	4Cl #47+#48+#65+#75	0.37	0.30	0.33	0.27 (4.3)	0.61	0.51	0.76	0.38	0.39	0.36 (5.1)	2.3	1.9	ND	ND	(1.4)	ND	ND	ND
	#52+#69	0.75	0.81	0.57	0.44 (5.5)	1.4	1.8	<b>140</b>	0.91	3.7	0.78 (7.2)	4.6	4.5	ND	(3.4)	(3.4)	ND	ND	ND
	#56+#60	0.62	0.67	0.47	0.34 (5.9)	0.57	0.98	1.4	0.48	0.43	0.43 (6.6)	3.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	#64+#71+#72	ND	0.44	0.33	ND	ND	0.58	ND	1.1	0.48	0.45	ND (6.2)	3.4	2.6	ND	ND	(3.1)	ND	ND
	#66+#80	0.54	0.60	0.62	0.41 (5.4)	0.57	0.95	1.6	0.39	0.32	0.39 (7.1)	3.6	3.9	ND	(3.6)	4.9	ND	ND	ND
	#70	0.70	0.67	0.61	0.42 (6.4)	0.65	1.3	1.9	0.59	0.99	0.41	9.2	3.8	3.7	ND	(4.3)	(4.1)	(0.7)	ND
	5Cl #93+#95+#98	1.0	0.48	0.56	0.37	ND	1.2	0.65	1.4	1.6	1.7	0.42 (3.2)	8.4	3.8	0.88	ND	(3.3)	ND	ND
	#99	0.61	0.47	0.56	0.31	ND	0.84	0.59	1.5	1.1	0.96	0.34	ND	5.9	2.6	ND	(1.7)	ND	ND
	#101	1.2	0.78	0.92	0.54 (2.4)	1.7	1.1	3.1	2.4	1.9	0.64 (4.2)	8.4	4.5	ND	ND	(2.8)	ND	ND	ND
	#106+#118	0.80	0.46	0.89	0.43	ND	1.1	0.81	1.6	1.7	0.51	0.71	ND	5.2	4.1	ND	ND	ND	ND
	#110	1.4	0.84	0.89	0.62 (4.0)	2.0	1.2	2.8	2.4	2.3	0.74 (4.8)	<b>12</b>	6.6	ND	ND	ND	4.6	(0.7)	ND
	6Cl #138	1.5	0.76	1.1	0.82 (3.2)	2.6	1.3	2.5	3.0	2.3	1.4	ND	<b>17</b>	6.6	2.1	ND	4.6	ND	ND
	#139+#149	1.1	0.69	0.69	0.60	ND	2.8	1.2	2.2	2.7	2.7	1.0	ND	<b>21</b>	5.3	1.9	ND	(4.2)	ND
	#146	0.37 (0.22)	(0.17)	(0.20)	ND	0.62	0.30	0.54	0.59	0.60	0.33	ND	5.5	1.1 (0.43)	ND	ND	ND	ND	ND
	#151	0.30 (0.21)	(0.23)	(0.16)	ND	0.63	0.33	0.62	0.70	0.82	0.25	ND	6.2	2.3 (0.62)	ND	ND	ND	ND	ND
	#153	2.1	1.0	1.2	1.0 (3.2)	2.9	1.7	2.8	3.4	2.8	1.9 (4.6)	<b>22</b>	6.9	2.6	ND	5.2	(0.7)	ND	ND
	#163+#164	0.77	0.41	0.39	0.36 (2.8)	1.6	0.62	1.1	1.3	1.1	1.2	ND	8.4	2.6	1.0	ND	ND	ND	ND
	7Cl #174	0.42 (0.13)	(0.13)	ND	ND	0.65	0.20	0.50	0.52	0.54 (0.19)	ND	6.6	0.61	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	#180	1.9	0.29	0.31	0.32	ND	1.5	0.46	1.4	1.4	1.3	0.43	ND	<b>16</b>	1.8	ND	ND	5.3	ND
	#182+#187	0.87 (0.19)	(0.22)	0.25	ND	1.4	0.38	0.93	0.96	1.0	0.33	ND	<b>15</b>	1.2	2.4	ND	(3.5)	ND	ND
	#183	0.42 (0.09)	(0.12)	(0.11)	ND	0.60 (0.18)	0.41	0.42	0.46 (0.17)	ND	ND	6.2 (0.52)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	1塩素化体 (M1CB)	ND	0.13	0.33	1.1	ND	ND	0.12	0.42	2.8	4.3	0.53	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.7
	2塩素化体 (D2CB)	7.1	73	180	430	86	7.1	12	100	180	790	110	5.1	4.4	14	270	14	46	110
	3塩素化体 (T3CB)	2.0	3.0	14	15	19	2.5	1.6	6.7	6.3	27	4.0	62	3.5	3.3	11	ND	4.3	12
	4塩素化体 (T4CB)	4.6	4.5	4.5	2.9	34	6.4	7.9	150	4.5	8.4	3.4	53	31	26	ND	15	24	0.7
	5塩素化体 (P5CB)	7.2	4.4	5.5	3.3	6.4	10	6.5	15	13	11	3.8	12	59	28	0.88	ND	12	0.7
	6塩素化体 (H6CB)	8.5	4.4	5.0	4.4	9.2	16	7.7	14	17	14	8.1	8.0	110	36	9.2	ND	14	0.7
	7塩素化体 (H7CB)	5.9	0.86	1.1	0.77	ND	7.0	2.0	5.5	5.3	5.2	1.7	ND	69	6.2	2.8	ND	8.8	ND
	8塩素化体 (O8CB)	0.61	ND	ND	ND	ND	0.71	ND	ND	0.56	0.37	ND	ND	6.4	ND	ND	ND	ND	ND
	9塩素化体 (N9CB)	0.17	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	10塩素化体 (D10CB)	0.70	ND	0.11	ND	ND	0.44	ND	ND	0.16	ND	0.16	ND	ND	0.7	ND	ND	ND	ND
	総量 (Total)	37	90	210	460	160	50	37	290	230	860	130	140	280	110	300	29	110	120

#○：IUPAC番号

#○+#○：複数異性体の合計量

※ 検出下限値以上、定量下限値未満の測定値を含む（括弧書きの数値）

※ 各異性体は、いずれかの試料MPで5ng/g以上検出されたものを抜粋

ND：検出下限値未満

太字下線：10ng/g以上

表4 海岸漂着MPに吸着したPCBに関する論文報告

文献	採取地点	試料	材質	試料量	検体数	測定対象 PCB	PCB吸着量 (ng/g)
間藤ら <sup>4)</sup> (2001)	相模湾 東京湾	鵠沼海岸 2地点	ペレット	PP	1g	各1	23種 43.5 97.3~117
遠藤ら <sup>5)</sup> (2005)	相模湾 東京湾	5地点 4地点 葛西臨海公園	ペレット	PE	5個または 10個 <sup>*1</sup> 1個	各3~7 各2~7 55	22~1,150 46~623 <28~2,300
緒方ら <sup>1)</sup> (2009)	東京湾	1地点	ペレット	PE	2~10個 x5組 <sup>*2</sup>	1	13種 169 <sup>*3</sup>
平井ら <sup>2)</sup> (2011)	相模湾 東京湾	鵠沼海岸 お台場	プラス チック片 (~10mm)	PE PP PE PP	5 3~5個 4 3	5 3 4 3	2~436 5~37 66~285 2~71
高田 <sup>3)</sup> (2014)	東京湾	お台場	ペレット	PE	5個x5組 <sup>*2</sup>	2	13種 455~543 <sup>*3</sup>

\*1 黄変及びくもりで試料を分別    \*2 黄変試料を選別    \*3 5組の中央値

7塩素化体の#180, #182+#187であった。  
特に#11は、ほとんどの採取地点・材質において吸着量が多く、最大値は鵠沼海岸PP②の790ng/gであった。表4に示すとおり、これまでの論文報告<sup>1~5)</sup>では、測定対象のPCB異性体は13~39種であり#11を含んでおらず、今回#11が多く検出されたことは新たな知見である。

総PCB吸着量は29~860ng/gであった。この値は、測定対象のPCB異性体数の違いを考慮すると、これまでの論文報告<sup>1~5)</sup>と同程度かやや低い値である。

同一試料から複数測定した場合、総PCB吸着量に2~8倍の幅があった。遠藤らの報告<sup>5)</sup>によると、55個の樹脂ペレットを1個ずつ測定した結果、ペレット個体間でのPCB吸着量の変動は2桁程度であり、今回はMP試料1g(50~80個)程度の測定結果であることから、遠藤らの報告と同様にMP個体間でPCB吸着量に大きな差があったと推察される。

材質による違いは、PPはPEよりも#11の吸着量が多い傾向があり、それに伴い総PCB吸着量も多い傾向となった。平井らの報告<sup>2)</sup>では、PEはPPよりも疎水性が高いため、PCB吸着量が多いとの結果であったが、#11については明らかに逆の傾向となった。これは、平井らの報告では主に4塩素化体以上を測定対象としているためであり、2塩素化体である#11は疎水性が低いことから、同じく疎水性が低いPPに多く吸着したと考えられる。また、#11を除いた場合、久里浜海岸ではPEはPPよりもPCB吸着量が多い傾向が見られたが、高浜台海岸及び鵠沼海岸ではPEとPPのPCB吸着量は同程度であった。

#### 4. 考察

##### 4.1 海岸漂着MPに吸着したPCBの発生源

環境中のPCBの主な発生源は、過去にトランス、コンデンサ等に使用された製品である。主な製品はカネクロールであり、成分の違いによりKC-300, KC-400, KC-500, KC-600などがある。これらの標準品の全異性体分析を行って得られた同族体組成を図4に示す。

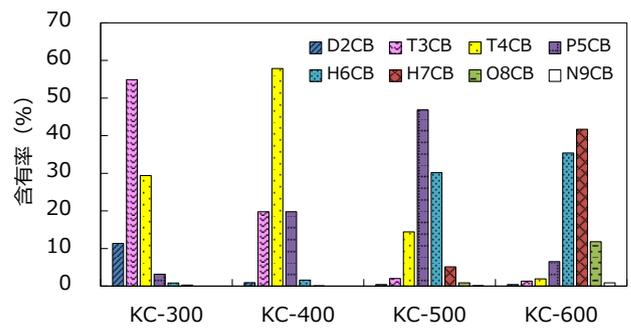


図4 カネクロールの同族体組成

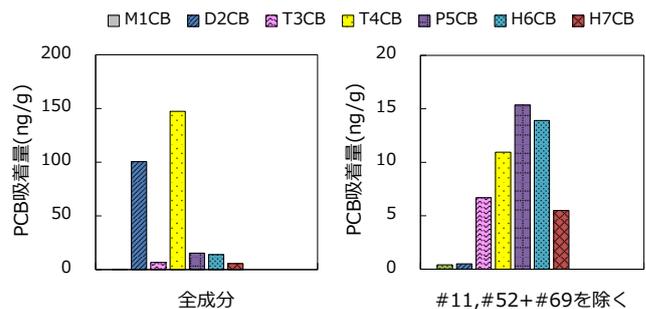


図5 鵠沼海岸PE③のPCB吸着量

例として、鵠沼海岸PE③のPCB吸着量を同族体組成で図5左に示す。カネクロールが発生源である場合、KC-300~KC-600の混合物であるため、同族体組成は山型となるはずであるが、2塩素化体及び4塩素化体が突出しており、カネクロール以外の発生源があることが分かった。2塩素化体では#11, 4塩素化体では#52+#69の吸着量が多く、これらを除くと図5右のような山型となり、これらの他はカネクロール由来であると推定された。

#11及び#52は、有機顔料の製造工程で副生するPCBであり、#11(3,3'-ジクロロビフェニル)は黄色顔料(ピグメントイエロー)の原料である3,3'-ジクロロベンジジンから、#52(2,2',5,5'-テトラクロロビフェニル)も同様に2,2',5,5'-テトラクロロベンジジンから副生することが知られている<sup>7)</sup>。

#11及び#52+#69以外にも有機顔料由来と推定される異性体(#6, #9, #15, #31, #35, #36など)<sup>7)</sup>が検出され、また、カネクロール及び有機顔料以外(燃焼など)の由来と推定される異性体(#2, #14, #30など)が検出されたが、それらの吸着量は少なかった。

海岸漂着MPの測定結果をカネクロール由来と有機顔料由来に分けて図6~図8に示す。なお、発生源の推定は、4.2のケミカルマスバランス法による寄与率の算出過程における有機顔料由来かどうかの判断結果を考慮して行った。

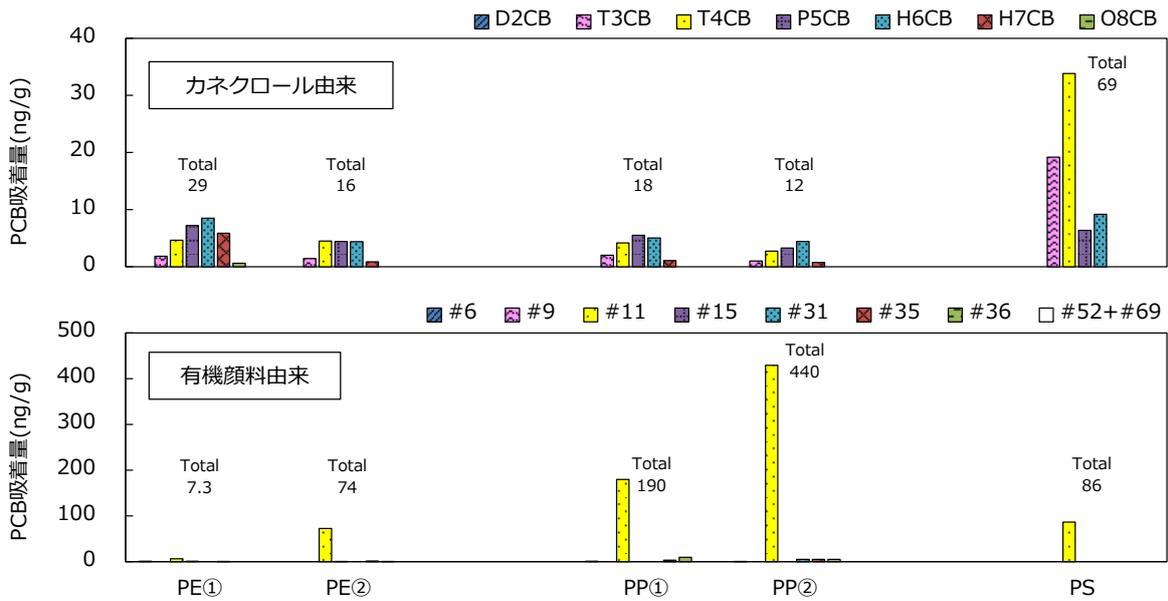


図6 2018年4月 相模湾 高浜台海岸における漂着MPの測定結果

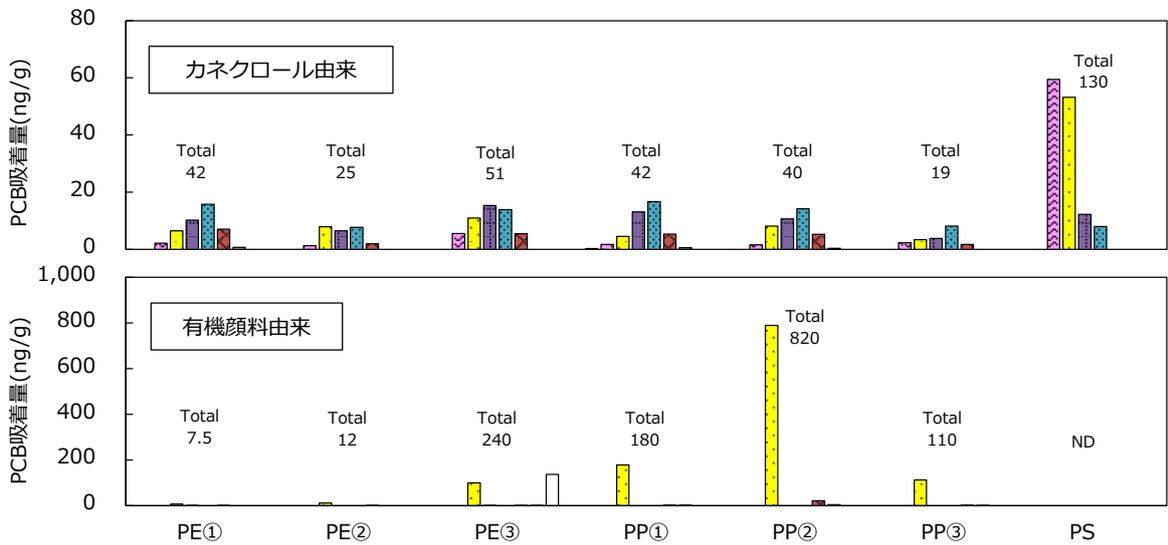


図7 2018年4月 相模湾 鶴沼海岸における漂着MPの測定結果

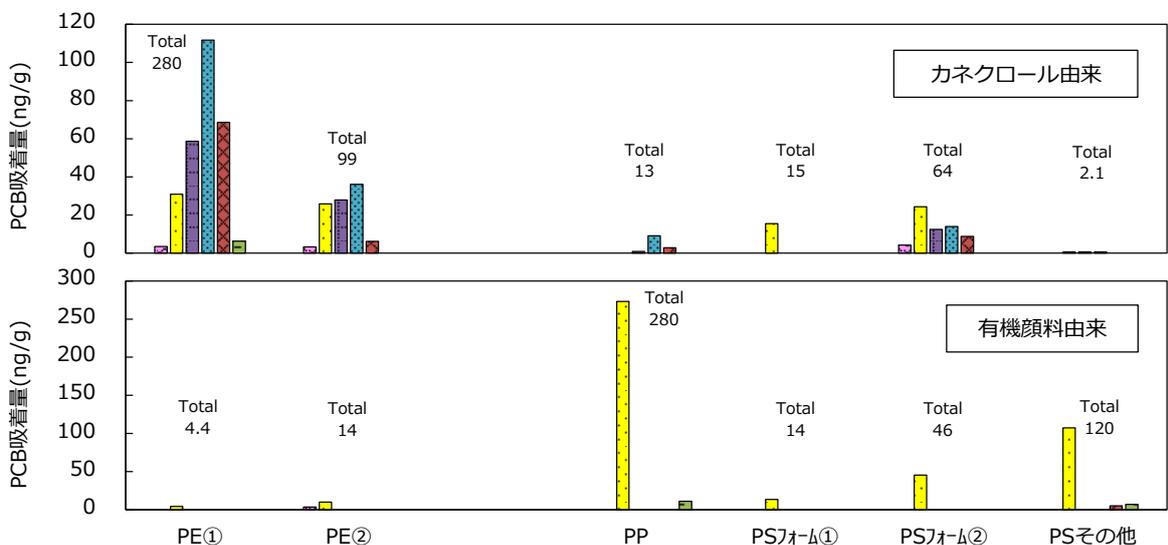


図8 2018年4月 東京湾 久里浜海岸における漂着MPの測定結果

### 4.2 各発生源の寄与率

4.1で推定した各発生源の寄与率を材質別に図9上に示す。

全ての採取地点・材質においてカネクロール及び有機顔料の寄与がほとんどを占め、その他(燃焼など)の寄与はごくわずかであった。PPは、#11の吸着量が多かったため、有機顔料の寄与率が80%以上と高くなった。

次に、カネクロールの標準品の分析で得られた異性体組成と、海岸漂着MPの異性体組成と比較することで、カネクロール由来分の内訳として、KC-300~KC-600の寄与率を算出した。

寄与率の算出は、ケミカルマスバランス法によりMicrosoft Excelのソルバー機能を用いて行った。測定結果から有機顔料及びその他由来と推定される異性体を除外し、測定結果との誤差が最小となるKC-300~KC-600の

寄与率を算出した(最小二乗法)。なお、#31、#52などはカネクロールにも含まれるため、除外あり・除外なしの2通りで計算を行い、算出した誤差を比較して、有機顔料由来として除外するかどうか判断した。

KC-300~KC-600の寄与率を材質別に図9下に示す。なお、測定試料量が少なかったために、測定結果の異性体組成と算出した異性体組成の一致が悪かったものは除外した。

PE及びPPは、高塩素化体を多く含むKC-500及びKC-600の寄与率が64~97%と高く、PSは、低塩素化体を多く含むKC-300及びKC-400の寄与率が高い傾向があった。

### 4.3 MPによるPCB汚染リスク

海洋環境のMPによるPCB汚染リスクは、MPの海中漂流量とMPのPCB吸着量の積に比例する。沿岸海域を漂流するMPは沿岸トラッピング(near-shore trapping)<sup>8)</sup>の作用

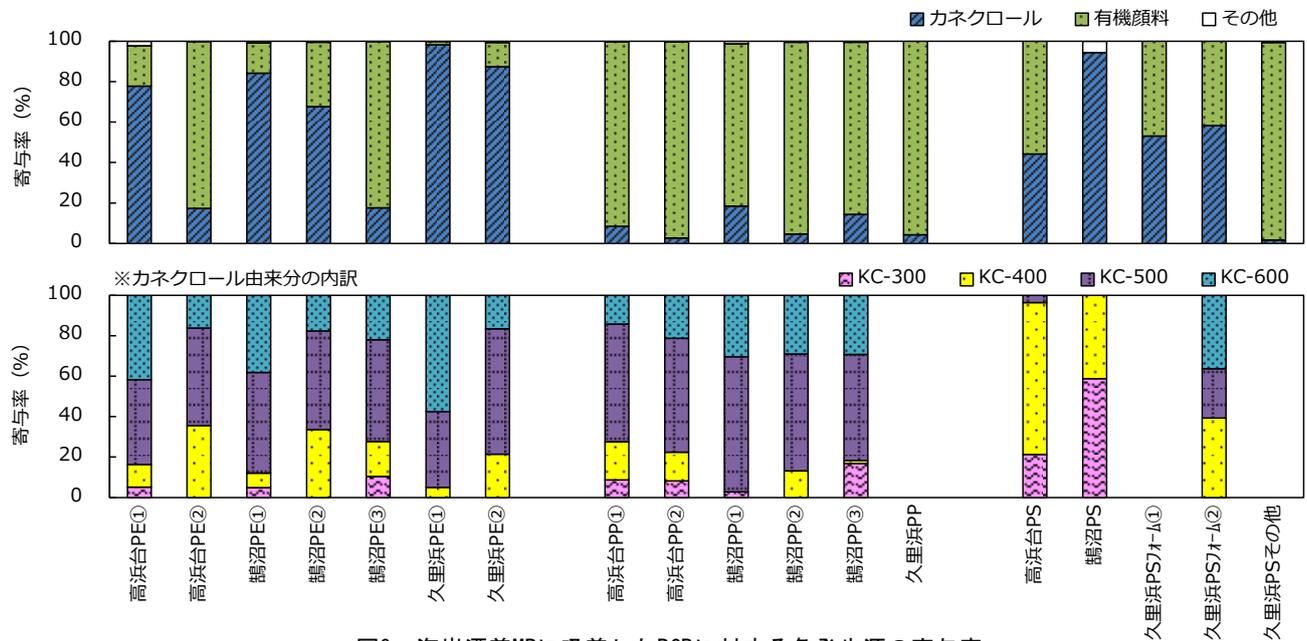


図9 海岸漂着MPに吸着したPCBに対する各発生源の寄与率

表5 沿岸海域のMPによるPCB汚染リスクの推定結果

採取地点 MP材質	相模湾 高浜台海岸				相模湾 鵜沼海岸				東京湾 久里浜海岸				
	PE	PP	PS	その他	PE	PP	PS	その他	PE	PP	PS	その他	
MP漂着量 <sup>※1</sup> (mg/m <sup>2</sup> )	4,100	1,900	130	410	860	400	170	51	240	30	260	66	
PCB 吸着量 <sup>※2</sup> (ng/g)	加加ル由来	22	15	69	-	39	34	140	-	180	13	18	-
	有機顔料由来	42	320	86	-	84	380	ND	-	9.5	280	84	-
	その他	0.48	1.0	ND	-	0.35	2.9	ND	-	0.76	ND	0.4	-
	総量	65	330	160	-	120	410	140	-	190	300	100	-
MP漂着量と PCB吸着量の 積(相対値) <sup>※3</sup>	加加ル由来	14	4.5	1.4	-	5.3	2.1	3.8	-	6.8	0.061	0.73	-
	有機顔料由来	27	95	1.8	-	11	24	-	-	0.36	1.3	3.4	-
	その他	0.31	0.31	-	-	0.048	0.18	-	-	0.021	-	0.02	-
	総量	42	<b>100</b>	3.2	-	17	26	3.8	-	7.2	1.4	4.2	-

※1 2017年5月~2018年5月の海岸調査で得られた代表的な漂着状況

※2 同じ採取地点・材質で複数検体ある場合は合算値

※3 高浜台海岸PPの総量を100とした値

により海岸と海中を行き来しているため、MPの海中漂流量はMPの海岸漂着量に比例すると考えれば、PCB汚染リスクは、MPの海岸漂着量とMPのPCB吸着量の積に比例すると推定できる。

既報<sup>6)</sup>の代表的なMP漂着量(2017年5月～2018年5月の調査結果)と今回得られたMPのPCB吸着量(同じ採取地点・材質で複数検体ある場合は合算値)から推定した沿岸海域のMPによるPCB汚染リスクを表5に示す。

最もリスクが高かったのは、高浜台海岸PPの有機顔料由来で、次いで高浜台海岸PEの有機顔料由来、鵠沼海岸PPの有機顔料由来、高浜台海岸PEのカネクロール由来であった。なお、有機顔料由来のリスクのほとんどが#11によるものであった。

各材質における採取地点の違いによるPCB吸着量の幅は1.4～2.9倍と小さかったが、MP漂着量の幅は2～63倍と大きかったため、MP漂着量の多寡によりPCB汚染リスクに差が出る結果となった。なお、MP漂着量は採取地点近くの河川の影響を受けていると推察される。

## 5. まとめ

MPに吸着したPCB全異性体の測定方法を確立し、相模湾沿岸域で採取した漂着MPを材質ごとに測定することで、PCB吸着量の実態を把握した。また、PCBの異性体組成から主な発生源がカネクロールと有機顔料であることが分かった。さらに、MP漂着量とPCB吸着量からMPによるPCB汚染リスクの傾向を推定することができた。

今後、他の時期に採取した漂着MPの測定を行い、採取地点、材質、季節などによる検出傾向の違いを明らかにする。また、河川水や海水などのPCB測定を行い、MPに関連した環境中でのPCBの挙動を明らかにする。

本研究は、平成30年度神奈川県シーズ探求型研究推進事業費により実施した。

## 6. 引用文献

1) Ogata Y., Takada H., Mizukawa K., Hirai H., Iwasa S., Endo S., Mato Y., Saha M., Okuda K., Nakashima A., Murakami M., Zurcher N., Booyatumanondo R., Zakaria M. P., Dung Le Q., Gordon M., Miguez C., Suzuki S., Moore C., Karapanagioti H. K., Weerts S., McClurg T., Burres E., Smith W., Velkenburg M. Van, Lang J. S., Lang R. C., Laursen D., Danner B., Stewardson N., Thompson R. C. : International Pellet Watch:Global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. 1. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs.

*Mar. Pollut. Bull.*, **58**, 1437-1446, 2009

2) Hirai H., Takada H., Ogata Y., Yamashita R., Mizukawa K., Saha M., Kwan C., Moore C., Gray H., Laursen D., Zettler E. R., Farrington J. W., Reddy C. M., Peacock E. E., Ward M. W. : Organic micropollutants in marine plastics debris from the open ocean and remote and urban beaches. *Mar. Pollut. Bull.*, **62**, 1683-1692, 2011

3) 高田秀重: International Pellet Watch(IPW): 海岸漂着プラスチックを用いた地球規模での POPs モニタリング. 地球環境, **19**, 135-145, 2014

4) Mato Y., Isobe T., Takada H., Kanehiro H., Ohtake C., Kaminuma T. : Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment. *Environ. Sci. Technol.*, **35**, 318-324, 2001

5) Endo S., Takizawa R., Okuda K., Takada H., Chiba K., Kanehiro H., Ogi H., Yamashita R., Date T. : Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets : Variability among individual particles and regional differences. *Mar. Pollut. Bull.*, **50**, 1103-1114, 2005

6) 池貝隆宏, 三島聡子, 菊池宏海, 難波あゆみ, 小林幸文: 相模湾沿岸域のマイクロプラスチック漂着特性. 神奈川県環境科学センター研究報告, **41**, 1-10, 2018

7) 中野武, 姉崎克典, 高橋玄太, 俵健二: 有機顔料製造過程での PCB 生成. 環境化学, **23**, 107-114, 2013

8) Isobe A., Kubo K., Tamura Y., Kako S., Nakashima E., Fujii N. : Selective transport of microplastics and mesoplastics by drifting in coastal waters. *Mar. Pollut. Bull.*, **89**, 324-330, 2014