

(資料 1 )

安定同位体窒素を用いた牧草地における家畜尿中窒素の  
再吸収利用効率の測定

Grassland Science 投稿予定

西脇亜也・三崎さおり・菅原和夫

## はじめに

放牧草地の特徴は、牧草の養分が放牧家畜によって採食され糞尿として排泄された後、牧草に再吸収されるという、物質の再循環がなされる点であり、窒素もその例外ではない。放牧家畜に採食された窒素の大部分は体外に排泄され、一部は牧草に再吸収され草地生態系を再循環するが、一部はアンモニア揮発、脱窒、溶脱などにより系外へ移行する。系外へ移行した窒素は、牧草生産生態系の損出であり、環境に負荷を与えることになる。よって、投入された窒素が効率的に植物に再吸収され、牧草生産に反映されることが望ましい。

家畜尿中の窒素の草地に散布された後の動態に関しては、杉本ら（1994）による暖地型牧草を主体とする草地での測定例があり、尿中窒素の大部分は牧草に再吸収利用されないことが示されている。しかし、我が国では寒地型牧草を主体とする草地での測定例はなく、尿中窒素の放牧草地での動態については不明な点が多い。

そこで、本研究では、寒地型牧草を主体とする草地での家畜尿の排泄地点における家畜尿中窒素の再吸収利用率を、安定同位体窒素を指標として用いた方法で明らかにすることを試みた。

## 材料および方法

東北大学農学部附属川渡農場内のオーチャードグラス草地において10月8日より12月3日まで行った。これらは播種された牧草地であり、牧草が優占し種多様性は低い。実験に用いた牛尿は同農場内の搾乳牛より採取した。採取した牛尿に99.9atm%の重窒素( $^{15}\text{N}$ )を含む尿素態窒素を添加し、尿中 $^{15}\text{N}$ の存在率比を約1.9atm%に調整した。

対象草地に1.5m×1.5mの区画を設定し、中心に牛尿を半径8cmとなるように施用した。その際、オーチャードグラス草地には実際の放牧草地での排尿地点を想定した少量施用区(50cc, 23.5gN/m<sup>2</sup>)、その3倍量の多量施用区(150cc, 70.5gN/m<sup>2</sup>)、無処理区の3処理区を設けた。反復はいずれの区も4反復とした。尿の施用量は以下のようにして決定した。すなわち、放牧地での観察により、約2リットルの尿が約0.4~0.8m<sup>2</sup>の面積に散布されていたため、0.8m<sup>2</sup>あたり2リットルを少量施用区の50cc施用区とし、その3倍量を散布する区を多量施用区の150cc施用区とした。Addiscott et al(1991)によれば、放牧雌牛は約2リットルの尿を約0.4m<sup>2</sup>の面積に散布するとのことであるので、この場合、今回の少量散布区と多量散布区の間程度の散布量である。今回の多量散布区の場合、0.26m<sup>2</sup>と言う小面積に2リットルの尿が散布されることを想定している。このような場面は放牧地では観察されなかったが、排尿地点が重なることも想定されるため、そ

のような場合における尿中窒素の牧草による回収率を測定した。

施用尿の窒素量、 $^{15}\text{N}$ 量は表1に示した。尿施用後、オーチャードグラス草地では14、28、56日目に、区画中心より0~8cm(中心部)および8~18cm(周辺部)の牧草を採取した。14、28日目は地上部のみ、56日目は地上部と地下部を採取した。採取した牧草は78℃で48時間乾燥後に秤量し、全窒素含有率および $^{15}\text{N}$  atom%の分析に供した。全窒素含有率はケルダール法、 $^{15}\text{N}$  atom%は発光分析法により測定した。試料の $^{15}\text{N}$  atom%から自然界の $^{15}\text{N}$  atom%(0.365atom%)を差し引いて、試料の $^{15}\text{N}$  excess%を求めた。牧草の $^{15}\text{N}$  excess%を尿の $^{15}\text{N}$  excess%で除した値を、牧草窒素中の尿由来窒素の割合とした。また、試料の全窒素含有量に $^{15}\text{N}$  excess%を乗じて $^{15}\text{N}$  excess量を求め、牧草 $^{15}\text{N}$  excess量を尿 $^{15}\text{N}$  excess量で除した値を、牧草による尿窒素回収率とした。

## 結果および考察

### 1, 尿施用地点における窒素含有率の変化

尿施用地点とその周辺の牧草の地上部における窒素含有量の変化を図1と図2に示した。50cc施用区、150cc施用区とも、施用地点(中心部)の窒素含有率は、尿施用後14日以降に上昇しており、28日後には無処理区の約2倍の濃度となった。注目すべきなのは、施用地点の周辺部の窒素含有率も上昇していることであり、特に150cc施用区でその傾向が著しい。このことは、施用した尿中の窒素が施用地点の周辺部でも利用されていることを示唆する。

### 2, 尿施用地点における $^{15}\text{N}$ excess%の変化

尿施用地点とその周辺の牧草の地上部における $^{15}\text{N}$  excess%の変化を図3と図4に示した。窒素含有率と同様に、50cc施用区、150cc施用区とも、施用地点(中心部)の $^{15}\text{N}$  excess%は、尿施用後14日以降に上昇しており、28日後にはピークとなった。時系列変化パターンを窒素含有率と比較すると、56日目における $^{15}\text{N}$  excess%の低下の度合いが少ない他は極めて似通っている。このことは、図7に示したように、 $^{15}\text{N}$  excess%と窒素含有率の相関が、尿施用後14日と28日の試料については極めて高いことにも示されている。これらの結果は、尿施用後の施用地点(中心部)と周辺部における窒素含有率の上昇が尿中窒素の吸収・利用によることを示している。

このことは、放牧地において散布された尿中窒素は、排尿地点の牧草によってだけでなくその周辺の牧草によっても吸収・利用されることを意味する。

図5と図6を見ると、散布地点の周辺に位置する牧草における $^{15}\text{N}$  excess%が高い

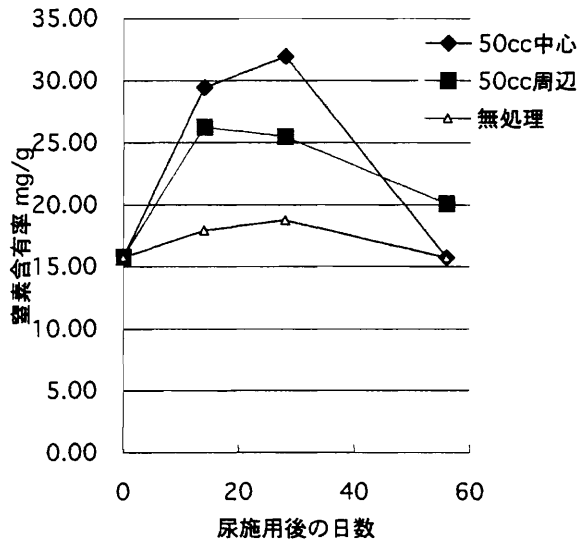


図1 尿50cc施用地点の地上部の窒素含有率変化

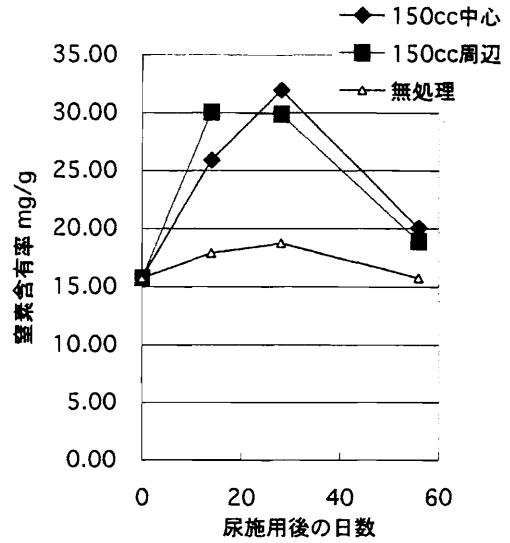


図2 尿150cc施用地点の地上部の窒素含有率変化

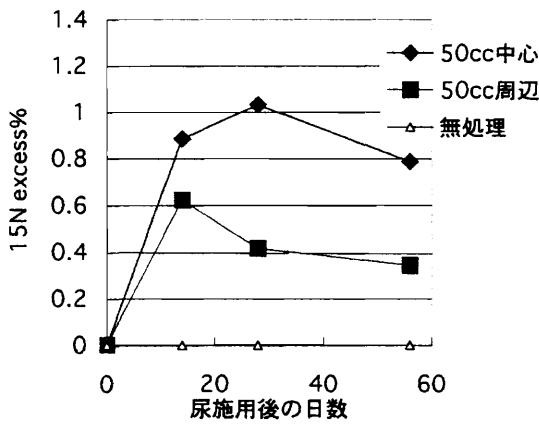


図3 尿50cc散布地点での地上部の15N excess%

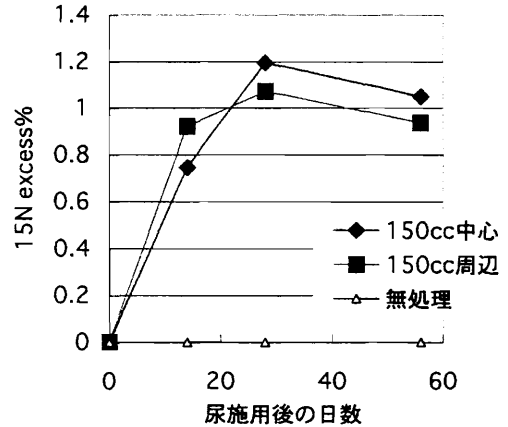


図4 尿150cc散布地点での地上部の15N excess%

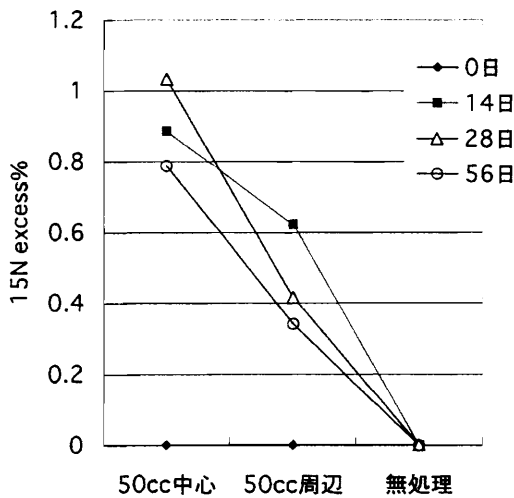


図5 尿50cc散布地点の15N excess%

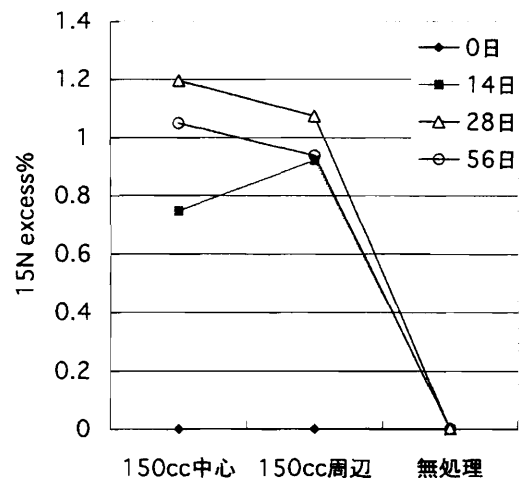


図6 尿150cc散布地点の15N excess%

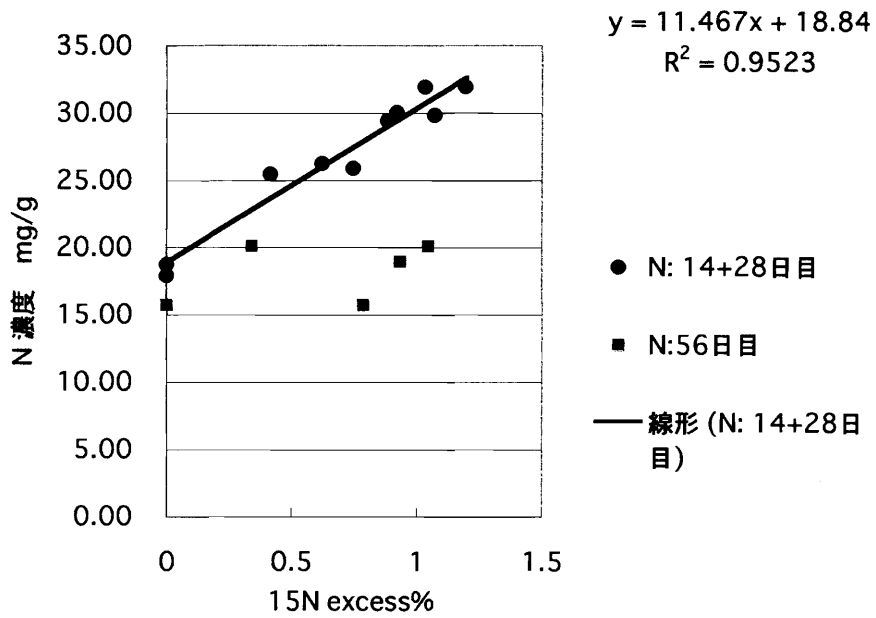


図7 15N excess% と N 濃度との関係

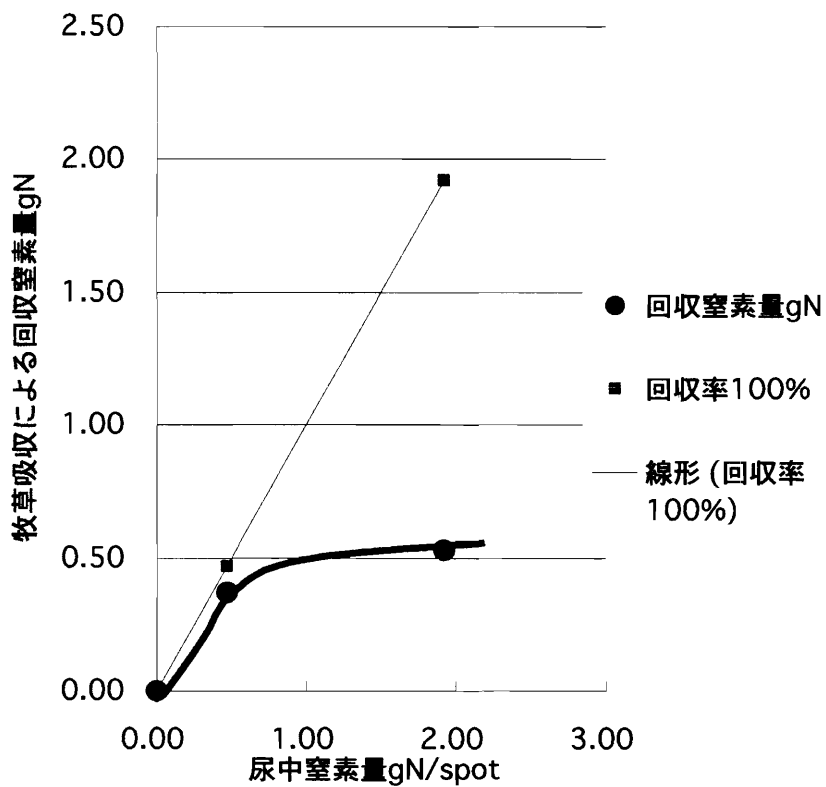


図8 施用尿中窒素量と牧草吸収による回収窒素量との関係

こと、特に 150cc 散布区での周辺部の濃度が高いことが良くわかる。今回、収穫し乾物重と窒素濃度、 $^{15}\text{N}$  excess%を測定した牧草地の面積は、周辺部(約 816m<sup>2</sup>)が中心部(約 200m<sup>2</sup>)の約 4 倍であるので、吸収・利用された尿中窒素量はむしろ周辺部の方が多いことになる。表 1 には、牧草による尿中窒素の吸収・利用量を算出した過程と結果を示しているが、周辺部の吸収・利用された尿中窒素が極めて多いことがわかる。

なぜ尿を施用した地点だけでなく周辺の牧草にも尿中窒素が多く利用されたのだろうか？この理由としては、1、施用された尿が表面を流れて周辺に影響した、2、施用された尿が地下で散布地点を越えて拡散した、3、周辺の牧草の根が散布地点にも入り込んでおり、その根が吸収した。といった可能性が考えられる。尿施用時の観察によれば、尿は施用時に速やかに土壌中に浸透し表面流亡は見られなかったので 1 の可能性は低いと考えられる。2 と 3 は共に考えられるが、そのどちらがより可能性が高いのかについては、判断できない。それは、土壌中での尿由来窒素の水平移動パターンが不明であることと、根の水平分布が不明であることによる。

尿は集中還元されるため、局地的に窒素が極めて高濃度となり牧草による吸収・利用可能な量を超え、回収率は低い可能性が指摘されていたが、もしも散布地点の周辺牧草も吸収・利用するとすると、実際には回収率が高い可能性がある。

### 3、尿中窒素の回収率

牧草による尿中窒素の回収率は、オーチャードグラス草地での尿 50cc 施用区で 78.51%、150cc 施用区で 37.37%であった。

どちらの施用区でも、多くの尿中窒素が吸収されずに土壌中に残留したり揮発や脱窒による大気中への移動や地下水とともに流亡したものと考えられる。尿 50cc 施用は、窒素量に換算して 23.5kg/10a と比較的少なかったため回収率が 80%近くと高かったが、150cc 施用では 70.5kg/10a と極めて多く、牧草による吸収量を大幅に上まわったため回収率が 37.37%と低くなったものと考えられる。東北地方での採草地での窒素施用量は 15kg~20kg/10a 程度であり、今回の尿中窒素の施用量よりも少ない。

図 8 は、施用した尿中窒素量と吸収・利用した尿中窒素量との関係を示している。この図を見ると先の予測の妥当性が高いことが伺える。30kgN/10a を越える尿中窒素の施用は、吸収・利用した尿中窒素量の増加には寄与していない。尿の施用量が多いほど吸収されずに環境負荷となる窒素量が増加することがわかる。Addiscott et al (1991)によれば、放牧雌牛は約 2 リットルの尿を約 0.4m<sup>2</sup> の面積に散布するとのことであるので、その場合、約 50%の回収率となることが予想される。

図 6 を見ると 150cc 施用区では、施用地点の周辺 10cm 域での尿由来窒素の割合が多く、さらに側方に位置する牧草による吸収・利用の可能性もある。その場合、回

表1. 牧草地への15Nマーカー窒素を含有させた牛尿散布後の日数及び位置の違いによる植物体中の尿中由来窒素の変動。

オーチャードグラス	処理区	日数	部位	位置	尿中全N		尿の15N		単位乾物		植物体中		植物体15N		尿由来15N		尿15N回			
					量	量	excess存	尿中15N	重量あた	単位面積	15N存在	Nexcess	植物体15N	excessの存	由来15N	由来窒素	収率=尿			
					g N	gN/m2	15N	mg15N	りの窒素	あたりの	15N	15N	植物体15N	在比率=尿由	由来窒素の割合	gN	%			
					/spot		excess%	/spot	gDW/m <sup>2</sup>	mg N/gD	窒素量	窒素量	比率	15N	15N	mg15N	excess%	gN	%	
	OG・50cc施用区	0	地上部	0-8cm(中心部)	0.47	23.5	1.92	9.05	122.72	0.02	15.74	1.93	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	
		14	地上部	0-8cm(中心部)					182.20	0.02	29.44	5.36	0.11	1.25	0.89	0.95	46.21	0.050	10.54	
		14	地上部	8-18cm(周辺部)					83.91	0.08	26.25	2.20	0.18	0.99	0.62	1.12	32.46	0.058	12.36	
		28	地上部	0-8cm(中心部)					223.65	0.02	31.93	5.69	0.14	1.40	1.03	1.48	53.91	0.077	16.38	
		28	地上部	8-18cm(周辺部)					179.30	0.08	25.44	5.73	0.37	0.78	0.42	1.55	21.66	0.081	17.07	
		56	地上部	0-8cm(中心部)					292.45	0.02	15.70	4.59	0.09	1.15	0.79	0.73	41.13	0.038	8.03	
		56	地上部	8-18cm(周辺部)					176.94	0.08	20.06	3.55	0.29	0.71	0.34	0.99	17.82	0.052	10.93	
		56	地下部	0-8cm(中心部)					84.55	0.02	13.82	1.17	0.02	0.92	0.56	0.13	29.05	0.007	1.44	
		56	地下部	8-18cm(周辺部)					67.70	0.08	10.62	0.72	0.06	0.64	0.27	0.16	14.09	0.008	1.75	
					合計														0.371	78.51
	OG・150cc施用区	0	地上部	0-8cm(中心部)	1.42	70.5	1.92	27.15	122.72	0.02	15.74	1.93	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	
		14	地上部	0-8cm(中心部)					152.69	0.02	25.88	3.95	0.08	1.11	0.75	0.59	38.96	0.031	2.18	
		14	地上部	8-18cm(周辺部)					73.29	0.08	30.04	2.20	0.18	1.29	0.92	1.66	48.07	0.086	6.10	
		28	地上部	0-8cm(中心部)					179.30	0.02	31.93	5.73	0.12	1.56	1.20	1.38	62.37	0.072	5.06	
		28	地上部	8-18cm(周辺部)					97.30	0.08	29.87	2.91	0.24	1.44	1.07	2.54	55.95	0.133	9.37	
		56	地上部	0-8cm(中心部)					176.94	0.02	20.06	3.55	0.07	1.41	1.05	0.75	54.70	0.039	2.75	
		56	地上部	8-18cm(周辺部)					89.13	0.08	18.92	1.69	0.14	1.30	0.94	1.29	48.90	0.067	4.75	
		56	地下部	0-8cm(中心部)					214.36	0.02	13.54	2.90	0.06	1.16	0.80	0.46	41.52	0.024	1.71	
		56	地下部	8-18cm(周辺部)					161.48	0.08	13.57	2.19	0.18	1.19	0.83	1.48	43.11	0.077	5.44	
					合計														0.530	37.37

収率がさらに高くなる可能性がある。仮に周辺 10cm 域のさらに 10cm 遠方域での尿由来窒素の割合が周辺 10cm 域のその半分であったとすると、回収率は約 50% となる。

このように、尿散布地点だけでなくその周辺域の牧草による尿中窒素の吸収・利用を考慮すると、放牧地における尿の窒素の再吸収・利用の効率は、50%を越え、80% 近くになる場合もあると算出された。これらの測定値は、Douglas and Crawford (1998) による短草型草地での窒素回収率の測定値が 55%から 71%であったことと類似する。

杉本ら (1994) は、バヒアグラス放牧地での  $^{15}\text{N}$  標識法による尿中窒素の回収率を測定し、回収率が低かったことを報告しているが、これは暖地型牧草と寒地型牧草の違いや、宮崎での降雨量が欧州や日本の東北地方よりもかなり多いことと関係している可能性がある。これらの点については今後、さらに検討が必要である。

#### 引用文献

Addiscott, T.M., Whitmore, A.P. and Powlson, D.S. (1991) Farming, Fertilizers and the Nitrate Problem. pp 170. C.A.B. International, Wallingford, UK.

Douglas, J.T. and Crawford, C.E. (1998) Soil compaction effects on utilization of nitrogen from livestock slurry applied to grassland. Grass & Forage Science 53, 31-40.

杉本安寛ら (1994) 牧草地における尿窒素の動態に関する研究 2. バヒアグラス (*Paspalum notatum* Flugge) 草地における  $^{15}\text{N}$ -尿素態窒素を指標とした牛尿窒素の動態, 日章誌, 40, 325-332.