

Agilent 6470 トリプル四重極 LC/MS システムと InfinityLab Poroshell 120 EC-CN カラムによる底質中の塩素化パラフィン分析

著者

川中洋平¹

室谷佑京¹

松神秀徳²

滝埜昌彦³

¹株式会社環境管理センター

²国立研究開発法人国立環境研究所
資源循環領域 試験評価・適正管理
研究室

³アジレント・テクノロジー株式会社

要旨

本アプリケーションノートでは、Agilent 6470 トリプル四重極 LC/MS (LC/TQ) と InfinityLab Poroshell 120 EC-CN カラムによる底質中の塩素化パラフィン (CPs) の定量分析法を紹介します。

CPs は、金属加工油や塩化ビニル樹脂の可塑剤などに広く使用される有機塩素化合物ですが、炭素数 10～13 の短鎖塩素化パラフィン (SCCPs) は、2017 年 5 月に残留性有機汚染物質 (POPs) に関するストックホルム条約の対象物質に指定されています。さらに、炭素数 14～17 の中鎖塩素化パラフィン (MCCPs) は、現在、残留性有機汚染物質検討委員会におけるリスクプロファイル案作成のための情報収集が行われています。環境試料中の CPs 分析については、現在、超高分解能質量分析計による精密測定法が主流となりつつあります。その一方で、近年、LC/TQ による CPs の定量分析法が開発され^[1]、蒸気圧測定^[2]、プラスチック製品分析^[3-5]、廃棄物処理施設の大気調査^[6]、河川底質^[7]など、さまざまなニーズへの応用が進んでいます。そこで本研究では、底質中の CPs 分析について、Agilent 6470 LC/TQ と InfinityLab Poroshell 120 EC-CN カラムによる定量分析法の検討を行いました。

実験

塩素化パラフィン C₁₀-C₁₃ 混合液 (Dr. Ehrenstorfer 社製、塩素含有率 51.5 % および 63.0 % 標準液の等量混合液)、塩素化パラフィン C₁₄-C₁₇ 混合液 (Dr. Ehrenstorfer 社製、塩素含有率 42 % および 57 % 標準液の等量混合液)、塩素化パラフィン C₁₈-C₂₀ 混合液 (Dr. Ehrenstorfer 社製、塩素含有率 36 % および 49 % 標準液の等量混合液) を CPs の検量線溶液に使用しました。検討試料は、日本国内の河川底質 3 試料 (多摩川、荒川、江戸川) および底質の認証標準試料 (NIST SRM 1944 - New York/New Jersey Waterway Sediment) を使用しました。また、底質試料の前処理方法を図 1 に示します。

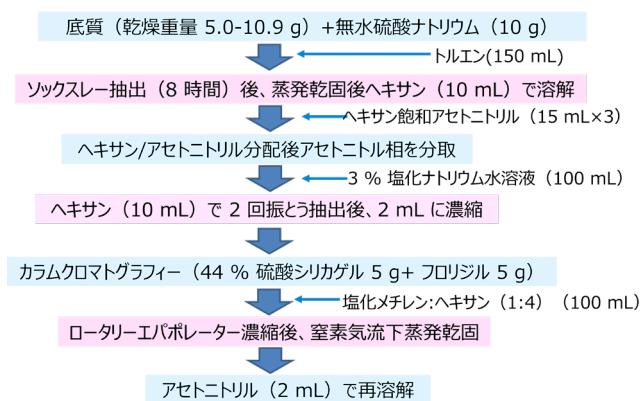


図 1. 底質試料の前処理方法

測定条件

システム

- 1260 Infinity II Flexible Pump (G7104C)
- 1260 Infinity II Multisampler (G7167A)
- 1260 Infinity II Multicolumn Thermostat (G7116A)
- 6470 Triple quadrupole LC/MS system

CPs の LC 分離は、表面多孔性シリカゲルにニトリル基を化学結合した充填剤の InfinityLab Poroshell 120 EC-CN カラムを使用し、5 mM 酢酸アンモニウムを含む LC/MS 用超純水 (移動相 A) とメタノール (移動相 B) によるグラジエントで行いました (表 1)。また、CPs のイオン化は、Agilent Jet Stream (AJS) テクノロジーによるエレクトロスプレーイオン化法 (ESI 法) により行いました (表 1)。CPs の多重反応モニタリング (MRM) 方式の測定は、プリカーサーイオンに酢酸イオン付加型分子を設定し、プロダクトイオンに酢酸イオン (低塩素化同族体) と脱プロトン化分子 (高塩素化同族体) を設定して行いました (表 2)。

表 1. CPs の LC/MS 測定条件

LC	Agilent 1260 Infinity II Prime LC System
カラム	InfinityLab Poroshell EC-CN (2.1 mm× 150 mm, 2.7 μm) P/N : 693775-905
流速	0.4 mL/min
移動相	A : 5 mM 酢酸アンモニウム B : メタノール
グラジエント	40 % B → (20 min) → 100 % B
カラム温度	40 °C
注入量	5 μL
MS	Agilent 6470 Triple quadrupole LC/MS System
イオン源	Agilent Jet Stream (AJS) 負イオンモード
測定モード	MRM
乾燥ガス	150 °C 6 L/min
シースガス	250 °C 12 L/min
ネブライザ圧	50 psi
キャピラリー電圧	4000 V
ノズル電圧	0 V

表 2. CPs の MRM 条件

SCCPs	プリカーサー	プロダクト	フラグメント	CE	SCCPs	プリカーサー	プロダクト	フラグメント	CE	LCCPs	プリカーサー	プロダクト	フラグメント	CE
C ₁₀ Cl ₄	339.0	59.0	80	15	C ₁₂ Cl ₄	366.8	59.0	80	10	C ₁₆ Cl ₄	450.9	59.0	60	15
C ₁₁ Cl ₄	372.9	59.0	100	15	C ₁₃ Cl ₄	400.8	59.0	80	10	C ₁₇ Cl ₄	484.9	59.0	60	15
C ₁₂ Cl ₄	406.8	59.0	100	15	C ₁₄ Cl ₄	434.8	59.0	100	10	C ₁₈ Cl ₄	518.8	59.0	60	15
C ₁₃ Cl ₄	440.8	59.0	80	15	C ₁₅ Cl ₄	468.8	59.0	100	10	C ₁₉ Cl ₄	552.8	492.8	60	10
C ₁₄ Cl ₄	474.8	414.8	80	5	C ₁₆ Cl ₄	504.8	444.8	100	5	C ₂₀ Cl ₄	588.9	528.8	60	10
C ₁₅ Cl ₄	508.8	448.8	80	5	C ₁₇ Cl ₄	538.8	478.8	80	5	C ₂₁ Cl ₄	622.9	562.8	60	5
C ₁₆ Cl ₄	542.8	512.8	80	10	C ₁₈ Cl ₄	572.8	542.8	100	5	C ₂₂ Cl ₄	656.8	596.8	60	5
C ₁₇ Cl ₄	576.8	576.8	80	10	C ₁₉ Cl ₄	606.8	606.8	100	10	C ₂₃ Cl ₄	690.8	630.8	60	10
C ₁₈ Cl ₄	610.8	610.8	80	10	C ₂₀ Cl ₄	640.8	640.8	100	10	C ₂₄ Cl ₄	724.8	724.8	60	10
C ₁₉ Cl ₄	644.8	644.8	80	10	C ₂₁ Cl ₄	674.8	674.8	100	10	C ₂₅ Cl ₄	758.8	758.8	60	10
C ₂₀ Cl ₄	678.8	678.8	80	10	C ₂₂ Cl ₄	708.8	708.8	100	10	C ₂₆ Cl ₄	792.8	792.8	60	10
C ₂₁ Cl ₄	712.8	712.8	80	10	C ₂₃ Cl ₄	742.8	742.8	100	10	C ₂₇ Cl ₄	826.8	826.8	60	10
C ₂₂ Cl ₄	746.8	746.8	80	10	C ₂₄ Cl ₄	776.8	776.8	100	10	C ₂₈ Cl ₄	860.8	860.8	60	10
C ₂₃ Cl ₄	780.8	780.8	80	10	C ₂₅ Cl ₄	806.8	806.8	100	10	C ₂₉ Cl ₄	894.8	894.8	60	10
C ₂₄ Cl ₄	814.8	814.8	80	10	C ₂₆ Cl ₄	836.8	836.8	100	10	C ₃₀ Cl ₄	928.8	928.8	60	10
C ₂₅ Cl ₄	848.8	848.8	80	10	C ₂₇ Cl ₄	868.8	868.8	100	10	C ₃₁ Cl ₄	962.8	962.8	60	10
C ₂₆ Cl ₄	882.8	882.8	80	10	C ₂₈ Cl ₄	902.8	902.8	100	10	C ₃₂ Cl ₄	996.8	996.8	60	10
C ₂₇ Cl ₄	916.8	916.8	80	10	C ₂₉ Cl ₄	936.8	936.8	100	10	C ₃₃ Cl ₄	1030.8	1030.8	60	10
C ₂₈ Cl ₄	950.8	950.8	80	10	C ₃₀ Cl ₄	970.8	970.8	100	10	C ₃₄ Cl ₄	1064.8	1064.8	60	10
C ₂₉ Cl ₄	984.8	984.8	80	10	C ₃₁ Cl ₄	1004.8	1004.8	100	10	C ₃₅ Cl ₄	1098.8	1098.8	60	10
C ₃₀ Cl ₄	1018.8	1018.8	80	10	C ₃₂ Cl ₄	1038.8	1038.8	100	10	C ₃₆ Cl ₄	1132.8	1132.8	60	10
C ₃₁ Cl ₄	1052.8	1052.8	80	10	C ₃₃ Cl ₄	1072.8	1072.8	100	10	C ₃₇ Cl ₄	1166.8	1166.8	60	10
C ₃₂ Cl ₄	1086.8	1086.8	80	10	C ₃₄ Cl ₄	1106.8	1106.8	100	10	C ₃₈ Cl ₄	1200.8	1200.8	60	10
C ₃₃ Cl ₄	1120.8	1120.8	80	10	C ₃₅ Cl ₄	1140.8	1140.8	100	10	C ₃₉ Cl ₄	1234.8	1234.8	60	10
C ₃₄ Cl ₄	1154.8	1154.8	80	10	C ₃₆ Cl ₄	1174.8	1174.8	100	10	C ₄₀ Cl ₄	1268.8	1268.8	60	10
C ₃₅ Cl ₄	1188.8	1188.8	80	10	C ₃₇ Cl ₄	1208.8	1208.8	100	10	C ₄₁ Cl ₄	1302.8	1302.8	60	10
C ₃₆ Cl ₄	1222.8	1222.8	80	10	C ₃₈ Cl ₄	1242.8	1242.8	100	10	C ₄₂ Cl ₄	1336.8	1336.8	60	10
C ₃₇ Cl ₄	1256.8	1256.8	80	10	C ₃₉ Cl ₄	1276.8	1276.8	100	10	C ₄₃ Cl ₄	1370.8	1370.8	60	10
C ₃₈ Cl ₄	1290.8	1290.8	80	10	C ₄₀ Cl ₄	1310.8	1310.8	100	10	C ₄₄ Cl ₄	1404.8	1404.8	60	10
C ₃₉ Cl ₄	1324.8	1324.8	80	10	C ₄₁ Cl ₄	1344.8	1344.8	100	10	C ₄₅ Cl ₄	1438.8	1438.8	60	10
C ₄₀ Cl ₄	1358.8	1358.8	80	10	C ₄₂ Cl ₄	1378.8	1378.8	100	10	C ₄₆ Cl ₄	1472.8	1472.8	60	10
C ₄₁ Cl ₄	1392.8	1392.8	80	10	C ₄₃ Cl ₄	1412.8	1412.8	100	10	C ₄₇ Cl ₄	1506.8	1506.8	60	10
C ₄₂ Cl ₄	1426.8	1426.8	80	10	C ₄₄ Cl ₄	1446.8	1446.8	100	10	C ₄₈ Cl ₄	1540.8	1540.8	60	10
C ₄₃ Cl ₄	1460.8	1460.8	80	10	C ₄₅ Cl ₄	1480.8	1480.8	100	10	C ₄₉ Cl ₄	1574.8	1574.8	60	10
C ₄₄ Cl ₄	1494.8	1494.8	80	10	C ₄₆ Cl ₄	1514.8	1514.8	100	10	C ₅₀ Cl ₄	1608.8	1608.8	60	10
C ₄₅ Cl ₄	1528.8	1528.8	80	10	C ₄₇ Cl ₄	1548.8	1548.8	100	10	C ₅₁ Cl ₄	1642.8	1642.8	60	10
C ₄₆ Cl ₄	1562.8	1562.8	80	10	C ₄₈ Cl ₄	1582.8	1582.8	100	10	C ₅₂ Cl ₄	1676.8	1676.8	60	10
C ₄₇ Cl ₄	1596.8	1596.8	80	10	C ₄₉ Cl ₄	1616.8	1616.8	100	10	C ₅₃ Cl ₄	1710.8	1710.8	60	10
C ₄₈ Cl ₄	1630.8	1630.8	80	10	C ₅₀ Cl ₄	1650.8	1650.8	100	10	C ₅₄ Cl ₄	1744.8	1744.8	60	10
C ₄₉ Cl ₄	1664.8	1664.8	80	10	C ₅₁ Cl ₄	1684.8	1684.8	100	10	C ₅₅ Cl ₄	1778.8	1778.8	60	10
C ₅₀ Cl ₄	1698.8	1698.8	80	10	C ₅₂ Cl ₄	1718.8	1718.8	100	10	C ₅₆ Cl ₄	1812.8	1812.8	60	10
C ₅₁ Cl ₄	1732.8	1732.8	80	10	C ₅₃ Cl ₄	1752.8	1752.8	100	10	C ₅₇ Cl ₄	1846.8	1846.8	60	10
C ₅₂ Cl ₄	1766.8	1766.8	80	10	C ₅₄ Cl ₄	1786.8	1786.8	100	10	C ₅₈ Cl ₄	1880.8	1880.8	60	10
C ₅₃ Cl ₄	1800.8	1800.8	80	10	C ₅₅ Cl ₄	1820.8	1820.8	100	10	C ₅₉ Cl ₄	1914.8	1914.8	60	10
C ₅₄ Cl ₄	1834.8	1834.8	80	10	C ₅₆ Cl ₄	1854.8	1854.8	100	10	C ₆₀ Cl ₄	1948.8	1948.8	60	10
C ₅₅ Cl ₄	1868.8	1868.8	80	10	C ₅₇ Cl ₄	1888.8	1888.8	100	10	C ₆₁ Cl ₄	1982.8	1982.8	60	10
C ₅₆ Cl ₄	1902.8	1902.8	80	10	C ₅₈ Cl ₄	1922.8	1922.8	100	10	C ₆₂ Cl ₄	2016.8	2016.8	60	10
C ₅₇ Cl ₄	1936.8	1936.8	80	10	C ₅₉ Cl ₄	1956.8	1956.8	100	10	C ₆₃ Cl ₄	2050.8	2050.8	60	10
C ₅₈ Cl ₄	1970.8	1970.8	80	10	C ₆₀ Cl ₄	1990.8	1990.8	100	10	C ₆₄ Cl ₄	2084.8	2084.8	60	10
C ₅₉ Cl ₄	2004.8	2004.8	80	10	C ₆₁ Cl ₄	2024.8	2024.8	100	10	C ₆₅ Cl ₄	2118.8	2118.8	60	10
C ₆₀ Cl ₄	2038.8	2038.8	80	10	C ₆₂ Cl ₄	2058.8	2058.8	100	10	C ₆₆ Cl ₄	2152.8	2152.8	60	10
C ₆₁ Cl ₄	2072.8	2072.8	80	10	C ₆₃ Cl ₄	2092.8	2092.8	100	10	C ₆₇ Cl ₄	2186.8	2186.8	60	10
C ₆₂ Cl ₄	2106.8	2106.8	80	10	C ₆₄ Cl ₄	2126.8	2126.8	100	10	C ₆₈ Cl ₄	2220.8	2220.8	60	10
C ₆₃ Cl ₄	2140.8	2140.8	80	10	C ₆₅ Cl ₄	2160.8	2160.8	100	10	C ₆₉ Cl ₄	2254.8	2254.8	60	10
C ₆₄ Cl ₄	2174.8	2174.8	80	10	C ₆₆ Cl ₄	2194.8	2194.8	100	10	C ₇₀ Cl ₄	2288.8	2288.8	60	10
C ₆₅ Cl ₄	2208.8	2208.8	80	10	C ₆₇ Cl ₄	222								

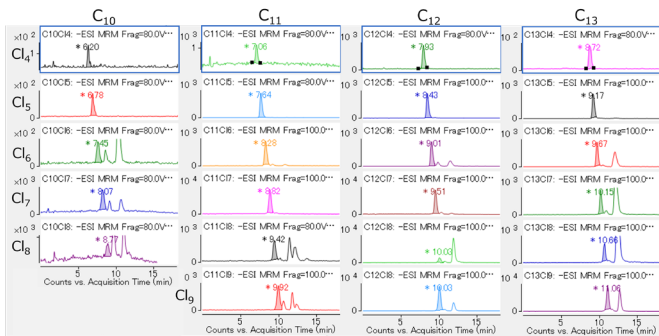


図 2. 塩素化パラフィン C₁₀-C₁₃ のクロマトグラム

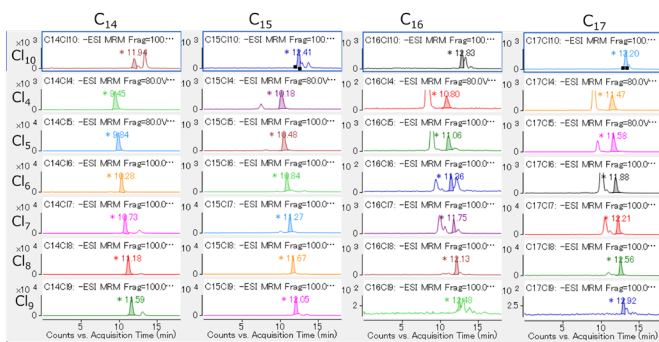


図 3. 塩素化パラフィン C₁₄-C₁₇ のクロマトグラム

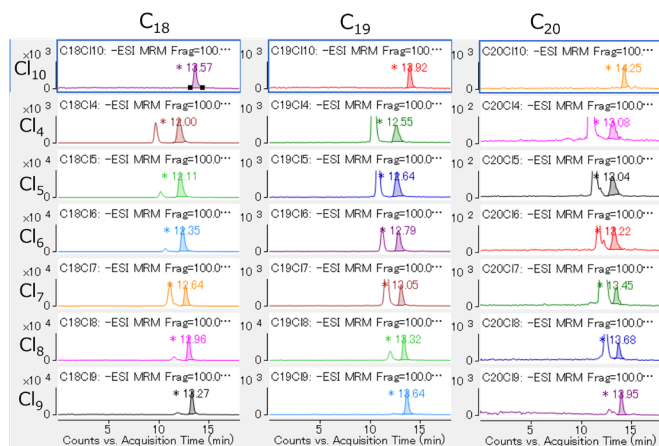


図 4. 塩素化パラフィン C₁₈-C₂₀ のクロマトグラム

本分析法による CP 同族体の装置検出限界、検量線の直線性の決定係数および再現性を表 3 に示します。CP 同族体の装置検出限界 (S/N = 3) は 0.17 ~ 6.07 ppb の範囲でした。CP 同族体の検量線の直線性は決定係数で全て 0.996 以上と良好であり、検量線 (2 ppm) の再現性の相対標準偏差は 7.21 % 以下であることが確認されました。

NIST SRM 1944 における塩素化パラフィン混合液の添加回収試験の結果を図 5 に示します。塩素化パラフィン混合液を添加した NIST SRM 1944 を調製し、本分析法を用いて CP 同族体を定量したところ、全 CP 同族体の回収率は 63~131 % の範囲であり、良好な回収率が確認されました。

表 3. CP 同族体の検出限界、検量線の直線性および再現性

SCCPs	検出限界 (S/N=3)			MCCPs	検出限界 (S/N=3)			LCCPs	検出限界 (S/N=3)		
	検出限界 (ppb)	直線性	再現性		検出限界 (ppb)	直線性	再現性		検出限界 (ppb)	直線性	再現性
C ₁₀ Cl ₁	5.13	0.999	5.12	C ₁₀ Cl ₄	0.51	0.999	1.74	C ₁₀ Cl ₇	0.17	0.999	1.21
C ₁₀ Cl ₂	1.11	0.999	7.21	C ₁₀ Cl ₅	0.56	0.999	0.52	C ₁₀ Cl ₈	0.42	0.999	0.33
C ₁₀ Cl ₃	2.36	0.999	6.21	C ₁₀ Cl ₆	2.06	0.999	0.78	C ₁₀ Cl ₉	0.40	0.999	0.86
C ₁₀ Cl ₄	2.87	0.999	3.55	C ₁₀ Cl ₇	1.50	0.999	1.35	C ₁₀ Cl ₈	0.42	0.999	1.32
C ₁₀ Cl ₅	4.20	0.999	4.25	C ₁₀ Cl ₈	0.58	0.999	1.03	C ₁₀ Cl ₉	0.50	0.998	1.03
C ₁₀ Cl ₆				C ₁₀ Cl ₉	0.57	0.999	0.56	C ₁₀ Cl ₁₀	0.47	0.998	1.45
C ₁₁ Cl ₁	6.07	0.999	3.32	C ₁₁ Cl ₄	0.34	0.999	0.63	C ₁₁ Cl ₇	0.38	0.999	1.35
C ₁₁ Cl ₂	0.98	0.999	1.21	C ₁₁ Cl ₅	1.20	0.999	0.71	C ₁₁ Cl ₈	0.21	0.999	0.89
C ₁₁ Cl ₃	0.49	0.999	1.25	C ₁₁ Cl ₆	0.40	0.999	0.45	C ₁₁ Cl ₉	0.36	0.999	1.08
C ₁₁ Cl ₄	1.29	0.998	1.12	C ₁₁ Cl ₇	0.35	0.999	0.32	C ₁₁ Cl ₁₀	0.27	0.996	1.47
C ₁₁ Cl ₅	5.39	0.998	1.78	C ₁₁ Cl ₈	1.20	0.999	0.25	C ₁₁ Cl ₉	1.20	0.998	0.94
C ₁₁ Cl ₆	0.78	0.999	1.06	C ₁₁ Cl ₉	0.81	0.999	1.12	C ₁₁ Cl ₁₀	0.45	0.999	1.47
C ₁₁ Cl ₇	1.26	0.999	2.01	C ₁₁ Cl ₁₀	0.50	0.999	1.11	C ₁₂ Cl ₁	1.20	0.999	0.94
C ₁₁ Cl ₈	0.40	0.999	0.32	C ₁₂ Cl ₄	0.54	0.999	1.78	C ₁₂ Cl ₇	0.89	0.999	3.11
C ₁₁ Cl ₉	0.67	0.999	0.65	C ₁₂ Cl ₅	1.20	0.999	1.35	C ₁₂ Cl ₈	1.65	0.999	1.57
C ₁₁ Cl ₁₀	0.40	0.999	1.31	C ₁₂ Cl ₆	1.21	0.999	3.21	C ₁₂ Cl ₉	1.25	0.999	0.84
C ₁₂ Cl ₁	0.53	0.999	0.45	C ₁₂ Cl ₇	0.29	0.999	1.89	C ₁₂ Cl ₁₀	1.56	0.999	2.04
C ₁₂ Cl ₂	0.26	0.999	1.02	C ₁₂ Cl ₈	1.20	0.998	1.02	C ₁₂ Cl ₉	1.72	0.999	1.45
C ₁₂ Cl ₃	0.55	0.997	1.72	C ₁₂ Cl ₉	0.34	0.999	0.89	C ₁₂ Cl ₁₀	1.38	0.999	1.36
C ₁₂ Cl ₄	0.37	0.999	1.31	C ₁₂ Cl ₁₀	2.63	0.998	1.46	C ₁₃ Cl ₁	0.34	0.999	0.57
C ₁₂ Cl ₅	0.38	0.998	0.35	C ₁₃ Cl ₄	0.61	0.999	1.23	C ₁₃ Cl ₇	1.54	0.999	1.35
C ₁₂ Cl ₆	1.48	0.999	1.35	C ₁₃ Cl ₅	0.85	0.998	2.22				
C ₁₂ Cl ₇	2.46	0.999	2.12	C ₁₃ Cl ₆	1.21	0.999	1.97				
C ₁₂ Cl ₈	0.43	0.998	1.02	C ₁₃ Cl ₇	1.21	0.999	3.05				
				C ₁₃ Cl ₈	1.12	0.999	1.71				
				C ₁₃ Cl ₉	0.19	0.999	2.65				
				C ₁₃ Cl ₁₀	1.80	0.999	3.56				
				C ₁₄ Cl ₁	0.32	0.999	1.08				

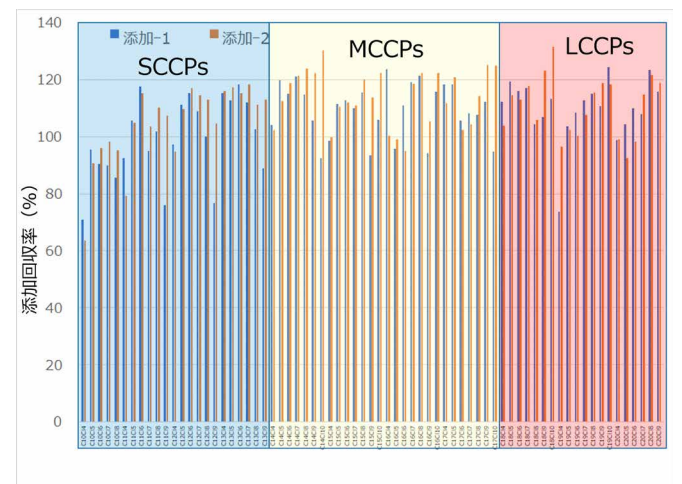


図 5. NIST 認証標準底質中塩素化パラフィンの添加回収率

一方、本分析法を用いて日本国内の河川底質 3 試料 (多摩川、荒川、江戸川) および NIST SRM 1944 を分析したところ、すべての底質試料から CPs が検出されました (図 6)。測定対象の CPs の総濃度は、多摩川 (1,100 ng/g-dry) が最も高く、NIST SRM 1944 (390 ng/g-dry) > 荒川 (62 ng/g-dry) > 江戸川 (41 ng/g-dry) の順でした。さらに今回、本分析法を用いて CP 同族体を個別で定量した結果、河川環境中への CPs の排出実態が明らかになりました。具体的に多摩川、荒川、江戸川では、主に MCCPs の寄与が推察されます。その一方、NIST SRM 1944 の採取地点では、SCCPs と MCCPs に加えて炭素数 18 以上の長鎖塩素化パラフィン (LCCPs) の寄与も推察されます。

NIST SRM 1944 から検出された CP 同族体のクロマトグラムを図 7 に示します。NIST SRM 1944 については、ポリ塩化ビフェニル (PCB) 異性体と有機塩素系農薬がそれぞれ 0.28 ~ 8.9 ng/g と 6.03 ~ 16.51 ng/g の濃度範囲で含まれていることが明らかになっています^[7]。今回、本分析法を用いて NIST SRM 1944 中の CP 同族体を分析したところ、PCB 異性体や有機塩素系農薬などの底質成分による質量干渉は確認されませんでした。また、日本国内の河川底質 3 試料についても同様に、底質成分による質量干渉は確認されませんでした。

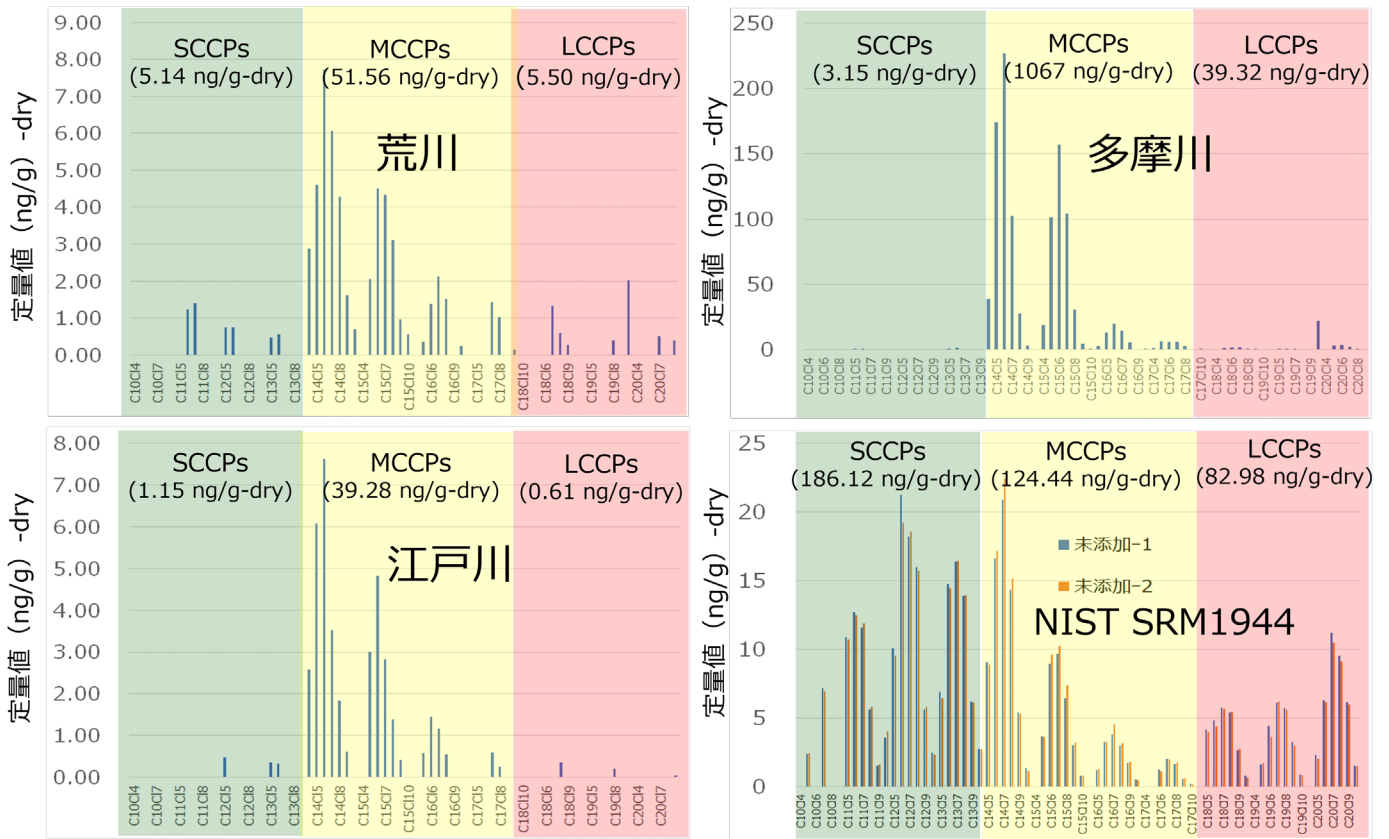


図 6. 日本国内の河川底質 3 試料および NIST SRM 1944 から検出された CP 同族体の濃度

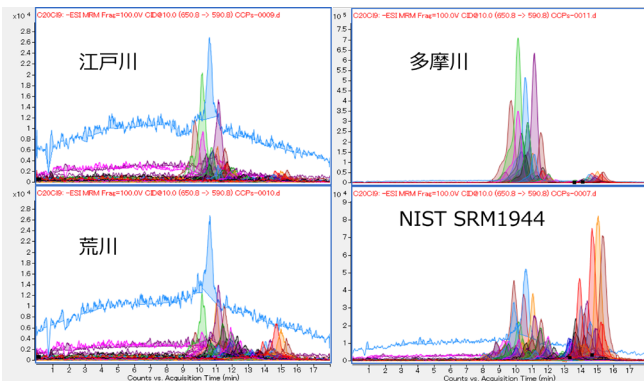


図 7. NIST SRM 1944 から検出された CP 同族体のクロマトグラム

底質成分に由来するマトリックス効果について検証した結果を図 8 に示します。NIST SRM 1944 および日本国内の河川底質 3 試料の前処理後の LC/TQ 測定用試料について、塩素化パラフィン混合液を添加したマトリックス効果検証用試料を調製し、本分析法を用いて CP 同族体を定量したところ、全 CP 同族体の相対強度は 78~121 % の範囲であり、底質成分による顕著なマトリックス効果は確認されませんでした。

以上の結果から、Agilent 6470 LC/TQ による MRM 測定と InfinityLab Poroshell 120 EC-CN カラムによる LC 分離による本分析法は、底質中の CPs 分析に適用可能であると確認されました。

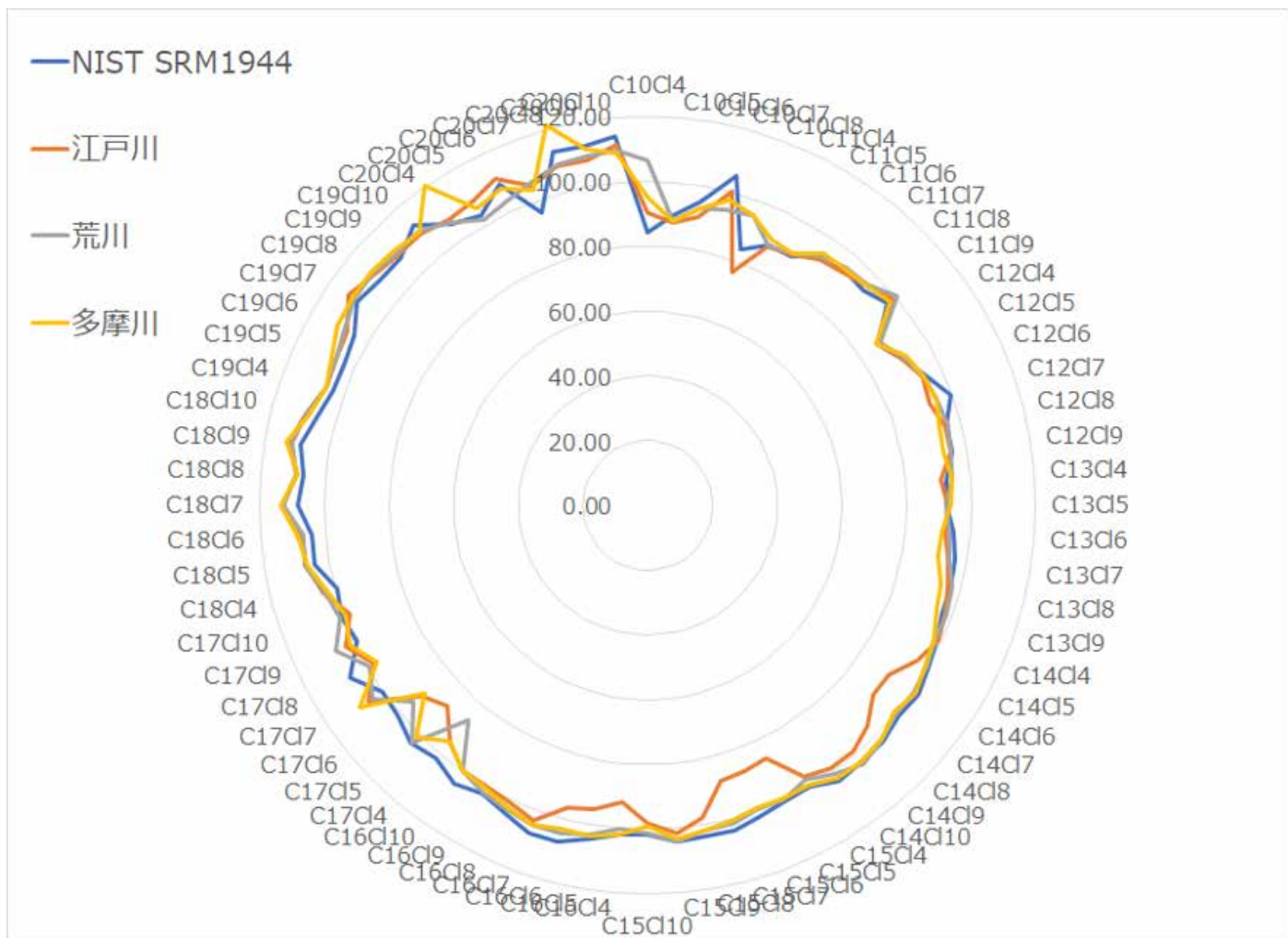


図 8. 底質成分によるマトリックス効果（塩素化パラフィン混合液に含まれる CP 同族体の強度を 100 としたときの相対強度を示す）

まとめ

底質中の CPs の含有量とその水環境中への排出実態を把握するには、Agilent 6470 LC/TQ による MRM 測定と InfinityLab Poroshell 120 EC-CN カラムによる LC 分離が有用です。日本国内の河川底質 3 試料および NIST SRM 1944 の分析では、底質成分による質量干渉とマトリックス効果がないことが確認されています。さらに、CPs の含有量のみならず、SCCPs、MCCPs、LCCPs の寄与が明らかになりました。

参考

1. Matsukami, H., Takemori, H., Takasuga, T., Kuramochi, H., Kajiwara, N. Liquid chromatography–electrospray ionization-tandem mass spectrometry for the determination of short-chain chlorinated paraffins in mixed plastic wastes, *Chemosphere* **2020**, 244, 125531. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125531>
2. Hammer, J., Matsukami, H., Kuramochi, H., Endo, S. Direct measurements and modeling of congener group specific vapor pressure for chlorinated paraffins, *Chemosphere* **2021**, 281, 130909. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130909>
3. McGrath, T.J., Poma, G., Matsukami, H., Malarvannan, G., Kajiwara, N., Covaci, A. Short- and Medium-Chain Chlorinated Paraffins in Polyvinylchloride and Rubber Consumer Products and Toys Purchased on the Belgian Market, *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2021**, 8, 1069. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031069>
4. Guida, Y., Matsukami, H., Kajiwara, N. Short- and medium-chain chlorinated paraffins in polyvinyl chloride consumer goods available in the Japanese market, *Science of The Total Environment* **2022**, 849, 157762. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157762>
5. Agilent 6470 LC/TQ と InfinityLab Poroshell 120 EC-CN カラムによる塩化ビニル樹脂中の塩素化パラフィン分析, Agilent Technologies, publication 5994-5521JAJP
6. 松神秀徳, 倉持秀敏. 廃棄物処理・再資源化に伴う塩素化パラフィンおよびリン系難燃剤の大気排出実態調査, 第 29 回環境化学討論会要旨集 **2021**, WO-025.
7. 滝埜昌彦, 川中洋平, 室谷佑京, 松神秀徳. LC-MSMS を使用した河川底質中短鎖, 中鎖, 長鎖塩素化パラフィンの一斉分析, 第 30 回環境化学討論会要旨集 **2022**, P-50.

ホームページ

www.agilent.com/chem/jp

カスタムコンタクトセンタ

0120-477-111

email_japan@agilent.com

本製品は一般的な実験用途での使用を想定しており、医薬品医療機器等法に基づく登録を行っておりません。本文書に記載の情報、説明、製品仕様等は予告なしに変更されることがあります。

DE51653206

アジレント・テクノロジー株式会社

© Agilent Technologies, Inc. 2022

Printed in Japan, November 21, 2022

5994-5554JAJP