

<報文>

## 相模湾漂着マイクロプラスチックに吸着したPCBの実態調査及び発生源別のリスク推定\*

小澤憲司\*\*・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

2017年秋季から2018年夏季にかけて相模湾沿岸域で採取した海岸漂着マイクロプラスチック (MP) のPCB吸着量を材質別に測定し、四季を通じた実態を把握した。また、MPに吸着したPCB各異性体について、カネクロールや有機顔料などの発生源を推定し、各発生源の寄与率を算出した。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発生源別に推定した。

### 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って、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。

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り、神奈川県環境科学センターでは、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を対象として調査研究を行っている。

既報<sup>1)</sup>では、MPに吸着したPCB全異性体の測定方法を確立し、2018年春季に採取した海岸漂着MPを材質で分別してPCB吸着量を測定し、そ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。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した。

本報では、既報<sup>1)</sup>に加えて2017年秋季、2018年冬季及び夏季に採取した試料MPのPCB吸着量を測定し、四季を通じた実態を把握した。また、材質に加えて、色及び形状で詳細に分別してPCB吸着量を測定し、発生源の推定を試みた。なお、本報の内容の一部については、神奈川県環境科学センター 研究報告<sup>2)3)</sup>に掲載している。

### 2. 方法

#### 2.1 測定試料

2017年秋季 (10月又は11月)、2018年冬季 (1月又は2月)、春季 (4月) 及び夏季 (6月又は7月) に、図1に示す相模湾の相模川河口付近の高浜台海岸 (平塚市)、引地川河口付近の鶴沼海岸 (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。

採取及び材質判別は既報<sup>4)</sup>の方法により行った。採取したMPから4.75 mmメッシュのふるいを通し2 mm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)、エチレ



図1 海岸漂着MP採取地点

\*Survey of PCBs on the Microplastics Found in Sagami Bay and Risk Estimation of Each PCBs Emission Source

\*\*Kenji OZAWA, Satoko MISHIMA

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

表1 試料MPの概要

採取年月	採取地点	試料分別	測定検体数				測定試料量
			PE	PP	PS	EVA	
秋季	2017年10月 高浜台海岸		2	2	1	-	0.01~
	2017年10月 鵜沼海岸		5	1	1	-	4 g程度
	2017年11月 久里浜海岸		1	1	1	-	
冬季	2018年1月 高浜台海岸	PE,PP,PSに分別し,	1	1	0	-	0.5~
	2018年1月 鵜沼海岸	採取量が多いものは	2	1	0	-	5 g程度
	2018年2月 久里浜海岸	複数検体 (EVAはPEに含めた)	1	1	1	-	
春季	2018年4月 高浜台海岸		2	2	1	-	0.03~
	2018年4月 鵜沼海岸		3	3	1	-	1 g程度
	2018年4月 久里浜海岸		2	1	3	-	
夏季	2018年7月 高浜台海岸	PE,PP,PS,EVAに	8	7	1	1	0.005~
	2018年6月 鵜沼海岸	分別し、さらに 色及び形状で分別	7	6	0	1	1.5 g程度

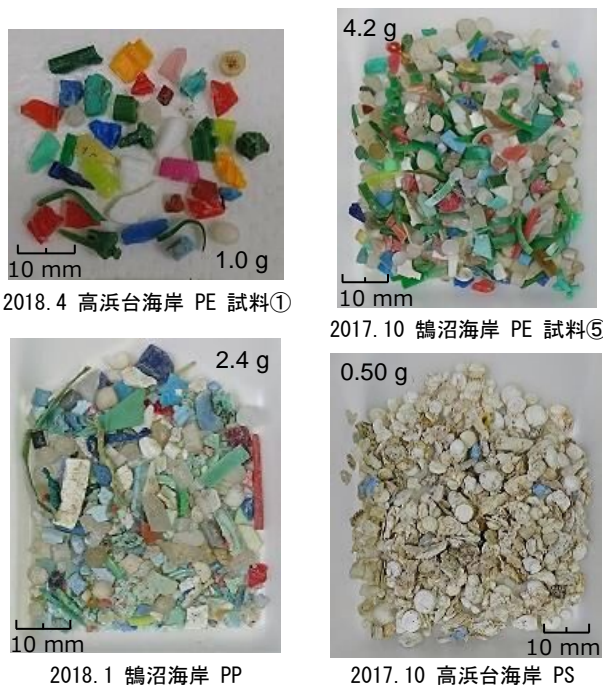


図2 2018年春季以前の試料MPの一例

ン酢酸ビニル共重合樹脂(EVA)に分別した。なお、PEとEVAのフーリエ変換赤外分光光度計 (FTIR) による赤外吸収スペクトルは類似しているため、2018年春季以前の試料MPではこれらを分別せず、EVAはPEに含めていた。

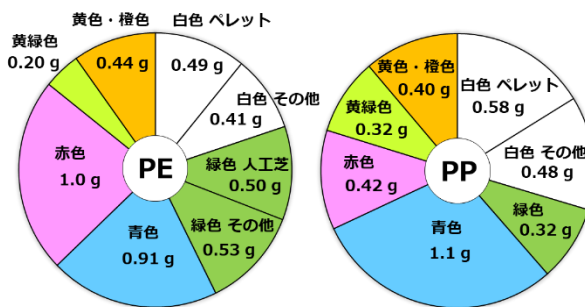
2018年春季以前の試料MPは、採取量が多いものは複数検体 (試料①, 試料②などと表記) とした。

2018年夏季の試料MPは、材質で分別した後、さらに色及び形状で詳細に分別して測定試料とした。

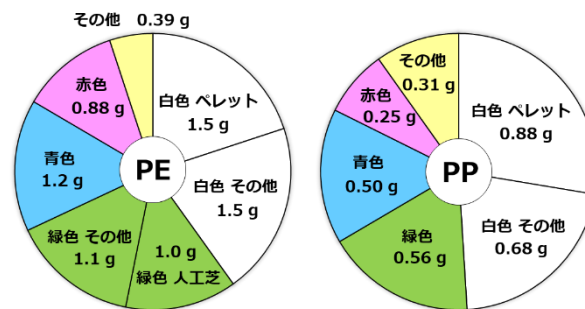
試料MPの概要を表1に、2018年春季以前の試料MPの一例を図2に、2018年夏季の試料MPの分別結果を図3に、特徴的な試料MPを図4に示す。

## 2.2 測定方法

既報<sup>1)</sup>と同様に、試料MPをヘキサン浸漬抽出し、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、四重極型GC-MSを用いてSIM法でPCB全異性体を分



※ 緑色人工芝の一部はEVA (13%)  
※PE及びPPの他、PS 白色が0.0046 g, EVA 白色 肥料殻が0.022 gあった。  
2018.7 相模湾 高浜台海岸



※ 緑色人工芝の一部はEVA (18%)  
※PE及びPPの他、EVA 白色 肥料殻が0.12 gあった。  
2018.6 相模湾 鵜沼海岸

図3 色及び形状による試料MPの分別結果



図4 特徴的な試料MP

析した。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 測定結果の総括

PCB吸着量測定結果の総括を、いずれかの試料MPで30 ng/g以上であったPCB異性体を抜かし、各同族体 (塩素数ごと) の合計量とともに表2に示す。なお、複数検体としたもの、もしくは色及び形状で分別したものは材質ごとに合算した。

表2 海岸漂着MPのPCB吸着量測定結果の総括

採取年月 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			
	2017年10月	2018年4月	2018年7月	2017年10月	2018年1月	2018年4月	2018年6月	2017年11月	2018年2月	2018年4月		
測定試料数	PE	PP	PS	EVA	PE	PP	PS	PE	PP	PS		
測定試料量 (g)	2	2	1	1	1	2	1	3	3	1		
検出下限値 (ng/g)	7.9	7.9	0.50	2.5	2.7	2.1	2.0	0.032	4.5	3.6		
定量下限値 (ng/g)	0.008	0.008	0.12	0.024	0.04	2.3	0.013	0.017	13	2.7		
PCB	2C1	2C1	2C1	2C1	2C1	2C1	2C1	2C1	2C1	2C1		
吸着量 (ng/g)	9.9	54	45	5.4	45	41	300	86	37	80		
#18	0.28	0.76	18	0.35	0.30	0.22	0.26	4.3	0.98	0.94		
#20+#33	0.18	0.40	22	0.35	0.25	0.27	ND	1.2	0.91	35		
#28	0.49	1.0	45	0.51	0.43	0.46	0.43	5.2	0.87	0.64		
#31	0.50	1.1	42	0.54	0.46	0.46	2.7	7.3	1.2	0.98		
#41+#64+#68+#71+#72	1.4	1.8	12	0.79	0.44	0.23	0.17	ND	1.1	1.1		
#43+#49	0.94	1.5	9.8	0.48	0.31	0.37	0.30	2.6	0.88	0.85		
#44	0.79	1.5	9.7	0.58	0.34	0.36	0.31	3.8	0.91	0.99		
#47+#48+#65+#75	0.65	0.83	6.2	0.39	0.24	0.33	0.30	4.3	0.63	0.67		
#52+#69	1.4	3.3	12	2.0	0.61	0.78	0.51	5.5	6.6	24		
#56+#60	1.0	0.93	5.1	0.95	0.43	0.65	0.40	5.9	0.83	0.64		
#61+#74	0.72	0.58	6.4	0.54	0.23	0.24	0.19	ND	0.38	0.26		
#66+#80	1.6	1.7	19	1.2	0.54	0.57	0.52	5.4	0.92	0.76		
#70	1.3	1.6	15	0.99	0.46	0.68	0.51	6.4	1.40	1.1		
#93+#95+#98+#102	1.6	3.8	4.8	0.56	0.44	0.73	0.47	ND	1.3	0.89		
#101	2.0	4.8	7.7	0.83	0.60	1.0	0.73	2.4	2.0	2.1		
#106+#118	1.8	2.9	10	0.77	0.53	0.62	0.66	ND	1.1	0.56		
#110+#120	2.4	4.2	9.5	0.82	0.72	1.1	0.75	4.0	2.0	1.1		
#138+#158+#160	6.1	4.2	12	1.4	1.5	1.1	0.94	3.2	2.0	0.93		
#139+#149	3.1	2.7	5.3	0.92	0.98	0.91	0.65	ND	1.6	0.58		
#153	5.7	3.6	9.2	1.4	1.4	1.4	1.6	1.1	3.2	2.4		
#180	2.5	0.92	3.4	0.61	0.73	1.0	0.31	ND	0.59	0.58		
#182+#187	1.7	0.59	1.8	0.46	0.56	0.51	0.23	ND	0.42	0.35		
1塩素化体 (M1CB)	0.02	0.68	1.9	ND	0.10	0.07	0.72	ND	0.073	0.28		
2塩素化体 (D2CB)	10	54	71	5.8	45	41	300	86	38	80		
3塩素化体 (T3CB)	3.2	6.7	190	3.1	2.9	2.5	15	19	6.7	7.8		
4塩素化体 (T4CB)	11	16	110	8.8	4.0	4.6	3.7	34	15	31		
5塩素化体 (P5CB)	17	27	58	5.7	4.1	5.8	4.4	6.4	11	7.4		
6塩素化体 (H6CB)	27	18	44	6.2	6.6	6.3	4.7	9.2	11	4.8		
7塩素化体 (H7CB)	11	3.8	15	2.5	2.9	3.2	0.91	ND	2.2	1.9		
8塩素化体 (O8CB)	2.8	0.29	1.1	0.29	0.33	0.29	ND	ND	0.10	0.15		
9塩素化体 (N9CB)	0.86	ND	ND	0.029	0.092	0.08	ND	ND	ND	0.030		
10塩素化体 (D10CB)	0.38	0.15	0.67	0.029	0.12	0.33	0.06	ND	0.11	0.29		
総量	83	130	490	32	66	65	330	160	84	130		

#○: 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  
※ 複数検体としたもの、もしくは色及び形状を分別したもののは材質ごとに合算  
ND: 検出下限値未満  
赤太字: 30ng/g以上の異性体  
赤太字上線: 各地点におけるPE、PP、PSそれぞれの総量の最大値  
ピンク太字: 100ng/g以上の同族体

2塩素化体の#11は、相模湾2地点では、多くの時季・材質で吸着量が多く、特にPPで顕著であった。一方、東京湾の久里浜海岸では、秋季にPS、春季にPP及びPSで多かったが、その他は少なかった。3塩素化体（#18, #28, #31など）及び4塩素化体（#52+#69, #66+#80, #70など）は、PSで吸着量が多い傾向がみられた。5塩素化体（#101, #106+#118など）及び6塩素体（#138+#158+#160, #153など）は、各材質で検出された。7塩素体（#180など）は、PE及びPPで吸着量が多い傾向がみられた。

総PCB吸着量は、PEが32～780 ng/g、PPが66～2,000 ng/g、PSが100～1,400 ng/g、EVAが60～72 ng/gであり、これまでの論文報告<sup>5~9)</sup>と同程度であった。全体的には時季による総PCB吸着量の傾向は明確ではなかったが、相模湾2地点では、秋季にPS、春季にPP、夏季にPEの総PCB吸着量が多く、傾向が類似していた。一方、東京湾の久里浜海岸では、冬季に全ての材質の総PCB吸着量が多く、全く異なる傾向であった。また、時季による総PCB吸着量の変動幅は、相模湾2地点の各材質では2～7倍であったのに対して、久里浜海岸 PSでは14倍と大きかった。

総PCB吸着量の最大値2,000 ng/gを記録した冬季 久里浜海岸 PPは、#11が少なく、3塩素化体及び4塩素化体が多いなど、他のPP試料と比べて特異な異性体組成であった。試料の外観では、図5に示す人工芝と推定される緑色の細長いフィルムを束ねた特異なMP個体があり、重量当たりの表面積が大きいため、PCB吸着量が多くなった可能性がある。

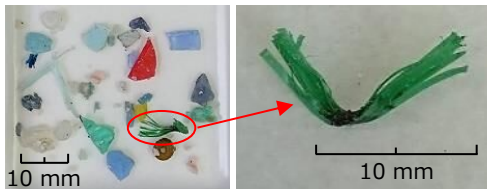


図5 特異なMP個体(2018.2 久里浜海岸 PP)

### 3.2 MPに吸着したPCBの発生源

既報<sup>1)</sup>のとおり、海岸漂着MPに吸着した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カネクロール (KC-300, KC-400, KC-500, KC-600など) 及び有機顔料の製造工程における副生物である。

有機顔料由来と推定される異性体<sup>10)</sup>は、#11, #31, #35, #36, #52+#69, #153などが検出された。

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は、#2, #14, #30, #78, #79, #209などが検出されたが、これらの吸着量は非常に少なかった。

### 3.3 各発生源の寄与率

既報<sup>1)</sup>のケミカルマスバランス法を改良し、カネクロール及び有機顔料（又はその他（燃焼など））の両方の寄与があると推定される異性体（#31, #52+#69, #77, #153など）は、その濃度を変数に追加し、カネクロール由来及び有機顔料（又はその他）由来の濃度をそれぞれ算出し、各発生源の寄与率を求めた。

各発生源の寄与率を材質別に図6左に示す。

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率が90%以上を占めた。相模湾2地点では、#11の吸着量の多寡に伴い、PP, PE, PSの順で有機顔料の寄与率が高い傾向であった。一方、東京湾の久里浜海岸のPP及びPSでは、時季によって傾向が全く異なっていた。

カネクロールの製品別 (KC-300, KC-400, KC-500, KC-600) の寄与率を材質別に図6右に示す。

PE及びPPでは、高塩素化体を多く含むKC-500及びKC-600の寄与率が高い傾向であった。一方、PSでは、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であった。

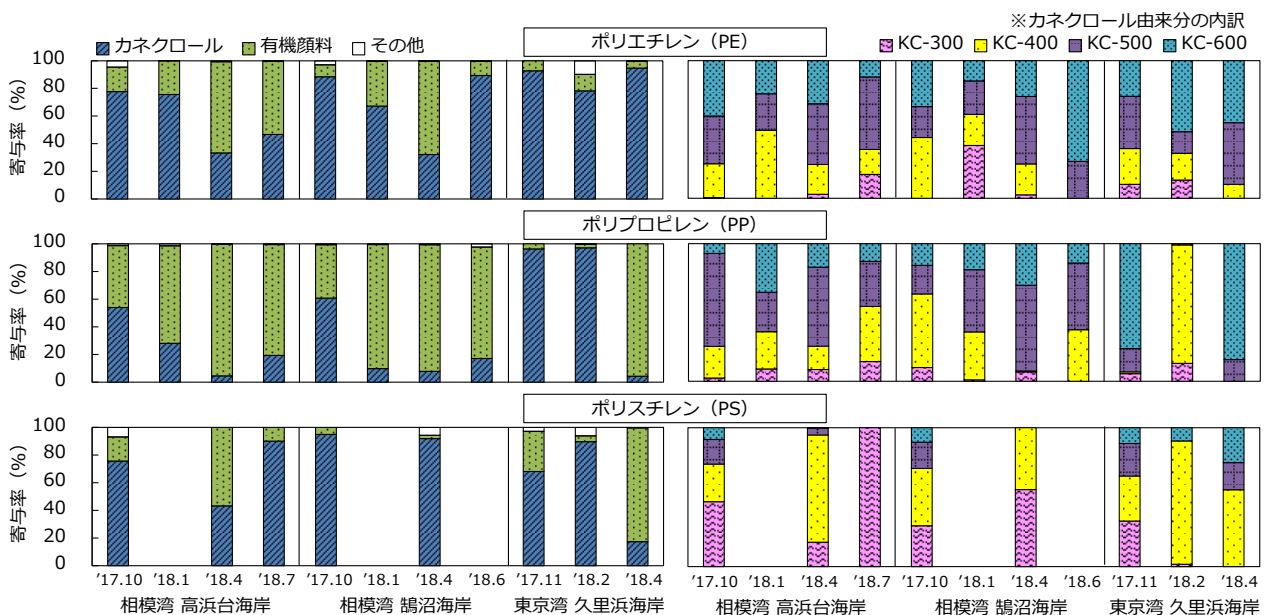


図6 海岸漂着MPに吸着したPCBに対する各発生源の寄与率

### 3.4 発生源別の測定結果

PCB吸着量測定結果の総括を、カネクロール由来と有機顔料由来に分けて図7に示す。

カネクロール由来のPCB吸着量は、相模湾2地点では、PE及びPSで多い傾向であり、時季による変動が大きかった。一方、PPでは時季によらず少なかった。東京湾の久里浜海岸では、PP及びPSで多い傾向であり、時季による変動が極めて大きかった。特に冬季のPPで1,900 ng/gと突出して多く、春季のPPの150倍の値であった。

有機顔料由来のPCB吸着量は、#11が主に検出され、PPで多く、PE及びPSで少ない傾向であり、時季による変動が大きかった。

2018年春季以前の同一試料から複数検体とした場合の測定結果を、カネクロール由来と有機顔料由来に分けて図8に示す。

同一試料からの複数検体におけるPCB吸着量の幅は、カネクロール由来では、PEで2～5倍、PPで2～3倍と変動が小さかった。一方、有機顔料由来では、PEで3～30倍、PPで2～7倍と変動が大きく、有機顔料由来のPCBの方がMP個体間で吸着量に大きな差があったと推察される。

秋季 鶴沼海岸 PEは、5検体で試料量が各4 g (350～400個)程度と多かったにも関わらず、試料①～④に対して試料⑤のみ、カネクロール由来のPCB吸着量が3～5倍で、異性体組成も全く異なっていた。これは、特異的にPCB吸着量の多いMP個体が1～数個程度存在していたためと推察されるが、試料の外観では特異なMP個体は見分けられなかった。試料①～④の測定結果の合算から試料⑤の測定結果を差し引くと、4塩素化体を主とした異性体組成が得られた(図9)。この異性体組成について、3.3の方法で寄与率を算出したところ、特異なMP個体に吸着していたPCBは、ほぼKC-400由来であると推定された。

2018年夏季の色及び形状で分別した場合の測定結果を、カネクロール由来と有機顔料由来に分けて図10に示す。

カネクロール由来のPCB吸着量は、鶴沼海岸のPE白色ペレットが3,300 ng/gと突出して多かった。この原因としては、試料に変色やくもりのあるペレットが多数含まれていたこと、あるいは、2018年8月～2019年3月の調査では引地川及び相模川の河川水でペレットが見つからなかった<sup>3)</sup>ことから、過去に流出又は遠方で流出した後、長期間にわたって海中を漂流し、多くのPCBを吸着したMP個体が含まれていた可能性が考えられる。この異性体組成について、3.3の方法で寄与率を算出したところ、KC-500が23%、KC-600が77%であった。

PE白色ペレット以外のPCB吸着量は10～200 ng/g程度であり、プラスチック破片(二次MP)のPCB吸着量は、比較的少なく、色及び形状による差が小さいことが分かった。

有機顔料由来のPCB吸着量は、PEでは黄色・橙色(鶴沼海岸ではその他に含まれる)が多かったが、これはMPの元となったプラスチック製品の着色に使用された黄色有機顔料に由来する可能性が考えられる。PPでは色及び形状によって極端な多寡がみられたが、色による傾向は不明瞭であった。また、PE及びPPの白色ペレットでは非常に少なく、主な有機顔料由来のPCBである#11が吸着しにくかったと推察される。

### 3.5 MPによるPCB汚染リスク

既報<sup>1)</sup>と同様に、代表的なMP漂着量(2017年5月～2018年5月)<sup>4)</sup>と本報の漂着MPのPCB吸着量(2017年10月～2018年7月)から推定した沿岸海域のMPによるPCB汚染リスクを表3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(相対値80)であった。高浜台海岸では、次いでPEのカネクロール由来(相対値49)、PEの有機顔料由来(相対値36)が高かった。鶴沼海岸では、PEのカネクロール由来(相対値71)が最もリスクが高く、次いでPPの有機顔料由来(相対値32)、PSのカネクロール由来(相対値29)が高かった。久里浜海岸では、PSのカネクロール由来(相対値38)が高かった。なお、有機顔料由来のリスクは、主に#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2～27倍、MP漂着量の幅は2～63倍であった。

PEではMP漂着量が多い相模湾2地点、PPではMP漂着量及び有機顔料由来のPCB吸着量が比較的多い相模湾2地点、PSではカネクロール由来のPCB吸着量が多い鶴沼海岸及び久里浜海岸でリスクが高い結果となった。

## 4. まとめ

海岸漂着MPのPCB吸着量について、四季を通じた試料採取及び測定を行い、季節ごとの実態が把握できた。また、相模湾と東京湾では、時季による吸着量の変動あるいは異性体組成が異なっていたため、PCBの発生源やMPへの吸着過程の違いが示唆された。

MPによるPCB汚染リスクの推定結果より、相模湾において注視すべきは、PEに吸着したカネクロール由来及び有機顔料由来のPCB、PPに吸着した有機顔料由来のPCB、PSに吸着したカネクロール由来のPCBであった。カネクロール由来のPCBについては、PEの白色ペレットなどで特異的に吸着量が多いMP個体が存在すること、有機顔料由来のPCBについては、主に#11であり、時季やMPの色及び形状による吸着量の変動が大きいことが分かった。

今後、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の挙動を検証する。

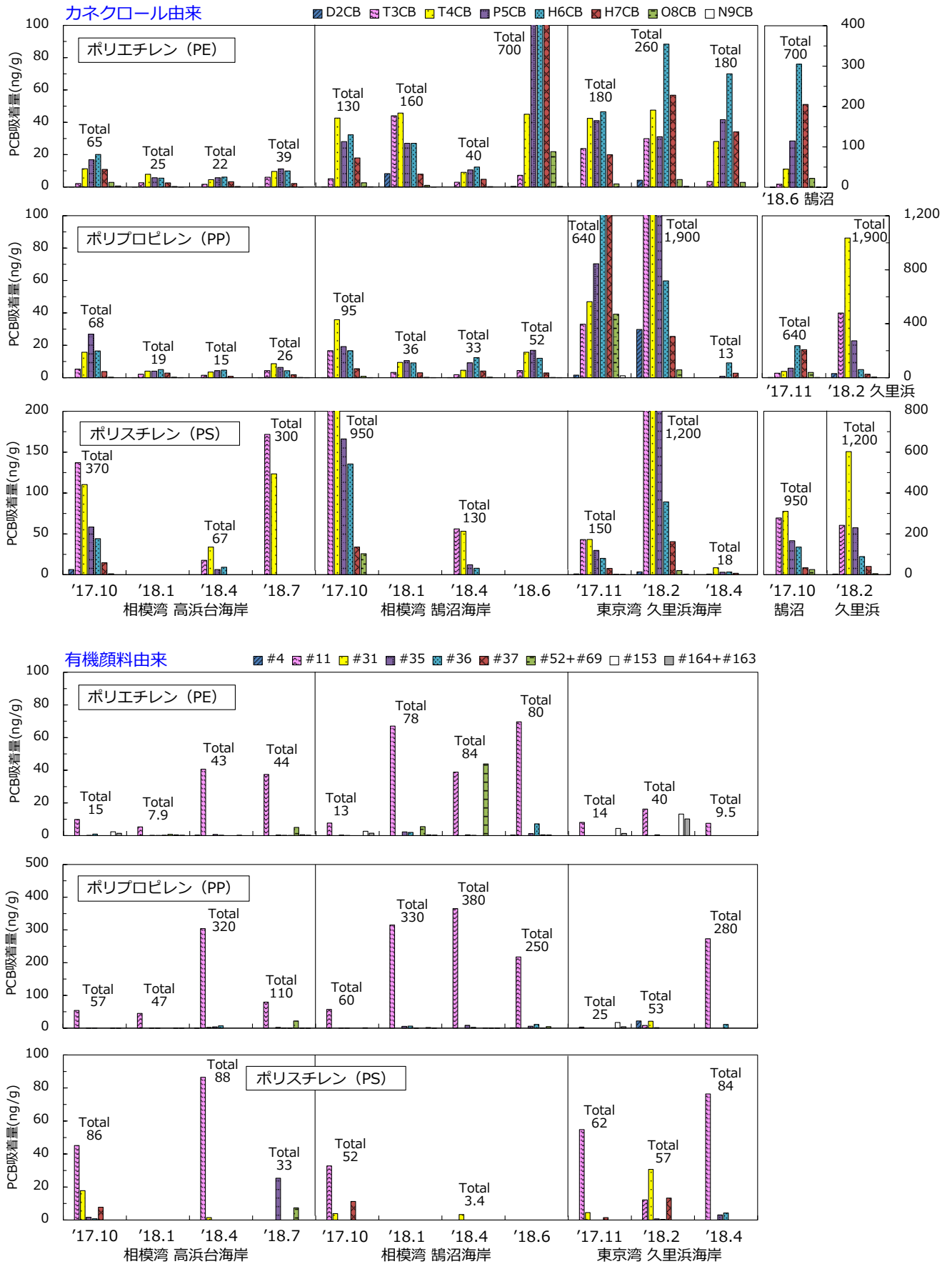


図7 海岸漂着MPのPCB吸着量測定結果の総括（発生源別）

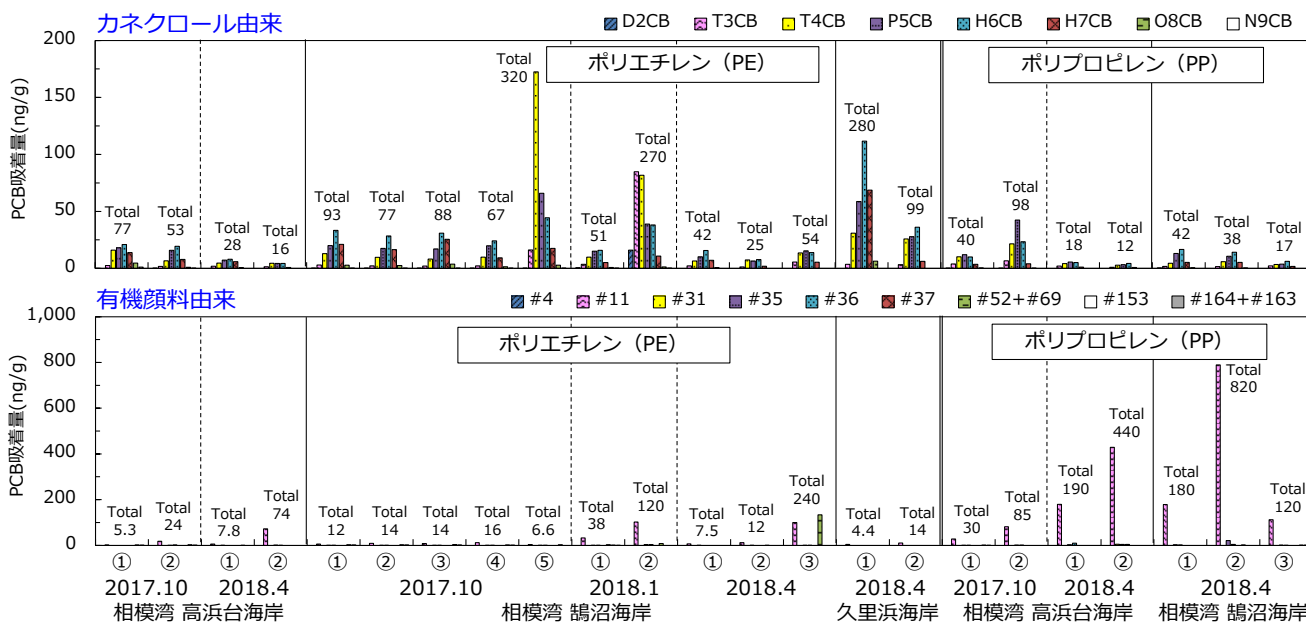


図8 同一試料から複数検体とした場合のPCB吸着量測定結果

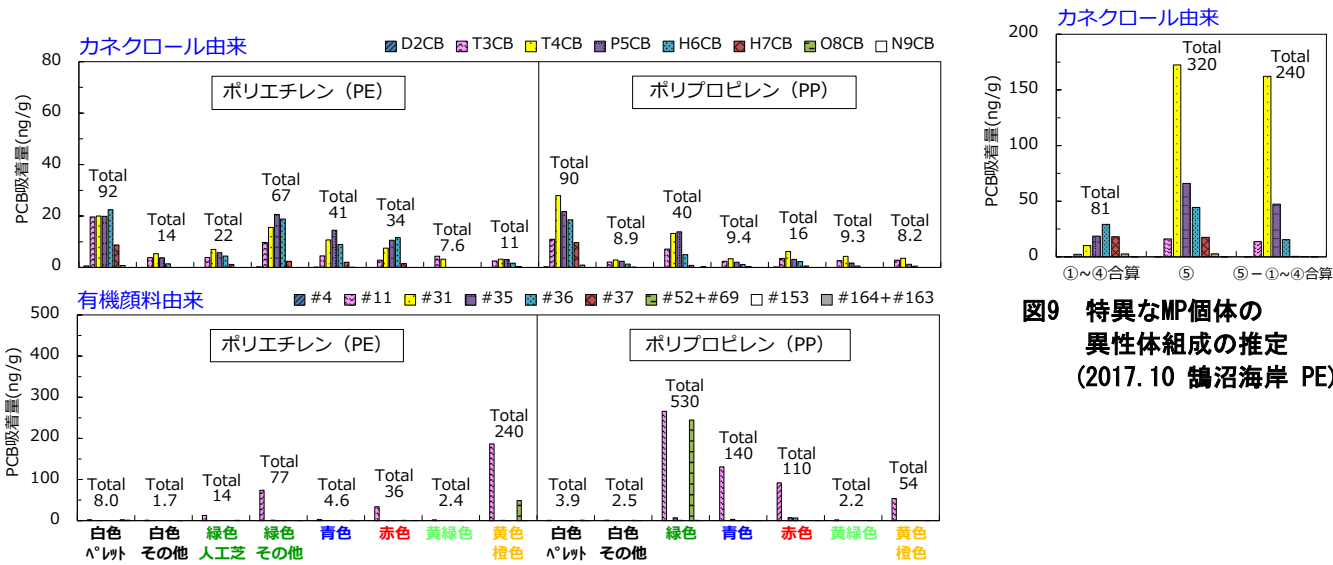


図9 特異なMP個体の異性体組成の推定 (2017.10 鶴沼海岸 PE)

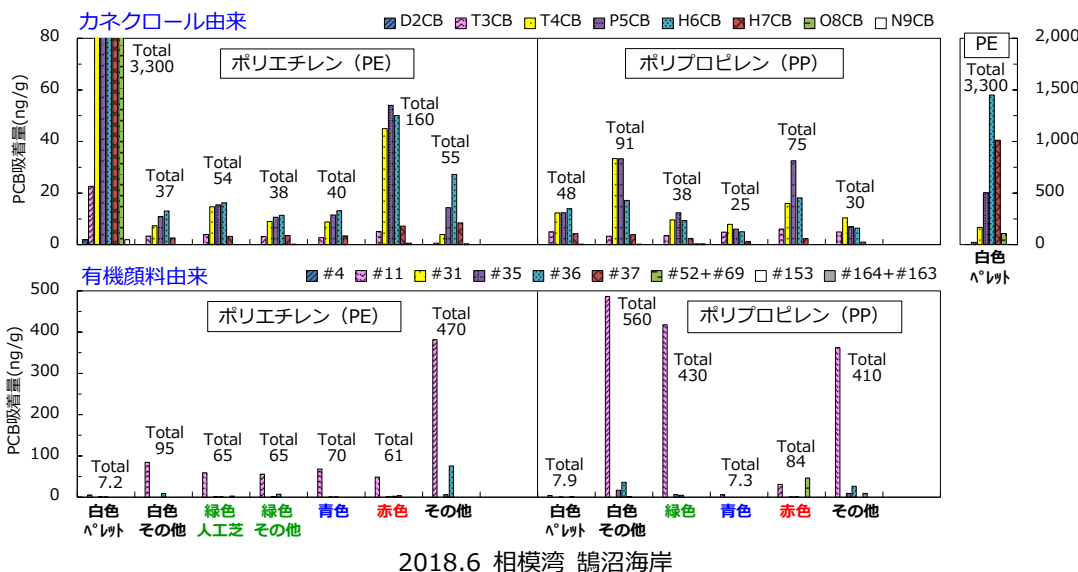


図10 色及び形状で詳細に分別した場合のPCB吸着量測定結果

表3 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 鶴沼海岸				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,※3</sup> (ng/g)	加加-ル由来	38	32	240	-	260	54	540	-	210	850	460	-
	有機顔料由来	27	130	69	-	63	250	28	-	21	120	68	-
	その他	1.1	1.1	11	-	2.2	3.3	4.1	-	11	1.0	30	-
	総量	66	170	320	-	320	310	570	-	240	970	560	-
MP漂着量と PCB吸着量の 積(相対値) <sup>※4</sup>	加加-ル由来	<b>49</b>	19	10	-	<b>71</b>	6.9	<b>29</b>	-	16	8.1	<b>38</b>	-
	有機顔料由来	<b>36</b>	<b>80</b>	2.9	-	17	<b>32</b>	1.5	-	1.6	1.2	5.6	-
	その他	1.5	0.65	0.47	-	0.60	0.42	0.22	-	0.86	0.0096	2.5	-
	総量	86	<b>100</b>	13	-	89	40	31	-	18	9.3	46	-

※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 高浜台海岸は2017年10月、2018年1月、4月、7月の平均値、鶴沼海岸は2017年10月、2018年1月、4月、6月の平均値、久里浜海岸は2017年11月、2018年2月、4月の平均値

※3 同じ採取地点・材質で複数検体とした場合、もしくは色及び形状で分別した場合は合算値

※4 高浜台海岸PPの総量を100とした値

## 5. 引用文献

- 小澤憲司, 池貝隆宏, 三島聡子: 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. 全国環境研会誌, **44**, 55-61, 2019
- 小澤憲司, 三島聡子: 相模湾漂着マイクロプラスチックに吸着したPCBの実態及び発生源の推定. 神奈川県環境科学センター研究報告, **43**, 18-27, 2020
- 神奈川県環境科学センター 調査研究部 マイクロプラスチック研究チーム: 相模湾漂着マイクロプラスチック (MP) の実態とその由来の推定<中間報告書>, 2019
- 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
- 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
- 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
- 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., Burren 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
- 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
- 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
- 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

本研究は、神奈川県シーズ探求型研究推進事業費（平成30年度）及び神奈川県成果展開型研究事業費（平成31年度～令和2年度）により実施した。