

下水汚泥コンポスト化における PAHs および毒性の変化

広島大学大学院 正会員 ○尾崎 則篤
 広島大学大学院 学生会員 中里 聡洋
 広島大学大学院 正会員 金田一 智規
 広島大学大学院 正会員 大橋 晶良

1. はじめに

多環芳香族炭化水素類(PAHs)はおもに化石燃料の燃焼によって生じる物質群であり、Benzo(a)pyreneをはじめ発ガン性を持つものも多い。PAHs は自動車、工業、家庭での燃焼など広範な発生源をもっており、とくにディーゼル粒子をはじめとする自動車交通起源については数多くの調査がおこなわれている。一方、都市下水もひとつの起源として考えられるが、多く調べられているとは言いがたい。汚泥の再利用のひとつとしてコンポスト化がある。資源循環の観点から今後重要性が増してくると考えられるが有害物質の循環の可能性もあり、その把握も重要である。下水由来 PAHs もコンポスト化を通して環境中へ拡散すると考えられるがそれがどの程度の寄与を占めているのかはほとんど知られていない。そこで本研究では広島県内のコンポスト製造工場において PAHs の動態を調査しそれに基づき環境への負荷について検討した。

2. 調査方法

コンポストサンプルの採取は広島県内のコンポスト製造会社に依頼した。この工場では年間約 7,000 t の脱水汚泥を広島県内外の複数の下水処理場から受け入れ、民間企業からの食品残渣等と混合してコンポスト原料としている。コンポストの製造方法は原料を約7日間のエアレーションによる発酵工程を2回繰り返している。6ヶ所の下水処理場からの脱水汚泥と副資材として食品残さ(コーヒー粕)と植物性残さ(おから粕)の定期的なサンプリングを実施した(2009年11月~2010年1月まで月1~2回実施(計5回); 総サンプル数は37)。採取したサンプルは凍結乾燥器により抽出前に凍結乾燥を施した。凍結乾燥を行ったサンプル(重量1~2g)に対してジクロロメタンによる60分間の超音波抽出を行い、溶液を2mLまで濃縮し PAHs 定量分析用とバイオアッセイによる毒性評価用に分割した。同時にサンプルの含水率および強熱減量の測定も行った。含水率は100°C24時間乾燥により、強熱減量は600°C4時間焼成後の減量から算定した。

処理前と処理後とを直接比較するため複数の汚泥や副資材を受入量の比率(年平均)に比例して混合した混合原料を作成し、コンポストとの比較した。施設の運用上実際の混合原料を採取することは困難でありこのようなやり方をとった。

PAHs の測定は GC/MS(島津製作所, GC-17A/QP5050)を用い、分析対象は3~6環の16物質とした。毒性試験には発光細菌(*Vibrio fischeri*)に対する毒性試験と Ah イムノアッセイ試験の二つを実施した。いずれもジクロロメタンからジメチルスルホキシドへ溶媒転移をしたものを対象とした。前者は、毒性評価の指標として半数致死濃度の逆数(1/EC₅₀; 5, 15分後の平均値)で表し、後者はサンプル量を2,3,7,8-TCDD量に換算して評価した。

3. 調査結果

(1) PAHs 含有量

表-1 に含水率と強熱減量を、16PAHs 合計値を図-1 に示す。

表-1 含水率と強熱減量

	含水率	強熱減量	
汚泥	81.2±6.3%	85.1±3.7%	N=24
コンポスト	34.3±3.7%	75.1±1.4%	N=5

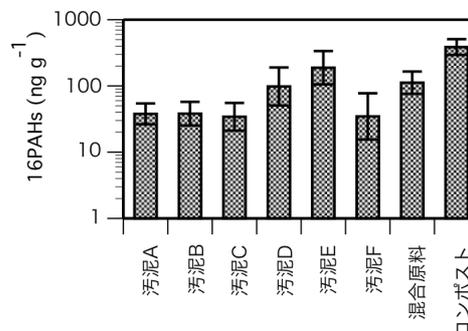


図-1 16PAHs 含有量(各 n=5; 相乗平均値±標準偏差)

図-1 より汚泥別に 16PAHs 含有量を比較すると、汚泥 D や汚泥 E の PAHs 含有量が比較的高かった。混合原料およびコンポストの PAHs 含有量はそれぞれ 112, 386 ng g⁻¹であった(相乗平均値)。

(2) 毒性試験結果

作成した混合原料と混合コンポストに対する 2 種類の毒性試験結果を図-2, 3 に示す。Ah イムノアッセイ法については可能な測定数が限られたため今後の年間を通したサンプリングを考え、12月と1月に採取した4回の汚泥と副資材及びコンポストを当量混合させ冬期の測定値とした。また比較のために同じサンプルの16PAHs含有量および発光細菌毒性試験結果も示した。

キーワード PAHs, バイオアッセイ, 下水汚泥, コンポスト

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1 広島大学大学院工学研究科 TEL082-424-5718

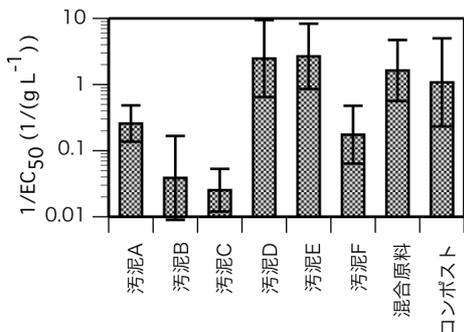


図-2 発光細菌による毒性試験結果 (各 n=5)

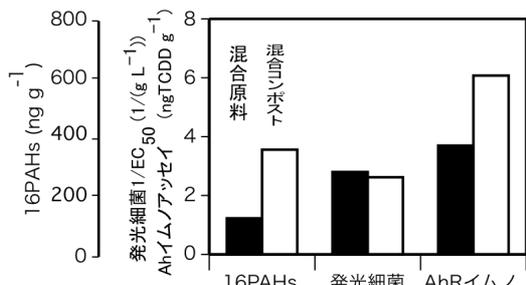


図-3 Ah イムノアッセイ試験による毒性試験結果

図-3 より発光細菌による毒性において混合原料, コンポストはそれぞれ 1.6, 1.1 (1/(g L⁻¹))と毒性はあまり変化がなかった. 図-3 から Ah イムノアッセイ試験では, 混合原料およびコンポストはそれぞれ 3.7, 6.1 ngTCDD g⁻¹となった.

PAHs 含有量と発光細菌毒性試験結果との関係を図-4 に示す. 両者には明らかな相関があった(P<0.01%). PAHs は発光細菌毒性に直接的な寄与を示すものではないが(PAHs の毒性寄与を算定したところ最大でも 1%以下であった)両者に関係があることはそれらの発生原因が共通であることを示唆している.

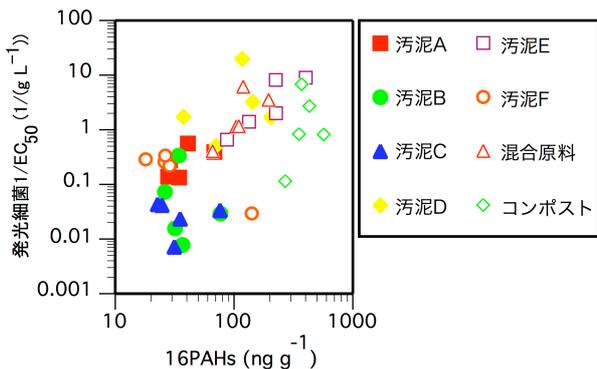


図-4 16PAHs 含有量と発光細菌毒性試験結果

(3) 負荷量による考察

強熱減量の測定値から有機物含有量を算出し, 負荷量による PAHs 含有量及び毒性の変化の考察を行った. 混合原料からコンポストへ処理されるプロセスによって強熱減量で表される有機物のみがコンポスト化によって減少するとし, コンポストの全量, 有機物量 PAHs 量, 毒性の値それぞれについて, 混合原料に対する比率を図-5 に示す.

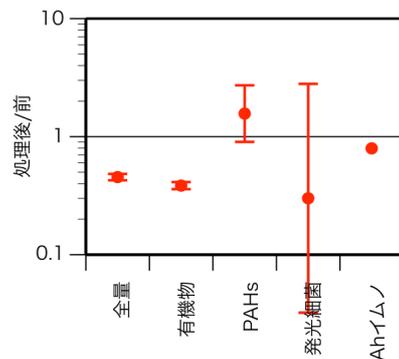


図-5 コンポスト化前後の負荷量変化 (対数平均値, Ah イムノアッセイは n=1, ほかは n=5)

図-5 より, 混合原料がコンポスト化されることで有機物含有量は半分以下(38%)に減少し, 有機物分解が進行していることがわかる. しかし PAHs, 発光細菌毒性試験は減少が見られていない(Ah イムノアッセイもデータ数が限られるが同様に大きな減少はないと推測される). この結果よりコンポスト製造工程で有機物全体は顕著に分解されるものの PAHs はあまり分解されないと考えられた.

本プラントでの年間コンポスト製造量(3,149t; 乾燥重量)から 16PAHs の負荷量を算定した. 5 回のコンポスト含有量測定値から平均値を推定し(対数化し t 分布を仮定; 5%有意水準)製造量との積を取ると 0.87~1.7 kg yr⁻¹となった.

また同様に汚泥発生による PAHs 負荷を算定するために本研究での混合原料を下水の最終処分汚泥の平均的な組成と見なし大気降下負荷との比較をおこなった. 筆者らの先行研究で太田川流域からの大気由来 PAHs 降下量を算定している(90kg yr⁻¹)¹⁾同じ流域で比較をした. 一人当たりの汚泥発生量を 40g/(人日)(乾燥重量ベース)とし人口と含有量を乗じて負荷量を算出したところ 1.0~2.6kg yr⁻¹となった. 大気由来と比較するとその寄与は小さいと言える.

4. まとめ

コンポストの原料となる汚泥や副資材を混合させた混合原料とそれから製造されるコンポストとの PAHs 含有量と毒性の比較をおこなった. 16PAHs 含有量は混合原料 112 ng g⁻¹, 混合コンポスト 386 ng g⁻¹であった. コンポスト化によって有機物総量は顕著な減少を見せたが一方 PAHs 量, 発光細菌毒性試験による毒性量(1/EC₅₀)は減少しなかった. 大気由来の負荷と比較すると下水汚泥またはコンポスト由来の負荷量は小さかった.

参考文献

1) Ozaki, N et al (2006) Water Sci. Technol., 53(2), 147-155.