

## 第1章 調査の背景と目的

化学物質の使用により我々の日常生活が便利になった反面、化学物質による環境汚染に対する国民の関心が高まっている。化学物質の中には生物や人体への毒性などの有害な作用が明らかになったとしても、公共用水域等の環境中にどれだけの量が排出され、どのような濃度で分布しているか不明なものが多くある。このような背景から、我が国においても平成11年に「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律」(PRTR法)が制定されたことや、平成15年には「水生生物の保全の観点から生活環境項目に全亜鉛に係る環境基準が設定」されたことなど、有害化学物質に対する制度・基準等が徐々に整備される動向にある。路面排水の環境への負荷については流域別下水道計画等において面源負荷として取り扱われる例は多いが、その規制や対策については未だ整備される段階ではない。

当研究所では、道路構造物や自動車を発生源とする路面排水中の化学物質の挙動を明らかにし、今後の発生源対策や地先対策、あるいは透水性舗装の適正な運用方針検討や公共用水域への流出抑制について資することを目的に、平成16年度より5カ年にわたって調査を実施してきたところである。

路面排水に含まれる化学物質の空間的分布と移動経路は下図のように概念的に捉えることができる。路面排水中の化学物質の排出経路は、周辺の家屋や事業所等を発生源とし道路周辺の土地を経由し路面排水として排出される経路、道路構造物や自動車から直接排出され路面排水に含まれる経路、あるいは大気中の浮遊粉塵が道路上に降下し路面排水に含まれる経路など様々であると考えられる。本研究では実道路から排出される路面排水の水質調査を中心とし、路面排水に含まれる化学物質の中でも、特に我が国において排水基準や環境基準が設定されている亜鉛・鉛に着目した調査を実施してきた。本稿は、その調査・検討結果を総括的にとりまとめたものである。

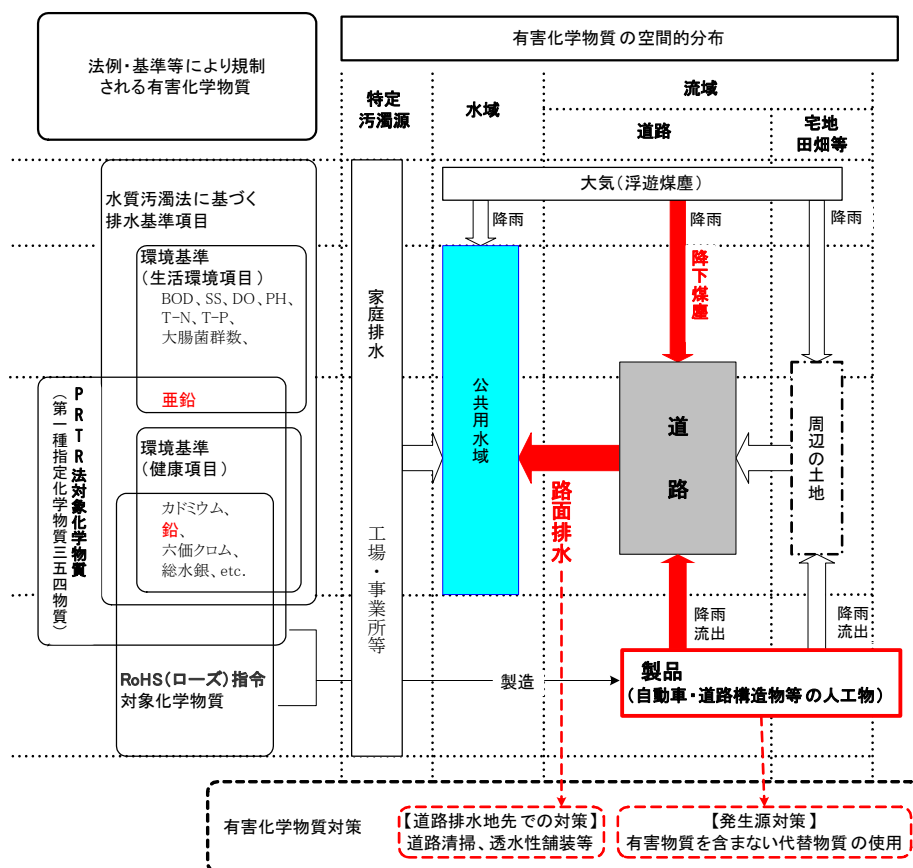


図 1.1 路面排水の排出経路 (概念図)

## ●本資料の概要

### (1) 既往の調査研究……第2章参照

路面排水に含まれる化学汚染物質に関する既往の調査・研究について、文献調査を行い、化学物質の実態調査、排出源、路面排水の規制と対策に関する知見を整理した。

### (2) 路面排水に含まれる化学物質の調査……第3章参照

文献調査や関係機関へのヒアリング調査から、道路製品や自動車製品から53種の化学物質（PRTR制度対象化学物質：32種、多環芳香族炭化水素：21種）が路面排水中へ排出している可能性が推定された。

表 1.1 路面排水へ排出される可能性が考えられた PRTR 制度対象化学物質

政令 番号	PTRT化学物質名称	自動車 部品	オートケミカル 製品	舗装	コンクリート 二次製品	路面標示材	道路標識 防護柵
1	亜鉛の水溶性化合物	○		○			○
7	アクリロニトリル	○					
24	直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム及びその塩		○				
26	石綿	○					
28	イソプレン	○					
29	4, 4' - イソプロピリデンジフェノール	○					
40	エチルベンゼン		○				
43	エチレングリコール		○				
44	エチレングリコールモノエチルエーテル		○				
45	エチレングリコールモノメチルエーテル		○				
63	キシレン		○				
68	クロム及び3価クロム化合物	○					
69	六価クロム化合物					○	
99	五酸化バナジウム	○		○			
177	スチレン	○					
207	銅水溶性塩(錯塩を除く。)	○		○			
224	1,3,5-トリメチルベンゼン	○					
227	トルエン	○				○	
230	鉛及びその化合物	○				○	
232	ニッケル化合物	○		○			
242	ノニルフェノール	○					
251	ビス(水素化牛脂)ジメチルアンモニウム=クロリド		○				
268	ブタジエン	○					
270	フタル酸ジ-n-ブチル					○	
272	フタル酸ビス(2-エチルヘキシル)					○	
299	ベンゼン		○				
304	ホウ素及びその化合物	○	○				
307	ポリ(オキシエチレン)=アルキルエーテル		○				
309	ポリ(オキシエチレン)=ノニルフェニルエーテル	○	○				
311	マンガン及びその化合物		○	○	○		
318	メタクリル酸2-(ジメチルアミノ)エチル		○				
352	リン酸トリス(2-クロロエチル)		○				
	計32物質						

表 1.2 燃料等の燃焼に伴い排出されると考えられる多環芳香族炭化水素

Cas. No	物質名称	読み	文献中に使用された略号	出典	道路塵埃に多く含まれるとされる PAH	排出の可能性が高い由来 (欄中文献番号)			
						ディーゼル	ガソリン	タイヤ	アスファルト
1	208-96-8	acenaphthylene	アセナフチレン	Ace, Ac	1, 6				
2	83-32-9	acenaphthene	アセナフテン	Act	1, 6, 7				
3	86-73-7	fluorene	フルオレン	Flu, Fl	1, 3, 5, 6, 7				
4	85-01-8	phenanthrene	フェナントレン	Phe, Ph	1, 3, 4, 5, 6, 7	1, 3, 4	3, 6	3	3, 6
5	120-12-7	anthracene	アントラセン	Ant, An	1, 3, 4, 5, 6, 7				
6	206-44-0	fluoranthene	フルオランテン	Flt, Flu, Fr	1, 3, 4, 6	1, 3, 4	3, 6	3	3, 6
7	129-00-0	pyrene	ピレン	Pyr, Pr	1, 3, 4, 5, 6, 7	1, 3, 4	1, 3, 6	1	1, 3, 6
8	56-55-3	benzo (a) anthracene	ベンゾ(a)アントラセン	B(a)A, Ba	1, 3, 4, 5, 6, 7		1		
9	218-01-9	chrysene	クリセン	Chr, Ch	1, 3, 4, 5, 6, 7		1		1
10	205-99-2	benzo (b) fluoranthene	ベンゾ(b)フルオランテン	B(b)F, Bf	1, 3, 4, 6, 7	3	3	3	3
11	207-08-9	benzo (k) fluoranthene	ベンゾ(k)フルオランテン	B(k)F, Bf	1, 3, 4, 6, 7	3	3	3	3
12	192-97-2	benzo (e) pyrene	ベンゾ(e)ピレン	B(e)P	1, 4, 5			1	1
13	50-32-8	benzo (a) pyrene	ベンゾ(a)ピレン	B(a)P, Bpy	1, 3, 4, 5, 6, 7			1	
14	53-70-3	dibenzo (ah) anthracene	ジベンゾ(ah)アントラセン	D(ah)A, Db	1, 3, 4, 6, 7				
15	191-24-2	benzo (ghi) perylene	ベンゾ(ghi)ペリレン	B(ghi)P, Bpe	1, 3, 4, 6, 7	4		1	6
16	193-39-5	indeno (1,2,3-cd) pyrene	インデノ(1,2,3-cd)ピレン	Ind (123) P, In	1, 4, 6, 7			1	1
17	119-61-9	benzophenone	ベンゾフェノン		3				
18	883-20-5	9-methylphenanthrene	9-メチルフェナントレン		3				
19	217-59-4	triphenylene	トリフェニレン	Trp	4, 5				
20	198-55-0	perylene	ペリレン	Per	4, 5				
21	91-20-3	naphthalene	ナフタレン	Np	6			6	

表 1.3 多環芳香族炭化水素 (PAHs) 関連文献

出典 No.	文献名 著者
1	道路近傍における粉塵および多環芳香族炭化水素類の発生と拡散 尾崎則篤、新田恭子、杉原朋子(広島大学)、福島武彦(筑波大学)
2	道路構造物から溶出するPRTR対象物質 庄司成敬、三島聡子、秀平敦子、坂本広美(神奈川県環境化学センター)
3	道路塵埃中に含まれる多環芳香族炭化水素類の挙動と生体内暴露評価 関口幹周、古川和佳子、荒川研佑、小野芳朗(岡山大学環境理工学部)
4	都市高速道路における微量汚染物質の雨天時流出 新矢将尚、北野雅昭、鶴保謙四郎(大阪市環境科学研究所)
5	高速道路を対象としたステージ別調査によるPAHsの挙動特性 市木敦之(立命館大学工学部)、天野靖也、長田恭典、成瀬貴雅、山下博之(立命館大学大学院)
6	自動車排出物、タイヤおよび道路舗装材のプロファイルとそれらの側溝堆積物中のPAHsへの寄与 ベッペンシャイ、中島典之、古米弘明(東京大学大学院)
7	道路路面排水中の多環芳香族炭化水素(PAHs)の実態把握 (独立行政法人土木研究所 水循環研究グループ 水質チーム)平成13年10月

実道路から排出される路面排水の調査を行ったところ、53 種中 40 種（PRTR 制度対象化学物質：22 種、多環芳香族炭化水素：18 種）が検出された。

表 1.4 路面排水の水質分析結果と発生源の推定

政令 番号	分類	物質名称	単位	本調査	基準値		発生源					
					環境基準	排水基準	自動車	オートバイ	舗装	コンクリート	路面標示	標識
1	金属類・ 無機化合物	亜鉛の水溶性化合物	mg/L	0.069~0.15	0.03 ※1	2 ※1	○		○			○
26		石綿	%	ND			○					
68		クロム及び3価クロム化合物	mg/L	0.007~0.042	0.05 ※1	0.5 ※2	○					
69		六価クロム化合物	mg/L	<0.04								○
99		五酸化バナジウム	mg/L	0.005~0.051			○		○			
207		銅水溶性塩（錯塩を除く）	mg/L	0.026~0.046		3 ※3	○		○			
311		マンガン及びその化合物	mg/L	0.08~0.49		10 ※4		○	○	○		
230		鉛及びその化合物	mg/L	0.013~0.075	0.01	0.1	○					○
232		ニッケル化合物	mg/L	0.005~0.021			○		○			
304		ホウ素及びその化合物	mg/L	0.039~0.092	1	10	○	○				
268		有機化合物 (VOC)	1,3-ブタジエン	μg/L	0.01~0.02			○				
7	アクリロニトリル		μg/L	<0.4			○					
28	イソブレン		μg/L	<0.04			○					
40	エチルベンゼン		μg/L	<0.02~0.06				○				
43	エチレングリコール		μg/L	49~490				○				
44	エチレングリコールモノエチルエーテル		μg/L	0.49~0.90				○				
45	エチレングリコールモノメチルエーテル		μg/L	0.10~0.40				○				
63	キシレン		mg/L	<0.001				○				
177	スチレン		μg/L	0.02~0.11			○					
224	1,3,5-トリメチルベンゼン		μg/L	<0.01				○				
227	トルエン		mg/L	<0.001~0.035				○				○
299	ベンゼン		mg/L	<0.001				○				
318	メタクリル酸2-(ジメチルアミノ)エチル		μg/L	<0.1				○				
352	リン酸トリス(2-クロロエチル)		μg/L	0.41~0.69				○				
24	有機化合物 (界面活性剤)		直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム及びその塩	μg/L	38.1~62.2			○				
307	ポリ(オキシエチレン) = アルキルエーテル		μg/L	20~35				○				
242	有機化合物 (内分泌攪乱 化学物質)		ノニルフェノール	μg/L	0.3~0.5				○			
272		フタル酸ビス(2-エチルヘキシル)	μg/L	0.5~15.0							○	
270		フタル酸ジ-n-ブチル	μg/L	<0.5							○	
29		4,4'-イソプロピルジフェノール	μg/L	0.31~0.48				○				
309		ポリ(オキシエチレン) = ノニルフェニルエーテル	μg/L	4.7~19.9			○	○				

※1：全亜鉛 ※2：六価クロム ※3：全銅 ※4：溶解性マンガン

政令 番号	分類	物質名称	単位	本調査	既往文献の 測定値
-	多環芳香族炭化水素 (PAHs)	アセナフチレン	μg/L	0.03~0.1	
-		アセナフテン	μg/L	0.02~0.05	
-		フルオレン	μg/L	0.04~0.223	
-		フェナントレン	μg/L	0.36~2.24	3.789
-		アントラセン	μg/L	0.03~0.17	0.237
-		フルオランテン	μg/L	0.38~2.24	4.970
-		ピレン	μg/L	0.51~3.3	4.982
-		ベンゾ(a)アントラセン	μg/L	0.02~0.17	0.830
-		クリセン	μg/L	0.09~0.54	2.014
-		ベンゾ(b)フルオランテン	μg/L	0.05~0.23	1.800
-		ベンゾ(k)フルオランテン	μg/L	0.06~0.45	0.872
-		ベンゾ(e)ピレン	μg/L	0.02~0.23	1.359
-		ベンゾ(a)ピレン	μg/L	<0.01	0.936
-		ジベンゾ(ah)アントラセン	μg/L	<0.01	0.139
-		ベンゾ(ghi)ペリレン	μg/L	0.13~0.95	1.153
-		インデノ(1,2,3-Cd)ピレン	μg/L	<0.01	0.644
-		ベンゾフェノン	μg/L	<0.01	
-		9-メチルフェナントレン	μg/L	0.022~0.13	
-		トリフェニレン	μg/L	0.009~0.058	
-		ベリレン	μg/L	0.1~0.24	0.324
-	ナフタレン	μg/L	0.07~0.23	0.1~0.2	
-	PAHs合計	μg/L	1.94~11.55	1.7~24.048	

※表中の黄色塗りの物質が検出された。

(3) 路面排水に含まれる亜鉛・鉛の調査……第4章参照

(2) の路面排水調査から検出された物質のうち、高濃度で検出された亜鉛、鉛を対象として、今後の対策の方向性を検討するための基礎データを得るため、実道路における路面排水の実態調査（①首都圏における広範囲にわたる亜鉛・鉛の分布調査、②年間を通じた亜鉛・鉛の調査、③道路条件の違いによる亜鉛・鉛の調査）を行った。

特に亜鉛濃度は、路面堆積物からの寄与が多く、自動車交通（交通量多、坂道区間）の影響が見られ、自動車タイヤが亜鉛の排出源の一つになっている可能性が考えられる。

①首都圏における広範囲にわたる亜鉛・鉛の分布調査結果

表 1.5 広範囲にわたる亜鉛・鉛の調査地点

No	流域	土地区分	国道	調査地点	路面清掃方法	交通量(台/日)		
						平日	休日	
1	多摩川	清掃工場近傍 (溶融スラグ施設有り)	区道	大田区	散水車による清掃	—	—	
2		清掃工場近傍 (溶融スラグ施設なし)	国道16号線	昭島市	ブラッシング清掃	40,079	40,858	
3	工業地帯	相模原市		46,315		44,960		
4	住宅地帯	相模原市		60,544		64,938		
5	帷子川	農地・緑地地帯		横浜市		64,128	56,599	
6				横浜市		127,620	111,452	
7				横浜市		161,278	136,175	
8				横浜市		32,783	32,706	
9	鶴見川	農地・緑地地帯		横浜市		真空吸引式道路 洗浄車による清掃	69,271	62,973
10				横浜市			58,215	57,343
11		住宅地帯		国道246号線			川崎市	49,759
12		工業地帯	国道1号線	川崎市	49,759		53,166	
13				横浜市	39,179		40,890	
14	住宅地帯	国道15号線	横浜市	真空吸引式道路 洗浄車による清掃	38,998	28,885		
15			横浜市		38,998	28,885		
16	多摩川	工業地帯	国道357号線	川崎市	—	—		
17	中川 綾瀬川	住宅地帯	国道6号線	葛飾区	ブラッシング清掃	59,871	50,316	
18			国道14号線	江戸川区		51,863	47,719	
19			国道6号線	葛飾区		66,273	59,530	
20	海老川	工業地帯	国道357号線	船橋市	真空吸引式道路 洗浄車による清掃	63,784	58,735	

表 1.6 亜鉛(Zn)、鉛(Pb)等の調査結果 (3回調査の平均値: mg/L)

地点番号	SS			Zn			Pb		
	路面	屋根	雨水	路面	屋根	雨水	路面	屋根	雨水
No. 1	44.4	17.7	7.3	0.127	0.079	0.196	0.012	0.024	0.015
No. 2	205.9	38.1	6.0	0.700	0.096	0.057	0.039	0.015	0.005
No. 3	99.4	20.1	6.3	1.816	0.064	0.041	0.022	0.008	0.004
No. 4	42.0	14.9	16.3	0.375	0.041	0.497	0.009	0.003	0.010
No. 5	39.5	28.0	6.5	0.359	0.173	0.074	0.072	0.006	0.060
No. 6	64.1	7.9	5.5	0.486	0.506	0.053	0.013	0.010	0.012
No. 7	128.7	5.9	16.7	0.383	0.038	0.059	0.028	0.002	0.005
No. 8	34.6	19.2	11.4	0.127	0.126	0.069	0.010	0.008	0.005
No. 9	143.3	22.8	7.0	0.382	0.191	0.044	0.014	0.012	0.005
No. 10	79.2	35.2	4.0	0.702	0.824	0.043	0.013	0.037	0.003
No. 11	123.5	26.2	4.4	0.428	0.240	0.312	0.018	0.014	0.004
No. 12	186.6	41.4	4.7	0.690	0.178	0.323	0.029	0.016	0.006
No. 13	32.6	20.9	8.1	0.167	0.544	0.033	0.008	0.007	0.003
No. 14	61.9	45.5	8.6	0.377	0.399	0.094	0.019	0.042	0.010
No. 15	62.1	47.0	14.7	0.498	0.975	0.117	0.026	0.028	0.005
No. 16	21.7	10.7	7.4	0.512	0.261	0.157	0.010	0.004	0.017
No. 17	248.5	23.4	6.3	1.148	0.108	0.357	0.062	0.010	0.029
No. 18	86.8	13.3	4.1	0.392	0.374	0.539	0.028	0.009	0.011
No. 19	27.8	38.3	2.4	0.251	0.304	0.070	0.006	0.012	0.003
No. 20	102.2	13.1	6.4	0.359	0.069	0.188	0.019	0.006	0.003
平均値	91.7	24.5	7.7	0.514	0.279	0.166	0.023	0.014	0.011

	排水基準
Zn濃度	2
Pb濃度	0.1

## ②年間を通じた亜鉛・鉛の調査

表 1.7 年間を通じた亜鉛・鉛調査の調査地点と周辺状況、交通量

地点名	道路名	流域	土地区分	平日交通量※ (台/日)	休日交通量※ (台/日)
No.3	国道16号	境川	工業地帯	50,103	48,657
No.18	国道14号	中川・綾瀬川	住宅地域	50,765	41,721

※出典：H17年度道路交通センサス

表 1.8 調査結果 (20回調査の最小・平均・最大値)

		SS (mg/L)			Zn (mg/L)			D-Zn (mg/L)			Pb (mg/L)		
		路面	屋根	雨水	路面	屋根	雨水	路面	屋根	雨水	路面	屋根	雨水
No.3 相模原市	最小値	4.9	1.5	1.0	0.500	0.018	0.010	0.285	0.016	0.009	0.001	0.001	0.001
	平均値	101.7	19.9	6.0	1.645	0.059	0.042	0.556	0.037	0.037	0.023	0.008	0.004
	最大値	508.5	61.9	32.9	7.356	0.120	0.098	1.050	0.082	0.079	0.146	0.025	0.009
No.18 江戸川区	最小値	4.8	1.0	1.0	0.066	0.109	0.161	0.036	0.084	0.066	0.001	0.001	0.002
	平均値	76.6	12.1	4.2	0.327	0.348	0.583	0.065	0.296	0.565	0.024	0.007	0.012
	最大値	217.9	42.5	24.8	0.810	0.685	1.300	0.099	0.564	1.300	0.057	0.017	0.028

Zn 排水基準濃度：2 mg/L

2以上

Pb 排水基準濃度：0.1mg/L

0.1以上

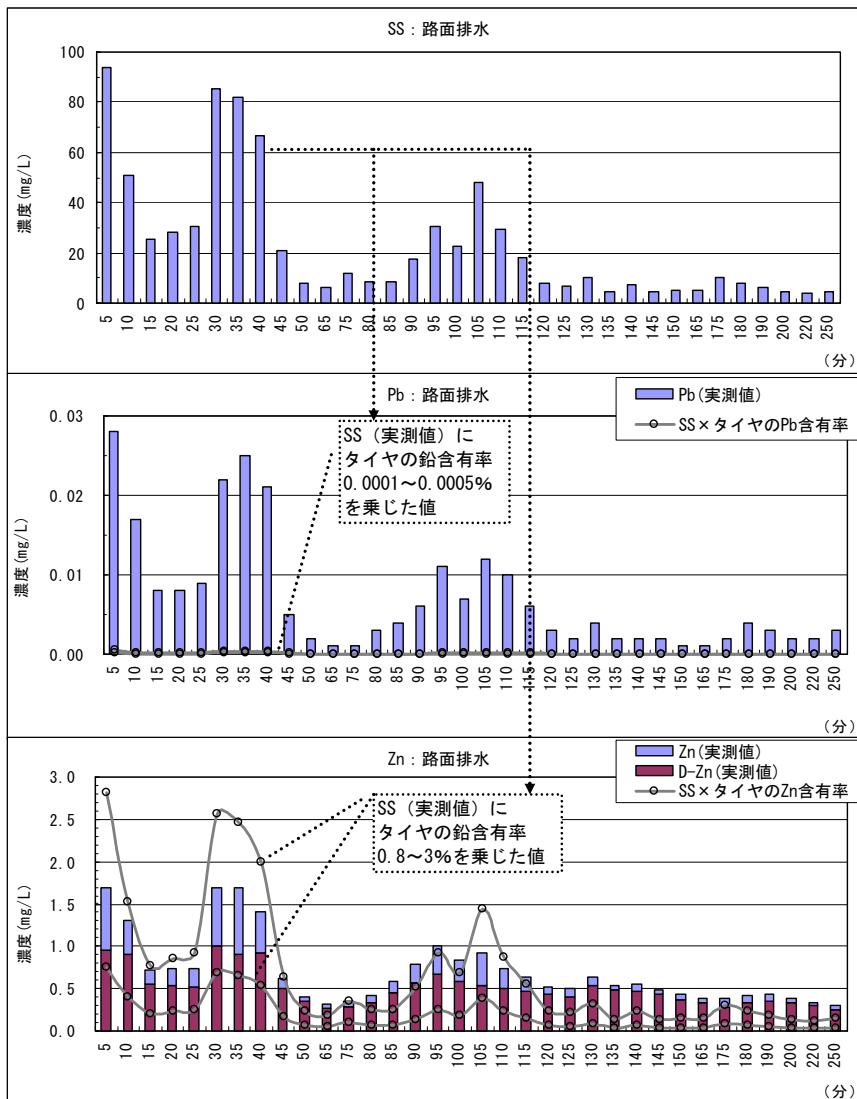


図 1.2 No.3 地点 詳細調査 (1回目)

### ③道路条件の違いによる亜鉛・鉛の調査

#### 地区1【No.3地点】

交通量及び大型車混入率	地 点	道路条件	平日交通量 (台・日)	休日交通量 (台・日)	12時間大型車混入率
多い	①No.3 国道16号高架下	下り坂の地点	50,103	48,657	31.4%
多い	②No.3 国道16号JR高架下	平坦な地点			
少ない	③No.3 一般道	平坦な地点	400	—	12.2%

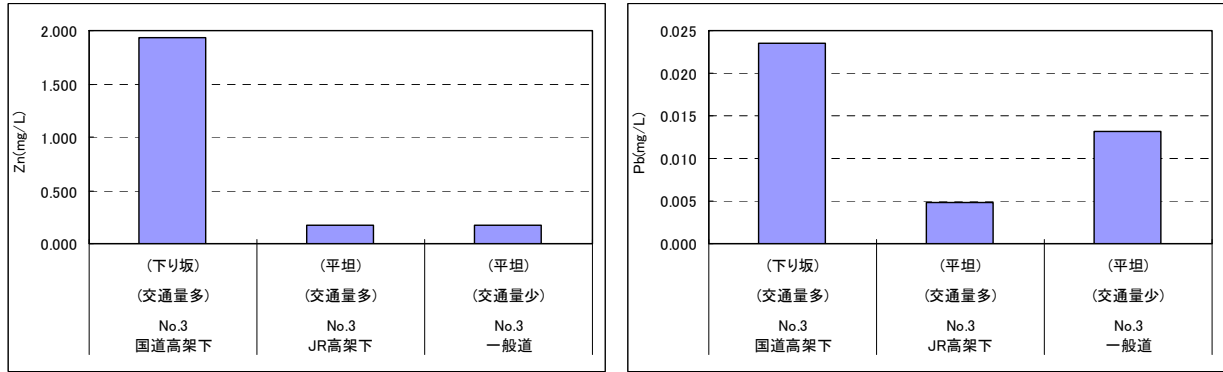


図 1.3 No. 3 地区の路面排水に含まれる亜鉛・鉛濃度の比較

#### 地区2【No.18地点】

交通量及び大型車混入率	地 点	道路条件	平日交通量 (台・日)	休日交通量 (台・日)	12時間大型車混入率
多い	①No.18 国道14号橋左岸	上り坂の地点	50,765	41,721	19.4%
多い	②No.18 国道14号高架下	平坦な地点			
少ない	③No.18 一般道	平坦な地点	201	—	0%

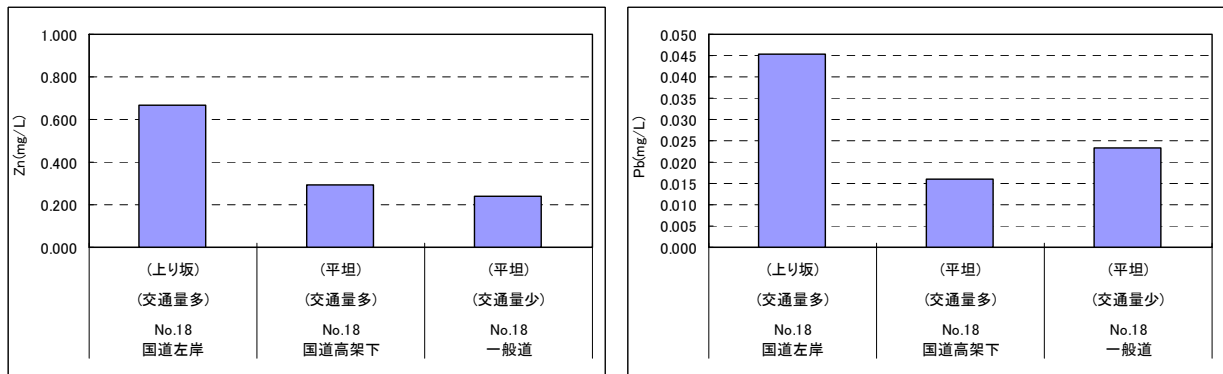


図 1.4 No. 18 地区の路面排水に含まれる亜鉛・鉛濃度の比較

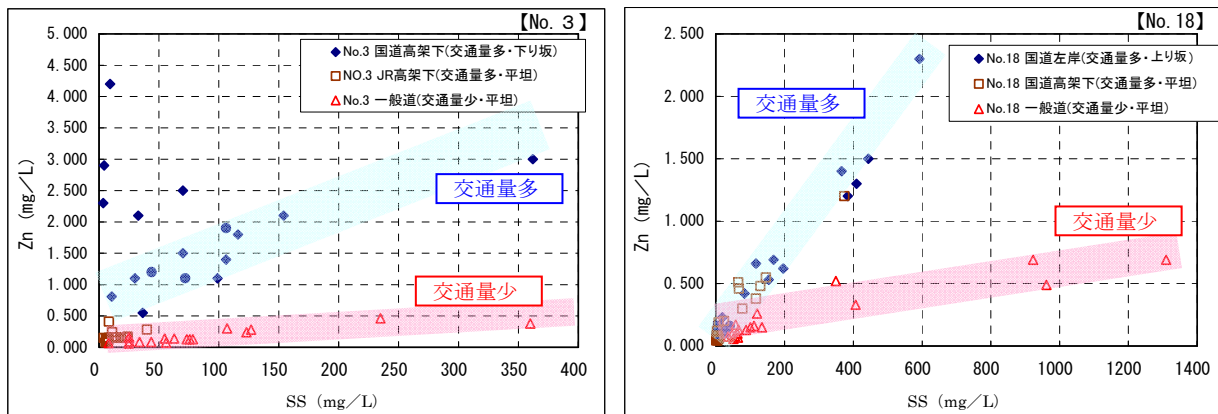


図 1.5 路面排水のSSと亜鉛の関係図





現地は下り坂の急ブレーキ区間で、路面には多数のブレーキ痕が見られた



自動車用ラジアルタイヤを磨耗した粉

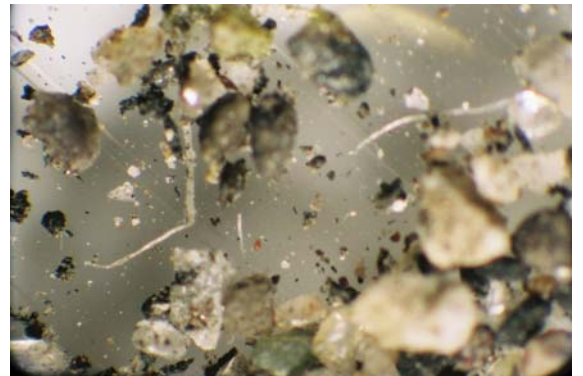
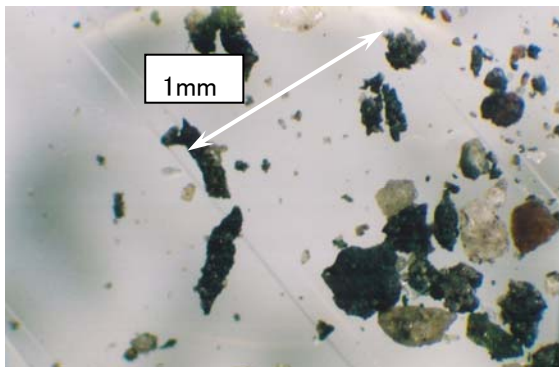


写真 1.1 No. 3 地点付近 道路側溝泥の検鏡写真

### ※亜鉛の人体等への影響について

亜鉛は生体では鉄の次に多い必須元素である。生体に亜鉛が欠乏した場合の障害の主なものとしては、味覚障害、成長の阻害、生殖機能の障害、うつ状態と食欲不振、易感染症の増大などがある。最近では亜鉛のサプリメントも他種販売されている。

生体に有効ないかなる栄養素、薬物といえども、それが過剰に摂取されれば有害となるが、亜鉛の毒性は極めて低く、平常の摂取量と、何らかの有害な作用を示すような摂取量との間には広い幅がある。人体への影響については、経口中毒として、亜鉛の塩類は消化器等の粘膜を刺激して、大量摂取すると致命的な虚脱を招くことがある。経口致死量は硫酸亜鉛として摂取した場合、**5～15g**とされている。吸入中毒として、産業現場では酸化亜鉛の吸入によって発熱症状を招くことがある。

亜鉛による水生生物への影響については、魚介類では淡水のイワナ類やニジマス、海域のウニ類などに、また餌生物では淡水の緑藻類やミジンコ類、海域のハプト藻などに毒性があるという知見が得られており、これをもとに環境基準、排水基準が定められている。

### ※鉛の人体等への影響について

鉛は食物にもごく微量が含まれており、日常的に摂取されている。そのような自然由来の鉛では急性の中毒症状を起こす量を摂取することはないが、鉛に汚染された食品を摂取しつづけた場合は体内に蓄積され健康に影響を及ぼす。また、鉛の有機化合物（テトラエチル鉛等）は細胞膜を通して摂取されるため容易に中毒症状を起こす。急性中毒では嘔吐、腹痛、ショックなどを示し、慢性中毒では主に消化器症状、神経症状、一部では貧血が認められる。



(4) 亜鉛の排出源の検討・・・第5章参照

高濃度で検出された亜鉛について、排出源の検討を行った。

タイヤ、亜鉛メッキ（標識、ガードレール等に使用）については、亜鉛の同位体分析を行い、路面堆積物の同位体比と比較を行った。また、亜鉛の含有の可能性のある道路製品（道路標識柱、路面標示材、ガードレール、路面配水管）について曝露試験を行った。

亜鉛メッキが施されている鋼製品は、亜鉛メッキが露出している場合は、雨水との接触により亜鉛の溶出があるが、発生源として影響が大きいのは自動車タイヤからの排出であると考察された。

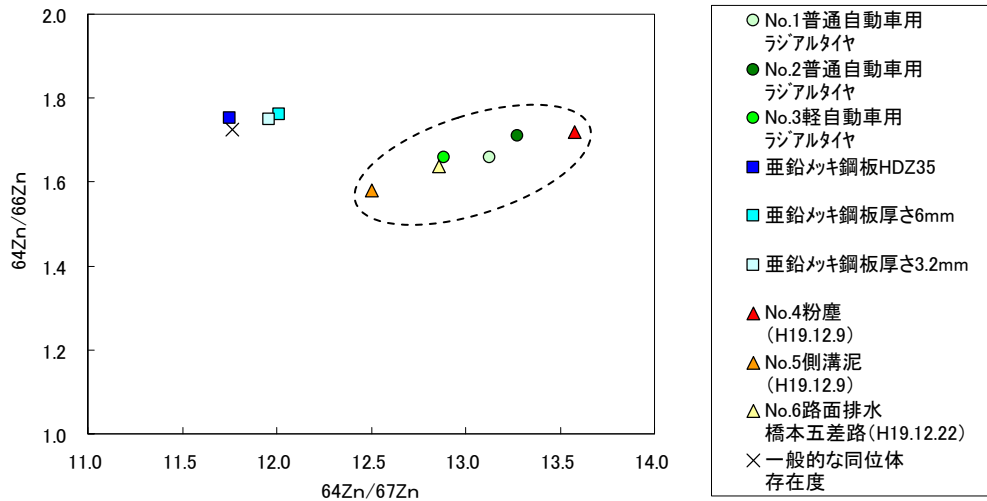


図 1.6 各試料の 64Zn/67Zn と 64Zn/66Zn の関係

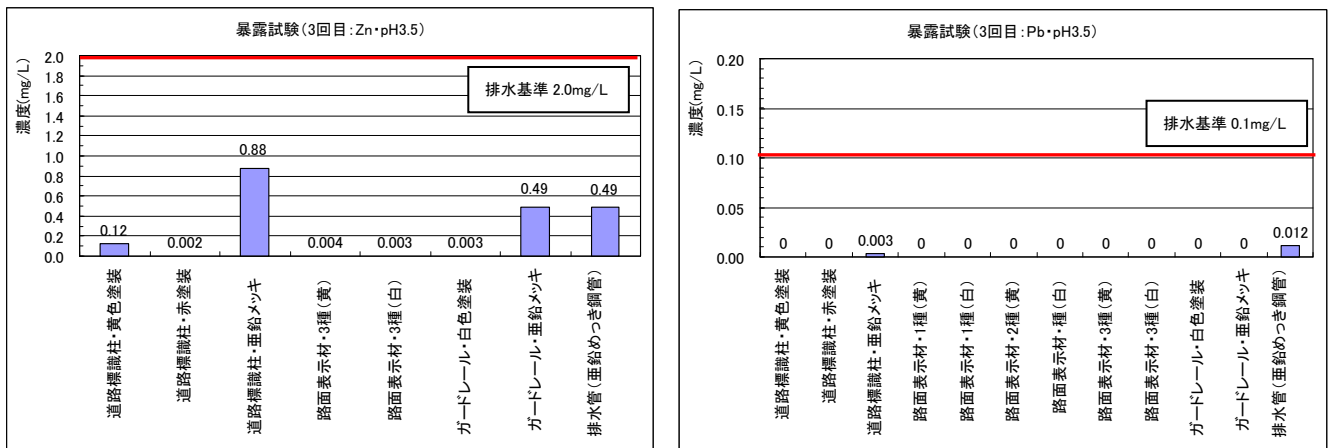


図 1.7 道路製品の曝露試験結果 (左；亜鉛、右；鉛)

(5) 対策の方向性に関する検討……第6章参照

亜鉛や鉛が路面排水として公共用水域に排出されるのを防ぐためには、路面上の粒子状物質を効率的に回収することが有効と考えられる。一般に大規模な国道において、実施されている真空吸引式清掃車による路上の粉塵回収による清掃は有効な方法と考えられる。

路面清掃が水質に与える影響・効果を把握するため、路面清掃の対策効果に関する調査を実施した。人工降雨による路面排水の路面清掃前後の濃度を測定した結果、路面清掃後のSS、亜鉛、鉛の路面排水濃度が大きく低減し、環境負荷低減に有効な方法であると考えられた。

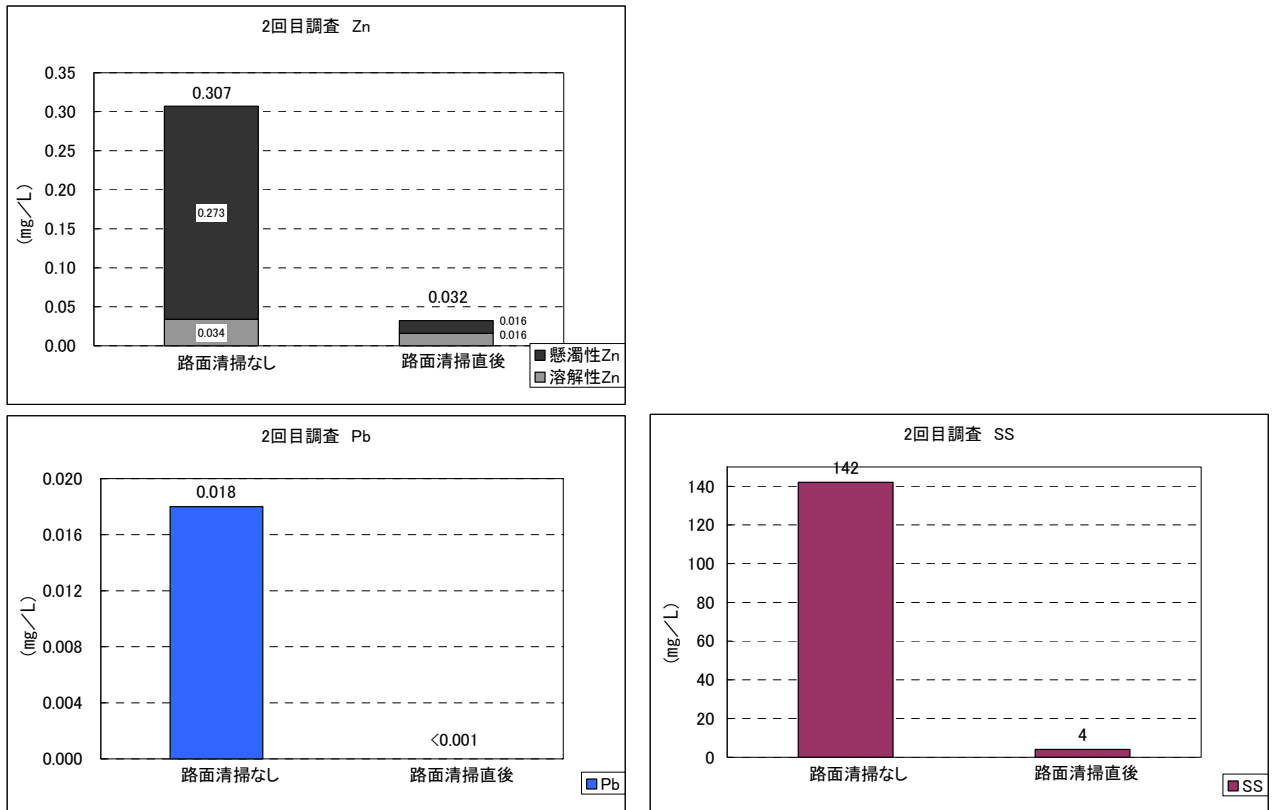


図 1.8 路面清掃前後の路面排水濃度の変化



写真 1.2 人工降雨装置

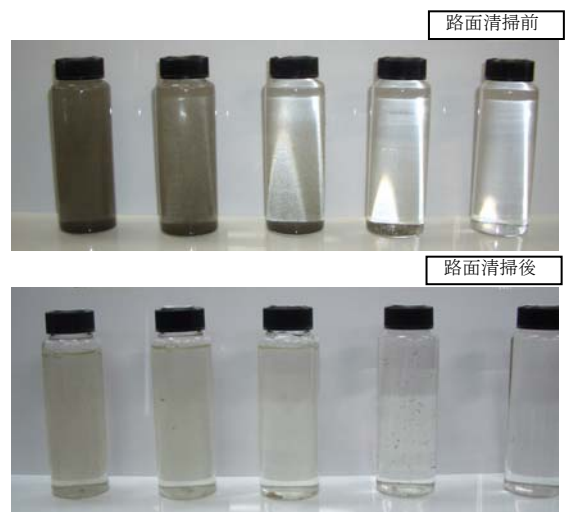


写真 1.3 路面排水