

## 報告 (Note)

### プラスチック製品に含まれる親水性化合物の溶出特性と最終処分場からの排出実態に関する研究

坂本広美  
(環境技術部)

#### Studies on leaching characteristics of hydrophilic compounds in plastic products and their release from waste landfills

Hiromi Sakamoto  
(Environmental Technology Division)

キーワード：ビスフェノール A (BPA) , 4-ノニルフェノール (NP) , 1,4-ジオキサン, 溶出試験, 浸出水

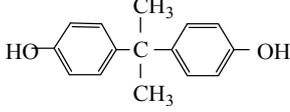
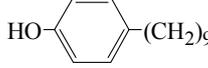
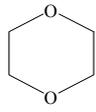
#### 1 はじめに

平成 12 年に「循環型社会形成推進基本法 (循環型社会基本法)」が制定され、廃棄物・リサイクル対策の優先順位が法定化された。第一に、廃棄物の発生を抑制 (Reduce:リデュース) し、第二に廃棄物を再使用 (Reuse:リユース) し、第三に廃棄物を再生利用 (Recycle:リサイクル) するいわゆる「3R」を推進した後に、熱回収を行い、最後にどうしても循環利用できない廃棄物は適正処分することになっている。平成 10 年より施行されている「容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律 (容器包装リサイクル法)」を始めとした各種リサイクル法の制定により、リサイクル率は大幅に向上し、資源化量の増加が認められている。しかし、平成 15 年度における全国のごみ処理フロー図によれば<sup>1)</sup>、総資源化量が 916 万トンであるのに対し、最終処分量は、直接処分される量は減少しているものの中間処理後に最終処分される量を合わせると 845 万トンと、集団回収を除く総排出量 5,161 万トンの 16.4 %を占める。将来的には、現在埋め立てられている焼却残渣のスラグ化等により有効利用が促進され、最終処分量は減少すると考えられる。しかしながら、どんなに 3R の取り組みを推進しても、最終処分量がゼロになることは考えにくい。当面は限りある埋め立て資源を少しでも長く、そして有効に使用する必要がある。また、最終処分場は埋め立て終了後も長期間にわたって維持管理が必要とされるため、過去に埋め立てが終了している処分場を早期に安定化させ、跡地の有効利用を行って適切に運営していくことが求められている。特に、昭和 52 年に出された「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終

処分場に係る技術上の基準を定める命令」(総理府・厚生省令、いわゆる「共同命令」)は数回にわたって改正されているため、現在の構造基準に適合しない旧タイプの処分場が神奈川県内には多く存在しており、これらを適切にコントロールするための政策が求められている。つまり、最終処分場の問題に関しては、将来的に望ましいあり方と過去に埋め立てられた処分場を今後どのように扱うかの両面について、検討する必要がある<sup>2)</sup>。

一方、廃棄物として排出されるもののうち、特にプラスチック製品については、その利便性および汎用性から近年使用量が急速に伸びており、廃棄物問題の中でも重要な位置を占めている。軽量であるにもかかわらず容積が大きいこと、また燃焼カロリーが高いことなどの特徴が、焼却処理あるいは埋め立て処分のいずれにおいても障壁となり、適正な処理・処分に関する議論が現在でも続いている状況にある<sup>3)</sup>。加えて、近年の分析技術の向上により、プラスチック製品に含有している様々な添加剤が環境中へ排出される可能性が指摘されており<sup>4)</sup>、これらの化学物質が生態系あるいはヒトの健康に与える影響が懸念されている。中でも、浸出水から高濃度・高頻度で検出されるビスフェノール A (BPA) および 1,4-ジオキサン、そして生態系への影響が懸念されている 4-ノニルフェノール (NP) などの親水性化合物については、処分場に持ち込まれるプラスチック製廃棄物との関連が疑われているが、これまでに各々の物質の溶出特性あるいはそれぞれの排出源は明らかになっていない。そこで本研究では、最終処分場における親水性化合物の溶出機構を解明し、より詳細な排出実態を把握することを目的とした。

表 1 対象物質の構造式および性質

	BPA	NP	1,4-ジオキサン
構造式			
溶解度	120 mg/L (25℃)	6.35 mg/L (25℃)	無制限に溶解
Log Kow	3.32	5.76 (p-n-nonylphenol)	-0.27
有機炭素吸着定数(Koc)	314, 1,524	60,000	—
蒸気圧	5×10 <sup>-6</sup> Pa (20℃)	0.01 kPa (20℃)	41 hPa (20℃)

本報告は、これらの結果についてまとめた論文<sup>5,6,7,8)</sup>を要約したものである。

## 2 方法

### 2.1 対象物質の性質

対象物質の構造および主な性質を表1に示した<sup>9,10,11)</sup>。溶解度およびオクタノール/水分分配係数 (Log Kow) を比較すると、それぞれの物質の親水性が 1,4-ジオキサン ≫ BPA > NP の順に小さくなるのがわかる。ただし、1,4-ジオキサンの蒸気圧は 41 hPa と比較的高く、揮発性有機塩素化合物であるトリクロロエチレン (78 hPa) とテトラクロロエチレン (19 hPa) の間に位置するため、水との接触がなければ比較的容易に大気中へ揮散するというのが BPA および NP との大きな相違点であった。

### 2.2 プラスチック製品および廃棄物に含まれる親水性化合物の溶出特性化試験

プラスチック製品または最終処分場に搬入される廃棄物のうち、BPA, NP および 1,4-ジオキサンが含まれている可能性があるものを対象試料とした。まず、それぞれの試料に含まれている対象物質の最大溶出可能量を把握するため、含有量試験を行った。次に、溶出試験を行うに当たり、溶出量の経時変化を調べて溶出量が一定となる時間 (溶出時間) を決定した。試料と溶出溶媒 (純水) の液固比 (L/S) は、環境庁告示 13 号の溶出試験と同じく 10 とした。さらに長期的な溶出挙動を把握するため、溶出溶媒を入れ替えて行う連続バッチ (serial batch) 試験を行った。加えて、物質によっては溶出溶媒の pH によって溶出量が異なる可能性が考えられたため、pH 依存性試験により確認を行った。

### 2.3 親水性化合物の最終処分場からの排出実態

神奈川県内にある一般廃棄物の最終処分場 (12 施設) および産業廃棄物の最終処分場 (安定型; 4 施設, 管理型; 5 施設) 計 21 か所を対象として、各処分場から浸出水原水および処理後の放流水を採取し、BPA および NP の分析を行った。得られた分析結果から、処分場の特性と BPA および NP 濃度の関連性について考察した。県内には閉鎖後年数を経た処分場が多く存在していたことから、その古い処分場についてさらに詳細に調べるため、埋め立て廃棄物が異なる 4 か所を選び、浸出水に含まれる対象物質の濃度変動とその要因、特に影響が大きいファクターを明らかにするため、年間を通じて継続的なモニタリングを行った。対象とした 4 か所の最終処分場の概要を表2に示した。

表 2 対象処分場の概要 (平成 20 年 3 月現在)

処分場	分類	埋立物	埋立期間 (年)	閉鎖後年数	遮水工	跡地利用状況
A	一般廃棄物管理型	廃プラスチック類	11	21	底面粘土・法面シート	グラウンド
B	一般廃棄物管理型	焼却残渣	8	21	底面・法面シート	杉林
C	一般廃棄物管理型	焼却残渣・不燃物	15	13	底面粘土・法面シート	草地
D	産業廃棄物管理型	廃プラスチック類等	15	22	底面粘土・法面シート	雑木林

## 2. 4 分析方法

BPA の分析は環境庁のマニュアル<sup>12)</sup>に従い、試料中の浮遊物質量を考慮して溶媒抽出法を選択した。ただし、試料量は 500 mL、誘導体化試薬には、N,O-bis(Trimethylsilyl)tri fluoroacetamide (BSTFA) with 1% Trimethyl chlorosilane (Pierce Biotechnology Inc.製)を使用した。なお、BPA の定量下限値は 0.05 µg/L であった。NP は BPA と同じ方法で測定が可能であり、定量下限値は 0.1 µg/L であった。また、1,4-ジオキサンの分析は、水道基準に基づく方法<sup>13)</sup>に従って行い、定量下限値は 0.1 µg/L であった。

## 3 結果と考察

### 3. 1 プラスチック製品および廃棄物に含まれる親水性化合物の溶出特性化試験

#### 3. 1. 1 含有量試験

対象試料における BPA および NP の含有量試験結果を表 3 に示す。塩化ビニル樹脂 (PVC) 製品 (PVC-1~4) あるいは PVC 製埋め立て廃棄物 (WP-1~3 および 5) には、BPA が 7.56

~1,370 µg/g 含まれていた。PVC-1~4 で BPA 含有量が高かったのは、これらが軟質の PVC であり、フタル酸エステル類で可塑化された PVC の酸化防止目的で BPA が使用されるためである<sup>14)</sup>。これに対し、硬質の PVC である水道パイプ (PVC-5) からは、BPA が検出されなかった。PC 製品 (PC-1,2) あるいはエポキシ樹脂含有舗装 (EP-1,2) には、原料として使用した BPA のうち、未反応のものあるいは製造時・使用時の熱履歴によって分解したものが含まれていたと考えられるが、その量は PVC と比較して少なかった。また、BPA は一般廃棄物の焼却灰 (AD-1~3) にはほとんど含まれないが、産業廃棄物の焼却灰 (AI-1~5) では、試料により高い傾向を示した。AI-4 を採取した施設では、医療廃棄物を多く取り扱っており、透析用のチューブ等は PVC 製であること<sup>15)</sup>が高い含有量を示した原因と考えられた。

一方、NP の場合には、多くの PVC 製品および一部の PC 製品に含まれることが明らかになった。また、その量はほぼ一定で、BPA

と異なり製品による違いが小さかった。河村ら<sup>16)</sup>は、NP がプラスチック製品から検出される原因として、酸化防止剤等として使用されているトリス (ノニルフェニル) フォスファイトの不純物または分解生成物として残留する可能性を指摘している。さらに、NP はポリプロピレンあるいはポリスチレンなどにも含まれているが、PVC 製品に最も多く含まれていることを報告している。つまり、BPA と同様に、プラスチックの中では PVC が NP を溶出させる主たる起源であると推測された。

また、1,4-ジオキサンは様々な試料の中でも、帯電防止剤入りの PVC シートから 0.0043 µg/g 検出されたに過ぎなかった。帯電防止剤には界面活性剤が使用されており、その製造工程で 1,4-ジオキサンが副生成するためと考えられた<sup>11)</sup>。

表 3 対象試料中 BPA および NP の含有量

Samples	BPA (µg/g)	NP (µg/g)	Samples	BPA (µg/g)	NP (µg/g)
PVC-1	489	23.8	WP-1	8.01	20.1
PVC-2	532	584	WP-2	1,220	96.1
PVC-3	115	-	WP-3	1,370	96.6
PVC-4	16.8	-	WP-4	<0.001	59.3
PVC-5	<0.001	<0.03	WP-5	7.56	40.2
SH-1	0.38	28.9	PC-1	2.81	23.9
SH-2	17.0	44.9	PC-2	1.23	<0.03
AD-1	<0.001	<0.03	AI-1	0.48	-
AD-2	0.003	<0.03	AI-2	0.01	-
AD-3	0.004	<0.03	AI-3	0.06	-
			AI-4	3.20	-
			AI-5	0.01	-

\*-: Not analyzed

PVC: These samples made of polyvinylchloride(PVC) were collected from domestic waste

WP: Waste PVC samples collected at site O

SH: Shredded incombustible waste collected at site F and G

PC: Products made of polycarbonate

AD: Ash from domestic waste incinerator

AI: Ash from industrial waste incinerator, residue(1,2,4) and dust(3,5)

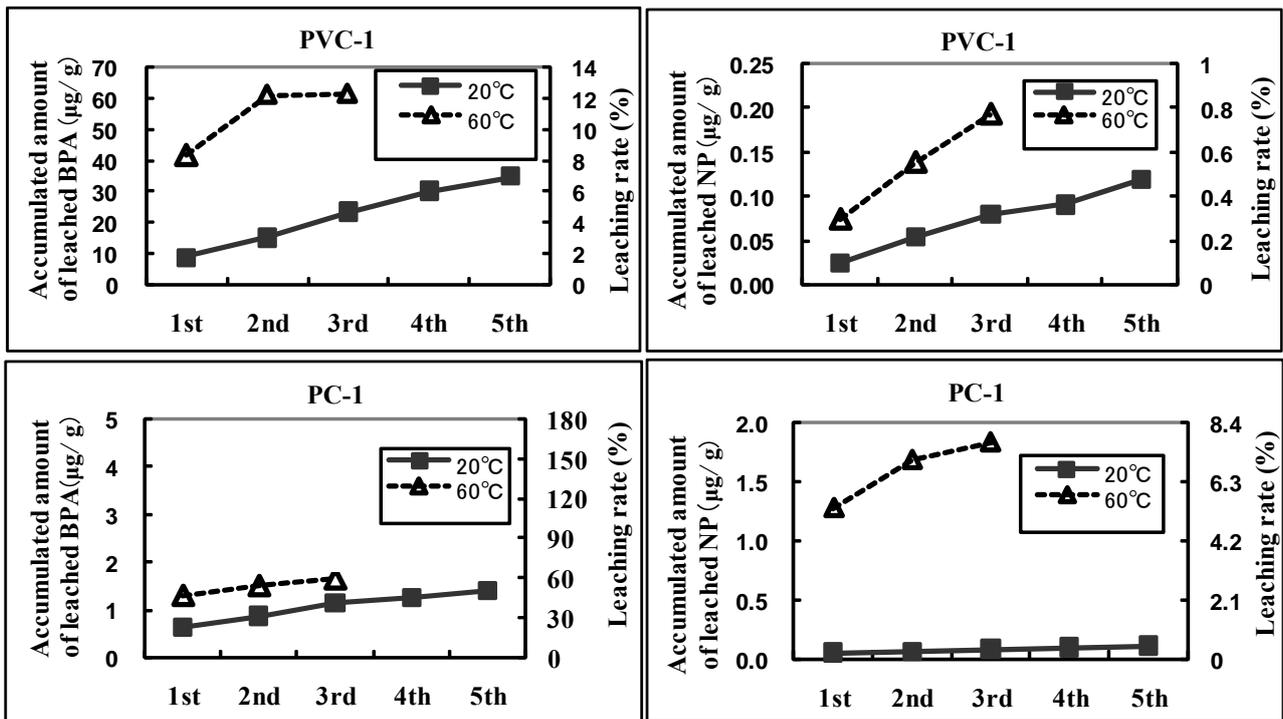


図1 代表的な試料における BPA および NP の累積溶出量と含有量から計算した溶出率

### 3. 1. 2 連続バッチ試験

試料から溶出する BPA は 24 時間、1,4-ジオキサンは 16 時間で一定量になったため、溶出時間は 24 時間に設定した。図 1 に、代表的な試料における BPA および NP の累積溶出量と含有量から計算した溶出率を示した。BPA の溶出量は 24 時間で平衡に達するものの、その溶出量は少なく、溶解度を大きく下回っていた。しかし、新たな溶媒（純水）との接触により、継続的な溶出が認められた。NP も継続的な溶出が認められたが、1 回の溶出量が BPA と比べてさらに少ないことが明らかになった。食品への移行で問題になったように、NP は水よりも油性溶媒（n-ヘプタン）への溶出量が大きい特徴がある<sup>16)</sup>。また、NP は BPA と比較して土壌への吸着力が強いことが報告されている<sup>10)</sup>。従って、実際の最終処分場内では、NP が中間覆土等へ吸着される可能性も高いため、浸出水中の濃度は BPA と比べて低い可能性が考えられた。一方、1,4-ジオキサンは親水性が非常に高いため、1 回で全含有量が溶出することが確認され、BPA および NP とは異なる溶出挙動を示すことが明らかになった。

### 3. 1. 3 pH 依存性試験

図 2 に、エポキシ樹脂含有舗装（EP-1）に含まれる BPA の pH 依存性試験の結果を示した。

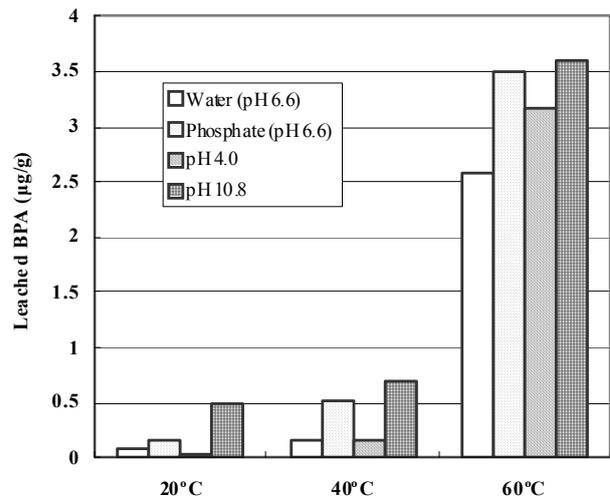


図2 BPA の pH 依存性試験結果

酸性と純水を用いた中性の条件では溶出量にほとんど変化がないものの、リン酸緩衝液を用いた場合には溶出量が増加し、温度の増加とともにその影響が大きくなることになった。リン酸緩衝液のイオン強度（ $I$ ）を次式(1)により求めたところ、3 価のリン酸イオンを含むため 0.61 となり、酢酸緩衝液の 0.2 および炭酸塩緩衝液の 0.1 と比べ高かった。

$$I = 1/2 \sum ci zi^2 \dots (1)$$

$ci$  :  $i$  価のイオン濃度

$zi$  : イオンの原子価

この結果から、使用した緩衝液のイオン強度が溶出量に影響を与える可能性が考えられたため、この後の pH 依存性試験では、初期に酸またはアルカリを添加して pH を調整する方法を採用することとした。その結果、弱酸性物質である BPA および NP はアルカリ性で溶出量が増加するのに対し、非イオン性物質である 1,4-ジオキサンは、pH による影響を受けないことが確認された。

### 3. 2 最終処分場からの排出実態

#### 3. 2. 1 各施設における排出状況

一般廃棄物および産業廃棄物最終処分場(21か所)における BPA および NP の濃度を測定したところ、一般廃棄物最終処分場浸出水中の BPA 濃度は $<0.05\sim 4,960\ \mu\text{g/L}$ 、その処理水では $<0.05\sim 19.8\ \mu\text{g/L}$ であり、原水の濃度が高い場合でも既存の浸出水処理によって濃度の低減化が認められた。濃度が比較的高かった処分場では、不燃ごみ・粗大ごみの破砕物と焼却灰を一緒に埋め立てており、逆に、焼却灰のみを埋め立てていた新しい処分場からは、BPA がほとんど検出されなかった。これに対し、産業廃棄物最終処分場浸出水中の BPA 濃度は $<0.05\sim 494\ \mu\text{g/L}$ 、その処理水では $<0.05\sim 55.2\ \mu\text{g/L}$ であった。濃度が高かった処分場では主に廃プラスチックを埋め立てていた。浸出水中の BPA 検出率は非常に高く、一般廃棄物および産業廃棄物の最終処分場ともに 90%以上を示した。

一方の NP に関しては、調査した 21 施設における浸出水中の NP 濃度は最高でも  $13.1\ \mu\text{g/L}$  と BPA に比べて低く、検出率も 50%以下であったため、これまでの報告<sup>17)</sup>と同様、最終処分場が NP の主要汚染源となる可能性は低いことが推測された。

#### 3. 2. 2 継続モニタリングの結果

設置後年数を経て安定化が進行した場合の BPA の挙動を明らかにするため、埋立廃棄物が異なり閉鎖後 10 年以上が経過した処分場 4 か所において継続的なモニタリングを行ったところ、浸出水中 BPA 濃度は定常時にはほぼ一定であるのに対し、大雨後には約 10 倍程度の増加が認められた。また明らかな内部貯留により、冬期の渇水期にも濃度の増加が認められた。図 3 および図 4 に、春から夏にかけての降雨量と各施設における浸出水量の変化およびその時の浸出水中 BPA 濃度の変化

を示した。C および D 処分場では、明らかな内部貯留が認められたため、BPA が最高濃度に達するまでの時間が長かったと推測された。

浸出水中 NP 濃度は、定常時には BPA と比較して低かったが、BPA と同様、大雨により濃度が約 10 倍に増加した。一方、浸出水中 1,4-ジオキサン濃度は大雨によって濃度の低下が認められ、BPA および NP とは逆の傾向を示した。しかし、降雨の 1 か月後には濃度が回復する傾向を示した。

3. 1. 2 で行った連続バッチ試験の結果から、大雨によって BPA および NP の濃度が増加した原因は、降雨と埋め立て廃棄物の接触が十分に行われ、次々と浸透する降雨により、継続的に BPA および NP が溶出したためと考えられた。一方、1,4-ジオキサンの場合には、年数を経た古い処分場では、埋め立て廃棄物から保有水への溶出はすでに終わっていると考えられたため、大雨の時には、保有水中の 1,4-ジオキサンが希釈されて濃度が低下し、長期間降雨がなければもとのレベルに回復したと理論づけることが可能であった。

対象汚染物質濃度と一般水質項目の関連性を調べるため、ピアソンの積率相関係数を求めたところ、浸出水中 BPA 濃度と NP 濃度の間には正の相関関係が認められたが、一般水質項目と BPA および NP 濃度の間には共通した相関関係は認められなかった。しかしながら、大雨後の浸出水量増加に伴って BPA 濃度が増加する傾向が見られたため、水量との関係が深い可能性が示唆された。一方、浸出水中 1,4-ジオキサン濃度は塩素イオンと正の相関関係が認められた。

対象とした処分場が廃止され、水処理施設が停止した場合を想定し、浸出水を経由した BPA, NP および 1,4-ジオキサンの河川への負荷量を推計したところ、水量が多い降雨後に最も多く排出されることが明らかになった。それぞれの物質の各処分場における年間排出量を表 4 に示す。最も多かった処分場 C からの BPA 排出量は  $2.6\ \text{kg}$  であり、これを平成 16 年度の PRTR 届出排出量(全国版)のデータ<sup>18)</sup>と比較すると、公共用水域への届出排出量( $790\ \text{kg}$ )の約 300 分の 1、プラスチック製造業( $34\ \text{kg}$ )の約 10 分の 1 に相当するため、1 か所からの排出量としては無視できない可能性が示された。一方の NP に関しては、下水道への移動量と比較して非常に少ないことが明らかになった。

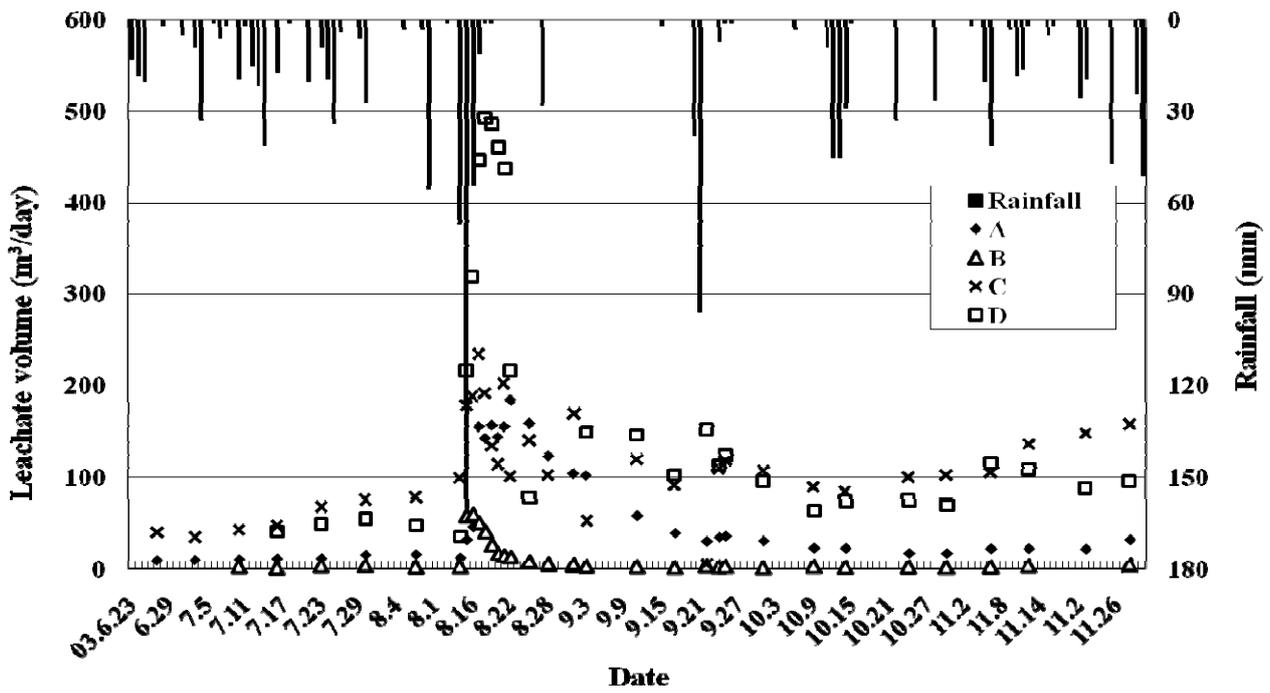


図3 降雨量と浸出水量の変化（'03.6.23～11.30）

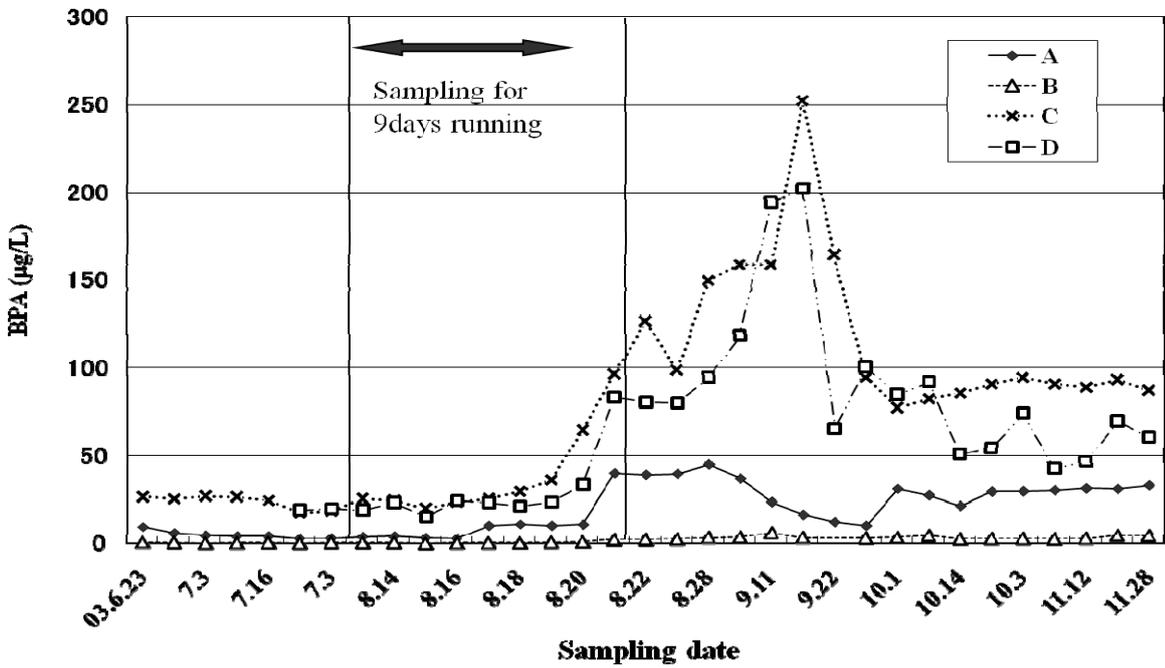


図4 浸出水中 BPA 濃度の変化（'03.6.23～11.30）

表 4 BPA, NP および 1,4-ジオキサンの排出量

	Annual amount
<b>Rainfall</b>	1,931 mm
<b>Site V</b>	
Total volume of leachate	9,300 m <sup>3</sup>
BPA amount in leachate	280 g
NP amount in leachate	46 g
1,4-dioxane amount in leachate	20 g
<b>Site W</b>	
Total volume of leachate	1,100 m <sup>3</sup>
BPA amount in leachate	2 g
NP amount in leachate	1 g
1,4-dioxane amount in leachate	1 g
<b>Site X</b>	
Total volume of leachate	28,000 m <sup>3</sup>
BPA amount in leachate	2,600 g
NP amount in leachate	190 g
1,4-dioxane amount in leachate	68 g
<b>Site Y</b>	
Total volume of leachate	21,000 m <sup>3</sup>
BPA amount in leachate	1,500 g
NP amount in leachate	240 g
1,4-dioxane amount in leachate	650 g
Site V ; Controlled municipal solid waste landfill (14,000 m <sup>2</sup> ), compacted plastics were buried	
Site W ; Controlled municipal solid waste landfill (36,000 m <sup>2</sup> ), incineration ash was buried	
Site X ; Controlled municipal solid waste landfill (23,000 m <sup>2</sup> ), incineration ash and shredded incombustible waste were buried	
Site Y ; Controlled industrial waste landfill (17,000 m <sup>2</sup> ), waste plastics and construction waste were buried	

#### 4 おわりに

本研究では、プラスチック製品に含まれている成分のうち、最終処分場浸出水から高濃度・高頻度で検出されるビスフェノール A (BPA) および 1,4-ジオキサンと、生態系への影響が懸念されている 4-ノニルフェノール (NP) などの環境汚染物質の溶出機構を解明することを目的として、各種製品および廃棄物を使った溶出特性化試験とともに、実際の処分場における排出実態の把握および継続的なモニタリングを行った。

本研究のまとめと今後に残された課題は、次のとおりである。

3. 1 では、様々なプラスチック製品および埋め立て廃棄物について、現時点で最も有効と考えられる溶出特性化試験を組み合わせることで適用し、親水性化合物の溶出特性を把握し、最終処分場における排出起源および溶出挙動を推察したところ、以下のようない点が明らかになった。

- 1) BPA および NP は、国内では 01 年頃まで軟質の塩化ビニル樹脂 (PVC) に安定剤として使用されていたため、最も多く含まれていた。また、過去から現在に至るまで PVC は非常に多く生産 (消費) されていることから、この 2 つの物質の主たる起源は PVC である可能性が推測された。
- 2) その一方、軟質の PVC に含まれる BPA の量は製品ごとに異なり、非常に広範囲であった。また、BPA は PVC 以外にも、エポキシ樹脂 (EP) あるいはポリカーボネート樹脂 (PC) の原料として使用されており、製品にモノマーの形で残留していることが確認された。
- 3) NP は、PVC 以外にも、一部の PC 製品に含まれていた。また、その量はほぼ一定で、製品による違いが小さかった。NP は、プラスチック製品に添加されている酸化防止剤の不純物または分解生成物として製品に残留するため、含有量の違いが少なかったものと考えられた。
- 4) 埋め立て廃棄物の場合には、不燃ごみ破砕物において BPA と NP が検出されたが、一般廃棄物の焼却灰ではいずれの物質もほとんど検出されなかった。ただし、医療系廃棄物を多く受け入れている産業廃棄物の焼却灰において BPA の含有量が高かった。
- 5) pH 依存性試験では、酸性および中性における BPA の溶出量に違いがないのに対し、アルカリ性において溶出量が増加することが確認された。また、温度の上昇によって溶出量が増加することを確認した。
- 6) 長期的な溶出挙動を把握することを目的として行われた連続バッチ試験の結果から、BPA は 24 時間の溶出で平衡に達するものの、新たな溶媒 (純水) との接触により、継続的な溶出が認められた。

NP の場合もほぼ同様に継続的な溶出が認められたが、1 回ごとの溶出量が BPA と比べて非常に少なかった。同じ親水性化合物であっても、親水性の程度によって溶出量が異なり、これが浸出水中の濃度の違いに反映することが推測された。

3. 2 では、処分場の特性の違いによる対象汚染物質の排出実態を明らかにした。また、閉鎖後年数を経た処分場において、年間を通じて浸出水の継続的なモニタリングを行い、対象汚染物質の濃度変動特性とその要因について論じた。さらに、処分場を1つの発生源として捉え、河川等への年間負荷量を算出し、他の発生源と比較した。明らかになった点は次のとおりである。

- 1) 神奈川県内に設置されている一般廃棄物および産業廃棄物の最終処分場（計 21 施設）における BPA および NP の濃度を測定し、処分場の特性との関連性について述べた。一般廃棄物最終処分場浸出水中に含まれる BPA 濃度は $<0.05\sim 4,960\ \mu\text{g/L}$ 、その処理水が $<0.05\sim 19.8\ \mu\text{g/L}$ であり、原水の濃度が高い場合でも、処理施設によって濃度の低減化が認められた。
- 2) 濃度が比較的高かった処分場では、不燃ごみ・粗大ごみの破砕物と焼却灰を一緒に埋め立てていた。また、調査した処分場の多くが 1970～80 年代に埋め立てを開始しているため、経過年数との関係は明らかにならなかった。しかし、焼却灰を単独で埋め立てしている比較的新しい処分場において、検出される BPA 濃度が低かった。
- 3) これに対し、産業廃棄物最終処分場浸出水中の BPA 濃度は $<0.05\sim 494\ \mu\text{g/L}$ 、その処理水は $<0.05\sim 55.2\ \mu\text{g/L}$ であった。処理施設の適切な維持管理を行うことにより、さらに濃度の低減化が可能と考えられた。濃度が高かった処分場は、主に廃プラスチックを埋め立てていた。
- 4) 以上の結果から、最終処分場由来の BPA を削減するためには、プラスチックの埋め立て処分、特に焼却灰との混合理め立てを避けることが重要と考えられた。また、すでにプラスチックが埋め立てられ、その浸出水中から高い濃度の BPA が検出される処分場については、生物あるいは活性炭吸着等により、浸出水の処理を行うことが必要と考えられた。
- 5) 一方の NP に関しては、調査した 21 施設における浸出水中の NP 濃度は最高で  $13.1\ \mu\text{g/L}$  であったため、これまでの報告と同様、最終処分場が NP の主要汚染源となる可能性は低いことが推測された。
- 6) 継続モニタリングの結果では、3 日間連続で計約 300 mm の大雨により浸出水量の増加が認められたが、降雨後 2～3 日あるいは 1 週間後に最大となる場合など、水量の変動は処分場によって異なっていた。しかし、いずれの場合も 100 mm 以下の降雨では、大きな変動が見られなかった。
- 7) 浸出水中 BPA 濃度は定常時にはほぼ一定であるのに対し、大雨後には約 10 倍程度の増加が認められた。また、浸出水中 NP 濃度は、定常時には BPA と比較して低かったが、BPA と同様大雨により濃度が約 10 倍に増加した。定常時と比べて大雨時にこれらの物質の濃度が増加した原因を推察すると、少量の降雨時には雨水がいわゆる "みずみち" を通って排出されるのに対し、大雨時には雨水が処分場全体に浸透するため、新たな埋め立て廃棄物との接触により、対象汚染物質の溶出が増加すると考えられた。
- 8) 浸出水中の 1,4-ジオキサンは大雨によって濃度の低下が認められ、BPA および NP とは逆の傾向を示した。しかし、降雨の 1 か月後には濃度が回復する傾向を示した。
- 9) 3. 1 の溶出試験結果から推察すると、閉鎖後年数を経た処分場の場合には、1,4-ジオキサンの埋め立て廃棄物から保有水への溶出はすでに終わっていると考えられたため、大雨の場合には、保有水中の 1,4-ジオキサンが希釈されて濃度が低下し、長期間降雨がなければもとのレベルに回復したと考えることが可能であった。
- 10) 対象汚染物質濃度と一般水質項目との関連性について統計解析を行ったところ、浸出水中 BPA 濃度と NP 濃度の間には正の相関が認められたが、一般水質項目と BPA および NP 濃度の間には、共通した相関関係は認められなかった。つまり、通常のモニタリング項目とこれらの有機化合物濃度の傾向は大きく異なることが明らかになった。しかしながら、大雨後の浸出水量増加に伴って BPA 濃度が増加する傾向が見られたため、水量との関係が深い可能性が示唆された。

11) 一方、浸出水中 1,4-ジオキサン濃度は塩素イオンと正の相関が認められた。従って、浸出水中の塩素イオン濃度を指標として、1,4-ジオキサンの濃度変動を推測することが可能と考えられた。

以上のことから、今回対象とした親水性化合物は、最終処分場において降雨の度に継続して溶出するが、最も親水性が高い 1,4-ジオキサンが比較的早い時期に保有水への溶出が終了する可能性があるのに対し、NP のように疎水性が高いものは、長く場内に留まる可能性が示された。さらに、これらの対象汚染物質は、BOD あるいは COD<sub>Mn</sub> などの有機物の指標が基準値を下回っている場合でも、降雨による濃度の増加が認められたため、プラスチックを埋め立てている場合には、安定化が予想ほどには進行していない可能性が示された。

近年の処分場は、容器包装リサイクル法の施行および新たな処分場確保が難しいことなどから、埋め立てられるプラスチックの量は減少する傾向にある。従って、新しい処分場では、大量のプラスチックの埋め立てによって、安定化が遅れる事例はおそらく減少するであろう。しかしながら、将来的には、粗大ごみ・不燃ごみの破碎残渣も含めて、プラスチックの最終処分は出来る限り避けるべきで、エネルギー回収も含めたリサイクルを推進することが望ましいと考えられた<sup>19)</sup>。

また、今回の継続モニタリングの結果から、特に内部貯留が明らかな処分場においては、BPA の濃度が保持され、排出量が増加する傾向が示された。つまり、保有水の内部貯留は出来るだけ避けることが望ましく、これまで場内の有機物分解促進の観点から推奨されてきた「準好気性埋め立て構造」が、化学物質の溶出の観点からも有効であることが確認された。

加えて、最近の気候変動により、以前は 10 年に 1 度の割合であったいわゆる「豪雨」が増加する傾向にある。実際に、継続モニタリングの事例では、調査 2 年目にあたる 04 年の 10 月に、当該地域で計 788 mm の降雨が観測されており<sup>20)</sup>、現場では水処理施設を最大限に稼働させつつ、堰堤が崩壊する危険性の監視にも追われている状況であった。大雨時の

浸出水は明らかな水質の悪化が認められたため、安定化の進行とのバランスを考慮する必要があるものの、場内にすべての降雨を取り込むのではなく、表面遮水を行うか、難透水性のトップカバーによって水量を制御する方式などについても、将来に向けて検討する価値があると考えられた。

#### 参考文献

- 1) 環境省ホームページ：平成 18 年度循環型社会白書，<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/junkan/h18/index.html>
- 2) 田中信壽：今後の最終処分場のあり方について，都市清掃，**59**，419-427 (2003)
- 3) 東京都廃棄物審議会：「東京都廃棄物処理計画の改定について 廃プラスチックの発生抑制・リサイクルの推進について」（中間のまとめ）に対する都民意見について（概要），（2004）
- 4) 安原昭夫：浸出液中の未規制物質，都市清掃，**45**，36-42 (1992)
- 5) 坂本広美，福井博，惣田昱夫，金子栄廣：最終処分場浸出水中に含まれるビスフェノール A とその起源に関する研究，廃棄物学会論文誌，**15**，511-520 (2004)
- 6) 坂本広美，福井博，金子栄廣：最終処分場から排出されるプラスチック由来成分に関する研究，環境科学会誌，**18**，635-646 (2005)
- 7) 坂本広美，福井博，高橋通正，斎藤邦彦，金子栄廣：閉鎖後 10 年以上が経過した最終処分場浸出水中のビスフェノール A および 4-ノニルフェノールの濃度の変動特性とその要因，廃棄物学会論文誌，**17**(4)，259-270 (2006)
- 8) H. Sakamoto, S. Shoji and H. Kaneko : Leaching characteristics of bisphenol A from epoxy-resin pavement materials, Toxicol. Environ. Chem. **89**, 191-203 (2007)
- 9) 独立行政法人製品評価技術基盤機構：ビスフェノール A リスク評価管理研究会 中間報告書 (2003)
- 10) 独立行政法人製品評価技術基盤機構：ノニルフェノールリスク評価管理研究会 中間報告書 (2003)

- 11) 中西準子, 牧野良次, 川崎 一, 岸本充生, 蒲生昌志: 詳細リスク評価書シリーズ2: 1,4- ジオキサン, 丸善株式会社 (2004)
- 12) 環境庁水質保全局水質管理課: 外因性内分泌 攪乱化学物質調査暫定マニュアル(水質, 底質, 水生生物), 平成 10 年 10 月
- 13) 厚生労働省告示第 261 号: 水質基準に関する省令の規定に基づき厚生労働大臣が定める方法 別表 16 (2003)
- 14) 阿部嘉長: PVC 用プラスチック安定剤, 日刊工業新聞, 32-46 (1968)
- 15) チャーリークレイ著, 友末優子訳: Rachel's Environment & Health Weekly, **661** (1999)
- 16) 河村葉子他: 食品用プラスチック製品及び玩具中のノニルフェノール, 食品衛生学雑誌, **41**, 212-218 (2000)
- 17) Asakura H., T. Matsuto and N. Tanaka: Behavior of endocrine-disrupting chemicals in leachate from MSW landfill sites in Japan, Waste Management, **24**,613-622 (2004)
- 18) 環境省環境保健部: PRTR インフォメーション広場, 平成 16 年度 PRTR データの概要～化学物質の排出量・移動量の集計結果～ (2006 年 2 月 24 日公表), <http://www.env.go.jp/chemi/prtr/result/gaiyo.html>
- 19) 最終処分場に係る基準のあり方検討会: 最終処分場に係る基準のあり方検討会報告書, (2005)
- 20) 気象庁電子閲覧室: <http://www.data.kishou.go.jp/>