

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)

伊 東 勲 弘 宮 川 正 孝 梶 山 正 三
(環境保全局水質保全部)

志 村 真 理 平 松 一 彦 平 山 裕 宇 児
(日 本 大 学) (日 本 大 学)

1 はじめに

河川が重金属によって、どの程度に汚染されているかを知ることは困難な問題である。問題は2つある。1つは何をもって河川の汚染とみなすかという汚染の定義の問題である。河川水中の濃度か、底泥中の濃度か、もし水中の濃度だとしたら、一過性の汚染でもよいのか、あるいは一定期間平均化したものを汚染と考えるべきなのか、底泥の場合には、試料採取地点と採泥の深さ、増水による泥の移動等による分析値の変動をどのように捕えて河川の汚染と考えたらよいのかという種々の問題が含まれる。もう1つは汚染の定義が与えられた場合に、それをどのようにして把握し、表示するかという問題である。思うに、河川のようにダイナミックな自然現象を対象とし、その実態を把握するには、まず目的を設定し、その目的に合致した汚染の定義なり、把握手法なりを考えるべきであり、一義的に汚染というものを定める必要はないであろう。例えば、魚の浮上やへい死事故における原因追求のためには、瞬時的な水質の把握が必要であり、また汚染状態の経年的変化を論ずるには水質や底泥の時間的、場所的変動を十分に把握した長期にわたる観測が必要であろう。更に、河川汚染の実態把握の最終目標は、人間に対する直接、間接の影響を知ることにあるとすれば、河川内の生物だけでなく河川敷や河川周辺の土壌や植物等の汚染も考慮した汚染というものを考えていかなければならないであろう。

現在、河川における重金属汚染を把握する手法としては、通常、重金属を対象とした月1度ないし2度の水質分析および底泥分析が行われている。これらはいずれも河川の重金属汚染を把握する手段として万全なものではなく、河川の水質や底泥のダイナミックな変

動が十分に考慮されているとは言い難い。河川中に流入した重金属は流入後、比較的短時間のうちに、その大部分は底泥等に移行する。これは多くの重金属について知られている現象である。例えば、水銀については水質分析では $0.2\mu\text{g}/\ell$ 以下であるのに同一地点での底泥分析では $10\text{mg}/\ell$ と水質分析の値に比べて 5×10^4 倍もの水銀が検出されることがある。これは決して珍しいことではなく、この点だけを考慮しても水質分析によって把握し得る河川の汚染は極めて限られた意味のものでしかない。次に底泥分析についてみると、底泥は河川中に流入した重金属が濃縮しやすいという点で、底泥の分析値は重金属汚染の1つの指標といえる。しかし、底泥はその性質上均一に混和しているものではなく、数メートル離れた地点での底泥の分析値が大幅に異なったり、同一地点でも、採取の深さにより異なることもある。更に、川底は一般には砂や砂礫で構成されていることが多く、泥の採取は限られた地点でしか行えず、特に上流部では極めて難しい。このように底泥は、その地点の汚染度を代表するような試料の採取が極めて困難かまたは不可能という事情がある。又、底泥は一旦河川の増水があれば、その出水規模に応じて上流から下流へと移動する。このような問題を考慮すると底泥分析もまた、河川の汚染を把握する手段としては極めて限定されたものと言わざるを得ない。

河川の汚染は、河川内に生息する植物、動物類を汚染し、更に周辺土壌や周辺生物類にまで影響を及ぼすという点で重大なものである。このように河川を中心とした自然環境の汚染を把握することを目的とする場合には、水質や底質を含めた、ある程度長期的な汚染を平均化したものを指標として考えるべきである。この

ような観点からは必然的に河川内に生息する生物を指標とする重金属汚染の検討が必要とされる。生物を指標とする場合、その種類や生息数を問題にするのか、あるいはその体内濃度が問題なのか、これらは生物の生態や生活史と複雑に関連してくる。更に実際的にはサンプリングの難易も重要な事項となる。

本研究では種々の重金属の中からまず水銀を対象とし、ある程度長期的に平均化された水銀汚染状況を示し得るような水棲生物を、主としてその体内水銀濃度との関連で検討した。すなわち、定期的な底泥の採取を行ってその水銀含有量と変動幅を調査し、同時に水棲昆虫類および魚類について同様に水銀含有量とその変動幅を検討し、体内の水銀濃度の安定性、生息域の固定性、ライフサイクルが比較的長いこと、更にサンプリングの容易さ等の観点から水銀汚染の指標と成り得る生物を検索した。なお、この研究は昭和53年度からスタートしたものであるが、本稿では昭和53年度と昭和54年度の結果を中心にし、昭和55年度の結果の一部も含めて報告する。したがって試料採取と分析方法の検討、水棲昆虫類、魚類と底質の分析結果およびそれについて得られた知見が含まれる。

2 試料および採取方法

(1) 底泥

ア 採取地点

本研究は多摩川水系において丸子堰より上流を主な対象として行ったものである。底泥については羽村堰より上流は採取が極めて困難なので行わず、更に羽村堰より下流でも底泥の採取が可能なのは各所にある堰の直上付近である。したがって次の各地点を採取地点とし、①～④の各地点については毎月1回、⑤については毎月2回サンプリングを行った。A、拜島堰堤上(右岸) B、国立堰堤上(左岸) C、是政堰堤上(左岸) D、二ヶ領堰堤上(左岸) E、丸子堰上(右岸)、これらの地点を図1に示す。

イ 採取および保存方法

底泥の採取は岸辺、堰堤の上または川の中に入り、採泥器または1.5mの柄付ひしゃくによって行い、ビニール袋にとって持ち帰る。この試料はただちに6,000rpmで約10分間遠心分離したのち上澄みを捨て、沈澱物を濾紙上に広げ60℃で24～48時間乾燥する。乾燥した底泥は乳鉢で砕き、小石、ゴミ等の異物をピンセットで取り除き、30メッシュのフルイにかけて分析試料とする。この試料はサンプルビンに入れ密封保存する。

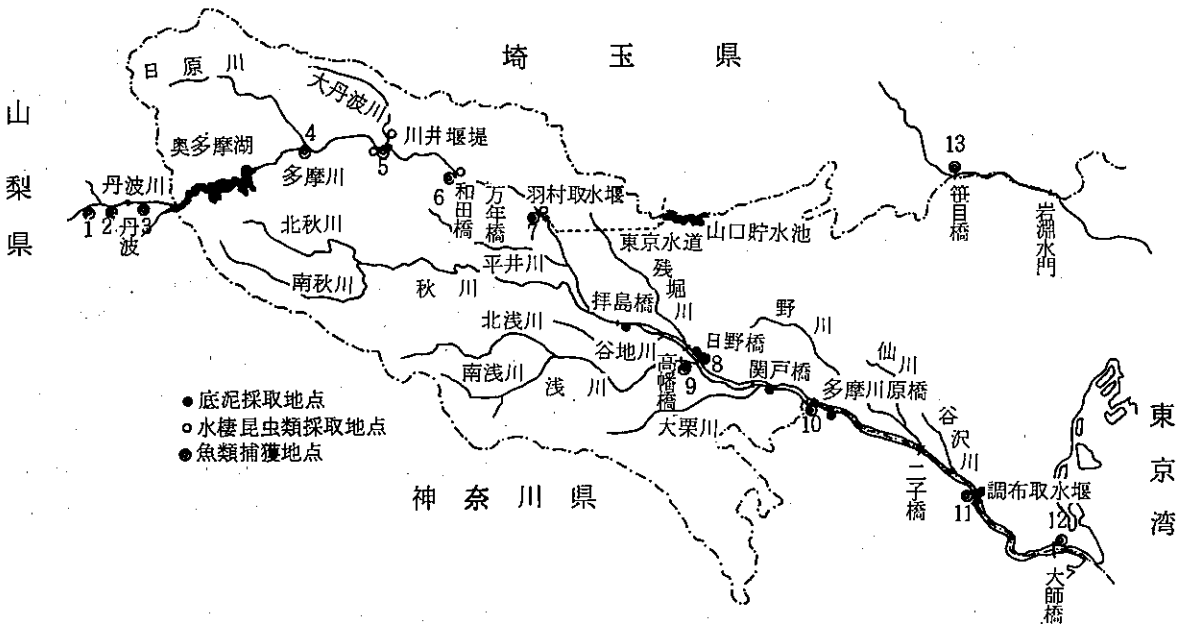


図1 定期的試料採取地点

(2) 水棲昆虫類

ア 種類と生態¹⁾

サンプリングの対象とした水棲昆虫類のうち、主要なものを下記に示す。

(ア) カワゲラ (楕翅目, カワゲラ科)

幼虫は溪流中の石の下または沈葉中に生息する。成熟幼虫は種類により5~6mmから30~40mm程度のものである。大型のものは普通肉食性で、ユスリカ、カゲロウ、トビケラの幼虫等を食するが、小型のものは主として藻類または植物残滓を食する。本研究で採取したものは大きさ20~30mmを越える大型のものがほとんどである。幼虫期間は、種によって1年のものと2~3年以上要するものがある。不完全変態であり、蛹を経ず、春や夏に羽化する。

(イ) トビケラ (毛翅目)

幼虫は溪流中の石の下などに生息する。砂粒、葉片等で筒状の巣を作るものと作らないものがあり、巣も可動型と固着型のものがある。成熟幼虫の大きさは種類により10mm以下から40mm程度である。年1世代または2世代のものが普通であり、幼虫期間は世代数に応じて、それぞれ1年または半年である。蛹期間は約1週間であり春または秋に羽化する。草食性である。本研究で採取したものは体長25~40mm程度のものである。

(ウ) ヘビトンボ (広翅目, ヘビトンボ科)

幼虫は水の清い溪流あるいは山麓地帯の小川にすむ。幼虫期間は2~3年であり、体長は10~70mmである。強い肉食性であり、カゲロウ、カワゲラ、トビケラ等の幼虫をとらえて食する。蛹期間は約2週間で初夏の頃に羽化する。本研究で採取した幼虫は体長50mm前後のものである。

以上の3種の昆虫は定期的に採取、分析を行った他に不定期に採取し分析を行ったものとしては、カゲロウ、ヤゴ等がある。

イ 採取地点

上記の昆虫類は多摩川水系では主として羽村堰より上流部に生息し、これより下流での採取は生息数が少なく困難である。その点、底泥の場合と逆である。水棲昆虫類の定期的(月に1度)採取地点は下記の4地点である。a. 大丹波川(本川合流付近)、b. 川井ダム上、c. 和田橋上流、d. 羽村堰上。

これらの4地点以外に下記の地点において不定期に試料採取を行った。

e. 丹波川(丹波山村, 落合および保之瀬付近)、f. 日原川合流点付近、g. 御岳橋下流、h. 秋川, 秋留橋下流、以上a~dの地点を図1に示す。

ウ 採取および保存方法

調査対象となった水棲昆虫類は淵やよどみにはすまず、水のはやい瀬の石の下に多く生活する。これを採取するには、股下に至る長靴をはいて2~3人で河川中に入り、1人が鍬によって瀬の石を掘り起し、他はそのすぐ下流で、昆虫採取用に改造したサデ網によって流下する昆虫類を捕集する。捕集した昆虫類は白色バットにあげ、ただちに種類毎にわけてサンプルビンに採取し、10~20%のエタノール水溶液で固定する。試料は実験室に持ち帰り即日処理する。まず、ふるいの上に試料をあげ、水道水でよく洗い、異物をピンセットで取り除く。これをガラスシャーレに移し、60℃で恒量になるまで乾燥し、サンプルビンに移して密封保存する。これが分析試料となる。各種類ごとの1回の試料採取量は乾燥重量で0.5g~2.0g程度であり、1回の分析には通常0.5g~4gの試料が供される。

(3) 魚類

ア 種類と生態²⁾

分析対象となった主要な魚類は下記のとおりである。

(ア) アマゴ

山間部の溪流にすみ昆虫を主食とする。日本特産種で、ほぼ伊豆半島以西に分布する。神奈川県下では一部ヤマメと混棲する。多摩川水系では柳沢川落合より上流にすみ、落合ヤマメと呼ばれていた。産卵期は9~11月である、産卵後もへい死せず、体長は30cm程度に達する。

(イ) ヤマメ

河川上流で年間の最高水温が20℃以下の溪流にすむ。昆虫を主食とし小魚その他の小動物も食う。雌はほとんど降海型となり、孵化後1年半で海へくだり、1ヶ年を海で過ごしたのち初夏に遡河し、9~10月に産卵後、へい死する。降海型でないものはほとんど雄であるが、希に降海しない雌(河川型)もあり、河川型の雌は産卵後、へい死しない。体長は約30cmに達する。

(ウ) カジカ

水の澄んだ瀬の礫底にすむ、水棲昆虫類の幼虫を主食とする。1~4月頃産卵する。体長6~11cm、近

似種として、ウツセミカジカ、カンキョウカジカ、ハナカジカ、ピリンゴ、ヨシノボリ等があるが、分布や生息域がそれぞれ異なる。

(エ) ウグイ (ハヤ)

山間部の溪流から河口付近にまで生息する。雑食性で3~7月に産卵し、体長は11cm~45cm程度になり、地域的な形態の変異が著しい。近似種としてマルタ、エゾウグイ、等があるが分布、食性、生活史、婚因色、その他解剖的な所見に相違がある。東京附近ではハヤともいう。

(オ) オイカワ (ヤマベ)

河川の中流域から河口近くまですむ。雑食性で5~8月に産卵する。体長は雄で10~16cm、雌で8~12cmになる。関東ではヤマベ、関西ではハエともよばれる。

(カ) ギンブナ (マブナ)

浅い池や沼、流れのゆるい河川にすむ。雑食性で産卵期は3~6月、体長は10~30cmになる。

(キ) キンブナ (キンタロウ)

川よりも泥底の沼や池に主としてすむ。雑食性で他のフナ属に比して小型、体長10~16cmになる。東京のつり人はキンタロウとも称し、雑食性である。

(ク) ゲンゴロウブナ (ヘラブナ)

元来は琵琶湖淀川水系の特産だが現在は日本全土に分布、植物性プランクトンを主食とする。4~7月に産卵し、体長は25~40cmになる。ヘラブナは本亜種を人工的に飼育したものである。

(ケ) モッグ (クチボソ)

平野部の浅い池や川にすむ。雑食性で、主として関東以西に分布し、3~7月に産卵する。体長は6~11cmになる。近似種にシナイモッグ、ウシモッグ等がある。

(コ) コイ

池や沼、河川の中流から河口部にすむ。雑食性で、4~7月に産卵し、体長は通常30~60cmになる。

(サ) ニゴイ (セータ)

平野部の湖沼や大河川にすみ汽水域にもくだる。底棲の小動物を主食とする。4~6月に中流域の礫底に産卵、体長は30~45cmになる。東京ではセータ、セータッポとも呼ばれる。

(シ) ヒイラギ (サッパ)

内湾または河口にすむ、底棲の小動物を主食とする。

6月に産卵し、体長は8~14cmになる。日本には海産の近似種が多数ある。サッパともよばれる。

イ 採取地点

魚の採取は多摩川本流、多摩川支流、丹波川(多摩川本流の奥多摩湖より上流部)、荒川の各地点において行った、地点名は下記のとおりである。

①落合、②半屋、③保之瀬、以上山梨県、④日原川合流点、⑤川井ダム上、⑥和田橋上流、⑦羽村堰上、⑧浅川合流点(本流)⑨浅川、⑩多摩川原橋付近、⑪丸子堰上、⑫大師橋付近、⑬笹目橋付近(荒川)④~⑬は東京都。これらの地点を図1に示す。

ウ 採取および保存方法

魚類の捕獲方法は、魚種により、採取地点の地形により異なるのが通常であるが、本研究では、一応すべての魚種について対応し得る方法として投網による捕獲を原則とし、目合の異なる二種の投網(例えば15mmと12mm)を各地点で併用し、原則として各目合の投網について、各地点毎に10回の試投を行う。投網は各地点に精通した漁師に依頼した。

捕獲した魚はクーラーに入れて持ち帰り、一旦冷凍保存する。冷凍した魚はビニール袋のまま流水中で解凍し、濾紙の上に広げ60℃で恒温になるまで乾燥する。乾燥した魚は、乾燥重量が8g以下の時はそのままサンプルビンに入れて密封保存し、8gを越える時は、乳鉢中で、できるだけ細かく砕いたのち、同様にサンプルビンに保存する。前者の場合にはその全量を分析試料とし、後者の場合には、その一部をとって1回の分析試料とする。

3 分析方法

底泥や生物中の水銀の分析方法としては一応の標準的方法がある³⁾。しかし、これらの方法は一応の基準にすぎず、特に試料の分解方法や分解時間等については試料の特性に応じて新たに検討されなければならない。更に分析試料の代表性の確保という観点から、試料の均一化や1回の分析に要する試料の量も問題になる。

(1) 試薬および装置

分析に使用した試薬は下記のとおりである。

- ①硫酸、硝酸、過塩素酸(精密分析用、和光純薬)
- ②過マンガン酸カリウム、塩酸ヒドロキシルアミン、塩化第一スズ(有害金属測定用、和光純薬)

③尿素（生化学用，和光純基），④金属スズ（特級）

水銀標準液は市販の原子吸光用標準液（1000ppm Hg, $f=1.01$ ）を使用し，必要に応じて希釈，定容し，0.1 Nの硫酸酸性にして使用した。

試料の加熱還流分解装置および還元気化装置（循環法）はスギヤマゲンのものを用い，気化された水銀原子の吸光度測定には島津製作所のUV-201または同社の原子吸光光度計AA-610を使用した。

(2) 試料の分解

ア 底泥

前述のように乾燥した粉末の底泥約2gを精秤し，試料分解用フラスコに入れ，濃硫酸10mlと濃硝酸10mlを加え，約1時間，加熱還流する。冷却後，過塩素酸15mlを加え再び加熱還流する。以上の過程ではフラスコには一切水を加えない。水を加えると分解速度が遅くなるからである。約10時間，還流後，冷却し，10% (W/V) 尿素溶液10mlを加え，1時間，加熱還流する。冷却し，過マンガン酸カリウムの結晶0.5gを加え，水で洗い込み，再び加熱する。約30分間加熱し，過マンガン酸カリウムの色が消えた場合には再び冷却して過マンガン酸カリウムを加えて加熱し，過マンガン酸カリウムの色が残るまでこの操作を繰り返す。酸による分解が充分に行われていれば，この操作は1回～2回で終了する。この後，室温まで冷却し，20% (W/V) 塩酸ヒドロキシルアミン1～2滴を加えて加熱し，過剰の過マンガン酸カリウムの色がわずかに残るまで，この操作を繰り返す。この時，塩酸ヒドロキシルアミンを入れすぎないように注意する。分解を終った試料は脱イオン水で気化ビンに洗い込み200mlに定容する。

イ 水棲昆虫類

水棲昆虫類は1回のサンプリングで得られた同一種類の大きさの異なる個体を混合状態で乾燥したものを，原則として1回の分析試料とする。したがって1回の分析試料は乾燥重量で0.5g～4g程度である。分解に要する，硫酸，硝酸，過塩素酸の量は，底泥の場合を基準として，試料の重量に応じて適宜増減する。以下の操作は底泥の場合と同じであるが，分解に要する時間は試料の種類，量により異なる。

ウ 魚類

魚の場合は前述のように乾燥した試料を1個体ずつ

別々に分析試料とする。ただし，1個体の乾燥重量が8gを越える時は，前述のように乾燥後，すりつぶした試料のうち2g～4gをとって1回の分析試料とし，この分析を2～3回行うことによって，すりつぶした試料の1個体全体に対する代表性を確認する。以下の操作および酸の量，分解時間は水棲昆虫類の場合と同じである。

(3) 測定

ア 測定方法

酸によって湿式分解した試料は還元気化原子吸光法によって測定する。前述のように気化ビンに洗いこんだ試料を還元気化法による原子吸光光度計にセットし，まず，還元剤を加えずに，曝気し，循環法により，気相を測定セルに送り込み，指示値が安定するまで継続する。この安定値をベースラインとする。曝気を止め，20% (W/V) 塩酸ヒドロキシルアミン5mlおよび10% (W/V) 塩化第1スズ5mlを加え，同様に循環法により指示値が安定するまで曝気する。この時の指示値とベースラインの指示値との差を検量線にあてはめて水銀含有量を読み取る。

イ 検量線

検量線の作成は2つの方法で行った。その1は，酸分解の操作をすべて含んで検量線を作成するものであり，試料の分解，定量と同一の操作を既知濃度の水銀水溶液について行う。他は還元気化の段階から行うものである。両者の方法による検量線にはほとんど差が認められなかったため，その後は後者の方法によることを原則とした。ただし，試薬ブランクのチェックのため，時々前者の方法によることとした。検量線の変動は2ヶ月に1度ぐらいの割合でチェックしたが，通常はほとんど変動は認められなかった。図2にUV-201を測光部とした場合の検量線を示す。

ウ 試薬ブランクについて

測定対象となる水銀は0.1 μ g～2 μ g程度の微量であるので，酸分解のための酸，過マンガン酸カリウム，ヒドロキシルアミン，尿素，測定時のヒドロキシルアミンや塩化第1スズ等に含まれる水銀量が問題になる。これらの試薬ブランク値はできるだけ低いものを使用すべきであるが，それでも，なお無視できない程の水銀を含む場合には，そのブランク値を控除しなければならない。試薬ブランク値はびんが替わるたびに異なるものであり，かつ，酸分解の時の試薬量は試料によ

り変動する。しかも、全過程を通じて測定までに7種類もの試薬を使用するので、試薬ブランク値を常に完全に補正することは困難である。従って本研究における分析では、水銀含有量の低く、かつ使用量の一定している試薬については、検量線作成の際の一律的な補正に止め、特に問題となる三種類の酸については試料ごとに個別的な補正を行った。図3に、これらの酸に含まれる水銀含有量の測定値を示す。なおこの含有量には変動があるので定期的にチェックし、修正する。

4 分析結果および考察

(1) 底泥

底泥の分析値を泥の採取日との関連で示すと、表1および図4のとおりである。この変動パターンには、2つの特徴がある。まず第一に各地点ごとの水銀含有量の変動幅が極めて大きいことである。例えば拜島では最高は1.97 $\mu\text{g/g}$ 、最低0.058 $\mu\text{g/g}$ で最高値は最低値の約34倍、同様にして国立でも約34倍、是政では37倍、二ヶ領では43倍、丸子では31倍といずれも30倍以上もの幅がある。次に変動係数を見ると表2に示すように各地点の変動係数は55%を越える。このことは底泥の分析値はある程度長期的な河川の汚染を表わす指標としては不適当なものであることを示している。例えば、一般に行われている、年数回の泥の採取と分析だけで、河川底質の汚染が経年的に見て、よくなったとかわるくなったとか言う議論は無理であろう。恐らく図5に示すような変動パターンである限り、このような追跡を5~10年にわたって継続し、かつ、河川流量や流域雨量、支川における底質の変化等を解析して、はじめて河川汚染の実態と変化が明らかになるといえるであろう。第二の特徴は各地点の変動パターンが大ざっぱに言えば似ていることである。これは含有量の変動原因に各地点に共通なものがあることを示している。まず考えられるのは河川の増水に原因を求めることであるが、これは今後、河川流量の変化と関連づけて検討して見る必要がある。底泥については、更に、採取場所を5~10mごとに移動した場合の水銀含有量の変動や、底泥の表層と下層による分析値の相違を調べる必要がある。また、採取日による変動も、もっと採取密度を高くして観測してみる必要があると思われる。

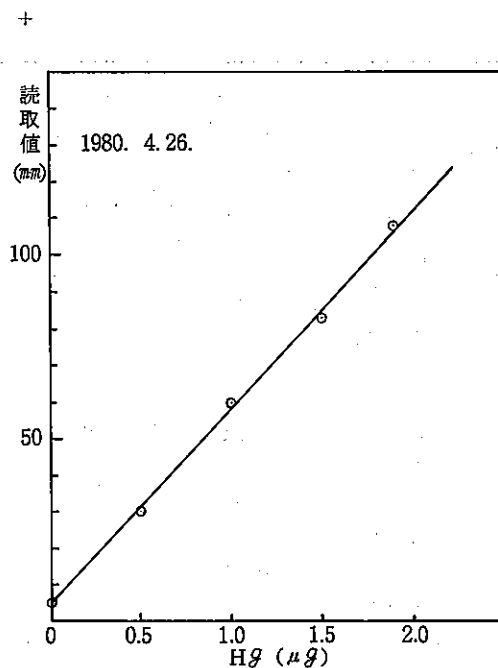


図2 水銀の検量線

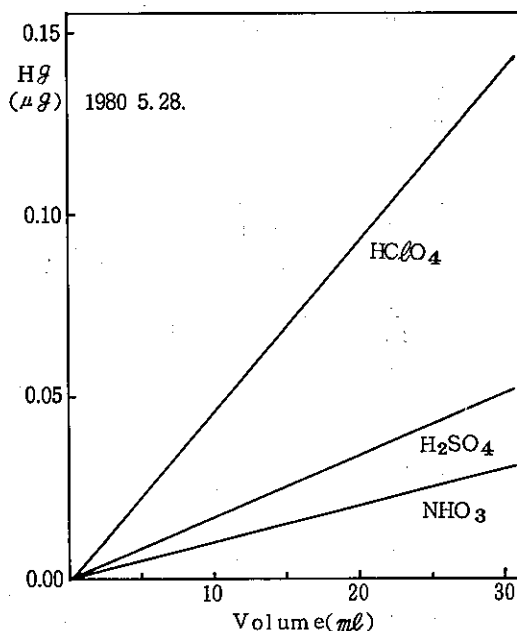


図3 試薬の水銀含有量

表 1 底泥中の水銀含有量*

採取日	採取地				
	拜島	国立	是政	二ヶ領	丸子
'79. 4. 16	—	—	—	—	0.505
5. 1	—	—	—	—	1.49
5. 18	—	—	—	—	1.40
6. 4	—	—	—	—	2.10
6. 6	1.26	1.27	1.76	1.47	—
6. 15	—	—	—	—	2.38
6. 29	—	—	—	—	0.775
7. 14	—	—	—	—	0.566
7. 23	0.297	0.139	—	—	—
9. 3	—	—	—	—	0.550
9. 7	—	—	—	—	0.615
9. 15	—	—	—	—	0.702
9. 17	0.125	—	0.525	0.510	—
10. 11	—	—	—	—	—
10. 26	—	0.960	0.830	1.40	—
10. 30	—	—	—	—	1.63
11. 14	0.600	1.50	0.900	0.928	—
11. 15	—	—	—	—	0.970
12. 1	—	—	—	—	1.00
12. 7	0.672	1.83	0.965	1.61	—
12. 14	—	—	—	—	0.820
'80. 1. 9	0.304	0.591	0.452	0.503	—
1. 17	—	—	—	—	0.694
2. 1	—	—	—	—	0.701
2. 7	—	0.360	0.791	—	—
2. 14	—	—	—	—	0.115
2. 27	0.058	—	—	0.038	—
3. 5	0.105	0.054	0.048	0.082	—
4. 8	0.253	0.301	0.238	0.245	—
4. 9	—	—	—	—	0.076
4. 28	—	—	—	—	0.952
5. 13	0.981	1.68	1.08	1.18	—
5. 21	—	—	—	—	1.23
6. 4	1.01	1.04	0.965	0.989	—
6. 13	—	—	—	—	1.38
7. 1	—	—	—	—	1.68
7. 3	1.27	1.45	0.709	0.468	—
7. 14	—	—	—	—	1.62
8. 1	1.97	1.82	1.50	1.64	—

* 乾泥1gあたりの水銀含有量(μg)

$\mu\text{g Hg/g}$

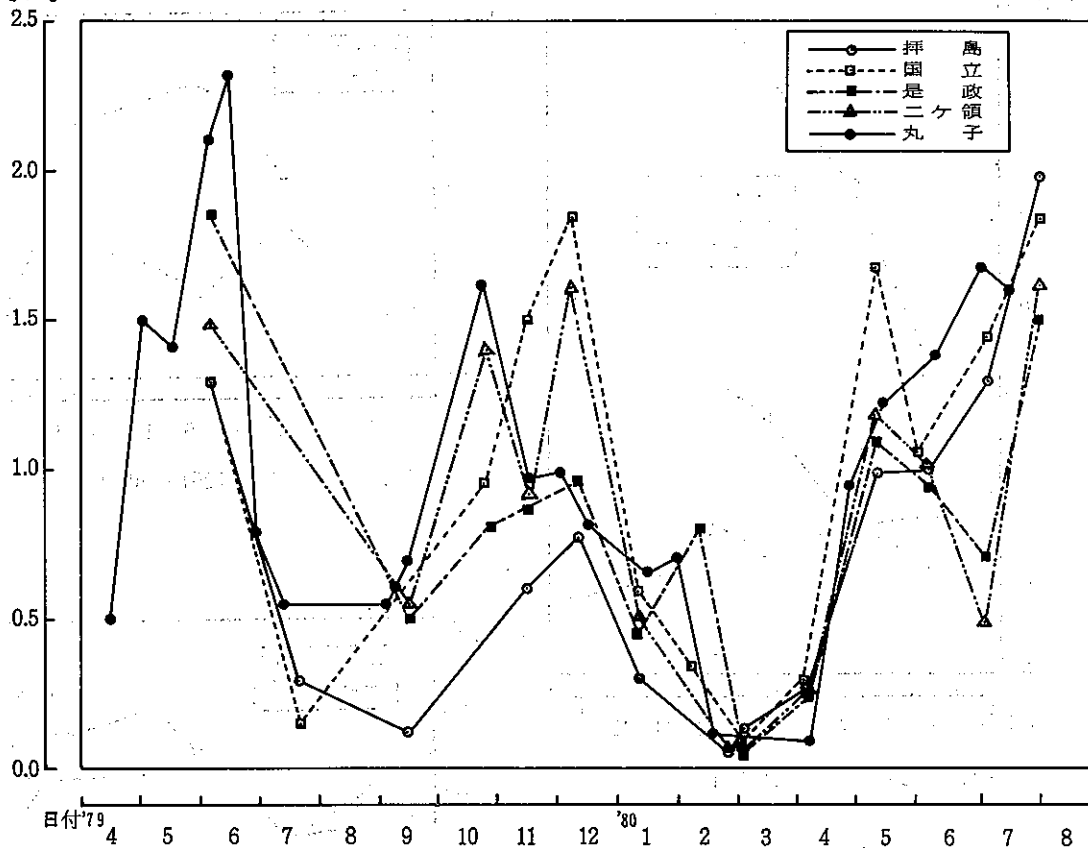


図4 底泥中の水銀含有量の変動

表2 水銀分析値の変動係数

	押島	国立	是政	二ヶ領	丸子
n	13	13	13	13	23
\bar{x}	0.685	0.999	0.828	0.740	1.041
V	0.308	0.389	0.203	0.389	0.334
σ	0.555	0.624	0.456	0.624	0.578
CV	81.0%	62.5%	55.1%	84.2%	55.5%

(2) 水棲昆虫類

水棲昆虫類の水銀含有量の採取日による変化を地点別にグラフに示したのが図5～図8である。このうち、大丹波川においては年間を通じてトビケラがほとんど採取できず、同様に和田や羽村ではヘビトンボが通常

は採取できないため、これらのデータが欠けている。更に川井では時期によってヘビトンボやトビケラが採取できないこともある。上記の変動グラフから得られる結論をまとめると以下のようである。

- ①ヘビトンボの水銀含有量は常にカワゲラやトビケラのそれよりも高い。
- ②トビケラの水銀含有量は1, 2の例外を除いてカワゲラよりも高い。
- ③一般的にいて水銀含有量はヘビトンボ, トビケラ, カワゲラの順に高い, しかし, この比較は同一時期において採取した試料相互についてののみい得る。
- ④採取時期による水銀含有量の変動パターンは大丹波川や羽村の場合にはカワゲラとヘビトンボまたはカワゲラとトビケラにおいてよく似ている。しかし, 和田や川井の場合には, 昆虫の種類毎の変動パターンの相

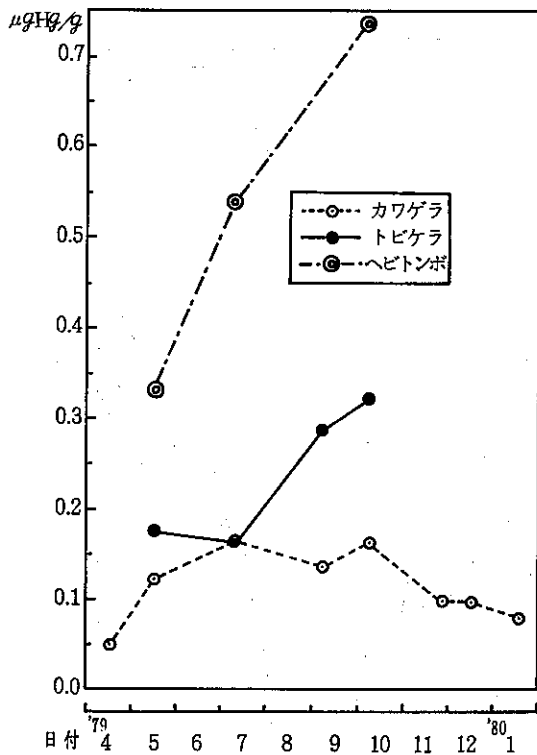


図5 水銀含有量の変動(川井)

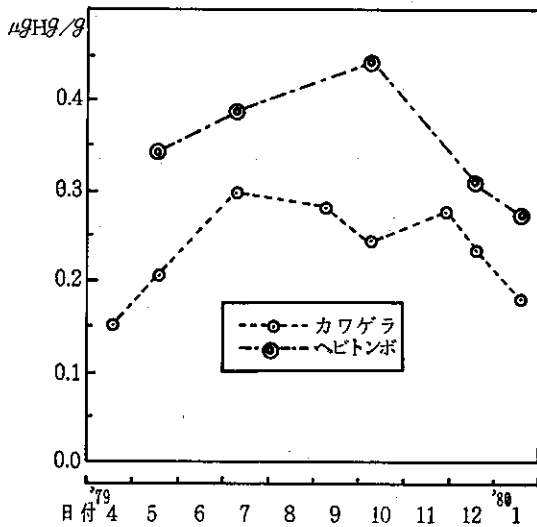


図6 水銀含有量の変動(大丹波川)

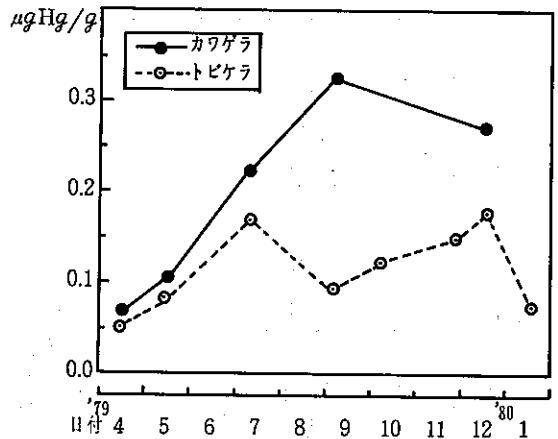


図7 水銀含有量の変動(和田)

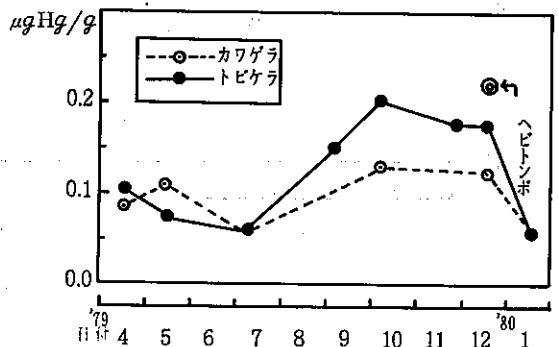


図8 水銀含有量の変動(羽村)

似性は必ずしも明らかではない。

⑤底泥の場合とくらべて変動幅は、はるかに小さく、最高値と最低値の比は2倍～5倍以内である(底泥では31倍～43倍)。

⑥一般的に言うと7～10月に高く1月と4月頃は水銀含有量が低い、という傾向が見られるが、例外もあり、あまり明瞭とはいえない。

以上のように水棲昆虫類については、底泥よりも比較的安定した水銀濃度を示すということ、種類による含有濃度の順位がある程度明らかになった。したがって、底泥よりもある程度長期的な水銀汚染の濃度を反映するものではないかと推測し得る。このことは、

水棲昆虫類は底泥よりも移動性が少ないという点からも首肯できる。しかし、河川水や底泥の汚染と水棲昆虫類の水銀濃度との時間的、量的関係は、これらの生活史ともからみあって複雑であり、今後、より綿密な調査を継続するとともに、水銀の濃縮、排泄の過程を室内実験等によって検討する等、多面的な解析を行うことにより、これら水棲昆虫類と環境汚染との関係を追求して行きたい。

次に、各種類毎に地点別の変動を比較して見よう。図9と図10に示したものがそれである。まずカワゲラについてみると大丹波川は明らかに他の3地点より

も高い値を示しているが、他の3地点では特にどの地点が高いという明瞭な傾向は見られない。また、その変動パターンもあまり似ているとはいえない。トビケラについては川井と和田の2地点は明らかに羽村より高く、またその変動パターンもカワゲラの場合より相似性が強い。大丹波川や川井ではトビケラが採取しにくく、また、羽村ではカワゲラがとりにくいという事情と上記のような結果を併せて考えると、地点ごとの水銀による汚染の比較を行うためには1種類の生物に限定せず何種類かの生物を組合わせて行うことが必要ではないかと考えられる。

(3) 魚類

前述のように魚類については1個体づつを1試料として測定したわけであるが、その1個体の水銀濃度をどうやって測定するかがまず問題である。魚1尾の乾燥重量が8g以下であるときは、その全部を酸分解し、測定することにより、1個体の平均水銀濃度が算出できるので、この場合は特に問題はない。しかし、1個体の乾燥重量が8gを越える時は、その全部を1回に酸分解するのは困難である。したがって、このような場合には何回かに分けて酸分解と測定を行うか、または試料を何らかの方法によって均一にし、その一部をとって酸分解と測定を行う方法が考慮されなければならない。ここでは両者の方法を併用したが、後者について検討した結果を表3に示す。表3は、魚をそのまま60℃で乾燥し、恒量になったのち、乳鉢ですりつぶしたのちから一定量をとって数回測定したものである。各回の測定のバラツキが少なければ、すりつぶしによる試料の均一性、すなわち、この場合は分析試料としての代表性が得られているということになる。表3に示したように、ギンブナAで2gを試料とした時、およびギンブナAで4gと8gを試料とした時の測定値は極めてバラツキが少ないのに対し、ギンブナAで8g、ギンブナBで4gを試料とした時は若干のバラツキがある。また、分解時間については8gを試料とした時は4gを試料とした時の2倍～3倍の時間を要し、分解の不完全や、分解が長時間にわたるための、水銀の逸失の危険等も考えられる。したがって、すりつぶした試料について、その一部をとって測定する場合の試料の重量は2g～4gが適当と考えられる。いずれにしても表3の結果は、すりつぶしによって試料は均一になり、その一部の測定が全体を代表し得るこ

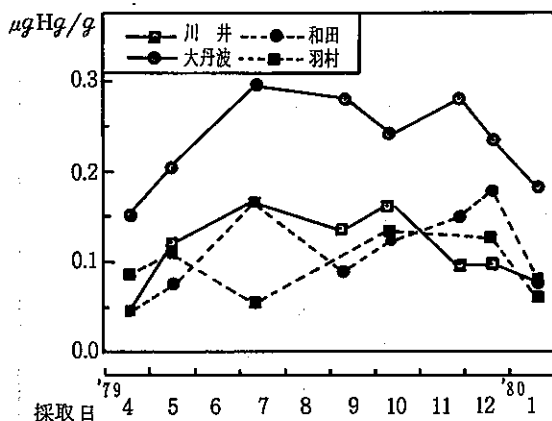


図9 水銀含有量の変動(カワゲラ)

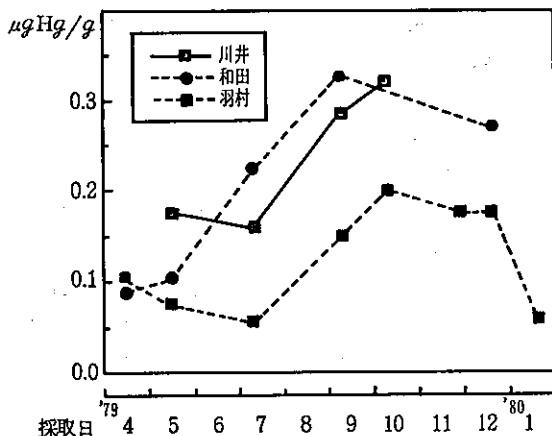


図10 水銀含有量の変動(トビケラ)

表3 すりつぶした試料の代表性

試		料			試料採取量	水銀濃度	平均値からの編差
採取地点, 採取日	体長	体重	乾燥重量				
丸子堰上 ギンブナA	'79. 8. 31	18.1cm	126g	41.0g	2,074g	0.147μg/g	- 2.6%
					2,038g	0.153	+ 1.3%
					2,009g	0.153	+ 1.3%
					平均値	0.151	
					7,967g	0.182μg/g	+ 2.8%
					7,898g	0.150	-15.3%
					8,001g	0.199	+12.4%
					平均値	0.177	
丸子堰上 ギンブナB	'79. 8. 31	18.0cm	106g	27.0g	4,003g	0.258μg/g	- 9.8%
					4,001g	0.307	+ 7.3%
					4,007g	0.316	+10.5%
					4,010g	0.263	- 8.0%
					平均値	0.286	
丸子堰上 ギンブナA	'79. 8. 31	25.3cm	274g	81.5g	4,046g	0.384μg/g	- 1.3%
					4,021g	0.391	+ 0.5%
					4,007g	0.391	+ 0.5%
					平均値	0.389	
					8,107g	0.332μg/g	+ 2.5%
					7,996g	0.325	+ 0.3%
					7,993g	0.314	- 3.1%
					平均値	0.324	

とを示しているといえよう。

次に、上記のような方法で測定した多摩川水系(本流のみ)における魚類の水銀濃度の結果を表4に示す。ここに示された結果は、各魚種についての個体数、各地点における魚種等、あらゆる点から見てデータ数が極めて貧弱であるため、何らかの考察を加え、あるいは結論を得るのは困難である。今後のデータ集積の結果によらねばならない。ただ今後、魚の捕獲、分析を行っていく上で各地点毎に重点をおくべき魚種を検索するためには表4を役立てることができる。具体的には、各地点について測定例のある魚種については更に個体数をふやすこと、日原川出合や川井ではヤマメ、カジカを捕獲する必要があり、羽村ではオイカワ、浅川ではギンブナ、モッコ、多摩川原橋ではウグイ、キ

ンブナ、ギンブナ、コイ、丸子ではオイカワ、ゲンゴロウブナ、コイ等が新たに捕獲すべき魚種となることが表4から読み取れる。

魚類と環境汚染の関係を考察する上で忘れてはならないのは、その生活史との関係のみならず、放流魚の存在である。放流魚は一般には天然魚との見わけが困難であり、従って環境中での生息期間もわからない。このように放流魚が多く混入する魚種は環境汚染の指標とするには問題がある。今回捕獲した魚の中では、その意味ではヤマメに最も問題があり、フナやコイにも若干の問題がある。放流が全く行われていないと考えられるものとしてはカジカ、ウグイ、オイカワ、モッコ等があり、これらの魚種に今後、重点がおかれるべきであろう。

表 4 多摩川水系における魚類の水銀濃度

	アマゴ			ヤマメ			カジカ			ウグイ			オイカワ			ギンブナ			ギンヨロアサ			セイヨナダシ						
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑳	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕				
高学原 H ^㉓ -1100 L ^㉑ -120	15.0	46.5	11.4	123	11.8	183	4.3	243																				
保之瀬 H ^㉓ -550 L ^㉑ -104					9.3	8.7	2.2	186	22.1	11.5	5.5	134																
日原川 H ^㉓ -320 L ^㉑ -822					14.0	28.5	8.4	187							12.4	15.7	3.8	360										
川井 H ^㉓ -245 L ^㉑ -745					13.0	21.4	5.4	203							11.3	16.0	4.4	206										
羽村 H ^㉓ -125 L ^㉑ -540					13.5	25.3	5.9	361							12.9	17.6	2.4	561										
沼川合 H ^㉓ -67 L ^㉑ -93.0					14.0	26.2	6.4	330							11.0	17.6	4.1	164	15.5	67.5	17.7	168						
多摩川 H ^㉓ -32 L ^㉑ -27.5															11.8	17.9	4.0	327	12.8	35.2	8.8	176						
九子 H ^㉓ -4.1 L ^㉑ -132															11.6	16.5	4.1	100	10.5	17.0	4.9	146						
大物橋 H ^㉓ -0.4 L ^㉑ -2.5															11.6	15.5	4.0	451	9.3	12.0	3.1	217						
															7.4	6.2	1.4	228										
															9.5	9.2	2.6	233										
															10.3	9.9	2.8	466										
															10.1	8.9	2.4	398										
															10.0	8.1	2.5	403										
															9.5	8.1	2.1	387										
															18.1	126	41.0	164	25.3	274	81.5	380						
															18.0	106	27.0	281	23.5	282	79.7	334						
																						8.0	5.6	1.2	143			
																						7.7	4.6	1.2	465			
																						7.3	4.5	1.2	465			
																									14.0	24.5	6.4	275
																						9.6	8.0	2.5	1076			

- ① 体長 (cm)
- ② 重量 (g)
- ③ 乾燥重量 (g)
- ④ 水銀濃度 (ppm)
- ⑤ 標高 (m)
- ⑥ 河口からの距離 (km)

5 今後の課題および問題点

これまでの調査では底泥、水棲昆虫類、魚類についてのデータが不十分であり、特に後の2者についてはその感が深い。したがって、これらのデータによって得られた結論も結論としては必ずしも明確なものではなく、ある程度の傾向と今後を検討すべき問題の方向を示すものが大部分である。個々の部分的な結論は本文中ですでに述べたので、ここでは今後の検討すべき課題をまとめて以下に示す。

①底泥については、採泥日による変動、増水後の変動、採泥場所、採泥の深さを変えた時の分析値の相違を明らかにし、環境汚染のファクターとしての性格と信頼度をより明確にする。

②水棲昆虫類については今までの調査を継続してデータの密度を高めるとともに、昆虫の体長、年令などに着目した測定を行い、生活史との関連を把握する。

③水棲昆虫類については室内飼育実験等によって、水銀の濃縮、排泄の過程を検討し、環境汚染との関連づけを行う。

④魚類については、もっともデータが不足しているので、前記のような魚種に重点を置いて捕獲、分析し、データの集積をはかる。

⑤魚類についても食物連鎖とそれ以外の要因とに分けて室内実験等により環境汚染との関連を検討する。

⑥底泥、昆虫類、魚類相互の水銀濃度の関連を把握し、①～⑤で得られた結果をも含めて生物による環境汚染の把握手法を検討する。

参 考 文 献

- 1) 津田松苗：水生昆虫の生態と観察，ニューサイエンス。
- 2) 中村守純：原色淡水魚類検索図鑑，北隆館。
- 3) 山縣，大喜多：環境汚染分析法5，大日本図書。