

北海道大学工学部 学員 李 東勲 照山伸一
正員 田中信寿 正員 神山桂一

1. はじめに 廃棄物埋立地の浸出水及び発生ガスの中から多数の種類の有機化合物及び無機物質が検出されている¹⁾²⁾。日本での報告例は少ないが、米国等の報告によると、それらの中にはEPA(米国環境保護庁)が規定した優先汚染物質(primary pollutants)もかなり含まれている³⁾。優先汚染物質の中には非イオン性の有機化合物が多数ある。土壌や底質中におけるこれらの物質の挙動に関する研究は比較的多いが、埋立処分場での研究はほとんどない。そこで非イオン性有機化合物の挙動を考える上で重要なプロセスの1つである収着現象(液相と固相間の非イオン性有機化合物の分配現象)に着目した。本研究では、非イオン性有害有機物として日常生活でも良く使用され⁴⁾⁵⁾、また、地下水汚染を起こし注目されている有機ハロゲン化合物の内トリクロロエチレン(TCE)を選んだ。

2. 実験材料及び方法 実験に用いた収着剤は廃棄物埋立地に投入される廃棄物成分の一部で、①3種類の焼却灰[この内2種類(A,B)は焼却後埋立される直前のもの、1種類は長く埋立処分されていたもの(埋立焼却灰と言う)]、②破碎ごみ、③M埋立処分場で覆土として使っている土、2種類(2種類とも火山灰と思われる)、④ビニール、紙類、木片などのごみ成分、⑤対照としての砂である。試料は採取後室内で乾燥させ、焼却灰、破碎ごみ、覆土用土および砂はふるい分けし、粒径4mm以下の部分を実験材料とした。4mm以下の試料が全体に対して占める割合は、重量比で焼却灰Aが51%、焼却灰Bが66.2%、埋立焼却灰が51.2%、覆土が89.9%及び78%であった。ビニールはポリエチレン製ごみ袋を1~2cm角、紙類は0.2~0.3cm×2~3cm、木片は4~5mm角以下の大きさに切って実験に用いた。被収着剤であるTCEはメタノールに溶かし標準溶液を準備した。実験は主として20±0.5℃で行った。実験方法は、42.3mlの容量の茶色ガラス製造心管に収着剤(0.5~5.0g)と蒸留水(38ml)を入れ、それから既知量のTCEを加えて、素早くセプタム付き蓋をし、約1日間回転攪はんした。気相と液相の濃度をECDガスクロを用いて測定した。この結果から固相へのTCE収着量を計算により求めた。液相の濃度分析はヘッドスペース法(25℃)によった。

3. 結果及び考察

3.1 等温収着式の線形性 埋立処分場の廃棄物構成成分に対する等温収着線を求めた結果は図1の様に原点を通る直線で表せることが分かった。これは今まで長く研究されてきた自然界物質である土壌及び底質への非イオン性有機物質の線形的等温収着現象と同様に⁶⁾⁷⁾、焼却灰や他のごみ成分などに対しても次式が成立することを示している。

線形等温収着式、 $S = K_p C$

ここでS、 K_p 、Cはそれぞれ収着剤単位重量当りの平衡収着量[$\mu\text{g/g dry}$]、分配係数[$1/\text{g dry}$]、液相の平衡濃度[$\mu\text{g/l}$]である。図1に示さなかった覆土、紙類、砂はほとんど収着しなかった。焼却灰や破碎ごみの K_p は、これまで報告されている土壌や底質の K_p の大きな値に相当し、焼却灰や破碎ごみなどは比較的大きな収着特性を持っていると言える。

3.2 温度と分配係数 図2に、3種類の焼却灰と破碎ごみに対する温度と分配係数の関係を示した。

15~30℃の範囲で焼却灰は3種類とも温度の上昇と共に分配係数が大きくなった。一方、破碎ごみは温度の影響を受けずほぼ一定値を示した。従って、焼却灰の収着反応は吸熱反応と考えられる。

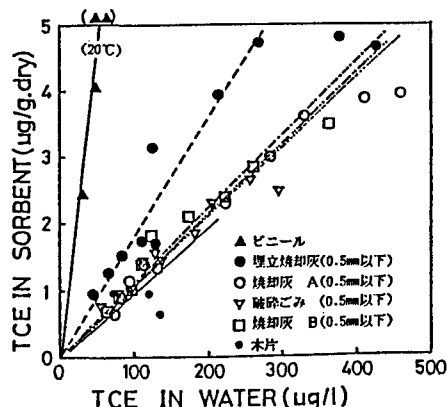


図1. 等温収着線の線形性 (15℃)

3.3 粒径と分配係数 粒径4mm以下の焼却灰(3種類)及び破碎ごみをさらにふるい分けにより細分化して分配係数 K_p を求めた。その結果を表1(例として焼却灰A)及び表2に示す。また、土壌や底質に対する K_p は有機物含有量 f_{om} に比例すると言われているので、表中には有機物量当りの分配係数 $K_{om} \equiv K_p / f_{om}$ を併せて示した(f_{om} は強熱減量により求めた)。表中の K_{om} の結果から、粒径、即ち表面積が分配係数に大きな影響を与えるとは言えず、むしろ、粒径4mm以下の範囲では粒径に無関係であるようである。

3.4 有機物含有量と分配係数 焼却灰、破碎ごみ、ごみ成分(後述の表3参照)を通して K_{om} が一致しているとは言えない。それは個々の収着剤に含まれる、あるいは、収着剤を構成する有機物が異なっているからである。従って K_p の違いを f_{om} のみで表現することができない。しかし、対象を焼却灰(粒径別及び4mm以下全試料)のみに限定して K_p と f_{om} との関係を求めて見ると

$$K_p = 84.1(f_{om})^{0.734} \quad [\text{サンプル数} = 15, \text{相関係数 } r = 0.522(5\% \text{ 有意}), 0.06 \leq f_{om} \leq 0.14]$$

となり、 f_{om} が増加する程、 K_p が大きくなる傾向が認められた。

3.5 溶存共存物質と分配係数 TCEと共存する無機物質や有機物質は分配係数にほとんど影響を与えないことが分かった。その根拠は、①TCEと同様の非イオン性有機物質であるテトラクロロエチレン(TCE)をほぼ同濃度で共存させてTCEの K_p を測定したが、その値はTCE単独の場合の K_p とほとんど変わらなかった。②全体の実験を通して水量と固体量の比を変えて(溶解共存物質の濃度を変えて)実験を行ったが、そのことによって K_p の値が変わることはなかった。焼却灰と破碎ごみでは、各々、塩素イオン濃度19~1990mg/l、14~230mg/l、TCC濃度0~660mg/l、24~390mg/lであった。すなわち、TCEの収着は極めて微量な移動現象であるため、他の溶存成分の影響を受けないものであると思われる。

3.6 混合物の分配係数 混合物の K_p がその構成成分の K_p の和として表現できるかどうか検討した。すなわち、混合物の K_p (計算値) $\equiv \sum(\text{各成分の重量比}) \times (\text{各成分の } K_p)$ と混合物の実測 K_p とが一致するかどうか検討した。その結果を表1、表2、表3に示す。その結果から、各種の成分からなる廃棄物の K_p は各成分の K_p を求め、重量比で重み付けして加算すれば求まることが分かった。
参考文献 1)Albert H. Brunwasser, et.al.; Hazardous Waste Management, J. Jeffrey Peirce, et.al.ed., Ann Arbor Science, 121/159(1981) 2)池口 孝; 都市清掃, 35, 130, 485/490(1982) 3)Gretchen V. Sabel, et.al.; Waste Management & Research, 2, 119/130(1984) 4)S. M. Ridgley; NTIS No. PB84-103753, Aug. (1982) 5)S. M. Ridgley, et.al.; NTIS No. PB84-103746, Aug. (1982) 6)Rene P. Schwarzenbach, et.al.; E.S. & T., 15, 11, 1360/1367(1981) 7)Samuel W. Karickhoff, et.al.; Water Research, 13, 241/248(1979)

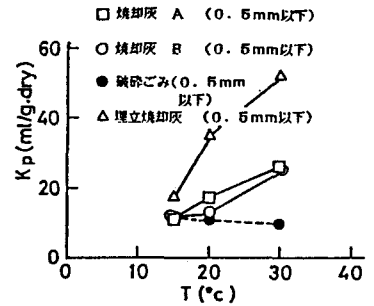


図2. 温度と分配係数

表1. 粒径と分配係数 K_p (焼却灰A, 20°C)

粒径(mm)	重量比[-]	K_p [ml/g]	f_{om} [-]	K_{om} [ml/g]
0.5 以下	0.271	17.0	0.142	120
0.5 ~ 1.0	0.192	7.5	0.072	104
1.0 ~ 2.0	0.184	8.5	0.069	124
2.0 ~ 4.0	0.353	10.5	0.062	171
試料全体 (4.0以下)	1.0	9.9 (11.3)	0.082	113

() 内は計算値, 例: $K_p = 0.271 \times 17.0 + 0.192 \times 7.5 + 0.184 \times 8.5 + 0.353 \times 10.5 = 11.3$

表2. 粒径と分配係数 K_p (破碎ごみ, 20°C)

粒径(mm)	重量比[-]	K_p [ml/g]	f_{om} [-]	K_{om} [ml/g]
0.5 以下	0.271	10.9	0.176	62
0.5 ~ 1.0	0.199	11.9	0.158	75
1.0 ~ 2.0	0.232	11.4	0.168	68
2.0 ~ 4.0	0.297	10.1	0.283	36
試料全体 (4.0以下)	1.0	10.9 (11.0)	0.217	50

() 内は計算値

表3. ごみ成分と分配係数 (20°C)

成分	f_{om} [-]	K_p [ml/g]	K_{om} [ml/g]
段ボール	93.6	≈ 0	≈ 0
新聞紙	99.3	≈ 0	≈ 0
牛乳パック	99.5	≈ 0	≈ 0
木片	99.7	9.7	9.7
ビニール	98.9	92.8	93.8
混合物 1*	—	32.8 (34.2)	—
混合物 2**	—	16.9 (22.4)	—

*牛乳パック: 木片: ビニール = 1: 1: 1 (重量比)

** # : # : # = 2: 2: 1 (#)
() 内は計算値, 混合物1の K_p の計算例: $K_p = 0 \times 1/3 + 9.7 \times 1/3 + 92.8 \times 1/3 = 34.2$