

学位論文題名

河床付着生物膜による河川流下過程の
水質変化に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、豊かな河川環境の形成のため、生態システムに配慮し河川の持つ自然浄化機能を有効に活用できるような川づくりが注目されている。しかし、河川生態システムに関しては数多く研究されているものの定量的評価がなされていないのが現状である。このため、本研究では、河川生態システム中で重要な役割を占める河床付着生物膜に着目し、生物膜の作用による河川流下過程の水質変化の定量評価を行った。下流域の閉鎖性水域における富栄養化の要因物質である窒素とリンの栄養塩を対象物質とし、河床付着生物膜と河川水との間の物質移動に焦点を絞った。河床付着生物膜の流量安定時の増殖と降雨に伴う流量増大時の剥離を物質移動の主過程と考え、増殖時の河川水中の溶存態栄養塩の取り込みと流量増大時の懸濁態栄養塩としての剥離流出に着目した。河床付着生物膜現存量と河川水質変化の現地観測を中心とし、その結果に基づいて河床付着生物膜現存量変化モデル式を構築し、河床付着生物膜による河川水質変化の定量評価を行い、河床付着生物膜の生態システム中での重要性を明らかにした。本論文の構成とその概要は以下の通りである。

第1章では、河川水質研究における河床付着生物膜の位置づけ及び本研究の目的について記述した。また、本論文の全体的な構成にも言及している。

第2章では、研究対象とした涸沼川の流域特性及び河川水質特性について記述した。降雨に伴う流量増大時には、溶存態成分の濃度はほぼ一定であるのに対して懸濁態成分の濃度が上昇する。このため、懸濁態成分の流出負荷量は流量増加に伴って指数関数的に増加し、年間流出負荷量も年間降雨量の増加比率以上に増加することを示した。水質成分別では、窒素は溶存態成分の比率が80%と高く、リンは逆に懸濁態成分の比率が90%と高かった。流下過程の水質変化では、流量安定時の溶存態の窒素・リンの減少傾向及び高流量時に剥離流出する藻類の増加が認められることを明らかにした。

第3章では、河床付着生物膜の組成比と現存量変化特性について記述した。涸沼川は比較的清澄な河川であるため、河床付着生物膜現存量の大部分は付着藻類が占めており、細菌の比率は小さかった。河床付着生物膜中の炭素・窒素・リンの比はほぼ一定で、レッドフィールド比に近い値となった。しかし、乾燥重量に占める炭素の比は、河床付着生物膜量が多くなると生物膜中に粘土・シルト等の無機物質がトラップされるために減少した。このため、河川水質と河床付着生物膜との相互作用を評価する際の基礎となる河床付着生物膜現存量を表す指標としては炭素量を用いるのが妥当であることを示した。河床付着生物膜現存量は、水温の低い冬季に少ない状態が続いた。春季から秋季の間は、水温が高く河床付着生物膜の増殖には適しているものの、生物膜を剥離させるような降雨の頻度が高く、生物膜の単調な増加が繰り返され剥離によって抑止される現象が見られた。1年間のうち河床付着生物膜の高い現存量を維持し得るのは、降雨が少なく低流量で安定し、また、水

温の低下がまだ著しくない11月から12月に限られた。前回調査日から当該調査日の間に20mmを超える大きな降雨があった場合は、河床付着生物膜現存量は少なくなる。我が国のように降雨の頻度が高い地域では、この降雨に伴う流量増大時の河床付着生物膜の剥離が河床付着生物膜現存量を支配する主因であることが明らかにした。

第4章では、河床付着生物膜現存量変化モデル式について記述した。河床付着生物膜の増殖は藻類による生物的变化であり、降雨に伴う剥離は流れの掃流力による物理的变化であるため、河床付着生物膜現存量変化モデル式は、増殖モデル式と降雨に伴う剥離モデル式の二つの部分から成り立ち、それらを組み合わせて構築した。比増殖速度は、種々のパラメータの影響度を考慮した結果、水温・日射量・りん酸態りん濃度の関数とし、比呼吸速度は水温の関数とした。増殖モデル式の各パラメータは、各季節毎に実施した毎日調査時の河床付着生物膜現存量変化との差が最小となるように決定した。降雨に伴う剥離モデル式は、剥離後の河床付着生物膜現存量を降雨時の最大流量の関数として表し、毎週調査時の調査結果から係数と指数を決定した。また、この降雨に伴う剥離モデル式は、河床付着生物膜の降雨に伴う剥離現象を流砂の場合と同様に、流れによる掃流力と河床付着生物膜の付着強度によって定まる限界掃流条件によって規定されると考えた場合の理論式と同じ関数形で表示できた。毎週調査を実施した2年半の現存量変化をシミュレートした結果、3月から11月の間は観測値とよく一致した。12月から1月には、長期間降雨がなく降雨に伴う剥離が生じないが、河床付着生物膜の付着力の低下による剥離と底生動物による摂食が原因と考えられる生物膜現存量の減少が見られたため、増殖モデル式に減少の項を加えた。この増殖モデル式と剥離モデル式を合わせた河床付着生物膜現存量変化モデル式で、酒沼川の河床付着生物膜現存量の周年変化を表すことが可能となった。

第5章では、河床付着生物膜による河川流下過程の水質変化への寄与の大きさを評価した。河床付着生物膜現存量変化モデル式を用いたシミュレーションの結果、増加量は4月から9月の間に多く、特に水温が高く日射量の大きい夏季に多くなった。剥離量も増加量が多く降雨頻度の高い4月から9月の間に多くなり、10月から3月の間は少なかった。降水量が多いと流量増大時の剥離のために河床付着生物膜現存量の少ない状態が続き増加量が小さくなることと、日平均流量が大きくなって水深が深くなるために河床面での日射量が少なくなって増殖速度が小さくなることから、河床付着生物膜の年間増加量・剥離量には降水量が最も影響を与えることを明らかにした。河床付着生物膜にの単位面積当たりの年間増加量は、富栄養の湖沼における植物プランクトンによる年間生産量に匹敵する値であった。5年間の平均では、1年間のうち増加日は325日、剥離日は40日であり、9日に一度河床付着生物膜の降雨に伴う剥離流出が生じている。全長10km、川幅10m、生物膜の付着できる礫で占める比率が河床の50%としたモデル区間を用い、河床付着生物膜による水質変化量を求めた。増加日では、上流端から流入した溶存態負荷量のうち、りんで14%、窒素で1.1%が河床付着生物膜に取り込まれることになる。一方、剥離日には、この区間で剥離流出した河床付着生物膜の比率は、上流端の懸濁態負荷量のりんで3.4%、窒素で15%となった。りんは、溶存態成分の負荷量が少ないため、流量安定時に河床付着生物膜の増加による溶存態成分の減少率は大きい。河床付着生物膜と下流域の閉鎖性水域での植物プランクトンの増殖のピーク時期が等しいと考えられるため、河床付着生物膜は閉鎖性水域での植物プランクトンの増殖時期に溶存態栄養塩の流出負荷量を削減し藻類増殖を抑制する効果を有している。生態システム中での河床付着生物膜の作用としては、下流域への流出に時間遅れをもたらす栄養塩の一時貯留機能と溶存態から懸濁態への形態変換機能が重要なことを明らかにし、それらを定量的に評価することができた。

第6章はまとめであって、本研究を総括した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 渡 辺 義 公
副 査 教 授 高 桑 哲 男
副 査 教 授 田 中 信 壽
副 査 教 授 木 下 晋 一

学 位 論 文 題 名

河床付着生物膜による河川流下過程の 水質変化に関する研究

本論文は、河川生態システム中で重要な役割を占める河床付着生物膜に着目し、生物膜の作用による河川流下過程の水質変化の定量評価を行ったものである。下流域の閉鎖性水域における富栄養化の要因物質である窒素とリンの栄養塩を対象物質とし、河床付着生物膜と河川水との物質移動に焦点を絞っている。河床付着生物膜の流量安定時の増殖と降雨に伴う流量増大時の剥離を物質移動の主過程と考え、増殖時の河川水中の溶存態栄養塩としての剥離流出に着目した。河床付着生物膜現存量と河川水質変化の現地観測を行い、その結果に基づいて河床付着生物膜現存量変化モデル式を構築し、河床付着生物膜による河川水質変化の定量評価を行い、河床付着生物膜の生態システム中での重要性を明らかにした。得られた主な結論は以下の通りである。

1) 河床付着生物膜の組成比と現存量変化特性：研究の対象とした河川は比較的清澄な河川であるため、河床付着生物膜現存量の大部分は付着藻類が占めており、細菌の比率は小さかった。河床付着生物膜中の炭素・窒素・リンの比はほぼ一定であったが、乾燥重量に占める炭素の比は河床付着生物膜量が多くなると無機物のトラップにより減少した。この点に着目し、河川水質と河床付着生物膜との相互関係を評価する際の基礎となる河床付着生物膜の現存量を示す指標としては炭素量を用いるのが妥当であることを明らかにした。

2) 河床付着生物膜現存量変化モデル式の構築：河床付着生物膜の増殖は藻類による生物的变化であり、降雨に伴う剥離は流れの掃流力による物理的变化である点に着目して、増殖モデル式と剥離モデル式の二つの部分から構成される河床付着生物膜現存量変化モデル式を構築した。このモデル式を用いて対象河川の河床付着生物膜現存量の周年変化に関する観測値を精度よく再現できることを示した。

3) 河床付着生物膜による河川流下過程の水質変化への寄与：生態システム中での河床付着生物膜の作用としては、下流域への流出に時間遅れをもたらす栄養塩の一時貯留機能と溶存態から懸濁態への形態変換機能が重要なことを明らかにし、これらを河床付着生物膜現存量変換モデル式を用いて定量的に評価できることを示した。

これを要するに、著者は、生態システムを配慮した河川環境の形成について河床付着生物膜の機能に関する新知見を得たものであり、水環境工学に貢献するところ大なるものが

ある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。