

## 第VII部門

## 触媒(Cu,Zn)と融雪剤(NaCl)に着目した道路塵埃の生態毒性に関する実験研究

立命館大学大学院理工学研究科 学生員 ○樋口 真帆路

立命館大学大学院理工学研究科 学生員 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

道路塵埃には、排気ガスや車体、路面塗料などに由来する PAHs（多環芳香族炭化水素類）や重金属といった微量有害物質が含まれており、これらの一部は環境中で光変換により生態毒性がさらに高い物質へ代謝していることが予想されている<sup>1)</sup>。筆者らは、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 PAHs 代謝物質の生成）により、ユスリカの羽化率や産卵率を顕著に低下させることを指摘してきた<sup>2)</sup>。本報告は、道路から採取してきた塵埃や実験室で模擬的に作成した塵埃中の含有成分と生態毒性の関係について整理するとともに、PAHs と NaCl および光変換の際に触媒となる重金属（Cu, Zn）を用いた生態毒性の再現実験を行い、個々の物質による影響とそれらの複合影響について考察を行ったものである。

## 2. 研究の方法

道路塵埃の採取は2015年より名神高速道路で行われており、模擬塵埃は無害な人工底質に PAHs や NaCl, 重金属（Cu, Zn）を添加し、紫外線を照射するなどして作成したものである。再現実験としては、人工底質に PAHs と NaCl を加えた後、紫外線を照射して作成した模擬冬季塵埃を対象とした毒性試験（以下 Run.1）および重金属（Cu, Zn）を添加した模擬冬季塵埃と重金属（Cu, Zn）のみの毒性を比較する毒性試験（以下 Run.2）を行った後、重金属（Cu, Zn）の添加量をそれぞれ変化させて作成した模擬冬季塵埃やそれら添加量の重金属のみを対象とした毒性試験（以下 Run.3~5）を行った。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<sup>1)</sup>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。塵埃含有成分としては、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）を測定した。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.218<sup>3)</sup>（"Sediment-Water Chironomid Toxicity Using Spiked Sediment"）をもとにした羽化・産卵毒性試験<sup>2)</sup>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。生態毒性再現実験の概要を表1に示す。

## 3. 結果と考察

道路塵埃および模擬塵埃中の Na 含有率と CIPAHs6物質（ $\Sigma$ CIPAHs）含有率、生態毒性試験における羽化率の関係を図1に示す。Na 含有率が7.0mg/g 程度を境にして $\Sigma$ CIPAHs 含有率に有意差（P 値 $\leq$ 0.01）があり、道路塵埃中の NaCl が増加することによる PAHs の塩素化（ $\Sigma$ CIPAHs 含有率の増加）が見てとれる。同じく Na 含有率7.0mg/g 程度を境に羽化率も有意に

表1 生態毒性再現試験の概要

試験ID	試料	人工底質	PAHs (ng/g)	NaCl (mg/g)	UV	触媒 (mg/g)
Run.1	ctrl	○	—	—	—	—
	模擬冬季 I	○	1000	10.0	○	—
Run.2	ctrl	○	—	—	—	—
	模擬冬季 II	○	1000	25.4	○	Cu:0.10 Zn:0.10
	重金属 I	○	—	—	—	Cu:0.10 Zn:0.10
Run.3	ctrl	○	—	—	—	—
	模擬冬季 III	○	1000	25.4	○	Cu:0.10
	模擬冬季 IV	○	1000	25.4	○	Zn:0.10
	模擬冬季 V	○	1000	25.4	○	Cu:0.10 Zn:0.10
Run.4	ctrl	○	—	—	—	—
	模擬冬季 VI	○	1000	25.4	○	Zn:0.20
	重金属 II	○	—	—	—	Zn:0.20
Run.5	ctrl	○	—	—	—	—
	重金属 III	○	—	—	—	Cu:0.10
	重金属 IV	○	—	—	—	Cu:0.20
	重金属 V	○	—	—	—	Zn:0.10
	重金属 V	○	—	—	—	Zn:0.10

Mahoro HIGUCHI, Yui NISHIO and Atsushi ICHIKI

rv0071vx@ed.ritsumei.ac.jp

低下している (P 値 $\leq$ 0.01) ことから、 $\Sigma$ CIPAHs 含有率の増加により生態毒性が顕在化していることが示唆されている。生態毒性再現実験の結果のうち、Run.1~4における羽化率と羽化日数の推移を図2に示す。Run.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。Run.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から、PAHs と NaCl, 重金属 (Cu, Zn) の共存下で紫外線が照射されるような模擬冬季 II の条件では毒性が発現することがわかる。重金属 (Cu, Zn) だけでは、ctrl と比べて羽化率に差が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。Run.3では、羽化率について模擬冬季Vのみ ctrl 区と有意な差 (P $\leq$ 0.01) があり、羽化毒性には重金属 (Cu, Zn) の両方が寄与しているものと思われる。一方、平均羽化日数についてみると各模擬冬季区とも ctrl 区と有意な羽化遅延 (P $\leq$ 0.01) が見られた。重金属として Cu だけを添加した模擬冬季IIIの羽化遅延は小さいのに比べて、Zn を添加している模擬冬季 II, IV, Vや重金属 I ではいずれも顕著な羽化遅延が生じていることから、Zn の方がこうした羽化遅延に対する毒性影響が強いものと推察される。さらに Zn の毒性について検討するために行った Run.4では、模擬冬季VI, 重金属 II ともに全く羽化が認められなかった。幼虫の段階で死亡していることが観察されていることから、Zn 含有率を0.2mg/g 程度まで増加させると急性毒性に近い毒性が発現しているものと思われる。

4. まとめ

人工底質を用いた模擬道路塵埃を作成し、冬季に顕在化する道路塵埃の生態毒性について検討した結果、道路塵埃中の含有成分や含有率によって、羽化率の低下や羽化の遅延といった毒性の発現特性が異なることが明らかとなった。

参考文献 1) 市木, 丸岡: 土木学会論文集 G, 74 (7), 2018. 2) たとえば, 市木, 丸岡: 土木学会論文集 G, 73 (7), 2017. 3) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 218, 2004.

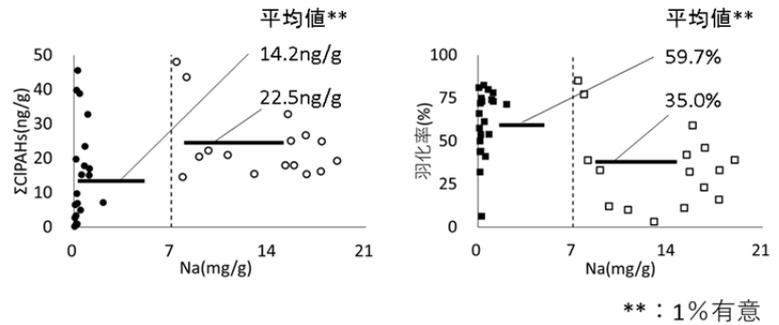


図1 Na 含有率と $\Sigma$ CIPAHs 含有率, 羽化率の関係

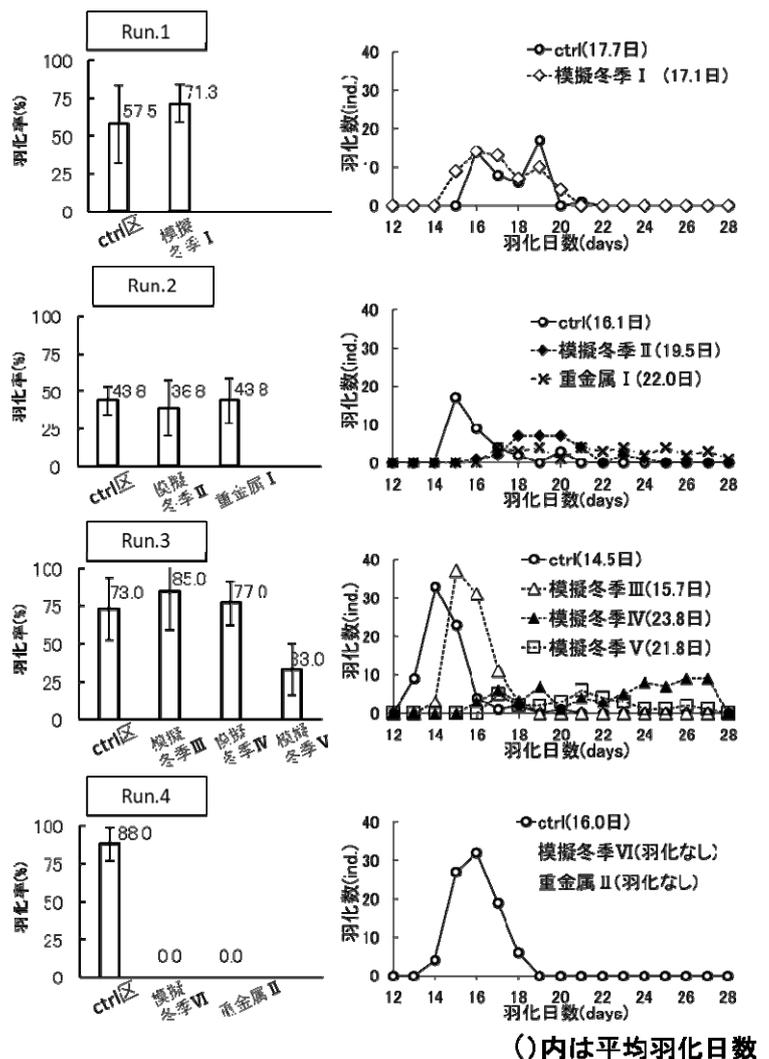


図2 生態毒性再現実験の結果