

簡易調査手法を用いた

不法投棄廃棄物の埋立て範囲の推定*

土田大輔^{*1}・濱村研吾^{*1}・永瀬 誠^{*1}
高橋浩司^{*2}・黒川陽一^{*3}

キーワード ①不法投棄 ②土壌ガス ③VOC ④トルエン ⑤検知管

要 旨

不法投棄後に覆土された廃棄物の埋立範囲を迅速かつ簡易に推定するため、廃棄物中に含まれる成分を調査して指標となる物質を定め、指標物質の濃度分布を基に埋立範囲を推定することを試みた。廃棄物からは揮発性有機化合物が検出され、とくにトルエンの濃度が高かった。廃棄物の指標物質をトルエンとし、検知管を用いて不法投棄現場の土壌ガス中濃度を測定した結果、対象地のほぼ全域に廃棄物が埋められていると判断された。掘削により廃棄物の垂直分布を調査した結果、地中の廃棄物は土壌と混合した状態で埋められていたが、原地盤である粘土層には達していなかった。土壌ガス中のトルエン濃度は、廃棄物の近傍で高濃度を示す傾向がみられ、トルエン濃度から廃棄物の埋立範囲を効率的に推定することが可能であった。

1. はじめに

産業廃棄物の不法投棄や不適正処理を早期に見出し適切な対策を講じることは、水質汚濁や土壌汚染を防止する上で重要である。とくに、有害物質を含む廃棄物が地中に不法投棄された場合、廃棄物の撤去や有害物質の拡散防止のため、廃棄物の存在範囲や有害物質の拡散状況を速やかに把握する必要がある。

廃棄物や有害物質の分布を高精度で把握する方法については、すでに多くの調査研究事例が報告されている。石井ら¹⁾は、不適正処分の行われた最終処分場において、比抵抗探査およびボーリン

グ調査を行い、汚染分布の全体像を把握することを試みている。また磯部ら²⁾は、産業廃棄物の不法投棄現場において、比抵抗探査、電磁探査、表面波探査などの物理探査手法とボーリング調査を併用することで、廃棄物の分布状況や地山の地形を2次元的に把握できることを示している。

上記に示した物理探査手法やボーリング調査は、廃棄物の位置を正確に捉えることができ、有効な手段である一方、大規模な装置や専門的な知識を必要とするという問題点がある。不法投棄発見後の初期段階では、地方自治体の職員が現場調査を実施することが多いため、調査方法は迅速か

*Estimation of Horizontal and Vertical Extents of Illegally Buried Wastes using a Simplified Survey Method

^{*1} Daisuke TSUCHIDA, Kengo HAMAMURA, Makoto NAGASE (福岡県保健環境研究所) Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences

^{*2} Koji TAKAHASHI (同、現・福岡県環境部) Fukuoka Prefectural Government, Department of Environmental Affairs

^{*3} Yoichi KUROKAWA (同、現・福岡県リサイクル総合研究センター) Fukuoka Research Center for Recycling Systems

つ簡易で専門知識がなくとも適用できる方法が望ましいと考えられる。

迅速性や簡易性を重視した調査方法として、Nagamori ら³⁾は、土壤間隙水の電気伝導度(土壤EC)を用いる方法について検討している。焼却灰など多量の塩分を含む廃棄物が不法投棄された場合、周辺土壤の塩類濃度が上昇するため、不法投棄現場の土壤ECを測定することによって、焼却灰による汚染範囲を推定できることを報告している。ただし、有機溶媒主体の投棄現場では土壤ECを利用した調査手法の適用は困難であろうと予測している。

本研究では、揮発性有機化合物(VOC)を主成分とする廃棄物が投棄された比較的小規模な不法投棄現場を対象に、迅速かつ簡易に廃棄物の存在範囲を特定する方法について検討した。具体的には、投棄された廃棄物中に含まれる成分を調査し、指標となる物質を定め、指標物質の濃度分布を基に廃棄物の埋立範囲を推定することを試みた。

2. 廃棄物の埋立範囲の推定方法

不法投棄廃棄物の埋立範囲の推定は、①廃棄物の溶出試験と不法投棄現場の土壤ガス調査による指標物質の選定、②埋立てられた廃棄物の水平分布調査、③埋立てられた廃棄物の垂直分布調査の3段階に分けて実施した。一連の調査は2005年6月～10月に実施した。

2.1 調査対象地

調査対象地は福岡県内の比較的小規模な不法投棄現場であり、丘陵地の林を切り拓いてできた平地と傾斜地からなる。調査対象地の状況を図1に示す。投棄現場の平地には、廃棄物と土壤が混合した状態で高さ約5mの小山状に堆積していた。堆積した廃棄物の中には、ビニール片やポリウレタン様の廃棄物が散見され、強い溶媒臭が発生していた。さらに、廃棄物の堆積場所から北側に位置する傾斜地(斜面の幅40m、上下方向の距離60m)には廃棄物が埋められた形跡があり、溶媒臭が発生していた。斜面の表層には真砂土による覆土が施されており、廃棄物の埋立範囲が不明であったため、この斜面において廃棄物の埋立範囲を推定した。

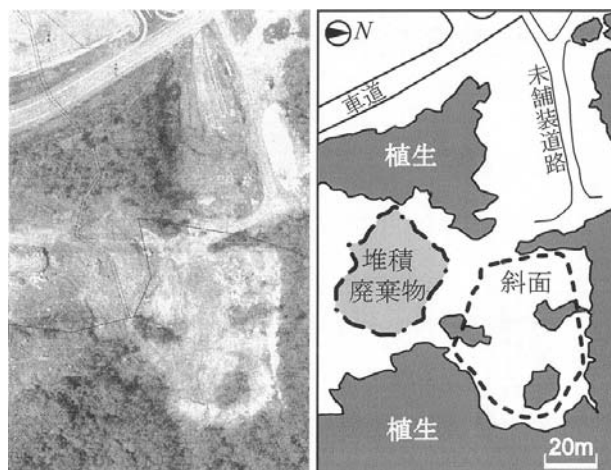


図1 不法投棄現場の上空写真および概略図

2.2 廃棄物の指標物質の選定

不法投棄された廃棄物の指標物質を選定するため、廃棄物の溶出試験と不法投棄現場における土壤ガス調査を実施した。

溶出試験は、廃棄物中の有害物質を把握し、廃棄物の存在指標となる物質を検討するために実施した。まず、小山状に堆積した廃棄物の頂上において、廃棄物を移植ごとにより採取した。また、廃棄物が埋められていると考えられた斜面において、土壤試料を採取した。採取した試料は実験室に持ち帰り、廃棄物試料は環境庁告示第13号⁴⁾、土壤試料は環境庁告示第46号⁵⁾に基づく溶出試験を実施した。得られた溶出液について、VOC、重金属類、農薬類の分析を行い、廃棄物に特異的に含まれる有害物質を調査した。有害物質の分析方法は、VOCはJIS K0125に、他の成分はJIS K0102に準拠した。

次に、廃棄物に特異的に含まれる有害物質のうち、現地で簡易に測定可能な成分を選定するため、土壤ガス中に含まれるVOC成分の調査を行った。まず、堆積した廃棄物および斜面において、ボーリングバーを用いて表層から深さ約80cmまで削孔した。この孔に長さ1.2m、外形6mm、内径3mmのステンレス製パイプを差し込み、ガス採取孔とした。ステンレス製パイプの上端に、テフロンチューブを介して小型吸引エアポンプ(柴田科学製MP-Σ300)を接続し、土壤中のガスを吸引した。吸引した土壤ガスは、溶媒抽出用アクティブサンプラー(SUPELCO製ORBO™-91 Adsorbent Tubes)を通過させ、ガス中の成分

を吸着させた。吸着後のアクティブサンプラーは実験室に持ち帰り、二硫化炭素 1 mL で溶出後、GC-MS(島津製作所製 GC-17A および QP-5000)により分析を行い、土壤ガスに含まれる主要な VOC 成分を特定した。分析カラムには J & W Scientific 製 DB-1 を用いた。

以上の溶出試験および土壤ガス調査の結果から、廃棄物に特異的に含まれ、土壤ガス中からも検出可能な成分を、廃棄物の存在を示す指標物質として決定した。

2.3 廃棄物の水平分布調査

不法投棄廃棄物の水平分布調査は、廃棄物の指標成分の土壤ガス中の濃度を測定することにより実施した。まず、調査対象とした斜面を測量し、52カ所の格子(5m×5m)に区切った(図2参照)。次に、各格子の中央点において土壤ガス調査と同様の手順で、ステンレス製パイプを約80cmの深さまで挿し込み、土壤ガスを吸引して指標成分の濃度を測定した。水平分布調査の際には、広範囲にわたる調査地点を効率よく測定するため、指標成分の測定に検知管を用いた。ガス採取時に高濃度の VOC を含む土壤ガスを吸引した場合、ステンレス製パイプ内が汚染されるため、あらかじめ複数本のパイプを用意し、適宜新しいパイプに交換して測定を行った。

2.4 廃棄物の垂直分布調査

不法投棄廃棄物の垂直方向の存在状況を確認するため、土壤を掘削して廃棄物の垂直分布を調査した。調査地点は、水平分布調査の結果で指標物質の濃度が高かった地点のうち4地点とした。まず、重機(バックホウ)により土壤および廃棄物層を原地盤(地山)に達するまで掘削した。次に、掘削した穴の壁面において、土壤の種類や廃棄物の埋立状況を目視により確認したのち、壁面から水平方向に削孔してステンレス製パイプを挿し込み、検知管を用いて一定深さごとに指標物質の濃度を測定した。

また、土壤および廃棄物の性状変化を電気伝導

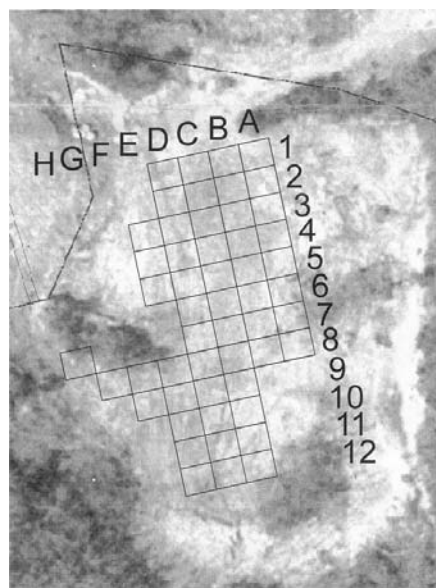


図2 埋立廃棄物の水平分布の調査地点

度(EC)から推定できるか検討するため、一定深さごとに採取した土壤または廃棄物10gと蒸留水100mLをポリエチレン容器にとり、現場で振とうする簡易溶出試験を実施し、懸濁液のECを測定した。

3. 結果および考察

3.1 廃棄物の指標物質

廃棄物および土壤の溶出試験の結果を表1に示す。ジクロロメタン、ベンゼン、トルエン、*o*-、*m*-、*p*-キシレン、*o*-ジクロロベンゼンなどのVOCが検出された。とくに、トルエンおよび*o*-ジクロロベンゼンが高濃度であった。他の測定成分である重金属類や農薬類は検出されなかった。現地では溶媒臭が発生していたことをあわせて判断すると、投棄された廃棄物は主としてVOCを含む廃棄物であると考えられた。

アクティブサンプラーを用いた土壤ガス調査の結果、トルエン、*o*-、*m*-、*p*-キシレン、エチルベンゼン、*o*-、*m*-、*p*-ジクロロベンゼンが検出された。検出されたVOCの中ではトルエンの濃度がもっとも高く、検知管により測定可能であっ

表1 廃棄物および土壤の溶出試験結果

採取試料	EC (mS/m)	ジクロロメタン ($\mu\text{g/L}$)	1,2-ジクロロエタン ($\mu\text{g/L}$)	ベンゼン ($\mu\text{g/L}$)	トルエン ($\mu\text{g/L}$)	<i>m</i> -, <i>p</i> -キシレン ($\mu\text{g/L}$)	<i>o</i> -キシレン ($\mu\text{g/L}$)	<i>o</i> -ジクロロベンゼン ($\mu\text{g/L}$)
堆積廃棄物	24.8	12	1.0	7.0	31	5.0	6.0	12
斜面土壤	40.8	8.0	0.5	2.0	130	19	33	150

たことから、埋立廃棄物の存在を示す指標物質はトルエンとし、以降の水平分布および垂直分布の調査にはトルエン用検知管(GASTEC製 No. 122, 検出下限値10ppm)を用いた。

3.2 廃棄物の水平分布

不法投棄廃棄物の水平分布調査として、斜面の土壤ガス中のトルエン濃度を測定した。調査結果を図3に示す。調査した52地点のうち、42地点からトルエンが検出された。トルエンが検出された地点のうち、トルエン濃度が10~100ppmであった地点は22地点、100~600ppmであった地点は10地点、検知管の測定上限値である600ppmを超えた地点は10地点であった。水平分布調査の結果から、斜面のほぼ全域にわたってVOCを含む廃棄物が埋められており、とくに斜面の下部および左右部分に多く分布していると考えられた。

3.3 廃棄物の垂直分布

水平分布調査の結果から、トルエンが高濃度であった格子のうち、斜面の上方に位置する調査地点B-3、D-5と、斜面下方に位置する調査地点E-9、D-12を選択し(図3参照)、掘削により廃棄物の垂直分布を調査した。図4に各地点におけるトルエン濃度および簡易溶出試験による電気伝導度(EC)の垂直分布を示す。

掘削地点B-3は、表層から深さ80cmまでは真砂土および黒色土壌の層であり、80cm以深は粘土層となった。掘削断面の観察結果から、粘土層が調査対象地の原地盤であると考えられた。深さ50cmの位置には廃棄物の固まりが点在していた。トルエン濃度は廃棄物の存在する深さ50cmで600ppm以上であり、深さ80cm以深では減少した。簡易溶出試験によるECの測定結果も、トルエンと同様の傾向を示し、廃棄物のある深さ50cm付近で最大値166mS/mとなり、これより深くなるにつれ減少した。

掘削地点D-5では、表層から深さ85cmまでが真砂土および黒色土壌の層、深さ85cm以深は粘土層となった。トルエン濃度は深さ10cmの表層に近い部分で最大値150ppmを示し、30cm以深では低濃度であった。ECも同様に地表面で最大であり、深さ10cm以深では減少した。

掘削地点E-9は表層から下層にかけて黒色の土壌があり、深さ250cmで粘土層に達した。深さ

50~80cmにプラスチック状の廃棄物が見られた。トルエン濃度は廃棄物に近い深さ80cmの位置で600ppmを超えたが、それ以深ではほとんど検出されなかった。一方、ECは深さ150cmまでは5~11mS/m程度、深さ200~280cmでは33~56mS/mに微増しており、廃棄物との関連性は認められなかった。

掘削地点D-12では表層から深さ170cmまで黒色土壌層があり、その下は粘土層となった。深さ約100cmまでの層には、プラスチック廃棄物が見られた。トルエンは深さ80cmで600ppm以上、深さ120cmで300ppmの濃度であった。140cmから250cmまでのトルエン濃度は、約40~50ppmと一定値を示したが、これは重機で掘削した坑内全体の濃度が上昇したためであり、より低濃度の評価は難しいと考えられた。一方、ECはすべての深さにわたってほぼ一定であり、廃棄物との関連性はみられなかった。

3.4 廃棄物の埋立状況

廃棄物の埋立てが考えられた斜面において、水平分布調査を実施した結果、調査範囲のほとんどの地点でトルエンが検出されたことから、斜面の広範囲にわたって廃棄物が埋められていると推定された。

垂直分布調査の結果、地中の廃棄物は、土壌中に点在した状態、あるいは土壌と混合した状態で埋められていることが明らかになった。埋立てられた廃棄物は、調査対象地の原地盤と考えられる粘土層には達していなかった。トルエン濃度は深さ50~80cmの位置で高濃度となっており、廃棄物の近傍で高濃度を示す傾向がみられた。

水平調査と垂直調査の結果から、調査対象地における廃棄物の埋立状況を推定すると、廃棄物の深さ方向の埋立範囲は、斜面の上方部では深さ100cm程度の粘土層までと推定された。斜面下方部では、粘土層は深さ250cm以深となるが、トルエン濃度が深さ120cm以深で減少することから判断して、廃棄物の埋立範囲は粘土層には達しておらず、深さ約120cmまでと推定された。

調査対象とした不法投棄現場では、VOCを含む廃棄物が埋立てられていたため、検知管を用いることによって、廃棄物の存在状況を効率的に推定することが可能であった。VOCを対象とした

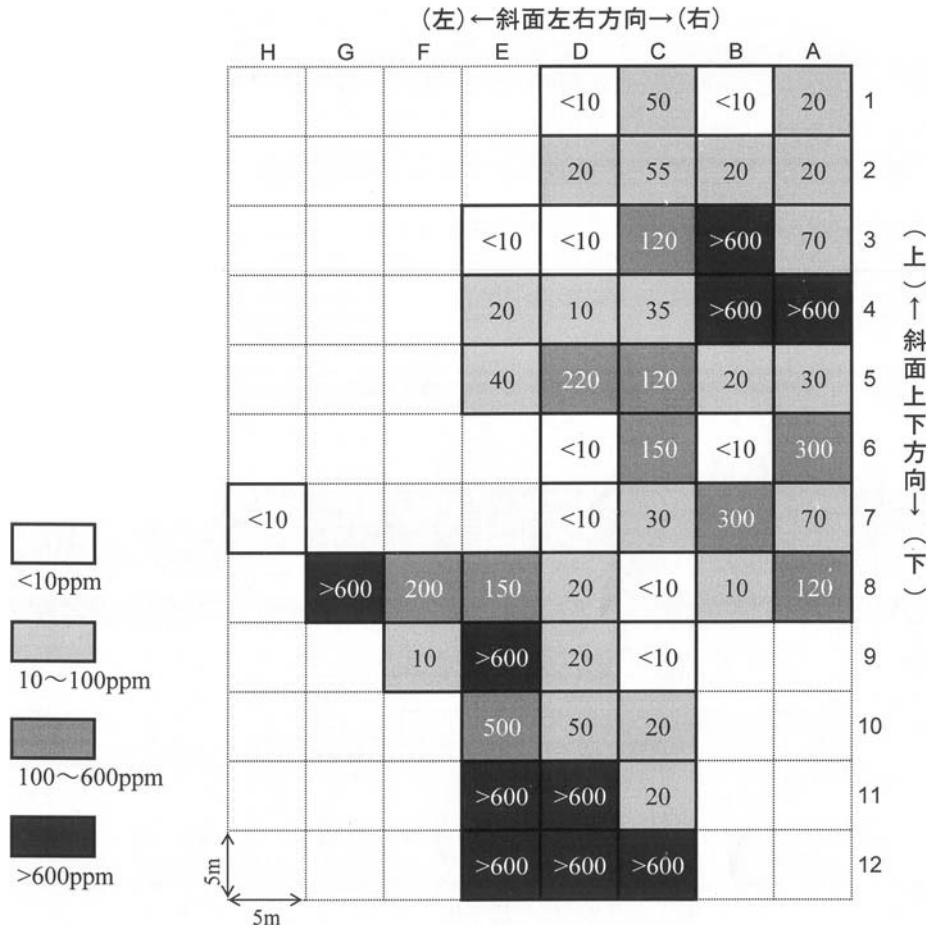


図3 土壌ガス中トルエン濃度の水平分布

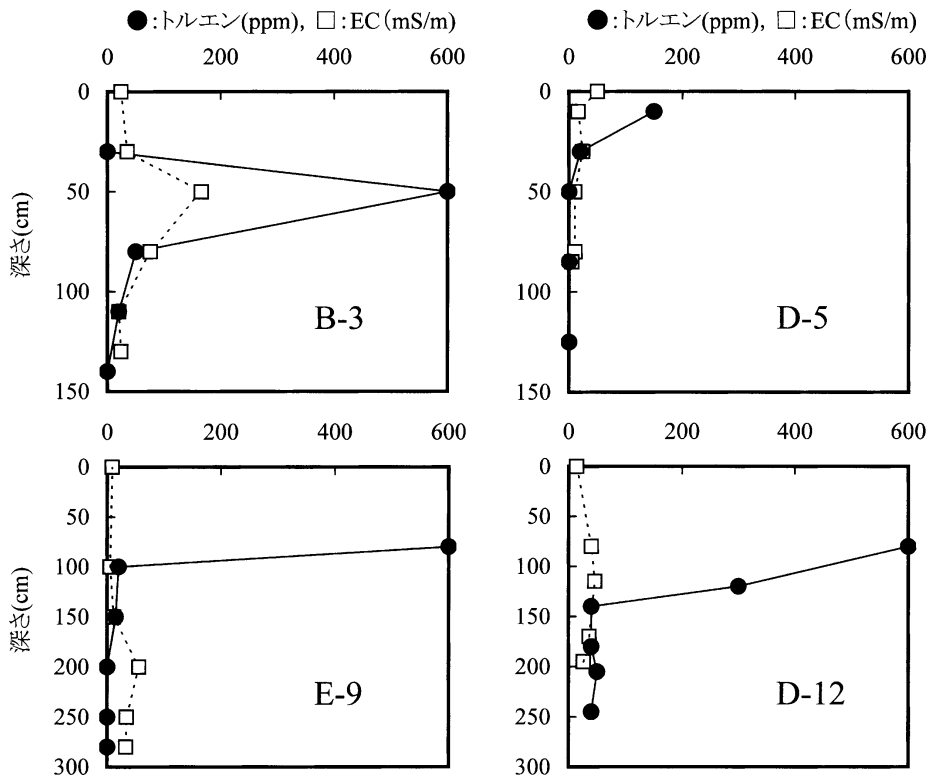


図4 トルエンおよび電気伝導度の垂直分布

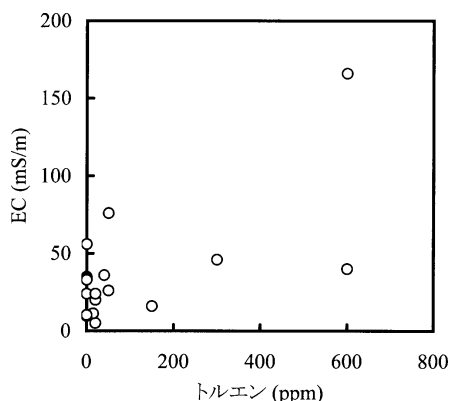


図5 垂直分布調査におけるトルエン濃度と電気伝導度(EC)との関係

簡易測定法については、山口ら⁶⁾が、最終処分場において暴露採取器(パッシブサンプラー)とGC-MSを用いて多数の成分をモニタリングする方法を検討している。検知管を用いることができないVOCによる汚染事例の場合には、暴露採取器を用いた方法が有効になると考えられる。

投棄された廃棄物の性状によっては、ECによっても汚染状況を評価できることが考えられたことから、簡易溶出試験によるECの測定を併せて実施した。垂直分布調査におけるECとトルエン濃度との関係は図5に示すとおりであり、トルエン濃度およびECとも高い地点はあったものの、両者の関連づけは困難であった。ECは廃棄物の有無以外に土壌の性状にも影響を受けるため、埋立廃棄物の指標として用いることは難しいと考えられた。土壌ECによる調査手法を検討した長森⁷⁾は、VOCなどの有機溶媒による土壌汚染の場合、有機溶媒がイオン性の化学物質ではなくECの上昇が期待できないため、土壌ECによる調査方法は適用できないことが多いと述べ、VOCを含む廃棄物の不法投棄に関しては、土壌EC以外の方法を確立する必要性を指摘している。本研究で実施したように、検知管を用いて指標物質を測定する方法は、VOC廃棄物の不法投棄現場における簡易調査手法として有効であると考えられる。

4. まとめ

廃棄物の不法投棄現場において、迅速かつ簡易に廃棄物の埋立範囲を推定するため、廃棄物に特異的に含まれる成分を指標物質とする簡易調査手法の検討を行った。得られた主な知見は以下のと

おりである。

- ① 調査対象地に投棄された廃棄物の性状を溶出試験により確認したところ、トルエンやキシレンなどのVOCが多く含まれていた。投棄現場の土壌ガスからもVOCが検出された。高濃度で検出されたVOCのうち、検知管で測定可能なトルエンを埋立廃棄物の指標物質に決定した。
- ② 土壌ガス中のトルエン濃度を検知管で簡易に測定することにより、不法投棄された廃棄物の水平分布を効率的に調査した。水平分布調査の結果から、調査対象地のほぼ全域にわたってVOCを含む廃棄物が埋められていることが明らかになった。
- ③ 土壌ガス中のトルエンが高濃度であった地点を選択し、重機による掘削を行い、垂直方向における廃棄物の埋立状況を調査した。地中の廃棄物は、土壌中に点在した状態、あるいは土壌と混合した状態で埋められていた。埋立てられた廃棄物は、調査対象地の原地盤と考えられる粘土層には達していなかった。トルエン濃度は、廃棄物の存在する位置で高濃度を示す傾向があった。

—参考文献—

- 1) 石井一英, 古市徹, 今井紀和, 和田卓也: 廃棄物起因の土壌・地下水汚染現場への数値シミュレーションと比抵抗法の適用, 廃棄物学会論文誌, **13**, 279-288, 2002
- 2) 磯部友護, 甲斐充, 山地由記, 川崎幹生, 小野雄策: 物理探査法を用いた産業廃棄物不法投棄現場の調査事例—現場調査における物理探査法の適用—, 廃棄物学会誌, **18**, 338-344, 2007
- 3) Masanao Nagamori, Youich Watanabe, Takahito Hase, Yasundo Kurata, Yusaku Ono, Kiyoshi Kawamura: A simple and convenient empirical survey method with a soil electrical conductivity meter for incineration residue-derived soil contamination. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, **9**, 90-98, 2007
- 4) 環境省: 産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法, 昭和48年2月17日 環境庁告示第13号, 1973
- 5) 環境省: 土壌の汚染に係る環境基準について, 平成3年8月23日 環境庁告示第46号, 1991
- 6) 山口貴史, 山口安宣, 林治稔, 井上雄三, 山田正人, Bulent Inanc, 中島大介, 後藤純雄, 佐藤正光, 佐野昌之, 本田富義, 富田孝子: 廃棄物処分場から発生する揮発性有機化合物の簡易測定法の検討, 全国環境研究会誌, **29**, 190-195, 2004
- 7) 長森正尚: 土壌汚染の簡易調査手法—汚染土壌を見つけるには—, 埼玉県環境科学国際センター講演会 講演要旨集 平成14年度, 12-15, 2003