

長期モニタリングデータを用いた道路排水の重金属類汚濁負荷算出とその降雨特性による影響

廃棄物有害物管理工学研究室 07328787 小池 薫

指導教員 小松俊哉 姫野修司

1. 背景及び目的

ノンポイント汚染は汚染源が面的に存在し、その汚染濃度自体は薄いものの単位面積当たりに排出される汚染物質は増加する傾向にある。そのため、水環境の保全においてノンポイント汚染対策の重要性が高まっている。本研究では市街地のノンポイント汚染において非常に大きな割合を示す道路排水に着目した研究を行っている。

既存の研究¹⁾では降雨に左右される性質を持つ影響から発生量全体の割合から換算すると数%以下の発生量であり、発生量全体から汚濁負荷を推定する段階には至っていない。

本研究では、1年間に発生する道路排水全体から発生する重金属類の汚濁負荷量・発生由来を推定することを目的としている。

2. 採水装置と採水地点の概要

本研究では2008年度に村田ら²⁾が作成した発生量全体を採水可能な「M50-2008型採水装置」をベースに「K56-2009型採水装置」を作成した。この装置は図1に示すシステムから、最大降雨強度の増大化(12mm/h→20mm/h)を目的とした改良を施しており、図1の②-③間のホースについて、径を太くするとともに、接続部の凸部を撤去した。他に下記の改善を施した。

- 均等分割槽の整流壁にネジをつけて平衡状態を改善
- 均等分割槽の分割数を50→56に増大化(10%増)

その結果、本研究では2008年度まで採水できなかった最大降雨強度12mm/hr以上の降雨から発生した道路排水も採水できるようになった。

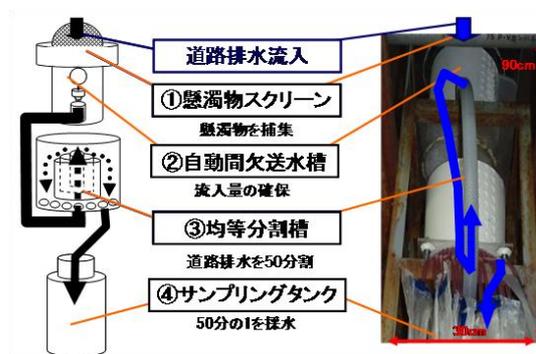


図1 2008年度用いた

小型サンプリング装置概要

2009-10年度も2008年度²⁾と同地点である、新潟県長岡市の渋海川にかかる渋海橋左岸橋梁下の既設雨水排水管(排水面積:35m²)に採水装置を設置し、道路排水の採水を行った。採水地点である渋海橋の道路交通量は平成17年現在約7,000台/日である。

3. 調査項目と重金属類の測定・算出方法

本研究では道路排水中の重金属類濃度や汚濁負荷と降雨緒元(総降雨量、最大降雨強度、先行無降雨時間)の関連性、重金属類濃度同士の関連性、雨水中の重金属類濃度との比較を行っている。

測定している元素は2008年度までのカドミウム・クロム・鉛・亜鉛・銅に加え、鉄・マンガン³⁾の7元素の濃度をICP発光分析装置により測定している。道路排水は溶存態:<1μm、微粒子:1μm~2000μm、懸濁態:>2000μmの3態から構成されており、それぞれの濃度の総和を一つの道路排水濃度とした。汚濁負荷は以下の式(1)のように総降雨量と重金属類濃度の積とした。

汚濁負荷(mg/m²)

$$= \text{濃度(mg/L)} \times \text{総降雨量(mm)} \quad (1)$$

4. 道路排水採水時の

降雨状況と長岡市の降雨状況

道路排水の採水数は2年間で21サンプル(≧12mm/h【n=6】)であり、降雨量において558mm道路排水を採水した。これは2年間に発生した4~12月の降雨に対して、降雨回数では約24%、降雨量では約16%にあたる。採水地点のすぐ近くで雨水も並行して採水した。道路排水採水時の降雨状況代表値について表1に示した。

表1 道路排水採水時の降雨状況代表値

09-10年(N=21)	降雨緒元		
	総降雨量(mm)	先行無降雨時間(h)	最大降雨強度(mm/h)
最小値	3.5	2	1.5
最大値	79.0	582	21.0
平均値	26.6	92	9.1
中央値	19.5	53	7.0
標準偏差	±19.2	±126.4	±5.1

総降雨量については平均値・中央値は2年間を通して20~30mmを示した。この値は長岡市で観測された全降雨(n=89)の平均値・中央値と比較した結果、概ね同レベルだった。

先行無降雨時間については、平均値が中央値の約2倍の値を示した。この理由は2010年に観測した先行無降雨時間582時間のサンプルを採取したためである。先行無降雨時間の最長値となるサンプルとその次に長いサンプルの時間の比率は約3倍にもなった。そのため、このサンプルを除いて降雨緒元の関係性について考察する。

2年間を通した道路排水採水時の総降雨量と先行無降雨時間の関係性について回帰分析を行った結果、中程度の負の相関(R=-0.30)を確認した。先行無降雨時間が長いほど総降雨量が少ない傾向にあった。

長岡市の全降雨(09-10年)における総降雨量と先行無降雨時間の関係性について回帰分析を行った結果、弱い負の相関(R=-0.15)を確認した。

以上の結果から道路排水採水時の降雨緒元の関係性と長岡市の2年間の全降雨・降雨緒元の関係性は近似していると考えられる。

5. 道路排水中の重金属類濃度

表2 道路排水中の

重金属類濃度代表値及び基準値

09-10年(N=21)	道路排水重金属類濃度 ×10 ⁻³ (mg/l)						
	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu	Fe	Mn
最小値	<0.2	1.43	1.57	13.8	1.08	14.7	5.36
最大値	3.27	45.1	82.1	611	77.1	24100	692
平均値	1.38	12.5	22.9	169	22.1	5080	151
中央値	0.807	6.00	19.0	102	10.2	2040	40.6
標準偏差	±1.11	±12.2	±22.4	±161	±25.0	±6930	±210
環境基準(mg/l)	0.01	0.05	0.01	0.03	-	-	-
排水基準(mg/l)	0.1	2	0.1	2	3	10	10

道路排水中の重金属類濃度代表値及び環境基準・排水基準について表2に示した。全濃度の平均値・中央値共に、環境基準との比較では鉛と亜鉛が超過した。同時に採水した道路排水と雨水の倍率を表3に示した。

表3 雨水との

重金属類濃度倍率(道路排水/雨水)

	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu	Fe	Mn
平均値倍率	5.5	22	3.4	8.0	0.81	150	27
中央値倍率	-	10	6.6	7.2	13	59	8.6

道路排水中の濃度が雨水よりも全体的に大幅に高く、路面堆積物や土壌の影響が大きいと考えられた。その中では、鉛は比較的雨水にも含まれていることが明らかとなった。

表4 道路排水中の各態濃度分布(%)

	3態の平均濃度分布(各態濃度/道路排水濃度)						
	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu	Fe	Mn
溶存態	17.1	13.6	12.1	12.1	9.9	10.4	10.4
微粒子	25.0	26.9	10.7	18.0	12.4	18.7	19.0
懸濁態	58.0	59.6	77.2	69.8	77.7	70.9	70.6
	2010年9/7-9/8サンプル重金属割合						
	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu	Fe	Mn
溶存態	0.0	2.0	3.3	0.6	0.0	0.5	0.0
微粒子	66.1	71.4	61.1	78.7	67.4	70.9	63.9
懸濁態	33.9	26.5	35.6	20.8	32.6	28.6	36.1

表4に示したように、道路排水中の濃度分布について、多くのサンプルで懸濁態に高濃度で分布していた。東京都練馬区³⁾で行われた調査では、道路粉塵中の重金属類において、銅は固形物質として残存し、亜鉛はイオン状に存在するため溶存

態に吸着され易いことが報告されているが、本研究では溶存態中の濃度分布は全ての元素で同割合であり、傾向が異なった。先行無降雨時間 582 時間・総降雨量 63mm のサンプルは濃度の比率において微粒子濃度が非常に高く、亜鉛・鉄濃度において最大値を示した。

6. 道路排水中の重金属類同士の濃度比較

各重金属類の発生源の類似性を推定することを目的として、道路排水中の重金属類濃度同士を比較した。関係性を相関係数によって表 5 に示した。また、道路排水の重金属類濃度に関する特徴、新潟県中越地方の土壌での重金属類含有量の特徴に関する共通点を明らかとすることを目的に、表 6 に信濃川流域(N=37)底泥に含まれる重金属類含有量同士の相関係数及び有意差を示す。信濃川流域データは産業技術総合研究所が 2000 年以降に全国の河床底泥を調査した際の公開データ⁴⁾をもとに算出している。

表 5 道路排水重金属類濃度

同士の関係性・相関係数によるまとめ
(** : p<0.01, * : p<0.05)

	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu	Fe	Mn
Cd	1		**	**	**	*	*
Cr	0.42	1	**	**	**	**	**
Pb	0.75	0.81	1	**	**	**	**
Zn	0.54	0.87	0.83	1	**	**	**
Cu	0.56	0.90	0.91	0.95	1	**	**
Fe	0.47	0.87	0.82	0.97	0.96	1	**
Mn	0.44	0.81	0.84	0.94	0.98	0.98	1

表 6 信濃川流域底泥における

重金属類含有量同士の関係性

(** : p<0.01, * : p<0.05)

	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu	Fe ₂ O ₃	MnO
Cd	1	**		**	**		*
Cr	0.42	1		*			
Pb	0.30	0.15	1	**			
Zn	0.84	0.38	0.52	1	**		**
Cu	0.63	0.31	0.19	0.66	1	*	*
Fe ₂ O ₃	0.03	0.09	0.03	0.21	0.34	1	**
MnO	0.38	0.14	0.30	0.46	0.34	0.78	1

道路排水中の重金属類濃度同士の比較結果と中越地方・信濃川流域底泥の重金属類含有量の関係性

についての比較結果から、共通点をまとめた結果、以下のことが明らかとなった。

【共通点】

- 鉛は他の元素との相関係数が低い
- 鉄・マンガンの相関係数は高い
- カドミウムと他の元素の相関係数が低い場合が多い

以上の共通点から道路排水における重金属類同士の関係性による発生由来を以下のように推定した。

【推定した事柄】

- カドミウムは他の元素と発生源が異なる可能性が高い
- 銅・鉄・マンガンは発生源が一致している可能性が高い

7. 道路排水中の重金属類汚濁負荷と

降雨緒元との関連

道路排水による汚濁負荷と降雨緒元との関連性を調べた。一例として、図 2 に総降雨量と鉛・亜鉛の負荷との関連性を示す。

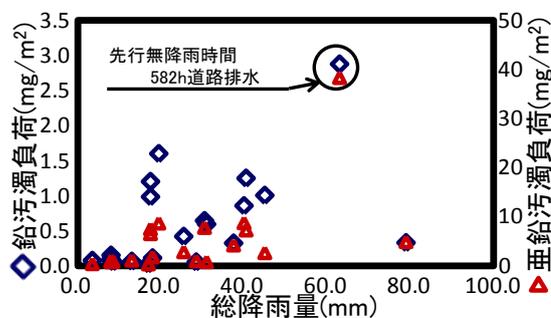


図 2 総降雨量と

鉛・亜鉛汚濁負荷の関係性

汚濁負荷が飛びぬけて高かったのは先行無降雨時間 582 時間のサンプル(総降雨量 63mm)であり、多くの元素で最大負荷を示した。このサンプルを除いた 20 サンプルでの降雨緒元と汚濁負荷との相関係数を表 5 に示す。総降雨量とは正の相関を示し、一方、先行無降雨時間とはカドミウム以外では極めて弱い負の相関を示した。2008

年(n=15)²⁾は鉛元素と総降雨量で有意な正の相関を示したが、この2年間では2008年ほど強い相関を示さなかった。なお、最大降雨強度との関連性については12mm/h以上のサンプルの負荷が高い傾向は認められなかった。しかしながら図2のように総降雨量に伴い負荷が上昇する傾向がある点は共通点である。大きな相違点は、2008年は先行無降雨時間との間に有意な正の相関を示したことである。この2年間では、総降雨量と先行無降雨時間に負の相関がみられたことが影響したと考えられるため、本研究では、重金属類汚濁負荷における総降雨量と先行無降雨時間の影響の大きさについて確認するため、表7に重相関係数も示した。

表7 各緒元の相関係数一覧

	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu	Fe	Mn
総降雨量	0.36	0.36	0.39	0.41	0.25	0.23	0.19
先行無降雨時間	0.07	-0.05	-0.09	-0.12	-0.13	-0.10	-0.18
重相関係数	0.41	0.18	0.29	0.41	0.26	0.23	0.23

重相関係数の値は、全ての元素において総降雨量との相関係数よりも若干高い値もしくは同程度の値であった。クロム・鉛・亜鉛では、先行無降雨時間と負荷の相関係数そのものは負であったが、重相関における先行無降雨時間の傾きは正になった。しかし、全ての重金属において、総降雨量の傾きに対して先行無降雨時間の傾き(絶対値)が非常に小さかった。以上より、この20サンプルでは先行無降雨時間の影響が実際に小さいことが確認された。この重相関からの近似式を用いて、採水できなかった道路排水も含めた全降雨(n=89)からの汚濁負荷を表8に示す係数及び、(2)式から算出することにより年間汚濁負荷を求め、表9に示した。比較のため、2008年度の結果、および大阪市の高速道路排水に関する調査結果³⁾についても示している。

年間汚濁負荷(kg/km²/年)

$$= \sum (a \times \text{総降雨量} + b \times \text{先行無降雨時間} + c) \quad (2)$$

表8 年間汚濁負荷算出近似式の係数一覧

	Cd	Cr	Pb	Zn
a(総降雨量傾き)	6.77×10^{-4}	2.30×10^{-3}	8.10×10^{-3}	7.17×10^{-2}
b(先行無降雨時間傾き)	9.47×10^{-5}	2.88×10^{-5}	8.71×10^{-7}	1.96×10^{-4}
切片	-2.03×10^{-3}	0.186	0.296	1.63
	Cu	Fe	Mn	
a(総降雨量傾き)	6.45×10^{-3}	1.47	3.24×10^{-2}	
b(先行無降雨時間傾き)	-5.28×10^{-4}	-6.61×10^{-2}	-8.28×10^{-3}	
切片	0.329	64.1	2.72	

表9 年間汚濁負荷一覧(kg/km²/年)

	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu	Fe	Mn
本研究	1.74	16.7	36.9	269	33.4	7130	214
2008年度	0.02	2.5	18.9	47.6	9.8	-	-
大阪市高速道路	0.5	5.4	24.5	450	45.1	1690	62

本研究では2008年度の結果と比べ、濃度が総降雨量に対して負の影響を受けていなかった。よって、年間汚濁負荷が大きくなったと考えられる。

大阪市との比較では、亜鉛と銅は大阪市の方が高い年間汚濁負荷を示した。これらは自動車交通の影響が大きいが知られており、交通量の影響が考えられる。しかし、同様に自動車交通の影響が大きいと考えられている鉛も含めて他の元素では本研究の方が高い年間汚濁負荷を示した。この理由としては、大阪市での調査では6回の初期降雨のみの採水から推定したため、総降雨量に影響を受ける年間汚濁負荷量が低く算出されたことが考えられる。また、鉄やマンガンが大幅に高い値を示したのは、これらは土壌中にも比較的多く含まれ、長岡市は大阪市と比べ地表面に晒されている土壌面積割合が大きいことや地質的特性としてこれらの含有量が多いことから、主に土壌からの流出由来と考えられる。

8. まとめ

- 採水装置の改善により、最大降雨強度12mm/h以上の降雨から発生した道路排水も採水した。
- 先行無降雨時間582時間の道路排水を採水した。これは多くの元素の負荷が最大値を示した。
- 今回の重金属類汚濁負荷は先行無降雨時間の影響を受けにくく、総降雨量の影響を受け易かった。

- 本研究の亜鉛・銅以外についての年間汚濁負荷は大阪市の調査結果より高く算出された。
- 本研究では鉄・マンガンの発生由来は土壌からの流出と推定された。

参考文献

- 1) 脇岡靖明：水環境学会誌,
Vol. 26, No. 4, pp. 237-242(2003)
- 2) 村田洸：長岡技術科学大学大学院 修士論文(2008)
- 3) 岩佐知洋：水環境学会誌,
Vol. 28, No. 10, pp. 637-641(2005)
- 4) 産総研：海と陸の地球化学図,
<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/geochemmap/index.htm>
- 5) 新矢将尚：生活衛生,
Vol. 44, No. 3, pp. 207-213(2002)