

第2章 既往の調査研究

第2章では、路面排水に含まれる化学物質に関する既往の調査・研究成果について、文献調査を行った結果を整理した。

得られた既往知見については、以下の項目により分類し整理した。

- ① 路面排水に含まれる化学物質の実態調査に関する調査研究
- ② 路面排水に含まれる化学物質の排出源に関する調査研究
- ③ 路面排水の規制と対策に関する調査研究

なお、関連文献は Web 上の文献検索システム（JDreamII、Science Direct）等を用いて、キーワード検索（キーワード；路面排水、道路排水、重金属）により収集した。ここでは検索によりヒットした約 210 編の論文の中から、上記項目に関する知見が述べられている 11 編について概要を整理した。

1. 路面排水に含まれる化学物質の実態調査に関する調査研究

収集した論文のうち、路面排水に含まれる有害化学物質の実態調査結果として有意なもの 4 編について、その論文名、著者・出典、概要を次表に示す。これらによる主な知見を要約すると以下のようであった。

- ① 路面排水中に含まれる金属類は自動車交通の影響を受けている可能性が高い。
- ② 路面排水中に含まれる成分の総量は初期降雨強度の影響が大きく、重金属や多環芳香族炭化水素（PAHs）の流出パターンは浮遊物質（SS）と近い挙動を示す。
- ③ PAHs は道路構造物に付着しており、降雨によって都市内小河川に流出する可能性がある。
- ④ ディーゼル自動車の排煙中の微粒子からは、亜鉛（Zn）、鉛（Pb）は検出されなかった。

表 2.1 路面排水に含まれる化学物質の実態調査に関する調査研究例

論文名（著者名、出典）	概要
雨水ます中の堆積泥に含まれる重金属の濃度分布 岩佐, 浦瀬, 水環境学会誌 Vol. 28, (2005. 10)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 路面排水に含まれる粒子性金属の組成に関する情報を得るために、東京都における計83地点の雨水ます中の乾燥堆積泥中の重金属含有量を測定した。その結果、雨水ます中の乾燥堆積泥あたり重金属含有量は、Pbは0.12mg/g、Znは0.70mg/gで他の研究者の報告する道路脇粉塵中の金属濃度とおおむね同じ程度の値であった。 ✓ <u>大通りにおけるZnやCu、Cr、Pbの濃度分布は濃度変動係数が大きかったことから、自動車交通の影響を受けている可能性が高いと考えられた。</u>
高速道路排出水の水質挙動と汚濁負荷に対する影響要因の検討 松山, 小西, 石川, 新矢, 土木学会年次学術講演会講演概要集第7部 Vol. 55, (2000. 08)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 高速道路排水を採水し、SS、TOC、T-N、T-P、重金属類、PAHsについて水質挙動と汚濁負荷量の実態調査を行った。 ✓ <u>高速道路から排出される重金属やPAHsの流出パターンはSSと近い挙動を示すことが分かった。</u> ✓ 各成分の路面上への堆積量については、先行晴天日数やその間に通過した車台数に影響されると考えられるが、<u>路面排水中に含まれる成分の総量については、初期降雨強度の影響が大きいことが分かった。</u>
道路排水と道路構造物の汚れに関する研究 徳永, 西村, 日野, 尾松 資源環境対策 Vol. 34, (1998. 10)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 高架道路と平面道路の排水について初期降雨3Lを採水分析した。 ✓ 道路排水の水質項目は河川の水質汚濁に係わる環境基準のC類型よりも高く特に油分が多かった。 ✓ 道路排水の負荷量は都市内路面1㎡当たりのBODが15.3g/年、CODが32.1g/年と推定された。 ✓ 発癌性物質のPAHは道路構造物に付着しており、降雨によって道路排水となって都市内小河川に流出する可能性があった。
道路構造物の汚れ及び高架道路排水の検討 徳永 阪神高速道路公団技術研究発表会論文集 Vol. 26, (1994)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 構造物(主桁)に付着した汚れを採集し、有機元素分析法等により分析した。道路構造物の汚れは空気中の粉塵が自動車排気ガス由来のパラフィン、エステル、カルボン酸及びPHAsをバインダーとして付着していると考えられ、微量のZn、Pbが検出された。 ✓ <u>ディーゼル自動車の排煙中の微粒子からは、Zn、Pbは検出されなかった。</u> ✓ 路面排水量と濃度の関係から、<u>初期排水のみを除去するだけで、環境改善に大きな効果が期待できると考えられた。</u>

2. 路面排水に含まれる化学物質の排出源に関する調査研究

収集した論文のうち、路面排水に含まれる化学物質の排出源に関して言及されている5編について、その論文名、著者・出典、概要を次表に示す。これらによる主な知見を要約すると以下のようであった。

- ① 都市高速道路における路面排水において高濃度の亜鉛が含まれていた。亜鉛は自動車タイヤの添加剤として含まれており、自動車の影響を強く受けられていると考えられた。
- ② 路面構成物および自動車材料の鉛濃度とその同位体比、Pb/Sb比を測定した結果、鉛製ホイールバランスウェイトの摩耗により生ずる微粒子が鉛の主要な発生源であると推定された。

表 2.2 路面排水に含まれる化学物質の排出源に関する調査研究例

論文名（著者名、出典）	概要
高速道路排水における汚濁負荷の流出特性 新矢, 小西, 宮西, 石川 用水と廃水 Vol. 44, (2002. 03. 01)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 都市高速道路における雨天時流出排水を分析し、累積汚濁負荷量と汚濁負荷原単位を算出した。金属については、溶存態の割合が最も大きかったのはMn、Zn、Cuであり、Ni、Vもその割合が比較的大きかった。Al、Cd、Cr、Fe、PbおよびPAHsは汚濁負荷量の90%以上が懸濁態で流出し、そのなかでも微粒子(75-0.5μm)の割合が大きかった。 ✓ 都市域におけるZnの汚濁負荷原単位は0.06~2.0kg/ha・yearと言われているが、本調査では4.5 kg/ha・yearと高い値を示した。Znは自動車タイヤの添加剤として含まれており、このことから都市高速道路排水負荷は自動車の影響を強く受けられていると考えられる。
自動車交通に起因して流出する鉛の発生源の同定 新矢, 船坂, 加田平, 松井 水環境学会誌 Vol. 29, (2006. 11)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 鉛同位体比分析により道路堆積物と道路排水の関係を調べ、また舗装用アスファルトや標示用道路塗料(白色および黄色)といった路面構成物、および自動車タイヤや鉛製ホイールバランスウェイトといった自動車材料の鉛濃度とその同位体比を測定し、自動車交通に起因する鉛発生源の同定を試みた。 ✓ 路面構成物および自動車材料の鉛濃度とその同位体比、さらにPb/Sb比を測定し、道路堆積物や道路排水と比較検討した結果、鉛製ホイールバランスウェイトのような鉛製品の摩耗により生ずる微粒子が鉛の主要な発生源であり、副次的に黄色道路塗料などが混合していたことが認められた。
有害化学物質の環境毒性評価 雨天時路面排水中塵あいの遺伝子毒性・エストロジェン性 小野, 永, 加納, 河原, 貫上 環境技術 Vol. 28, (1999. 05)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 岡山県内主要国道において堆積物の採取を行い各サンプルの重金属等の分析を行った。交通量の多い国道からの塵あい上には有機物が多く付着しており、交通量と相関していた。サンプル中の重金属は多種類であるが、特にFeが多く、自動車のブレーキパッドによると推察した。Pb、Zn及びAsなどの有害金属量も交通量に関係していた。 ✓ 遺伝子毒性umu-testに関しても最も毒性の強いサンプルは最も交通量の多い箇所であった。
Storm water runoff concentration matrix for urban areas P. Göbel, C. Dierkes, W. G. Coldewey Journal of Contaminant Hydrology Vol. 91, 26-42. (2007. 4)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 表層由来の路面排水の分類と濃度に関する集約的な文献を集め、異なる地表特性に由来したいくつかの汚染物質の濃度変化について、中央値と最大値からなる代表的な濃度マトリックスに整理した。 ✓ 路面排水中のZn、Pb濃度は本研究の調査値と同程度の値が測定されている。排出源として、路面の摩耗、タイヤの摩耗、ブレーキパッドの摩耗、燃料等の漏洩が挙げられた。
Sources of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban stormwater runoff Jeffrey N. Brown, Barrie M. Peake Science of the Total Environment Vol. 359, 145-155. (2006. 4)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 路面堆積物中の濃度レベルは、鉛は119-527 μg/g、銅は50-464 μg/g、亜鉛は241-1325 μg/gおよびΣ16PAHは1.20-11.6 μg/gの範囲であった。 ✓ 高いレベルの鉛と銅は恐らくこの集水域中の工業土地利用の由来であった。それ以上の亜鉛は、郊外住宅地の集水域の豊富な亜鉛メッキの屋根ふき材に関連していた。

<p>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)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ PAHsの主要な発生源の一つである自動車交通に着目し、幹線道路近傍で粉塵量およびそれらに含有するPAHsを調査した。 ✓ 16-PHHS合計含有量は小径は46.8 $\mu\text{g/g}$(道路端1m)、55.3 $\mu\text{g/g}$(道路端16m)、大径は29.4 $\mu\text{g/g}$(1m)、11.8 $\mu\text{g/g}$(16m)であった。 ✓ 道路端1mと16mとを比較すると1mの方がいずれも含有量が少ない傾向がある。これは自動車走行によって土粒子などの粉塵が巻き上げられている結果であると考えられる。 ✓ 10-PAHs合計量ベースの寄与率では、浮遊粉塵についてはディーゼルの寄与が大きく(34~96%)、ガソリンがそれに続く(4~56%)、アスファルトの寄与は6~51%、そしてタイヤの寄与は小さく2~6%であった。
<p>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)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ PAHsの挙動を評価するために路面堆積物である道路塵埃と路盤材であるアスファルトを試料として、紫外線分解試験、熱分解・揮発性試験、溶出試験を行った。 ✓ 道路環境中に存在するPAHsの約9割はアスファルト中に含まれていると推計され、その多くがアスファルト中に保存されていると推察された。また、PAHsの環境中への排出量は約1%と推計された。 ✓ in vitro溶出試験では小腸条件下でのPAHsの溶出が確認された。このことから、道路塵埃を直接摂取した場合、小腸より吸収される可能性が示唆された。
<p>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)(2003)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 高速道路由来の汚濁物について、清掃除去物調査、降雨時流出調査、大気浮遊物調査の結果をもとにして、挙動ステージ別にPAHsを中心とした汚濁物の挙動特性について検討した。 ✓ 清掃除去物調査結果より、PAHsの清掃除去量は距離比例先行無清掃日数の経過とともにある極限值に漸近するように増加する。 ✓ 降雨時流出調査結果より、各汚濁項目においてファーストフラッシュ現象が確認でき、降雨全体を通じて遮音壁ありの水質が遮音壁なしの水質を大きく上回る結果を得た。
<p>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 ペッペンシャイ、中島典之、古米弘明、(東京大学大学院)環境科学会誌 Vol. 15, No. 6, (2002)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 自動車排出物(ディーゼル車、ガソリン車)、タイヤおよび舗装材を道路側溝堆積物中の主たるPAHsの排出源として取り上げ、試料のPAHs組成比を6グループに類型化した。 ✓ タイヤ全8試料は単一のグループとして明確に他の起源試料と区別され、Pyreneが43.5%、Benzo(ghi)Peryleneが18.9%となり、両者を多く含有する点の特徴であった。 ✓ ガソリン車排出物は3つのグループに分かれて類型化され、Naphthaleneを多く含む点において明確に他の3グループと異なっていた。 ✓ 都内の側溝堆積物4試料を分析した結果、環七通りではタイヤ、桜田通りでは舗装材またはディーゼル排出物に由来するPAHsが側溝に多く存在している可能性が示唆された。
<p>道路路面排水中の多環芳香族炭化水素(PAHs)の実態把握と生物影響評価 (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</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 雨天時初期雨水中のPAHsに加え、umu試験による変異原性試験及びマイクロトックスによる急性毒性試験を行い、大気汚染物質と生物毒性との関係を把握するための基礎データを収集することを目的として実施した。 ✓ 農業排水路、雨水排水路、河川、国道雨水排水管から採取した試料について比較した結果、変異原性、急性毒性において国道雨水配水管において他の地点より高いか同程度の値が確認された。

3. 路面排水の規制と対策に関する調査研究

収集した論文のうち、路面排水に含まれる化学物質対策について言及されている2編について、その論文名、著者・出典、概要を次表に示す。これらによる主な知見を要約すると以下のようであった。

なお、路面排水に対して規制を設けている事例が海外に見られるかどうかについても論文検索の対象としたが、RoHS 指令*に代表されるように自動車や電化製品等に対する有害物質の使用に関する規制は存在するものの、海外において路面排水に規制を設けている事例は見られなかった。

*2003年1月にEU 調停委員会で採択。家電・電子機器に含まれる特定有害物質の使用を制限することにより、環境や健康に及ぼす危険を最小化することを目的としたEUの指令。

- ① 降雨初期の汚染物質濃度が高く、ファーストフラッシュ対策により多くの汚染物質を除去することができることが示唆された。初期排水のみを除去するだけで、環境改善に大きな効果が期待できる

表 2.3 路面排水に含まれる化学物質の対策に関する調査研究例

論文名（著者名、出典）	概要
Seasonal first flush phenomenon of urban stormwater discharges <i>Haejin Lee, Sim-Lin Lau, Masoud Kayhanian, Michael K. Stenstrom</i> <i>Water Research</i> <i>Vol. 38, 4153-4163. (2004. 12)</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 冬や春の降水や夏の干ばつで象徴されるカリフォルニアの気候は、長期間の汚染物質蓄積を作り出す。冬の最初の雨水は通常より高い汚染物質濃度を示し、それは季節のファーストフラッシュと呼ばれている。季節のファーストフラッシュの存在を調査するために、1999～2003年の雨期にデータを収集し解析した。 ✓ <u>降雨季節の初期の汚染物質濃度は、その季節の終わり近くの濃度の1.2～20倍の範囲であり高く、有機物や鉱物及び鉛以外の重金属には最も強く現れた。この結果は、ファーストフラッシュ対策により多くの汚染物質を除去することができることを示唆した。</u>
Metal sorption to natural filter substrates for storm water treatment –column studies <i>Carina Färm</i> <i>The Science of The Total Environment</i> <i>Vol. 298, 17-24. (2002. 10)</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 貯留池を路面雨水排水処理に使用することで、水中の固形物結合態金属の濃度レベルを削減できる。しかし、微粒子および溶存物質は貯留池を通り抜けてしまう。これらの金属のうちのいくつかは、特別なろ過処理装置で水をろ過することにより削減することができる。水中の重金属を削減する際に異なる「ろ材質」の除去率の評価試験を行った。 ✓ <u>金属溶液は、ケイ酸カルシウム岩(opoka)、ゼオライトおよび泥炭の混合物から成る様々なろ材を充填したカラムでろ過された。Opokaとゼオライトの混合物は、水面積負荷の状況および除去効率の両方に関して試験された他の混合ろ材より優れていることが判った。金属の除去能力は、ろ過材当り金属量で0.6～1.8kg・m⁻³の範囲であった。</u>