

VII-53

Daphnia magna を用いたバイオアッセイによる都市ごみ焼却飛灰の環境安全性評価

長岡技術科学大学 学 ○佐々木 太一郎 正 小松 俊哉 正 桃井 清至
(株) 武仲 坂田 圭弘

1. はじめに

わが国の廃棄物分野における安全性評価は、化学分析により規制・分析対象物質の定量を行い、その値を基準値と比較することにより行なわれている。しかし、元来毒性を有する物質であっても規制・分析対象外のものは考慮しない、毒性相互作用について考慮することが難しい、生態毒性を全く考慮していないといった問題がある¹⁾。

これに対し、バイオアッセイは複数毒物の相互作用、生態毒性まで評価可能である。また、未規制物質の影響に関するトラブルにおいて、リスクコミュニケーションを図る手段として活用できる可能性もある。バイオアッセイのうち、生態系の重要種であり、毒性物質に対する感受性が高い *Daphnia magna* (オオミジンコ) を用いた急性遊泳阻害試験は完成度・信頼性が高い。そこで、本研究では特別管理廃棄物に指定されている都市ごみ焼却飛灰およびその中間処理物（セメント固化、溶融固化）に急性遊泳阻害試験を適用し、総合的毒性評価を行なった。

2. 実験方法

2. 1 試料の作成および分析

試料は、異なる焼却施設 A（流動床燃焼方式）、B（ストーカ燃焼方式）から採取した採取時期の異なる 7 種類の飛灰を、環境庁告示 13 号法に準拠した方法で溶出させて用いた。セメント固化および溶融固化は表 1 の条件で行い、飛灰と同様の方法で溶出液を作成した。得られた溶出液の重金属および塩類濃度を ICP 発光分光分析により定量した。

表 1 中間処理の条件

セメント固化	飛灰 10 : セメント 1 (重量比) 徐々に水を加えながら手練で混合 2 週間常温で養生。
溶融固化	1400℃、2 時間 雰囲気制御なし

2. 2 バイオアッセイ

使用した *D.magna* は、国立環境研究所より譲り受けたものを研究室で飼育したものである。試験は OECD の方法に準じて行なった。pH を 7.0 に調整した溶出液を飼育水で希釈し、一連の希釈列を作成後、各希釈列の濃度区および対照区で生後 24 時間以内の外観上健康な *D.magna* を各 5 頭ずつ 4 群に分け、同一試験を行った。試験にはガラス製 100mL ビーカーを用いた。24 時間後に遊泳を阻害された *D.magna* を計数し、遊泳阻害率を求めた。

3. 結果と考察

3. 1 都市ごみ焼却飛灰溶出液の分析結果

溶出液の重金属および塩類の分析結果を表 2 に示す。A 施設の飛灰溶出液は、基準項目に指定されている全ての重金属で基準値をクリアしていた。また、飛灰 B2 のセメント固化灰・スラグ溶出液においても基準値は全てクリアしていた。これに対し飛灰 B2 および B3 で Pb が基準値を大きく上回り、さらに基準値は設けられていないが Zn も高濃度で検出された。規制物質含有量が最も少ない A3 を pH4 に固定して作成した溶出液は、Cd、Pb が基準値を超えて検出され、Zn、Cu も高濃度に検出された。

表 2 飛灰溶出液に含まれる重金属および塩類濃度 (mg/L)

試料	pH	Hg	Cd	Pb	Cr	Se	As	Zn	Cu	Na	K	Ca	Mg
A1	10.13	N.D.	0.005	N.D.	0.62	N.D.	N.D.	0.006	0.009	1018	667	1273	1.107
A2	9.65	N.D.	N.D.	N.D.	0.109	N.D.	N.D.	0.02	0.002	1296	682	1300	1.979
A3	9.97	N.D.	N.D.	N.D.	0.011	N.D.	N.D.	0.018	N.D.	1120	700	827	0.734
A4	11.3	N.D.	0.009	0.09	0.671	N.D.	N.D.	0.029	0.019	1124	811	975	0.947
B1	10.85	N.D.	N.D.	N.D.	0.798	N.D.	N.D.	0.033	N.D.	2151	2128	1566	0.995
B2	12.54	N.D.	0.009	2.88	0.123	N.D.	N.D.	1.328	0.05	1089	1414	5556	0.002
B3	12.63	N.D.	0.01	3.30	0.173	N.D.	N.D.	1.358	0.05	1338	1348	5538	0.234
B2 cement	12.58	N.D.	0.007	0.27	0.01	N.D.	N.D.	0.055	0.009	656	969	2911	0.051
B2 slag	12.83	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.08	N.D.	25.9	190	1173	0.012
A3	4固定	N.D.	1.11	5.94	0.275	N.D.	N.D.	193.04	14.677	1364	865	6996	415
産業廃棄物理立基準		0.005	0.3	0.3	1.5	0.3	0.3	—	—	—	—	—	—
ICP 定量下限		0.1	0.004	0.05	0.005	0.15	0.15	0.005	0.0002	0.01	0.15	0.0002	0.0002

N.D. : ICP 定量下限以下

[KEY WORDS] バイオアッセイ、*Daphnia magna*、焼却飛灰、セメント固化、溶融固化

[連絡先] 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学工学研究科 環境システム工学専攻
廃棄物・有害物管理工学研究室 Tel:0258-47-1611 (6615) Fax:0258-47-9600

3. 2 都市ごみ飛灰溶出液の毒性

飛灰溶出液の毒性（図1）から、全ての重金属が基準値をクリアしている施設 A においても、原液は強い毒性を示していた。施設 A では Na、K、Ca が高濃度に溶出していることから、これら単独の毒性と比較した。図2は、Na、K、Ca 単独投与の用量－反応関係を示す図に、溶出液が含有する Na、K、Ca の量と遊泳阻害率の関係をプロットしたものである。K は 0.5g/L で 100%に近い阻害を示し、4 サンプルともその値を超えていた。A1、A2 の Ca 濃度は 80%の阻害を引き起こす 1.2g/L よりも高かった。Na は最高値 1.3g/L でも阻害は見られなかった。以上から A 施設飛灰溶出液の原液における毒性は K、Ca の寄与が大きいのと考えられる。

施設 B では B1<B3<B2 の毒性強度の関係が見られた。B2、B3 は前述のように Pb、Zn を高濃度に含んでいることから、Pb、Zn 単独での毒性と比較した。図3は、Pb、Zn を単独で投与した時の用量－反応関係を示す図に、阻害率 100%を示した最低希釈倍率 1/4 の溶出液が含有する Pb、Zn の量と遊泳阻害率の関係をプロットしたものである。Pb は 50%程度の遊泳阻害を引き起こす濃度であるが、Zn に関しては毒性がほとんど見られない濃度である。また B2、B3 の 1/4 希釈溶出液は、Ca を 80%以上の遊泳阻害を起こす約 1.4g/L 含有している。したがって、B2、B3 の毒性の主要因は高濃度に含まれていた重金属単独ではなく、Pb と Ca の複合的なものであることが示唆された。

以上から、焼却飛灰の毒性要因は重金属単独ではなく、複合的なものであることが示唆された。そのため、生態系への影響を考慮した場合、埋め立て基準を満たしていても安全であるとは限らず、塩類や複合作用による影響も検討する必要がある。また、飛灰溶出液の毒性要因は採取時期、希釈倍率により変動することも示された。

3. 3 酸性条件での毒性

最も弱い毒性を示した飛灰 A3 を用いて pH4 に固定した条件で溶出試験を行い、得られた溶出液の毒性を評価した。その結果、1/2 希釈で 10%だった遊泳阻害率が 1/64 に希釈しても 100%の遊泳阻害を示すほど、その毒性は強くなった（図4）。1/64 希釈溶出液において影響があると思われる物質は Zn のみで、約 3mg/L 含有していた。この値は、単独投与試験で 100%を示した最低濃度 1.82mg/L よりも高い濃度である。したがって、酸性雨の影響が懸念されている現在は、基準値は設けられていないが Zn にも十分注意する必要があることが示唆された。また、通常の溶出試験では基準値をクリアしている廃棄物であっても条件を変えることにより強い毒性が現れる可能性があることが示された。

3. 4 中間処理の有効性

最も強い毒性を示した飛灰 B2 を用いてセメント固化および溶融固化を行い、同様に遊泳阻害試験を行った結果を図5に示す。未処理の飛灰では 1/4 でも 100%の遊泳阻害を示したのに対して、セメント固化灰は 1/4 希釈で 0%、またスラグは 1/2 希釈でも 0%であった。これにより、セメント固化および溶融固化処理は、生態系への影響の観点からも有効な手法であることが示された。

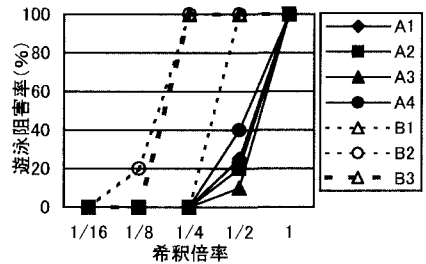


図1 飛灰溶出液の毒性

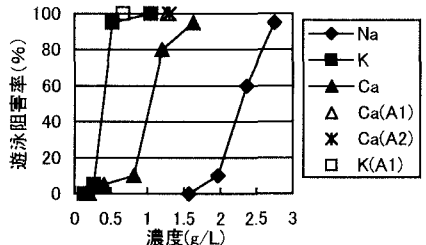


図2 Na、K、Caの毒性

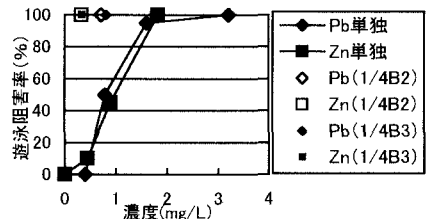


図3 Pb、Znの毒性

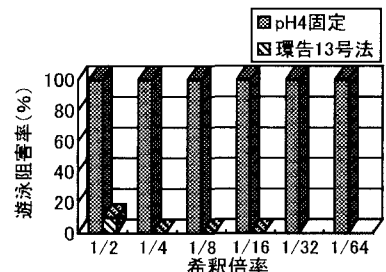


図4 酸性での溶出液の毒性

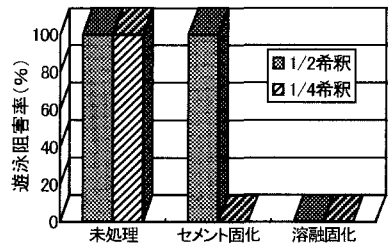


図5 中間処理の有効性

【参考文献】 1) 金子栄廣：溶出試験による廃棄物の毒性評価，廃棄物学会誌，Vol.7，No.5，pp394-402（1996）