

学位論文題名

農業流域河川の水質環境保全と流域管理に関する研究

学位論文内容の要旨

農業流域で顕在化しつつある水質汚濁は、流域内の利水や生態系に影響を及ぼすだけでなく、下流域、ひいては海域に至る広範囲な水環境問題の原因となる。水質汚濁機構の早急な解明と、しかるべき水質保全対策の樹立が急務となっている。本研究は、北海道の畑作・酪農を中心とした農業流域を対象として、農業と河川水質との関係から水質汚濁機構を解明するとともに、水環境保全を目的とした流域管理の在り方について考察したものである。

第2章では、森林流域と農業流域の河川水質を比較検討し、農業流域河川の水質環境は森林流域河川より汚濁状況下にあることを改めて確認した。また、水文条件の異なる平水流出、融雪流出、降雨流出それぞれの河川水質特性を検討した。とくに、河川の流況が大きく変化する融雪流出と降雨流出における水質特性の比較をつうじて、降雨流出を対象とした水質保全の重要性を指摘した。

第3章では、降雨流出を対象として、畑作・酪農主体の農業流域における河川水質特性を詳細に検討した。そして、土地利用、営農状況、農地の形状といった流域特性との関係から河川水質形成機構を明らかにした。また、河川水質は、懸濁成分、溶存成分に大別できるが、それぞれの成分によって水質形成に与える影響が異なることから、これらを区別して議論した。

森林流域と農業流域において降雨流出時の浮流土砂流送特性を比較したところ、農業流域河川では森林流域河川を大きく上回ることが明らかになった。そして、両流域の浮流土砂流送機構を降雨流出規模と河川流出履歴に着目して考察したところ、農業流域では河川の流出規模と流出履歴に関係する2つの因子によって、浮流土砂濃度を説明することができた。そして、降雨流出過程で発生する流出寄与域が浮流土砂流送機構に影響を及ぼしているとの知見を得た。

また、降雨流出時の流域水文条件と $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 T-N を対象とした河川水質特性との関係を検討した。流域の水文状態を表す指標として「流域貯水量、 I_s 」を新たに定義し、河川水質との関係を調べた結果、 I_s と $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 T-N 濃度間に有意な関係が認められた。すなわち、農業流域では、降雨直前の I_s が大きいと降雨流出時における河川水の T-N 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は低濃度であり、小さければ逆に高濃度を示した。また、森林流域では、 I_s の変化に関係なく、降雨流出時の T-N 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度はほぼ一定であった。以上のことから、農業流域では、流域の水文状況、すなわち降雨直前における流域貯水量によって、降雨流出に伴う河川の T-N と $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が影響を受けることを明らかにした。

畑地を主とする農業流域河川において、 SiO_2 による流出分離手法によって降雨流出を直接流出と基底流出に分け、汚濁負荷流出特性を検討した。懸濁成分である SS やり

ンは直接流出、溶存成分である $\text{NO}_3\text{-N}$ と、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が大部分を占める T-N は基底流出によって河川に流出することを改めて確認した。さらに、流出時の直接流出水量、基底流出水量を説明変数、T-N 負荷を目的変数として重回帰分析を行い、直接流出水と基底流出水の T-N 濃度を推定した。これらの結果から直接流出負荷と基底流出負荷を算出したところ、T-N の 75% は基底流出経由で流出しており、その大部分が $\text{NO}_3\text{-N}$ によって構成されていた。これは、対象流域が畑作主体の平坦な地形であること、降水の 90% 以上が地下へ浸透することから、溶脱した $\text{NO}_3\text{-N}$ が流出するためと推察した。

第 4 章では、降雨流出時における農業流域河川の水質汚濁に関わる影響因子を明確にし、水質環境を保全するための流域管理について考察した。河川水質と流域の土地利用、なかでも河川周辺の畑地面積率に注目して検討した結果、T-N、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度と河川近傍の畑地面積率との間に相関関係が認められた。このことから、河川近傍に位置する畑地は、河川水の窒素汚濁に対する影響度合いの大きいことが推察される。また、流域内における傾斜 5 度以上の傾斜畑地面積率と懸濁成分 (SS, T-P) 濃度は、強い相関が認められたことから、降雨流出時における懸濁成分の流出には傾斜地に展開する畑地が大きく影響していることが明らかになった。

畑地を主とする農業流域を対象に、流域に供給された窒素量と窒素流出量の関係から窒素収支を試算した。調査期間中、流域に供給された窒素の構成は、施肥によるものが支配的であった。一方、流域に供給された窒素の約半分が流域外に流出し、水文条件別にみると降雨流出の寄与が最も大きかった。

農地排水機能を整備した河川において、その流路に残された自然河川区間の汚濁負荷緩衝機能を検証した。その結果、自然河川の汚濁負荷削減効果は一時的なものであり、長期的には上流の農業流域から流下する汚濁負荷が下流域に流送される実態が明らかとなった。とくに SS については、自然河川区間の流路が複雑に蛇行し、河床や河岸が保護されていないことから、高水時には滞留土砂の再移動と流路自体の洗掘が発生し、下流域に多量の負荷を流送した。しかし、大半の降雨流出では自然河川区間で N, P 成分濃度が低下すること、比較的小規模な降雨流出時には自然河川区間を流下することで負荷が減少し、下流への流出を抑制することも確認された。

以上の結果にもとづき、第 5 章では河川水質保全のための農業流域管理について考察した。流域の土地利用、とくに畑地利用を前提とした水質保全対策を考えると、河川周辺、および傾斜地の畑地利用をできるだけ避けるとともに、流域内の林地を保全・再生することが有効である。また、水質保全のための流域管理として、河畔林や湿地といった窒素除去ゾーンの活用などの土地利用が考えられるが、経営上の観点から農地面積を削減することは困難な面もあり、河畔林や湿地における水質浄化機能を発現させるには維持管理面で課題が残っている。そのなかで、自然河川では小規模流出時に汚濁負荷削減効果が認められたことから、河川の形態を自然状態に維持したり近自然状態に再生する河川管理も有効と考えられる。さらに、過剰な施肥によって農地から窒素が流出している実態から、流域内で還元利用可能な窒素量を明確にし、作物生産性を維持しつつ窒素投入量を極力抑制するような営農管理と流域管理が強く求められる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 長 澤 徹 明
副 査 教 授 矢 沢 正 士
副 査 教 授 波 多 野 隆 介
副 査 助 教 授 井 上 京

学 位 論 文 題 名

農業流域河川の水質環境保全と流域管理に関する研究

本論文は、図 65, 表 19, および本文 140 ページからなる邦文論文で、引用文献 134 を含んでいる。ほかに、参考論文 4 編が添えられている。

農業流域の水質汚濁が顕在化しつつある。その影響は流域内の利水や生態系におよぶばかりでなく、下流域における水環境問題の原因ともなることから、水質汚濁機構の解明と、効果的な水質保全対策の樹立が急務となっている。本研究は、北海道の畑作・酪農を中心とした農業流域を対象として、農業と河川水質との関係から水質汚濁機構を解明するとともに、水環境保全を目的とした流域管理の在り方について考察したものである。

森林流域と農業流域の河川水質を比較検討した結果、農業流域河川の水質環境は森林流域河川より汚濁状況下にあることを改めて確認した。また、河川水文条件のことなる平水流出、融雪流出、降雨流出における水質特性の比較をつうじて、降雨流出を対象とした水質保全の重要性を指摘した。

つぎに、降雨流出を対象として、畑作・酪農主体の農業流域における河川水質特性を河川流出履歴、流域の水文状態、流出特性から検討した。農業流域では、流出規模を表すピーク比流量と河川流出履歴に関係する 2 つの因子によって浮流土砂濃度を説明することができ、この結果から、降雨流出過程で発生する流出寄与域が浮流土砂流送機構に影響を及ぼしているとの知見を得た。また、流域の水文状態を表す指標として「流域貯水量」を新たに定義し、降雨流出時における河川の $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 T-N 濃度との関係を検討したところ、両者には有意な関係が認められた。このことから、農業流域では、降雨直前における流域貯水量によって、降雨流出時の T-N と $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が影響を受けることを明らかにした。

畑作を主とする農業流域河川において、降雨流出過程における汚濁負荷特性を検討し、懸濁成分である SS やリンは直接流出、溶存成分である $\text{NO}_3\text{-N}$ と、大部分を $\text{NO}_3\text{-N}$ が占める T-N は基底流出によって河川に流出することを改めて確認した。さらに、窒素を対象に直接流出負荷と基底

流出負荷を算出したところ、窒素負荷の75%は基底流出経由で流出しており、大部分がNO₃-Nによって構成されていた。降水の90%以上が地下へ浸透する畑作主体の平坦な農業流域では、肥料から溶脱したNO₃-Nが流出するためと推察した。

つづいて、降雨流出時における農業流域河川の水質汚濁に関わる影響因子を明確にし、水質環境を保全するための流域管理について考察した。河川水質と河川周辺の畑地面積率に注目して検討した結果、T-N、NO₃-N濃度と河川近傍の畑地面積率との間に相関関係が認められたことから、河川近傍に位置する畑地は河川水の窒素汚濁に対する影響度合いが大きいと考えられた。また、SS、T-P濃度と傾斜畑面積率との関係に強い相関が認められたことから、降雨流出に伴う懸濁成分の流出には傾斜畑が大きく影響していることが明らかとなった。

畑作を主とする農業流域を対象に、流域内の窒素収支を試算した。調査期間中、流域に供給された窒素は、化学肥料によるものが支配的であった。一方、流域に供給された窒素の51%が河川を通じて流域外に流出し、水文条件別では降雨流出の寄与が最も大きかった。

農地排水機能を整備した河川において、その流路途中に残された自然河川区間の汚濁緩衝機能を検証したところ、自然河川の汚濁負荷削減効果は一時的なものであり、長期的には上流の農業流域から流下する汚濁負荷が下流域に流送されていた。とくにSSについては、自然河川区間の流路が複雑に蛇行し、河床や河岸が保護されていないことから、高水時には滞留土砂の再移動と流路自体の洗掘が発生し、下流域に多量の負荷を流送した。しかし、大半の降雨流出では自然河川区間で窒素、リン濃度が低下すること、比較的小規模な降雨流出時には負荷が減少し、下流への流送を抑制することを確認した。したがって、流路の生態系や水環境を保全するうえで、自然河川形態を再生したり維持することには一定の意義があると判断された。

最後に、河川水質保全のための農業流域管理について考察を加えた。土地利用、とくに畑地利用を前提とした流域の水質保全対策を考えると、河川周辺、および傾斜地の畑地利用をできるだけ避けるとともに、流域内の林地を保全・再生することが有効である。また、比較的頻繁に発生する小規模流出時には、自然河川での汚濁負荷削減効果が認められたことから、河川の形態を自然状態に維持したり近自然状態に再生する河川整備も有効と考えられる。流域の土地利用にかかわる視点に加え、営農、とくに施肥管理にも十分な配慮が必要である。本研究によって提出された流域管理に対する検討結果は、農業流域河川の水質環境保全計画上多くの示唆を与えるものと評価される。

よって審査員一同は、岡澤 宏が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。