

経年草地の炭カル表面施用に伴う施肥 窒素の動態*

三木 直倫**

高尾 欽弥***

表層土壌の pH および集積有機物量とその分解程度の異なる 3 種の経年草地を供試して、炭カルの表面施用が施肥窒素の動態、牧草生育に及ぼす影響を検討した。炭カルの表面施用によって施用当年は若干の収量低下を招くが、翌年以降は無施用区より明らかに高収となった。この低収化現象は表層土壌中の未分解有機物量の多い低 pH 草地で大きく、3 番草にまでも収量低下が認められた。圃場での施肥窒素の揮散量は炭カル表面施用で増加するが、その揮散率は 0.3% 程度であった。炭カル表面施用によって土壌中無機態窒素含量は無施用よりも少なく推移し、この現象は低 pH 草地で顕著で 3 番草に至っても認められた。一方、有機態窒素含量は逆に増加し、特に集積有機物の窒素含有率が高まり、施肥窒素の有機化が大きかった。したがって、炭カル表面施用時の収量低下の原因は、施肥窒素の揮散よりも、集積有機物の分解に起因する施肥窒素の有機化の影響が大きいものと推定された。

I 緒 言

草地土壌の最大の特徴は畑地と異なり、一度草地が造成されると、長期間にわたって耕起されることなく利用され、しかも肥料は全て表面散布であることから枯死茎葉・根などの有機物および肥料に由来する養肥分が草地表層に蓄積、偏在することである。それ故、草地の生産性を維持するためには、養肥分の蓄積する表層土壌の理化学性を常に良好な状態で永続させることが最も重要な条件と考えられる。しかし、草地表層土壌の理化学性は農作業機の踏圧による堅密化¹⁰⁾、肥料成分に随伴するアニオンの流亡に伴う塩基の溶脱と酸性化⁹⁾などによって次第に悪化する方向にある。とりわけ表層土壌の酸性化は還元される枯死茎葉、根などの有機物の分解停滞とそれに伴う施肥窒素利用率の低下、土壌窒素供給量の減少を引き起す⁸⁾

とともに、有害なアルミニウムイオンの溶出による牧草の燐酸吸収阻害⁶⁾などによって草地の生産性が低下する。

一方、施肥によって起る表層土壌の酸性化を防止する目的で炭カルの表面施用が行なわれているが、炭カルの表面施用効果が当初は必ずしも牧草収量に反映されないことが指摘^{9,11)}されており、この原因として草地ごとく表層の over-liming による施肥窒素の揮散が考えられてきた¹²⁾。しかし、経年草地の表層には多量の枯死茎葉、根などの有機物が集積しており、とくに酸性化した経年草地の表層では C/N 比の高い未分解な粗大画分が多く存在する⁸⁾ことから、炭カルの表面施用による集積有機物の分解促進は施肥窒素の動態、牧草への窒素供給に少なからず影響するものと想定される。

そこで、本報では表層土壌の pH の差異によって集積有機物量および分解程度に差のある経年草地を供試し、炭カル表面施用時の牧草生育を集積有機物の分解と施肥窒素の動態との関連で検討した。

II 試験方法

1. 供試草地と試験処理

供試した草地は、前報⁸⁾と同様に前歴肥培管理

1985年5月23日受理

* 本報告の一部は、1982年度日本土壤肥料学会北海道支部大会(1982, 12)で発表した。

** 北海道立天北農業試験場, 098-57 枝幸郡浜頓別町緑ヶ丘

*** 同上(現北海道立中央農業試験場, 069-13 夕張郡長沼町)

表1 供試草地の表層土壌化学性と集積有機物量

供試草地	項目	前歴施肥管理		表層土壌 (0~2 cm) 化学性			集積有機物量 (g/m ²)		
		N形態	N施肥量*	pH(H ₂ O)	Ex-CaO**	Bray2P ₂ O ₅ *	1 mm以上	1~0.5	0.25~0.1
造成6年目	低pH草地	硫安	9	5.20	118	70	446(55)**	204(26)	149(19)
	高pH草地	尿素	9	5.88	222	48	341(47)	114(16)	271(37)
造成9年目草地		硫安	18	4.43	84	116	480(43)	336(30)	298(27)

* kg/10a・年

** mg/100g乾土

*** 粒径別分布割合(%)

で尿素を用い表層土壌のpHを5.9とおおむね良好に維持した草地と硫安施用によってpH(5.2)が低下した造成6年目のオーチャードグラス単播草地及び硫安を多用してpHを4.4とした造成9年目のオーチャードグラス優占草地で土壌は共に酸性褐色森林土である。供試草地の表層土壌の化学性と集積有機物量は表1に示した。

2. 試験処理

造成6年目の経年草地は炭カル無施用と炭カル表面施用(1982年4月22日施用)の2系列とし、それぞれに窒素用量(2水準: 9, 18kg/10a・年)の処理を設け、炭カル無施用区(以下無施用区と略記)には無窒素区を併設した。また酸性化した造成9年目の経年草地には炭カル無施用と秋および春に炭カルを表面施用(秋施用: 1980年10月25日, 春施用: 1981年4月22日)の3処理を設置し、各区とも窒素施肥量は18kg/10a・年とした。両試験とも炭カルの表面施用量は200kg/10aの1水準とした。施肥窒素は硫安で施し、磷酸は10kg/10a・年を過石で、加里は硫加を用い窒素施肥量の1.2倍量を早春, 1, 2番草刈取り後の3回に分け均等施肥した。施肥および収量調査実施時期は表2にまとめて示した。

表2 施肥および刈取り時期(造成6年目草地)

項目	施肥(月・日)				刈取り(月・日)		
	炭カル	早春	1番草後	2番草後	1番草	2番草	3番草
1982年	4.22	4.25	6.19	8.17	6.14	8.11	9.21
1983年	-	4.22	6.20	8.12	6.11	8.04	9.20
1984年	-	4.27	6.15	8.10	6.12	8.04	9.21

3. 調査項目および方法

1) 窒素揮散量: 直径21.5cm×高さ16cmの呼吸鐘(金属製)を用い、窒素施肥後2~5日間隔で20日間行なった。揮散するNH₃はN/5硫酸液で捕集しネスラー法で、NO₂はN/2水酸化ナトリウム液で捕集し蒸留後ネスラー法で定量した。

2) 施肥窒素の消長: 前報⁸⁾と同様に経時的に0~5cmの土壌を採取し、N-K₂SO₄抽出無機態窒素及びpH7.0りん酸緩衝液(M/15KH₂PO₄とM/15Na₂HPO₄の混合系)抽出⁹⁾の有機態窒素(同時に抽出される無機態窒素を減じた)を測定して検討した。

3) 集積有機物量: 直径8cmの円筒で表層0~3cm内外を7~8ヶ所採取し、和田らの物理分画法¹⁴⁾に準じて0.1mm以上の有機物を測定した。

4) 炭酸ガスおよび窒素無機化量の季節変化: 表層0~5cmを100cc採土管で採取し、30°C, 30日間、圃場容水量で培養し、その間無機化される土壌炭酸ガスを田辺の方法²⁾、土壌無機化窒素は培養前後の無機態窒素含量の差で測定した。

5) 表層土壌の窒素無機化、有機化量: 表層0~5cm土壌を碎土し、乾土10g相当の湿土に硫安態(1000ppm溶液)で窒素1mgの添加、無添加条件で30°C, 1週間、圃場容水量で培養、窒素無機化量は無添加条件の無機態窒素から原土の無機態窒素を減じて求め、窒素有機化量は窒素添加条件の無機態窒素から無添加条件の無機態窒素と窒素添加量の両者を減じて求めた。

III 試験結果

1. 炭カル表面施用による牧草収量、窒素吸収量の変化

炭カル表面施用に伴う牧草収量の経年変化は表3に示した。なお各年次の早春施肥前(前年晩秋時)の表層土壌(0~2cm)のpHも付記した。炭カル表面施用区の牧草収量は施用当年に若干の減収傾向が認められるものの、処理2, 3年目では明らかに無施用区より増収した。また炭カル表面施用の効果発現は供試草地の表層土壌pH及び窒素施肥量で異なり、高pH草地、窒素多肥条件での効果は低pH草地及び窒素少肥条件でのそれよ

表3 炭カル表面施用による表層土壌pH, 牧草収量の経年変化 (造成6年目草地)

草地	炭カル処理 施肥N	項目 年次	表層土壌pH (H ₂ O)*			乾物収量 (kg/10a)			
			1	2	3年目	1	2	3年目	3ヶ年平均
低pH草地	9	-Ca	5.20	4.76	4.69	(524)**	(479)	(353)	(452)
		+Ca	—	5.50	5.17	97	97	111	101
	18	-Ca	5.20	4.53	4.50	(771)	(849)	(604)	(741)
		+Ca	—	5.17	5.05	95	108	118	106
高pH草地	9	-Ca	5.88	5.42	5.05	(547)	(496)	(417)	(487)
		+Ca	—	6.11	5.64	95	102	113	102
	18	-Ca	5.88	5.15	4.96	(894)	(859)	(715)	(823)
		+Ca	—	5.69	5.52	101	111	112	107

* 早春施肥 (前年晩秋時) のpHを示し、表層0~2cm

** 実収量, +Ca区は-Ca区に対する指数で示した

表4 炭カル表面施用当年の牧草収量, 窒素吸収量の変化 (造成6年目草地)

草地	炭カル処理 施肥N	項目 番草	乾物収量 (kg/10a)				N 吸収量 (kg/10a)				
			1	2	3	合計	1	2	3	合計	同差**
低pH草地	9	-Ca	(230)*	(173)	(121)	(524)	(3.95)	(3.25)	(3.02)	(10.22)	—
		+Ca	103	92	93	97	103	91	89	95	-0.49
	18	-Ca	(346)	(209)	(216)	(771)	(7.06)	(5.29)	(6.24)	(18.59)	—
		+Ca	95	110	80	95	88	103	80	89	-2.00
高pH草地	9	-Ca	(243)	(176)	(128)	(547)	(4.40)	(3.59)	(3.03)	(11.03)	—
		+Ca	92	94	102	95	88	91	105	93	-0.73
	18	-Ca	(349)	(271)	(274)	(894)	(7.29)	(6.53)	(7.73)	(21.55)	—
		+Ca	95	106	102	101	88	100	101	96	-0.81

* 実数値 (kg/10a), +Ca区は-Ca区に対する指数 ** -Ca区に対する差 (kg/10a)

表5 炭カル施用時期の差異による牧草収量, 窒素吸収量の変化 (造成9年目草地)

炭カル処理	項目 番草	乾物収量 (kg/10a)				N 吸収量 (kg/10a)				
		1	2	3	合計	1	2	3	合計	同差**
-Ca		(379)*	(377)	(248)	(1,004)	(7.77)	(7.74)	(7.21)	(22.42)	—
+Ca	秋施用	96	111	104	103	91	113	101	101	+0.32
+Ca	春施用	82	93	92	89	75	93	88	85	-3.31

* 実数値, +Ca区は-Ca区に対する指数 ** -Ca区との差 (kg/10a)

り早期に発現された。

一方, 炭カル表面施用当年の牧草の生育反応を番草別に分けて表4に示したが, 炭カル表面施用当年の牧草生育反応は, 供試草地の表層土壌pHによって異なる傾向を示した。すなわち, 高pH草地での炭カル表面施用区の収量は1番草で減少したが, 2番草では窒素多肥区が, 3番草では窒素少肥区も無施用区の収量を上廻った。これに対し,

低pH草地の炭カル表面施用の収量は1番草にかぎらず, 2, 3番草とりわけ3番草に至っても無施用区の収量を下廻る傾向を示した。

他方, 牧草の窒素吸収に及ぼす炭カル表面施用の影響は1番草時が最も大きく, 炭カル表面施用区の窒素吸収量は無処理区の88~103% (平均92%) に留った。しかし, 供試草地間の差異は牧草収量の場合と同様, 高pH草地では番草が進むに

つれて炭カル表面施用区の窒素吸収量は無施用区を上廻るのに対し、低 pH 草地では逆に無施用区を下廻る傾向が認められた。

以上のような炭カル表面施用の牧草生育に及ぼす影響は炭カルの施用時期によっても異なる傾向が認められ(表5), 炭カル春施用が秋施用よりも

炭カル表面施用による収量, 窒素吸収量の低下程度が大きかった。

2. 炭カル表面施用による施肥窒素の揮散と有機化

呼吸錐を用いた窒素の揮散量は表6に示した。

NH₃とNO₂の含量でみた窒素揮散量は低 pH 草

表6 炭カル表面施用による施肥窒素の揮散 (造成6年目草地)

炭カル処理 番草 草地	項目	pH (H ₂ O: 0~1 cm)			揮 発 量 (mg/m ²)			揮 散 率(%)**		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
低pH草地	-Ca*	5.00	4.50	4.68	2.2	3.7	2.2	—	—	—
	-Ca	4.81	4.35	4.38	5.2	6.0	7.7	0.05	0.04	0.09
	+Ca	6.40	6.19	5.85	21.5	19.2	16.5	0.32	0.26	0.24
高pH草地	-Ca*	—	5.53	5.72	—	3.5	2.9	—	—	—
	-Ca	—	5.01	4.85	—	6.6	7.8	—	0.05	0.08
	+Ca	6.70	6.22	6.20	14.4	13.7	19.1	—	0.17	0.27

* 無窒素区, 他は窒素18kg/10a・年施肥区

** 揮散率(%)は施肥窒素量に対する比率

表7 窒素揮発散測定直後の表層 (0~5 cm) の土壤窒素含量 (造成6年目)

炭カル処理 番草 草地	項目	低 pH 草 地				高 pH 草 地			
		無機態* N	同左 割合(%)	有機態* N	有機化率 (%)**	無機態* N	同左 割合(%)	有機態* N	有機化率 (%)**
1	-Ca	12.40	(100)	11.00	—	—	—	—	—
	+Ca	9.70	78	13.10	19.2	4.47	—	11.53	—
2	-Ca	11.28	(100)	9.13	—	4.78	(100)	8.24	—
	+Ca	9.36	83	10.79	15.2	4.76	100	8.53	2.7
3	-Ca	7.44	(100)	9.64	—	2.75	(100)	8.64	—
	+Ca	4.99	67	10.84	11.0	2.30	84	9.19	5.0

* mg/100g乾土, ** 有機化率は-Ca区に対する+Ca区の有機態N増加量から概算した。

地の炭カル表面施用区で16.5~21.5mg/m² (平均19.1mg/m²), 高 pH 草地のそれで13.7~19.1mg/m² (平均17.4mg/m²) であり, 無施用区の5.2~7.8mg/m² (平均6.7mg/m²) より明らかに増加した。これを番草別にみると低 pH 草地の炭カル表面施用区で1番草時>2番草時>3番草時の順で低下する傾向が認められた。一方, 施肥窒素に対する窒素揮散率を求めてみると, 炭カル無施用区の施肥窒素揮散率は0.04~0.09% (平均0.06%) と微量であるのに対し, 炭カル表面施用区のそれは低 pH 草地で0.24~0.32% (平均0.27%), 高 pH 草地で0.17~0.27% (平均0.22%) と増加するものの, 炭カル表面施用による施肥窒

素の揮散率は僅かであった。

他方, 窒素揮散測定直後の表層土壌 (0~5 cm) の無機態および有機態 (りん酸緩衝液抽出) 窒素含量を表7に示した。炭カル無施用区に対する炭カル表面施用区の無機態窒素含量の割合は, 低 pH 草地で67~83%, 高 pH 草地で84~100% であり, 低 pH 草地での無機態窒素の減少程度が大きく, 番草別では3番草時>1番草時>2番草時の順で大きかった。これら炭カル表面施用区の無機態窒素の減少量は低 pH 草地で各番草施肥時の平均約1.3g/m², 高 pH 草地で0.13g/m² と窒素揮散量0.02g/m² よりはるかに多く, かつ番草間での無機態窒素の減少の変動も窒素揮散の番草間差異

と一致しなかった。

これに対し、りん酸緩衝液抽出の有機態窒素含量は炭カル表面施用区で明らかに増加し、その増加量は低pH草地>高pH草地の関係にあり、無機態窒素の減少量の傾向と逆であった。この有機態窒素の増加量から施肥窒素の有機化率（炭カル表面施用区の有機態窒素含量から無施用区のそれを減じ、施肥窒素量で除して求めた）を概算してみると、施肥窒素の有機化率は低pH草地で11~19%（平均16%）>高pH草地で3~5%（平均4%）の順であり、低pH草地の炭カル表面施用区での施肥窒素の有機化率が明らかに高かった。

3. 施肥窒素の土壤中での消長

前述の窒素揮散測定直後の表層土壌の土壌窒素は呼吸鐘内部の牧草生育が抑制され、施肥窒素はやや長期間土壌中に存在した条件での結果であったが、実際には牧草の施肥窒素吸収が旺盛なため、施肥窒素は短期間で土壌中より消失してしまう⁸⁾。このような実際の草地における施肥窒素の土壌中での消長を知るため無機態および有機態窒素含量を経時的に調査し、その結果を図1および表9に示した。低pH草地での炭カル表面施用区の無機態窒素含量の無施用区無機態窒素含量に対する割合は明らかに減少しており、この傾向は1番草時だけでなく2、3番草時でも認められた。また炭カル表面施用区の無機態窒素の減少程度は1

番草時では窒素施肥直後より、2、3番草時では窒素施肥後10~15日までが大きかった。これに対して高pH草地の炭カル表面施用区の無機態窒素含量は1番草時では低pH草地と同様に無施用区より明らかに減少したが、2、3番草時には1時的な無機態窒素の減少が認められるもののおおむね無施用区の無機態窒素含量と同程度が存在していた。

一方、窒素施肥後の土壌中無機態窒素の形態別含量は表8に示すように、施肥された窒素の大部分はアンモニア態の形態で存在し、硝酸態窒素の生成は高pH草地の窒素多肥区でわずかに増加していた。しかし亜硝酸態窒素は低pH草地では全く生成されず、高pH草地では0.01mg/100g乾土以下であった。

次に窒素施肥後のりん酸緩衝液抽出による有機態窒素の消長をみると（表9）、表層土壌の有機態窒素含量は低pH草地>高pH草地の順であったが、これら草地に炭カルを表面施用した場合、低pH草地では窒素施肥直後より有機態窒素含量は明らかに増加し、施肥窒素の有機化が確認された。ところが高pH草地では2番草時の施肥直後に炭カル表面施用区で有機態窒素含量の増加が認められるものの、その他の施肥時では炭カル表面施用区の有機態窒素含量は無施用区より少なかった。

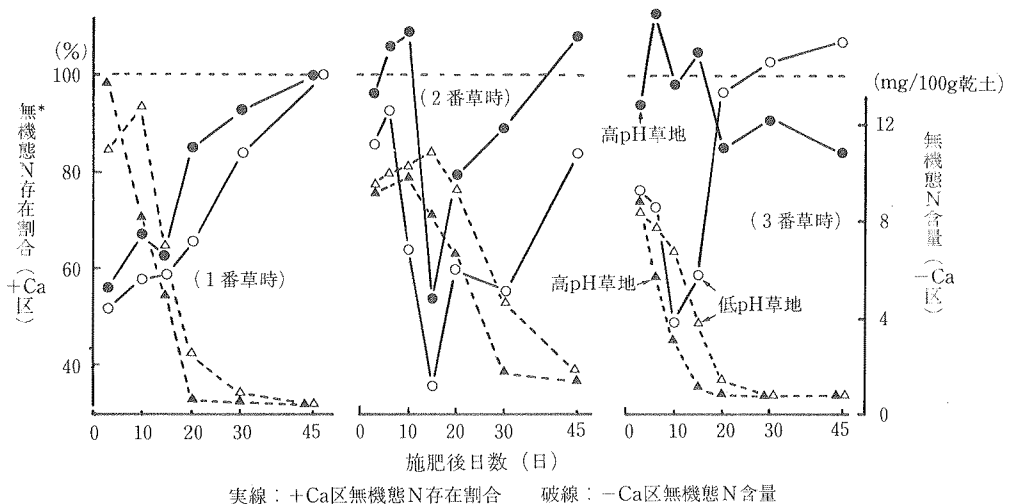


図1 炭カル表面施用による窒素施肥後の土壌無機態窒素含量（0~5cm）の経時変化（施肥窒素18kg区）

* -Ca区無機態N含量に対する+Ca区無機態Nの存在割合を示す。（造成6年目草地）

表8 土壤中の形態別無機態窒素含量*

(造成6年目草地)

施肥N	炭カル処理 形態	低 pH 草 地				高 pH 草 地			
		NH ₄	NO ₃	NO ₂	合 計	NH ₄	NO ₃	NO ₂	合 計
9 kg	-Ca	5.52	0.20	0	5.72	3.80	0.37	tr.	4.17
	+Ca	3.27	0.20	0	3.47	2.51	0.30	tr.	2.81
18kg	-Ca	12.57	0.23	0	12.80	7.73	0.49	tr.	8.22
	+Ca	7.18	0.25	0	7.43	4.90	0.66	0.01	5.57

* 早春施肥後10日目の値 (0~5 cm 土壌, mg/100g 乾土)

表9 施肥後の有機態窒素含量の消長*

(造成6年目草地)

番号	施肥後日数 炭カル処理	低 pH 草 地					高 pH 草 地				
		3	10	20	30	45日	3	10	20	30	45日
1	-Ca	10.51	11.23	12.19	11.81	11.92	10.24	11.24	9.83	9.32	8.60
	+Ca	+ 0.97	+ 0.28	- 0.44	+ 0.41	- 0.47	- 1.13	- 0.27	- 0.60	- 0.56	- 0.48
2	-Ca	9.32	10.86	9.55	11.09	9.14	8.80	9.13	8.47	8.70	7.34
	+Ca	+ 0.94	+ 0.10	+ 1.89	+ 1.36	+ 0.29	+ 0.88	+ 0.84	- 0.41	- 0.36	+ 0.40
3	-Ca	8.68	10.70	9.25	10.26	9.44	8.01	8.56	8.62	8.23	6.86
	+Ca	+ 0.61	+ 0.13	+ 0.50	- 0.14	+ 0.67	- 0.52	- 0.66	- 0.44	- 0.28	+ 0.02

* 施肥N18kg区, (0~5 cm 土壌, mg/100g 乾土)

但し, +Ca区の有機態Nは-Ca区との差で示した (+: 増加, -: 減少)

4. 炭カル表面施用による表層集積有機物の分解

炭カル表面施用に伴う表層土壌の炭酸ガス放出量と土壌窒素無機化量の季節変化を造成9年目草地で検討し, その結果を図2に示した。草地表層から放出される炭酸ガスは炭カル表面施用区で明らかに増加し, とりわけ地温の上昇する6~7月

にかけて顕著な差が認められた。また炭カルの施用時期別では, 秋施用が早春時より6月まで春施用区の炭酸ガス放出量を上廻り, 逆に6~7月中旬までは春施用区が秋施用区を凌駕した。これに対して表層土壌の窒素無機化量は炭カル表面施用後7月中旬までは無施用区と差がないか, むしろ

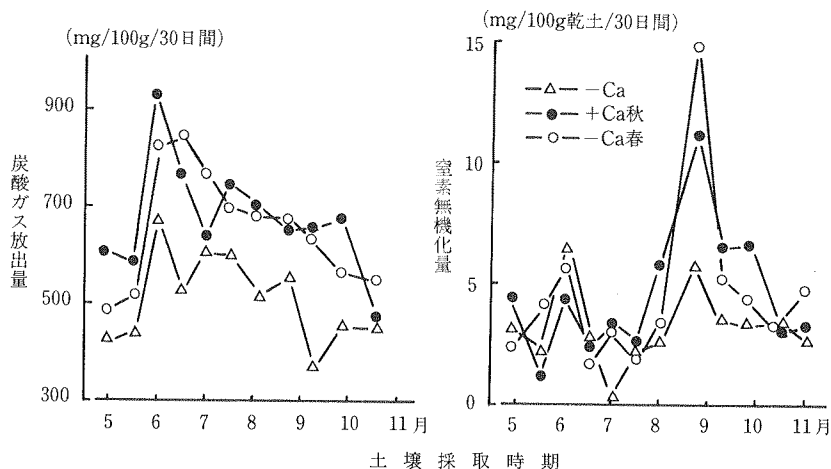


図2 炭カル表面施用による表層土壌(0~5 cm)の炭酸ガス放出量と窒素無機化量の季節変化(造成9年目草地)

炭カル表面施用によって減少する傾向が認められたが、8月上旬以降になって明らかに炭カル表面施用区が無施用区の土壤窒素無機化量を上廻った。

一方、炭カル表面施用による草地表層の集積有機物の炭素、窒素組成の変化を表10に、また有機物量、窒素含有量の変化を表11に示した。まず集積有機物の各画分の炭素含有率は炭カル施用、無施用間で大差が認められないが、窒素含有率は無施用区に比べ炭カル表面施用区で明らかに高まり、とくに5月末調査時の2mm以上の未分解画分で顕著であった。この結果を反映して、各画分のC/N比は10月末調査時を除いて炭カル表面施用区が無施用区より明らかに低下した。つぎに集積有機物

表10 炭カル表面施用による集積有機物のC、N組成

成分	処理	粒 径 別 有 機 物 画 分 (mm)					
		> 2	2 ~ 1	1 ~ 0.5	0.5 ~ 0.25	0.25 ~ 0.1	
C (%)	-Ca	37.2	34.9	30.3	28.0	18.4	
	+Ca秋	39.5	36.1	29.3	26.3	18.7	
	+Ca春	40.4	36.7	28.3	27.7	18.7	
N (%)	-Ca	1.37	1.80	1.65	1.42	1.04	
	+Ca秋	1.65	1.85	1.71	1.59	1.15	
	+Ca春	1.62	1.91	1.71	1.63	1.11	
C/N	-Ca	27.2	19.4	18.4	19.7	17.7	
	+Ca秋	24.0	19.5	17.1	16.6	16.3	
	+Ca春	25.0	19.2	16.6	17.0	16.8	

(造成9年目草地：5月30日調査試料)

表11 炭カル表面施用による集積有機物とその窒素含有率、含有量の変化（造成9年目草地）

調査月・日	項目 粒径 (mm) 処理	有機物量 (g/m ²)			N含有率 (%)			N含有量 (g/m ²)			同左増減量 (g/m ²)*	
		-Ca	+Ca秋	+Ca春	-Ca	+Ca秋	+Ca春	-Ca	+Ca秋	+Ca春	+Ca秋	+Ca春
5月30日	> 2	372	338	354	1.37	1.65	1.62	5.1	5.6	5.7	+0.5	+0.6
	2 ~ 0.5	272	243	266	1.71	1.76	1.78	4.7	4.3	4.7	-0.4	± 0
	0.5 ~ 0.1	470	440	476	1.18	1.30	1.30	5.5	5.7	6.2	+0.2	+0.7
	合 計	1,114	1,021	1,096				15.3	15.6	16.6	+0.3	+1.3
7月1日	> 2	411	303	374	1.37	1.55	1.48	5.6	4.7	5.5	-0.9	-0.1
	2 ~ 0.5	283	201	199	1.72	1.83	1.80	4.9	3.7	3.6	-1.2	-1.3
	0.5 ~ 0.1	480	501	490	1.24	1.32	1.34	6.0	6.6	6.6	+0.6	+0.6
	合 計	1,170	1,005	1,063				16.5	15.0	15.7	-1.5	-0.8
10月30日	> 2	448	307	327	1.59	1.61	1.75	7.1	4.9	5.7	-2.2	-1.4
	2 ~ 0.5	253	205	206	1.92	2.06	2.07	4.9	4.2	4.3	-0.7	-0.6
	0.5 ~ 0.1	491	538	567	1.57	1.74	1.67	7.7	9.4	9.5	+1.7	+1.8
	合 計	1,192	1,050	1,100				19.7	18.5	19.5	-1.2	-0.2

*Ca区N含有量に対する+Ca区の増減量（+：増加，-減少）

表12 炭カル表面施用による表層土壌の窒素有機化量と無機化量の季節変化*

草地	施肥 N	項目 処理	時期 早 春 時		1 番草刈取り時		2 番草刈取り時		晩 秋 時	
			有機化量	無機化量	有機化量	無機化量	有機化量	無機化量	有機化量	無機化量
低pH草地	9	-Ca	0.64	1.23	1.19	1.22	0.78	0.60	0.62	0.88
		+Ca	0.83	1.39	1.75	0.62	2.12	0.38	1.25	0.60
	18	-Ca	0.64	1.23	1.56	0.89	0.95	0.74	0.39	1.25
		+Ca	0.83	1.39	1.11	0.99	0.96	0.15	0.96	1.07
高pH草地	9	-Ca	1.62	2.36	1.45	0.84	0.86	0.29	0.76	0.68
		+Ca	1.62	2.06	1.14	1.17	1.47	0.58	0.83	0.76

*造成6年目草地：0 ~ 5cm土壌：mg/100g乾土／1週間

量の変化をみると、炭カル表面施用によって7月および10月末の調査時では2 mm以上の未分解画分が減少し、分解の進んだ0.5~0.1mmの細粒画分が増加した。また5月末調査時の集積有機物が含有する窒素量は炭カル表面施用区で増加し、施用時期別では炭カル春施用: 1.3g/m^2 > 秋施用: 0.3g/m^2 であった。しかし、7月および10月末調査時の炭カル表面施用区の集積有機物が含有する窒素量は無施用区のそれに対して減少するが、10月末調査時の減少量は秋施用: 1.2g/m^2 > 春施用: 0.2g/m^2 と僅かであった。

さらに炭カル表面施用後の表層土壌(0~5 cm)の窒素有機化量と無機化量の経時変化を造成6年目草地で検討し、その結果を表12に示した。低pH草地での炭カル表面施用は表層土壌の窒素有機化量を明らかに増加させ、とりわけ窒素9 kg/10aの施肥区で顕著であった。これに対して高pH草地での炭カル表面施用による表層土壌の窒素有機化量は無施用区のそれと同程度であった。他方、窒素無機化量は低pH草地では炭カル表面施用によって必ずしも増加せず、むしろ減少する傾向が認められた。しかし、高pH草地での炭カル表面施用は早春時にのみ表層土壌の窒素無機化量を減少させるものの、それ以降では炭カル表面施用によって窒素無機化量は増加した。

IV 論 議

維持管理段階での草地の施肥位置は全て表面であることから表層土壌の酸性化が経年的に進行する。この酸性化防止策としての炭カル表面施用は極く表層土壌の石灰過剰によるアルカリ化が原因で施肥窒素の揮散を引起し、牧草収量の低下を招くことが指摘されていた¹²⁾。しかしながら、既往の研究^{1,12)}では草地表層に集積した有機物の分解と施肥窒素の動態との関連については検討されていなかった。すなわち、経年草地の表層には多量の未分解有機物が集積しており⁹⁾、これが炭カル表面施用によって急速に分解し、施肥窒素の肥効にも当然影響するものと推察される。そこで、本試験では表層土層のpH条件が異なる造成6年目と酸性化の進行した造成9年目の経年草地で炭カル表面施用を実施し、施肥窒素の動態、牧草生育に及ぼす影響を検討した。

最初に炭カル表面施用によって窒素揮散量は明

らかに増加するものの、その量は施肥窒素の0.3%内外であった。佐藤ら¹²⁾は模擬的な炭カル表面施用の培養実験で30°C、3日間での施肥窒素揮散率は2.3%、10°C条件で0.8%であったと報告した。また、阿江ら¹⁾は草地表層土壌を用いた15°C、6週間の炭カル表面施用の培養実験で施肥窒素の5.7%が揮散したと報告した。さらにこの窒素揮散は添加される炭カル量、温度、施肥窒素の形態で異なることが報告されている^{3,4,7,13)}。窒素揮散量が少なかった理由の一つに窒素揮散測定期間の地温(10cm)が1番草時で3~10°C、2番草時で11~18°C、3番草時で14~21°Cであり、天北地方ではとりわけ1番草施肥時の地温が低いためと考えられる。

一方、施肥された窒素の大部分は施肥後15日前後で土壤中より消失すること⁹⁾、さらに無機態窒素の大部分はアンモニア態で存在し、硝酸態の生成は僅かで、亜硝酸態の形態はほとんど検出されなかったことなどと地温の関係から脱窒による施肥窒素の損失は極めて少ないものと推定される。他方、炭カル表面施用が牧草収量および窒素吸収量に及ぼす影響は供試草地の性状、炭カル表面施用の時期および窒素施肥量によって異なることも、単に施肥窒素の揮散・脱窒による損失だけでは説明しきれないものと考えられる。

一方、窒素揮散測定直後の跡地の土壌中無機態窒素含量は炭カル表面施用によって明らかに減少し、その減少程度は低pH草地>高pH草地の関係にあり、低pH草地では炭カル表面施用区の無機態窒素含量は無施用区の67~83%しか存在していなかった。このことは窒素揮散量が僅かであったことから集積有機物の分解促進による施肥窒素の有機化現象が推定される。このことはりん酸緩衝液(pH7.0)抽出の有機態窒素含量が炭カル表面施用区で明らかに増加し、しかもその増加程度は低pH草地>高pH草地の関係にあったことから裏付けされる。ところで炭カル無施用区の有機態窒素含量を基準として炭カル表面施用区の施肥窒素の有機化率を概算してみると、低pH草地で11~19%、高pH草地で3~5%であり、施肥窒素の揮散率より明らかに大きかった。すなわち、窒素施肥後の無機態窒素含量の推移についてみると、炭カル表面施用区は無施用区に比べて明らかに減少し、有機態窒素含量は相対的に増加してお

り、この現象は高 pH 草地に比べて低 pH 草地が著しい傾向を示した。

以上の諸現象を経年草地の表層に集積した枯死茎葉、根など有機物の分解促進と施肥窒素の動態との関連で考えてみた。草地の集積有機物量は酸性化した草地の方が表層土壌 pH の高い草地よりも多く、しかも C/N 比の高い未分解画分の割合が高い⁸⁾。この集積有機物は炭カル表面施用による表層土壌 pH 環境の改善に伴って急速に分解が促進されることから、施肥窒素の有機化が土壤窒素の無機化よりも優勢になるものと考えられる。事実、表10、11に示した結果によれば炭カル表面施用によって集積有機物の窒素含有率が高まると同時に有機物含有窒素量も増加していた。この窒素増加量がすべて施肥窒素由来と仮定すれば、炭カル春施用で施肥窒素の約22%、秋施用で5%が有機化されていたことになる。逆に集積有機物の分解によって無機化されたと考えられる有機物由来の窒素は、炭カル表面施用当年の晩秋時で春施用区が0.2kg、秋施用が1.2kg/10aであり、炭カル表面施用当年の集積有機物分解由来の窒素供給量は少いと考えられる。つぎにこの窒素の有機化—無機化の関係を表層土壌 pH の違いで整理してみると、低 pH 草地では集積有機物量が多く、しかも C/N 比の高い未分解画分の割合が高いため施肥窒素の有機化が集積有機物由来の窒素無機化より優勢となる(表12)。一方、高 pH 草地では集積有機物量がやや少なく、かつ C/N 比の低い分解の進んだ細粒画分の割合が高いことから、炭カル表面施用による表層土壌の施肥窒素の有機化は無施用区のそれと大差なく、逆に集積有機物の窒素の無機化は徐々に無施用区のそれを凌駕する。このことから、炭カルの表面施用による低 pH 草地と高 pH 草地の無機態窒素の減少程度および施肥窒素の有機化率の違いは主に表層に集積する有機物量とその分解程度の差に原因しているものと考えられた。

以上、表層集積有機物の分解と施肥窒素の動態との関連より炭カル表面施用時の牧草生育反応を考えてみると、炭カル表面施用当年の収量低下は集積有機物量および未分解画分の多い低 pH 草地が高 pH 草地より大きい。これは先述した施肥窒素の有機化が前者で大きいため牧草への施肥窒素の供給量が制限され、後者はそれが小さく、施肥

窒素の供給制限が弱かったことと一致する。また低 pH 草地の窒素 9 kg/10a・年施肥のように炭カル表面施用による収量低下が2、3番草で増幅したことは表層土壌の窒素有機化量が早春時より晩秋時にかけて漸増したこと(表12)から考えると、施肥窒素が少ない条件では集積有機物の分解が窒素多肥条件より遅れることが原因していると推定される。一方、窒素18kg/10a・年施肥条件で炭カル表面施用区の2番草収量が高い理由は、1番草時で有機化された施肥窒素が1番草後半ないし2番草生育前半に再無機化されたことが推定される。

以上の諸結果より、炭カル表面施用時の牧草収量低下原因は施肥窒素の揮散も考えられるが、窒素揮散率は0.3%内外であり、その影響は小さいものと考えられる。むしろ表層に集積する有機物の分解促進が施肥窒素の有機化を促したことが主要因と考えられ、また施肥窒素の有機化率と牧草収量の低下程度は表層集積有機物の量とその分解程度に影響されるものと判断された。

最後に、酸性化した経年草地への炭カル表面施用は施用当初収量低下を招くものの経年的に増収程度が高まるので、草地表層土壌の酸性化を防ぐ目的での炭カル表面施用は重要な草地土壌の管理手段であると言える。

謝 辞 本研究の遂行に際し、前天北農試土壌肥料科研究職員山神正弘氏(現中央農試)には有益な御助言をいただいた。また前天北農試場長南松雄博士(現十勝農試場長)中央農試化学部大垣昭一郎長には懇切丁寧な御校閲と御指導をいただいた。各位に深く謝意を表する。

引用文献

- 1) 阿江教治, 尾形保, "インキュベーション実験による草地表層土壌の硝酸化成及びアンモニア揮散", 草地試研報, **23**, 42-49 (1982).
- 1) 土壌生物研究会編, "土壌微生物実験法", 養賢堂, 1975, p273.
- 3) Fenn, L.B.; D.E. Kissel, "Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds on calcareous soils. IV. Effect of calcium carbonate content". Soil Sci. Soc. Amer. Proc., **39**, 631-633 (1975).
- 4) Fenn, L.B.; D.E. Kissel, "Ammonia volatilization from surface applications of ammonium

- compounds on calcareous. Soils. II.
Effects of temperature and rate of ammonium nitrogen application". Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 38, 606-610 (1974).
- 5) 樋口太重, "土壌中における施用窒素の有機化と再無機化". 農技研報告, B34, 1-81 (1983).
 - 6) 宝示戸雅之, 佐藤辰四郎, 高尾欽弥, "草地土壌の酸性化に伴うアルミニウム溶出と牧草生育". 北海道立農試集報, 50, 43-53 (1983).
 - 7) Martin, J.P.; H.D. Chapman. "Volatilization of ammonia from surface fertilized soils". Soil Sci., 71, 25-34 (1951).
 - 8) 三木直倫, 高尾欽弥, "経年酸性化草地における施肥窒素の利用率と土壌窒素供給力". 北海道立農試集報, 51, 43-54 (1984).
 - 9) 大村邦男, 赤城仰哉, "根釧火山灰草地の施肥法改善. II. 牧草の収量および無機成分の向上に関する試験". 北農, 49 (12), 23-35 (198).
 - 10) 大崎玄佐雄, 奥村純一, "根圏土壌の理化学性が牧草生育に及ぼす影響, I. 土壌ち密度と牧草生育の関係". 北海道立農試集報, 27, 77-88 (1973).
 - 11) 佐藤辰四郎, "根圏土壌の化学性と牧草生育". 北海道土壌肥料研究通信, 21, 23-32 (1975).
 - 12) 佐藤辰四郎, 奥村純一, "草地土壌の特性解明. IV. 石灰の Top dress 条件下における N の損耗について". 土肥誌講演要旨集, 22, 97 (1976).
 - 13) Terman, G.L.; H.D. Hunt. "Volatilization losses of nitrogen from surface applied fertilizers, as measured by crop response". Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 28, 667-672 (1964).
 - 14) 和田秀徳, 金沢晋二郎, "土壌有機物の物理分画法 (第1報)". 土肥誌, 41, 273-280 (1970).

The Behaviour of Fertilizer Nitrogen in the Grassland Soil Accompanied with Topdressing Calcium Carbonate

Naomichi MIKI* and Kinya TAKAO**

Summary

Field experiments were conducted in order to determine the behaviour of fertilizer nitrogen and decomposition of accumulated organic residue in acidified orchard grass swards which were topdressed with CaCO_3 and limed to pH6.5 in surface layer soil. These experiments were carried out in 3 swards which were different in soil acidity and the amount of accumulated organic residue in the surface layer. The applied nitrogen form which was used in this experiment was ammonium sulfate.

The results obtained are summarized as follows:

- 1) The yield of grass decreased with topdressing of CaCO_3 in 1st year, however, it increased in 2nd and 3rd year. On the other hand, the degree of yield decreased with topdressing CaCO_3 were larger in the acidified sward than in non-acidified one.
- 2) The amount of fertilizer nitrogen volatilization loss increased with topdressing CaCO_3 , however, the rate of volatilization losses were 0.17-0.32 per cent of fertilizer nitrogen.
- 3) Soil inorganic nitrogen decreased clearly with topdressing CaCO_3 after nitrogen was applied, whereas soil organic nitrogen increased. Also, the concentration and the amount of nitrogen increased, and C/N ratio of accumulated organic residue narrowed.

From these results, it was considered that the effect of nitrogen volatilization loss was small, however, immobilization of fertilizer nitrogen by the accumulated organic residue were important factors in the decrease of grass yield with topdressing CaCO_3 on acidified permanent swards. Nevertheless, it was necessary to topdress with CaCO_3 in order to improve surface layer soil acidity for productivity of swards.

*Hokkaido prefecture Tenpoku Agricultural Experiment Station, Hamatonbetsu, Hokkaido, 098-57 Japan.

**Hokkaido Central Agricultural Experiment Station, Naganuma, Hokkaido, 069-13 Japan.