

## 土壌浸透水浄化システムの再評価・再構築

### 1. 腐植物質及びリンに対する土壌の吸着能評価

京都大学 正会員 ○ 藤川 陽子, 大阪産業大学 正会員 濱崎 竜英  
 大阪産業大学 正会員 菅原 正孝, 大阪産業大学 正会員 尾崎 博明  
 大阪産業大学 ギャネンドラ・プロサイ, 矢野 哲也, 今田 綾介

**1. 研究目的および背景** 本研究では、数 m/day 程度の高速の土壌浸透による水浄化法（以下、土壌浸透法と略称）において、水中腐植物質およびリンの除去を効率よく行える浄化材料を見出すため、土壌・汚泥・炭・鉱物等の様々な材料のフルボ酸およびリン酸の吸着特性を調査した。近年、例えば生活排水の活性汚泥処理水中有機物の相当部分が腐植質（フルボ酸）であることがわかるなど（野上ら）、水圏において人間活動に由来する腐植物質の増加の可能性が指摘されている。トリハロメタン前駆体である水中腐植物質の水源水域における存在は、飲用水の水質に望ましくない影響があり、これを適切に除去する方策が求められている。土壌浸透法は、スラッジを発生させず、低コストで原位置において水浄化ができる利点があり、下水の高度処理や湖沼水等の直接浄化に適すると考え、今回の検討を行った。

土壌浸透法は、欧米諸国で最初に開発・適用され、もともとは数 cm/day 程度の緩速で汚水を自然の土壌層に散布・浸透させ、土壌の有する物理・化学・生物学的浄化作用を利用して有機物除去や脱窒を行うものであった。一方わが国では、トレンチ法（國松ら）・多段土壌層（Wakatsuki ら）等により透水性と汚濁物質除去能を兼ね備えた土壌層を人工的に構築することで、数 m/day 程度の高速で水浄化を行う方法が開発されてきている。

**2. 実験方法 材料スクリーニングのためのバッチ吸着試験** バッチ吸着試験により、各地から収集した火山灰土 23 種、沖積土 12 種、鉱物 6 種、炭 5 種、堆積物 3 種、砂 2 種、汚泥 10 種についてフルボ酸およびリンの吸着性能を検討した。実験は暗所において室温 25℃ で実施し、固液比 1 対 2.5 で固相と液相（河川水）を接触させ、液相に添加したフルボ酸（液相水中初期濃度約 30ppm）およびリン酸（液相水中初期濃度 2ppm）の固相への吸着を、溶存有機物（添加後 1hr, 24 hr, 72hr, 168hr 後に測定）および全リン濃度（添加後 168hr 後に測定）から算定した。液相にフルボ酸もリンも添加しないブランク試験も同様に実施した。なお、固体試料は全て風乾後 2mm アンダーに粉碎、液体試料は全て孔径 0.7 μm のガラス繊維ろ紙（Whatmann, GF/F）でろ過して使用した。液相に添加したフルボ酸は Aldrich 社のフミン酸中に不純物として含まれていたものを分離して使用した。このフルボ酸は XAD-7 樹脂を用いて分画した結果ほぼ 100% が疎水性・腐植質と判定され（Thurman ら）、また、含まれている有機炭素のうち約 30% が生分解性であった。

**吸着等温式取得のためのバッチ吸着試験** 様々な土壌を使用した土壌浸透法において、汚濁物質除去性能とシステムの寿命の期待値を算出するモデルの構築も、同法を開発適用していく上で重要である。そこで、本研究では、モデル構築の第一歩として、フルボ酸の吸着性がある程度高いことがわかった材料数種につき、さらにフルボ酸の吸着等温式取得のための試験を実施した。試験では、同じ固相材料について相異なる量のフルボ酸を添加して初期の液相中フルボ酸濃度の異なるバッチ実験系を複数構成し、フルボ酸の吸着を測定した。なお、ここで添加したフルボ酸は上述の試験と同じく Aldrich 社のフミン酸から分離したものであるが、フルボ酸添加量による電気伝導度の変動を少なくするために、あらかじめゲルろ過により脱塩して用いた。

**3. 実験結果と議論** 表 1 にバッチ吸着実験結果の一部を示す。本研究では、試料の有するフルボ酸の吸着能力の指標として固液間吸着分配係数  $K_d$  を用いた。ここに、 $K_d$  は固相への DOC 吸着量と吸着平衡時の液相中

キーワード 土壌浸透, 腐植物質, フルボ酸, リン, 吸着, バッチ吸着試験

連絡先 〒590-0494 大阪府泉南郡熊取町野田 京都大学原子炉実験所 藤川 陽子 TEL 0724-51-2447

の DOC 濃度に線形関係が成立すると仮定し、次式により計算した。

$$K_d = (V/m) ((C_b + C_0)/C - 1)$$

ここに V, m はバッチ実験の液相および固相の量(mL および g),  $C_b, C_0, C$  はそれぞれブランク試験の液相中 DOC または全リン濃度(mg/L), 初期に添加した液相中の DOC または全リン濃度(mg/L), 吸着平衡到達時の液相中の DOC または全リン濃度(mg/L)である。

表 1. フルボ酸の $K_d$   
(168 時間の $K_d$ 値が高い順に表示)

| 固相            | フルボ酸の $K_d$ (mL/g) |       |       |       |
|---------------|--------------------|-------|-------|-------|
|               | フルボ酸添加後の時間 (hrs)   |       |       |       |
|               | 1.0                | 24.0  | 72.0  | 168.0 |
| ゼオライト         | 10.2               | 163.4 | 200   | 252.3 |
| 粒状炭           | 9.2                | 1.8   | 46.8  | 159.3 |
| リン酸アパタイト      | 76.0               | 124.8 | 126.0 | 145.1 |
| リン酸カルシウム(試薬)  | 47.4               | 65.3  | 195.7 | 130.0 |
| 黒ボク土(滋賀県甲賀町)  | 9.0                | 91.9  | 46.1  | 124.9 |
| 赤玉土           | 3.6                | 15.1  | 29.1  | 97.0  |
| 黒ボク土(滋賀県山東町)  | 4.8                | 27.8  | 44.7  | 77.8  |
| 上水汚泥琵琶湖3      | 3.4                | 8.1   | 18.9  | 24.6  |
| リモナイト(熊本県阿蘇郡) | 8.8                | 10.0  | 13.1  | 23.7  |
| 褐鉄鉱(goethite) | 4.2                | 17.6  | 24.3  | 20.7  |
| 竹炭            | 6.8                | 22.4  | 60.5  | 18.5  |
| 黒ボク(茨城県)      | 3.0                | 7.3   | 23.6  | 18.3  |
| ベントナイト        | 13.9               | 17.7  | 26.3  | 16.8  |

表 1 から明らかなように、フルボ酸について高い吸着能力を有する土壌はどちらかというとな少ない。水中腐植物質の除去を図るには、適切な添加材（ゼオライト、アパタイト、炭）を用いることが必要と考えられた。一方、表には示さないが、リンについては砂や最表層の土を除いた大部分の土壌が高い吸着能力を示した。

図 1 に黒ボク土（滋賀県山東町）とリモナイト（熊本県阿蘇郡）についてえたフルボ酸の吸着等温式を示す。吸着等温式は本来、吸着平衡時の液相中の対象物質濃度とその物質の吸着量の関係を示すものであるが、Nodvin らおよび Kaiser らは、DOC の吸着に関しては初期に実験系

に投入した量（ $C_0$ ）と吸着量  $q$ （固相単位量あたりの DOC 吸着量）に相関があると指摘した。本研究においては、リモナイトにおいては、 $C_0$  と  $q$  の相関関係と共に、 $C - C_b$ （液相中のフルボ酸濃度に相当）と  $q$  の相関関係が認められた。一方黒ボク土においては、 $C_0$  と  $q$  の相関関係のほうが良好であった。しかしながら、 $C_0$  と  $q$  の相関は実際の土壌浸透法における流動系のモデルには適用し難く、更に引き続き検討が必要と考えられた。

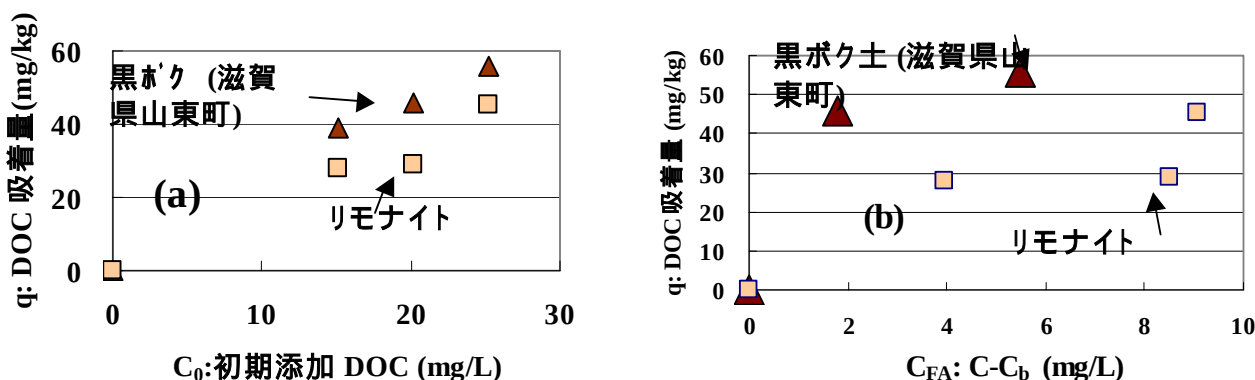


図 1 フルボ酸の吸着等温式 (a)  $C_0$  と  $q$  のプロット, (b)  $C - C_b$  と  $q$  のプロット

**謝辞** 本研究遂行に当たっては国土交通省、ならびに文部科学省・科学技術振興調整費、同科学研究費補助金からの助成を受けました。ここに記して感謝します。

**参考文献** 國松, 菅原, 都市の水環境の創造, 技報堂出版(1988).  
野上, 南有田, 宮永, 水環境学会誌 43(12), 13-17 (2001).  
Kaiser K., Guggenberger G. and Zech W. (1996). Geoderma 74, 281-303.  
Nodvin S. C., Driscoll C. T. and Likens G. E. (1986). Soil Sci. 142 (1), 27-35.  
Thurman E. M. and Malcolm R. L., Environ. Sci. Technol. 15, 463-466 (1981).  
Wakatsuki T., Esumi H. and Omura S. Water Sci. Technol., 27(1), 31-40 (1993).