

第3章 調査研究・報告

第2節 資 料

平成31年度PM_{2.5}成分分析の結果について

吉田実希・山本真緒・北岡洋平・杉本恭利・伊吹幸代

The Results of PM_{2.5} Component Analysis of the 2019 Fiscal Year in Nara

YOSHIDA Miki・YAMAMOTO Mao・KITAOKA Yohei・SUGIMOTO Kiyotoshi and IBUKI Sachiyo

緒言

微小粒子状物質 (PM_{2.5}) の成分分析常時監視について、当県においては平成25年度から開始している。今回は、平成31年度実施のPM_{2.5}成分分析結果をまとめたので報告する。

方法

1. 測定地点および期間

調査地点は天理局と桜井局 (共に一般局) であった。調査期間は、環境省が指定するコア期間を含む春期 (5/8～)、夏期 (7/22～)、秋期 (10/21～)、冬期 (1/20～) の各季節14日間、合計56日間であった。

2. 測定対象成分および方法

測定成分は、質量濃度、イオン成分、炭素成分、無機元素成分である。詳細成分については、表1の成分とする。また、測定は大気中微小粒子状物質(PM_{2.5}) 成分測

定マニュアルに準じた方法で行った。

なお、天理局における夏季のAl, Cr, Co, Niについては、測定機器の整備不良による測定値異常のため欠測とした。

結果

図1に常時監視期間中の成分積み上げグラフを、図2には各局における成分別箱ひげ図を示した。また、表1に天理局における季節別の測定成分の平均、最大値を示した。質量濃度の平均は天理局で12.8 μg/m³、桜井局で12.4 μg/m³であった。2局で質量濃度が日平均値環境基準35 μg/m³を超過したのは、8/1のみであった。当日は、SO₄²⁻の上昇がみられたが、天候が良く、風も比較的穏やかであったため、汚染物質の滞留及び2次生成反応が起こりやすい状況であったと考えられる。

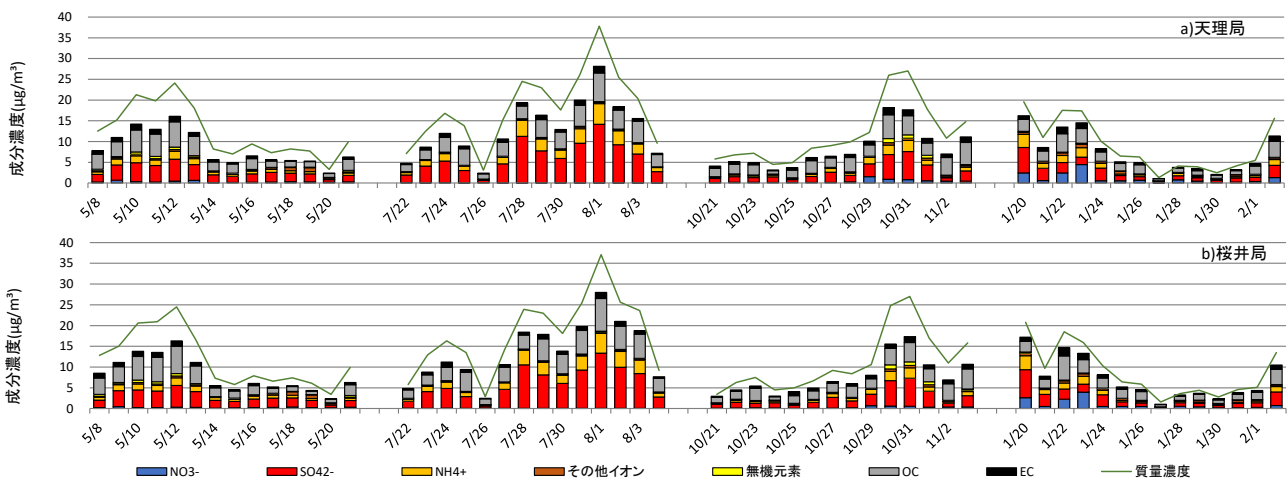


図1 常時監視期間中の成分積み上げグラフ

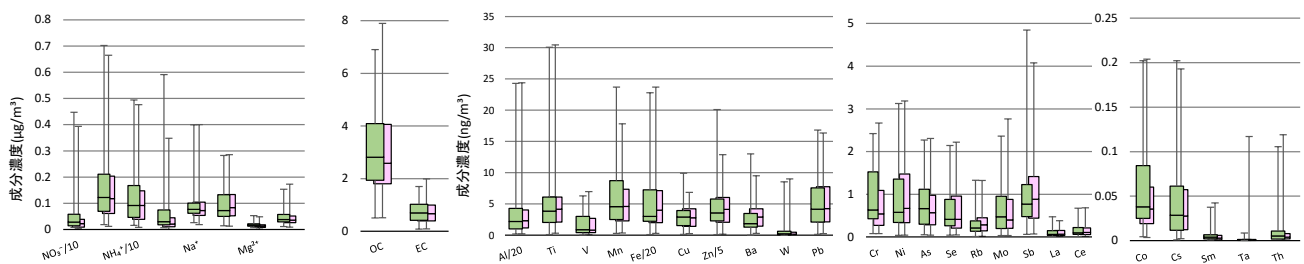


図2 各局における成分別箱ひげ図【天理局 (手前/緑), 桜井局 (奥/桃)】

表 1 季節別及び年平均値の各成分の平均値と最大値 (天理局)

	春		夏		秋		冬		年平均	
	AVG	MAX	AVG	MAX	AVG	MAX	AVG	MAX	AVG	MAX
質量濃度 (µg/m³)	12.3	24.1	18.1	37.8	11.8	27.0	9.0	19.6	12.8	37.8
NO ₃ ⁻ (µg/m³)	0.32	0.67	0.074	0.13	0.45	1.6	1.1	4.5	0.48	4.5
SO ₄ ²⁻ (µg/m³)	2.6	5.3	6.2	14	2.4	6.8	1.9	6.2	3.3	14
NH ₄ ⁺ (µg/m³)	0.92	2.0	2.2	5.0	0.89	2.7	0.97	3.2	1.2	5.0
Cl ⁻ (µg/m³)	0.082	0.40	0.016	0.054	0.026	0.059	0.14	0.59	0.066	0.59
Na ⁺ (µg/m³)	0.13	0.40	0.065	0.097	0.080	0.14	0.091	0.18	0.090	0.40
K ⁺ (µg/m³)	0.082	0.17	0.092	0.26	0.098	0.24	0.11	0.28	0.094	0.28
Mg ²⁺ (µg/m³)	0.019	0.049	0.013	0.026	0.016	0.041	0.011	0.032	0.015	0.049
Ca ²⁺ (µg/m³)	0.067	0.15	0.041	0.074	0.049	0.14	0.029	0.053	0.047	0.15
Al (ng/m³)	130	270	-	-	110	490	29	77	66	490
Sc (ng/m³)	0.023	0.053	0.011	0.029	0.024	0.095	0.0085	0.0085	0.017	0.095
Ti (ng/m³)	9.3	18	3.7	8.4	7.4	30	3.1	6.1	5.9	30
V (ng/m³)	2.0	5.7	3.5	6.3	1.6	5.2	0.34	0.85	1.8	6.3
Cr (ng/m³)	0.97	2.4	-	-	1.0	2.4	0.83	2.3	0.70	2.4
Mn (ng/m³)	6.4	15	4.4	8.7	7.4	18	6.0	24	6.0	24
Fe (ng/m³)	130	280	83	150	130	460	68	170	100	460
Co (ng/m³)	0.057	0.11	-	-	0.061	0.20	0.059	0.19	0.044	0.20
Ni (ng/m³)	1.1	2.7	-	-	1.1	3.1	0.57	1.4	0.70	3.1
Cu (ng/m³)	2.4	5.1	3.4	9.0	3.0	6.7	3.6	10	3.1	10
Zn (ng/m³)	20	44	18	30	25	59	25	100	22	100
As (ng/m³)	0.58	1.4	0.70	1.2	0.98	2.3	0.72	1.7	0.75	2.3
Se (ng/m³)	0.60	1.6	0.70	1.7	0.67	2.1	0.59	1.9	0.64	2.1
Rb (ng/m³)	0.35	0.74	0.20	0.37	0.41	1.3	0.27	0.59	0.31	1.3
Mo (ng/m³)	0.58	1.8	0.94	2.4	0.61	1.9	0.48	1.1	0.65	2.4
Sb (ng/m³)	1.0	4.8	0.70	1.6	1.4	3.4	0.84	1.9	0.99	4.8
Cs (ng/m³)	0.042	0.11	0.040	0.14	0.057	0.20	0.039	0.11	0.044	0.20
Ba (ng/m³)	2.3	4.8	3.7	13	2.4	6.1	2.6	12	2.8	13
La (ng/m³)	0.16	0.47	0.11	0.22	0.11	0.37	0.062	0.16	0.11	0.47
Ce (ng/m³)	0.21	0.44	0.14	0.34	0.20	0.67	0.10	0.34	0.16	0.67
Sm (ng/m³)	0.011	0.024	0.0028	0.0063	0.0084	0.038	0.0048	0.0089	0.0069	0.038
Hf (ng/m³)	0.012	0.026	0.0064	0.012	0.012	0.037	0.0054	0.011	0.0089	0.037
Ta (ng/m³)	0.0030	0.0088	0.00064	0.0016	0.0019	0.0074	0.00061	0.0036	0.0015	0.0088
W (ng/m³)	0.81	5.0	0.77	7.6	0.80	2.3	1.9	8.6	1.1	8.6
Pb (ng/m³)	4.1	8.6	3.0	5.5	8.1	17	6.8	16	5.5	17
Th (ng/m³)	0.021	0.046	0.0039	0.0090	0.023	0.11	0.0060	0.015	0.013	0.11
OC (µg/m³)	3.1	6.1	3.7	6.9	3.1	5.8	2.1	4.4	3.0	6.9
EC (µg/m³)	0.69	1.4	0.77	1.6	0.84	1.7	0.68	1.6	0.74	1.7
OC1 (µg/m³)	0.19	0.48	0.16	0.44	0.14	0.23	0.17	0.33	0.16	0.48
OC2 (µg/m³)	1.0	2.1	1.3	2.4	1.0	1.8	0.69	1.4	1.0	2.4
OC3 (µg/m³)	0.81	1.4	0.71	1.0	0.95	1.9	0.55	1.2	0.76	1.9
OC4 (µg/m³)	0.25	0.38	0.47	0.91	0.51	1.0	0.35	0.90	0.39	1.0
OCpyro (µg/m³)	0.81	1.8	1.1	2.2	0.53	1.1	0.35	0.86	0.70	2.2
EC1 (µg/m³)	1.3	2.8	1.5	3.1	0.99	2.1	0.79	1.9	1.1	3.1
EC2 (µg/m³)	0.23	0.31	0.39	0.68	0.32	0.56	0.22	0.30	0.29	0.68
EC3 (µg/m³)	0.012	0.017	0.011	0.071	0.050	0.18	0.019	0.10	0.023	0.18

金属成分のNa,K,Caはイオン成分Na⁺,K⁺,Ca²⁺の値を代表として記載する。
OC1~OC4, EC1~EC3は炭素フラクション, OcpyroはOCの光学補正值であり, OC, ECの測定値算出に用いた。

2局間において、各成分は概ね同様の動きを見せたが、10/25においては桜井局のTaが天理局の約230倍高い濃度となっていた。この日は他にも、Hf, Sc, Alが天理局と比べて約5~9倍の濃度差が見られた。濃度差があった4成分の天理局および桜井局の測定値を表2に示す。今後も同様の現象が観測される場合、原因究明をしていく必要があると考える。

表 2 10/25の4成分の測定値

	天理局 測定値(A) (ng/m³)	桜井局 測定値(B) (ng/m³)	(B)/(A)
Ta	0.0005	0.117	234
Hf	<0.01	0.084	8.4
Sc	<0.017	0.081	4.8
Al	12	103	8.9

奈良県における大気粉じん中六価クロムの実態調査(工業地域)

杉本恭利・北岡洋平・吉田実希・山本真緒・伊吹幸代

Monitoring of Hexavalent Chromium in Atmospheric Dust in Nara Prefecture (Industrial Area)

SUGIMOTO Kiyotoshi・KITAOKA Yohei・YOSHIDA Miki・YAMAMOTO Mao and IBUKI Sachiyo

緒言

クロム化合物には環境中に存在し得るイオン種として、三価と六価のクロム化合物が知られている。三価クロム化合物は人の代謝に関係するなど必須元素であるが、六価クロム化合物は発がん性を有する有害な物質である。したがって、大気中の物質の有害性を評価する上では、クロム化合物の中でも六価クロム化合物の存在量を把握することがより重要である。令和元年度は、測定法の検討及び桜井局における実態調査¹⁾を行ったところである。令和2年度は、奈良盆地内での濃度差の有無を確認するため、桜井局とともに他地点(郡山：工業地域)にて実態調査を行った。

方法

1. 実態調査

桜井局(奈良県保健研究センター屋上)及び郡山局(大和郡山市昭和浄水場内)において Cr⁶⁺ 及び T-Cr を捕集測定し、その濃度域の確認を行った。Cr⁶⁺ については、トラベルブランク(TBL)も同時に測定し(n=5)、ブランク値・定量下限値の確認を行った。12月の採取日には、桜井局・郡山局に加えて天理局・橿原局においても捕集測定を行った。

Cr⁶⁺ の捕集は前報¹⁾ に準じて作成したアルカリ含浸ろ紙をオープン型フィルタホルダに装着し、ムラタ計測器サービス株式会社製ポータブルDC サンプラ MCAS-DC を用いて 5 L/min で 24時間吸引して行った。測定は環境省のマニュアル²⁾ に従い、捕集したろ紙を純水10mlで30分間超音波抽出した後、ディスクフィルタでろ過し得られた検液をIC-ICP/MS に導入して行った。

T-Crの捕集は、石英繊維フィルタ(PALL 社製 250 0QAT-UP) をハイボリュウムサンプラー(紀本電子工業(株))に装着し約 1000 L/min で 24 時間吸引

して行った。その際、浮遊じん濃度(TSP)の測定も行った。測定は、捕集した石英繊維フィルタを酸分解し得られた検液をICP/MSに導入して行った²⁾。捕集時の気温は気象庁のデータ(奈良地方气象台)より、浮遊粒子状物質(SPM)は奈良県大気環境常時監視システムのデータより、捕集時間に合わせ平均を算出し求めた。

2. 捕集時の温度の影響

捕集時の温度による Cr⁶⁺ 濃度への影響を確認するため、冷凍保存してあったアルカリ含浸ろ紙を密封した状態で、23°Cの室内及び40°Cに調整した乾燥機に24時間暴露し、濃度及び定量下限値の確認を行った(n=5)。

結果

1. 実態調査

桜井局の結果を表1に、郡山局の結果を表2に示した。Cr⁶⁺ の平均値は、桜井局 0.03 ng/m³、郡山局 0.05 ng/m³、濃度範囲は、桜井局が 0.01~0.05 ng/m³、郡山局が 0.02~0.09 ng/m³であった。Cr⁶⁺/T-Cr 比の平均は、桜井局が 1.3%、郡山局が 1.4%であり、有意差は認められなかった。また、12月の4地点での Cr⁶⁺ の結果(表3)もほぼ同じ値であり、奈良盆地内での地点による差は認められなかった。

2. 捕集時の温度の影響

アルカリ含浸ろ紙の Cr⁶⁺ ブランク値の温度による影響を見るために暴露試験を行った(表4)。23°Cで暴露したものは、未暴露に対し極僅かな増加(~0.01 ng/m³)に留まったが、40°Cで暴露したものは、明らかに値が大きくなっており(~0.03 ng/m³)、改めて温度による影響が確認された。このことから、アルカリ含浸ろ紙の作成時、捕集時、運搬時、保管時の温度管理には十分な配慮が必要であることが確認された。

まとめ

桜井及び郡山の2地点においてCr⁶⁺濃度の実態調査を行った。2地点間で濃度及びCr⁶⁺/T-Cr比に有意差が認められなかったことから、奈良盆地内においては地点が異なっても大きな濃度差は無いことが推測された。

Cr⁶⁺濃度を測定する際、気温が測定値に影響を与えることが確認できた。試験実施時の温度管理には十分注意が必要である事がわかった。

参考文献

- 1) 杉本恭利, 吉田実希, 山本真緒, 他: 奈良県景観・環境総合センター研究報告, 7, 27-30(2019)
- 2) 環境省: 有害大気汚染物質等測定方法マニュアル、(平成31年3月改訂)

表1 桜井局測定結果

採取日	Cr ⁶⁺ ng/m ³	T-Cr ng/m ³	Cr ⁶⁺ /T-Cr %	TSP μg/m ³	SPM μg/m ³	Cr ⁶⁺ TBL ng/m ³	Cr ⁶⁺ 定量下限 ng/m ³	気温 °C
2020.6.4	0.04	4.7	0.9	51	32	0.018	0.044	25.0
2020.7.1	0.05	2.3	2.4	24	13	0.024	0.056	24.7
2020.8.6	0.03	4.9	0.6	36	24	0.022	0.021	29.3
2020.9.8	0.04	2.4	1.6	21	12	0.015	0.015	27.2
2020.10.1	0.03	1.7	1.6	15	8	0.012	0.014	19.9
2020.11.5	0.05	2.3	2.2	50	12	0.007	0.016	11.6
2020.12.3	0.05	3.5	1.5	9	7	0.008	0.014	9.0
2021.1.7	0.01	3.4	0.4	18	5	0.014	0.028	0.2
2021.2.3	0.02	3.2	0.5	29	13	0.011	0.022	3.6
2021.3.4	0.03	1.7	1.5	18	6	0.011	0.029	11.9
最大	0.05	4.9	2.4	51	32	0.024	0.056	29.3
最小	0.01	1.7	0.4	9	5	0.007	0.014	0.2
平均	0.03	3.0	1.3	27	13	0.014	0.026	16.2

注) 斜体字は定量下限値未満

表2 郡山局測定結果

採取日	Cr ⁶⁺ ng/m ³	T-Cr ng/m ³	Cr ⁶⁺ /T-Cr %	TSP μg/m ³	SPM μg/m ³	Cr ⁶⁺ TBL ng/m ³	Cr ⁶⁺ 定量下限 ng/m ³	気温 °C
2020.6.4	0.05	5.2	1.0	46	—	0.018	0.044	25.2
2020.7.1	0.04	3.3	1.2	30	—	0.024	0.056	24.6
2020.8.6	0.05	5.5	0.9	28	—	0.022	0.021	29.3
2020.9.8	0.09	2.4	3.7	35	—	0.015	0.015	27.1
2020.10.1	0.04	2.9	1.2	21	—	0.012	0.014	19.9
2020.11.5	0.09	5.1	1.8	63	—	0.007	0.016	11.7
2020.12.3	0.04	5.1	0.8	16	—	0.008	0.014	9.1
2021.1.7	0.02	3.4	0.6	25	—	0.014	0.028	0.2
2021.2.3	0.04	5.2	0.8	40	—	0.011	0.022	3.7
2021.3.4	0.02	1.5	1.6	17	—	0.011	0.029	11.9
最大	0.09	5.5	3.7	63	—	0.024	0.056	29.3
最小	0.02	1.5	0.6	16	—	0.007	0.014	0.2
平均	0.05	4.0	1.4	32	—	0.014	0.026	16.3

注) 斜体字は定量下限値未満

表3 2020年12月の測定結果

採取地点	Cr ⁶⁺ ng/m ³	T-Cr ng/m ³	Cr ⁶⁺ /T-Cr %	TSP μg/m ³	SPM μg/m ³	気温 °C
天理	0.05	1.9	2.5	6	7	9.0
郡山	0.04	5.1	0.8	16	—	9.1
橿原	0.04	6.9	0.6	15	7	9.1
桜井	0.05	3.5	1.4	9	7	9.0

表4 アルカリ含浸ろ紙の暴露試験結果

	(ng/m ³)		
	ばく露なし	23°C,24h	40°C,24h
1回目 (n=5)	ブランク値	0.012	0.014
	定量下限値	0.027	0.029
2回目 (n=5)	ブランク値	0.011	0.018
	定量下限値	0.021	0.023

実験室内におけるジクロロメタン汚染の発生源特定について

山本真緒・浦西克維・浦西洋輔・長尾舞・城山二郎・伊吹幸代

Identifying the Source of Dichloromethane Contamination in the Laboratory

YAMAMOTO Mao・URANISHI Katsushige・URANISHI Yosuke・NAGAO Mai・
SHIROYAMA Jirou and IBUKI Sachiyo

緒言

微量な測定を行う分析業務において、測定に用いるブランク値の低減は非常に重要であり、実験室環境は、汚染（コンタミネーション）防止のため、常に清浄な状態を保つ必要があり、実験者はそのように努める事が指摘されている¹⁻³⁾。

今回、VOC（揮発性有機化合物）測定時の水ブランク試料（以下、水試料）から、微量のジクロロメタン（以下、DCM）を検出した。この汚染原因を解明するため、ヘッドスペース-GC/MSによる水試料の汚染箇所特定調査、キャニスターを用いた室内空気汚染調査を実施した。さらに、汚染防止対策を講じた結果について報告する。

方法

1. 実験環境フロア図

Fig1. に DCM 汚染が発生した実験室のフロアマップを示す。A 室に VOC 測定用ヘッドスペース-GC/MS（島津製作所(株)製 GCMS-QP2010Plus, パーキンエルマー製 Turbo Matrix HS40）と超純水製造装置 A（小松電子(株)製うるぴゅあ）、B 室に純水製造装置 B（メルク製 Milli-Q SP TOC）、C 室に有機溶媒用ドラフトが設置され、DCM を用いた抽出操作は C 室でおこなわれる。また、日中は各実験室は陽圧となるよう空調管理され、C 室で DCM を使用していても廊下を隔てた A, B 室には DCM が流入しにくい構造となっている。

2. 水試料の汚染箇所特定調査

水試料の DCM 汚染範囲を特定するため、実験室 A, B で精製している超純水等（W-A: A 室の超純水, W-B: B 室の純水, W-N: 実験室由来の汚染を受けていない市販の天然水（操作ブランク相当））中の VOC を、上水試験法⁴⁾に基づき A 室のヘッドスペース-GC/MS で測定した。

3. 室内空気汚染調査

汚染源を特定するため、室内空気中の DCM 測定を実施した。採取容器は、エンテック製 6 L キャニスターを減圧処理し、パッシブサンプラーを取り付け用いた。Fig. の◎(室内 3ヶ所, 屋外 1ヶ所) に設置し、設置面から 50 cm の高さで、1 日もしくは昼夜別で試料採取した。別フロアにある容器採取-GC/MS（エンテック製 7200, アジレント製 5977B）にて測定し、方法は有害大気汚染物質測定マニュアル⁵⁾に従った。

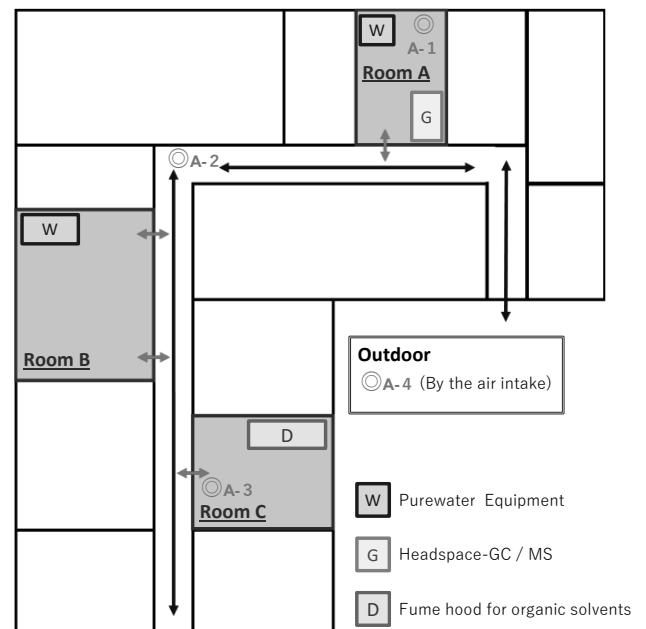


Fig1. The sketch map of the laboratory and locations of instruments and air sampling.

結果と考察

1. 汚染範囲の推定

Table1 に水試料 (W-A, B, N), 室内空気 (A-1~3), 屋外空気 (A-4) から検出した DCM 濃度を時系列順で示す。

W-B から 0.20 µg/L の DCM が検出したことから汚染が発覚し, 当初, 純水製造装置設置の B 室, GC/MS 設置の A 室, または GC/MS 本体の DCM 汚染可能性が疑われた。汚染除去対策として, A, B 室および廊下の換気, 純水製造装置 B 内の水の抜き取り作業を実施した。また, 念のため B 室から近い C 室のドラフト作業台の清掃も実施した。

上記対策後, 追加調査①を実施した。水試料の調査結果から, A 室の GC/MS 本体および W-A は DCM 汚染していないことが確認されたが, W-B の DCM 汚染は改善がみられなかった。空気試料の調査結果から, 屋外に対して屋内 (A 室, 廊下) の DCM 濃度が高く (35~40 µg/m³), 屋内に汚染源があると推察された。B 室の再換気後の(週明け)追加調査②では, W-B の DCM 濃度はさらに上昇し, 汚染が進行していた。

2. 汚染発生源の特定

週末の W-B 汚染進行の要因特定のため, 各部屋の換気後, 追加調査③を実施した。A 室, 廊下の DCM 濃度は前回と同程度であったが, C 室から大気環境基準 150 µg/m³ を超える DCM を検出した。

追加調査④では, C 室の空気を昼夜別で採取した。結果, 昼間の DCM 濃度は一般環境濃度水準であったが, 夜間は昼間の 300 倍に濃度上昇していた。調査当時, 日中を除く夜間, 休日はドラフトが停止しており, ドラフト稼働時間外に C 室に残存した DCM 気塊の廊下経路による B 室への拡散移流が考えられた。また, C 室のドラフト作業台上に, DCM 汚染ガラス器具等が一時保管され, DCM 廃液瓶の蓋には緩みも確認された。過去の報告で, 平川と

小竹⁶⁾は, クロロホルムの不適切作業における揮散状況について, ドラフト外, 開放系の廃液瓶の放置によるクロロホルム汚染は, 開口部の面積が小さいものの揮散を確認したとしている。また, DCM は揮発性で, 水への溶解度は 13 g/L (20°C)⁷⁾ と非常に高い。上記, 諸条件が重なり, W-B に DCM 汚染したと考えられた。

その後, 廃液瓶の撤去, 実験台拭き取り作業, 換気等を講じ, 追加調査⑤を実施した。C 室の室内空気は正常値になり, W-A および W-B については検出下限値未満であることを確認した。本事例から, DCM 使用後は, 残存溶媒の完全除去にドラフトの終日稼働が必要である。

参考文献

- 1) 高田芳矩, 小熊幸一, 平野義博, 他: 環境測定と分析機器, 37-38 (2010)
- 2) 日本環境測定分析協会編: 分析実務者のための新明解環境分析技術手法改訂新版, 72 (2009)
- 3) 平井昭司, 日本分析化学会編: 現場で役立つ化学分析の基礎, 63-83 (2015)
- 4) 上水試験方法 (2001)
- 5) 環境省水・大気環境局大気環境課; 有害大気汚染物質測定方法マニュアル(2019)
<http://www.env.go.jp/air/osen/manual2/>
- 6) 平川拓洋, 小竹玉緒: クロロホルムおよび重金属類を用いた不適切作業の化学分析値への影響に関する事例調査, 環境と安全, 7, 187-194 (2016)
- 7) 中西準子, 井上和也; 詳細リスク評価書シリーズ 4 ジクロロメタン (塩化メチレン), 8 (2008)

Table1 Time series data of DCM concentrations in the water and indoor air samples.

Time series →	Start of researches	①		②	③		④		⑤	
		Water	Air One day (24h)		Water	Air One day (24h)	Air Daytime (9h)	Air Night (15h)	Air Night (15h)	Water
W-A Ultrapure water(Room A)	—	N.D	—	—	—	—	—	—	—	N.D
W-B Pure water(Room B) (µg/L)	0.20	0.52	—	0.63	—	—	—	—	—	N.D
W-N Natural water	—	N.D	—	—	—	—	—	—	—	—
A-1 Room A			35		32	—	—	—	—	—
A-2 Corridor			40		40	—	—	—	—	—
A-3 Room C (µg/m ³)			—		790	5.3	1600	—	—	73
A-4 Outdoor			0.80		—	—	—	—	—	—

* Air sampling time : One day(10:00-next day 10:00), Daytime(8:30-17:30), Night(17:30-next day 8:30)

* "N.D" indicates a non-detection. "-" indicates that no measurements have been taken.

* "Cleaning" indicates indoor ventilation and wiping of the workbenches.

酸性雨モニタリング調査におけるサンプリング方法の比較

吉田実希・山本真緒・北岡洋平・杉本恭利・伊吹幸代

Comparison of Sampling Methods in Acid Rain Monitoring Surveys

YOSHIDA Miki・YAMAMOTO Mao・KITAOKA Yohei・SUGIMOTO Kiyotoshi and IBUKI Sachiyo

緒言

奈良県では、県内の酸性雨の状況を把握するため、これまで継続的に酸性雨モニタリング調査を実施してきた。令和元年度の酸性雨調査において、サンプリングに使用している降雨時開放型の自動雨水採水器が機器不良のため、令和元年9～11月の3ヶ月間欠測となった。装置は長年使用し、今後も故障等により長期間使用できなくなる可能性がある。そのため、他の採水方法を検討し、自動雨水採水器のサンプリング結果との比較を行ったので報告する。

方法

1. 測定地点及び期間

奈良県保健研究センター屋上を調査地点とした。調査期間は令和2年2月から令和3年1月までの1年間で、1ヶ月単位で雨水を採取した。

2. 試料採取方法

自動雨水採水器（小笠原計器製 US-330）による方法は、装置内冷蔵庫に雨水を採取保存し、1ヶ月分の試料とした。今回検討した方法は、常時開放状態の採水瓶を保健研究センター屋上に設置し、雨水を採取した（以下、採水瓶法）。採水瓶は褐色広口瓶を用い、上部に捕集用ガラスロートを取り付けた。毎日午前9時に雨水試料を回収し、超純水で採水瓶内を洗浄し雨水採取に継続して使用した。回収した試料は混合し、1ヶ月分の試料として冷蔵保存した。

3. 測定対象成分及び方法

測定項目は降水量、pH値、電気伝導率（以下、EC）、イオン成分8物質（ SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ ）の計11項目とし、「湿性沈着モニタリング手引き書（第2版）」¹⁾に従って測定した。降水量は貯水量から算出し、pHはガラス電極法、ECは交流2電極法、イオン成分はイオンクロマトグラフ法により測定を行った。

結果および考察

各採水方法における降水量、pHおよびECの月別の測定値と変動率の平均値を表1に示す。変動率は、2つの測定結果をC1、C2として次式により求めた。

$$\text{変動率}(\%) = \frac{|C1 - C2|}{(C1 + C2)/2} \times 100$$

一般的な大気環境試料での二重測定の判定基準から、変動率が30%以下であれば代替可と考えた。降水量、pH、ECの平均変動率は4.2%、10.4%、11.0%と、2つの採水方法で概ね同様の結果が得られた。pHは、全ての月で自動採水器の値のほうが低く、酸性が強い傾向がみられた。

イオン成分について、過去5年間（平成27～31年）の平均値および測定値の範囲と各採水方法における測定結果を図1に示す。イオン成分は、秋から冬にかけて濃度が高くなる傾向があり、今回の調査期間においても同様であった。 K^+ は、いずれの月も各採水方法間の変動が大きかったが、その他のイオン成分は降水量が少ない月（11、12月）に差が大きくなる傾向がみられた。図2に各イオン成分の月別変動率を示す。判定基準の30%を下回っているのは SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ の3成分であった。その他の5成分については、変動率が大きいことから、参考値としての利用は難しいと考えられた。

まとめ

酸性雨モニタリング調査において、採水瓶を用いてのサンプリングを検討した。降水量、pH値、電気伝導率、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ の6項目については、変動率が30%以内であり、採水瓶で採取した結果を参考値として利用できると考えられた。

参考文献

- 1)環境省:湿性沈着モニタリング手引き書(第2版),
平成12年6月

表1 降水量, pH および EC の月別測定値と変動率の平均

		2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	変動率 平均(%)
降水量(mm)	自動採水器	83.4	156.6	75.4	98.0	205.9	456.5	62.7	153.1	247.0	43.0	22.6	67.5	4.2
	採水瓶法	83.9	157.2	73.3	95.3	191.5	421.3	58.7	150.8	214.3	42.4	22.0	69.3	
pH	自動採水器	4.8	4.8	5.0	4.6	5.1	5.3	5.0	5.1	5.4	4.8	4.7	4.9	10.4
	採水瓶法	5.3	5.1	5.3	5.0	5.4	5.5	5.9	5.6	5.5	5.5	6.2	6.0	
EC	自動採水器	10.66	9.94	8.94	13.48	5.71	4.42	8.66	5.55	2.80	9.85	18.57	12.84	11.0
	採水瓶法	8.53	8.65	7.99	10.82	5.38	4.36	7.35	5.28	2.91	9.18	21.40	14.04	

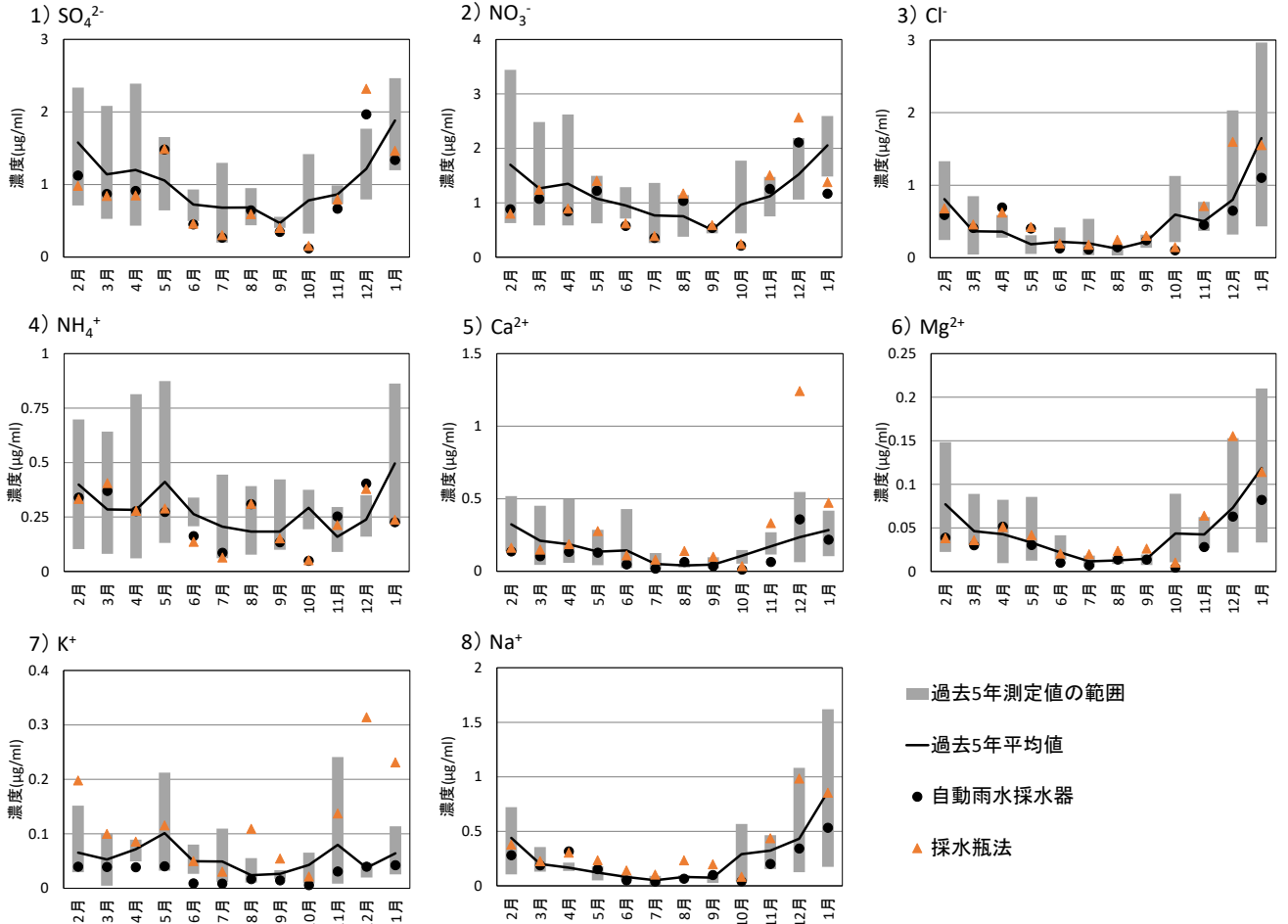


図1 過去5年間(平成27~31年)の月別の平均値および測定値の範囲と採取方法別の測定結果(令和2年2月~令和3年1月)

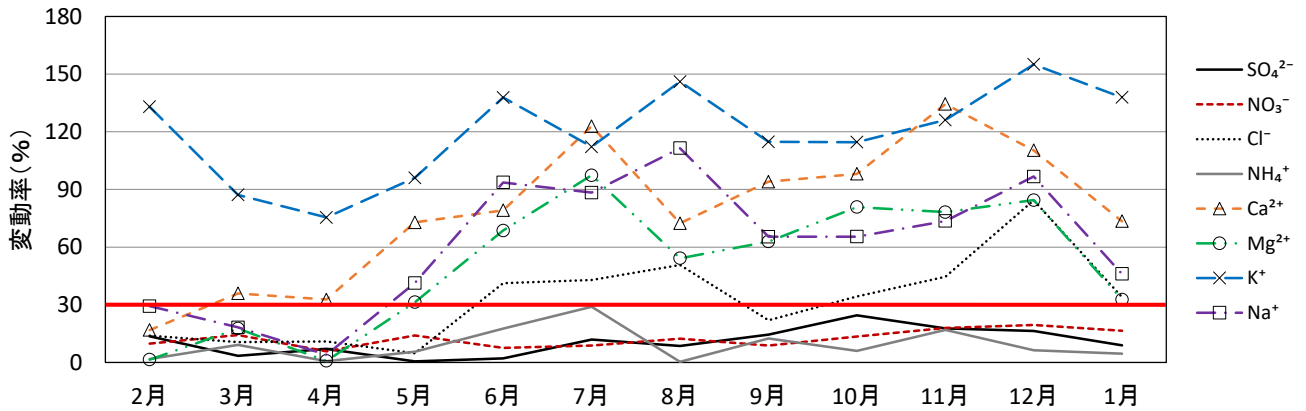


図2 月毎の各イオン成分の採取方法による変動率

奈良県における環境放射能調査 (令和2年4月～令和3年3月)

杉本恭利・吉田実希・伊吹幸代

Environmental Radioactivity Survey Data in Nara Prefecture
(Apr.2020-Mar.2021)

SUGIMOTO Kiyotoshi・YOSHIDA Miki and IBUKI Sachiyo

緒言

平成元年度から科学技術庁(平成13年1月からは文部科学省,平成25年4月からは原子力規制委員会)委託環境放射能水準調査事業に参加し,環境試料より放射能測定を継続実施している.令和2年度に実施した環境放射能水準調査結果について取りまとめたのでその概要を報告する.

方法

1. 調査対象

定時降水中の全β放射能,大気浮遊じん・降下物・土壌・陸水・原乳・精米・野菜類・茶葉のγ線核種分析及び環境中の空間放射線量率を調査対象とした.なお,この水準調査の環境試料採取にあたり,農業研究開発センター,うだ・アニマルパーク,大和茶研究センター及び大和野菜研究センターに協力を依頼した.

2. 測定方法

環境試料の採取,前処理,γ線核種分析,全β放射能測定及び空間放射線量率測定は,原子力規制委員会の「環境放射能水準調査委託実施計画書」(令和2年度)¹⁾「全β放射能測定法」,「Ge半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」²⁾等に準拠し実施した.

3. 測定装置

全β放射能測定はβ線自動測定装置(アロカ製JDC-5200型),γ線核種分析はGe半導体検出器(セイコーEG&G製GEM25-70型),空間放射線量率測定はモニタリングポスト(アロカ製MAR-22型)によりそれぞれの測定を行った.

結果及び考察

1. 全β放射能調査(降雨ごと)

表1に定時降水試料中の全β放射能測定結果を示した.88検体の測定を行い,検出濃度はN.D.～2.6 Bq/L,

月間降水量はN.D.～7.6 MBq/km²の範囲にあった.これらの結果は本県の例年のデータと比較しても大差のない数値であった.

2. γ線核種分析調査

表2にγ線核種分析結果を示した.本年は土壌の表層,下層から共に5.0 Bq/kg乾土の¹³⁷Csが検出されたが,これらの値は福島第一原発事故以前の測定結果³⁾と比較しても大差がなく,過去の核実験由来による例年の数値であると考えられる.

3. 空間放射線量率調査(連続測定)

表3に各月におけるモニタリングポストによる空間放射線量率測定結果を示した.測定結果は,58～95 nGy/hの範囲にあり,平均値は61 nGy/hで昨年と同じであった.

結論

今年度の測定については,いずれの試料も福島原発事故以前の通年と同様の結果であった.災害や事故等による緊急時に備えるため,今後も環境放射能の動態について監視を継続する必要がある.

参考文献

- 1) 原子力規制庁監視情報課放射線環境対策室:環境放射能水準調査委託実施計画書(令和2年度)
- 2) 文部科学省編「放射能測定法シリーズ」昭和51年～平成31年改訂版
- 3) 文部科学省:第53回環境放射能調査研究成果論文抄録集(平成22年度)

表 1 令和 2 年度定時降水試料中の全β線放射能調査結果

採取月	降水量 (mm)	降水の定時採取 (定時降水)			
		放射能濃度(Bq/L)			月 間 降下量 (MBq/Km ²)
		測 定 数	最 低 値	最 高 値	
4月	92.5	4	N.D.	N.D.	N.D.
5月	89.0	6	N.D.	N.D.	N.D.
6月	167.0	9	N.D.	N.D.	N.D.
7月	417.5	16	N.D.	N.D.	N.D.
8月	70.5	5	N.D.	N.D.	N.D.
9月	121.0	9	N.D.	N.D.	N.D.
10月	233.0	7	N.D.	N.D.	N.D.
11月	41.0	5	N.D.	N.D.	N.D.
12月	19.5	3	N.D.	N.D.	N.D.
1月	58.5	8	N.D.	2.6	7.6
2月	50.0	5	N.D.	N.D.	N.D.
3月	111.0	11	N.D.	N.D.	N.D.
年間値	1470.5	88	N.D.	N.D. ~2.6	N.D. ~7.6

備考

- 1) 採取場所：奈良県保健研究センター屋上
- 2) N.D.:「検出されず」を示す。

表 3 令和 2 年度空間放射線量率調査結果

調査月	モニタリングポスト (nGy/h)		
	最 低 値	最 高 値	平 均 値
4月	58	77	60
5月	59	78	61
6月	59	95	62
7月	58	75	61
8月	59	82	61
9月	59	81	61
10月	59	70	61
11月	59	71	61
12月	60	80	62
1月	60	76	62
2月	60	93	61
3月	60	80	62
年間値	58	95	61
前年度までの 過去3年間の値	59	96	61

備考

- 1) 採取場所：奈良土木事務所

表 2 令和 2 年度γ線核種分析調査結果 (137Cs の値)

試料名		採取地	本年度	過去3年間	単 位
大気浮遊じん		桜井市	N.D.	N.D.	mBq/m ³
降下物		桜井市	N.D.	N.D.	MBq/km ²
陸水 (蛇口水)		桜井市	N.D.	N.D.	mBq/L
土 壤	表 層	桜井市	5.0	4.6~5.4	Bq/kg乾土
	下 層	桜井市	5.0	5.1~5.8	
精 米		桜井市	N.D.	N.D.	Bq/kg精米
野 菜		宇陀市	N.D.	N.D.	Bq/kg生
茶 葉		奈良市	N.D.~0.48	N.D.~0.23	Bq/kg乾物
原 乳		宇陀市	N.D.	N.D.	Bq/L

備考

- 1) N.D.:「検出されず」を示す

淀川水系における農薬残留実態調査

浦西洋輔・辻本真弓・浦西克維・城山二郎

Monitoring of Pesticide Residues in the Yodo River in Nara Prefecture

URANISHI Yosuke・TSUJIMOTO Mayumi・URANISHI Katsushige and SHIROYAMA Jirou

緒言

農薬は、病虫害や雑草防除を目的とする化学物質であり、農地・ゴルフ場などの開放系で散布されるため、その一部が水環境中へ移行し、防除対象以外の生物に対して影響を及ぼすことが懸念されている¹⁾。奈良県では公共用水域及び地下水の水質測定計画²⁾に基づき、河川、湖沼、地下水の常時監視を実施している。このうち農薬は、水質汚濁に係る環境基準³⁾及び要監視項目⁴⁾として15種が測定対象となっている。しかし、測定項目は県内で使用されている農薬のごく一部であり、本計画に基づく調査だけでは河川中の農薬残留状況のすべてを把握することは難しい。そのため著者らは、より多成分を一斉分析できる検査体制を整備し、農薬残留状況の網羅的把握に努めてきた^{5,6)}。本年度は、大和平野の各都市へ水道水を供給する重要な水源である室生ダムを有する⁷⁾、淀川水系を対象に農薬残留状況を調査し、実態を把握したので報告する。

方法

1. 採水地点・時期

採水地点は、県内淀川水系における環境基準点から13カ所を選定し、Fig. 1に示す。採水は、農繁期である夏季を対象とし、令和2年8月6日に行った。

2. 試薬等

アセトン、ヘキサンは残留農薬・PCB 試験用（富士フイルム和光純薬（株）製）を、農薬混合標準溶液は林純薬工業（株）製 PL2005（農薬 GC/MS Mix I, II, III, IV, V, VI, 7）を使用した。農薬混合標準溶液7グループは1 µg/mL となるようアセトンで希釈混合し、これを作業標準液として用いた。精製水は、小松電子（株）製うるびゅあ KE-0147A で作製した超純水を用いた。固相カートリッジはジーエルサイエンス（株）社製 InertSep® PLS-2（270 mg, 6 cc）、GC-MS/MS は島津製作所社製 GCMS-TQ8030 を使用した。

3. 測定対象農薬及び分析方法

測定対象農薬は、既報⁶⁾により分析方法を確立した農薬計230成分とし、同報に従い試料の前処理を行い、GC-MS/MSによる一斉分析を行った。

結果と考察

淀川水系にて定量下限値（一律 0.2 µg/L）を超えて検出された農薬は、測定した 230 成分のうち 4 成分であった。検出された農薬の種類及び最大検出濃度、検出頻度を Table1 に示す。

除草剤に含まれる有効成分として、Bromacil が検出された。Bromacil は、定量下限値を超えて検出された地点は 1 地点のみであったが、検出下限値（0.1 µg/L）を超えて検出された地点は 92%（12/13 地点）と、流域内広範囲での残留実態が明らかとなった。

殺菌剤に含まれる有効成分として、3 種の農薬が検出された。これらは、主に稲作に使用される殺菌剤であった。検出された農薬のうち、Pyroquilon が最も高

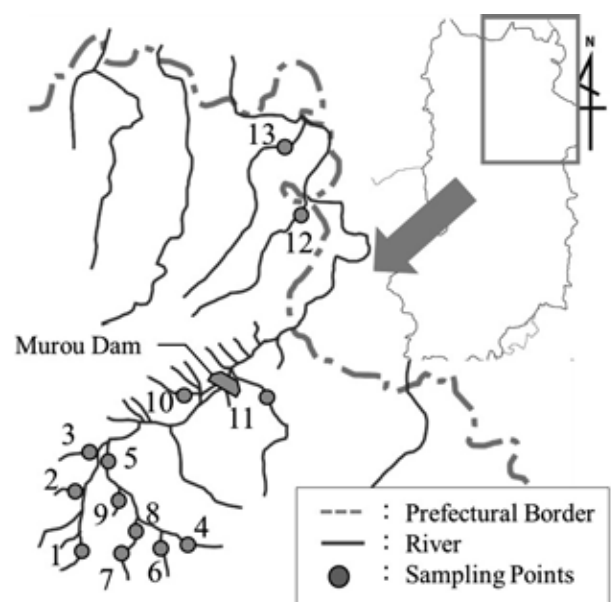


Fig. 1 Location of sampling points

Table1 Summary of maximum concentration and frequencies of target compounds detected in river waters

Type of Pesticide	Compound	The Main Application Crops	Maximum concentration (µg/L)	Number of Sampling site detected	Registration standard of pesticide (µg/L)	
					Water pollution	Aquatic animals and plants
Herbicide	Bromacil	Tree, Fruit Tree	0.79	1/13	50	27
Fungicide	(E)-Metominostrobin	Rice Plant	0.97	6/13	100	100
	Pyroquilon	Rice Plant	2.5	7/13	42	480
	Simeconazole	Rice Plant, Grass	0.51	3/13	50	3300

く、2.5 µg/L 検出された。Pyroquilon は、昨年度の紀の川水系における調査⁶⁾においても夏季に最高 2.3 µg/L 検出している。永淵⁸⁾は、Pyroquilon は自然環境中の条件下では散布後 1～2 週間程度安定であること、Pyroquilon は水溶解度が非常に高く (4.6 g/L)、散布後に降雨がなくとも短期的に水田から水環境中に流出することを報告している。我々の調査においても、比較的高濃度で Pyroquilon を検出していることから、継続監視が必要な農薬であると考えられた。

また、今回の調査で得られた結果を農薬登録基準値と比較したところ、水質汚濁に係る農薬登録基準値及び水産動植物の被害防止に係る農薬登録基準値ともに超過した農薬は見られず、全ての地点で各基準値よりも 1 桁以上低い濃度であった。

まとめ

GC-MS/MS による農薬一斉分析法を用いて、県内淀川水系における農薬実態調査を行った。結果、河川水から調査対象農薬 230 成分中計 4 成分が検出された。検出された農薬のうち、農薬登録基準値を超過したものはなかった。

本調査では農繁期である夏季に採水を実施したが、適用時期外にあたる冬季においても農薬は検出される恐れがある。今後は採水頻度を増やして調査を行う等、県内環境水中の農薬残留実態の把握に努める予定である。

参考文献

- 1) 石原悟：農業環境技術研究所報告，25，1-92 (2008)
- 2) 奈良県：公共用水域及び地下水の水質測定計画，http://www.eco.pref.nara.jp/jorei_kisoku/suishitsusokutei_keikaku.html，2020年8月閲覧
- 3) 昭和46年12月28日付環境庁告示59号「水質汚濁に係る環境基準」
- 4) 令和2年5月28日付環水大発第2005281号・環水大土発第2005282号通知「水質汚濁に係る人の健康の保護に関する環境基準等の施行等について」
- 5) 浦西洋輔，浦西克維，山下浩一：奈良県景観・環境総合センター研究報告，6，15-20 (2018)
- 6) 浦西洋輔，浦西克維，川辺千明，他：奈良県景観・環境総合センター研究報告，7，17-25 (2019)
- 7) 奈良県：淀川水系（奈良県域）河川整備計画，（平成24年1月）
- 8) 永淵修，井上隆信，海老瀬潜一，他：土木学会論文集，566/VII-3，49-60 (1997)

WET法による大和川水系の生物影響評価について

平井佐紀子・長尾舞・城山二郎

Bioassay in Yamato River System using Whole Effluent Toxicity(WET) Tests

HIRAI Sakiko・NAGAO Mai and SHIROYAMA Jirou

緒言

現在の規制では日々増加する膨大な化学物質の一つ一つの測定も困難で、またこれらの化学物質の複合作用については判らない状態である。これらの課題についての解決法の一つとして、環境中に生息する水生生物への影響を直接的かつ包括的に図る方法（バイオアッセイ）がある。その中でも最近注目されているのがWET法による試験である。

本報では令和2年度においてBODの環境基準値を超過することがあった環境基準点の弋鳥橋の河川水について、ニセネコゼミジンコを用いたWET手法による生物影響評価を行い、ミジンコの繁殖毒性に影響する物質の検討を行ったので報告する。

方法

1. 試料

令和2年4月から令和3年1月に搬入された大和川水系の環境基準点の弋鳥橋の、4月、9月、11月、1月採水分の4検体を用いた。

2. 試験方法

各試料を0%（対照区）と5濃度区（5%、10%、20%、40%、80%）に調整し、ニセネコゼミジンコを用いる繁殖試験法^{1,2)}を実施した。試験条件は表1に示すとおりである。

ミジンコ繁殖試験では、生後24時間以内のミジンコを試料を含む飼育水に7日間ばく露し、死亡数及び生まれた仔虫の数を調べ、対照区と比較することによりミジンコの繁殖に対する慢性毒性を評価した。

3. 飼育水について

飼育に使用する水は水道水を三菱レイヨン・クリンスイ(株)製の蛇口直結型浄水器（CSPシリーズ）のHGC9SWカートリッジを通した水にコントレックス

（硬度1475）を5%加えて硬度76に調整して飼育水とした。飼育水は調整したのち24時間以上エアレーションを行ったものを使用した。

4. データ解析方法

データの解析は、環境毒性学会のサイトにて配布されている解析ソフトECOTOX³⁾を使用した。

この解析ソフトで有意差検定を行い対照区との有意差が認められた濃度区の最低濃度区をLOEC（最低影響濃度）とし、LOECの一つ下の濃度区をNOEC（最大無作用濃度）とした。

5. 結果及び考察

河川水の結果を図1から図4に示す。

令和2年4月から令和3年1月に搬入された弋鳥橋の河川水はすべての濃度区で有意差が無く、NOECが80%以上となった。弋鳥橋の河川水の繁殖毒性は低いと考えられた。

まとめ

令和2年4月から令和3年1月の弋鳥橋で有意差が無く、NOECは80%以上でミジンコに対する繁殖毒性は認められなかった。

BODの環境基準が高い原因としては生活排水などからの有機物が多いためであり、重金属、VOC、農薬などのミジンコに繁殖毒性を示すような有害成分は含有していないものと考えられた。

文献

- 1) 長谷川絵里:ニセネコゼミジンコを使用したミジンコ繁殖試験方法, 名古屋市環境科学調査センター年報, 1, 81-83 (2012)
- 2) 排水(環境水)管理のバイオアッセイ技術検討部会:生物応答を用いた排水試験法(検討案)(2014)
- 3) 日本環境毒性学会 HP:
<https://www.intio.or.jp/jset/ecotox.htm>

表1 試験条件

項目	方法と条件
生物種	ニセネコゼミジンコ
試験媒体	飼育水
試験方法	半止水式
試験液量	20 ml/容器
試験期間	7~8日
試験濃度	公比2、5濃度区
生物数	10匹/濃度区
試験温度	25±1 °C
照明	16時間明/8時間暗
給餌	クロレラ、YCT

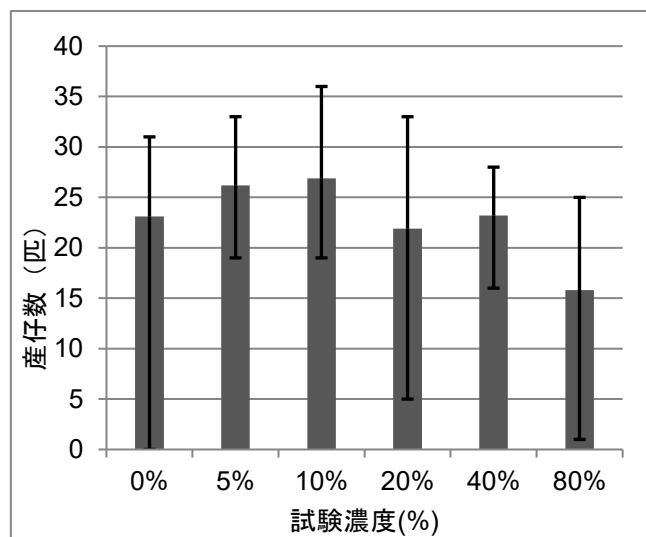


図1 4月採水の繁殖試験結果 NOEC80%以上

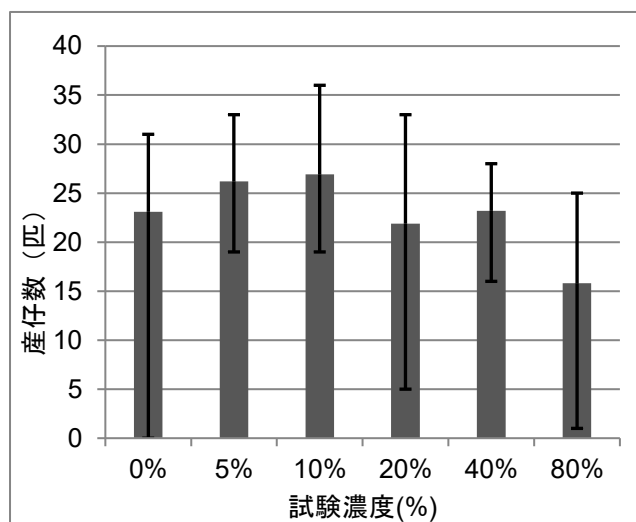


図2 9月採水の繁殖試験結果 NOEC80%以上

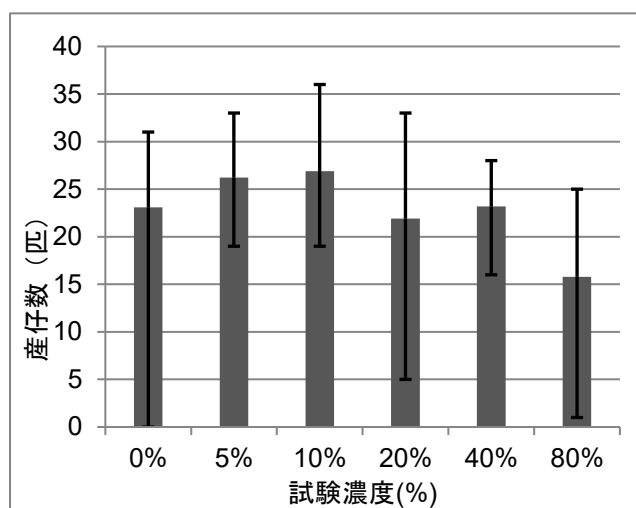


図3 11月採水の繁殖試験結果 NOEC80%以上

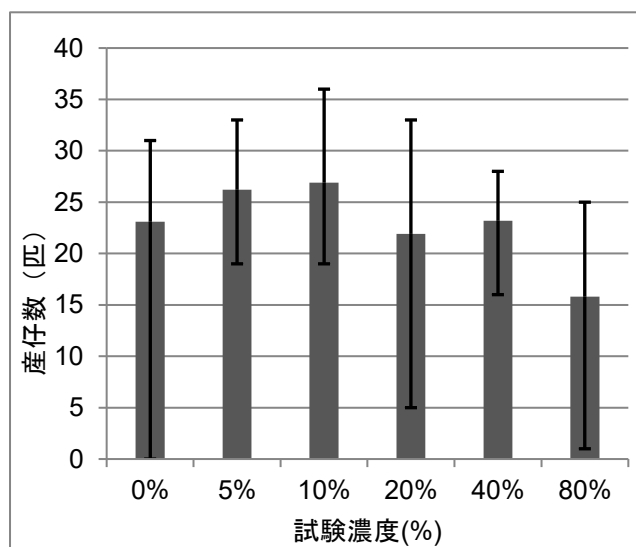


図4 1月採水の繁殖試験結果 NOEC80%以上

ニセネコゼミジンコを用いた WET 法による 県内河川水の生物影響評価について

長尾舞・平井佐紀子・城山二郎

Whole Effluent Toxicity (WET) Tests of River on *Ceriodaphnia dubia*

NAGAO Mai・HIRAI Sakiko and SHIROYAMA Jirou

緒言

現在の化学物質の規制方法は、有害性が明らかにされた物質を個別に規制しているが、毒性情報が未知のものや規制に至らない化学物質の影響、さらには環境中での物質間の複合的な影響については対応できていない。そこで、水環境への影響や毒性の有無を総合的に把握・評価する手法として、生物応答を利用した排水管理手法 (Whole Effluent Toxicity : 以下、WET 法) が注目されている。

WET 法は、欧米では 1990 年代に水質規制に導入されており、日本でも環境省により平成 22 年度に「生物応答を利用した水環境管理手法に関する検討会」が設置され、現在も WET 法の導入について検討が続けられている。また、一部の企業及び公的研究機関においては、自主的取組の一環として導入している例もある²⁾。

本調査では、県内河川水について WET 法による生物影響評価を行い、ニセネコゼミジンコへの影響を総合的に評価した。

方法

試料は奈良県桜井市内の河川水で、定期検査により例年重金属類が検出されている 1 地点とし、令和 2 年 5 月、8 月、11 月の年 3 回試験を行った。

試験には、国立研究開発法人 国立環境研究所から提供を受けたニセネコゼミジンコ (*Ceriodaphnia dubia*) を用いた。ニセネコゼミジンコは、欧州、北米、アフリカなどに生息する外来種で、成虫の体長は約 1 mm、成熟期間は約 3 日である。

試験は、環境省が設置する「生物応答を利用した水環境管理手法に関する検討会」において平成 27 年 11 月に公表されたミジンコ繁殖試験法³⁾に基づき、表 1 の条件下で実施した。ミジンコ繁殖試験では、生後 24 時間以内のミジンコを、1 濃度区あたり 10 個体で 7 日

間ばく露し、死亡数及び産まれた仔虫の数を調べ、対照区と各濃度区を比較して、統計学的に有意な低下が認められた場合にはその濃度区以上について毒性が認められることとなる。試験方法及び条件を表 1 に示した。

データ解析には、日本環境毒性学会にて配布されている解析ソフト「ECOTOX」⁴⁾を使用した。解析手順は、まず得られたデータで Bartlett 検定を行い、等分散性が認められる場合にはパラメトリック手法の Dunnett の検定を、等分散性が認められない場合にはノンパラメトリック手法の Steel の検定を用いて、対照区と各濃度区の有意差を検定した。これらの解析により、有意な低下が見られる最低の試験濃度を最小影響濃度 (LOEC)、LOEC の一段階下の濃度区を最大無影響濃度 (NOEC) とし、試料間の NOEC について比較した。

表 1 試験条件

項目	方法と条件
生物種	ニセネコゼミジンコ
試験方法	半止水式
試験液量	20 ml / 容器
試験期間	7 日
試験濃度	5 濃度区 (5,10,20,40,80%)
生物数	10 匹 / 濃度区 (n=10)
試験温度	25±1°C
照明	16 時間明 / 8 時間暗
給餌	クロレラ, YCT

結果と考察

得られた結果について、最大無影響濃度（NOEC）を求めた（表2）。全ての試料でニセネコゼミジンコへの影響が確認され、特に5月の試料では最もNOECが低かった。また、NOECが40%であった8月、11月の試料では、80%の濃度区の産仔数が大幅に減少した（図1）。

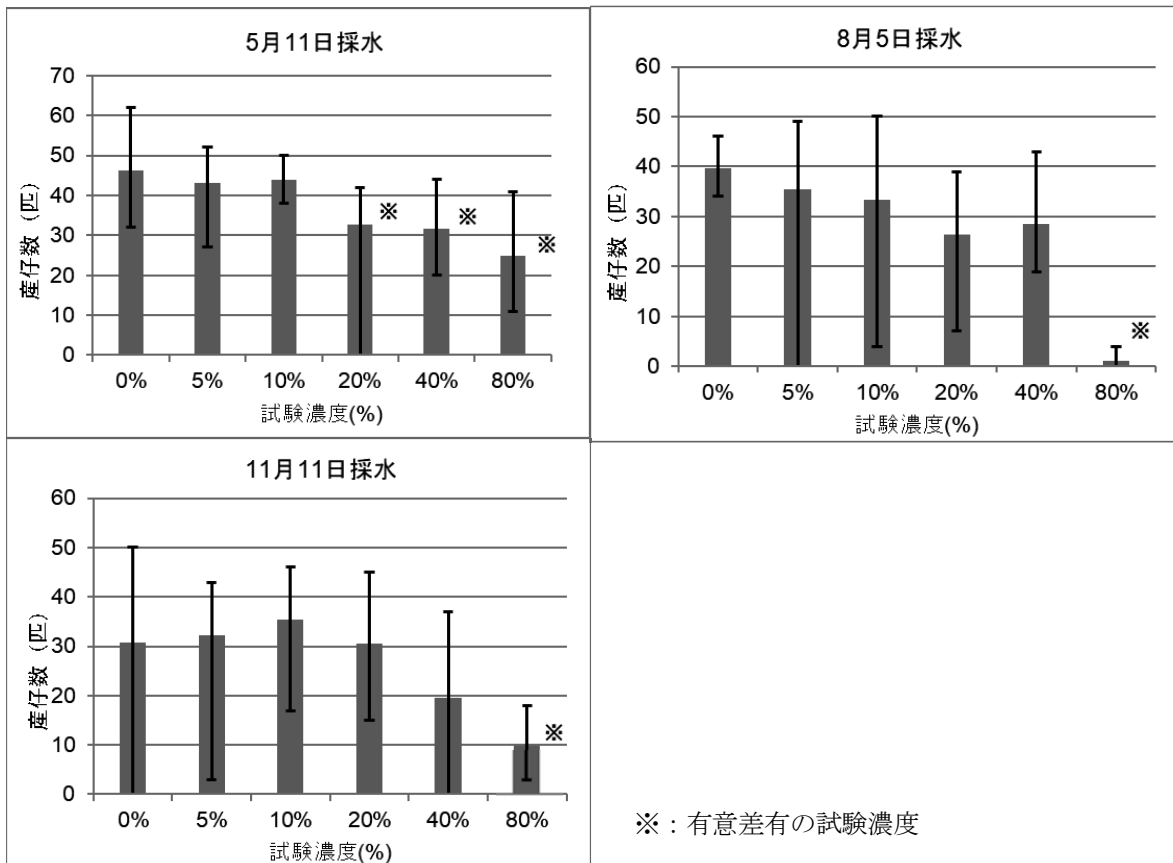
次に、検出された重金属を表2に記した。ニセネコゼミジンコの産仔数に影響があるとされるNi、Zn⁵⁾が全ての試料で検出された。特にNiはニセネコゼミジンコへの毒性が高く、EC25（25% Effect concentration：25%影響濃度）は0.64 ug/Lと報告されている⁵⁾。今回の試料では、Niの濃度はEC25の5倍を超える地点もあり、ニセネコゼミジンコの産仔数減少の原因と考えられる。

参考文献

- 1) 生物応答を利用した水環境管理手法に関する検討会：生物応答を利用した排水管理手法の活用について（2015）
- 2) 長谷川 絵理, 西 史江, 岡村 祐里子他, :名古屋市環境科学調査センター年報, (1) , 81-83 (2012)
- 3) 排水（環境水）管理のバイオアッセイ技術検討分科会:生物応答を用いた排水試験法（検討案）, 20-24 (2013)
- 4) 日本環境毒性学会 HP : <http://jset.jp>
- 5) 藤原 尚美, 野中 信一, 豊久 志朗, 他 :環境化学 Vol.25 No.1, 35-42(2015)

表2 試験結果

採水日	NOEC	重金属 (mg/L)			
		Ni	Zn	U	As
5月11日	10%	0.004	0.002	0.002	0.001
8月5日	40%	0.005	0.007	0.001	0.001
11月11日	40%	0.010	0.008	0.001	0.001



※：有意差有の試験濃度

図1 試験結果