



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	スパイクタイヤ車粉塵の精密分析（第二報）
Author(s)	毛利, 衛; Mohri, Mamoru; 雨宮, 進 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 114, 47-56
Issue Date	1983-05-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41790
Type	departmental bulletin paper
File Information	114_47-56.pdf



スパイクタイヤ車粉塵の精密分析(第二報)

毛利 衛 雨宮 進* 前田 滋
福田 伸 加藤 茂樹 佐竹 徹
橋場 正男 山科 俊郎
(昭和57年12月27日受理)

Microanalysis of Dust Particles from Road Surface Scraped off by Studded Tires of Automobiles — Part 2

Mamoru MOHRI, Susumu AMEMIYA, Shigeru MAEDA,
Shin FUKUDA, Shigeki KATO, Tohru SATAKE,
Masao HASHIBA and Toshiro YAMASHINA
(Received December 27, 1982)

Abstract

Investigations of particulate substances originating from the use of studded tires of automobiles were performed. The amount of floating dust particles was measured by particle induced X-ray emission spectroscopy (PIXE) as a function of the horizontal distance from a road-edge and the vertical distance from the ground in the city of Sapporo. The results were compared with those of the city of Nagoya. It was found that the amount of floating dust particles in Sapporo was four to five times larger in November and April, while it was much less in February than that in Nagoya. The chemical composition of studs of studded tires and paint of road marking were analyzed by Auger electron spectroscopy (AES) and atomic absorption spectroscopy, respectively. Based upon these measurements the particulate substances collected from a road surface were examined and identified by use of scanning electron microscopy (SEM) and X-ray microanalyzer (XMA). They could be attributed to mainly pieces of studs, paint from road markings and paving materials. Alveoli of the lungs of dogs and mice which inhaled such dust particles were also examined by SEM and XMA. Ferruginous components were found to segregate on the wall surface of the alveoli.

1. 緒 言

冬期間道路が積雪凍結する地方の都市ではスパイクタイヤの使用によって発生する、いわゆる車粉塵が近年大きな環境汚染問題として憂慮されている。著者らは、このスパイクタイヤ車粉塵

原子工学科 高真空工学講座
* 名古屋大学工学部原子核工学科

の実態を明らかにするために、種々の最新固体表面分析機器を用い、主に道路端堆積車粉塵の精密分析について前回第一報として報告した¹⁾。その結果、車粉塵は粒径 $5\sim 50\ \mu\text{m}\phi$ のものが最も多く、主として道路舗装成分、スパイクタイヤのゴムおよびスパイクピンの特に鉄成分の三者の微粒子から構成されていることを示した。今回は更に、札幌市における大気浮遊粉塵の実態調査、および名古屋市の場合との比較および、野犬ならびに実験用ねずみ肺胞に取り込まれた浮遊粉塵の二次元元素分析について主に報告する。

2. 実験方法

2.1 道路沿い水平方向浮遊粉塵定量分析

道路沿いの雪の上に降積した浮遊粉塵を雪ごとビーカーで 100 cc 採集し、水を蒸発させ残留固型物の重量を秤量した。ひと冬の堆積浮遊粉塵全量を収集する積分法と、新雪の上に半日間で降積した量を採集する微分法の二方法で行なった。

積分法：昭和 57 年 4 月 8 日午後、札幌市下手稲通り沿いの畑上の残雪に 100 cc のビーカーを図 1 のように、逆さに立て上からかぶせて 100 cc の雪を採取した。残雪の表面には泥状の粉塵が堆積していた。これは長期間主として車粉塵の降積と降雪が繰り返され、融雪時になって、残雪の表面に粉塵が析出蓄積された結果と推定される。各採取場所では深さ約 10 cm の雪が残っており、また、残雪の中には粉塵の堆積層はないことから、残雪表面に存在する泥状の粉塵は、冬期間で降積した、すべての粉塵を代表していると考えてよい。

微分法：札幌市北区札幌新道沿いでは昭和 57 年 4 月 9 日の時点で道路沿いの雪は完全に消えていた。4 月 10 日および 11 日は大雪が降り翌 12 日は早朝から快晴であった。この日札幌新道は雪も溶けほとんど乾燥状態にあったため、道路沿い上空には多量の浮遊粉塵が舞い上がっていた。一方道路沿いの畑には新雪がまだ 10 cm ほどの深さで残っていた。図 1 と同じ方法によって半日間で降積した浮遊粉塵を雪ごと採取して粉塵量を測定した。

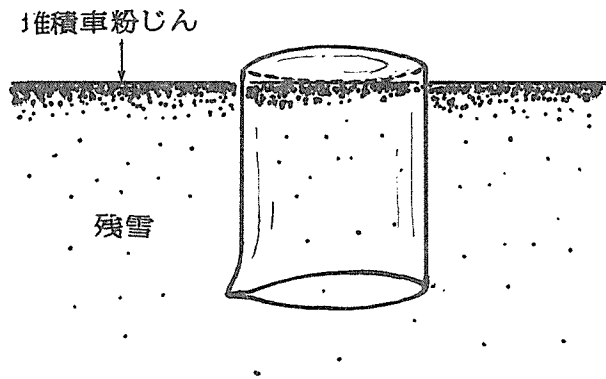


図 1 雪の上に堆積した粉塵のサンプリング方法

2.2 地上垂直方向浮遊粉塵定量分析

札幌市大通りにあるテレビ塔の 30, 60, 90, 120 m の各高さにおいて、直径 25 mm のニュークリアポアフィルター(厚さ $10\ \mu\text{m}$, ポリカーボネート製)を取りつけた、ローボリュームサンプラーを用い、毎分 $9\sim 12.5\ \text{l}$ で約 1 時間 $600\ \text{l}$ の大気を吸引し、フィルター面上に捕集した。サンプラーには前段に $12\ \mu\text{m}\phi$, 後段に $0.8\ \mu\text{m}\phi$ の穴径を持つフィルターを取りつけ 2 段の粒径分別を行った。採集日は昭和 57 年 4 月 9 日午前から午後にかけて、天気は曇り、地上での気温 7.9°C , 風速 $2.3\ \text{m/s}$ であった。フィルター上に採集した浮遊粉塵量ならびに含有元素の定量分析は PIXE (Particle Induced X-ray Emission: 粒子励起 X 線放出分光)法²⁾によって行った。比較のためにスパイクタイヤ車粉塵の影響の全くない 6 月にも同様の天気および風速の日を選んでサンプリ

ングを行った。

2.3 スパイクタイヤピンの組成分析

各種スパイクタイヤピンの組成分析を AES (Auger Electron Spectroscopy : オージェ電子分光器) を用いて行った。用いた装置は Physical Electronics Ind. 社製 (Model 11-500 A) でオージェ電子のエネルギー分析器は円筒鏡面型である。スパイクピンの表面は種々の不純物によって被われているので、アルゴンイオンによるスパッターエッチング (5 keV, 10 μA/cm²) によって充分清浄化して、オージェスペクトルを測定し成分元素の定量分析を行った。

2.4 道路標示ペイントの組成分析

横断歩道標示の白ペイントならびに速度制限標示の黄ペイントの破片を道路上から採取して原子吸光分析法により各成分元素の定量分析を行った。

2.5 道路端堆積車粉塵のマイクロ分析

昭和 57 年 12 月 4 日札幌市豊平区月寒にある国道 36 号線の道路端に堆積している車粉塵を採集して SEM (Scanning Electron Microscopy : 走査型電子顕微鏡) および XMA (X-ray Micro-analyzer : X 線マイクロアナライザー) によるマイクロ分析を行った。XMA はエネルギー分散型 (日本電子機製 JAMP-10) で、車粉塵粒子、一個ずつの元素分析を行った。

2.6 野犬および実験用ねずみ肺胞のマイクロ分析

札幌市および小樽市で生息していた野犬の肺胞のうち、特に腫瘍部を厚さ 100 μm 程度の薄片にし SEM および XMA で観察した。同様に札幌市中央区鉄道病院前で飼っていた実験動物としてのねずみの肺胞の観察も行った。いずれも多量の車粉塵を肺に吸い込んでいると推測される。

3. 結果および考察

3.1 浮遊粉塵

図 2 および図 3 には道路端からの距離の関数で、地上水平方向の降積粉塵量を測定した結果を示す。短期間の降積粉塵量 N_x は図 2 に示すように、道路端からの距離 $x(m)$ に対し、指数関数的

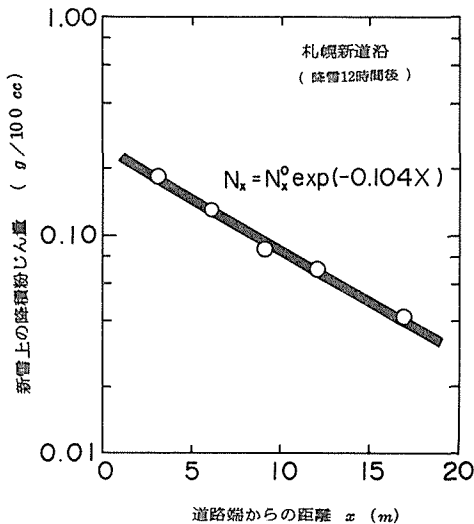


図 2 道路端からの距離で表わした降積浮遊粉塵量

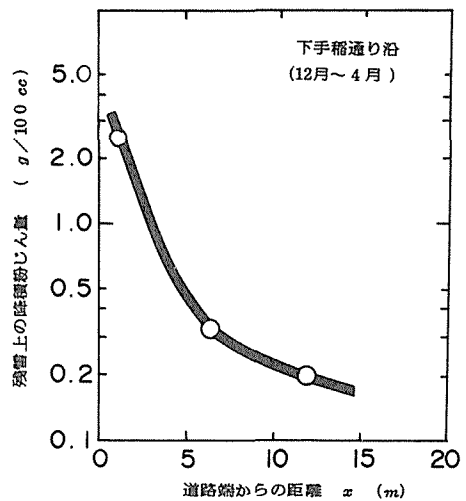


図 3 道路端からの距離で表わした長期間の堆積粉塵量

に減少しており $N_x = N_0^0 \exp(-0.104 x)$ (N_0^0 は道路端での降積粉塵量) という式で表わすことができる。一方長期間堆積した粉塵量は図3のように、測定点が少ないので詳細な議論はできないが道路端に近いほど急激に増加する傾向にある。この図で道路端に最も近い測定点は距離が1mであり、この堆積粉塵の中には浮遊車粉塵の降積以外に、自動車の走行によって、特に融雪期、水と伴に車粉塵が泥の飛沫となって蓄積したものも含まれると推測される。

図4には札幌市大通りテレビ塔で測定した地上垂直方向、高さ $h(m)$ の関数で表わした4月および6月の浮遊粉塵量を示す。ただし粉塵量の値はC, H, O成分を除いた主要16構成成分元素重量の和である。各構成成分元素の種類と粒径別したそれぞれの重量を表1に示す。なお4月9日地上90mにおける測定は粒径別を行っていない。図4に示すように4月では浮遊粉塵量 N_h が

表1 札幌市大通りテレビ塔における垂直方向の浮遊粉塵中に含有する元素の粒径別定量分析

昭和57年	filter pore size	高度	Al ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Br	Pb	Sr	P
6月	0.8 μm	0m	4.437	19.424	4.753	0.905	0.438	1.596	0.124	0.000	0.018	0.634	0.011	0.056	0.006	0.092	0.000	0.079
		30m	4.970	7.772	2.207	2.121	0.374	0.560	0.070	0.007	0.015	0.435	0.008	0.095	0.016	0.041	0.034	0.706
		60m	8.193	9.981	3.901	2.787	0.413	0.510	0.083	0.020	0.020	0.301	0.007	0.100	0.009	0.040	0.000	1.964
		90m	7.276	10.473	3.944	3.196	0.571	0.827	0.117	0.016	0.023	0.422	0.023	0.070	0.010	0.028	0.000	2.099
6月	12 μm	0m	10.387	12.687	6.636	1.881	0.727	0.919	0.142	0.005	0.028	0.501	0.007	0.105	0.020	0.035	0.010	1.891
		30m	20.529	47.123	4.879	16.988	1.731	10.655	0.957	0.101	0.129	3.543	0.033	0.123	0.000	0.048	0.009	1.562
		60m	8.968	13.200	3.322	2.521	0.785	1.215	0.179	0.116	0.052	0.548	0.018	0.034	0.000	0.012	0.000	3.072
		90m	12.623	14.095	4.748	3.512	0.981	1.349	0.176	0.180	0.071	0.495	0.011	0.041	0.000	0.028	0.000	4.710
4月	0.8 μm	0m	15.927	24.087	6.769	8.168	1.320	2.640	0.389	0.117	0.072	1.132	0.015	0.119	0.000	0.027	0.000	5.611
		30m	13.774	17.816	6.108	10.861	1.161	1.723	0.279	0.192	0.068	0.654	0.015	0.039	0.000	0.000	0.001	5.033
		60m	39.77	96.11	32.98	3.169	2.23	10.15	0.43	0.037	0.075	2.686	0.021	0.211	0.023	0.082	0.036	0.029
		90m	44.56	105.4	26.62	0.976	2.494	11.64	0.687	0.06	0.094	3.156	0.024	0.223	0.028	0.075	0.024	0.044
4月	12 μm	0m	15.68	45.89	29.3	1.387	1.307	5.641	0.317	0.038	0.057	1.327	0.027	0.264	0.033	0.055	0.041	0.055
		30m	26.22	63.14	44.02	1.023	1.862	5.861	0.272	0.024	0.047	1.675	0.035	0.17	0.03	0.054	0.012	0.027
		60m	7.295	16.64	13.92	3.366	0.722	2.071	0.123	0.032	0.016	0.415	0.011	0.038	0.02	0.045	0.023	0.048
		90m	300.7	641.7	20.6	0.	15.14	85.82	3.656	0.369	0.527	20.02	0.204	0.326	0.078	0.341	0.137	0.161
4月	12 μm	0m	213.3	455.6	18.	0.	10.33	54.74	2.541	0.219	0.379	13.49	0.113	0.317	0.057	0.221	0.101	0.156
		30m	32.55	114.3	8.324	0.	2.238	13.05	0.658	0.086	0.097	3.288	0.034	0.15	0.044	0.139	0.061	0.114
		60m	21.01	35.6	9.209	0.	1.223	4.87	0.312	0.081	0.061	1.228	0.038	0.063	0.047	0.134	0.066	0.088
		90m																

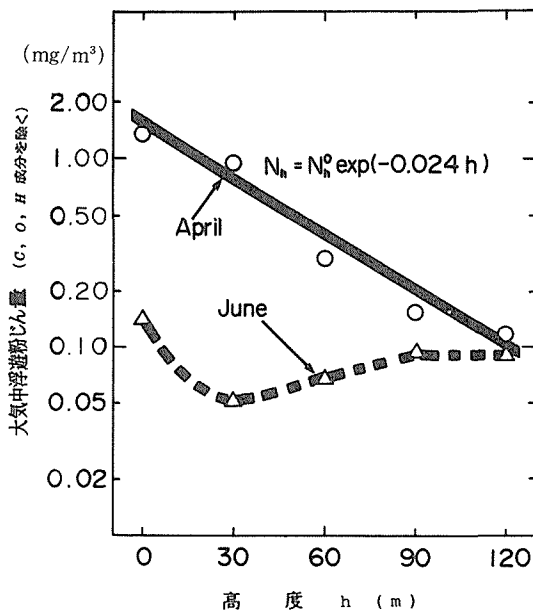


図4 札幌市大通りテレビ塔における垂直方向の浮遊粉塵量

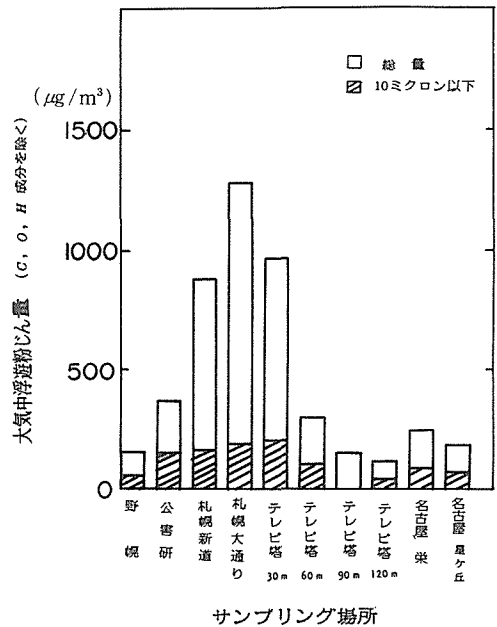


図5 種々の測定地点における浮遊粉塵量の比較

地上からの高度 h の増加とともに指数関数的に減少してゆくのに対し、6月では、地上付近で4月よりも1桁程度浮遊粉塵の量が減少し、また地上100m付近とほとんど変わらないことがわかった。スパイクタイヤ車粉塵は一般に粒径が $5\sim 50\mu\text{m}\phi$ と大きく¹⁾、図4から判断して高度100m以下、特に地上に近いほど、浮遊粉塵中に含有される割合が大きいと推測される。

同様に4月に同じ方法でサンプリングおよび測定をした、他の地点における結果を図5に示す。ここで名古屋市栄および星ヶ丘地区は地域環境的に札幌市大通り、および札幌新道付近にそれぞれ相当すると考えてよい。浮遊粉塵中に含まれる10ミクロン以下の粒子は名古屋市に比べて札幌市では2~3倍程度しか多くないにもかかわらず、10ミクロン以上の大きな粒子は7~8倍程度もより多いことがわかる。従ってこの原因はスパイクタイヤ車粉塵の影響によるためと考えるのが妥当である。

図6には札幌市大通りと名古屋市栄における地上での浮遊粉塵量の季節変化を示す。名古屋市では季節による浮遊粉塵量の変化はあまり観測されない。一方札幌市では11月と4月に粉塵量は著しく増加し、2月および6月では名古屋市よりも少ない。札幌市の11月はスパイクタイヤ使用開始時であるが路面上に積雪凍結することはまれであるため、スパイクタイヤは道路表面を削る。従って車粉塵がこの月から浮遊粉塵中に多量に混入するものと予想される。一方2月には道路は積雪凍結し、道路摩耗による車粉塵の発生量が減少するとともに、降雪のため浮遊粉塵は吸収されてしまう。また、道路周辺からの土壌に起因する浮遊粉塵も地面がすべて雪に被われるため激減することが予想される。融雪期の4月にはすでにほとんど道路上の雪が消えている。しかし大部分の自動車はまだスパイクタイヤを使用しているとともに、11月から削られて道路上に蓄積した車粉塵、および周辺から運び込まれた土壌堆積物のため、浮遊粉塵は著しく増加すると考え

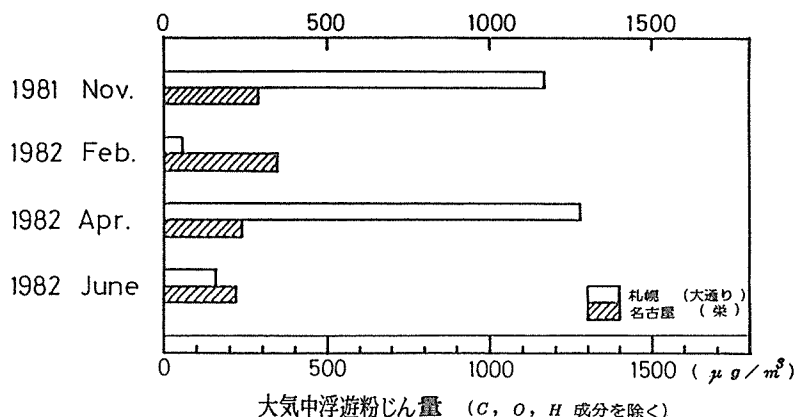


図6 札幌市(大通り)および名古屋市(栄)における浮遊粉塵量の季節変化

られる。

3.2 スパイクピンの成分

現在日本で使用されているスパイクピンは2種類の型に大別される。図7に示すようにマカロニ型とピン型である。一般の乗用車にはピン型が多い。前報¹⁾でピン型のスパイクピンのAESによる定性分析の結果をすでに示した。ここではメーカーの異なる4種類のスパイクピンの定量的な組成分析の結果について報告する。表2に図7の斜線で示した部分の構成成分元素濃度を示す。いずれのスパイクピンも斜線以外の部分は不純物の少ない鉄であった。表2からわかるように、

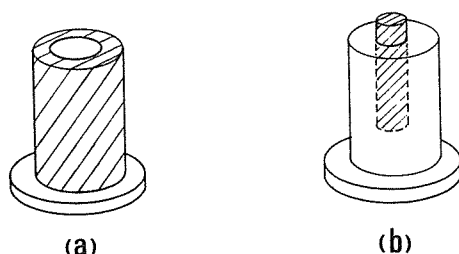


図7 スパイクタイヤに使用されているスパイクピンの形状 (a) マカロニ型 (b) ピン型

表2 スパイクピンのAESによる組成分析 (%)

スパイク ピンの種類	W	C	Co	Fe	Ni	Ti	O
マカロニ型							
トラック用	57.0	36.6	4.1	—	—	0.9	1.4
乗用車用	46.9	40.9	8.3	—	—	2.2	1.7
ピン型							
乗用車用(I)	53.4	38.3	3.9	1.6	—	2.6	0.2
乗用車用(II)	52.3	39.3	4.4	—	1.5	2.0	0.5
超硬バイト	45.5	46.3	1.6	1.1	—	4.2	1.2

どれもタングステンおよび炭素を主成分としている。AES スペクトルの炭素成分がカーバイドタイプをしているので、前回報告したように、主成分はタングステンカーバイドである。バインダーとしてコバルト、チタン等他の金属元素が混入されているのであろう。比較として市販されている旋盤用超硬バイトの分析結果も表に示した。スパイクピンと非常によく似た成分で構成されていることがわかる。

3.3 道路標示ペイントの成分

表3に道路標示ペイントとして使用されている白色および黄色ペイントの成分を示す。表に示す成分の他主要成分であるアルミニウムおよび珪素については記入していない。この成分表から黄色の顔料としてクロム酸鉛が黄色ペイントに使用されていることがわかる。

3.4 道路堆積車粉塵

図8に道路端に堆積している車粉塵のSEM写真およびその中の4粒子について点分析したXMAスペクトルを示す。これら4粒子はいずれも車粉塵をサンプリングして非常にしばしば観察されるので代表として選んだ。一般に車粉塵粒子には鉄成分が含有されている場合が多いが、粒子Aは鉄が主成分でありチタン成分も観測される。また鋭い特徴的な形状を持っており、スパイクピンの典型的な破片と推測される。粒子Bはカルシウム、アルミニウム、珪素が主成分であり、道路

表3 道路標示ペイントの成分元素分析 単位 ppm (%)

	Cd	Pb	Ni	Mn	Fe	Co	Cr	Zn	V	Mg	Ca
白色ペイント	<0.6	30	<0.9	25	170	<0.6	6	23	12	1,100	(25)
黄色ペイント	<0.6	4,100	<0.9	24	240	<0.6	1,000	14	11	1,500	(30)

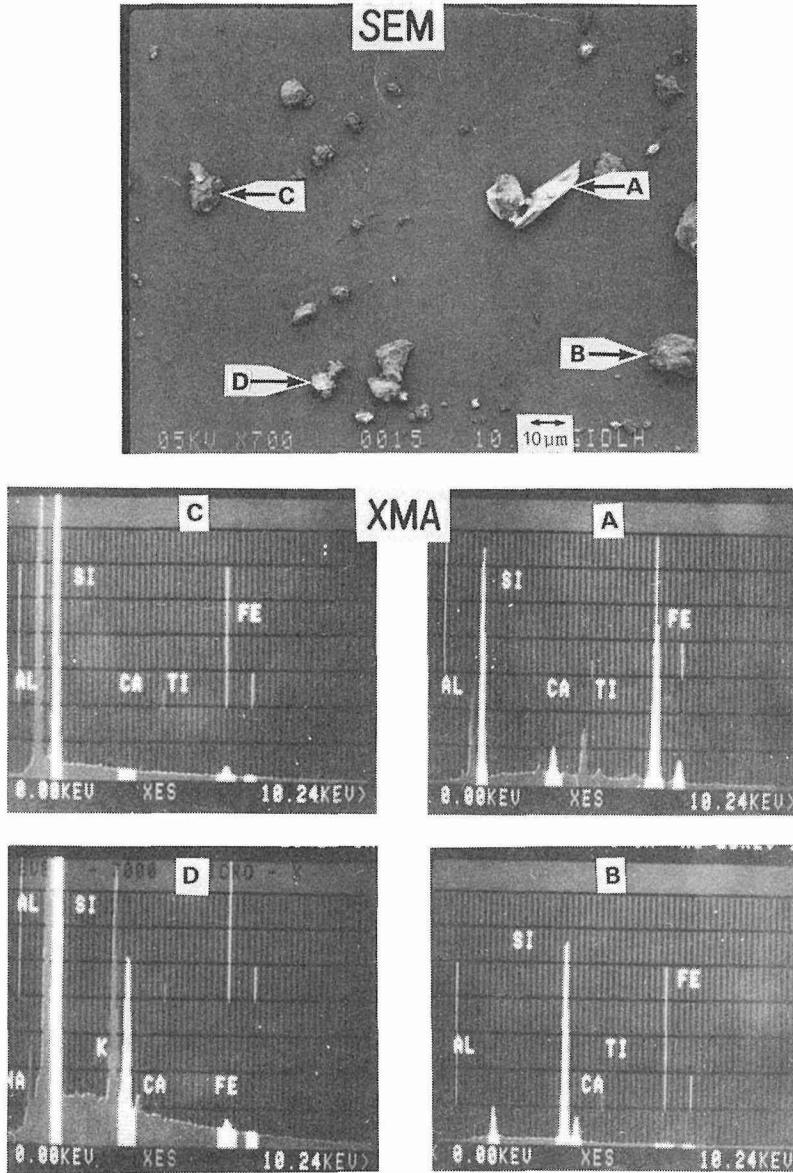


図 8 道路上堆積車粉塵微粒子の SEM 写真と各粒子の XMA スペクトル

標示ペイントの破片と思われる。粒子 C はアルミニウム，珪素が主成分で鉄成分も含んでいる。粒子 D は粒子 C に含まれる成分の他ナトリウム，およびカリウムが含まれており，これらはいずれも道路舗装が削られた結果発生した粒子と推測される。

3.5 生体に取り込まれた粉塵

図 9 は車粉塵を多量に吸引したと推測される野犬肺胞の SEM 像である。肺胞壁に黒い点々とした異物の沈着が観察される。図 10 は同じ野犬肺胞の SEM および同領域のアルミニウム，鉄，ニッケル元素に関する XMA 二次元分析像である。また図 11 には道路端で車粉塵を多量に呼吸していた実験用ねずみの肺胞の SEM および XMA 二次元像である。これらの異物元素は多く肺胞壁に沈

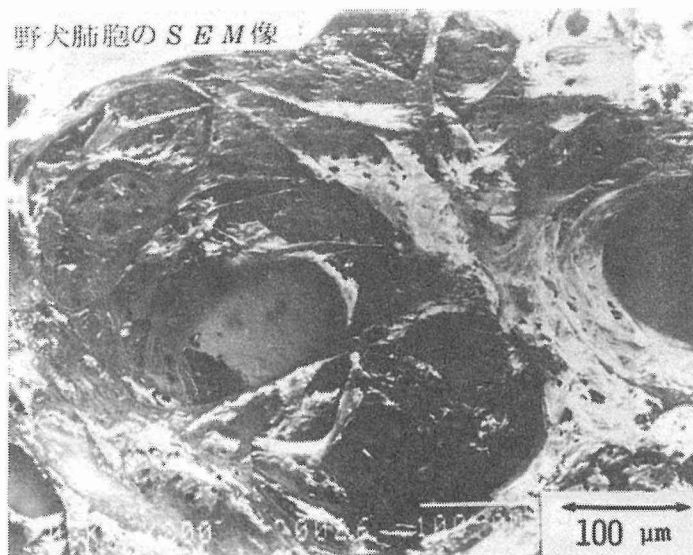


図9 粉塵が沈着した野犬肺胞腫瘍部のSEM写真

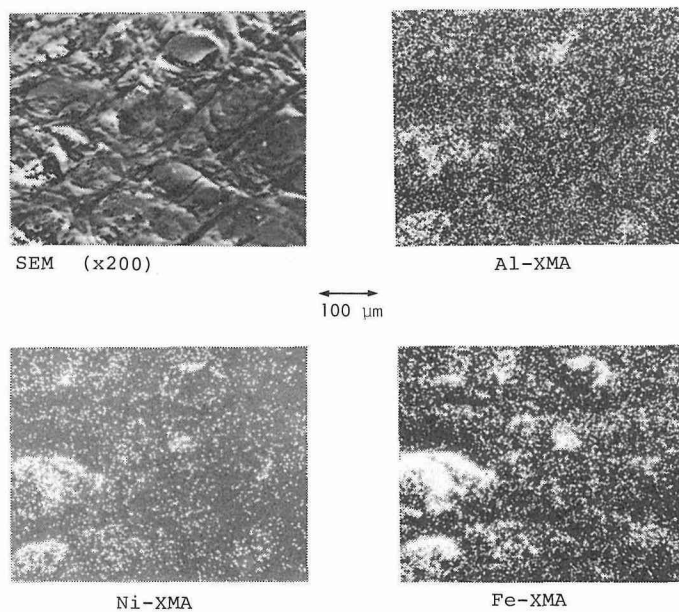


図10 野犬肺胞壁に沈着した粉塵のSEM写真およびXMA像

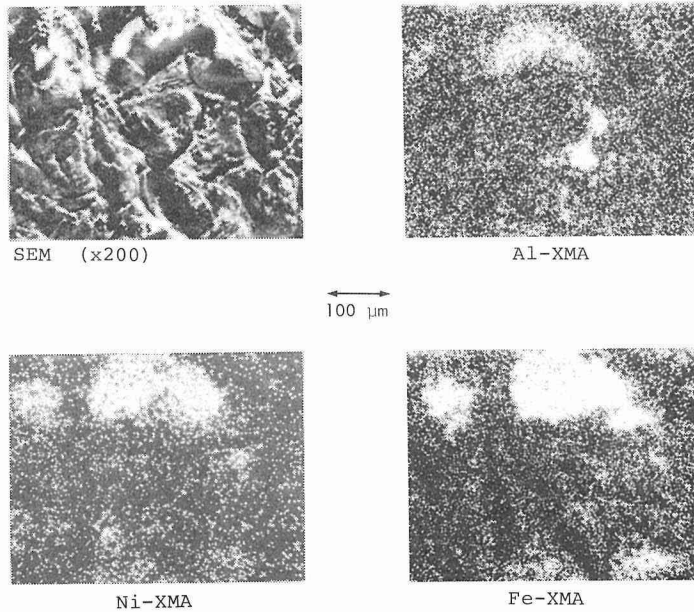


図 11 実験用ねずみの肺胞壁に沈着した粉塵の SEM 写真および XMA 像

着しているが、特にアルミニウムと鉄あるいはニッケルの沈着分布が異なっていることがわかる。鉄成分の沈着量は特に多く、肺胞壁で濃縮されていると思われる。

4. 結 論

札幌市内におけるスパイクタイヤ車粉塵発生に伴う浮遊粉塵量の実態調査を行い名古屋市内と比較した。名古屋市では浮遊粉塵量は一年中あまり変化がないのに比べ札幌市では11月と4月に非常に増加し名古屋市の4～5倍になる。しかし2月および6月には逆に名古屋市よりも浮遊粉塵量が少ないことがわかった。

スパイクタイヤ車粉塵と推測される浮遊粉塵は地上約100mの高さにまで舞い上がり、地上付近で最も濃度が高いことがわかった。

スパイクピンは切削工具の超硬バイトと同じタングステンカーバイトを主成分としていることがわかった。

道路上堆積車粉塵微粒子個々について分析しスパイクピンの破片、道路標示ペイントの破片、道路舗装材料摩耗粒子の同定をした。

札幌市内で生息した野犬および車粉塵を多量に呼吸したと推測されるねずみの肺胞を分析し、鉄成分が肺胞壁に濃縮していることを確認した。

謝 辞

本研究は、「積雪地舗装道路におけるスパイクタイヤ車粉塵の実態に関する基礎的研究」の題目により「財団法人トヨタ財団」の研究助成を受けているものである。

本研究において、SEM、XMAによる分析に関し北海道工業開発試験場鈴木良和博士、原子吸光分析に関し、北海道公害防止研究所加藤拓紀氏の協力を受けた。また野犬および実験用ねずみの

肺胞は札幌鉄道病院平賀洋明博士より提供を受け、結果について討論していただいた。ここに感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 毛利, 加藤, 小畑, 橋場, 佐竹, 山科, 小林, 雨宮; 北大工学部研究報告, **108**, 71 (1982)
- 2) 雨宮 進, 野村茂影, 加藤敏郎: X線分析の進歩, **12**, 103 (1981)