

PAHsの光変換に着目した高速道路塵埃の生態毒性に関する実態調査と再現実験

立命館大学大学院 学生会員 ○西尾 結衣
立命館大学理工学部 正会員 市木 敦之

1. はじめに 高速道路は都市域ノンポイント汚染の中でも汚濁ポテンシャルが高いと考えられ、路面上に堆積する道路塵埃が処理されないまま雨天時に受水域へと流出することによる生態影響が懸念されている。道路塵埃中の有害物質としては、排気ガスやタイヤ摩耗片に含まれるPAHs(多環芳香族炭化水素類)や、車体や路面塗料に含まれる重金属などがある。これらの有害物質は、微量ながらも難分解性で環境中に残留し、その一部は生態毒性の高い物質へ代謝していることが指摘されている¹⁾。筆者らは、予てよりセスジユスリカを指標種に用いた道路塵埃の生態毒性試験を実施して、冬季に回収された道路塵埃がユスリカの羽化や産卵に顕著な毒性を示すことを指摘するとともに、冬季路面に散布された融雪剤(NaCl)とPAHsの複合影響(CIPAHs(塩素化多環芳香族炭化水素類)などのPAHs代謝物質による生態毒性の顕在化)を想定した検討を行ってきた²⁾。本報告は、PAHsがNaClと触媒(Cu、Zn)の存在下で光変換を行い、生じたPAHs代謝物質が生態毒性を顕在化させることを実証的に確認することを意図した再現実験と実態調査を行ったものである。

2. 研究の方法 冬季道路塵埃の高い生態毒性を無害な人工底質から再現することを目的とした再現実験と、冬季道路と同様にNaCl含有率が高いと予想される日本海沿岸部における道路塵埃の実態調査を行った。再現実験では、無害な人工底質にPAHsと融雪剤(NaCl)を加えた後、紫外線を照射して作成した模擬冬季道路塵埃を対象とした毒性試験(以下添加試験1)を行い、さらに光変換の際に触媒になるとされる重金属(Cu、Zn)を添加した模擬冬季道路塵埃を対象とした毒性試験(以下添加試験2)を実施した。添加試験2では、重金属(Cu、Zn)単体の毒性把握を目的とした重金属のみの添加底質による毒性試験も併せて行った。融雪剤の添加量については冬季道路塵埃中のNa含有率から、PAHsと重金属の添加量については冬季・冬季以外に関わらず道路塵埃中の含有率から、いずれも実測結果¹⁾をもとに決定した。また、紫外線について、波長は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結果を参考に決定した。道路塵埃の実態調査では、北陸自動車道の加賀I.C.～小矢部I.C.間においてNEXCO中日本の路面清掃車両によって回収された塵埃の一部について、毒性試験(以下塵埃試験)を実施した。ここでは、降雨等による水理学的な影響を受けにくいと考えられる粒径500μm以上の粒子を除外した上で、粒径によりfin(粒径75μm以下)、mid(同75-250μm)、coa(同250-500μm)の3粒径に分画した道路塵埃を使用した。添加試験1、2および塵埃試験とも、試験底質について金属15元素、US.EPAの奨励するPAHs16物質およびCIPAHs6物質(9-chlorofluorene、9-chlorophenanthrene、2-chloroanthracene、3-chlorofluoranthene、1-chloropyrene、6-chlorobenzo[a]pyrene)の含有率を測定した。いずれも毒性試験については、ユスリカを用いて生態毒性を調べる手法として、OECDテストガイドラインNo.218³⁾(*”Sediment-Water Chironomid Toxicity Using Spiked Sediment”*)をもとにした羽化・産卵毒性試験²⁾を採用した。エンドポイントとしては、羽化率や産卵率、羽化日数などを測定したが、産卵率については結果のばらつきが大きかったことから、本報告の議論から外している。各試験の概要を表1～表3にそれぞれ示す。

3. 結果と考察 添加試験1、2および塵埃試験における羽化率と羽化日数の結果を図1に示す。添加試験1では、模擬冬季ⅠはCtrlと比べても羽化率に差がなく、羽化日数でも羽化の遅延がみられないため、模擬冬季Ⅰの条件では毒性が現れていない。添加試験2では、模擬冬季ⅡはCtrlと比べて羽化率が平均値で約5%低下している。平均羽化日数においても約3日の羽化遅延が発生していることが

表 1 添加試験 1 の概要

試料	人工底質	PAHs (ng/g)	NaCl (mg/g)	UV	触媒 (mg/g)
Ctrl	○	—	—	—	—
模擬冬季Ⅰ	○	1000	10.0	○	—

表 2 添加試験 2 の概要

試料	人工底質	PAHs (ng/g)	NaCl (mg/g)	UV	触媒 (mg/g)
Ctrl	○	—	—	—	—
模擬冬季Ⅱ	○	1000	25.4	○	Cu:0.10 Zn:0.10
重金属	○	—	—	—	Cu:0.10 Zn:0.10

表 3 塵埃試験の概要

試料	底質の種類	塵埃回収日
Ctrl	人工底質	—
塵埃Ⅰ	道路塵埃	2019/06/20 2019/07/20
塵埃Ⅱ	道路塵埃	2019/09/09

キーワード 道路塵埃、塩素化多環芳香族炭化水素類、生態毒性、バイオアッセイ、セスジユスリカ
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

ら、模擬冬季Ⅱの条件で毒性が発現していることがわかる。重金属(Cu、Zn)単体は、Ctrlと比べて羽化率に差はないが平均羽化日数が約6日遅延していることから、模擬冬季Ⅱの羽化遅延については重金属(Cu、Zn)によるものと推察される。塵埃試験では、試験に供した2試料(塵埃Ⅰ、塵埃Ⅱ)ともに、Ctrlに比べて羽化率の低下や羽化の遅延がみられず、ここでは毒性が認められない。試験試料のNa含有率が低かったことから、PAHsのCl化が充分生じていなかったものと推察される。添加試験1、2における模擬冬季Ⅰ、Ⅱについて、PAHsのNaClによるCl化がどの程度生じているかを比較するため、試験前底質中の親PAHsに対するCIPAHsの比を算定して図2に示す。CFLU/FLUを除くすべての項目で模擬冬季Ⅰより模擬冬季Ⅱの方が大きくなったことから、模擬冬季Ⅱの底質で添加した重金属(Cu、Zn)の触媒作用がPAHsのCl化に大きく寄与していることが分かる。今回の試験試料についての羽化率と羽化遅延日数を既報²⁾における試験試料のものと比較した結果を図3に示す。試験に供した道路塵埃は、NaClを含むことを想定した潮風による影響の有無を代表した内陸部(名神高速道路、京都東I.C.～八日市I.C.)と沿岸部(北陸自動車道、加賀I.C.～小矢部I.C.)の2種類とし、さらに、これらを融雪剤の散布されている期間(以下冬季塵埃、11月20日～翌3月31日)とそれ以外(以下冬季以外塵埃、4月1日～11月19日)に区分した。冬季道路塵埃を再現した底質は、冬季以外に回収された道路塵埃に融雪剤(NaCl)を添加した底質(以下模擬冬季(塵埃))と、今回実施した無害な人工底質にPAHsと融雪剤(NaCl)を添加し紫外線を照射した底質(以下模擬冬季(人工))の2種類(触媒となる重金属(Cu、Zn)の有無により模擬冬季Ⅰと模擬冬季Ⅱに区分)である。試験ごとにCtrlの値が変動するため、ここでは羽化率については各曝露区における羽化率のCtrlに対する比を、羽化遅延日数については各曝露区とCtrlにおける羽化日数の差を、それぞれ算出して示している。既報²⁾では冬季以外塵埃(内陸部)に比べて、冬季塵埃(内陸部)と模擬冬季(塵埃)で毒性が高い(羽化率が低く、羽化遅延日数が長い)のに対して、冬季以外塵埃(沿岸部)と模擬冬季(人工Ⅰ)ではこうした毒性が認められず、羽化率、羽化遅延日数ともに冬季以外塵埃(内陸部)と同程度となっている。しかし、さらにこれに触媒として重金属(Cu、Zn)を添加した模擬冬季(人工Ⅱ)では、羽化率の低下と羽化の遅延が顕著にみられ、冬季塵埃(内陸部)と同程度の高い毒性を再現できている。

4. まとめ NaClを含む潮風の影響を期待した道路塵埃(沿岸部)について生態毒性は認められなかったが、一方で、人工底質を用いて光変換によるPAHsのCl化を意図した模擬冬季塵埃については触媒となる重金属を添加することで、冬季に顕在化する毒性を再現することが出来た。

参考文献

- 市木、丸岡: 土木学会論文集G, 74(7), 2018.
- たとえば、市木、丸岡: 土木学会論文集G, 73(7), 2017.
- OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 218, 2004

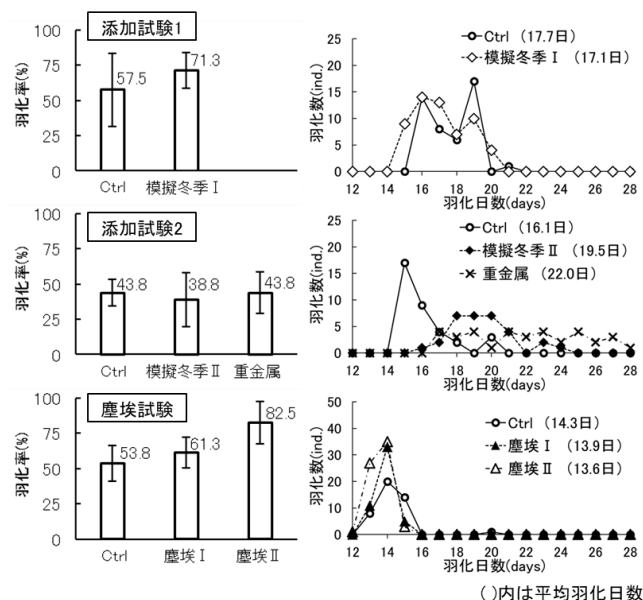


図1 生態毒性試験の結果

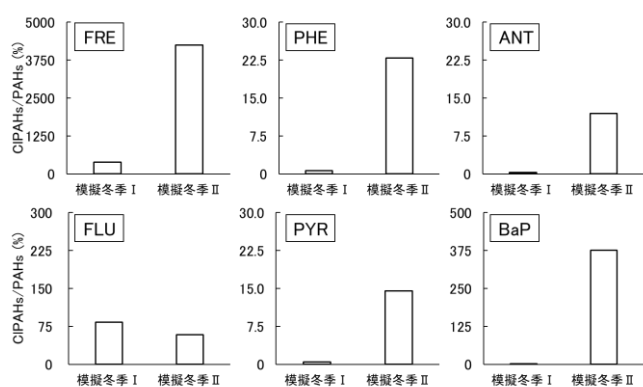


図2 模擬冬季Ⅰ、Ⅱにおける親PAHsに対するCIPAHsの比

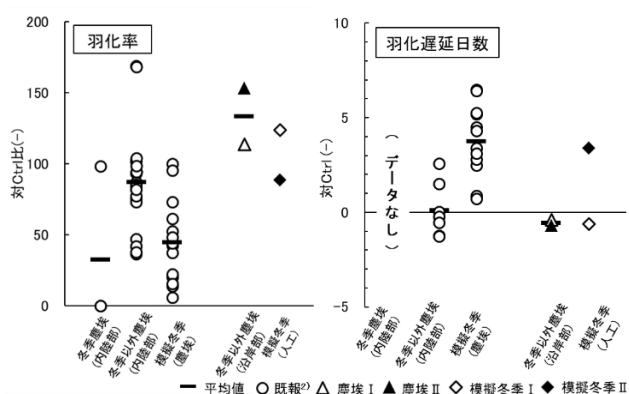


図3 試験条件の違いによる生態毒性の比較