

(24) 都市環境における重金属の移行と蓄積

京都大学工学部 寺 島 泰

1. はじめに

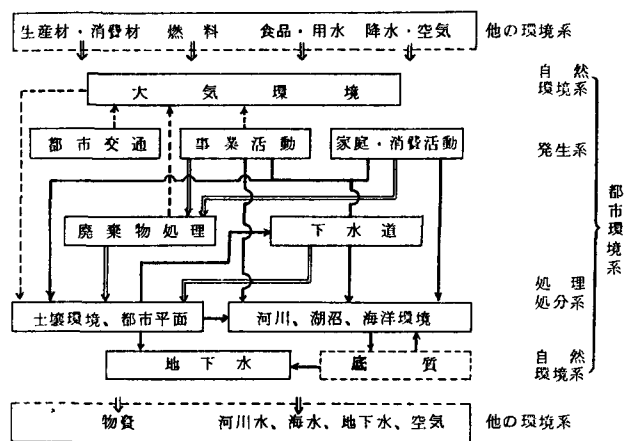
非鉄金属の国内需要と用途は表－1 のようであり、製造工程や製品消費の過程で回収されことなく環境に抗散、蓄積するものも多い。環境汚染物質としての重金属の都市環境系における発生と移行は図－1 のようであり、都市生態との係わりは複雑であるが、それゆえまた汚染制御は総合的に進められるべきであり、その基礎として移行・蓄積のメカニズム、環境系での実態や影響ポテンシャルの消長が注目される。そこで本報告では、都市環境系の一例に京都市域をとりあげ、巨視的な粗い把握ではあるが、移行と蓄積の実態を主に49年度末までの資料と一部の調査とに基づいて追究した。なお市域のうちでも環境系としては、市域の主要部分を覆い、人口約110万、出荷額1兆1千億円の基盤となった桂川、鴨川流域を主に対象とした。

2. 下水道系における流入と移行

対象流域内の下水道系は鳥羽、吉祥院処理区である（処理人口64.2万人、面積42.8Km²）。流入源は工場・事業場、家庭、都市平面などであるが、まず下水道法による規制対象工場約300のうち、有害物を排出する恐れのある主要工場・事業場の大部分を含む121工場についての調査資料から放流負荷量を積算した（表－2）。業種別平均濃度を検討すると出版印刷業（20工場）、金属製品製造（31工場）関係の濃度が高目であり、負荷量においても同様の傾向となっている。総量としてはFe、Zn、Cu、総Crなどが数十Kg/d のオーダーで推計されているが、一断面をと

らえたものでありまた濃度欠測（－）もあるので全体的に、またとくに過少推定の可能性の大きいもの（Fe、Pb、Ni）もある。Crは染色業（32工場）のうち黒染の寄与が大きい。図－8には資料から得られたメッキ業における金属発生負荷量（処理前）と従業員数との関係を示しておく。

図－1 都市環境における重金属の移行経路



表－1 非鉄金属の消費量と用途

金 属	49年度内需	用 途 及 び 消 費 順 位
アルミニウム	182万トン	軽金属圧延、アルミ合金、軽金属い物、電線
銅	88	電線、伸銅用（電気機械、金属製品）、銅合金い物、銅粉
亜鉛	72	亜鉛メッキ鋼板、ダイカスト、他メッキ、伸銅用、亜鉛板、亜鉛華
鉛	28	蓄電池、無機薬品、鉛管板、電線、はんだ、減ま合金、メッキ
すず	3.4	ブリキ、はんだ、減ま合金、塩ビ安定剤
ニッケル	2.8	メッキ、ステンレス鋼耐熱鋼、非鉄合金、磁石、貨幣、圧延ロール
クロム	2,000*** トン	ステンレス合金、炉材、メッキ、無機薬品（酸化剤、顔料、媒染剤、触媒）
コバルト	2,800	磁性金属、高速度鋼、耐熱合金、超硬工具
アンチモン	2,700	蓄電池、活字
カドミウム	2,550	顔料、塩ビ安定剤、電池、合金、整流器、メッキ
タングステン	2,000	超硬工具、タングステン線板、接点、耐熱合金
水銀	590*	カ性ソーダ製造、無機薬品、機器計器、医薬品・歯科用、触媒
モリブデン	580**	モリブデン線板、耐熱合金、高速度鋼、合金工具、ステンレス
ひ素	－	化学薬品（ガラス消泡・脱色、脱硫、染料、農薬、防腐剤、医薬、顔料）
バナジウム	－	特殊合金、触媒、X線管

* 47年度、** 48年度、*** 亜ひ酸としての値

分散度は大きいが幾分明瞭な関係を示すのがZnである。染色業は15人未満規模の小工場がほとんどで各様の工程管理、排水管理がなされているのか、工場規模と発生負荷量との関係は有意でない。

家庭下水由来の負荷は、団地下水についての金属分析値（寺町氏）から1人1日当りの負荷量を算出し、これより処理区内排出量を求めた。食習慣の違いの他に水道水中濃度の寄与があるので低濃度の金属についての精度は問題であるが、Fe、Zn、Cuなど普存の金属、Mn、Pbなどについては表-8のようになる。

都市平面からの流入については、土砂、降下物、金属製品からの溶出・摩耗分などがあり、路上等における存在が調査されているが、蓄積速度、雨天時における流入速度、晴天時における管内堆積物の関与（供給、除去）等についての定量的な知識はない。降下物のみについて云えば、後述の表-10から推定して処理区への降下はFe、Zn、Mn、Pb（自動車）、Cu、V（触媒）などがあり、量的にはそれぞれ140、10~5（Zn、Mn、Pb）、2Kg/d以下と推定しておく。金属によっては雨天時の流入負荷は相当量が予想される。

下水処理場への流入・流出については、月2回（規制項目）~1回（一般）の濃度測定値と当日下水量から年度平均値として濃度、負荷量を求めた（表-4）。染色を除いて有害物関連工場の少ない吉祥院処理場の濃度が全体的に低く、総流入負荷量としてはFe（溶解性Feのため実際量は表の値以上）、Zn、Cu、Mn（溶解性）、Cr、Niなどが数百~数十Kg/d、また1Kg/d程度のHg

の流入がある。このうち家庭下水寄与が占める割合はZn、Cu、Cr、Ni、Hgについてそれぞれ11、9、4、2、6%で、工場・事業所及び都市平面からの寄与が大きい。収支については都市平面由来分を除き、流入

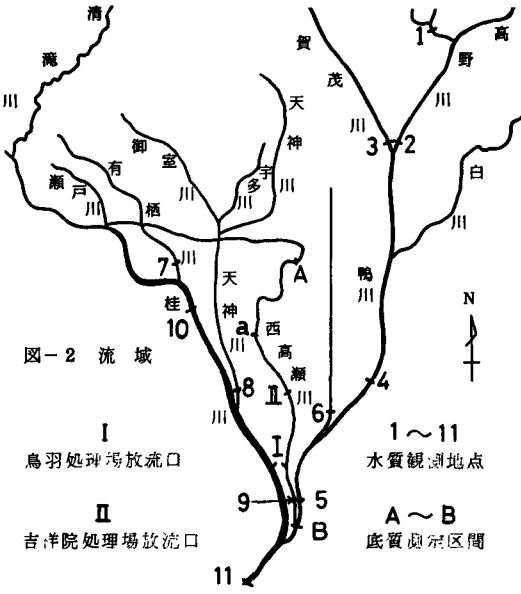


表-2 主要工場・事業場から下水道、河川へ放流される金属負荷量 (Kg/d)

業 種	金 属 放 流 先		Cr		Ni		Pb		Zn		Cu		Fe	
	下水道	河川	下水道	河川	下水道	河川	下水道	河川	下水道	河川	下水道	河川	下水道	河川
金属製品製造業	2.9	1.6	4.0	1.4	1.8	1.5	12.7	8.5	3.9	5.2	12.8	26.5		
化 学 工 業	0.1	5.7	-	-	0	0.1	-	12.6	-	9.5	-	-		
出版・印刷・同 関 連 業	7.0	2.7	1.2	1.0	0	0	6.9	1.7	18.5	13.1	33.8	69.4		
電 気 ・ 機 械 業	0.1	-	1.0	2.0	1.3	2.9	8.2	0.6	7.7	15.7	6.2	23.3		
精密・機械器具製造業	0	1.0	-	0.5	0	0	0.8	0.4	0.6	0.2	2.3	16.7		
一般・機械器具製造業	0	7.0	-	1.5	-	-	0	0.2	-	0.9	-	1.0		
鉄 鋳 業 ・ 非鉄金属製造業	0.1	0	-	-	-	0	1.1	2.9	-	0	0.2	-		
織 維 工 業	15.2	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
食 料 品 製 造 業	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	
サ ー ビ ス 業 教 育 業	0.5	0.4	-	-	-	-	8.9	-	5.8	-	5.5	-		
医 療 業	0.1	-	-	-	-	-	0.6	-	0.1	-	0.3	-		
計	26	46	6.2	6.4	3.1	4.5	39	27	37	45	61	137		

表-3 家庭下水中重金属濃度、1人1日金属排出負荷量（文献より算出）及び処理区内排出量

金 属	Cd	Pb	Mn	Cr	Zn	Fe	Ni	Cu	Co	As	Hg
濃 度 (ppm)	0.004*	0.018	0.069	0.017**	0.26	0.96	0.005*	0.086	0.005*	0.03*	0.00068
負 荷 量 (mg/人・d)	0.59*	2.7	10	2.4**	39	141	0.73*	12	0.73*	0.44*	0.099
処理区内負荷 (Kg/d)	0.4*	1.7	6.5	1.6**	25	91	0.5*	7.7	0.5*	0.3*	0.06

*示した数値以下 **再検討を要する値

に占める工場及び家庭由来分の割合は前記の順で約 30, 50, 80, 80% となり、繊維、出版印刷、金属製品製造業など発生源の比較的限られる Cr 以外は未推定分が大きい。この原因は、濃度の欠測、有害物関連工場・事業場の調査もれ、金属関連以外の業種工場からの排出、都市平面由来分の晴天時での寄与などが考えられる。実態として処理区内には約 8,000 (内半数が染色関係) の届出工場があり、規制対象工場約 300 のうちの有害物関連工場の主要部分が金属について管理できるとしても、他に實際上管理不可能な小規模工場・事業場が多いわけで、これらの寄与分も総量としては無視できない可能性が大きく、一つの問題点である。水量的にも、家庭及び調査 121 工場以外の発生源から約 30 万 m³/d (地下水を含む) の流入が推定される。都市平面からの寄与の問題も併せ考えると、下水管きよを black box として主要発生源と処理場とにおいて金属管理を行うのではなく、調査、管理の網を面的に広げる必要がある。次に処理場での除去率は 70~90% で溶解性の Mn は 14% と低く、他都市例と同じ傾向を示している。その結果、除去分として表-4 記載の量が焼却、最終処分されるが、年単位でみれば相当量となる。

3. 河川系における流入、移行と蓄積

法律、各令による規制対象工場約 240 のうち有害物を含む恐れのある業種の工場 81 について、業種場平均濃度と排水量により負荷量を算出した(表-2)。平均濃度はほとんどの場合排水基準以下であるが、業種別には金属製品製造、出版・印刷、化学工業などが全般的に高く、負荷量についても電気・機械器具製造業を加えて同傾向となっている。総負荷量としても下水道排出の場合と同傾向であるが、同様にまた金属によっては有害物関連規制対象外工場由来分の把握もれの可能性が高い(届出工場約 1,000)。放出河川別にみると(表-5)、流域に対象工場数の約 40, 30% を有し、全放流量の 50, 40% を受ける西高瀬川、天神川へ負荷放流が集中している。家庭排水からの寄与分の推定については基礎データがなく不明であるが、河川へはさらに下水処理場からの放流があり(表-4)、工場由来分を加えると Zn, Cu, Cr, Ni につ

図-3 メッキ業における金属発生と従業員数

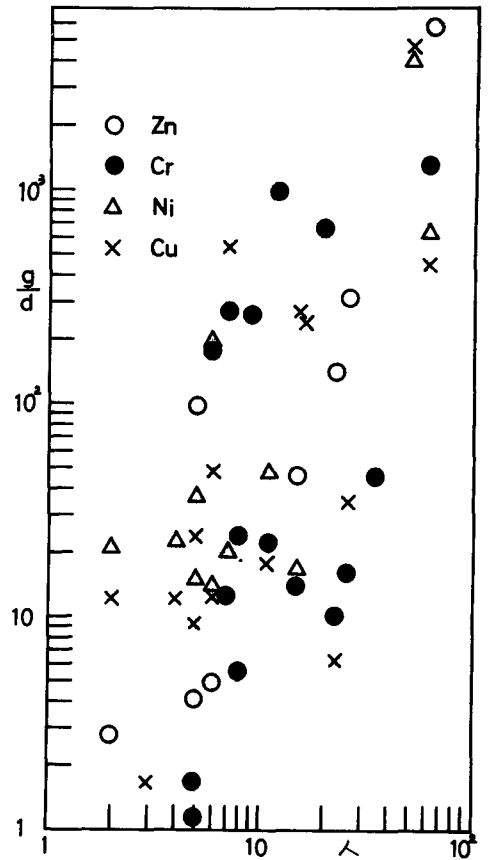


表-4 下水処理場における重金属負荷量と濃度

単位：負荷量 Kg/d 濃度 ppm (Hg は ppb)									
金 属			Cr	Ni	Zn	Cu	(Fe)	(Mn)	Hg
処理場									
鳥羽	負荷放流量	流 入	29.1	18.9	194	56.8	167	20.6	0.92
		西高瀬川	2.3	2.4	19.5	5.5	8.1	7.7	0.04
		桂 川	1.1	2.9	11.2	2.0	5.6	12.1	0.01
		合 計	3.4	5.3	30.7	7.5	18.7	19.8	0.05
	除 去 率		88.1	71.7	84.2	86.8	91.8	4.0	74.2
吉祥院	負荷放流量	流 入	5.7	2.7	39.3	28.9	32.7	9.5	0.14
		西高瀬川放流	1.8	0.9	11.1	5.0	10.9	6.0	0.03
	除 去 率		68.8	66.2	71.7	82.6	66.5	36.7	81.3
合 計	負荷放流量	流 入	34.8	21.6	233	85.7	200	30.1	1.06
		放 流	5.2	6.2	41.8	12.5	24.6	25.8	0.08
		除 去 率		85.1	71.3	82.1	85.4	87.7	14.3
処 分 量 (焼却)			29.6	15.4	191	73.2	175	4.3	0.98
水 濃 度	流 入 下	鳥 羽	0.071	0.047	0.54	0.15	0.40	0.051	1.98
	吉 祥 院		0.038	0.036	0.27	0.17	0.23	0.11	1.30

いては西高瀬川では48, 34, 18, 7 kg/d,全川では69, 56, 51, 13 kg/d となる。

一方、桂川、鴨川流域内主要地点における濃度及び負荷量推定値は表－6 のようになる。濃度は年4～12日, 8～24回測定平均、流量もほとんどが8～24回の平均であるが、No. 6, 7地点のみは50年度1回測定からの推定値に基づいている(地点は図－

表－5 放流先別産業排水中重金属負荷量 (kg/day)

放流先	金属					
	t-Cr	Cu	Ni	Zn	Fe	Pb
鴨川	0.6	1.4	0.8	2.2	7.4	0.4
西高瀬川	14	23	3.8	17	40	3.1
天神川	31	17	2.1	5.1	8.1	0.9
桂川	0.9	1.5	0.2	2.4	8.4	0.1
河川合計	46	43	6.4	27	137	4.5

表－6 桂川、鴨川流域内河川における重金属濃度及び負荷量

濃度 ; ppb 負荷 ; kg/d

河川	地点	Cu		Pb		Hg		Cr		Ni		Mn		Zn		Fe	
		濃度	負荷	濃度	負荷	濃度	負荷	濃度	負荷	濃度	負荷	濃度	負荷	濃度	負荷	濃度	負荷
岩倉川	1	5.0	0.08	3.0	0.07	ND	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
高野川	2	6.0	1.4	13	4.2	〃	—	ND	—	—	—	37	8.7	33	7.7	360	84
賀茂川	3	5.3	1.7	9.9	5.1	〃	—	ND	—	—	—	10	2.9	15	4.4	21	6.2
鴨川	4	9.6	13	7.5	4.2	〃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
〃	5	15	13	12	12	0.17	0.05	ND	—	4.6	4.9	57	60	40	42	570	600
堀川	6	4.2	1.5	2.1	0.73	0.06	0.002	ND	—	ND	—	52	1.8	440	15	2,550	88
有栖川	7	1.2	1.3	2.0	2.3	0.82	0.009	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
天神川	8	6.8	15	5.8	13	0.41	0.08	—	—	—	—	255	56	220	49	2,330	520
西高瀬川	9	6.8	47	2.4	17	0.21	0.15	15	—	25	16	220	140	230	140	1,780	1,100
桂川	10	ND	—	8.3	35	ND	—	—	9.4	—	64	—	—	—	—	—	—
〃	11	2.6	130	9.7	40	ND	—	15	74	13	—	140	690	58	290	1,250	6,200

2参照)。鴨川においてCu については明瞭に、またMn, Zn, Fe などについても上流より市域流下とともに濃度が増加し、人工汚染の影響が認められる。河川毎に流入・流下量を対比してみると、鴨川のCu, Zn, Pb については工場由来分は10%以下で家庭及び流域平面由来分が主、西高瀬川のCr, Zn, Cu, Niについては工場、処理場由来分は200, 100, 72, 42%となり流域特性を示し、全河川ではCr, Cu, Zn, Niについては70, 43, 24, 20%となる。下水道の場合と同様に金属によって流入量過少推定、他の問題があるが、家庭排水分の寄与、バックグラウンド、流域土壌流入、底質との係わりなどについては今後検討を要する。全流下負荷としては、数t～数十kg/dの金属が流域から流下しており、他の環境系への問題を呈している。

表－7 西高瀬川主要区間(8.7km)底質中の重金属濃度及び蓄積量概算値

河川水から底質への金属の移行は地点の沈没も関係するが、水、底質濃度(46年度)の間に相関が認められ、No. 2, 3, 5, 6, 8, 9, 11地点あるいはその近傍において、Cu

		Hg	Cd	Cr	Pb	Cu	Zn
濃度 (ppm)	最大	1.87	5.17	116	111	278	557
	最小	6.50	17.66	283	1,148	798	1,400
	平均	3.68	9.54	173	390	507	923
蓄積量(kg)		40	98	1,700	3,100	5,500	11,000

の場合底質濃度は河川水濃度の2,000～9,500倍、平均5,800倍、Znの場合は1,400～8,000倍、平均3,900倍、Pbの場合は1,300～5,200倍、平均2,700倍となっている。したがって流域河川底質中の蓄積量はきわめて多量なものと推定される。特に汚濁の著しい西高瀬川的主要区間(図－2中A～B)8.7kmについて蓄積量を概算すると表－7のようになり、ZnからHgまで6種の金属について11t～40kgにのぼる。この区間の9地点における濃度測定値(47年度)と分割区間の平均河川実測値に基づき、また底質

表－8 西高瀬川底質中重金属の鉛直分布例

地点	深さ(cm)	Cd	Pb	Cu	Zn	性状
旧合天流神点川a	0～2	0.804	35.2	95.6	171	堆積・砂・砂利態
	2～4	0.624	26.8	48.4	161	
	4～6	0.496	29.2	42.0	128	
	6～10	0.496	19.6	35.6	99	
鳥放羽流処理場I	0～2	22.0	58.8	85.4	2,010	粘遷土元質底態
	2～4	8.92	28.0	54.6	96.8	
	5～6	7.54	29.2	25.5	25.5	
	8～10	0.804	43.2	13.3	18.5	
鴨川合流B	0～3	1.84	79.6	200	29.5	堆積・泥元
	3～6	1.68	60.4	9.8	—	
	18～20	1.70	73.2	10.3	27.3	

有効深さを調査により1～10cmと推定(仮定)、見掛け比重を1.1として算出したものである。区間のなかでも下水処理場放流口下流における蓄積が著しい。また蓄積量のほとんどが人為汚染量であり、流下金属量の約120日分に相当するので、出水時に流送され難い状態のものも多いと推定される。ちなみに8地点における金属の鉛直分布を調べると表-8のようになり、底質の質と粒径、堆積履歴、酸化・還元状態などによって濃度と分布に特徴が認められる。底質の場合とはくに、質や堆積履歴の点からみて後述する汚染表層土壌との係わりが重視されねばならないが今後の問題である。

地下水系への移行の実態については明確な資料はないが、検査項目全般からみて飲用不適の井戸水が河川汚濁の著しい右京、南区工業地帯で88%に達し、また南区では検査井戸のうち24%から0.05ppm以上の6価クロムが検出されている(47年)。地下水金属汚染は固体産業廃棄物処分の実態とも係わるが、土壌汚染面からみれば、後述するように南区工業地帯の汚染度が高い。

4. 大気系における現存と移行

大気系での重金属の発生源は、工場・事業場及び車両の排ガス、風送土壌などである。発生・移行のうちでも自動車交通に依るPbについては、交通量と大気濃度との関係が比較的明らかにされているものの、他の発生源を含め発生の量的速度の推定は現段階では不可能なので、ここでは大気中における現存と降下について概略推定する。なお都市環境系におけるコンパートメントとしての大気系の空間スケールは、大気の流れ性のために明確にできない面があるが、平面的には一応、流域と市域とを対象としておく。

大気中重金属濃度は市内9地点 表-9 市内9地点大気中の重金属濃度及び市域での浮遊量試算値(50年)

で測定(50年度、前期4～9月、後期10～3月)されている(表-9)が、一方硫酸化合物についてはメッシュ(500m)毎に5段階の濃度分布がわかっており、A～Eの5地域にわけると、金属濃度測定地点のほとんどが前期はB地域、後期はA地域に属するので、

		Cr	Ni	Cd	Cu	Mn	V	Pb	T. D
濃度	最小	前期	0.00	0.01	0.000	0.01	0.01	0.01	29.5
		後期	0.01	0.01	0.004	0.04	0.02	0.03	54.5
	最大	前期	0.00	0.00	0.004	0.02	0.02	0.01	36.3
		後期	0.01	0.02	0.006	0.09	0.05	0.02	71.3
μg/m³	平均	前	0.002	0.01	0.002	0.025	0.016	0.015	0.11
		後	0.005	0.016	0.005	0.044	0.032	0.012	0.17
kg	全	市	0.05	0.45	0.13	1.4	0.92	0.60	5.1
		市内流域	0.04	0.32	0.10	1.0	0.64	0.43	3.6

前期、後期の金属濃度分布を当該時期の硫酸化合物濃度分布に相似であると仮定して求めた。鉛直分布については、エアロゾル分布(指数分布)からみると有効高度は夏、冬期で1,000m、500m程度であるが、対象が金属、また前述したコンパートメントとしての適切なスケールという点から、それぞれ500m、300mとした。その結果、全市域についてみると自動車排ガス由来のPbが最も多く、kgのオーダー、ついでCu、Mn、V、Niなどが存在しkg～数百gのオーダー、Cd、Crなどはそれ以下となった。存在量は発生と次に述べる降下、対象系外への拡散によって平均的平衡にあるとみておく。なお濃度からみると年間の気象変化を反映して冬期の地上金属濃度が全般的に大きい。また48年度データ(測定3ヶ所)に基づくZnはPbの約2倍弱存在すると推定される。

降下ばいじん量は工業、商業、住居の各地域のそれぞれ4、1、6地点で観測(48年度、毎月)されている。一方、降下ばいじん中重金属濃度は全国的にも測定例がほとんどなく京都市も例にもれない。したがって第1の試算としては北九州市における工業、商業、住居各地域のばいじん中金属濃度値を採用した。なお市域対象流域(158km²)内における3種用途地域以外の地域のばいじん中濃度としては、住居地域のその60%値と仮定した。北九州市3地域のばいじん中濃度の平均値及び上述のようにして求めた対象流域内平均の単位面積当りの金属降下量と全降下量とを表-10に示す。さらに数都市における単位面積当りの金属降下量も併せて示すが、白樺湖のようなバックグラウンド値を示す(Pb?)地点を除けば、Cd以外について極端な相違は認められない。そこで第2の試算として横浜、長野、松本3市の平均値に基づいて対象流域内降下量を算出(表-10)し、第1の試算との巾の間で試算の結果を把握する。Feが500kg/d内外、

Zn, Mn, Pbが20～

表-10 単位面積当たり金属降下量及び流域金属降下量試算値

		Cd	Ni	Cr	V	Cu	Pb	Mn	Zn	Fe
金属 降 下 量 g	横 浜 市	5.67	26.7	—	33.3	70.0	170	210	—	4,670
	長 野 市	12.7	14.3	—	—	267	78.7	338	195	3,600
	松 本 市	10.7	—	—	—	44.3	52.3	143	197	1,830
	塩 尻	7.65	39.4	—	—	46.0	36.3	193	156	2,500
	白 樺 湖	5.00	—	—	—	13.0	32.7	138	141	2,100
km ² ・d	京都市(試算)	0.8	6.3	13.3	38.6	35.4	202	126	228	—
北九州市ばい塵中濃度		10.1	92.1	18.8	50.4	40.4	2,496	1,495	2,518	—
流域 金属	推定Ⅰ	0.12	1.0	2.1	6.1	5.6	32	20	36	—
降下量(kg/d)	推定Ⅱ	1.5	3.1	—	5.2	7.4	16	36	31	530

対象流域面積158 km²，ばいじん中濃度 ppm

属は、都市平面では下水道への負荷として係わり（前述）、農業土壌平面では蓄積汚染負荷となり（後述）、さらに他平面とも併せて河川への負荷量ともなる。さらに試算1，2の平均値で表-9に示す流域上の大気中金属存在量を除して平均滞留時間を試算すると、Cr, Mnは0.02日、V, Cdは0.08, 0.12日、Cu, Pbは0.15日、Niは0.16日となり、Cr, Mnは試算精度にとくに問題があるものの、全体としては比較的短時間であることが予想される。但し拡散による他系への移行は無視している。

5. 農業土壌における蓄積

市内農地52地点において金属濃度測定（47年度）が行われているので行政区毎に平均（4～12地点）し、行政区毎の農地面積（流域内23.2 km²）、土壌見掛け比重1.1、深さ10 cmを用いて金属量を算出した。

表-11には京都市における金属濃度（最大、最小、平均）及び環境庁調査による全国平均、H. J. M. Bowen による土壌濃度平均、流域農地全量、さらに測定点のうち全般的に低濃度の地点の濃度をバックグラウンド値として試算した2次蓄積量などを示す。濃度については土壌バックグラウンドの地域性もあって一概には決論できないが、全般的に汚染傾向が認められ、地区別にみると南部工業地区においてほぼ全項目にわたって汚染が著しく、

表-11 農地土壌金属濃度及び流域内農地における蓄積量試算値

			Cd	As	Cr	Pb	Cu	Zn
濃 度	京 都 市	最小	0.4	3.8	1.8	14.5	21	65
		最大	3.2	46.6	82	360	975	2,700
		平均	0.75	13.1	21.5	78.0	98.7	227
ppm	全国平均		0.39	—	—	—	8.9	14.7
	一般土壤		0.06	6	100	10	20	50
流域蓄	全 量		2.0	33	55	210	230	550
積量 t	2次量		1.0	7	38	130	170	380
平均蓄積量t/km ²			0.086	1.4	2.4	9.1	9.9	24

工場廃水流入のある農業用水の利用が主原因と推定されている。さらに工場地区においては降下ばいじん由来の蓄積も、表-10の流域平均量を上まわる量が生じうる。全域的には、農薬として使用されてきたPb, Cu, As, Hgなどの化合物による長年月（前3種は昭和初期から）間の蓄積もある。これらの結果、深さ10 cmの層においても数t-数百トンに及ぶ2次蓄積量が推定される。全量は当然これを上まわるが、こうした状況は降雨による河川への移行との係わりにおいても重要視される。

6. 都市廃棄物処理系における移行

京都市ではほぼ全域（人口143.9万人）のごみ収集が行われており、その64%の可燃物、日量910 t（49年度）が4工場で焼却処理され、他は集中埋立処分されている。焼却ごみの灰分%から灰分が推定できるが、灰分の収支については文献値に基づきストーカー灰、集じん灰、廃水処理系移行分及び放出ダスト分を求め、各工場におけるストーカー灰、集じん灰中金属濃度分析値（47年度、表-12）を用いて両灰中の金属量を算出した。さらに焼却時における各金属の挙動収支に関する資料より、廃水系移行分及び放出分を推定し、これらの和として搬入ごみ中金属量、さらに1人1日当り可燃ごみ中金属負荷量などを試算した（表-13）。環境に係わるものは埋立処分される焼却灰中及び放出ガス中の金属であるが、前者につい

てはPb、Cuが600～200kg/d
でPbの多いことが注目され、Mn、
Cd、Crなどは100kg/d以下～
数kg/dであるが、長期にわたっ
て集中処分されるので周辺汚染に
対する十分な管理が必要である。
後者についてはGrが4%、Pb、
Cd、Mnが0.4～0.1%、Cuが
0.03%としている。

終りに；本報告では都市環境
系での金属の存在と移行を主と
して量的にマクロに扱ったが、
影響については平均化せずに局
所的に論じるべきでもあり、ま
た存在形態も重要な因子である。
経年的傾向も問題であるが今後の
課題とする。総括論議の代りに各
系における移行と蓄積について、
銅を基準とした金属の比率を示し
ておく。参考値の全国消費量、ク
ラーク数を除いてみると、各段階、
各相において、Zn、Ni、Cr、Cd、

表-12 ストーカー灰、集じん灰中重金属濃度(ppm)

工 場 金 属			Cd	Cr	Mn	Cu	Pb	Fe
京 都 市	ス ト ー カ	A	10	42	470	1,600	1,200	32,000
		B	100	64	600	650	5,100	22,000
		C	10	24	300	600	1,800	14,000
	集 じん 灰	A	780	82	200	2,600	330	1,800
		B	4,000	110	1,000	17,000	75,000	740
		C	33	110	500	260	710	6,800
他 市 町 村	ス ト ー カ	最小	3.6	28	270	1,090	200	15,900
		最大	123	970	14,800	9,460	1,800	37,000
		平均	24	213	1,230	2,120	1,270	18,500
	集 じん 灰	最小	8.9	100	720	180	33	12,600
		最大	929	533	37,000	6,190	9,320	121,000
		平均	81	280	3,900	790	860	25,000

表-13 京都市清掃工場における重金属収支試算値及び
都市可燃ごみ金属原単位推算値

		Cr	Cd	Mn	Cu	Pb	Fe
移行量 kg/d	搬入ごみ中	7.9	22.6	77.5	186	679	3477
	焼却灰中	7.6	18.4	76.7	184	639	3,450
	汚泥，排気中	0.3	4.2	0.8	2	40	27
都市可燃ごみ	mg/人・日	5.5	16	54	130	470	2,400
金属原単位	g/t-ごみ	8.7	25	85	200	750	3,800

表-14 移行、蓄積における金属間比率

	Cu	Zn	Mn	Pb	Ni	Cr	As	V	Hg	Cd	Zn/Cd	Cu量
全 国 消 費 量	1	0.82	—	0.32	0.03	—	—	—	0.0007	0.003	270	88万t/y
工場放流量(下水道)	1	1.1	—	0.08	0.16	0.70	—	—	—	—	—	37kg/d
工場放流量(河川)	1	0.6	—	0.10	0.14	1.02	—	—	—	—	—	45 "
家庭負荷量(下水道)	1	3.2	0.84	0.22	0.06	0.21	0.04	—	0.008	0.05	65	7.7 "
下水道流入量	1	2.7	0.35	—	0.25	0.41	—	—	0.012	—	—	86 "
西高瀬川負荷量	1	3.0	3.0	0.36	0.34	0.20	—	—	0.003	—	—	47 "
流域(桂川)負荷量	1	2.2	5.3	0.31	0.49	0.56	—	—	—	—	—	130 "
流域降下量	1	5.2	4.3	3.7	0.32	0.32	—	0.87	—	0.12	43	6.5 "
可燃ごみ中負荷量	1	—	0.42	3.7	—	0.04	—	—	—	0.12	—	186 "
西高瀬川蓄積量	1	2.0	—	0.56	—	0.31	—	—	0.007	0.02	100	5.5 トン
農地蓄積全量	1	2.4	—	0.91	—	0.24	0.14	—	—	0.009	270	230 トン
大気中浮遊量	1	—	0.65	3.6	0.32	0.04	—	0.43	—	0.09	—	14 kg
ク ラ ー ク 数	1	0.4	9	0.15	1	2	0.05	—	0.002	0.005	80	—

HgなどとCuの比率は比較的狭い変動巾内にあることが注目される。

最後に、本研究について助力いただいた伊藤明人君、京都市関係部局の方々に感謝する。

〔参考文献〕 下水水質試験年報(京都市)、寺町、他(第11回衛生工学研究討論会)、京都市衛生研究
所年報、公害調査資料(京都市)、吉永、他(大気汚染研究、Vol. 4, No. 1)、遠藤、他(大気汚染研究
Vol. 10, No. 4)、佐藤、他(大気汚染研究、Vol. 8, No. 3)、土壌汚染調査報告書(京都市)、清掃事業概
要(京都市)、井上、他(第25回廃棄物処理対策全国協議会)、有害物を含む産業廃棄物発生過程調査
(環境技術)、他。