

博士論文要約 (Summary)

平成26年 4月入学
連合農学研究科生物環境科学専攻
氏名 山崎 由理

タイトル	十勝川水系における窒素流出抑制対策に向けた農業地域からの窒素流出特性に関する検証
<p>1. 背景および研究目的</p> <p>本研究では、国際的な食料問題を背景に日本の食料生産性の向上を目的とした持続的農業のあり方を考える上で解決すべき課題の一つとして、農業地域における水系の窒素汚染問題を取り上げた。大規模畑作・酪農地域である北海道東部の十勝川水系において10年間（2007～2016年）の経年的な河川水質観測を実施し、各種環境基準値による河川水質評価および河川水質と土地利用との関係を検証した。また、2014・2015年に観測した溶存イオン濃度を用いた河川水質の総合評価と水質起源の検証および公共の水質データを利用した土地利用情報からの窒素負荷量推定を行った。上記の結果を通して、十勝川水系における農業生産性の維持を基本とした窒素流出抑制対策について考察を加えた。</p> <p>2. 十勝川水系における河川水質評価と土地利用の影響の検証</p> <p>第2章では、十勝川水系の37地点（採水地点No.1～17、採水地点A～T）における2007～2016年の河川水質（平均値）について各種環境基準値を指標に評価し、標準偏差から河川水質の変動傾向を検証した。また、河川水質（平均値）と流域の畑草地および森林との相関関係から流域の土地利用が河川水質に及ぼす影響を解析した。</p> <p>まず、十勝川水系における平水時河川水中のpH、BOD濃度およびSS濃度（平均値）は「生活環境の保全に関する環境基準（河川）」のB類型をおおむね満たしていた。このとき、BOD濃度およびSS濃度は標準偏差が大きく採水時期によって濃度が変動しており、標準偏差を含めるとB類型を超過する地点も確認された。河川水中のECは本川の流下に伴いゆるやかに上昇し、支川では本川の中・下流側に位置する地点において高い傾向を示した。また、河川水中のECは流域の畑草地率と正の相関が得られ、流域の畑草地率の増大に伴い河川水中の溶存物質が増加していた。</p> <p>一方、十勝川本川および支川のT-N濃度（平均値）は多くの地点で基準値の1.0 mg/Lを超過し、とくに65%以上の畑草地率を有する支川の6地点（採水地点F、I、M、O、PおよびQ）では4.3～6.5 mg/Lと高い濃度を示した。ここで本川および支川のT-P濃度（平均値）はほとんどの地点で基準値の0.1 mg/Lを満たしていた。これは十勝川流域において主要な畑地土壌を構成している火山灰土が有するリン酸の特異吸着の性質に起因すると推察された。このとき、本川および支川のN:P比（モル比）はRedfield ratio（16N:1P）を大きく超過する傾向にあり、リンを制限因子とした窒素過剰な河川水質であることが明らかとなった。</p> <p>ここで、河川水中のT-N濃度は流域の畑草地率およびSC（畑草地）と有意な正の相関が得られ、流域の畑草地率の増大および畑草地の連結性の増大に伴い河川水中のT-N濃度は上昇していた。一方、流域の森林率およびSC（森林）とは有意な負の相関が得られた。とくにSC（森林）との関係において相関係数が高いことから、流域内の森林</p>	

の連結性が増大することで河川水中の T-N 濃度の上昇を抑制する効果があることが認められた。

このとき、流域内の畑草地率と SC (畑草地) との関係を見ると、流域の畑草地率が 40%より小さい地点では有意な正の相関が得られたが、40%以上の地点では相関関係が認められなかった。つまり、十勝川水系では流域の畑草地率が 40%以上の場合 SC (畑草地) が高い地点と低い地点が存在していた。

いま、河川水中の T-N 濃度と畑草地率との関係における回帰式から、十勝川水系において河川水中の T-N 濃度を 1.0 mg/L に改善するには流域の畑草地率を 15%まで減少させる必要があった。これは農業生産性の維持を基本とした窒素流出抑制対策としては現実的ではないことから、土地利用的対策と営農的対策を組み合わせる必要が示された。

ここで、たとえば十勝川水系全体 (採水地点 No.17) の T-N 濃度 (平均値) である 2.0 mg/L を改善目標とすると、流域の畑草地率は 31%に減少させ、SC (畑草地) は $292 \times 10^2 \text{ km}^2$ に抑制する必要があった。SC (畑草地) に着目すると、支川の 3 地点 (採水地点 G, J および T) における土地利用をモデルケースとすれば、高い畑草地率を維持しながら SC (畑草地) を $292 \times 10^2 \text{ km}^2$ まで減少させることで河川水中の T-N 濃度を 2.0 mg/L に改善できる可能性が示唆された。

3. 河川水質の総合評価と水質起源の検証

第 3 章では、十勝川水系 (採水地点 No.2~17, 採水地点 A~T), 森林流域 ($F_1 \cdot F_2$), 畑作流域 (C_1), 畑・酪混合流域 ($M_1 \cdot M_2$) および酪農流域 ($D_1 \sim D_3$) の 41 地点において河川水中の溶存イオン濃度の総合評価および水質起源を検証した。

トリリニアダイアグラムにおいて森林流域 ($F_1 \cdot F_2$), 畑・酪混合流域 ($M_1 \cdot M_2$) および酪農流域 ($D_1 \sim D_3$) は重炭酸カルシウム型 (II) の下部に、畑作流域 (C_1) は中間型 (V) にプロットされ、畑作流域 (C_1) において NO_3^- および SO_4^{2-} が優勢なイオン組成であり人為的な影響が強いことが示された。また、十勝川水系は畑草地率の増大に伴い森林流域 ($F_1 \cdot F_2$) のプロット側から畑作流域 (C_1) のプロット側へ斜め右上方向に推移し農業の影響を強く受けていた。

主成分分析において、十勝川本川の 13 地点、支川の 8 地点、森林流域 ($F_1 \cdot F_2$) および畑・酪混合流域 ($M_1 \cdot M_2$) は河川水質が比較的良好であると評価された。このとき、十勝川本川は溶存イオン濃度の高い支川の流入によって流下に伴い河川水質が悪化していた。一方、十勝川支川の 6 地点 (J, K, L, M, S および T) および酪農流域 ($D_1 \sim D_3$) は家畜排せつ物を主とした施肥管理が河川水質の悪化に影響していた。また、十勝川支川の 6 地点 (F, G, I, O, P および Q) および畑作流域 (C_1) は化学肥料の影響を受けて河川水質が悪化していた。

ここで、($\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$) 濃度および ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) 濃度をトレーサーとしたエンドメンバー法から、十勝川本川では渓流水の寄与率が 66~86%と高く流下に伴い畑地由来の流出水の寄与率が 13~29%まで上昇していた。また、十勝川支川では渓流水の寄与率 (41~100%), 畑地由来の寄与率 (0.0~78%) とともに地点ごとに幅がみられ、4 地点 (採水地点 F, I, P および Q) では畑地由来の流出水の寄与率が 50~78%と高い傾向にあった。

そこで、付着藻類の $\delta^{15}\text{N}$ を用いて河川水中の窒素成分の起源を推定したところ、畑作流域 (C_1) および畑・酪混合流域 (M_1) では NO_3^- 濃度が 5.5~22 mg/L 以下、 $\delta^{15}\text{N}$ は 2.1~5.4‰ で化学肥料由来の窒素成分であった。また、酪農流域 (D_2) は NO_3^- 濃度が 2.4~3.0 mg/L 以下、 $\delta^{15}\text{N}$ は 7 月に 9.6‰ で家畜排せつ物由来の窒素成分であると推定された。

4. 窒素負荷量の推定と削減目標の提案

第4章では、十勝川水系の37地点（採水地点 No.1~17, 採水地点 A~Q）において年間の T-N 負荷量を推定し、河川水中の T-N 濃度を 1.0 mg/L に改善するための T-N 負荷量の削減目標値を示した。

国土交通省の公表データから、十勝川本川の4地点および支川の4地点において河川水中の T-N 濃度と畑草地率との間には有意な正の相関が得られ ($r=0.81$, $p<0.01$)、日流量は流域面積との間に有意な正の相関が得られた ($r=0.97$, $p<0.01$)。この両者の関係から得られた回帰式を T-N 負荷量の算定式に代入し、河川水中の T-N 濃度および河川流量の実測データが無い地点において T-N 負荷量を推定した。

十勝川水系全体（採水地点 No.17）において年間の T-N 負荷量は 17×10^3 t/y となり、T-N の比負荷量は $1.9 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ と推定された。このとき、河川水中の T-N 濃度を 1.0 mg/L に改善するには十勝川水系全体（採水地点 No.17）で 9.7×10^3 t/y の T-N 負荷量を削減する必要がある、十勝川水系全体の T-N 負荷量に対して支川の採水地点 K, Q および R の寄与率が高かった。

さらに、農林業センサスおよび原単位法を用いて試算した農業的土地利用からの年間の窒素発生負荷量は十勝川水系全体（採水地点 No.17）で 37×10^3 t/y と試算された。年間の T-N 負荷量と比較すると、農業的土地利用からの窒素発生負荷量のうち 46% が河川へ流出していた。

5. 総合考察

第5章では、第2章~第4章の結果に基づき窒素流出抑制対策の基本形をフローチャートに示した。十勝川支川の20地点（採水地点 A~T）を4つのグループに分類し、それぞれの支川の特性に合わせた窒素流出抑制対策の考案と具体的な対策の実施に向けた今後の課題を整理した。

まず、グループ①（河川水中の T-N 濃度が 1.0 mg/L 以下；採水地点 A, B, C, R および S）は渓流水の寄与率が高く十勝川水系全体の中で河川水中の T-N 濃度を希釈・低下させる役割を果たしていた。ただし、採水地点 R は流域面積が $2,850 \text{ km}^2$ と大きいため十勝川水系全体（採水地点 No.17）の T-N 負荷量に対する寄与率が支川の20地点のなかで最も高い。また採水地点 S は畑草地率が 23% とグループ①の中では高いことから、採水地点 R・S では現状の T-N 負荷量を増大させないための緩衝帯の保全管理を積極的に講じる必要が示された。

グループ②（畑草地率が 30% 以下；採水地点 D, H, L および N）では、化学肥料の削減を中心とした営農的対策が窒素流出抑制に対して効果的であると考えられる。このうち、採水地点 L は畑作由来の流出水および酪農由来の流出水の寄与率が同程度であったことから家畜排せつ物に対する管理方法の改善も重要である。

グループ③（SC（畑草地）が $290 \times 10^{-2} \text{ km}^2$ 以下；採水地点 G, J および T）では森林の保全・復元管理を行い畑草地の連結性を増大させないための取り組みが重要である。また、採水地点 G では化学肥料の削減、採水地点 J・T では化学肥料の削減に加えて家畜排せつ物の適正管理の実施が効果的であった。さらに、農業生産性の維持を基本とした窒素流出抑制対策の提案に際し、採水地点 G は畑作主体の地域に対して、採水地点 J・T では畑作・酪農の混合地域に対するモデルケースとできる可能性が示された。

最後に、グループ④（SC（畑草地）が $290 \times 10^{-2} \text{ km}^2$ 以上；採水地点 E, F, I, K, M, O, P および Q）では、畑草地の連結性を分割するために森林の連結性を増大させるなどの土地利用再編を考案し、河川水中の T-N 濃度を低下させる必要があると評価された。

ここで、北海道東部の酪農地域および畑作・酪農混合地域における参考事例から、家畜排せつ物の適正管理による窒素流出抑制対策には管理方法や還元量・還元時期に対する厳格な規制と継続的な監視が必要であること、また、肥培かんがい施設のように家畜排せつ物を貯留・処理できる施設の設置が必要であることが示唆された。

本研究では、農業生産性の維持を基本とした窒素流出抑制対策として土地利用的側面からは第 2 章の結果に基づき森林の連結性を増大させることによる畑草地の連結性の分割を挙げた。このとき、森林などの緩衝帯が有する窒素流出抑制効果の検証やそのメカニズムの解明が今後の具体的な土地利用的対策の提案に向けた重要な課題である。十勝地域では農地のさらなる集約化・大規模化が予想されている。将来的にも農業地域における窒素負荷流出問題は継続・拡大が懸念されていることから、これまでの生産効率を重視した従来の考えから地域の環境保全を重視した営農方法への意識の転換が日本における持続的農業の推進には必要不可欠である。