

## 水棲生物を指標とする河川における重金属汚染の研究(その4)

梶山正三 伊東毅弘 志村真理  
高橋淑子 北嶋義典 川原 浩  
(日本大学農獣医学部)

### 1 はじめに

昭和53年度からスタートしたこの研究も、昭和58年度を一応の最終年度として、これまでの研究結果をとりまとめて報告する。

本報告では、前回の報告<sup>1)</sup>をもとに、その後に得られた若干の研究結果を含め、本テーマに関して得られた研究結果の総括的評価を行ないたい。本研究は、前述のとおり、昭和58年度をもって一応終了するが、残された課題も多い。

### 2 化学的指標と生物学的指標に関する一般的考察

河川等の水環境がどの程度に汚染、ないし、汚濁されているかを知るための主要な手段は、現在でも、水質ないし、底泥の化学的分析であり、一般には、特定物質の分析値がその物質による汚染の程度を示すものと、何等の疑いもなく、受け取られていると言って良いであろう。しかし、このような見方に対しては、たかだか、水質の常時監視という立場から河川水質の変動を観察しつつきてきた者から見るとかなりの疑問を抱かざるを得ない。

河川の水質変動の程度と、その予測の困難さ、また、その原因の多様性は、通常の数理解析モデルや水質測定などでは到底とらえきれないものである。

例えば、ある河川で1日のうち10分間だけ異常に高いか、あるいは低い濃度の特定物質を含む水が流れ、たまたま、その時に採水した試料の分析値をもって汚染の指標とし、そのデータをもとに、河川水質は前年度に比べ大幅に改善された等と、発表したらどうであろうか。このような瞬時的、一過的な現象も広い意味では汚染の一種であるが、それはあくまでも「異常値」として扱われるべき現象であって、日常的、恒常的汚染ではなく、環境行政が、その主要な目的としている

環境保全という意味での、環境汚染の程度を示すものでもない。したがって、このような分析値を汚染指標として扱うことが、不当なことは明らかであろう。そこで上記のような過誤を避けるために、増水時には採水せず、かつ、年に一度ではなく月に一度は採水してその平均値をとる、というようなことが行なわれることになる。このような方法によれば、化学分析値も汚染指標として相当の精度をもつ、と一般に考えられているからである。しかし、ここでは、詳述しないがこのような方法によって精度のよい汚染指標を得ることは、かなりむずかしいと思われる。(これは、河川水質の変動を常時観測し、その態様を知る者にとっては当然の結論であろう。)ただし、このような数値を極く大雑把な目安として、例えば、その数値の5倍から1/5までの幅のある指標として用いることは、目的によっては可能であろう。したがって、これらの数値をもとに、前年度比20%改善などと論ずることはあまり適確な方法であるとはいえない。現時点では、化学分析値から精度の良い汚染指標を抽出するには、常時観測データの利用を考慮するのが最善であろう。

水棲生物を汚染指標とする考え方は、化学分析値を汚染指標とする方法と比べて、非常に異なる発想に基づくものである。生物指標は、水環境から直接に影響をうける生物の観察を基礎とする点では、現実的、即物的であり、また、その表現において具体的である。それに対し、化学的分析値は汚染との関わり合いの表現としては抽象的であり、かつ、数量的である。しかし、前述のように、その長所であるべきはずの数量的表現が極めて大雑把なもの、あるいは、信頼性の薄いものである以上、生物指標は化学的指標を単に補充、補充するべきものではなく、むしろ、これからの汚染指標の主役となるべきものであり、化学的指標は、生

物指標の補助として考慮されるべきものである。

水棲生物を汚染指標とする研究は、有機汚濁に関して早くからなされており、Biotic Indexとして数量化の試みもなされている。<sup>2)</sup>これは生物相と現存量に着目したものである。これに対し、重金属汚染と水棲生物との関連を論じた報告は少ない。その理由は、通常、環境中に存在する程度の重金属濃度では、生物相や現存量に、ただちに顕著な変動を与えることは予想されないからである。

本研究が生物相や現存量を一応捨象して、もっぱら水銀の体内濃度に着目してきた理由はここにあり、この問題に関する他の報告も、ほとんどが同様のアプローチをとっている。本研究においては、生物体内の水銀濃度を比較することによって、汚染の程度を比較することが可能であるか、否かを検討したものである。ここで注意すべきは、水銀分析値あるいは、これらの値を統計的に処理したのもをもって、ただちに、汚染の程度を示す数値とは考えていない点である。このような安易な数量化は、水質分析値の取り扱いと同様の誤りを犯すことになる。分析値は、相対的な汚染の程度を把握する手段に過ぎないと考えるべきである。本報告を読むにあたって、その点に留意して頂きたい。

### 3 汚染指標としての底泥分析値

重金属による汚染指標としては、従来、水質分析と底泥分析が行なわれてきたこと、これらは、汚染指標として問題の多いものであること、そして、底泥分析値はそのままでは汚染指標にもなりえないだけでなく、汚染の目安を示すものになりえないこと、などを前報で指摘した。<sup>1)</sup>そのさい、底泥を化学的ないし、物理的に分類し、その特定部分のみに注目すれば、底泥分析値を汚染指標とすることの可能性についても述べた。ここでは、底泥の粒径分析を行ない、そのシルトと粘土成分との関連を調べることにより、上述のような検討を行なったので、その結果について述べる。

#### (1) 底泥の粒径分析

##### ア 試料の採取

本実験に供した底泥は、多摩川丸子堰上の近接した21地点において、1982年11月8日午前9時15分から午後4時10分にかけて採取したものである。採取地点を図1に示す。採取試料を遠心分離、乾燥、分篩する操作は通常の方法によった、詳細は前報<sup>1)</sup>を参照されたい。

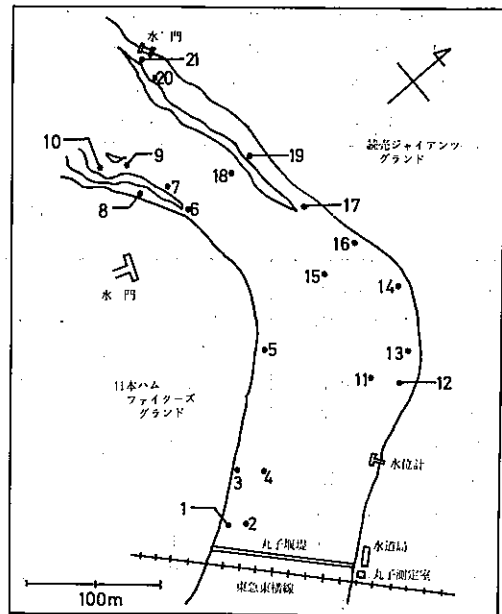


図1 底泥の近接採取地点 (多摩川)

#### イ 粒径分析<sup>3)</sup>

- ① 乾燥細土10gを精秤し、トルビーカーに入れ、6%過酸化水素水50mlを加え、時計皿で被い放置する。発泡がゆるやかになってから湯せん上で加熱し、液量が約30mlになるまで濃縮する。この操作を土色が明るくなるまで繰り返す(通常は8~15回程度)。
- ② 約1時間放置後、300mlの三角フラスコに移し、水を加えて約200mlとする。
- ③ 分散剤として1N水酸化ナトリウム4mlを加え密栓し、往復振とう機で約4時間振とう後500mlの沈底ビンに移し、水を正確に標線まで充たす。沈底ビン内の液温を測定したのち60秒間反転振とうし、栓をとって静置する。次に液温に応じて定められた所定の時間経過後、サイホンで水深5cmより上部の懸濁部分を一気に採取し恒量既知の蒸発皿に移す。この操作を、水深5cmより上部の濁りが所定時間後に観察されなくなるまで繰り返す。
- ④ 蒸発皿に移した部分を、110~115°Cで恒量になるまで乾燥して秤量する。これが供試底泥中のシルト

表1 国際土壤学会による粒径区分

粒径 (mm)	名称
2.0 以上	Gravel
0.2 ~ 2.0	粗砂 Corase Sand
0.02 ~ 0.2	細砂 Fine Sand
0.002 ~ 0.02	シルト Silt
0.002 以下	粘土 Clay

+粘土に相当する。

⑤ 本実験法は国際土壤学会法による粒径区分に対応した分析法である。表1にその粒径区分を示す。

(2) 分析結果及び考察

ア 水銀濃度とバラツキ

表2に底泥の水銀分析値、粒径分析の結果等を示した。表中の分解損失物とは、粒径分析において過酸化水素添加後の加熱による分解物であり、主として、有

表2 底泥の水銀含有量と粒径組成

地点番号	Hg 濃度 (μg/g)(C)	シルト+粘土 (%) (A)	砂 (%)	分解損失 (%) (B)	$\frac{C}{A} \times 100$	$\frac{C}{A+B} \times 100$
1	0.405	53.7	38.7	7.7	0.754	0.661
2	0.374	43.5	51.8	4.8	0.860	0.776
3	0.343	32.4	61.4	6.2	1.059	0.889
4	0.313	33.2	60.8	6.0	0.943	0.798
5	0.318	38.3	54.0	7.7	0.830	0.691
6	0.149	11.3	86.5	2.3	1.319	1.104
7	0.101	7.5	91.1	1.4	1.347	1.130
8	0.153	10.8	87.2	1.9	1.417	1.195
9	0.135	9.2	88.8	2.0	1.467	1.205
10	0.134	7.9	90.6	1.5	1.696	1.425
11	0.264	20.5	76.0	3.5	1.287	1.100
12	0.139	9.6	88.5	1.9	1.448	1.208
13	0.168	13.1	84.0	3.0	1.282	1.050
14	0.245	19.7	75.0	5.3	1.244	0.980
15	0.090	4.8	93.9	1.4	1.875	1.475
16	0.140	8.5	89.3	2.2	1.647	1.309
17	0.083	3.3	95.5	1.2	2.515	1.844
18	0.406	34.9	49.7	15.5	1.163	0.807
19	0.159	10.9	86.3	2.8	1.459	1.160
20	0.089	4.3	94.1	1.6	2.070	1.508
21	0.068	2.9	95.7	1.3	2.345	1.581
平均	0.204	18.1	78.0	3.9	1.430	1.138

機物である。また、56年度(81, 11, 11採取)同様の底泥採取を行なった時の水銀分析値を( )内に示した。ただし、地点には若干のズレがある(文献1参照)。56年度、57年度を通じて、水銀分析値は、到底近接地点のものとは思えないほどバラツキがあることがわかる。底泥分析値がこのままでは汚染指標になり難いという前年度の結論が更に強められたと言え

う。また、対応する地点ごとの一年後の分析値のあるものは減少し、あるものは増加するなど全くチグハグであることも顕著に認められる。

イ 水銀濃度と粒径組成

水銀濃度と底泥の粒径組成との関係を知るために、横軸にシルト+粘土、又は砂の含有率(%)をとり縦軸に水銀濃度をとったものが図2、図3である。

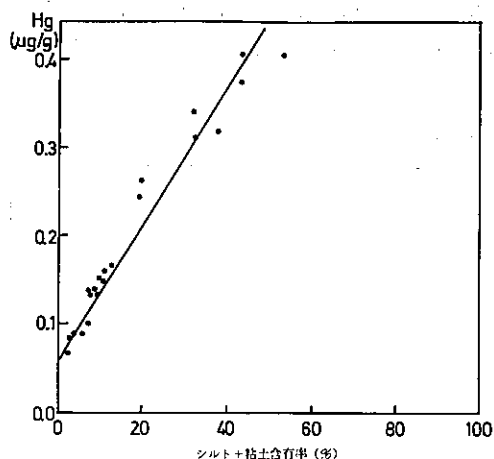


図2 水銀濃度とシルト+粘土含有率との相関

ただし、本研究において「砂」とは、表1にいう粗砂及び細砂をあわせたものであり、かつ粗砂の粒径の上限は0.83mmである。これは分篩により、これ以上の粒径の大なるものは除かれていたためである。

図にみられるように、シルト+粘土と水銀濃度とは明瞭に正の相関を示し ( $r = 0.967$ )、砕の含有率とは負の相関が明らかに認められる ( $r = -0.819$ )。このことから、底泥中の水銀の大部分は、シルト+粘土の分画に存在し、砂の部分にはほとんど存在しないことが推測される。ただし、分解損失部分に含まれる水銀量は、これらの結果からは明らかでない。しかし、例えば表2のNo.1とNo.18を比較してみると、両者は水銀含有濃度はほぼ同じであるが、シルト+粘土は53.7%と34.9%と相当の差があり、一方分解損失量はNo.18において15.5%と多い。これらのことから、分解損失部分にも相当量の水銀が含まれているとの推測もなりたつであろう。

以上のことから、底泥中の水銀濃度をその全重量に対してではなく、シルト+粘土あるいは、これに分解損失量を加えた部分に対する値として補正すれば、水銀濃度のバラツキはずっと小さくなるのではないかと予測される。そのような補正値を表2中にかかげた。これらの補正値のバラツキが明らかに水銀濃度のバラツキより小さくなっているのが看取されるであろう。更にシルト+粘土の含有率の極端に低いものは、粒径分析、水銀分析の両者で誤差が生じやすいと考えられ

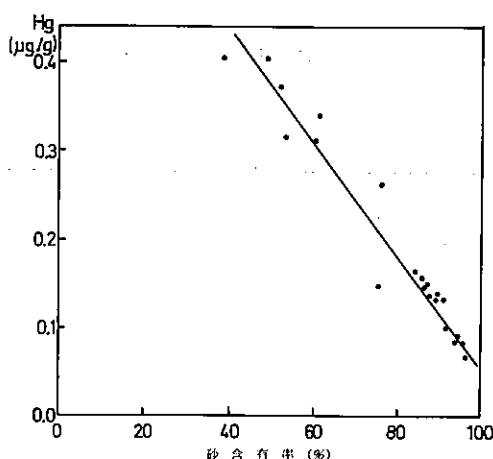


図3 水銀濃度と砂含有率との相関

るので、これらを除いた試料(12サンプル)についてみると、そのバラツキは更に小さくなる。これらを変動係数(C,%)で比較すると、表3のようになる。

表3 近接地点底泥分析値の変動係数

	56年度 分析	57年度 分析	補正値 1	補正値 2	補正値 1*	補正値 2*
<i>n</i>	20	21	21	21	12	12
$\bar{x}$	0.245	0.203	1.411	1.135	1.138	0.934
<i>v</i>	0.031	0.012	0.211	0.093	0.053	0.033
<i>a</i>	0.175	0.111	0.459	0.305	0.230	0.181
C, (%)	71.4%	54.5%	32.5%	26.8%	20.2%	19.3%

補正値1:  $C/A \times 100$ , 補正値2:  $C/A + B \times 100$ ,  
補正値1\*:  $C/A \times 100 (A > 10)$ , 補正値2\*:  $C/A + B \times 100$

すなわち、シルト+粘土の含有率だけで補正するよりも、分解損失量をも加えた方がより安定した値が得られ、更にシルト+粘土の含有率が10%以上のもののみを対象とすると、更にバラツキは少なくなり、汚染指標として一応は使用に耐えうるものとなる。このように底泥の水銀分析値にその粒径分析の結果をもとにした補正を加えれば、汚染指標になりうるのではないかと、というのが今回の実験で得られた結論である。これは他の河川、あるいは他の地点での採泥試料についても検討して、この結論を確かめると同時に補正方法についてもより精緻な検討を加える必要がある。

4 魚類について

(1) 分析結果のまとめ

前報<sup>1)</sup>で示した結果にその後のデータを加え、地点

別、魚種別に整理したものが表4である。表4には採取地点の標高と河口からの距離を示し、更に、分析試料の体長及び乾燥重量の平均値、分析個体数をも示し

表4 魚類の分析結果

採取地点	魚類	アマゴ	ヤマメ	カジカ	ウグイ	ニジマス	オイカワ	モツゴ	ニゴイ	キンブナ	ヘラブナ	コイ	ギンブナ	ヒシラギ	イナ	コノシロ	ボラ
落合	3* 1. 100 4* 2. 122.5 5* 0.092(15)	148 9.3 0.048(5)	153 8.8 0.048(5)														
半原	115 66 109.5			70 1.9 0.070(4)													
奥	132 580 107.5				112 3.3 0.154(8)	265 52.3 0.455(5)											
保之瀬	113 550 104.0			175 4.2 0.138(4)	109 2.4 0.200(7)												
日原川	111 820 82.6				111 3.6 0.225(7)												
取和	103 320 82.5				103 2.6 0.242(4)												
川井	135 245 74.5				135 3.7 0.240(6)												
柳森	103 150 61.2				103 2.5 0.240(5)												
羽村	95 120 54.0				95 2.1 0.300(19)												
水田	112 150 51.7				112 3.2 0.312(10)						112 5.8 0.340(4)						
梓島	104 90.4 46.3				104 2.9 0.175(7)	78 2 0.142(4)	355 23.3 0.210(11)	233 58.8 0.225(8)					180 41.0 0.155(5)				
日野	100 71.4 46.0				100 2.3 0.162(4)	69 0 0.159(10)		165 29.2 0.288(8)				118 5.5 0.197(7)			141 21.7 0.212(4)		
国	118 65 38.5				202 26.5 0.722(7)	118 4.0 0.244(20)	92 2.3 0.439(18)	155 18.4 0.352(6)				125 8.0 0.359(19)	145 15.0 0.333(13)		155 21.1 0.255(9)		
浅川	111 69.9 35.0				111 3.7 0.225(9)	115 1.5 0.211(9)			155 19.9 0.356(8)			152 19.8 0.295(4)	153 18.5 0.333(13)				
浅川合流	135 69.9 37.0				135 5.8 0.452(4)	103 10.3 0.250(7)		182 21.4 0.300(12)						111 15.2 0.187(5)			
足	142 42.0 31.0						67 2.0 0.353(9)			191 40.8 0.328(8)		199 45.3 0.265(13)	255 63.2 0.265(13)		138 18.9 0.930(15)		
多摩川	122 38.0 28.0												122 10.1 0.199(4)	130 8.8 0.158(3)	195 3.9 0.199(4)		
丸子	178 4.2 13.2						78 1.6 0.422(6)		255 83.3 0.410(10)		255 23.0 0.222(13)	207 24.2 0.255(13)					
大	122 4.5 13.2													122 4.5 0.155(4)	206 30.1 0.130(8)	185 22.5 0.135(9)	
取和合流	247 42.4 0.1															247 42.4 0.120(5)	123 123 0.039(4)

1\* 標高 (m), 2\* 河口からの距離 (km), 3\* 体長平均値 (mm), 4\* 乾燥重量平均値 (g),  
5\* 水銀含有濃度 (μg Hg/Dry weight (g)), ( ) \* 分析個体数

た。採取地点、採取方法、試料の分析方法等の詳細は、前報を参照されたい。この結果を図示したものが図4である。図4では、魚類の採取地点を横軸に河口からの距離、縦軸に標高をとって示した。また、各地点ごとの魚類の水銀含有量の平均値をも同時に図示した。この図では、多摩川本流の各地点に限ったため、表4に示されている浅川などの支川は、この図には含まれない。

(2) 魚種、体長、体重と水銀含有濃度

ヤマメ、ウグイ、オイカワ、キンブナ、ギンブナ、コイ、ニゴイ、ゲンゴロウブナ、モツゴ、コノシロ、カジカの各魚種について、体長と水銀含有濃度、体重(乾燥重量)と水銀含有濃度について相関関係を調べた。

そのうち、ヤマメについては、体重と水銀濃度との間に顕著な相関がみられた(図5)。他の魚種については、特に有意な相関は認められなかった。ヤマメのみに顕著な相関が存在することの理由は、明らかではないが、上・源流部に生息するため、水銀の体内蓄積量が平衡に達するまでに時間を要すること、肉食性であることなどが考えられよう。他の魚種については、比較的短期間で水銀濃度が一定になるようである。ただし採取方法が投網であるため、稚魚、ないしそれに類するものは、分析の対象となっていないことも影響しているであろう。したがって、ヤマメ以外の魚種については、魚の大きさを余り気にせずに分析試料とすることができると思われる。

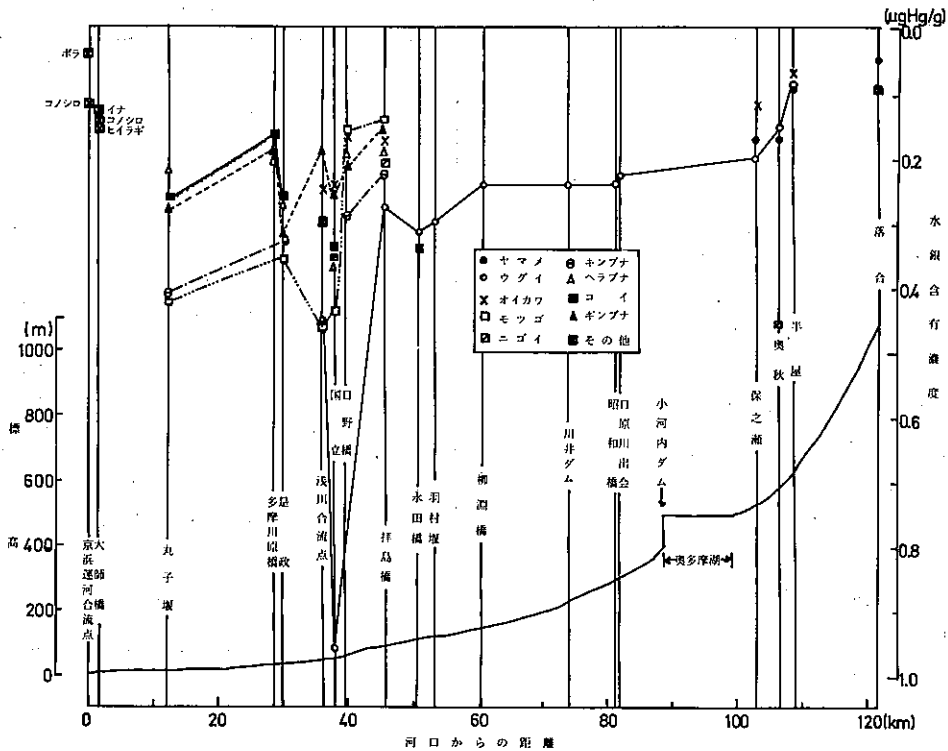


図4 採取地点および魚類の水銀濃度

魚種によって、水銀蓄積量の相違がみられるであろうか。例えば、ウグイとオイカワを比べてみると拝島橋、浅川、浅川合流点、国立の4地点のすべてで、常にウグイの方が水銀濃度が高く、また、ウグイは他にモツゴ、ニゴイ、ギンブナの3魚種について、比較可能な全地点において常に水銀含有量が高い。同様のことは、キンプナとヘラブナ（比較可能な5地点）、キンプナとギンブナ（同前4地点）などについても観察される。このように、4地点ないし5地点において、常に一方の魚種が、他の魚種よりも水銀濃度が高いということは有意な差、すなわち、魚種による水銀蓄積傾向の差を示すものと言って良いであろうか。断定的な結論を下すにはより十分な検討が必要なのはもちろんであるが、一応肯定してよいと考える。

(3) 採取地点と水銀含有濃度との関係

つきに、採取地点との関係をみてみよう。まず、最上流部である落合、半屋、最下流部で海水が多量に混入している大師橋や京浜運河合流点において採取された魚の水銀濃度は一般に低い。なお、その上流の丸子

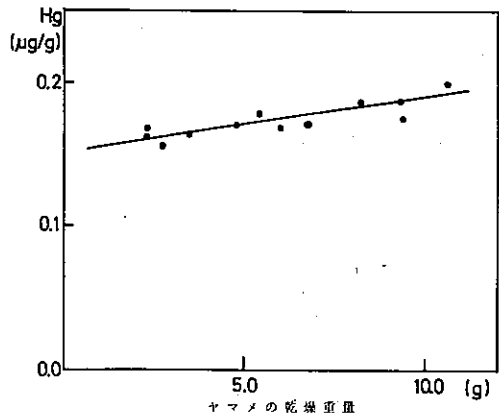


図5 ヤマメの体重と水銀濃度の関係

堰上では水銀濃度がかなり高いが、ここは、すでに感潮域ではなく、丸子堰の下までが感潮域である。

上流部から下流部に傾向をみていくと、落合から永

田橋までは、徐々に水銀濃度が上昇する傾向がみられ、永田橋とその下流の拝島橋を比べると、拝島橋の方が水銀含有濃度が低く、更に、拝島橋→日野橋→国立と下流に行くにつれ水銀濃度が高くなり、浅川合流点で一旦低くなったのち、是政→丸子堰上とふたび高くなるという傾向を示している。以上の傾向は、多少の例外はあるとはいえ、魚種ごとにほぼ一致した傾向を示していることに注目すべきである。前報までの結果では、分析個体数が非常に少なかったためもあって、魚種により傾向が逆転している場合がかなりあり、そのため、地点ごとの傾向が明瞭には把握しがたかったが、その後の相当数のデータを追加した今回の結果からみると、魚種ごとにその傾向はほぼ一致しており、ある程度以上の分析個体数を確保すれば、魚種の分析により汚染の程度を比較することが可能と思われる。

5 水棲昆虫類について

水棲昆虫類については、残念ながら前報以降、特にみるべき成果を得ていない。その理由は、少量試料での分析、個体別の分析、分析の省力化、などの目的で分析方法の変更を試みたが、いままで行なってきた湿式分解-還元気化原子吸光法との比較において、同一試料での測定値の一致が得られず、その原因の究明に手間取ったためである。

新たに検討した水銀分析法とは、加熱気化金アマルガム吸着法による原子吸光法であるが、湿式法と比較して20~30%以上も測定値が異なる場合があり、しかし、そのズレは常に一方が高いというのではなく、一方が他方に比べて高かったり、低かったりするもので一定の値が得られなかった。この原因は明らかでなく、今後の検討に待つほかないが、共存物質の関与による可能性が最も大であろう。

以上のように、従来法によるデータと加熱気化法によるデータを同一の土俵の上に乗せて比較検討することは現段階ではできないが、加熱気化法によるデータのみで一応の傾向を論ずることは可能である。表5は、加熱気化法によるデータの部分である(無作為に抽出した試料の分析結果である)が、生物種別に比較すると、ヘビトンボが他の生物種より高い値を示すこと、地点別に比較すると、大丹波川は常に他の地点より高いことなど湿式法によるデータと同一の傾向が読み取られ、今までに得られた結論を裏付けるものとなっている。

表5 加熱気化法による小銀分析値

採取地点	種類	採取日	分析値( $\mu\text{g/g}$ )
川井	カワゲラ	'81 2. 25	0.056
		'81 3. 25	0.052
		'82 3. 24	0.070
		'82 4. 22	0.080
		'82 6. 28	0.079
		'82 2. 23	0.076
大丹波	カワゲラ	'81 2. 25	0.142
		'82 2. 22	0.186
		'82 3. 24	0.182
		'82 6. 28	0.182
		'83 1. 26	0.169
	ヘビトンボ	'82 2. 22	0.290
和田		'81 2. 25	0.071
		'81 5. 27	0.063
		'81 6. 19	0.063
		'82 12. 17	0.097
		トビケラ	'81 2. 25
羽村	トビケラ	'81 2. 25	0.062
		'82 4. 22	0.114

6 まとめと考察

① 底泥の水銀含有濃度は、そのままでは汚染指標になりえない。粒径分析を行ない、シルト+粘土及び有機物の含有量に応じた補正をすれば汚染指標になりうる。ただし、シルト+粘土の含有率が非常に低いものは分析対象とするのは適当ではなく、含有率10%以上のものに限るべきと思われる。

② 魚類の水銀含有濃度は、汚染の程度を比較する指標となる。ただし、その数値は、相対的な比較の対象となるのみで、汚染の程度を量的に表示するものとは考えにくい。

分析対象となる魚類は、ヤマメの場合を別にして、一般的にはその体長や体重を考慮しなくても良いと思われる。ただし、稚魚その他これに類するような小型のものは避けるべきである。また、1地点1魚種につき少なくとも5尾以上の個体を分析対象とすべきであろう。

対象となる魚種としては、上流物では、ヤマメ、カジカ、ウグイ、中流部では、ウグイ、オイカワ、キンブナ、ギンブナ、コイなど、下流部ないし感潮域では、コイ、コノシロ、ボラなどが適当と思われる。これらは、1地点で5尾以上の捕獲が比較的容易なものであるが、

カジカについては、これだけの数を捕獲するのは一般には困難であろう。

放流魚でも、分析対象になり得るかの問題がある。現実には、アマゴ、ヤマメ、ヘラブナ、コイなどが問題となるが、一概に否定すべきではなく、放流魚の割合、放流後の生息期間、天然産か放流魚かの区別が可能か否か、等により具体的に検討すべきである。例えば、ヤマメについては、一般に放流魚が多いと考えられているようであるが、本研究に関して採取したものは、地元の漁師によればほとんど天然産とされたことは、前報で述べたとおりである。

③ 水棲昆虫類の水銀含有濃度も地点ごとにほぼ一定の傾向を示し、汚染指標となりうることは、前報で既に述べた。その後に行われた加熱気化法による若干のデータも、上の結論を裏付けるものとはなっても、否定的なものではない。しかし、水銀分析値が、数量的に汚染の程度を表示するものではないことは、魚類の場合と異なる。

それでは、底泥分析値、魚類・水棲昆虫類の水銀含有濃度がいずれも条件は、限定的にはあっても、汚染指標になり得るといふ結論のもとで、これら相互の関係を如何に考えるべきであろうか。情報は多いほど良いという考えに立てば、これらを併用するというこ

とになる。しかし、これらの指標を得るのは、決して容易ではなく多くの労力を要する。また、試料採取の難易も河川により、場所により異なる。例えば、多摩川では、羽村堰より上部では粘土+シルトを10%以上含むような底泥の採取はほとんど不可能であり、またこれより下流では、トビケラ、カワゲラ類はほとんど生息しない。更に、上流部では捕獲の容易な魚種が少ないのに対し、中流部では多くの魚種が比較的容易に捕獲できる。これ以外にも、上流部では投網が通常は禁止され、投網による捕獲には特別の許可を要することなども考慮されねばならない。したがって、上流部では、水棲昆虫類を主として魚類を従とし、中流部、下流部では魚類及び底泥を対象とするのが、一般的には妥当と思われる。

#### 参 考 文 献

- 1) 梶山正三ほか：水棲生物を指標とする河川における重金属汚染の研究（その3），東京都公害研究所年報，177（1983）
- 2) 津田松苗：水生昆虫学，北隆館（1962）
- 3) 日本大学土壤・肥料・植物栄養学実験書編集委員会編：土壤・肥料・植物栄養学実験書，医学研修出版社（1981）