

底生動物群集と印象による水辺環境評価

萩原良巳・萩原清子*・小尻利治・鈴木淳史**・河野真典**

*佛教大学社会学部

**京都大学大学院工学研究科

要 旨

多くの水辺環境評価は水辺環境の一側面しか着目していない。本研究では、水辺環境をGES環境システムとして捉えエコ項目として底生動物、魚類、鳥類を、ソシオ項目として印象に着目し水辺環境評価を行った。人の印象による評価と生態学的評価の結果にずれがあることを示し、さらに、底生動物群集による環境評価と印象による環境評価が結びつくことを示した。多くの人々は、水辺で魚類や鳥類からは好ましい印象を持つ。それらは底生動物群集によって支えられており、今後の水辺環境マネジメントの上で底生動物群集が重要であることを示した。

キーワード：水辺環境評価，底生動物群集，捕食関係，印象，因子分析

1. はじめに

既往の水辺環境評価は経済学的評価（例えば萩原，2004）や生態学的評価（例えば津田，1964），社会学的評価など様々に行われている。だが，それらはいずれも水辺環境の一側面に着目しており，水辺環境全体を評価するには至っていない，と考えられる。ここで水辺環境とは，単なる河道内の環境だけでなく，人々が河道に近付いて五感で感じることができ，河道周辺に存在するもの（例えば，河川敷から見える山々や地域住民など）を含めた環境のことである。

本研究では水辺を萩原（2008）が提唱した物理環境，生態環境，社会環境の相互作用を考慮したGES環境システム（Fig. 1）として捉え，水辺環境評価を行う。特に水辺の社会・生態環境に着目し，社会的要素のひとつとして萩原ら（2007）が着目した人々の印象を，生態学的要素として底生動物，魚類，鳥類を取り上げ，水辺の社会・生態環境評価を行う。

本研究は，まず，水辺環境の生態学的評価の代表である底生動物を中心として，魚類，鳥類を用いて水辺環境評価を行い，それらの環境評価によって得られた結果と，人々の印象による水辺環境評価の中で生態学的側面に対する印象の結果の差異について考察する。これにより生態学的調査だけでは，人々

が望んでいる水辺環境は必ずしも明らかにとはならないと示すことができ，印象による水辺環境評価と生態学的評価をつなげる意義を示せるのではないかと私達は考えている。

さらに，エコ項目のひとつである鳥類，魚類に着目し，これらと底生動物を食物連鎖で結びつけることによって，底生動物が印象による水辺環境評価とつながることを明らかにすることを目的とする。これにより，一見目に見えない底生動物もエコシステムとソシオシステムを結びつけていること，また，底生動物が生態学的な環境指標にとどまらず，水辺環境マネジメントにおいてエコシステムの面とソシオシステムの面で重要であることを示す。

本研究の構成を以下に示す。まず水辺の社会・生態環境評価の提案を行う。ついで，研究対象河川である京都市内を流れる賀茂川，高野川について述べる。そして，両河川の比較を底生動物，魚類，鳥類による生態学的調査の結果で行う。さらに水辺の生態学的側面に対する人々の印象を明らかにし，生態学的調査の結果との比較を行う。その上で，底生動物が印象による水辺環境評価とつながることを示し，底生動物が水辺環境整備マネジメントの上で重要であることを示す。

2. 水辺の社会・生態環境評価の提案

1章で述べたGES環境システムとは水辺環境が物理的法則で支配されるジオシステムと生態学的法則に支配されるエコシステムと社会のルールによって動かされるソシオシステムから構成され、それぞれが（災害も含めて）相互に関連していることを考慮したシステム（Fig. 1）のことである。

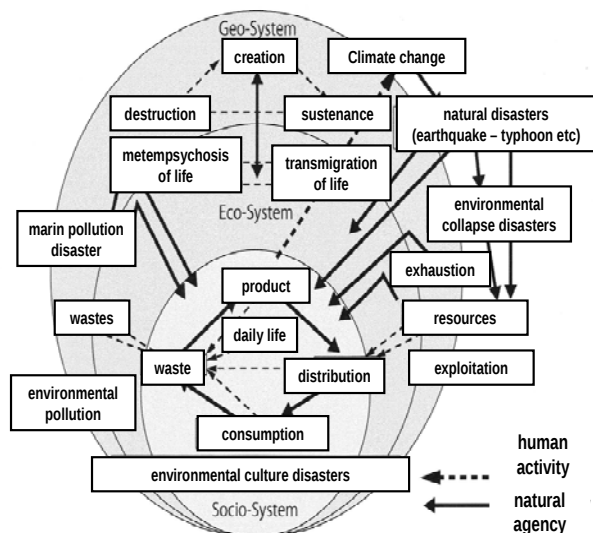


Fig. 1 The system of GES environment

水辺環境を上述のシステムとして捉える場合、環境評価もジオシステム、エコシステム、ソシオシステムの相互関連を考慮したものでなければならないであろう。そこで、本研究では水辺環境におけるエコシステムの環境評価である底生動物による水辺環境評価と水辺環境のソシオシステムの環境評価である印象による水辺環境評価のつながりを示す。

底生動物による環境評価は、生物指標を用いた環境評価法のひとつである。水辺の生物指標として用いられるものには、他に魚類や藻類など様々であるが、本研究では、評価対象を明確に示せ（有意性）、採集が比較的容易であり（操作性）、生活範囲が広大でない（独立性）底生動物を用いることとする。評価対象は河川の水質評価、河川生態系の多様性評価、生産代謝評価などさまざまである。その特徴は、物理化学的な指標（BODやph、電気伝導度など）では河川の情報を定量的に、かつ瞬間的に得られる、言わば微分的な情報が得られるのに対し、生物指標である底生動物を用いた環境評価では、物理化学的変動の履歴を蓄積した、言わば積分的な情報が得られることである。だが、その大部分は河道内の環境評価に終始しており、人々にとってどのような水辺

環境が望ましいか、人々により自然を感じさせるかの議論がないと考えられる。

一方、印象による水辺環境評価は水辺に接する人がどのように水辺を感じているか正確にとらえるためのものである。一般的に水辺を利用している人は、水質などを測ることなく水がきれい汚いか、数を数えることなく生き物が多い、少ないなどを主観的に判断している。これらがその水辺に対する印象を構成し、その水辺を利用したり、存在を嬉しく思ったりする。すなわち、水辺のGES環境から印象（自然な感じ、品がないなど）が構成され、それらがさらに水辺のイメージ（像）を構成していると考えられる（Fig. 2）。「印象」は水辺を定量的でなく感性的に捉えるものであり、水辺環境の複数の要素から構成されることが考えられ、ひとつの総合評価指標とみなすことができる。Fig. 2に示した印象による水辺環境評価を行うことにより、水辺に接する人々が参加可能な水辺環境マネジメントのための重要な情報が得られる。つまり、水辺像は水辺整備計画あるいは水辺環境マネジメントの目的となる。また、クramerの関連係数で印象項目とジオ、エコ、ソシオ項目とをつなぐことにより、ジオ、エコ、ソシオ項目のどれを整備するかあるいはマネジメントするかという判断への情報となる。だが、人々の印象は主観的なものであり、印象による環境評価では人々が感じるできないものは十分に評価できないと考えられる。特に水辺環境評価においては、水中に生息する生物同士の相互作用や河床の土砂動態など、特に河道内の環境評価が不十分になってしまうと考えられる。

そこで、底生動物による環境評価だけでは示すことができない水辺に接する人々の意思をより反映するため、印象による水辺環境評価のみでは表せない河道内の環境を評価するために、底生動物による水辺環境評価と人々の印象による環境評価をつなげることとする。

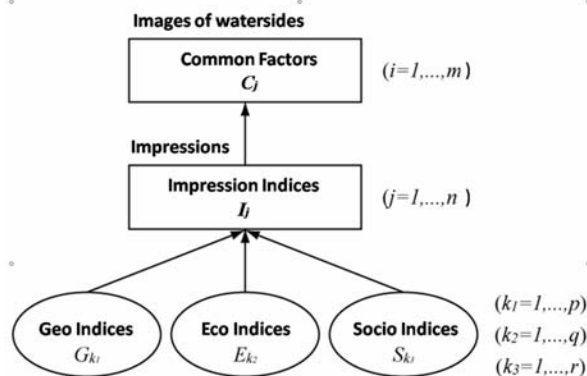


Fig. 2 Structure of waterside environmental evaluation systems based on impressions

3. 研究対象地域について

研究対象地域として京都市内を流れる賀茂川と高野川を取り上げる（Fig. 3）。調査は主に賀茂川と高野川が合流する出町柳付近（北緯35度1分44秒，東経135度46分18秒）からそれぞれ上流に向かって，賀茂川は柘野堰堤（北緯35度4分29秒，東経135度44分31秒）までの約5.5km区間，高野川は花園橋上流の堰堤（北緯35度3分44秒，東経135度47分38秒）までの約4.2km区間で行った。これらの範囲内に賀茂川では32基の堰堤が，高野川では17基の堰堤がある。本研究では堰堤で区切られた範囲を1区間として，合計賀茂川31区間，高野川16区間を下流からst1と設定した。

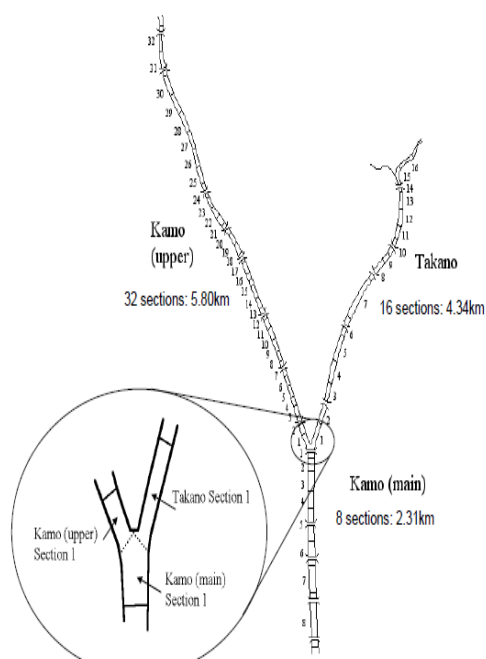


Fig. 3 The Kamo River and The Takano River

3.1 地理的特性ならびに物理環境

両河川の各調査区間における平均勾配は，それぞれ1.02%と1.00%で変わらなかった。各区間の区間距離と平均川幅は，賀茂川で $178.73 \pm 94.93\text{m}$ および $21.75 \pm 9.76\text{m}$ ，高野川で $261.50 \pm 119.37\text{m}$ および $14.66\text{m} \pm 3.35\text{m}$ だった。

各河床底質の平均割合は，賀茂川で石礫優占底（長径5cm以上の底質が多いもの）52.59%，砂利優占底（長径2mm～2cm）23.30%，砂優占底（長径2mm以下）5.50%，岩盤優占底0.46%，コンクリート優占底18.15%であり，高野川で石礫優占底26.41%，砂利優占底58.00%，砂優占底9.69%，岩盤優占底0.51%，コンクリート優占底5.39%であり，高野川の方が砂利や砂が多く分布していた。

また賀茂川の石礫の多くはひとところにかたまっ

ておらず，区間全体に広範囲に分布し，がっちりしまった状態のはまり石が多かった。一方，高野川の石礫はある部分に密集して存在し，浮き石が多く，はまり石も底部も砂利に薄く埋まった状態のものが多かった。また，賀茂川では各区間内の広い範囲で砂泥・砂利・石礫の混ざり合った底質であったのに対し，高野川では1区間内で石礫・砂利・砂泥の分級しているところが多かった。

一方，区間面積に対する砂州の平均割合は，賀茂川で49.3%，高野川で54.5%であった。このうち，砂州の植生と裸地の平均割合は，賀茂川で98.6%：1.4%，高野川で87.9%：12.1%であり，いずれも植生の発達した砂州が多かったが，高野川の方が裸地砂州が多かった。各区間における生息場類型数は両河川で差がなかったが，賀茂川ではワンド（12区間/25区間），淵（4区間/25区間），高野川では早瀬（8区間/14区間）の出現頻度が高かった。

さらに両河川の水辺を水面，瀬，堤，植生がある中州，植生がない中州，堤防，河川敷7つの基本的な場（Fig. 4）に分類し，場の多様度を多様度指数（Shannon-Wiener Index）で比較した。計算には，2006年10月7日に撮影された調査対象地域の航空写真にGIS（Geographic Information Systems）により計測した面積を用いた。河道内だけでなく河川敷を含めて計算を行うと，両河川に有意な差は見られなかったが，河川敷を除いた河道内のみでは，高野川の方が場の多様度が有意にあった（ $P<0.001$ ，One-way ANOVA）。



Fig. 4 The classification of places

3.2 水質の変遷

賀茂川，高野川は1940年代から人口増加に伴う都市化の影響や工場排水の流入によって汚染し始めたことが津田（1944）により記されている。また，高野川御影橋付近では紡績工場や染色工場からの排水により，1958年にBODが70ppmを超えていたことも石崎（1958）によって記述されている。さらに，京都府衛生部（1971）が，当時の鴨川下流の京川橋付

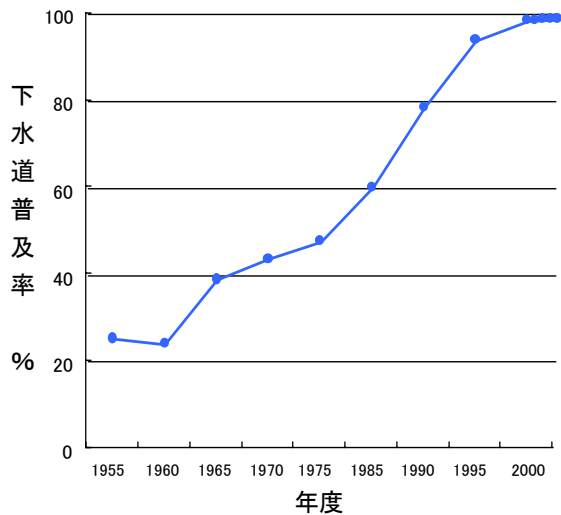


Fig. 5 The change of the diffusion rate of drainages in Kyoto city

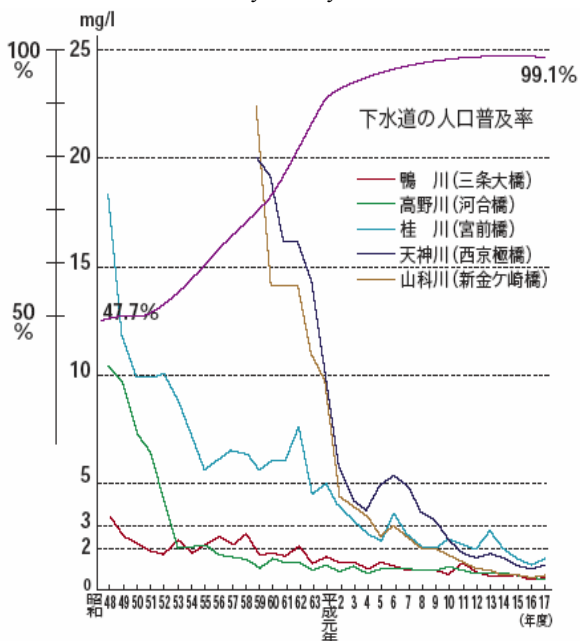


Fig. 6 The change of biological oxygen demand (BOD) of the rivers in Kyoto city

近では年にBODが平均10ppmを超えていたと記録している。だが、これらの調査の比較から、汚染は1976年に賀茂大橋の直下で回復傾向が見られたように、1973年の伏見処理場（当時の処理能力27,500m³/day）の建設をはじめ、急速に下水処理施設の整備が進められる（Fig. 5）とともに回復した（Fig. 6）。急速な下水道の整備の結果、1975年から1985年までの10年間に下水道の人口普及率は約20%上昇した（Fig. 5）。そして、下水の川への直接の流入が徐々に減少し、賀茂川、高野川の水質は改善し始めた。

3.3 植生域の拡大

1970年代以前では、河床に裸地の砂州が存在し、植生域の面積は限られていた（Photo 1）。その原因は以下のことが考えられる。

音羽川から高野川を通じて、比叡山などの土砂が鴨川には歴史的に流入していた。また、洪水も頻繁に起こっていた。その結果、過去においては河道内に土砂が堆積し、中州が形成されやすい環境であった。だが、1935（昭和10）年の鴨川大出水の後、1940年代以降に治水目的の様々な河川改修が行われた。鞍馬川では多くの砂防堰堤が造られた。鴨川では堰堤が造られ、河道掘削の結果、掘り込み河道となった（鴨川流域懇談会、2006）。これらの河川改修の結果、鴨川への土砂供給量が減少したと考えられる。

河川改修後、同治水の目的で中州に堆積した土砂を河道内に均し、あるいは両岸に盛り土するなどの「河床整正」も行われてきた。特に、1980年代初頭までは河床整正が頻繁（全域で数年に一度）に行なわれていたため、河道内の流路が直線化されるとともに、水面の面積が拡大する結果、当時は今ほど河道内に陸上植物が生い茂ることは稀であったと岩崎ら（1997）が記している。

その後、80年代半ばから河床整正の頻度が減少する。同時に、80年代から2000年代に雨量が減少した結果、流量も減少した。その結果、鴨川水系では幅の広い河原や中州が定着するようになった。現在では、植生域の拡大のために裸地砂州を認めるのはまれになった（Photo 2）。



Photo 1 The Kamo River before the flood in 1935



Photo 2 The Kamo River in 2006

3.4 賀茂川、高野川の河道内湧水

水温は河川環境の重要な要素のひとつであり、水温の変化は生物相の変化や生物季節に対する影響など底生動物相に様々な影響を及ぼしていると考えられる。

京都盆地は賀茂川と高野川の扇状地に存在し、湧水が様々な場所に点在している。湧水は一年を通して水温の変化が小さく、河川水との温度差によって、湧水の存在を検出することができる。渡辺らの研究（2006）では湧水の地点を見出すため、鴨川の面的な水温分布の計測が行われた。

鴨川は扇状地に位置するため、地下水の湧出場所が点在しているが、河道への地下水湧出地点は特定されていない。そこで、水温差が顕著になり、水体の混合の状況がより明瞭になる冬の2007年2月12日早朝6:00-8:00に賀茂川、高野川、鴨川の河道沿いをスカイマップ株式会社所有の小型ヘリコプターで通常の可視光のビデオと熱赤外ビデオカメラ（NEC三栄TS7302）の双方を航空赤外ビデオ撮影し、河川水の表面温度分布を調べた。撮影は対地210mで、鴨川は桂川合流点から出町柳区間、賀茂川は出町柳から上賀茂区間、高野川は出町柳から八瀬区間で行った（Fig. 7）。

この調査で得られた面的な水温分布から鴨川河道内の湧水湧出地点を予測し、現場に行って湧水が湧出しているかどうか確かめた。

賀茂川の水温は3℃前後であったが、上鴨神社西側（Photo 3）と上賀茂橋上流（Photo 5）では湧水と判定される高温水域が観測された。いずれも比較的小規模で表面水温の最高値は10.0から10.5℃であった。

高野川の水温は3から5℃であったが、下鴨神社東側（Photo 7）で大量の地下水が湧出している地点が観測された。表面水温の最高値は12℃以上であった。この場所を訪れて湧水の現場を観測したところ、河床から湧き出ている場所とともに護岸の石やコンク

リートの隙間からも湧出していた。

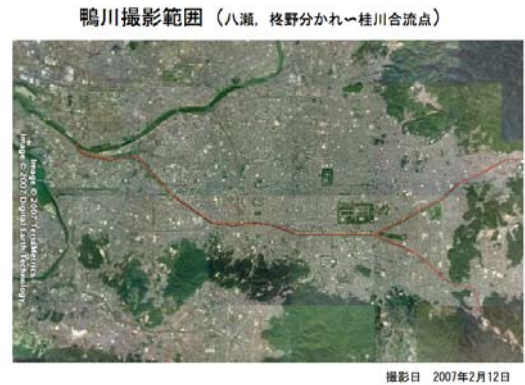


Fig. 7 The range of photography in the Kamo River

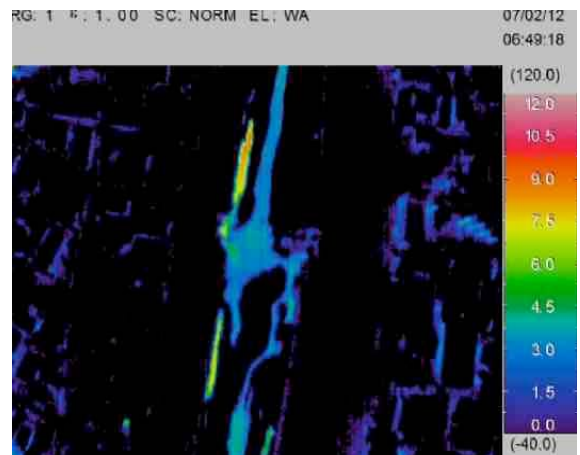


Photo 3 The infrared thermal imagery of the west side of the Kamigamo shrine



Photo 4 The aerial photo of the west side of the Kamigamo shrine

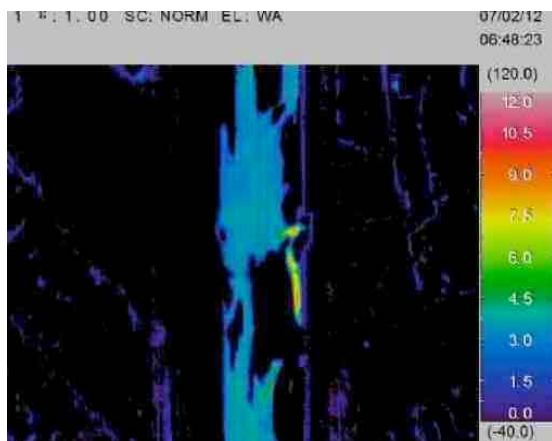


Photo 5 The infrared thermal imagery of the upper of the Kamigamo Bridge



Photo 8 The aerial photo of the east side of the Shimogamo Shrine
(The lower side of the imagery is the upper reaches.)



Photo 6 The aerial photo of the upper of the Kamigamo Bridge

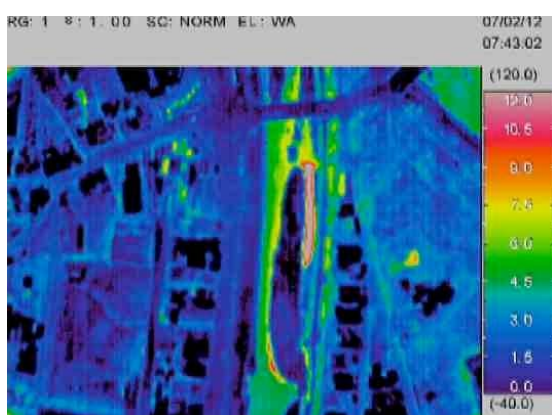


Photo 7 The infrared thermal imagery of the east of the Shimogamo Shrine
(The lower side of the imagery is the upper reaches.)

4. 底生動物調査

4.1 調査方法の概要

調査は鈴木（2008）によって2007年5月から7月にかけて行われた。底生動物群集は、時間単位での変化は大きくなく、本研究では、調査時間は特に定義していない。調査地は過去に調査が行われた場所や渡辺らの調査（2006）によって河道内に存在する湧水が確認された場所を中心に選定をした（Fig. 8）。賀茂川では、湧水の存在する上賀茂神社西側（地点1）、湧水と過去の調査が行われた上賀茂橋上流（地点2）、過去の調査が行われた出雲路橋（地点3）、出町柳（地点4）の4地点で行った。高野川では、湧水が存在する下鴨神社東側（地点5）の1地点で調査を行った。さらに合流後の鴨川出町柳付近（地点6）でも調査を実施した。各地点では、礫底、抽水植物帯ごとに3～4サンプルずつ、底生動物の定量採集を行った。

採集に際して、礫底、抽水植物帯ともに25cm×25cmのコドラート付きサーバーネットを使用して採集を行った。採集したサンプルは4mm、1mm、0.5mm、0.125mmのメッシュサイズの土壌分析用シープでふるいわけしてから、4mmと1mmのシープに残ったものだけを同定した。

結果の分析は以下のTable 1に示す項目で行った。

4.2 調査結果

4.2.1 賀茂川の底生動物群集

多くの都市河川では、上流ほど人為的影響が少なく、自然度が高いことが多いが、本調査では賀茂川の上流部よりも高野川と合流する下流部の出町柳付近の方が底生動物群集の種多様性や群集多様度が高く、かつ汚濁の程度が低いことを示していた。とく

に地点1と地点2では、タクサ数と個体数ともに少ない傾向が認められた。両地点の多様度指数は、とくに礫底で低い傾向が認められた。ところが、ザプロビ指数は出雲路橋で、高い傾向が認められた。これらから、上流部では、種の多様性、多様度がともに低く、河川の健全度も良くないことがわかった。

4.2.2 賀茂川高野川合流点付近の底生動物群集

賀茂川と高野川は京都市出町柳付近で合流し、鴨川と表記を変える。本研究では、賀茂川、高野川、鴨川の河道内の環境を、この出町柳付近の底生動物群集から比較をする (Fig. 9)。

タクサ数と個体数について、いずれも礫底では賀茂川に多い傾向が、抽水植物帯では高野川に多い傾向が見られた。鴨川の結果は、ちょうど賀茂川と高野川の結果の中間であった。賀茂川と高野川では、抽水植物帯と礫底の結果の差が大きかった。多様度指数は、3地点であまり差は見られなかった。ザプロビ指数は、いずれの3地点も抽水植物帯の方が礫底よりも大きな値を示した。

これらより、各河川で底生動物が好んでいる生息場は異なっていることが明らかになった。

4.2.3 賀茂川の底生動物群集の変化

木村が1957年に賀茂川御園橋付近（地点1と地点2の間、地点1.5）と賀茂川北大路橋（地点2と地点3の間、地点2.5）で行った調査（木村，1957），京都野生動物研究会が1976年に行った賀茂大橋（地点6）で行った調査（京都野生動物研究会，1978），そして、2007年に賀茂川で行った調査を比較し、過去からの底生動物群集の変化について述べる (Fig. 10)。

タクサ数は、1956年から1976年までは、減少傾向がみられ、1976年から2007年までは、増加傾向が認められた。個体数は、1956年から1976年まで増加傾向が認められたものの、1976年から2006年では、賀茂大橋では増加する傾向が認められたものの、それ以外の3地点では減少する傾向が見られた。群集の多様度を表す多様度指数では、1956年から1976年までは、変動があまりみられず、多様度が変わらない傾向が認められたが、1976年から2006年までは、増加している傾向が認められた。生物学的水質を表すザプロビ指数は1956年から1976年までは増加傾向であったが、1976年から2006年までは減少傾向にあり、生物学的水質が30年前より改善していることがわかった。

これらの結果より1976年と比較して生物学的水質は、改善したものの、種の多様性や個体数は回復したとはいえず、その傾向は上流部の上賀茂神社西側で顕著であった。

Table 1 The analyses of benthos

Items	Abstract
Number of taxa	Number of species If not identified, number of genera or of families
Number of individuals	benthos over 1mm
Index of diversity	$H' = -\sum \frac{n_i}{N} \times \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right)$ N : number of individuals n_i : number of individuals about species of i
Pantal-Buck pollution index	$PI = \frac{\sum sh}{h}$ s : saprobic value h : number of individuals meeting s s=1 : oligosaprobic s=2 : β -mesasaprobic s=3 : α -mesasaprobic s=4 : polysaprobic

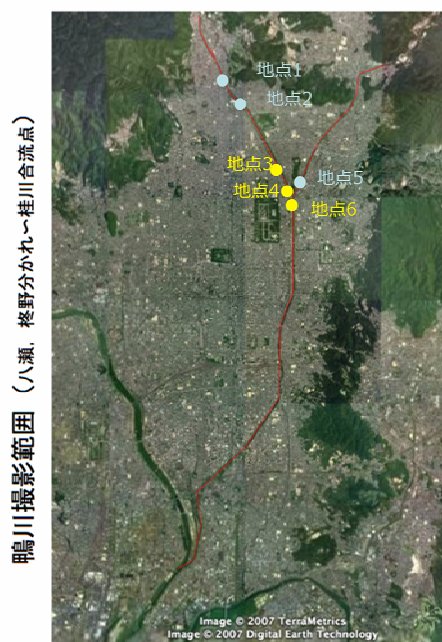


Fig. 8 The researched places for benthos

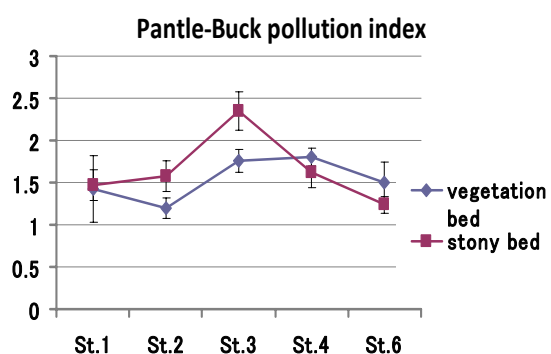
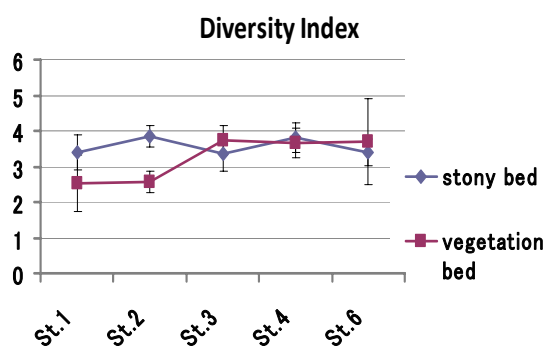
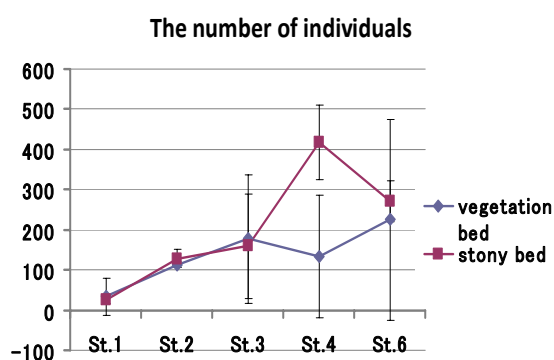
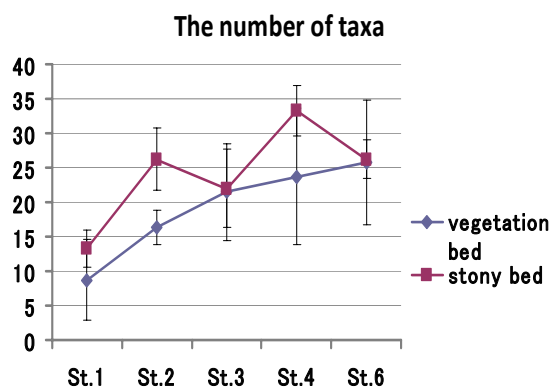


Fig.9 The distribution of benthos in the Kamo River

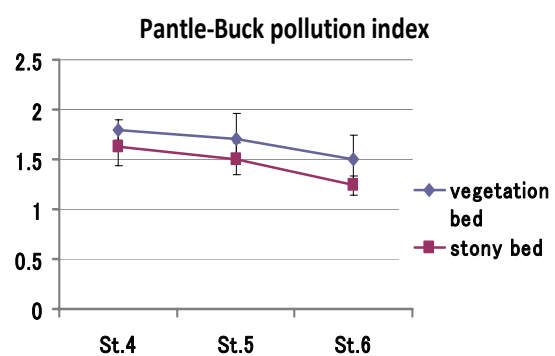
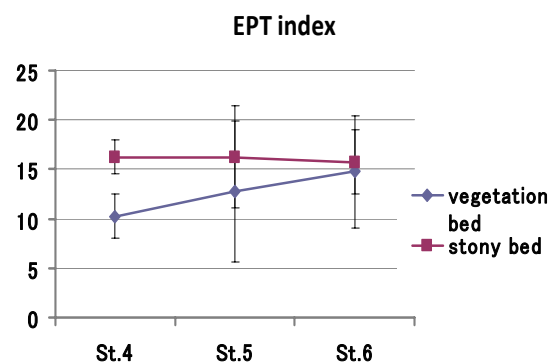
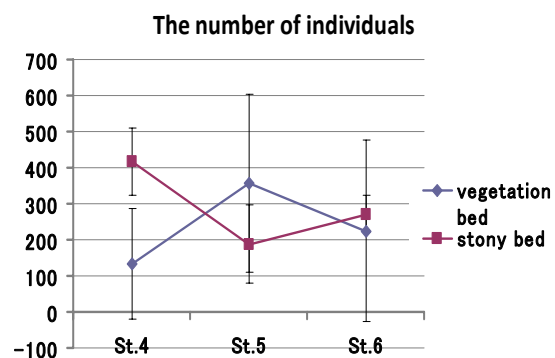
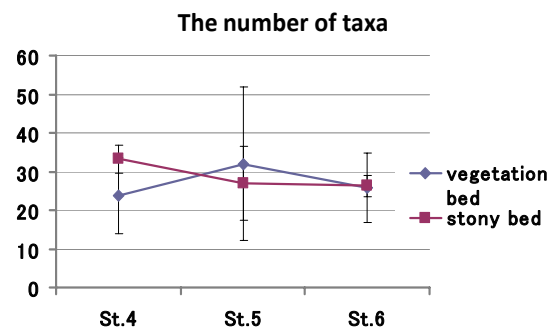


Fig.10 The distribution of benthos in the juncture of the Kamo river and the Takano river

Table 2 The characteristic distribution of benthos in springs of the Kamo River and the Takano River

	Characteristic benthos	A lot of individuals
St 1	ヌマエビ (<i>Paratya Compressa Compressa</i>)	イトミミズ科の数種 (Tubificidae gen spp.) アシマダラエリ ユスリカ属の数種 (<i>Stictochironomus</i> spp.)
St 2	アオサナエ (<i>Nihonogomphus viridis</i>)	イトミミズ科の数種 (Tubificidae gen spp.) アカムシユスリカ (<i>Tokunagayusurika akamushi</i>)
St 5	サワヨコエビ近縁の新種 (<i>Sternomoera</i> sp.) ケユキユスリカ属の1種 (<i>Pseudodiamesa</i> sp.) フタツメカワゲラ属の1種など (<i>Neoperla</i> sp.)	ミズムシ (<i>Asellus hilgendorffii</i>) エリユスリカ属の数種 (<i>Orthocladus</i> spp.)



Photo 9 *Sternomoera* sp.



Photo 10 *Pseudodiamesa* sp.

4.2.4 植生化の環境評価

抽水植物帯で認められた底生動物は、イマニシマダラカゲロウ(*Ephemerella imanishii*)、ハグロトンボ(*Calopteryx atrata*)など多くは止水域や植生帯に依存する種であった。その数は1994年に行なわれた岩崎

ほか(1997)の研究との比較すれば多いことは明らかである。植生化は、生物多様性を高める一方で、有機物の堆積と富栄養化を通じて汚濁体制種に増加や下流的な生物相への移行を促すと考えられる。

4.2.5 河道内湧水の環境評価

賀茂川、高野川の湧水付近では(Table 2)、アオサナエ(*Nihonogomphus viridis*)やケユキユスリカ属の1種など、本来上流域や渓流域に生息する底生動物が認められた。また、京都府レッドデータブック準絶滅危惧種として記載されている在来種ヌマエビ(*Paratya Compressa Compressa*)や地下水性で新種と思われるサワヨコエビ属の1種(*Sternomoera* sp.)などの希少種も認められた。

一方で、多数認められたのはアカムシユスリカ(*Tokunagayusurika akamushi*)やミズムシ(*Asellus hilgendorffii*)といった汚濁耐性種であった。

湧水ではこのように、上流域や渓流域に生息する種や希少種といった非汚濁耐性種と汚濁耐性種の混在が認められた。これは河道内湧水が底生動物群集の種の多様性を高めている要因のひとつだと考えられる。

5. 賀茂川、高野川の魚類

2006年6月から8月にかけて行われた石田らの調査(2007)によると以下の結果が得られた(Table 3)。調査はタモ網を用いて各区間の生息場類型(早瀬、平瀬、淵、ワンド、水際)ごとに、2人各10回の網入れの定量採集を行い、魚種および個体数を記録した。

賀茂川の魚種構成は、オオクチバス、カワムツ類、カワヨシノボリが多く、高野川の魚種構成はカワムツ類とカワヨシノボリが大半を占めていた。オオクチバス、ブルーギルは、172個体と1個体が賀茂川でのみ採集され、オオクチバスのほとんどが稚魚であった。両河川で個体数が多かったのは、オオクチバスを除けばカワムツ類(カワムツ・ヌマムツ・オイカワ)とカワヨシノボリであり、それぞれの個体数は賀茂川より高野川で多かった(賀茂川、カワヨシノボリ68個体、カワムツ類130個体：高野川、カワヨシノボリ134個体、カワムツ類269個体)。

採集で最も多くの魚種が確認された場所は、賀茂川・高野川ともに水際植生(賀茂川14種、高野川10種)で、賀茂川では淵(10種)が続き、高野川では平瀬(6種)が続いた。

生息場数と種数の関係を調べた結果、賀茂川ではst20を除けば、生息場数が多くなるほど種数も有意に多くなった。高野川でも、有意差は見られないもの

Table 3 fish mainly eating macro-invertebrates in the

Kamo river and the Takano river

Fish	upper-Kamo	Takano
<i>Zacco platypus</i>	○	○
<i>Phoxinus oxycephalus</i> <i>jouyi</i>		○
<i>Gnathopogon elongatus</i>	○	
<i>Pungtungia herzi</i>	○	○
<i>Pseudorasbora parva</i>	○	○
<i>Pseudogobio esocinus</i>	○	○
<i>Cyprinus carpio</i>	○	○
<i>Carassius gibelio</i> <i>langsdorfi</i>	○	
<i>Tanakia limbata</i>	○	
<i>Cobitis biwae</i>	○	○
<i>Odontobutis obscura</i>	○	○
<i>Rhinogobius flumineus</i>	○	○
<i>Rhinogobius sp. OR</i>	○	
<i>Lepomis macrochirus</i>	○	
total	13	9

の、同様の傾向が見られた。さらに川那部ら（2001）が明らかにしたある種の魚類の主な餌から、底生動物を主に捕食する魚類はTable 3のようになった。採集できた魚類の多くは底生動物を主に捕食していることが明らかになった。

6. 賀茂川、高野川の鳥類

松島（2008）によって以下のような鳥類観測が行われた。賀茂川と高野川において2006年5月から2007年5月にわたり、賀茂川で15回、高野川で13回の調査が行われた。観察方法は裸眼および双眼鏡で鳥類の位置、種類、個体数を地図上に記録した。生息場と鳥類の分布を調査するために、それぞれの鳥類はひとつの生息場にのみ対応するように記録をした。

賀茂川では、19種の水鳥が、高野川では18種の水鳥が観測された。なかでも、カモメ、サギ、セキレイ、カモが頻繁に観測された。冬に多くの水鳥が観測されたのは、冬に訪れる渡り鳥が多いためだと考えられる。賀茂川と高野川ともに、合流点の出町柳に近い区間で多くの水鳥が観測される傾向にあった。

調査によって確認できた水鳥を、「カモメ」、「サギ」、「セキレイ」、「カモ」、「その他」の5つのカテゴリーに分類した。これは、種による分類ではなく、社会調査のために専門家でなくても見分けられることを考慮した分類である。「その他」以外の4カテゴリーは賀茂川、高野川でよく見られる水鳥で

ある。その他に含まれるのは、4カテゴリーに含まれない水鳥の中で、少なくとも30回以上観測された水鳥である。

賀茂川では（Fig. 11），冬にカモとカモメがよく観測された。区間別に見ると、サギとセキレイは各区間で同程度の数がサギとセキレイは年間を通じてあまり個体数の変化はなかった。カモとカモメの冬の個体数の増加が、水鳥全体の個体数に変化に大きく影響を与えていた。区間別に見ると、合流点の出町柳に近い各区間でサギとカモが同程度観測された。カモメも合流点に近い出町柳付近で、ほとんどを観測した。高野川では（Fig. 12），極端に上流の区間で観測された個体数が少なかった。

Table 4 main foods of each bird in the Kamo river and the Takano river

Birds	foods	Birds	foods
Hérons	mainly fish, amphibians, insects	Sparrows	omnivorous
Ducks	mainly plants, shellfishes	Wagtails	mainly aquatic insects, partly flying insects
Cormorants	fish	Swallows	mainly flying insects
Sand pipers	fish, amphibians, crustaceans etc.	Dusky thrushes	worms, larvae of insects, nuts
King fishers	mainly small fish, amphibians, crustaceans	Starlings	insects, larvae, nuts
Kites	flesh, fish, amphibians etc.	Plovers	aquatic insects
Crows	omnivorous (insects, flesh, fruits)	Oriental greenfinch	seeds, nuts
Pigeons	omnivorous (insects, flesh)		

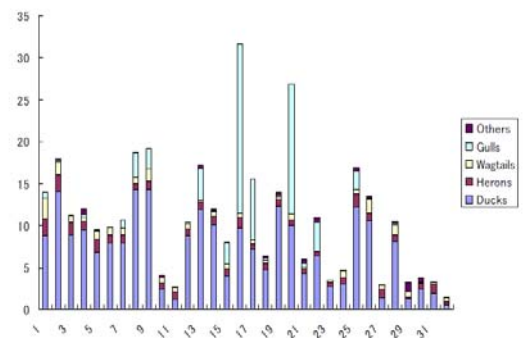
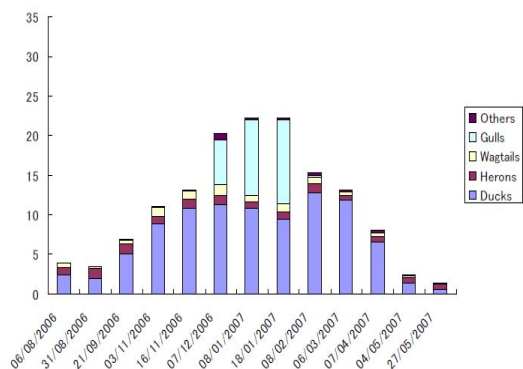


Fig. 11 The distribution of birds in the Kamo River

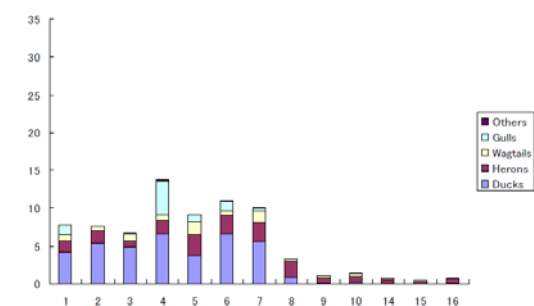
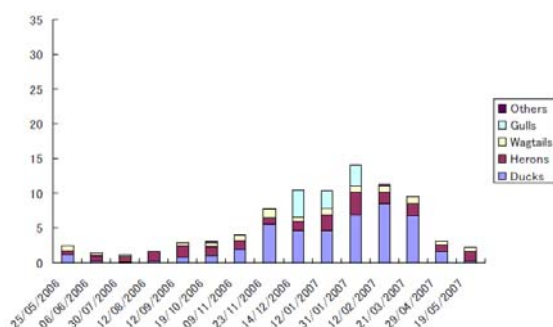


Fig. 12 the distribution of birds in the Takano River

一方、鴨川ではサギ類、カモ、カワウ、シギ、カワセミ、トビ、カラス、ハト、キジバト、スズメ、セキレイ、ツバメ、ツグミ、ムクドリ、チドリ、カワラヒワが観察された。叶内らの記述 (2005) から、これらの鳥の主な餌をTable 4に記載する。

サギ類、カワウ、シギ、カワセミ、トビ、セキレイ、チドリは水中の虫や魚を食べており、直接的または間接的に底生動物を餌としている。サギ類、トビ、セキレイは鴨川でよく見かける鳥である。

また、ツバメも餌の一部として底生動物を食べている。さらに、調査区間近辺におけるツバメの食性調査では、ツバメの糞には羽アリ、コウチュウ、ハチ、トンボが含まれていた。(コウチュウに含まれる) ドロムシとヤゴ (トンボの幼虫) は底生動物調査でも確認されている。

以上から魚と鳥は底生動物を直接的または間接的に餌としていることが分かった。したがって、次章では水辺の印象と魚、鳥との関係を分析する。

7. 印象による水辺環境評価

7.1 調査の概要

印象による水辺環境調査 (河野, 2008) は、賀茂川の御菌橋、高野川の高野橋から本川の四条大橋の間の区間で、2006年11月から2007年10月に年間を通じて行った。調査方法は京都大学と仏教大学の教員と学生が現地に出向いて観察し、橋間ごとに水辺の印象を5段階で記入した (例: 親しみやすい □□□□□ 親しみにくい)。このとき、調査の一部として魚、鳥の多さと印象項目を調査している。底生動物は水の中に入らない限り、直接印象に影響することが少ないため調査の対象とはしていない。

こうして得られたデータのうち、底生動物の調査に合わせて賀茂川と高野川の合流点付近である北山大橋～葵橋、高野橋～河合橋の区間で2007年6月から8月に取ったデータを用いることとする。サンプル数はそれぞれ81, 61である。

7.2 魚類

魚類の単純集計結果をFig. 13に示す。賀茂川の結果を見ると「少ない」という回答が最も多く、「やや少ない」「少ない」を合わせて約57%である。次いで「どちらでもない」の回答が約30%と多い。高野川の結果を見ると真ん中の回答が最も多く約30%である。次いで「やや多い」の回答が多く「やや多い」「多い」を合わせて約40%である。

このように賀茂川と高野川では魚類の印象に関して差が見られた。現地の観察から考察すると、これは高野川の方が水深の浅い場所が多く魚類が見えやすいことが影響していると考えられる。また、どちらの結果でも「どちらでもない」の回答が多いが、調査時の経験から、これは魚類の多さについて「どちらともいえない」、魚類が見えず「判断できない」という場合である。

7.3 鳥類

鳥の単純集計結果をFig. 14に示す。賀茂川の結果を見ると「どちらでもない」の回答が最も少なく「多い」「やや多い」と「少ない」「やや少ない」とともに30%以上の回答がある。高野川の結果でも「どちらでもない」の回答は少ないが、賀茂川と異なり「多い」「やや多い」の合計が約58%と大きい。

7.4 印象のプロフィール

印象のプロフィールをFig. 15に示す。プロフィールの横棒は算術平均からの標準偏差を表しており、欠損データを持つサンプルは除外した。

賀茂川は「落ち着いた」、「開放的な」という傾向である。他の項目は真ん中付近にあり、回答が分かれている。高野川は「寂しい感じ」、「落ち着いた」、「単調な」という傾向である。他の項目ではやや「自然な」、「平凡な」という傾向が見られる。

賀茂川も高野川も「寂しい」、「落ち着いた感じ」という傾向が見られる点が共通している。一方で「特色」と「開放感」は異なっており、高野川の方が単調で閉鎖的な印象である。これは整備の状況と地形的な違いが影響していると考えられる。賀茂川には遊具、芝生、公園などが高野川に比べて多数設置され、川幅と河川敷がともに広い。一方で高野川には遊具はほとんどなく、河川敷のすぐ側に木や建物が立っていて周囲への視界が狭まっている。

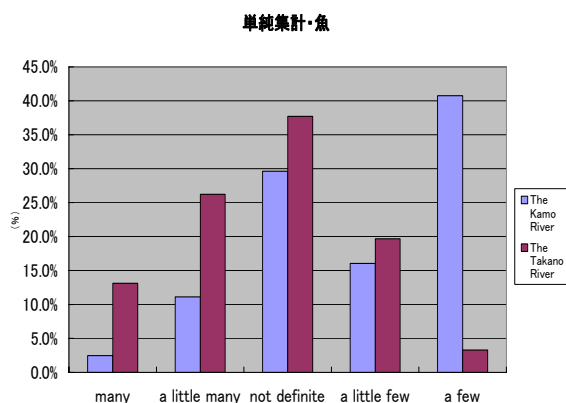


Fig. 13 The impression of fish (%)

単純集計・鳥

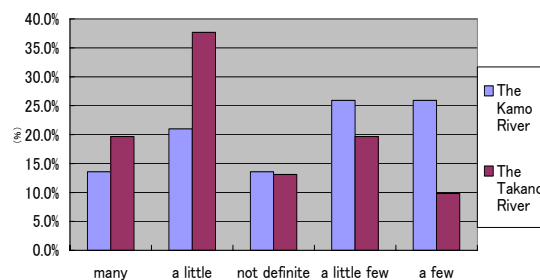


Fig. 14 The impression of birds (%)

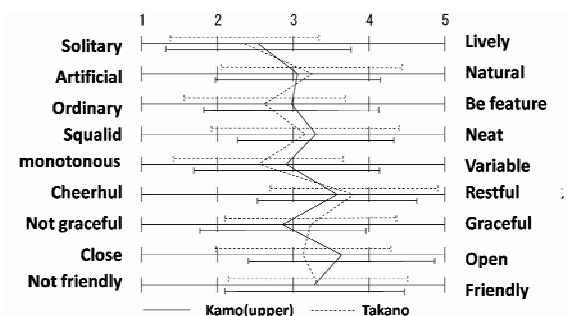


Fig. 15 The profile of impressions

Table 5 The results of the relationship analysis between fish, birds and impressions

		Lively	Natural	Be feature	Neat	Variable	Restful	Graceful	Open	Friendly
Kamo	fishes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	birds	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Takano	fishes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	birds	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 6 The results of factor analyses

	Factor and interpretation (contribution rate)	Item (factor load)
Kamo (upper)	Factor1: Identity of the Kamo River (20.7%)	Be feature(0.821), Variable(0.695), Graceful(0.475), Natural(-0.440)
	Factor2: Familiarity (15.0%)	Open(0.658), Friendly(0.586), Graceful(0.548)
	Factor3: Quietly (13.7%)	Lively(0.831), Restful(-0.677)
	Factor4: Refreshed (12.6%)	Neat(0.954)
Takano	Factor1: Modest (26.3%)	Restful(0.882), Graceful(0.711), Natural(0.595), Lively(-0.578), Neat(0.522)
	Factor2: Familiarity (15.6%)	Friendly(0.926), open(0.575)
	Factor3: Be feature (14.4%)	Variable(0.710), Be feature(0.706)

7.5 印象の因子分析

7.5.1 印象項目と魚類、鳥類との関連分析

クラメールの関連係数 (Cramer, 1946) を用いて魚、鳥と印象項目との関連を明らかにし、その関連について考察する。

クラメールの関連係数は2つの項目間の関連を表し、次式で表現される。

$$\text{クラメールの関連係数 } \varphi = \left[\chi^2 / n(q-1) \right]^{1/2}$$

ただし、 χ^2 : カイ2乗値、 n : サンプル数、 q : 2項目のカテゴリ数(選択肢の数)の少ない方の数である。

χ^2 値は2つのグループ間の独立性の検定に使用さ

れるが、クラメールの関連係数は χ^2 値をカテゴリ数とサンプル数の違いによらず比較できるよう計算を施した値である。これは0.00から1.00の範囲で、2つの要因が完全に独立なときは0.00となり、完全な関連のときは1.00の最大値をとる。

本論文では回答の片寄りを明確にするために5段階の回答を「1, 2」, 「3」, 「4, 5」の3カテゴリにしてクラメールの関連係数を計算する。そして、サンプル数とカテゴリ数を考慮し、関連があるといわれる5%有意を基準にクラメールの関連係数が0.2以上0.3未満をやや関連があるとし、0.3以上を関連があるとする。

Table 5に関連分析結果を示す。ただし、クラメールの関連係数が0.2以上0.3未満を○、0.3以上を●としている。

賀茂川では魚、鳥ともに多くの印象項目と関連がある。単純集計で鳥の回答が分かっていたため、鳥の印象の違いが印象に影響している可能性が大きいと考えられる。高野川では関連のある項目が少ない。関連のある項目はともに「自然な」である。プロフィールを見るとやや「自然な」に寄っており、高野川では魚と鳥は自然を感じるかどうかに影響していると考えられる。

7.5.2 印象の因子分析

9つの印象項目を用いて奥野ら (1976) が記した探索的因子分析を行う。因子分析の基本的な考え方は「観測、分析の対象となる変量間の相関は各変量に潜在的に共通に含まれている少数個の因子 (共通因子, common factor) によって生ずる」ということである。変量として用いる9項目を欠損データがある場合はサンプルごと除外し、因子抽出法は最尤推定法、因子数はスクリープロット法で決定し、各因子につ

いてバリマックス法を用いて因子軸に直交回転を施した。

因子分析モデルの検定にはp値とRMSEA (Root Mean Square Error of Approximation) を用いる。p値は「計測誤差」が有意であるという帰無仮説をある水準 (α) でモデルを採択あるいは棄却する値である。RMSEAはモデルによって規定される分布と、データから計算される真の分布との乖離を1自由度あたりの量として示した「構造誤差」の指標である。

得られた共通因子の解釈を行ったものをTable 6に示す。賀茂川と高野川でp値はそれぞれ0.331, 0.382, RMSEAはそれぞれ0.0558, 0.0553である。

賀茂川では共通因子として【鴨川らしさ】、【なじみ】、【しっとり】、【すっきり】が得られた。賀茂川には遊具、ベンチ、広場などが多数設置され、落ち着いて開放的である。それらの設備や広々とした様子が表されていると考えられる。因子負荷量と関連分析から、魚と鳥はどの共通因子にも関連している。

高野川では共通因子として【しとやか】、【なじみ】、【特徴的な】が得られた。高野川のあまり遊具などがなく落ち着いてやや単調な印象が表されていると考えられる。因子負荷量と関連分析から、魚と鳥は【しとやか】に関連している。

8. 結果の要約

本研究では底生動物群集、魚類、鳥類で賀茂川と高野川の水辺環境評価を行った。調査地域の概要で生態学的な点で河道内の環境は高野川の方が多様であることを示した。底生動物群集による評価では、賀茂川上流部の群集は貧弱であること、合流点では各河川で底生動物が好んでいる生息場は異なっていること、1976年と比較して生物学的水質は改善したものの、種の多様性や個体数は回復したとはいえないこと、植生化は生物多様性を高める一方で下流的

な生物相の移行に寄与していること、河道内湧水が底生動物群集の多様性を高めていることがわかった。魚類調査では高野川に多くの群集が、鳥類調査では賀茂川に多くの群集が認められた。人々の水辺環境に対する印象を比較したところ、印象の単純集計結果では、人々は高野川の方に魚類も鳥類も多いと感じていることが示され、実際の鳥類調査と異なる結果が得られた。また、賀茂川にいる鳥、魚の方が高野川の魚類、鳥類より多くの印象項目と関連があったが、鳥類が「自然な」印象と強い関連があるのは高野川だけであった。

9. 終わりに

賀茂川は河川敷にグラウンドなどがあり、広く整備され、人の手による管理がされていることがわかるが、それと比較して高野川は河川敷が狭く、歩道も舗装されておらず、雑然としていることによるものだと考えられる。つまり、賀茂川では鳥類や魚類から多くの印象を持つが、それらは人為的に作られた人工的な自然による産物と人々は感じるためにあまり「自然な」印象を持たない。だが、高野川で認められる魚類や鳥類は野性的な自然の中に生息しているものと感じるの、人々は高野川の魚類や鳥類に「自然な」印象を持つと考えられる。人々は河道内の環境よりも、その周りの風景や環境から印象を感じている。このことから、指標種の数の多少に大きなウェイトを持つ代表的な生態学的手法だけでは、人々が自然と感じる環境は一概には議論できないと考えられる。

水辺の印象を分析し、水辺の印象における魚類と鳥類の位置づけを行ったところ、賀茂川と高野川の魚類と鳥類は共通因子【鴨川らしさ】、【しとやか】などいずれも好ましいと思われる共通因子を構成する要因であることがわかった。つまり、魚類と鳥類は水辺にとって重要な要素であることが言える。

魚類と鳥類は、調査によって底生動物を捕食するものが認められた。特に賀茂川、高野川の魚類の多くは底生動物を主に捕食しているようである。これから、底生動物を保護することは、魚類や鳥類を守ることにつながり、最終的に人々の水辺の印象を高めることにつながると考えられる。

すなわち、底生動物は（直接的に人の印象に影響を与えることは少ないが）魚と鳥を介して水辺の印象に関わっていると言える。

本論文は底生動物が水質などの環境条件の評価指標となる以外に、底生動物が人間の印象と魚や鳥を介して結びつくことを示した論文である (Fig. 16)。

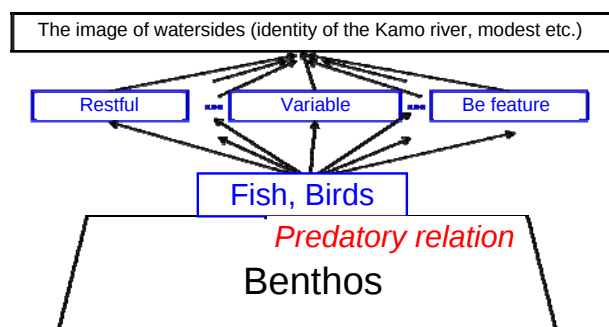


Fig. 16 The relation between benthos and impressions

謝 辞

本研究を進めるにあたり貴重なアドバイスをしてくださった京都大学防災研究所水資源環境センター堀智晴教授、竹門康弘准教授、柴田翔氏、摂南大学都市環境システム工学科石田裕子講師、貴重なデータを提供してくださった松島フィオナ氏に深く感謝いたします。

参考文献

- 石崎貞子（1958）：高野川の水質汚濁と生物相，奈良女子大学生物学会誌，8：22-27
- 石田裕子・中林真人・竹門康弘・池淵周一（2007）：堰堤で仕切られた都市河川の魚類相と生息場の特性，京都大学防災研究所年報第56号B
- 岩崎敬二，大塚泰介，中山耕至（1997）：賀茂川中流域の川岸植物群落内の中・大型水生動物群集，陸水学雑誌，58：277 - 291
- 奥野忠一ほか著（1976）：続多変量解析法，日科技連
- 叶内拓哉（2005）：日本の鳥300，文一総合出版
- 鴨川流域懇談会（2006）：千年の都と鴨川 ～より安全で，美しく，親しまれる鴨川をめざして～
- 川那部浩哉，水野伸彦，細谷和海（2001）：山溪カラー名鑑日本の淡水魚，山と溪谷社
- 河野真典（2008）：印象による水辺GESの評価，京都大学卒業論文
- 木村ハル（1957）：京都加茂川の汚濁と生物相について，日本生態学会誌，7(1):30 - 33
- 京都府衛生部（1971）：京都府における公害の現況と対策
- 京都野生動物研究会（1978）：京都市内河川の生態学的研究，京都市公害対策研究室
- 鈴木淳史（2008）：鴨川の底生動物群集による河川環境評価，京都大学卒業論文
- 津田松苗（1944）：鴨川水系の動物群集と該河水汚化との関係，京大学生理生態業績，7：161-171
- 津田松苗（1964）：汚水生物学，北隆館
- 萩原清子（2004）：環境の評価と意思決定，東京大学出版会
- 萩原良巳（2008）：環境防災の土木計画学，京都学術出版会
- 萩原良巳，萩原清子，松島敏和，柴田翔（2007）：地元住民から見た鴨川流域環境評価，京都大学防災研究年報第50号B
- 松島フィオナ（2008）：京都の都市化された水辺環境における鳥類群集の分布様式，京都大学大学院修士論文

渡辺宏・宗林由樹・関口秀雄・竹門康弘・城戸由能
(2006) : 熱赤外ビデオ画像による湧水と温排水
の分布様式視覚化と研究課題, 生存基盤科学研究

ユニット, 平成18年度研究成果報告書
Cramer, H (1946): Mathematical Methods of Statistics,
Princeton Univ. Press

Environmental Evaluation of Waterside through benthos and Impressions

Yoshimi HAGIHARA, Kiyoko HAGIHARA*, Toshiharu KOJIRI, Atsunori SUZUKI** and Masanori
KAWANO**

* School of Sociology, Bukkyo University, Japan

**Graduate School of Engineering, Kyoto University

Synopsis

Waterside has been evaluated through economical or ecological aspects, individually, although obviously it has strong relationship with human and social situations. In this paper, we thought waterside environment as GES environmental system and focused on ecological items such as benthos, fish and birds, and on social items: impressions. We carried out the environmental evaluation in the Kamo River and the Takano River through benthos, fish, birds and impressions. Then, we revealed that fish and birds influenced good feeling on people and fish and birds are maintained by benthos. We proposed, therefore, the benthos were important for waterside managements.

Keywords: Environmental Evaluation, Benthos, Predatory Relation, Impressions, Factor Analysis