

宇治川における過去半世紀の水文水質特性とトビケラ現存量の変遷 —トビケラ大発生に関わる環境要因の探究—

Changes in Hydrology, Water Quality, and Caddisfly Biomass for the Past Half-Century in the Uji River

小林草平・竹門康弘

Sohei KOBAYASHI and Yasuhiro TAKEMON

Synopsis

Biological and environmental data of the past half-century in the Uji River were collected and analyzed to understand key conditions of caddisfly mass emergence, a recent nuisance issue in Uji City. Based on biomass and taxonomic composition, caddisflies seem to have increased after the construction of Amagase-dam in 1964 up to early 1970s. Although some changes since 1960s were detected for flow regime, water temperature, and water quality, these changes explained little of the increase pattern of caddisfly. A reduction of bed-change frequency since 1960s was evident based on the size and location of gravel-bars. Bed stabilization due to reduced sediment supply is a possible factor of the caddisfly increase. Being the outlet of Lake Biwa, Uji River originally possesses a high potential for secondary production, which is an essential condition for the caddisfly mass emergence.

キーワード: 宇治川, トビケラ, 琵琶湖, 天ヶ瀬ダム, 植物プランクトン, 河床安定化
Keywords: Uji River, caddisfly, Lake Biwa, Amagase Dam, phytoplankton, bed stabilization

1. はじめに

宇治川では毎年春から初夏を中心にトビケラ（昆虫綱トビケラ目の仲間, [Photo. 1]）の成虫が大量発生する。川沿いを飛翔するトビケラは、人体に害はないが、発生量の大きさのため不快害虫として付近住民や宇治の観光業を悩ませている。トビケラの発生量をどう抑制できるかが課題であるが、そもそも宇治川においていつ頃からトビケラが多くなったのか、またどのような環境要因がそれに関係しているか、あまり詳しくは分かっていない。

トビケラは多くの種が幼虫時に流水中で成長した後、成虫となって水の外へ飛び立ち、1週間足らずの間に繁殖し一生を終える。したがって、宇治川で問題なのは成虫であるが、それを抑制するには、生活史の大部分を占める幼虫時の成長・生存を考える必

要がある。なお、トビケラは国内で500種以上が知られているが（河合・谷田, 2005）、宇治川で問題となっているのはシマトビケラ科の数種（コガタシマ



Photo 1 Caddisfly adults rest on log of Uji-bashi

トビケラ *Cheumatopsyche brevilineata*, ナカハラシマトビケラ *Hydropsyche setensis*, オオシマトビケラ *Macrostemum radiatum*) で、いずれも幼虫が川底に網巢を張り定住生活を送る種である。

トビケラ成虫の発生が問題となる事例は、程度の差はあれ国内 (八木・笹川, 1992; Kimura et al., 2008) や国外 (Peterson, 1952; Fremling, 1960; Fredeen, 1972) でいくつか見ることができる。このうち、国外の3例はいずれも湖や堰の下流の大川で、宇治川との共通点も多い。北米エリー湖下流のフォートエリーでは、夕暮れに視界が悪くなるほどトビケラ成虫が発生し、外灯やイルミネーションに群がり、朝方は死体が層状に積もる状態であったと報告されている (Peterson, 1952)。さらに下流のモンリオールでは、1967年開催の万博の前に、短期的にトビケラを減らす対策として、河川へ殺虫剤の投入が行われた (Fredeen, 1972)。

成虫発生の問題の有無に関わらず、堰や湖の下流においてトビケラ幼虫などの濾過食者の生産力が高い報告例は多い (Oswood, 1979; Parker and Voshell, 1983; Mackay and Waters, 1986)。湖の中で生産される植物プランクトンが、下流河川における濾過食トビケラの餌条件を高めると考えられる (Mackay, 1986)。宇治川においても、流下有機物の大部分を植物プランクトンが占め、それがトビケラの食物起源になっていることが安定同位体比の研究から示されている (Ock and Takemon, 2013)。また、貯水の効果によって下流の流量変動が緩和されることで、定住生活者のトビケラに有利に働くと考えられる (Parker and Voshell, 1983)。発電ダムの導水路では古くからトビケラ幼虫の定着に悩まされてきた (谷田 (1995), 藤永・坂口 (2005) に詳しい)。導水路内では安定した流量とコンクリート基質のために、トビケラ幼虫巢が層状になるまで発達し、その結果流速が低下して発電の障害となる。

宇治川でトビケラが多い理由の1つとして天ヶ瀬ダムの存在が考えられる。天ヶ瀬ダムは1964年に建設され、トビケラ発生が特に激しい宇治橋はその数キロ下流に当たる。また、宇治橋の直上には1913年建設の宇治発電所の放水口があり、琵琶湖直下から大量の水がトンネルを通過して宇治川に直接放流される。なお、宇治発電所の導水路 (南郷付近) では古くからトビケラ幼虫の定着に悩まされている (津田, 1955)。宇治川のトビケラの大発生にはこうした施設による水環境の変化が関わっている可能性が考えられるが、元より宇治川は琵琶湖の下流であるためトビケラが多くなりやすい条件が備わっていたとも考えられる。

本研究では、宇治川における流量、水温、水質、



Fig. 1 Map of Uji River and related locations.

河床、トビケラ生息量の変遷についてのデータ・資料 (天ヶ瀬ダムが建設された1960年代以降が中心) を収集し、宇治川においてトビケラが増加した年代を特定し、トビケラが増加と対応する環境要因を抽出することを試みた。

2. 方法

2.1 宇治川の概要, 対象区間

京都府を流れる宇治川は、琵琶湖を流出する瀬田川 (滋賀県) の下流に位置し、桂川と木津川と合流した後に最終的に淀川となり大阪湾に注ぐ [Fig. 1]。瀬田川には琵琶湖の水位を調節する南郷洗堰、宇治川の上流部には天ヶ瀬ダムが存在する。また、洗堰の上流で分派した水は、天ヶ瀬ダム下流2キロ程の場所にある宇治発電所へ送られ、そこから宇治川へと放流されている。宇治川の流況はこれら洗堰、天ヶ瀬ダム、宇治発電所の流量操作の影響を強く受けている。

宇治川の流れは古くから人為的改変を受けてきた。主たるものは、豊臣秀吉の時代にそれまで巨椋池 (現在の宇治川と木津川の間にあった広大な池) に注いでいた宇治川が付け替えられ (16世紀末)、池と離され現在と同じく北側を流れるようになった (巨椋池自体は昭和初期に干拓により消滅)。明治に入り瀬田川で山腹の砂防や河道掘削の工事が行われ、また南郷洗堰が設置された (1896年)。宇治発電所が1913年に完成した。瀬田川の下流には1923年に発電用の大峰ダム (関西電力) が建設され、その後その下流に多目的 (洪水調節、発電等) である天ヶ瀬ダ

ムが1964年に建設された。

宇治川におけるトビケラ問題に関連して、宇治市では1973年より宇治橋付近を中心に川沿いに電撃殺虫器を設置した。また、その10年後くらいから川沿いの薬剤散布も行われてきている。宇治橋付近の住民の話や写真によると、少なくとも70年代にはトビケラは多かったという。近年になって市民から市役所への苦情が多くなったと言われるが、効果ある対策は今のところ講じられていない。

宇治川でトビケラ成虫を特に多く目にするのは宇治橋付近（天ヶ瀬ダム下流2.5km）である。宇治橋を中心に上流は天ヶ瀬ダム直下、下流は京滋パイパスないし隠元橋付近（ダム下流6km）までがトビケラ幼虫が特に多く生息する区間と考えられる（小林、未発表データ）[Fig. 1]。

2.2 収集資料・データと分析内容

(1) 宇治川のトビケラに関する資料

宇治川のトビケラに関連してこれまで行われた過去の調査・研究の資料を収集した。このうち、天ヶ瀬ダム直下から隠元橋の間の区間で行われた定量調査結果のうち、トビケラの現存量（湿重g/m²）または全トビケラ個体数に占めるシマトビケラ科の割合が数値として比較可能であったため、各研究で全調査点の平均値を算出した。これらに、著者らが2012年8月に天ヶ瀬ダム直下から隠元橋上流の区間で実施した定量調査の結果も加えた。

(2) 流量

これまで宇治川の対象区間の流量に関して、天ヶ瀬ダム放流量、宇治発電所放流量、榎尾山、宇治、向島の水位・流量観測所のデータを取得することができた。このうち、30年以上のデータの蓄積があった榎尾山（水位、1965年から）と向島（流量、1979年から）のデータを分析対象とした。

日平均水位または流量について、各年の最大値と中央値を算出した。また、10年単位で区切り、各年代の位況・流況曲線を描いた。位況・流況曲線には時期・季節に関する情報がない。そこで、曲線における365等分位値（0.5/365値、1.5/365値、・・・、364.5/365値）を1年各月日（1月1日、・・・、12月31日）に割り振る試みを行った。各月日の水位・流量代表値を決定し、全365日の中での順位に応じて365等分位値を割り当てた。各月日の代表値として、本研究では10年間（つまりn=10）の75%値を用いた。

(3) 水温

水文学データベース（<http://www1.river.go.jp/>）から宇治橋と隠元橋における1970年代からの水温データが取得できる。しかし、月一回の調査に基づく水温値は、計測した日や時刻の影響を受けており、

比較するには何らかの補正が必要である。そこで、同データベースから別に取得できる毎時連続観測データ（宇治橋下流の御幸橋）の最近10年分を用いて、各月における日間及び日周変化の傾向を明らかにした。宇治橋と隠元橋の各月データは、計測された月日・時刻の情報と連続観測データの傾向を基に、各月の15日正午に相当する水温値に補正した。

補正した各月水温を基に、トビケラにとっての年間の有効積算温量を算出した。ここで有効積算温量とは、対象期間における生物が発育可能な最低温度（発育零点）を超える温度の総量である。本研究ではシマトビケラ科の1種（ウルマーシマトビケラ、宇治川に多いナカハラシマトビケラの近縁種）について知られている発育零点9.5°C（柴田、1975）を用いて、年間有効積算温量（日度）を求めた。また、シマトビケラが1世代を完結するのに必要な有効積算温量である660日度（柴田、1975）を基に、各年のトビケラの潜在世代数を求めた。

(4) 水質

本研究ではトビケラのご飯となる水中有機物の量に着目した。水のきれいさの指標として用いられる生物酸素要求量（BOD）は、易分解性の有機物量の指標でもあり、その中にトビケラのご飯も多く含まれていると考えられる。宇治橋と隠元橋における各月のBOD値が上記データベースから取得できる。BOD値は水温のような一定の日間・日周変化はないものと仮定し特に補正は行わなかった。

水中の有機物の中でも植物プランクトンは、トビケラのご飯として特に重要であると考えられる。瀬田川の唐橋においては、1979年より週1回でプランクトン採集が行われ、その種組成や量が滋賀県琵琶湖環境科学研究センターより取得できる（<http://www.pref.shiga.lg.jp/index.html>）。このうち植物プランクトン量（水中濃度、 $\mu\text{m}^3/\text{ml}$ ）についてデータ整理し、その経年変化を宇治川のBOD値と比較した。

(5) 砂州面積

宇治川の対象区間では1960年代に比べて最低河床高が1-2m低下した。それに伴って河床材料の粗粒化が進行し、河床材料の移動や更新が少なくなったことが考えられる。しかし、過去の河床粒径（特に河床の骨格をなす大きな礫について）や土砂移動量を直接示すデータはこれまで得られていない。

航空写真には河川内の砂州が見られ、年ごとに砂州の位置が変化している。砂州の変化の大きさは、河床の土砂移動の大きさに対応していることが考えられる。1948年、1960年、1979年、1997年、2001年、2006年、2009年の航空写真が得られたため、宇治橋を中心とした前後2km区間における砂州の面積と位置を特定し、2つの年の間での砂州位置の変化率を求

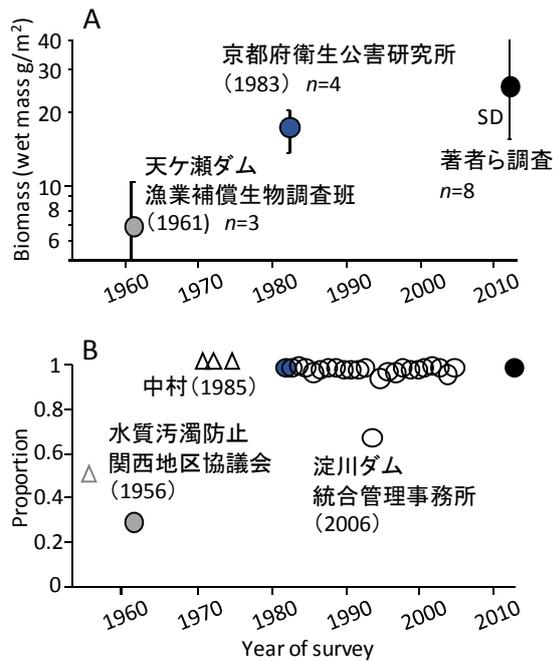


Fig. 2 Changes in caddisfly biomass (A) and proportion of Hydropsychid in caddisflies (B) in the Uji River.

めた。本研究では、各2年間の変化率 R を、後年の砂州の全面積に占める前年と重ならない砂州の面積の割合とした。

$$R = \left(\frac{A - A_c}{A} \right) \quad (1)$$

ここで A は後年の砂州面積、 A_c は前年と後年で共通部の砂州面積である。したがって、変化率は、後年の砂州の場所が前年の砂州の範囲内であれば0、前年とは全く違う場所に砂州が形成されていれば1となる。

(6) トビケラの変動と各環境要因の関係

トビケラ生息量の調査年と対応したデータを持つ環境要因について、線形回帰によりトビケラとの関係性の有無を調べた。どの要因も基本的に対数変換を行ったのち検定を行った。

3. 結果と考察

3.1 宇治川におけるトビケラの変遷

宇治川におけるトビケラ相に関して、これまで5件の資料が得られた(水質汚濁防止関西地区協議会, 1956; 天ヶ瀬ダム漁業補償生物調査班, 1961; 京都府衛生公害研究所, 1983; 中村, 1985; 淀川ダム統合管理事務所, 2006)。ほとんどが底生動物全体を調査目的としたもので、目的別には淀川流域の水質評価に関連した調査が3件、天ヶ瀬ダムの影響評価に関連した調査が2件であった。なお、1955年の調査では、宇治川の水質は生物的に見て淀川水系の中で最

も貧腐水性であることが示されている(水質汚濁防止関西地区協議会, 1956)。

このうち比較可能な資料は、トビケラの現存量については2件、全トビケラ個体数に占めるシマトビケラ科の割合については3件であった。これに著者らによる調査結果を加えて時系列に並べた[Fig. 2A]。現存量については計3点しかないが、天ヶ瀬ダム建設前の1961年から1982年の間に増大した傾向となっている。1961年と2012年では現存量に3-4倍の違いがあった。シマトビケラ科の占める割合は、1961年は0.3であったが、1982年以降は1年を除き全て0.95を上回っていた[Fig. 2Bの円]。水質汚濁防止関西地区協議会(1956)ではトビケラ出現種のみ情報しかないが、「ナガレトビケラ属が常に多いし、・・・(62頁)」等の表記から、1955年当時シマトビケラ科以外が多数を占めていたことが伺える。また、中村(1985)における1971~73年と75年の結果では、トビケラで記載されているのは「シマトビケラ類」のみであるため、この時代に既にシマトビケラ科の割合が高かった可能性がある。Fig. 2Bは、水質汚濁防止関西地区協議会(1956)と中村(1985)における全トビケラ種数に占めるシマトビケラ種数の割合(三角)を加えて示している。

現存量データは調査地点や季節の影響を強く受けるものの、1961年と1982年の間における現存量の増大は確かな傾向と思われる。なぜなら、シマトビケラ科が占める割合は、1961年以前と1982年以降では大きく異なった。シマトビケラ科が優占した群集では現存量が高い(小林ら, 2013)。この期間でトビケラの増大に関係する出来事は、天ヶ瀬ダムの建設(1964年)である。1971年には既にシマトビケラ科の割合が高かったと考えられ、また宇治市が河川沿いに電撃殺虫器を設置し始めたのが1973年であるため、1970年代初期には既にトビケラ現存量は増大していた可能性がある。

3.3 宇治川における水環境の変遷

(1) 水位・流況

槇尾山水位においては、年最大値に経年的な傾向はなかったが(線形回帰; $n=42$, $p=0.61$)、年中央値は年とともに低くなる傾向にあった($n=42$, $p<0.001$) [Fig. 3A]。一方、向島流量においては、年最大値は年とともに高くなる傾向にあり($n=33$, $p=0.003$)、年中央値に明瞭な傾向はみられなかった($n=33$, $p=0.12$)。2つの地点で傾向が異なるように見えるのは、解析対象年がずれているためである。2地点の結果を踏まえると、年最大値は80年代を中心に低かった期間があり、年中央値は最近数年のデータを除くと年々低下していた傾向にある。

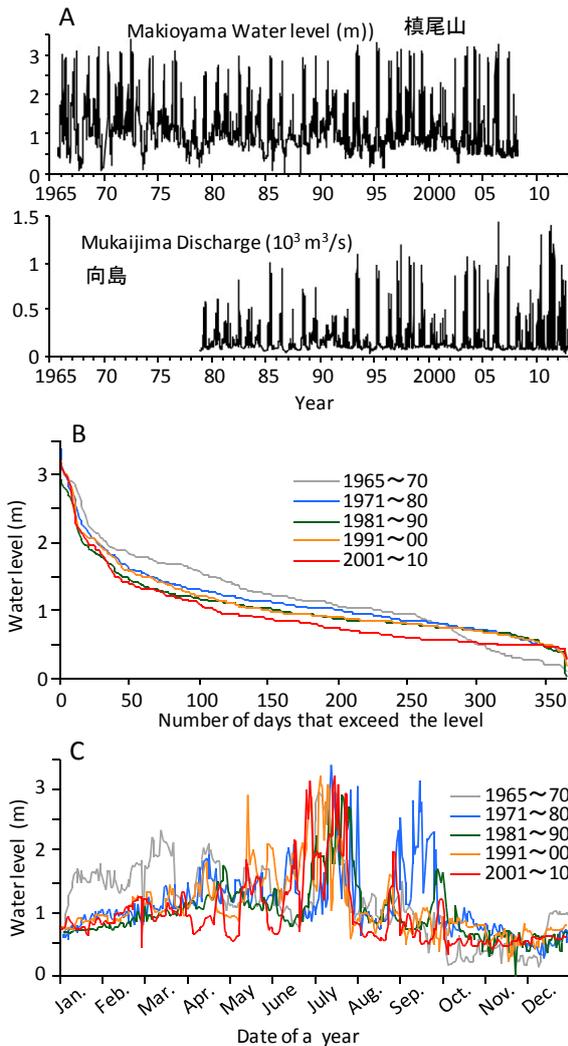


Fig. 3 (A) Water level and discharge records, (B) flow duration curve, and (C) annual flow regime (see text) at Makioyama gauging station, Uji River.

この傾向は10年ごとにまとめた位況・流況曲線でも確認できる[Fig. 3Bには槇尾山地点の位況曲線を示す]. 上述の傾向に加えて, 50~250日流量の範囲全体が, 年代とともに減少している傾向にあった.

また, 位況曲線の365等分位値を1年365日に割り当てたグラフ[Fig. 3C]から, 以下の2点の傾向が読み取れる. 1つは, 年代とともに7, 8月以外の時期の出水(5月以前または9月以降で水位が1.5mを大きく上回るもの)が少なくなる傾向にあった. もう1つは, 年代とともに3-4月が低水位(1m以下の水位)になりやすい傾向にあった.

こうした経年変化が, 気候の短期・長期的な変動に関係しているかは不明である. 春季に水位が低下しやすくなったのは, 琵琶湖の水位操作に関係している可能性がある(琵琶湖在来のコイ科魚類の産卵環境の改善のため, 特に4-5月は琵琶湖の水位を高

く維持する操作が2003年より行われている).

出水は攪乱としてトビケラの生息量を下げる効果がある. しかし, 各年の出水の規模や頻度が確実に減少している傾向は見られない. 冬から春はトビケラが成長する重要な時期であるが, こうした時期の流況の変化がトビケラにどれくらい意味を持つのかはより詳細に検討する必要がある.

(2) 水温

宇治橋と隠元橋の温度に大きな違いは無く(下流の隠元橋で平均で0.1°C高い), 同様の経年変化が見られた[Fig. 4には宇治橋の結果を示す]. なお, 1930年の宇治橋におけるデータもあったため(京都市立衛生試験所, 1930), これも参考までに図に載せている[Fig. 4A]. 宇治橋における過去半世紀の平均は, 年最高水温が28.9°C(標準偏差1.4), 年最低水温は5.4°C(標準偏差1.4)であった. 年最高水温に経年的な傾向はなかったが(線形回帰; $n=47$, $p=0.38$), 最低水温は上昇の傾向にあった($n=47$, $p=0.025$). 季節ごと水温平均値を求めると[Fig. 4B], 夏(6~8月)を除き年々上昇する傾向にあり(p 値; 冬: 0.009, 春: 0.001, 秋: 0.001), 50年に+1.45~1.5°Cという変化率であった.

トビケラの年間有効積算熱量(方法を参照)は平均で2983日度(標準偏差194), 50年に359日度増加の変化率であった. トビケラの潜在世代数は平均で4.5(標準偏差0.3), 50年に0.5世代分増加の変化率であった. このことから, 年々トビケラの生活史の回転が速まり, トビケラ成虫が発生する時期も長くなっていることが示される. 水温の上昇はトビケラ現存量の増大に何かしらか寄与した可能性はあるものの, 上記の変化率によって現存量に数倍の増加が

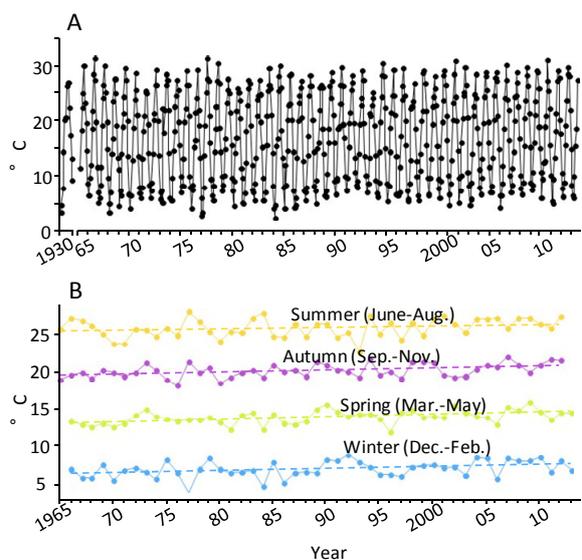


Fig. 4 (A) Water temperature record and (B) change in mean temperature of different seasons at Uji bashi.

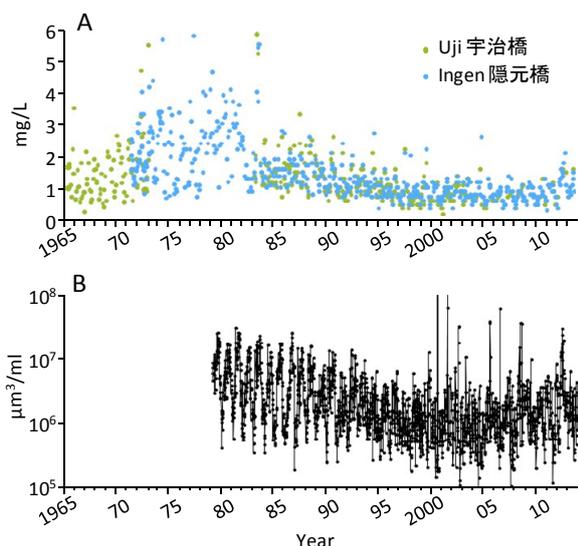


Fig. 5 (A) BOD records in Uji River and (B) drifting photoplankton records in Seta River.

生じることまでは考えにくい。

(3) 水質

宇治川におけるBOD値は1975～1980年をピークに、その後は年々減少する傾向にあった[Fig. 5A, 宇治橋と隠元橋のそれぞれに期間の欠測があるため、両方の結果を示す]。この期間に水質が年々良くなってきたことを示している。瀬田川の植物プランクトン流量については、1979年以降のデータであるが、宇治川のBODと同様の傾向を示した[Fig. 5B]。宇治川の水には琵琶湖や天ヶ瀬ダムで生産されたプランクトンを多く含み、プランクトンがBOD値を左右する重要な有機物であると考えられる。実際、BODと植物プランクトン量には有意な正の相関が認められた(Pearsonの積率相関係数 $R: 0.51, p < 0.001$)。

1980年以降のトビケラ現存量は高いレベルを維持もしくは増加のみであるため、有機物の経年的な減少はトビケラの経年変化を説明するものではない。ただし、天ヶ瀬ダム建設前には有機物量が極めて少なかった可能性もあり、ダム建設後のトビケラの増加に有機物の増加が寄与した可能性は現時点では否定できない。BODも植物プランクトンも最近数年間は増加傾向にあり、今後も注視していく必要がある。

(4) 砂州面積

宇治橋付近における砂州面積は1960年と1979年の間に大きく減少した[Fig. 6]。1960年以前は砂州の位置変化率も大きく、河床地形の変化が大きかったことが示唆される。一方、2001年から2006年の間に砂州面積の増加が見られるが、この間の砂州の変化率は小さいことから、河床地形の変化は極めて小さいと考えられる。

定住生活を送るシマトビケラ科にとっては、河床

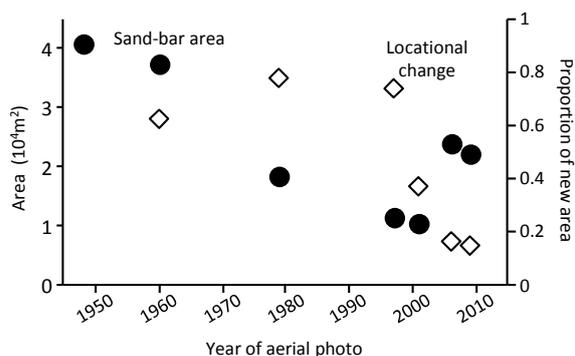


Fig. 6 Changes in bar area and bar location (proportion of new area in total) in a 2-km reach around Uji Bridge.

が安定するほど棲みやすい環境になると考えられる(小林ら, 2010; Kobayashi et al. 2013)。砂州面積と位置変化率の併せたものが、河床変動量の大きさを表していると仮定すると、特に1960年以降の経年的な減少はこの時期におけるトビケラ現存量の増大にも対応するものである。

なお、現在宇治橋付近では10-30cm級の石が砂州を形成している。粒径から以下の式により限界掃流力 τ_c が求まる。

$$\tau_c = \theta_c g d s \quad (2)$$

ここで、 θ_c は無次元限界掃流力(本研究では0.045とした)、 g は重力加速度(9.8m/s²)、 d は代表粒径(m)、 s は粒子の相対比重(1650kg/m³)である。これより10cm石の限界掃流力は約73N/m²と求まる。一方、宇治橋付近の河道条件(河道幅140m、河床勾配1/700)で過去50年の最大レベルの1000m³/sの流量時に発生する掃流力 τ は以下の式により求まる。

$$\tau = \rho g R i_e \quad (3)$$

ここで、 ρ は水の密度(1000kg/m³)、 R は径深(m)、 i_e はエネルギー勾配である。 i_e には河床勾配を代入し、径深は以下のManningの等流式から求まる値を代入する。

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} i_e \quad (4)$$

ここで Q は流量(m³/s)、 n は粗度係数(本研究では0.03と仮定)、 A は断面積(m²:径深と河道幅の積)である。これにより1000m³/sの流量時の掃流力は約40N/m²と求まる。河床の混合粒径を考えると、限界掃流力は多少小さくなる可能性があるが、10cm以上の石の限界掃流力のこともふまえると、宇治橋付近の掃流力は河床の石を動かすのに十分でない可能性が高い。

Table 1 Partial correlation coefficient in linear model examining caddisfly density below Amagase-dam (1982-2004) by environmental variables each year.

	<i>Cheumatopsyche</i> コガタシマトビケラ属	<i>Hydropsyche</i> シマトビケラ属	<i>M. radiatum</i> オオシマトビケラ
Max. discharge (Mukaijima)	-0.42 **	-0.44 **	-0.38 *
Median discharge (Mukaijima)	0.34	0.40 *	0.21
Water temperature (Uji)	0.33	0.04	-0.01
Phtoplankton volume (Seta)	0.47 **	0.60 **	0.25
BOD (Uji)	0.34	0.49 **	0.22
Bivalve density (Amagase)	-0.43 **	-0.57 **	-0.35

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

3.4 トビケラ短期的変動に係る環境要因

前項では、1970年代前半までに増大したと考えられるトビケラ現存量に対する各環境要因の影響について議論してきた。一方、淀川ダム統合管理事務所（2006）のデータ（1982～2004年の各年平均トビケラ生息密度）から、トビケラの生息密度は年によって10倍以上の違いがあることも分かった。このデータは、天ヶ瀬ダム直下における調査に基づくため、必ずしも宇治川全体のトビケラの生息量を表すとは限らないが、どういった年にトビケラが多くなりやすいのか、今後の検証の参考となるように、各環境要因との関係性の有無を調べた。なお、この資料にはトビケラと競争関係になりうるカワヒバリガイの生息密度も記載されているため、これも環境要因の1つに加えた。

シマトビケラ科3種（コガタシマトビケラ属、シマトビケラ属、オオシマトビケラ）の生息密度は様々な要因と有意な関係にあった[Table 1]。3種とも強い関係を示したのが年最大流量で、トビケラ生息密度とは負の関係にあった。種によっては年平均植物プランクトン量やカワヒバリガイ生息密度と強い関係がみられ、前者とは正、後者とは負の関係にあった。なお、環境要因として、前年度の値やトビケラの成長に重要である冬春期の値を用いた分析も行ったが、説明力が格段に上がることはなかった。重回帰分析も試みたが、2つ以上の環境要因によって説明力が格段に上がることはなかった。

ここで、トビケラ生息密度と関係の強かった環境要因に絞って、図で改めて対応関係を見てみた[Fig. 7]。期間の前半に対して後半は、トビケラの生息密度が全体的に低い傾向にあった。植物プランクトン濃度は年々低下の傾向にあるため、この期間全体としてはトビケラとの関係性があったが、前半と後半のそれぞれでの関係性は低かった。カワヒバリガイ

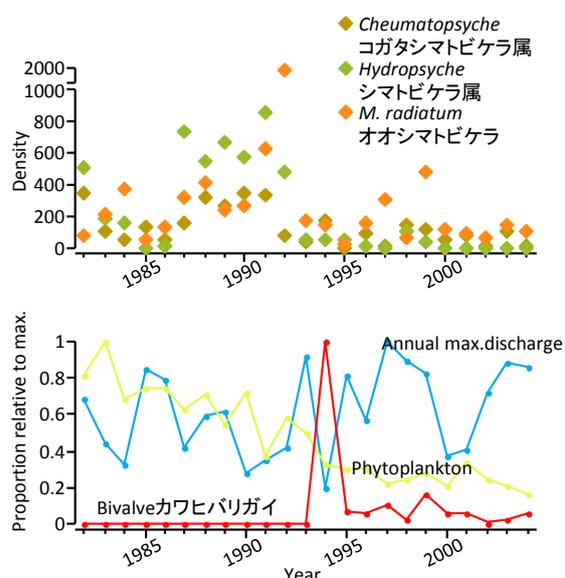


Fig. 7 Records of caddisfly density (upper) and selected environmental variables (lower).

は、1994年より前は宇治川では全く確認されていなかった外来種である。必然的に期間後半に多いため、期間全体としてはトビケラと負の関係があった。しかし、前半ではトビケラの変動とは全く関係がない上に、カワヒバリガイが進入する前年にトビケラ生息密度に大きな減少が見られるなど、トビケラの変動にカワヒバリガイが直接影響しているとは考えにくい部分もあった。

トビケラ生息密度は1987年～1992年に最大レベルとなっているが、この期間はちょうど年最大流量が小さかった時期である。1993年以前では、特にオオシマトビケラにおいては、年最大流量との間の負の関係をはっきりしている。1994年以降は年最大流量が全体的に大きく、トビケラ生息密度が全体的に低いことと対応する。ただし、1994年以降を詳しくみると、必ずしもトビケラの変動が流量に対応しているわけではなかった。出水は河床を攪乱し、攪乱の大きい年にシマトビケラ科が少なくなることが本来は期待されるが、そうした出水の効果は年々弱まってきていることが考えられる。すなわち、以前は大きな増水があれば動いていた河床の石が、徐々に大きくなって安定化し、増水が攪乱となりにくくなっているということが考えられる。

4. まとめ

宇治川での既存の底生動物調査の結果の整理から、宇治川のトビケラ現存量が特に大きく増大したのは、天ヶ瀬ダム建設後から1970年代前半までの間である

可能性が示された。ただし、天ヶ瀬ダム建設前にも大峰ダムが存在し、また元より琵琶湖の下流であることから、トビケラ現存量が高まりやすい条件の一部は昔から備わっていたことも考えられる。

流量、水温、水質、河床のそれぞれに過去半世紀の間の変化が見られたが、トビケラの増大と最も関係していると思われるのは河床環境（砂州面積、変化率）であった。天ヶ瀬ダムが出来てから、河床礫が徐々に粗大化し、増水があっても動かない状態に変わり、定住型の生活を送るシマトビケラ科の仲間にとって有利な条件になったことが推察される。年々、トビケラの変動と増水に対応がなくなっていることも明らかとなった。

現在の宇治川（特に宇治橋を中心とした上流部）では出水で発生する掃流力に対して河床礫が極めて大きい状態である。トビケラ成虫の大発生のもとである幼虫の生息量を減少させるには、土砂還元などによって河床を多少なりとも不安定化させる工夫が必要と考えられる。

謝 辞

宇治川における流量や水質のデータ、また過去の宇治川における地形や航空写真が含まれた資料をご提供いただいた淀川統合管理事務所の方々、また本研究を進める上で様々ご協力いただいた宇治市環境企画課の方々に厚くお礼申し上げます。

参考文献

天ヶ瀬ダム漁業補償生物調査班（1961）：天ヶ瀬ダム建設にともなう漁業補償のための生物調査報告，近畿地方建設局天ヶ瀬ダム工事事務所
川合禎次・谷田一三（2005）：日本産水生昆虫検索図説—科・属・種への検索，東海大学出版会。
京都市立衛生試験所（1930）：京都市立衛生試験所報告第20回，京都市立衛生試験所。
京都府衛生公害研究所（1983）：生物指標を用いた環境汚染調査VI.宇治川の底生動物相調査，京都府衛生公害研究所，33 pp。
小林草平・赤松史一・矢島良紀・中西哲・三輪準二・天野邦彦（2013）：河川水辺の国勢調査から見た日本の河川底生動物群集：全現存量と主要分類群の空間分布，陸水学雑誌，Vol. 74，pp. 129-152。
小林草平・中西 哲・尾嶋 百合香・天野邦彦（2010）：愛知県豊川における瀬の物理特性と底生動物現存量，陸水学雑誌，Vol. 71，pp. 147-164。
柴田喜久男（1975）：水力発電導水路害虫ウルマアシマトビケラ (*Hydropsyche ulmeri*) の生態と防除，

pp.149.

水質汚濁防止関西地区協議会（1956）：淀川水質汚濁総合調査報告（昭和30年1月～12月），水質汚濁防止関西地区協議会，130 pp.

藤永 愛・坂口 勇（2005）：水力発電所におけるトビケラ類付着被害の実状と対策事例，電力中央研究所報告書，調査報告：V04031，電力中央研究所・環境科学研究所。

谷田一三（1995）：河川ベントスの棲み込み関係，キースピーシスとしてのトビケラ，棲み場所の生態学，竹門康弘・谷田一三・玉置昭夫・向井宏・川端善一郎，平凡社，pp. 95-128。

津田松苗 編（1955）：宇治発電所の発電害虫シマトビケラの研究，関西電力株式会社近畿支社，29 pp.

中村寿子（1985）：淀川の生物相とその変遷について，生活衛生，Vol. 29，pp. 238-254。

八木雅之・笹川満廣（1992）：コガタシマトビケラの生活史と群飛行動，環動昆虫，Vol. 4，pp.1-10。

淀川ダム統合管理事務所（2006）：平成18年度天ヶ瀬ダム定期報告書，淀川ダム統合管理事務所。

Fredeen F.J.H. (1972): The temporary abatement of nuisance species of Trichoptera with DDD (TDE) larvicide, Can. Entomol., Vol. 104, 145-163.

Fremling, C.R. (1960): Biology and possible control of the upper Mississippi River, Agricultural and Home Economics Experiment Station, Res. Bull., Iowa State University of Science and Technology, Vol. 483, pp 856-879.

Kimura, G., Inoue, E. and Hirabayashi, K. (2008): Seasonal abundance of adult caddisfly (Trichoptera) in the middle reaches of the Shinano River in central Japan. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Pests. W.H Robinson and D. Bajomi (eds), OOK-Press Kft., H-8200 Veszprém, Pápai út 37/a, Hungary.

Kobayashi, S., Amano, K. and Nakanishi, S. (2013): Riffle topography and water flow support high invertebrate biomass in a gravel-bed river, Freshwat. Sci., Vol. 32, pp.706-718.

Mackay, R.J. and Waters, T.F. (1986): Effects of small impoundments on Hydropsychid caddisfly production in Valley Creek, Minesota, Ecology, Vol. 67, 1680-1686.

Ock G. and Takemon Y. (2013) Effect of reservoir-derived plankton released from dams on particulate organic matter composition in a tailwater river (Uji River, Japan): source partitioning using stable isotopes of carbon and nitrogen. Ecohydrology, Published online in Wiley Online Library, DOI:

10.1002/eco.1448.

Oswood, M.W. (1979): Abundance patterns of filter-feeding caddisflies (Trichoptera: Hydropsychidae) and seston in a Montana (U.S.A.) lake outlet, *Hydrobiologia*, Vol. 63, pp. 177-183.

Parker, C.R. and Voshell, R. (1983) Production of filter-feeding Trichoptera in an impounded and a free-flowing river. *Can. J. Zool.*, Vol. 61, 70-87.

Peterson, D.G. (1952): Observations on the biology and control of pest Trichoptera at Fort Erie, Ontario, Can. *Entomol.*, Vol. 84, pp. 103-107.

(論文受理日 : 2014年6月11日)