

矢作川における造網性トビケラ類を用いた河床攪乱の評価

Assessment of riverbed disturbance using net-spinning caddisfly (Insecta, Trichoptera) in the Yahagi River, central Honshu, Japan.

岡田和也[†], 内田臣一^{††}, 小久保嘉将^{†††}

Kazuya OKADA, Shigekazu UCHIDA, Yoshimasa KOKUBO

Abstract To clarify the distribution of three net-spinning caddisfly (Insect, Trichoptera) species, *Stenopsyche marmorata*, *S. sauteri*, (Stenopsychidae) and *Macrostemum radiatum* (Hydropsychidae), their larvae and pupae were collected in 2004-2016 at 197 sites in the Yahagi River system, central Honshu, Japan. *S. marmorata* was widespread in the river system. *S. sauteri* was restricted in some large rivers but less abundant in the mainstream. *M. radiatum* was abundant in the reach from the Yahagi Daini Dam to the Tenjin Bridge along the mainstream of the Yahagi River. To clarify the life history of *S. marmorata* and *M. radiatum*, their larvae, pupae, and adults were collected 18 times from August 2014 to December 2015 at the Heisei Kinen Bridge in the Yahagi River. Results of the collection indicate that *S. marmorata* is bivoltine whereas *M. radiatum* is univoltine. The results also indicate that large larvae (fourth and fifth instar) and pupae of both the two species can be simultaneously collected only in the season from November to April of the following year. It suggests that the season is suitable for the field research to know the dominant species of net-spinners in the Yahagi River. Then, net-spinners were collected in April, November and December of 2015 at 86 sites in the riffles of the mainstream of the Yahagi River, where both *S. marmorata* and *M. radiatum* are distributed. The results show that either *S. marmorata* or *M. radiatum* was dominant in the net-spinners at most of the 86 sites, and that distinct differences were often observed in the abundance of *S. marmorata* and *M. radiatum* even between adjacent sites. If *M. radiatum* is hypothesized to be the climax species and *S. marmorata* to be the pre-climax species in the succession of benthic macroinvertebrates in the Yahagi River, dominance of *M. radiatum* suggests the long-term stability of riverbed after the disturbance caused by flood, and dominance of *S. marmorata* suggests that the stability continued in a relatively short time.

1. はじめに

矢作川は標高 1908 m の大川入山（長野県）を源流として愛知県中央部を流れ、三河湾に注ぐ一級河川である（図 1）。この矢作川中・下流では 1970 年代までの複数のダム建設などにより、上流の山地からの土砂の移動が妨げられた。そのため、中流の河床から細粒の砂礫が流れ去ってしまい、河床の表層に粗粒の礫だけが残るアーマー化という現象が起こったことで、河床が極めて安定し、攪乱に乏しい状態となった¹⁻³⁾。この砂礫の移動の減少には、1955 年頃から 1995 年まで越戸、阿摺、百月の各ダム貯水池内で砂利採取が行われた⁴⁾ ことも影響し

ていると考えられる。さらに 1971 年に完成した流域最大のダムである矢作ダムの洪水調節により、出水の規模と頻度が小さくなったことでも河床への攪乱が減り¹⁾、さらなる河床の安定を促したと考えられる。

このように河床が安定すると、河川の瀬の底生動物群集において、造網性トビケラ類が増加すると言われてい⁵⁾。矢作川でも特に中流において、造網性トビケラ類が優占して生息している⁶⁾。

この矢作川中流の一部区間においては、カワシオグサ *Cladophora glomerata* など大型糸状緑藻の大繁茂^{3, 7, 8)}、外来の二枚貝カワヒバリガイ *Limnoperna fortunei* の侵入と大発生⁹⁾、外来の水草オオカナダモ *Egeria densa* の大繁茂¹⁰⁾ が生物の異常発生として問題となっている。これらの問題も河床への攪乱が乏しく、河床が過度に安定

† 愛知工業大学大学院 建設システム工学専攻

†† 愛知工業大学 工学部 土木工学科

††† 愛知工業大学 工学部 都市環境学科

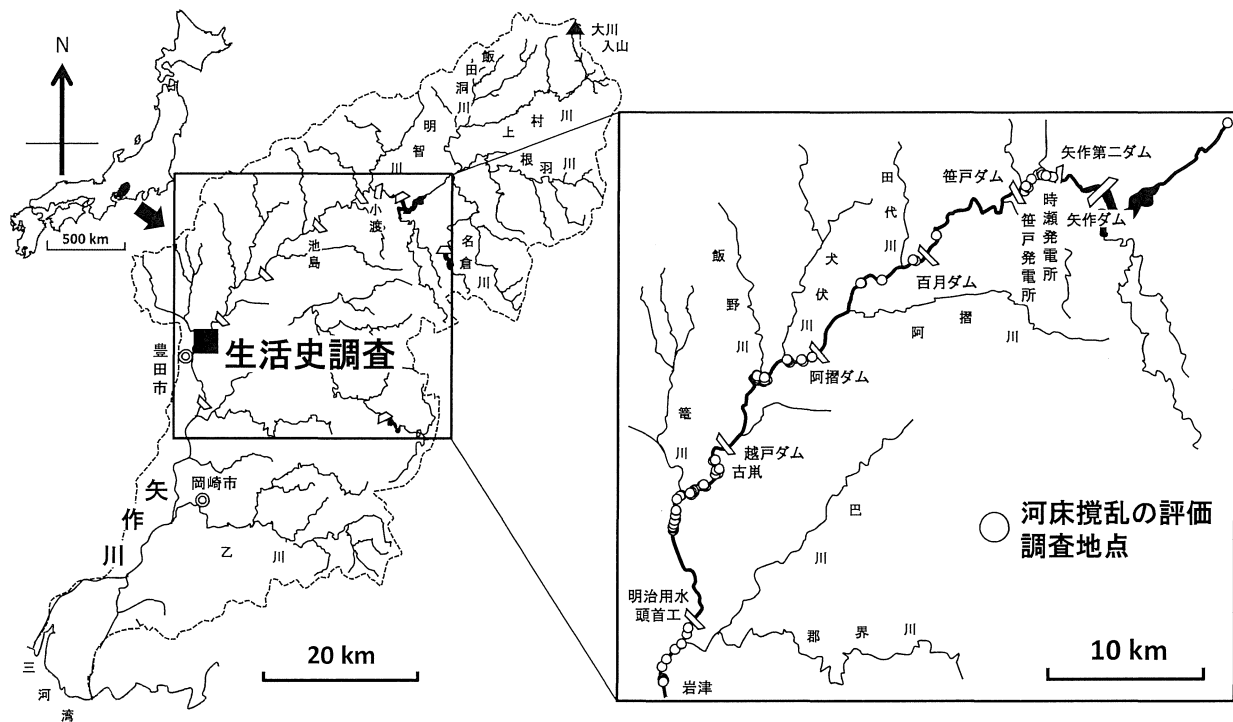


図 1. 矢作川水系における調査地点

していることに、少なくとも一部は原因があるのではないかと示唆されている^{1, 3, 7, 8, 10)}。

一方、その上流にある矢作ダムには、本来のダム機能を損なう恐れがあるほどの土砂が堆積している。そこで、国土交通省は、堆砂への対策として土砂バイパストンネルの建設を検討している¹¹⁾。

この土砂バイパストンネルの建設によって、矢作ダムより下流に流下する土砂量が増加することによる影響や効果を把握するため、2006年から矢作ダム下流の2地点（小渡、池島）で置き土実験が行われた¹²⁻¹⁴⁾。さらに、流量に合わせて排出する土砂量のコントロールができる給砂施設を設置することが検討されている¹⁵⁾。これら置き土実験、給砂施設の設置、さらに土砂バイパストンネルの建設と運用は、1995～1998年に行われた砂利投入実験⁷⁾と同様に、河床の攪乱を促進する結果をもたらすと考えられる。

これら河床の攪乱を促進することになる事業の影響や効果については、土砂移動量などの物理的な指標によって評価するだけでなく、水生生物を調べることによって、その生息環境を評価することも必須である。

そこで、岡田・内田¹⁶⁾は、水生生物によって河床の攪乱を評価するための基礎として、矢作川中流で代表的な造網性トビケラであるヒゲナガカワトビケラ *Stenopsyche marmorata* Navás, 1920 とオオシマトビケラ *Macrostemum radiatum* (McLachlan, 1872) について遷移にお

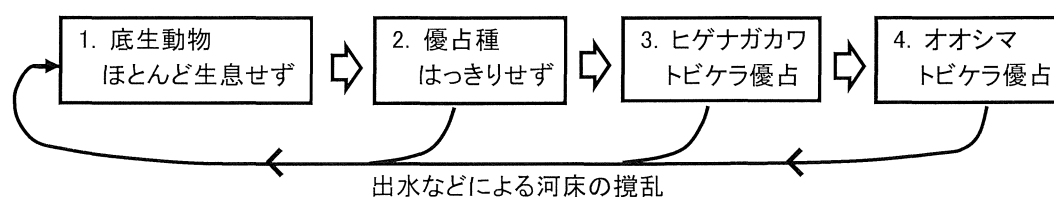
ける位置付けを検討し、矢作川中流の瀬における底生動物群集の遷移について、次の仮説を提案した（図 2）。

出水などによって河床の砂礫が動かされて攪乱された直後には、1. 底生動物がほとんど生息していない状態になる。その後、河床の安定が続くと、まず 2. カゲロウ類・ユスリカ類などが多い優占種がはっきりとしない群集となり、次に造網性トビケラ類の優占する群集となる。その中で、まず 3. ヒゲナガカワトビケラが優占する群集となり、その後 4. オオシマトビケラが優占する群集で極相となる。

しかし、岡田・内田¹⁶⁾の研究では、矢作川水系全体での造網性トビケラ類の分布を明らかにしておらず、矢作川水系でこの仮説を適用できる範囲を検討していない。また、岡田・内田¹⁶⁾ではヒゲナガカワトビケラとオオシマトビケラ的生活史を考慮していないため、矢作川中流の調査結果でたびたび見られる 5 月と 9, 10 月にヒゲナガカワトビケラ、7 月頃にオオシマトビケラの湿重量が少ない現象を説明できない。

この両種的生活史に関しては、他の地域で次の報告がある。ヒゲナガカワトビケラについては、西村¹⁷⁾のまとめによると、北海道の網走川では年 1 世代、本州では年 2 世代のところが多いとされ、オオシマトビケラについては、福島県の裏磐梯地域の長瀬川では年 1 世代¹⁸⁾、奈良県の吉野川では年 2 世代¹⁹⁾、京都府の宇治川では年 3 世代²⁰⁾と報告されている。矢作川中流においても、田代

矢作川における造網性トビケラ類を用いた河床攪乱の評価

図2. 矢作川中流の瀬における底生動物群集の遷移仮説¹⁶⁾

ほか^{21, 22)}が、ヒゲナガカワトビケラ(田代ほか²²⁾では *Stenopsyche* sp. として)は年2世代、オオシマトビケラは年1世代と推察したが、幼虫の平均湿重量のみに基づく推察であり、生活史の研究として十分ではない。

そこで本研究では、まず、矢作川水系における造網性トビケラ類のうち、底生動物群集の現存量の大半を占めることが多い大型の造網性トビケラ類3種(ヒゲナガカワトビケラ、オオシマトビケラ、チャバネヒゲナガカワトビケラ *Stenopsyche sauteri* Ulmer, 1907)の分布を調べた。次に、造網性トビケラ類の種の構成を調査するのに適した季節を特定するため、矢作川中流における代表的な種であるヒゲナガカワトビケラとオオシマトビケラ的生活史を幼虫の齢期分析と蛹・成虫の採集結果によって調べた。そして、岡田・内田¹⁶⁾の仮説(図2)が適用できると考えられる矢作川本流の区間において、造網性トビケラ類の種の構成を調べるのに適した季節に調査し、造網性トビケラ類によって河床の攪乱からの相対的な時間を評価した。

なお、本研究では谷田²³⁾と谷田ほか²⁴⁾に従ってヒゲナガカワトビケラ科 *Stenopsychidae*、シマトビケラ科 *Hydropsychidae* などシマトビケラ上科 *Hydropsychoidea* に属する9科を造網性トビケラ類とした。造網性トビケラ類の分類学的な扱いは、谷田ほか²⁴⁾に従った。本研究で用いた標本は愛知工業大学 土木工学科 河川・環境研究室に保存されている。

2. 調査地と方法

2・1 造網性トビケラ類の分布調査

愛知工業大学 河川・環境研究室が2004年より行った矢作川水系における181地点での調査によって採集された標本を用いて、造網性トビケラ類のうち大型の3種、ヒゲナガカワトビケラ、チャバネヒゲナガカワトビケラ、オオシマトビケラの分布を調べた。また、中日本高速道路(株)から、新東名高速道路建設に伴って矢作川の支流である乙川水系と郡界川の17地点で採集された底生動物を提供されたので、その標本も分布資料に加えた。

そして、これら3種の分布から、ヒゲナガカワトビケラ属の少なくともどちらかとオオシマトビケラが同時に

生息している区間を特定し、岡田・内田¹⁶⁾の仮説に基づき、造網性トビケラ類の優占種を用いて、河床攪乱からの相対的な時間を推定することができると考えられる区間を検討した。

採集方法は次の定時間採集と定性採集の2通りである。また、「2・3・1 造網性トビケラ類の優占種調査」によって得られた標本も分布資料に含めた。

定時間採集では、2~15人で底生動物を採集し、採集時間の合計がのべ120分となるように時間を設定した。採集は網目内径約3mmのタモ網を用い、瀬や淵、落ち葉が溜まっている場所など様々な微生息場所で行った。採集した底生動物は80%エタノール中に保存した。

定性採集では、1~4人で底生動物を採集し、採集時間は設定しなかった。採集は網目内径約3mmのタモ網を用い、瀬や淵、落ち葉が溜まっている場所など様々な微生息場所で行った。採集した底生動物は80%エタノール中に保存した。

現地から実験室へ持ち帰った底生動物から、双眼実体顕微鏡(Nikon SMZ645)を用いてヒゲナガカワトビケラ属とオオシマトビケラを取り出し、同定した。

2・2 ヒゲナガカワトビケラとオオシマトビケラ的生活史調査

調査地は愛知県豊田市荒井町・川田町の平成記念橋周辺の矢作川で、2014年8月8日、9月15日、11月13日、12月5日、2015年1月9日、2月6日、3月11日、4月10日、5月8日、6月12日、7月10日、7月21日、8月7日、9月5日、10月3日、10月23日、11月8日、12月6日に底生動物を採集した。2014年10月は増水が続き、採集できなかった。

採集は網目内径約0.13mmのDフレームネットにより、早瀬を中心に様々な場所で行った。2014年12月までの採集ではネットに入った底生動物、落葉・落枝、砂礫などから砂礫を除き、網目内径約0.7mmの金属製のふるいで水を切って、それを80%エタノール中に保存した。2015年1月からの採集では同じく網目内径約0.13mmのDフレームネットに入ったものから砂礫を除き、同じDフレームネットで水を切って、それを80%エタノール中に保存した。そして、現地から実験室へ持ち帰った底

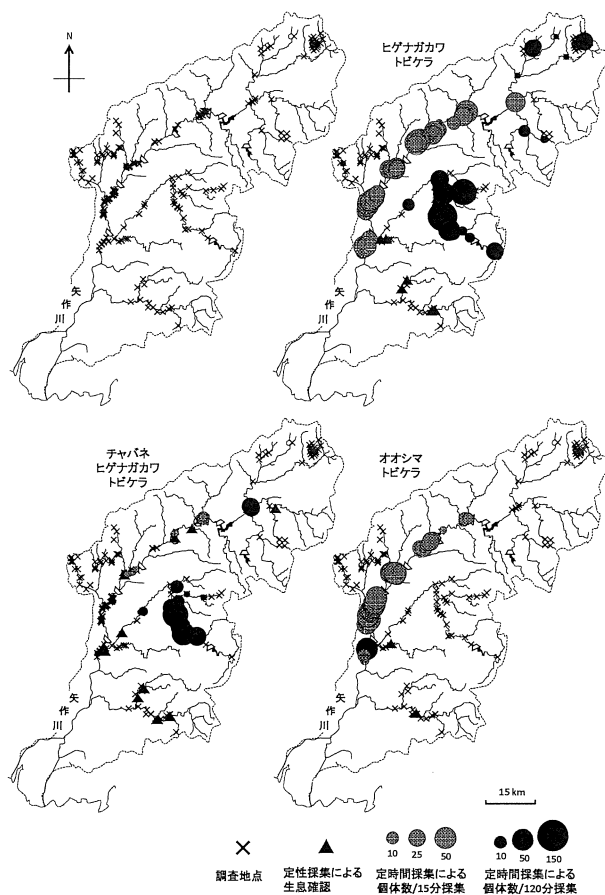


図 3. 矢作川水系における造網性トビケラ類 3 種の分布
(左上, 調査地点; 右上, ヒゲナガカワトビケラ; 左下,
チャバネヒゲナガカワトビケラ; 右下, オオシマトビケラ)

生動物および落葉・落枝などから双眼実体顕微鏡 (Nikon SMZ645) を用いて底生動物を取り出した。さらに底生動物からヒゲナガカワトビケラとオオシマトビケラを取り出した。

成虫は幼虫の採集と同じ日に調査地付近の河畔でスウィーピングにより採集し、現地にて 80 % エタノール中に保存した。ただし、2015 年 5 月 8 日には調査地付近で成虫が採集できなかったが、翌日の 5 月 9 日に調査地より約 2.2 km 上流の左岸側 (古巣水辺公園) を訪れた際に多くのヒゲナガカワトビケラが飛翔していたため、その時に成虫を採集し、5 月の調査結果に含めた。

2・2・1 齢期分析

ヒゲナガカワトビケラとオオシマトビケラの幼虫の成長段階を調べるために幼虫の齢期を分析した。トビケラ目では、一部の例外を除いて、卵から孵化した 1 齢幼虫が成長とともに 4 回の脱皮をして 5 齢幼虫となり、その後もう一度脱皮して蛹となる。本研究で扱うヒゲナガ

カワトビケラとオオシマトビケラの幼虫も 5 齢の幼虫期を経て蛹となる。

ヒゲナガカワトビケラとオオシマトビケラの幼虫の齢期を判定する基準として、双眼実体顕微鏡 (OLYMPUS SZ11) と接眼マイクロメーターを用いて、節片化された頭部の長さ (以下、頭長とする) と頭部の幅 (以下、頭幅とする) を 0.01 mm の精度で測定した (図 4)。頭長・頭幅を測定した幼虫は、ヒゲナガカワトビケラは 1023 個体、オオシマトビケラは 1137 個体である。

なお、2 齢以降とは形態が異なる 1 齢幼虫の同定について、ヒゲナガカワトビケラは青谷・横山²⁵⁾、オオシマトビケラは岡崎¹⁹⁾を参考にした。前蛹は、それより前の 5 齢幼虫から、蛹室に入っていることと腹部が円筒形から明瞭な「かまぼこ形」に変形していることによって区別した。

2・2・2 成長段階の季節変化

齢期を判定したヒゲナガカワトビケラとオオシマトビケラの幼虫、前蛹、蛹を計数した。成虫については雌雄それぞれの個体数を示した。

ヒゲナガカワトビケラの卵は孵化するまでに 7~21 日程度 (水温に影響を受ける) を要する¹⁷⁾。そのため、両種ともに産卵期の後に多くなると考えられる 1 齢幼虫の個体数を特に重視して、両種の成長段階の季節変化を推定した。

2・3 河床攪乱の評価

2・3・1 造網性トビケラ類の優占種調査

矢作川本流の広域に設けた 83 地点において、2015 年 11 月 8, 15, 17, 22 日, 12 月 6, 15, 16, 19, 23, 26 日に造網性トビケラ類を採集した。この調査は一部を除いて、「2・1 造網性トビケラ類の分布調査」で検討したヒゲナガカワトビケラ属とオオシマトビケラの両方が採集された範囲 (本流の矢作第二ダムから岩津の天神橋付近) で、「2・2 ヒゲナガカワトビケラとオオシマトビケラの生活史調査」で検討した造網性トビケラ類の種の構成を調べるのに適した季節 (11 月から翌年 4 月) に行った。

3~10 人で採集時間の合計がのべ 15 分となるように時間を設定し、網目内径約 3 mm のタモ網を用い、原則として早瀬の 10 m×10 m の範囲で採集した。網に入った底生動物のうち、造網性トビケラ類だけを取り出し、それを 80 % エタノール中に保存した。そして、現地から実験室へ持ち帰り、双眼実体顕微鏡 (Nikon SMZ645) を用いて科、属、種まで可能な限り同定し、それぞれの湿重量を電子天びん (A&D HR-60) を用いて測定した。

矢作川における造網性トビケラ類を用いた河床攪乱の評価

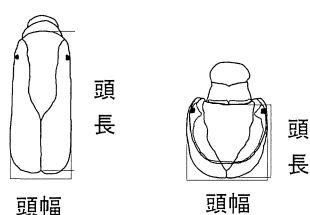


図4. ヒゲナガカワトビケラ（左）と
オオシマトビケラ（右）の頭部の模式図

この採集方法は、短期間に多くの地点を調査し、その各地点における造網性トビケラ類の優占種を判断するための方法として考案した。

また、2015年4月10日に矢作川本流の矢作第二ダムから笹戸発電所の下流までの7地点において行った予備的な採集の結果を、前述の結果に加えた。これは、2015年11月～2016年2月に笹戸ダムから笹戸発電所までの区間では、笹戸発電所が運転していなかったため、増水して前述の方法では調査できなかったためである。この予備的な採集では、7人で網目内径約3mmのタモ網を用い、早瀬を中心として様々な場所で造網性トビケラ類を50個体になるまで採集し、80%エタノール中に保存した。

なお、2015年4月10日に採集した7地点(地点5, 8, 12, 18～21)のうち、3地点(地点5, 8, 21)は2015年11～12月に行った調査の地点(地点6, 9, 22)と重複するため、図10には示さなかった。

2・3・2 調査地点の河床材料・植生などの観察

「2・3・1 造網性トビケラ類の優占種調査」と同時に、各地点で河床の安定が続いていた場合、顕著になると思われる現象を観察した。そして、観察された現象を次のように段階を分けて図示した(図7右)。これらの現象のうち、2. 大型糸状緑藻、4. カワヒバリガイ、5. オオカナダモについては「1. はじめに」で述べた通り、矢作川中流においてその異常発生が問題になっている。

1. 礫の色: 河床の礫に付着した付着藻類の繁茂状況によって礫の色が本来の色(矢作川の河床の礫の大部分は花崗岩で明るい)から暗くなる現象を観察した。礫本来の色の礫が河床材料となっていた割合が0～10%程度(黒)、10～50%程度(灰)、50～100%程度(白)。
2. 大型糸状緑藻: 大型糸状緑藻が河床の礫を覆っていた割合(被度)を観察した。0% (観察されなかった、白)、1～5%程度(灰)、5%以上(黒)。
3. 蘚類: 水際の礫など、または、河床の礫に付着した蘚類を観察した。観察されなかった(白)、水際の礫などで観察された、あるいは、水中の礫に付着した蘚類の被度が10%以下(灰)、水中の礫に付着した蘚類の被度が10%より多い(黒)。
4. カワヒバリガイ: 調査時に網の中に入ったカワヒバリガイの個体数を数えた。網に入らなかった(白)、生貝・死貝の個体数を合わせて50個体以下(灰)、生貝・死貝の個体数を合わせて50個体より多い(黒)。
5. オオカナダモ: 上流から流れ着いて礫などに引っかかっていたオオカナダモ(以下、切れ藻とする)、または、河床に根を張ったオオカナダモを観察した。観察されなかった(白)、切れ藻が観察された(灰)、根を張ったオオカナダモが観察された(黒)。
6. セキショウ: 水際に生えた植物セキショウ *Acorus gramineus* を観察した。観察されなかった(白)、観察された(黒)。
7. 細礫と砂の量: 河床の礫間の細礫と砂の状態を観察した。一部で礫を覆うほど堆積していた(白)、中程度(灰)、礫間にほとんどなかった(黒)。

なお、2015年4月10日に行った採集(地点5, 8, 12, 18～21)では、これらの現象を観察していない。

2・4 矢作川上・中流における土砂(礫)の移動量

矢作川の上・中流における土砂(礫)の移動量を次の文献を基に模式図で示した(図11)。支流からの土砂流入量は建設省 豊橋工事事務所²⁶⁾による砂防堰堤への堆砂量から求めた年流出土砂量、各ダムへの礫の流入量は

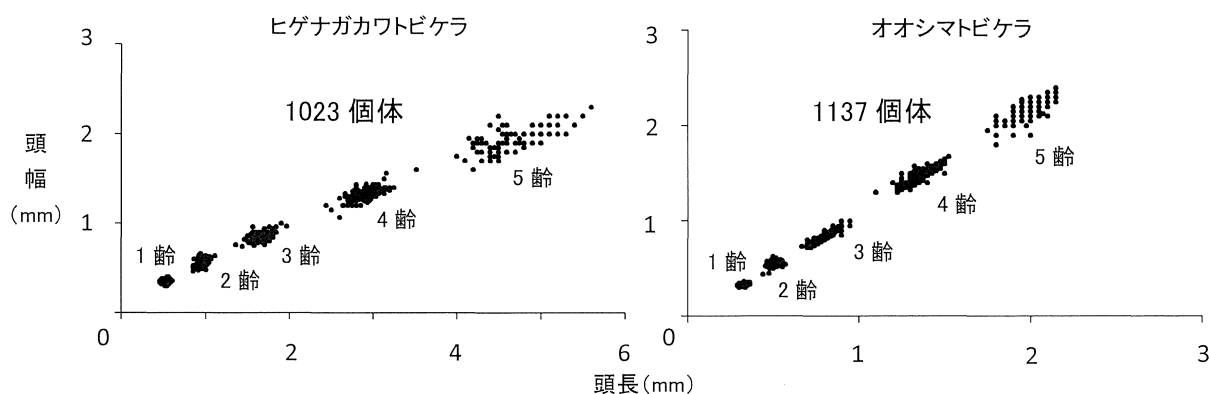


図5. ヒゲナガカワトビケラ（左）・オオシマトビケラ（右）幼虫の頭長と頭幅

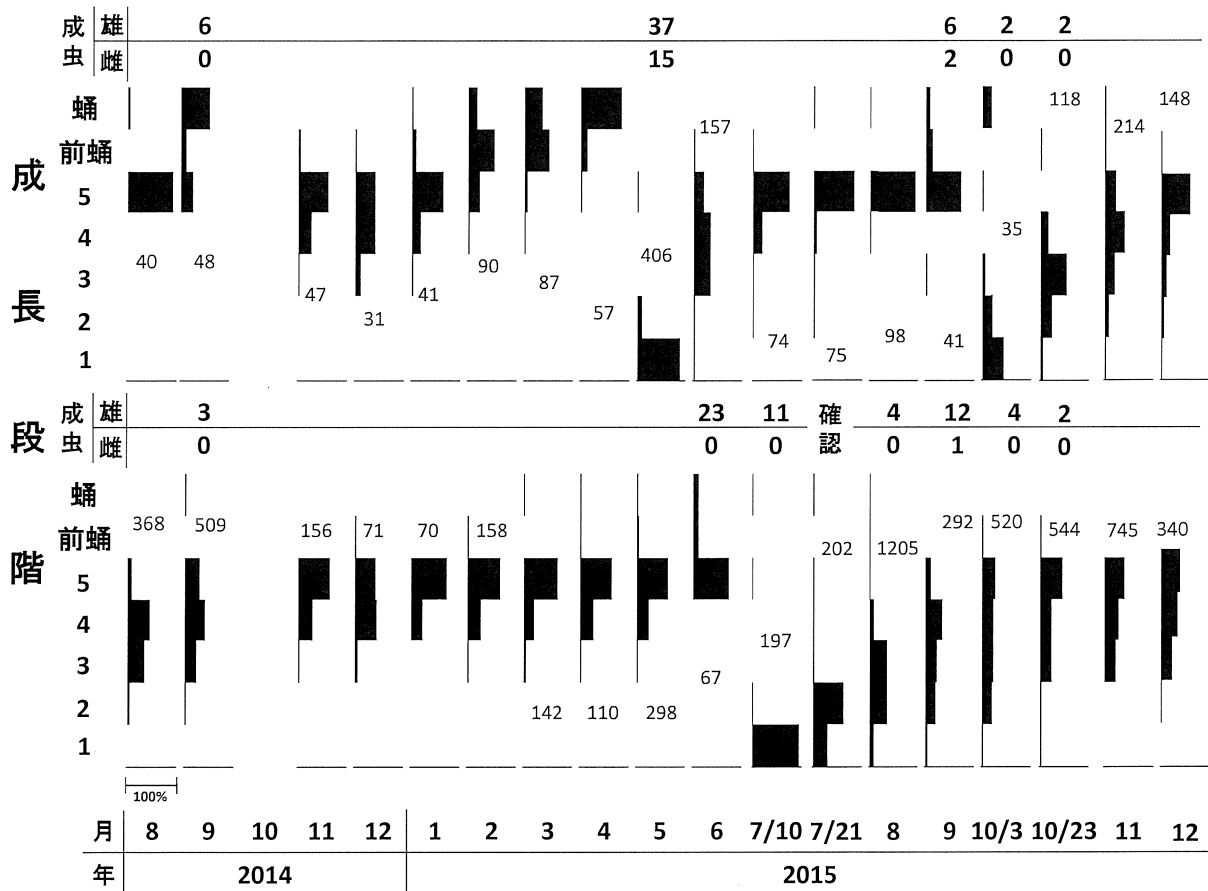


図 6. ヒゲナガカワトビケラ (上) とオオシマトビケラ (下) の成長段階の季節変化 (グラフ中の数字は個体数)

中村・内田²⁾による各ダム貯水池での横断測定の結果から求めた東海豪雨の際の礫の流入量、各ダムを越える礫の量は国土交通省 豊橋河川事務所¹⁵⁾による一次元河床変動解析から推算した礫の移動量を示した。

この土砂(礫)の移動量と「2・3 河床攪乱の評価」の調査結果との関係を検討した。

3. 結果と考察

3・1 造網性トビケラ類の分布調査 (図 3)

ヒゲナガカワトビケラは矢作川水系の上流から中流にかけての広域に分布していた (図 3 右上)。

チャバネヒゲナガカワトビケラはヒゲナガカワトビケラと比べて、規模の大きな河川に分布する傾向があった (図 3 左下)。しかし、規模の大きな河川であっても矢作川本流の百月ダム～明治用水頭首工の区間では稀で、特に越戸ダム～明治用水頭首工の区間では多数の地点での多数回の採集にもかかわらず、全く採集されなかった。

オオシマトビケラはチャバネヒゲナガカワトビケラよりもさらに規模の大きな河川に分布している傾向があ

り、ダムが連続している区間とその下流に分布している傾向があった (図 3 右下)。これはオオシマトビケラが止水域に由来するプランクトンを好んで摂食するため²⁷⁾、ダム貯水池などの湛水域の下流にオオシマトビケラにとって好適な環境が形成されたためだと考えられる。

これらのことから、矢作川水系において、ヒゲナガカワトビケラ属とオオシマトビケラの両方が分布しており、岡田・内田¹⁶⁾の仮説を適用することができる区間は、本流の矢作第二ダム下流から岩津の天神橋付近であると考えられる。

3・2 ヒゲナガカワトビケラとオオシマトビケラの生活史調査

3・2・1 齢期分析

齢期分析の結果を図 5 に示す。両種ともほぼ明瞭に 5 齢に対応する頭長・頭幅の不連続な群に分けることができた。

矢作川における造網性トビケラ類を用いた河床攪乱の評価

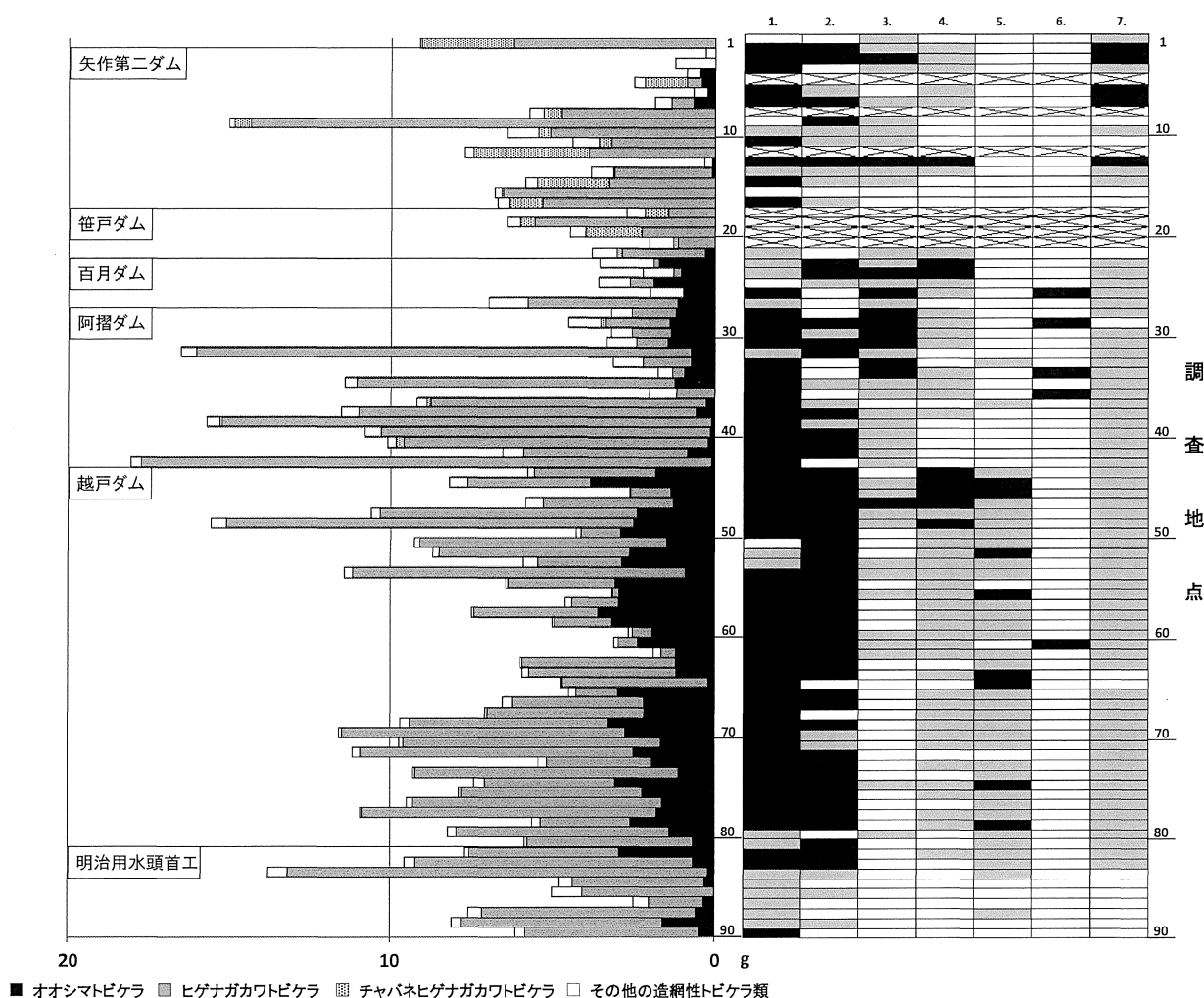


図7. 矢作川本流の瀬における造網性トビケラ類の湿重量 (左) と調査地点の観察結果 (右)

3・2・2 成長段階の季節変化 (図6)

ヒゲナガカワトビケラについては (図6上)、5月に成虫と1齢幼虫が多く採集されたことから、冬に成長して4月には蛹となっていた世代が4月頃に羽化し、産卵したと推定される。そして、9、10月に成虫、10月に1齢幼虫が比較的多く採集されたことから、4~5月頃に孵化した幼虫が夏に成長し、9~10月頃に羽化・産卵したと推定される。従って、矢作川中流におけるヒゲナガカワトビケラの生活史は年2世代であると考えられる。

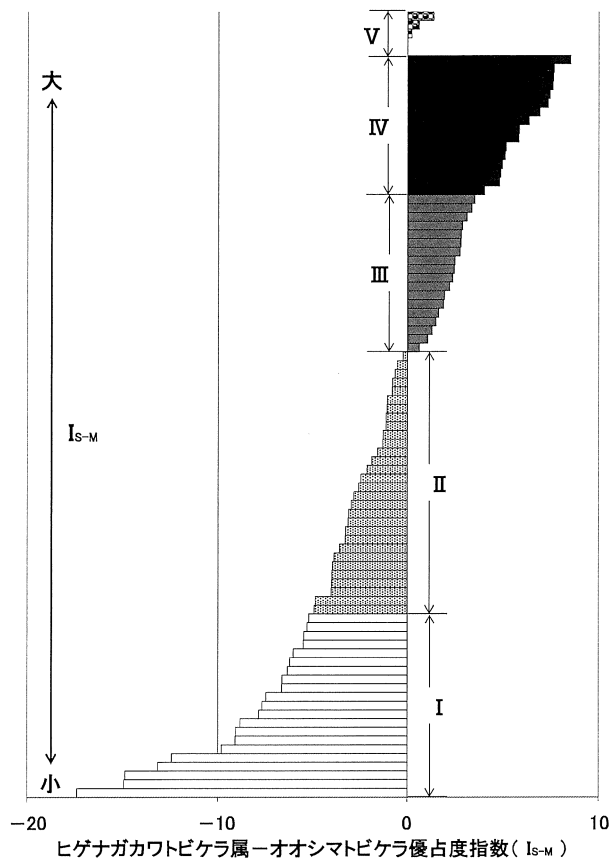
オオシマトビケラについては (図6下)、6月に最も多くの成虫が採集されたことから、羽化期は6月に始まっていたと推定される。そして、7~8月に1齢幼虫が多く採集されたことから、7月頃に産卵期があると推定される。他に1齢幼虫が多く採集されることはなかったことから、明瞭な産卵期は年1回のみ、すなわち、オオシマトビケラは矢作川中流では年1世代であると考えられる。

ただし、6~10月に継続的に成虫が採集され、9、10月にも少数ながら1齢幼虫が採集されたことから、7月頃

に産卵された卵から孵化し、成長した幼虫が9~10月にはすでに蛹から羽化して成虫となり、産卵した可能性もある。

ここで、ヒゲナガカワトビケラとオオシマトビケラの生活史を考慮して造網性トビケラ類の種の構成を把握するためには、両種ともに4,5齢の幼虫 (前蛹を含む) と蛹が多数採集できる季節に調査するのが望ましいと考えられる (特に現存量の構成を把握したいとき)。ヒゲナガカワトビケラでは9月は幼虫・蛹ともに少なく不適、5~6, 10月は1~3齢幼虫が多く不適、オオシマトビケラでは7,8月は1~3齢幼虫が多く不適と評価できるので、残る11月から翌年4月までが調査に適していると考えられる。

この結果から、「1. はじめに」で述べた岡田・内田¹⁶⁾の研究では説明できないとした、5,9,10月にヒゲナガカワトビケラ、7月にオオシマトビケラが少ない原因として、それぞれの季節に両種が羽化して幼虫・蛹として水中に存在しなかった、あるいは、1~3齢の非常に小さな幼虫



ヒゲナガカワトビケラ属-オオシマトビケラ優占度指数 (I_{S-M})
 図 8. 矢作川本流の瀬におけるヒゲナガカワトビケラ属-
 オオシマトビケラ優占度指数 (I_{S-M}) および階級分け

が多かったため、採集できていてもその現存量が少なかったためと考えられる。

3・3 河床攪乱の評価

3・3・1 造網性トビケラ類の優占種調査

矢作川本流の瀬における造網性トビケラ類 (図 7 左) は、隣接した地点であっても種の構成が大きく異なっていた。また、ほとんどの地点でヒゲナガカワトビケラ属とオオシマトビケラのどちらか、あるいは、両方が湿重量のほとんどを占めるほど優占していた。

矢作第二ダム下流の明智川合流点から明治用水頭首工の下流までの広い区間 (地点 8~90) で、造網性トビケラ類の湿重量が多い傾向があり、その中で湿重量が特に多い地点では、ヒゲナガカワトビケラ属が多い傾向があった。

そして、百月ダムより下流では、ダム貯水池などの湛水域の下流でオオシマトビケラが多くなった。しかし、そのさらに下流では減少していく傾向があった。また、支流の合流点から下流では、オオシマトビケラが少なく

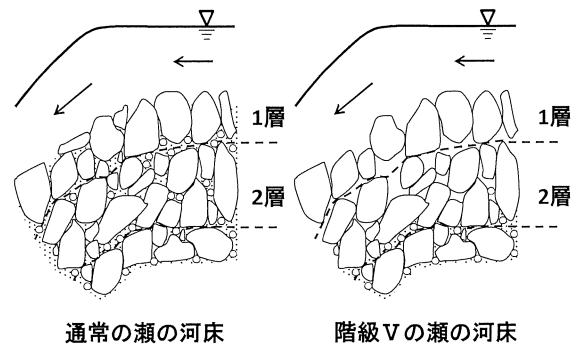


図 9. 矢作川水系における通常の瀬の河床と
 階級Vの瀬の河床の模式図

なる傾向があった。

矢作第二ダムの下流 (地点 2~4, 6) と時瀬発電所の放流口の直下流 (地点 13) は、造網性トビケラ類の湿重量が非常に少なく、ヒゲナガカワトビケラが採集されなかった。チャバネヒゲナガカワトビケラとオオシマトビケラもほとんど採集されなかった。

なお、オオシマトビケラが分布しておらず、岡田・内田¹⁶⁾の仮説が適用できないと考えられる矢作ダム上流の地点 1 は、その他の地点との比較のために調査した。この地点では、ヒゲナガカワトビケラ属以外の造網性トビケラ類が非常に少なく、チャバネヒゲナガカワトビケラが非常に多かった。

3・3・2 調査地点の河床材料・植生などの観察

各地点での観察結果を図 7 右に示した。

1. 礫の色では、矢作第二ダムから明治用水頭首工の下流までの区間で河床の礫が本来の色である割合が高い地点がほとんどなかったが、巴川の合流点の下流 (地点 84~87) では、その上流と比較して礫が本来の色である割合が高かった。しかし、他の支流の合流点では、そのような現象は認められなかった。

なお、地点 51~53 (お釣土場-平井公園) では、2013 年にオオカナダモ駆除に伴って河床が改変され、そのために周囲の地点と異なり、局所的に河床の礫が本来の色である割合が高かった。

2. 大型糸状緑藻では、オオシマトビケラの割合が多い地点では大型糸状緑藻の被度が多く、オオシマトビケラが少ない地点ではその被度が少ない傾向があった。

3. 蘚類では、古巣 (地点 49) より上流のほとんどの地点で、水中の礫を覆っていた蘚類が観察されたが、それより下流の地点では水際に生えたものしか観察できなかった。古巣より上流では巨礫が多くなるため、動きにくい粒径の大きな巨礫に蘚類が付着しやすくなっていた可能性がある。また、蘚類が水中の礫を覆っていた地点

矢作川における造網性トビケラ類を用いた河床攪乱の評価

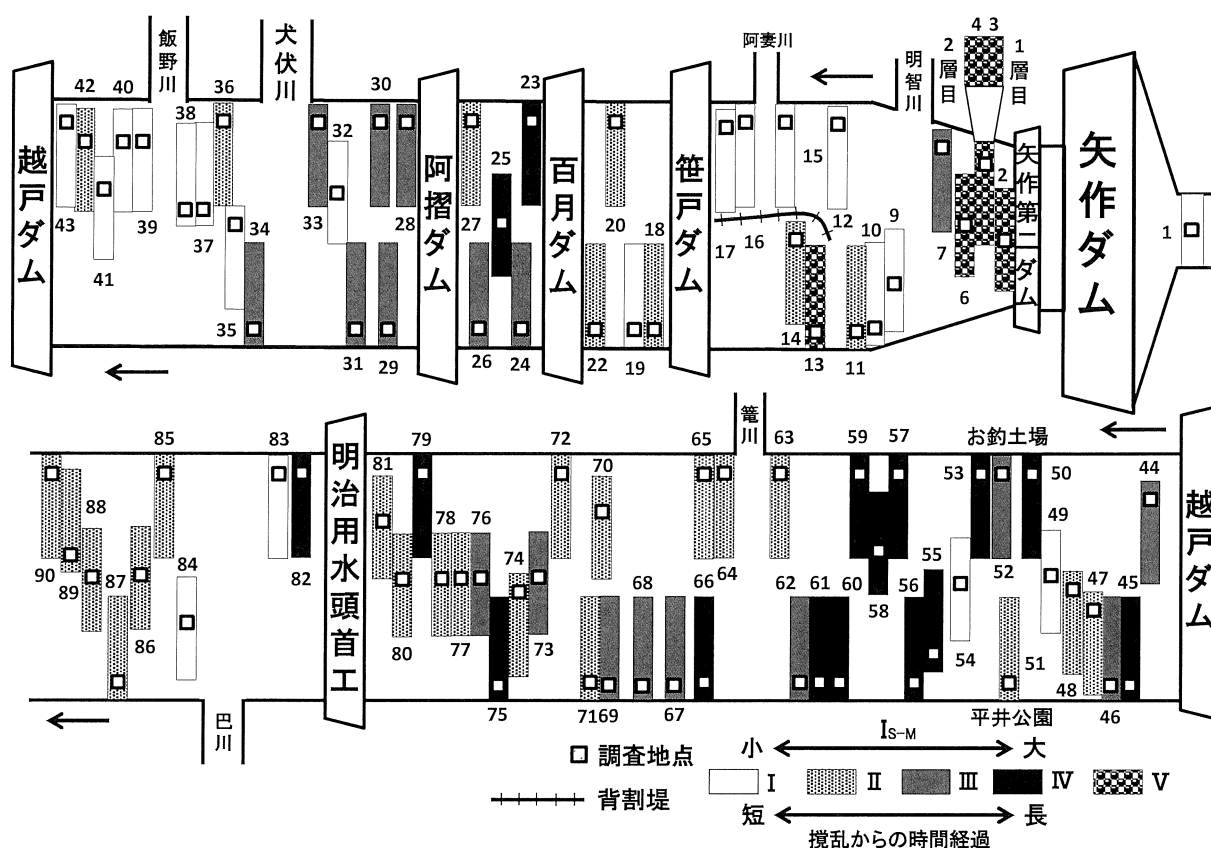


図 10. 矢作川本流の瀬における造網性トビケラ類による河床攪乱の評価

とそこに隣接した地点を比較すると、その被度が 10 % より高い場合にオオシマトビケラが多く、そうでない場合にオオシマトビケラが少ない傾向があった。

4. カワヒバリガイでは、時瀬発電所、越戸発電所、矢作第二発電所（百月ダム下）の放流口の下流で網に入った個体数が多かったが、その下流では減少していく傾向があった。

5. オオカナダモでは、分布が確認されている越戸ダムから明治用水頭首工の区間¹⁰⁾（地点 44～81）については、オオシマトビケラが多い地点で根を張ったものが観察され、オオシマトビケラが少ない地点で観察されない傾向があった。また、分布が確認されている区間より上流（地点 33, 37）で切れ藻を確認した。

6. セキショウでは、観察された地点（26, 29, 34, 36, 61）が少なかったが、地点 36 を除き、観察された地点ではオオシマトビケラが常に多かった。

7. 細礫と砂の量では、細礫と砂がほとんどない場合、造網性トビケラ類の種の構成が大きく変化し、湿重量が非常に少なかった（地点 2～4, 6, 13）。そのため、後述の「3・3・3 ヒゲナガカワトビケラ属とオオシマトビケラを用いた河床攪乱の評価」の評価材料の一つとした。

これらの現象は、必ずしも造網性トビケラ類の種の構

成と対応しているわけではなかったが、2 と 6 の現象はオオシマトビケラの多少との対応が認められ、5 の現象でも一部の区間でオオシマトビケラの多少との対応が認められた。また、7 の現象で細礫と砂が極端に少なかった場合、造網性トビケラ類の種の構成に大きな変化が認められた。しかし、その他の現象（1, 4）では、造網性トビケラ類の種の構成との対応は必ずしも認められなかった。

3・3・3 ヒゲナガカワトビケラ属とオオシマトビケラを用いた河床攪乱の評価

「3・3・1 造網性トビケラ類の優占種調査」の結果を岡田・内田¹⁰⁾の仮説にあてはめて考えると、ほぼすべての地点が「3. ヒゲナガカワトビケラ優占の群集」（ただし、チャパネヒゲナガカワトビケラもここに含めて考える）と「4. オオシマトビケラ優占の群集」、あるいは、3. の段階から 4. の段階へ遷移する途中の群集とみなすことができる。そこで、各地点の調査結果を 3. の段階から 4. の段階でどのように位置付けられるのかを検討するため、次のヒゲナガカワトビケラ属—オオシマトビケラ優占度指数 (I_{S-M}) を考案した。

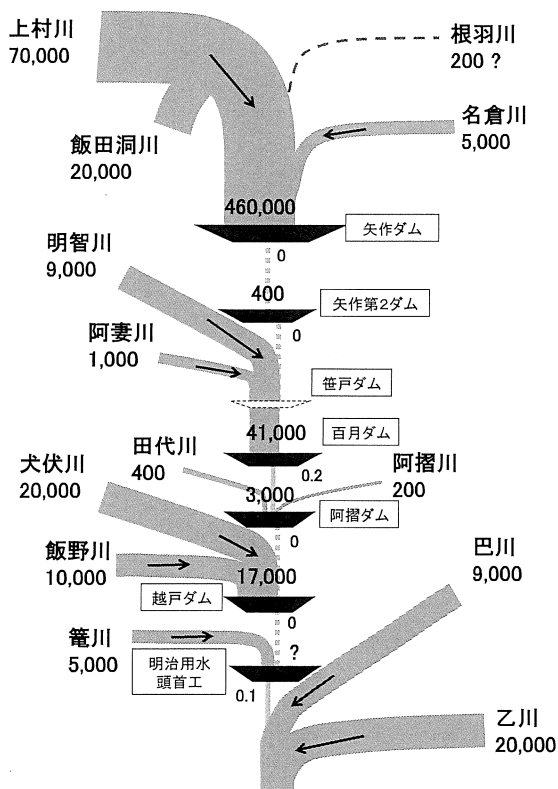


図 11. 矢作川上・中流における土砂(礫)の移動量 (m^3) を示す模式図(帯の幅は移動量に正確には比例していない)。支流の流出土砂量(支流名の下に記載)は建設省 豊橋工事事務所²⁶⁾、各ダムへの礫の流入量(ダムの直上に記載)は中村・内田²⁾、各ダムを越える礫の量(ダムの直下に記載)は国土交通省 豊橋河川事務所¹⁵⁾に基づく。

$$I_{S-M} = 3a - b$$

ここで、a: オオシマトビケラの湿重量 (g) の絶対値、
b: ヒゲナガカワトビケラ属の湿重量 (g) の絶対値とする。矢作川中流の瀬の底生動物群集における遷移の極相となった時に優占すると考えられるオオシマトビケラ(図 2)は、ヒゲナガカワトビケラ属などの他の造網性トビケラ類に対して何らかの形で競走に勝ると考えられるため、その湿重量に係数 3 で重みづけした。

この I_{S-M} を用いて、各地点での遷移の段階における位置付けを検討し、各地点とその付近の河床が最後に攪乱を受けてからの相対的な時間を、I~IVの階級に分けて評価した(図 8)。

ただし、地点 2~4, 6, 13 は、造網性トビケラ類の湿重量が非常に少なく、他の地点と造網性トビケラ類の種の構成が大きく異なったため、Vの階級として区別した。

また、地点 1 は、オオシマトビケラの分布範囲外だが、その他の地点との比較のため、同じ手法を用いて結果を評価した。

- I: I_{S-M} が -5 より小さい場合、最後に河床が攪乱されてから経過した時間が短いと考えられる地点
- II: I_{S-M} が -5 以上 0 以下の場合、最後に河床が攪乱されてから経過した時間がやや短いと考えられる地点
- III: I_{S-M} が 0 より大きく 4 以下の場合、最後に河床が攪乱されてから経過した時間がやや長いと考えられる地点
- IV: I_{S-M} が 4 より大きい場合、河床が長い間攪乱されていないと考えられる地点
- V: 造網性トビケラ類の湿重量が 1.50 g 以下であり、オオシマトビケラとヒゲナガカワトビケラ属が非常に少ない、あるいは、全くおらず、岡田・内田¹⁶⁾の仮説では解釈できない地点

Vの階級とした地点では、河床に大礫や巨礫が多く、細礫と砂が極端に少なかったが、表層の大礫や巨礫を取り除くと細礫が多くなった(図 9)。そこで、矢作第二ダムの下流で、表層を 1 層目(地点 3)、表層の礫を取り除いた後を 2 層目(地点 4)として、2 回に分けて調査した。1 層目、2 層目ともに造網性トビケラ類の湿重量は非常に少なかったが、2 層目では 1 層目で採集できなかったオオシマトビケラが少なくながら採集された。ヒゲナガカワトビケラ属とオオシマトビケラは巢材として細礫と砂を使うので、Vとした地点の河床の少なくとも表層では、巢材が得られないためにヒゲナガカワトビケラ属とオオシマトビケラが生息できない、あるいは、生息しにくくなっている可能性がある。

各地点の結果を I~Vの階級に分けて、その位置関係を見ると(図 10)、流出土砂量が多い支流(図 11)の合流点の前で、合流前の地点では III, IVの階級であることが多い(地点 7, 28~33, 44~63, 82, 83)のに対し、合流後には I, IIの階級であることが多かった(地点 9~22, 35~43, 64~81, 84~90)。流出土砂量が多い支流の合流点の下流では、高い頻度で河床が攪乱されていたと考えられる。

一方、籠川の合流点の対岸(地点 66)では、合流前(地点 60~63)と階級に大きな変化がなかった。この地点では、籠川から流入する土砂が合流点の対岸に届くほど多くないため、合流前後で同程度の階級であったと考えられる。

さらに、近くに流出土砂量が多い支流がないにもかかわらず、様々な階級が混在した区間(地点 44~54, 73~81)がある。これらの区間では、近い過去の出水などにより、河床が攪乱された地点と攪乱されなかった地点が隣接していたと考えられる。

すなわち、造網性トビケラ類によって河床の攪乱を評価した場合、支流からの土砂の影響がわかるだけでなく、

矢作川における造網性トビケラ類を用いた河床攪乱の評価

隣接している河床が攪乱されやすい場所とそうでない場所も区別して評価できる可能性がある。

なお、時瀬発電所の下流から笹戸ダムにかけて、右岸側の地点（地点 12, 15~17）と左岸側の地点（地点 11, 13, 14）で階級が異なっており、右岸側でオオシマトビケラが採集された地点はなかった。さらに、笹戸ダムの下流から笹戸発電所の放流口にかけての地点（地点 18~20）でも、オオシマトビケラが採集されなかった。2002 年 1 月に、時瀬発電所の下流から笹戸ダムにかけて、背割堤が築造されたことにより、右岸側には支流の水のみが流れるようになった²⁸⁾ことで、地点 12, 15~20 の区間にはオオシマトビケラが好むダム貯水池由来のプランクトン²⁷⁾が流れ込まないため、オオシマトビケラがいなかった可能性がある。そのため、内田・岡田¹⁶⁾の仮説が適用できない区間であった可能性がある。

また、岩津の天神橋付近である地点 88~90 では、その上流の地点（地点 85~87）と比較して、オオシマトビケラがやや多い傾向があった。天神橋付近では、縄文時代の埋没林が発見されており²⁹⁾、埋没林と同じ時代に堆積したと考えられる大礫ほどの粒径のくされ礫（風化した花崗岩の礫）が露出していた。これらの礫は、その周辺の河床に堆積している現在の矢作川が運んでいる礫と比べて粒径が大きく、そのために河床が動きにくくなっていった可能性がある。この天神橋付近も、内田・岡田¹⁶⁾の仮説が適用できない場所であった可能性がある。

4. まとめ

矢作川水系の 198 地点においてヒゲナガカワトビケラ、チャバネヒゲナガカワトビケラ、オオシマトビケラの分布を調べた。その結果、ヒゲナガカワトビケラ属とオオシマトビケラの両方が分布するのは、本流の矢作第二ダム下流から岩津の天神橋付近であった。

次に、矢作川中流におけるヒゲナガカワトビケラとオオシマトビケラの生活史を 17 ヶ月間 18 回の調査によって調べた。その結果、両種ともに 4, 5 歳の幼虫（前蛹を含む）と蛹が多く採集できたのは 11 月から翌年 4 月であった。

そして、矢作川本流の瀬における造網性トビケラ類を 2015 年 4 月と 11, 12 月に本流の矢作第二ダム~天神橋の区間を中心とした 86 地点で調査した。その結果、隣接した地点も含め、地点間でヒゲナガカワトビケラ属とオオシマトビケラの多少に大きな差異があった。ここで、この差異が河床の攪乱後の底生動物の遷移に伴うものであると考えると、支流からの土砂の供給や近い過去の出水などによる河床への攪乱が地点間で大きく異なることが、この差異の原因と考えられる。

謝辞

豊田市矢作川研究所の白金晶子研究員、内田朝子研究員には矢作川の河川環境について、有用な情報をいただいた。中日本高速道路（株）には、貴重な標本を提供いただいた。本研究は愛知工業大学大学院 工学研究科 建設システム工学専攻 博士前期課程において岡田が履修した「水圏環境・生態学特別研究」の成果の一部である。そして、同大学 工学部 都市環境学科における小久保の卒業研究の成果でもある。この岡田と小久保に対して、愛知工業大学の木村勝行名誉教授、赤堀良介准教授、八木明彦特任教授、城戸由能教授からは懇切丁寧な指導をいただいた。また、本研究では同大学工学部土木工学科（都市環境学科 土木工学専攻・建築環境学専攻）河川・環境研究室の 2004 年度から 2015 年度までの卒業生が採集した標本を用いた。以上の方々のご厚意とご協力に心からの謝意を表したい。

引用文献

- 1) 北村忠紀, 田代 喬, 辻本哲郎: 生息場評価指標としての河床攪乱頻度について. 河川技術論文集, 7, pp. 297-301, 2001.
- 2) 中村 剛, 内田臣一: 矢作川上・中流における礫の移動. 愛知工業大学研究報告, 38B, pp. 127-134, 2003.
- 3) 辻本哲郎, 北村忠紀, 加藤万貴, 田代 喬: 低攪乱礫床での大型糸状藻類の異常繁茂のシナリオ. 河川技術論文集, 8, pp. 67-72, 2002.
- 4) 新見幾男: ダム直下流の悲惨. 豊田市矢作川研究所月報 Rio, 9, pp. 4-5, 1999.
- 5) 三宅 洋: 流量変動・攪乱の重要性. 河川生態学 (中村太士編), 講談社, pp. 169-191, 2013.
- 6) 小川弘子, 内田臣一, 白金晶子: 東海豪雨後の矢作川の瀬における底生動物の現存量. 矢作川研究, 7, pp. 25-31, 2003.
- 7) 田中 蕃: 砂利投入による河床構造回復の試みとその効果IV. 矢作川研究, 4, pp. 135-141, 2000.
- 8) 豊田市矢作川研究所: カワシオグサの繁茂実態調査と抑制対策に向けた研究. 矢作川研究, 12, pp. 16-21, 2008.
- 9) 白金晶子, 内田朝子, 内田臣一: 矢作川流域における外来二枚貝カワヒバリガイの発見から現在までの経過. 陸の水, 日本陸水学会東海支部会, 54, pp. 43-52, 2012.
- 10) 内田朝子, 白金晶子, 洲崎燈子, 裕 伸夫, 水野 修, 椿 隆明: 矢作川における要注意外来生物オオカナダモ (*Egeria densa*) の繁茂状況と駆除活動. 矢作川研究, 18, pp. 33-40, 2014.
- 11) 深谷壽久, 九津見生哲, 辻本哲郎: 矢作ダム土砂管

- 理の課題と対策案の検討. 河川技術論文集, 11, pp. 267-272, 2005.
- 12) 小野秀樹: 矢作ダムからの実施報告. 土木学会置き土シンポジウム資料, 8 pp., 2008.
- 13) 国土交通省 矢作ダム管理所: 矢作ダムにおける堆砂対策と環境影響評価に関する検討について. 河川, 65 (3), pp. 35-41, 2009.
- 14) 清原正道, 高柳淳二: 排砂の影響検討における置き土実験と覆砂実験の活用. ダム水源地環境技術研究所所報, 2010 年度, pp. 12-20, 2011.
- 15) 国土交通省 豊橋河川事務所: 矢作川水系総合土砂管理計画策定に向けて (技術的な課題と検討の進め方). 40pp., 2015.
- 16) 岡田和也, 内田臣一: 矢作川中流の瀬の底生動物群集の遷移におけるヒゲナガカワトビケラとオオシマトビケラの位置付け. 矢作川研究, 20, 印刷中.
- 17) 西村 登: 日本の昆虫⑨, ヒゲナガカワトビケラ. 文一総合出版, 144pp., 1987.
- 18) 大平 創, 塘 忠顕: 福島県裏磐梯地域におけるオオシマトビケラの生活史 (昆虫綱: トビケラ目). 共生のシステム, 福島大学, 14, pp. 106-109, 2014.
- 19) 岡崎博文: オオシマトビケラの生活史について (1). 兵庫陸水生物, 56/57, pp. 35-39, 2005.
- 20) 小林草平, 竹門康弘, 角 哲也: 宇治川に優占するシマトビケラ科 2 種の有効積算温量の推定—成虫の季節消長パターンに基づく分析. 京都大学防災研究所年報, 58, pp. 448-457, 2015.
- 21) 田代 喬, 渡邊慎多郎, 辻本哲郎: 造網型トビケラの棲み込みによる河床の固結化. 河川技術論文集, 10, pp. 489-494, 2004.
- 22) 田代 喬, 渡邊慎多郎, 辻本哲郎: 低攪乱な礫床河川に優占する造網型トビケラの個体群動態とそれに伴う河床固化に関する解析. 水工学論文集, 49, pp. 1453-1458, 2005.
- 23) 谷田一三: 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・玉置昭夫・川端善一郎・谷田一三・向井 宏著), 平凡社, pp. 95-128, 1995.
- 24) 谷田一三, 野崎隆夫, 伊藤富子, 服部壽夫: トビケラ目 (毛翅目). 日本産水生昆虫一科・属・種への検索 (川合禎次・谷田一三編著), 東海大学出版会, pp. 393-572, 2005.
- 25) 青谷晃吉, 横山宜雄: 東北地方におけるヒゲナガカワトビケラ属 2 種の生活環について. 陸水学雑誌, 48, pp. 41-53, 1987.
- 26) 建設省 豊橋工事事務所: 供給土砂量調査. 矢作川河道計画調査報告書, pp. 158-164, 1969.
- 27) 古屋八重子: 吉野川における造網性トビケラの流程分布と密度の年次変化, とくにオオシマトビケラ (昆虫, 毛翅目) の生息域拡大と密度増加について. 陸水学雑誌, 59, pp. 429-441, 1998.
- 28) 新見幾男: 笹戸ダム湖内の背割堤工事. 豊田市矢作川研究所月報 Rio, 46, 2, 2002.
- 29) 矢作川河床埋没林調査委員会, 豊田市教育委員会, 岡崎市教育委員会: 地下に埋もれた縄文の森—矢作川河床埋没林調査報告書. 豊田市教育委員会・岡崎市教育委員会, 139pp., 2007.

(受理 平成 28 年 3 月 19 日)