

B-16 地球温暖化抑制のためのCH₄、N₂Oの対策技術開発と評価に関する研究

(3) 草地における温室効果微量ガスの動態と制御技術

研究代表者 農林水産省 草地試験場
環境部 土壌物質動態研究室 渋谷 岳

農林水産省 草地試験場
環境部 土壌物質動態研究室 渋谷 岳・野中 邦彦・川内 郁緒

農林水産省 九州農業試験場
総合研究部 総合研究第3チーム 山本 克巳

平成7-9年度合計予算額 16,760千円
(平成9年度予算額 5,639千円)

【要旨】草地における施肥窒素由来N₂O放出量は、緩効性窒素肥料、被覆窒素肥料、硝酸性窒素肥料、硝化抑制剤入り肥料の使用により、慣行の化成肥料よりも低下した。牧草生産量は、硝化抑制剤入り化成肥料及び硝酸性窒素肥料が、慣行肥料を施用した場合と同等であった。緩効性窒素肥料と被覆窒素肥料は地温が高く、降雨量の多い時期には慣行肥料区と同等の収量が得られた。草地ではCH₄吸収が認められたが、肥料試験区の間における大きな差異はなかった。以上の結果と資材調達や取り扱いの難易から、年4回の施肥時期に硝化抑制剤入り肥料を分施する方法、早春施肥時に慣行肥料(17ALL)を施用し、1~3番草刈り取り毎に緩効性窒素肥料を施用する方法を採用することで、N₂O放出量を慣行肥料施用に比べて、約50%程度に削減できると推定した。

家畜ふん尿(牛スラリー)の圃場還元に伴うCH₄放出量は、表面施用>溝施用>混和施用>土中施用であり、N₂O放出量は逆に、土中施用>混和・溝施用>表面施用であった。スラリーの貯留前に曝気処理を施すことにより、曝気終了後から圃場施用時までの貯留中にスラリーから放出されるCH₄放出量は、ポンプ循環曝気、水中ポンプ循環曝気、回転翼攪拌曝気のいずれの方法においても、無処理(貯留)に比べて約1/10に低減したが、ポンプ循環曝気ではN₂O放出が認められた。スラリー圃場還元時において、曝気処理後貯留液を表面施用した場合、無処理液施用区に比べて、CH₄放出量は1/10以下、N₂O放出量は1/2以下であり、貯留前の曝気処理が圃場施用時におけるCH₄発生量低減に有効であった。密閉型発酵制御槽における測定では、曝気期間中のCH₄放出量は無曝気区に比べ、1/4以下であった。この間N₂O放出は認められなかった。従って、スラリー貯留前の曝気処理はスラリーからのCH₄、N₂O放出低減に有効であると考えられる。

【キーワード】草地、亜酸化窒素、メタン、窒素肥料、家畜ふん尿

1. 序

二酸化炭素、メタン(CH₄)、亜酸化窒素(N₂O)等の温室効果ガスの増加に伴う地球温暖化現象は、草地畜産分野にも影響を与えていると考えられるが、一方で、草地畜産に起因する温室効果ガス

は地球温暖化へのある程度の寄与がある、と推察されている。しかしながら、草地畜産分野からの排出量の定量的な把握については不確定な部分が多い。

畜産経営の大規模化に伴い、家畜ふん尿は固体と液体が混合された濃厚な液状物であるスラリー状態で排出されることが多くなった。スラリーには、ただ貯留するだけのものや曝気を行う強制発酵等により処理・貯留されるものがあり、その形状は一樣ではないが、貯留後に圃場へ還元される。

草地畜産における温室効果ガスの発生は、家畜ふん尿からのCH₄及びN₂O、施肥窒素からのN₂Oによるものが多く、これらの発生量を抑制することが地球温暖化対策として重要であると考えられる。そこで、草地におけるCH₄及びN₂Oの発生量を、施肥法の改善、スラリーの処理方法及び圃場還元方法の改善により低減化することを試みた。

2. 研究方法

(1) 採草地における窒素肥料の形態が、CH₄、N₂Oフラックス及び牧草収量に及ぼす影響

①試験区の概要と栽培管理方法

栃木県西那須野町に位置する草地試験場内の、表土に火山灰を含む褐色低地土のオーチャードグラス（品種：マキバミドリ）単播草地（造成後2年目から4年目）において、栽培試験を行った。供試した草地は、年間4回刈り取り収穫し、肥料はN-P₂O₅-K₂Oを各々5 kg/10aずつ、4月上旬・5月下旬・7月中旬・9月中旬に施用した。圃場におけるガスフラックス測定は、1995年3月20日から1998年4月8日まで行った。

試験区は、表1に示すように、無窒素区、慣行施肥区、緩効性窒素肥料区、被覆窒素肥料区、硝酸性窒素肥料区、硝化抑制剤入り化成肥料(添加されている硝化抑制剤：ジシアンジアミド；DCD，2-アミノ-4-クロロ-6-メチルピリミジン；AM)を設け、表のような肥料を使用した。以降、試験区名は表1の()内のように表記する。牧草収量調査は刈り取り面積0.25m²(0.5m×0.5m)、4反復で行った。

表1 試験区の設定

		使用した窒素肥料名
無窒素区*		
慣行施肥区	(化成肥料区)	尿素入り高度複合777号
緩効性窒素肥料区	(CDU区)	31.0CDU窒素
被覆窒素肥料区	(LP70区)	くみあい40.0尿素被覆LPコート70号
	(LP30区)	くみあい40.0尿素被覆LPコート30号
	(ソグ40区)	くみあい被覆硝酸石灰40
硝酸性窒素肥料区	(硝カル区)	硝酸カルシウム
硝化抑制剤入り肥料区(DCD区)		くみあい尿素入り硫加燐安ジシアソ555号
	(AM区)	くみあいAM尿素化成高度45

*:尿素入り高度複合777号、硝化抑制剤入り肥料以外はリン及びカリウムを含まないため、P₂O₅として過燐酸石灰、K₂Oとして塩化カリウムを使用した

②ガスフラックスの測定方法

各測定地点には予め30cm×30cm、深さ5cmの無底鉄枠を深さ3cmまで打ち込んでおき、測定時にチャンバー(0.09m²,高さ20cm)をかぶせ、0,15,30分経過後にチャンバー-内空気をテドラーバツ

グに500mlずつ採取した(図1)。各々3反復の試験区を設定した。ガスフラックスの測定は1週間間隔で行った(積雪時は中止)。ただし、施肥後はN₂Oの放出ピークを過ぎるまで毎日測定した。ガス採取は毎回午前9時前後に行った。CH₄濃度はFID-GCにより、N₂OはECD-GCにより定量した。

ガスフラックスF (μg/m²/h) は以下の式に基づき算出した。

$$F = \rho \cdot h \cdot (\Delta c / \Delta t) \cdot 273 / T$$

ρ : ガスの密度 (mg・m⁻³) (CH₄-C:0.714, N₂O-N:1.25)

h : チャンバーの有効高さ (m)

Δc / Δt : チャンバー内ガス濃度の平均増加速度 (ppbv/h)

T : チャンバー内の平均気温 (°K)

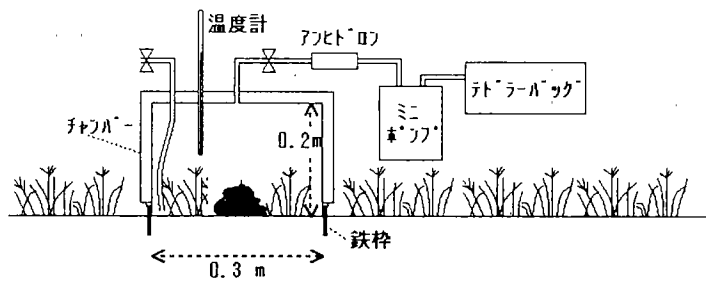
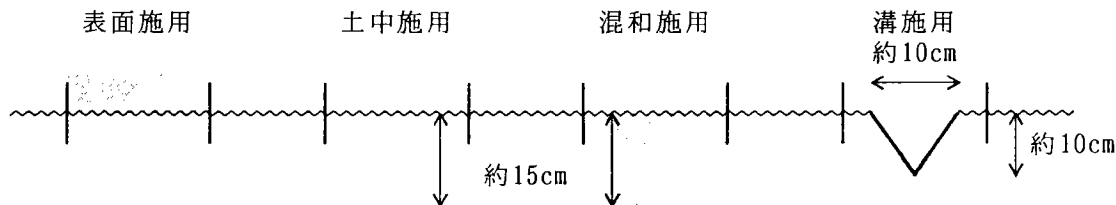


図2 ガス採取の概要

土壌水分(深さ10cm)はテンシオメーターにより測定し、地温は深さ2cm, 5cm, 10cmにおいて測定した。

(2) 草地におけるスラリー施用方法の違いがN₂O及びCH₄放出量に及ぼす影響

図1 スラリー施用方法の概念図



草地試験場内のロータリー耕起した圃場において、スラリーを表面施用, 土中施用(深さ約15cmに条施), 混和施用(深さ約15cmまでの土壌と混和), 溝施用(深さ, 幅とも約10cmの溝に条施)した。概念図を図1に示す。スラリー施用量は6t/10a。土壌は表土に火山灰を含む褐色低地土である。ガスフラックスの測定は試験(1)と同様に行った。

3. 実験結果及び考察

(1) 採草地における窒素肥料の形態が、CH₄, N₂Oフラックス及び牧草収量に及ぼす影響

① 採草地からのN₂O発生量

1995年3月20日から1998年4月8日の間、約3ヶ年におけるCH₄-C, N₂O-Nの積算放出量を示した(表2)。年間を通じ、いずれの試験区からもN₂Oが放出されており、特に慣行施肥区である化成肥料区が他の区に比べて、最も多い積算放出量を示した。表3に各施肥時の施肥窒素量に対するN₂O中窒素量の比を示した。N₂O-N放出量/施肥N量は、化成肥料区がいずれの年次でも最も高かったのに対し、その他の区では0.2~0.5%であり、用いた肥料のいずれにおいても放出量は抑制されており、特にLP70、硝カル区が低かった。したがって、緩効性窒素肥料区(CDU)、

被覆窒素肥料(LP30及び70、ワグ40)、硝酸カルシウム硝化抑制剤入り化成肥料(DCD, AM)のいずれも、N₂O放出量の抑制という点においては、有効であると考えられた。またいずれの試験区においても、CH₄吸収が認められたが(表2)、試験区の間大きな差異はなかった。

表2 通年CH₄-C, N₂O-N積算放出量(mg/m²/yr)

	CH ₄ -C			N ₂ O-N		
	95	96	97	95	96	97
無N区	-140.6±43.7	-146.2±28.2	-143.6±29.5	42.8±9.2	40.6±7.6	44.4±9.2
化成区	-121.8±36.1	-148.6±30.6	-155.1±41.2	451.0±80.2	170.7±26.5	275.3±41.2
CDU区	-171.7±53.1		-141.8±32.4	100.9±13.3		152.6±16.5
LP30区			-149.2±31.1			123.5±20.0
LP70区	-191.4±29.0		-182.0±36.6	103.5±11.3		85.6±10.4
ワグ40区			-142.0±29.0			120.6±15.0
硝カル区	-107.4±25.0		-168.5±27.0	116.2±20.4		168.5±26.9
DCD区		-131.4±27.6	-150.2±26.3		111.0±15.8	134.5±24.7
AM区		-120.9±24.3	-144.5±31.0		93.7±19.5	130.6±23.7

95: 95年3月20日~96年3月25日 96: 96年4月9日~97年4月8日 97: 97年4月9日~98年4月8日

表3 各施肥時期別のN₂O-N放出量/施肥N量比率(%)

		化成区	CDU区	LP30区	LP70区	ワグ40区	硝カル区	DCD区	AM区
		95	早春	0.3	-0.0		0.0		0.1
	1番刈後	1.1	0.1		0.1		0.3		
	2番刈後	4.4	0.2		0.4		0.8		
	3番刈後	1.2	0.2		0.2		0.2		
	通年	2.0	0.3		0.3		0.4		
96	早春	0.1						0.0	0.1
	1番刈後	0.2						0.6	0.4
	2番刈後	0.9						0.3	0.3
	3番刈後	0.6						0.1	0.1
	通年	0.7						0.4	0.3
97	早春	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
	1番刈後	0.8	0.3	0.3	0.1	0.4	0.2	0.3	0.4
	2番刈後	1.6	1.0	0.7	0.4	0.6	0.2	0.8	0.6
	3番刈後	1.6	0.4	0.2	0.0	0.1	0.0	0.3	0.5
	通年	1.2	0.5	0.4	0.2	0.4	0.2	0.5	0.4

各区とも無窒素区のN₂O放出量を差し引いて、補正した

95: 95年3月20日~96年3月25日 96: 96年4月9日~97年4月8日 97: 97年4月9日~98年4月8日
 95施肥日 早春: 3月20日 1番草刈後: 5月9日 2番草刈後: 6月28日 3番草刈後: 8月29日
 96施肥日 早春: 4月10日 1番草刈後: 5月24日 2番草刈後: 7月16日 3番草刈後: 9月19日
 97施肥日 早春: 4月10日 1番草刈後: 5月26日 2番草刈後: 7月16日 3番草刈後: 9月10日

②牧草収量及び成分

オーチャードグラスの乾物収量の調査結果を表4に示した。施肥後の天候にもよるが、各年次とも窒素溶出速度が早い肥料区(化成、硝酸カルシウム、硝化抑制剤入り肥料)において、収量が多かった。1番草は品質がよく、最も収量が望めることから、採草地において最も重要視される。

一番草の収量で、化成肥料と同等であったのは、硝化抑制剤入り肥料区と硝酸カルシウム区であった。このことから、CDUやLP30および70、ワグ40は、窒素溶出に地温や土壌水分の影響を受けやすいこともあり、早春施肥には向いていないと判断できる。しかしながら2番草、3番草になると、CDUやLP30および70、ワグ40区での多収が認められたことから、地温の上昇や降雨量の増大が見込める時期または地域では、これらの肥料も有効に使用できる場合が想定できる。また硝酸カルシウムは水に溶けやすく、施用後数日間の降水量に注意する必要がある。

表4 オーチャードグラス乾物収量(g/0.25m²)

	無N区	化成区	CDU区	LP30区	LP70区	ワグ40区	硝化区	DCD区	AM区
95									
1 番草	27.5	65.4	41.2		21.7		72.1		
2 番草	28.2	76.9	72.3		54.9		70.3		
3 番草	46.4	94.1	98.9		94.7		89.9		
4 番草	41.7	67.4	72.7		55.2		48.2		
年間合計	143.8	303.8	285.1		226.5		280.5		
96									
1 番草	37.9	118.7	81.4		66.8		113.4	115.1	105.5
2 番草	40.6	85.5	91.6		93.3		103.4	79.7	103.3
3 番草	37.8	91.4	90.1		88.7		105.2	90.7	86.2
4 番草	12.9	58.2	41.7		30.9		49.2	45.0	44.7
年間合計	129.2	353.8	304.8		278.7		371.2	330.5	339.7
97									
1 番草	31.4	131.3	82.9	70.3	67.0	63.4	137.2	99.1	110.2
2 番草	32.1	97.1	90.1	116.9	94.5	141.9	94.7	95.2	89.9
3 番草	31.7	77.4	84.2	92.6	88.4	110.0	82.1	75.3	80.0
4 番草	15.5	53.9	62.1	32.9	44.2	49.5	44.9	63.4	48.1
年間合計	110.7	359.7	319.3	312.7	294.1	364.8	358.9	333.0	328.2
95年刈取日	1 番草: 5月8日	2 番草: 6月27日	3 番草: 8月28日	4 番草: 10月23日					
96年刈取日	1 番草: 5月22日	2 番草: 7月15日	3 番草: 9月17日	4 番草: 11月12日					
96年刈取日	1 番草: 5月22日	2 番草: 7月14日	3 番草: 9月9日	4 番草: 11月11日					

畜体からのメタン発生量は牧草の品質による影響を受けると思われる。そこで96年次の試料において、牧草中の粗繊維量(NDF値)と他成分(N,P,Ca,Mg,K)の分析を行った。NDF値(表5)は供試した肥料間に大きな差異はなく、飼養標準に記載されている数値と比較しても、正常値の範囲内であった。また他成分(N,P,Ca,Mg,K)についても同様であった。それ故に施肥肥料の変更は、牧草成分的にも問題ないと考えられた。

表5 オーチャードグラスNDF量(乾物%)

	無窒素	化成	CDU	LP70	硝カル	DCD	AM
1 番草	57.9	63.4	59.9	61.4	61.2	63.3	62.4
2 番草	60.8	65.0	61.6	65.5	62.7	66.7	64.5
3 番草	64.3	65.2	64.5	69.2	63.5	69.5	64.9
4 番草	59.4	54.1	57.0	49.8	48.9	51.0	47.4

1 番草刈取:96/5/22 2 番草刈取:96/7/15 3 番草刈取:96/9/17 4 番草刈取:96/11/12

③N₂O放出量削減に有効な施肥方法と予想される削減率

以上の①～②の結果を元に、N₂O放出抑制に効果的で、資材調達や取り扱いが容易であり、収量等に問題の少ない施肥管理方法を採用した場合の、N₂O放出量削減率を試算して表6に示した。年4回の肥料の施用に、硝化抑制剤入り肥料を分施する方法、早春施肥時に慣行肥料(17ALL)を施用し、1～3番草刈り取り後に緩効性窒素肥料を施用する方法を採用することにより、N₂O放出量を約50%程度低減化できるものと思われる。ここに示した方法以外にも、被覆肥料を組み合わせ、施肥時期毎に肥料の種類を変えることで、さらにN₂O放出量の低減化が可能な施肥管理方法が考えられるが、施肥管理の煩雑さ等により、採用しなかった。

表6 N₂O放出量低減化に有効な施肥方法と予想N₂O削減率

施肥管理方法	削減率
全分施時、硝化抑制剤入り化成肥料(DCD,AM)の使用	43～57%減
早春施肥時、慣行肥料(17ALL)+残り分施時緩効性窒素肥料(CDU)の使用	47%減

施肥は早春、1番、2番、3番刈後に行い、施用量はN-P₂O₅-K₂O=5kg/10a。

(2) 草地におけるスラリー施用方法の違いがN₂O及びCH₄放出量に及ぼす影響

スラリーの施用方法別のN₂O及びCH₄放出量の測定結果を表7に示した。圃場におけるN₂O放出量はスラリー表面施用区が最も少なく、次いで混和施用区及び溝施用区であり、上中施用区が最も多かった。一方、CH₄放出量は逆に、最も少ないのは土中施用区であり、次いで混和施用区、溝施用区の順であり、表面施用区が最も多かった。

表7 スラリー施用方法別N₂O及びCH₄放出量及び放出率

	N ₂ O放出*	CH ₄ 放出*	N ₂ O-N/N施用量(%)	CH ₄ -C/C施用量(%)
無施用区	45.3	—	—	—
表面施用区	72.3	489.4	0.09	0.24
土中施用区	142.0	114.3	0.33	0.05
混和施用区	102.0	184.9	0.19	0.09
溝施用区	100.0	360.6	0.19	0.17

*:N₂O-NまたはCH₄-C mg/m²/43day スラリー成分(T-C:3.4%,T-N:0.5%)

CH₄放出量は放出していた期間のみの積算量。無施用区は常に負の放出を示していたが、ここには示していない。各放出率は無施用区の放出量を差し引いて積算した。

スラリー中の無機態窒素は、そのほとんどがアンモニア態窒素(NH₄-N)の形態で存在している。表面施用区でN₂O放出量が少ないのは、スラリー中のアンモニア成分が施用時に土壤に吸着されずに大気中に拡散したため、土壤中でのN₂O生成量が少なかったものと考えられる。

揮散したアンモニアは、降雨により地上に再降下した場合、土壤中で硝化作用を受け、N₂Oが発生すると推定される。それ故に、スラリー施用時のアンモニア揮散は、極力抑制する必要がある。

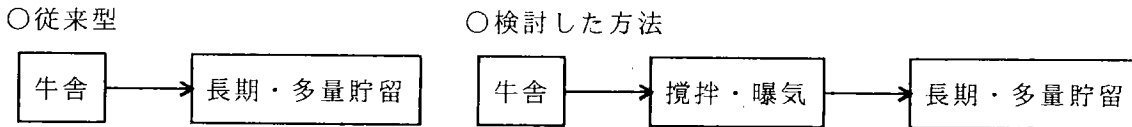
本試験では、N₂O放出量の多い施用方法では逆にCH₄放出量が少ない結果になり、N₂OとCH₄放出量を同時に削減する方法は明確にならなかった。

そこで、スラリーを圃場へ投入する前の貯留時に前処理を施して、圃場施用に伴うN₂O、CH₄放出量を削減する方策を検討した。

(3) スラリー貯留時におけるCH₄、N₂O放出量低減化の検討

スラリーはふんと尿が分離されず、固体と液体が混じったどろどろした濃厚な液状物である。スラリーには、ただ貯留するだけのものや曝気を行う強制発酵等により処理された後に貯留されるものがあり、その形状は一様ではないが、貯留後に圃場に還元される。その貯留されている間は嫌気状態におかれるため、CH₄が生成され、その全てが、大気中に放出されている。そこで、スラリー貯留中に発生するCH₄とN₂Oを曝気処理を行うことにより低減化することを試みた(図2)。

図2 検討した曝気処理方法



① 曝気処理に伴うCH₄、N₂O放出量の測定

スラリー曝気処理中のCH₄、N₂O放出量を、発酵制御槽で測定した。発酵制御槽は密閉型の回転翼攪拌曝気装置で、仕様は表8の通りである。放出量は曝気用圧送空気と発酵槽を通じた空気との濃度差から放出量を積算した。

表8 発酵制御槽 装置仕様

容量	200リットル
処理液量	150リットル
攪拌モーター	1基(出力 0.4kW/200V、インバータにより制御)
泡切りモーター	1基(出力 0.4kW/200V)
曝気量	コンプレッサーからの圧送空気をバルブ制御

曝気中のCH₄放出量は無曝気に比べて1/4以下に低下した(表9)。N₂O放出量については曝気処理の影響は認められなかった。本試験中、発酵槽は温度変化が少なく、発酵現象は起こらなかったものと推察されるが、CH₄放出量が減少したことから、スラリー貯留時のCH₄放出量低減には発酵促進が必ずしも必要ではなく、スラリーの嫌気的状態の解除が有効であることが示唆された。しかしながら、曝気によりNH₄-Nの揮散は避けられず(表10)、何らかの対策が必要である。

表9 曝気中及び処理後貯留時のCH₄、N₂O放出量

曝気量	15 l/min		貯留時 ^{*2}	
	曝気時 ^{*1}		CH ₄ -C	N ₂ O-N
曝気液	9	0	1	0
無曝気	41	0	15	0

曝気期間：15日間 曝気タンク容量：200ℓ(充填量150ℓ)
 貯留期間：58日間 貯留タンク容量：11ℓ
 *1:CH₄-C及びN₂O-N放出量単位はg/days
 *2:CH₄-C及びN₂O-N放出量単位はg/m²/days

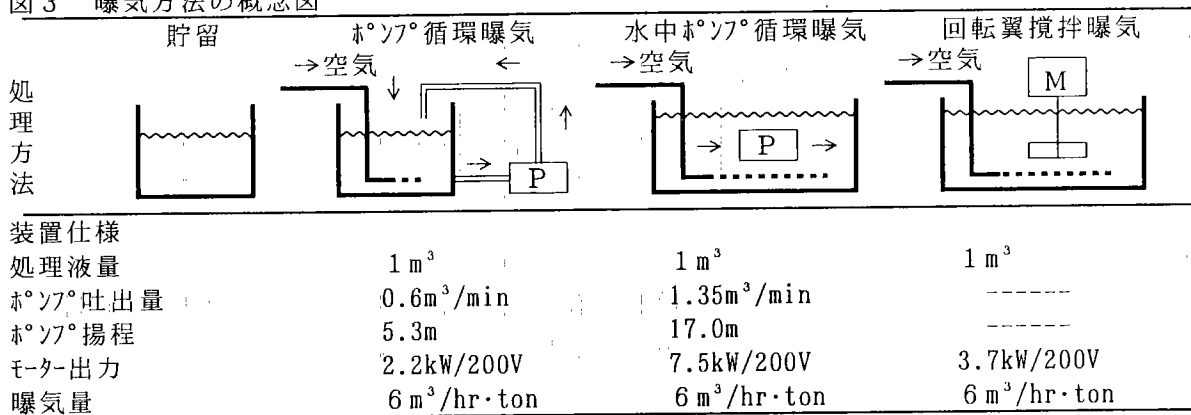
表10 処理液性状の比較

曝気量	15 l/min	
	曝気前	曝気直後
水分(%)	93.1	93.2
pH	7.59	9.34
T-N(%)	0.46	0.40
T-C(%)	2.74	2.73
NH ₄ -N(%)	0.28	0.21
NO ₃ -N(%)	ND	ND

②曝気処理後貯留時のCH₄,N₂O放出量に及ぼす曝気処理方法の検討

曝気処理方法として、ポンプ循環曝気,水中ポンプ攪拌曝気,回転翼攪拌曝気の3方法について検討した(図3)。各方法とも、液状きゆう肥を曝気槽に投入後、装備された装置により、ふん尿の曝気処理を行う。これらの方法による処理後の各処理液を11%採取し、液表面からのガスフラックスを測定した。なお曝気処理量は1m³、曝気量は6m³/hr/t、168時間連続運転である。

図3 曝気方法の概念図



曝気処理終了後貯留時のCH₄放出量は、無処理(貯留)に比べて約1/10に低減した。N₂O放出量は水中ポンプ循環曝気及び回転翼攪拌曝気では減少したが、ポンプ循環曝気では逆に増加する結果となった(表11)。

表11 処理後貯留時のCH₄,N₂O発生量

	貯留	ポンプ循環曝気	水中ポンプ循環曝気	回転翼攪拌曝気
CH ₄ -C*	48.16	0.05	0.87	0.57
N ₂ O-N*	0.39	118.03	0.08	0.00

測定期間：94年11月7日～95年4月18日 貯留量：11% *：CH₄-CまたはN₂O-N g/m²/162day

ポンプ循環曝気に供したスラリーは、ポンプ出力の関係上、水で2倍に希釈する必要があり、表12に示したように、処理液の性状はT-N量等、他処理区に比べ著しく異なっている。またポンプ循環曝気ではシャワーリングを必然的に行うため、酸素混入量が他区に比べ多く、曝気中に硝酸態窒素(NO₃⁻-N)生成が進み、この生成したNO₃⁻-Nの脱窒がN₂O放出量の増大につながったものと推測された。以上より、曝気処理方法としては、水中ポンプ循環曝気、回転翼攪拌曝気が、貯留時のCH₄発生量低減化に有効であると判断された。

曝気処理後のスラリー貯留液を6t/10aの割合でロータリー耕起した圃場に表面施用し、N₂O及びCH₄フラックスを測定した(表13)。CH₄放出量は、いずれの処理区も無処理液施用区に比べて、1/10以下に低減化した。従って、貯留前の曝気処理が圃場施用時におけるCH₄発生量低減化に有効であった。N₂O放出量は曝気処理により1/2以下になったが、曝気処理液中のNH₄⁺-N濃度が無処理区に比べて低下していることから(表12)、発酵曝気時にNH₄⁺-Nの揮散が起り、投入されたスラリー中のNH₄⁺-N量が減ったことによるものと推定される。発酵曝気処理中のアンモニア揮散については今後の検討課題となるが、局所対策で対応が可能であると考えられる。

表12 処理液の比較

	曝気前		曝気直後	
	無処理	ポンプ循環曝気	水中ポンプ循環曝気	回転翼攪拌曝気
水分(%)	89.9	95.5	86.7	90.5
pH	7.0	6.4	7.2	7.7
T-N(%)	0.46	0.15	0.47	0.46
T-C(%)	4.25	1.81	5.83	3.80
NH ₄ -N(%)	0.22	0.01	0.11	0.14
NO ₃ -N(%)	ND	0.08	0.01	0.00
圃場施用前				
	無処理	ポンプ循環曝気	水中ポンプ循環曝気	回転翼攪拌曝気
水分(%)	90.1	94.7	84.7	90.1
pH	7.20	7.61	7.13	7.07
T-N(%)	0.44	0.14	0.48	0.41
T-C(%)	4.08	2.05	6.17	3.55
NH ₄ -N(%)	0.20	0.01	0.11	0.11
NO ₃ -N(%)	0.00	0.01	0.00	0.00

表13 貯留液圃場施用時のふん尿貯留前処理別CH₄, N₂O発生量

	CH ₄ -C放出量	CH ₄ 放出割合* ²	N ₂ O-N放出量	N ₂ O放出割合* ²
	mg/m ²	CH ₄ -C/全C量%	mg/m ²	N ₂ O-N/全N量%
無処理	507	0.17	45	0.10
ポンプ循環曝気*1	49	0.04	19	0.06
水中ポンプ攪拌曝気*1	49	0.01	17	0.01
回転翼攪拌曝気*1	44	0.02	18	0.02

測定期間：95年4月26日～6月13日 施用量：6t/10a

*1：施用後32日間の総計で、原液のみ50日間の総計

*2：施用後の放出量が施用成分量に占める割合であり、無施用区の値により補正をしている。

③スラリー攪拌曝気処理によるN₂O及びCH₄放出量の低減化の検討

①②における数値をもとに、スラリー貯留前に15日間攪拌曝気処理を行い、その後162日間貯留し、圃場に表面施用した場合のN₂O及びCH₄放出量低減効果を、乳牛ふん尿の1kgあたり(表14)、全炭素及び全窒素量あたり(表15)で試算した。その結果、スラリー貯留前に15日間の攪拌曝気処理を行うことで、乳牛ふん尿kgあたりでは、CH₄放出量が約1/8、N₂O放出量は約1/6に低減化し、CH₄-C/T-Cで約1/8、N₂O-N/T-Nで約1/5に低減化する、と試算される。また曝気処理に要したエネルギーや揮散物質の影響についての検討をしていないため、この点が今後の検討課題である。

表14 乳牛ふんkgあたり処理法別CH₄, N₂O発生量

処理方法		貯留期間		小計	圃場施用	合計
貯留* ¹	CH ₄	273	+ 219	492	85	577
	N ₂ O	0	+ 2	2	15	17
		曝気期間	貯留期間	小計	圃場施用	合計
攪拌曝気* ²	CH ₄	60	3	63	7	70
	N ₂ O	0	0	0	3	3

単位：CH₄-CまたはN₂O-N mg/kg 圃場施用は表面施用をした

*1：貯留期間は15日+162日間

*2：回転翼攪拌曝気で、曝気期間は15日、貯留期間は162日間

表13 乳牛ふん処理法別CH₄-C/T-C, N₂O-N/T-N発生割合

処理方法		貯留期間		圃場施用
貯留* ¹	CH ₄	0.07~0.37	0.09	0.17
	N ₂ O	0	0	0.10
攪拌曝気* ²	CH ₄	0.02~0.10	0	0.02
	N ₂ O	0	0	0.02

単位：CH₄-C/T-C%またはN₂O-N/T-N% 圃場施用は表面施用をした

*1：貯留期間は15日+162日間

*2：回転翼攪拌曝気で、曝気期間は15日、貯留期間は162日間

4. 得られた成果

1. 草地における施肥窒素由来N₂Oの放出量は、緩効性窒素肥料、被覆窒素肥料、硝酸性窒素肥料、硝化抑制剤入り肥料の使用により、慣行の化成肥料よりも低下した。
2. 牧草生産量は、硝化抑制剤入り化成肥料及び硝酸性窒素肥料が、慣行肥料を施用した場合と同等であった。緩効性窒素肥料と被覆窒素肥料は地温が高く、降雨量の多い時期には慣行肥料区と同等の収量が得られた。
3. 草地ではCH₄吸収が認められ、肥料試験区の間における大きな差異はなかった。
4. 上記1. 2の結果と資材調達や取り扱いの難易から、年4回の施肥時期に硝化抑制剤入り肥料を分施する方法、早春施肥時に慣行肥料(17ALL)を施用し、1~3番草刈り取り毎に緩効性窒素肥料を施用する方法を採用することで、N₂O放出量を慣行肥料施用に比べて、約50%程度に削減できると推定された。
5. 牛スラリーの圃場還元に伴うCH₄放出量は、表面施用>溝施用>混和施用>土中施用であり、N₂O放出量は逆に、土中施用>混和施用、溝施用>表面施用であった。
6. スラリーの貯留前に曝気処理を施すことにより、曝気終了後から圃場施用時までの貯留中に、スラリーから放出されるCH₄放出量は、ポンプ循環曝気、水中ポンプ循環曝気、回転翼攪拌曝気のいずれの方法においても、無処理(貯留)に比べて約1/10に低減した。しかし、ポンプ循環曝気ではN₂O放出が認められた。
7. 曝気処理後貯留液の圃場での表面施用では、無処理液施用区に比べて、CH₄放出量は1/10以下、N₂O放出量で1/2以下であった。貯留前の曝気処理が圃場施用時におけるCH₄発生量低減にも有効であった。
8. 密閉型発酵制御槽における測定では、曝気期間中のCH₄放出量は無曝気区に比べ、1/4以下であった。この間のN₂O放出は認められなかった。
9. スラリー貯留前の曝気処理は、スラリーからのCH₄、N₂O放出低減化に有効であり、15日間の攪拌曝気処理を行うことで、CH₄、N₂O放出量は大幅な低減化が可能である、と推定された。

[研究発表の状況]

(1) 口頭発表

- ① 渋谷 岳, 山本克巳, 野中邦彦: 日本土壤肥料学会講演要旨集, 42, 176(1996)

採草地における亜酸化窒素の発生量の削減

- ② 渋谷 岳，山本克巳，野中邦彦，伊吹俊彦，田中孝一，梅田直円：日本土壤肥料学会講演要旨集，43，234(1997)

乳牛ふん尿の処理方法別メタン放出量

(2) 論文発表

- ① 渋谷岳、木村武、山本克巳、野中邦彦：草地飼料作研究成果最新情報 10，41-42(1995)
草地における温室効果微量ガスの排出係数
- ② 山本克巳、渋谷岳：畜産における温室効果ガスの発生制御 第1集，95-111(1996)
草地からのメタン及び亜酸化窒素の発生とその抑制 (b)亜酸化窒素
- ③ 山本克巳、渋谷岳：畜産における温室効果ガスの発生制御 第2集，113-129(1997)
草地からのメタン及び亜酸化窒素の発生とその抑制 (b)亜酸化窒素
- ④ 渋谷岳、山本克巳、近藤熙、野中邦彦：農業環境研究成果情報 13，71-72(1997)
家畜ふん尿貯留槽からのメタン発生量の把握と発生制御技術の開発
- ⑤ 渋谷 岳：平成9年度 家畜ふん尿処理利用研究会資料，14-24(1997)
液状きゅう肥施用に伴う悪臭及び温室効果ガス対策
- ⑥ 山本克巳、渋谷 岳：畜産における温室効果ガスの発生制御 第三集，128-145(1998)
草地からのメタンおよび亜酸化窒素の発生とその制御 (b) 亜酸化窒素