

様式第9号(学位論文公表様式)

称号及び氏名	博士(理学) 望月 聖子
学位授与の日付	平成18年3月31日
論文名	「環境変動に対する河川底生生物と粒状物質の動的応答に関する実験的研究」
論文審査委員	主査 谷田 一三 副査 上田 純一 副査 前川 寛和 副査 難波 利幸

論文要旨

自然河川において、洪水などは河川生態系を制御する重要な環境変動要因であり、生物群集に対して直接的影響を与えると共に、生息環境を変化させることを通して間接的にも影響を及ぼしている。洪水には、短期で集中的な降雨によって短時間に起こる中小規模の洪水や、長期の降雨や大規模ダムからの放流によって起こる数日間以上の長期に及ぶ大規模な洪水がある。日本の大部分の河川においては、急な増水と短時間の出水時間をもつ中小規模洪水(flash)が、梅雨や台風の降雨によって頻発する。世界的にみると、大規模洪水については、洪水前後や平水時の生物群集などの比較調査があり、攪乱の影響と回復過程について比較的多くの研究がある。しかし、中小規模洪水は、その発生と規模の予測が困難なために、生物群集に対する影響や回復過程についてほとんど明らかにされていない。

自然共生研究センターに設置された大規模実験河川は、自然の小河川に対応するサイズで、河川生物や粒状物質を流下させる規模の人工洪水(最大:平常流量の80倍)を起こすことができる。本研究においては、自然河川ではモニタリングの困難な中小規模の洪水が、生物群集や粒状物質に与える影響について明らかにすることを1つの目的とした。

いっぽう、水温も河川生物の生活史や生産を制御する重要な変動する環境要因である。水温は洪水よりも予測性は高いものの、季節的変動とともに日周性などの短期的な変動がある。しかし、河川昆虫の成長(個体サイズの増加)や発育(発育段階の変化)に関する多くの研究は、実験室内での恒温条件下で行われてきた。また、自然河川においては、水温の季節的変動が河川昆虫の成長、発育と生活史に重要な役割を果すことは明らかにされてきたが、日周変動の影響についての知見は皆無に近い。野外の自然水温変動下にある実験河川において個別飼育を行い、成長と発育を明らかにすることをもう1つの目的とした。

洪水中の河川底生生物と粒状物質の流下パターン

流量の急激な変動を伴う洪水(flash)中に流下する底生生物や粒状物質の詳細な時間的变化については、自然河川における精密なモニタリングは皆無に近かった。本研究においては、中小規模の洪水中に流下する底生生物や粒状物質について、数分単位の時間的变化パターンを示し、また流下量を左右する要因の解明を目的とした。

本研究では、規模などが異なる5回の人工洪水（ピーク流量：平常流量の13～60倍）を起こし、流量の時間的変化、流下する底生動物、水中植物及び粒状物質を分単位で連続採取し、流量変化に対応する各々の時間的変化パターンを明らかにした。生物や粒状物質の流下量ピークは流量ピーク以前に出現し、流量の増加が続いていても流下量ピーク到達後数分以内に急減した。その後流量ピークが継続していても、それらの流下量は平水時レベルにまで減少した。また、生物や粒状物質の流下量は、洪水規模（洪水時間、ピーク流量・時間）によって決まらず、洪水前の安定期間が長いほど増加する傾向が見られた。肉眼的水生植物（高等植物・糸状藻類）が洪水により根元から剥がれて流されることは、植物表在性の底生動物を流下させるだけでなく、河床埋没性の底生動物の流下も促進した。平水期に河道に水中植物や粒状堆積物が増加することは、続いて起こる洪水で流下する底生生物や粒状物質の量を増加させると考えられる。各々の底生動物について、造網性の種類や吸盤をもつことで基物に吸着する動物群は、洪水に対して高い耐性を持ち流下率が低く、コカゲロウ類などの高い遊泳力をもつ種類も、増水時に避難することが可能なため、洪水による流下が少ないことも分かった。

洪水に対する底生動物群集の応答

自然河川において頻発する中小規模洪水は予測性（時期と規模）が低いいため、洪水が底生動物群集に与える直接的影響や短期間の回復過程については、ほとんど研究なされていない。本研究では、2回の人工洪水（ピーク流量：各々平常流量の14倍と29倍）の底生動物群集に対する直接的影響や洪水後の回復過程を追跡調査した。底生動物群集に関しては、密度、多様性、個体重及び類似度指数についての比較解析を行うとともに、群集組成と密度については、回帰法による解析を行った。

その結果、洪水によって現存量が高い種の群集密度はほぼ半分に減少し、種類数も減少していた。しかし、洪水前後の群集の類似度指数は高く、本研究の規模の洪水では群集の相対的な密度組成はほとんど変化しなかった。いっぽう、洪水後の短期間（夏季で20日間）で、全群集密度は洪水前のレベル以上に回復したが、群集組成は比較的大きく変化した。この回復過程は、生活環の短い底生動物による内生的なものであった。群集組成に与える影響は、中小規模洪水による攪乱よりも回復過程のほうが大きいことが判明した。

洪水による攪乱などが少なく流況が安定した自然河川では、シルトの堆積によって生物が生息場とする河床の空間が埋まり、多様な生物が生息できなくなることで生物多様性が低下する。そこで近年は、河川生態系の保全や環境改善を図るための生態的洪水（ダム放流、フラッシュ）を活用する河川管理が、注目されている。しかし、人工的洪水に利用する河川水は本来、飲料、灌漑及び工業用の貴重な水資源である。本研究では、生物と粒状物質の流下のほとんどは、ピーク到達前の流量増加期（洪水初期）に起きることを確認した。すなわち、環境改変のための生態的洪水には、長いピーク流量の持続時間や大きな洪水流量は必ずしも必要ではなく、小規模な洪水を頻度高く起こすことが効果的であると推量できる。また、生態的洪水などによる河川生態系への影響予測には、洪水攪乱の間隔、水生植物の繁茂量、河床の堆積物量も重要であることを示した。

自然水温下におけるコガタシマトビケラ幼虫の成長と発育

自然水温下における河川昆虫の成長や発育に関する多くの研究では、季節的な水温変動にあわせた個体群の年齢組成やサイズ組成を調査することから、成長や発育のパラメーターが求めてきた。しかし、この方法は多化性で重複する生活環を持つコガタシマトビケラのような種類に対しては、コホート（同時出生個体群）の分離が困難なため適用できない。また、野外個体群の成長や発育のパラメーターを求めるのに、平均水温を採用してきた。しかし、日周などの短期的な水温変動と生物の成長や発育との関係についてはほとんど調べられておらず、平均水温を採用することの妥当性も十分には講究されてこなかった。

本研究では、野外の大規模実験河川において、コガタシマトビケラ幼虫の個体別飼育を行い、変動する自然水温条件下での成長や発育のパラメーターを求めることを目的にした。また、1時間間隔での水温を記録し、種々の水温統計値（算術平均及びパーセンタイル）を使って、パラメーターを決定する適切な水温値を定めるためのステップワイズな解析を行なった。その結果、変動水温下では、平均値よりも高い統計値（今回；65パーセンタイル）が発育や成長のパラメーターの推定に適していることが判明した。また、今回の飼育法では、各調査期間中において発育した個体が飼育個体群に占める割合（発育割合）を求めることが可能であった。その発育割合から発育ゼロ点を算出する方法を見出し、生活史の分散が大きい本種についても、発育パラメーターを得ることができた。

本研究において、水生昆虫の成長や発育のパラメーターを求めるのに適切な水温の代表値が平均値とは限らないと示したことは、生物の成長や発育を扱う基礎生物学分野においても重要な視点を示したことになる。また、本研究で採用した個体別飼育法や発育割合からの発育速度の推定は、河川昆虫の成長や発育のパラメーターを求めるのに有効な方法を開発したことになる。

自然河川の生態系は、様々な環境変動のもとに成立している。重要な変動環境として、今回は流量（洪水）と水温を取り上げた。大規模洪水に対する生物群集の応答や季節的な水温変動に対する生活史の研究に比べて、小規模洪水や水温の日周変動を扱った研究は極めて少ない。本研究では、大規模実験河川を使うことで、流量の変動に対応して、時間的に緻密で、かつ詳細な生態系の応答を明らかにすることができた。その結果、生物や粒状物質の流下は洪水初期に集中しており、中小規模で短時間の洪水でも生態系に対して大きなインパクトを与えていることがわかった。また、中小規模洪水は非選択的に生物群集を減少させ、その攪乱後には、特定種による内生的回復が卓越し、群集組成が変化することが明らかになった。いっぽう、水温変動については、一般に使われてきた平均値ではなく、それよりも高い水温の統計値のほうが生物の発育と成長のパラメーターに適切であることが判明した。これは、水温の日周変動などの短期的で小規模な変動そのものが、生物の成長や発育に影響を及ぼすことを示している。従来、河川生態系に対して、破壊的な洪水や季節的な水温変動といった大規模な変動の影響が重要とされ、本研究で扱ったような中小規模の変動はややもすると軽視されてきた。しかし、本研究によって、中小規模の変動も河川生態系に対して重要なインパクトを与えることが明らかになった。

審査結果の要旨

河川生態系は、洪水などによる高頻度の環境変動下に成立し、その生態影響は重要な研究テーマである。環境変動に関しては、自然河川において、洪水や水温の季節変動といった大規模変動が、生態系に与える影響に関する研究が多かった。しかし短時間の小規模増水や水温の日変化といった、小規模な環境変動については、野外における経時的な変動追跡が困難なこともあり、研究はきわめて少ない。本論文は、野外に設置された世界最大規模の実験河川を使って、環境変動の河川生態系に及ぼす影響を考究したもので、その論文内容は以下の通りである。

人工洪水（平常流量の5～30倍、50～220分の継続時間）に伴う、粒状物質や河川生物の流下動態の研究では、粒状有機物、粒状無機物、肉眼的植物体、底生無脊椎動物を、2～5分間隔で採取し分析を行った。その結果、いずれの対象も流下パターンはほぼ一致した。流下量のピークは、流量増加の早期に起こり、数分以内に激減し、その後の増加期やピーク期にも流下量は低レベルに留まっていた。いっぽう、流下量は、洪水前の安定期が長いほど増加し、また水中植物密度の高いときに多かった。洪水のピーク流量や継続時間は、流下量に影響を与えなかった。底生動物群集に与える人工洪水の影響については、洪水前後及び回復期の前後の群集比較を行い、洪水破壊よりも回復過程が、群集組成に大きな変化を生起するという知見を得た。回復は、生活環の短い動物の水路内での再生産に伴うもので、限られた種類による内生的回復が組成変化の主因であった。

実験河川においてコガタシマトビケラ *Cheumatopsyche brevilineata* (Iwata) 幼虫の個体別飼育と1時間間隔の水温記録を行うことで、水温の季節変化とともに、日変化も成長と発育に大きな影響を与えることを明らかにした。すなわち、従来使われてきた平均値ではなく、変動水温下では、平均より高い統計値（発育では65パーセントイル）がより適切なパラメーターであることを、最尤法による分析で示した。世代重複もあり複雑な生活環を有する本種について、幼虫の発育零点、成長零点などの、発育・成長パラメーターをはじめ推定した。

以上のように、本研究は、規模の小さく予測性の低い環境変動も、河川生物群集に無視できない影響を与えることを、実験的に明らかにした点で高く評価される。

本委員会は、本論文の審査ならびに最終試験の結果に基づき、博士（理学）の学位を授与することを適当と認める。