

肥培かんがいの土壌および河川水質への影響

1. 土壌の肥沃化

Influence of Applying Cow Slurry to Grassland on Soil and Water Quality of Farm Stream

1. Nutrient Enrichment of Soil

高宮信章* 小林信也**
 斉藤万之助*** 赤沢 伝****

Nobuaki TAKAMIYA, Nobuya KOBAYASHI, M
 annosuke SAITO and Tsuto AKAZAWA

スラリー散布が草地土壌に及ぼす影響を調査した。スラリー散布は土壌の肥沃化をもたらしたが、表層5m程度にとどまった。スラリーの施用量や不良な浸透能が影響しているものと思われた。

《肥培かんがい；肥沃化；水質；スラリー》

We investigated the effect of cow slurry application to grassland on soil fertility. The soil was a compact clayey ~ clay loamy Acid Brown Forest soil with very low intake rate. the slurry application brought about the nutrient enrichment of the soil, but the depth enriched was no deeper than 5cm from the surfaces.

Keywords: cow slurry, grassland, soil fertility.

北海道の酪農では従来からふんと尿を分けて利用する液分離方式が定着し、その多頭化対応技術として、バークリーナ、フロントローダ、マニユアスプレッドによる機械化作業体系も確立されつつあるが、敷料の不足や管理作業の省力化などのために、従来の分離方式に代わってふんと尿を混合処理する液状きゅう肥（スラリー）処理利用方式の採用が増加する傾向にある¹⁾。

この処理物であるスラリーの草地への施用、いわゆる肥培かんがいは、北海道には1965年ころ導入され、1985年現在の実施面積は道東を中心に4500haである²⁾。肥培かんがいは、土壌の肥沃化、作物増収、化学肥料の節減、畜産公害の軽減などの効果があるとされている。一方、畜舎や草地が市街地や河川に近接している場合には、スラリー成分による河川水質の汚濁、悪臭などの問題が生

じる可能性がある。

しかし、スラリー散布の土壌や周辺環境への影響は、あまり解明されていない^{3,4,5)}。

著者らは、1968年からスラリー散布が行われている興部農協肥育センターの草地において、1976年から3年間土壌調査、周辺河川の水質調査および人工降雨によるスラリー成分の流出試験を行った。本報では、土壌調査について述べ、次報で水質調査および人工降雨試験の結果を検討する。

1. 供試圃場

調査は紋別郡興部町字興部にある興部農協肥育センター（図-1）で行った。このセンターの規模は牧場面積20ha、畜舎面積330m²（1968年建設）で340m³のふん尿貯留

*土壌保全研究室員 **同室主任研究員 ***同室長 ****元第4研究部長 現専修大学北海道短期大学教授

槽を備えている。試験当時、牛は初妊牛30頭と育成牛20頭が飼育されていた。草地造成は1967年に行われ、オーチャードグラス、チモシー、白クローバ、アルファルファの混播草地で、オーチャードグラスが優勢であった。年2回の刈取りが行われている。ただし、傾斜のきつい部分は放牧地として利用されている。10a当たり成分施肥量は窒素4.8kg、燐酸9.6kg、加里9.6kgである。ふん尿を散布していない部分（非かんがい区）には石灰が施用されている。

ふん尿散布は1968年から開始されている。周辺への影響を考慮して、図-1の点線で囲んだ部分約6.5haに年4回（4月～5月上旬、1番草刈取後の7月上旬、2番草刈取後の9月上旬および11月下旬～12月上旬）、貯留槽から地下埋設管で運ばれレインガンで散布されている。散布量は原液で2～3 t/10a・年である。

2. 調査法

(1) 土壌調査

土壌調査は1976年および1977年に図-1のA, B, Cの3地点で行った。A地点はかんがいでいないところ（非かんがい区）の丘陵頂部の平坦面、B, C地点はかんがい区にあり、B地点は傾斜3°以下の丘陵頂部のほぼ平坦なところ、C地点は傾斜3～5°の凹形緩傾斜の斜面中

央部に選定した。土壌調査地点で円筒法で浸透能も測定した。

採取した土壌の分析項目および分析法は、次のようである。粒径組成：比重計法；pH：ガラス電極法、腐植：ワクレー法；全窒素：ケルダール法、CEC・交換性塩基：ショーレンベルガー法、可給態リン酸：2.5%酢酸抽出法⁶⁾、容積重：実容積法。

スラリーの分析は、工場排水試験方法 JIS K 0102-1974⁷⁾によった。

3. 結果

(1) スラリーの組成

散布時および人工雨試験時（1978）の組成は、表-1のようである。既往の分析値⁸⁾と比較すると、散布されたスラリーは、4～6倍に希釈されたものと思われる。1978年の原液としたものも、かなり希釈されていたようである。水溶性N（ NH_4^+-N , NO_2^--N , NO_3^--N ）は NH_4^+-N が圧倒的に多く、T-Nの約1/3を占めていた。スラリーの成分は、かなりバラツキが大きいことが知られている⁹⁾が、この表からも時期によりかなり変動していることがわかる。

(2) 土壌の性状

土壌は、段丘堆積物を母材とした酸性褐色森林土であ

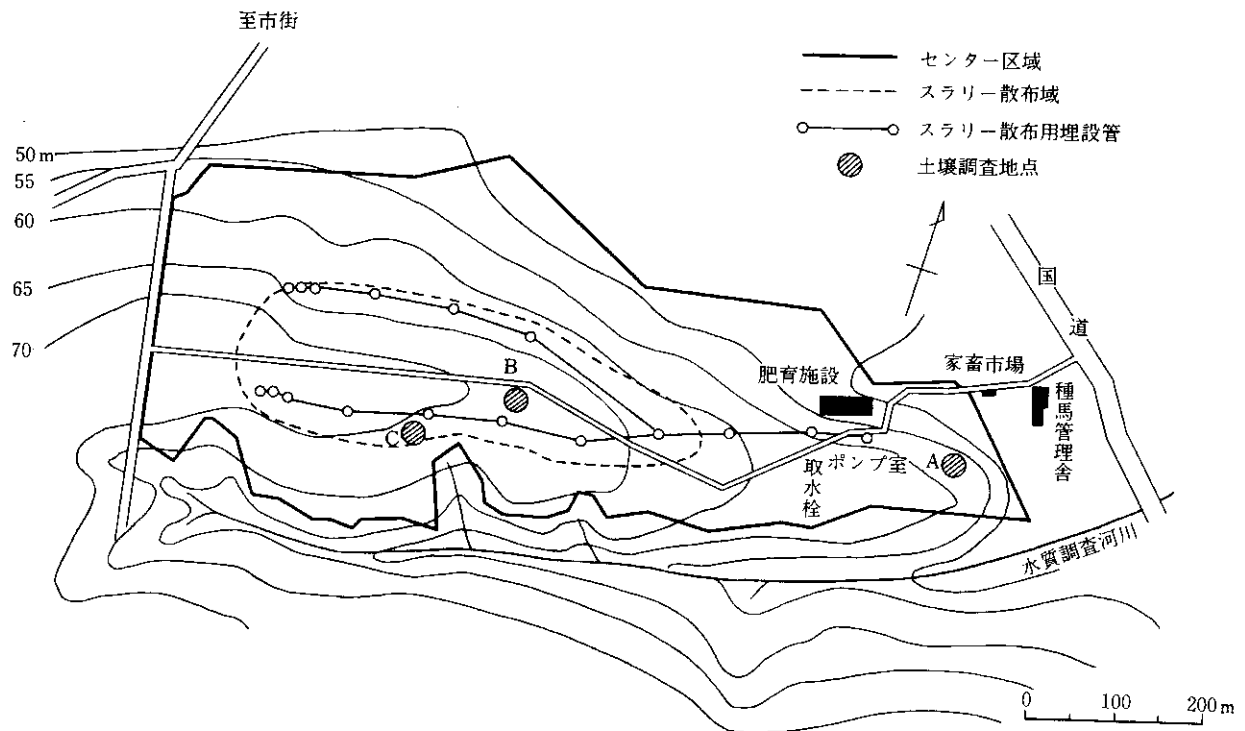


図-1 調査地

表-1 スラリーの成分

時期 (年月)	NH ₄ ⁺ -N (ppm)	NO ₂ ⁻ -N (ppm)	NO ₃ ⁻ -N (ppm)	T-N (ppm)	PO ₄ ³⁻ (ppm)	K ⁺ (ppm)
1976.7	386	0.11	18.6	590	33.7	—
1977.4	190	0.03	2.3	443	63.7	465
1977.8	102	0.01	2.6	290	39.5	240
1978.7(原液)	533	1.43	16.5	991	216.0	1905
1978.7(7倍希釈)	80	0.18	2.8	130	57.7	345

る。非かんがい区 A 地点、かんがい区 B、C 地点の断面形態は、次のようである。

A 地点

Ap 0~20cm 褐 (10YR4/4) CL; 弱中粒状; 硬度 23; 砂岩を主体とした小~細半風化円礫に富む; 層界明瞭。

B 20~45cm 黄褐 (10YR5/6) CL; 同上礫に富む。

B 地点

O1 +3.5~2 cm あまり分解していない牧草の遺体と牛ふんの堆積層 (牛ふん主体)。

O2 +2~0 cm かなり分解の進んだ牧草の遺体と牛ふんの堆積層 (黒色, 牛ふん主体)。

Ap1 0~1.5cm におい黄褐 (10YR4/3) LiC; 強中粒状; 構造面に沿って腐植被膜あり; 層界明瞭。

Ap2 1.5~12cm におい黄褐 (10YR5/4) CL; 弱中粒状; 硬度 25; 砂岩を主体とした細半風化円礫あり; 構造面に沿って腐植被膜あり; 層界明瞭。

B 12~33cm 黄褐 (10YR5/6) LiC; 発達中の小亜角塊状; 硬度 28; 砂岩を主体とした小~細半風化円礫あり; 構造面に沿って腐植被膜あり; 層界判然。

C1 33~55cm 黄褐 (10YR5/8) SCL; 同上礫含む; 層界判然。

C2 55~93cm 褐 (10YR4/6) SL; 同上礫含む。

C 地点

O +2~0cm 牧草の遺体と牛ふんの堆積層 (牛ふん主体, 下層ほど分解良好)。

Ap 0~13cm におい黄褐 (10YR5/4) LiC; 弱中亜角塊状; 硬度 26; 砂岩を主体とした小~細半風化円礫含む; 層界明瞭。

B 13~35cm 黄褐 (10YR5/6) LiC; 弱中亜角塊状; 硬度 29; 同上礫あり; 層界判然。

C1 35~47cm 明黄褐 (10YR5/6) CL; 同上礫富む; 層界漸移。

C2 47~ 礫層 (礫質同上)。

3 地点とも Ap 層でも硬度は 23 以上あり, きわめて緻密な土層構成となっていた。もともと緻密であった土壌に, 管理作業の影響が加わったものと思われる。このた

め, 発達した粒状構造が観察された B 地点のごく薄い Ap1 層を除き, 構造の発達はよくなかった。これを反映して, シリンダ法で測定したベシクインテークレート (3 連の中央値) は, B 地点 23mm/h, C 地点 5 mm/h と小さかった。ただし, これにはスラリー中に含まれる微細有機物による孔隙の目詰りの影響もあると思われる。また, 砂岩を主体とし, チャート, 珪岩を含む小~細半風化円礫が 3 地点とも出現したが, 有効土層は A 地点に比べ, B, C 地点の方がやや厚かった。

B 及び C 地点では, スラリー散布のため Ap 層の上に牛ふんを主体とした有機物が堆積している。B 地点では有機物層は O1 層と O2 層に分化していたが, C 地点では分化は認められなかった。また, B 地点では Ap 層はごく薄い Ap1 層と Ap2 層に分化し, Ap1 層は Ap2 層より暗色を呈し, 粒状構造が発達しており, 層界は明瞭であった。両層および B 層の構造面に腐植の被膜が観察された。構造の発達は弱い, その構造面に沿ってスラリーが流下したことを示すものであろう。しかし, これは構造面に限られるため, 以下に述べるように肥沃化はごく表層に限られている。B, C 地点間の O 層および Ap 層の差異は, 地形的原因によって多少スラリー散布の影響が異なるためであろう。つまり, ほぼ平坦な B 地点では多少縦方向の浸透があるが, 緩斜面にある C 地点では表面流出が多いためと思われる。

表-2 は, 3 地点の土壌断面の理化学性を示したものである。スラリー散布前後に断面調査をしたが, その理化学性に大きな変化は認められなかった。散布前の分析値を示した。B, C 地点の理化学性には多少の差異がある。pH は B 地点の O1, O2 層で高くなっている。なお, A 地点の Ap 層の pH が高いのは, 石灰散布の効果と考えられる。したがって, これらの層では塩基飽和度も高くなっているし, 交換酸度も相対的に小さくなる。

B 地点の O1 層と O2 層の C/N 比は, O2 層で低くなり, 分解が進んでいることを示す。C 地点の O 層の値は, B 地点の O1 層と O2 層の中間的性格を示すことが C/N 比からわかる。したがって, CEC の値も B 地点の O2 層 > C 地点の O 層 ≧ B 地点の O1 層の順になる。

表-2 土壌の理化学性

地点	層名	深さ (cm)	土性	容積重 (g/cm ³)	pH		交換 酸度 y _i	腐植 (%)	T-N (%)	C/N	CEC (me/ 100g)	交換性塩基 (me/100g)				全塩基 (me/ 100g)	塩基 飽和度 (%)	可給態 P ₂ O ₅ (mg/ 100g)
					(H ₂ O)	(KCl)						Ca	Mg	K	Na			
A	Ap	0~22	CL	-	6.63	5.47	0.1	5.2	0.14	21.5	19.93	20.31	0.52	0.24	0.29	21.36	107	0.2
	B	20~45	CL	-	5.08	3.92	27.4	2.1	0.08	15.5	17.96	0.42	0.69	0.24	0.27	1.62	9	0.1
B	O1	+3.5~2	-	-	6.93	6.68	16.1	84.6*	2.02	24.3	49.76	61.64	18.78	6.96	0.84	88.22	177	52.5
	O2	+2~0	-	-	6.51	6.00	3.8	57.7*	1.78	18.8	62.49	50.19	14.21	8.25	0.96	73.61	118	16.4
	Ap1	0~1.5	LiC	-	5.51	4.28	2.2	5.2	0.24	12.8	20.27	6.74	2.06	0.24	0.35	9.36	46	1.9
	Ap2	1.5~12	CL	1.33	5.70	4.42	2.0	3.6	0.14	14.7	17.69	9.01	1.28	0.14	0.29	11.32	64	0.3
	B	12~33	LiC	1.40	5.17	3.98	18.3	1.5	0.11	8.2	13.71	1.18	0.47	0.13	0.18	1.76	14	0.1
	C1	33~55	SCL	1.51	5.09	4.04	20.9	0.6	-	-	14.99	1.06	0.57	0.19	0.28	2.10	14	tr.
	C2	55~93	SCL	-	5.02	4.06	20.8	0.4	-	-	13.45	0.31	0.32	0.17	0.19	0.99	7	tr.
C	O	+2~0	-	-	6.14	5.25	4.1	57.2*	1.63	20.4	55.53	36.94	7.96	0.36	0.56	45.82	83	9.5
	Ap	0~13	LiC	1.48	6.05	4.53	0.5	2.7	0.10	15.6	15.22	7.16	3.98	0.22	0.23	11.59	76	0.3
	B	13~35	LiC	1.47	5.64	4.17	7.6	0.6	-	-	14.55	4.37	0.73	0.15	0.19	5.44	37	tr.
	C	35~47	CL	-	4.97	3.92	25.5	0.3	-	-	14.04	1.28	0.40	0.27	0.23	2.18	16	tr.

* 灼熱残渣

O1層, O2層はCECも高く, 交換性Ca, Mg, K, Naも多い傾向を示す。Ap層ではA地点に比べ, B, C地点のMgの富化が認められるが, 交換性Kが相対的に減少する。Kの大部分は水溶性(速効性)であり, 牧草に吸収されたことを示すものであろう。可給態のP₂O₅はO1, O2層で多いが, Ap層での富化はごくわずかであり, ほとんどスラリー中の固体部分に含まれることが大きく影響しているものと思われる。ただし, O層は膨軟に堆積した有機物層であり, その層厚は4cm未満であるから, 体積当たりの値は, 表-2のように重量単位で表わされた値よりかなり少なくなる。

このようにスラリー散布をすると水溶性あるいは易分解性有機物に含まれる成分やO層として堆積している有機物に保持されたり, 含まれている成分によってAp層には明瞭な養分富化, 多少の酸性矯正を認めることができる。

B層以下はA, B地点に比べ, C地点でB層のpH, 交換性Caや塩基飽和度は高いが, 後述するように, 肥沃化は表層5cm程度と思われるので, スラリー散布の影響とは考えられない。

1976年の土壌断面調査では, スラリー散布の影響がAp層まで認められたが, Ap層のどの程度の深さまで及んでいるか判断できなかった。そこで, 1976年に断面調査したB地点近くでAp層を2cmごとに採土した。スラリー散布前後の差は明瞭でなかったため, スラリー散布後の結果を表-3に示す。0~2cmの土層は腐植の集積, 養分の富化が明らかに認められる。2cm以下では判然としないが, 交換性Kは2~4cmでも富化しているし, 可給態P₂O₅も6~8cmより4~6cmで若干多いことから, スラリー散布の影響は表層から5cm程度までとみなされる。なお, 0~2cmのpHが低いのは, 施肥や硝酸化成のためと思われる。

表-3 B地点の化学性 (1977年6月採取)

層名	層厚 (cm)	pH		交換 酸度 y _i	腐植 (%)	T-N (%)	C/N	CEC (me/100g)	交換性塩基 (me/100g)				全塩基 (me/100g)	塩基 飽和度 (%)	可給態 P ₂ O ₅ (mg/100g)	電気 伝導度 (μS/cm)
		(H ₂ O)	(KCl)						Ca	Mg	K	Na				
O	+3.5~2	6.11	5.70	0.3	64.5	2.27	16.5	47.16	32.53	10.15	7.47	1.58	51.73	159	98.5	-
	+2~0	4.87	4.67	0.2	63.5	2.43	15.2	63.33	41.58	10.25	3.47	2.16	57.46	91	149.7	-
Ap	0~2	4.85	4.01	0.3	7.0	0.31	13.1	19.51	7.27	1.55	0.77	0.50	10.09	52	24.0	231
	4	5.54	4.23	5.0	3.5	0.14	14.5	14.06	6.53	0.70	0.64	0.31	8.18	58	9.6	88
	6	5.57	4.33	3.2	3.2	0.13	14.3	14.21	6.72	0.57	0.17	0.33	7.79	55	8.9	73
	8	5.60	4.38	3.1	3.5	0.12	16.9	14.19	7.41	0.63	0.16	0.42	8.62	61	5.4	66
	10	5.65	4.37	2.6	3.1	0.11	16.4	14.16	7.01	0.39	0.18	0.27	7.85	55	4.2	57
	12	5.66	4.41	2.7	2.8	0.10	16.3	13.51	5.76	0.34	0.17	0.31	6.58	49	2.2	61
	14	5.56	4.25	7.8	2.0	0.08	14.5	22.79	12.99	6.73	2.24	1.06	23.02	101	1.6	60

*灼熱残渣

表-4 pHと腐植の分布

試験 区名	層厚 (cm)	n	pH					
			\bar{X}	S	CV (%)	\bar{X} (%)	S	CV (%)
非が かい ん区	0~2	11	6.8	0.61	9.0	5.2	0.92	17.7
	2~4	11	7.0	0.50	7.1	4.4	1.23	28.2
	4~6	11	7.0	0.56	8.0	3.8	1.41	37.0
かん が い 区	0~2	24	5.5	0.28	5.0	5.1	1.29	25.2
	2~4	24	5.8	0.42	7.1	3.9	0.97	24.8
	4~6	24	6.0	0.42	6.9	3.7	1.33	36.4

傾斜により、ごく表層の土壤断面に多少の差があることが認められたので、微地形により土壤の理化学性にかたよりのないかを検討した。肥沃化は表層6 cm程度とみなされたので、かんがい区、非かんがい区の5 m × 5 mのメッシュ法で定めた地点において、0~6 cmの間を2 cmごとに採土し、pHと腐植含量を測定した。その結果、微地形による差は認められなかったため、平均値と標準偏差を表-4に示した。腐植含量は、両区の値に統計的に有意差は認められなかった。非かんがい区のpHの高いのは、石灰散布の影響と思われる。これらのことと断面の理化学性から、他の成分も微地形による差異はあまりないものと思われる。

また、2-3 t/10aのスラリー施用では、腐植の増加は無視しうる程度であることを示している。したがって、表-3に示すごく表層の富化は、かんがい区特有のものではなく、草地土壤における普遍的な現象と思われる。

以上のように、スラリー散布は土壤中の塩基類を富化し、土壤を肥沃にし、酸性矯正にも効果があり、牧草収量も非かんがい区に比べ増加している(表-5)。しかし、物理性への影響はほとんどないようである。

火山性土での試験^{3,4)}でも、有機物、N、塩基類やリン酸の富化が認められている。しかし、スラリーの多量連用では、短期間のうちに塩基類、特にKが著しく、かつ深くまで富化し、塩基組成の不均衡、ひいては牧草の品質低下を招くとされている。このため、スラリー施用の際には、Kの有効利用を基本として、年間施用量はKの標準施用量を限度として算定すべきことが指摘されている。

表-5 牧草収量 (生草:t/10a)

年	非かんがい区 (A)	かんがい区 (B)	$\frac{B}{A} \times 100$
1973	3.58	4.83	135
1974	3.24	4.09	126
1975	3.01	4.11	137
1976	2.62	3.72	142
1977	3.17	4.14	131
平均	3.21	4.22	137

供試圃場では、多量のKの集積は生じておらず、スラリー施用量が適正範囲内にあったことを示している。

また、肥沃化は表層5 cm程度にとどまっている。これに対し、上述の火山性土では、より深く塩基類が富化している。これは、施用量とともに土の浸透能の違いを反映したものであろう。

スラリーの土壤還元は、地力の維持増強とともに、家畜の排泄物による環境汚染の防止に有効な手段であるが、土壤の性状をも考慮し、施用量を決定する必要がある。

まとめ

興部農協肥育センターの堅密な酸性褐色森林土からなる草地へのスラリー散布の影響を調査した。

スラリー散布は、養分分に富む数cmのO層、ほぼ平坦なところでは、その下部にごく薄いAp1層とAp2層に分化したAp層が認められた。緩斜面ではこの分化はなかった。スラリー散布により、土壤は肥沃化していたが、表層5 cm程度にとどまっていた。これには、施用量や土壤の浸透能の不良なことが影響しているものと思われる。

謝辞：調査に際し、白井智行技官(網走開発建設部、現札幌開発建設部)ならびに興部農協肥育センターには多大の御協力を頂いた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 帰山幸夫・柏木 甲・原楨 紀・沢村 浩・近藤秀雄・工藤吉夫・三島哲夫・山本紳郎 (1976)：北海道酪農における液状きゅう肥処理利用方式の実態と問題点、北農試研究資料, 10, 29-61.
- 2) 北海道開発局農業水産部(1985)：畑地かんがいに関する実態調査結果表, pp. 98.
- 3) 近藤秀雄・原楨 紀 (1983)：採草地における液状きゅう肥の施用効果、北農試研究報告, 138, 31-49.
- 4) 橋元秀敏(1975)：家畜ふん尿の大量連続施用における問題点、畜産の研究 30, 199-204.
- 5) 尾形 保・菅間道博・畠中哲哉・阿江敏治・小山田照三(1978)：傾斜草地における牛ふん尿成分の地表流出について、草地試研報, 12, 106-124.
- 6) 関谷宏三(1975)：土壤養分分析法(土壤養分測定法委員会編)：p. 239-242, 養賢堂.
- 7) 日本規格協会(1974)：工場排水試験方法 JIS K 010 2-1974, pp. 169.
- 8) 尾形 保(1976)：家畜排泄物の土壤還元利用(2)、畜産の研究, 30, 271-274.