〈ノート〉

底生動物と河川水間の重金属の量的関係

Relationship between heavy metal contents of benthos and concentrations of river water

小山次朗*
Jiro KOYAMA

小林紀男*
Norio KOBAYASHI

1. 緒 言

河川の底生動物相が重金属を含む鉱山排水の流入によって変化する例は、すでにいくつか報告されている¹⁻⁶⁾。水生生物はその生息水域の水質に長時間曝されることによって水中の重金属類等をその体内に蓄積することが知られている⁷⁾が、底生動物と河川水間の重金属類の量的関係に関する報告は少ない。

本研究ではその上流域に休止鉱山である足尾銅山を持つ渡良瀬川水域をフィールドとし、そこで採取した底生動物と河川水中の重金属類の量的関係を明らかにし、底生動物による水中重金属類のモニタリングが行えるか否かを検討した。

2. 調査方法

2.1 調査地点

調査地点は、Fig. 1に示す計9地点であった。W-1は渡良瀬川上流域に位置し、その上流には足尾町(人口約5,500人)および精銅工場があり、その周辺は旧鉱山地帯となっている。W-2は、渡良瀬川下流域の足利市(人口約17万人)の中心部に位置する。M-1は渡良瀬川上流域にあり、旧鉱山の影響を受けていない神子内川の末流に位置する地点である。K-1, 2, 3および4は旧鉱山地帯を流下する庚申川沿いの地点で、このうちK-1は旧鉱山地帯よりも上流に位置している。A-1および2はその中流域に石灰採石場のある秋山川沿いの地点で、A-1は石灰採石場の上流、A-2はその下流に位置し、A-2のすぐ上流には佐野市(人口約8万人)がある。K-1, 2, 3および4については1981年6, 7, 10月および1982年2月の計4回、W-1, 2, M-1およびA-1, 2については1983年8月, 9月の計2回採取を行った。

2.2 採取方法および分析方法

各地点とも底生動物はNGG40号のサーバーネットにより採取し、氷冷して持ち帰り、分析に供するまで-20℃で凍結保存した。解凍後、底生動物は砂利やごみと分離し、蒸留水で充分洗った後、分析に供した。この際、底生動物をできる限り細かく分類し、試料量が約0.1g(乾重量)以上あれば1種類を1試料として分析し、試料量が少なければ属あるいはそれ以上のグループ分けを1試料として分析した。また、各地点について得られた種、属等のデータを加重平均することによってその地点の底生動物全体および目別重金属含

Fig. 1 Map showing sampling stations.

* 栃木県公害研究所 〒320 栃木県宇都宮市桜2-2-28, The Tochigi Prefectural Research Institute for Environmental Pollution, Sakura 2-2-28, Utsunomiya, Tochigi 320 Japan

量も算出した。

各試料は、105～110℃で乾燥重量を求め、硝酸・過塩素酸分解して水溶液とした後、Fig. 2 に示す方法に従って Cu, Zn, Cd および Pb 濃度を測定した。また、各地点の河川水については、その500ml に硝酸10ml を添加し、約20ml になるまで加熱濃縮した後、分液ロートに移して Fig. 2 の方法に従って各重金属類の濃度を測定した。ただし酢酸ブチルの添加量は、底生動物の場合10ml、河川水の場合20ml とした。なお、試薬は有害金属測定用を用いた。

3. 結果および考察

3.1 各地点の水質

各地点の水質は、Table 1 に示すとおりであった。各地点の重金属濃度を比較すると、渡良瀬川上流域に位置する W-1, K-2, 3 および 4 で比較的高い値が認められた。なお、Cd 濃度はほとんどの地点で $1 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 未満と低い値であった。

3.2 各地点の主要底生動物

現場での観察結果によると W-1 の底生動物の現

存量は少ないようであり、主要出現種はコカゲロウ属 *Baetis* spp. であった。W-2 では W-1 に比較して底生動物の現存量は増加しており、主要出現種はヒゲナガカワトビケラ *Stenopsyche griseipennis*、ウルマシマトビケラ *Hydropsyche ulmeri* およびヒラタカゲロウ属 *Epeorus* spp. であった。M-1 の主要出現種は非汚濁耐忍性種⁹⁾であるヒゲナガカワトビケラおよびコカゲロウ属と汚濁耐忍性種⁹⁾であるミズムシ *Asellus hilgendorffii* およびヒル類 *Hiridinae* であり、この地点で有機性汚濁の進行していることがうかがえる。K-1 ではヒラタカゲロウ属、マダラカゲロウ属 *Ephemerella* spp., K-2, 3 および 4 ではコカゲロウ属およびオナシカワゲラ科 *Protonemura* sp. が主要出現種であったが、いずれも現存量は少なかった。A-1 および 2 の主要出現種は、チラカゲロウ *Isonychia japonica*、オオヤマカワゲラ *Oyamia gibba*、ウルマシマトビケラおよびヘビトンボ *Protohermes grandis* であった。以上のように、本研究で調査した地点の主要出現種は、M-1 を除いてすべて非汚濁耐忍性種⁹⁾であり、有機性汚濁があまり進行していない状態にあるものと考えられる。

3.3 底生動物と河川水中の重金属量

Table 2 に種類別(コカゲロウについては属)の重金属含量を示す。全地点に共通して出現した種類がないため、断片的なデータとなったが、この中で比較的多くのデータが得られたコカゲロウ属の Cu および Zn 含量をみると、Fig. 3 に示すように Cu の水中濃度と生体内含量との間の相関係数は0.875であり、両者が比較的良好な直線関係にあることがわかった。一方、Zn については明瞭な傾向は認められず、Cd および Pb についてはデータ数が少ないため、データを記載するのみにとどめた。

各地点で採取した底生動物中で比較的多く出現した浮遊目、毛翅目および楯翅目の重金属含量と水中濃度の関係は Fig. 4 に示すとおりであった。同程度の水中

Fig. 2 Procedure of heavy metal analysis.

Table 1 Water quality of each station

Station	pH	Cu ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	Zn ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	Pb ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	Cd ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)
W-1	7.32±0.08	12.4± 5.7	22.1± 5.7	20.6±15.0	0.8±0.3
W-2	7.35±0.11	4.0± 3.9	18.6±20.4	2.6± 3.4	1.7±2.1
M-1	7.24±0.02	3.3± 1.0	1.8± 0.3	8.4±10.4	0.9±1.5
K-1	7.17±0.12	<1.0	4.3± 4.2	4.5± 0.7	<0.1
K-2	7.18±0.16	23.3± 10.0	29.3± 7.5	4.0± 0.0	<0.1
K-3	7.23±0.11	128.7± 84.6	55.3±23.1	4.0± 0.0	<0.1
K-4	7.20±0.12	135.7±100.0	65.3±36.9	11.6±14.0	<0.1
A-1	7.61±0.29	1.9± 0.1	3.0± 2.8	5.2± 1.6	0.4±0.0
A-2	7.85±0.01	3.0± 0.8	4.3± 3.2	4.2± 0.3	0.3±0.0

Table 2 Heavy metal contents in each species of benthos ($\mu\text{g/g}$ dry weight)

		Cu	Zn	Cd	Pb
<i>Baetis</i> spp.					
W-1	Aug. 11	642	1275	35.5	92.5
	Sep. 22	409	1139	27.5	95.0
M-1	Aug. 26	34	333	5.9	63.0
	Sep. 22	59	226	5.4	23.0
A-1	Sep. 20	33	135	0.5	ND
K-2	Jun. 10	902	915	5.6	ND
	Jul. 22	594	408	6.0	250.0
	Oct. 19	228	94	ND	ND
K-3	Jul. 22	1925	214	4.9	67.0
K-4	Jun. 10	2231	637	ND	34.0
	Oct. 19	1496	922	15.5	ND
<i>Isonychia japonica</i>					
A-1	Aug. 24	46	559	9.1	9.0
	Sep. 20	26	261	4.7	6.8
A-2	Aug. 24	32	421	4.5	14.7
	Sep. 20	39	600	1.3	18.6
<i>Stenopsyche griseipennis</i>					
W-2	Aug. 24	123	162	1.2	6.0
	Sep. 20	25	168	0.4	4.0
M-1	Aug. 26	14	104	0.2	2.0
	Sep. 22	15	103	0.1	ND
A-1	Aug. 24	68	189	0.2	ND
	Sep. 20	38	65	ND	ND
A-2	Aug. 24	49	333	0.9	11.9
	Sep. 20	31	147	0.3	7.7
<i>Hydropsyche ulmeri</i>					
W-2	Aug. 24	87	300	5.7	13.6
	Sep. 20	96	268	10.3	13.4
M-1	Aug. 26	27	163	3.6	ND
A-1	Aug. 24	33	212	1.0	2.7
	Sep. 20	36	145	0.3	ND
A-2	Aug. 24	38	345	0.7	6.0
	Sep. 20	35	188	0.3	ND
<i>Oyamia gibba</i>					
M-1	Sep. 22	63	254	4.3	5.3
A-1	Aug. 24	25	229	1.5	ND
	Sep. 20	42	155	0.8	ND
<i>Protohermes grandis</i>					
A-1	Aug. 24	33	138	2.0	3.2
	Sep. 20	35	157	1.4	5.4
A-2	Sep. 20	54	247	0.9	1.0
<i>Asellus hilgendorfi</i>					
W-1	Sep. 22	508	209	5.8	59.8
M-1	Aug. 26	132	113	1.7	18.1
	Sep. 22	230	100	2.0	6.7

Fig. 3 Relationship between heavy metal concentrations in water and contents in *Baetis* spp..

○ : sampled on Aug. 1983
 ● : sampled on Sep. 1983
 ⊙ : sampled on Jun. 1981
 ⊖ : sampled on Jul. 1981
 ⊗ : sampled on Oct. 1981

Fig. 4 Relationship between heavy metal concentrations in water and contents in each order of benthos.

● : *Ephemeroptera*
 ○ : *Trichoptera*
 △ : *Plecoptera*

重金属濃度で目別重金属含量を比較すると、Cu および Zn では各目の間に差は認められなかったが、Cd および Pb では浮遊目の値が若干高い傾向を示した。また、各目の Cu 含量と水中濃度の間には良好な直線関係が認められたが、Zn、Cd および Pb では明瞭な直線関係は認められなかった。

各地点で求めた底生動物全体の重金属含量と水中重金属濃度の関係は Fig. 5 に示すとおりで、主に W-1, K-2, 3 および 4 で底生動物中重金属含量の高い値が認められた。また、Cu では両パラメータ間に相関係数 0.840 という高い値が得られ、両者が比較的よい直線関係にあることがわかったが、Zn、Cd および Pb ではそれぞれ相関係数 0.324, 0.544 および 0.445 と比較的低い値であった。そこでパラメータとして水温を加え、底生動物中重金属含量と水温との間で重回帰分析を行ったところ、Cu の重相関係数 0.872 と単回帰分析に比較してあまり差がないが、Zn、Cd および Pb の重相関係数はそれぞれ 0.800, 0.697, 0.797 となり、単回帰分析に比較して値が著しく大きくなった。さらに Table 3 に示すように底生動物中重金属含量と水温の

Table 3 The partial correlation coefficients between heavy metal concentrations and contents in benthos, water temperature

	Cu cont.	Zn cont.	Cd cont.	Pb cont.	Water temp.
Cu conc.	0.858				-0.645
Zn conc.		0.673			-0.674
Cd conc.			0.709		-0.652
Pb conc.				0.519	-0.108
Water temp.	0.433	0.773	0.738	0.518	

間の偏相関係数は Cu、Zn、Cd および Pb でそれぞれ 0.433, 0.773, 0.518 および 0.738 とすべて正の値であったことから、底生動物の重金属含量が水温上昇に伴って増加する傾向にあることがわかる。同様の現象は、Cd を含む海水中で飼育したイタボガキ科の 1 種 *Crassostrea virginica*⁹⁾ およびシオマネキ科の 1 種 *Uca pugilator*¹⁰⁾ の体内 Cd 含量でも認められており、本報告の結果も含めてこれらの現象は、高水温における水生生物の代謝速度の増加に伴う重金属蓄積速度の増加に起因するものではないかと考えられる。

以上のことから、Cu の水中濃度と底生動物中含量の間には、種(属)、目および底生動物全体の各レベルで比較的良好な直線関係が認められた。また、底生動物全体のレベルで検討したものであるが、Zn、Cd および Pb についてもパラメータとして水温を加えることによって重相関係数が 0.7~0.8 と高い値となることから、重金属の水中濃度と底生動物中含量の関係を検討する場合、水温が重要なファクターの 1 つであることが示唆された。種類別重金属含量のデータが不足していること、底生動物の目によって Cd および Pb 含量がわずかではあるが差を示す傾向にあり、今後検討を要する点が残されているものの、前述のような高い相関係数が認められたことと、底生動物の中で大きな割合を占める水生昆虫が重金属汚染に対して魚類以上の耐性を持っている¹¹⁾ことから、水中の重金属類に対する長期間のモニタリングに底生動物が適用できるものと考えられる。

(原稿受理 昭和61年9月1日)

Fig. 5 Relationship between heavy metal concentrations in water and contents in benthos.

- : sampled on Aug. 1983
- : sampled on Sep. 1983
- ◐ : sampled on Jun. 1981
- ◑ : sampled on Jul. 1981
- ◒ : sampled on Oct. 1981
- ◓ : sampled on Feb. 1982

引用文献

- 1) 御勢久右衛門 (1960・a) 足尾銅山廃水の河川生物に及ぼす影響, 陸水誌, **21**, 1—8.
- 2) 御勢久右衛門 (1960・b) 奈良県立里, 川股両鉾山及び和歌山県飯盛鉾山の廃水の河川生物に及ぼす影響, 日生態会誌, **10**, 38—45.
- 3) 御勢久右衛門 (1960・c) 兵庫県生野, 岡山県棚原鉾山の廃水の河川生物に及ぼす影響, 日生態会誌,

- 10, 193—199.
- 4) 御勢久右衛門 (1961・a) 岐阜県神岡, 石川県小
屋, 宮城県細倉鉦山の廃水の河川生物に及ぼす影響,
日生態会誌 11, 111—117.
- 5) 御勢久右衛門 (1961・b) 鉦山廃水の河川生物に
対する影響のまとめ, 淡水生物, 7, 18—25.
- 6) Moore, J. W. (1980) Seasonal and species
-dependent variability in the biological impact of
marine wastes in an Alpine river, *Bull. Environm.
Contam. Toxicol.*, 25, 524—529.
- 7) 清水 誠 (1978) モニタリングと指標生物, 生
物濃縮 (山県登編), 253—281, 産業図書, 東京.
- 8) 御勢久右衛門 (1982) 自然水域における肉眼的
底生動物の環境指標性について, 「環境科学」研究報
告集, B121—R12—10, 9—16.
- 9) Zarogian, G. E. and S. Cheer (1978) Accumu-
lation of cadmium by the american oyster, *Cras-
sostrea virginica*, *Nature*, 261, 408—410.
- 10) O'Hara, J. (1973) Cadmium uptake by fiddler
crab exposed to temperature and salinity stress,
J. Fish. Res. Bd. Can., 30, 846—848.
- 11) Nehring, R. B., R. Nilsson and G. Minasian
(1979) Reliability of aquatic insects versus water
samples as measures of aquatic lead pollution,
Bull. Environn. Contam. Toxicol., 22, 103—108.

底生動物と河川水間の重金属の量的関係

小山次朗* 小林紀男*

* 栃木県公害研究所

〈水質汚濁研究 Vol.9 No.12 (1986) pp.793~797〉

底生動物と河川水間の重金属類の量的関係を明らかにし、底生動物による河川水中重金属類のモニタリングの可能性を検討するため、渡良瀬川水域をフィールドとして底生動物および河川水中重金属類を測定した。その結果、種あるいは属ごとにみた場合、Cu の水中濃度とコカゲロウ属中含量間に良い直線関係が認められた。また、河川水と底生動物全体の重金属量の単回帰分析によると Cu, Zn, Cd および Pb でそれぞれ相関係数 0.840, 0.324, 0.544 および 0.445 が得られ、Cu で比較的良好な直線関係が認められた。さらに河川水中重金属濃度と底生動物中重金属含量および水温との間で重回帰分析を行うと、同様に重相関係数 0.872, 0.800, 0.697 および 0.797 と全般的に高い値が得られた。以上のことから、河川水中重金属類の長期間にわたるモニタリング生物として底生動物が適用できるものと考えられた。

神奈川県内における地下水、河川水及び工場排水の有機塩素系溶剤に関する調査

田中克彦* 鷺山享志* 杉山英俊* 伏脇裕一* 橋本 茂* 草野恵美子**

* 神奈川県公害センター, ** 麻布大学環境保健学部

〈水質汚濁研究 Vol.9 No.12 (1986) pp.798~805〉

神奈川県内における地下水、河川水及び工場排水の有機塩素系溶剤について汚染実態調査を行い、その特徴などについて検討したところ次のような結果が得られた。1) トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1, 1, 1-トリクロロエタンの検出状況は調査対象地区によって異なっており、不透水層である泥層が存在している地区では浅井戸で 3 物質は検出されたが、深井戸では不検出かあるいは検出されたとしてもそれらの濃度は低かった。しかし不透水層がない地区では浅井戸、深井戸ともに検出され、特に深井戸でそれらの濃度が高く、地下水の流れ方向に行くに従って高濃度に、また井戸水の汲上げ量の多いほど高濃度に検出されていた。2) 河川では上流より下流の方が 3 物質は高濃度に検出されており、河川流域に存在している工場の影響がうかがえた。3) 工場排水中の 3 物質の濃度は、活性汚泥法等曝気操作がある処理の方が凝集沈殿による処理よりも低かった。