

# 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)

梶山正三 伊東戡弘 志村真理  
猪口 寛  
(日本大学農獣医学部)

## 1 はじめに

前報において、河川が重金属でどの程度に汚染されているか知る方法として通常行われている、水質分析や底泥分析がいかに問題の多い手段であるかを指摘した。そして、これらにかわるべき重金属汚染の指標を水棲生物に求め、その汚染指標としての適格性や特性を検討するのを本研究の目的としてきた。

今回の報告では、前報にひきつづいて水棲昆虫類、魚類について検討を加え、相当程度のデータを加えることにより、その汚染指標としての性格をある程度明らかにすることができた。また、底泥分析の汚染指標としての検討も継続して行った。この方法は現在もおお河川の汚染をしるための最も重要な手段とされており、この方法の欠陥をより明確にし、誤った汚染指標を追放することは、新指標を開発することと同じぐらい意義があると考えらるからである。

本報告では、底泥、水棲昆虫類、魚類について水銀汚染を対象として検討した結果について述べる。なお、前報で報告した事項は原則として省略したが、継続的研究としての性格上、一々、前報を参照する労をさけるための若干のデータや記述に重複がある。また、本研究は昭和53年度からスタートしたものであるが、58年度に一応終了することを予定している。本稿では昭和56年度の結果を中心にし、昭和55年度以前の結果の一部を含めて報告する。

## 2 試料の採取および分析

試料の採取、処理、保存および分析の方法は前報で述べた方法と同様であるので省略し、採取地点、生物種についてのみ以下にかかげる。

### (1) 底泥の採取地点

① 拝島堰提上(右岸)

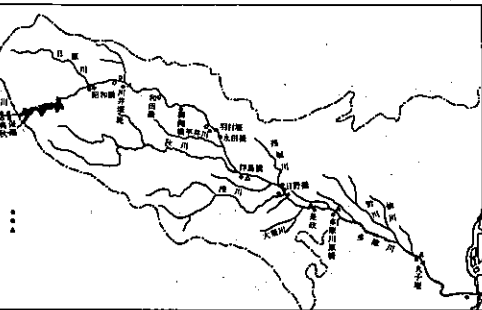


図1 試料採取地点

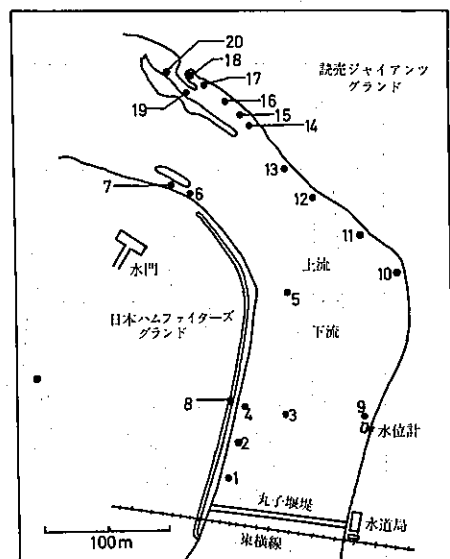


図2 底泥の同日近接地点採取

- ② 国立堰提上(左岸)
- ③ 是政堰提上(左岸)
- ④ 二ヶ領堰提上(左岸)

⑤ 丸子堰堤上(右岸)

これらの地点を図1に示す。ここに示された地点は底泥中の水銀濃度の変動を知るための定期採取地点であるが、これ以外に近接地点内での同日採取による底泥分析地の変動を調べるために設定した地点がある。これは昭和55年度と56年度に行ったが、両年度における地点は若干異なる。ここでは56年度における地点(丸子堰堤上の近接20地点)のみを図2にかかげる。

(2) 水棲昆虫類の採取地点

- ① 大丹波川(本川合流点直上)
- ② 川井(大丹波川合流前)
- ③ 和田橋上流
- ④ 羽村堰堤上

これらの地点を図1に示す。ここに示された地点は定期採取地点であるが、それ以外に不定期に採取した地点を以下にかかげる。

- ① 大丹波川および真名井沢(5地点)
- ② 丹波川(藤尾, 舎慶橋, 奥秋, 保之瀬の4地点)
- ③ 魚類の採取地点および種類

これらの地点および種類は表7および図1に示したので、ここでは単なる繰り返しはやめて、上流, 中流, 下流(汽水域)において一応の分類を試みよう。た

だこの区別は厳密なものではなく、単なるめやすにすぎないことに注意する必要がある。

ア 上流域

(ア) 採取地点

落合, 半屋, 奥秋, 保之瀬(以上, 山梨県丹波川), 日原川出合, 昭和橋, 川井, 柳淵橋, 羽村堰堤上, 永田橋(以上, 東京都)。

(イ) 種類

アマゴ, ヤマメ, カジカ, ニジマス, ウグイ, このうちニジマスは天然魚はまず存在しないというのが一般の常識である。ヤマメは放流魚が多いとされているが, 本研究で採取したものは土地の漁師の鑑定によると大部分天然魚だという。ウグイは中流域にも広く生息する。

イ 中流域

(イ) 採取地点

拜島橋, 日野橋, 国立, 浅川合流点, 是政, 多摩川原橋, 丸子堰上。

(イ) 種類

ウグイ(ハヤ), オイカワ(ヤマベ), モツゴ(クチボソ), ニゴイ, キンブナ(キンタロウ), ゲンゴロウブナ(ヘラブナ), コイ, ギンブナ(マブナ),

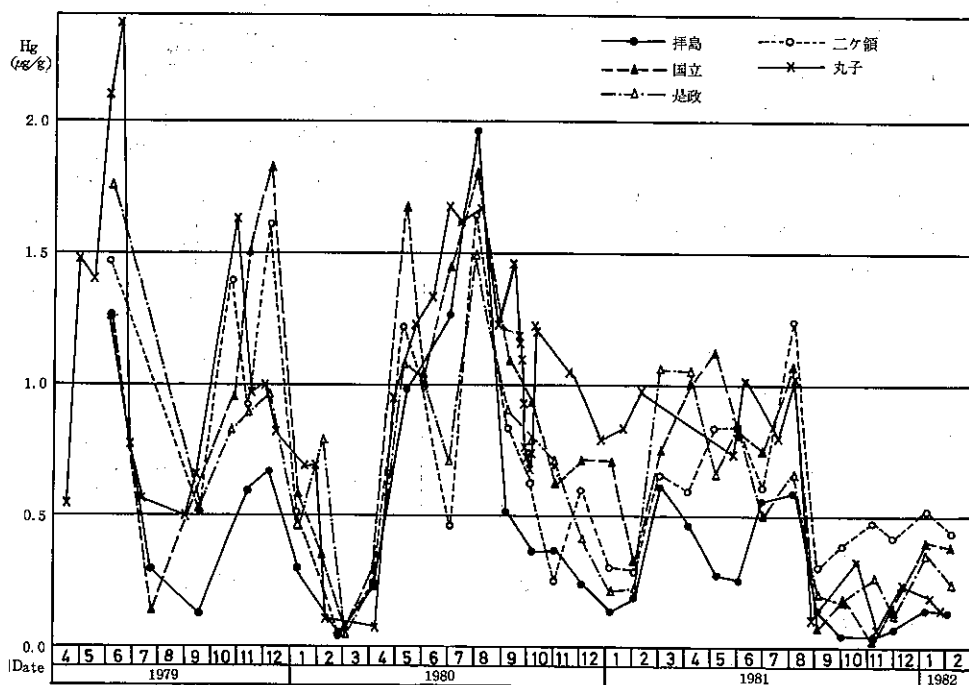


図3 底泥の水銀含有量の変動

以上は標準名であり( )内は慣用名である。

ウ 下流域(汽水域)

(ア) 採取地点

大師橋, 京浜運河合流点。

(イ) 種類

ヒイラギ, イナ, コノシロ, ボラ。

### 3 分析結果および考察

#### (1) 底泥

##### ア 定期採取

底泥の定期採取における水銀分析値の変動を図3に示す。この結果は1979年4月から1982年1月までのほぼ1ヶ月ごとの定期採取によって得られたものである。

この結果について、まず長期的な変動を見てみよう。長期的にみて河川状態が改善されているのか、悪くなっているのか、そのどちらでもないか、図から読み取るとは困難であろう。その理由は底泥の分析値の変動が極めて大きいことにある。たとえば、この期間内における水銀分析値の各地点における最大値と最小値、および各地点ごとに変動係数を1年間で区切って計算したものを示すと表1および表2のようになる。最高値、最低値の比率は38~63倍であり、変動係数も34%~94%と、その統計的意味から考えると不可解なほど大きい。この大きな変動が正に川の汚染状況の変化を正確に反映しているものであれば、河川のダイナミックな変動を如実に示すものとして底泥分析値は興味ある指標となるであろう。ただ、ある程度に長期的な河川の汚染状態が改善されたかどうかを、これによってみる

表1 底泥の定期採取における最高値と最低値

採取地点	拜 島	国 立	是 政	二ヶ領	丸 子
最高値※ (日付)	1.97 (80. 8. 7)	1.83 (79. 12. 7)	1.76 (79. 6. 6)	1.64 (80. 8. 1)	2.38 (79. 6. 15)
最低値※ (日付)	0.048 (81. 11. 9)	0.029 (81. 11. 9)	0.048 (80. 1. 5)	0.038 (80. 2. 27)	0.052 (81. 11. 11)
最高値/ 最低値	41.0	63.1	36.7	43.2	38.2

※ μHg/g

ことはできない。しかし、次項で述べるように、この変動は河川の変化を正しく反映していない可能性が大である。したがって、上述のような意味でも底泥分析値は汚染指標としての価値を否定されよう。

各地点における底泥分析値の変動のようすを、より仔細に観察してみると、分析値の大きな落ちこみと、その後の上昇は各地点で共通した現象としてパラレルにあらわれているのに対し、0.3~1.0μg/g程度の中間的な値の範囲では各地点の変動がパラレルでなく、みだれていることが多いようである。これを次項で述べる事実と照らしあわせて考察すると、中間的な値における変動の不整合は、比較的河川が安定している場合に生ずる、近接地点内での底泥の水銀含有量のムラの大きさに基因するものと考えられる。また、分析値の大きな落ちこみとその後の上昇がパラレルになっているのは、大きな出水により、近接地点内での底質が均一化され、サンプリングによるムラが少なくなったためと考えられる。しかし、このような解析は河川流量、雨量の連続測定データとの照合によって行うべきである。このような検討も一つの課題である。

次に各地点ごとに汚染の程度を比較してみると、これは明確ではない。時期により順位の入替わりがかなりあるからである。ただ1981年7月から1982年1月

表2 底泥の定期採取における変動係数

地点名		'79	'80	'81	'79.6~'82.1
拜 島	n	5	12	12	30
	$\bar{x}$	0.591	0.621	0.285	0.465
	v	0.152	0.301	0.043	0.192
	$\sigma$	0.389	0.549	0.207	0.438
	C. V.	65.9%	88.4%	72.6%	94.1%
国 立	n	5	12	12	30
	$\bar{x}$	1.14	0.891	0.585	0.794
	v	0.331	0.282	0.153	0.275
	$\sigma$	0.576	0.531	0.391	0.525
	C. V.	50.5%	59.6%	66.8%	66.1%
是 政	n	5	12	12	30
	$\bar{x}$	0.996	0.722	0.503	0.668
	v	0.168	0.144	0.112	0.164
	$\sigma$	0.411	0.379	0.336	0.405
	C. V.	41.2%	52.5%	66.6%	60.6%
二ヶ領	n	5	12	12	30
	$\bar{x}$	1.18	0.624	0.579	0.696
	v	0.166	0.210	0.074	0.190
	$\sigma$	0.407	0.459	0.273	0.436
	C. V.	34.5%	73.5%	47.1%	62.6%
丸 子	n	14	24	39	78
	$\bar{x}$	1.10	1.01	0.743	0.884
	v	0.340	0.170	0.058	0.415
	$\sigma$	0.583	0.412	0.241	0.415
	C. V.	53.0%	40.8%	32.5%	47.0%

までは二ヶ領が他の地点よりも高く、1980年10月から1981年2月までは丸子が高い。また1981年8月以降は各地点とも全般に低くなっている。季節変動という観点からみても年によって変動のパターンが異なり明確な傾向は現われない。このような現象が何を意味するのか、また、この変動がどの程度に河川の汚染状況を反映しているのが問題であるが、これについては以下の2つの実験結果にふれた後で検討する。

イ 同一地点における日変動（連続採取）

定期採取は約1ヶ月ごとであり、その間の変動の大きいことを考えると、河川の変化はより詳細に観察する必要があると考えられるし、また、定期採取では雨量や流量との関連も把握されていない。そこで1981年6月10日から7月16日までの間、丸子堰上の一定地点（これは定期採取地点と同じ）でほぼ連日底泥の採取を行い、かつ、その地点から約10km上流で測定した雨

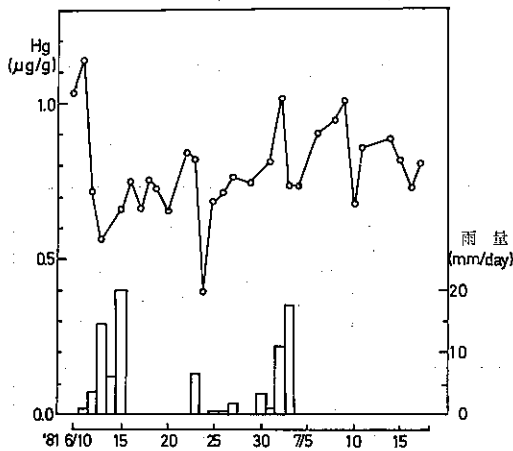


図4 同一地点連続採取における水銀含有量の変動

量と水銀含有量との照合を行った、その結果を図4に示す。この実験は比較的降雨の多い季節を選んで行ったが、実際には雨は少なく、多摩川が濁水になるほどの降雨はなかった。底泥分析値と降雨量との間に明確な関連がみられないのはおそらくそのためであろう。この間の分析値の変動をみると、最高値と最低値の比率は約3倍、変動係数は20.0%と定期採取の場合に比べてはるかに変動は小さいといえる。したがって、雨が少なく、採泥地点が一定していれば、水銀含有量の変化はそれほど大きくないといえる。このことは逆にみれば定期採取の場合の変動は主として、河川そのもの

の変動と見得ることになる。しかし、この結論には2つの点で問題がある、第一に、図4における変動は図3の場合よりはずっと小さいとはいえ、なお相当の幅があるという点である。したがって図4の変動と河川そのものの変動としてみることもできるとしても、その反映の正確さは相当に割引いて考えなければならぬであろう。第二の問題は、次に示すデータに関連して述べる。

ウ 近接地点での同日採取

前報でも指摘したように底泥はその性質上均一に混和するものではなく、近接した地点でもその組成、水銀含有量などが異なる可能性があり、それが底泥採取の問題点であり、また汚染指標とする際の問題でもある。それでこの点について検討するため1981年11月11日に丸子堰上で近接する20地点（図2参照）において同日中に採泥を行い水銀含有量を分析した。結果を表3に示す。底泥の物理的所見が右に記載されているが、

表3 底泥の同日近接地点採取

No.	Hg( g/g)	採取試料の状態
1	0.062	定期採取地点砂が多く泥は少し
2	0.628	ジャリが多く他は主に泥
3	0.533	砂より若干泥が多い
4	0.085	小石が多く泥は少し
5	0.433	石が多く他は主に泥
6	0.179	砂と泥が半々、ゴミがやや多い
7	0.315	主に砂と小石・砂も少し含む
8	0.380	測溝の中水の流れ無し泥が主でゴミが多い
9	0.153	主に泥、ゴミが多い
10	0.166	砂が多く泥は2〜3割
11	0.337	砂を少し含む、他は泥、ゴミが多い
12	0.227	砂と泥が半々、ゴミが多い
13	0.018	砂が多い
14	0.145	砂とゴミが多い
15	0.203	砂と泥が半々
16	0.037	砂が多く泥はほとんど無し
17	0.256	中州内水の流れゆるやか泥とゴミが多い
18	0.539	中州内水の流れ無し泥とゴミが多い
19	0.078	砂が多く、泥はほとんど無し
20	0.118	小石と砂が多い

注意すべきは、小石や砂利、ゴミなどは分析前の処理の段階で除かれており、分析の対象となっていないことである。当然のことであるが水銀濃度を計算する場合の乾燥重量にも含まれていない。これに反して、いわゆる「砂」は分析の対象となっている。本研究では30メッシュの篩を用いているからである（前報参照）。このうちNo.1は定期採取および連日採取における採取地点である。このように砂が多いこともあるが、ほとんど泥だけの時もある。この20地点の水銀分析値のCV値は71.4%と非常に大きい。このバラツキの大きさは地形の違いだけでは説明できない。No.1とNo.20は約200m離れており、地形も異なるから、この程度の水銀含有量の相違は当然生じ得ると考えられる。しかし、No.1とNo.2（約10倍）、No.3とNo.4（約6.3倍）、No.6とNo.7（約1.8倍）、No.15とNo.16（約5.5倍）、No.17とNo.18（約2.1倍）では各地点は数mから10m程度しか離れておらず、地形にも相似性があるにもかかわらずこのような大きな違いがあるのは問題である。このような違いがある以上、底泥の分析値は採取地点を中心にして「たかだか半径数mの場所だけ」にのみ通用する汚染指標でしかないということになる。前項で述べた底泥分析値をもって河川汚染の指標とする際の第二の問題はここにある。すなわち、定点採取を前提とする限り、その分析値は河川の汚染状態を示すものとはなりえず、その分析値の変動は河川の汚染状態の変動を示すものではなく、採取地点を中心にした。半径数m程度の範囲における変動を示すものでしかないということになる。これは底泥分析値の汚染指標としての適格性に致命的な打撃を与えるものといつてよいであろう。ただ、救いは、採取した底泥は砂と泥の含有率がまちまちであるので、これが分析値のバラツキを生じているのだとしたら、このうち泥だけを分離して測定すればバラツキは解消するのではないかということである。これは確かに検討すべき問題である。その際注意すべきことは、第一に砂と泥をいかなる基準によって、かつ、いかなる方法によって分離すべきかということである。底泥はその粒径の大きさによって礫、粗砂、細砂、シルト、粘土にわけられるがそのどの段階までを分析の対象とするか、また、それらを分離するには通常底泥中の有機物の分解が必要とされるが、そのような方法を用いた場合の分離中の汚染物質の拡散や分離した粒子についての汚染物質の測定

に相当の困難が予想されることである。このような面倒をさけるため、より簡便な分離法（たとえば篩のメッシュのみを変える）が採用されうるかという点にある。第二に一定の分離法を見出した場合でも、その方法が、物理的、化学的性質を異にする種々の底泥に常に応用できるものかについて慎重な検討を要する。いずれにしても単純な底泥の分析値は汚染指標にはなりえないというのはほぼ確定した結論であって、試料の処理方法、多数の分析データの統計的処理方法など、多くの検討を経ないと、底泥分析値を河川の汚染指標とすることは困難であろう。

## (2) 水棲昆虫類

### A 採取状況

季節的にみると、夏の終りから秋にかけて採取量が減り、増水によって河底に変動があった後は2～4ヶ月ぐらい採取が困難になることがある。種類別には、カワゲラは羽村では採取できないこともあるが他の地点では毎回相当数とれる。トビケラは大丹波川では通常採取できない。羽村では増水後の特殊な場合を除き大量に採取できる。和田橋上流は以前カワゲラがほとんどでトビケラはあまりとれなかったが、今では両者の採取量は拮抗している。川井は通常ほとんどカワゲラであるが、時として、1ヶ月ぐらいの間に突然生物相が変わってほとんどトビケラだけになることがある。ヘビトンボは大丹波川では毎回1～6、7匹採取できるが、他の地点では滅多にとれず、その数も1～2匹程度にとどまる。

### I 採取地点による水銀濃度の違い

川井、大丹波川、和田、羽村の4地点において定期採取された水棲昆虫類の水銀濃度を各生物種ごとに地点別の変動を比較したものが図5、6、7である。

カワゲラについては図5に示すように大丹波川が他の地点より水銀濃度が高いことが明瞭にみとれる。他の3地点の差は明確でない。トビケラについては図6のように各地点の差ははっきりしない（大丹波川では通常採取できない）。ヘビトンボについては、大丹波川が川井・和田よりも高いと言ってよいと思われる。ただ1979年5月、7月、9月においては和田が大丹波川より高くなっているが、これは、この頃の川井における採取地点が現在のように大丹波川合流点より上流でなく、合流点のすぐ下流にあり、本流では、ほとんどヘビトンボが採取されないことを考えると、これは

大丹波川から流入したヘビトンボを採取していた可能性が大きい。

採取地点ごとの水銀濃度の違いを総合して考察すると大丹波川は他の3地点より、水銀汚染の程度が高いということは、ほぼ断定できるが、他の3地点については明確な差はよみとれない。大丹波川において水銀汚染が進行している原因が何であるかは興味ある問題である。この流域の調査を2回にわたって行ったが、わずかに2回の調査で結論を得るのは無理であり、実際には、多摩川本流より、昆虫類の水銀濃度が高いという事実を確認したにとどまり、原因求明の手がかりさえもつかめていない。今後、より綿密な調査を続行したいと考えている。

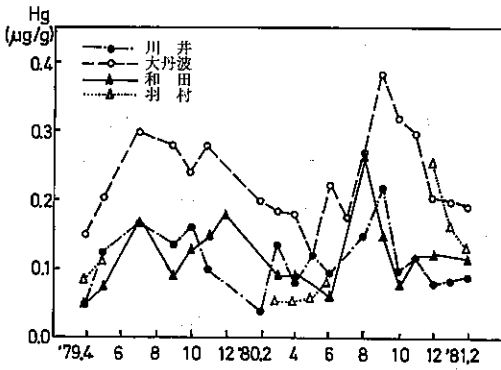


図5 カワゲラの水銀含有量

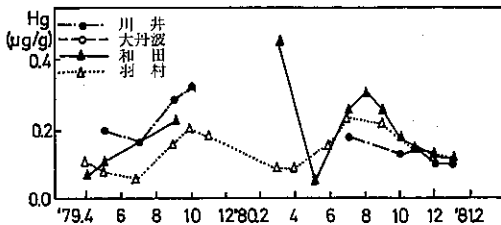


図6 トビケラの水銀含有量

次に奥多摩湖により、多摩川本流と分断されている、多摩川源流部ともいべき丹波川の4地点についての調査結果を表4に示す。この調査は年に1回しか行われていないので明確なことは断言できないが、多摩川本流よりも昆虫類の水銀濃度は高いようである。また、カワゲラ、トビケラについては上流から順に汚染度の

進む傾向が一致してあらわれている。これは魚類の同流域における調査結果(表7, ヤマメ, ウグイの項参照, なお同表における「落合」は表4における「藤尾」と極めて近接している)とほぼ一致しており、興味深い結果である。

ウ 水棲昆虫類の種類による水銀濃度の違い

各地点ごとに水棲昆虫類の種類別による水銀濃度の変動を示したのが図8~11である。これらの図からヘビトンボはカワゲラ、トビケラよりも水銀濃度が高いと言える。カワゲラとトビケラの差はあまり明確でないが、トビケラの方が高いようである。ヘビトンボの水銀濃度が高いのは食物連鎖による濃縮であろう。

エ 季節変動

季節的な変動をみると、毎年冬から春は水銀濃度が

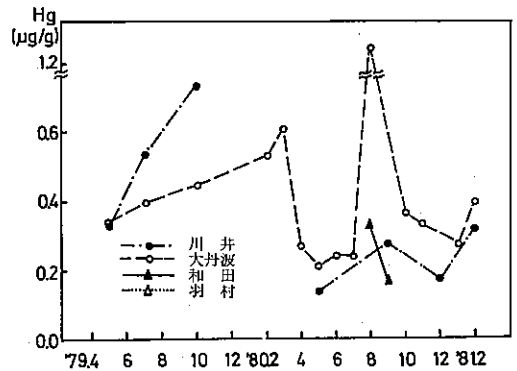


図7 ヘビトンボの水銀含有量

表4 丹波川流域における水 昆虫類の分析結果

採取地点	カワゲラ	トビケラ	ヘビトンボ
藤尾	0.055	0.234	—
余慶橋	0.107	0.431	—
奥秋	0.162	0.557	0.395
保之瀬	0.640	0.732	—

注1) 水銀濃度  $\mu\text{gHg/g}$

2) 採取地点は表の上欄から順に上流の地点である

低く、夏から秋に高くなる傾向がある。しかし、場所やその月により、採取できない種類や、採取できても個体数の少ないものもある上に、調査期間も充分ではないので明確には断言できない。この変動は水銀汚染

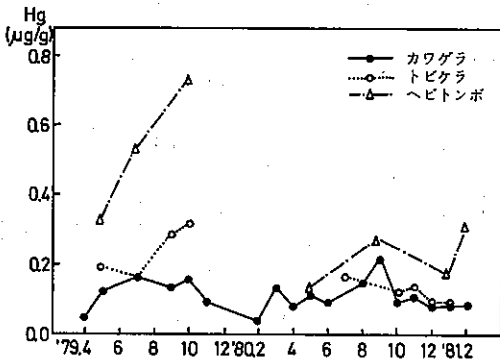


図8 川井における変動

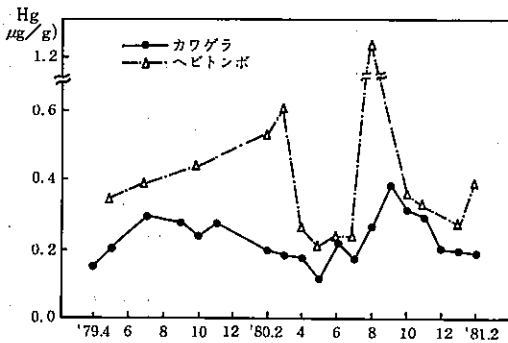


図9 大丹波川における変動

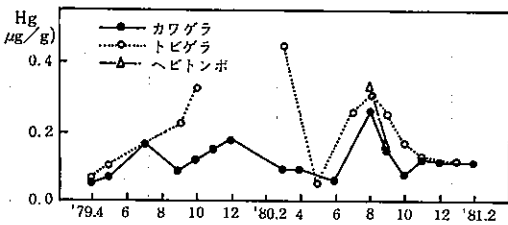


図10 和田における変動

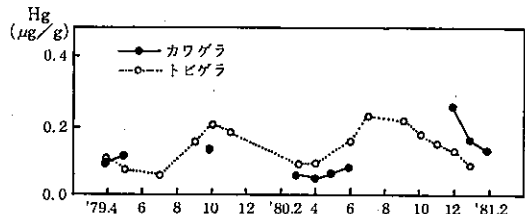


図11 羽村における変動

そのもの変動ではなく、水棲昆虫類の生態、特に羽化などに基因して生ずるものと考えた方が妥当であろう。しかし、この点の解明は今後の課題であり、水棲昆虫類を汚染指標とするときは、このような季節変動を考慮に入れて汚染の程度を考察しなければならない。

オ 水棲昆虫類の汚染指標としての適格性

以上のように、水棲昆虫類の分析により、河川の汚染度を比較することは可能である。しかし、これは相対的な比較にすぎず、汚染の程度を数量的に表示することは今の段階では困難である。汚染の程度をある程度数量的に表わすことができるようにするためには、各生物について、個体別の分析を行い、体長、体重、年齢などの相関を明確にし、更に季節変動をも考慮することが必要である。その上で、統計的な処理や数量的表示も可能となるであろう。しかし、これを行うには現在の湿式分析法では、分析試料の量や、分析時間、定量限界などの点から限界があり、燃焼-アマルガム法など、他の分析方法の併用も考慮する必要がある。これについては現在、すでに検討に着手している。

汚染の程度を数値で表示することとは別に、水棲昆虫類の体内の水銀濃度が河川の汚染をどのように表現しているかの問題がある。いわば汚染との絶対的なかわりの問題がある。水棲昆虫類の水銀濃度が、底泥

表5 水 昆虫類の定期採取における最高値と最低値

採取地点	川 井			大丹波川		和 田			羽 村	
	カワゲラ	トビケラ	ヘビトンボ	カワゲラ	ヘビトンボ	カワゲラ	トビケラ	ヘビトンボ	カワゲラ	トビケラ
最高値	0.219	0.320	0.735	0.382	1.24	0.262	0.451	0.339	0.256	0.229
(日付)	(80.9.29)	(79.10.8)	(79.10.8)	(80.9.29)	(80.8.27)	(80.8.27)	(80.3.18)	(80.8.27)	(80.12.18)	(80.7.17)
最低値	0.047	0.095	0.134	0.120	0.217	0.049	0.063	0.166	0.050	0.057
(日付)	(79.4.17)	(81.7.29)	(80.5.21)	(80.5.21)	(80.5.21)	(80.4.17)	(80.5.21)	(80.9.29)	(80.4.22)	(79.7.9)
最高値/ 最低値	4.66	3.37	5.49	3.18	5.71	5.35	8.51	2.04	5.12	4.02

注) 水銀濃度  $\mu\text{gHg/g}$

表5-1 魚類の分析結果(その1)

採取地点	魚種および採り日	No.	体長 (mm)	重量 (g)		Hg (μg/g)
				Wet	Dry	
落合	アマゴ 79. 8. 17	1	150	46.5	11.4	0.123
		1	178	70.6	15.2	0.159
		2	200	76.7	16.3	0.104
		3	186	69.4	14.3	0.159
		4	190	73.0	16.0	0.027
		5	142	24.8	6.0	0.141
		6	150	30.4	7.3	0.115
		7	148	32.3	8.6	0.093
		8	124	19.0	4.1	0.048
		9	125	18.1	3.8	0.015
		10	105	11.6	2.5	0.102
11	126	19.8	—	—		
	平均値	152	40.5	9.4	0.093	
半屋	ヤマメ 80. 10. 17	1	190	62.6	14.6	0.035
		2	135	25.0	6.0	0.107
		3	123	14.9	3.6	0.017
		平均値	149	34.2	8.1	0.053
奥(丹波中央秋)	ウグイ 80. 10. 17	1	123	18.4	3.9	0.313
		2	118	17.2	4.2	0.146
		3	138	22.4	5.6	0.228
		4	124	17.8	4.2	0.142
		5	133	22.5	4.9	0.197
		6	100	8.3	2.0	0.074
		7	98	10.3	2.8	0.054
		8	99	9.4	2.2	0.140
		9	107	10.2	2.5	0.081
		10	90	6.6	1.7	0.051
		11	83	5.2	—	—
	平均値	110	13.3	3.2	0.143	

表6-2 魚類の分析結果(その2)

採取地点	魚種および採り日	No.	体長 (mm)	重量 (g)		Hg (μg/g)
				Wet	Dry	
奥(丹波中央)	カジカ 80. 10. 17	1	73	6.1	—	—
		2	75	5.6	—	—
		平均値	74	5.9	—	—
	ニジマス 80. 10. 17	1	251	194.3	42.5	0.419
		2	232	170.0	47.3	0.269
		平均値	242	182.3	44.9	0.344
	ウグイ 80. 10. 17	1	140	30.9	—	—
		2	137	25.8	—	—
		3	112	14.6	—	—
		4	110	17.3	—	—
		平均値	125	22.2	—	—
ウグイ 80. 10. 17	1	123	23.6	—	—	
	2	98	9.0	2.3	0.147	
	3	116	15.2	3.7	0.163	
	4	97	9.0	2.1	0.144	
	5	122	18.9	4.4	0.260	
	6	122	20.0	5.4	0.148	
	7	123	19.5	—	—	
	8	109	11.9	2.7	0.093	
	9	94	7.6	1.8	0.280	
	10	99	10.4	2.4	0.133	
	平均値	110	14.5	3.1	0.171	
ヤマメ 80. 10. 17	1	154	42.5	—	—	
	2	133	23.1	—	—	
	3	121	17.0	3.5	0.187	
	4	140	28.9	—	—	
	5	122	18.7	3.9	0.158	
	6	127	18.2	3.8	0.195	
	7	137	26.2	—	—	
	8	135	25.0	—	—	
	9	115	14.1	—	—	
	10	122	18.8	3.8	0.189	
	11	132	22.8	—	—	
	12	126	19.8	4.2	0.222	
	13	112	13.2	—	—	
	14	114	15.1	3.4	0.146	
	平均値	127	21.0	3.8	0.183	
保之瀬	カジカ 79. 8. 17	1	221	11.5	5.5	0.134
		2	—	—	5.6	0.166
		平均値	221	11.5	5.6	0.150
ヤマメ 79. 8. 17	1	93	8.7	2.2	0.186	
	2	—	—	1.7	0.136	
	平均値	93	8.7	2.0	0.161	



表6-3 魚類の分析結果(その3)

採取地点	魚種および採取日	No	体長(mm)	体重(g)		Hg( $\mu\text{g/g}$ )
				Wet	Dry	
保之瀬 (余慶橋)(余慶橋)	ウグイ 79. 8. 17	1	95	9.3	2.2	0.437
		2	95	8.6	2.1	0.299
		3	90	6.9	1.7	0.289
		平均値	93	8.3	2.0	0.342
	ウグイ 80. 10. 17	1	126	19.9	—	—
		2	115	13.1	—	—
		3	104	10.4	2.5	0.161
	平均値	115	14.5	2.5	0.161	
	ヤマメ 80. 10. 17	1	95	8.8	—	—
		2	126	23.1	—	—
		3	99	10.6	1.9	0.185
		平均値	107	14.2	1.9	0.185
日原川 出合	ウグイ 79. 8. 15	1	140	28.5	8.4	0.187
		2	124	15.7	3.8	0.360
		3	108	12.2	3.3	0.252
		4	96	8.6	2.1	0.167
		5	73	3.2	0.8	0.453
平均値	108	13.6	3.7	0.284		
昭 和 橋	ウグイ 80. 9. 29	1	62	6.8	1.7	0.160
		2	122	17.5	4.2	0.250
		3	105	9.8	2.5	0.257
		4	100	8.1	2.0	0.228
		5	117	13.1	3.2	0.269
		6	120	14.5	3.7	0.421
		7	98	8.6	2.1	0.233
		8	102	9.3	2.2	0.196
		9	109	13.7	3.2	0.264
		10	112	15.3	3.8	0.297
		11	92	6.0	1.5	0.192
		12	112	12.7	3.1	0.161
		13	95	8.4	1.8	0.218
		14	91	9.1	1.8	0.235
平均値	103	10.9	2.6	0.242		
川 井	ウグイ 79. 8. 16	1	142	31.8	10.6	0.195
		2	130	21.4	5.4	0.203
		3	113	16.0	4.4	0.206
		平均値	128	23.1	6.8	0.201
大丹波川	ヤマメ 79. 8. 16	1			18.2	0.091
		平均値			1.2	0.295
大丹波川	カジカ 80. 1. 18	1			1.2	0.295
		平均値			2.3	0.361
					1.8	0.328

表6-4 魚類の分析結果(その4)

採取地点	魚種および採取日	No	体長(mm)	体重(g)		Hg( $\mu\text{g/g}$ )
				Wet	Dry	
柳淵橋	ウグイ 80. 9. 24	1	90	8.5	2.2	0.165
		2	105	10.7	2.8	0.277
		3	100	8.5	2.3	0.232
		4	92	7.4	1.8	0.261
平均値	98	8.8	2.3	0.234		
羽 村	ウグイ 79. 8. 15	1	135	25.3	5.9	0.361
		2	129	17.6	2.4	0.561
		3	128	15.1	2.0	0.452
		4	126	15.5	3.3	0.444
		5	—	11.8	3.3	0.297
	平均値	130	17.1	3.4	0.423	
	ウグイ 80. 9. 24	1	88	6.1	1.4	0.276
		2	90	7.5	1.8	0.309
		3	92	8.1	1.9	0.321
		4	76	3.2	0.8	*
		5	74	4.0	0.9	0.302
6		67	2.5	0.6	*	
7	73	3.1	0.7	*		
8	75	3.7	0.8	0.282		
9	68	3.0	0.7	—		
10	72	4.1	—	—		
11	62	2.3	—	—		
平均値	76	4.3	1.1	0.295		
永田橋	ウグイ 80. 9. 24	1	98	10.4	2.3	0.218
		2	122	20.8	5.0	0.178
		3	101	12.2	2.7	0.158
		4	160	59.4	13.3	0.473
		5	116	19.0	5.0	0.418
		6	137	23.2	5.8	0.308
		7	138	28.4	7.2	0.386
		8	70	3.4	—	—
平均値	118	19.1	5.9	0.305		
拝島橋	ウグイ 80. 10. 25	1	110	16.8	3.6	0.328
		2	118	14.6	3.1	0.332
		3	118	15.7	3.3	0.153
		4	107	12.0	2.8	0.049
	平均値	113	14.8	3.2	0.216	
クチボソ 80. 10. 25	1	76	5.0	1.0	*	
	2	70	3.3	0.7	0.126	
平均値	73	4.2	0.9	0.126		
日野橋	ギンブナ 80. 9. 25	1	140	50.4	13.1	0.270

注) \* 2~3個体を1試料として分析した結果である

表6-5 魚類の分析結果(その5)

採取地点	魚種および採取日	No.	体長(mm)	体重(g)		Hg( $\mu\text{g/g}$ )	
				Wet	Dry		
日野橋	ヘラブナ 80. 9. 25	1	78	7.8	1.9	0.211	
		2	58	3.1	0.7*	0.135	
		3	57	2.6	0.6		
		4	55	2.1	0.4		
		5	53	3.1	—		
	平均値	51	3.7	0.9	0.154		
	オイカワ 80. 9. 25	1	94	7.8	1.8	0.108	
		2	85	9.7	1.9	0.182	
		平均値	90	8.8	1.9	0.145	
	野橋	クチボソ 80. 9. 25	1	83	6.3	1.5*	0.128
2			65	4.5	1.1		
3			73	5.8	1.4*	0.161	
4			74	4.1	1.0		
5			78	4.3	0.9*		
6			67	3.6	0.8	0.125	
7			62	2.5	0.5		
8			72	5.4	1.2*	0.213	
9			65	3.0	0.7		
10			55	2.6	0.5		
平均値	69	4.2	1.0	0.159			
野橋	ヘラブナ 80. 9. 30	1	78	6.5			
	ギンブナ 80. 9. 30	1	145	38.3	9.3	0.263	
国立	ニゴイ 80. 10. 22	1	122	18.1	4.2	0.323	
		2	103	10.3	2.4	0.311	
		3	100	14.4	3.4	0.328	
		平均値	108	14.3	3.3	0.321	
	ウグイ 80. 10. 22	1	210	94.1	25.7	0.890	
		2	237	132.0	38.8	1.09	
		3	126	21.9	5.4	1.27	
		平均値	191	82.7	23.3	1.08	
	国立	クチボソ 80. 10. 22	1	106	13.0	3.9	0.448
			2	93	7.9	2.2	0.474
3			103	11.6	3.2	0.447	
4			86	7.1	1.9	0.419	
5			92	7.5	1.9	0.419	
6			92	8.8	2.3	0.354	
7			90	8.0	2.1	0.469	
8			107	13.3	3.6	0.412	
9			93	8.8	2.2	0.462	
10			90	9.0	2.5	0.584	

表6-6 魚類の分析結果(その6)

採取地点	魚種および採取日	No.	体長(mm)	体重(g)		Hg( $\mu\text{g/g}$ )	
				Wet	Dry		
国立	クチボソ 80. 10. 22	11	92	9.2	2.3	0.377	
		12	97	10.9	2.8	0.425	
		13	88	7.2	1.8	0.472	
		14	87	7.2	2.0	0.395	
		15	95	9.5	2.7	0.400	
		16	91	9.3	2.3	0.349	
		17	82	6.0	1.6*	0.494	
		18	63	3.1	0.7		
		平均値	92	12.1	2.3	0.439	
		浅川	コイ 79. 8. 30	1	173	93.4	18.1
ヘラブナ 79. 8. 30	1			188	119.0	28.5	0.335
ギンブナ 80. 8. 30	1		195	118.9	30.4	0.535	
	2		130	36.9	8.7	0.440	
	3		125	32.0	9.5	0.507	
	4		73	6.1	1.3*	0.297	
	5		69	5.2	1.1		
平均値	118		39.8	10.2	0.415		
浅川	ギンブナ 79. 8. 30		1	115	67.5	17.7	0.168
			2	128	35.2	8.8	0.176
		3	105	17.0	4.9	0.145	
		4	93	12.0	3.1	0.217	
		5	74	6.2	1.4	0.228	
平均値	111	27.6	7.2	0.187			
合流点	ウグイ 79. 8. 30	1	140	26.2	6.4	0.330	
		オイカワ 79. 8. 30	1	110	17.6	4.1	0.164
			2	118	17.9	4.0	0.327
			3	116	16.5	4.1	0.100
			4	116	15.5	4.0	0.451
平均値	115	16.9	4.1	0.261			
是政	クチボソ 80. 10. 22	1	84	9.2	2.1	0.343	
		2	93	10.5	3.3	0.445	
		3	87	8.4	2.8	0.236	
		4	88	7.9	2.0	0.409	
		5	100	10.3	2.3	0.270	
		6	86	7.1	1.7	0.321	
		7	83	6.5	1.5	0.359	
		8	84	7.0	1.3*	0.397	
		9	76	5.0	1.1		
		平均値	87	8.0	2.0	0.353	

注)\* 2~3個体を1試料として分析した結果である

\* 2個体を1試料として分析した結果である

表6-7 魚類の分析結果(その7)

表6-8 魚類の分析結果(その8)

採取地点	魚種および採取日	No	体長(mm)	体重(g)		Hg( $\mu\text{g/g}$ )	
				Wet	Dry		
是	オイカワ 80.10.22	1	107	9.8	2.5	0.511	
		2	100	9.1	2.2	0.221	
		3	98	7.8	1.9	0.217	
		4	99	8.8	1.9	0.224	
		5	93	7.6	1.8	0.242	
		6	104	9.5	2.4	0.343	
		7	107	10.3	2.8	0.311	
	平均值	101	9.0	2.2	0.296		
政	ギンブナ 80.10.22	1	185	96.1	26.9	0.396	
		2	151	65.4	16.8	0.344	
		3	207	192.0	53.4	0.280	
		4	175	109.5	36.2	0.237	
		5	189	120.0	30.4	0.391	
		6	153	75.6	21.6	0.360	
		平均值	177	109.8	30.9	0.335	
多摩川原橋	ギンブナ 80.10.22	1	200	129.2	36.2	0.611	
		2	162	64.7	18.7	0.536	
		3	170	100.0	29.8	0.458	
		4	172	81.8	22.4	0.649	
		5	202	143.0	44.7	0.392	
		6	226	220.2	68.6	0.556	
		平均值	189	123.2	36.7	0.534	
多摩川原橋	コイ 79.8.31	1	95		4.3	0.114	
		ヘラブナ 79.8.31	1	92	14.0	3.4	0.193
		ギンブナ 79.8.31	1	67		1.2	0.112
		オイカワ 79.8.31	1	95	9.2	2.6	0.233
			2	100	9.9	2.8	0.466
3	101		8.9	2.4	0.399		
	4	100	9.1	2.5	0.403		
	5	95	8.1	2.1	0.352		
	平均值	98	9.0	2.5	0.371		
丸	ギンブナ 79.8.31	1	253	273.8	81.5	0.392	
		2	235	261.6	79.7	0.371	
		平均值	244	267.7	80.6	0.382	
子	ギンブナ 79.8.31	1	181	126.2	41.0	0.164	
		2	180	106.2	27.0	0.281	
		平均值	181	116.2	34.0	0.223	

採取地点	魚種および採取日	No	体長(mm)	体重(g)		Hg( $\mu\text{g/g}$ )
				Wet	Dry	
丸	クチボソ 79.8.31	1	80	5.6	1.2	0.207
		2	77	4.6	1.2	0.528
		3	73	4.5	1.2	0.525
		4	55	1.3	—	—
		平均值	71	4.0	1.2	0.420
子	ヘラブナ 79.8.31	1	188	106.2	27.0	0.187
		79.8.31				
大	ヒイラギ 79.8.31	1	140	24.5	6.4	0.275
		2	96	8.0	2.5	0.076
		平均值	118	16.3	4.5	0.176
	コノシロ 80.9.26	1	228	119.5	41.6	0.117
		2	245	134.6	44.7	0.197
		3	210	89.7	28.8	0.070
		4	230	119.2	35.2	0.075
	平均值	228	115.8	37.6	0.115	
師	イナ 80.9.26	1	243	148.5	49.7	0.201
		2	225	113.5	32.1	0.126
		3	225	113.9	35.2	0.059
		4	205	91.4	27.2	0.316
		5	196	80.0	22.0	0.064
		6	180	62.0	18.9	0.291
		7	192	69.3	18.6	0.094
		8	185	62.0	16.8	0.088
	平均值	206	92.6	30.1	0.130	
京浜運河合流点	ボラ 80.9.26	1	455	914.5	—	—
		2	350	434.5	130.8	0.054
		3	354	382.7	115.0	0.015
		4	360	446.8	137.6	0.017
		5	355	369.6	109.6	0.068
	平均值	375	509.6	123.3	0.039	
京浜運河合流点	コノシロ 80.9.26	1	240	138.6	41.2	0.110
		2	245	149.6	38.3	0.137
		3	243	144.1	46.2	0.073
		4	255	133.5	40.1	0.098
		5	253	167.5	46.1	0.182
	平均值	247	146.7	42.4	0.120	

の場合に比べ、年間を通じて安定していること、またその最大値と最小値の比も底泥の場合よりずっと低い(1/10程度)こと(表5)などを考え併せると、一過性の汚染ではなく、ある程度に長期的な汚染を表わすものといえよう。更に言えば、この問題を検討するには、底泥の場合と同様の意味で近接地域における同日異地点採取や、連日の同地点採取による調査および水銀の生物体内への濃縮や排泄の速度も調査する必要がある。これらの検討課題については現在その検討の準備中である。

水棲昆虫類のうち、どの種類のものが汚染指標に適しているかという問題がある。これは一種類に限定する必要はなく、そのように限定することは好ましくない。しかし、サンプリングの著しく困難なものは実際問題として指標にはなりにくい、その点でヘビトンボは採取が一般的には困難なので問題があるが、他の水棲昆虫類に比べ、汚染物質が濃縮しやすい点で興味ある種類である。そこで、このような生物でも、特定の河川、特定の地域では汚染指標として活用することも考慮されるべきである。カワゲラ、トビケラはヘビトンボに比べ採取がずっと容易であるから、その意味では汚染指標として適している。しかし、採取困難な地点もあり(たとえば羽村でのカワゲラ、川井でのトビケラ)、やはり一種類の水棲昆虫類に限定することはできない。地域や河川の特性に応じ、数種類の生物を組合わせて汚染指標とすべきである。この対象となる生物は、もちろん今回とりあげた水棲昆虫類に限られるべきではないし、藻類や甲殻類なども考慮されるべきであろう。このように生物種による対象地域の分担という問題は、本研究でとりあげた水棲昆虫類と魚類の間でも問題になるが、これについては魚類についての実験結果の後で述べる。

### (3) 魚類

魚類については対象地点が源流部から汽水域までの広い範囲にわたって数多く存在する上に、対象となる魚種も多い。また同一地点、同一魚種についても、相当数の個体を分析しないとデータとして使用する上で問題を生じる。したがって現在まで、相当数の分析結果を得たにもかかわらずデータとしてはまだまだ不十分であり、明確な結論をうるに至っていない。しかし、これらの限られたデータからもいくつかの知見は得られたので、これらについて報告する。

### ア 魚種による水銀濃度の違い

各個体の採取地点、採取年月日、魚種名、体長、体重、水銀濃度を表6-1~6-8に示した。また、このデータをもとに、分析結果を地点別、魚種別に平均したものを表7に示す。

魚種による水銀濃度の差をこれらの表からよみとると、上流域に生息するアマゴ、ヤマメ、カジガと汽水域に生息するボラ、コノシロ、イナ、ヒイラギはいずれも水銀濃度が0.2  $\mu\text{g/g}$ 程度ないしそれ以下と低い値を示している。特に最上流の落合で採取されたヤマメ(これらの多くは天然産と判定された)と最下流の京浜運河合流点で採取されたボラはいずれも水銀濃度が0.1  $\mu\text{g/g}$ 程度またはそれ以下となっている。これはこれらの魚種が特に水銀が濃縮されにくいと言うわけではなく、生息域の汚染度によるものと考えらるべきであろう。

一般に中流域に生息する魚は上、下流域の魚に比べ水銀濃度が高い。これも生息域の汚染度を示すものと考えられよう。同一地点ごとに魚種による水銀濃度を比較すると、分析個体数が不十分のため明確な判断は難かしいが、キンブナはヘラブナより水銀濃度が高い、他の魚種は地点によりその順位が入れ替わり、その関係は明瞭ではない。

### イ 地点による水銀濃度の違い

地点ごとの水銀濃度の違いを一魚種のみで判定することは問題である。二魚種以上が一致した傾向があることは少なくとも必要で、三魚種以上の一致があれば、結論はより強固なものとなろう。上、下流域では三魚種以上比較できる地点は少なく、中流域でも限られている。これらの限られた地点のうちでも、たとえば、日野橋とは政については比較可能な四魚種(オイカワ、モツゴ、キンブナ、ギンブナ)全部については是政の方が水銀濃度が高く、汚染度の高い傾向をはっきり示している。他の三魚種以上につき比較可能な地点である、日野橋と多摩川原橋(オイカワ、ヘラブナ、ギンブナ)、日野橋と丸子堰(モツゴ、キンブナ、ヘラブナ、ギンブナ)、是政と丸子堰(モツゴ、キンブナ、ギンブナ)では魚種により水銀濃度の高低が入れ替わっており、はっきりした傾向はつかめない。国立については、ウグイ、モツゴ、ニゴイの三魚種しか分析されていないが、ウグイ、モツゴについてはその水銀濃度が全地点での最高値を示し、また、ニゴイについても対照地点

表 7 魚類の分析結果

採取地点	魚種	アマゴ	ヤマメ	カジカ	ウグイ	ニジマス	オイカワ	モロコ	ユゴイ	キンブナ	ヘラブナ	コイ	ギンブナ	ヒウライ	イナ	コノシロ	ボウ	シ
落合	1. 1100	162	149															
	2. 122.5	41.0 8.6 0.059(11)	34.2 103 0.118(4)															
牛久保	1. 685																	
	2. 109.5																	
奥之瀬	1. 580				112	242												
	2. 107.5				15.2 182 3.7 0.134(18)	15.2 182 3.7 0.344(2)												
深之瀬	1. 550																	
	2. 104.0																	
日原川出合	1. 320																	
	2. 82.5																	
陽和橋	1. 320																	
	2. 82.5																	
川平字A	1. 245																	
	2. 74.5																	
柳瀬橋	1. 150																	
	2. 61.2																	
羽付堰	1. 125																	
	2. 54.0																	
水田橋	1. 120																	
	2. 51.7																	
拝島橋	1. 90.4						113	73										
	2. 46.3						14.8 3.2 0.215(4)	4.2 0.9 0.126(2)										
日野橋	1. 71.4									140	51							
	2. 40.0									50.4 13.7 0.272(11)	3.7 0.9 0.154(4)				145 28.3 9.3 0.263(1)			
国立	1. 65.4			191					108									
	2. 38.5			23.7 23.3 1.08(3)					12.1 3.3 0.321(3)									
浅川	1. 69.9									118	188	173						
	2. 39.0									39.8 10.2 0.315(5)	118 26.9 0.335(11)	93.4 18.1 0.364(1)						
浅川合流点	1. 69.0			140														
	2. 37.0			26.2 2.4 0.336(1)														
志政	1. 42.0					115												
	2. 31.5					15.9 2.2 0.256(7)												
多摩川原橋	1. 35.0						67			177								
	2. 29.0						8.0 2.0 0.256(7)			119 30.9 0.335(6)								
九子堰	1. 4.1										92							
	2. 13.22										14.0 3.4 0.193(1)							
大田橋	1. 0.4																	
	2. 2.5																	
京浜河合流点	1. 0.2																	
	2. 0.1																	

\* 1 標高(m) \* 2 河口からの距離 \* 3 体長平均値(mm) \* 4 湿重平均値(g) \* 5 乾燥重量平均値(g) \* 6 水銀濃度平均値(μg/g Dry Weight) \* 7 分析個体数

をもたないが相当に高い水銀濃度を示していることから、汚染の程度が高いことを示しているものと考えられる。

ウ 魚類の汚染指標としての適格性

各魚種ごとに、同一地点、同日採取されたものについて個体差をみると、上、下流域の魚は個体差が比較的大きいが、中流域の魚は個体差が小さく、最大値と最小値の比はほとんどが2倍以下である(表7 オイカワ、キンブナ、ギンブナ等参照)。上、下流域の魚の個体差が大きいの水銀濃度が低いため分析誤差が入りやすいこともあると思われる。したがって中流域のように汚染の進んだ流域では魚種ごとの個体数を余り多くしないでも汚染程度を示す指標になりうるであろう。

試料採取の際に魚の体長、体重、年齢などをどれだけ考慮すべきかという問題がある。個体差の大きい上、下流域の魚についても、また個体差の小さな中流域の魚についても魚の体長、体重と水銀濃度との相関はほ

とんど認められない。これは投網による採取なので極端に小さな魚は分析対象になっていないためもあると思われる。いずれにしても体内の水銀濃度は生息環境によって定まる一定範囲の濃度に比較的早く平衡に達し(魚の体長等から判断すると一年以内か)その後はその範囲で安定するのではないかと推測される。これらの点で魚類は比較的長期にわたる平均的汚染度を示す指標として有望である。また、上記のような推測が、確かなものであれば、たとえ放流魚であっても一年以上、その流域に生息していれば汚染指標になりうるものと考えられる。アマゴ、ヤマメ、ニジマスなどは放流魚が多いとされ、特にニジマスについては天然産はいないというのが常識とされる。しかし、ヤマメについては天然産と放流魚との区別が可能であり、しかも予想外に天然産が多いようであるし本研究の試料として採取されたヤマメは、その大部分が天然産である)。このように放流魚の多い魚種でも汚染指標になりうるものと考えられる。

採取地点が異なると生息する魚種も異なり、そのため、地点間の比較ができる魚種が少なくなってしまう点の一つの問題である。特に生息する魚種の少ない上流域では一種類か二種類しか比較できない、この点、対象魚種を広げるなど検討が必要であろう。

魚類を汚染指標とすることは、今まで述べてきたように可能であるが、それはあくまで相対的な汚染指標であり、河川の汚染を量的に表現することは困難である。この点は水棲昆虫類の場合と同様である。しかし、河川の汚染というような本来、その場所的、時間的範囲を定義づけられない不明確な概念の表現方法としては、このような指標の方がより妥当なものとも考えられ、数字的表現にこだわる必要はないであろう。しかし、河川を構成する諸要素と魚類の汚染との内部的因果関係を把握しておく必要はあり、これは今後の検討課題である。

魚類と水棲昆虫類とは生物指標としての共通性はありながら、採取の難易、生息域の広さなど相違する点も多い。本研究で検討した結果に基づいて考察すれば、上流域においては魚類より水棲昆虫類の方が採取がはるかに容易であり、汚染に対する感度も良く、バラツキも少ない点で汚染指標としてすぐれているといえる。中流域のように汚染の進んだ流域では、水棲昆虫類よりも魚類の方が採取が容易で、生息する魚種も多く、個体差も少ない点で魚類の方が汚染指標としてすぐれている。このように上流域では水棲昆虫類、中流域では魚類というように地域によって役割を分担する考え方をとるのが合理的であると思われる。下流域では何を指標とすべきか、現在までの検討の結果からは魚類も昆虫類も指標とするには問題が多い。今後、魚類以外に藻類、甲殻類等も含めて検討するべき問題である。

#### 4 ま と め

今回の報告における主要な結論をまとめると以下のとおりである。

① 底泥の水銀分析値は採取地点のわずかなへだたりや採取日の数日以内の相違により、河川が安定しているときでも大きく変動する場合が多く、そのままでは汚染指標としての意味をなさない。

② 底泥の分析から汚染指標となるべき値を得るには、底泥を粒径別あるいは成分別に分離して、そのうちの一成分のみを分析する方法や試料採取を時間的・場所的にも密にし、それらの分析値に何等かの統計的処理を施す方法などが考えられる。

③ 水棲昆虫類は底泥よりも分析値の変動が安定している上に、上流域では魚類よりも分析値が高く、採取も容易なので、特に上流域での汚染指標としてすぐれている。

④ 魚類は中流域では水銀分析値の個体差が少なく、また魚種も多く、採取も比較的容易で、水棲昆虫類や底泥よりも汚染指標として適する。しかし、上、下流域では個体差のバラツキが大きく、特に上流域では対象となる魚種が少ないなど、汚染指標とするには問題がある。

⑤ 魚類も、水棲昆虫類も汚染指標としては地域ごとに相対的な汚染程度の比較が可能だけで、河川の汚染程度を量的に表わす指標とすることは現段階では困難である。しかし汚染の概念を追求するとこのような指標のあり方が合理的な帰結であるとも考えられる。

#### 参 考 文 献

- 1) 伊東 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1）、東京都公害研究所年報、156、（1981）。