

ダム建設に関わる下流河川の環境への影響と
その対策に関する研究

2016年9月

埼玉大学大学院理工学研究科（博士後期課程）

理工学専攻（主指導教授 浅枝 隆）

環境科学・社会基盤

06DE005 高橋 陽一

論文要旨

ダム建設に関わる下流河川の環境への影響とその対策に関する研究として、ダム建設に伴い流域に生息するオオサンショウウオの保全対策として実施するオオサンショウウオ道の適切な形状について研究した「ダム建設に伴うオオサンショウウオの保全対策に関する研究」とダム完成前後の下流河川の物理的な変化、底生生物および付着藻類がどのように変化するかについて試験湛水中の湛水規模との関係などから研究した「ダム完成前後の下流河川の環境変化に関する研究」を行った。

○ ダム建設に伴うオオサンショウウオの保全対策に関する研究

川上ダムの建設を予定している前深瀬川とその支川である川上川には、河川横断工作物（井堰）が多数設置されており、当該河川に広く分布するオオサンショウウオにとって、これらは遡上の難易度はそれぞれ異なるが、移動障害となっている。

川上ダムでは、ダム建設予定地付近のオオサンショウウオ個体群を保全する対策の一つとして、個体群の分断を解消するとともに個体の生息環境を拡大するため、出水等により川上ダム貯水池へ降下した個体の遡上や、湛水予定区域上流の河川域における上下流への個体の移動性の確保のため、河川横断工作物への移動路（オオサンショウウオ道）の設置を計画している。

今回、効果的な移動路の構造を検討するため、オオサンショウウオ保護池において実施した遡上試験について考察し、最も適した移動路の形状について研究した。

その結果、オオサンショウウオが良く遡上するオオサンショウウオ道の形状としては、側壁を設けたものが側壁を設けないものに対して統計的に優位な差があることと、統計的に優位な差はないもののオオサンショウウオ道に流水が有る場合のほうが無い場合よりもより遡上することが判明した。

○ ダム完成前後の下流河川の環境変化に関する研究

日本におけるダムの建設は、堤体、放流設備、その他の施設が完成し、その後、試験湛水を行い、全ての施設および貯水池周辺の斜面などの安全性を確認したうえで完了する。試験湛水は、通常、建設中に転流していた河川水を上流で締め切り、貯水池に導くことから始まり、ダムおよび貯水池周辺の斜面などの安全性を考慮して決めた水位上昇速度（1 m/日が多い）により計画上の満水位まで水位を上昇させ、同様に、安全性を考慮した水位の低下速度（1 m/日）で安全性が確認できる水位まで貯水位を低下させて完了する。したがって、試験湛水は、制度上はダムの建設の最終段階であるが、最初の河川流量の人工的な制御であり、下流河道の流量、流下土砂量、土砂質、流下有機物量、流下水温、水質など、物理的に大きな変化がある期間となる。

ダムの上下流間で底生動物群集が変化する現象に関する研究は、欧米先進国を中心に1980年代以降盛んになり、流量の変動による現存量の変化や流下物との関連、ダム放流水温が下流の底生動物の生活史に影響などについて多数報告がなされている。しかし、欧米では試験湛水という制度はなく、初期湛水はもちろん、安全性を考慮して水位上昇などについては制御されることもあるが、あくまでダムの通常の運用の中で実施される。

国内では、すでに完成し長年運用しているダム下流の底生動物群集の評価は行われているが、建設中のダムを対象に試験湛水中で生ずる変化を捉えた事例はなかった。そこで、我々はダムの運用によって生ずる物理化学的環境の変化が底生動物群集に与える影響と変動を解明し、今後のダム本格運用時における下流域の河川生態系の管理に資する知見を得ることを目的として試験湛水開始前から定期的に底生動物種のモニタリングを実施している。既報より、2005年の試験湛水開始以前から2007年8月までの年3回の底生動物出現種を調べた結果、ダム上下流で生息種や密度が異なっていることと、試験湛水開始後によって環境の変化が生じた後に変化が生じることの2つの相違パターンが確認された。

本研究は、試験湛水を開始する前の2005年4月から試験湛水中の2008年3月までの各月のサンプリングデータより優占種を選定しその変動特性について考察した。また、2007年9月には試験湛水中に最大となる出水を経験していることから、人工的な流況の変化と合わせてダム上下流の底生動物群集の変化についても考察した。

今回の結果から、試験湛水開始以前からダム上下流で生息種や密度が異なっていること、試験湛水開始後によって環境の変化が生じた後に変化が生じることの2つの相違パターンが確認された。この区別は運用前の調査が不可欠であり、変化する環境要因との関係を評価する上で重要な点である。また、水温の変化に著しく反応する種とそうでない種があることがわかった。

目 次

論文要旨

第1章

1. 研究背景	5
2. オオサンショウウオ	7
2. 1 分布と生態	7
2. 2 ダム建設予定地周辺での生息状況	8
2. 3 保全対策	11
3. 遡上試験	12
3. 1 試験条件	12
3. 2 試験状況	14
4. 試験結果	19
4. 1 概要	19
4. 2 各試験条件の主効果	21
4. 3 試験条件の交互作用	22
5. 考察	24
6. おわりに	25
参考文献	26

第2章

1. はじめに	29
2. 調査概要	30
2. 1 調査地点	30
2. 2 滝沢ダム	31
3. 調査方法	33
3. 1 底生生物	33
3. 2 ダム上下流の物理環境および水質	34
4. 調査結果	39
4. 1 底生動物群集の結果	39
4. 2 流下有機物の比較	52
4. 3 付着藻類の比較	55
5. 考察	59
5. 1 ダム下流域の底生動物群集に及ぼす環境影響	59
5. 2 出水後の底生動物群集の回復の比較	60
6. おわりに	63
参考文献	64

第1章 ダム建設に伴うオオサンショウウオの保全対策に関する研究

1. 研究背景

独立行政法人水資源機構が川上ダムの建設を予定している前深瀬川は、その源を尼ヶ岳（標高 958m）に発し、途中、川上川を合わせ、三重県伊賀市青山羽根地先にて木津川に合流する流域面積 56.2km²、流路延長 15.5km の一級河川である。川上ダムのダムサイトは木津川との合流点から上流約 2km の地点で、川上川の合流点の直下流に位置する。この川上ダムの建設予定地には、国の特別天然記念物であり三重県のレッドデータブックの絶滅危惧Ⅱ類¹⁾であるオオサンショウウオ（*Andrias japonicus*）（写真-1 参照）が生息しており、川上ダム建設事業に伴うダム堤体や貯水池の出現により、オオサンショウウオの生息・繁殖環境の一部が改変されることとなる。

川上ダム建設所では平成 8 年 9 月から平成 20 年 11 月の 13 年間にわたって調査を実施し、前深瀬川流域および木津川の一部において 978 個体のオオサンショウウオを確認している。²⁾ この調査結果等から、湛水予定区域の上流域には湛水予定区域の約 3 倍程度の個体が生息しダム建設後も引き続き繁殖活動が継続されると考えられること、ダム建設予定地の上下流間および前深瀬川と川上川の間を移動する個体はほとんどいないこと、ダム建設予定地下流では、上流域より確認個体数が少ないが、継続的に繁殖活動を行っていることが確認されている。また、湛水予定区域上流では、上下流への移動の連続性の確保、生息環境の整備、湛水予定区域内に生息する個体の上流への移転などの保全対策を実施することにより、繁殖活動が維持される可能性はより高くなると考えられる。これらの調査結果および保全対策の実施により、川上ダム建設後も前深瀬川流域におけるオオサンショウウオ個体群の繁殖活動は維持されると学識経験者や専門家などから構成される「川上ダムオオサンショウウオ調査・保全検討委員会」において評価を得ている²⁾。

しかし、直接改変域に生息するオオサンショウウオの個体については、ダム事業を進める上で保全が不可欠であり、オオサンショウウオの生態には未解明な部分が多いことから、川上ダム建設所では、「川上ダムオオサンショウウオ調査・保全検討委員会」の指導・助言を得て、オオサンショウウオの調査・保全に取り組んでいる。オオサンショウウオの保全対策としては、個体群の分断を解消するとともに個体の生息環境を拡大するため湛水予定区域上流の河川域における上下流への個体の移動性確保、湛水予定区域内の生息個体のダム貯水池上流への移転および生息・繁殖環境の整備としての人工巣穴の設置等を検討しており、移転試験や人工巣穴の設置等を試みながら、効果的な保全対策を検討している³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾。

川上ダム建設所では、これらの保全対策の一つである、上下流への個体の移動性確保のため、貯水池上流の前深瀬川・川上川に分布する河川横断工作物（井堰）のうち、遡上の難易度が高いものに対して、上流から貯水池内へ降下した個体の遡上や、上下流へ個体が自由に移動可能な経路（オオサンショウウオ道）の設置について検討しており、その最適な形状を

検討することを目的として遡上試験を実施した⁸⁾。

本論文は、平成 19 年度に川上ダムのオオサンショウウオ保護池（以下、「保護池」という。）にて実施したオオサンショウウオの遡上試験の結果を基に、オオサンショウウオ道として有効と思われる設置条件について考察を行ったものである⁹⁾。



写真-1 前深瀬川で捕獲されたオオサンショウウオ
（全長 74cm）

2. オオサンショウウオ

2. 1 分布と生態

オオサンショウウオ (*Andrias japonicus*) は、両生綱有尾目オオサンショウウオ科に属する動物で、国の特別天然記念物であり三重県のレッドデータブックの絶滅危惧Ⅱ類である。

岐阜県以西の本州、九州、四国に分布する日本固有種であり、三重県内では木津川水系に生息している¹⁾。

本種は現生両生類中最大の種で全長 1.5m まで成長することがあるが、通常は 60～70 cm の個体が多い。一生を水中で生活し、魚や蛙、サワガニなどを食べている。

本種は夜行性で、体は茶褐色で複数の黒斑があり、前足は 4 本指、後足は 5 本指となっている。本種は卵からふ化し幼生の間は外鰓を持つが、ふ化後 4 年でほとんどの個体は外鰓が退化消滅する。¹⁰⁾ 本種は飼育下のもとで初めて産卵した個体が 18 年齢で有ることが報告されている。¹¹⁾ 本種は繁殖期前に河川を遡上する傾向があり、増水時に個体が下流へ流され他場合においても、両生類がもつ回帰性によって流下した個体は河川を遡上すると考えられている。この遡上に関する行動は概ね 8 月下旬～9 月上旬の本種の産卵期の前に多く確認されている。⁷⁾¹²⁾

このような遡上と関係して堰による移動阻害が危惧されており⁵⁾、本種の行動追跡をもとに遡上可能な堰の条件を報告した研究も報告されている⁶⁾。

2. 2 ダム建設予定地周辺での生息状況

川上ダム建設所では、前深瀬川流域におけるオオサンショウウオの生息状況を確認するために、平成8年9月から平成20年11月の13年間にわたってオオサンショウウオ生息確認を実施し、978個体の成体を確認している（図-1 参照）。



図-1 川上ダム周辺のオオサンショウウオ分布状況

オオサンショウウオ生息確認調査における個体識別は、捕獲個体の左肩部筋肉に専用のインジェクターでマイクロチップ（Trovan ID-100）を埋め込み、以降は採捕時にポケットリーダー（Trovan LID-560）を用いてチップの有無を確認することで行った。チップがあった場合には番号を読み取り、チップが無かった場合にはチップを埋め込んだ。この個体識別に用いたマイクロチップは、直径 2 mm、長さ 11 mm の円柱形で、ガラスのカプセルに包まれた小さな電子標識器具である。平成 8 年度～平成 20 年度までの 13 年間の調査において、のべ確認個体は 1,373 個体、うちチップを埋め込んだ新規確認個体は 978 個体であった（表-1 参照）。

図-2 は、川上ダム周辺で確認されたオオサンショウウオの全長組成と体重組成である。オオサンショウウオの全長の平均と標準偏差は約 63.3 ± 14.5 cm であり、体重の平均と標準偏差は 2.25 ± 1.34 kg であった。

表-1 川上ダム周辺のオオサンショウウオ確認個体数

年度	新規確認個体数	確認個体数（のべ数）
平成 8年度	46	46
平成 9年度	93	102
平成10年度	33	52
平成11年度	19	32
平成12年度	27	36
平成13年度	31	37
平成14年度	34	42
平成15年度	56	66
平成16年度	25	36
平成17年度	204	265
平成18年度	179	260
平成19年度	125	169
平成20年度	106	230
計	978	1,373

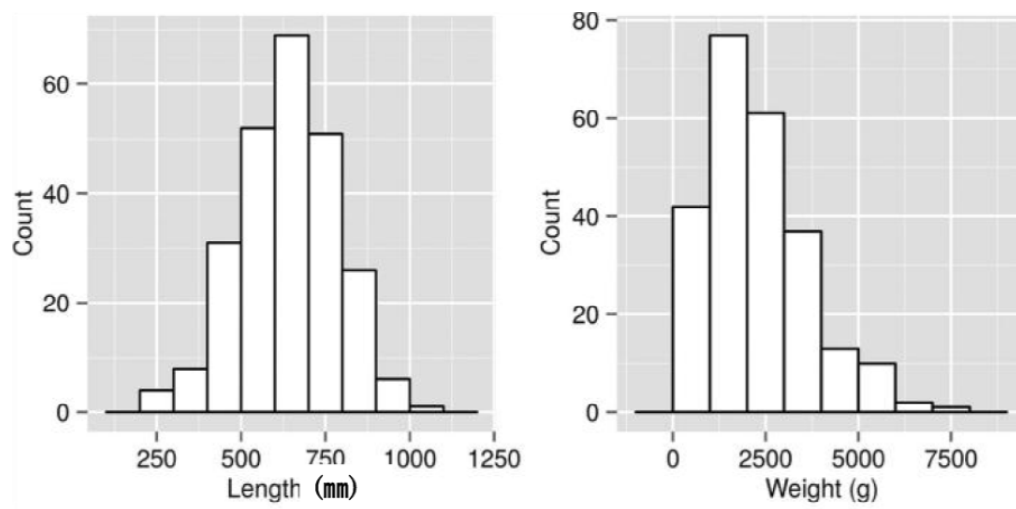


図-2 確認したオオサンショウウオの全長と体重の分布

2. 3 保全対策

オオサンショウウオ生息確認調査結果等から、湛水予定区域の上流域には湛水予定区域の約 3 倍程度の個体が生息しダム建設後も引き続き繁殖活動が継続されると考えられること、ダム建設予定地の上下流間および前深瀬川と川上川の間を移動する個体はほとんどいないこと、ダム建設予定地下流では、上流域より確認個体数が少ないが、継続的に繁殖活動を行っていることが確認されている。

また、湛水予定区域上流では、上下流への移動の連続性の確保、生息環境の整備、湛水予定区域内に生息する個体の上流への移転などの保全対策を実施することにより、繁殖活動が維持される可能性はより高くなると考えられる。

これらの調査結果からの予測および保全対策の実施により、川上ダム建設後も前深瀬川流域におけるオオサンショウウオ個体群の繁殖活動は維持されると学識経験者や専門家などから構成される「川上ダムオオサンショウウオ調査・保全検討委員会」において評価を得ている²⁾。

ただし、直接改変域に生息するオオサンショウウオの個体については、ダム事業を進める上ですべての個体を保全することが不可欠であるが、オオサンショウウオの生態には未解明な部分が多いことから、川上ダム建設所では、「川上ダムオオサンショウウオ調査・保全検討委員会」の指導・助言を得て、オオサンショウウオの調査・保全に取り組んでいる。

オオサンショウウオの保全対策としては、湛水予定区域上流の河川域における生息環境の拡大として上下流への個体の移動性を確保するとともに繁殖環境の整備としての人工巣穴を上流域に設置した上で、湛水予定区域内の生息個体をダム貯水池上流への移転することを検討している³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾。

川上ダム建設所では、これらの保全対策の一つである、上下流への個体の移動性確保のため、貯水池上流の前深瀬川・川上川に分布する河川横断工作物（井堰）のうち、遡上の難易度が高いものに対して、上流から貯水池内へ降下した個体の遡上や、上下流へ個体が自由に移動可能な経路（オオサンショウウオ道）の設置について検討しており、その最適な形状を検討することを目的として遡上試験を実施した⁸⁾。

本研究は、平成 19 年度に川上ダムのオオサンショウウオ保護池（以下、「保護池」という。）にて実施したオオサンショウウオの遡上試験の結果を基に、オオサンショウウオ道として有効と思われる設置条件について分析し考察したものである⁹⁾。

3. 遡上試験

3. 1 試験条件

前深瀬川および川上川にはそれぞれ約 40 箇所の井堰や自然の落ち込みがあり、オオサンショウウオが遡上する際の障害となっている。これまでに川上ダム建設所で実施したオオサンショウウオ生息確認調査の結果から、井堰等の高さが 1m を超えると、迂回路等がない場合にはオオサンショウウオの河川内の遡上が非常に困難となる傾向がある。前深瀬川流域には高さ 1m を超える井堰等が点在している（図-3 参照）ことから、今回保護池で行った遡上試験では、高さ 1m の堰を作り、オオサンショウウオ道を設置して、オオサンショウウオにとって移動しやすいオオサンショウウオ道の設置条件を調べた。

オオサンショウウオ道の構造については、比較的傾斜の緩い壁面についてはオオサンショウウオが遡上していること、ブロックなどで階段式の形状が形成されているところも利用して遡上していることから、斜面式と階段式とした。オオサンショウウオ道の側面形状については、遡上可能な井堰においても、側壁部や切り欠き部の端、井堰と石の隙間などを利用して遡上していることが確認されたことから、オオサンショウウオ道に側壁を設けた場合と設けなかった場合を比較することとした。オオサンショウウオ道の表面の乾湿については、調査時において乾いた場所よりも流水がある場所での遡上個体を多く確認したこと、そもそも水中で生息する動物であることから、オオサンショウウオ道の表面に流水が有る場合と無い場合も実験条件に含めた。さらにオオサンショウウオ道の左右岸への設置に関する差異は無いものと予測したが差異がないことを証明するために左右岸を入れ替えた形状も試験条件に加えた。

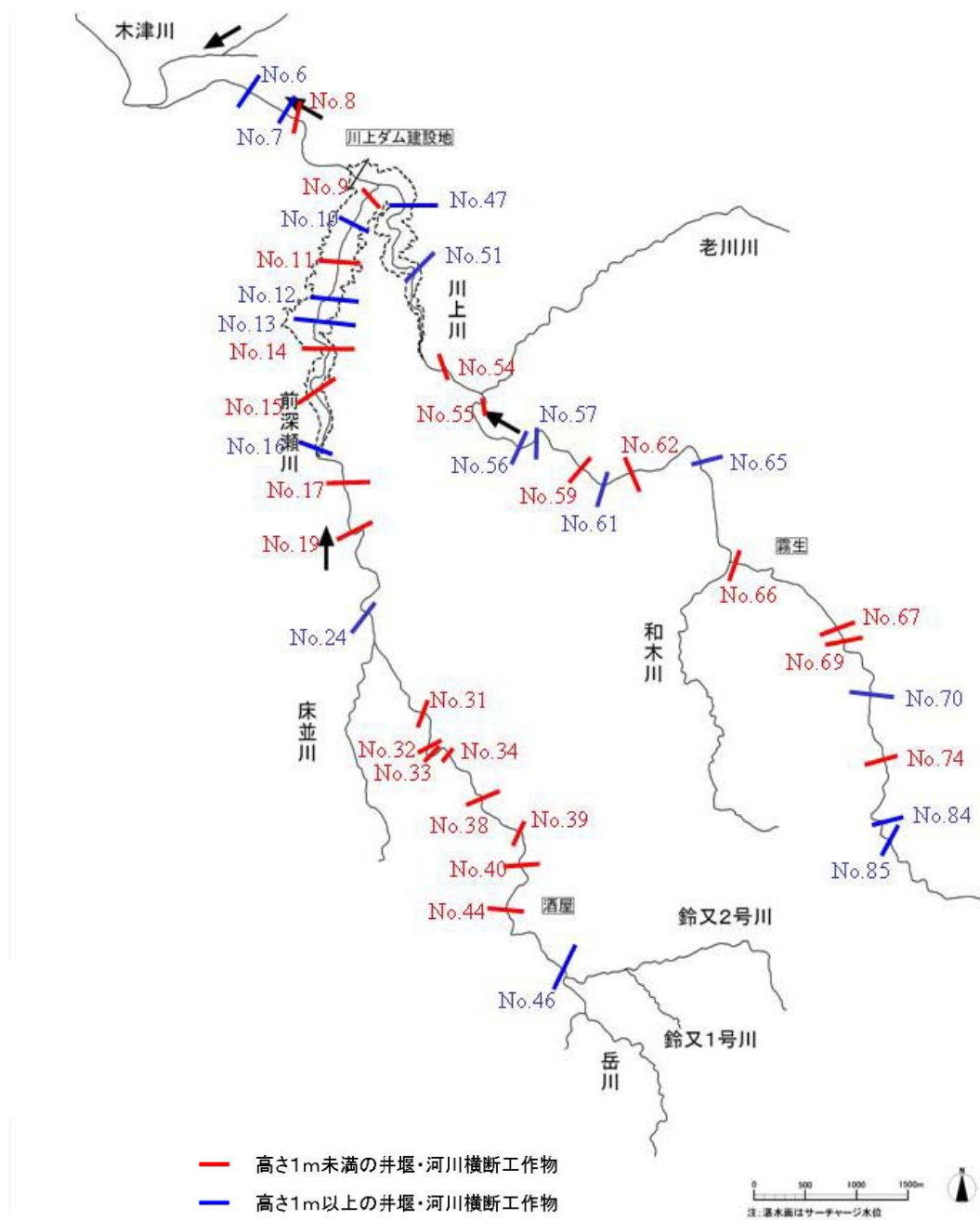


図-3 前深瀬川流域の井堰・河川横断工作物分布状況

3. 2 試験状況

写真-2 および写真-3 に遡上試験の実施状況を、図-4 および図-5 にオオサンショウウオ道の構造（階段、斜面）を、表-2 に遡上試験の条件を示す。

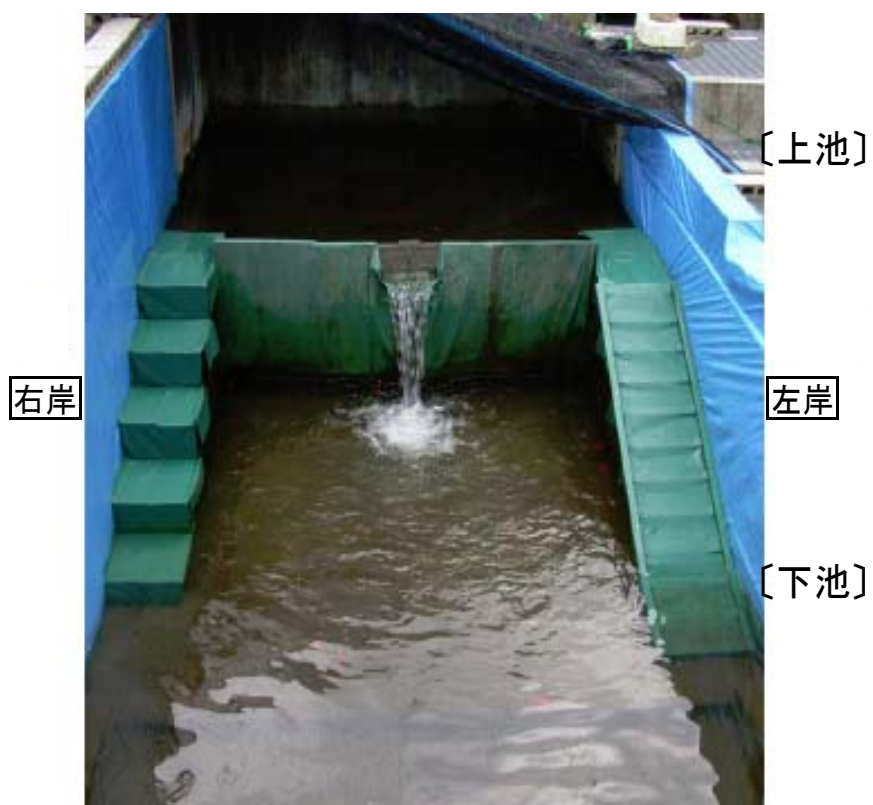
オオサンショウウオ道の構造のうち、階段については、後述する前深瀬川流域のオオサンショウウオの標準的な大きさを想定してステップ高やステップ長を設定し、コンクリートブロックを積み上げて構築した。斜面については、階段構造の上に杉板材で製作したスロープを据え付ける形で構築した。なお、堰の上下流の保護池壁面は、左右岸で形状が異なっていることから、遡上の条件を同一にするため、壁面をビニールシートで被覆した。

また、堰およびオオサンショウウオ道（階段、斜面）の表面は滑りにくい材質のシートで被覆した。遡上試験は平成 19 年 6 月 25 日（月）から 10 月 19 日（金）までの期間（ただし、8 月 20 日から 8 月 24 日は除く。（オオサンショウウオ道の構造変更〔壁有り→壁無し〕のための作業））で実施した。各週月曜日から金曜日までの 5 日間（概ね 16 時～翌 9 時）を 1 ケースとし、階段と斜面、壁の有無、流水の有無等の試験条件について 16 ケースを設定し、ビデオカメラによる撮影で各ケース毎のオオサンショウウオの遡上回数を計測し、移動障害を効果的に解消できるオオサンショウウオ道の設置条件について検討を行った。なお、本試験に用いたオオサンショウウオは 5 個体で、各ケース毎日、全個体が下池に居る状態から試験を開始した。

表-3 に当該 5 個体の全長等の一覧を示す。平成 8 年度から平成 18 年度までの調査で確認し、全長を計測した 729 個体のうち、標準的な全長である 60cm クラスの個体を 4 個体と、比較対象として 80cm クラスの個体を 1 個体保護池から選定し、試験個体とした。

ケース A から H はオオサンショウウオ道を堰下流側の左右岸の保護池壁面に沿って設置した壁有りの条件で、ケース I から P はオオサンショウウオ道を保護池壁面から 50cm 離して設置した壁無しの条件で遡上試験を実施した。ケース A, B と I, J は左右岸共に階段、ケース C, D と K, L は左右岸共に斜面、ケース E, F と M, N は左岸が斜面で右岸が階段、ケース G, H と O, P は左岸が階段で右岸が斜面という条件で遡上試験を実施した。ケース B, D, F, H, J, L, N, P は階段や斜面上に流水を流した流水有りの条件で、ケース A, C, E, G, I, K, M, O は堰中央の切欠きから水を流し、階段や斜面上からは流水を流さない流水無しの条件で遡上試験を実施した。

遡上試験結果については、統計のコンピューティングとグラフィックスのためのフリーソフトである R（R 開発コアチーム 2010）によって統計分析を行った。数値結果に関しては、平均±標準偏差としてデータを提示した。結果に関しては、0.05 以下である場合に優位な差があるとして評価した。



(ケース E 側壁有り、左岸斜面・右岸階段、流水無し)



写真-3 遡上試験実施状況

(ケース N 側壁無し、左岸斜面・右岸階段、流水有り)

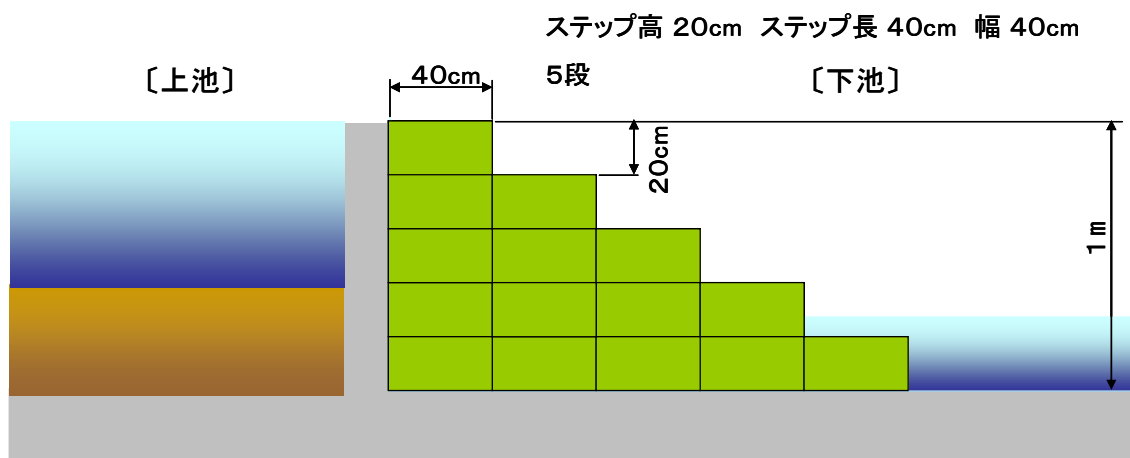


図-4 オオサンショウウオ道構造図（階段）

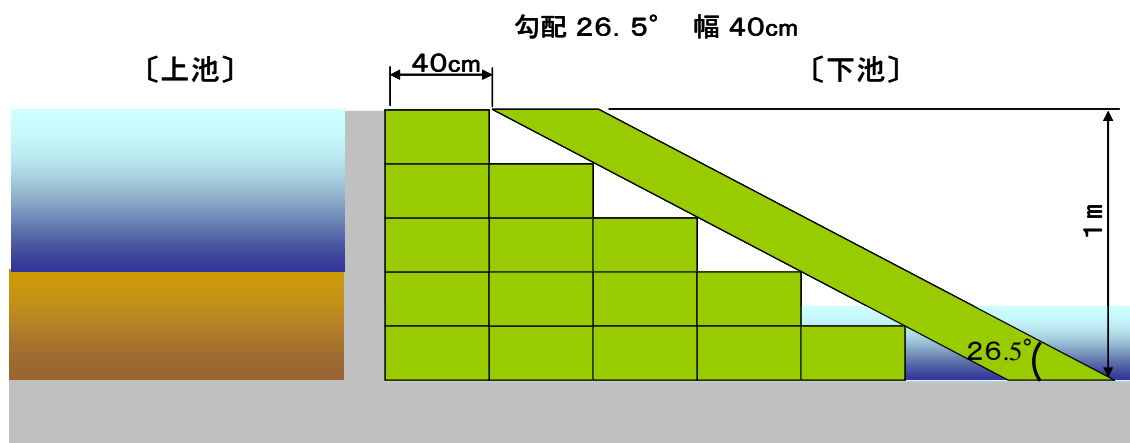


図-5 オオサンショウウオ道構造図（斜面）

表-2 遡上試験の条件

1. 「側壁有り」の遡上試験

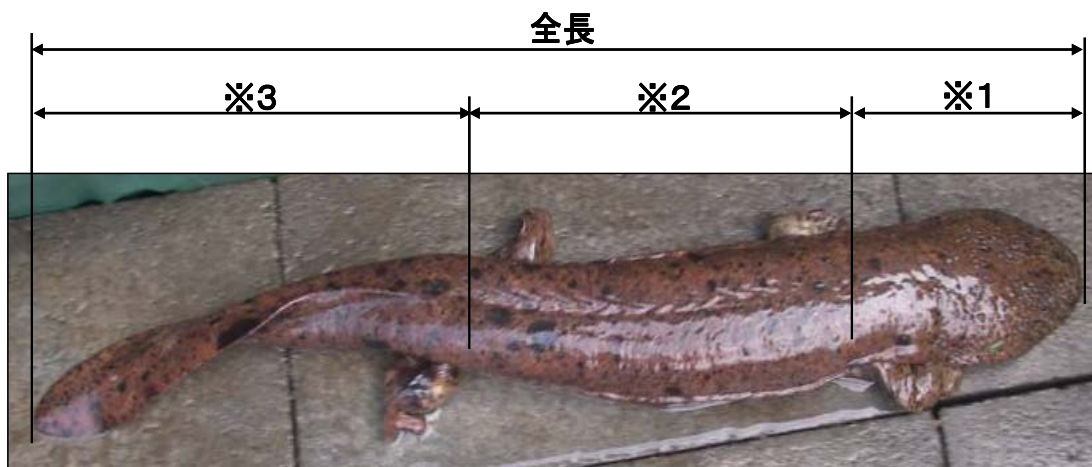
CASE	試 験 期 間	左 岸		右 岸	
		構造	流水	構造	流水
A	H19.06.25 ~ H19.06.29	階段	無し	階段	無し
B	H19.07.02 ~ H19.07.06	階段	有り	階段	有り
C	H19.07.09 ~ H19.07.13	斜面	無し	斜面	無し
D	H19.07.16 ~ H19.07.20	斜面	有り	斜面	有り
E	H19.07.23 ~ H19.07.27	斜面	無し	階段	無し
F	H19.07.30 ~ H19.08.03	斜面	有り	階段	有り
G	H19.08.06 ~ H19.08.10	階段	無し	斜面	無し
H	H19.08.13 ~ H19.08.17	階段	有り	斜面	有り

2. 「側壁無し」の遡上試験

CASE	試 験 期 間	左 岸		右 岸	
		構造	流水	構造	流水
I	H19.08.27 ~ H19.08.31	階段	無し	階段	無し
J	H19.09.03 ~ H19.09.07	階段	有り	階段	有り
K	H19.09.10 ~ H19.09.14	斜面	無し	斜面	無し
L	H19.09.17 ~ H19.09.21	斜面	有り	斜面	有り
M	H19.09.24 ~ H19.09.28	斜面	無し	階段	無し
N	H19.10.01 ~ H19.10.05	斜面	有り	階段	有り
O	H19.10.08 ~ H19.10.12	階段	無し	斜面	無し
P	H19.10.15 ~ H19.10.19	階段	有り	斜面	有り

表-3 試験個体一覧

No.	測定日	全長 (mm)	頭部～前肢 ※1 (mm)	前肢～後肢 ※2 (mm)	後肢～尾先端 ※3 (mm)	体重 (g)	雌雄
No. 1	H19. 06. 25	600	128	226	246	1,480	♂
No. 2	H19. 06. 25	618	148	228	242	1,550	♂
No. 3	H19. 06. 25	650	143	232	275	1,560	不明
No. 4	H19. 06. 25	660	136	265	259	1,750	不明
No. 5	H19. 06. 25	832	196	294	342	3,180	不明



4. 試験結果

4. 1 概要

表-3 は今回の遡上試験の結果をまとめたものである。表-4 はその遡上試験結果を分散分析し実験条件毎の主効果と交互作用を示したものである。

表-3 遡上試験の結果

CASE	左岸				右岸				合計
	構造	壁	流水	遡上回数	構造	壁	流水	遡上回数	遡上回数
A	階段	有り	無し	61	階段	有り	無し	9	70
B	階段	有り	有り	61	階段	有り	有り	31	92
C	斜面	有り	無し	50	斜面	有り	無し	38	88
D	斜面	有り	有り	50	斜面	有り	有り	53	103
E	斜面	有り	無し	35	階段	有り	無し	10	45
F	斜面	有り	有り	70	階段	有り	有り	24	94
G	階段	有り	無し	9	斜面	有り	無し	35	44
H	階段	有り	有り	20	斜面	有り	有り	31	51
I	階段	無し	無し	0	階段	無し	無し	0	0
J	階段	無し	有り	0	階段	無し	有り	0	0
K	斜面	無し	無し	1	斜面	無し	無し	3	4
L	斜面	無し	有り	11	斜面	無し	有り	7	18
M	斜面	無し	無し	4	階段	無し	無し	0	4
N	斜面	無し	有り	36	階段	無し	有り	4	40
O	階段	無し	無し	0	斜面	無し	無し	2	2
P	階段	無し	有り	0	斜面	無し	有り	14	14

表－4 分散分析の結果(実験条件ごとの主効果と交互作用)

	df	Mean Sq.	<i>F</i> value	Pr(> <i>F</i>)	<i>p</i> -value
Ladder type (T)	1	24	24.5	0.080	0.781
Presence of wall (W)	1	13,448	13448.0	43.716	0.000***
Flow condition (F)	1	861	861.1	2.799	0.114
Ladder position (P)	1	1	0.5	0.002	0.968
T × W	1	512	512.0	1.664	0.215
T × F	1	120	120.1	0.390	0.541
W × F	1	55	55.1	0.179	0.678
T × P	1	1800	1800.0	5.851	0.028*
W × P	1	72	72.0	0.234	0.635
F × P	1	3	3.1	0.010	0.921
T × W × F	1	6	6.1	0.020	0.890
T × W × P	1	545	544.5	1.770	0.202
T × F × P	1	153	153.1	0.498	0.491
W × F × P	1	36	36.1	0.117	0.736
T × W × F × P	1	15	15.1	0.049	0.827
Residuals	16	4922	307.6	NA	NA

Note: Type = ladder type, wall = presence of wall, flow = flow condition, side = ladder position.

4. 2 各試験条件の主効果

各試験条件の主効果としては、以下のとおりである。

オオサンショウウオ道の構造として斜面式であるか階段式であるかについては、統計的に優位な差は見られなかった ($p=0.781$, 図-6 (a))。

オオサンショウウオ道の構造として側壁が有るか側壁が無いかについては、統計的に優位な差が見られた ($p < 0.001$, 図-6 (b))。

オオサンショウウオ道に流水が有るか無いかについては、統計的に優位な差は見られなかった ($p = 0.114$, 図-6 (c))。しかし、統計的に優位な差はないものの流水が無い場合よりも流水が有る場合の方が遡上数は多かった。

オオサンショウウオ道が左岸側にあるか右岸側にあるかについては、統計的に優位な差は見られなかった ($p=0.968$, 図-6 (d))。

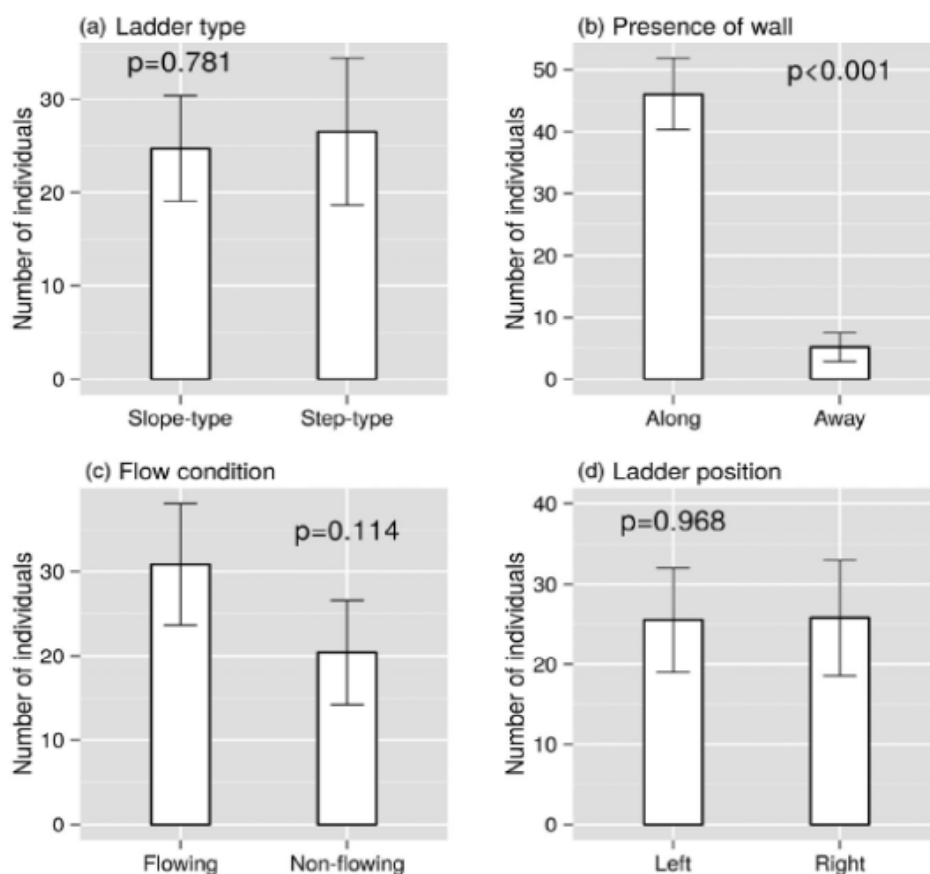


図-6 実験条件毎の主効果

4. 3 試験条件の交互作用

オオサンショウウオ道の形状とオオサンショウウオ道が左岸側にあるか右岸側にあるかを除いて、オオサンショウウオの遡上の条件の間に交互作用はなかった（表 2）。

階段式のオオサンショウウオ道を遡上するオオサンショウウオについては、そのほとんどが側壁に沿って遡上するが、斜面式を遡上するオオサンショウウオについてはある程度は斜面をそのまま遡上する個体も確認された（図-7）。

オオサンショウウオ道に流水が有るか無いかとオオサンショウウオ道の形状との交互作用については、統計的に優位な差は見られなかったが、オオサンショウウオは流水が有る場合を好んで遡上したのは明らかであった（図-8）。

オオサンショウウオの遡上においてオオサンショウウオ道が左岸側にあるか右岸側にあるかについては、統計的に優位な差は見られなかったが、斜面式は左側に設置してある場合において遡上数が多く、階段式は右側に設置してある場合において遡上数が多かった（図-9）。

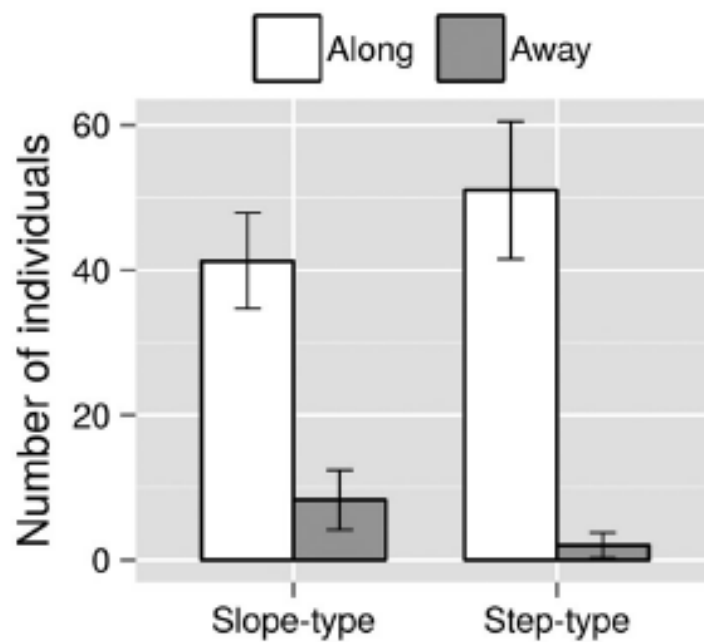


図-7 側壁有・無と斜面・階段の交互作用

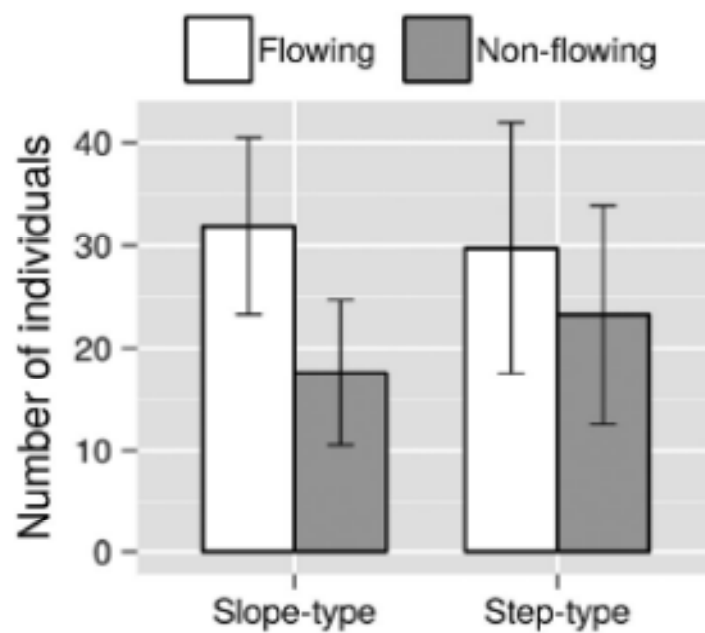


図-8 流水有・無と斜面・階段の交互作用

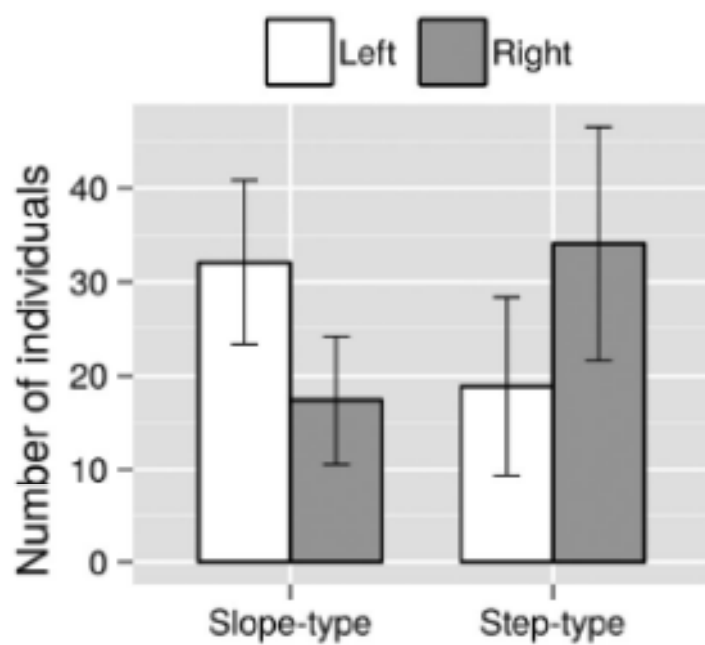


図-9 設置位置の左・右と斜面・階段の交互作用

5. 考察

オオサンショウウオの生息地に建設を予定している川上ダムにおいては、オオサンショウウオの生息環境の保全が大きな課題である。ダム本体の建設予定地および湛水予定区域についてはダム建設後にはオオサンショウウオの生息環境として適切ではない区域となるため、その区域に生息しているオオサンショウウオの湛水予定区域上流への移転を保全策としている。よって、湛水予定区域上流の生息環境の保全と改善が必要となる。現在もオオサンショウウオが多く生息し繁殖している区域については保全を行い、現時点でオオサンショウウオがあまり生息していない区域についてはその要因をつきとめ改善することが必要である。川上ダムの湛水予定区域上流には井堰が多く存在しそれらの井堰の中には堰堤下流面の斜面角度が45度を超過堰堤落差も1メートルを超えるものも多く存在し、繁殖のために産卵する巣穴を求めて遡上するオオサンショウウオの行動を阻む障害となっている。⁶⁾¹³⁾¹⁴⁾ 近年では井堰に魚類の遡上を保全する魚道が設置されることも多いが、この地域の井堰は古く魚道が設置されている井堰はほとんど無い。また、井堰の改修などで魚道が設置されたとしても、魚道が対象とする魚種としてはアユなどを代表とする遊泳魚種を対象としているものが多く、隔壁によりプール状の形状を段階的に積み重ねた形状のものが多く、隔壁上は流速が速くプール内は水深が深いためオオサンショウウオの遡上を助けるものとはならないことが多い。よって、川上ダム建設所ではオオサンショウウオが井堰の斜面を遡上する専門のオオサンショウウオ道を開発し井堰に設置し、オオサンショウウオの遡上障害を改善することによりオオサンショウウオの生息範囲の拡大を図ることとした。

オオサンショウウオ道の開発に当たっては、階段式と斜面板式、側壁が有る場合と無い場合、表面に水流が有る場合と無い場合をそれぞれ組み合わせて実験を行い最適と考えられる形状と状況を検討した。結果としては、統計上の優位な差はないものの斜面板式よりも階段式の方がやや多く遡上した。これはオオサンショウウオが第5の足と考えられる尾を利用して上る場合に階段式の形状の方が有利であったと考えられる。¹⁵⁾ また、階段式であっても斜面板式であっても側壁が有る場合と無い場合では側壁が有る場合の方が統計的にも優位な差が見られるほど多く遡上した。これは、オオサンショウウオが遡上中に四肢による運動のみで移動するのではなく、水中と同じように体全体を横に運動させて移動していることによると考えられる。¹⁶⁾ よって、遡上する斜面が十分に広くなく側壁が無い場合は遡上中にオオサンショウウオ道から落下することとなる。その現象は実験状況を撮影した映像でも確認されている。オオサンショウウオ道の形状比較を行う場合には必ず左右を入れ替えた実験を行った。その結果、斜面板式は左側に設置した場合が右側に設置した場合よりも多く遡上し、階段式は右側に設置した場合の方が左側に設置した場合よりも多く遡上したが、その理由については推察することができなかった。

オオサンショウウオ道の形状を同じにしてオオサンショウウオ道の表面に流水の有る場

合と無い場合での比較を行った。その結果、統計的な分析では流水の有無に優位な差は見られないものの、オオサンショウウオ道の形状が同じでも流水の有る場合の方が流水のない場合よりも遡上する個体が多いことを確認した。これはオオサンショウウオが基本的に流水中で生息していることによるものと考えられる。¹⁷⁾ また、オオサンショウウオはえら機能もほとんど退化消滅しており肺機能についても痕跡的であるため、主に表皮を通してガス交換を行っている。¹⁸⁾¹⁹⁾ よって、オオサンショウウオは遊離酸素を除去した水と酸素を多く含んだ水を常に表皮付近で循環させ得るために左右の運動を行っている。¹⁶⁾ オオサンショウウオ道を流れ落ちる水流はオオサンショウウオに上流の方向を示しているとも考えられる。これらにより、オオサンショウウオ道に流水が有った場合の方が無かった場合よりも多く遡上したと考えた。

今回の実験では実質的にオオサンショウウオ道を設置するために最も良い形状を求めることを目的として実施し、階段式、側壁有り、流水有りの条件が最も多くの個体が遡上したとの結果を得た。しかし、斜面式、側壁あり、流水有りの条件においても多くの個体が遡上すると結果も同時に得たため、今後は実際に設置する井堰の形状に併せて階段式か斜面式かを決定していくこととした。また、実際の設置においては、階段式の形状にこだわらずブロック上に自然石を積み上げた形状なども現地形状に合わせて施行していく予定である。

地形的に日本の河川はヨーロッパの河川よりも急で短いという特徴があり、多くの日本の河川の上流域は急峻であり崖の間を流れ落ちていることが多い。²⁰⁾ よって、ヨーロッパの川で多く用いられている魚や両生類などの生き物を対象とした迂回路的な魚道に関しては決して日本の河川には適しているとはいえない。オオサンショウウオが生息する日本の地域の気候の特徴として6月から10月までの期間に激しい降雨を経験することが多いことがあげられる。²¹⁾ これらの降雨により斜面崩落や地滑りなどが発生することにより迂回路的な魚道を土砂が埋め尽くすことも考えられる。²²⁾²³⁾ 魚道は生物が良好に上下流を移動でき上流域の生息環境と下流域に生息環境を連結する役目を果たすべきであるが、地形に合わせて適切に設計がなされなければ逆の影響を与えてしまう可能性もある。たとえば魚道を遡上する魚類を捕食する生き物のための適地となってしまうこともあり得る。²⁴⁾²⁵⁾ このような可能性はオオサンショウウオ道を遡上するオオサンショウウオにも当てはまる可能性が十分予測される。したがって、今後、オオサンショウウオ道を現地に設置するに当たっては設置位置も慎重に考慮しなければならない。たとえば、オオサンショウウオ道を井堰の真ん中に設置した場合には鳥類などの空からの捕食者に対して弱者となる可能性があるが、逆に河畔からの木が茂った井堰の両端にオオサンショウウオ道を設置した場合には捕食者から身を守ることのできる良好な形状となることも考えられる。²⁶⁾ さらに井堰の形状にもよるが側面もしくは側壁に沿った形でのオオサンショウウオ道の設置に方が容易であることの方が多いと考えられる。今後ともオオサンショウウオの遡上時の運動性を調査しさらに多くの個体が遡上する形状を研究していく必要がある。

6. おわりに

川上ダム建設事業におけるオオサンショウウオの保全対策の一つとして検討しているオオサンショウウオの移動性確保のための移動路として、オオサンショウウオ道の基礎データを得るために、保護池で実施された遡上試験の結果を基に分析した。

オオサンショウウオ道については、階段形状と斜面形状、側壁の有無、流水の有無、設置位置を組み合わせ、16 ケースを設定して遡上試験を実施し、ケース毎のオオサンショウウオの遡上回数を計測し、移動阻害を効果的に解消できるオオサンショウウオ道の構造や設置条件について分析を行った。

その結果、オオサンショウウオ道は、側壁無しよりも側壁有り、流水無しよりも流水有りの条件において、遡上回数が増えることが示された。よって、実際に河川内の井堰等にオオサンショウウオ道を設置する場合には、河川の護岸沿いに設置し、その表面に遡上の障害とならない程度の流水を確保することが効果的である。

このようなオオサンショウウオ道を遡上の難易度が高い井堰等に設置することにより、オオサンショウウオの個体の移動性が確保され、オオサンショウウオの生息環境が拡大するとともにより良好なものになり川上ダム上流域のオオサンショウウオの環境収容力が増加するものと考えられる。

今後は、オオサンショウウオ道を遡上の難易度が高い井堰等に設置することにより、オオサンショウウオの個体の移動性が確保され、オオサンショウウオの生息環境がより良好なものになるかを検証する必要がある。

参考文献

- 1) 三重県環境森林部自然環境室.2006.三重県レッドデータブック 2005
- 2) 独立行政法人水資源機構川上ダム建設所 (2009) 川上ダムにおける環境保全の取り組み
- 3) 左近重信・竹澤秀史・徳永倫一 (2004) 川上ダムにおけるオオサンショウウオの保全対策の調査・検討 (中間報告) .ダム技術No.209.63-72
- 4) 藤本義博・上島孝久 (2004) 特別天然記念物オオサンショウウオ生息地内における生息環境調査～河川構造物の生息に及ぼす影響について～.中国学園大学報告：89-95
- 5) 松井正文・富永篤 (2007) オオサンショウウオ地域個体群保全のための AFLP 法による遺伝的多様性調査.応用生態工学 10(2).175-184
- 6) 田口勇輝・夏原由博 (2009) オオサンショウウオが遡上可能な堰の条件.保全生態学研究 14：165-172
- 7) 田口勇輝 (2009) オオサンショウウオの季節的な移動－流水に棲む両生類による繁殖移動の可能性－.日本生態学会誌 59:117-128
- 8) 古賀勝之・大村朋広 (2007) 川上ダムにおけるオオサンショウウオの生息確認調査と保全対策.ダム技術No.245.56-66
- 9) Yoichi Takahashi, Md H. Rashid, Animesh Sarkar, Takashi Asaeda, Masanori Isono, Tomohiro Omura & Katsuyuki Koga (2016) Use of ladderways in fragmented habitat to aid the movement of Japanese giant salamander (*Andrias japonicus*), International Journal of River Basin Management , Vol. 14, No. 2 : 233–241
- 10) 小原二郎 (1985) 大山椒魚.どうぶつ社.東京
- 11) Kuwabara, K., Suzuki, N., Wakabayashi, F., Ashikaga, H., Inoue, T. and Kobara, J. 1989. Breeding the Japanese giant salamander *Andrias japonicus* at Asa Zoological Park. *International Zoo Yearbook*, 28(1), 22-31.
- 12) Okada, S., Fukuda, Y. and Takahashi, M. 2015. Paternal care behaviors of Japanese giant salamander *Andrias japonicus* in natural populations. *Journal of Ethology*, 33(1), 1—7.
- 13) Matsui, M., 2000b. *Japanese Giant Salamander, Threatened Wildlife of Japan Red Data Book. 2nd Edition*. Tokyo, Japan: Japan Wildlife Research Center.
- 14) 栃本武良 (2005) オオサンショウウオの生態.「これからの両棲類学」(松井正文編), 裳華房, 東京,204-215.
- 15) Karakasiliotis, K., Schilling, N., Cabelguen, J.-M. and Ijspeert, A. 2013. Where are we in understanding salamander locomotion: biological and robotic perspectives on kinematics. *Biological Cybernetics*, 107(5), 529—544.
- 16) Zug, G. R., Vitt, L. and Caldwell, J., 2001. *Herpetology*. San Diego, USA: Academic Press.

- 17) Browne, R. K., Hong, L., McGinnity, D., Okada, S., Zhenghuan, W., Bodinof, C. M., Irwin, K. J., McMillan, A. and Briggler, J. T. 2011. Survey techniques for giant salamanders and other aquatic Caudata. *Amphibian and Reptile Conservation*, 5(4), 1—16.
- 18) Parker, G. 2001. Giant Salamanders Lurk in Japan. *The Newsletter of the Colorado Herpetological Society*, 28(8).
- 19) Pough, F. H., Andrews, R. M., Cadle, J. E., Crump, M. L., Savitzky, A. H. and Wells, K. D., 2001. *Herpetology*. New Jersey, USA: Prentice Hall.
- 20) Oguchi, T., Saito, K., Kadomura, H. and Grossman, M. 2001. Fluvial geomorphology and paleohydrology in Japan. *Geomorphology*, 39(1-2), 3-19.
- 21) Matsumoto, J. 1993. Global distribution of daily maximum precipitation. *Bulletin of the Department of Geography, University of Tokyo*, 25, 43-48.
- 22) Lang, M., Cashman, E., Siegfried, L., Smith, W. J. and Dillon, A., 2007. *Sediment Transport through Road Culverts Retrofit for Fish Passage* [online]. AGU Fall Meeting Abstracts. Available from: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2007AGUFM.H41A0126L> [Accessed October 06, 2015].
- 23) Vaidyanathan, G. 2011. Dam controversy: Remaking the Mekong. *Nature*, 478, 305-307.
- 24) Agostinho, A. A., Agostinho, C. S., Pelicice, F. M. and Marques, E. E. 2012. Fish ladders: safe fish passage or hotspot for predation? *Neotropical Ichthyology*, 10, 687-696.
- 25) McLaughlin, R. L., Smyth, E. R. B., Castro-Santos, T., Jones, M. L., Koops, M. A., Pratt, T. C. and Vélez-Espino, L.-A. 2013. Unintended consequences and trade-offs of fish passage. *Fish and Fisheries*, 14(4), 580-604.
- 26) Carvalho, L. N., Fidelis, L., Arruda, R., Galuch, A. and Zuanon, J. 2013. Second floor, please: the fish fauna of floating litter banks in Amazonian streams and rivers. *Neotropical Ichthyology*, 11, 85-94.

第2章 ダム建設前後の下流河道における環境変化に関する研究

1. はじめに

日本におけるダムの建設は、堤体、放流設備、その他の施設が完成し、その後、試験湛水を行い、全ての施設および貯水池周辺の斜面などの安全性を確認したうえで完了する。試験湛水は、通常、建設中に転流していた河川水を上流で締め切り、貯水池に導くことから始まり、ダムおよび貯水池周辺の斜面などの安全性を考慮して決めた水位上昇速度（1 m/日が多い）により計画上の満水位まで水位を上昇させ、同様に、安全性を考慮した水位の低下速度（1 m/日）で安全性が確認できる水位まで貯水位を低下させて完了する¹⁾。したがって、試験湛水は、制度上はダムの建設の最終段階であるが、最初の河川流量の人工的な制御であり、下流河道の流量、流下土砂量、土砂質、流下有機物量、流下水温、水質など、物理的に大きな変化がある期間となる。

ダムの上下流間で底生動物群集が変化する現象に関する研究は、欧米先進国を中心に1980年代以降盛んになり、流量の変動による現存量の変化や流下物との関連、ダム放流水温が下流の底生動物の生活史に影響などについて多数報告がなされている²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾。しかし、欧米では試験湛水という制度はなく、初期湛水はもちろん、安全性を考慮して水位上昇などについては制御されることもあるが、あくまでダムの通常の運用の中で実施される⁹⁾。

国内では、すでに完成し長年運用しているダム下流の底生動物群集の評価は行われているが、建設中のダムを対象に試験湛水中で生ずる変化を捉えた事例はなかった。そこで、我々はダムの運用によって生ずる物理化学的環境の変化が底生動物群集に与える影響と変動を解明し、今後のダム本格運用時における下流域の河川生態系の管理に資する知見を得ることを目的として試験湛水開始前から定期的に底生動物種のモニタリングを実施している。既報¹⁰⁾より、2005年の試験湛水開始以前から2007年8月までの年3回の底生動物出現種を調べた結果、ダム上下流で生息種や密度が異なっていることと、試験湛水開始後によって環境の変化が生じた後に変化が生じることの2つの相違パターンが確認された。

本研究は、試験湛水を開始する前の2005年4月から試験湛水中の2008年3月までの各月のサンプリングデータより優占種を選定しその変動特性について考察した。また、2007年9月には試験湛水中に最大となる出水を経験していることから、人工的な流況の変化と合わせてダム上下流の底生動物群集の変化についても考察した。

2. 調査概要

2. 1 調査地点

本研究の調査は、荒川水系中津川の滝沢ダム(埼玉県秩父市大滝)の上流である中双里地区とダム直下に位置する小双里地区で行った。

調査地点を図-2.1 に示す。

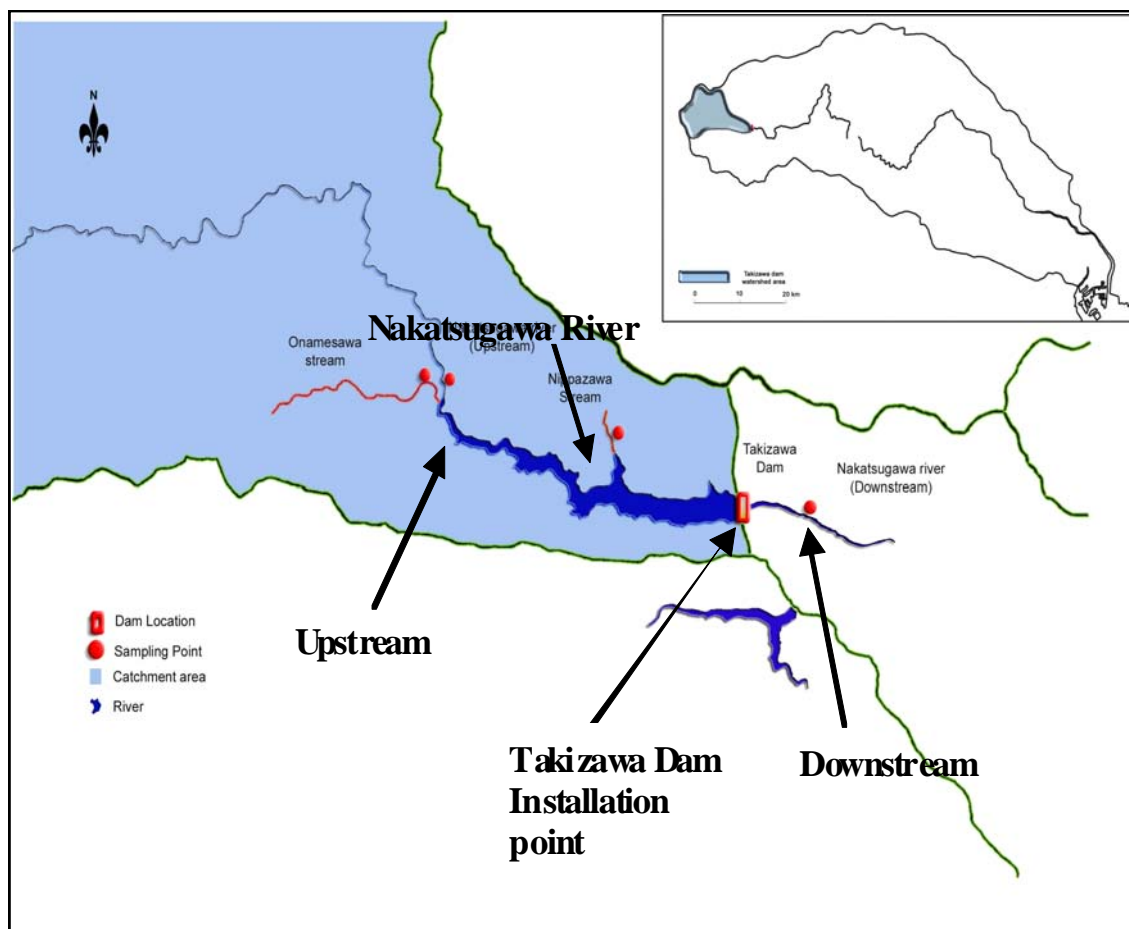


図-2.1 調査地点位置図

2. 2 滝沢ダム

滝沢ダムは独立行政法人水資源機構により埼玉県秩父市大滝に建設されている堤高 132m の重力式コンクリートダムである。多目的ダム。

滝沢ダムは、ダム堤体を完成させた後、平成 17 年 10 月 1 日から試験湛水を開始した。

試験湛水とは、本格的なダム運用に先立ち、水を貯めたり水位を下げたりすることで、ダムやその基礎地盤、貯水池周辺斜面の安全性を確認するために、国土交通省所轄のダムでは必ずダムの完成前に実施するものである。

図-2.2 に試験湛水中の流入量と放流量および貯水位を示す。

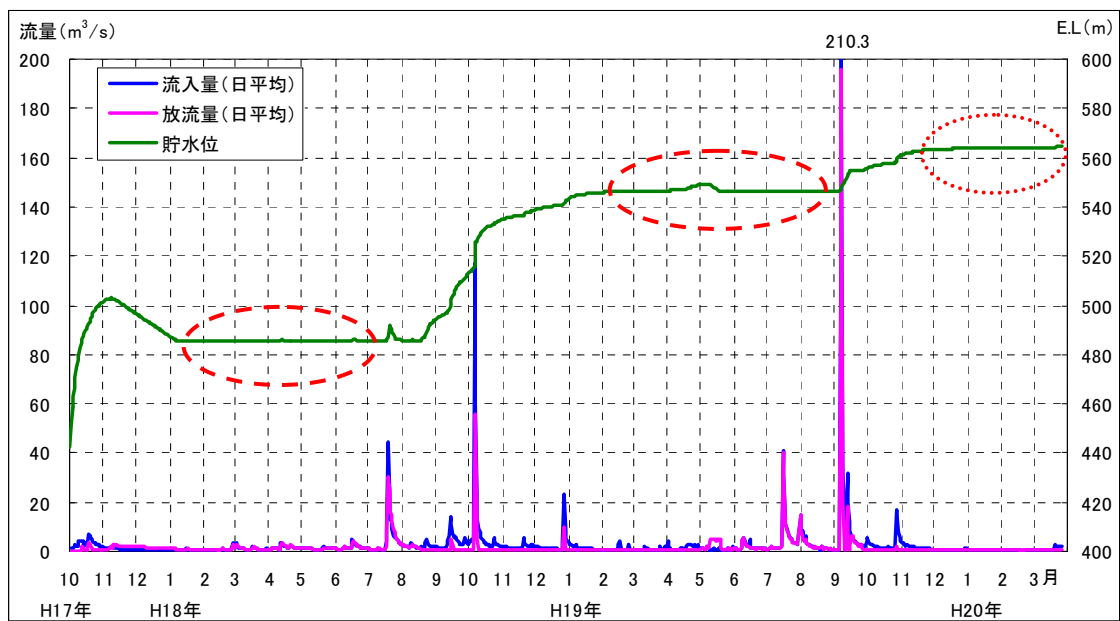
滝沢ダムでは、平成 17 年 10 月 1 日に試験湛水を開始し、平成 20 年 3 月 30 日には水位が満水位に達した。

ただし、その間の湛水中に貯水池周辺における斜面の変状などの対策のため、2 度の水位維持操作を実施している。

また、冬期に流入量が少ないこともあいまって、試験湛水中に 3 度の水位維持期間がきている。図-2.2 の赤楕円部分。

以下の経緯を示す。

平成 17 年 10 月 1 日	試験湛水開始
平成 17 年 10 月 20 日	貯水位は最低水位（標高 495m）に到達
平成 17 年 11 月 2 日	貯水池左岸斜面（ダムより約 1.5km 上流）で亀裂を確認 （貯水位 503m）
平成 17 年 11 月 9 日	貯水位を安全な水位にまで低下
平成 18 年 1 月 6 日	貯水位を維持（貯水位 485m）
平成 18 年 1 月 20 日	対策工事に着手（押え盛土工）
平成 18 年 8 月 17 日	対策工事完了
平成 18 年 8 月 18 日	湛水再開（貯水位 485m）
平成 19 年 5 月 1 日	貯水池左岸斜面（ダムより約 1km 上流）で亀裂を確認 （貯水位 549m）
平成 19 年 5 月 10 日	貯水位低下操作を開始
平成 19 年 5 月 19 日	貯水位維持（貯水位 546.06m）
平成 19 年 8 月 30 日	試験湛水再開（貯水位 546.06m）
平成 20 年 3 月 30 日	常時満水位に到達（貯水位 565m）



図－2.2 滝沢ダム湛水状況図

3. 調査方法

3. 1 底生生物

底生動物については独立行政法人水資源機構滝沢ダム建設所（現荒川ダム総合管理所）による自然環境調査の一環として、1995年から96年にかけて冬(12月)、早春(3月)、夏(8月)に実施されており、以降、2004年から05年、2005年から06年、2006年から07年、2007年から08年（3月）において同様の季節で行われている。

この調査ではダム上流と下流域の瀬を対象に、各2か所ずつ採取し、種類まで同定され、個体数および湿潤重量が計測されている。また、同時に2005年4月より月1回以上の頻度でサンプリングを行い、科レベルまでの同定(一部は種レベルまで)と個体数の定量調査を行った。



写真-3.1(a) ムカシヤンマ



写真-3.1(b) ヤマトカワゲラ

3. 2 ダム上下流の物理環境および水質

図-3.1 はダム流入量と放流量の経時変化を示す。滝沢ダムでは試験湛水開始前までは流量調節することなく仮排水路トンネルで下流に放流していた。2005 年 10 月 1 日に下流の放流量 $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ を維持しながら試験湛水を開始し、貯水を開始した。しかし、2005 年 11 月 5 日に湖岸斜面に変状が生じたためその対策工事を実施する必要が生じ、変状が観察される前の貯水位までに水位を下げて保ち、対策工事が完了した後、2006 年 8 月 18 日に再び湛水を開始した。また、さらに、2007 年 5 月 1 日再び他の地点で斜面変状が生じたため水位を維持し、2007 年 8 月 30 日から試験湛水を再開し 2008 年 3 月 30 日に最高水位に達した。試験湛水中の下流への放流量は、流入量が $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ に満たないときは流入量であり、流入量が $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上のときは $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ であるが、水位維持を行っている期間は、流入と放流が同僚である。

滝沢ダムでは、過去 3 年間で、年間数回にわたる出水が発生しており 2005 年 10 月の試験湛水開始から 2008 年 3 月までの期間において最も規模が大きかったのは 2007 年 9 月 7 日の出水で、その時の流入量のピークは翌 8 日の $210.3 \text{ m}^3/\text{s}$ （日平均値）であった。ただし、そのときに貯水位上昇速度を安全性確保の観点から 1 日あたり 1 m としていたため放流も $196.1 \text{ m}^3/\text{s}$ （日平均値）であった。

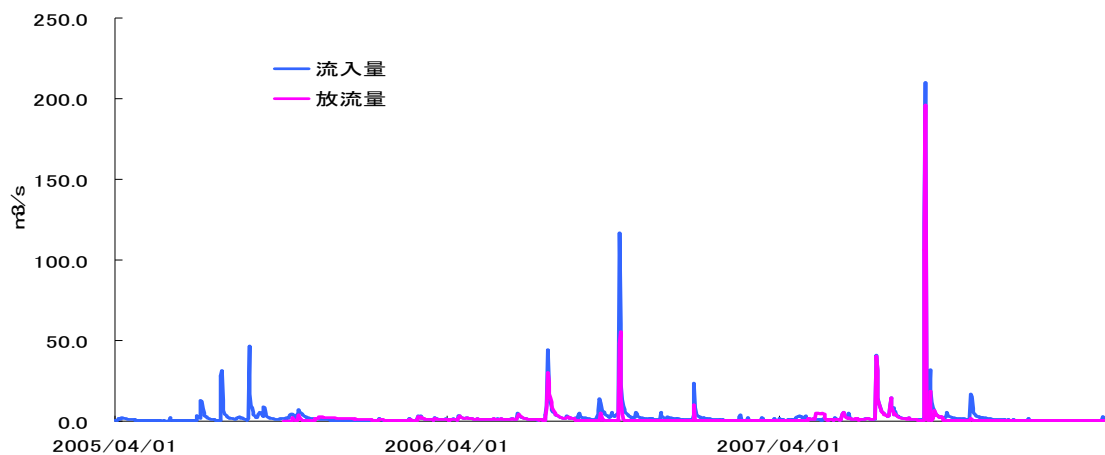


図-3.1 流入量と放流量

表-3.2 に、中双里と小双里の瀬における 2006 年の流速と水深の比較を示す。上流と比較して、下流では年間を通じて流速が低い、これは試験堪水期間が長かった影響を受けている。現地では、水温、pH、溶存酸素、電気伝導度を現地用簡易水質計、濁度を濁度計(いずれも東亜 DKK 製)で計測した。採取水は、実験室で TDN、TDP、溶存有機態(DOC)、Chl-a 濃度を測定した。Chl-a 量の定量はターナー社の蛍光光度計を用いた。滝沢ダムにおいて計測されたダムへの流入水温とダムからの放流水温を図-3 に示す。下流の水質は、水温を除いて上流と比べて有意な差は生じなかった。

表-3.2 ダム上下流域の瀬の流速と水深の比較

	upstream	downstream
velocity (m/s)	0.61 (0.31 - 0.84)	0.31 (0.10-0.55)
water depth (cm)	29 (19 - 41)	32 (22 - 43)

※平均とレンジ(カッコ内は最小-最大)

表-3.3 ダム上流域の水質の年平均値とレンジ

pH	8.1 (7.4-8.5)
Temp (C)	9.2 (0.6-19.2)
DO (mg/l)	11.4 (8.7-15.7)
EC (mS/m)	20.6 (15.8-31.6)
DOC (mg/l)	1.57 (0.88-2.67)
NO3-N (mg/l)	0.80 (0.54-1.10)
PO4-P (mg/l)	<0.002

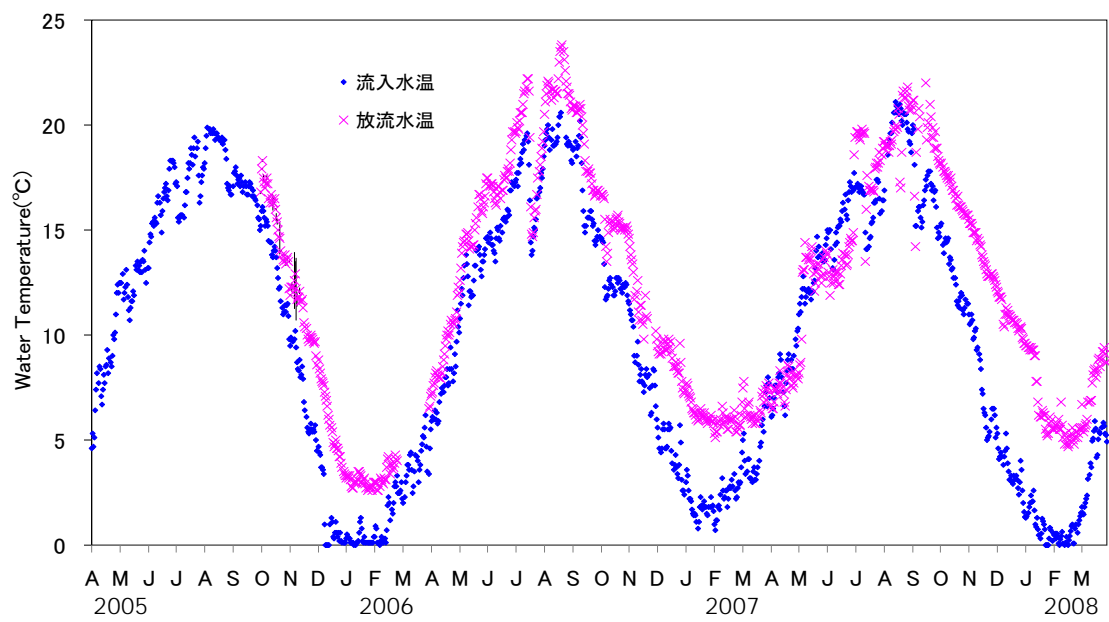


図-3.2 ダム流入水温(上流域)と放流水温(下流域)

流下有機物については、流下物を 1mm 以上と 1mm 以下に分けて実験室で 45℃で乾燥し、重量、強熱減量、炭素・窒素含有量を測定した。

また、それぞれの場所で礫の付着藻類のサンプリングを行い、Chl-a 量を測定した。付着藻類の上下流差は夏期よりも冬期が大きく見えるが T 検定の結果は $p < 0.001$ であり有意な差が確認された。（写真-3.1 参照）



写真-3.2 流下有機物採取状況

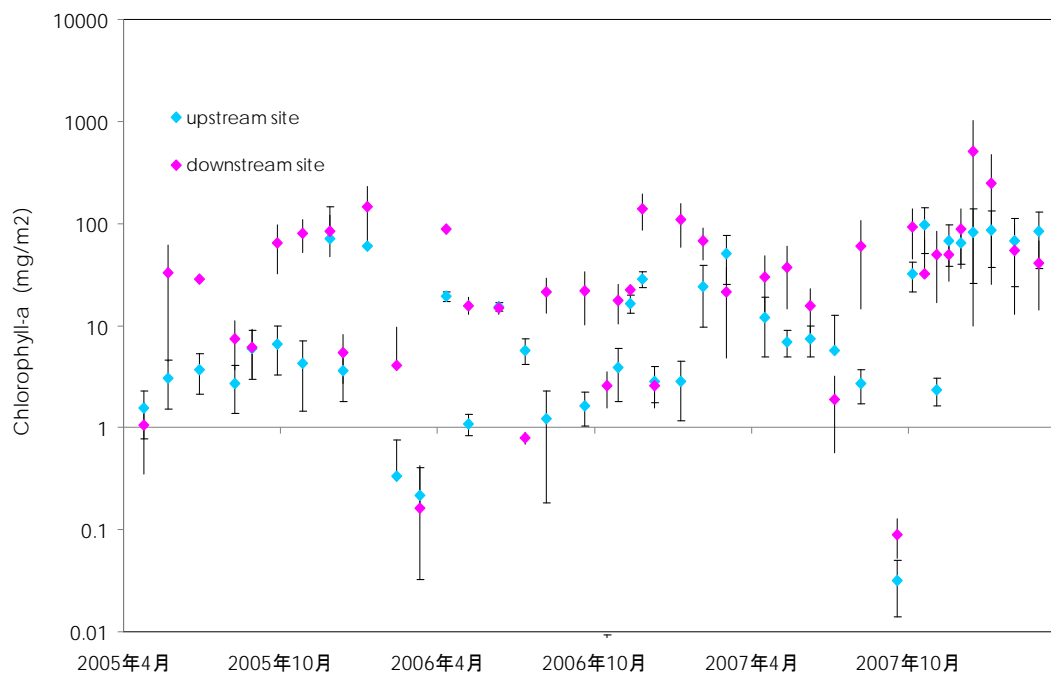


図-3.3 付着藻類のクロロフィルaの経年変化

4. 調査結果

4. 1 底生動物群集の結果

ここでは試験湛水開始前後の底生動物種の動態を把握することが目的であるため、ほぼ等間隔で連続的に実施した 2004 年 12 月から 2008 年 3 月までに実施したデータを評価対象とする。

その期間に確認されたダム上下流のすべての科と確認個体数割合について表-4.1 に示す。また、その中でも、種類や個体数が多く発見されたガガンボ科、ヒゲナガカワトビケラ科、カワゲラ科、シマトビケラ科、ユスリカ科を分析の対象とした(図-4.1(a)～(e))。

50cm 四方の面積あたりの底生動物における出現個体数の上下流間変動の有意性を確認するため、それぞれ Mann-Whitney U 検定を行った。その結果、ヒゲナガカワトビケラ科には有意性が認められた。

表-4.2(a)～(b)に湛水前後の湛水前後の優占種の出現状況を示す。

表-4.1 全出現科と個体数割合

family	和名	確認個体数割合(%)		family	和名	確認個体数割合(%)	
		上流	下流			上流	下流
Ameletidae	ヒメフタカゲロウ科	0.00	0.05	Psephenidae	ヒラ外ロムシ科	0.0	0.5
Baetidae	コカゲロウ科	13.51	19.96	Elmidae	ヒメロムシ科	0.0	0.0
Isonychiidae	チラカゲロウ科	0.00	0.99	Tipulidae	カガンホ科	0.9	5.6
Heptageniidae	ヒラタカゲロウ科	14.47	5.06	Nymphomyiidae	ハネカ科	0.0	0.0
Potamanthidae	カワカゲロウ科	0.00	0.00	Blephariceridae	アミカ科	0.2	0.0
Polymitarcidae	シロイロカゲロウ科	0.00	0.01	Psychodidae	チヨウバエ科	0.0	0.0
Leptophlebiidae	トビイロカゲロウ科	0.30	2.32	Simuliidae	ブユ科	0.3	4.4
Ephemeridae	モンカゲロウ科	0.14	1.61	Ceratopogonidae	ヌカカ科	0.3	0.2
Ephemerellidae	マダラカゲロウ科	7.51	12.18	Chironomidae	ユスリカ科	9.6	16.6
Caenidae	ヒメカゲロウ科	0.06	0.02	Athericidae	ナガレバエ科	1.5	0.8
Gomphidae	サナエトンボ科	0.02	0.01	Empididae	オドリバエ科	0.0	0.0
Taeniopterygidae	ジグカオカワゲラ科	11.98	0.01	Glossosomatidae	ヤマトビケラ科	0.2	0.4
Nemouridae	フサオシカワゲラ科	1.81	0.32	Rhyacophilidae	ナカレビケラ	1.0	4.4
Capniidae	クロカワゲラ科	0.67	0.00	Stenopsychidae	ヒゲナガカワレビケラ科	0.1	7.6
Perlodidae	アミメカワゲラ科	1.38	0.49	Sericostomatidae	ケトビケラ科	0.0	0.0
Perlidae	カワゲラ科	3.97	2.32	Polycentropodidae	イトビケラ科	0.0	0.1
Chloroperlidae	ミドリカワゲラ科	22.52	3.57	Goeridae	ニンギョウレビケラ科	0.0	0.0
Leuctridae	ホソカワゲラ科	0.17	0.00	Hydropsychidae	シマトビケラ科	3.6	8.3
Corydalidae	ヘビトンボ科	0.03	0.27	Limnephilidae	エクリビケラ科	0.1	0.1
Scirtidae	マルハナミズ科	0.00	0.03	Leptoceridae	ヒゲナガレビケラ科	0.2	0.2
Noteridae	コツブケトンボ科	0.11	0.34	Lepidostomatidae	カクツツレビケラ科	3.2	0.7
Gyrinidae	ミスズメ科	0.01	0.05	Psychomyiidae	クダレビケラ科	0.0	0.3
		合計				100.0	100.0

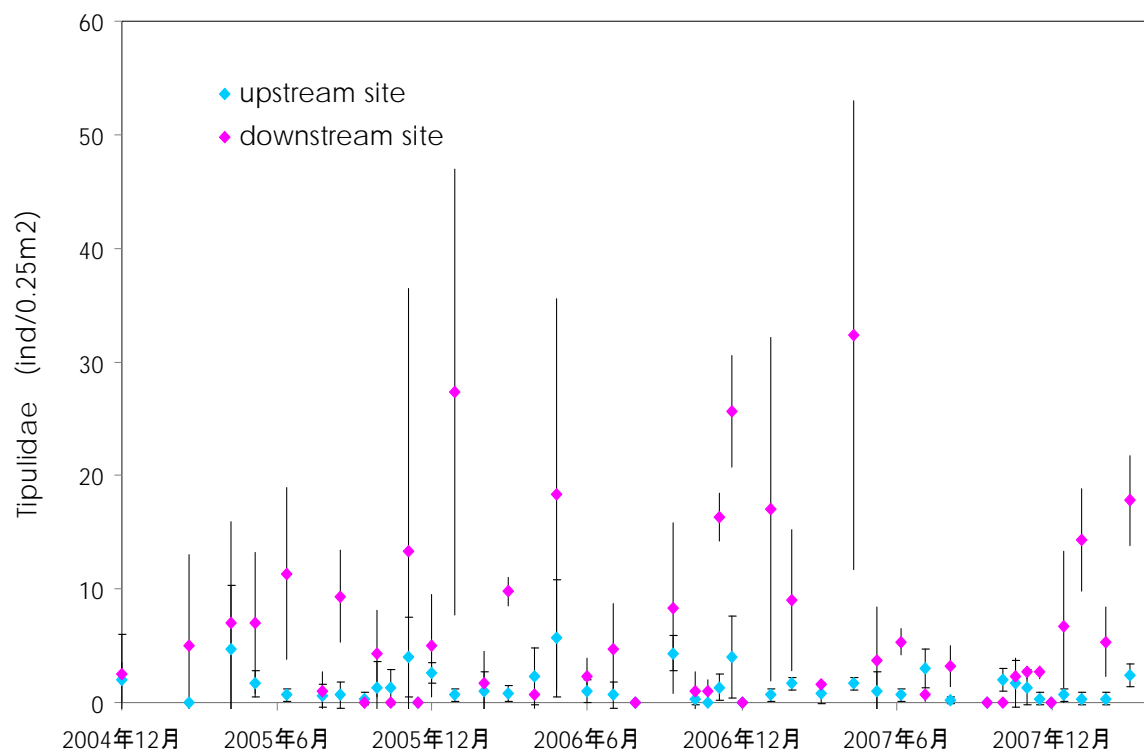


図-4.1(a) ガガンボ科(*Tipulidae*)個体数の経年変化(n=3)

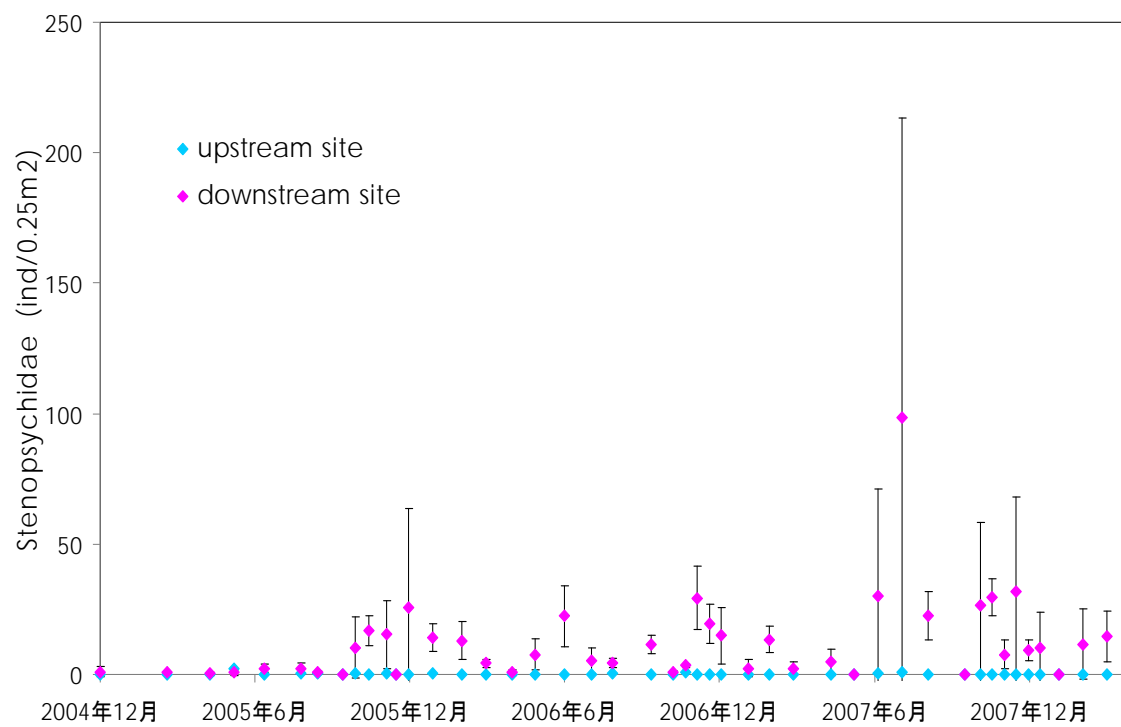


図-4. 1 (b) ヒゲナガカワトビケラ科(*Stenopsychidae*)個体数の経年変化 (n=3)

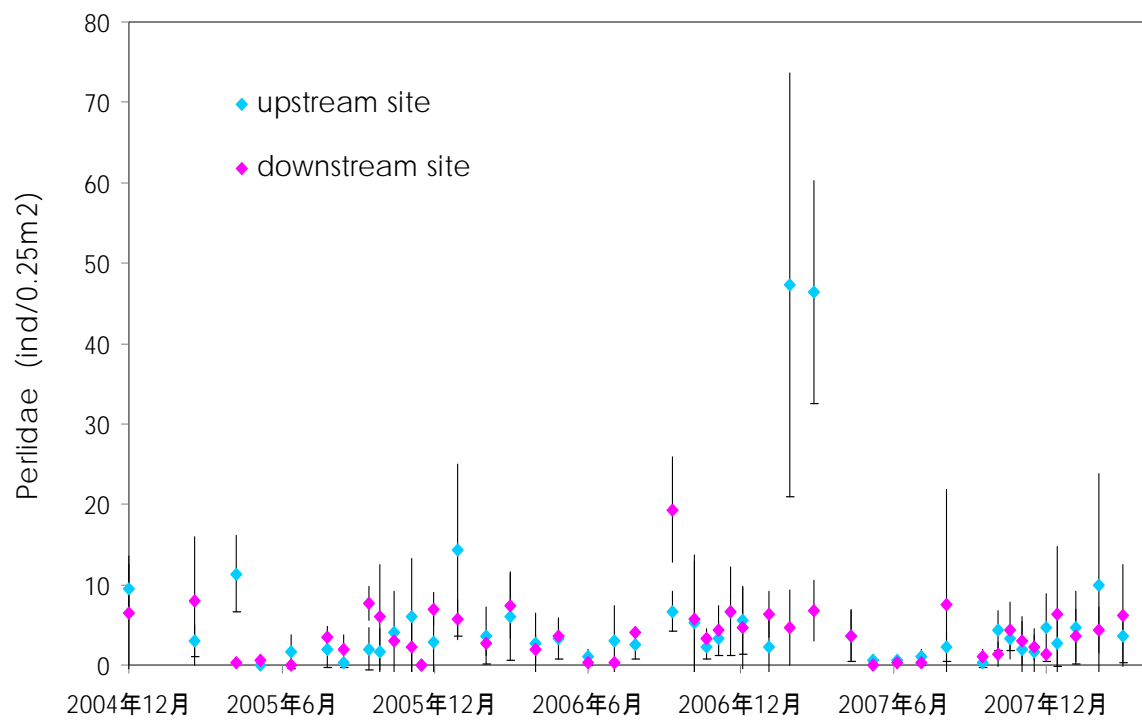


図-4.1(c) カワゲラ科(*Perlidae*)個体数の経年変化(n=3)

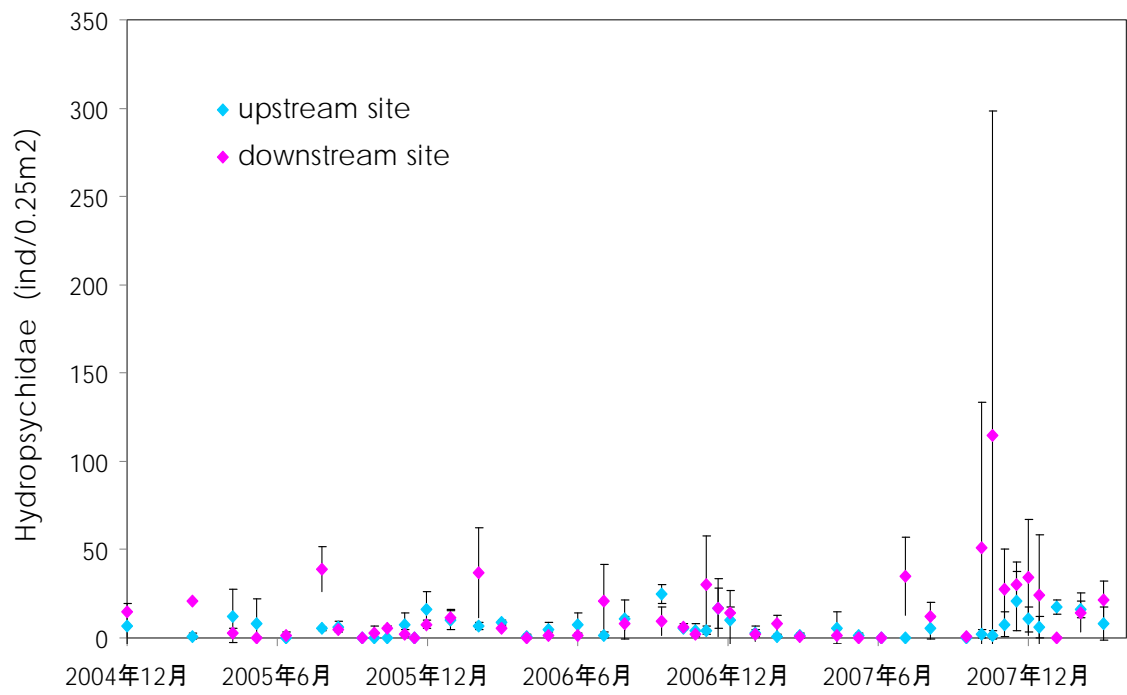


図-4.1(d) シマトビケラ科(*Hydropsychidae*)個体数の経年変化(n=3)

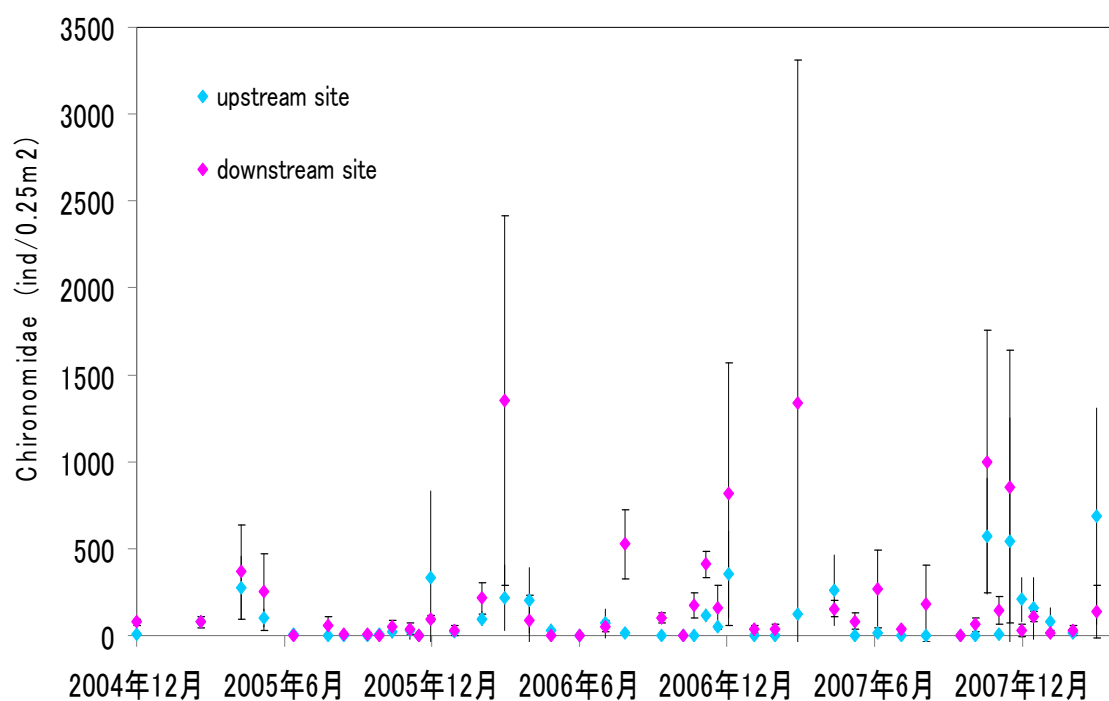


図-4.1 (e) ユスリカ科(*Chironomidae*)個体数の経年変化(n=3)

表-4.2(a) 上流の湛水前後の優占種の出現状況

			UPSTREAM							
			Dec-04	Mar-05	Dec-05	Mar-06	Dec-06	Mar-07	Dec-07	Mar-08
Ephemeroptera	Ameletidae	GC, FC	□	□	+	+	•	+	+	+
	Baetidae	GC	□	□	+	+	•	+	□	•
	Isonychiidae	FC								
	Heptageniidae	Gr	□	□	•	•	•	+	•	•
	Leptophlebiidae	GC			•	•		+		
	Ephemeridae	FC, Gr	■			+				+
	Ephemerellidae	GC, Pr	□	□	•	+	•	+	+	+
Odonata	Caeniidae	GC, FC, Gr								
	Gomphidae	Pr	□			+				•
Plecoptera	Taeniopterygidae	Sh, GC, FC	■	+	•	•	•	+	□	+
	Nemouridae	Sh	□	■	+	+	•	+	□	□
	Capniidae	Sh, GC, FC	□	■	+	•	•		+	+
	Perlodidae	Pr	□	□	+	+	•	+	+	+
	Perlidae	Pr	■	+	+	•	+	+	•	□
	Chloroperlidae	GC, FC, Gr, P	+	■	+	+	+	+	+	+
Megaloptera	Corydalidae	Pr	■		+					
Coleoptera	Psephenidae	Gr								
Diptera	Tipulidae	Sh, GC, FC	□		+	+	•	+	•	+
	Blepharoceridae	Gr		+	+	•	□	•	•	+
	Simuliidae	FC	□	■		+		+		+
	Ceratopogonidae	GC, FC, Pr								
	Chironomidae	GC	□	+	+	•	•	•	+	•
	Athericidae	Pr	+	■	+	+	+	+	+	+
	Tabanidae	Pr								
	Empididae	GC, FC								+
Trichoptera	Glossosomatidae	Pr		+			+	+	+	+
	Rhyacophilidae	Pr	■	□	•	+	•	•	•	+
	Stenopsychidae	FC		□						+
	Hydropsychidae	FC	■	□	+	+	+	+	+	+
	Ceraclea sp.	Sh+Co+Pr								
	Goerodes sp.	Sh	■	□	+	+	+	+	+	•

100-90%	+
80-89%	+
70-79%	+
60-69%	■
40-59%	■
20-39%	+
5-19%	•
1-4%	□
0%	

表-4. 2 (b) 下流の湛水前後の優占種の出現状況

			DOWNSTREAM							
			Dec-04	Mar-05	Dec-05	Mar-06	Dec-06	Mar-07	Dec-07	Mar-08
Ephemeroptera	Ameletidae	GC, FC	□		□	■	■	■	■	+
	Baetidae	GC	■	+	■		■	+	■	+
	Isonychiidae	FC	□	□	■	□	■	+	□	
	Heptageniidae	Gr	■	+				■	□	+
	Leptophlebiidae	GC			■	■	+	■	■	■
	Ephemeridae	FC, Gr	□	□	+	+		■	■	
	Ephemerellidae	GC, Pr	■	+	■	■	■	+	■	
	Caeniidae	GC, FC, Gr	■		■	■	■	+		
Odonata	Gomphidae	Pr	+		■	□	+			
Plecoptera	Taeniopterygidae	Sh, GC, FC		+		■				■
	Nemouridae	Sh	■	□	+	+	■	+	■	
	Capniidae	Sh, GC, FC	■		+	■				
	Perlodidae	Pr	■	+		■	□			+
	Perlidae	Pr	■	■	■	■	+	+	■	■
	Chloroperlidae	GC, FC, Gr, P	■		+	+	+	+		■
Megaloptera	Corydalidae	Pr	□	■	■	■	+			■
Coleoptera	Psephenidae	Gr		□	■	■	+			
Diptera	Tipulidae	Sh, GC, FC	■	□	+	■	■		□	
	Blepharoceridae	Gr		+						
	Simuliidae	FC	□	□	+	□			□	
	Ceratopogonidae	GC, FC, Pr				+				
	Chironomidae	GC	■		■	+	+	■	■	■
	Athericidae	Pr	+	■			■			
	Tabanidae	Pr					+			
	Empididae	GC, FC				+				
Trichoptera	Glossosomatidae	Pr	■	■	+	■				
	Rhyacophilidae	Pr	■		■	+	+	■		+
	Stenopsychidae	FC	□	■	+	■	+	■	■	+
	Hydropsychidae	FC	■			■	■	■	■	+
	Ceraclea sp.	Sh+Co+Pr			■	■	+			
	Goerodes sp.	Sh			■	+	■			+

100-90%	+
80-89%	+
70-79%	+
60-69%	■
40-59%	■
20-39%	■
5-19%	■
1-4%	□
0%	

図-4.2(a)～(b)に上下流の湛水前後の優占種の出現状況を示す。

確認タクサ数を生活型でみると、主に遊泳型、掘潜型、匍匐型で構成されており、ダム下流で確認タクサ数が多い傾向がある。また、ダム下流では特に匍匐型が多くみられる。

確認個体数でみると、ダム下流では試験湛水前後とも遊泳型もしくは匍匐型が優占している。ダム下流における各生活型の確認個体数は、試験湛水後に地点間で違いがあるもののいずれも顕著に増加（下流1：遊泳、掘潜、造網、匍匐で $p < 0.05$ 、下流2：携巢、固着、掘潜、造網、匍匐で $p < 0.05$ 、下流3：掘潜、匍匐で $p < 0.05$ ）しており、その数はダム上流、流入河川の2～5倍以上になっている。

ダム上流では、遊泳型もしくは匍匐型が優占している。確認個体数は、試験湛水前と比べて遊泳型、携巢型、造網型、匍匐型で増加している（ $p < 0.05$ ）。

ダム下流では支川では、試験湛水前後で有意差はみられないが、匍匐型で増加している（ $p = 0.057$ ）。

なお、確認個体数の季節変化は、夏に減少し冬から早春に最大になる傾向であり、その傾向は試験湛水前後で大きく変化していない。

図-4.2 底生生物の確認目毎の科数

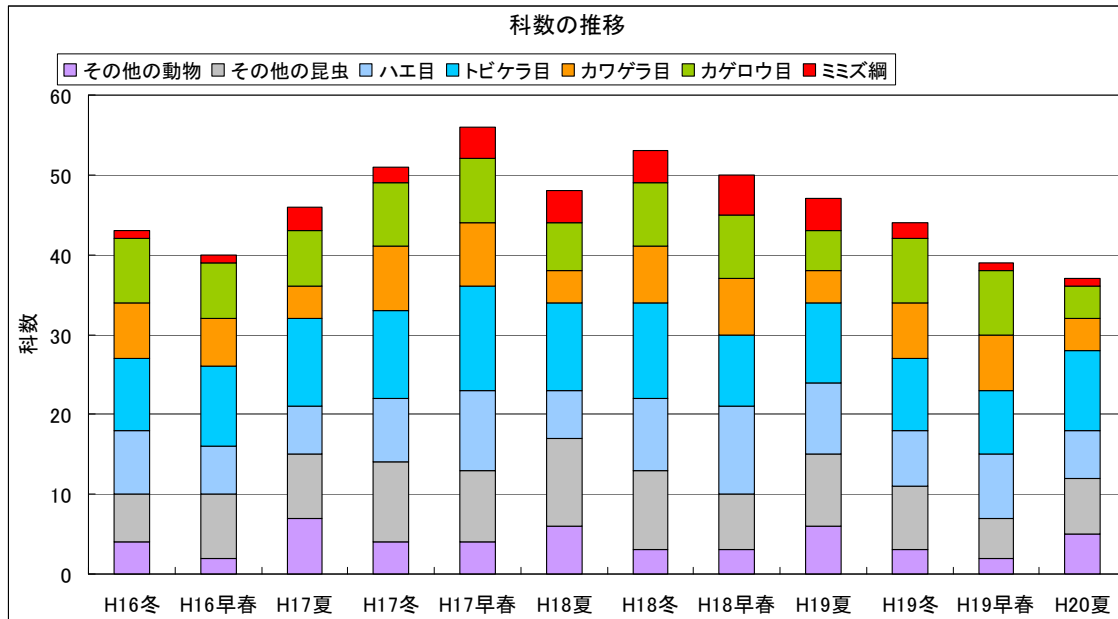


図-4.2 底生生物の確認目毎のタクサ数

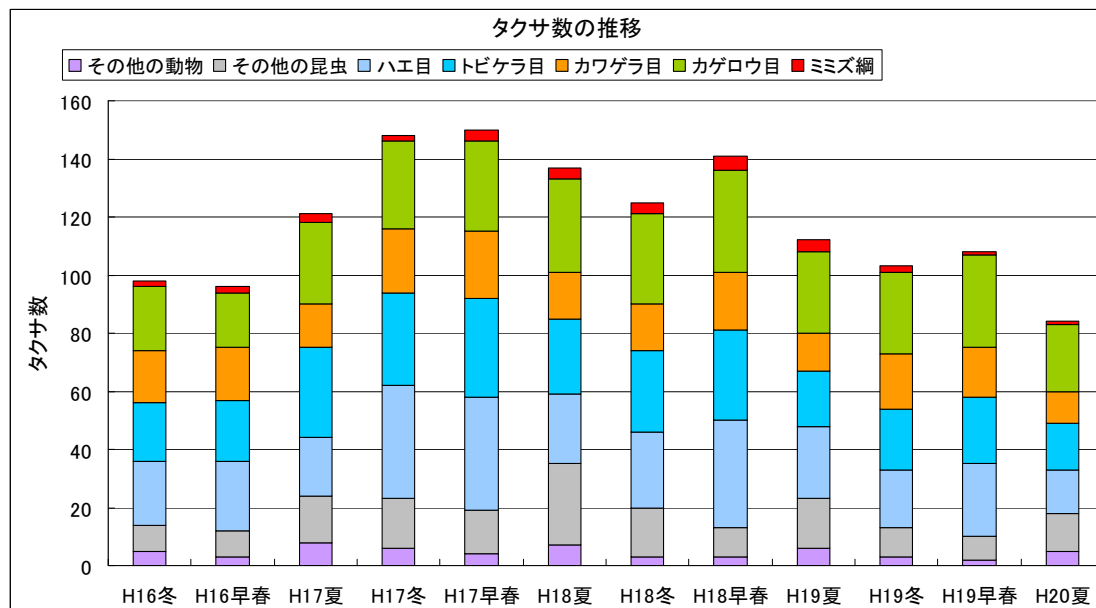


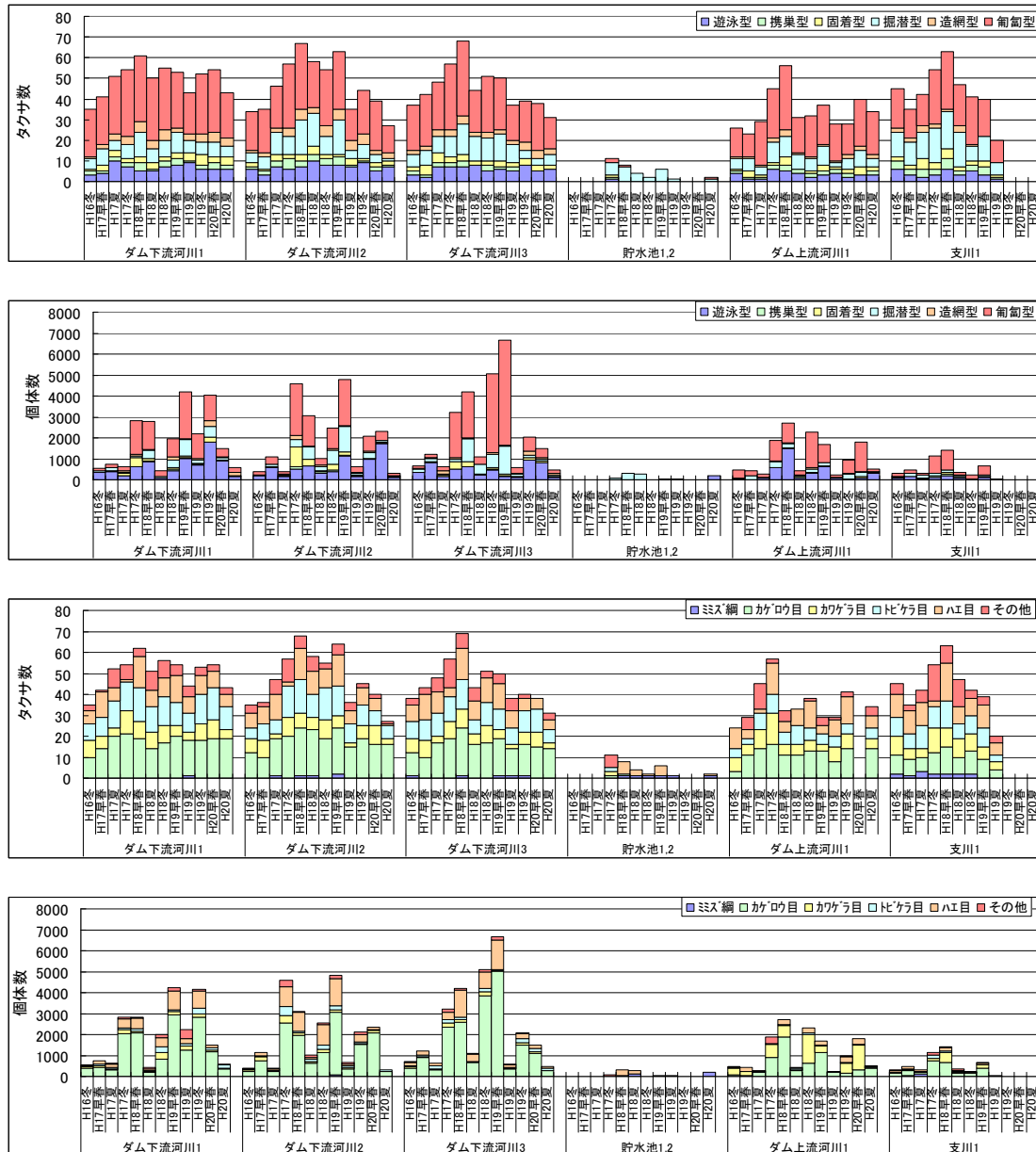
図-4.3 に生活型および目毎の出現状況を示す。

確認タクサを目別でみると、主にカゲロウ目、トビケラ目、ハエ目で構成されている。季節変動はあるものの、試験湛水前後で確認タクサ数に大きな変化はみられない。

確認個体数でみると、ダム下流も上流も第一優占はカゲロウ目であるが、第二優占はダム下流でハエ目、ダム上流および支川ではカワゲラ目と異なっている。

試験湛水後の目別個体数は、試験湛水前と比較して、ダム上下流ともカゲロウ目、トビケラ目が有意に増加している ($p < 0.01$) が、支川ではそのような変化はみられていない。

図-4.3 生活型別出現タクサ数



4. 2 流下有機物の比較

図-4.4 に試験湛水開始後の 2006 年 4 月から 2008 年 3 月に 1mm サイズ以上の粗粒状有機物と 1mm サイズ以下の細粒状有機物に分類し、それぞれの強熱減量 (AFDM) としておいて採取した流下有機物の成分を示す。流下有機物は、炭素、窒素含有率、細粒状有機物のリグニン含有率および Chl-a 含有率を示す。粗粒状有機物はほとんどがリーフリターであり、ダム下流は主に落葉期にダム下流域において移入したものである。これより、流下物の質の違いについては、ダム下流の細粒状有機物は植物プランクトン由来が多い。粒状有機物の流下量については、ダム上流域では 10~12 月の落葉期こそ粗粒状が細粒状と比較して数 10 倍の規模で流下し、密度に換算して 0.2 から 0.4g/m³であった。それ以外の時期では、細粒状の占める割合が高い場合も多く、密度に換算して 0.01 から 0.05g/m³であった。一方、ダム下流においては、落葉期においても上流からの供給量は少なく、逆に割合は数分の 1 か数十分の 1 の規模であった。密度に換算して最大でも 0.1g/m³以下であり、多くが 0.01 から 0.03g/m³程度であった。

図-4.5 に流下有機物の強熱減量の経事変化を、図-4.6 に硫化有機物の炭素含有量を示す。流下物については、乾燥重量、強熱減量 (AFDM) および炭素含有率では上流側が下流側よりも高い傾向を示した。特に、1.0~0.1mm サイズの流下物ではその傾向が顕著であった。したがって、流下物は上流側の方が有機成分の占める割合が高かった。

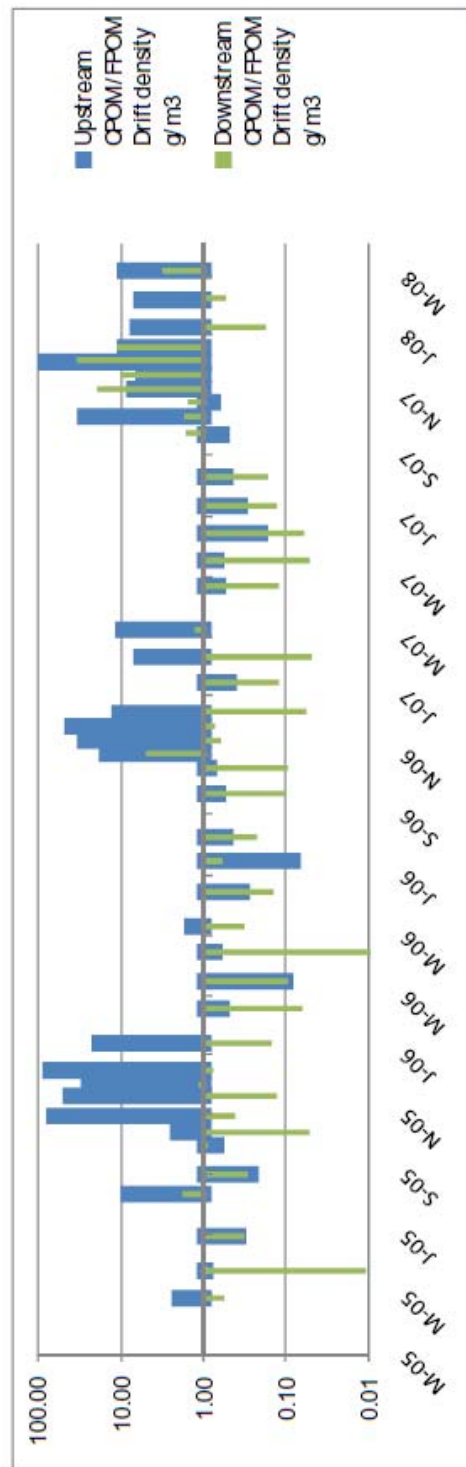
窒素含有率は逆に上流側の値の方が低い傾向がみられた。

溶存有機体濃度は表流水および間隙水ともに特に顕著な傾向はみられなかった。

全溶解性窒素は、漂流水および間隙水ともに、上流側よりも下流側の方が高くなる傾向がみられた。

アンモニア性窒素は、平成 17 年度に値のバラツキがみられるものの、それ以降は全地点において値は小さく変化はほとんどみられなかった。

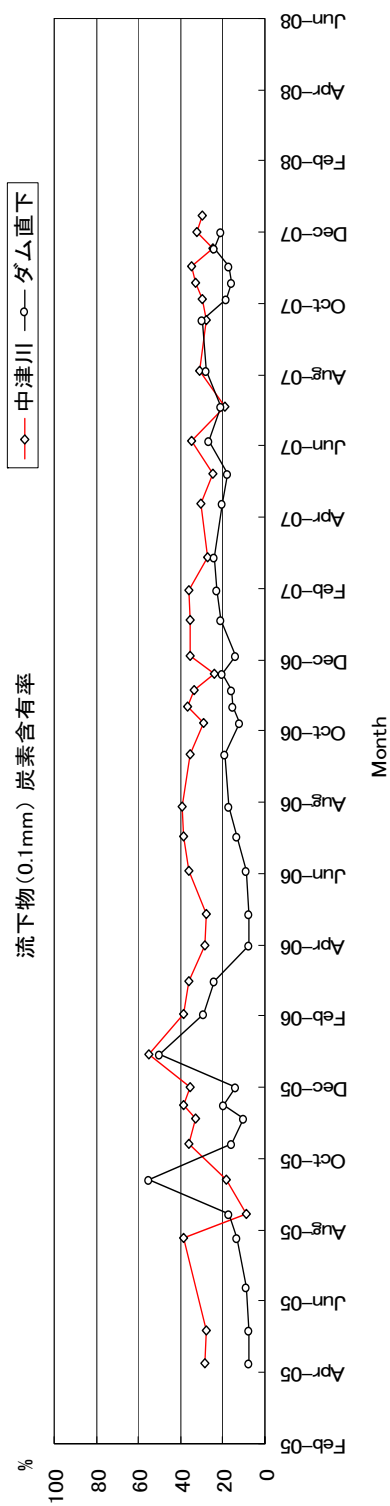
全溶解性リンおよびリン酸態リンは、表流水および間隙水ともに値にバラツキはみられるものの顕著な傾向はなかった。



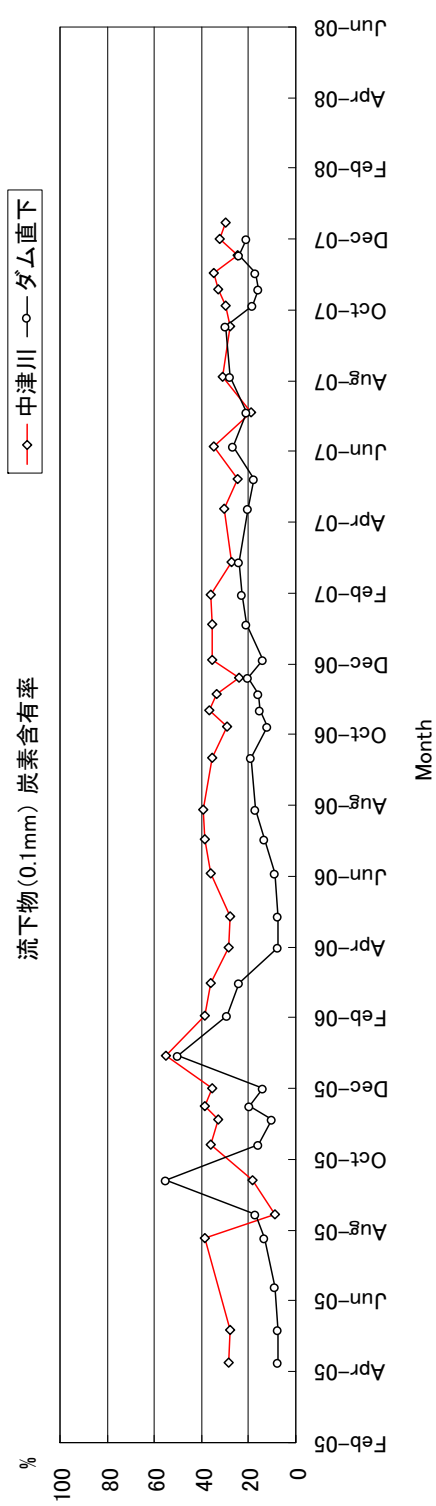
各調査日の粗粒状有機物と細粒状有機物の比

・中津川：落葉期はC:F=10:1以上、それ以外は細粒状が多い傾向にある。ダム下流：ほとんどが細粒状で占められ、C:F=1:10

図－4.5 粒状有機物の内訳に関する比較（粗粒状 CPOM/細粒状 FPOM）



図一4.5 強熱減量の経時変化



図一4.6 炭素含有量の経時変化

4. 3 付着藻類の比較

各地点におけるタクサ数の変化を図-4.7 に示した。

総タクサ数は、ダム上流よりもダム下流のほうが多い傾向にあり、上流は平均21.7タクサ、下流は平均27.3タクサであった。確認タクサ数が多い綱は珪藻類で、どの調査地点でも試験湛水前から継続的に優占しており、その傾向は試験湛水以降も大きく変化していない。上流や支川と比較してダム下流では緑藻綱が多く確認されており、試験湛水開始以降は継続的に確認されている。また、下流3において試験湛水の前後でタクサ数が減少している($p=0.027$)。

各地点における綱別細胞数の変化を図-4.8 に示した。

どの調査地点でも細胞数が多い綱は概ね珪藻綱である。一般的に河川の上流～中流における付着藻類の現存量の季節変化は、冬から春にかけて最大になることが知られている。ダムの影響を受けないと考えられる上流の地点や支川では一般論と同じ傾向がみられるが、ダム下流地点では試験湛水後に、夏季でも現存量が減らない状況もみられる。また平成16年12月と平成20年6月にダム下流において藻類の大繁茂が確認されている。

表-4.3 に調査時期別に各地点における細胞数でみた第一優占種の推移を示した。また、第一優占種の水質階級を表-4.4 に示した。

ダム下流では珪藻類が、ダム上流および支川では藍藻類が優占する傾向がみられる。また、ダム下流、ダム上流および支川はそれぞれ優占する種が異なる傾向がある。水質階級をみると、どの調査地点においても、*Homoeothrix janthina*(ビロウドランソウ)などの清冽な水質に生育する種が優占している状況がみられたが、試験湛水開始後のダム下流では、*Achnanthes minutissima*(ツメケイソウ)が優占している状況がみられ、水質がやや汚濁している可能性がある。

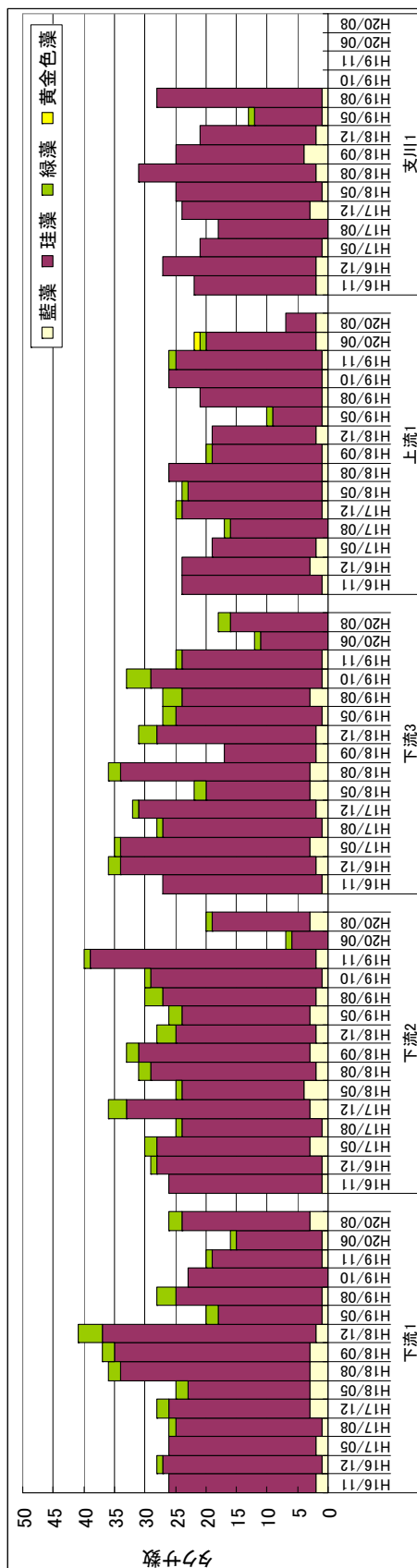


図-4.7 タクサ数の変化

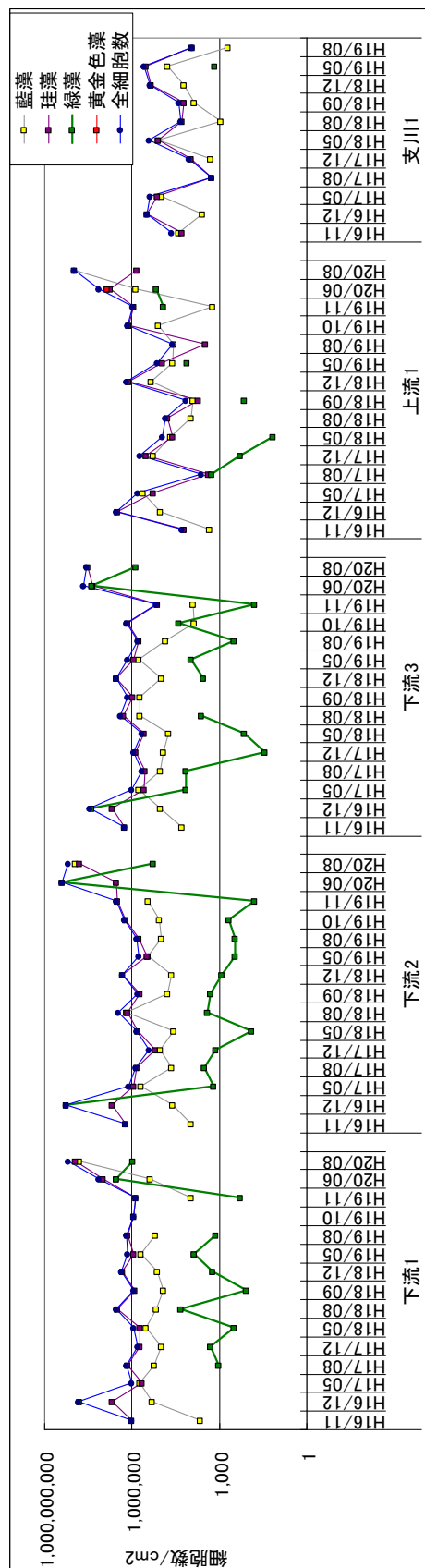


図-4.8 網別細胞数の変化

表－4.3 細胞数でみた第一優占種の推移

	下流1	下流2	下流3	上流1	支川1
試験場水前	H16/11 <i>Nitzschia paleacea</i>	<i>Nitzschia paleacea</i>	<i>Nitzschia paleacea</i>	<i>Nitzschia inconspicua</i>	<i>Phormidium</i> sp.
	H16/12 <i>Ulothrix zonata</i>	<i>Ulothrix zonata</i>	<i>Ulothrix zonata</i>	<i>Achnanthes japonica</i>	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>
	H17/05 <i>Homoeothrix janthina</i>	<i>Achnanthes pyrenaica</i>	<i>Homoeothrix janthina</i>	<i>Homoeothrix janthina</i>	<i>Homoeothrix janthina</i>
	H17/08 <i>Nitzschia inconspicua</i>	<i>Nitzschia inconspicua</i>	<i>Nitzschia inconspicua</i>	<i>Stigeoclonium</i> sp.	<i>Achnanthes lanceolata</i>
	H17/12 <i>Achnanthes pyrenaica</i>	<i>Homoeothrix janthina</i>	<i>Achnanthes pyrenaica</i>	<i>Homoeothrix janthina</i>	<i>Cocconeis placentula</i>
	H18/5 <i>Homoeothrix janthina</i>	<i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Homoeothrix janthina</i>	<i>Homoeothrix janthina</i>
	H18/8 <i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Homoeothrix janthina</i>	<i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Cymbella sinuata</i>	<i>Achnanthes</i> spp.
	H18/9 <i>Achnanthes pyrenaica</i>	<i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Homoeothrix janthina</i>	<i>Homoeothrix janthina</i>	<i>Homoeothrix janthina</i>
	H18/12 <i>Achnanthes pyrenaica</i>	<i>Achnanthes pyrenaica</i>	<i>Achnanthes pyrenaica</i>	<i>Achnanthes convergens</i>	<i>Achnanthes</i> spp.
	H19/05 <i>Achnanthes pyrenaica</i>	<i>Homoeothrix janthina</i>	<i>Homoeothrix janthina</i>	<i>Homoeothrix janthina</i>	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>
	H19/08 <i>Achnanthes pyrenaica</i>	<i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Homoeothrix janthina</i>	<i>Cocconeis placentula</i>
	H19/10 <i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Navicula saprophila</i>	
	H19/11 <i>Nitzschia frustulum</i>	<i>Achnanthes pyrenaica</i>	<i>Achnanthes pyrenaica</i>	<i>Nitzschia fonticola</i>	
	H20/06 <i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Ulothrix zonata</i>	<i>Ulothrix zonata</i>	<i>Hydrurus foetidus</i>	
	H20/08 <i>Achnanthes pyrenaica</i>	<i>Achnanthes pyrenaica</i>	<i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Chamaesiphon</i> sp.	
試験湛水中					

: 藍藻類

: 珪藻類

: 緑藻類

: 黄金色藻類

表-4.4 第一優占種の水質階級

学名・種名	水質階級				試験湛水前				試験湛水中											
	os	β m	α m	ps	秋	冬	春	夏	H17			H18			H19			H20		
	滑り	やや汚濁	かなり汚濁	極めて汚濁					秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏
藍藻: Homoeothrix ianthina(ヒロドリソウ)									—	▼▲	▼▲	▼	▼▲		▼▲	▲			▲	
黄金: Hydrurus foetidus(ミスオ)																				
珪藻: Rhodosphecia abbreviata(マカリサビケイソウ)									—											
珪藻: Achmanthes convergens(ツメケイソウ)									—											
珪藻: Achmanthes lanceolata(ツメケイソウ)									—											
珪藻: Cymbella sinuata(ケビルケイソウ)									—											
珪藻: Cocconeis placentula(コメリアケイソウ)									—			▲								
緑藻: Ullothrix zonata(カワビミドロ)						▼			—							■			▼	
緑藻: Stigeoclonium sp.(キヌミドロ)									—											
珪藻: Achmanthes minutissima(ツメケイソウ)									—			▼	▼			▼	▼		▼	▼
珪藻: Nitzschia paleacea(ハリケイソウ)					▼				—									▲		
珪藻: Nitzschia fonticola(ハリケイソウ)									—											
藍藻: Phormidium sp.(カレクダモ)									—											
珪藻: Nitzschia frustulum(ハリケイソウ)									—											
珪藻: Achmanthes japonica(ツメケイソウ)						▲			—											
藍藻: Chamaesiphon sp.(コンボウソウ)	不明								—											▲
珪藻: Achmanthes pyrenaica(ツメケイソウ)	不明						▼		—	▼			▼	▼	▼	▼		▼		▼
珪藻: Achmanthes spp.(ツメケイソウ)	不明								—			■								
珪藻: Nitzschia inconspicua(ハリケイソウ)	不明				▲				—											

▼: ダム下流で第一優占種

▲: ダム上流で第一優占種

■: 支川で第一優占種

5. 考察

5. 1 ダム下流域の底生動物群集に及ぼす環境影響

2. (3)に示した通り、ダム上下流において、試験湛水開始後の主な環境の変化は流速の低下と水温である。特に、水温は、ダム放流が表層水であり、ダム湖内で滞留している間に暖められており、運用後、常に3℃から5℃高くなっている。特に、冬季では、上流の水温が0℃近くまで低下するのに対して、下流では4℃以上が保たれており、多くの底生動物が一年中成長可能な温度領域内にある。ダム放流水温の下流域の底生動物の成長に及ぼす影響はいくつか報告 11) 12) 13) がある。

本研究で、ダム試験湛水開始後、顕著に出現したのは、ヒゲナガカワトビケラ科であった。ヒゲナガカワトビケラ科は東アジア特有の種であり、我が国において比較的温暖な中流域を中心に生息するが、礫間に巣を作り、流下する植物プランクトンを集めて捕食している。このような造網型の底生動物がダム下流域の POM の増加に関連し優占することは、諸外国でも報告されている 14) 15)。そこで、ここではヒゲナガカワトビケラ科を中心に考察する。

ダム直下において、ダム運用前までのヒゲナガカワトビケラ科の個体数は少なく、そのピークは明確ではないが、運用後、ヒゲナガカワトビケラ科は年 2 世代を経過する。こうした生活史は、わが国の河川においては主に中流域で見られ、高緯度地域や上流では年 1 世代である場合が多い。ヒゲナガカワトビケラ科が定着する物理条件として、河床の粗礫が多いことと、ダムによる出水時の放流量の制御とそれに伴う土砂供給の減少が考えられ、運用前にそれらはすでに整っていた。今回、ここで見られた個体数の増加と年 2 世代の出現は、この物理環境に加えて下流水温の上昇が大きく影響している。ヒゲナガカワトビケラ科の羽化は13℃以上で発生し、低温時はそれまで待っていることや、積算温度が55月℃に達すると次の世代に経過するまでに成長することが知られている 16)。今回、冬季の水温がこれまで4℃以下であったのが、常に4℃以上となり羽化するまでの時期は大幅に短縮された。また、出水時の攪乱によって、卵や第Ⅰ～Ⅱ齢は流下しやすく、Ⅳ齢以上では巣が強固で安定するため生存確率が高くなる。この場所においても出水の時期と羽化・産卵の時期が近いと生存確率は低くなるが、水温の上昇によって、少なくともダム上流や運用前のダム直下と比べて羽化・産卵の時期がより早く生じ、出水発生時にはすでにⅣ齢以上に達していることで生存確率が高まる。個体数および幼齢分布の結果から、以上のような理由でダム直下においては出水による流下は少なかったことが考えられる。さらに、すでにニッチに関する物理条件は整っていたため、水温が上昇したことにより下流に生息したものが産卵のために溯上区域を拡大し、ダム直下での発生が規則的なものとなったことが考えられる。このほか、ヒラタドロムシ科なども、もともと中流域に生息する種であり、河川水温の上昇により生息域が拡大したことが考えられる。

5. 2 出水後の底生動物群集の回復の比較

最後に、2006 年 10 月、2007 年 9 月のダム上下流での出水後の底生動物群集の回復について比較する。出水によって、底生動物は流下するが、同時に河床に堆積していた餌資源も流される。ここでは、餌資源との関係を見るため、各摂食機能の代表的な種類について重量で比較する。前出の採集食者としてヒゲナガカワトビケラ科と、同じ造網型で採集食者（あるいはろ過摂食者）のシマトビケラ科(Hydropsychidae)が多かったため、それぞれ上下流での出水後の個体数の増加量を比較(図-6(a), (b))した。

まず、明確なことは、ヒゲナガカワトビケラ科は下流において出水後 30～40 日で急激に増えている。これは、前出のとおり、下流の POM の増加により優先して流下する細粒状有機物を捕食し成長し続けていた結果である。一方、上流域ではほとんどヒゲナガカワトビケラ科は確認されておらず、出水後の増加はほとんど生じていない。次に、同じ造網型のシマトビケラ科については、下流域のほうが出水後の個体数の増加が大きいものの、上流においても同じ傾向で増加している。これは、この流域で確認されたシマトビケラ科は 5 種あるが、いずれもダム上下流に生息が確認されていることによるものであると考えられる。

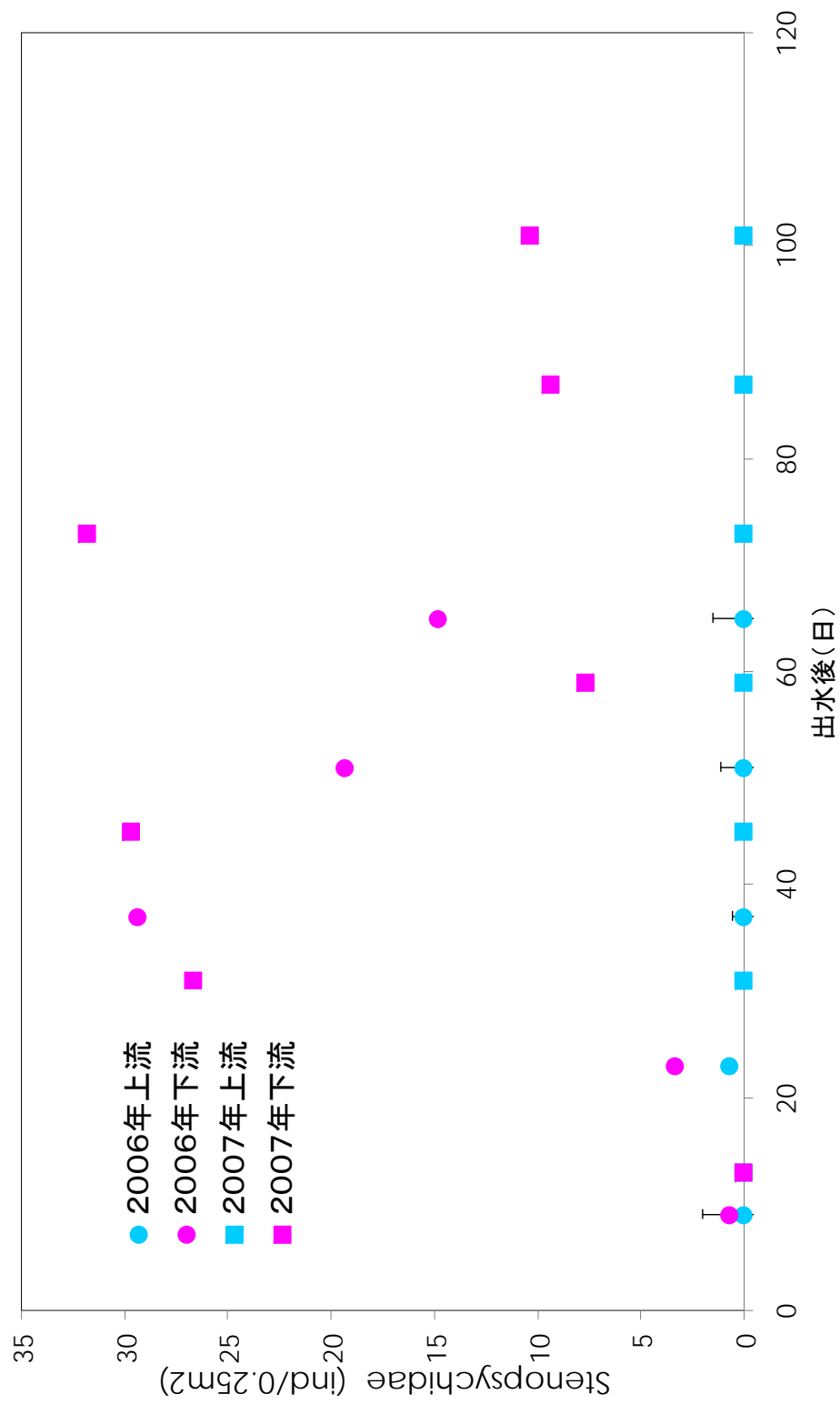


図-6(a)ヒゲナガカワトビケラ科の出水後の個体数増加

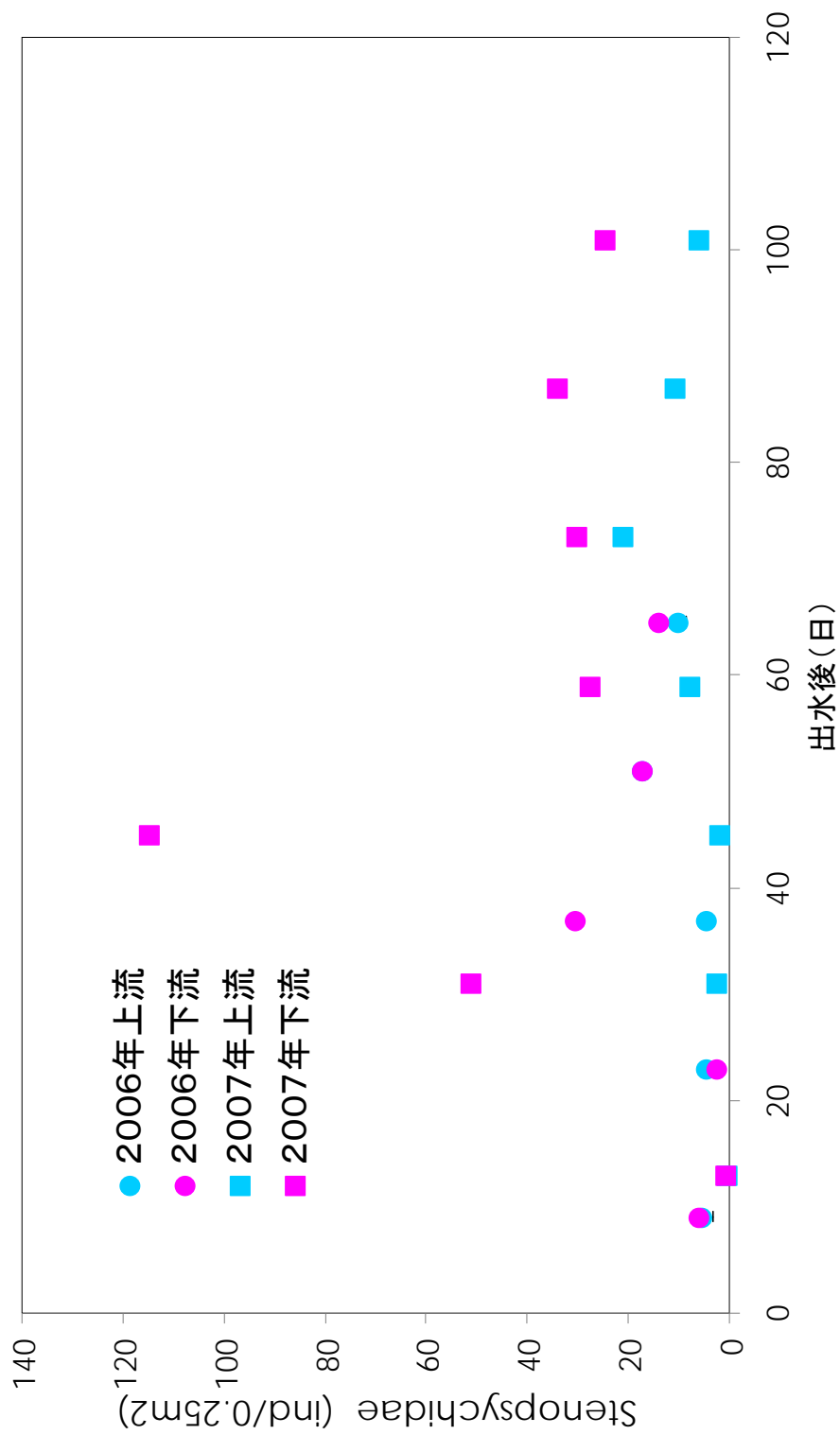


図-6(b) シマトビケラ科の出水後の個体数増加

6. おわりに

本研究は、ダム試験湛水開始前からモニタリングを行ったことで、複雑な現象であるダムの出現による底生動物群集の変化の動態をある程度把握することができた。ここで注意すべきことは、実施年度によって、出現タクサ数や個体数は大きく異なるので、評価は断続的なモニタリングのもとで行われる必要がある。

今回の結果から、試験湛水開始以前からダム上下流で生息種や密度が異なっていること、試験湛水開始後によって環境の変化が生じた後に変化が生じることの2つの相違パターンが確認された。この区別は運用前の調査が不可欠であり、変化する環境要因との関係性を評価する上で重要な点である。また、水温の変化に著しく反応する種とそうでない種があることがわかった。

参考文献

- 1) 国土交通省通達, (1999), 試験湛水実施要領 (案) , P. 21
- 2) Takao A., Kawaguchi Y., Minagawa T., Kayaba Y., and Morimoto Y. (2008) The relationships between benthic macroinvertebrates and biotic and abiotic environmental characteristics downstream of the Yahagi Dam, Central Japan, and the State Change Caused by inflow from a Tributary, *River Research and Applications*, 24: 580-597
- 3) Ana A, and Graciela GN. (1999), Effects of a small hydropower station upon brown trout *Salmo trutta* L. in the River Hoz Seca (Tagus basin, Spain) one year after regulation, *Regulated Rivers: Research & Management*, 15: 477-484
- 4) Dominique P, and Philippe V. (1998), Immediate downstream effects of the Petit-Saut dam on young neotropical fish in a large tributary of the Sinnamary River (French Guiana, South America), *Regulated Rivers: Research & Management*, 14: 227-243
- 5) Pozo J, Orive E., Fraile H and Basaguren A. (1997), Effects of the Cernadilla-Valparaiso reservoir system on the River Tera, *Regulated Rivers: Research & Management*, 13: 57-73
- 6) Karen LB, David DH, James EP, James RT, Jennifer E, Jeffrey T, Ashley, Thomas EJ, Richard JH, Melissa K, Joy L, Don C, Catherine G, Daniel AK, Tim N and Roger L. (2002), An integrative approach towards understanding ecological responses to dam removal: The Manatawny creek study, *Journal of the American Water Resources Association*, 38: 1581-1599
- 7) Keith HN, Francis JM, Heidi F, Doug B and Ana R. (2002), Effects of dam impoundment on the flood regime of natural floodplain communities in the upper Connecticut river, *Journal of the American Water Resources Association*, 38: 1533-1548
- 8) Yiguang Z and Geoff P. (1996) Environmental impacts of hydroelectric projects on fish resources in China. *Regulated Rivers: Research & Management*, 12: 81-98
- 9) U.S. Army Engineer, :LOST CREEK LAKE ROGUE RIVER OREGON Initial filling Plan
- 10) 高橋陽一, 藤野毅, ニン ウィリ, 浅枝隆 : ダム上下流における底生動物群集の試験湛水開始前後の比較, *水工学論文集*, 52, pp. 1165-1170, 2008
- 11) Spence JA and Hynes HB. (1971): Differences in benthos upstream and downstream of an impoundment, *J. Fish. Res. Board Canada*, 28: 35-43.

- 12) Ward JV and Stanford JA. (1979): Ecological factors controlling stream zoobenthos with emphasis on thermal modification of regulated streams, in Ward, J.V. and Stanford, J.A. (Eds), The Ecology of Regulated Streams, Plenum Press, New York
- 13) Todd CR, Ryan T, Nicol SJ and Bearlin AR. (2006): The impact of cold water releases on the critical period of post-spawning survival and its implications for murray cod (*Maccullochella peelii peelii*): A case study of the Mita Mita River, southwestern Australia, River Research and Applications, 21: 1035-1052.
- 14) Cortes RMV, Ferreira MT, Oliveira SV and Godinho F. (1998): Contrasting impact of small dams on the macroinvertebrates of two Iberian mountain rivers. Hydrobiologia, 389: 51-61.
- 15) Boon PJ. (1987), The impact of Kielderwater on Trichopteran (Caddisfly) populations in the River North Tyne (Northern England). Regulated Rivers, 1: 95-100.
- 16) 御勢久右衛門 : ヒゲナガカワトビケラの生活史と令期分析, 陸水学雑誌, 31, pp. 96-106, 1970.