

18. 東京23区内一般国道における道路堆積物の 元素成分組成に関する実態評価

伊藤 洋輔^{1*}・山口 晴幸¹

¹防衛大学校（〒239-0811神奈川県横須賀市走水1丁目10番20号）

* E-mail: em50055@nda.ac.jp

本研究では、非特定汚染源の排出制御対策に必要なデータの蓄積を目的とし、東京23区内の一般国道から道路堆積物を採取し元素成分組成などを分析した。その結果、重金属類に代表される微量元素成分の含有量は、調査地点による差異が大きく、また強熱減量との間に高い相関性が認められることから、有機物が微量元素成分の吸着・沈着に影響している可能性を示唆している。また、廃タイヤの含有元素成分を分析した結果、廃タイヤと道路堆積物との間で、亜鉛と硫黄成分の含有量比率に高い相関性が認められることから、タイヤが供給源となる磨耗粉じんが、道路堆積物にかなり混入していることを明らかにしている。

Key Words : tire wear particle, roadside dust, heavy-metals, non-point pollution source, street runoff

1. はじめに

道路側溝のL字溝付近に堆積している土壌(道路堆積物)は、周辺の道路環境に及ぼす交通車両の影響を反映したものとして評価されている。特に、交通量の多い都市部の道路堆積物は、車両の走行に起因して排出される粒子状物質などの有害物質が高い濃度で吸着・沈着しており、これらの排出実態を評価する上で重要なデータを提供するとともに、関連研究がなされている。例えば、新矢ら¹⁾は、自動車のホイールバランスウェイトのような鉛製品が、走行に伴う磨耗により環境中に放出されている実態を鉛同位体比分析により明らかにしている。

また、大気・水環境の汚染負荷対策として、一般の工場、事務所、家庭などから排出される「特定汚染源」に対する監視対策は確立されているが、道路排水など汚染源が面的に広がり、汚染源の特定が困難な「非特定汚染源」への効果的な対策も求められている。特に、土地利用が高度化した都市部においては、地表面の不浸透化が進んでいるため、降雨時に有害物質を含んだ道路堆積物が道路排水として未処理のまま表流水系や地下土壌に流入・浸透することにより、水環境の汚染を促進させている危険性が指摘されている²⁾。一方、非特定汚染源となる汚染物質の発生源や道路堆積物への吸着・沈着状況は地域によりかなり異なるため、その排出制御対策を進め

るためには、道路堆積物を対象とした化学成分組成や重金属類等の溶出特性などに関する基礎的データを蓄積する必要がある。

そこで、本報告では非特定汚染源の抑制に係る基礎的データの蓄積を目的として、我が国で最も交通量の過密な東京23区内の主要国道で採取した道路堆積物を対象として、含有元素成分組成や重金属類の有害元素成分の供給源などについて考察を試みている。

2. 試料採取と分析方法

(1) 試料採取

調査は、東京23区内を放射線状に分布している主要国道で交通量の激しい9ルートを選定し、2011年4月16日から8月2日の間に、約1km間隔で総計104試料を採取した(図-1、表1)。なお本調査ルートの交通量は24,098～123,296台/日³⁾と極めて多い。また周辺の土地利用については、国道357号線を除き、大部分が住宅施設で占められている⁴⁾。採取は前日までに晴天日が2日以上続いた後に行い、車道と歩道の段差部分の側溝付近に堆積している土壌(写真-1)をプラスチック製の小型スコップを用い200g程度採取した。目視確認できる金属片やガラス片など、明らかに異物と判断される物質は採取時に除去している。試料はポリエチレン製の袋に入れて持ち帰り、密閉容器に移し冷暗室に保管した。

(2) 分析方法

土壌としての基本的な物性を評価するため、粒度試験、含水比試験、強熱減量試験、水素イオン濃度試験、電気伝導率試験を実施した。含有元素成分の分析には、波長分散型蛍光X線回折装置(LAB CENTER XRF-1500型・島津製)を用いた。試料は風乾した後、ステンレス製ふるいを用いて粒径2mm以下の粒子を収集した。粒度調製した試料をタングステンカーバイト製の粉砕容器に入れ、ディスク形振動ミルで粉砕し、アルミ製成形リングで加圧成形してペレットを作製し、分析に供した。各元素成分の含有量は質量百分率(wt%)で表示した。なお本分析法では、装置の機能上、元素番号1～5(H, He, Li, Be, B)の元素は測定不能である。

3. 結果と考察

(1) 物理・化学的性質

東京23区の主要国道9路線を対象として104地点で採取した道路堆積物の試料について、粒径加積曲線を図-2に、含水比(w), 水素イオン指数(pH), 電気伝導率(EC), 強熱減量(LI)の結果をそれぞれ図-3(a)～(d)に示す。各採取地点での粒径分布は、非常に類似した傾向を示している。いずれの採取地点でも、粒径0.075～2mmの砂分が60%～80%を占めており、土質分類上、砂質土とみなせる。強熱減量は大半の試料では10～25%の範囲であるが、30%

を超える試料も多少認められる。このような傾向から、道路堆積物のLI値は、砂質土としてはかなり高い値といえるが、しかし試料間での差異も大きい。強熱減量は有機物量の指標でもあり、道路堆積物に有機物が多く含まれていることが考えられる。水素イオン指数は全試料の平均値で7.4とアルカリ性を呈した。これは、道路のコンクリートやアスファルト材がアルカリ性の材料であることから、その剥離・磨耗物質の混入が影響しているものと推察される。電気伝導率は、全試料の平均値で203 μ S/cmと一般的な砂質土と比較し高い値を示し、しかも試料間での差異が大きい。図-4に示すように、この電気伝導率は強熱減量に左右される傾向にあり、かなりばらつきは認められるが、道路堆積物の電気伝導率の増加は有機物含有量と因果関係を有していることがわかる。このように、高い強熱減量と電気伝導率の物性値から、道路堆積物はイオン溶出性に富んだ土壌であることがわかる。表2には東京23区内の主要国道9路線で採取した道路堆積物の基本的物性に関する平均値をまとめている。

(2) 元素成分組成

図-5(a)～(c)に道路堆積物の含有元素成分組成を示す。なお含有量が1wt%以上の元素成分を「主要元素成分」、0.1～1wt%未満の元素成分を「微量元素成分」、概ね0.1wt%未満の元素成分を「極微量元素成分」として区別している(表-3)。図-5(a)に示すように、主要元素成

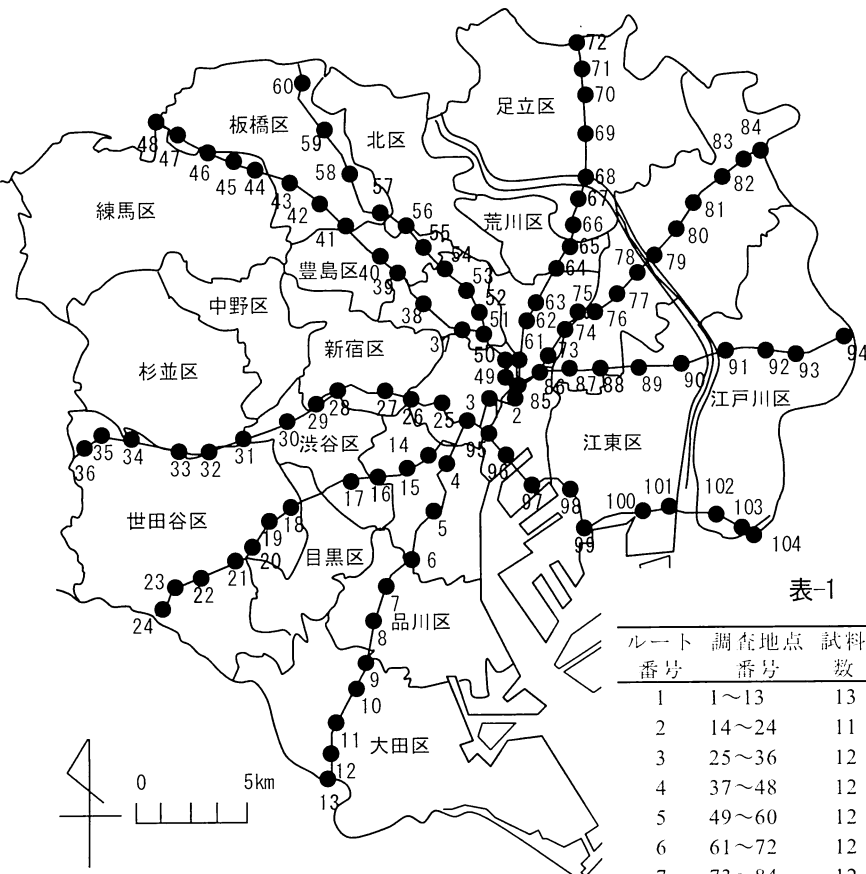


図-1 道路堆積物の調査路線と採取地点の概略図



写真-1 道路堆積物

表-1 主な調査路線の概要

ルート番号	調査地点番号	試料数	主な道路の名称	調査区間長	調査年月日
1	1～13	13	国道1号	18.5km	2011.4.16
2	14～24	11	国道246号	14.4km	2011.5.6
3	25～36	12	国道20号	14.4km	2011.8.2
4	37～48	12	国道254号	15.3km	2011.7.26
5	49～60	12	国道17号	15.9km	2011.7.25
6	61～72	12	国道4号	14.1km	2011.7.15
7	73～84	12	国道6号	11.9km	2011.7.12・13
8	85～94	10	国道14号	12.2km	2011.6.25・7.11
9	95～104	10	国道357号	13.0km	2011.5.21

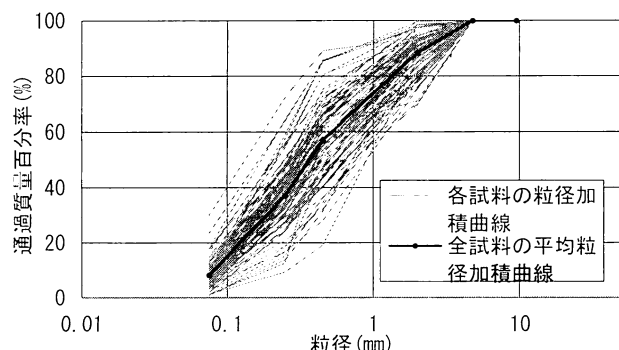


図-2 各採取地点での粒径加積曲線

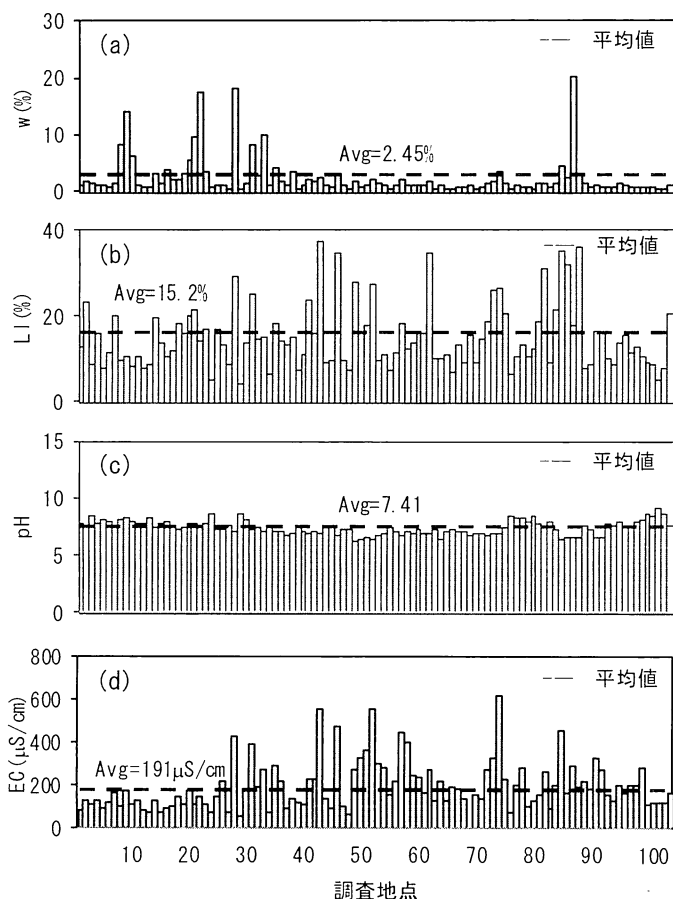


図-3 各採取地点での含水比(a), 強熱減量(b)
水素イオン指数(c), 電気伝導率(d)

分はO, Si, C, Ca, Al, Fe, Na, K, Mgで構成されており、これらの元素成分の総量はほぼ99%に達する。試料間での各元素成分の含有量の大小関係は、Cを除きほぼ類似した傾向を示している。しかもこれらの主要元素成分などの含有量は、通常の堆積土壌の成分組成とかなり類似していることから、道路堆積物は土壌粒子を主体として構成されているといえる。

C成分については、砂質土としては含有量が高く、しかも各試料間での差異が大きい。C成分の供給源としては、道路植栽からの枝葉や土壌の混入、車両排出ガス・煤煙の吸着・沈着などが考えられる。そこで、C成分の含有量と強熱減量との関係を図-6に示す。図中の破線は勾配1の直線である。図より、C成分の含有量と強熱減

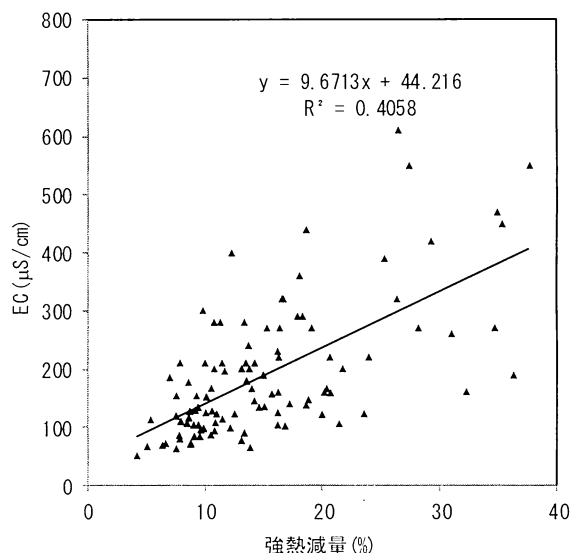


図-4 強熱減量と電気伝導率の関係

表-2 基本的物性の平均値

物性項目	物性値
含水比w (%)	2.45 ± 3.56
水素イオン指数pH	7.41 ± 0.61
電気伝導率EC (μS/cm)	203 ± 165
強熱減量LI (%)	15.20 ± 7.53
細粒分(～0.075mm) (%)	8.17 ± 4.79
粒度 砂分(0.075～2mm) (%)	80.30 ± 7.63
礫分(2mm～) (%)	11.53 ± 7.14

表-3 元素構成区分

元素区分	構成元素成分
主要元素(1wt%以上)	O, Si, C, Ca, Al, Fe, Na, K, Mg
微量元素(0.1～1wt%)	S, P, Zn, Ti, Cl
極微量元素(0.1wt%以下)	Cr, Mn, Sr, Cu, Ni, Pb, Zn, Co, Rb

量との間には強い正の相関性が認められる。また両者は概ね勾配1の直線上付近にプロットされることがわかる。道路堆積物の場合には、強熱減量には、主に、樹葉等の腐植分解作用による植物性有機物や化石燃料の排出煤煙などの混入・沈着が反映されていることから、そのC成分は有機炭素成分が主体と推察される。

一方、図-5(b)に示すように、微量元素成分としては、主にS, P, Zn, Ti, Clの含有が確認される。また極微量元素成分には環境基準に規定されているCu, Pb, Crなどの重金属類の元素成分が含まれている(図-5(c))。微量・極微量元素成分の総量は、0.5～1.9wt%と試料間でかなり相違が認められる。また微量・極微量元素成分の総量が高い試料ほど、それらを構成する各元素成分の含有量は総じて高い傾向にあった。

一般に重金属類は、土壌中で細粒分(粒径0.075mm以下の粘土・シルト分)に凝集する傾向があること、また土壌中の有機物分との親和性が高いことが知られている。これらの関係を評価するため、各試料の微量・極微量元素成分の総量と細粒分の含有率との関係を図-7(a)に、また微量・極微量元素成分の総量と強熱減量との関係を図-7(b)にそれぞれ示している。微量・極微量元素成分

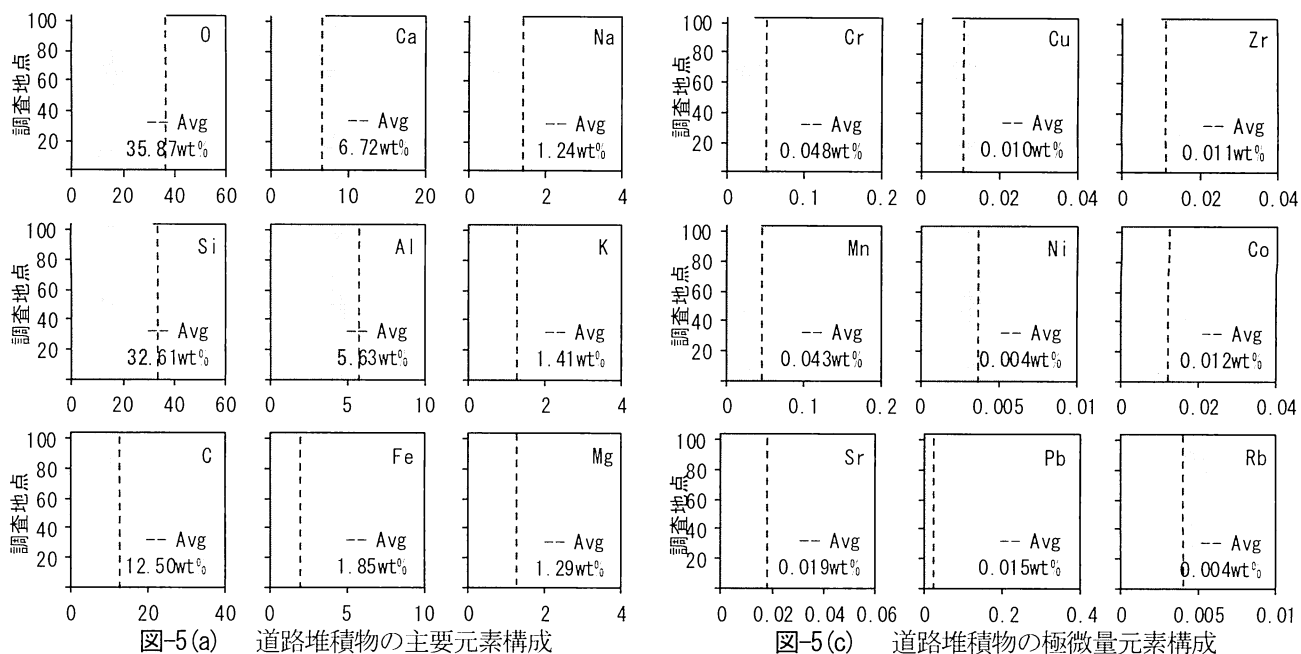


図-5(a) 道路堆積物の主要元素構成

図-5(c) 道路堆積物の極微量元素構成

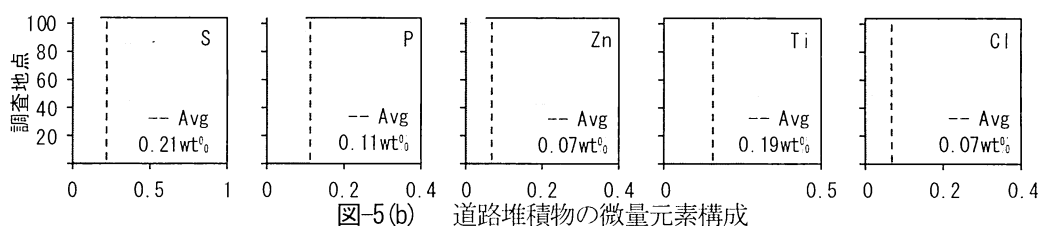


図-5(b) 道路堆積物の微量元素構成

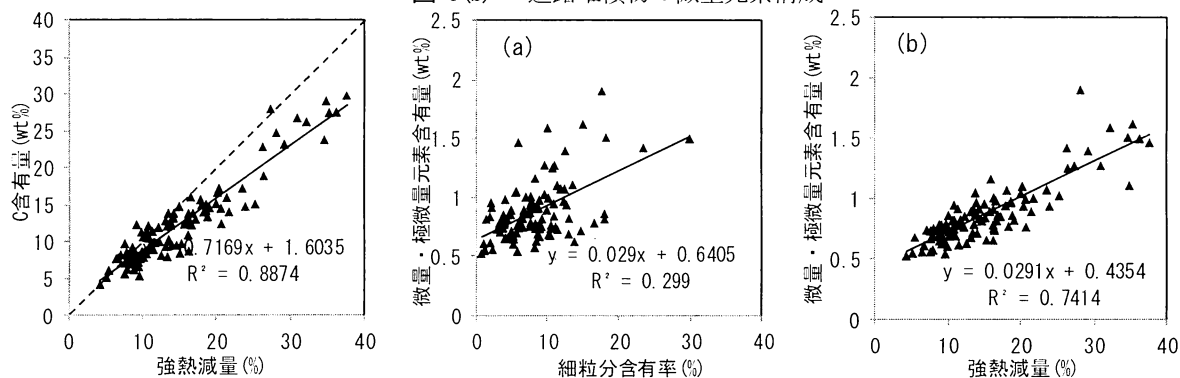


図-6 C成分含有量と強熱減量の関係

図-7 微量・極微量元素成分の総量と細粒分の含有率の関係(a)
微量・極微量元素成分の総量と強熱減量の関係(b)

の総量と細粒分の含有率との間には緩やかな相関性が、また微量・極微量元素成分の総量と強熱減量との間には、強い相関性が認められる。このような結果から、道路堆積物に含まれる重金属類などの微量・極微量元素成分は、粒径0.075mmの粒子を主体とした細粒分に吸着・沈着する傾向が認められる。また強熱減量との相関性から、道路堆積物を構成している細粒分は、有機物を主体としていることが推察される。しかし微量・極微量元素成分の総量における試料間での相違は、重金属類の負荷量に起因しているのか、重金属類と親和性の高い有機物の含有量に因っているのかについては、今後さらに考察を深める必要があると考えている。

(3) タイヤ粉じんとアスファルト粉じんの効果

C成分の供給源に関しては、車両走行過程での路面と

の摩擦で発生するタイヤ粉じんとアスファルト粉じんの効果について評価を試みた。廃タイヤと路面アスファルト試料を用い、道路堆積物と同様に蛍光X線分析により含有元素成分組成を分析した。表-4に廃タイヤと路面アスファルト試料の種類とタイプ等の概要をまとめている、また表-5に両試料の含有元素成分組成を示している。

図-8(a)に示すように、廃タイヤの主要元素成分はC、O、Si、S、Zn、Alであり、これらの元素成分は、総量の97%以上を占めている。C成分の含有量が平均値で約70%を占めるのに加え、SとZn成分の含有量の高いことも特徴的である。これはタイヤ製造過程においてタイヤに弾力性の機能を保持させるために、SやZnを含んだ加硫剤・加硫促進助剤が添加剤として混入されているためである。図-8(b)に示すように、廃タイヤの微量元素成

表-4 廃タイヤと路面アスファルト試料の概要

試料番号	採取試料	試料の概要
As-1	路面アスファルト塊	神奈川県内の車道から採取
As-2	路面アスファルト塊	神奈川県内の車道から採取
As-3	路面アスファルト塊	神奈川県内の車道から採取
T-1	廃タイヤトレッド面	スタッドレス, 断面幅215mm
T-2	廃タイヤトレッド面	スタッドレス, 断面幅215mm
T-3	廃タイヤトレッド面	ノーマル, 断面幅195mm
T-4	廃タイヤトレッド面	ノーマル, 断面幅215mm
T-5	廃タイヤトレッド面	中・大型用, 断面幅225mm

表-5 各試料の含有元素成分組成

試料名	元素成分区分	構成元素成分
廃タイヤ	主要元素(1wt%以上)	C,O,Si,S,Zn,Al
	微量元素(1~0.1wt%)	Na,Mg,Ca,K,Cl
	極微量元素(0.1wt%以下)	Fe,P,Ag,In,Ti,Sn
路面アスファルト	主要元素(1wt%以上)	O,Si,C,Al,Ca,K,Mg,Fe,Na
	微量元素(1~0.1wt%)	S,Ti
	極微量元素(0.1wt%以下)	P,Mn,Cr,I,Sr

分にはNa, Mg, Ca, K, Clが, 極微量元素成分には主にFe, P, Ag, In, Ti, Snが含有されている(図-8(c)). 微量元素成分は, 含有量が高く, また試料間の差異も大きい. これは, タイヤの種類や用途に応じ, 性能・機能向上を目的に使用される各種添加剤の混入量が異なるためと考えられる. また, タイヤの劣化状態や走行中の路面との摩擦などでタイヤに混入・吸着した物質の影響も考えられる.

一方, 路面アスファルト試料の主要元素成分はO, Si, C, Al, Ca, K, Mg, Fe, Naである(図-9(a)). これらの元素成分の総量はほぼ99%を占めている. 図-9(b)に示すように, 微量元素成分としてはS, Tiが, 極微量元素成分としてはP, Mn, Cr, I, Srなどが検出される(図-9(c)).

上記の廃タイヤとアスファルト試料に関する元素成分結果に基づき, タイヤ粉じんとアスファルト粉じんの道路堆積物への混入・沈着状況の評価を試みる. ここでは道路堆積物, 廃タイヤ, アスファルトの3試料においては, いずれも各元素成分の平均値を求めて比較検証する. 図-10(a)には道路堆積物と路面アスファルト, 図-10(b)には道路堆積物と廃タイヤでの主要・微量・極微量元素成分の含有量を, それぞれ両対数紙上に対比プロットしている. なお図中の破線は勾配1の直線である. 両図において道路堆積物へのアスファルト・廃タイヤ粉じんの混入による可能性が高い元素成分の場合には, 勾配1の破線上もしくはその右側にプロットされることが推察される. 図-10(a)の道路堆積物と路面アスファルトとの関係図では, Zn, S, P成分を除き, ほぼ勾配1の直線上付近にプロットされている. 特に, 主要元素成分の含有量はほぼ一致しており, アスファルト粉じんが道路堆積物に混入しているためと思われる. Zn, S, P成分については, これらの成分の含有量が高い他の物質による混

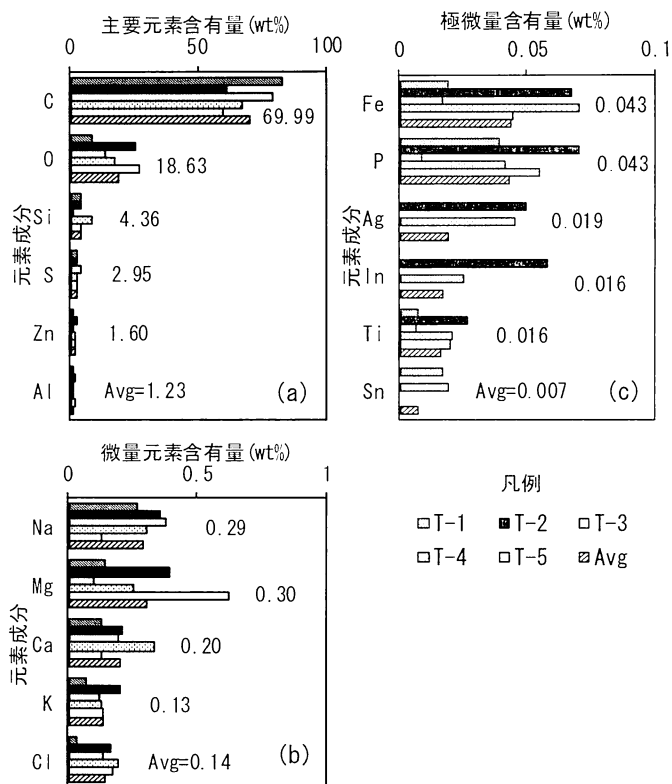


図-8 廃タイヤの元素成分構成
(主要元素(a), 微量元素(b), 極微量元素(c))

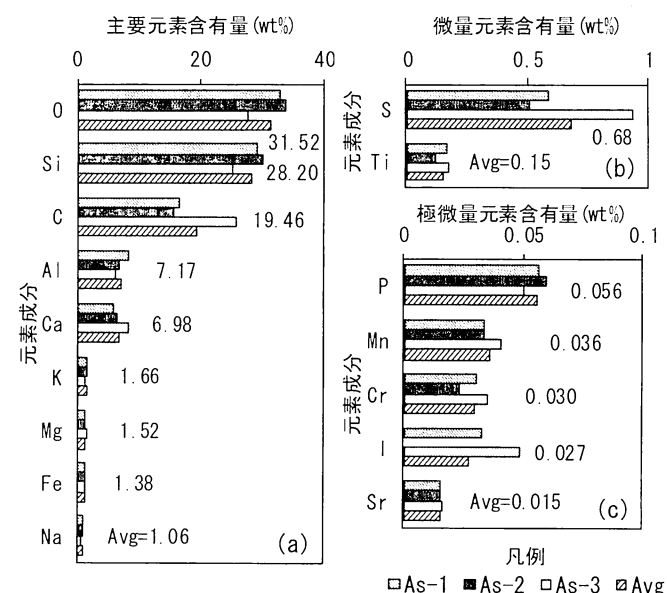


図-9 路面アスファルトの元素成分構成
(主要元素(a), 微量元素(b), 極微量元素(c))

入・沈着により, 相関性が多少低下したものである. 一方, 図-10(b)での廃タイヤ試料と道路堆積物との関係に着目すると, 各元素成分の含有量にオーダーレベルで差異が認められる. 特に, SとZn成分の含有量は, 道路堆積物に比較し廃タイヤ試料でそれぞれ18倍, 20倍と高い値を示している. また両試料でのSとZn成分の含有量の比率に注目すると, 図-11に示すように, 両元素成分間に強い相関関係が認められる. しかも道路堆積物を顕微鏡観察すると, 黒色のタイヤ粉じんがひも状に混入し

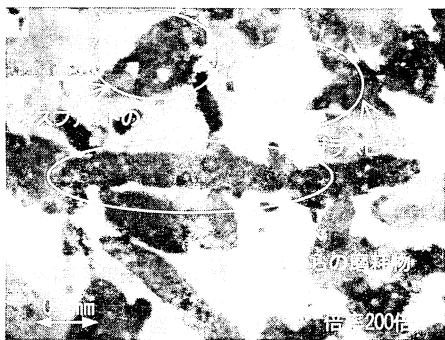


写真-2 道路堆積物中の人工混入物

ているのが確認できる(写真-2)。これは、車両タイヤのトレッド面が路面との摩擦により磨耗・剥離したものである。

以上のことから、車両走行と路面の摩擦より、S成分の比較検証からはアスファルト粉じん、SとZn成分の比較検証からはタイヤ粉じんが道路堆積物に混入・沈着している可能性の高いことがわかる。

4. おわりに

基礎データの蓄積を目的として、東京23区内一般国道の104地点から道路堆積物を採取し、含有元素成分組成などの評価を試みた。その結果、重金属類などの微量元素成分の含有量と強熱減量との間には強い相関性が認められることから、有機物が重金属類などの吸着・沈着に密接に関連していることが示唆された。また廃タイヤとアスファルト試料の元素成分組成の分析結果から、道路堆積物にタイヤ・アスファルト粉じんが混入し、重金属類の供給源となっている可能性の高いことがわかった。

今後、道路堆積物からの重金属類の溶出性について解明を試みるために、更なるデータの蓄積を図る必要があると考えている。

参考文献

- 1) 新矢 将尚, 船坂 邦弘, 加田平 賢史, 松井 三郎: 自動車交通に起因して流出する鉛の発生源の同定, 水環境学会誌, 29(11), 693-698, 2006
- 2) 和田桂子, 藤井滋穂: 雨天時における路面排水の水質特性および汚濁負荷の流出挙動に関する研究, 水環境学会誌, 29(11), 699-704, 2010
- 3) 国土交通省道路局: 平成22年度全国道路・街路交通情勢調査, <http://www.mlit.go.jp/>, 2011
- 4) 東京都市整備局, 東京の土地利用(平成18年度版), 2010)

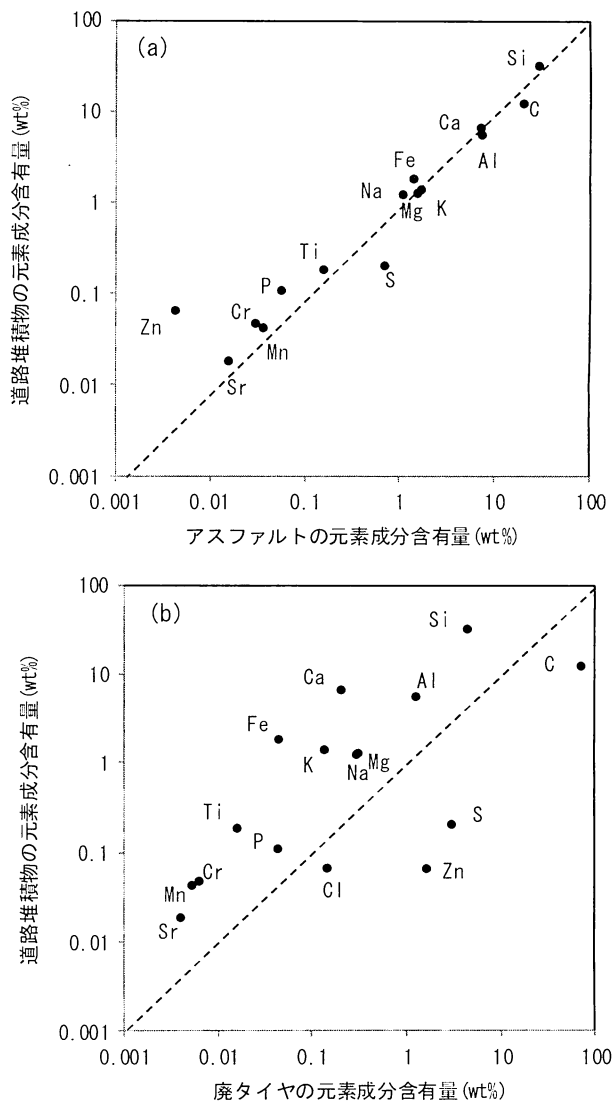


図-10 道路堆積物と路面アスファルト試料(a)及び廃タイヤ試料(b)との元素成分含有量の関係

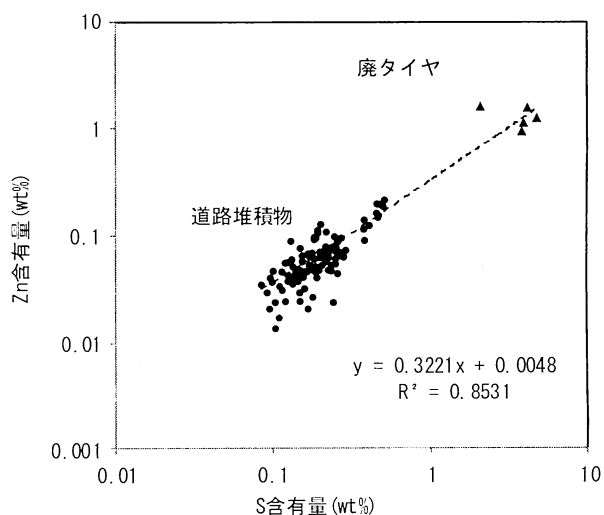


図-11 道路堆積物と廃タイヤでのZnとS成分の含有量関係