

下水処理水および道路排水の土壌浸透処理による水質変化と そのリスク評価

古米弘明¹・村上道夫²・中田典秀³・高田秀重⁴

Water quality change of road runoff and secondary effluent by soil aquifer treatment and their risk evaluation

Hiroaki FURUMAI¹, Michio MURAKAMI², Norihide NAKADA³, and Hideshige TAKADA⁴

Abstract: In order to establish the sustainable urban water cycle, it is necessary to evaluate potentials of utilizing secondary effluent and road runoff as self-owned water resources in urban areas. Groundwater replenishment by infiltration of secondary effluent and rainwater is a promising option to secure self-owned water resource in urban area. Therefore, it is expected to understand the dynamic change of their water quality and to assess the risk and the acceptability for water use. In this study, we conducted soil infiltration column tests for secondary effluent and road runoff to evaluate the treatment performance. Furthermore, we proposed the comparative representation of water qualities of percolating water with those of rivers throughout Japan so that citizens could understand their water quality risk and acceptability for water use.

Key Words : soil aquifer treatment, water quality purification, road runoff, secondary effluent, water quality evaluation

1. はじめに

大都市圏の用水が流域外からの取水に大きく依存しており、河川上流におけるダムや堰などの建設を含む水源の開発に伴い、河川水量の平滑化及び取水後の流量低下、中下流域における各種都市排水による水質汚濁といった問題が顕在化している。水循環系の健全化への対応は喫緊の課題である（水循環系再生構想検討委員会, 2003）。持続可能な水資源を確保するために、現行のフロー型水利用システムから、循環型水利用システムへと改変する必要性が高まっている。特に、都市内の貴重な自己水資

源である地下水の涵養促進に基づいた水環境管理が期待されている。その地下水涵養の対象となる水として、屋根雨水だけでなく下水処理水や道路排水などが考えられる。

下水処理水や道路排水の涵養では、その「質」の動態変化を理解した上で、都市内における水利用の観点から水質を評価することが必要である（古米, 2006）。特定施設である下水処理場からの処理水を地下に涵養することは、わが国では水質汚濁防止法によって原則的に禁じられているが、例えばカリフォルニア州のように水資源不足の地域では、下水処理水の涵養は自己水源を確保するための有望な選択肢の一つとなっている。雨水流出抑制型下水道システムとして、屋根雨水だけでなく道路排水を地下浸透させる施設の導入は、石神井川や白子川流域において 1980 年代に導入され、その流出抑制や地下水涵養の効果が立証されている（村上ら, 2008）。しかしながら、下水処理水には有機物、窒素、リン、重金属類に加えて、医薬品類、合成洗剤成分、女性ホルモン類が含まれており、道路排水にはカーワックスなどに由来するフッ素系界面活性剤といった微量汚染物質が含まれていることも知られている（真名垣ら, 2005; Han et al., 2006; Nakada et al., 2006; Murakami et al., 2009）。土壌には粒子に付着した汚染物質を物理的に除去するだけでなく、微生物による有機物分解やリンや重金属の吸着などにより水質を浄化する能力があることが知られているが（高井・三好, 1977; Yong et al., 1992）、下水処理水や道路排水を土壌浸透することで、地下水汚染を引き起こす危険性もあり、浸透過程における水質浄化能を正しく理解する必要がある。

我々は、下水処理水や道路排水に対する水質浄化能を土壌カラムによる浸透処理を通じて検討した結果を既に報告してきた（篠原ら, 2006; Nakada et al., 2007; Murakami et al., 2008a）。

本報では、下水処理水や道路排水を用いた土壌カラム実験の結果を比較することで、多様な汚染物質に対する土壌浸透処理の有効性を評価した。さらに、土壌浸透処理を行った下水処理水や道路排水の間接的な水利用を想

¹Research Center for Water Environment Technology, School of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo, Tokyo 113-8656, Japan. Corresponding author: 古米弘明, 東京大学大学院工学系研究科 附属水環境制御研究センター

²"Wisdom of Water" (Suntory), Corporate Sponsored Research Program, Organization for Interdisciplinary Research Projects, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo, Tokyo 113-8656, Japan

³Research Center for Environmental Quality Management, Kyoto University, 1-2 Yumihama, Otsu, Kyoto 520-0811, Japan

⁴Laboratory of Organic Geochemistry (LOG), Institute of Symbiotic Science and Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183-8509, Japan

2008年12月6日受稿 2009年2月10日受理
土壌の物理性 111号, 17-24 (2009)

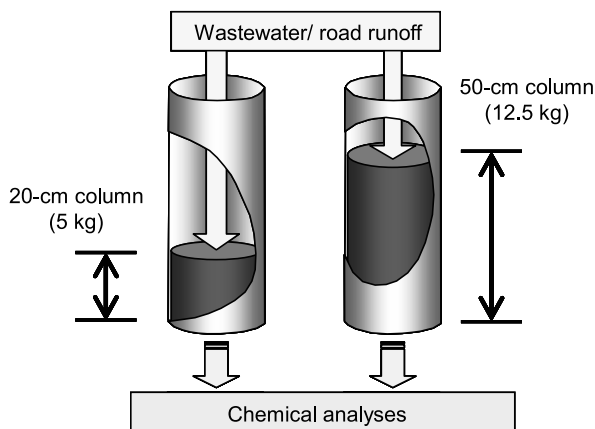


Fig. 1 土壌カラム実験装置。
Soil infiltration column test setup.

定して、浸透水の水質リスクを評価検討した事例を紹介する。

2. 実験方法

2.1 実験材料

元農地であった児童公園内で GL $-0.9 \sim -1.2$ m 範囲の関東ローム土壌を採取し、カラム実験土壌として使用した。採取土壌は、自然乾燥後、ステンレス製の篩を用いて土壌粒径 $75 \mu\text{m} \sim 2 \text{mm}$ に分別した。 $75 \mu\text{m} \sim 2 \text{mm}$ の範囲に分別した土壌を直径 200 mm、高さ 600 mm のステンレス製カラム (Fig. 1) に土壌の厚さ 20 cm 及び 50 cm となるように充填した (それぞれ 20 cm カラム, 50 cm カラム)。破過しやすいような物質は、土壌量の少ない 20 cm カラムにおいて除去率の顕著な低下が見られることを期待した。土壌の pH は 6.1, 灼熱減量は 14.8 %, 全有機炭素量は 18 mg g^{-1} , 全窒素は 1.3 mg g^{-1} , 全リンは 0.40 mg g^{-1} であった。

土壌カラムに浸透させる都市排水は、下水処理水、道路排水の 2 種類とした。下水処理水は、原則的に 1 週間に 1 回の頻度で標準活性汚泥法による二次処理水を採水し、塩素を添加してから少なくとも 24 時間以上経過したものを用いた (篠原ら, 2006; Nakada et al., 2007)。塩素添加を施し、土壌カラムに通水するまでは 5°C で保管した。道路排水は、首都高速道路から採取した塵埃と地下水 (静岡県志太郡大井川町) とを固液比 25 L kg^{-1} にて 6 時間混合させ、15 時間以上静置した上澄み液を模擬的な排水として実験に供した (Murakami et al., 2008a)。

2.2 浸透実験条件

下水処理水および道路排水を通水する前に、カラム充填土壌中に蓄積された汚染物質の溶出を行うために静岡県志太郡大井川町から採水した地下水を通水した。下水処理水を用いた実験では、地下水を流量 100 mL min^{-1} (3.3 mm h^{-1}) で 10 日間、道路排水を用いた実験では、流量 150 mL h^{-1} (5 mm h^{-1}) で 14–15 日間、通水した。

通水はベリスタポンプ (東京理化機械株式会社製) により行った。実験に使用する器材は溶存する物質の容器による吸着等の影響を避けるために、ステンレス製のものを用いることとし、送液ポンプローラー部配管につ

いてはタイゴンチューブ (サンゴバン株式会社製) を用いた。

下水処理水および道路排水の通水流量は 300 mL h^{-1} (10 mm h^{-1}) とした。

また、道路排水では、浸透条件により土壌吸着能が変化するかを検証するため、50 cm カラムを用いて連続的に浸透させるケースと 24 時間間欠で浸透させるケースの 2 条件で実験を行った。

実験期間は、下水処理水の場合は 80 日間、道路排水の連続浸透の場合では 79 日間、間欠浸透の場合で 157 日間であった。なお、79 日間の連続浸透や 157 日間の間欠浸透による道路排水の浸透量は、土壌浸透面積に対して約 11–12 年分の降水量に相当する。

2.3 分析項目

カラム流入水 (下水処理水および道路排水) 及び流出水をそれぞれ採取し、その溶存態を分析に供した。両実験において、有機物 (COD_{Mn}, DOC), 窒素類 (全窒素 (T-N), 亜硝酸態窒素 (NO₂-N), 硝酸態窒素 (NO₃-N), アンモニア態窒素 (NH₄-N)), リン類 (全リン (T-P), リン酸態リン), 重金属類 (Cu, Zn, Ni, Mn など), 女性ホルモン様活性を測定した。また、下水処理水を用いた実験では、医薬品類 (triclosan, crotamiton, carbamazepine, diethyltoluamide など), 蛍光増白剤 (4,4'-bis[(4-anilino-6-morpholino-1,3,5-triazin-2-yl)amino]stilbene-2,2'-disulfonate (DAS1), 4,4'-bis(2-sulfostyryl)biphenyl (DSBP)), 直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩 (LAS)) も測定した。道路排水を用いた実験では、アルカリ土類金属 (Mg, Sr, Ba), フッ素系界面活性剤 (perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctane sulfonamide (FOSA)) も測定した。有機物, 窒素類, リン類, 重金属類およびアルカリ土類金属の分析方法の詳細は、日本工業標準調査会 (1998) に、女性ホルモン様活性については中田ら (2006) に、医薬品類については Nakada et al. (2006) に、蛍光増白剤については Hayashi et al. (2002) に、LAS については真名垣ら (2005) に、フッ素系界面活性剤については Murakami et al. (2008b) に記載した。

3. 結果と考察

3.1 下水処理水の土壌浸透実験

Fig. 2 に下水処理水を流入水として用いた際の 20 cm, 50 cm カラムでの除去率変化の例を示す。除去率 RE は、次式のように定義した。

$$RE = 1 - C_{\text{out}}/C_{\text{in}}$$

C_{out} : カラム流出水中濃度

C_{in} : カラム流入水中濃度

なお、毎週 1 回大量に採水した下水処理水を冷蔵庫に保管し流入させたことから、除去率の算出にはこの流入水濃度と各経過日数における流出水濃度を用いた。

DOC 除去率の変動は大きく、実験開始から 10 ~ 40 日間では除去率 20–40 % と小さかったものの、通水開始 40 日後以降で安定となり、80 % 程度まで上昇した。

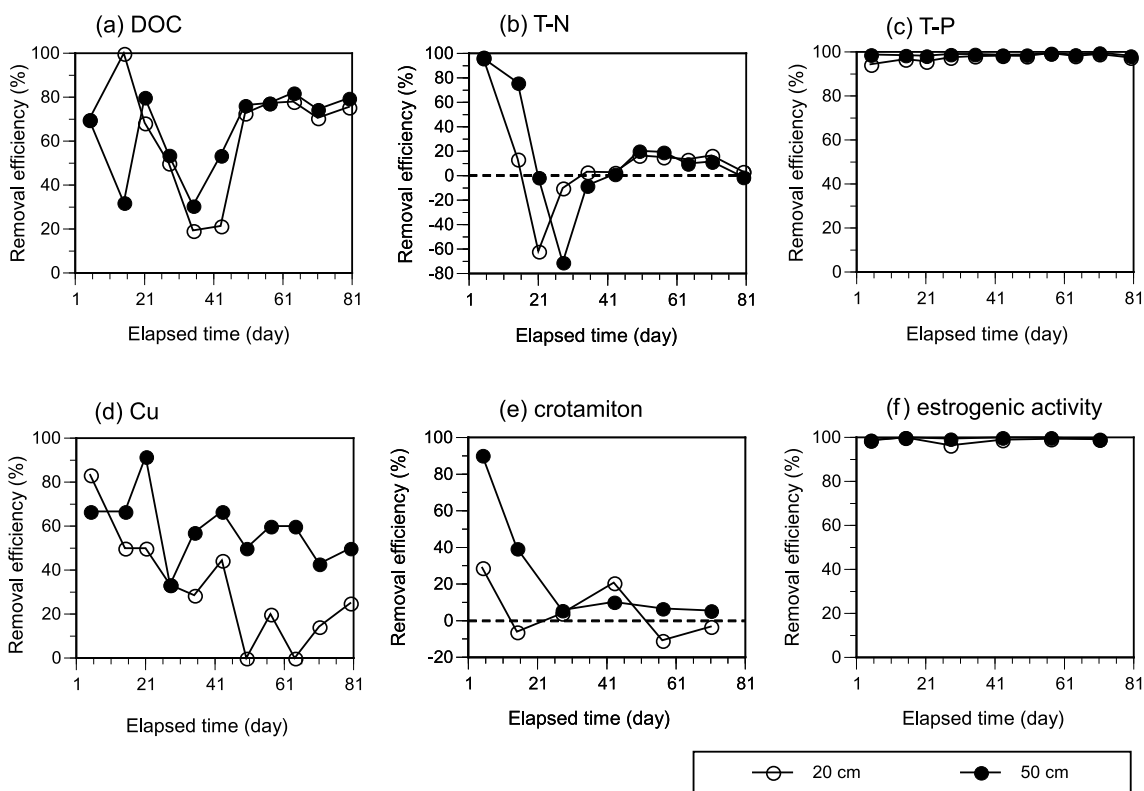


Fig. 2 下水処理水中汚染物質の土壌浸透処理による除去率の変化. (a) DOC, (b) T-N, (c) T-P, (d) Cu, (e) crotamiton, (f) 女性ホルモン様活性.
Changes of removal efficiencies of pollutants in wastewater effluents by soil aquifer treatment. (a) DOC, (b) T-N, (c) T-P, (d) Cu, (e) crotamiton, (f) estrogenic activity.

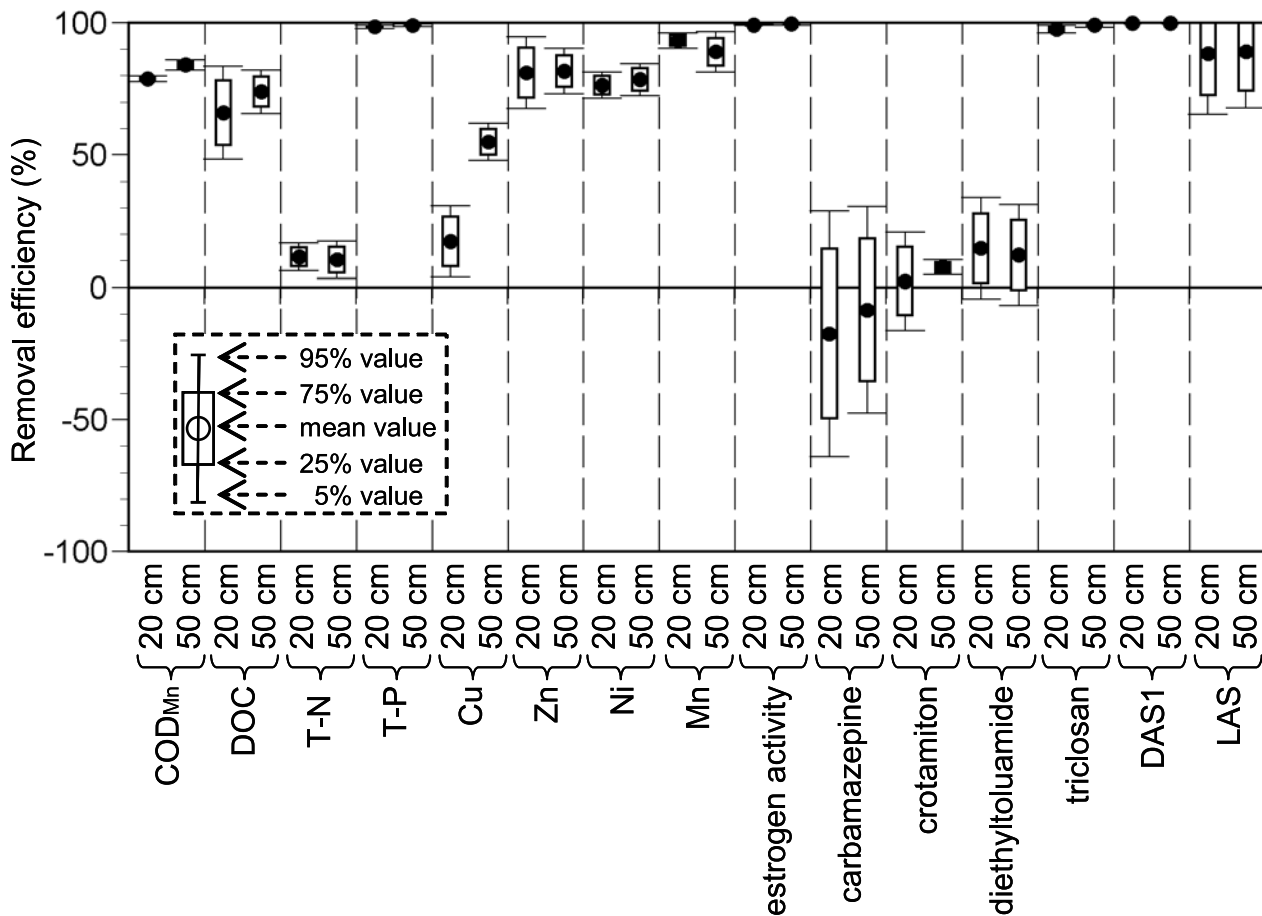


Fig. 3 実験後期における下水処理水中汚染物質の土壌浸透処理による除去率.
Removal efficiencies of pollutants in wastewater effluents by soil aquifer treatment in the late stage.

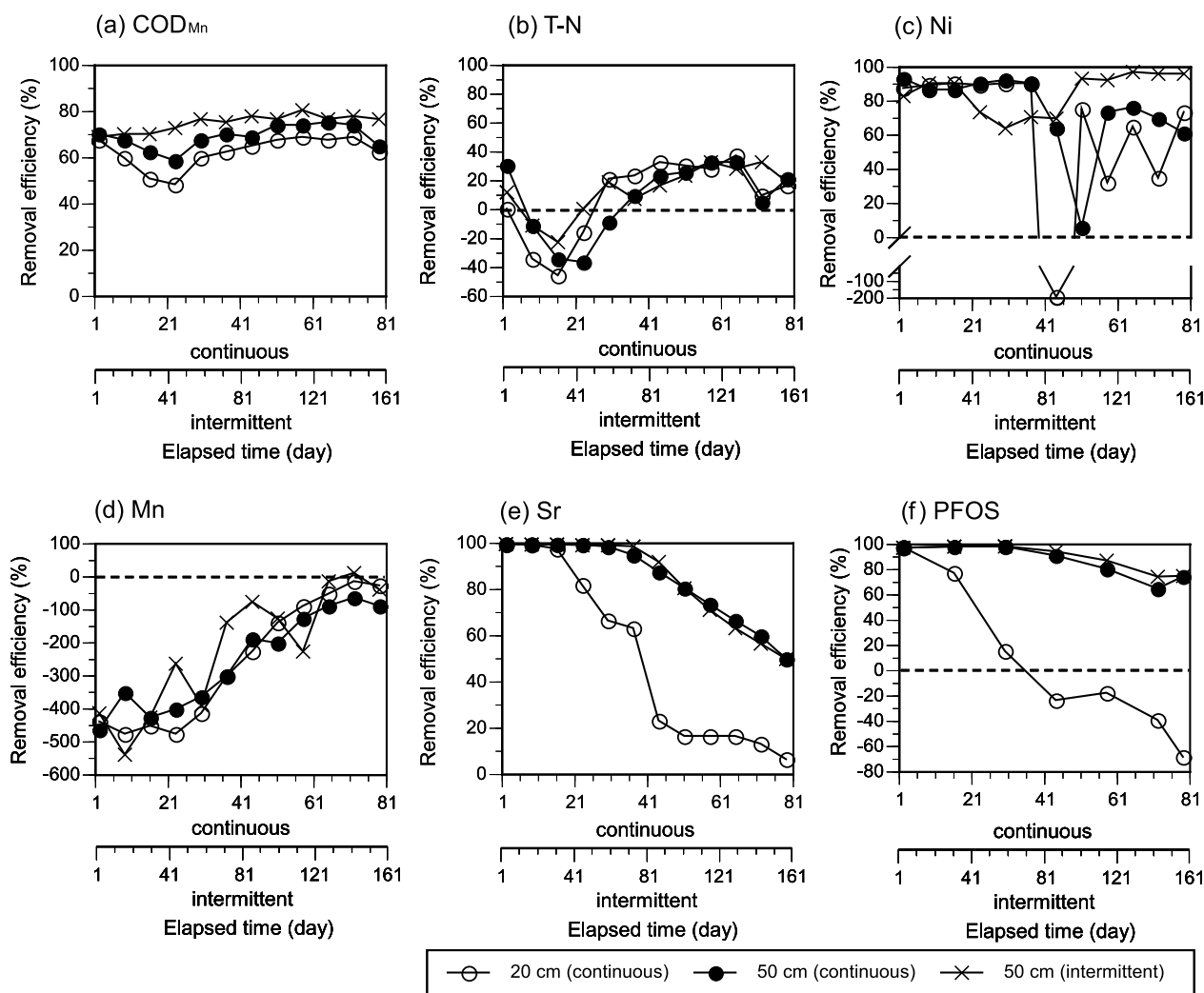


Fig. 4 道路排水中汚染物質の土壌浸透処理による除去率の変化. (a) COD_{Mn}, (b) T-N, (c) Ni, (d) Mn, (e) Sr, (f) PFOS. Changes of removal efficiencies of pollutants in road runoff by soil aquifer treatment. (a) COD_{Mn}, (b) T-N, (c) Ni, (d) Mn, (e) Sr, (f) PFOS.

流出水窒素濃度の変動として、NH₄-Nが浸透開始後しばらくすると急激に低下するものの、NO₃-Nが増加することが確認された。これは、土壌微生物による硝化作用によるものと推察された。硝化は進行したものの数十日経過後でもT-Nの除去率は20%以下であり、脱窒は進まず窒素除去は必ずしも期待できないことが分かった。また、T-Nの除去率は通水開始21–35日後で負となった。これは、実験初期に一時的にアンモニアが土壌に吸着され、その硝化に伴い溶出されたのか、充填した土壌自体の有機物の分解に伴う窒素溶出が生じたものと推察された。

Cu以外の重金属類およびリン、女性ホルモン様活性については、実験期間を通じて安定的な除去効率が確認された。カラム流出水のCuの濃度は徐々に上昇するという典型的な破過現象が見られた。特に、土壌量の少ない20 cmカラムにおいて濃度上昇が顕著であり、破過が生じたことが裏付けられた。

Crotamitonなどの一部の医薬品は、土壌による除去率が低かった。これらの成分はオクタノール/水分配係数(K_{ow})も微量有機成分の中では相対的に低く、下水処理でも除去されにくいという特徴があった(Nakada et al.,

2006)。これらの成分は難吸着性、難微生物分解性のため、土壌による除去に限界があったと考えられる。

実験後期(43–80日)における除去率の平均値、5%値、25%値、75%値、95%値をFig. 3に示す。下水処理水を用いた土壌浸透処理では、有機物、リン、Cuを除く重金属類、女性ホルモン類、triclosanなどの一部の医薬品類、蛍光増白剤、LASの除去に有効であった。一方、窒素、Cu、carbamazepine、crotamiton、diethyltoluamideなどの医薬品類の除去率は低く、これらの成分が地下水へと到達しやすいことが示唆された。

3.2 道路排水の土壌浸透実験

Fig. 4に道路排水を流入水として用いた際の各カラムでの除去率の変化例を示す。除去率はさきほど同じように定義した。なお、カラム流入水である道路排水は道路塵埃と地下水による人工的に混合して作成していることから、実験期間中に3–4回の分析値の平均を、カラム流入水中濃度とした。

下水処理水の場合と同様に、有機物、リン、女性ホルモン様活性については概ね良好な除去率を示した。連続、間欠の浸透条件の違いによる土壌浄化能については、有機物指標であるCOD_{Mn}において顕著な違いが見られ、

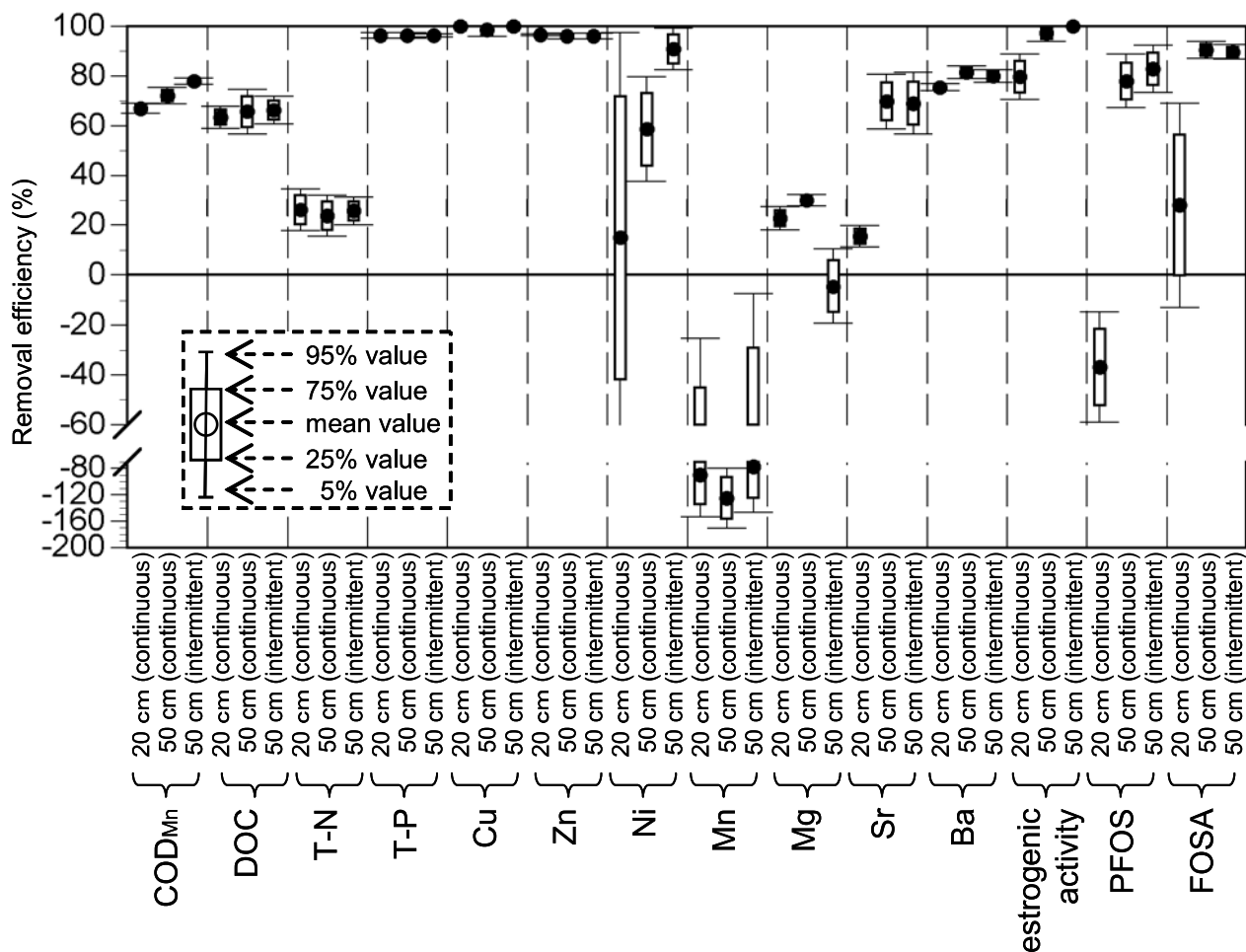


Fig. 5 実験後期における道路排水中汚染物質の土壌浸透処理による除去率。
Removal efficiencies of pollutants in road runoff by soil aquifer treatment in the late stage.

間欠浸透により相対的に良好で安定した除去が期待できることが明らかとなった。これは、間欠浸透は結果的に2倍の反応時間であることに加え、酸素供給に有利であるためと考えられる。

窒素は、下水処理水の場合と同様に十分には除去されず、実験開始時から低い除去率となった。道路排水中の無機態窒素は、ほとんどがNO₃-Nであり、浸透後徐々に増加していることから土壌中で有機態窒素が無機化され、硝化されるものと考えられる。

CuやZnなど重金属類の多くは除去されたものの、アルカリ土類金属の除去率は徐々に低下した。特に20 cmカラムでの除去率の低下が顕著であり、破過が生じたことが裏付けられた。また、Niも連続浸透条件で、44日目以降に除去率の低下が見られた。間欠浸透条件の除去率の方が高かった理由として、土壌に吸着された有機物がNiに対して新たな吸着サイトを提供した可能性が考えられる。Mnは実験開始時から除去率が負となり、土壌からの溶出が確認された。嫌気条件下においてFe酸化物やAsとともにMn酸化物が土壌から溶出されることが知られている(Takahashi et al., 2004)が、本研究では土壌からFeやAsは溶出されなかった。下水処理水と道路排水との間でCu, Ni, Mnの除去率に違いがあった原因のひとつとして、各試料における金属の存在形態が

異なることが考えられる。有機物との錯体形成といった存在形態によって、土壌中での重金属類の移動性が異なることが報告されており(Murakami et al., in press)、重金属類に対する土壌浸透処理による水質浄化能を考慮する際には、形態別に評価することが重要と考えられた。

フッ素系界面活性剤は、実験初期には除去されたものの、20 cmカラムからの流出水の濃度が徐々に上昇した。特に、PFOS濃度は実験後期には20 cmカラム流出水の方が流入水の濃度よりも高かった。これは、前駆物質が微生物分解されることでPFOSが生成されたものと考えられる。

実験後期(連続浸透:44-79日、間欠浸透:87-157日)における除去率をFig. 5に示す。道路排水を用いた土壌浸透処理では、有機物、リン、CuやZnといったほとんどの重金属類、女性ホルモン類の除去に有効であった。一方、窒素、Ni、アルカリ土類金属、フッ素系界面活性剤の除去率は低く、これらの成分が地下水へと到達しやすいことが示唆された。

3.3 浸透水の水質リスク評価

下水処理水、道路排水、およびそれらの土壌浸透水の水質リスクを評価するために、水道水質基準値および環境基準値との比較を行った(Table 1)。有機物、リン、Znに関しては、土壌浸透処理によりこれらの基準値を満足

Table 1 土壌浸透処理水の水質と水質基準との比較 (平均値 ± 標準偏差; 浸透処理水の水質は実験後期における平均値). Comparison in water qualities between percolating effluent and quality standard in Japan. (Arithmetic mean ± standard deviation; Water qualities in 20-cm column effluents: Arithmetic mean values in the late stage).

		Secondary effluent		Road runoff		Water quality standard
		Column influent	20-cm column effluent	Column influent	20-cm column effluent	
DOC	[mg L ⁻¹]	5.4 ± 0.4	2.2 ± 1.3	5.8 ± 4.2	2.1 ± 0.3	< 5 ^b
(NO ₂ + NO ₃)-N	[mg L ⁻¹]	0.04 ± 0.03	25 ± 2	2.1 ± 1.6	2.5 ± 0.6	< 10 ^{bc}
T-N	[mg L ⁻¹]	35 ± 3	30 ± 3	4.3 ± 1.8	3.2 ± 0.5	< 0.1-1 ^d
T-P	[mg L ⁻¹]	0.20 ± 0.05	0.003 ± 0.001	0.059 ± 0.038	0.002 ± 0.001	< 0.005-0.1 ^d
Cu	[mg L ⁻¹]	0.006 ± 0.002	0.005 ± 0.001	0.037 ± 0.006	< 0.001	< 1 ^b
Zn	[mg L ⁻¹]	0.021 ± 0.004	0.004 ± 0.003	0.13 ± 0.04	0.004 ± 0.001	< 1 ^b , < 0.03 ^d
Mn	[mg L ⁻¹]	0.022 ± 0.003	0.002 ± 0.001	0.008 ± 0.007	0.015 ± 0.006	< 0.05 ^b
Crotamiton	[ng L ⁻¹]	410 ± 40	400 ± 40	n.a. ^a	n.a.	n.a.
Triclosan	[ng L ⁻¹]	300 ± 30	7.4 ± 4.3	n.a.	n.a.	n.a.

^a Not available

^b Drinking-water quality standard

^c Environmental quality standards for human health (public water body and groundwater)

^d Environmental quality standards for conservation of the living environment (lake water)

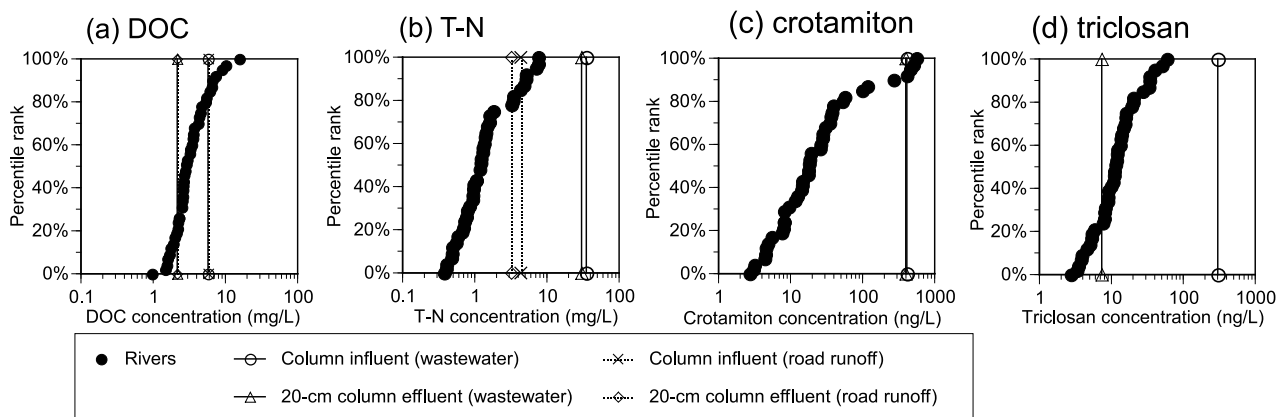


Fig. 6 土壌浸透処理水の水質と一級河川水質との比較 (浸透処理水の水質は実験後期における平均値). (a) DOC, (b) T-N, (c) crotamiton, (d) triclosan.

Comparison in water qualities between percolating water and the first grade rivers. Water qualities in 20-cm column effluents: Arithmetic mean values in the late stage. (a) DOC, (b) T-N, (c) crotamiton, (d) triclosan.

するレベルまで水質が改善されたことが確認された。その一方で、下水処理水の土壌浸透水において、水道水質基準や水質環境基準の健康項目となっている亜硝酸態および硝酸態窒素の濃度については、それらの基準値を超過していた。また、医薬品類については水道水質基準や水質環境基準がないため、その評価を行うことはできない。

さらに、我が国の河川水質との相対的な比較評価を行うことを試みた。一級河川は全国的にもよく知られた存在であることや水質データの蓄積があることから、下水処理水や道路排水の土壌浸透水のような再生水の水質リスクを相対的に評価する上で有効だと判断した。また、河川では実際に多様な水利用が行われていることから、医薬品類のように現行の水質基準や安全性の判定基準のない様々な成分に対しても、そのリスクについての物差しとして適用できるという利点がある。

まず、109の全国一級河川から各地方から4河川ずつ、全36河川を選択した。109河川と選択した36河川との間に、流域面積やT-Nといった一般水質項目の測定値の分布に大きな差がなかったことから、十分な代表性があると判断した(原田ら, 2006)。

下水処理水および道路排水の土壌浸透処理による各水質濃度の変化について、河川の水質累積頻度分布(小松ら, 2007; Nakada et al., 2008)と比較した結果をFig. 6に示す。下水処理水や道路排水のDOC濃度は河川のパーセンタイル順位約80%に相当していたが、土壌浸透処理により、約20%まで低下していた。医薬品のひとつであるtriclosanも、下水処理水のパーセンタイル順位は100%を超過していたが、土壌浸透処理によって約20%まで低下していた。このことは、下水処理水を土壌浸透処理することで、良好な一級河川の水質並みに改善されることを示している。

逆に、T-Nやcrotamitonは水質レベルの改善が見られなかった。特に、T-Nは、下水処理水の土壌浸透処理後においても、パーセンタイル順位は100%を超過していた。全国的に知られた河川の水質累積頻度分布と比較することにより、下水処理水の土壌浸透水が極端に汚染されていることが容易に判断できる。下水処理水のT-Nのように、土壌浸透による除去率が低く、一級河川の水質と比較して汚染が顕著な項目に対しては、土壌浸透前に前処理の導入といった対策が必要であると考えられた。下水処理水のT-Nのように、土壌浸透による除去率が

低く、一級河川の水質と比較して汚染が顕著な項目に対しては、土壤浸透前に前処理の導入といった対策が必要であると考えられた。

4. おわりに

土壤カラム実験の結果から、土壤浸透処理は、有機物、リン、ほとんどの重金属類、女性ホルモン類、蛍光増白剤、LAS といった様々な汚染物質の除去には十分に有効に機能するものの、窒素、Cu, Mn, Ni, アルカリ土類金属、carbamazepine, crotamiton, diethyltoluamide などの医薬品、フッ素系界面活性剤の除去には限界があることが明らかとなった。

さらに、我が国で知られた一級河川の水質と相対比較することで、都市内自己水源の水質リスクを理解しやすい形で提示する可能性を示した。特に、下水処理水を土壤浸透処理しても、硝酸態および亜硝酸態窒素濃度は水質基準を超過し、一級河川の水質と比較してもその汚染は顕著であることが示された。下水処理水の地下水涵養や再生水の確保においては、涵養前に窒素除去を導入する必要があることが明らかとなった。

謝辞

本研究成果は、JST（独立行政法人科学技術振興機）の戦略的創造研究推進事業（CREST）の研究課題「リスク管理型都市水循環系の構造と機能の定量化」（代表：古米弘明教授）で得られたものである。ここに記して、謝意を表します。

引用文献

- 古米弘明 (2006): 都市水循環系における汚濁物の流れと持続的水利用. 環境科学会誌, 19: 425–434.
- Han, Y.H., Lau, S.L., Kayhanian, M. and Stenstrom, M.K. (2006): Correlation analysis among highway stormwater pollutants and characteristics. *Water Sci. Technol.*, 53(2): 235–243.
- 原田新, 中田典秀, 山下尚之, 佐藤修之, 伊藤光明, 鈴木穰, 田中宏明, 古米弘明 (2006): 全国河川水質分布との相対比較による都市再生水の水質評価. 環境工学研究論文集, 43: 501–508.
- Hayashi, Y., Managaki, S. and Takada, H. (2002): Fluorescent whitening agents (FWAs) in Tokyo Bay and adjacent rivers: Their application as anthropogenic molecular markers in coastal environments. *Environ. Sci. Technol.*, 36: 3556–3563.
- 小松俊哉, 真部良章, 姫野修司, 原田新, 村上道夫, 古米弘明 (2007): 全国河川水の変異原性生成能の分布及び一般水質項目・河川特性との関連性. 水環境学会誌, 30: 433–440.
- 真名垣聡, 小嶋早和香, 原田新, 中田典秀, 田中宏明, 高田秀重 (2005): 高速液体クロマトグラフィー質量分析計による直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩および分解産物の分析方法の開発と環境試料への応用. 水環境学会誌, 28: 621–628.
- 水循環系再生構想検討委員会 (2003): 健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議報告書「健全な水循環系構築のための計画づくりに向けて」について <http://www.Mlit.Go.Jp/tochimizushigen/mizsei/junkan/>
- Murakami, M., Fujita, M., Furumai, H., Kasuga, I. and Kurisu, F. (in press): Sorption behavior of heavy metal species by soak-away sediment receiving urban road runoff from residential and heavily trafficked areas. *J. Hazard. Mater.*
- 村上道夫, 古米弘明, 中嶋典之, Haltota K.P.K. Jinadasa, Rupak K. Aryal (2008): 降雨特性の異なる 66 降雨における雨水浸透施設からの浸透量の評価. 用水と廃水, 50: 227–233.
- Murakami, M., Sato, N., Anegawa, A., Nakada, N., Harada, A., Komatsu, T., Takada, H., Tanaka, H., Ono, Y. and Furumai, H. (2008a): Multiple evaluations of the removal of pollutants in road runoff by soil infiltration. *Water Res.*, 42: 2745–2755.
- Murakami, M., Imamura, E., Shinohara, H., Kiri, K., Muramatsu, Y., Harada, A. and Takada, H. (2008b): Occurrence and sources of perfluorinated surfactants in rivers in Japan. *Environ. Sci. Technol.*, 42: 6566–6572.
- Murakami, M., Shinohara, H. and Takada, H. (2009): Evaluation of wastewater and street runoff as sources of perfluorinated surfactants (PFSs). *Chemosphere*, 74: 487–493.
- 中田典秀, 東谷忠, 宮島潔, 小森行也, 鈴木穰 (2006): 下水および河川水試料に含まれるエストロゲン様物質の検出手法の検討. 環境化学, 16: 389–401.
- Nakada, N., Kiri, K., Shinohara, H., Harada, A., Kuroda, K., Takizawa, S. and Takada, H. (2008): Evaluation of pharmaceuticals and personal care products as water-soluble molecular markers of sewage. *Environ. Sci. Technol.*, 42: 6347–6353.
- Nakada, N., Tanishima, T., Shinohara, H., Kiri, K. and Takada, H. (2006): Pharmaceutical chemicals and endocrine disruptors in municipal wastewater in Tokyo and their removal during activated sludge treatment. *Water Res.*, 40: 3297–3303.
- Nakada, N., Yamashita, N., Miyajima, K., Suzuki, Y., Tanaka, H., Shinohara, H., Takada, H., Sato, N., Suzuki, M., Ito, M., Nakajima, F. and Furumai, H. (2007): Multiple evaluation of soil aquifer treatment for water reclamation using instrumental analysis and bioassay. In: Furumai, H., Kurisu, F., Katayama, H., Satoh, H., Ohgaki, S., Thanh, N.C., editor. *Southeast Asian Water Environ.*, 2: 303–310.
- 日本工業標準調査会 (1998): 工場排水試験方法, JIS K 0102
- 篠原裕之, 村上道夫, 真名垣聡, 小嶋早和香, 高田秀重, 佐藤修之, 鈴木穰, 中田典秀 (2006): 土壤浸透過程における水溶性微量有機物質の除去. 環境科学会誌, 19: 435–444.
- Takahashi, Y., Minamikawa, R., Hattori, K.H., Kurishima, K., Kihou, N. and Yuita, K. (2004): Arsenic behavior in paddy fields during the cycle of flooded and non-flooded periods. *Environ. Sci. Technol.* 38: 1038–1044.
- 高井康雄, 三好洋 (1977): 土壤通論. 朝倉書店, 東京.
- Yong, R.N., Mohamed, A.M.O., Warkentin, B.P. (1992): Principles of contaminant transport in soils. Elsevier, Amsterdam.

要 旨

都市域における持続可能な水利用システムを構築するためには、都市内自己水源の利用の可能性を評価することが必要である。都市内自己水資源を確保するために、下水処理水や雨水等を地下水涵養することは有望なオプションとして期待される。そのためには、その「質」の動態変化を理解し、水利用用途の視点からその許容性を含めた検討が求められる。本報では、下水二次処理水と道路排水を対象として、関東ローム土壌への浸透による水質浄化能をカラム実験によって調査し、その結果を比較することで多様な汚染物質に対する土壌浸透処理の有効性を評価した。さらに、水利用の観点から、一級河川の水質と相対比較することで、土壌浸透水の水質リスクを理解しやすい形で提示した。

キーワード : 土壌浸透処理, 水質浄化, 道路排水, 下水二次処理水, 水質評価