

## 第5章 亜鉛の排出源の検討

本章では前章までの路面排水の実態調査において、一部の地点において高濃度で検出された亜鉛について、その排出源の検討を行った。

### 1. 亜鉛の主な排出源の推定

第3章でとりまとめた路面排水に関わる製品の含有成分からみると、亜鉛が排出される可能性のある製品は以下のとおりである。

表 5.1 亜鉛が排出される可能性のある製品

製 品	使 用 内 容
自動車タイヤ	ゴムの弾性を与えるための加硫促進助剤として、酸化亜鉛（亜鉛華）が一般的に使用される。
ガードレール 道路標識柱	鋼製品の腐食防止のため亜鉛メッキが一般的に施される。亜鉛メッキの表面に更に塗装がなされる場合もあるが、メッキ面が露出している製品も多数存在する。
排水管	

タイヤリサイクルハンドブック（JATMA(社)日本自動車タイヤ協会）によると、タイヤには酸化亜鉛が0.5～4%の割合で含まれるとされており（表 5.2）、亜鉛含有量に換算すると0.8～3%程度であり、比較的含有量が多い。

表 5.2 タイヤ種別と亜鉛含有量

(%)

	T B バイアス	T B ラジアル	P C バイアス	P C ラジアル	軽トラック用 ラジアルタイヤ	軽乗用車用 ラジアル
ゴム	40～55	40～50	30～55	30～55	40～50	35～55
カーボン	15～30	15～30	20～35	20～30	22～30	20～30
硫黄	0.5～1.5	0.5～1.5	0.5～1.5	0.5～3	0.5～1.5	1～3
軟化剤（石油系材料等）	2～10	1～5	7～20	3～12	2～11	2～12
酸化亜鉛	1～2.5	0.5～2.6	1～1.5	1～4	1～2	1～4
加硫助剤 その他	2～13	3～10	2～8	1～7	1～7	1～7
繊維（ナイロン <sup>®</sup> リエステル）	7～15	0～4	5～18	2～10	2～10	2～8
スチール	3～10	15～40	2～10	5～16	5～17	5～16

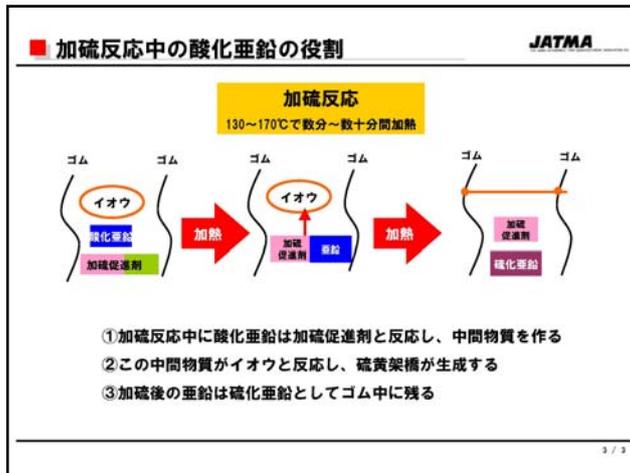
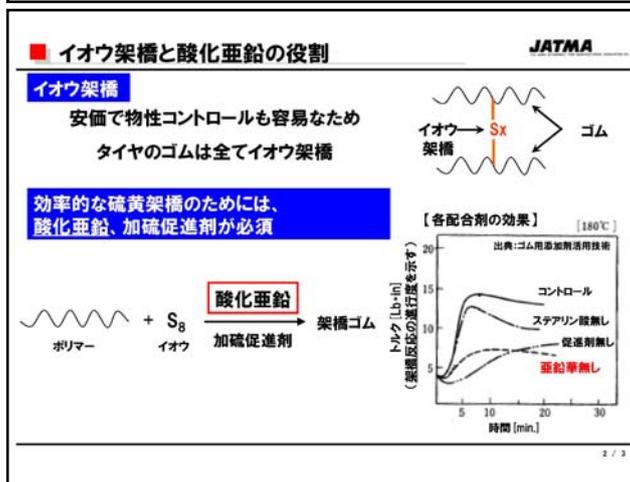
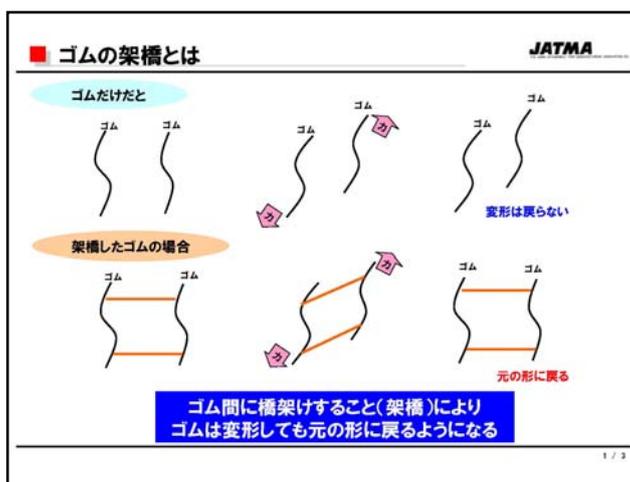
	二輪自動車用	スクーター用	ノーパンク タイヤ	建設車両タイヤ		フラップ
				バイアス	ラジアル	
ゴム	30～50	30～55	45～60	40～55	40～55	35～55
カーボン	25～35	25～35	10～30	20～30	20～30	20～35
硫黄	0.5～1.5	0.5～1.5	0.5～2	0.5～2	0.5～2	0.5～1
軟化剤（石油系材料等）	7～22	6～22	3～10	2～20	0～10	8～24
酸化亜鉛	1～2	0.5～1.5	1～2.5	1～3	1～3	1～2
加硫助剤 その他	1～5	1.5～5	1～25	2～16	2～16	1～15
繊維（ナイロン <sup>®</sup> リエステル）	5～11	3～10	0～15	5～25	0～20	0～2
スチール	3～12	2～6	3～10	0～5	0～30	0

本調査においてもタイヤ6種について亜鉛の含有量を調査したが、7,800~19,100mg/kg-DSの範囲であり、タイヤリサイクルハンドブックに示されている亜鉛含有量の範囲であった。

表 5.3 タイヤ中の亜鉛含有量の調査結果

タイヤ	亜鉛含有量 (mg/kg-DS)	タイヤ	亜鉛含有量 (mg/kg-DS)
A	7,800 (0.78%)	D	13,400 (1.34%)
B	8,400 (0.84%)	E	10,900 (1.09%)
C	11,000 (1.1%)	F	19,100 (1.91%)

自動車タイヤ製造工程で使用される亜鉛の役割 ((社)日本自動車タイヤ協会資料より)



また、ガードレールや道路標識の塗料関連会社からのヒアリングによると、下表にあらわすような亜鉛含有量が報告されている。

表 5.4 道路施設の亜鉛含有量

種 類		亜鉛含有量	備 考
ガードレール	塗装なし	550g/m <sup>2</sup>	亜鉛メッキ
	塗装あり	275g/m <sup>2</sup>	亜鉛メッキ
道路標識柱	塗装なし	550g/m <sup>2</sup>	両面、亜鉛メッキ
	塗装あり	275g/m <sup>2</sup>	亜鉛メッキ

路面排水中の亜鉛は上記の製品から排出されるものと推定されるが、実製品からの排出可能性を確認するために、以下の調査を行った。

**①タイヤ**

路面試料とタイヤの同位体比による亜鉛の発生源の特定

**②路面標示材、道路標識、ガードレール、排水管**

上記、道路施設からの酸性雨による亜鉛の溶出特性

## 2. 同位体分析による亜鉛の排出源の検討

亜鉛の排出源を検討するにあたって、タイヤには亜鉛が含まれていることから、下表に示すタイヤや路面粉塵、路面試料について亜鉛の同位体分析を行い、タイヤが路面排水に及ぼす影響を検討した。

表 5.5 検討対象試料

種別		
タイヤ	乗用車用ラジアルタイヤ	①A社
	乗用車用ラジアルタイヤ	②B社
	軽乗用車用ラジアルタイヤ	③B社
路面試料	橋本付近 粉塵 (平成 19 年 12 月 9 日)	
	橋本付近 側溝泥 (平成 19 年 12 月 9 日)	
	橋本付近 路面排水 (平成 19 年 12 月 22 日)	

同位体の存在比をもとに、自動車交通に起因する鉛の発生源の同定が行われた事例<sup>1)</sup>があることから、本調査では路面試料とタイヤの亜鉛同位対比を比較し、その発生源を検討した。

### (1) 亜鉛の同位体分析について

#### 1) 分析方法

水・ガス・岩石・鉱物に含有する水素・炭素・酸素・硫黄の安定同位体比を測定する事により、物質の起源や元素の挙動などの重要な情報が得られることが知られている。

ここでは、路面排水中の亜鉛の排出源を検討するための基礎資料として、タイヤおよび路面粉塵、側溝泥、路面排水中の亜鉛の同位体比を分析することとした。

分析方法については、文献<sup>2),3)</sup>によれば、一般的に金属の同位体比測定は、表面電離型質量分析計 (TIMS) で行われていた。しかし、亜鉛のようにイオン化ポテンシャルが高い元素については、表面電離型質量分析計では測定を行うことが困難であった。そこで、イオン化ポテンシャルにかかわらず、高イオン化効率を実現できる高周波誘導結合プラズマ質量分析計 (Inductively coupled Plasma Mass Spectrometry : ICP/MS) で測定を行う方法が検討されている。また、一般に多く用いられている質量分離部が四重極型の ICP/MS 装置で測定されたデータについても、繰り返し測定の標準偏差は小さく、安定して測定できる結果が得られている<sup>2),3)</sup>。

本調査では、これらの資料を参考とし、四重極型 ICP/MS を用いて亜鉛同位体比の分析を行うこととした。四重極型 ICP/MS の装置構成の概略図を図-5.1 に示す。

---

#### 参考文献

- 1) 新矢将尚、船坂邦弘、加田平賢史、松井三郎：自動車交通に起因する鉛の発生源の同定，水環境学会誌 Vol. 29, No. 11 (2006)
- 2) 野村雅夫、神崎千夏、鈴木達也、藤井康彦：質量分析計による亜鉛精密同位体分析－表面電離法と ICP 法の比較－，(社)日本原子力学会「2003 年春の年会」，p. 729 (2003 年)
- 3) 野村雅夫、鈴木達也、相田昌男、藤井康彦：四重極型 ICP 質量分析計による亜鉛精密同位体分析，(社)日本原子力学会「2004 年春の年会」，p. 731 (2004 年)

ICP/MS 法は、プラズマ (ICP) をイオン化源として試料を高温でイオン化し、発光した光とイオンを分離して、イオンのみを質量ごとに分けて検出する分析方法である。イオンを質量ごとに検出できるので、亜鉛の同位体である、 $^{64}\text{Zn}$ 、 $^{66}\text{Zn}$ 、 $^{67}\text{Zn}$ 、 $^{68}\text{Zn}$  がそれぞれに測定可能となる。

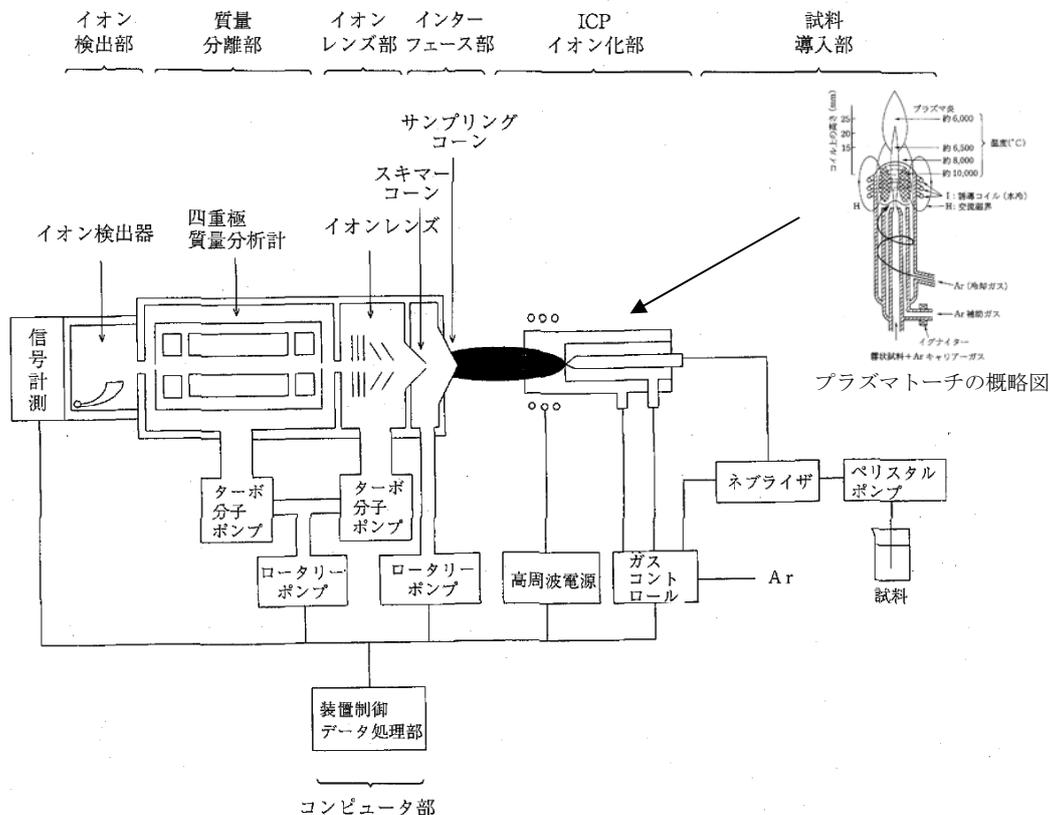


図 5.1 四重極型 ICP/MS 分析装置の概略図<sup>4)</sup>

実試料の測定条件については文献<sup>2),3)</sup>を参考に以下のように設定した。

a. 分析装置

ICP/MS 質量分析装置

サーモフィッシャーサイエンティフィック社製 X-7 四重極型質量分析計

測定質量数範囲 2~255 (m/z)

コリジョンセル方式 (スペクトル干渉の低減を図る方法として採用)

b. 測定 m/z = Zn-64, 66, 67, 68

スキャン 200 回 × 5 回 (n=5) の平均値を 1 回の測定とする。

c. 亜鉛同位体標準物質

- CILZinc-64oxideEnrichment98+
- CILZinc-66MetalEnrichment98+
- CILZinc-67MetalEnrichment94+
- CIL-Zinc-68MetalEnrichment98+

参考文献

4) 社団法人 日本水道協会：上水試験方法 解説編，2001 年

## 2) 前処理方法

試料の形態は、固形物であることから、マイクロウェーブ分解法によって分解することとし、分解条件を以下に示す。

- a. マイクロウェーブ分解装置—マイルストーンゼネラル株式会社製 ETHOS1
- b. 分解分類 完全分解（完全溶解）
- c. 使用酸類
  - ア. 硝酸（60%） 7mL
  - イ. 過酸化水素（30%） 1mL
  - ウ. ふっ化水素酸（50%） 3mL
- d. 試料量 0.1g
- e. 分解温度・時間

Step	Time	Power	Temp
1	00:02:00	1000Watt	50°C
2	00:03:00	0Watt	30°C
3	00:25:00	1000Watt	220°C
4	00:01:00	0Watt	190°C
5	00:04:00	1000Watt	220°C
6	00:10:00	1000Watt	220°C

## (2) 同位体分析による亜鉛の排出源の検討

タイヤ 3 種、溶融亜鉛メッキ板 3 種、粉じん、側溝泥、路面排水の 6 検体を測定した結果、及び参考までに亜鉛同位体の存在度について表 5.6 に示す。

表 5.6 各試料の亜鉛の同位体元素別の濃度

同位体元素	No.1普通自動車用 ラジアルタイヤ	No.2普通自動車用 ラジアルタイヤ	No.3軽自動車用 ラジアルタイヤ	溶融亜鉛 メッキ板	溶融亜鉛 メッキ板	溶融亜鉛 メッキ板	No.4粉塵 (H19.12.9)	No.5側溝泥 (H19.12.9)	No.6路面排水 橋本五差路 (H19.12.22)	同位体 存在度*
	A社	B社	B社	厚さ3.2mm	厚さ6mm	厚さ3.2mm				
	濃度mg/kg	濃度mg/kg	濃度mg/kg	濃度mg/kg	濃度mg/kg	濃度mg/kg				
<sup>64</sup> Zn	6,300	7,700	5,800	496,000	215,000	287,000	1,100	1,500	1,800	48.268
<sup>66</sup> Zn	3,800	4,500	3,500	283,000	122,000	164,000	640	950	1,100	27.975
<sup>67</sup> Zn	480	580	450	42,200	17,900	24,000	81	120	140	4.102
<sup>68</sup> Zn	2,500	3,100	2,300	191,000	82,200	111,000	430	640	770	19.024

\*: 出典：丸善株式会社：理化年表, 平成 20 年

これらの起源を調べるにあたり、鉛について同位体比の検討を行なった事例<sup>1)</sup>があり、この例を参考に各試料の起源を比較した。

上記結果に基づいて同位体比を算出すると表 5.7 のようになる。

表 5.7 各試料の亜鉛の同位体比

同位体比	No.1普通自動車用 ラジアルタイヤ	No.2普通自動車用 ラジアルタイヤ	No.3軽自動車用 ラジアルタイヤ	溶融亜鉛 メッキ板	溶融亜鉛 メッキ板	溶融亜鉛 メッキ板	No.4粉塵 (H19.12.9)	No.5側溝泥 (H19.12.9)	No.6路面排水 橋本五差路 (H19.12.22)	同位体 存在度*
	A社	B社	B社	厚さ3.2mm	厚さ6mm	厚さ3.2mm				
$^{64}\text{Zn}/^{68}\text{Zn}$	2.5200	2.4839	2.5217	2.5969	2.6156	2.5856	2.5581	2.3438	2.3377	2.5372
$^{64}\text{Zn}/^{67}\text{Zn}$	13.1250	13.2759	12.8889	11.7536	12.0112	11.9583	13.5802	12.5000	12.8571	11.7669
$^{64}\text{Zn}/^{66}\text{Zn}$	1.6579	1.7111	1.6571	1.7527	1.7623	1.7500	1.7188	1.5789	1.6364	1.7254
$^{66}\text{Zn}/^{68}\text{Zn}$	1.5200	1.4516	1.5217	1.4817	1.4842	1.4775	1.4884	1.4844	1.4286	1.4705
$^{66}\text{Zn}/^{67}\text{Zn}$	7.9167	7.7586	7.7778	6.7062	6.8156	6.8333	7.9012	7.9167	7.8571	6.8198
$^{67}\text{Zn}/^{68}\text{Zn}$	0.1920	0.1871	0.1957	0.2209	0.2178	0.2162	0.1884	0.1875	0.1818	0.2156

更に、タイヤ3種、粉じん、側溝泥、路面排水の同位体比毎の相関関係を表 5.8 に示した。

表 5.8 同位体比毎の相関係数

	$^{64}\text{Zn}/^{68}\text{Zn}$	$^{64}\text{Zn}/^{67}\text{Zn}$	$^{64}\text{Zn}/^{66}\text{Zn}$	$^{66}\text{Zn}/^{68}\text{Zn}$	$^{66}\text{Zn}/^{67}\text{Zn}$	$^{67}\text{Zn}/^{68}\text{Zn}$
$^{64}\text{Zn}/^{68}\text{Zn}$	1					
$^{64}\text{Zn}/^{67}\text{Zn}$	-0.325362	1				
$^{64}\text{Zn}/^{66}\text{Zn}$	0.882114	-0.378614	1			
$^{66}\text{Zn}/^{68}\text{Zn}$	0.439680	0.033578	-0.035158	1		
$^{66}\text{Zn}/^{67}\text{Zn}$	-0.681138	0.875221	-0.779048	0.041594	1	
$^{67}\text{Zn}/^{68}\text{Zn}$	0.772868	-0.851176	0.750793	0.206836	-0.968780	1

同位対比の相関関係を見ると、亜鉛メッキ鋼板と一般的な同位体の存在度は、他の試料と異なる傾向が見られた。例として、 $^{64}\text{Zn}/^{67}\text{Zn}$  と  $^{64}\text{Zn}/^{66}\text{Zn}$  及び  $^{66}\text{Zn}/^{68}\text{Zn}$  と  $^{67}\text{Zn}/^{68}\text{Zn}$  の関係をグラフに示すと、図 5.2 及び図 5.3 のようになる。

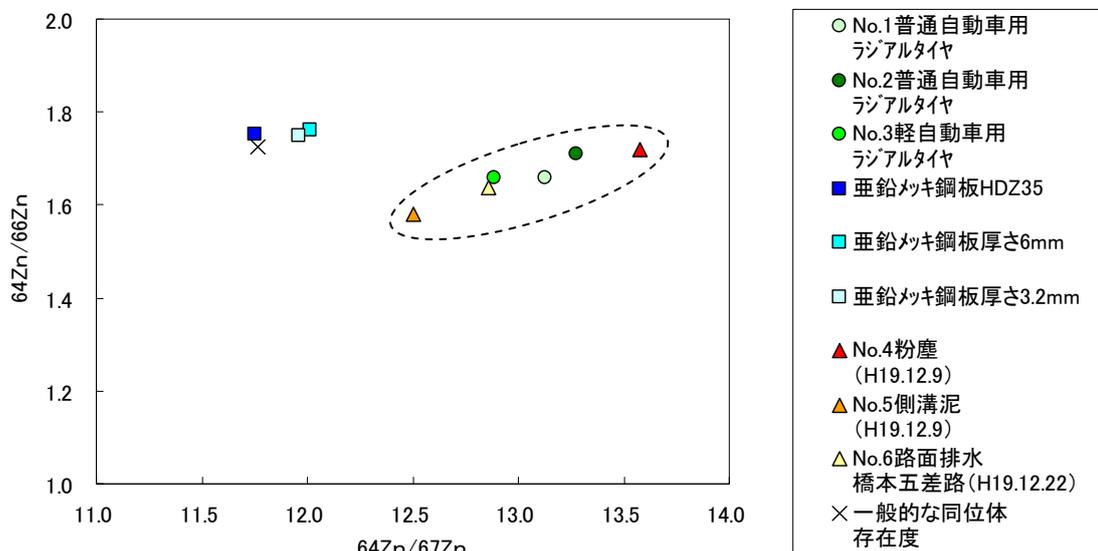


図 5.2 各試料の  $^{64}\text{Zn}/^{67}\text{Zn}$  と  $^{64}\text{Zn}/^{66}\text{Zn}$  の関係

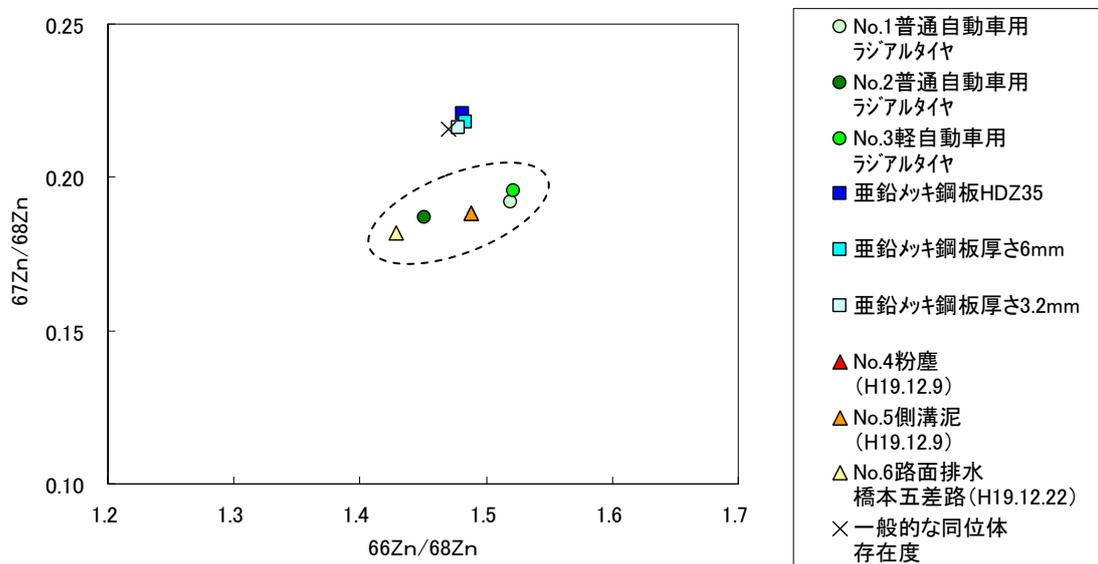


図 5.3 各試料の  $^{66}\text{Zn}/^{68}\text{Zn}$  と  $^{67}\text{Zn}/^{68}\text{Zn}$  の関係

個別の試料に含まれている亜鉛の起源が同一であれば、同じ同位体組成を持つので、その相関はほぼ同じ位置にプロットされることが予想される。

今回の調査結果では、試料間のプロット位置はややばらついているが、今回測定したタイヤと路面試料の同位体比と、図 5.2、図 5.3で示した一般的に言われる亜鉛同位体存在度を用いた同位体比とは異なる傾向が見られるた。また、タイヤと路面試料の同位体比はやや類似していることに対して亜鉛メッキと路面試料の同位体比とは異なる傾向が見られることが示された。調査回数が少ないこともあり、同一試料間のばらつきなどは考慮できないが、路面試料中の亜鉛の起源のひとつとしてタイヤの可能性が推定された。

### 3. 道路製品を用いた曝露試験による亜鉛の排出源の検討

ガードレール、路面表示材、路面配水管、道路標識柱等の亜鉛および鉛の含有の可能性のある道路施設について、調査地点に使用されている施設と同等のものを入手し、成分検査（曝露試験）を行った。項目は亜鉛・溶解性亜鉛および鉛である。

#### (1) 曝露試験の条件設定

##### 1) 試料の入手

製品サンプルはメーカー等にヒアリングし、実道路で一般的に使用されている以下の製品を入手した。各々のサンプルの写真を次頁に添付した。

表 5.9 入手した製品サンプル

製品種別	サンプル	亜鉛・鉛の含有について	備考
		(ヒアリング結果)	
道路標識柱	表面塗装あり(黄)	母材の鋼材表面に亜鉛メッキ、その上に黄塗装。	
	表面塗装あり(赤)	母材の鋼材表面に亜鉛メッキ、その上に赤塗装。	
	表面塗装なし	鋼材表面に亜鉛メッキ。	
路面表示材	1種(黄)	黄鉛を含有。	塗布されている鋼板に亜鉛が用いられているため、亜鉛の分析は行わない。
	1種(白)	近年、亜鉛は使用されていない。	
	2種(黄)	黄鉛を含有。	
	2種(白)	近年、亜鉛は使用されていない。	
	3種(黄)	黄鉛を含有。	
	3種(白)	近年、亜鉛は使用されていない。	
ガードレール	表面塗装あり(白)	母材の鋼材表面に亜鉛メッキ、その上に白塗装。一般道で使用されることが多い。	
	表面塗装なし	鋼材表面に亜鉛メッキ。高速道路で多く使用。	
路面排水管	亜鉛メッキ鋼管(SGP)	鋼材表面に亜鉛メッキ。	



図 5.4 道路標識柱

(左 ; 赤塗装、中央 ; 亜鉛メッキ、右 ; 黄塗装)

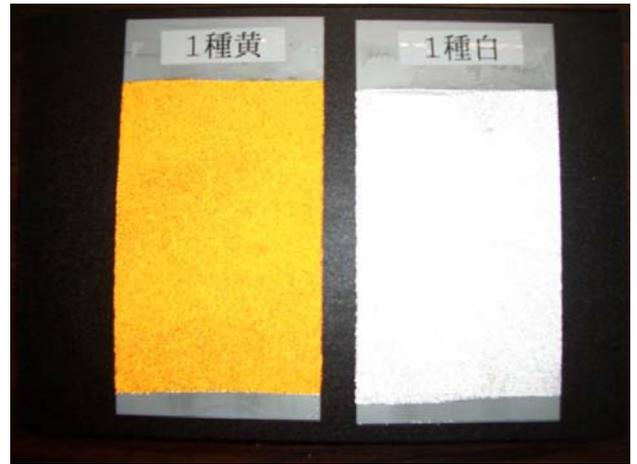


図 5.5 ガードレール

(左 ; 亜鉛メッキ、右 ; 白塗装)

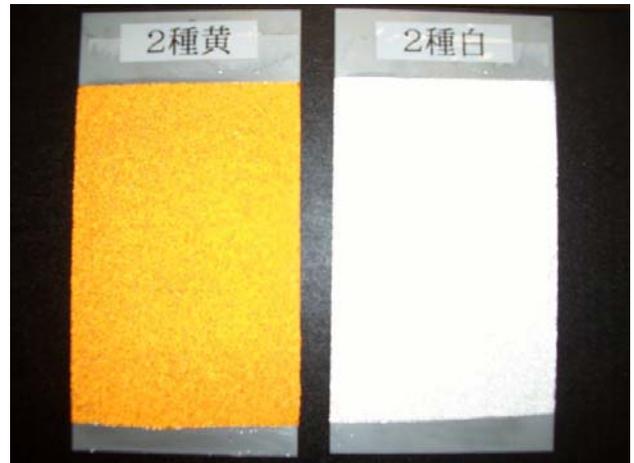


図 5.6 排水管 (亜鉛メッキ)



図 5.7 路面標示材塗布サンプル  
(上 ; 1種、中 ; 2種、下 ; 3種)

## 2) 予備試験

事前にガードレール(表面塗装無し)のサンプルを用いて予備試験を実施した(浸漬水のpH3.5に調整)。その結果、浸漬後5分の亜鉛濃度が0.25mg/Lとなった(現地調査で多く検出されたオーダー)。その後も浸漬時間に応じて、直線的に濃度増加が認められたが、本試験では雨水と製品との接触時間は5分程度と想定し、試験条件とした。

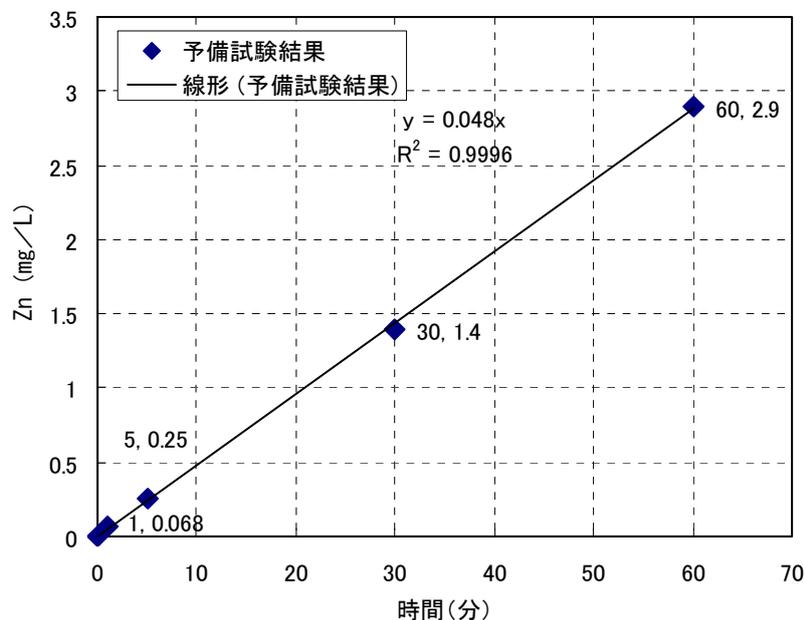


図 5.8 ガードレールサンプル(亜鉛メッキ、表面塗装無し)を用いた予備試験結果

表 5.10 雨水の pH 測定値 (H17 年度)

調査期間：平成17年10月29日～平成18年2月24日

No.	地点	1 回目	2 回目	3 回目	最小値	最大値	平均値
	地点名						
1	大田区	4.61	4.76	7.72	4.61	7.72	5.70
2	昭島市	3.47	4.08	4.85	3.47	4.85	4.13
3	相模原市	3.60	5.13	3.30	3.30	5.13	4.01
4	相模原市	7.60	7.70	7.40	7.40	7.70	7.57
5	横浜市	4.62	4.06	4.68	4.06	4.68	4.45
6	横浜市	4.28	3.88	4.80	3.88	4.80	4.32
7	横浜市	5.47	4.36	4.42	4.36	5.47	4.75
8	横浜市	8.20	7.20	7.90	7.20	8.20	7.77
9	横浜市	4.28	6.22	4.08	4.08	6.22	4.86
10	横浜市	4.00	6.24	4.51	4.00	6.24	4.92
11	川崎市	4.94	5.18	4.57	4.57	5.18	4.90
12	川崎市	7.42	5.41	4.84	4.84	7.42	5.89
13	横浜市	4.70	4.94	6.36	4.70	6.36	5.33
14	横浜市	4.45	5.01	7.93	4.45	7.93	5.80
15	横浜市	5.30	6.60	7.30	5.30	7.30	6.40
16	川崎市	4.15	7.05	4.56	4.15	7.05	5.25
17	葛飾区	6.30	4.70	4.38	4.38	6.30	5.13
18	江戸川区	7.47	6.58	4.78	4.78	7.47	6.28
19	葛飾区	4.94	4.36	4.23	4.23	4.94	4.51
20	船橋市	7.19	6.45	5.52	5.52	7.19	6.39
					3.30	8.20	5.42

## (2) 曝露試験結果

ガードレール（1種類）、路面表示材（2種類）、路面排水管（1種類）道路標識柱（2種類）の亜鉛および鉛の含有の可能性のある道路施設について、調査地点に使用されている施設と同等のものを入手し、成分検査（曝露試験）を行った。

結果の概要は、下記の通りである。

### 1) pH3.5 の場合

Pbについては、排水管（亜鉛メッキ鋼管）から0.012~0.085mg/Lであった。その他の製品からは、ほぼ鉛は検出されなかった。

亜鉛については道路標識柱、ガードレール、排水管とも亜鉛メッキ（表面塗装無し）から検出された。

### 2) pH7.0 の場合

鉛は、排水管から0.002mg/Lの濃度で検出されたが、他の製品からは検出されなかった。また、pH3.5と比較した場合、その濃度は1/10程度である。

亜鉛は、全ての製品から検出された。

亜鉛について、pH3.5の場合と比較すると1/5程度の濃度となっており、pHが低いほど溶出しやすくなる傾向がある。

表 5.11 曝露試験結果

試験pH	道路施設製品	Pb			Zn <sup>**</sup>			D-Zn <sup>**</sup>		
		1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目
pH3.5	道路標識柱・黄色塗装	<0.001	<0.001	<0.001	0.090	0.091	0.120	0.089	—	—
	道路標識柱・赤塗装	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	0.003	0.002	0.003	—	—
	道路標識柱・亜鉛メッキ	0.002	<0.001	0.003	0.850	0.560	0.880	0.810	—	—
	路面表示材・1種（黄）	—	<0.001	<0.001	—	—	—	—	—	—
	路面表示材・1種（白）	—	<0.001	<0.001	—	—	—	—	—	—
	路面表示材・2種（黄）	—	<0.001	<0.001	—	—	—	—	—	—
	路面表示材・2種（白）	—	<0.001	<0.001	—	—	—	—	—	—
	路面表示材・3種（黄）	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.004	0.004	<0.001	—	—
	路面表示材・3種（白）	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	0.003	<0.001	—	—
	ガードレール・白色塗装	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.002	0.003	<0.001	—	—
	ガードレール・亜鉛メッキ	<0.001	<0.001	<0.001	0.130	0.670	0.490	0.130	—	—
排水管（亜鉛めっき鋼管）	0.085	0.020	0.012	0.790	0.500	0.490	0.790	—	—	
pH7.0	道路標識柱・黄色塗装	—	<0.001	<0.001	—	0.024	0.009	—	—	—
	道路標識柱・赤塗装	—	<0.001	<0.001	—	0.002	0.001	—	—	—
	道路標識柱・亜鉛メッキ	—	<0.001	<0.001	—	0.160	0.045	—	—	—
	路面表示材・1種（黄）	—	<0.001	<0.001	—	—	—	—	—	—
	路面表示材・1種（白）	—	<0.001	<0.001	—	—	—	—	—	—
	路面表示材・2種（黄）	—	<0.001	<0.001	—	—	—	—	—	—
	路面表示材・種（白）	—	<0.001	<0.001	—	—	—	—	—	—
	路面表示材・3種（黄）	—	<0.001	<0.001	—	0.002	0.005	—	—	—
	路面表示材・3種（白）	—	<0.001	<0.001	—	0.001	0.001	—	—	—
	ガードレール・白色塗装	—	<0.001	<0.001	—	0.001	0.001	—	—	—
	ガードレール・亜鉛メッキ	—	<0.001	<0.001	—	0.082	0.050	—	—	—
排水管（亜鉛めっき鋼管）	—	0.002	0.002	—	0.090	0.110	—	—	—	

※：定量限界は0.005mg/Lであり、<0.001~0.005mg/Lは参考値  
表中の「—」は試験を実施していない項目

上記の結果をまとめると、以下のとおりである。

- 道路施設の曝露試験の結果、Pbについては排水管から、Znについてはすべての製品から検出された。また pH3.5 と pH7.0 の検出結果を比較すると、pH3.5 の方が高濃度の値となっており、路面排水中の Zn については酸性雨による道路施設からの溶出の影響が示された。
- 特に表面塗装がなされていない亜鉛メッキの道路施設（道路標識柱やガードレール）や排水管（亜鉛メッキ鋼管）からは、pH3.5 で 0.49~0.85mg/L の濃度の Zn が溶出しており、No. 3 相模原市地区については雨水中の Zn の 10 倍程度、No. 18 江戸川区地区については雨水中の Zn と同様の濃度となっている（表 4.13 Zn 平均値と比較）。つまり、道路上にこれらの道路施設が存在する場合には、路面排水中の Zn に大きな影響を及ぼすと推察される。  
 なお、pH7.0 の場合は 0.045~0.16mg/L と 1/5~1/10 程度であり、酸性雨との関わりも大きいことが示された。

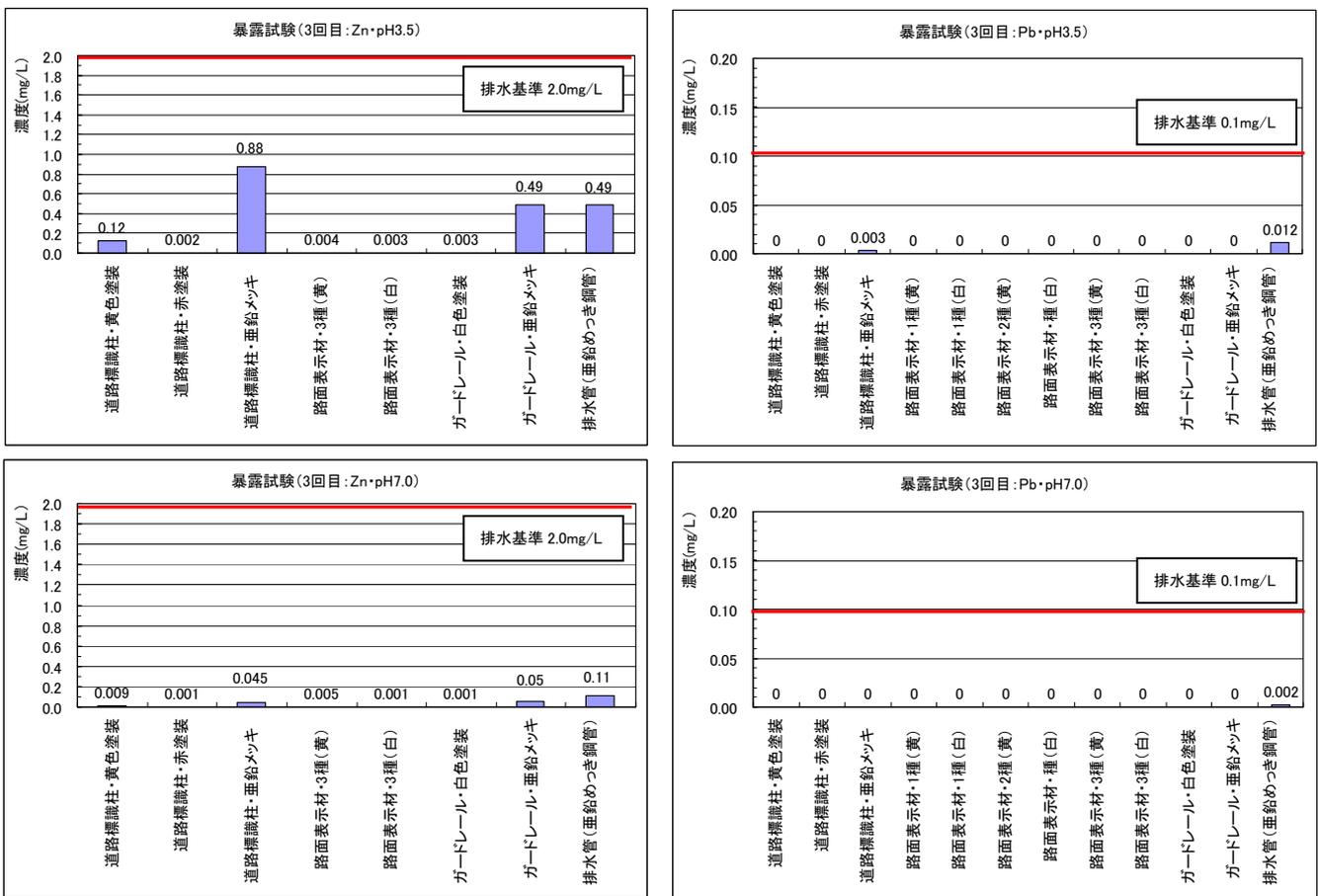


図 5.9 道路製品の曝露試験結果 (左; 亜鉛 右; 鉛)

#### 4. 路面排水中の亜鉛の発生源

以上の調査結果より、路面排水中に含まれる亜鉛の発生源は下表のように総括される。

路面排水中の亜鉛は降下煤塵等による大気由来、周辺土地家屋等からの点源由来による場合もあるが、それ以上に道路構造物や自動車交通の影響を強く受けていると考えられ、その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。また、道路標識やガードレール、道路排水鋼管等において亜鉛メッキが露出している場合は、酸性雨との接触による溶出の影響もあるものと推察された。

表 5.12 亜鉛の発生源のまとめ

由来	発生源・製品	排出事象	根拠となる調査項目
大気	降下煤塵	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大気中の浮遊粉塵が雨水に溶け込んで降下 (No. 18 江戸川区地区の調査結果において、春季～秋季にかけて雨水の pH が低くなり、路面排水よりも雨水の亜鉛が高濃度となる傾向が見られた。亜鉛が比較的酸性雨に溶けやすいことを考えると、大気中の浮遊粉塵が雨水に溶け込んでいることが考えられた)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・路面排水の採水調査 (雨水の年間調査)</li> </ul>
周辺家屋等	トタン屋根	<ul style="list-style-type: none"> <li>・雨水との接触による亜鉛の溶出 (亜鉛メッキ加工がなされたトタン製の屋根排水において高濃度の亜鉛が確認された。雨水との接触により、亜鉛が溶け出していると考えられた)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・路面排水の採水調査</li> </ul>
自動車部品	自動車タイヤ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・路面との接触によるタイヤくずの排出 (自動車タイヤに使用されている酸化亜鉛が路面との接触により磨耗し、タイヤくずとして路面に懸濁物質として排出されている)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・路面排水の採水調査</li> <li>・タイヤの亜鉛含有量試験</li> <li>・亜鉛の同位体分析</li> <li>・側溝泥の検鏡</li> <li>・タイヤ粉の溶出試験</li> </ul>
道路構造物	道路標識 ガードレール 排水鋼管	<ul style="list-style-type: none"> <li>・雨水との接触による亜鉛の溶出 (亜鉛メッキを施されている鋼製品が酸性雨と接触することにより、亜鉛が溶出している)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・道路製品の曝露試験</li> </ul>