

1 新技術情報 その1

周辺水環境への低負荷ふん尿灌漑法の確立

岩手大学農学部 登尾浩助、颯田尚哉、古賀潔、馬場秀和、向井田善朗

1. はじめに

我が国における1年間に発生する家畜と家きんのふん尿排泄量は9,500万トンに達しており、その中には窒素が77万トン、リンが12万トン含まれていると試算されている¹⁾。一方、窒素肥料と化学肥料中のリンの使用量がそれぞれ60万トンと32万トンと推定されているので²⁾、家畜ふん尿を肥料として効果的に利用できれば、化学肥料の使用を著しく少なくすることが可能となり、営農上からも地球温暖化防止の観点からも非常に有効な処理法となり得る。しかし、家畜ふん尿の農地への過剰な還元は、周辺水環境(地表水や地下水)の劣化を引き起こす恐れがあるので、適切なふん尿の還元管理が求められる。

本研究では、周辺の河川水・地下水の水質に低負荷なふん尿還元を実施するために、水質監視部と水質モデル部とから構成されるふん尿還元管理システムの構築を最終目標としている。本報では、ふん尿還元を行っている草地において、地表流出水・土壌水・地下水の移動と水質を継続的に監視することによって得られた水分とふん尿、特に硝酸態窒素(NO_3^-)、の動態と適切なふん尿還元に対する知見を報告する。

2. 調査地と調査方法

調査は、岩手県盛岡市近郊の傾斜地(約5.5度の斜度)でふん尿還元を行っている約2haの牧草(リードカナリーグラス)畑において行った。岩手山麓の本調査地では、約20~30cm厚のクロボク表土が火山灰心土を覆っている。そこでは、牧草の収穫を年3回行い、その間搾乳牛のふん尿を4回還元している。平成13年の例では、尿(40~60t/回)を春先の雪解け後に1回(4月下旬)と牧草刈り取り後に3回(5月下旬、8月上旬、10月下旬)散布し、完熟たい肥(60~80t/回)を初冬の積雪前に1回(10月下旬)散布した。還元した尿の主成分は、 NH_4^+ (平均濃度約24mmol/L)、 K^+ (平均濃度約78mmol/L)と Cl^- (平均濃度約51mmol/L)であった。

調査地南東端の低位部に水路、三角堰を設けて地表流去水を集め、堰の越流水深を5分毎に自動計測して地表流出量を決定した。圃場内の10カ所に地下水位観測および地下水採取のために素掘り井戸(直径約70mm、深さ1.6~5.1m)を設け、地下水水質の変動を測定した。観測井戸内の地下水位測定並びに地下水の採取は通常週に1度、尿散布後は2、3日に1度の割合で行った。採取した水試料はろ過後、イオンクロマトグラフ法(ダイオネクス社)で硝酸態窒素(NO_3^-)濃度を測定した。

さらに、ステンレス棒でTDR(Time Domain Reflectometry)プローブ(棒長さ20cm、棒間隔3cm、棒直径3.4mm)を作成し、試験地内の傾斜面に地表面から5~300cmの深さに合計14本のプローブを埋設した。このプローブを使って土壌の水分量と NO_3^- 濃度を推定するための電気伝導度を15分間隔で測定した。TDR法を使うと単一のプローブで土壌水分量と電気伝導度を同時にしかも非破壊的に測定できる特徴がある³⁾。TDR法には、1502Cケーブルテスター(ソニーテクトロニクス社)と16ch多点同軸ケーブル切替器(ダイナマックス社)を使用した。これらの機器をパソコンで制御し、データ収集・波形解析を行って、土壌水分量と電気伝導度を求めた。水平方向に埋設したTDRプローブの近傍にはT型(銅-コンスタン)熱電対も同時に埋設して地温を測定し、電気伝導度の温度補正に用いた。試験地における気象条件も15分間隔で測定した。

3. 調査結果と考察

(1) 水収支

圃場における水の出入り(水収支)は、図1に模式的に示される。

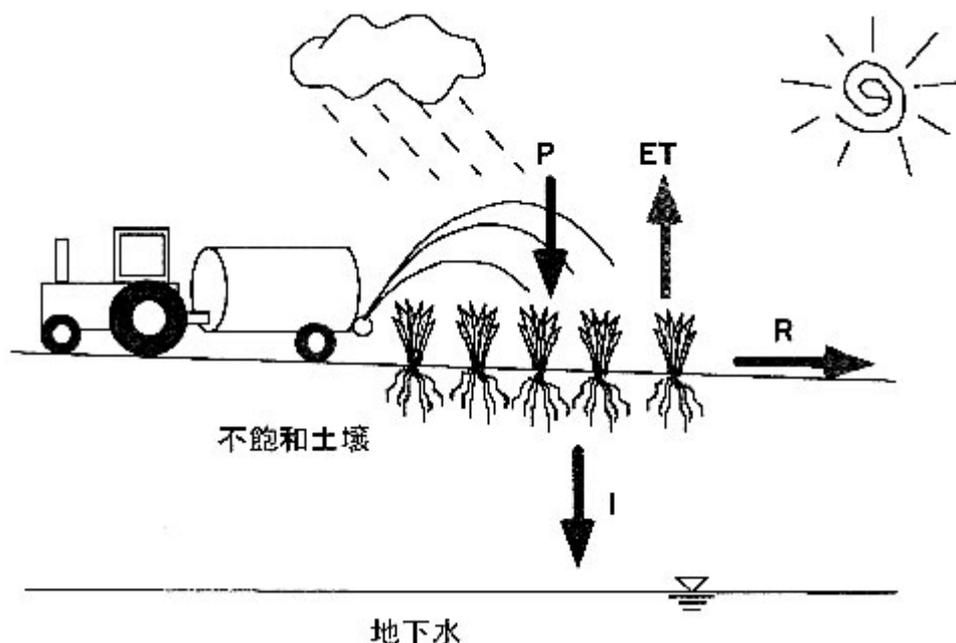


図1 圃場における水収支の模式図

灌漑施設のない圃場に入る水分は降水によるものだけと仮定し、Pで表す。降水の一部は、土壌中に浸透して行き、その一部は作物を通してまたは地表面から大気中へ蒸散や蒸発(ET)して圃場外へ出て行く。一方、土壌に浸透しなかった水分は、表面流出水(R)として圃場外へ出て行く。また、土壌中に浸透して蒸発散に使われなかった水分の一部は、土壌中における水分量を変化(Dq)させるが、大部分は更に土壌中を浸透(I)して行って地下水に到達する。圃場におけるこのような水収支は、(1)式のように表される。

$$P = ET + R + I + \Delta \theta \quad (1)$$

流出は、主に、融雪期と梅雨・台風期に発生し、梅雨・台風期の流出量が大きかった。平成13年3月には、気温が10℃程度まで上昇したので、降水が無いにもかかわらず、融雪により地表流出が発生した。また、平成12年1月には日中の気温が上昇して雨が降り、積雪中を流下して地表流出が発生した。年間を通してみると総降水量に対する地中浸透の割合が50～60%と、降水の約半分以上が土壌中に浸透していることがわかった(図2(A))。年降水量の内、表面流出が占める割合は5%程度であった。

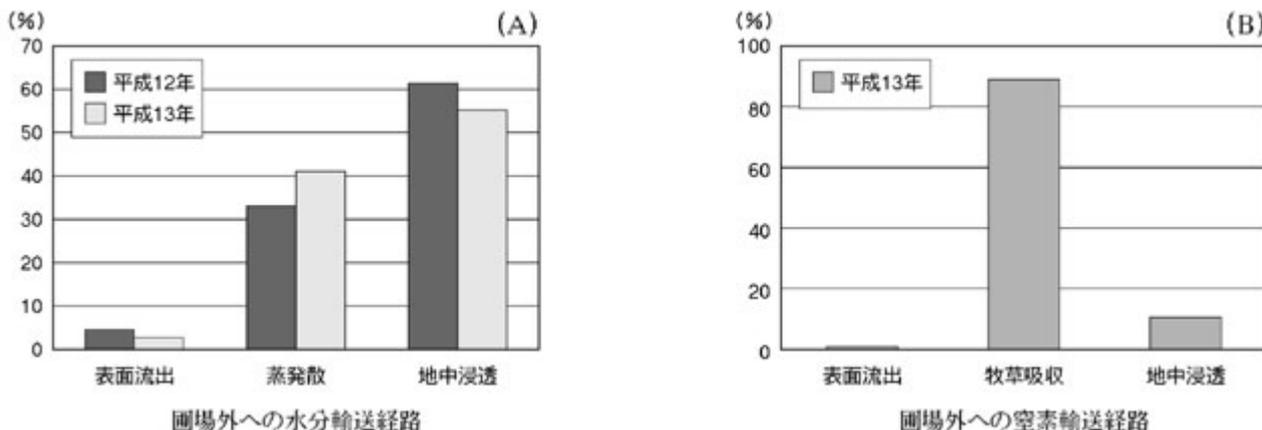


図2 調査圃場における圃場外への水分(A)と窒素(B)の輸送経路の寄与割合

地表流出の有無は、降雨前の土壌水分、降雨量、降雨強度、地被の状況など様々な要因で決定されると考えられる。3日間無降雨の場合は、降雨強度が小さければ(10mm/15min未満)降雨

量40～60mmで流出が発生し、降雨強度が大きければ(10mm/15min以上)20～30mmでも発生した。一方、前3日間に降雨があった場合は、当日と合わせて50mm程度で流出が発生した。総じて4日間の総降水量が50mm程度以上で流出が発生するようである。図3には、本調査地で得られた降雨前の0～70cm土層中の水分量と降雨量との関係を示した。破線を境に右側に流出を生じた例が存在していることがわかり、初期土壌水分が大きいほど少しの降雨量で表面流出が発生している。土壌特性や地被の状況が異なる圃場では、図3のような関係を実験的にあるいは理論的に求めて、表面流出発生に関する情報を得る必要がある。

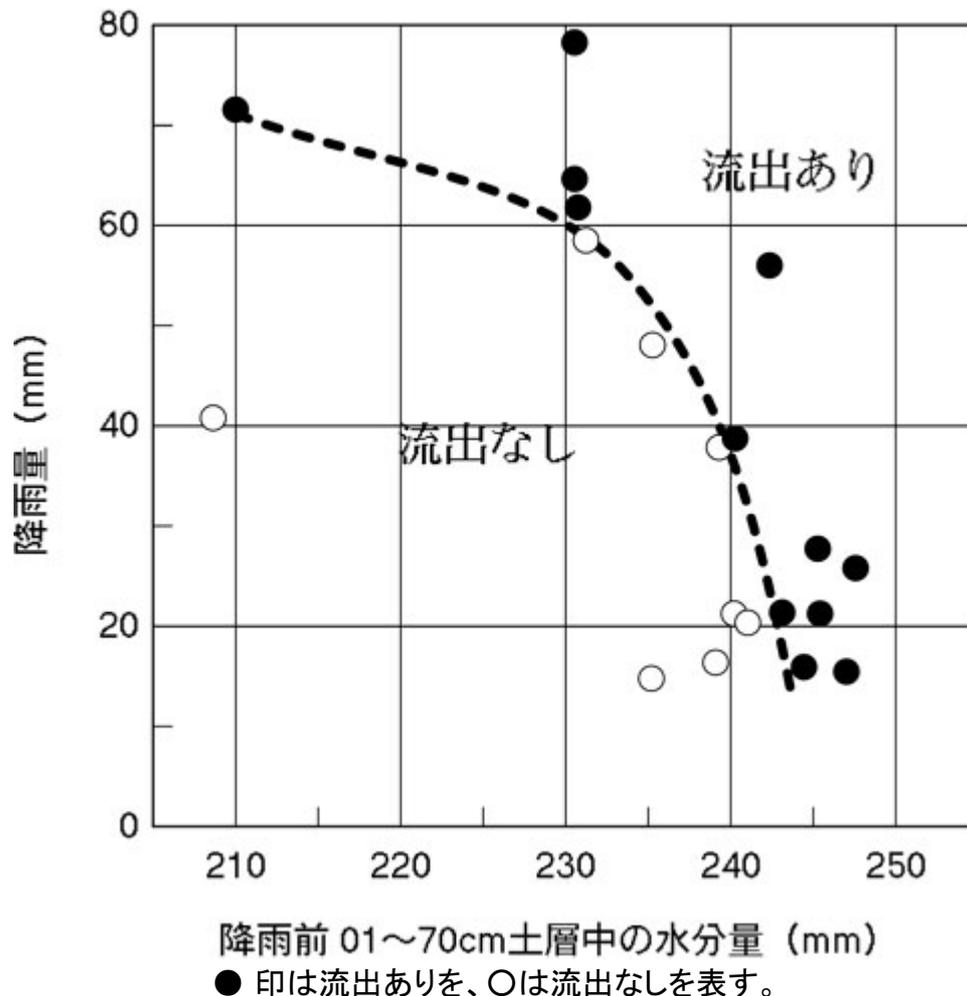


図3 降雨前の土壌水分量と降雨量との関係による表面流出の発生の有無

(2) 窒素収支

本調査地へのふん尿還元および化学肥料の施肥状況から、投入された全窒素量を計算した。降雨や降雪は負荷の一部と考えられるが、濃度的に小さく、投入量として考えないこととした。ふん尿と化学肥料散布による年間窒素投入量は、977 kg/2ha(約1t)と推定した(表-1)。

表1 調査圃場における窒素投入量

成分	年間散布量(t)	固相率	窒素濃度	窒素投入量(KG)
尿	168	-	0.83kg-N/t	139
たい肥(糞)	80	27.9%	3%	670
化学肥料	1.2	-	14%	168
合計				977

地表流出水の窒素濃度を平成13年に2回測定したところ、アンモニウムイオン、亜硝酸イオン、硝酸イオンの平均濃度は、それぞれ4.9mg/L、0.26mg/L、10.49mg/Lであった。地表流出によって1年間に圃場外へ運ばれる割合は、年間総投入量の0.6%と非常に小さいことがわかった(図2(B))。しかし一時的ではあるが、環境基準上限(10mg-N/L)の濃度のNO₃⁻が表面流出によって圃場外に排出されている可能性があるため、注意が必要である。調査圃場に隣接して流れる川では、平均NO₃⁻濃度は0.5 mg-N/Lで年間を通じてほとんど変化しなかったが、雪解け時の3月下旬に最高濃度は0.8 mg-N/Lを観測した。従って、雪解け流出による負荷増大の疑いが持たれる。

地下水へ到達する窒素成分は、大部分が硝酸態であることがこれまでの調査からわかっているため、地表面土壌に存在する窒素の存在形態は硝酸態であると仮定した。地表から5cm深さまでの土壌中の平均硝酸濃度と降雨の地下浸透量より窒素の地下排出量を算出した。1年を5つの期間に分割して平均した土壌中のNO₃⁻濃度は、6.4 mg⁻N/L(4.4~8.5 mg⁻N/L)であった。調査地からの総窒素排出量に占める地中浸透経路の割合は10%程度であった(図2(B))。また、牧草収穫に伴う年間窒素排出量は、牧草収穫量に牧草中の窒素濃度をかけて算出した。牧草の湿潤ベースの固相率は22.1%(含水比77.9%)で、乾燥固体中の窒素濃度(NCアナライザーで測定)はおよそ3%であった。図2(B)からもわかるように、調査地からの牧草収穫による窒素排出は非常に大きいことがわかった。

図4には土壌断面深さにおいて単位体積土壌中に含まれる総NO₃⁻量の変化が示される。8月9日に尿散布が行われ、8月10~11日に降雨があった。散布されたほとんどのNO₃⁻が表層0~20cmにおいて保持され、消費されていることがわかる。また、尿散布から25日後(9月3日)には、土壌断面における総NO₃⁻量の分布が尿散布前と同じようになったことがわかる。総NO₃⁻量は主に地表面から60cm深さまでの土層で変化しているため、根の遺骸等による大孔隙を通る選択流がない限り、地表面下約2.5mにある地下水面までは到達し難いと考えられる。本調査圃場内の井戸水のNO₃⁻濃度は、年間を通じて6mg/L程度で推移している井戸がほとんどであったが、場所によっては尿散布と降雨に敏感に反応する井戸も見受けられた。これは、土壌中の選択流によるNO₃⁻の輸送経路が存在する可能性を示唆している。

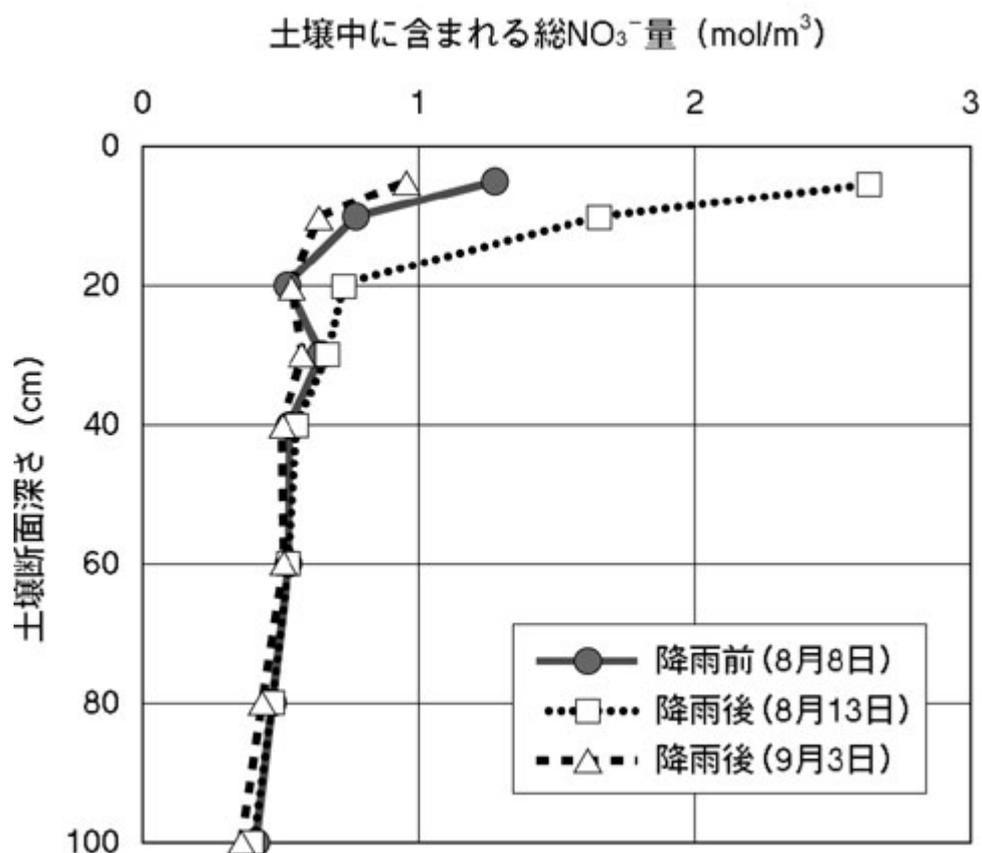


図4 降雨前後における土壌中に含まれる全硝酸態窒素量の分布

4. まとめと課題

年間を通してみると、調査圃場における投入窒素のほとんどは牧草として回収されているので、持続的な窒素循環が行われていると考えられる。しかし、表面流出による短期間における比較的高濃度の硝酸態窒素の排出も観察されたので、ふん尿還元時期の決定には注意が必要である。特に、降雨直後の尿散布は、散布後に降雨がある場合には、高濃度の尿成分が流出する恐れがあるので注意する必要がある。また、寒冷地においては積雪中や融雪時期において表面流出が発生する可能性があるため、初冬のふん尿還元にも注意を払う必要があると思われる。

ふん尿還元を循環型環境保全農法の一環として導入するためには、短期間の圃場外への窒素流出(主に地表水)による汚染対策を確立する必要がある。また、圃場の土壌特性や気候条件に依存した適切なふん尿還元管理が行えるように、圃場における窒素・水分循環に対する物理モデルの構築とアプリケーションプログラムの開発が急務である。

5. 謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会科研費(基盤研究(B)11460109)、(財)畜産環境整備機構、(財)クリタ水・環境科学振興財団からの研究助成により行われた。試験圃場の設営と維持およびデータ収集と解析には、岩手大学農学部専攻生であった朝日信幸、及川哲治、落合博之、堀内由美、三浦匠巨、加藤剛彦、佐々木克明、原田貴仁、若皆忠弘、一方井康司、大坪彩子、北野正史、久慈聡、倉谷直樹、高橋学、二唐修一の各氏にお世話になった。また、横田牧場の横田宗明氏には本研究に対して終始ご支持とご協力をいただいた。深謝いたします。

【引用文献】

- (1) 築城幹典, 原田端生: 我が国における家畜排泄物発生の実態と今後の課題. pp.15-29. 西尾 道德監修: 環境保全と新しい畜産.(社)農林水産技術情報協会(1997)
- (2) 原田端生: 家畜ふん尿の特性と処理利用の基礎知識(平成9年度). 中央畜産技術研修会. 農林水産省畜産局(1999)<http://group.lin.go.jp/leio/>
- (3) 登尾浩助, K.J.マクイネス, J.L.ハイルマン: コンピュータ制御による多点化TDRシステムの試作と応用. 農業土木学会論文集188: 129-135(1997)