

(10) 都市河川における懸濁態重金属の形態とその流出特性

Chemical Forms of Particulate Heavy Metals and
its Run-Off characteristics in Urban Rivers

水野克彦^{*}、橋 治国^{*}、丹保憲仁^{*}

Katsuhiko MIZUNO、Harukuni TACHIBANA、Norihito TAMBO

ABSTRACT : The chemical forms and the run-off characteristics of particulate heavy metals were researched. Before the chemical analysis, the suspended matters contained in water were separated by continuous centrifuge, then the various types of heavy metals were fractionated into 5 groups from them by various solvents. Together with the data of examining the chemical components in water and mud, the followings were found out: (1) The ratio of natural mineral heavy metals becomes high in flood time, (2) Cu originate from human activities because of the close relation with organic matters, (3) Much of Mn and Zn have a similar behavior, and they originate from industries and households. Though the amount of heavy metals in suspended solid in studied area is not so much, run-off control of suspended solids by consolidating drainage system is available for improving water circumstances.

KEY WORDS : HEAVY METAL, URBAN RIVER, SUSPENDED SOLID, POLLUTION ANALYSIS

1. 緒言

環境基準の設定と水質汚濁防止法による工場排水の濃度規制によって、河川の水質汚濁は戦後の危機的な状況を脱することができた。しかし都市近郊の河川の水質は、自然の状態からはほど遠く、利水やレクリエーションに対して適当でないことも多い。水が濁っていないくとも、河床が変色している例もある。この原因は、排水規制が水量が多い工場排水などの点汚濁源に限られたために汚濁削減効果が十分でなかったこと、また地表面や下水溝に堆積した汚濁物質の降雨時における大量流出に対する配慮が不足したことにある。

筆者らは、都市河川の環境の現状を上記のように認識し、その最近の汚濁の実態を、懸濁態重金属に焦点をおいて調査した。一般的な重金属元素は環境基準項目としても取り上げられることもなく、その挙動についての調査は、汚染物質の動態解析に新しい知見が見いだされるものと期待できる。重金属元素については、汚染の特性を明らかにし供給源を推測するために形態別に分画した。また重金属元素の面源流出負荷量を評価するために降雨増水時に重点をおいて調査した。

本文においてはこれらの調査結果と、これらに基づく懸濁態重金属の

St. No.	
1	Nousi park
2	Simizu Bridge [*]
3	Nisino
4	Hidarimala
5	Bankai1
6	Bankai2
7	Toisizawa
8	Genpatizawa
9	Migimata
10	Heiwa

^{*}: At this station, flow(Q) was observed

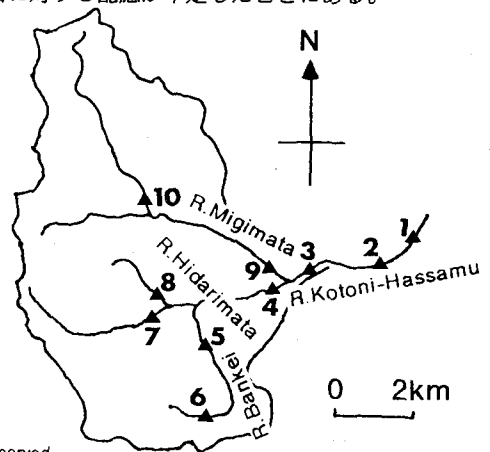


Figure 1 Kotoni-Hassamu River basin and sampling stations

^{*} 北海道大学工学部衛生工学科 (Department of Sanitary Eng., Hokkaido University)

流出・汚染機構と制御方法についての検討結果について述べる。

2. 研究方法

2.1 調査対象水域と調査方法

札幌市の西部を流れる琴似発寒川を対象河川とし、概況を Figure 1 に示した。本川は、手稲山を源流とし、途中左股川などの支流を併せて、新川へ合流し、石狩湾に注いでいる。流路延長は16.6kmの小河川である。上流部の85km²の集水域は主に森林区であるが、若干の居住区（盤渓地区）も存在する。下流部の15km²は市街地で、この地域には合流式（一部分流式）

下水道が敷設されている。本川は中流部の西野(St.3)で水道水源としても利用されており、環境基準のA類型が指定されている。

調査地点は、Figure 1 に番号で示したとおりである。主要調査地点は、流量観測が北海道でなされている清水橋(St.2)とした。調査は1992年6月4日～8月20日にかけて、清水橋(St.2)を中心とした定期調査と、降雨時の集中調査を行った。懸濁物質の組成や起源について検討を加えるため、1992年11月27日には流域全体で水試料の他に、底泥や土壌試料も採取した。

2.2 分析方法

Figure 2 に分析方法の概略をフローシートで示した。

(1) 試料採取方法

水試料は、流心部の表層水をバケツで採取し、一部の試料については0.45μmメンブランフィルターでろ過を行ったのち、冷蔵や冷凍、酸添加等、目的に応じた保存処理を行った。懸濁物質は、約20lの試料水から遠心分離（18,000rpm）によって収集し、凍結乾燥して保存した。底泥はプラスチックシャベルで採取し、風乾して試料とした。

懸濁物質と底泥の粒度分画は、ふるい（孔径0.063、0.125、0.25、0.5、1、2mmを使用。）によって行った。

(2) 一般水質分析項目と方法

pH、電導度などを現地観測したほか、主要イオン（Ca⁺、Mg²⁺など陽イオン、Cl⁻、やSO₄²⁻など陰イオン）、栄養塩（形態別リン、形態別窒素）、有機炭素（TOC）を分析対象項目とした。分析法は、主に水の分析によった¹⁾。

(3) 懸濁物質中の重金属および元素分析

懸濁物質と底泥試料に対し、形態別に分画した重金属元素と炭素、窒素の含量を定量した。重金属元素については、Forstner²⁾の手法を基本とした Figure 3 に示すようなフローシートに従い、懸濁物質に対し各溶媒を用いて連続抽出し、各抽出液について日立170-70型ゼーマン原子吸光光度計で重金属元素（鉄（Fe）、マンガン（Mn）、亜鉛（Zn）、銅（Cu））を定量し、乾泥1g当りに換算して表示した。

Figure 3 に従って分画した重金属は、抽出した溶媒の性質から、分画1は弱吸着態、分画2-1は炭酸塩

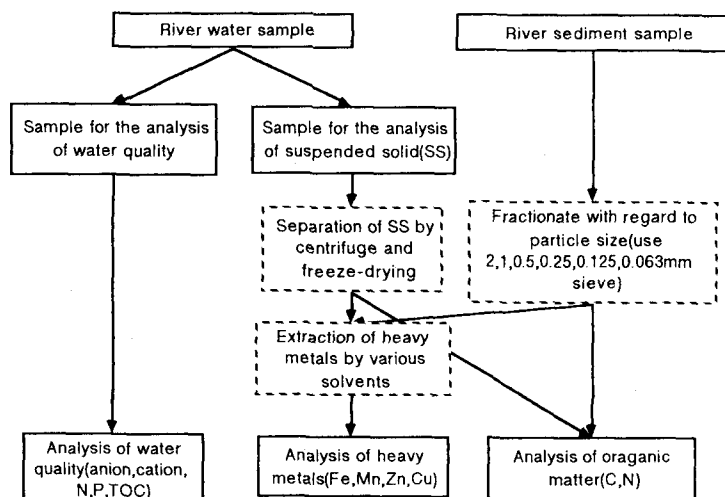


Figure 2 Flow sheet of analysis method

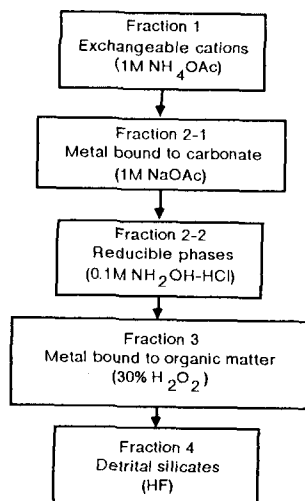


Figure 3 Flow sheet of sequential extraction methods of heavy metals
(): solvent for extraction

態、分画2-2は易還元性態、分画3は有機態、分画4は鉍物態の指標とされている²⁾。橘ら³⁾は札幌市内の底泥を分析し、分画1~3の総含量を人為起源の指標となる二次堆積性、分画4を自然起源を示す一次堆積性であると明らかにした。また中島⁴⁾は琵琶湖の底泥から分画の1、2に人為汚染による重金属が含まれていると報告した。重金属の分画において人為汚濁起源を特定することを目的にしたため、初期においては分画2-2の操作で分画2-1を含めて分析した²⁾。この場合は分画2(=分画2-1+分画2-2)として示す。また一次鉍物性と二次鉍物性の合計含量を重金属の全含量として示す。懸濁物質中の炭素と窒素含量は、島津製作所のSUMIGRAPH NC-80で分析した。

3. 結果および考察

3.1 琴似発寒川の水質の特徴

調査期間中の琴似発寒川の流量と水質の変化を清水橋(St.2)を例に Figure 4 に示した。1992年の月平均流量は $0.22 \sim 3.47 \text{ m}^3/\text{s}$ で、調査期間中の最小流量は $0.09 \text{ m}^3/\text{s}$ (8月5日)、最大流量は8月13日の降雨時に $3.94 \text{ m}^3/\text{s}$ で、中規模の都市河川といえる。

本川の水質は、2.1で述べたように全体的には良好といえる。6~7月の流量安定時の水質は、懸濁物質(SS)が $6 \sim 7 \text{ mg/l}$ と幾分高いが、TOCは約 2 mg/l 、TN約 0.2 mg/l 、TP約 0.01 mg/l と清澄である。そのほかの成分濃度もかなり低い値であった。西野地点(St.3)では、さらにSS濃度が低く、流下過程における都市流出物の影響が認められた。

降雨時(8月8日~8月9日)には懸濁物質濃度は最大 146.6 mg/l (8月9日)になり、それに伴い懸濁態の重金属および栄養塩濃度が顕著に上昇した。8月9日の増水時の重金属濃度は、懸濁態と溶存態に分けると、Feでそれぞれ、 5.1 、 0.2 mg/l 、Mnで 0.3 mg/l 、検出限界(0.01 mg/l)以下とほとんどが懸濁態であった。溶存態の一般無機成分や重金属濃度は減少した。なお増水時には懸濁物質中の炭素、窒素含量は減少し、懸濁物質は鉍物性(自然由来)である傾向が強くなっている。

3.2 懸濁物質中の重金属元素の形態とその流出特性

(1) 懸濁物質中の重金属含量と汚染レベル

Table 1 に、6月4日~8月20日の調査期間中の清水橋(St.2)における懸濁物質中の形態別重金属含量を統計的に整理した。

重金属の全含量の平均値は、Fe 43.0 mg/g 、Mn 2.5 mg/g 、Zn 0.37 mg/g 、Cu 0.082 mg/g であった。この値は、底泥の細粒分(Figure 10、 $<0.063 \text{ mm}$)の値に近く、ほぼ流域の特徴を示しているといえる。名古屋市内の汚濁した都市河川(大江川)の底泥⁵⁾では、Zn $8.8 \sim 15.8 \text{ mg/g}$ 、Cu $0.32 \sim 0.71 \text{ mg/g}$ が観察されているが、これらに比べると本河川の懸濁物質に含まれる重金属含量はかなり少なく、汚濁レベルは低いといえる。しかし札幌市を貫流する豊平川上流の底泥⁶⁾(Mn 0.68 mg/g 、Zn 0.15 mg/g 、Cu 0.022 mg/g)よりかなり高含量で、自然の状態への回復にはまだ到っていない。また増水時に示されることが多い最大含

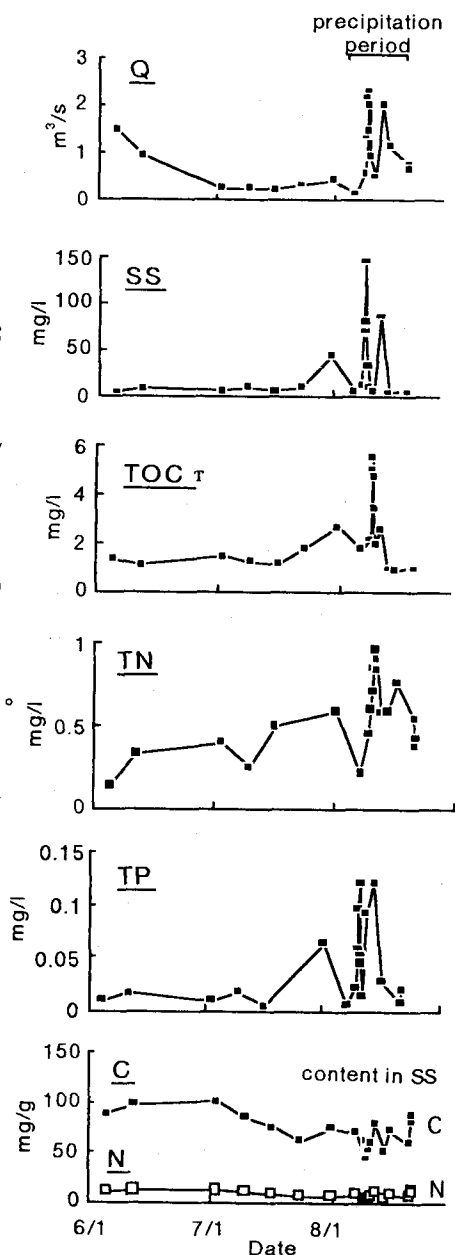


Figure 4 Behavior of flow(Q) and concentration of various components (4 Jun.-20 Aug.)

Table 1 Content of fractionated heavy metals, carbon(C) and nitrogen(N) in the suspended solid(SS), n=21 (4 Jun.-20 Aug.)

Metal	Fraction	AVE.	MIN.	MAX.
Fe mg/g	1	ND	ND	ND
	2	12.8	7.1	21.3
	3	11.1	6.0	20.7
	4	19.1	7.7	33.2
	Total	43.0	24.9	56.7
Mn mg/g	1	0.32	0.02	0.85
	2	1.92	0.24	4.64
	3	0.14	0.01	0.22
	4	0.15	0.05	0.25
	Total	2.52	1.03	5.50
Zn mg/g	1	0.043	0.014	0.133
	2	0.200	0.054	0.314
	3	0.061	0.022	0.106
	4	0.070	0.043	0.101
	Total	0.374	0.178	0.580
Cu mg/g	1	0.011	0.004	0.028
	2	0.032	0.015	0.064
	3	0.019	0.010	0.039
	4	0.020	0.008	0.052
	Total	0.082	0.045	0.144
Carbon	mg/g	6.95	4.47	10.14
Nitrogen	mg/g	0.80	0.36	1.27

Table 2 Concentration of fractionated particulate heavy metals and dissolved heavy metals, particulate carbon(C) and nitrogen(N) in the water, n=21 (4 Jun.-20 Aug.)

Metal	Fraction	AVE.	MIN.	MAX.	V.C.*
Fe mg/l	1	ND	ND	ND	ND
	2	0.38	0.033	1.75	0.73
	3	0.34	0.017	1.79	0.68
	4	0.74	0.022	4.49	0.65
	Total	1.45	0.078	7.86	0.71
Mn μg/l	Dissolved	0.24	0.141	0.57	2.87
	1	6.5	0.19	43	0.63
	2	60.0	1.51	367	0.68
	3	4.6	0.42	25	0.69
	4	5.7	0.15	36	0.63
Zn μg/l	Total	77.0	3.91	437	0.71
	Dissolved	7.2	ND	23	0.84
	1	0.82	0.16	2.9	0.92
	2	6.12	0.15	29.1	0.78
	3	1.86	0.06	8.2	0.77
Cu μg/l	4	1.98	0.12	9.4	0.77
	Total	10.78	0.50	49.7	0.80
	Dissolved	ND	ND	ND	ND
	1	0.23	0.032	1.07	0.78
	2	0.79	0.067	3.25	0.81
Carbon	3	0.42	0.066	1.91	0.83
	4	0.34	0.055	1.14	1.03
	Total	1.78	0.365	0.74	0.87
	Dissolved	ND	ND	ND	ND
Carbon	mg/l	1.63	0.24	6.56	0.87
Nitrogen	mg/l	0.15	0.030	0.56	0.96
SS	mg/l	29.1	2.80	146.6	0.76

* : variance coefficient

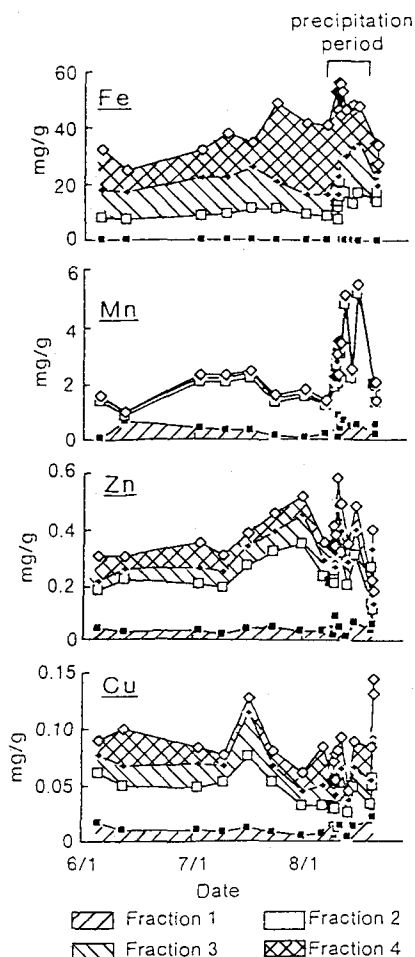


Figure 5 Behavior of content of fractionated heavy metals (4 Jun.-20 Aug.)

量が平均値の数倍になることをあわせて考えると、より自然に近い環境に回復させるという意味では、まだ重金属元素の存在量は無視できず、その発生および流入経路の解明が必要である。

(2) 懸濁物質中の重金属元素の形態的特徴

重金属含量を形態別に比較すると、重金属の起源や性質について、さまざまな情報を得ることができる。Table 1 から琴似発寒川の懸濁物質については、Feは分画4が優占するように大部分は自然由来の鉱物性であること、Mn、Znは分画1、2が優占し人為由来の成分の割合が高いことがわかる。Cuについては各形態の存在割合の差が小さく、各形態とも人為起源の重金属として無視できない。Fe 分画1の濃度は懸濁物質中に微量しか検出できなかった。

(3) 形態別重金属の濃度変化の特徴

Table 2 は6月4日～8月20日の調査期間中の清水橋 (St.2) における形態別重金属濃度を懸濁態を中心に統計的にまとめたものである。懸濁態重金属濃度は懸濁物質 (SS) 濃度と重金属含量を掛け合わせてもとめた。

平均値でみると、全量としての濃度およびその分布幅は特異なものではなく、平均的な都市河川水質といえよう。形態としては、懸濁態が優占すること、すなわち重金属は懸濁物質によって河川に供給されることがわかる。各態の重金属濃度の変動係数がSSの値に近いことから明かである。

(4) 降雨時における形態別重金属含量の変動特性

調査期間 (6月4日～8月20日) における懸濁物質中の形態別重金属含量の経時変化を Figure 5 に示した。また降雨時 (8月6

日～8月20日)の連続調査の結果については、その詳細を Figure 6 に示した。

流量安定時には各形態の重金属含量の変化は小さいが、増水時には懸濁物質濃度の増加と共に大きく変化する。もっとも顕著なのがFeとMnの分画4における含量の増加である。これは3.1で述べたように面源由来の鉱物質に富む森林土壌の割合が増したと一致する。重金属含量が減少するものとして代表的なものがMn分画1、Cu分画1、4である。これらは、点源に由来する人為起源の割合が高いものと推測される。

また増水後の流量が減少したあとに濃度が高くなる重金属として、Mn分画1、2、Zn分画1、2がある。懸濁物質が一掃されたあとに、C、N含量も高くなることから、これは排水(有機物)由来の懸濁物質に由来するものといえる。

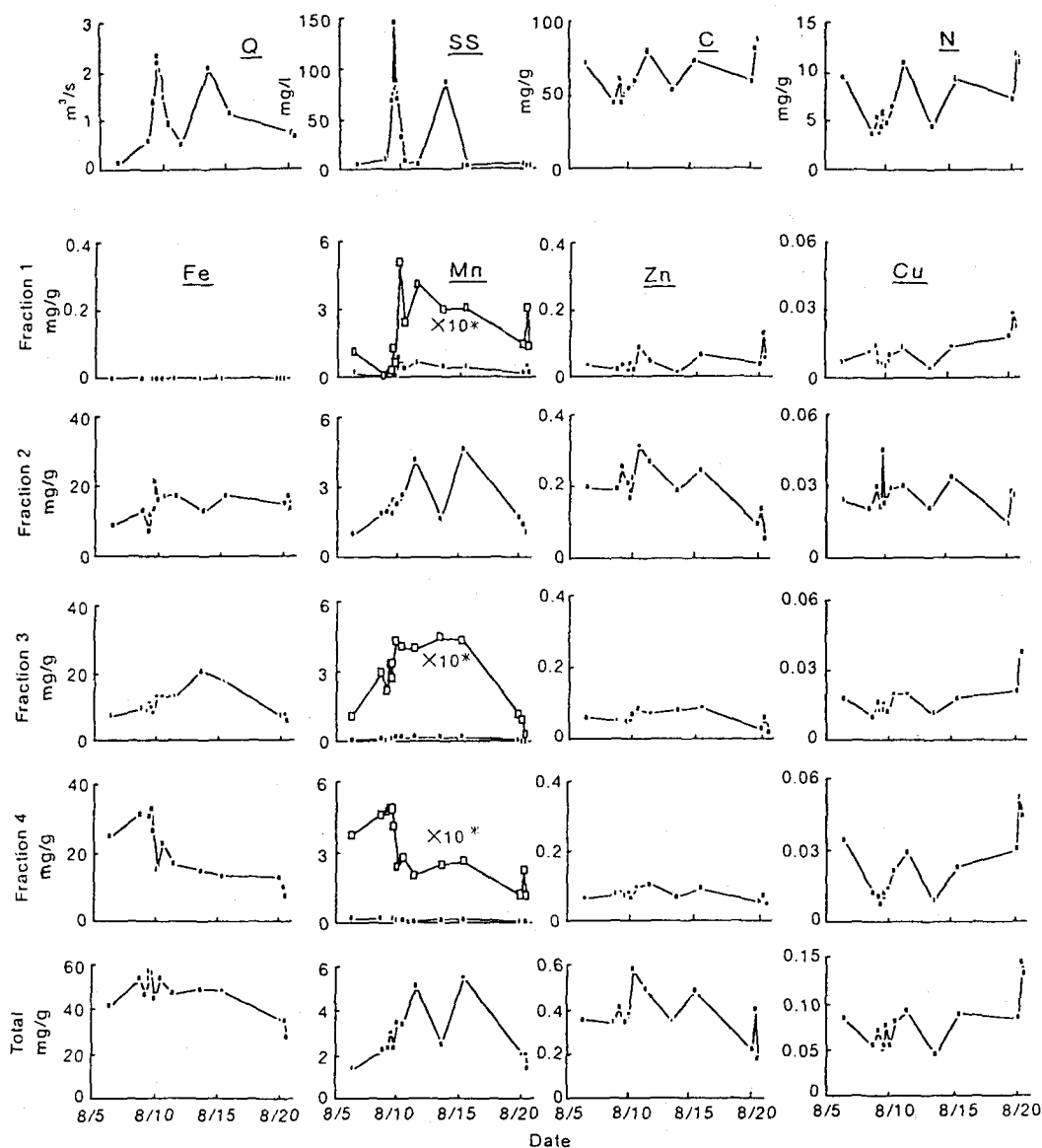


Figure 6 Behavior of flow(Q),SS,C,N and fractionated heavy metals during storm runoff (6 Aug.-20 Aug.)

* This data is 10 times of raw data

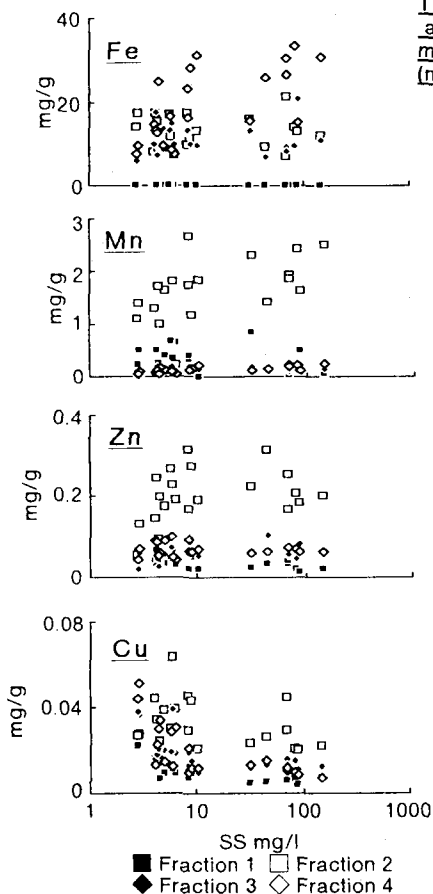


Figure 7 : Relationship between SS concentration and content of fractionated heavy metals (4 Jun.-20 Aug.)

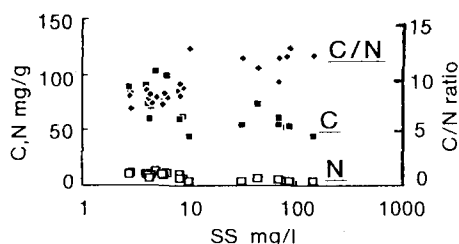


Figure 8 : Relationship between SS concentration and content of C, N and C/N ratio (4 Jun.-20 Aug.)

Table 3 Relation between specific flow and specific load of fractionated heavy metals, carbon (C) and nitrogen (N) (number of sample is 21, 4 Jun.-20 Aug.)

$$L = cQ^n \quad (L: \text{g}/\text{km}^2/\text{s}, Q: \text{m}^3/\text{km}^2/\text{s})$$

$c, n = \text{const.}$
 $r = \text{correlation coefficient}$

metal	Fraction	c	n	r
Fe	1	---	---	---
	2	18.09	2.02	0.86
	3	11.16	1.94	0.83
	4	26.60	2.03	0.77
	Total	56.93	2.00	0.82
Mn	1	0.08	1.73	0.78
	2	2.83	2.04	0.81
	3	0.27	2.11	0.79
	4	0.16	1.97	0.76
	Total	3.77	2.04	0.83
Zn	1	0.02	1.79	0.88
	2	0.15	1.88	0.78
	3	0.04	1.85	0.78
	4	0.07	1.94	0.84
	Total	0.28	1.88	0.81
Cu	1	0.01	1.83	0.90
	2	0.01	1.76	0.81
	3	0.01	1.76	0.86
	4	0.01	1.71	0.89
	Total	0.03	1.74	0.87
C		30.30	1.76	0.85
N		1.88	1.64	0.86
SS		862.79	1.90	0.84

(5) 形態別重金属元素の流出特性

Table 3 は、比流量 ($X: Q/A, Q: \text{m}^3/\text{s}, A: \text{km}^2$) と形態別重金属の比成分流出量 ($Y: C \cdot Q/A, C: \text{mg}/\text{l}$) を $Y = C \cdot Q^n$ 式 (C, n : 定数) で整理し両者の相関係数と定数 C, n を示したものである。

いずれの成分についても両者の相関係数 (r) は 0.8 以上で、流出量が密接に流況と関連していることがわかる。 n 値は 1 より大きいと面源洗い出し型、1 より小さいと点源流入型であると解釈される。Fe、Mn では 2 以上、Cu、Zn でも 1.7 以上と非常に大きい。いずれの重金属も、懸濁物質や炭素、窒素と関連して、面源洗い出し型の傾向を示しており、土壌層表面には大量の重金属の供給能力のあることがわかった。

両者の関係について増水時の観測結果からもう少し詳細に検討した。Figure 9 に、典型的な 2 種のパターンを代表成分を例に示した。多くの成分が、Fe 分面 4 (下図) のように増水初期に濃度が増加する履歴パターンである。地表蓄積量が、流出量に影響している。蓄積速度と流出量との関係の解析が重要となろう。一方、硝酸イオンで良く観察される増水後期での濃度 (流出量) の増加⁷⁾ が Mn 分面 1 (上図) で認められた。Mn は土壌層内で吸着・蓄積されると推測できる。

なお一般水質成分についても同様に両者の関係を調べたと

ころ、懸濁物質と懸濁態のリンは初期流出型、硝酸イオンはこの水系においても増水後半に濃度が高くなる土壌溶出型で他の一般的な成分は易溶解性の濃度一定型であった。

(6) 懸濁物質の組成と重金属含量

1) 有機物組成との関係

Table 4 に、懸濁物質中の形態別重金属および炭素 (C) 含量、窒素 (N) 含量との相関行列を示した。

Figure 7, 8 に、SS 濃度と重金属元素の全含量と形態別含量の関係を示したが、SS 濃度の増加と対応した Fe 分面 4 の増加と Cu の各態含量の低下が明らかである。

結局、流出してくる懸濁物質中の形態別重金属含量は、懸濁物質の供給源の差異によって異なり、形態別の重金属の組成に大きく影響することがわかった。環境への影響は、このことを考慮しておかなければならない。

Table 4 Correlation coefficient matrix of fractionated heavy metals, carbon(C) and nitrogen(N) , n=21 , 4 Jun.-20 Aug.

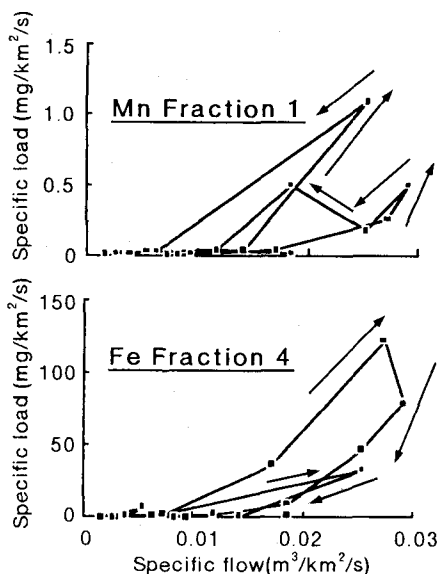
[illegible]

Figure 9 Relationship between specific flow and specific load of fractionated heavy metals

相関係数が0.5～-0.5のものについては、その値を小さく表示した。

C、N含量とは、Cuの全分画が正の高い相関を、FeとMnの分画4が負の高い相関を示し特徴的である。Cuについては、増水時にその含量を低下させることから、人為的汚濁源から有機物と共に供給される傾向の強いことがわかる。しかしCuは有機態の指標とされる分画3とC、Nとの相関は必ずしも高くはないため、有機態のCuとしてではなく、有機物質と挙動を共にすると説明できる。FeとMnの分画4が有機物(C、N)含量との高い負の相関をもつことは、自然起源すなわち一次鉱物性としたことと矛盾しない。またTable 4の相関行列からは、Mn、Znの分画1に他の分画よりC、Nとの正の相関性が強い傾向を認めることができた。Cuも含めて、Mn、Znの分画1は人為的な供給源から流出してくると推測できる。

2) 底泥組成との関連

Figure 10 に水系内（河川底泥、各種排水底泥、土壌、河床生物）の底泥中の重金属とC、Nの分析結果を示した。各

調査地点での細粒 (<0.063mm) と粗粒 (0.250~0.500mm) の組成を比較すると、細粒には有機物と Fe を除く重金属の含量が高い傾向が認められる。一方粗粒では Fe をはじめ、分画 4 の割合が高い。これらの特徴と懸濁物質の含量と比較すると、懸濁物質の重金属組成は、底泥細粒の構成に近いといえる。従って懸濁態重金属の河川底泥組成への影響は無視できないし、また逆に流量増加時など舞い上がった底泥の懸濁態重金属組成への影響も大きいと推測される。

上流の下水道未整備地 (St.5、4、9、福井排水) で細粒のMn 分画2が高いこと、西野 (St.3) で分画

1を中心にZnが高含量で観察されたが、これはMnやZnが、地域的ではあるが人為的に流入し沈積していることを意味しており、懸濁物質の重金属組成の起源の検討に有力な知見となる。人為汚染の影響を強く受け、C、N含量の高い福井排水底泥、西野（St.3）の試料の中にCu分画3の占める割合が高いが、このことはCuの有機物による取り込み量が多いということであり、多田⁸⁾やForstner²⁾、Rauret⁹⁾の報告と一致する。しかし底泥と対照的に懸濁物質にはC、N含量が高いにもかかわらずCu分画3の割合は小さい。Cu分画3の起源は底泥と懸濁物質とは異なっていることがわかる。河床に堆積したCuなど一部の重金属は、河床生物などに取り込まれるために有機態として存在し、新しく流入してくる懸濁態成分とは組成が異なるのかも知れない。

3.3 主成分分析による都市河川における懸濁態重金属の分布特性

Figure 11 は懸濁物質中の重金属含量についての主成分分析の結果である。第1主成分はSS濃度の上昇と共に含量を増す傾向があるFe、MnやZn分画2等が高い得点となる。第2主成分は人為起源といえるMnやFeの分画1～3やZnの全分画などが正の得点で、自然由来（一次鉱物性）のFe、Mnの分画4が負の得点である。第1主成分は高含量の重金属の得点が高いことから汚染の総合的の大きさ、第2主成分は人為汚濁性の重金属の得点が高く、自然汚濁性の重金属の得点が低いことから汚染の性質（起源、流出特性など）を示しているといえる。これは橋ら³⁾が底泥について行った結果とほぼ一致する。特異的なのはCuで、汚染の大きさの指標になっていないことである。しかしCやNとの相関性が他の成分より高いことから、都市域の指標として意味があるのかもしれない。

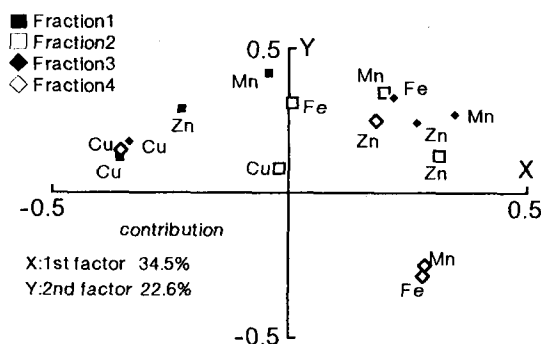


Figure 11 Eigen vector of content of fractionated heavy metals by principal component analysis

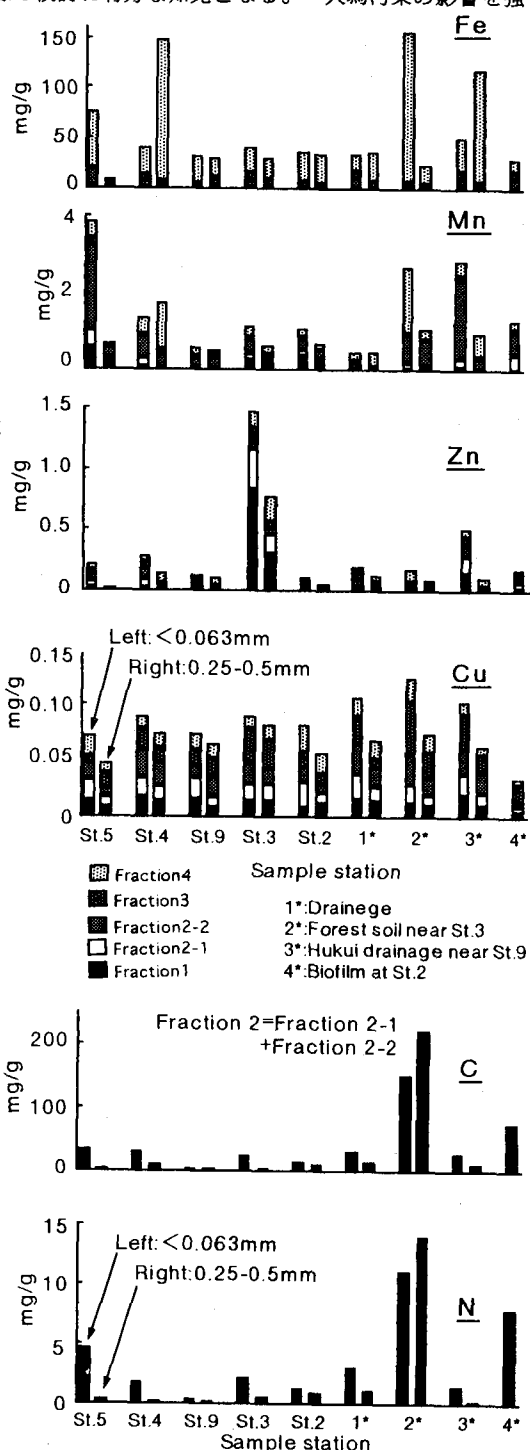


Figure 10 Content of fractionated heavy metals and C, N in mud (27 Nov.)

4. 結論

それほど汚染が進行していない都市河川を対象に、より「望ましい環境」への回復を目標に、重金属元素の形態とその流出特性を調査解析し、都市河川における汚染の特徴と水質管理について考えた。

集水域で下水道がほぼ完備されている都市河川において、流量安定時の重金属濃度のレベルは低い自然水域に比較すると高く、自然の状態を取り戻すには、今後きめ細かな対策が望まれることがわかった。成果をまとめると以下のとおりである。

◆都市河川の重金属濃度について

○下水道が整った琴似発寒川の水質は良好で、重金属濃度も低い。しかし自然の河川に比較すると人為汚染の影響は無視できない。また増水時には懸濁態重金属濃度はかなりの高濃度になる。

◆懸濁物質中の重金属含量と形態の特徴について

○重金属の形態は、溶媒抽出法によって、流況や地域によってそれぞれ特異的な形態に分画できた。

○懸濁物質中の重金属の形態は、自然起源と人為起源のものに大きく分類され、増水時には自然起源の含量と割合が増した。

○自然起源の代表的な重金属の形態は、FeとMnの分画4で、増水初期に洗い出されるタイプであった。

○人為起源としては、各形態のCuと分画4を除くMn、Znがあげられる。Mn、Znについては易還元性態の存在割合が高く流出特性も似ている。またこれらの弱吸着態の存在割合は低い、流量のピーク後に濃度が上昇する土壌蓄積型を示した。Cuは、各形態とも有機物質に富む点源からの排出が多いと推測された。これらの特性は主成分分析によっても確認された。

○懸濁物質中の重金属組成は底泥の細粒(<0.063mm)分の組成に近く、懸濁物質と底泥の起源に共通性が認められる。ただCuについて、底泥の有機態の割合が高く、懸濁物質と底泥中での挙動の差異が認められた。

◆懸濁態重金属の流出特性について

○懸濁態重金属の流出量は、増水時に著しく増加した。懸濁物質と共に流出することから、土壌層表面には大量の重金属の供給能力のあることがわかった。

比較的汚染レベルが低いとされた調査水域ではあったが、懸濁物質中の重金属含量は自然の状態よりはるかに多いことがわかった。また増水時には高濃度になること、底泥については細粒分の組成や含量が懸濁物質に近いこともわかった。このように都市河川が自然の環境を取り戻すには、まず汚濁物質の流出経路の解明と流出防止対策の提案が、今後の課題といえる。

最後に、流量資料の提供や調査にご協力いただいた北海道土木部矢野明夫技師に謝意を表します。

参考文献

- (1)日本分析化学会北海道支部編：水の分析（第3版）、化学同人、1981
- (2)Ulrich Forstner : Chemical Forms and reactivities of metals in Sediments , Chemical methods for assessing bio-available metals in sludges and soils(edited by R.Leschber,R.D.Davis, P.L.Hermite),pp.1-31, Elsevier Applied Science Publishers LTD, England, 1979
- (3)橘 治国、大沼 務：重金属形態分画に基づく都市内河川底質の汚染解析 衛生工学論文集第23巻、pp.53-62, 1987
- (4)中島 進：琵琶湖柱状堆積物中の重金属元素（マンガン、鉄、ヒ素、カドミウム、鉛、銅、亜鉛、コバルト、ニッケル）の形態分析 Jap,J.Limnol., Vol.42, pp.67-80,1982
- (5)伊藤和男：名古屋港水域の底質の重金属、公害と対策、Vol.11、pp.650-659、1975。
- (6)Hiromitsu Sakai,Yutaka Kojima and Kazuo Saito : Distribution of Heavy Metals in Water and Sieved Sediments in the Toyohira River, Water Res., Vol.20,pp.559-567,1986
- (7)平田健正、村岡浩爾：森林域における物質循環特性の渓流水質に及ぼす影響、土木学会論文集、第399号/II-10、pp.131-140、1988
- (8)多田 史、土井春代、川口紀子、鈴木潤三、鈴木静夫： 鉱山、都市河川底質の重金属の特徴、 Jap, J.Limnol., Vol.43, pp.225-229,1982
- (9)G.Rauret,R.Rubio,J.F.Lopez-Sanchez and E.Casassas : Determination and speciation of copper and lead in sediments if a mediterranean river(River Tenes,Catalonia,Spain), Water Res.,Vol.22,pp.449-455,1988