

11. 下水汚泥中内分泌かく乱物質の消長に関する調査

独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループリサイクルチーム

上席研究員 鈴木 穰

主任研究員 落 修一

主任研究員 南山 瑞彦

1. はじめに

近年、人や野生生物の内分泌作用をかく乱し、生殖機能阻害等を引き起こす可能性があると思われる物質等（以下、内分泌かく乱物質）による環境汚染が各国で報告されている。これらの物質は、社会活動や日常生活にともない環境中に放出されているとされており、我が国においても環境中に広範囲にわたって存在していることが明らかとなってきている。下水道は社会活動や個々の生活を反映すると考えられることからこれらの物質とも無縁ではなく、その監視方法や制御方法の確立が必要となると考えられる。

建設省（現、国土交通省）が10年度に行った「水環境における内分泌攪乱化学物質に関する実態調査」¹⁾の結果によると、内分泌かく乱物質が下水処理場へ流入し、それらの濃度が低下した後、放流されている様子が伺われた。この結果は、内分泌かく乱物質が下水道の水処理系において分解除去されている、または汚泥系へ移行している可能性を示唆している。したがって、下水処理場における内分泌かく乱物質の監視方法や制御方法を確立するためには、汚泥処理プロセスを構成する個々の処理工程での内分泌かく乱物質の挙動・消長を明らかにすることが必要である。

そのため、本調査では、下水汚泥試料中の内分泌かく乱物質の分析手法の検討、下水汚泥処理系における内分泌かく乱物質の挙動に関する調査、下水汚泥リサイクル製品の施用先における内分泌かく乱物質の挙動に関する調査を行った。

2. 下水汚泥試料中の内分泌かく乱物質の分析手法の検討

多量の有機物を含む泥状試料を対象とした内分泌かく乱物質の分析手法は確立されておらず、汚泥中の内分泌かく乱物質含有量の把握のため、抽出効率が高く、安定した分析結果を得ることができる分析手法の開発が必要である。ここでは、下水汚泥試料中のノニルフェノール類等の分析の問題点の把握、分析にあたって特に問題となる抽出工程に関する検討を行った。

2.1 ノニルフェノール等の分析に関する検討

2.1.1 検討方法

本検討では、10年度の建設省の実態調査¹⁾において高頻度でその存在が確認されたノニルフェノール（以下、NP）とノニルフェノールエトキシレート（以下、NPEO）を分析対象物質とした。NP及びNPEOの分析は、既存の分析マニュアル^{2) 3)}を参考としつつ、HPLC法を用いる小森らの方法⁴⁾に主に基づいて行った。一般的な分析フローの概略を図-1に示す。

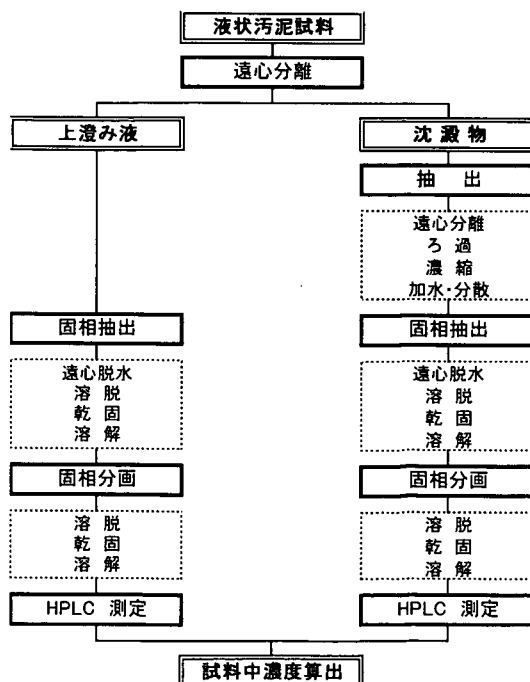


図-1 NP及びNPEOの分析フロー概略

汚泥処理系における調査試料は液状から固形状までの高含水のものが大部分を占める。このために、試料中の固形物に作用する抽出溶媒の含水率が抽出効率におよぼす影響を確認する必要がある。そこで、検体の含水率の違いを想定し、精製水によりメタノールを100~65%に調整したものを抽出溶媒として用い、抽出時間を1~6時間として、メタノール濃度（水分量）が分析値に与える影響を比較することとした。

本検討では供試汚泥として余剰活性汚泥を1mm篩を通過させた後風乾し0.84mm以下に粉碎したものをを用いた。汚泥からの分析対象物質の抽出には振とう抽出法を用いた。検出には高速液体クロマトグラフ（蛍光検出器）を用いた。なお、NPEOはエトキシレート基が1~4のもの($n \leq 4$)と5以上のもの($n \geq 5$)に分けて測定した。

2. 1. 2 検討結果

分析結果からは、抽出時間、メタノール濃度が抽出効率におよぼす影響に、規則性は見られなかった。しかしながら、用いた試料性状が均一であることと抽出時間を十分に取ったケースもあることを考慮すると、この結果が抽出操作に起因しているとは考えにくく、抽出工程以降の分析工程が分析結果に影響していると疑われた。その原因として、抽出液のクリーンアップのために行う固相抽出工程が複雑な操作を必要としていることから、この工程に問題があると考えられた。

そこで、固相抽出工程を省いて分析を行ったところ、固相抽出工程を組み込んだ測定結果と比べて汚泥からの抽出時間やメタノール濃度の影響が明瞭にうかがえる結果が得られた。さらに、固相抽出工程を省くことで抽出濃度そのものが高くなったことから、クリーンアップのための固相抽出工程を省くことにより回収率が高くなっているものと考えられる。

きょう雑物質の多い汚泥試料の分析においてクリーンアップは一般的には必須であると考えられるが、これらのことから、分析対象とする汚泥によっては操作が複雑な固相抽出工程を省くことが有効であることが明らかとなるとともに、汚泥中の内分泌かく乱物質の分析について検討すべき点が多く残されていることが明らかとなった。

2. 2 ノニルフェノール等の抽出方法に関する検討

2. 2. 1 検討方法

下水汚泥試料からの目的物質の抽出については十分な検討が進んでいるとはいいがたい状況にあり、より高い回収率で安定した結果が得られる抽出手法、抽出条件の開発が必要である。ここでは、主に Pressurized Fluid Extraction（以下、PFE法）⁵⁾を下水汚泥試料からのNP、NPEOの抽出に応用することを試みた結果を報告する。

PFE法とは、土壌、汚泥等から難水溶性の化学物質を抽出する方法であり、ソックスレー抽出法と同等の回収率を少量の溶媒で高速に達成するため、高温（100~180℃）、高圧（10.3~13.8MPa（1500~2000psi））の条件下で抽出を行うものである⁵⁾。米国環境保護庁の試験方法として検討されている方法であるが、下水汚泥試料中のNP、NPEOを対象とした抽出条件が明らかではないため、抽出条件を検討することとした。

また、超臨界流体抽出法（Supercritical Fluid Extraction、以下、SFE法）による抽出にも着手した。SFE法とは、超臨界状態の流体を用いて目的物質を抽出する方法で、高温高圧下で液体とも気体とも異なる抽出効果が得られる可能性があり、抽出のための有機溶媒を削減することも可能である。本検討では、メタノールを添加した超臨界状態の二酸化炭素を用いた。

これらの試験にはそれぞれ異なる処理場で採取した余剰活性汚泥とコンポストを、風乾した後、0.84mm以下に粉碎したものをを用い、抽出液の分析は固相抽出操作を除いて行った。

2. 2. 2 検討結果

1) PFE法における抽出溶媒の検討

PFE法によるNP、NPEOの抽出の検討にあたり、抽出溶媒の違いが回収量におよぼす影響について検討した。使用した溶媒はメタノール、アセトン、ヘキサン、アセトニトリル、アセトン：ジクロロメタン(1:1)、酢酸エチルである。抽出のための静置は、10分静置して試料と溶媒を接触させた後、抽出溶媒を入れ替え再び10分静置するという設定とした。また、圧力は13.8MPa、温度は100℃とした。供試汚泥には乾燥汚泥を用いた。

結果を表-1に示す。メタノールを抽出溶媒とした場合のNP、NPEOの回収量が他の抽出溶媒での回収量よりも多かった。これは、メタノールの親水性が高いことに起因しているものと推察される。この結果にしたがい、PFE法によるNP、NPEOの分析にあたり、抽出溶媒としてメタノールを用いることとした。

2) PFE法における抽出時間、抽出温度の影響

PFE法について、抽出圧力を一定とし(13.7MPa)、抽出時間を5~30分、抽出温度を40~100℃に設定して抽出を行い、既存の方法で用いられている加熱還流法による抽出⁶⁾によるNP、NPEOの回収量と比較した。供試汚泥には乾燥汚泥とコンポストを用いた。

結果を図-2に示す。図-2に示されている各点は個別の分析値、接続線は平均値を結んだものである。乾燥汚泥では、

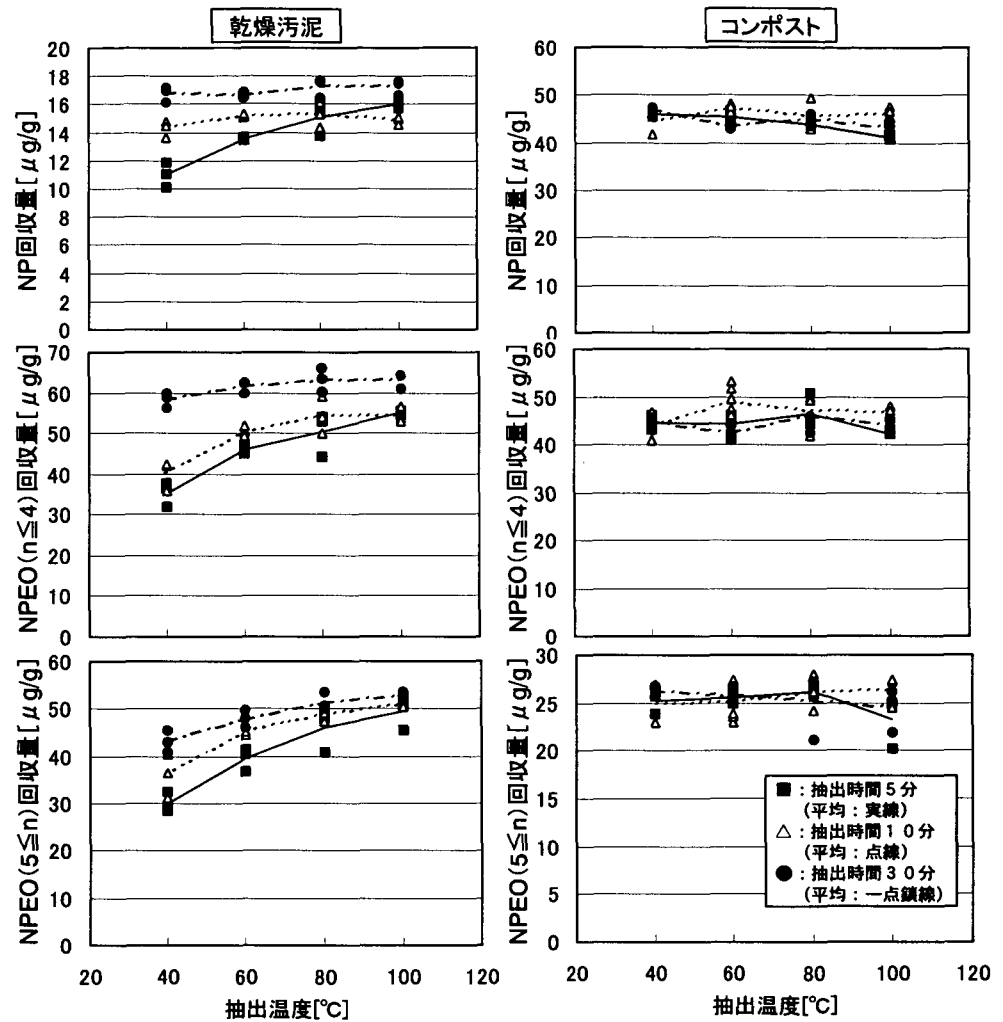


図-2 PFE法でのNP、NPEO回収量への抽出温度と抽出時間の影響

表-1 余剰活性汚泥からのNP、NPEO回収量におよぼす抽出溶媒の影響

使用溶媒		メタノール	アセトン	nヘキサン	アセトニトリル	アセトン：ジクロロメタン(1:1)	酢酸エチル
NP	平均回収量 [μg/g-dry]	20.2	17.0	13.3	13.0	17.5	12.1
	変動係数 [%]	2.3	5.3	4.0	7.0	4.2	8.8
NPEO (n ≤ 4)	平均回収量 [μg/g-dry]	43.6	31.5	28.3	28.6	34.4	22.0
	変動係数 [%]	2.3	7.3	3.3	6.9	5.8	8.1
NPEO (n ≥ 5)	平均回収量 [μg/g-dry]	44.3	31.5	16.7	24.1	27.1	28.7
	変動係数 [%]	3.2	12.2	7.7	6.4	3.1	6.7

抽出時間が長いほど、また、抽出温度が高いほど、NP 及び NPEO の回収量が多くなる傾向にあった。抽出温度 100℃では、抽出時間 5 分でも 30 分と同程度の回収量となった。一方、コンポストでは乾燥汚泥からの抽出ほど明確な傾向は見られなかった。

加熱還流法による抽出によって得られた結果と、PFE法の結果のうち抽出時間 10 分、抽出温度 60、100℃での結果とを比較し図-3に示す。図-3に示されている横棒は個別的分析値、棒グラフは平均値をあらわしている。PFE法での乾燥汚泥からの回収量は、NPで加熱還流法と同程度、NPEOでは加熱還流法での回収量より多かった。一方、コンポストではNP、NPEO(n≥5)は同程度、NPEO(n≤4)は加熱還流法での結果が高めの値を示した。また、一般的にPFE法による試験結果の方がばらつきが小さかった。

PFE法での乾燥汚泥からのNP、NPEOの回収量については、加熱還流法による抽出と比較し、抽出時間が1/4以下で、1.03~1.3倍のNP、NPEOを回収することが可能であることが明らかとなった。また、コンポストの場合も、加熱還流法による抽出とほぼ同等の回収量を得ることが可能であることが明らかとなった。今後、汚泥処理系での内分泌かく乱物質の消長を把握する上で、ノニルフェノキシ酢酸等を含めたノニルフェノール類の分析、17β-エストラジオール(以下、E2)やエストロン(以下、E1)の分析手法を確立していく必要があるが、この結果は基礎的な知見として有用であると考えられる。なお、今回用いた乾燥汚泥とコンポストからの抽出ではそれぞれ異なった回収傾向を示した。これは供試汚泥の由来が異なっていることに起因している可能性とともに、コンポストの表面・内部構造が、コンポスト化過程を経たことで、抽出が比較的容易な状態に変化していた可能性もある。この点に関しては今後の検討課題である。

3) SFE法による抽出でのメタノール添加の影響に関する検討

SFE法による抽出について、超臨界状態の二酸化炭素を抽出に用い、メタノールの添加の有無がNP、NPEOの回収量に与える影響を確認した。抽出圧力20MPa、抽出温度60℃、二酸化炭素の流量は3mL/liq/min、添加した場合のメタノールの流量は0.2mL/minとした。抽出時間は、メタノール無添加では60分、メタノール添加では30分とした。供試汚泥には乾燥汚泥を用いた。

結果を加熱還流法での結果とともに図-4に示す。メタノールの添加によりNP、NPEO回収量が1.7~5倍に増加した。加熱還流法での結果との比較では、NP及びNPEO(n≥5)で加熱還流法の方が回収量が多く、NPEO(n≤4)では同程度の回収量であった。

これらのことから、超臨界状態の二酸化炭素単独での抽出は困難であるが、微量のメタノールの添加により高率のNP、NPEOの回収が期待できることが明らかとなった。今回の検討

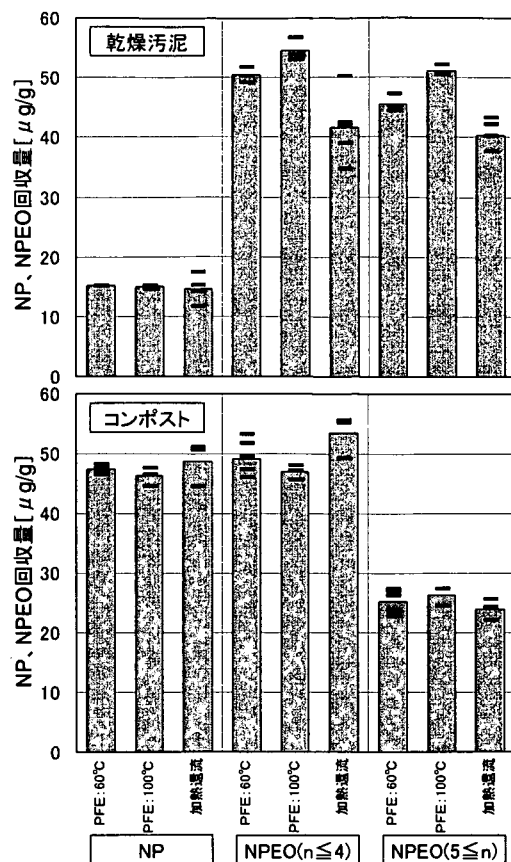


図-3 PFE法と加熱還流法との回収量の比較

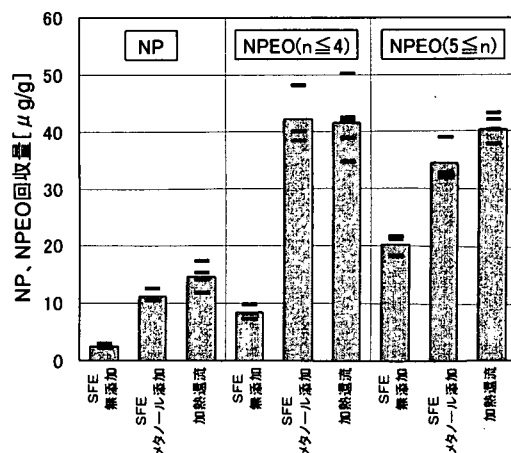


図-4 SFE法と加熱還流法との回収量の比較

では加熱還流法より回収量が多くなるという結果は得られなかったが、試行した抽出条件が少ないため、今後、より多くの条件での抽出実験を行うことで、適切な抽出条件を見いだすことができると考えられる。

3. 下水汚泥処理系における内分泌かく乱物質の挙動に関する予備調査

下水処理場における内分泌かく乱物質の監視方法や制御方法を確立するためには、汚泥処理プロセスを構成する個々の処理工程での内分泌かく乱物質の挙動・消長を明らかにすることが必要である。ここでは、嫌気性消化過程、およびコンポスト化過程における内分泌かく乱物質の消長を把握するための予備実験を行った。

3.1 嫌気性消化実験

嫌気性消化過程における内分泌かく乱物質の挙動を調べるため、実下水を用いた活性汚泥法の実験装置より得られた汚泥を供試汚泥とした嫌気性消化連続実験を行った。

3.1.1 実験方法

実験に供した汚泥は、SRTが5、10、20日にそれぞれ設定された余剰活性汚泥三種と最初沈殿池汚泥一種である。実験は、消化温度35℃、消化日数20日の条件により、5Lのガラス瓶を反応槽に、恒温水槽による間接加温を行いながら、平日1日1回の汚泥の引抜きと投入を行う連続実験を95日間行った。

実験では実験期間中の投入汚泥と消化汚泥の全ての試料について一般的な性状分析を行うとともに、発生した消化ガスの全量とその組成を測定した。また、系が実験条件に十分に馴養したと判断された約85日経過時点の汚泥試料について、NPはGC/MS法、NPEOはHPLC法、E2はELISA法を用いる既存の方法²⁾により、エストロゲン様活性（以下、Es-act）は酵母を用いる矢古宇らの方法⁷⁾により分析した。

3.1.2 実験結果

定常状態下における内分泌かく乱化学物質の分析結果を表-2に示す。NPやNPEO(n≤4)、NPEO(n≥5)、E2及びEs-actは、投入汚泥よりも消化汚泥の含有量が多い結果となった。この結果は、これらの物質が系内で生産された可能性を示唆するものであるが、生産される生物学的、化学的な機序は考えにくく、原因は適用した分析方法にあるものと思われた。

既存の分析方法では、汚泥自体からの抽出方法が不十分である可能性が高く、本実験結果は下水汚泥の性状が嫌気性消化を経ることにより、分析上、より抽出されやすい性状に変化した可能性も考えられる。今後、下水汚泥中のノニルフェノキシ酢酸等を含めたノニルフェノール類、E2やE1を含め、現象説明に取り組む必要がある。

3.2 コンポスト化実験

下水汚泥のコンポスト化の予備室内実験により採取された試料を用い、内分泌かく乱物質の含有量の変化に関する予備調査を行った。実験では、無消化の脱水汚泥、返送コンポスト、牧草を混合し、28日間通気した。切り返しは4~7日おきに行った。実験期間中に温度は最高約63℃まで上昇した。

コンポスト化実験により得られた試料のNP、NPEO含有量を測定した結果、実験の前後で特筆すべき差は見られな

表-2 嫌気性消化実験における内分泌かく乱化学物質の分析結果

		[μg/L]					
		NP	NPEO (n≤4)	NPEO (n≥5)	E2	Es-act	
最初沈殿池汚泥系	投入	50.7	265	35.4	11.5	12.3	
	消化	155.7	253	203	33.8	103.9	
余剰活性汚泥系	SRT = 5day	投入	11.0	49.7	69.1	22.8	51.1
		消化	70.0	107.8	98.3	18.8	41.2
	SRT = 10day	投入	11.3	38.2	92.6	30.8	51.6
		消化	55.7	140.4	202	55.5	132.4
SRT = 20day	投入	13.9	37.0	48.0	20.7	25.0	
	消化	115.8	199.2	249	44.3	88.5	

ったが、実験途中でNPEO($n \geq 5$)含有量が上昇するという現象が見られた。今後、より精密なコンポスト実験を行うとともに実施設での実態調査を行い、コンポスト化過程での内分泌かく乱物質の消長を明らかにしていく必要がある。

4. 下水汚泥リサイクル製品の施用先における内分泌かく乱物質の挙動に関する調査

下水汚泥の有効利用が進められていく中で、下水汚泥リサイクル製品の施用先における内分泌かく乱物質の消長を明らかにすることが重要であり、そのためには施用先の状況を再現した実験施設による長期間の調査が必要である。

4.1 溶出実験

下水汚泥リサイクル製品の土壌施用先での挙動把握の基礎情報とするために、コンポストと乾燥汚泥を用いた溶出実験を行った。

4.1.1 実験方法

実験は、原料や製造方法が異なるコンポスト四種類と乾燥汚泥一種類を用い、全量を5mmの篩を通過させたものを供試体とし、乾燥重量で400gに相当する供試体に対して、4Lのイオン交換蒸留水を作用させ2N-HCl又は10N-HCl溶液を用いてpHを6、5、4、3に別々に自動制御しながら20℃の恒温室にて24時間の溶出実験を行った。

24時間経過後の試料は、直ちに3,000rpmで20minの遠心分離を施し、上澄み液を1μmのグラスファイバーろ紙にてろ過した。得られたろ液は、NPやNPEO($n \leq 4$)、NPEO($n \geq 5$)、E2、ビスフェノールA及びフタル酸ジ-2-エチルヘキシルの分析に供した。分析方法は既存の方法²⁾によった。

4.1.2 実験結果

実験結果を図-5に示す。全体的な傾向は、NPやNPEOが溶出し易く、また、中性近傍での溶出量が多く、酸性となるほど溶出しづらいというものであった。酸性側における溶出の抑制傾向により、降雨による土壌からの溶脱が幾分制限されている可能性が示唆された。

4.2 ライシメータ実験

下水汚泥コンポストの緑地利用や農地利用を想定し、下水汚泥コンポスト中に含まれる可能性のある内分泌かく乱物質の土壌中での消長を把握するためライシメータを用いた実験に着手した。ここでは、ライシメー

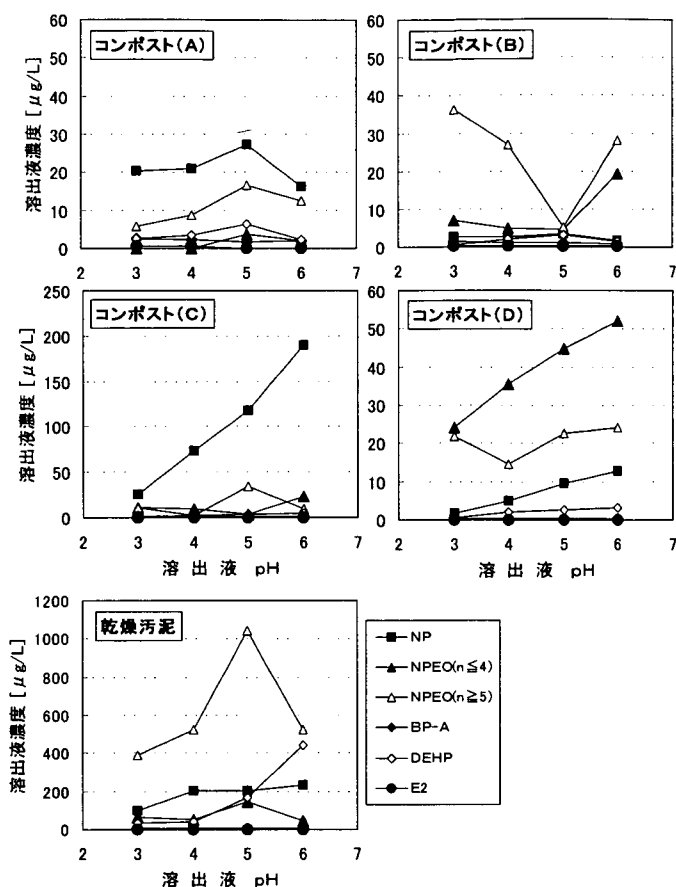


図-5 溶出試験の結果

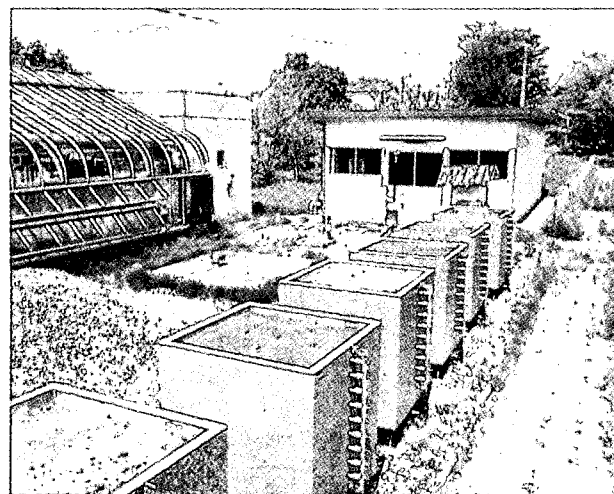


写真-1 ライシメータ実験全景

表-3 ライシメータ仕込み条件

ケース1	土壌	(対照系)
ケース2	土壌	+薬品(NP, E2)
ケース3	土壌+コンポスト	
ケース4	土壌+コンポスト	土壌採取毎耕耘
ケース5	土壌+コンポスト+薬品(NP, E2)	
ケース6	土壌+コンポスト+薬品(NP, E2)	土壌採取毎耕耘

タ実験開始後約6ヶ月時点までに得られた浸出水に関する知見について報告する。

4. 2. 1 実験方法

1) ライシメータへの仕込み

本実験で使用したライシメータを写真-1、ライシメータ内部の概略を図-6に示す。幅1m×奥行1m×高さ1mのステンレス製のライシメータ六台を屋外に設置した。実験では、気象を連続観測するとともに、適宜、土壌と浸出水を採取した。なお、本実験は11年10月に開始したもので、13年度末現在で継続中である。

各ライシメータの設定条件を表-3に示す。図-6で“土壌”と記されている部分に、表-3に示した条件で調製した土壌を充填した。下水汚泥コンポストを施用した系には10kg/基のコンポストを、また薬品を添加した系にはNP及びE2をそれぞれ約500mg/基、約17mg/基、メタノールに溶解して土壌(赤土)と混合した。また、下水汚泥コンポストを施用し耕耘を行うこととした系については土壌採取毎に耕耘した。

実験に使用した土壌は茨城県南部で代表的に見られる赤土であり、農業や肥料にあまりさらされていないものを用いた。土壌は全て5mm以下に篩い分けしたものを用いた。実験に使用した下水汚泥コンポストは高分子系の消化脱水汚泥を原料とし、破碎したモミガラを副資材として発酵したものである。土壌に添加したNPとE2は建設省の実態調査¹⁾において比較的高頻度でその存在が確認された物質の中から選択した。

2) 分析方法

ライシメータからの浸出水中のNP及びE2の分析は既存の分析マニュアル^{2) 3)}に基づき、NPはGC/MS法、E2はELISA法を用いて測定した。

ELISA法については、E2と構造が似ている他の物質を合わせて測定している可能性が指摘されている⁸⁾。試行的にLC/MS/MS法⁹⁾により本実験に使用したコンポストと同種のコンポストについてエストロゲン含有量を測定したところE2は検出されなかったが、ここでは便宜上、現在主に用いられているELISA法で得られた値をE2の濃度として扱うこととする。より詳細な消長の解明には、E1等の関連物質も含めた分析手法の開発とそれに基づく検討が必要である。

4. 2. 2 実験結果

ライシメータからの浸出水中のSS、TOC、NP、E2濃度の推移の例を図-7に示す。横軸は浸出水の累積量である。各ライシメータの土壌の締め方が異なるため、浸出水量が異なっていた。

SSについては、ライシメータへの土壌の仕込み後最初の降雨での浸出水中で24~791mg/Lであった。二回目以降の降雨での浸出水中では多くの場合で10~50mg/L程度となっていた。

TOCについては、最初の降雨での浸出水(0.18~0.47L)よりも、二回目の降雨での浸出水(42~59L)で高い値を示し、その後は濃度が低下する傾向を示した。特に、土壌に薬品(NP、E2)を添加したケース2では、二回目の浸出水中のTOCが472mg/Lであった。この値はコンポスト施用系に薬品を添加したケース5、6での98~99mg/Lという値と比較して高かった。土壌のみに薬品を添加したケース2では土壌への添加時に薬品の溶媒として使用したメタノールが比較的早い段階で浸出したのに対し、ケース5、6ではメタノールとコンポストとの相互作用(吸収、吸着、微生物分解)によりケース2とは異なった結果となったものと

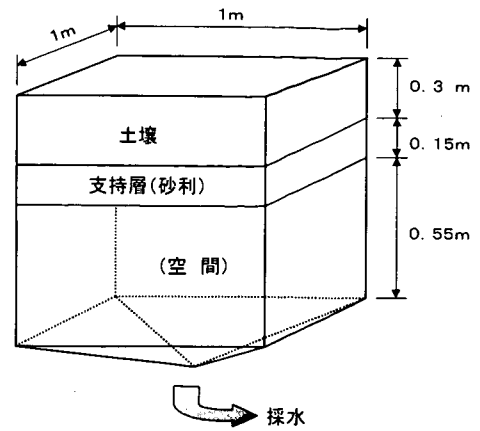


図-6 ライシメータ内部

考えられる。

NP、E2については実験初期に比較的高濃度での浸出が見られたが、累積浸出水量にして100L程度からは比較的低濃度で推移していた。この傾向はTOCの浸出の傾向と類似していた。

各ライシメータの初期土壌中NP、E2存在量に占める浸出したNP、E2の累積量を累積浸出率としてまとめ、図-8に示す。横軸は累積浸出水量をB.V.≡(累積浸出水量)/(土壌嵩体積)で無次元化した値である。コンポスト非施用系であるケース1、2で

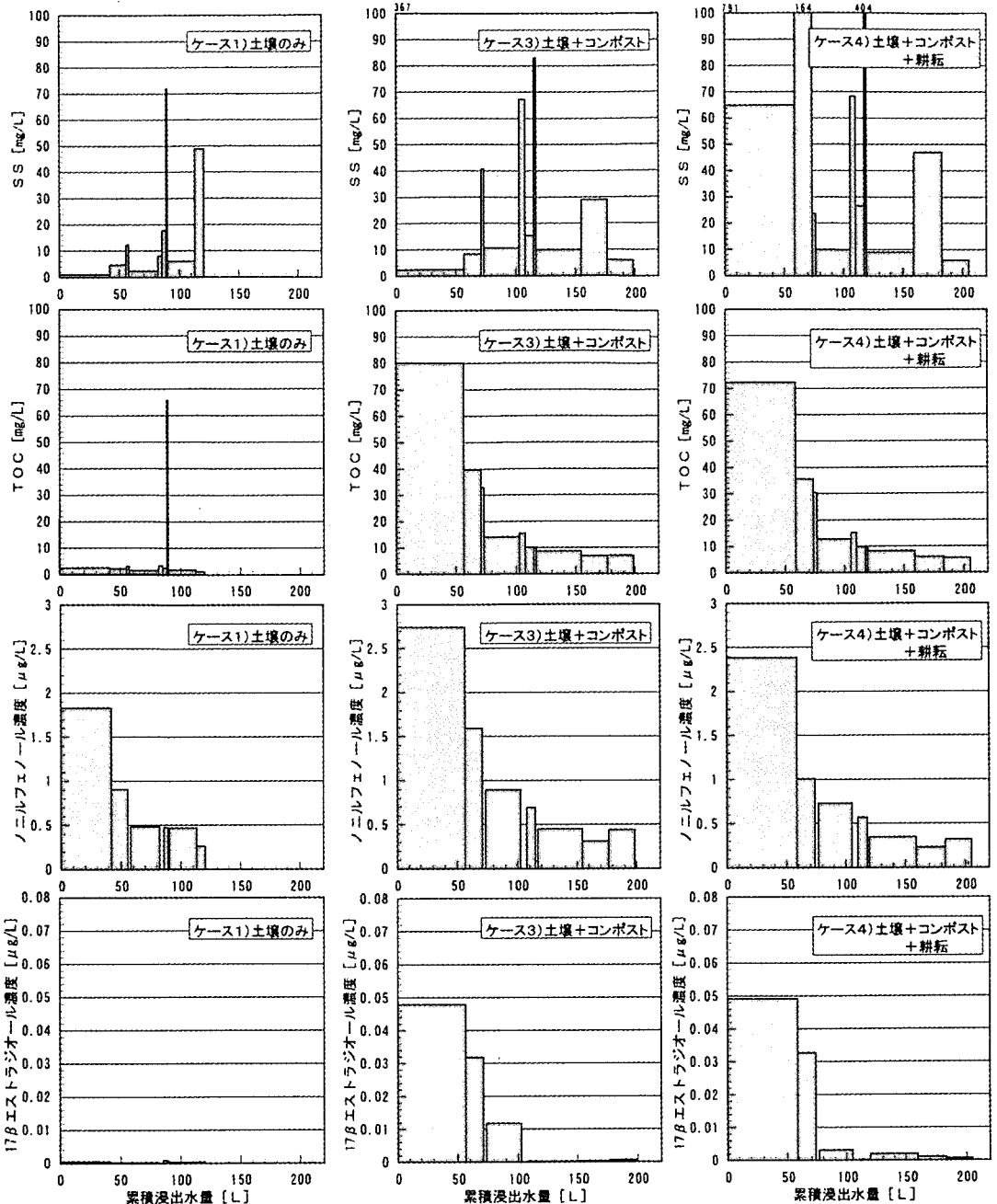


図-7 ラシメータからの浸出水中のSS、TOC、NP、E2濃度

は、NPの浸出率が高かったのに対しコンポストを施用したケース3~6では、初期土壌中存在量の0.22~0.48%しか浸出していなかった。これは、コンポスト中の有機物にNPが保持され、土壌のみの系より浸出しにくいと考えられる。また、E2は、1.8~4.7%がコンポスト施用系から浸出しておりコンポスト非施用系より高い値を示した。また、耕耘系の方が非耕耘系より累積浸出率が低くなる傾向にあった。

土壌のNP、E2含有量と土壌中残留率の推移をそれぞれ図-9、図-10に示す。現時点ではコンポストを含む土壌の内分泌かく乱物質含有量の分析は検討すべき課題が多く残されているため分析結果の傾向を単純に評価することは困難であるが、NPについてはB.V.で0.5程度以降は減少傾向にあった。

図-8、10の比較から、土壌中のNPの減少は浸出水による排出のみでは説明がつかないため、浸出以外の減少機構が存在している可能性が高く、ライシメータ内での物理化学的または生物学的分解が起こっているものと考えられる。

5. まとめ

我が国の下水処理場への内分泌かく乱化学物質の流入が報告されており、それらが水処理系から汚泥処理系へ移行する可能性が指摘されている。本調査は下水汚泥処理系および下水汚泥リサイクル製品施用先での内分泌かく乱物質の挙動・消長を明らかにすることを目的とし、下水汚泥試料中の内分泌かく乱物質の分析手法の検討、下水汚泥処理系における内分泌かく乱物質の挙動に関する調査、下水汚泥リサイクル製品の施用先における内分泌かく乱物質の挙動に関する調査を行った。主な結果を以下にまとめる。

- ① 下水汚泥試料中の内分泌かく乱物質の分析手法を開発するため、汚泥からの内分泌かく乱物質の抽出方法の検討を行った。その結果、乾燥

汚泥からのNP、NPEOの抽出にPFE法を用いることで、一般的に用いられている加熱還流法による抽出と比較し、抽出時間が1/4以下で、1.03~1.3倍のノニルフェノール類を抽出することが可能であることが明らかとなった。

- ② 下水汚泥リサイクル製品の施用先における内分泌かく乱物質の挙動に関する調査としてライシメータを用いたコンポスト施用土壌からの内分泌かく乱物質浸出実験を行い、内分泌かく乱物質の浸出状況を調査した。その結果、降雨によるNPの累積浸出率は初期存在量の0.22~0.48%と少なく、土壌中で分解する傾向にあることが示唆された。

この他、下水汚泥処理系における内分泌かく乱物質の挙動に関する予備調査として、既存の分析手法を用いて嫌気性消化過程における内分泌かく乱物質の消長を把握するための実験を行ったところ、投入汚泥よりも消化汚泥の内分泌かく乱物質含有量が多い結果となった。また、コンポスト化実験を行ったところ、実験の前後で特筆すべきNP、NPEOの含有量の差は見られなかったが、実験途中にNPEO(n≥5)含有量が上昇するという現象が見られた。

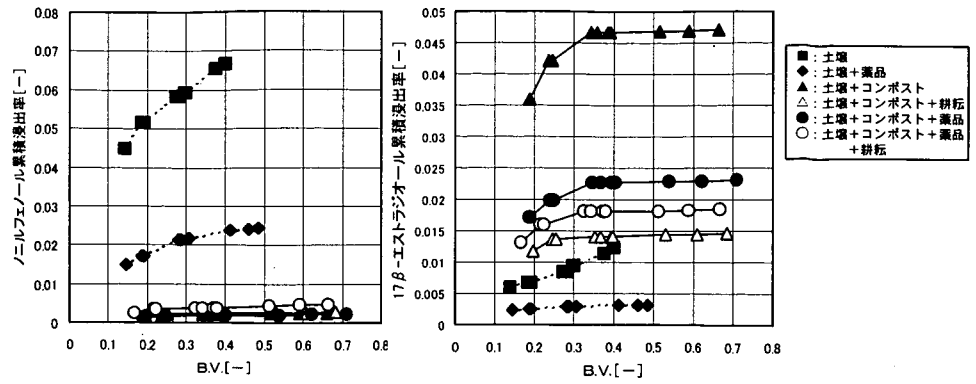


図-8 ライシメータからのNP、E2の累積浸出率

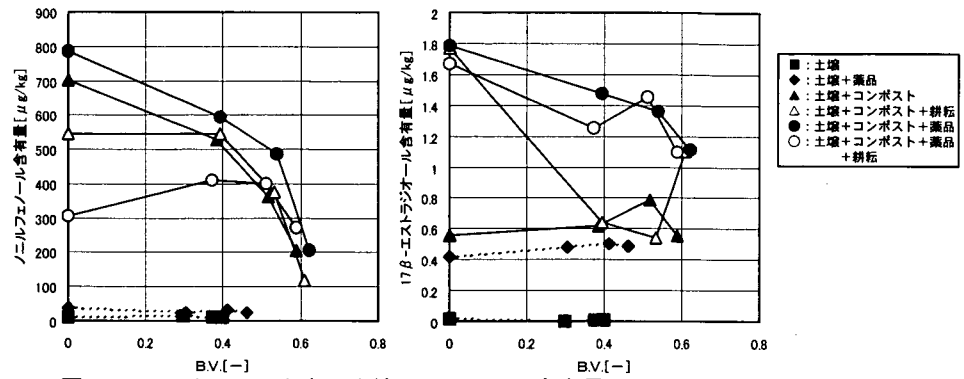


図-9 ライシメータ中の土壌のNP、E2含有量

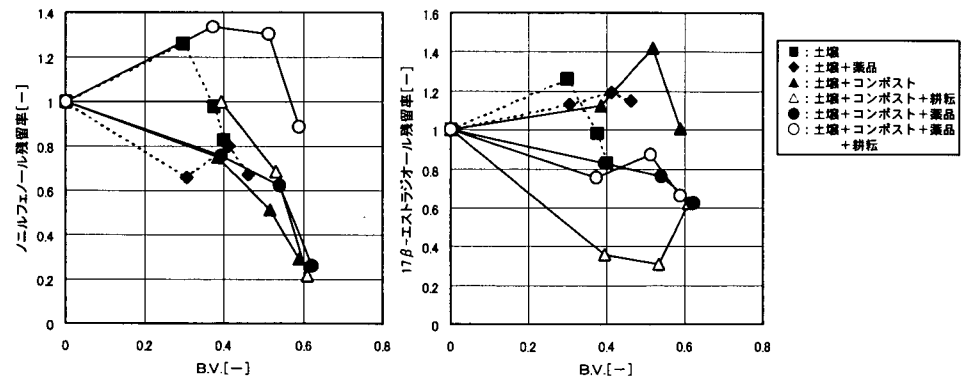


図-10 ライシメータ中の土壌のNP、E2残留率

なお、NP、E2等、内分泌かく乱物質の下水汚泥処理系および下水汚泥リサイクル製品施用先での挙動・消長をより明確にするためには、NP、E2に加え、NPEO、ノニルフェノキシ酢酸、E1等の関連物質を含めた物質収支を明らかにする必要があるが、現時点では下水汚泥試料の分析手法については検討すべき課題が多く残されており、今後も検討を進める必要がある。さらに、改良された分析手法を適用し、より詳細な実験、実処理場での実態調査を行い、物質収支を明らかにする必要がある。

参考文献

- 1) 建設省河川局、建設省都市局下水道部：平成10年度 水環境における内分泌攪乱化学物質に関する実態調査結果、1999.
- 2) 建設省都市局下水道部監修：下水道における内分泌攪乱化学物質水質調査マニュアル、pp.48-51、(社)日本下水道協会、1999.
- 3) 建設省都市局下水道部：下水道における内分泌攪乱化学物質調査マニュアル（案）、pp.74-76、2000.
- 4) 小森行也、田中宏明、竹歳健治：「活性汚泥処理プロセスにおける非イオン界面活性剤の挙動」、第36回下水道研究発表会講演集、pp.700-702、(社)日本下水道協会、1999.
- 5) U.S.EPA: "Pressurized Fluid Extraction", Test Methods for Evaluating Solid Waste Physical/Chemical Methods, Method 3545A, U.S.EPA, 2000.
- 6) 下水道における環境ホルモン対策検討委員会：下水道における内分泌攪乱化学物質水質調査マニュアル（案）、pp.103-110 及び pp.139-146、(社)日本下水道協会、2001.
- 7) 矢古宇靖子、高橋明宏、東谷忠、田中宏明：「組み換え酵母を用いた下水中のエストロゲン活性の測定」、第36回環境工学研究論文集、pp.199-208、(社)土木学会、1999.
- 8) 高橋明宏、小森行也、矢古宇靖子、岡安祐司、斉藤正義、東谷忠、田中宏明：「下水試料中の女性ホルモン測定法の課題—LC/MS/MSとELISAの比較から—」、第3回日本水環境学会シンポジウム講演集、pp.175-176、(社)日本水環境学会、2000.
- 9) 小森行也、高橋明宏、田中宏明：「LC/MSによる下水試料中の17β-エストラジオールの分析」、第9回環境化学討論会講演要旨集、pp.346-347、日本環境化学会、2000.