

大阪大学工学部 学生員 ○石内 健太郎
 大阪大学大学院 学生員 山内 淳平
 大阪大学大学院 正会員 村岡 浩爾

1.はじめに

揮発性有機化合物（以下 VOC とする）ガスによる土壌・地下水汚染の機構を解明するにあたって、不飽和土壌への VOC ガス吸着が大きく関わっていることはよく知られている。これまでに、単粒構造及び団粒構造をもつ完全乾燥土壌へのガス吸着特性について、単粒構造をもつ土壌に対するガス吸着量は土壌の種類と粒径に依存するが、団粒構造をもつ土壌に対しては粒径・比表面積とガス吸着量との相関性は見られない、という知見を得ている。このように、これまでは土壌の種類・粒径・比表面積と吸着量との関係について研究を進めてきたが、本研究ではさらに含水比の変化と吸着量との関係にも着目する。

そこで、今回は VOC ガスとしてトリクロロエチレン（以下 TCE とする）ガス、モデル土壌として赤玉土・鹿沼土（団粒構造）、珪砂（単粒構造）を用いて、ガス吸着特性が含水比の変化によってどのような影響を受けるかについて、実験的に明らかにしていくことが目的である。

2.吸着等温式

土壌への VOC ガス吸着量の指標として吸着係数 $\overline{Kd}(w)$ がある。吸着係数 $\overline{Kd}(w)$ の値は、Henry 型の吸着等温式と、吸着前後の質量保存式を用いて求められる。Henry 型吸着等温式は次式で表される。

$$\frac{x}{M} = \overline{Kd}(w)Cs \quad (1)$$

ここに、 x は吸着された TCE の質量(μg)、 M は土粒子の質量(g)、 $\overline{Kd}(w)$ は吸着係数(ml/g)で含水比 w の関数、 Cs は吸着後のヘッドスペースの TCE ガス濃度(mg/l)である。一方、質量保存式は次式で表される。

$$x = CbVb - CsVs \quad (2)$$

ここに、 Cb は土粒子を入れない場合のバイアルビン中の TCE 濃度(mg/l)、 Vb はバイアルビンの容量(ml)、 Vs は試料の体積を除いたバイアルビンの容量(ml)である。(1)、(2)式から

$$\frac{CbVb}{CsVs} - 1 = \overline{Kd}(w) \frac{M}{Vs} \quad (3)$$

従って、TCE 気相から土壌への気相吸着係数 $\overline{Kd}(w)$ は(3)式より、 $(CbVb/CsVs-1)$ と (M/Vs) との傾きによって得ることができる。

3.実験の概要

今回の実験で使用した土壌の種類と比表面積を表-1に示す。比表面積は比表面積分析法（B.E.T.法）で測定されたものである。実験は準備段階から一貫して室温 20℃、湿度 48%の恒温室で行った。また、試料を完全乾燥状態とする場合は、バイアルビンに採った試料を 130℃の炉で 24 時間乾燥させ、その後空気中の水分が付着しないようにゴム栓とアルミキャップをかぶせるという作業を炉の中で行った。試料の含水比を変化させる場合は、霧吹きを使用して試料にまんべんなく水分を含ませるという作業を行った。

表-1 サンプルの土壌特性

土壌	比表面積(m^2/g)
赤玉土	151.4
鹿沼土	198.5
珪砂	0.229

※赤玉土及び鹿沼土は平均団粒 1mm、珪砂については平均粒径 1mm。

4.実験結果及び考察

赤玉土・鹿沼土・珪砂について含水比を変化させていき、それぞれについてバッチ実験を行って吸着係数を求めた。その結果得られたデータをまとめて、横軸に含水比、縦軸に吸着係数をとってグラフにしたものが図-1、2に示してある。吸着係数の値が最小値に達するまでは、急激に吸着係数の値が減少している。このような右下がりの部分は、土壌の表面にはファンデルワールス力で吸着する TCE ガスよりも、極性の相互作用によって吸着する水分子の方が吸着の過程が起りやすいこと、さらに TCE ガスは水に溶解するよりも直接土壌表面により吸着しやすいためだと考えられる²⁾。つまり、吸着係数が最低値に達するまでの範囲では、含水比の影響を受けやすいということがいえる。

吸着係数の最低値を与える含水比を越えると、吸着係数の値はわずかに増加していくという現象が見られる。その原因として、土壌表面がすべて水で覆われ TCE ガスが土壌表面に直接吸着できなくなり、吸着量はガスが水に溶解する分のみに依存してくるということが挙げられる。

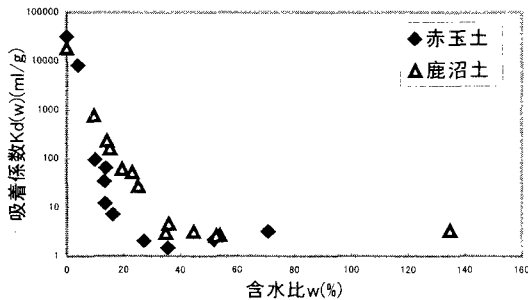


図-1 含水比-吸着係数曲線 (赤玉土・鹿沼土)

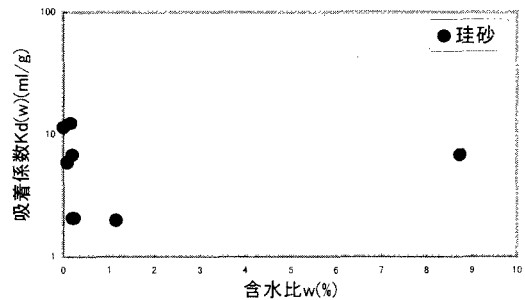


図-2 含水比-吸着係数曲線 (珪砂)

表-2に今回の実験で使用した3種類の土壌と、Ong ら¹⁾が使用したサンプルを含めた全7種類について、比表面積と吸着係数の最低値を与える含水比をまとめて示す。図-3は7種類のサンプルについて横軸に含水比、縦軸に比表面積をとってグラフにしたものである。(図中の数字は表-2と対応) 図-3より吸着係数の最低値を与える含水比と比表面積との間に良い相関が見られる。これは、単粒構造を持つ土壌が団粒構造を持つ土壌と同等の比表面積を持つならば、含水比-吸着係数曲線の形は変わらないことを示している。つまり、吸着係数の最低値を与える含水比と土壌の比表面積の関係は土壌の構造に関係なく比例していることが分かった。

表-2 比表面積と吸着係数の最低値を与える含水比

構造	サンプル	比表面積(m ² /g)	含水比 w(%)
団粒	1.赤玉土	151.4	18.9
	2.鹿沼土	198.5	35.3
単粒	3.珪砂	0.229	0.334
	4.Alumina*	143.2	24.0
	5.Coated Alumina*	189.3	19.7
	6.Iron Oxide*	10.98	1.16
	7.Kaolinite*	8.47	2.80

* : Ong らの研究によるもの

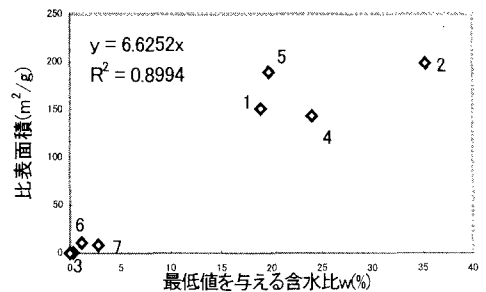


図-3 含水比-比表面積曲線

5.結論

以上のように地盤の含水状態、構成する土壌の比表面積の値を知ることが、汚染物質が地質環境の中でどのように挙動し汚染を広げ、それが地下水汚染とどのように関係してくるのかということを解明するために、非常に重要であるという結論を得た。

6.参考文献

- 1) Say Kee Ong and Leonard W.Lion:Mechanisms for Trichloroethylene Vapor sorption onto Soil Minerals,Journal of Environmental Quality pp.181-183,Vol 20 / January-March 1991 / Number 1
- 2) 竹内節：吸着の化学 表面・界面制御のキーテクノロジー,産業図書株式会社 1995,4