

高梁川における水質汚濁に関する学際的研究 (第3報)

——生物学的水質判定の原理と方法——

(1991年3月29日受理)

恩藤 芳典 山根 薫子 板野 道弘
加納 純孝 嶋田 義弘

Studies on Water Pollution and Aquatic Insects in the Takahashi River Part III

Principles and Methods for the Study of Freshwater Pollution
by means of Indicator Species of Aquatic Insects

Yoshinori Ondoh Shigeko Yamane Michihiro Itano
Sumitaka Kanou Yoshihiro Shimada

Key words: 水生昆虫, 生物学的水質判定, 指標種

ま え が き

岡山県には吉井川, 旭川, 高梁川という3水系がある。水の汚れを市民の手で少しでも軽減することはできぬものかと思ひ, 汚れの実態を知るために1987年以来, 高梁川本流の調査を進めてきた。調査のつど水の汚れを市民として判断する方法はと常に私達は考え続けた。恩藤その他('88), 板野その他('90)⁹⁾という成果を発表する過程で水の汚れを生物学的に判断するとき重要な情報を提供する水生昆虫については, 驚くほどに県内河川の水生昆虫に関する研究業績のないことも明白になった。最近の論文としては, 内水面漁業の観点から県水産試験場浮田その他('67, '68)^{18,19)}の論文がある。この論文で水生昆虫の分野を担当されたのは水生昆虫の研究では少なくとも著名な研究者であり, 内容にも信頼すべきものが多い。この他に森下('78)の著書にも少し触れてあるが参考の域をでない。

水の汚れは生命にかかわる問題であるが, 汚れたという印象と認識はあっても, なぜ汚れたのか, どの程度汚れているのかとなると, 工業廃水とか産業排水が問題にされ, 生活排水については意識化が低い。つまり, 一人ひとりに責任があるという考え方は, 未だ完全に一般化されていない。もう一度, 改めて再考することが要求される。生活圏の水の汚れの実態を地域住人の一人として, 正確に体得することが, 今後は必要である。行政官庁依存の気風は是正すべきことで, むしろ積極的に市民として, 具体的事実により改めるべきことは何かを口にしてよい時代である。日本の学校教育内容は, 国際的にみても高い水準のものであるが, 水の汚れといった複合的な原因によって成立する事実に対しては, 断片的知識と技能のよせ集めでは不十分であるし, ましてや, 実際もみないでの机上の知識では意味がない。これが, この数年にわたる実態調査を通しての率直な見解である。以上のことから市民レベルでも行うことのできる水質汚濁判定法としてのマニュアル作成を進めているが, この小論は, そのために必要と

した学術的な背景と技術について解説的に、とりまとめた内容の一編である。

発表にあたり、当初に本研究を快く助成された両備狸園記念財団と研究継続を援助された中国短期大学の関係各位に心から謝意を表明する。

I. 水質汚濁の調査、判定の方法

水の汚れを調査する方法は大別すると水の化学的性状を調査する方法と生物学的水質判定法になる。COD, BODの観測などは化学的方法であり、大腸菌の調査は公衆衛生学的見地による広義生物学的方法の一つである。後述する通り、欧米諸国では生物学的方法についても市民教育がされているが、日本では、こうした試みは一部の市民運動とか、思いついたように、小学生や中学生の課外活動的にされているのが実情で、決して十分に市民化はしていない。行政官庁の行う水質判定もまた化学的方法が主である。確かに、毎年行政官庁からは水質分析の結果も公表されているが、ppmという単位が、具体的に何を、どの程度意味するものなのか、測定値をみても一般市民の脳裡に、汚れの実態が浮かび上がることはないはずである。恩藤の個人的経験であるが、かつて山口県の小学生が水の学習の発展として夏休みの自由研究に水の汚れを取り上げ生物学的水質判定を行い、勝れた研究成果をあげた事実がある。水生昆虫については私は若干の助言と指導を、ほんの2～3回行っただけであった。こうしてみると、生物学的方法は、少し習熟すると市民レベルで実施することも可能であると考えられる。

A. 生物学的水質調査法

この方法の開発はドイツのKolkwitzとMarssonによるが、彼等は既に1906～1909に具体的に論文として公表し¹⁰⁾、1935、1950年には実践結果により学術的に意義のある方法として体系化している⁹⁾。故津田松苗博士は元来淡水生物学者であり、水生昆虫分類学の権威であったが、この方法の意義と価値を高く評価し、日本の河川、湖沼等について、汚水生物系列の研究を行い、水生昆虫を指標種とする水質の生物学的水質判定法を確立した人である。氏の、この分野に関する学識を最もよく示すものは、その著書『汚水生物学』である¹¹⁾。近年、森下郁子はNHKブックス290『川の健康診断』を出版しているが¹⁴⁾、森下は博士の門下生の一人であり、津田の判定法を具体的に解説し、水の汚れを判定する適切な方法であることを力説している。しかし、森下の、この著書に登場する水生昆虫などは、非常に普通な動物でありながら、多くの市民にとっては、そんな昆虫の幼虫などが川にいるのかという印象を与えることが多いはずである。試みに国外に眼を転じてみると、明白に児童～中学校生徒用として出版された自然観察のテキスト・ブックには極めて普通に水生昆虫が身近な生物として取りあげられている。英米では、これが普通のことである。著者達の手もとには、Irne Finch (1973) *Town & Country, Pond Animals*⁹⁾があるが、これなどは、この最も代表的な1例である。日本でいえば高校生用の同種の出版物であるMacan, T (1959) の“A Guide to Fresh Water Invertebrate Animals”¹²⁾などは生徒の手で自主学習可能なように工夫された、それでいて学術的にも正確な勝れた啓蒙書である。Macan自身の言葉によれば、この本は中学校レベルの本だとしている。これらの出版物、とくにFinchの場合は、個々の動物の行動習性とか外部形態の特色などが児童にも理解できる例えばアメンボなどはPond skaterとして紹介してあり、泳ぐときに使用する脚がボートのオールのような形であれば、boatmanという形容をするなど非常に親しみのもてる説明がされている。私達は、そこに正しい意味での伝統的なNature Studyのあり方が今日に

活用されていることを学ぶ必要がある。生物学の教育により生物についての教育をという思想が底流にあることをみせつけられる。日本の場合は、私見としては生物学の教育ではあっても生物の教育ではないし、物理学の教育ではあるが物理の教育として成り立っているのだろうかとか改めて考えたい。短期大学の女子学生に接してみると失礼だが、こうもいいたい。少なくとも直接経験に乏しいですむ問題ではなさそうである。

B. 水生昆虫とは、指標種とは

水生昆虫という言葉は昆虫の1つのグループを示す分類学上の言葉ではない。生活史の全部、あるいはその一部を水中で生活する昆虫の総称である。昆虫の全種属の数からいえば、水中や水面で生活しているものは陸上で生活するものに比較するとほんの僅かである。ごく少数の海水中に生活するもの以外は、すべて河川や湖沼といった陸水で生涯の一部、たとえば幼虫や蛹の時代とか若虫の時代を過ごす昆虫のことを水生昆虫とよんでいる。昆虫は動物界で最も種類数の多い動物であるが、分類学でいう目のレベルでみると、昆虫に属する全部の目のなかで、水生生活をするものは13目である。アメンボ、ミズスマシ、ゲンゴロウ、トンボの幼虫で一般にはヤゴとよばれているものなどは身近な例であるが、ホタルの幼虫も水生生活者である。水生昆虫のなかには幼虫も成虫も水中に生息するものとして半翅目(マツモムシ科、タイコウチ科、アメンボ科など)と鞘翅目(甲虫目ともいう。ゲンゴロウ科、ミズスマシ科など)がある。ホタルは鞘翅目の昆虫だが成虫は陸生である。水生生活をする13目の昆虫のなかで、これら以外の目に属する昆虫は幼虫、あるいは幼虫と蛹の時代は水中、成虫は陸上で生活する。蜉蝣目(カゲロウ目)、襜翅目(カワゲラ目)、蜻蛉目(トンボ目)などは幼虫時代を水中で過ごし蛹にはならず直接成虫になる昆虫である。幼虫~蛹~成虫という完全変態をする昆虫で幼虫と蛹の時代を水中で過ごすのは、膜翅目、双翅目、広翅目、毛翅目(トビケラ目)の昆虫である。つまり水生昆虫とよばれている昆虫には幼虫と蛹のときを水中で過ごし成虫は陸上という完全変態の昆虫、幼虫と若虫のとき水中生活、成虫は陸上という不完全変態の昆虫、幼虫から成虫までの生涯を水中とか水面で過ごす昆虫という3通りがある。従って、幼虫時代は陸上で生活し、成虫は水面、水中で生活する昆虫は水生昆虫としては扱っていない。まとめてみると成虫以外の時代を水中や水面で過ごす昆虫が主体であり、しかも幼虫、若虫と蛹ということになる。一般の人には幼虫と若虫が水の汚れを調べるために役立つ動物ということになる。進化の歩みから水生昆虫をみると、陸上生活であったものが二次的に水中生活をするようになったわけであるから、呼吸の方法も実に多様な適応のしかたである。幼虫、若虫が水中で正常に生活できる水であれば汚れは問題にならないが、少しでも異状があれば、生理的調節の幅の狭い幼虫や若虫の生存は危ういことになる。Kolkwitz, Marsson¹⁰⁾、津田¹⁷⁾などの生物学的水質判定法発想の原点は、ここにあったといえよう。生態学でいう生物測器(Biometer)として水生昆虫を使い、汚れの程度を判定する目安の動物、つまり指標種(Indicator species)として、いくつかの種類を使うことになる。動物分類学では水生昆虫と称せられるものは13目に及ぶ昆虫のグループである。この中で採集も観察も容易で、目ごとの種類数も多く、汚れの程度によって生息している種類も違うのはカゲロウ目やトビケラ目の昆虫であり、目のレベルで判定するとすれば、カワゲラ目、トンボ目、広翅目(ヘビトンボのなかま)なども使用することができる。目レベルであれば小学校高学年児童でも、少しなれると十分に、どの目の昆虫であるかを見分けることもできる。正式な分類学的見分け方(同定方法)による市民レベルでの分類については、少し後にまとめてみよう。中学生以上の場合は科レベルでの分類は十分に習得す

ることができよう。水生昆虫が指標種として使用されているのは、こうした理由のほかに、これらの昆虫の幼虫や若虫の時代は陸上生活をする他の昆虫の多くとは違い幼虫などの期間が非常に長く1年中、どの季節にも生息している種が非常に多いという点も指標種として選定されている大きい理由の一つであり、魚類などのように移動することも少ないという利点もある。

C. 川の流域区分と川の構造単位形態

水の汚れを判定する生物として水生昆虫を用いる理由は以上の通りであるが、川のどこで調査、観察すればよいのかということになる。日常会話で上流、中流、下流と川上から川下へと川を区分するが、これはもともと地形学上の区分が一般化された言葉である。地形学での定義は詳細なものであるが、一読して上流とか中流の実際を文字だけで連想することは、川の原流から下流までの全流路を自分の眼と足で確かめた人でないと困難なことである。川上が上流だよという程度の理解に終わってしまう。たとえば一級河川の流域に生活している人達に、あなたの家の近くを流れている川は、この川の上流ですか、中流ですかときくと、さて、どう返事しようかということになるのが普通である。私達は未経験の川を調査するとき、以下のような作業を進めて、川の区分をしている。

市販されている国土地理院発行の1/25000の地図(地形図)を購入し、目的とする川の全流路、つまり原流から河口までの流路(川の長さ)を地図上でもとめる。次に、この地図には海拔高度を示す曲線が記入されているから*、この曲線が川を横切る地点を地図上にもとめ、海拔高度Xmという値を記録する。この作業を面倒でも入念に繰り返す。こうした作業による記録をもとにして、海拔高度を縦軸に、原流の最初の地点から先にのべた地図上の記録点までの流路(距離)を横軸にとってグラフ化してみると、川の縦断面図をもとめることができる。この場合、横軸の目盛りのとり方を縦軸よりも思い切り大きくすると川の流れ、つまり川床の傾き(川床勾配)が非常に明瞭なグラフになる。図1は、私達が行った(1955)鳥取県東部千代川水系の縦断面図である¹⁵⁾。この図から、原流から下流へという流路のなかで

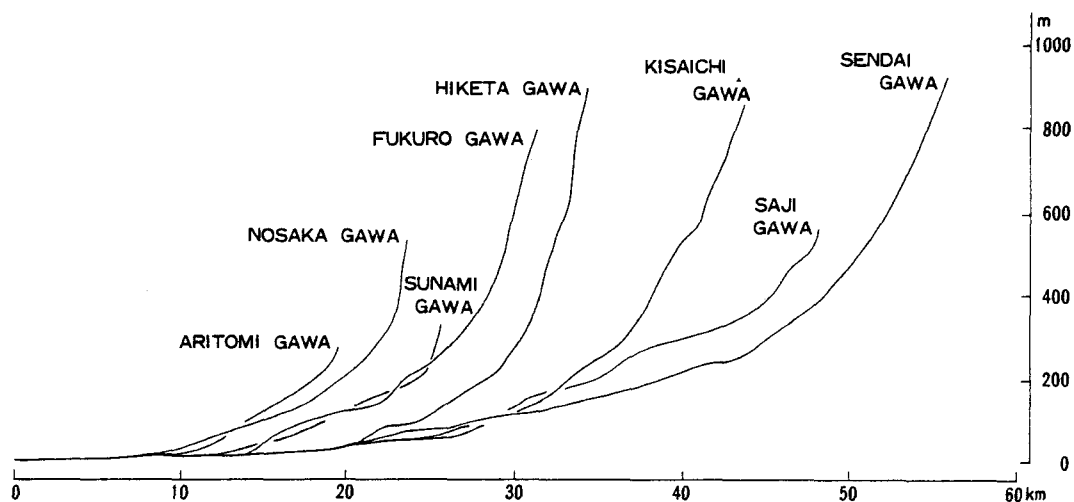


図1 千代川水系河床勾配図(恩藤, 1980より)

* 等高線という

上流, 中流, 下流はどこかを見当もつく。川に早瀬, 淵と平瀬のあることを釣人は知っている。これに着目して川の形態区分を完成したのは可児藤吉 (1908~1944) である*。氏の業績は死後友人により思索社から『可児藤吉全集・全1巻』として刊行されている⁷⁾。氏は水生昆虫の生態学的研究開拓者として, 日本だけでなく国際的にも著名の人であり, 故川村多実二教授**と共に余りにもよく知られた人である。

可児 (1944) は, 川の構造単位形態を瀬 (A) と淵 (B) にもとめ, 白波をたてて滝のように淵に流れこむ瀬を a, 早瀬のまま淵に流れこむ例を b, 平瀬を c として, Aa, Bb, Bc という独自の区分を提唱している。この区分は地形学でいう上流が Aa, 中流は Bb で, 下流は Bc というように誠によく適合する区分である。

図1には先へのべた川の縦断面図の1例を鳥取県千代川本流の例 (恩藤, 1980) により示した。図2には可児 (1944) の原図を使用⁶⁾, 別に恩藤が解説用に作図した。図の通り Aa~Bb という移り変わりは, 山地溪流の場合は極めて普通に認められることであり, 可児 (1944) も, このことを明白に指摘している⁶⁾。

図の通り上流は白波をたてて流れる早瀬が勢いよく小さな滝の形で淵に流れこむという構造が連続して繰り返される Aa 型であり, 中流は早瀬が淵に流れこみ, 淵から流れのゆるやかな瀬に移り, 次に早瀬に転じて下流の淵に流れこむという構造が繰り返される Bb 型, 下流は中流にみる早瀬は姿を消し, 平瀬と淵が連続する Bc 型になることを示した図である。可児は Aa 型の淵を落ちこみ型の淵として中流以下の淵と区別している。平易な表現をすると滝壺のような淵と考えて欲しい。ただし, 図2の通り Aa 型から直ちに Bb 型へ移るのではなく移行的な構造の水域は当然のこととして観察される。また, 図の通り中流になると川の流れが湾曲する部分, 別に攻撃面ともいうが, この部分の内側に必ず氾濫河原が観察される。この状況は中流の下部では非常によくわかる事実である。さらに川に中州のあることも事実だが, 中州は下流域に認められる構造である。可児は原流については図示していない。可児の類型区分を例に

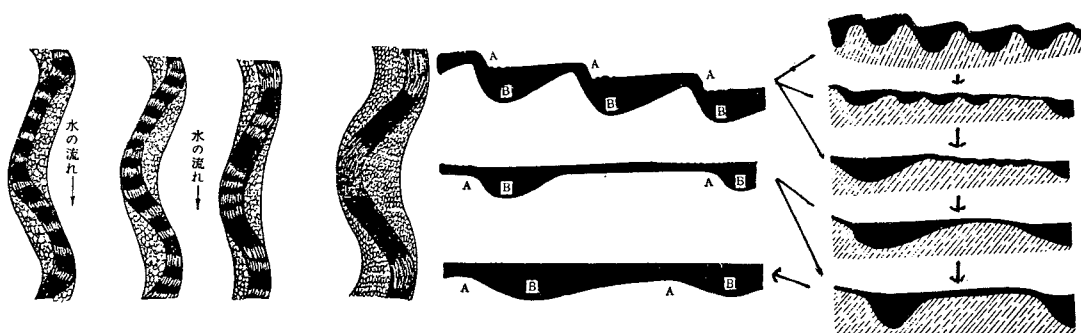


図2 瀬および淵の形態模式図と瀬および淵の分布様式

(可児藤吉全集全1巻, 1970, 思索社より少し変更編成して引用)

Aは瀬, Bは淵, 図の左より右へ上流から中流へと移る。

■淵, ≡瀬を示す (可児, 1970より少し改変し引用)

* 現岡山県勝央町勝間田の出身, 旧津山中, 浪速高校, 京都帝大卒, 1944年マリアナ島方面で戦死, すみわけ理論他の提唱者として著名
** 津山市出身, 東大理学部卒, 生前, 京都帝大教授として動物生態学, 淡水生物学分野に多くの業績を残し, 日本生態学創立者の一人として著名。1964年死去。

とれば上流Aa型のaの部分でなく構造である。水深も浅く川底には大小の転石があり、流れも早く水の流れているところの幅(流れ幅)も1mをこすことは通常ない。一般の方には山の小さな溪流の景観を連想していただきたい。中国山地であると、山陰側では典型的な原流域がV字型峡谷の上流にあるが、山陽側ではVの底は少し広い。米国では、こうした解説もNature Study Soc.からJ. W. Brainerd (1971)のハンドブック²⁾にでていいる。この本は小・中学生用の自然観察指導のテキストである。日本では、この種の出版物が少ない。峡谷の横断面はVから次第にU字型に変わり、中流域では典型的なU字型となり、河岸段丘が観察される。谷の中央部分には川の流れるようになる。地形学でいう上流とか中流という流域の実態は、このような景観である。可見のいうAa, Bb型の水域は山地溪流、山地流では、ごく普通に観察されるかと考える。以上のことから川としての基本的な構造の単位である早瀬、洄と平瀬をもっている水域は典型的な中流域であるといつてよい。これで自分が住んでいる地域(生活圏)を流れている川が、どのような構造の川であるかを判断することができる。先に述べた自作の川の縦断面図をもって原流から下流へと川沿いに移動しながらAa型の場所は、Bb型のところはという探検をする。私達が普通にステーションとよんでいるところは、こうして選定した調査、観察の場所である。地域の人にとって上流から下流へと調査することは、現実には不可能なことである。自分の生活圏にある川という水域がAaであれBbであることも、それは多様である。しかし、Aa型、Bb型、Bc型の水域には、それらの環境に適した水生昆虫が息している。なかには、AaにもBbにも個体数に差はあつても生活する水生昆虫もある。生活を維持するためには、流れる水に押しながされないように体を支える支持環境と生命を保つためには体内での物質代謝が正常であることが最小限必要である。つまり物質代謝を維持するための代謝環境が適切な状態であることが要求される。わかりやすくいえば川底の状態や水の物理化学的な性質と状態が生きて生活するのに相応しいものでなければならない。水質とよばれる水の物理化学的な性質については、加納・板野・嶋田によって解明されるので割愛するが、支持環境について、次にのべてみよう。

D. 支持環境としての川床の構造

支持環境、別の言い方をすると川床の底質である。底質は岩のことも、石・礫・砂・泥であることもある。川床を構成する材料により底質は変わる。上流域は変化が甚だしく、同一材料で川床が構成されていることはなく、石と礫が混ざっていたり、礫と砂が混ざっていたり、石・礫・砂の混合だったり多様である。一般的にいえば集水地域の表土が川床材料を提供する。模式的には基岩—岩塊—礫—砂利—砂—粘土と風化するが、岡山県下のように花崗岩が基岩である地域では基岩—岩塊—砂、基岩—砂という過程をとることが通例である。岩石学や地質学を専攻した人でないと、川床の転堆石を確実に見分けることは困難なことが多いが、川床構成材料のうちで、どの材料を底にとどめるかということは、その地点の流速が決定する。従つて、川の落差とか勾配が大きいほど流速は大であるから、川岸は侵蝕し、川底も洗われやすく、土砂も運ばれやすい。こうした水の運搬力は上流部で大きく、下流部では小さい。学術的には、流水が運ぶことのできる石の直径は流速の2乗に比例し、体積は流速の6乗に比例するとされている。従つて流水の流速と川床構成材料の間には深い関係が成り立つわけである。たとえば、泥や細砂は0.15m/sec., 砂は0.30m/sec., 粗砂は0.50~0.60m/sec.という値が得られている。つまり川床が砂で構成されておれば毎秒0.25~0.30mという速さで、観察したときまでの一定期間流れては流れていたことになる。この値以上になると砂であった川床は別の状態に変わるわけである。砂は流されて

も上流から運ばれてきた大きい転石が川床に堆積することになる。しかし、この水域の流速が再びもとの速さになると、この石の間に砂が堆積する状態になり、こうした川床状態を私達は自分の眼で観察しているのである。支持環境としての川床の構造が、このように変化すると生物相もまた当然のように変わることになる。水の汚れを生物学的に判定する指標種である水生昆虫の生活と種類相は、こうしてみると、川床が、どのような構成であるかによって非常に違うことになる。支持環境の状態によって変わるわけである。川床が不安定で変わりやすいところでは観察や調査のつど種類相に変化があることから汚れが、どうであったかを適切にまとめることも困難になる。しかし、よく考えてみると先に紹介した Irne Finch の著書で平易に解説した通り³⁾、学術的には津田（1962）が述べているように水生昆虫という昆虫のグループは池、湖、小川の淀みのように水が余り流れないというか静水にも生息しているが、流水にすむ種類は川床の砂、礫、石とかゴミや落葉などが堆積している場所にも生息している¹⁰⁾。川床に大小の石が積み重なり、その下とか石と石の間に砂や小さな礫が堆積しておれば、そこに、それぞれの環境に適した種類の水生昆虫が生活している。砂が堆積する程度の流速であれば石と石の間にゴミも流下物もたまる。川床が、どのような材料によって構成されているかに着目したのも先に紹介した可児である⁹⁾。可児は、次のように述べている。「川底の状態——川底をつくる材料が石であるか、砂であるか、または泥か、石である場合にはその大きさ、その配列状態等——は構成単位の部分によって違っているが、構成単位ごとに一定の状態がくりかえされているのである。中略。平瀬から早瀬となるにつれて、次第に、荒ら砂——小石——最大15cm内外の石となってくる。配列状態は、（中略）早瀬に近づくにつれて2重にも3重にもごろごろとかさなりあってくる。（中略）平瀬になるとほとんど全部の小石の下の方が、細砂や荒ら砂のなかに埋れている」として早瀬の石の状態を川漁をする人達の用語である「浮き石」、平瀬の場合を「はまり石」として区別している。私達ははまり石のとき可児のいう「下の方が……埋れている」の埋れ方で「はんはまり石」と「はまり石」に区別している。「はんはまり石」とは石の半分以上が砂などの上に出ている程度のことであると考えて下さると幸いである。この可児がまとめた川底における石の配列状態は非常に適切で具体的な区分であり、流水にすむ昆虫の生活に大きい意義をもっている。川底の石の配列状態と水の汚れと、なんの因果関係があるのか、研究者の物好きな考えと思われるかも知れない。水の汚れとは水質の変化だと直ぐ考えるのは、私達からみると、非常に素朴すぎる発想である。泥水と清冽な水を同時に眼の前に並べると、泥水をきれいだという人はないはずである。泥水は土の細かい粒が水中に漂っている（懸濁）している状態であるから、やがて泥の粒は底に沈澱する。もとは可児のいう「浮き石」であっても「はまり石」に変わってしまう。淡水の魚類をはじめ水生昆虫にも川底の石の表面に付着して生育する藻類を食物とする動物は非常に多い。石の表面が泥で覆われると藻類は生育しなくなる。生態学でいう川での生物生産の基礎が破壊されることになる。これでは川が本来もっていた水の浄化能力（自浄作用）も激減する。こうした事実からすれば川底の石の状態を調べることも重要な作業であることがわかると思う。引用した可児の見解は自然状態の川の川底が本来は、どのような状態であるかを率直に示す重要な発言なのである。

II. 野外調査としての水質調査の具体的な内容

川の構造、わかりやすくいえば構成といったほうがよいかと考えるが、これらのことや水生昆虫についての説明は、とりあえずこの程度にとめておきたい。次に、実際の観察とか調査について触れてみよう

う。

(1) 服装について：活動しやすい服装であること。水の中に裸足で入らないこと。私達は釣具店で胴長というゴム製の長靴を使うが、深い長靴がよい。水田の除草作業などに使う長靴もよい。これらが無いときは地下足袋、ズックの運動靴でもよいが、これらを履いて川に入るのが安全である。動物を採集するときは洗濯用の長いゴム手袋が特に冬は便利である。夏は簿手の布製の手袋を使ってもよい。軍手を使うときは指先のところだけ切りとって使用する。

(2) 持ち物：観察にはルーペ（虫眼鏡）を使うが、倍率は5倍位のものでよい。最近ではガラスのレンズでないルーペがある。使ってみると便利である。一般の人には市販の柄付きのルーペを水生昆虫の観察には勧める。よく川の中に落としたり、川原に置き忘れる人もあるからルーペの柄に必ず赤い紐を結びつけて首からかけるようにしておくことと水の中に落としても見つけやすい。地図は1/25000の地形図、市町村役場に話してみると1/10000～1/3000の地形図を譲って下さることも多い。これがあると非常に便利である。私達は、この他に、いつも救急用具として、ハサミ、ピンセット、脱脂綿、1m包のガーゼ、包帯1巻き、カットバン、リバノール、その他を小さな袋に入れて持っている。雑用具としては白色のビニールの風呂敷、新聞紙、木綿の日本手拭、タオルと簡単な雨具も持参しているが、万一大きい怪我（傷）のときタオルは止血用には不適切で日本手拭かさらし木綿のほうが有効だからである。川の流れが速くて心配なときもあるので綿ロープを用意しておくことと便利である。これは山地溪流などで川を渡るとき安全性を保つのに役立つし、流速測定にも使う。2m位の長さでよい。

(3) 計測と記録用具：計測には水深などの測定に折尺、石の直径などの測定に巻尺を使う。水温の観測には0.5°C目盛りのアルコール棒状温度計を使うが理科実験用は長すぎて携帯には不便だし、破損しやすい。恩藤は鎖のついたケース付の“ふりまわし温度計”を愛用している。鎖付だから川底も浅いところは水温測定ができるし、ふりまわすことで気温も正確に測定することができる。動物の個体数は数取器を使っている。水生昆虫の重量を野外で測定はしていないが、野外でなにもないときは、1円玉1個は1g、100円玉は5gと定めているので、これを利用し竿ばかりの原理を利用して中型の動物だと重量測定をすることもある。長さなどは、マッチ箱、タバコの箱、定期入れなどを利用することもある。野外で魚の体長など測定できぬときは、こうしたものを魚の傍らに平行して並べて写真をとることでも大いに役にたつ。先にロープをあげたが、これにも1mごとに赤い紐で印をつけておくことと色々なことに利用することができる。記録には2Bの鉛筆と小型の手帳を用意する。この手帳は測量用に使うものを、測量器具を売っている店でもとめると非常に便利である。この手帳にはグラフもかける。小さな動物の体長も大体のことは測定できるからである。2Bの鉛筆の先は鋭角に削らず鈍角にするのが便利である。またノートにも鉛筆にも、面倒くさがらないで、赤い紐をつけておくことと大変便利で紐の長さも首からかけられる程度の長さがよい。ポケットの多い上衣、作業用のズボンなどは野外調査には便利である。鉛筆の長さだって10cm位のものが最も便利である。これまでの体験から以上のように解説しておく。最近では野外観察の手引きのような出版物も多い。これを参考に色々工夫する必要がある。日本自然保護協会編(1984)『自然観察ハンドブック』思索社、金田、平ほか(1977)『野外観察の手びき』東洋館出版社などは上述した手引き書の例である。

(4) 指標生物としての水生昆虫の観察、採集標本の保存などについて

肉眼で水中の動物を観察するには漁に使う箱眼鏡（のぞき）が便利だが、馴れないと見分けは困難である。幼虫、若虫などを直接採集して観察するのがよい。日浦(1975)⁴⁾久居(1987)¹¹⁾などが述べている

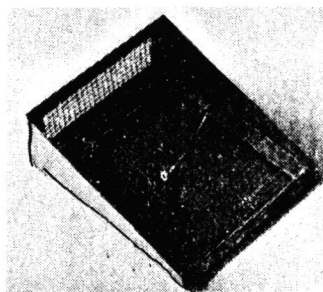


図3 津田（1962）のチリトリ型採集器

のは津田（1962）を参考にしたものである。津田は図3のようなチリトリ型採集器を使っている。これは自作品で市販品ではない。一般には金網のザルを使うが、川底の石を持ちあげるとき流水で昆虫は流失するので、図3に近い型のものを探して使っている。同時に、この採集器を置いた直下に網目1mmの柄付き網を設置すると流失する昆虫も殆ど採集することができるから、2人1組で1人は川底の石をザルに移し、残る人は全部の石をザルに移すまで網を支えておればよい。これで、少なくとも50cm×50cmの面積内の昆虫は、ほぼもれなく採集できる。あとは陸上で丹念にザルと網の中の昆虫をピンセットで採集する。乱暴な扱いをすると昆虫の見分けに必要な構造がこわれるので気をつけねばならない。カゲロウなどは特に留意が肝要である。採集場所で観察するには、タッパーなどの少し大型の容器が便利であるが、スーパーの苺売場などのプラスチックケースでもよい。工夫すれば身近な容器が、いくらでもある。こうした容器を数個以上用意し、カゲロウ、カワゲラ、トビケラ、その他というように分けて入れると個体数も調べやすく、観察もしやすい。欲をいえば、携帯用の、キャンプなどに使う小さい机があれば非常に観察しやすい。一般の人では、分類学という科までの分類は、少しなれると、それほど重大な誤りはしない程度に分けることができる。しかし、念のため専門の人に分類してもらうことも入用であるから、自信のない標本などは70%アルコールを入れたポリ瓶に入れて、固定保存すればよい。大切なことは、いつ、どこで、どのような方法で採集をしたかを記録として残し、瓶の中にも鉛筆で記入した小さい紙をいれておく。消毒用アルコールは便利でホルマリンは水中生物を分類する手がかりになる体のつくりを酸性が強いために、つくりを壊しやすく、正確な固定困難になるためさける。市民レベルでは必ずしも種の同定は必要ではない。それよりも標本を専門の人に同定してもらうのが賢明である。従って、いつ、どこで、誰が、どのような状況の川でとったかという記録を正確に残すことが大切である。水温、底質、流速などの記録も同じように必要な情報である。次に、小学校の児童、中学生などの野外学習のことも考え、少し補足しておく。

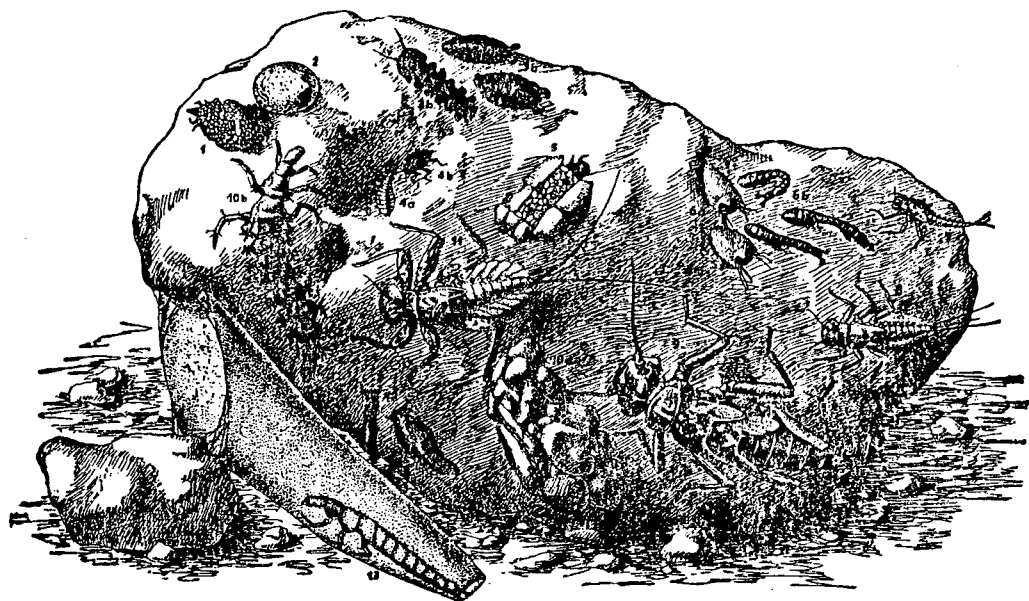
昔から標本をつくることに熱心であるが、各地の学校を訪れてみると折角の標本が埃をかぶっていたり、液浸標本が乾物になっていたりという例も多い。自然誌研究の資料なのだが、これでは意味がない。水生昆虫などは、むしろ採集した場所で、じっくりと観察するのが基本で、終われば再び水にもどるのが本当の指導である。飼育など専門の学者ですら技術を要する。山村の小さな清冽な溪流であれば、同じ場所で繰り返し観察学習を行うのが正しい生物教育である。生物は生活している状態で学習してこそ本来の教育的意義がある。本とか視聴覚教材は、どう考えても実物とは別である。短大を含めて恩藤は45年をこす教職経験から以上のように進言する。文字や図だけ、映像に偏した教育では生活している生

物の本当の現実はわからない。残念なことに言葉としての物知りではあるが、自然の実際は知らない児童、生徒と学生の実態という他はない。共著者の山根は年長5歳児の園外保育で興味深く観察し、水生昆虫を手にして飽くこともなかったと保育者としての感想を語っている。恐縮だが再考を求めたい。また観察指導をしてみると、ルーペの使い方も訓練不足である。教育には訓練は不可欠であるが、これも等閑視されている。観察の指導に道具の正しい使用法は必要であり、そこに訓練の教育的意義がある。観察や採集などについての一般的なことがらは以上の通りである。

III. 生物学的水質判定法の要点

生物学的水質判定の指標種に水生昆虫を使うのは種類数と生態密度*が大で、観察、採集も容易で肉眼で科レベルでの識別ができるだけでなく、同じ科の種類であっても水質の差に応じた生息分布を示すことが評価されているためである。森下(1978)が解説した方法¹⁴⁾はBeck(1955)の方法に津田(1960, 1961)が手を加えたBeck-Tsuda法をもとにした方法である¹⁷⁾。津田は水の汚れに耐えない種を非耐忍種(A)、耐える種(B)と水生昆虫を分け、石礫底の瀬に置いた50cm×50cmの枠内で採集した水生昆虫について、これをAとBにわけて、各々の種類数を記録し、2A+Bの値を汚濁指数biotic indexとして使っている。この値が大きいほど水は清冽で、逆に小さいほど水は汚れているわけである。水が清冽であれば種類数も多く、種類相も多様であり、汚れてくると貧弱になるのが一般的な事実である。津田が提唱しているのは瀬の水生昆虫であるから流水に生活する種類が調査、観察の対象にされているのであって、水の淀む止水域での水質判定ではない。流水域に生活する水生昆虫として、先にのべた指標種としての条件を満足する種類は、ほとんどの襍翅目(カワゲラ目)、カワカゲロウ科、コカゲロウ科の1部を除く蜉蝣目(カゲロウ目)、脈翅目のヘビトンボ科、毛翅目(トビケラ目)のトビケラ科とエグリトビケラ科の1部を除く種類、鞘翅目のドロマシ科、双翅目のアミカ科などの水生昆虫は非耐忍種なのである。双翅目のユスリカ科の種類は種の同定に専門的な技能を必要とするが、赤味を帯びているものは耐忍種、緑色のものは非耐忍種である。以上は非常におおまかな区分であって、実際には森下(1978)が解説した通りに細かい分け方が必要である。この区分の基本は水の汚れを、わが国の場合も、Kolkwitz以来の強腐水性polysaprobic、 α -中腐水性 α -mesosaprobic、 β -中腐水性 β -mesosaprobic、貧腐水性oligosaprobicに分ける方法がとられている。森下(1977)のいう階級Iは貧腐水性、階級IIは α と β の中腐水性、階級IIIは強腐水性にそれぞれ相当する。これらの各水質水域の指標種として後述する水生昆虫が示されているが、ある特定の種が特定水質の水域に限って生息することは非常に少なく貧腐水(os)から β -中腐水(β ms)にかけて生息するというような生息分布を示すことが多い。いまひとつは、上流、中流、下流という水域区分でみると、上流だけに生息するというように、実は、生態学的にみれば、カゲロウなどでは明瞭なすみわけをする種類も多く、水質汚濁があれば、こうした事実は成立しない。これらの事実は心得ておく必要もある。以上のような前置きをしておき、次に水生昆虫の見分け方(同定)について、指標種を主体に解説してみよう。

* 密度とは一定面積あたりの個体数のことであるが、生態密度とは、棲息場所で採集した面積あたりの個体数のことを指す用語である。



1. ヤマトビケラ (毛翅目) 幼虫, 2. カワコザラ (貝類), 3. アミカ (双翅目), a. 蛹, b. 幼虫, 4. エルミス (鞘翅目), a. 幼虫, b. 成虫, 5. ニンギョウトビケラ (毛翅目) 幼虫, a. 幼虫, b. 成虫, 6. ブユ (双翅目), a. 蛹, b. 幼虫, 7. コカゲロウ (蜉蝣目) 幼虫, 8. ヘブタゲニア科 (蜉蝣目) 幼虫, 9. カワゲラ (襜翅目) 幼虫, 10. ナガレトビケラ (毛翅目), a. 蛹の巢室, b. 幼虫, 11. ヘブタゲニア科 (蜉蝣目) 幼虫, 12. プラナリア (渦虫類), 13. カウトビケラ (毛翅目) 幼虫. (Ruttner, 1953).

図4 溪流の石面に付着する動物 (主として昆虫) の例 (津田, 1962より)

表1 生物による水の汚れの判定基準 (恩藤, 1980より)

提 唱 者	水野信彦 (1975) 準じた	森下郁子 (1977) 引用	森下郁子 (1977) 引用
生物学的水質階級	魚 類	水 生 昆 虫	甲殻類・貝類・その他
貧腐水性水域	フナ, オイカワ, ヤリタナゴ, ウグイ, ムギツク, シマドジョウ, ヨシノボリ, カジカ	ナガレトビケラ, ヒラタケカゲロウ, ヒゲナガカワトビケラ, ユスリカ (白)	カワニナ, ザリガニ, ヨコエビ
β 中腐水性水域	フナ, コイ, オイカワ, ヤリタナゴ, タモロコ, カマツカシマドジョウ, ウキゴリ, ヨシノボリ	コガタシマトビケラ, ヒメカゲロウ, ヒラタドロムシ, ユスリカ (青)	マルタニシ, モノアラガイ, カワニナ, スジエビ, プラナリア
α 中腐水性水域	フナ, ナマズ, コイ, オイカワ, カマツカ, ウキゴリ, ヨシノボリ	シオカラトンボ, ユスリカ (褐)	ヒメタニシ, ヒメモノアラガイ, ドブガイ, アメリカザリガニ, ミズムシ
強腐水性水域	フナ, ナマズ, コイ, オイカワ, カマツカ, ウキゴリ, ヨシノボリ	チョウバエ, ハナアブユスリカ (赤)	サカマキガイ, イトミミズ

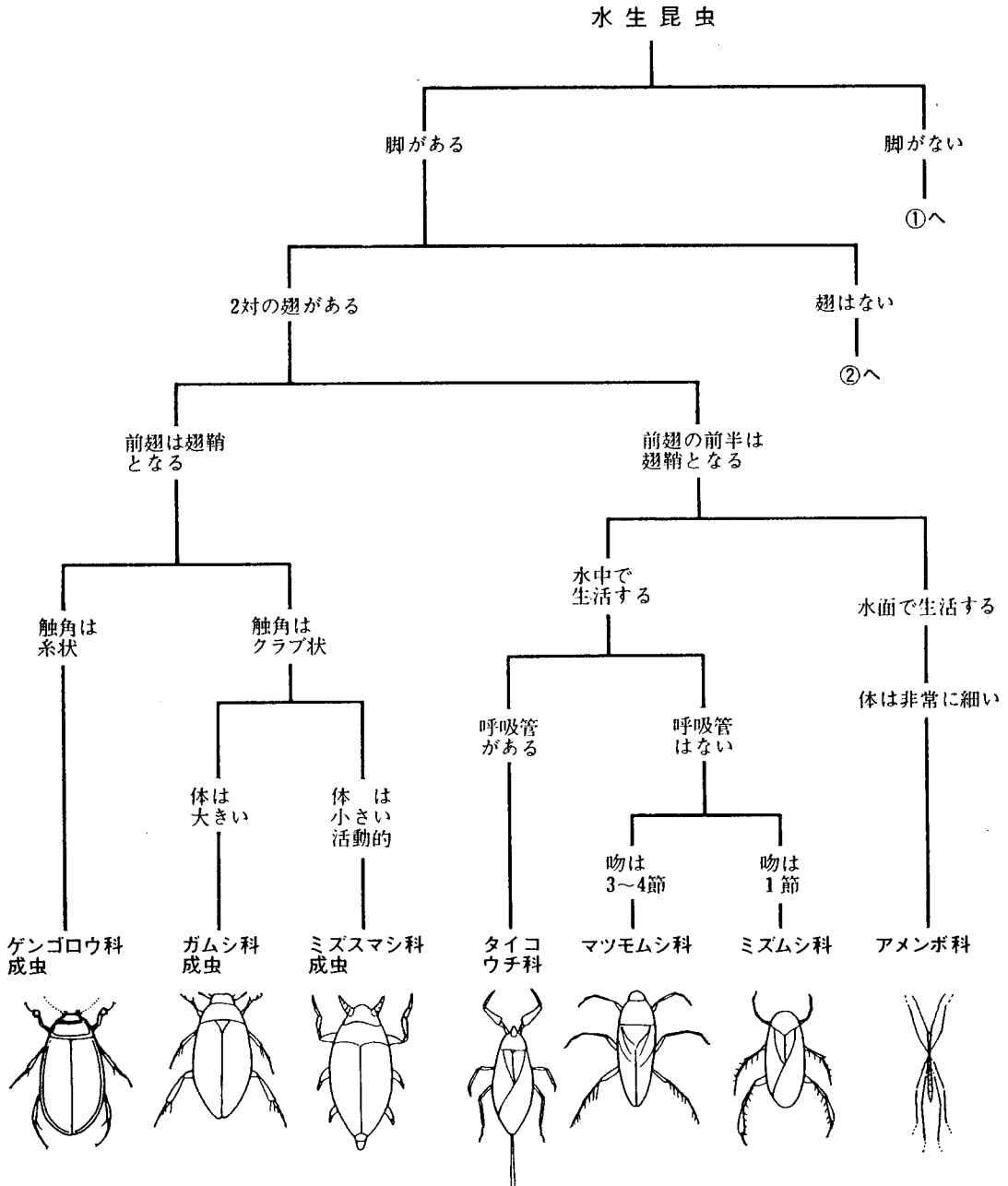
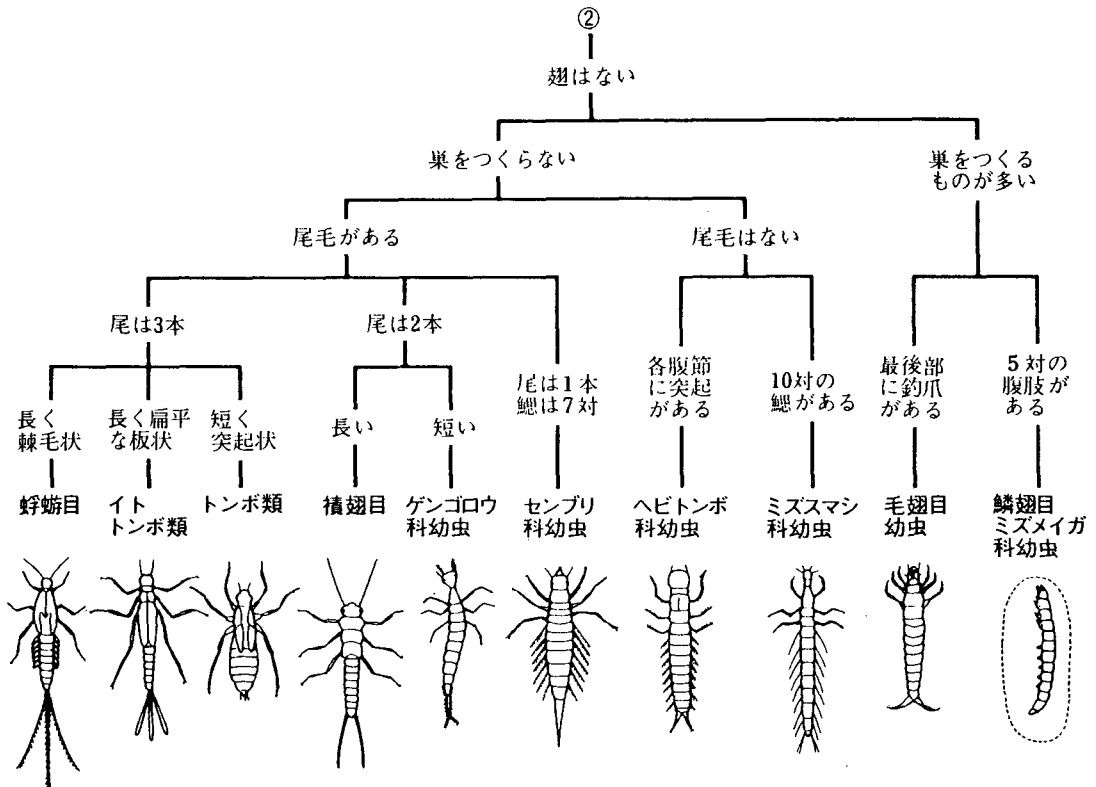
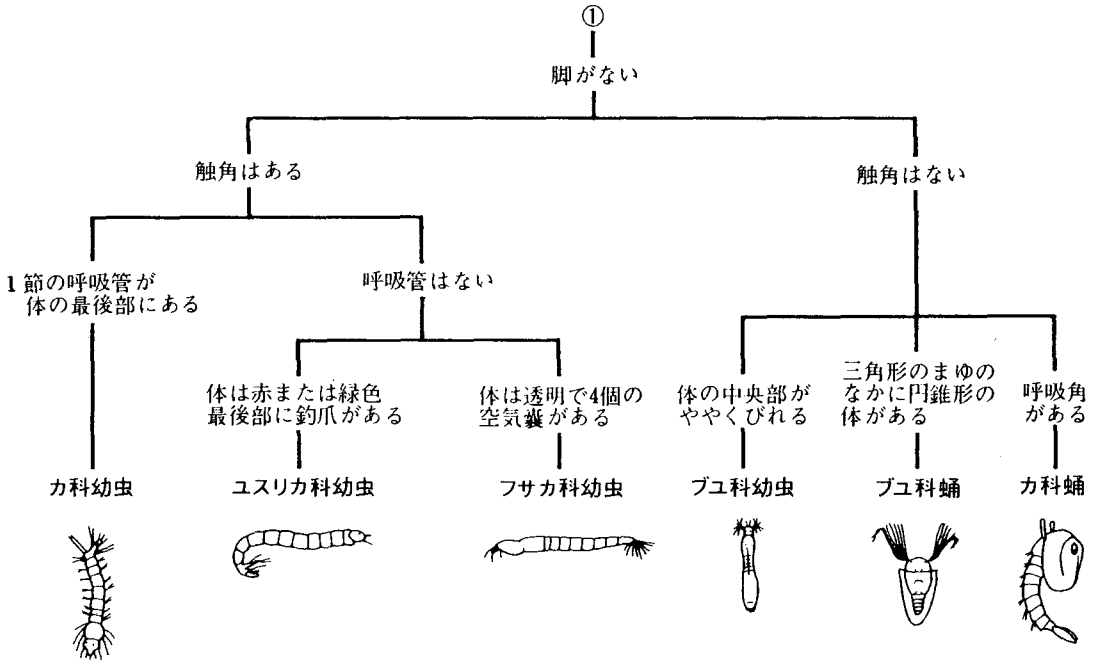


図5 水生昆虫識別検索図 (川合, 1985より引用)



IV. 生物測器としての指標種について

津田 (1964) によると, osではカワゲラ目のトワダカワゲラ*, ノギカワゲラ^x, モンカワゲラが, カゲロウ目ではウエノヒラタカゲロウ, ユミモンヒラタカゲロウ, クロタニガワカゲロウ, モンカゲロウ, マダラカゲロウなどがあげられており, os~βmsではオオクラカケカワゲラ, エルモンヒラタカゲロウ, シロタニガワカゲロウ, コカゲロウなどが指標種にされている。トビケラ目ではosでトワダナガレトビケラ*, クレメンズナガレトビケラ^x, ムナグロナガレトビケラ, ヒロアタマナガレトビケラ, クロツツトビケラ^x, キタガミトビケラを, os~βmsでヒゲナガカワトビケラ, チャバネヒゲナガカワトビケラ, ウルマーシマトビケラ, ニンギョウトビケラがあげられており, コガタシマトビケラはβmsが主生息水域であるがosにも生息するとしており, 双翅目アミカ科の水生昆虫もosの指標種としている。(その他は省略した)。一般の人にも通用する観点からすれば上流, 中流, 下流という水域区分別に汚れの系列 os~βms~αms~ps (強腐水性) の各水域で, どのような種類が生息しているのかという説明が, より理解しやすいと考える。私達が高梁川本流で調査した結果を例にとると, 上記した津田の例は次の通りになる。ここでは, 津田や森下のいう指標種が一般性, つまり日本の河川の場合に利用できることと, 淡水魚との関係, その他を考慮して恩藤 (1980) が鳥取県千代川水系で作製した例を引用しておく。この表の作成には水野 (1975)¹³⁾と森下 (1977)¹⁴⁾をも参考にした。(表1) また図4には水生昆虫とは, どのような昆虫 (幼虫, 蛹, 若虫) であるかを津田 (1962) の『水生昆虫学』¹⁶⁾より引用転載しておいた。

水生昆虫の分類について日本産のものは川合 (1985) が最も詳細な専門書の一つである。水質判定に利用されているのは主にカゲロウとトビケラである。図5には川合 (1985) を引用しておいた。図5に少し補足するとカワゲラ (襜翅目) は尾が2本, 胸肢の先に鉤爪が2こあるが, カゲロウ (蜉蝣目) では尾は2本のものとは3本のものであり, 胸肢の先の鉤爪は1こである。また鰓の位置もカワゲラでは胸肢のつけねのところにあるものが多く, カゲロウでは腹部体側から背面にあることをのべておく。

次に表2-1と2-2には, それぞれ水質判定に利用される指標種の見分け方をまとめておいた。また表3には巢によるトビケラの分類を津田 (1962)¹⁶⁾より引用し紹介した表でアンダー・ラインをひいたものは高梁川で実際に生息しているものである。

*は生息していない (高梁川本流)

^xは未確認 (高梁川本流)

表2-1 指標種カゲロウ類の分類

1. ヒラタカゲロウ科
頭部の背面に眼がある。腹部の両側に他のカゲロウと違い、葉状の鰓（鰓葉）があり、この鰓のつけねに糸状の鰓（糸状鰓）がある。尾は2本の種類と3本の種類がある。体全体が扁平である。
2. コカゲロウ科
ヒラタカゲロウほど扁平ではないが体は扁平である。頭部の側方に眼のある種類が多く、鰓は葉状の鰓葉だけで腹部の両側にてている。尾は2本の種類と3本の種類がある。
3. マダラカゲロウ科
腹部の第3～第7の節の背面に卵円形の鰓が屋根瓦をならべたようにならんでいる。鰓の数は5対、尾は3本で、頭部に突起があるなどの特徴的な構造をもつ種類もある。
4. トビイロカゲロウ科
ヒラタカゲロウ、コカゲロウ、モンカゲロウ、マダラカゲロウのような形の鰓とは異なる形の特徴的な鰓が体側からはりだしたような状態についている。尾は3本で、中央の尾の両側に毛がはえており、残り2本の尾の内側にも毛がはえている。
5. モンカゲロウ科
頭部前縁に弓状の突起があり、羽根のような形の鰓が腹部の両側についている。尾は3本ある。

表2-2 指標種トビケラ類の分類

1. ナガレトビケラ科
前胸、中胸、後胸よりなる胸の前胸の背面はキチン化して硬いが、中、後胸は膜質で軟かい。腹部の末端には尾肢があり、尾肢の先には鉤のような形の鉤爪がある。鉤爪のつくりは種を分類する標徴になっている。
2. ヒゲナガカワトビケラ科
細長い腹部と前胸の地色は黄褐色か茶褐色で黒褐色の点状、線状の明瞭な紋がある。腹部の体節に気管鰓はなく、腹部末端の肛門のところに指状の鰓がある。体型は頭と体の軸が一直線につながるカンボディア型である。トビケラのなかでは最も大形の種類である。
3. シマトビケラ科
胸の背面はキチン板でおおわれている。腹部の体節に枝分かれした気管鰓がある。尾肢の基部に長い毛の束がある。体はカンボディア型である。頭部の班紋などは種の分類に用いられている。
4. キタガミトビケラ科
日本産は1属1種キタガミトビケラ *Limnocentropus insolitus* のみ。長い柄のある特徴的な巣をつくる体型は頭軸と体軸が直角をなす蚕児型である。
5. ヤマトビケラ科
体型は蚕児型、砂粒や細石を用いて鞍型の可携巣をつくる。

表3 巣の材料と形によるトビケラ分類 (津田, 1962による)

巣の材料並に形		種類
分泌物のみより成る可携性巣	1. 円筒形ラセン構造 2. 扁平眼鏡サック形その他	クロツツトビケラ ヒメトビケラ科
砂粒のみより成る可携性巣	1. 真直ぐまたはやや彎曲した円筒形ないし円錐形 2. (1)より上下にやや扁圧された形 3. (1)の如き筒の左右両側にやや大形の砂粒を添加 4. 筒の前方および側方に袖が出て全体として楯状 5. 真直ぐな円筒に2~3本の植物の茎片が添加 6. カタツムリの貝殻状 7. 半楕円球状, 下面に頭および尾部の出る穴あり	フトヒゲトビケラ科全部, ヒゲナガトビケラ属の一部, カワエグリトビケラ, <u>オンドケトビケラ</u> , <u>グマガトビケラ</u> <u>コエグリトビケラ亜科</u> <u>ニンギョウトビケラ属</u> カスリホソバトビケラ アオヒゲナガトビケラ属 カタツムリトビケラ ヤマトビケラ亜科
植物質より成る可携性巣	1. 真直ぐか, 微かに彎曲した円筒 (砂粒を混ざることあり) 2. (1)の如き円筒に1~2本の茎片が縦に添加される 3. 真直ぐか, 微かに彎曲した四角筒ないし四角錐 4. 短冊形の植物片をラセン状に配列して成る円筒 5. 植物質の円筒の背腹に大形の葉片を添加 6. 植物質および砂粒を混ざらずの円筒, 外面に針葉樹の葉が横向きに多数付着, 外面頗る粗雑, 巣は長く撓曲自在 7. 木の枝の小片の内部をくりぬき, そのまま可携巣とする	ヨコウチトビケラ, セグロトビケラ アシエグトビケラ, トビモンエグリトビケラ カクツツトビケラ亜科, <u>カクスイトビケラ亜科</u> センカイトビケラ属, トビケラ属 エグリトビケラ マルバネトビケラ クロアシエグトビケラ
固着性巣室	1. 砂粒または植物片より成る巣室, その前方に漏斗状の捕獲網 2. 網は頗る粗, 漏斗状ならず 3. 分泌絹糸より成る長い袋状の巣室 4. 分泌物と泥粒より成る頗る細長い管 5. 円錐形筒巣に長い柄があり, これにて他物に固着	<u>シマトビケラ科</u> ヒケナガカワトビケラ科 カワトビケラ科, イワトビケラ科 クダトビケラ科 キタガミトビケラ科
巣は全然なし		ナガレトビケラ亜科

(科属の名が書いてあるのはその科または属全部が該当する場合である。単に種名だけ書いてあるのはその種のみにおいて該当する場合である)

文 献

1. Beck, W.N. (1955) : Suggested method for reporting biotic data. Sew. a. land. Waste. Vol. 27, No. 16
2. Braimerd, J.W. (1971) : Nature Study for Conservation, American Nature Study Soc.
3. Finch, I. (1973) : Pond Animals, Town & Country. Longman
4. 日浦勇 (1975) : 自然観察入門, 草木虫魚とのつきあい, 中公新書389
5. 板野道弘その他 (1990) : 高梁川における水質汚濁に関する学際的研究 (第1報) 中国短大紀要第21号
6. 可児藤吉 (1944) : 溪流昆虫の生態, 日本生物誌, 昆虫上巻, 研究社
7. ——— (1970) : 可児藤吉全集, 全1巻., pp.3~91, 思索社
8. 川合禎次編 (1985) : 日本産水生昆虫検索図説, 東海大学出版会
9. Kolkwitz, R. (1950) : Oekologie der Saprobien. Über die Beziehungen der Wasserorganismen zur Umwelt. Schr. Reihe Ver. Wasserhyg., Vol. 4
10. Kolkwitz, R., und Marrson, M. (1909) : Oekologie der tierischen Saprobien. Beiträge zur Lehre von der biologischen Gewässerbeurteilung. Int. Rev. Hydrobiol., Vol. 2
11. 久居宣夫 (1987) : 自然観察のガイド, 朝倉書店
12. Maccan, T.T. (1959) : A Guide to Freshwater Invertebrate Animals. London
13. 水野信彦 (1975) : 生物指標としての魚類, 環境と生物指標 (水界編), pp.153~157, 共立出版
14. 森下郁子 (1977) : 川の健康診断, NHKブックス290, 日本放送出版協会
15. 恩藤芳典編 (1980) : 千代川の生物, 建設省鳥取工事事務所
16. 津田松苗 (1962) : 水生昆虫学, pp.2~4, pp.248~251, 北隆館
17. ——— (1964) : 汚水生物学, pp.68~140, 北隆館
18. 浮田和夫・東幹夫・三宅与志雄 (1967) : 高梁川・旭川の水質および底生生物調査, 岡山県水産試験場事業報告 昭和41年度
19. 浮田和夫・東幹夫・渡辺仁治・三宅与志雄 (1968) 高梁川および旭川の工場廃水が水質および底生動物におよぼす影響について, 岡山県水産試験場事業報告 昭和42年度