

学 位 論 文 題 名

森林河川からの栄養塩負荷流出に関する基礎的研究

学位論文内容の要旨

森林は陸水域の最上部に位置し、日本国土の60%以上を占める重要な水源地帯である。また森林集水域は陸水環境や森林生態系を形成する重要な役割を果たしている。森林河川水は森林内を循環する栄養塩の一部を含有し、下流受水域の河川や湖沼、そして海域の豊かな生態系を維持してきた。一方、近年森林河川水質の下流水環境や生態系へ与える影響が注目され、非特定汚染源対策としての森林集水域の管理の重要性が高まっている。森林河川水質は森林の林相、土壌の保全状態、地質、地形および森林集水域の管理によって強く影響を受けることが指摘されているが、水質形成要因および水質特性に関してはほとんど解明されていない。さらに、下流水環境の生態系に強く影響する栄養塩の、森林集水域からの負荷流出特性は明らかにされておらず、負荷流出量の予測も経験的知見に基づくものである。

本論文では林相、土壌保全状態および流況（河況係数）などの異なる4つの隣接する森林集水域河川を対象として、同時かつ連続的な観測に基づく詳細なフィールド調査および室内カラム実験を行い、栄養塩流出特性および負荷流出量に関して検討を行った。その結果、水質成分によって、河川からの流出特性が異なり、その流出パターンを洗い出し型および貯留型など、4つのグループに分類できることを明らかにした。また、森林河川水質形成に対する森林土壌の役割を明らかにし、栄養塩の流出特性は流域内土壌の状態と密接に関係があることを指摘した。さらに森林の保全状態が河況係数および土壌の含水率（晴天日数の関数）に影響することに着目して、負荷流出量と最低比流量で基準化した比流量の関係を提案し、 n 値（流出係数）と k 値（流域係数）から水質成分の流出特性を表現できることを示し、両係数を評価することによって負荷流出量および河川水質を予測できることを明らかにした。

本論文は7章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、森林河川水質に関する研究の現状と問題点を述べた。特に流況および土壌保全状態が異なる森林集水域における河川水質や負荷流出量の予測には、最低比流量で基準化した予測式を用いることの重要性を指摘し、本論文の背景と目的を示した。

第2章では、調査対象とした4河川（漁川、ラルマナイ川、モイチャン川およびイチャンコッペ川）の水質データより森林河川水質の一般的特徴や季節的特性などの概況を示すとともに、溶存態窒素および溶存態リンなどの栄養塩の流出は、イオン性物質と異なり土

壤表層部の寄与が大きく、懸濁態成分は河川流量との関連性が強いことを主成分分析によって明らかにした。さらに主成分得点分布図を解析した結果から、集水域の保全状態の悪い漁川河川水の水質形成には地質および流量の影響を強く受けるが、植生の豊かな集水域における森林河川のモイチャン川の水質は土壌表層部の影響を受けることを示し、水質形成に相違があることを明らかにした。また森林河川の栄養塩（窒素、リン）濃度および栄養塩負荷流出量は、下流閉鎖性水域の富栄養化を促進することを明確に示した。

第3章では、林相の異なる森林河川水質の連続調査によって、水質成分負荷流出量と流量の関係から水質成分負荷流出特性を明らかにした。特に林相は栄養塩負荷流出特性に大きく影響することを示した。林相の悪い漁川における流出量の変動幅は約2.5倍と大きく、降雨時に年間流出量の約1/2が流出し、一方林相の豊かなモイチャン川ではその変動幅は約5倍と小さく、降雨時の流出量は年間流出量の約1/4であることを定量的に示し、林相が下流水環境の生態系に大きな影響を与えることを明らかにした。

第4章では、降雨時連続調査結果より、流量変動時における栄養塩を中心とした森林河川水質の変動及び負荷流出特性を明らかにした。林相の異なる河川間で降雨毎の流出特性を比較・評価するため負荷流出量と最低比流量で基準化した比流量との関係式、 $L = k \cdot (Q/Q_0)^n$ を提案した。林相によってk値とn値が相違するために、林相が降雨時の負荷流出量に大きく影響することを明確に示し、流域土壌の状態が流出特性に反映されることを明らかにした。また水質成分の変動から流出機構を検討した結果、降雨時における河川水質は主として地中流出成分によって形成されるが、浅層流出の割合が地中流出と同程度以上になる時、河川水質は土壌表層部の寄与を大きく受けることを明らかにした。

第5章では、森林表層土壌が栄養塩の供給源であること、および負荷流出量に関するk値が晴天日数の関数であることを明確にするため、森林表層土壌を用いたカラム実験を行った。その結果、硝酸性窒素の土壌への蓄積量は乾燥状態の土壌では含水率の低下に従って指数関数的に減少することを明らかにした。

第6章では、前章の知見に基づき、森林河川においてもk値が晴天日数の関数として表現できることを示した。森林集水域におけるk値は懸濁成分に関しては晴天日数の指数増加関数となるが、硝酸性窒素は指数減少関数となることを明らかにした。またこのk値を考慮した水質予測式を提案した。本研究で提案した予測式は、森林河川水質および負荷流出量の評価に極めて有用であることが示された。

第7章は結論であり、本研究で得られた成果を総括している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 清 水 達 雄

副 査 教 授 太 田 幸 雄

副 査 教 授 朝 倉 國 臣

副 査 助 教 授 橘 治 国

学 位 論 文 題 名

森林河川からの栄養塩負荷流出に関する基礎的研究

森林河川の水質は、利水上はもちろん、下流水環境を形成している湖沼やダム湖の生態系を健全に維持する上でも良好に保全されなければならない。森林河川水質は、森林の林相、土壌の保全状態、地質、地形および森林集水域の管理によって強く影響を受けることが指摘されているが、水質形成要因および水質特性に関してはほとんど解明されていない。さらに、下流水環境の生態系に強く影響する栄養塩の森林集水域からの流出特性は明らかにされておらず、負荷流出量の予測も経験的知見に基づくものである。

本研究では林相、土壌保全状態および流況（河況係数）などの異なる4つの隣接する森林集水域河川を対象として、同時かつ連続的な観測に基づく詳細なフィールド調査および室内カラム実験を行い、栄養塩流出特性および負荷流出量に関して検討を行っている。その結果、水質成分によって、河川からの流出特性が異なり、その流出パターンを洗い出し型および貯留型など、4つのグループに分類できることを明らかにしている。また、森林の保全状態が河況係数および土壌の含水率（晴天日数の関数）に影響することに着目して、負荷流出量と最低比流量で基準化した比流量の関係式を提案し、 n 値（流出係数）と k 値（流域係数）から水質成分の流出特性を表現できることを示し、両係数を評価することによって負荷流出量および河川水質を予測できることを明らかにしている。本論文は7章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、森林河川水質に関する研究の現状と問題点を述べている。特に流況および土壌保全状態が異なる森林集水域における河川水質や負荷流出量の予測には、最低比流量で基準化した予測式を用いることの重要性を指摘し、本論文の背景と目的を示している。

第2章では、調査対象とした4河川（漁川、ラルマナイ川、モイチャン川およびイチャンコッペ川）の水質データより主成分分析を行った結果、溶存態窒素および溶存態リンなどの栄養塩の流出はイオン性物質と異なり、土壌表層部の寄与が大きく、懸濁態成分は、河川流量との関連性が強いことを明らかにしている。さらに、主成分得点分布図を解析した結果から、集水域の保全状態の悪い漁川河川水の水質形成には地質および流量の影響を

強く受けるが、植生の豊かな集水域における森林河川のモイチャン川の水質は土壌表層部の影響を受けることを示し、水質形成に相違があることを明らかにしている。また、森林河川の栄養塩（窒素、リン）濃度および栄養塩負荷流出量は、下流閉鎖性水域の富栄養化を促進することを明確に示した。

第3章では林相の異なる2つの森林河川の水質を連続的に調査し、栄養塩負荷流出量と流量の関係を求め、林相が流出特性に大きく影響することを示した。林相の悪い漁川における流出量の変動幅は約25倍と大きく、降雨時に年間流出量の約1/2が流出し、一方林相の豊かなモイチャン川ではその変動幅は約5倍と小さく、降雨時の流出量は年間流出量の約1/4であることを定量的に示し、林相が下流水環境の生態系に大きな影響を与えることを明らかにした。

第4章では、林相の相違が降雨時の負荷流出量に大きく影響するという現象を解明すると同時に降雨時の負荷流出量を予測した。すなわち、負荷流出量と最低比流量で基準化した比流量との関係式、 $L=k \cdot (Q/Q_0)^n$ を提案し、k値とn値をフィールドデータから評価することにより、負荷流出量を比較的精度良く算出できることを示した。また林相の悪い森林集水域におけるk値は懸濁成分に関しては晴天日数の指数増加関数となるが、硝酸性窒素は指数減少関数となることを明らかにし、林相によってk値とn値が相違するために、林相が降雨時の負荷流出量に大きく影響することを明確に示した。

第5章では、森林表層土壌が栄養塩の供給源であることおよび負荷流出量に関係するk値が晴天日数の関数であることを明確にするために、森林表層土壌を用いたカラム実験を行っている。その結果、硝酸性窒素の土壌への蓄積量は乾燥状態の土壌では含水率の低下に従って指数関数的に減少することを明らかにした。

第6章では、前章の知見に基づき、森林河川においてもk値が晴天日数の関数として表現できることを示した。またこのk値を考慮した水質予測式を提案した。本研究で提案した予測式は、森林河川水質および負荷流出量の評価に極めて有用であることが示された。

第7章は結論であり、本研究で得られた成果を総括している。

これを要するに、著者は森林集水域における河川水質の形成要因を詳細なフィールドデータに基づき明らかにするとともに、流出特性を考慮した栄養塩負荷流出量予測式を提案したものであり、水環境工学ならびに水質保全工学の発展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。