

学 位 論 文 題 名

Detrital dynamics in a woodland stream:
organic matter conversion from leaf litter
to fine particulate organic matter

（森林河川におけるデトリタスの動態：
落葉から微細粒子状有機物への有機物転換）

学位論文内容の要旨

森林河川では河畔林林冠の鬱閉により生態系に流入するエネルギーのほとんどは落葉を主とする外来性有機物で占められている。落葉を利用する無脊椎動物群集には、落葉食性や微細有機物食性といった分類群ごとの機能的分化（摂食機能群）が見られ、落葉食性の分類群の摂食活動がその糞などの微細有機物を増加させることにより微細有機物食性の分類群の成長を間接的に増進するといった機能群間の相互作用が知られている。またバクテリアは分解者として重要なだけでなく溶存有機物を同化して生物生産に取り込むことのできる唯一の生物としても重要であり、バクテリアによる生産の一部は無脊椎動物群集に同化されて取り込まれる。しかし河川は流量変動による攪乱や水温の季節変化など物理環境の経時的変化が大きい事に加えて、瀬・淵構造や倒木による微環境の改変・創出など空間的不均一性も大きい。本研究では季節的な落葉流入が河川生態系に与える影響を明らかにすることを目的とし、北海道の一森林河川において大型無脊椎動物およびバクテリアの動態を調査した。調査河川の上流部は落葉広葉樹からなる森林の中を蛇行して流れており、本研究の調査期間には春と夏に2回の落葉流入のピークがあったこと、秋は垂直方向から春は水平方向から落葉が流入したことが分かっている。また調査河川は湧水を起源としており水温および流量が通年にわたって比較的安定しているため、落葉流入の季節性による生態系への影響を検出する上で適した河川であると考えられた。

河川上流部に二カ所の永久調査区を設けて河川内の大型有機物の堆積量を1年間にわたり定期的に調査した。堆積量は秋と春の2回のピークが見られ、落葉の流入に対応していた。どちらのピークでも落葉流入以前に比べて落葉の比率が増加したことから、河川内の大型有機物の堆積量が落葉流入の季節性に強く依存することが示唆された。秋のピーク後の河川流量増加によって堆積量は急激に減少した。春のピークは融雪後の河畔林林床から落葉が供給されることによって起こると思われるので、このピークは集水域が落葉広葉樹で構成される冷温帯林に特徴的であることが示唆された。春のピークは年次によって堆積量が異なっていたが、これは落葉期から冬の間の流量増加の規模およびタイミングの年次間変動によって引き起こされているものと考えられた。堆積する大型有機物に占める落葉の割合は冬および夏に低下したが、同時にデトリタスの割合が増加したことからこの間に落葉の分解が進行した結果によるものと考えられた。

永久調査区付近で1年間にわたり堆積した大型有機物を定期的に採取し、出現した無脊椎動物群集を調査した。群集の生物量には春と秋の二つのピークが見られ、その季節変動は堆積量の変動とよく対応していたことから、この群集が資源制限によるボトムアップ制御を受けていることが示唆された。群集組成は落葉食

性の分類群が優占しており平均で約60%を占めたが、藻類食者や剥離食者の割合は常に低かった。落葉食性の分類群の生物量が微細有機物食性の分類群の生物量と正の相関関係にあったことから、大型有機物上の無脊椎動物における群集レベルでのボトムアップ効果は、食性の異なる分類群の間での微細有機物生産を介した間接的増進作用を通じて発現するものと考えられた。

河川内の微細有機物に対する落葉食性の分類群の糞の寄与を、河床中の微細有機物の平均現存量とそれらの分類群の糞の推定生産量（生物量と排出速度の積）の比として計算した。糞の寄与は年間で約30%と推定されたが、この計算では微細有機物の滞留時間が無視されていることから、寄与は更に大きいものと思われた。また微細有機物食性の分類群においては無脊椎動物の糞が餌としてより高い価値をもつことが知られているので、落葉食性の分類群が排出する糞の二次生産に対する重要性は今回見積もられた以上に高いことが示唆された。落葉食性の分類群による落葉の摂食量は生態系全体に流入した落葉の約1%と推定されたが、流入した落葉量のおよそ半分は小枝や樹皮などの木質片であり無脊椎動物が摂食できないこと、流入した落葉のうちの一部は河川内に留まることなく流下すること考慮すると、これらの分類群による摂食量が占める割合は更に高いものと考えられた。

永久調査区付近で河床中の微細有機物を採取して4つの画分にサイズ分画し、付着するバクテリアの生物量を測定した。何れの画分でもバクテリア生物量の動態には明瞭な季節性が見られず、付着している微細有機物の炭素・窒素比と生物量との間に負の相関関係が見られたことから、バクテリアの動態は付着基質の質に影響を受けていることが示唆された。またサイズ画分の間で生物量に違いが見られたが、これは微細有機物において粒径とともに体積あたりの表面積が指数的に減少する結果と考えられ、バクテリアが微細有機物のサイズに関わらずその表面に均一に付着していることを示唆した。一方、溶存有機物との間には相関は見られず、流入した落葉からの溶脱などによる溶存有機物の季節的変動の影響が小さいことが示唆された。

河川内の大型有機物には河道脇と倒木という2種類の堆積形態が認められ、堆積量と落葉供給の同調性はそれぞれで共通していた。しかし堆積形態によって無脊椎動物群集の摂食機能群組成が異なること、捕食性の分類群とそれ以外の分類群の生物量が倒木で相関していたことなどから、堆積形態によって無脊椎動物の群集組成が異なり、その結果として落葉の分解様式が異なることが示唆された。

本研究により、森林河川では流入エネルギーにおける落葉への強い依存の結果として、生物群集が強いボトムアップ制御を受けていることを示した。こうした制御の効果は群集内の機能的相互作用関係や栄養的關係を通じて生態系全体の物質循環に及んでいることが示唆された。調査した河川生態系では落葉食性の分類群の摂食として取り込まれるエネルギー量は流入量のごく一部に過ぎないと見積もられた。しかしそのわずかに取り込まれた有機物が生物群集の活動を通じて生態系全体の物質循環や生物生産に影響を及ぼしていることが示唆された。またハビタット構造という環境の空間的不均一性に起因した落葉の分解様式における違いは、生物群集の生息環境だけでなく有機物の再無機化による栄養塩循環に影響すると考えられる。河川生態系を管理する上ではこうした空間的不均一性に配慮し、河道を蛇行させるだけでなく河床の障害物を維持することが生態系の物質循環を維持する上で重要と考えられる。本研究で焦点を当ててきた無脊椎動物群集の生産構造は、魚類や鳥類など流域に生息する様々な脊椎動物の生存の基礎となっており、今後はその繋がりを明らかにする必要がある。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 岩 熊 敏 夫

副 査 教 授 東 正 剛

副 査 教 授 甲 山 隆 司

副 査 助 教 授 日 浦 勉

(北方生物圏フィールド科学センター)

副 査 助 教 授 柴 田 英 昭

(北方生物圏フィールド科学センター)

学 位 論 文 題 名

Detrital dynamics in a woodland stream: organic matter conversion from leaf litter to fine particulate organic matter

(森林河川におけるデトリタスの動態：

落葉から微細粒子状有機物への有機物転換)

生態系へ供給される外来性の有機物とその生態系の機能を支配する重要な要因であることは近年注目を浴びるようになった。これまでに海域から島嶼生態系へ、陸域から水域へという影響は明らかにされているが、温帯域で鮮明な季節性に関連した影響にはあまり着目されていなかった。森林河川生態系には瀬、淵、河岸、倒木などがモザイク状に配置され、水生生物にとっては環境の異なる生息場所を提供している。落葉の分解は初期の溶出から、微生物の作用による分解と底生動物による摂食活動などの生物学的要因、河川内での破碎などの物理的要因などが相互に関連して進行する。申請者は北海道の幌内川上流部において落葉供給が河床堆積物へ移行しさらに微細有機物へと分解していく過程を無脊椎動物群集と微生物群集の関わりにおいて解明することを試みた。

河川内に設置された2カ所の永久調査区内の大型有機物の堆積量を経時的に測定した。堆積量は秋と春の2回ピークが見られ、これは落葉の流入に対応していた。堆積量は冬および夏に低下したが、同時にデトリタスの割合が増加していたことからこの間に落葉の分解が進行していたことを示唆していた。

河川内の倒木と河道脇の2つの生息場所で無脊椎動物群集の経時変動を調べた。採集された無脊椎動物は破碎食者、採集食者、剥取り食者、濾過食者などの摂食機能群に分類した。両方の生息場所において、無脊椎動物群集の生物量の季節変動は落葉堆積量の季節変

動とよく一致し、落葉を直接摂食する破砕食者の分類群が優占していた。破砕食者の主要な構成種であるヨコエビ類が速やかに移動・定着することによって考えられた。この2つの生息場所間で、摂食機能群組成と破砕食者生物量は有意に異なっていた。有機物量あたりの無脊椎動物生物量は倒木でより多かった。倒木では破砕食者和其他のデトリタス食者との間に、また河道脇では捕食者とその餌となる他の機能群無脊椎動物との間に正の相関が見られた。

河床の1 mm以下の細粒有機物をさらに4つのサイズに分画して堆積量とそれに付着するバクテリア量の季節変動を調べた。河床における細粒有機物量は落葉堆積量の季節変動と相反する季節変動を示した。細粒有機物の表面に付着するバクテリア現存量は1年の間で大きく変動し季節性は明瞭ではなかった。バクテリア現存量は細粒有機物の表面積との相関はないものの、細粒有機物の重量あたりのバクテリア量は細粒有機物のサイズで異なっていた。

申請者はさらに、破砕食者（ヨコエビ類とクロカワゲラ類）の現場における糞排泄量を測定した。細粒有機物の現存量に占める年間の糞排出量は約29%であると見積もられ、これまでの報告に比べて高いことが示された。細粒有機物のC/N比は糞の生産速度の高い落葉直後に低かった。

これらの事実は、落葉から破砕食者へ、破砕食者の生産活動からデトリタス食者へ、さらにこれらの二次生産者から高次の無脊椎捕食者へ、と向かうボトムアップのエネルギー流が、河川上流域生態系食物網での主要な経路であることを示すものである。申請者はさらに落葉食性の無脊椎動物群集の生産量と摂食量を推定し、摂食量は河川に流入した落葉の約1%と推定した。この流域では森林生態系における生産と分解の過程が既に明らかにされており、今回、申請者により河川内でのエネルギー流が明らかにされたことで、森林流域における陸域と水域の関わりへの理解が深まった。

申請者は森林河川生態系における有機物の流れを定量的に把握するために自ら研究計画をたてて精密な観測を行い、特に微生物や底生動物の糞の重要性などを明らかにした。森林河川生態系の物質循環機構を解明する上での基礎的な情報を与える成果を導き出したという点で、また大学院過程における研鑽や取得単位なども併せ、審査員一同は、申請者が博士（地球環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判断した。