戸別合併浄化槽処理水における重金属の濃度実態と 処理水灌漑利用時の安全性

Heavy Metal Concentrations in Reclaimed Wastewater in Combined Household Wastewater Treatment Facilities
for Individual Houses and Its Safety under Reusing the Reclaimed Wastewater for Irrigation

治多伸介* 櫻井雄二*

Shinsuke HARUTA* Yuji SAKURAI*

(*愛媛大学農学部)

(*Faculty of Agriculture, Ehime University)

I はじめに

し尿と生活雑排水を処理するために、各家庭に設置される戸別合併浄化槽は、集合処理方式である農業集落排水施設よりも、1 家庭あたりの建設費が安価で設置が迅速である等の利点を有する。そのため、戸別合併浄化槽の導入を推進している農村地域は多い。

戸別合併浄化槽の処理水は、近隣の水路や河川に放流されることが多く、その処理水質に関する情報は、戸別合併浄化槽の導入に伴う農村地域の水質変化の予測や評価を行うために極めて重要である。一方、戸別合併浄化槽の処理水は、今後の水資源枯渇に備えて、再利用用途の拡大が目指されている¹⁾。そして、処理水を小型ポンプで送水するなどして、家庭の庭の樹木、花卉、菜園に灌漑利用するといった処理水の再利用が検討されている²⁾。このような処理水利用を安全かつ効果的に行うためにも、処理水質に関する情報は極めて有用である。

これらのことから、戸別合併浄化槽の処理水質実態については、これまで研究が行われてきた。しかし、これまでの主な研究²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾は、SS、BOD、COD、窒素、リン、塩類に関するものである。そして、家庭の庭に灌漑水として処理水を再利用した場合に、植物に好ましくない影響を与えたり、作物を介してそれを食した人体に悪影響を与えることが危惧される「重金属」の調査は不十分である。生活排水には、食品、医薬品、紙、洗剤、化粧品などに由来する重金属が含まれる⁶⁾が、戸別合併浄化槽処理水の重金属濃度に関する研究は見あたらない。

以上より、本報では重金属を対象として、農村地域の戸別合併浄化槽処理水の濃度実態を検討し、その処理水

を家庭の庭に灌漑利用した場合の安全性を明らかにすることを目的とした。そして、愛媛県 I 市 M 地区の 34 基の浄化槽を調査し、戸別合併浄化槽処理水の利用が、植物生育や、それを食した人体に及ぼす安全性を検討した。

II 研究方法

本研究に関する調査は、平成 4 年以降、戸別合併浄化槽が積極的に導入されている愛媛県 I 市 M 地区で行った。すなわち、M 地区の戸別合併浄化槽 70 基のうち、調査訪問時に在宅があり、調査許可が得られた 34 基を調査対象とした。そして、サンプリング時間や曜日は固定せずにランダムな時間と曜日にスポット採水を行った。また、水温の比較的低い時期と高い時期に、同じ浄化槽で 1 回ずつ採水を行った。このようにしたのは、各浄化槽の処理水質に、日内変動や季節変動があった場合においても、このような採水をすれば、M 地区における処理水濃度分布の大略を知ることが可能になると考えたためである。調査期間は、平成 19 年 2 月 13 日-3 月 11 日と平成 19 年 9 月 26 日-10 月 30 日の 2 期間とし、34 基の浄化槽で、各々の期間に 1 回ずつ処理水を採水した(n=68)。採水は、塩素消毒後の放流水に対して実施した。

本研究での調査成分は、Cd(カドミウム)、Cr(クロム)、Pb(鉛)、Ni(ニッケル)、Cu(銅)、Zn(亜鉛)、Fe(鉄)、Mn(マンガン)の 8 成分とした。水質分析は下水試験方法⁷⁾に準拠して行った。すなわち、懸濁態と溶存態を合わせた全量分析は、採取した試料に対して、硝酸・塩酸を添加して加熱分解を行った後、その試料を ICP-MS(Varian 820-MS)で分析した。溶存態については、試料採取後、

現場で速やかに孔径 0.5 μm のテフロン製フィルターで濾過した試料に対して、硝酸・塩酸を添加し、ICP-MS で分析した。懸濁態の濃度は、全量の分析値から、溶存態の分析値を差し引き計算して求めた。なお、分析の定量下限値は、いずれの元素も 0.5 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ である。重金属には、上記 8 成分以外にも、As(ヒ素)、Hg(水銀)等も存在するが、今回は分析対象としなかった。今回対象とした 8 成分は、全てが硝酸・塩酸分解に適した元素であり、同じ分解手順を経て ICP-MS で分析できる。しかし、それ以外の元素については、別の分解条件や分析機器が必要であり、8 成分と同時に分析するためには多大な労力を要する。従って、今回の研究では、まず、硝酸・塩酸分解と ICP-MS で対応できる 8 成分の検討を行うこととした。As、Hg 等の検討は、今後の課題としたい。

浄化槽の処理方式・型式・管理状況は、I 市の浄化槽台帳で把握し、実使用人数は住民基本台帳から調査し、水道使用量は、I 市の水道記録から調べた。水道水質の把握は、水道統計⁸⁾で行った。

III 結果と考察

1 戸別合併浄化槽の稼働状況

(1) 処理方式

調査した浄化槽 34 基の処理方式・基数・設置年・製造会社と法令上の処理水質を表 1 に示す。表 1 のように、34 基の大部分(約 8 割)は「嫌気性濾床接触曝気方式」であった。「嫌気濾床接触曝気方式」の浄化槽は、全て建設省告示第 1292 号第 1 第二号に該当する処理方式で、「嫌気濾床及び生物濾過を組み合わせた方式」と「流量調整型嫌気濾床担体流動生物濾過循環方式」は、建築基準法施行令 35 条第 1 項の大臣認定の処理方式であった。

ただし、「嫌気濾床及び生物濾過を組み合わせた方式」と「流量調整型嫌気濾床担体流動生物濾過循環方式」は基数が少なかったためか、「嫌気性濾床接触曝気方式」と、処理水の重金属濃度が異なる傾向は明確とならなかった。そのため、以下においては、処理方式による区別はせずに調査結果を示している。

(2) 人槽と実使用率

調査した浄化槽は 5-10 人槽で、実使用人数は 1-7 人であった。それにより、実使用率(実使用人数÷人槽×100)

は 20-100%となり、平均値は 48%であった。

(3) 水道使用量と水道水質

M 地区において、各家庭独自の地下水を生活用水に利用している家庭はなかった。従って、各浄化槽の処理水量は「各家庭の水道使用量」とほぼ同量と考えられた。平成 19 年 2-3 月と 9-10 月における 1 人あたりの水道使用量の平均値は、各々 252 $\text{L}\cdot\text{人}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ と 249 $\text{L}\cdot\text{人}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ であり、差は殆どなかった。日本における 1 人あたりの排出汚水量の平均的な値は 250 $\text{L}\cdot\text{人}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ⁴⁾であり、調査した浄化槽の状況と類似していた。

「調査地区の水道水中の重金属濃度」は、処理水中の重金属濃度に影響する可能性がある。水道統計(平成 19 年度版)⁸⁾に示された M 地区の水道水質成分の年間平均値は、Cd(1 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 未満)、Cr(5 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 未満)、Pb(1 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 未満)、Ni(2 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)、Cu(10 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 未満)、Fe(30 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 未満)、Mn(5 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 未満)、Zn(10 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 未満)であり、日本全国の水道水の平均的な値であった。

なお、重金属は、水道管や蛇口からも溶出して水道水に混入する可能性がある⁹⁾。今回調査対象とした家庭の約 8 割は築 20 年以上であり、老朽化した水道管や蛇口を利用していた。ただし、それらの家庭の浄化槽処理水中の重金属濃度が、それ以外の築年数の浅い家庭よりも高い傾向は見られなかった。また、処理水の重金属濃度には、経年劣化による浄化槽本体からの重金属溶出が影響する可能性も考えられる。ただし、今回調査した浄化槽の設置年数は 3 年から 15 年まで多様であったものの、設置年数が長い浄化槽の処理水で重金属濃度が高いという傾向は見られなかった。以上より、水道管、蛇口、浄化槽本体の経年劣化による重金属溶出が、今回の調査結果に及ぼした影響は大きくないと考えられた。

(4) 管理状況

浄化槽法に定められた「保守点検業者による 4 ヶ月に 1 回以上の保守点検」は、調査した全ての浄化槽で遵守されていた。

2 処理水質

測定した 68 試料の処理水における重金属濃度分布は、分析した元素毎に大きく異なった。また、植物生育に悪影響を与える濃度や、植物を介しての人体へ悪影響を及ぼす濃度は、元素によって異なる。そのため、以下には、

表1 調査した浄化槽の処理方式・基数・設置年・製造会社・法定処理水質一覧
Table 1 Outline of Investigated Household Wastewater Treatment Facilities

処理方式	基数	設置年	製造会社	処理水質
嫌気性濾床接触曝気方式	26	H4-H16	A・B・D・I社	BOD 20mg・L ⁻¹ 以下
嫌気濾床及び生物濾過を組み合わせた方式	6	H10-H17	H社	BOD 20mg・L ⁻¹ 以下
流量調整型嫌気濾床担体流動生物濾過循環方式	2	H16	D社	BOD・T-N 20mg・L ⁻¹ 以下

元素毎の測定結果と、安全性に対する考察を順次示す。
 なお、特に示さない限り、提示する濃度は、懸濁態と溶解態を合わせた全量の濃度である。また、以下の安全性の検討では、灌漑水に対する基準¹⁰⁾¹¹⁾だけでなく、水道水質基準¹²⁾も利用する。これは、灌漑水基準よりも水道水質基準の方が厳しい元素が多く存在するため、処理水の灌漑水としての利用を考える場合でも、水道水質基準も利用することで、より厳しく安全性を評価できると考えたためである。

(1)Cd

Cdは、腎臓障害や骨軟化症等の人体への強い悪影響を与える¹²⁾ため、人への安全性には特に注意が必要である。

今回行った分析では、Cdは、全ての試料で検出されなかった。今回の分析に用いた ICP-MS 法の定量限界は $0.5\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ である。従って、今回調査した処理水中の Cd は $0.5\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下であり、水道水質基準($10\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)の 1/10 より低いという極めて低濃度であったことが分かった。また、土壌への重金属蓄積の影響も加味して、作物の人体への悪影響が生じないように決められた米国環境保護局(U.S.EPA)の農業灌漑水の基準値¹⁰⁾(以下、EPA 灌漑基準)や日本の水質障害対策事業に係る農業用水基準¹¹⁾(以下、水質障害対策基準)も $10\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ であり、今回の処理水中の濃度は、それらを大きく下回っていた。

以上より、今回調査した処理水中の Cd は、処理水を灌漑水として再利用しても問題のない濃度であると考えられた。

(2)Cr

Crは、発ガンや肝炎等の人体への毒性が危惧される元素であり、特に毒性が強いのは六価の Cr である¹²⁾。一方、植物に対する毒性は明確となっていない¹⁰⁾。

今回の測定では、Crは1試料のみが $1.0\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ であり、それ以外の試料では定量下限値の $0.5\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下であった。EPA 灌漑基準は $100\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ であり、水質障害対策基準と水道水質基準は六価 Cr に対して、それぞれ $100\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ と $50\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ となっている。今回の測定は六価だけでなく、二価・三価の Cr も含めて測定をしているが、測定値は、いずれも各基準値の 1/50 か、それ以下と低かった。

以上より、Crについても、今回調査した処理水は、灌漑利用しても問題のない濃度と考えられた。

(3)Pb・Ni・Cu・Zn・Fe・Mn

Cd, Cr 以外の重金属は、全ての試料で ICP-MS による定量下限値($0.5\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)以上の濃度が検出された。また、それらの濃度には、試料によって大きな違いが見られた。従って、Cd, Cr 以外の重金属については、以下に単純平均値と頻度分布を示し、安全性を検討する。また、表 2 には、各種水質基準濃度をまとめて示した。

表 2 各種水質基準値の一覧
 Table 2 Water Quality Criteria

	水道 水質基準 ¹²⁾	EPA 灌漑基準 ¹⁰⁾	水質障害 対策基準 ¹¹⁾	水稻 水質基準 ¹¹⁾
Pb	10	5000	100	-
Ni	10 (暫定)	200	-	-
Cu	1000	200	-	20
Zn	1000	2000	-	500
Fe	300	5000	-	-
Mn	50	200	-	-

単位： $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$

図 1 処理水中の Pb 濃度の相対頻度と累積頻度
 Fig.1 Pb Concentrations in Reclaimed Wastewater

図 2 処理水中の Ni 濃度の相対頻度と累積頻度
 Fig.2 Ni Concentrations in Reclaimed Wastewater

(i) Pb・Ni

Pb と Ni については、水道水質基準において、人の健康に配慮して、Cd と同じ $10\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下という低い濃度の基準値が設けられている。一方、図 1, 2 には、それぞれ今回測定した処理水中の Pb と Ni の濃度頻度分布を、単純平均値とともに示した。

図 1, 2 より、Pb, Ni の単純平均値はそれぞれ $3.98\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ と $4.93\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ で、水道水質基準値を大きく下回っていた。また、最大値も、Pb, Ni のいずれもが $10\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下

図3 処理水中の Cu 濃度の相対頻度と累積頻度
Fig.3 Cu Concentrations in Reclaimed Wastewater

図5 処理水中の Fe 濃度の相対頻度と累積頻度
Fig.5 Fe Concentrations in Reclaimed Wastewater

図4 処理水中の Zn 濃度の相対頻度と累積頻度
Fig.4 Zn Concentrations in Reclaimed Wastewater

図6 処理水中の Mn 濃度の相対頻度と累積頻度
Fig.6 Mn Concentrations in Reclaimed Wastewater

であり、水道水質基準以下であった。一方、EPA 灌漑基準や水質障害対策基準は、水道水質基準よりもかなり高く、それらに対しては、Pb、Ni はともに処理水濃度は最大値でも 1/10 以下と、基準値を大きく下回っていた。

以上より、Pb と Ni についても、今回調査した処理水は、灌漑利用に問題のない濃度であったと考えられた。

(ii) Cu・Zn

Cu と Zn は、水稻の生育に影響を与えやすく、人体への影響度は低い¹²⁾のために、農業(水稻)用水水質基準(以下、水稻水質基準)には、水道水質基準よりも低い基準値が設定されている。

図3、4には、処理水中の Cu と Zn の頻度分布を示した。Cu、Zn の濃度は、最大値でもそれぞれ $10\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下、 $70\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下であり、水稻水質基準よりかなり低かった。水稻が家庭の庭で栽培されることは、まず無いと考えられるが、水稻は、Cu と Zn に敏感な作物の代表である。それゆえ、今回の結果は、Cu と Zn については、戸別合併浄化槽処理水の作物生育への安全性はかなり高いことを示している。一方、水道水質基準や EPA 灌漑基準と比較すると、Cu と Zn の濃度は最大値でも 1/20 以下と基準値を大きく下回っていた。

これらから、Cu と Zn についても、今回調査した処理水は、灌漑利用に問題のない濃度であったと考えられた。

(iii) Fe・Mn

Fe と Mn の人体への毒性は低く、水道水質基準は、着色防止の観点から決められている¹²⁾。従って、人体に悪影響が生じる濃度は、水道水質基準値よりもかなり高い。

図5、6には、処理水中の Fe と Mn の濃度分布を示した。図5、6より、Fe と Mn の単純平均値(それぞれ、 $107.3\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $8.24\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)は、水道水質基準値(それぞれ、 $300\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $50\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)を大きく下回っていた。また、Fe と Mn の最大値も水道水質基準より低く、EPA の灌漑基準と比較すると、Fe は 1/20 以下、Mn は 1/5 以下とかなり低濃度であった。

以上より、調査した処理水は、Fe と Mn についても、灌漑利用に問題のある濃度ではなかったと判断することができた。

3 処理水の重金属濃度に影響を及ぼす要因

前節に示したように、今回調査した処理水の重金属濃度は、どの成分についても、各種基準値以下であった。ただし、基準値以下であっても、より低濃度の水を排出

図7 重金属成分毎の懸濁態と溶存態の存在率
(縦棒は標準偏差)

Fig.7 Percentage of Suspended and Dissolved Matter in Each Heavy Metal

することは、更なるリスク低減に繋がると考えられる。そのため、処理水の重金属濃度に影響する因子を明らかにし、それに留意した対応を行っていくことは、より適切な処理水利用環境を保つために大切と考えられる。またそれは、重金属濃度が予想以上に高まることを防ぐリスク管理にも繋がる。そこで、本節では、処理水質に及ぼす影響因子を検討することとした。

(i) 懸濁成分の影響

下水処理施設の汚泥には重金属が含まれ、今回調査した処理水中にも、汚泥は懸濁成分(SS)として混入し、その濃度は高い場合には $41.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ にも達していた。そこで、その懸濁成分が処理水質に大きな影響を及ぼしているかどうかを検討するために、図7に処理水中の重金属の懸濁態と溶存態の割合の平均値と標準偏差を示した。

図7より、懸濁態が占める割合は元素毎に異なるものの、多くの元素で懸濁態の割合は大きく、MnとPbは90%程度が、CuとNiでは60%程度が懸濁態であった。この結果は、重金属が低濃度の処理水を得るためには、懸濁成分を流出させない管理が重要であることを示している。また、懸濁成分の流出抑制効果が発現しやすいのは、Mn, Pb, Cu, Niであることを示している。

(ii) 時間的な変動

今回の調査では、処理水中の重金属含有の季節変動状況を見るために、同じ浄化槽について2-3月(処理水平均水温 15.5°C)と9-10月(処理水平均水温 24.8°C)の2回の調査を行った。その2回の調査結果の関係性の例として、Znの結果を図8に示す。図8のように、2回のZn調査結果に相関は見られず、その傾向は、他のいずれの元素についても同様であった。ただし、表3に示したように、いずれの元素についても、9-10月と2-3月の最小値と最大値が大きく異なる傾向はなかった。このことは、各合

図8 2回の調査濃度の関係 (Zn濃度の例)
Fig.8 Relations of Zn Concentrations between Two Seasons

表3 重金属濃度の最小値・最大値
Table 3 Maximum and Minimum concentrations in two seasons

	最小濃度		最大濃度	
	2-3月	9-10月	2-3月	9-10月
Pb	0.68	0.51	8.70	7.59
Ni	1.04	2.76	9.35	9.81
Cu	1.67	3.93	19.27	18.60
Zn	12.94	9.50	65.71	58.84
Fe	39.36	45.60	184.86	205.01
Mn	2.12	2.46	6.62	6.65

単位: $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

併浄化槽での重金属濃度は時期によって大きく変動したもの、M地区の合併浄化槽全体で見た場合の処理水の濃度分布範囲は、比較的安定していたことを示している。

流入排水中の重金属は、浄化槽内の微生物に吸着や吸収されたり、懸濁態で沈殿し、汚泥として除去される¹³⁾。その一方で、浄化槽内に貯留された汚泥からは、重金属が再溶出して水中に回帰する場合もある。このような重金属の除去能力や回帰状況に影響する可能性のある浄化槽内のDO、pHや汚泥蓄積状況は、調査した浄化槽で多様であった。具体的には、調査日以前の汚泥引き抜き日から調査日までの経過日数は7日~30ヶ月、曝気槽内水のDOは $0.7\text{--}9.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、pHは $5.6\text{--}7.8$ 、嫌気槽内水のDOは $0.0\text{--}2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、pHは $6.5\text{--}8.8$ の範囲に幅広く分布し、2-3月と9-10月の調査での分布範囲は類似していた。このように、今回の調査は、限られた期間と数の調査ではあるものの、多様な浄化槽を調査している。そのため、今回得られた重金属濃度の分布状況は、M地区の合併浄化槽の水質状況をかなり良好に表していると考えられる。

なお、いずれの浄化槽でも、2-3月と9-10月に、曝気量や返送水量、使用人数等は変化しておらず、それらが

両期間の間での濃度変動の原因とは考えられなかった。2-3 月と 9-10 月の濃度変動は、各家庭の重金属排出量の変動が原因とも考えられるが、今回の調査ではそれを明確にすることはできなかった。重金属濃度の時間的な変動原因を明確にすることは、今後の課題である。

IV まとめ

本研究では、愛媛県 I 市 M 地区の戸別合併浄化槽 34 基について、平成 19 年 2-3 月と 9-10 月の期間にそれぞれ 1 回ずつ処理水の採水を行った。そして、その全 68 試料の重金属濃度を ICP-MS(定量下限値 $0.5\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)で分析した。その結果をまとめると以下のようになる。

1)Cd は、全試料が定量下限値以下で、Cr は、1 試料のみが $1.0\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ で、それ以外は定量下限値以下であった。

2)Pb, Ni, Cu, Zn, Fe, Mn は、全試料で定量下限値以上で、濃度分布は元素毎に異なっていた。単純平均濃度は Pb $3.98\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, Ni $4.93\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, Cu $8.86\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, Zn $36.5\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, Fe $107.3\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, Mn $8.24\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ であった。

3)Pb, Ni, Cu, Zn, Fe, Mn の濃度は、測定された最大値であっても、全て水道水質基準値以下であった。また、米国環境保護局の灌漑水基準値、日本の農業(水稻)用水水質基準値、水質障害対策事業に関わる農業用水水質基準値も全て下回っていた。

4)Mn, Pb, Cu, Ni では懸濁態の割合が大きく、平均で Mn, Pb は 90%程度が、Cu, Ni は 60%程度が懸濁態であった。

5)2-3 月と 9-10 月の各成分の濃度間($n=34$)に相関はなかったものの、両者の濃度分布範囲は、重金属の種類によらず大差はなかった。

これらから、処理水を各家庭の庭に灌漑水として利用した場合、処理水中の Cd, Cr, Pb, Ni, Cu, Zn, Fe, Mn によって、植物生育や、それを食した人に対する悪影響が生じる可能性は極めて低いと考えられた。また、処理水の重金属濃度を低下させるには、懸濁成分を流出

させない留意が重要であることが示唆された。

以上のように、本研究は、日本ではじめて、戸別合併浄化槽処理水中の重金属含有状況を詳細に明らかにし、処理水の灌漑利用面での安全性の高さを指摘した。

引用文献

- 1)山海俊弘(1998): 2.3.3 今後の展望および課題(稲森悠平編、『生活排水対策』), 産業用水調査会, 東京, 64-68.
- 2)治多伸介・櫻井雄二(2010): 戸別合併浄化槽処理水中の塩類濃度実態と処理水利用時の留意点, 農村計画学会誌, 28 巻論文特集号, 357-362.
- 3)藤村葉子(2006): 生活排水の負荷原単位と各種浄化槽による排出負荷, 用水と廃水, 48(5), 64-70.
- 4)治多伸介・櫻井雄二(2007): 農村地域における戸別合併浄化槽処理水質の実態解明, 農村計画学会誌, 26 巻論文特集号, 215-220.
- 5)治多伸介・櫻井雄二(2009): 農村地域における戸別合併浄化槽処理水質の季節変動特性, 農村計画学会誌, 27 巻論文特集号, 223-238.
- 6)田井慎吾・岡田光正・須藤隆一(1980): 生活廃水汚泥中の重金属の由来について, 国立公害研究所研究報告, 14, 203-211.
- 7)建設省都市局下水道部・厚生省生活衛生局水道環境部監修(1997): 下水試験方法 下巻, (社)日本下水道協会, 東京.
- 8)(社)日本水道協会編(2008): 水道統計「平成 19 年度」第 90 号, (社)日本水道協会, 東京.
- 9)森 忠洋・森山 清・荒屋敷秀俊・森 泰・斎藤 寛・中野篤俊・茅野充男(1987): 家庭から下水へ排出される重金属の原単位, 水質汚濁研究, 10(7), 29-36.
- 10)Asano, T., Burton, F.L., Leverenz, H.L., Tsuchihashi, R., and Tchobanoglous, G.(2007): Water Reuse, McGraw-Hill, New York, 966-968.
- 11)水質環境学編集委員会著(1998): 清らかな水のためのサイエンス-水質環境学-, (社)農業土木学会, 東京, 19-24.
- 12)日本環境管理学会編(2009): 改訂 4 版 水道水質基準ガイドブック, 丸善, 東京.
- 13)川島幸徳・坪井博和・森田弘昭(2003): 重金属の汚泥への蓄積および存在形態に関する研究, 下水道協会誌, 40(486), 127-139.

Summary The reclaimed wastewater quality in 34 treatment facilities of combined household wastewater for individual houses were investigated in the rural area in Ehime Prefecture, in Japan. The mean concentrations of Cd, Cr, Pb, Ni, Cu, Zn, Fe, Mn were $<0.5\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, $<0.5\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, $3.98\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, $4.93\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, $8.86\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, $36.5\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, $107.3\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, $8.24\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively. The values and the distribution of the concentrations showed that the heavy metals (Cd, Cr, Pb, Ni, Cu, Zn, Fe, Mn) concentrations in the reclaimed wastewater were low enough to keep good plants growth and human health. Therefore, the risk of irrigating the reclaimed wastewater for individual gardens must be low.

Keywords Reclaimed Wastewater Reuse, Heavy Metal, Combined Household Wastewater Treatment Facility

(2010 年 5 月 14 日 受付)

(2010 年 10 月 3 日 受理)