

学 位 論 文 題 名

北海道の畑作・酪農地帯における物質環境と水質保全

学位論文内容の要旨

畑作・酪農地帯をモデルに、窒素、リン等の栄養塩類の循環と収支について総合的な解析を行い、排泄物および農地等から流出する栄養塩類が周辺の水質環境におよぼす影響について検討した。

1 水質汚濁負荷の発生と問題点

全道の酪農家で発生する排泄物由来の負荷量は、COD 22.4万t, N 6万t, P 1.1万tと推定され、これは化学肥料の入荷量に匹敵する潜在的な肥料源として大きな位置を占めている。これら負荷量の内容について検討した結果、排泄物中の成分で水質汚濁上問題となるのは、糞では懸濁物質, CODおよびリンが、尿では窒素が中心になると考えられた。汚濁負荷の系外への流出を抑えるためには、経営面積当たりの適正飼養規模の維持と排泄物処理施設の整備拡充、固液分離の徹底が重要である。また、排出負荷を減らすためには系内での有効利用が基本であり、経営内容に合わせた利用体系の確立が不可欠と思われた。

2 酪農排水が河川の水質に及ぼす影響

標準的な畑作複合酪農地帯をモデルに、河川水質の変動を因子分析によって解析し、懸濁態成分(寄与率35%)、塩類濃度(同29%)、水温, 溶存酸素(同13%)、溶存態N, P(同 9%)に係わる4つの因子に集約した。その中で、 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, Kを中心に構成される第4因子は、畜舎や放牧地周辺で高い値を示し、構成因子の内容と流程変化の状況から、酪農関連排水に基づく汚濁を表すものと考えられた。当負荷量は、融雪期や降雨後に高い値を示しており、表面流去水による影響を強く受けているものと考えられた。また、藻類を用い

た汚濁度の総合評価でも同様の傾向が認められ、酪農関連施設周辺で水質汚濁が確かめられた。なお、調査河川の富栄養化はPが制限因子になっており、表面流出によって搬送されるPが加わることによって富栄養化が加速されるものと推察された。

3 流出水に伴う栄養塩類の移動

河川の流量および成分濃度は融雪期に最大値を示すことが多く、その変動内容から3期に区分された。このうち、平野部の融雪が最盛期を迎える時期の変動が最も大きく、表面流去水による影響が考えられた。河川の水質は、増水期は懸濁態成分、渇水期は溶存態成分の割合が高い傾向を示し、成分別にみると窒素は溶存態、リンは懸濁態による移動が中心であった。また、河岸構造の違いによって流下に伴う成分内容の変化に差が認められた。

融雪期を中心に発生する表面流去水は大量の汚濁物質を含んでおり、当汚濁水の河川への流達水質に大きな影響を及ぼすものとみられた。表面流去水の流下過程における栄養塩類濃度の低減割合は、流下距離、地形（平坦地＞傾斜地）及び植生の有無（草地＞裸地）によって異なる傾向を示した。このことから、汚濁水の河川への流達を防ぐためには、傾斜の程度に応じて汚濁発生源を河川から離すこと、水域周辺における林地や草地等の緩衝地帯の設置が有効と考えられた。

一方、浸透流出による肥料成分の移動は、窒素で大きく、リンではごく微量であった。窒素の流出濃度は、畑地＞水田、草地の順に高く、ほぼ各作物に対する施肥量に対応しており、施与量の多少による影響が大きいことを示した。

4 畑作酪農地帯における栄養塩類の循環と収支

窒素の耕地系における収入は、降雨負荷量 7%, 肥料負荷量85%（化学肥料 37%, 糞尿48%）, マメ科牧草による窒素固定 8%で占められた。また、収入に対する支出割合は、生産物65%（内残渣12%）, 流出量10%, 揮散量 4%で、残りの一部は土壌に保持されているものと考えられた。一方、家畜系の収入は、購入飼料32%, 自給飼料および放牧による採食が68%で、支出は牛乳21%, 糞36%, 尿35%, 流出量 2%と推定された。

リンの耕地系における収入は、ほぼ100%が肥料による負荷量で（化学肥料76%, 糞尿24%）占められ、支出は、生産物24%（内残渣 4%）, 流出量 2%で、収入の約75%が土壌に固定されるものとみられた。一方、家畜系の収入は、購入飼料の占める割合が40%と窒素よりも高く、支出は牛乳22%, 糞80%, 尿1%未満で、糞の割合が高く、尿に対する支出は小さかった。

5 栄養塩類の流出負荷量と河川への流達

畑作酪農地帯（モデル地域）から年間に流出する窒素負荷量の内訳は、土地系88%（草地27%, 畑地56%, 林地等 5%）、家畜系11%, 生活系 1%で、浸透流出の割合が高かった。窒素の河川への流達負荷量は発生負荷量の46%に相当するが、当負荷量は地域全体の降雨負荷量よりも小さく、作物・土壌を介した農地における浄化機能の大きいことが示唆された。

また、リンの流出負荷量の内訳は、耕地系93%（草地30%, 畑地60%, 林地等3%）, 家畜系 3%, 生活系 3%で、河川への流達負荷量は窒素に比べると少なく、表面流去水による流出が主体であった。

6 牛糞尿の施用限界量

牛糞を裸地に大量に施用した場合、 10kgm^{-2} では流出水の濃度変化は小さかったが、 50kgm^{-2} では高濃度の窒素の流出が認められ、水質保全を考慮した場合の糞の許容限界量は $10\text{t}/10\text{a}$ と考えられた。また、草地に施用した場合は、糞中の窒素が牧草の発芽, 生育及び流出水濃度に及ぼす悪影響は認められなかった。

一方、牛尿を草地に施用した場合の影響は、牧草生育、体内成分及び流出水の窒素濃度で変化がみられ、尿中の窒素量に対応して次のように区分された。牧草の飼料としての品質を保つための適正品質維持容量は $\text{N } 20\text{kg}/10\text{a}$ 、牧草生育が維持されるための生育維持容量は $\text{N } 50\text{kg}/10\text{a}$ 、周辺の水質を保全する環境保全容量（環境容量）は $\text{N } 50\text{kg}/10\text{a}$ 相当である。すなわち、牧草生育が障害を受ける限界量は環境容量に一致しており、牧草生育が維持される範囲で尿の施与を行うことが適当と考えられた。なお、裸地条件では尿施用に伴う窒素の流出が著しく、植生が保持されていない条件での尿の利用は避けるべきである。

以上、酪農排水が周辺水系に及ぼす影響を解明し、土地利用型酪農を持続するための栄養塩類の循環と周辺の水質環境を保全するための指針を策定した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐久間 敏 雄
副 査 教 授 梅 田 安 治
副 査 教 授 但 野 利 秋

学 位 論 文 題 名

北海道の畑作・酪農地帯における物質環境と水質保全

本論文は、畑作・酪農地帯における窒素、リンの循環とその収支について解析し、排泄物および農地等から流出する栄養塩類が周辺の水質環境におよぼす影響について検討したものであり、図44、表48を含む総ページ数143の和文論文である。別に参考論文22編が添えられている。

畑作・酪農地帯においては、有機質廃棄物による環境影響の評価が問題になってきたが、これまで流域レベルでの収支はほとんど把握されていない。とくに、積雪寒冷地においては、冬期間の物質動態を含めた研究が不可欠で、これが畜舎・農地系から水系への物質の流れを把握することを困難にしている。

1. 酪農経営に伴う糞尿成分の発生負荷量を全道的に調査し、それが化学肥料の入荷量に匹敵し、肥料資源として重要な位置を占めること、水質汚濁上、糞では懸濁物質、化学的酸素要求量およびリン、尿では窒素が重要なことを示した。
2. 畑作複合酪農地帯における河川水質の変動を広く調査し、因子分析によって水質を総合評価する4つの因子を抽出した。そのうち第4因子は、アンモニア態窒素、リン、カリウム濃度と高い相関を示し、全変動にたいする寄与率は約10%であった。また、その因子スコアは畜舎や放牧地周辺で高く、融雪期や降雨後に高まることから、家畜-草地系からの地表面流去水の影響を強く反映していると判断された。
3. 藻類を用いたバイオアッセイによって、調査河川水質の富栄養化が進んでいること確かめ、窒素とリンが共存するときに藻類の増殖が著しく、リン濃度が富栄養化の進行を調節する主要な因子になっていると推定した。
4. 融雪期は河川の流量および栄養塩類濃度が最大値を記録する時期であるが、このうち平野部の融雪最盛期は、表面流去水の影響が大きく、栄養塩類濃度の変動が最も激しかった。また、増水期は懸濁成分(リン)、渇水期は溶存成分(窒素)の

割合が高くなる傾向を示した。

5. 表面流去水の流下過程における濃度の低減率が、流下距離、地表の傾斜度および植生の有無（草地＞裸地）によって異なることを明らかにし、河川への流達負荷を軽減するには、傾斜度を考慮して汚濁発生源を河川から隔離すること、水域周辺に林地や草地などの緩衝地帯を設置するのが有効なことを示した。一方、浸透水による窒素の流出濃度は、畑地＞水田＝草地の関係にあると推定された。

6. 窒素の耕地系における収入は、降雨1%、肥料85%（化学肥料37%、糞尿48%）、マメ科牧草による窒素固定8%で占められ、支出割合は、生産物65%、流出10%、揮散4%、不明（土壌保持または深層浸透損失）21%であった。一方、家畜系の収入は、購入飼料32%、自給飼料（放牧を含む）68%で、支出は牛乳21%、糞36%、尿35%、流出量2%と推定され、土地系、生活系を含めた総流出負荷量の中で家畜系が占める割合は11%であった。窒素の河川への流達負荷量は、降雨による負荷量よりも小さく、土壌-作物系における浄化の影響が大きいことを示した。また、耕地系におけるリンの収入は、化学肥料76%、家畜糞尿24%、支出は、生産物24%、流出量2%、不明約75%で、土壌に固定される割合が高いと推定された。一方、家畜系では、収入の大部分が購入飼料で占められ、支出は、牛乳22%、糞78%、尿1%未満であった。リンの総流出負荷量中、家畜系が占める割合は3%と窒素に比て小さかった。

7. 牛糞を大量（ 50kgm^{-2} ）に施用した場合、裸地条件では高濃度の窒素の流出が認められたが、草地では悪影響は認められなかった。一方、牛尿を草地に施用した場合、牧草生育・体内成分及び流出水の窒素濃度に影響が現れた。尿窒素施与量で評価した環境容量は、牧草が正常に生育できる限界窒素施与量（窒素 $50\text{kg}/10\text{a}$ ）と一致しており、この範囲で尿を利用するのが適当と結論された。

以上の結果を総合して、汚濁物質の排出負荷を減らすためには、系内での有効利用を基本とし、経営内容に合った利用体系の確立、単位面積当たり飼養頭数の適正化、排泄物処理施設の整備、固液分離の徹底が重要であると提言している。

以上の成果は、畑作酪農地域における農地・家畜系から河川への汚濁物質の流れを明らかにするとともに、家畜糞尿に対する草地の環境容量を示し、汚濁物質の河川への流達負荷を軽減する具体的方法を提示したものであり、学術上、応用上重要な進展をもたらしたものである。よって審査員一同は、最終試験の結果と合わせて、本論文の提出者大村邦男は博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格があるものと認定した。