

魚類を用いた雨天時道路排水の生態毒性に関する検討

立命館大学大学院 学生会員 ○榊 将也  
立命館大学大学院 非会員 財津 実歩  
立命館大学理工学部 正会員 市木 敦之

1. はじめに

生物応答を利用した排水管理（WET 手法）は、点源汚染について導入が検討される一方で、面源汚染については行われていない。雨天時道路排水は、重金属や PAHs（多環芳香族炭化水素類）といった微量有害物質を含んでおり、河川や湖沼など公共用水域へ流入することによる生態影響が懸念されている。筆者らは、これまで道路排水を対象として、環境省より提案されている水生生物 3 種による生態毒性試験<sup>1)</sup>のうち、藻類生長阻害試験やミジンコ繁殖試験を実施して、冬季に顕著な藻類生長阻害毒性がみられることなどを示してきた<sup>2)</sup>。他方、魚類短期毒性試験は、毒性レベルが低い試料に対する感受性が低いため、遺伝子解析と組み合わせた毒性評価<sup>3)</sup>が提案されるなど、工夫が必要となっている。本報告は、魚類を用いた雨天時道路排水の生態毒性評価のための評価手法について検討を行い、結果を藻類やミジンコによるものと比較したものである。

2. 研究の方法

実態調査と再現実験を実施することにより検討を行った。実態調査は、2021 年 9 月 17 日に観測された降雨について国道一号線（一般道路）と名神高速道路（高速道路）で同時に実施した。いずれも雨天時道路排水を 30 分間隔で採取し、降雨ごとに流出水量比例でコンポジットしたものについて、水質を測定するとともに生態毒性試験<sup>1)</sup>として淡水藻類（ムレミカヅキモ）による生長阻害試験と甲殻類（ニセネコゼミジンコ）による繁殖試験、胚・仔魚期の魚類（ゼブラフィッシュ）による短期毒性試験をそれぞれ行った。生態毒性試験では、それぞれ無害な希釈水を用いて試料を 0～80% の 6 濃度区（公比 2）に希釈した試料に投入したムレミカヅキモの生長速度やミジンコの産仔数、ゼブラフィッシュのふ化数、同生存個体数などを観察し、NOEC（最大無影響濃度）および EC50（半数影響濃度）を算定した。水質の測定項目は、SS、金属元素（15 元素）、US.EPA の奨励する PAHs16 物質およびその塩素化物質である ClPAHs6 物質（9-chlorofluorene, 9-chlorophenanthrene, 2-chloroanthracene, 3-chlorofluoranthene, 1-chloropyrene, 6-chlorobenzo[a]pyrene）などである。再現実験では、冬季において自動車交通由来の PAHs が融雪剤（NaCl）と触媒（Cu, Zn）を介した光変換（UV 照射）により塩素化して顕著な毒性を発現することを想定し、作成した模擬道路排水を試料として、実態調査の場合と同様に 3 種の水生生物を用いた生態毒性試験を行った。模擬道路排水の水質等諸条件は実態調査試料の測定水質等をもとに設定した。ここで、PAHs の添加に際しては、DMF（0.1%）を助剤として使用している。また、UV 照射については、波長を 282nm（ウシオ電機エキシマランプ）とし、照射時間は気象庁による照射熱量の観測

表 1 試験結果の概要

| 試験タイプ |        | 100%濃度区水質(mg/L) |      |      |        | 藻類           |         | ミジンコ         |                 | 魚類(生存率)      |         |
|-------|--------|-----------------|------|------|--------|--------------|---------|--------------|-----------------|--------------|---------|
|       |        | NaCl            | Cu   | Zn   | PAHs   | NOEC*<br>(%) | EC50(%) | NOEC*<br>(%) | EC50(%)         | NOEC*<br>(%) | EC50(%) |
| 実態調査  | 一般道路   | 3.3             | 0.09 | 0.18 | 0.0002 | 20           | 61.7    | 20           | 23.7            | 80           | 3298.8  |
|       | 高速道路   | 16              | 0.03 | 0.11 | 0.0002 | 40           | 73.2    | 80           | 10 <sup>b</sup> | 80           | —       |
| 再現実験  | UV照射なし | 60              | 0.05 | 0.20 | 0.0010 | 5            | 17.9    | 20           | 33.0            | 20           | 49.4    |
|       | UV照射あり | 60              | 0.05 | 0.20 | 0.0010 | 10           | 17.3    | 5            | 12.1            | 20           | 39.6    |

\*有意水準5%, NaはすべてNaCl由来として換算

キーワード 道路排水, 微量有害物質, 複合影響, 生態毒性, バイオアッセイ, ゼブラフィッシュ  
連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1  
立命館大学理工学部 TEL077-561-2804

結果にもとづいて決定した。

### 3. 結果と考察

実態調査と再現実験について結果の概要を表 1 に示す。魚類のエンドポイントとしてしばしば生存率が用いられるが、藻類やミジンコに比べて感受性が低いため、再現実験試料に比べて水質濃度が低かった実態調査試料では、魚類（生存率）について有意な毒性が現れなかった（一般道路、高速道路とも NOEC80%）。魚類における生存率とふ化速度（1 日あたりのふ化数）を図 1 に示す。ふ化速度でみると実態調査試料についても一部でふ化の遅延効果が現れているため、生存率とふ化速度の積として生存-ふ化速度（生存し得る 1 日あたりのふ化数）を考え、算定した結果を併せて図 1 に示した。生存-ふ化速度とすることによって生存影響とふ化の遅延効果が相まって、実態調査における一般道路では試料濃度に応じた毒性影響が確認できるようになった。藻類、ミジンコおよび魚類における各エンドポイントの阻害曲線を比較したものが図 2 である。実態調査における高速道路試料は毒性が低く、藻類以外では生態毒性が確認できない。他方、実態調査における一般道路試料や再現実験試料（UV なし、UV あり）については、それぞれ試料の生態毒性に応じた阻害曲線が得られているが、いずれにおいても魚類における生存-ふ化速度が生存率に比べて顕著な毒性影響を表せて（阻害曲線が左上側に位置して）いる。藻類やミジンコにおける結果をみると、実態調査試料では高速道路に比べて一般道路の毒性が高く、また再現実験試料では UV なしに比べて UV ありの方が高い毒性を示している。魚類においては、生存率としてよりも生存-ふ化速度としてみることで、同様の毒性傾向が明瞭にみてとれるようになっている。比較的高い生態毒性を示した再現実験試料について、それぞれのエンドポイントにおける EC50 を比較したものが図 3 である。魚類におけるエンドポイントを生存率から生存-ふ化速度とすることで EC50 が小さくなり、藻類やミジンコに近い感受性でもって毒性評価が行い得ることがわかる。

生存-ふ化速度の考え方を導入することにより、微量有害物質を含む試料について魚類を用いた生態毒性評価を行うことができた。さらに検討を加えて、雨天時道路排水の生態毒性を明らかにしていきたい。

参考文献 1) 生物応答を用いた排水試験法(検討案),2014.3. 2) たとえば, 三輪, 市木他: 第 76 回土木学会年講, 2021.9. 3) 北村他: 土木学会論文集 G(環境), 76(7), 2020.

### 4. まとめ

生存-ふ化速度の考え方を導入することにより、微量有害物質を含む試料について魚類を用いた生態毒性評価を行うことができた。さらに検討を加えて、雨天時道路排水の生態毒性を明らかにしていきたい。

参考文献 1) 生物応答を用いた排水試験法(検討案),2014.3. 2) たとえば, 三輪, 市木他: 第 76 回土木学会年講, 2021.9. 3) 北村他: 土木学会論文集 G(環境), 76(7), 2020.

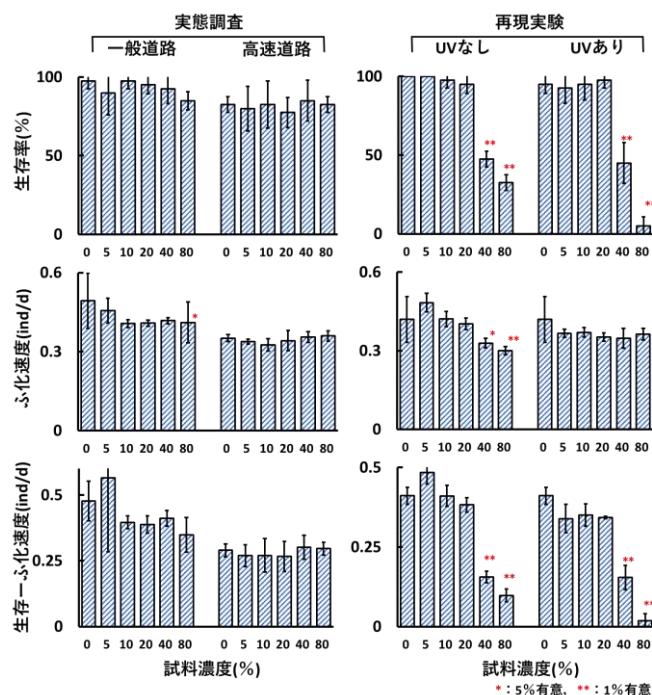


図 1 生存率と生存-ふ化速度の比較

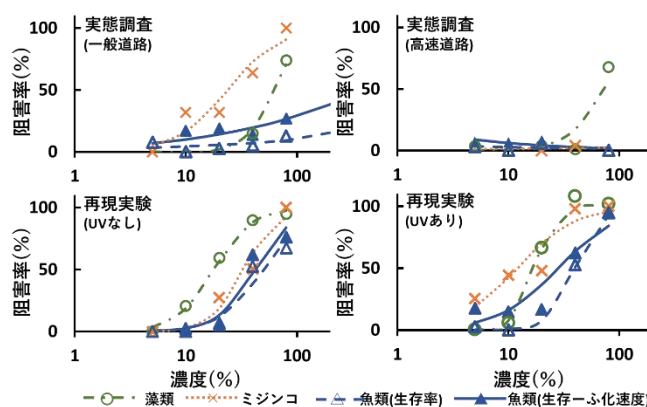


図 2 水生生物 3 種の阻害曲線の比較

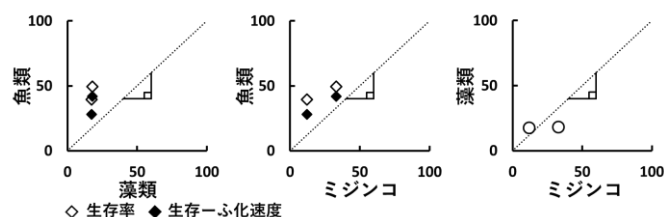


図 3 再現実験における EC50 の比較