下水による水生生物影響に及ぼす下水処理プロセスの効果に関する基礎的研究

Fundamental Research on Effect of Sewage Treatment Process on Biological Impacts
against Aquatic Organisms by Sewage Water

武田文彦、真野浩行、北村友一、小森行也、岡本誠一郎

国立研究開発法人土木研究所／〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6

FUMIHIKO TAKEDA, HIROYUKI MANO, TOMOKAZU KITAMURA,
KOYA KOMORI, and SEIICHIRO OKAMOTO

Public Works Research Institute / 1-6 Minamihara, Tukuba, 305-8516, Japan

Abstract

The purpose of this study is to evaluate a biological effect of influent, secondary and final effluent obtained by conventional activated sludge process on aquatic organisms. Biological tests were conducted using 3 kinds of aquatic organisms (*Pseudokirchneriella subcapitata*, *Daphnia magna* and *Danio rerio*) referring to the draft Japanese Whole Effluent Toxicity test guidelines. These tests were repeated twice for *D. magna*, three times for *P. subcapitata* and *D. rerio*. As a result, some influents had some effects on all of the organisms, but secondary and final effluents had no effect. These results suggested that biological impacts by sewage water were improved by the process, and that chlorination in this study (maximum total chloride concentration: 0.87mg/l for *P. subcapitata*, 0.37mg/l for *D. magna* and 0.55mg/l for *D. rerio*) had no harmful effect on the organisms.

Key words: *Danio rerio*, *Daphnia magna*, final effluent, *Pseudokirchneriella subcapitata*, Whole Effluent Toxicity.

1. 背景及び目的

日常生活や産業活動で使用される化学物質の種類は増加の一途をたどっており、現在では世界で約10万種、我が国では約5万種が流通していると考えられている¹⁾。我が国では排水中の化学物質について、汚染物質排出移動登録 (PRTR) 制度 (第一種指定化学物質462種) や水質汚濁防止法の一律排水基準 (有害物質28種、その他の項目15種。水生生物保全のための3項目を含む) などに基づき、一部の化学物質の排出量の算出や濃度を測定することにより化学物質管理のための移動状況把握やモニタリングを行っている。しかしながら排水中には未規制、未知物質も存在しうるとともに、種々の化学物質の混在

による生態系への複合影響 (相乗あるいは相殺作用) が生じる懸念があることから、これまで行われてきた個々の化学物質濃度管理では水生生物や生態系に及ぼす化学物質の影響を正しく理解できないケースもあると考えられる。

近年、個別の化学物質の毒性を評価するのではなく、生物学的な応答から毒性の判定などの生物影響を評価する生物応答試験が世界的に注目されている。個別の化学物質等の定量などによる従来の物理化学的分析方法と比べて、生物応答試験は試験水中に含まれる全ての化学物質による複合影響を評価できる、生物への直接的な影響により評価するため一般市民が評価結果を実感しやすいなどの特長がある。海外では排水中の化学物質の生物影

響について、米国で導入されている総排水毒性 WET (Whole Effluent Toxicity) 試験²⁾のように生物応答を用いた試験により定量的に評価がなされている。日本でも国立環境研究所が生物応答を用いた排水試験法(検討案)³⁾(以下、検討案)を公表するなど、検討案に基づく排水管理の制度化と導入が検討されている。

日本では検討案に基づいた生物影響試験のうち、事業所排水の結果が多く報告されている^{4)~9)}。一方、下水に関しては山本ら^{10), 11)}の報告などがある程度であり、研究例は極めて少ないのが現状である。しかし、検討案が排水管理の手法として導入されていけば、これまでの排水管理の手法と同様に下水処理水に対しても適用が考えられるため、日本における下水の生物影響に関する基礎的知見の収集が必要であると考えられる。

山本ら^{10), 11)}の研究では放流水の生物影響を評価しているものの、下水処理による生物影響の低減効果は分かっていないため、流入下水の生物影響がどの程度であれば下水処理によって無影響にすることが可能であるのかは不明である。また、塩素添加によって生物影響が増大する可能性もあるため、添加前後の生物影響の変化を比較し、塩素の影響を理解することも重要である。これらの評価を行うには、下水処理のプロセスごとの排水を利用した生物応答試験が必要であると考えられる。

本研究は、流入下水、二次処理水、放流水の試験結果を比較し、下水処理による影響の低減効果の評価することを目的とする。活性汚泥処理実験装置より得た下水試料を対象に、検討案等を参考にして藻類、ミジンコ類、魚類を用いた生物応答試験を実施し、各下水試料の生物影響を評価した。

2. 実験材料及び方法

2.1 下水処理装置と下水試料

本研究で用いた活性汚泥処理実験装置は、最初沈殿池

(500 l)、生物反応槽 (500 l×4 槽)、最終沈殿池 (700 l)、塩素混和池 (100 l) から構成されている。装置の概要を Fig. 1 に示す。

USEPA の資料¹²⁾では、下水中の生物影響化学物質の除去には生物処理 (二次処理) が重要な役割を果たしているとされる。そこで生物処理および塩素添加前後での生物影響の変化を評価するため、流入下水と二次処理水、塩素消毒を行った放流水を採水することとした。

本研究では、処理区の大部分が分流式下水道として整備され主に生活排水が流入する実下水処理場の生下水を流入下水とした。生物反応槽は、第1槽から第4槽まで全面エアレーションを行い、標準活性汚泥法による処理を行った。また次亜塩素酸ナトリウム添加による塩素混和を行う直前の処理水を二次処理水、塩素消毒後の処理水を放流水とした。

流入下水、二次処理水、放流水の採水日と、得られた排水に対し試験した生物を Table 1 にまとめた。いずれの採水日も降雨の影響が無い日を選んだ。2013年12月16日の採水のみスポット採水とし、それ以外の採水ではポンプを用いて流量 25 ml/min で 24 時間連続採水した。採水後、各排水の pH、溶存酸素 DO (Dissolved Oxygen)、水温、電気伝導度 EC (Electric Conductivity) をマルチ水質モニタリングシステム U-22XD (株 HORIBA) を用いて測定した。また総残留塩素濃度 TRC (Total Residual Chlorine) は Chlorine Pocket Colorimeter II (HACH 社) で分析した。全窒素 T-N (Total nitrogen、全リン T-P (Total phosphorus) は QuAAtro2-HR (株 ビーエルテック)、アンモニア態窒素 $\text{NH}_4\text{-N}$ は TRAACS800 (株 ブラン・ルーベ) で測定し、溶存有機炭素 DOC (Dissolved Organic carbon) は TOC-5000A (株 島津製作所) で分析した。また、得られた各排水は 0.22 μm ポアサイズのメンブレンフィルター (株 メルクミリポア) を用いて滅菌ろ過を行い、ろ液を 4℃ の冷暗所で保管した。これらのろ液は下水試料として以下に示す生物応答試験に用いた。

Fig. 1 Schematic diagram of activated sludge treatment plant used in this study.

Table 1 Sampling dates of sewage water and test organisms used for the bioassay of the water

Sampling date	Test organism for sewage water
Dec 16, 2013	Alga (1st test), Zebrafish (1st test)
Jan 8-9, 2014	Alga (2nd test), Zebrafish (2nd test)
Jan 22-23, 2014	Daphnia (1st test)
Feb 6-7, 2014	Zebrafish (3rd test)
Feb 13-14, 2014	Daphnia (2nd test)
Feb 19-20, 2014	Alga (3rd test)

2. 2 生物応答試験

試験生物として、緑藻類ムレミカツキモ (*Pseudokirchneriella subcapitata*, NIES-35)、オオミジンコ (*Daphnia magna*)、ゼブラフィッシュ (*Danio rerio*) を用いた。これらの試験生物は国立環境研究所より分譲されたものを使用した。

本研究では、ムレミカツキモとゼブラフィッシュについては環境省により公表されている検討案³⁾を参考に実施した。本試験法ではニセネコゼミジンコ (*Ceriodaphnia dubia*) を用いた試験も示されているが、本研究ではOECDテストガイドラインNo. 211¹³⁾を参考に、オオミジンコを用いて実施した。化学物質や工場排水に対し、オオミジンコとニセネコゼミジンコは同程度の感受性を有することが報告されている^{14), 15)}。以下に詳細な試験方法を示す。

1) 藻類生長阻害試験

ムレミカツキモの前培養条件は、加熱滅菌したシリコン栓付50 ml三角フラスコにAAP培地を30 mlを加え、光強度40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 連続照射、24 $\pm$ 1 $^{\circ}\text{C}$ 、120 rpm回転振とうとし、人工気象機内で単藻培養した。本培養条件において対数増殖期にある細胞を試験に供した。

検討案³⁾では250 ml程度の三角フラスコを用いて藻類生長阻害試験を行うが、本研究ではHaradaらの方法¹⁶⁾を参考に、96穴マイクロプレートを用いて実施した。この方法は、試料量が少量で済み、一度に多くの試料を試験できる利点を有する。また、カナダではマイクロプレートを用いた藻類生長阻害試験が採用されている¹⁷⁾など国内外で使用される方法となっている。

96穴マイクロプレートの各ウェルにおいて下水試料200 μl (5段階に希釈したもの)、12倍濃縮AAP培地20 μl 、藻類培養液20 μl を混合した。これらの混合により、初期細胞濃度 1×10^4 cells/mlとなる5段階 (83.3%、42%、

21%、10%、5.2%) の割合の試料を用意した。対照系にはAAP培地を用いた。試験系列は5連、試験条件は光強度40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 連続照射、24 $^{\circ}\text{C}$ 、120 rpm回転振とう、培養期間72時間とした。マイクロプレートリーダーを用いて各ウェルの吸光度 (波長: 450 nm) を測定し、細胞濃度に換算して生長速度 (day^{-1}) を算出した。藻類を用いた試験は3回実施した。

2) オオミジンコ繁殖試験

オオミジンコ繁殖試験のみ2回実施とした。1回目の試験では各下水試料の割合80%および対照区を用意した。2回目の試験では各下水試料の5濃度区 (80%、40%、20%、10%、5%) および対照区を用意した。各下水試料の希釈および対照区に使用する試験水として、脱塩素水道水を用いた。試料割合ごとに生後24時間以内の個体を10匹 (1容器1匹) 曝露し、水温21 $\pm$ 1 $^{\circ}\text{C}$ 、曝露期間を21日間とした。曝露方式は半止水式 (少なくとも週3回、2日または3日ごとに換水) とし、照明は白色蛍光灯で明期16時間、暗期8時間とした。餌としてクロレラ (*Chlorella vulgaris*) を使用し、試験個体ごとに炭素含有量で0.15 mgのクロレラを毎日与えた。曝露終了後まで、試験個体の生存数と産仔数を観察し、下水試料ごとに生存率と累積産仔数を求めた。

3) ゼブラフィッシュ胚・仔魚試験

試験には5段階の割合 (試料割合80%、40%、20%、10%、5%) の下水試料および対照区を用意した。各下水試料の希釈および対照区には脱塩素水道水を用いた。容量は50 ml/容器とし、試験連数は1回目のみ3連/試験区、2、3回目は4連/試験区とした。試験区ごとに受精4時間以内の胚を40個 (1容器10個) 曝露した。試験は対照区の半数以上がふ化した日をふ化日とし、ふ化日から5日後まで³⁾とすることに基づき、曝露期間は8日間 (1、2回目) および9日間 (3回目) とした。曝露方式は半止水式 (少なくとも週3回、2日または3日ごとに換水) とし、ふ化率、生存率を求めた。照明は白色蛍光灯で明期16時間、暗期8時間とし、水温は26 $\pm$ 1 $^{\circ}\text{C}$ とした。

4) 解析方法

各試験でのエンドポイント (藻類: 0-72時間の生長速度、オオミジンコ: 累積産仔数、ゼブラフィッシュ: ふ化率と生存率) について、Bartlett検定 (有意水準 $\alpha = 0.05$) により等分散性を評価した。等分散が確認された

場合、Dunnett検定による多重比較（有意水準 $\alpha=0.05$ ）で対照区と下水試料との比較を実施した。等分散が棄却された場合はSteel検定（有意水準 $\alpha=0.05$ ）で対照系と下水試料との生長速度の比較を実施した。これらの解析にはフリーの統計解析ソフトR¹⁸⁾を用いた。対照系と比較して統計学的に有意な低下が認められない最も高い試料割合を、無影響濃度 NOEC (No Observed Effect Concentration) として求めた。全ての下水試料割合で対照系と生長速度に有意差が認められない場合、最も高い試料割合を NOEC とした。

3. 実験結果

3.1 下水試料の水質

採水後の各下水試料の水質を Table 2 に示す。流入下水に比べると、二次処理水や放流水の T-N、T-P、DOC は低下傾向にあった。本研究での流入下水、放流水の比較に基づく T-N、T-P 除去率はそれぞれ 17~53%、11~38%であった。一方、当研究グループが別研究で調査している、標準活性汚泥処理を採用した下水処理場の同時

期での除去率 (T-N: 49~58%、T-P: 41~87%) に比べると小さい傾向にあった。窒素に関しては、流入下水では $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が大きかったものの二次処理水や放流水ではほとんどないことから、硝化が進行した一方、T-N 除去率が低いことから脱窒があまり進行しなかったことが考えられた。得られた放流水の TRC は 0.05~0.87 mg/l の間で推移していた。本研究ではこのような下水試料に対して WET 試験を実施した。

3.2 藻類生長阻害試験

Figure 2 に各下水試料で培養した際の生長速度を示す。1 回目及び 3 回目の下水試料では流入下水では試料割合が 42% 及び 83.3% の場合に対照区よりも生長速度が有意に低下したが、二次処理水と放流水ではいずれの試料割合でも対照区と同等になった (Fig. 2(a), (c))。2 回目では流入下水の試料割合が 42% 及び 83.3% の場合に対照区よりも生長速度が有意に低下し、二次処理水ではいずれの試料割合でも対照区と同等になった。放流水では 21% の場合のみ有意に低下したが、それ以外の割合では対照区と同等であり (Fig. 2(b))、最高の試料割合で

Table 2 Water quality of influent, secondary and final effluent obtained from activated sludge treatment plant

Sampling date	Sample	pH	DO (mg/l)	Water temp. (°C)	EC (mS/m)	TRC (mg/l)	T-N (mg/l)	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l)	T-P (mg/l)	DOC (mg/l)
Dec 16, 2013	Influent	6.65	1.30	17.0	79	—	28.1	19.8	2.59	43.9
	Secondary effluent	6.73	10.5	13.4	56	—	22.0	0.04	1.90	6.40
	Final effluent	6.64	9.50	16.9	57	0.15	21.9	0.03	1.92	5.96
Jan 8-9, 2014	Influent	6.97	3.40	15.3	63	—	29.2	17.1	1.95	33.1
	Secondary effluent	6.87	9.20	15.7	53	—	16.5	0.13	1.57	6.58
	Final effluent	6.84	9.50	15.4	56	0.11	16.5	0.12	1.58	7.03
Jan 22-23, 2014	Influent	6.77	5.90	15.9	73	—	27.3	20.7	2.76	34.8
	Secondary effluent	6.8	8.10	13.9	60	—	13.7	0.62	1.90	8.77
	Final effluent	6.61	8.10	17.8	59	0.05	13.0	0.57	1.91	8.03
Feb 6-7, 2014	Influent	6.82	0.00	8.9	71	—	26.9	20.4	2.28	30.4
	Secondary effluent	6.52	6.80	9.2	61	—	20.0	0.06	1.51	6.99
	Final effluent	6.52	9.50	9.7	63	0.55	20.1	0.07	1.52	6.94
Feb 13-14, 2014	Influent	6.73	1.32	9.2	72	—	24.0	17.4	2.13	34.2
	Secondary effluent	6.47	8.87	9.8	59	—	15.6	2.39	1.27	9.64
	Final effluent	6.72	9.99	9.5	60	0.37	16.1	2.47	1.33	9.63
Feb 19-20, 2014	Influent	6.68	10.7	9.4	63	—	20.7	15.1	1.81	30.9
	Secondary effluent	6.42	9.10	9.4	53	—	18.0	0.04	1.62	7.73
	Final effluent	6.65	9.30	9.3	56	0.87	17.2	0.00	1.62	7.33

DO: Dissolved Oxygen, EC: Electric conductivity, TRC: Total Residual Chloride, T-N: Total Nitrogen, T-P: Total Phosphorus, DOC: Dissolved Organic Carbon, —: Not Analyzed

Fig. 2 Effect of influent, secondary and final effluent on *Pseudokirchneriella subcapitata*. (a) 1st test, (b) 2nd test, (c) 3rd test. *: $p < 0.05$, compared the control with the system.

ある83.3%で影響がなかったことが確認された。

以上の結果から、1～3回目いずれの場合においても生長速度に対するNOECは流入下水で21%、二次処理水及び放流水は83.3%と求められた。

3.3 オオミジンコ繁殖試験

1回目の試験結果をFig. 3(a)に示す。対照区に比べて流入下水80%では累積産仔数が有意に低下したが、二次処理水80%及び放流水80%では対照区と同等になった。2回目の試験ではいずれの試験区も対照区と同等か対照区よりも累積産仔数が増える傾向が見られた (Fig. 3(b))。生存率は1、2回目両方においていずれの試験区でも高い生存率が確認された。

2回目の試験での流入下水の各試料割合と生存個体数について、統計解析ソフトR¹⁸⁾を用いてフィッシャーの正確確率検定 (Fisher's exact test) を行ったところ、各試料割合において生存個体数の頻度に有意な相違は認め

られなかった ($p > 0.05$)。このことから、生存率の低下に試料の濃度依存性がなかったことが示された。二次処理水、放流水ではいずれの試料割合においても生存率100%であり、生存への影響が見られなかった。

2回目の試験での産仔数については、Steel検定あるいはDunnett検定により、放流水20%を除いたいずれの試験区においても対照区より下水試料のほうが有意に多くなる ($p < 0.05$) が確認された。検討案³⁾では、対照区よりも累積産仔数が増えた場合の解釈については記載されておらず、記載内容から累積産仔数が低下した場合を有害影響として評価していると判断される。累積産仔数の増加は有害な生物影響と判断されうる場合もあるが、各下水試料中の有機物等を餌として利用したことにより累積産仔数が増加した可能性もあり、累積産仔数の増加を必ずしも有害影響と判断できないため、本研究では累積産仔数が低下した場合のみを有害影響として評価した。

Fig. 3 Effect of influent, secondary and final effluent on *Daphnia magna*. (a) 1st test, (b) 2nd test. *: $p < 0.05$, a significant decrease in the number of young per adult in the system compared to the control. **: $p < 0.05$, a significant increase in the number of young per adult in the system compared to the control.

以上の結果から累積産仔数に対するNOECは、1回目の場合は流入下水では80%未満、二次処理水と放流水は80%であり、2回目ではいずれの下水試料においても80%であった。

3. 4 ゼブラフィッシュ胚・仔魚試験

Figure 4に各試験区でのふ化率及び生存率を示す。流入下水の場合、1回目では試料割合80%で生存率が対照区よりも有意に低下し (Fig. 4(a))、2回目では試料割合80%でふ化率と生存率が対照区よりも有意に低下した (Fig. 4(b))。3回目ではいずれの試料割合でもふ化率と生存率は対照区と同等であった (Fig. 4(c))。一方、二次処理水と放流水では1～3回目の全ての試験区において対照区と同等であった。

以上の結果から、ふ化率に対するNOECは流入下水では1、3回目は80%、2回目は40%であり、二次処理水と放流水は1～3回目いずれも80%であった。生存率に対するNOECは流入下水では1、2回目は40%、2回目は80%であり、二次処理水と放流水は1～3回目いずれも80%であることが分かった。

4. 考察

4. 1 下水処理プロセスにおける生物影響の変化と塩素の影響

各試験生物における各下水試料のNOECをTable 3にまとめた。流入下水ではNOECが21% (藻類) や20% (ゼブラフィッシュ・生存率) となるように、生物影響が見られる試験系があったが、二次処理水や放流水では最高の割合である80%でも無影響となった。このことから標準活性汚泥法によって水生生物に対する生物影響を改善できたことが明らかになった。また、放流水でNOECがいずれも80%であったことから、本研究のTRC濃度では塩素の影響が無かったことも分かった。Bottsら¹⁹⁾は米国の下水処理場より得た一次・二次処理水に対しニセネコゼミジンコ、*Mysidopsis basia* (アミ科)、*Microtox*を用いて生物影響を評価した結果、活性汚泥処理によって生物影響が大幅に低減することを示した。本研究で得られた成果はBottsら¹⁹⁾と類似しており、異なる試験生物・地域であっても活性汚泥処理による生物影響の改善を確認することができた。

山本らの報告¹⁰⁾では、TRC濃度が1.5 mg/lの場合はム

Fig. 4 Effect of influent, secondary and final effluent on *Danio rerio*.
(a) 1st test, (b) 2nd test, (c) 3rd test. * : $p < 0.05$, compared the control with the system.

レミカヅキモ、ニセネコゼミジンコやヒメダカに影響が見られたが、0.4 mg/l以下であればほとんど影響しなかった。また、TRC濃度5.7 mg/lでは生物影響が大きかったが、0.4 mg/l以下ではNOECが大きい傾向にあった¹¹⁾。本研究でのTRC濃度は、ムレミカヅキモでは0.11~0.87 mg/l、オオミジンコで0.05および0.37 mg/l、ゼブラフィッシュで0.11~0.55 mg/lの範囲であったが、山本ら^{10), 11)}の研究と同様に0.4 mg/l以下では試験生物に影響しないことが本研究でも確認できた。また、本研究のムレミカヅキモやゼブラフィッシュを用いた試験から、0.5~0.9 mg/l程度でも影響しない場合があることが示唆された。

4.2 下水処理水の生物影響評価に関する今後の課題

オオミジンコ繁殖試験の流入下水において、1回目の試験では対照区に比べて累積産仔数が低下したが、2回目では反対に増大するという異なった結果が得られた。

このことは生物影響物質の下水処理場への流入は時期によって異なることを示唆していると考えられる。よって、下水の生物影響においては季節変化などに着目した、異なる時期での下水を用いた影響評価を行う必要性がある。また、家庭排水が大部分であるかどうか、工業排水の流入の有無など、流入してくる化学物質の種類や量は下水処理場によって異なると考えられることから、複数の処理場の下水を用いた生物影響の評価とその比較に関する知見の蓄積が求められる。放流水で生物影響が確認された場合、対応策を検討するためには生物影響物質を解明することが必須である。山本ら¹¹⁾が塩素等に着目して放流水中の影響物質を推定しているものの、影響物質の解明はほとんどなされていない。今後は毒性同定評価を組み合わせた生物応答試験の実施による影響物質に関する情報の収集が重要であると考えられた。

Table 3 Summary of No Observed Effective Concentration (NOEC) of influent, second and final effluent against

(a) *Pseudokirchneriella subcapitata*,
(b) *Daphnia magna* and (c) *Danio rerio*

(a) *Pseudokirchneriella subcapitata*

Endpoint	Test	Sample water	NOEC (%)
Growth rate	1st test	Influent	21
		Secondary effluent	83.3
		Final effluent	83.3
	2nd test	Influent	21
		Secondary effluent	83.3
		Final effluent	83.3
3rd test		Influent	21
		Second effluent	83.3
		Final effluent	83.3

(b) *Daphnia magna*

Endpoint	Test	Sample water	NOEC (%)
Number of young per adult	1st test	Influent	<80
		Secondary effluent	80
		Final effluent	80
	2nd test	Influent	80
		Secondary effluent	80
		Final effluent	80

(c) *Danio rerio*

Endpoint	Test	Sample water	NOEC (%)
Hatching rate	1st test	Influent	80
		Secondary effluent	80
		Final effluent	80
	2nd test	Influent	40
		Secondary effluent	80
		Final effluent	80
3rd test		Influent	80
		Second effluent	80
		Final effluent	80
Survival rate	1st test	Influent	20
		Secondary effluent	80
		Final effluent	80
	2nd test	Influent	40
		Secondary effluent	80
		Final effluent	80
3rd test		Influent	80
		Second effluent	80
		Final effluent	80

5. 結論

3種の試験生物を用いて流入下水、二次処理水、放流水の生物影響を評価した。流入下水では生物影響が見られることがあったが、二次処理水と放流水ではいずれの試験生物においても影響がなかった。このことから標準活性汚泥処理により水生生物に対する生物影響を改善できたとともに、TRC濃度が0.87 mg/l (ムレミカツキモ)、0.37 mg/l (オオミジンコ)、0.55 mg/l (ゼブラフィッシュ) でも塩素消毒による生物影響は生じないことが明らかになった。

謝辞：本研究は、国土交通省の平成25年度受託調査の一環として実施されたものである。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 環境省：化学物質の環境リスク評価第12巻、1. 化学物質の環境リスク初期評価等（第12次とりまとめ）の結果の概要（2014）
- 2) USEPA: Draft National Whole Effluent Toxicity (WET) Implementation Guidance, EPA832-B-4-003 (2004)
- 3) 国立環境研究所・環境省：生物応答を用いた排水試験法（検討案）、排水（環境水）管理のバイオアッセイ技術検討分科会（2013）
- 4) Kusui, T., Takata, Y., Itatsu, Y., and Zha, J.: Whole effluent toxicity assessment of industrial effluents in Toyama Prefecture with a battery of short-term chronic bioassays. *J. Wat. Environ. Technol.*, 12, 55-63 (2014)
- 5) 山本裕史、池幡佳織、安田佑右、田村生弥、鑑迫典久：徳島県内の事業所排水を対象にしたTIEの事例、環境化学、25(1)、11-17 (2015)
- 6) 板津靖之、高野智弘、金俊、福富真実子、楠井隆史：事業所排水の生態毒性学的評価：毒性原因物質の特徴化と放流先河川への影響、環境化学、25(1)、19-26 (2015)
- 7) 富川恵子、入江俊行、内田弘美、渡部春奈、鑑迫典久：WET法を活用した工場排水管理：化学工業における排水改善の取り組み、環境化学、25(1)、27-33 (2015)
- 8) 藤原尚美、野中信一、豊久志朗、鑑迫典久：金属製品製造工場のWETを用いた排水中毒性要因の推定とその改善例、環境化学、25(1)、35-42 (2015)
- 9) 渡部春奈、林岳彦、田村生弥、中村中、阿部良子、高信ひとみ、荻野仁子、小塩正朗、鑑迫典久：生物応答を用いた排水試験法案の検証と事業場排水の実態調査、環境化学、25(1)、43-53 (2015)
- 10) 山本裕史、安部香緒里、池幡佳織、安田佑右、田村生弥、中村友紀、鑑迫典久：徳島県内の下水処理施設放流水を対象にしたWET試験、環境工学研究論

- 文集、47、727-734 (2010)
- 11) 山本裕史、矢野陽子、森田隼平、西家早紀、安田侑右、田村生弥、鑑迫典久：下水処理施設放流水中の残留塩素に着目した毒性同定評価、土木学会論文集 G (環境)、69(7)、III_375-III_384 (2013)
 - 12) USEPA: Toxicity Reduction Evaluation Guidance for Municipal Wastewater Treatment Plants, EPA/833B-99/002 (1999)
 - 13) Organization for Economic Co-operation and Development (OECD): *Daphnia magna* Reproduction Test. Vol.211. OECD, Paris, France (2008)
 - 14) 新野竜大、阿部良子、山口直子、新倉良之、吉村奈緒子、押岡香、中山光二、鑑迫典久：数種類の有機化学物質に対する淡水性甲殻類 *Daphnia magna* および *Ceriodaphnia dubia* の慢性毒性による感受性比較、環境化学、25(1)、55-60 (2015)
 - 15) 松原正明、原田新、南山瑞彦、田中宏明：水生生物を用いた各種のバイオアッセイの下水試料に対する感受性の比較、環境工学研究論文集、35、305-312 (1998)
 - 16) Harada A., Komori K., Nakada N., Kitamura K. and Suzuki Y.: Biological effects of PPCPs on aquatic lives and evaluation of river waters affected by different wastewater treatment levels, *Water Sci. Technol.*, 58, 1541-1546 (2008)
 - 17) Environment Canada: Biological test method: Growth inhibition test using a freshwater alga. Environment Canada (2007)
 - 18) R Core Team: R: Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austraria. <http://www.r-project.org/>, accessed on May 2015
 - 19) Botts, J. A., Braswell, J. W., Goodfellow, W. L. and Bishop, D. F.: Project Summary Toxicity Reduction Evaluation at the Patapsco Wastewater Treatment Plant, EPA/600/S2-88/034 (1988)
(受付 2015. 6. 8)
(受理 2015.10.26)