

平成 21 年 6 月 12 日現在

研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19560509
 研究課題名（和文） ダム流入・放出有機物の河川生物供給動態の解明と生態系に及ぼす影響
 研究課題名（英文） ECOLOGICAL PROCESS OF AQUATIC ECOSYSTEMS DURING IMPOUNDMENT OF A DAM
 研究代表者
 藤野 毅(FUJINO TAKESHI)
 埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授
 研究者番号：70282431

研究成果の概要:2005年から試験湛水が開始された荒川水系中津川の滝沢ダム上流とダム直下を対象に、流下有機物と底生動物群集の構成調査を行った。試験湛水以降、下流域のほうが多クサ数、バイオマスともに豊かであった。バイオマスの増加は主に大型のヒゲナガカワトビケラが早々に定着したことに起因した。底生動物群集の出水後の回復過程を比較すると、ほぼ同時期に同程度の回復が見られた。統計解析(CCA)によっても出現優占種と環境要因との対応関係が明確に示された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：土木工学

科研費の分科・細目：水工水理学

キーワード：河川、流下有機物、底生動物、ダム周辺生態系

1. 研究開始当初の背景

河川を流下する有機物は河川生態系を支えるエネルギー源として極めて重要な役割を果たしている。この有機物には落ち葉や枝などの粗粒状(CPOM)のもの、これらの破碎や腐植・分解物、プランクトン、底生動物の排泄物、および溶存態のフロックによる微粒状(FPOM)のもの、および微粒状有機物の分解やリターからの溶脱によってもたらされる溶存態(DOM)のものがあり、バクテリアや底生動物との関係が見出されている。これらの関係は、生息する場の堆積物を調べることによ

り評価されることが多いが、その構成種や現存量は流下する有機物の量と質に大きく依存する。

わが国の多くの河川上流域ではダムが建設されており、流下有機物はダムサイトにおいてトラップされる。これら流下する有機物は、単糖類やアミノ酸などを含んだ分解の早いものからリグニンやセルロースといった分解の遅いものが混在しており、ダム湖においては速やかにバクテリアやプランクトンに利用されるものと、分解されずに底に集積するものとに分けられる。ダム湖への物質流

入負荷の評価については、これまで、濁質の観点から粒状のものはSSとして、また、他の水質評価としては無機塩および金属物質の濃度を対象に測定される場合がほとんどであるが、河川生態系の評価として、学術的側面から流下有機物を測定し、その構成を分析した例はほとんどない。さらに、こうした測定のほとんどは平水時になされており、流入負荷が極めて高いとされる高水時での流下有機物の様相も不明である。

2. 研究の目的

(1) ダムに流入する流下有機物の質と量を把握する。

(2) ダム内外に生息する生物群のエネルギー需要—消費形態を把握し、ダム上下間での流下有機物の量・質的変容のダイナミズムを解明する。

(3) 河川生物群集の動態について、食物連鎖の各ランクの生物に対する流下物の変動の影響を調べ、ランク間の相互作用を解明する。

(4) 高水によるフラッシュ後の生物量回復に与えるダムの影響を把握する。

3. 研究の方法

(1) 平水時における定期観測

流下有機物の採取と分析：ダム上流とその支流、およびダム下流において開径100 μ mのプランクトンネットを複数設置し、流下物をトラップする。落葉については種類を同定し、微粒状のものは篩い分けして、それぞれ乾燥重量、強熱減量、炭素・窒素・リン含有量、全繊維量を分析する。

(2) 高水時における観測

あらかじめ大規模な降雨が予測されている時に現地に入り、30分～1時間おきに1cmサイズの網とプランクトンネットをサンプリング可能な橋から吊り下げ、10～30秒間にトラップされた量と質を分析する。

(3) 高水後の生物群回復過程の検証

フラッシュされたあとの付着藻類、底生動物の現存量を平水時と同様に調査し、その回復過程を検証する。底生動物では、種類およびサイズの特性に着目する。

(4) 流下有機物の生物利用性に関する評価実験

粗粒状、細粒状有機物の分解速度を室内実験により求め、生物の代謝産物およびミネラル化の度合いをサイズ毎に調べる。通常、室

内実験では静止したフラン瓶等で行われるが、実際の分解には流動が伴う。そこで、スターラーによる攪拌を伴うBOD測定装置を応用する。流入する粗粒状・微粒状有機物および質の解析結果と、フミン酸など、難分解性の有機質がどの程度含まれるかを調べ、両者を合わせることで、ダム湖内に流入・集積した底質の分解物溶出度合いを解析する。

4. 研究成果

(1) 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。

(2) 高水時の結果から、SSとは異なり、CPOMの流下密度は流量に依存せず、落葉が終わったあとの12月の高水で最も多く輸送された。これは秋季から冬季にかけて平水時は徐々に流量が下がるとともに、リターが河岸に集積され、比較的小規模の高水で、多くが流下することを示唆する。

平水時および高水時のリターのリン含有率は0.03%前後であった。高水時は年間の発生頻度が少ないが、有機物等の供給量としては最も大きなイベントであるため、有機物収支やダム湖の水質を考える上で重要である。

出水時のリター類のリグニン、セルロース、ヘミセルロースの成分構成比を調べた結果、季節によって構成比が異なり、平常時の流下有機物との構成比とも異なることを判別分析によってその有意差を示した(図1、図2)。

(3) 採取した細粒状有機物の炭素、窒素含有率は、中津川上流においてCとして20～30%台、Nとして2～3%台であるのに対して、ダム直下ではCとして5～10%台、Nとして1～2%台となり、ダム直下のほうが少なかった。ここで、バクテリアに利用されにくい(あるいはされやすい)、物質として、リグニンおよびアミノ酸の含有率を比較すると、土壌由来とされるリグニン含有率は中津川上流で高く、ダム直下は低い。これはダム直下では植物プランクトンのデトリタス由来であることを示唆している。他方、アミノ酸の各成分および全体の含有率を比較すると、ダム下流のデトリタスは上流の細粒状の有機物と同程度もしくは高い結果となった。成分の

比較から、ごく一部を除いてどの試料から同様に検出されていることがわかった。

溶存有機態濃度の評価として、全有機炭素量、紫外線吸光度、およびフルボ酸様有機物の蛍光相対強度を比較した。ここでフルボ酸様有機物の蛍光相対強度 (QSU) は $50 \mu\text{g/L}$ 硫酸キニーネ溶液の励起波長 345nm /蛍光波長 430nm の蛍光強度を 1 QSU とした場合の相対強度として表している。まず全有機炭素量は、どの地点も 1mgC/L 程度かそれ以下であり、平水時の自然の溪流として典型的な値である。3次元スペクトル等高線の分布より、縦軸の励起波長 $\text{Ex } 320\text{nm}$ に対して、横軸の蛍光波長 $\text{Em } 430\text{nm}$ 付近にピークが明瞭であり、これがフルボ酸に相当するピークであることと、それよりやや右上よりに伸びているのがフミン酸と見られている以外には傾向が出ておらず、人為負荷の極めて少ない水質であることが示された。

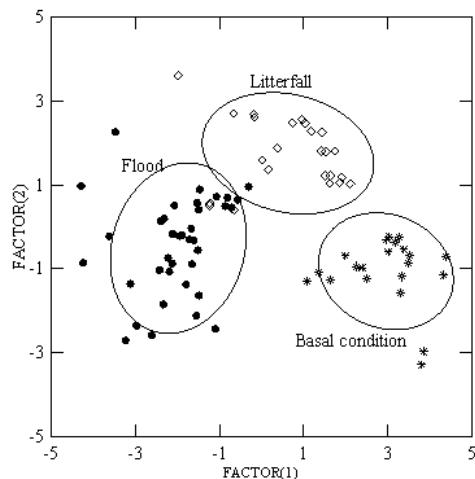


図1 リターの成分分析に関する判別分析

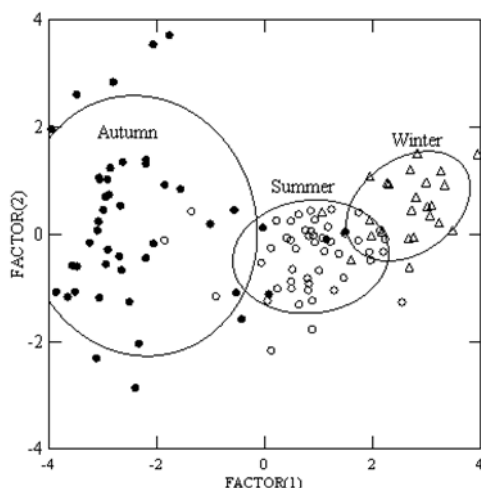


図2 出水時リターの成分分析に関する判別分析

(4) 過去10年間に実施した滝沢ダム周辺における底生動物出現種のうち、昆虫は全8目、60科、172種が確認されている。自然環境調

査により連続的に実施した2004年以降に実施したデータを評価対象とする。その中で、種類や個体数が多く発見されるカゲロウ目、カワゲラ目、アミメカゲロウ目、コウチュウ目、ハエ目、トビケラ目を対象種とした。

50cm四方の面積あたりの底生動物における出現タクサ数と個体数の流域間変動、および調査年度間変動の有意性を確認するため、それぞれ二次元配置分散分析を行った。まず、タクサ数に関して、流域間比較、および調査年度間比較それぞれの変動には有意性が認められた。なお、採取年ごとに出現タクサ数は異なっているが、その変化傾向は上流も下流も同じであることから、両者に共通する攪乱の要因としては、まず出水が挙げられる。出現タクサ数の変動は、その年に発生した出水の規模や頻度、および時期に依ることが考えられる。一方で、調査年度間比較においては、どの年度も下流域でタクサ数が多いことが示された。これは流域間での物理環境の違いに由来する付着藻類量の違いや捕食者としての魚類の量の違いなどが考えられる。しかし、以上のタクサ数に関する解析のみからでは、ダム操作前後による明確な変動は生じていないことが示されている。

次に、個体数に関して、流域間比較、および調査年度間比較それぞれの変動にも有意性が認められた。しかし、下流の06-07年の偏差が特に大きく、タクサ数の解析ほど高い信頼性は得られていない。流域間比較において、上流での個体数は04-05年から05-06年にかけて増加したものの、翌06-07年では変化は見られなかった。一方、下流ではこの期間中に増加し続けている。調査年度比較においては、どの年度においても個体数は下流のほうが多いことを示している。但し、タクサ数に関する解析と同様に、個体数に関する解析のみからではダム操作前後による明確な違いは説明できない。しかしながら、両方の05-06年から06-07年にかけての変化を比べると、ダム下流ではタクサ数が減っているものの、個体数が増加しており、ユスリカ等いくつかの種類が卓越して生息していることを示唆している(図3、図4)。

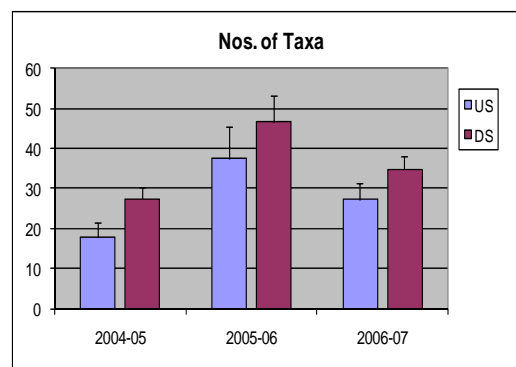


図3 底生動物群集タクサ数の調査年度間比較

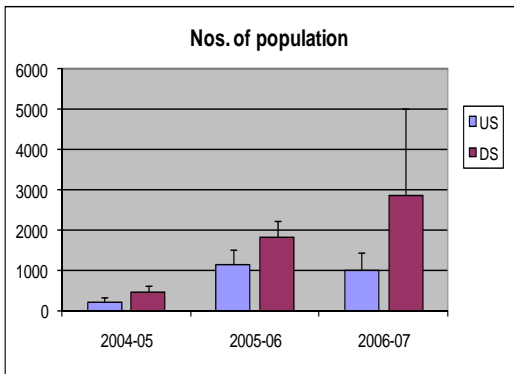


図4 底性動物群集個体数の調査年度間比較

(5) ダム試験湛水開始後、顕著に出現したのはチカラカゲロウ科、ヒラタドロムシ科、ヒゲナガカワトビケラ、ナガレトビケラ科であった。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。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(図5)。

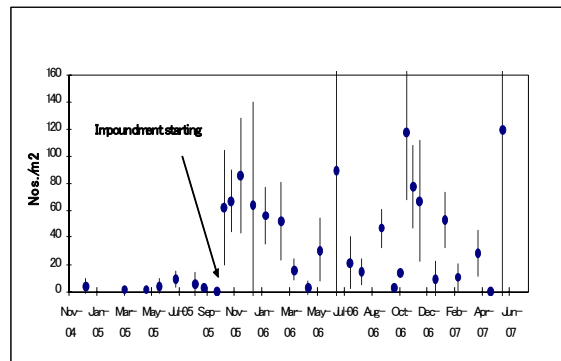


図5 ヒゲナガカワトビケラ個体数の経年変化

(6) ダム直下では、ダムの出現によってリターなどの流下有機物量は大きく減少したが、水温は上昇した。ここで、今回調査した河川の窒素濃度は全国レベルで比較すると極めて高く、別途行ったタイラを用いた現地試験結果から、下流では付着藻類の増殖がより速いことがわかった。以上より、ヒゲナガカワトビケラの早々の定着やタクサ数が増加したことの理由として、高い栄養塩濃度と水温の上昇が付着藻類による一次生産量とその回転率を高くし、剥離したものはリターに代わって主要な餌資源になったことが考えられる。CCA解析結果から、以上の出現優占種と環境要因との対応関係は明確に示された(図6)。

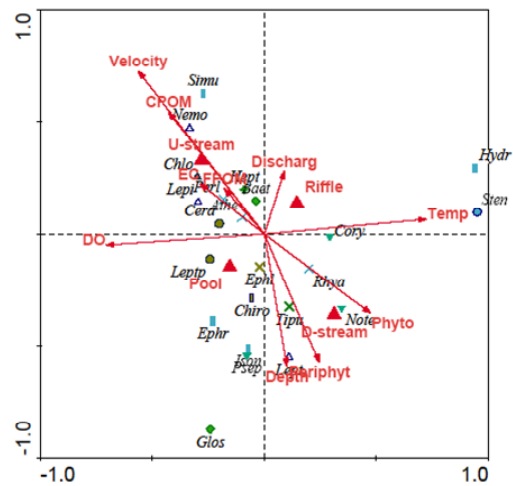


図6 流下物と生物種の連関(CCA解析)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① 藤野 毅、カヤディスラウィ、高橋陽一、浅枝 隆、ダム下流に出現する付着藻類群集に与える自然河川中の溶存有機物の影響について、水工学論文集、53巻、

- 1135-1140、2009年、査読有
- ② Aung N, Asaeda T, Fujino T, Siong K, Nakajima T、Wetlands Ecology and Management、Aggregation of Lepidostomatidae in small mesh size litter-bags: implication to the leaf litter decomposition process、10.1007/s11273-008-9114-6、2008年、査読有
 - ③ 高橋陽一、藤野 毅、Hnin Wityi、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巻、1165-1170、2008年、査読有
 - ④ 中嶋崇志、浅枝 隆、藤野 毅、アウンナンダ、森林小河川における落葉堆積形態の分類と機構特性、応用生態工学、10巻2号、131-140、2007年、査読有

[学会発表] (計 5 件)

- ① Fujino T, Ecological process of benthic invertebrate assemblages during impoundment of a dam, North American Benthological Society, 2008.5.26, Salt Lake City, U.S.A.
- ② 藤野 毅、ダム試験湛水および出水による底生動物群集の構成変化、日本生態学会、2008.3.16、福岡
- ③ Fujino T, Drift of particulate organic matter and its quality during flood in the upstream of dam, International Symposium of River and Lake Environment, 2007.10.18, Jeju, Korea
- ④ 藤野 毅、ダム試験湛水開始以降に発生したヒゲナガカワトビケラの優占および流下物、応用生態工学会、2007.9.15、名古屋
- ⑤ 藤野 毅、ダム試験運用直後からのヒゲナガカワトビケラの定着、日本陸水学会、2007.9.13、水戸

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤野 毅 (FUJINO TAKESHI)
埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：70282431

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし