

二、三番草時低温条件における経年草地の 施肥窒素動態と牧草生育

三木 直倫* 高尾 欽弥** 西宗 昭*

土壌理化学性、植生の均一な、造成後の経年数が異なるオーチャードグラス主体の草地を供試し、低温条件における牧草生育と施肥窒素の動態との関係を検討した。

2, 3 番草生育期に積算気温が低い条件では、古い経年草地の収量は新しい草地（3 年目）の70～80%と明らかに劣り、古い経年草地の施肥窒素利用率、土壌窒素の吸収量は新しい草地より明らかに低かった。

古い経年草地の表層には多量の有機物が集積しており、施肥窒素を保持する量が新しい草地より多い。低温条件下では、これらの有機物を起源とする土壌窒素の無機化量が少なく、逆に施肥窒素の有機化量が多くなると同時に有機化された施肥窒素の再無機化が新しい草地より明らかに遅れた。

したがって、古い経年草地の低温時における収量低下は、集積有機物の分解・循環機能の停滞によって施肥窒素、土壌窒素が牧草に十分供給されないためと考えられた。

I 緒 言

草地は一度造成されると長期間耕起されずに利用されるため、表層土壌には多量の未分解有機物が集積し、その量は造成後5年目で約1 t/10a, 10年目で約2 t/10aにも達する⁶⁾。しかし、これとは逆に牧草収量は造成後2, 3年目を頂点とし、それ以降は草地の経年化に伴って低下する傾向を示すため、草地型酪農経営の粗飼料安定確保上大きな問題となっている。この経年化に伴う牧草収量の低下要因として、土壌理化学性の悪化^{3, 8)}、草地植生の悪化^{7, 12)}が指摘されている。とりわけ草地表層土壌の酸性化は有機物循環の停滞による土壌窒素供給力および牧草の施肥窒素利用率の低下を引起し⁹⁾、加えて有害なアルミニウムイオンの活性化⁹⁾などが牧草収量を低下させる大きな要因である。また草地植生の悪化は土壌のりん酸、塩基供給能の小さい火山性土、泥炭土草地で施肥の不適正によって顕在化するが、養分の供給能が大きな鉱質

土ではその影響が比較的小さいことは指摘されている¹²⁾。

一方、表層土壌の酸性化が小さく、かつ施肥りん酸、塩基類が十分に供給されている草地における牧草収量の経年変化は、主に土壌窒素供給力の経年変化に支配されることが推定される⁹⁾。すなわち、草地における土壌窒素の供給源は、造成時に作土層にすき込まれた旧草地表層の集積有機物に由来する窒素と、造成後の草地系内で循環する還元有機物由来の窒素の2者に大別され、これらの有機物由来の窒素供給はそれぞれの窒素供給源の特性に規制される。また、この窒素供給特性は、草地の経年数および気象条件によって大きく異なることが予測される。

そこで本報では造成年次の異なる数種の経年草地を用いて、草地表層に集積する有機物量の多寡、炭素および窒素組成とその分解に及ぼす温度の違い、特に2, 3番草時の低温条件が施肥窒素の動態、牧草の施肥窒素利用と収量に及ぼす影響を検討した。

1986年12月22日受理

* 北海道立天北農業試験場, 098-57枝幸郡浜頓別町

** 同上(現北海道立中央農業試験場, 069-13夕張郡長沼町)

II 試験方法

1. 供試草地

1973年より1985年までに造成したオーチャードグラス (キタミドリ) 主体の7種, 10草地を供試した。造成後の草地の施肥管理は窒素12および18 kg/10a・年の2水準とし, 標準草地には尿素態で, 酸性化草地には硫酸態で年3回均等施肥とした。なお, リン酸は過石を用い10kg/10a・年, カリは硫酸を用いて施肥窒素量の1.2倍量を年3回均等施肥とした。収量調査は1番草6月上旬, 2番草8月上旬, 3番草9月下旬の3回行った。

2. 試験処理

(1) 試験1: 経年数の異なる草地の牧草収量と施肥窒素利用率(1983年実施)。造成3年目および7年目草地を供試し, 施肥窒素12kg/10a・年区の1部に60×60cmの小区画を設け, ^{15}N 標識硫酸(2 atom %)を1回当り窒素として4g/m²を施し, 利用率を求めた。重窒素の分析は質量分析 (昭光通商株式会社に依頼) による。

(2) 試験2: 低温条件が経年草地の収量および施肥窒素利用等に及ぼす影響(1985年実施)。1984, 81, 77, 73年造成の2, 3, 5, 9, 12年目草地を供試した。1985年早春時に1/5,000aの無底ステンレスポットで深さ0~25cmを無攪乱状態で採取し, 高温条件(昼間18°C, 夜間10°C, 平均14°C)と低温条件(昼間13°C, 夜間7°C, 平均10°C)で28日間人工気象室を用いて牧草を生育させた。施肥は窒素5g/m²相当を ^{15}N 標識硫酸(10.0atom %)で施し, リン酸, カリはリン酸第1カリと塩化カリで窒素と等量施した。また28日間栽培後, 温度条件を同一(平均18°C)とし, 28日間無窒素条件で栽培した。栽培期間の水管理は1日1~2回圃場容水量の水分に蒸留水を用いて調節した。なお重窒素分析は発光分析 (農林水産省, 農業技術環境研究所) による。

3. 調査項目・方法

(1) 施肥窒素の動態: 施肥後, 一定間隔で表層土壌(0~5 cm)を採取し, 無機態窒素および1週間30°C, 圃場容水量の水分条件での培養法による易分解性窒素(培養前後の無機態窒素含量の差)を測定した。

(2) 表層土壌の窒素無機化, 有機化量に及ぼす培養温度の影響: 造成初年目, 3年目, および9

年目の表層土壌(0~5 cm, 風乾細土)を用い, 培養温度10, 17, 25°Cの3水準で窒素無添加, 添加(硫酸態窒素5 mg/100g 乾土)区を設けた。土壌窒素無機化量は無添加区の培養前後の無機態窒素含量の差より, また窒素有機化量は窒素添加区の無機態窒素から窒素添加量および無添加区の無機態窒素を減じて求めた。なお水分条件は圃場容水量の水分とした。

(3) 表層集積有機物の化学組成: 水洗篩別法¹¹⁾で物理分画された粒径別の有機物を Waksman の近似分析法¹⁰⁾を用いて検討した。

III 試験結果

1. 経年数の異なる草地の牧草収量と施肥窒素利用率

1983年および1984年の2ヶ年における各経年草地の牧草収量を3年目草地の収量に対する指数で図1に示した。古い経年草地の牧草収量は1983年

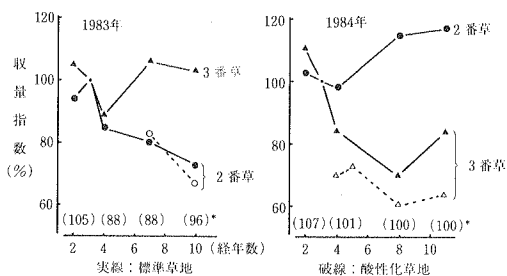


図1 草地の経年化に伴う収量の変化
(3年目草地: 100, N12kg/10a・年)

* () 年間合計収量の指数

2番草および1984年3番草のように3年目草地の収量より20~30%程度明らかに低収となる場合と, 逆に1983年3番草, 1984年2番草のように古い経年草地の収量が3年目草地のそれと同等かもしくはそれを上廻る場合があった。つまり草地の経年数の違いによる牧草収量の変化には更新2年目草地の収量が3年目草地より高収であることを除いて一定の傾向が見い出せなかった。

一方, これを牧草生育期間の気象条件(表1)と対比してみると, 古い経年草地が3年目草地より明らかに低収となる番草の気象条件として, 1983年2番草の場合は積算気温が平年値の76%程度しかなく, 平均気温も平年値より約4°C低いこ

表1 各試験年次の気象的特徴

要因 年次	番草	降 水 量 (mm)*				積 算 気 温 (°C)*			
		1	2	3	合 計	1	2	3	合 計
1983		137	118	188	438	392	727	659	1,778
1984		44	91	208	343	429	1,086	678**	2,193
平年値		124	179	199	502	435	954	684	2,073

* 降水量、積算気温は1番草（4月下旬～6月上旬）、2番草（6月中旬～8月上旬）、3番草（8月中旬～9月中旬）の生育期間内の積算値で示した。

** 2番草刈取り以降3番草生育前半（8月中旬まで）は無降水で再生が認められず、この間の気温を無効とみなせば490°Cとなる。

と、また1984年3番草の場合は2番草刈取り以降3番草生育前半まで無降水で牧草の再生が認められず、この間の積算気温を無効と見なせば平年値の72%程度と実質的な低温条件となり、いずれの年次でも3年目草地より古い経年草地が低収となる番草は積算気温が平年値より低いことが認められた。

表2 経年数の異なる草地の施肥窒素利用率(%)

部位	番草 草地	1 番 草		2 番 草		3 番 草	
		3	7	3	7	3	7
茎 葉		51.6	47.2	46.4	35.8	36.5	31.7
株 + 根		27.8	26.9	23.1	20.2	23.3	17.9
枯死茎葉*		6.0	7.8	10.9	13.6	12.0	13.5

* 地表面枯死茎葉による施肥窒素保持率(%)

そこでこのような気象条件における牧草の施肥窒素の利用率、給源別窒素吸収量を表2、3に示した。7年目草地の牧草収量は3年目草地のそれに比べ平年より低温で経過した2番草収量が最も低く、ついで1番草で3番草では逆に3年目草地より高い収量を示した。このような収量傾向での7年目草地の施肥窒素利用率（表2）は1、3番

草では3年目草地より低いもののその差は5%以下であった。これに対し低温で経過した2番草時の施肥窒素利用率は明らかに3年目草地>7年目草地でその差も10%以上と大きかった。さらに草地の地表面に存在する枯死茎葉の施肥窒素保持率は全ての番草で7年目草地>3年目草地で、とりわけ2番草時での差が大きかった。

一方、給源別の窒素吸収量（表3）は、3年目草地に対する7年目草地の施肥由来窒素の割合は1、3番草が87～92%であったが、収量差の大きかった2番草では77%と明らかに低かった。また7年目草地における土壌由来の窒素吸収量は1、2番草とも3年目草地の81、79%と低いが、3年目草地と同等の収量が得られた3番草時では3年目草地と同等の吸収量を示した。

2. 低温条件が経年草地の収量および施肥窒素利用率に及ぼす影響

圃場試験で得られた古い経年草地の2、3番草時の低温条件下における低収化現象を確認するため、5種の経年草地の無攪乱土壌を無底ステンレスポットで採取し、人工気象室にて2水準の温度条件で牧草を生育させた結果を表4に示した。

表3 経年数の異なる草地の収量および給源別窒素吸収量(kg/10a)

項目 番草	3 年 目 草 地 (pH6.2)*				7 年 目 草 地 (pH5.4)*			
	収 量	吸収 N	施 肥	土 壤	収 量	吸収 N	施 肥	土 壤
1	276	5.08	2.06	3.02	85	85	92	81
2	266	4.79	1.86	2.93	80	78	77	79
3	176	4.07	1.46	2.61	106	96	87	101
合 計	718	13.94	5.38	8.56	88	86	85	86

* 試験開始時の表層（0～2 m）土壌のpH(H₂O)

3年目草地は全て実数値で示し、7年目草地は3年目草地に対する指数で示した。

表4 経年数の異なる草地の施肥窒素利用に及ぼす生育温度の影響

草地	経年数	処理 項目 期間	高 温 条 件 (14℃)				低 温 条 件 (10℃)				低温/高温×100		
			収 量	N吸収量	施肥 N	土壌 N	収 量	N吸収量	施肥 N	土壌 N	収 量	施肥 N	土壌 N
			(g/ポット)	(mg/ポット)	(mg/ポット)	(g/ポット)	(g/ポット)	(mg/ポット)	(mg/ポット)	(g/ポット)			
	2	一 回 目	129	135	116	148	121	125	120	127	93	103	101
	3		(6.90)**	(126.3)	(52.9)	(73.4)	(6.63)	(138.3)	(52.4)	(85.9)	96	99	117
	5		102	108	87	123	96	100	85	109	90	97	103
	9		97	104	97	109	77	82	83	82	76	85	87
	12		94	103	96	108	71	77	78	77	73	81	83
	2	二 回 目	116	107	87	114	138	113	96	118	123	118	114
	3		(1.73)**	(34.4)	(8.5)	(25.9)	(1.80)	(37.4)	(9.1)	(28.3)	104	107	109
	5		115	121	93	130	122	128	90	140	110	104	117
	9		102	108	87	115	123	125	109	131	125	134	125
	12		106	116	92	124	141	135	112	143	127	131	125

* 生育期間：1回目～温度2水準、施肥 N5g/m²相当

2回目～温度一定(平均18℃)～N条件

(ポット試験)

** () 実数値, その他は3年目を基準とした指数で示した。

2番年の生育期間の温度に近い高温条件で牧草を生育させた場合、標準とした3年目草地に比べ9、12年目の古い経年草地の収量は94～97%とわずかに劣る程度であるのに対し、低温条件で生育させた場合、9、12年目草地の収量は3年目草地の71～77%と明らかに劣っていた。つまり、低温の影響(低温/高温×100)は2、3年目の新しい草地が93～96%であるのに対し、9、12年目草地のそれは73～76%であり、古い経年草地が明らかに大きかった。一方、施肥窒素の利用率は3年目草地に比べ高温、低温条件とも2年目草地で高く、5年目草地で低い傾向が認められるが、9、12年目の古い経年草地は高温条件で3年目草地と大差なく、低温条件では明らかに低かった。さらに9、12年目草地の土壌窒素吸収量は、高温条件では3年目草地のそれと大差ないが、低温条件では3年目草地の78～83%と明らかに劣っていた。この時

の牧草体成分含有率および施肥窒素濃度を表5に示した。牧草体の窒素、りん酸およびカリ含有率は、生育が抑制された低温条件が高温条件のそれより高く、逆に施肥由来窒素濃度は低温条件の方が高温条件より若干低くなる傾向にあった。また、低温の影響が大きかった古い経年草地の牧草体成分含有率は3年目草地のそれと大きな差は認められなかった。

次に生育期間の温度条件を一定にして施肥窒素の残効を調査したところ、前歴が低温条件によって十分に施肥窒素を利用されなかった9、12年目の古い経年草地は施肥窒素の残効が大きく、3年目草地に対し109～112%の残効が認められた。また、土壌由来の窒素吸収量も前歴が低温で土壌由来の窒素吸収量の少なかった古い経年草地は3年目草地より明らかに大きかった。

このポット試験で得られた結果は、1983年の低

表5 生育温度の違いと牧草体成分含有率(ポット試験)

草地	成分 *温度	T-N(%)		¹⁵ N(atom %)		P ₂ O ₅ (%)		K ₂ O(%)		pH(H ₂ O・0～5cm)	
		H	L	H	L	H	L	H	L	H	L
	2年目	1.91	2.15	3.85	3.90	0.50	0.69	2.60	2.92	5.74	5.58
	3	1.83	2.09	4.41	4.02	0.54	0.71	2.50	2.96	5.66	5.69
	5	1.94	2.17	3.62	3.47	0.62	0.79	2.90	3.08	5.70	5.65
	9	1.97	2.24	4.13	4.07	0.65	0.72	3.03	2.96	5.22	5.18
	12	2.00	2.27	4.12	4.06	0.58	0.78	2.79	3.06	5.72	5.90

* H: 高温条件, L: 低温条件

温条件下における2番草の牧草生育および施肥窒素利用率と同様の結果であった。

3. 施肥窒素の土壌中での動態

1984年の2，3番草時における施肥窒素の土壌中での動態を図2に示した。比較的高温に推移し

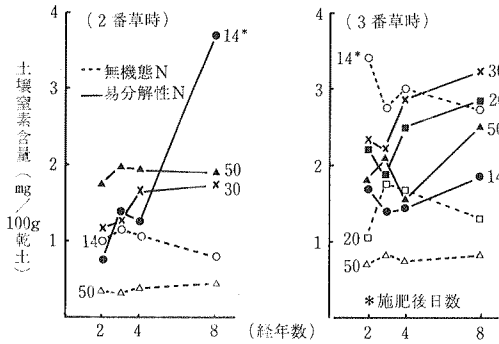


図2 表層土壌(0~5 cm)の無機態および易分解性窒素(30℃1週間、培養による窒素無機化量)の施肥後経時変化(N12kg/10a. 年:1984年)

た2番草では施肥後2週目の表層土壌の無機態窒素含量は、3年目草地より古い経年草地で順次低くなるのに対し、1週間培養で無機化される易分解性窒素含量は古い経年草地が顕著に増加する。ところが古い経年草地の易分解性窒素含量は刈取り時(施肥後50日目)には3年目草地のそれと同水準まで低下していた。これに対し、有効積算気温が低かった(生育初期の無降水によって)3番草についてみると、施肥後14~20日までの無機態窒素含量は、2番草時と同様に3年目草地より古い経年草地で少ないが、易分解性窒素は高含量を示し、この古い経年草地の易分解性窒素は3番草刈取り時(施肥後50日目)に至っても3年目草地のそれより高い水準にあった。

表層土壌の窒素無機化-有機化に及ぼす温度の影響を室内実験で検討した結果は図3，4に示した。培養温度が10℃の低温条件下における表層土壌の窒素無機化量(図3)は造成後年数の若い草地ほど多く、造成初年目>3年目>9年目草地の順

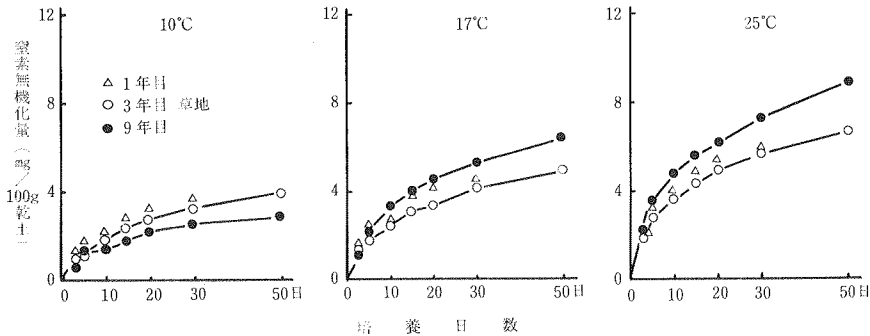


図3 経年草地表層土壌(0~5 cm)の窒素無機化量に及ぼす温度の影響

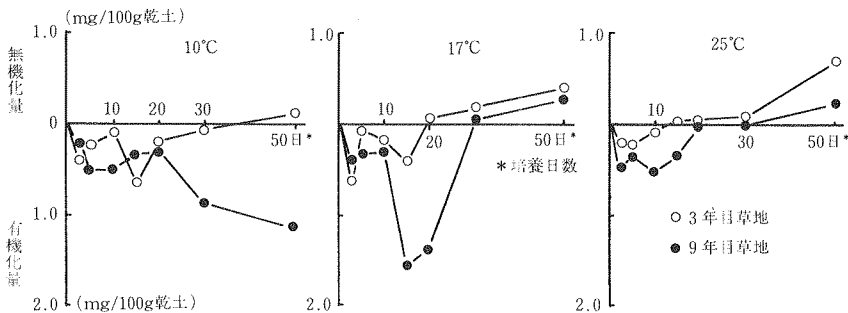


図4 経年草地表層土壌(0~5 cm)の窒素有機化-再無機化に及ぼす温度の影響

となった。これに対し、培養温度が17および25°Cの高い条件での土壤窒素無機化量は、表層に有機物が集積した9年目草地が明らかに多く、ついで造成初年目、3年目草地の順となり、表層土壤の窒素無機化量と草地の経年数との関係は温度によって異なることが示唆される。つぎに施肥された窒素の有機化と温度の関係(図4)は、いずれの温度条件でも表層集積有機物の多い9年目草地>3年目草地の順に有機化量が多かったが、施肥された窒素の有機化が起きている期間は、草地の経年数と温度条件によって明らかに異なった。すなわち培養温度が10°Cの低温条件では、3年目草地の表層土壤は積算温度約400°Cで有機化がゼロになり、このことは有機化窒素の再無機化が終了

していることを示している。これに対し、9年目草地の表層土壤は本試験の培養期間内では有機化窒素の再無機化が認められなかった。同様に17°C条件では3年目草地はおおむね積算温度340°C程度で、9年目草地は500°C付近でそれぞれ有機化窒素の再無機化が完了し、25°C条件では3年目、9年目草地とも見かけ上の施肥窒素の有機化量が少なく、かつ、3年目草地では250~300°C付近で、9年目草地では500°C付近で有機化窒素の再無機化が終了していることを示していた。

他方、ポット試験の終了後、表層集積有機物を粒径別に物理分画し、それぞれに保持されている施肥窒素を測定し表6に示した。3年目草地は未分解の枯死茎葉に保持された施肥窒素が高温区

表6. 粒径別表層集積有機物の施肥窒素保持量 (mg/ポット:ポット試験)

条件	粒径 草地	地表面 枯死茎葉	2mm 以上	2~ 1mm	1~ 0.5mm	0.5~ 0.25mm	0.25~ 0.1mm	2mm 以上 ~0.1mm 合計
高温区	3	5.04	0.39	0.30	0.27	0.22	0.42	1.60
	5	6.20	0.94	0.28	0.28	0.19	0.37	2.06
	9	7.55	1.04	0.26	0.56	0.63	1.10	3.59
低温区	3	5.95	0.41	0.37	0.31	0.17	0.26	1.52
	5	6.51	1.08	0.38	0.29	0.43	0.50	2.68
	9	7.37	1.97	0.25	0.49	0.79	1.33	4.83

より低温区で高いが、集積有機物の各画分は温度条件の違いによる施肥窒素保持量に差異が認められなかった。これに対し、9年目草地における表層集積有機物の施肥窒素保持量は牧草の施肥窒素利用率が低かった低温区で、2mm以上の画分および0.5mm以下の細粒画分で高温区より明らかに高かった。また9年目草地の集積有機物は画分

で3年目草地のその施肥窒素保持量より高く、5年目草地は9年目と3年目草地の中間に位置していた。

4. 表層集積有機物の炭素・窒素組成

草地の土壤表層に集積した有機物の存在量(表7)は、粒径別に物理分画したいずれの画分でも草地の経年化に伴って増加し、8年目草地は0.1

表7 経年数の異なる草地の集積有機物量

草地 粒径 項目	2 年 目		3 年 目		4 年 目		8 年 目	
	存在量*	割合**	存在量	割合	存在量	割合	存在量	割合
地表面枯死茎葉	182		275		310		382	
2mm 以上	65	67.0	97	68.3	188	67.2	252	56.7
2~1mm	29		45		37		65	
1~0.5mm	40		65		76		144	
0.5~0.25mm	43	33.0	72	31.7	77	32.8	195	43.3
0.25~0.1mm	112		151		221		464	
合 計	470	100	704	100	909	100	1,488	100

* 存在量 (g/m²), **C/N 比20以上有機物の存在割合(%)

mm以上の画分の有機物集積量は2, 3年目草地の2~3倍にも達する。また0.1mm以上の画分の有機物の粒径分布をみると、0.5mm以上画分(C/N比20以上)は2, 3年目草地が67~68%と8年目草地の57%を上廻る。しかし、有機物存在量としては2, 3年目草地の320~480g/m²に対し、8年目草地は840g/m²と明らかに多い。また0.5mm以下(C/N比20以下)の分解が進み、窒素無機化の期待できる画分についても8年目草地が2, 3年目草地より2~4倍も多く存在していた。

一方、粒径別に分画した有機物の化学組成を図5, 6に示した。なお、各抽出画分の有機物存在

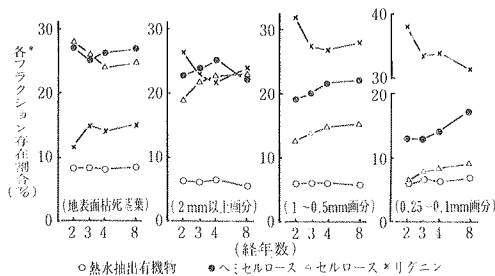


図5 粒径別有機物の化学組成
(*強熱減量に対する割合)

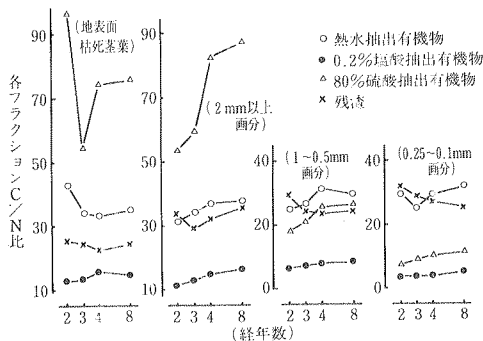


図6 粒径別有機物における各抽出画分のC/N比

割合は強熱減量に対する割合で示し、また抽出画分のC/N比は熱水抽出画分：熱水抽出有機物/同抽出窒素含量、0.2%塩酸、80%硫酸抽出画分：ヘミセルロース、セルロース炭素/抽出窒素含量として示した。まず地表面枯死茎葉画分のリグニン割合は草地の経年化に伴って増加し、逆に分解性に富むセルロースの割合は低下する傾向を示した。しかし表層土壌中の枯死茎基部や根を主体とする2mm以上画分、および1~0.5mm画分で

はヘミセルロース、セルロースなど分解性に富む有機物の割合が草地の経年化に伴って増加する傾向を示し、0.25~0.1mm画分についても同様な傾向が伺える。

他方、各抽出画分のC/N比(図6)をみると、地表面枯死茎葉画分では明らかな傾向は認められないが、他の画分では最も分解性に富む熱水抽出有機物および分解性に富む80%硫酸抽出有機物のC/N比が草地の経年化に伴って高くなり、0.2%塩酸抽出有機物のC/N比についても僅かに高まる傾向を示した。

以上のように、古い経年草地に集積する有機物は2, 3年目草地のそれと物理的に同一粒径の画分であっても化学組成的には分解性に富むヘミセルロース、セルロースの割合が高いと同時に、その抽出される有機物のC/N比が高いことなどから、古い経年草地が新しい草地に比べ施肥窒素の有機化能は大きいことが示唆される。

IV 考 察

草地の経年化に伴う収量低下の諸要因を検討することは、草地の利用年限を延長するための技術的指針を策出する上で重要な課題と考えられる。この経年化に伴う収量低下の原因には土壤理化学性の悪化、植生の悪化が考えられているが、今回は土壤の理化学性および草地植生がほぼ均一な造成2~11年目までのオーチャードグラス主体の経年草地を同一気象条件で比較することにより、草地表層に集積した有機物の多寡と施肥窒素の動態、土壤窒素供給の面から古い経年草地の収量低下要因の摘出を試みた。

今回の試験結果から、古い経年草地の牧草収量が新しい草地(3年目)より明らかに低下する気象的特徴として、各番草の生育期間の積算気温が平年値より明らかに低いことが認められた。ここで新しい草地として造成3年目草地を基準とした理由は、草地更新時にすき込まれた旧表層集積有機物及び前植生の分解による旺盛な窒素供給¹³⁾の影響を小さくするためである。また異常低温時の古い経年草地の低収化には牧草自体の活力低下、例えば養分吸収力の低下なども要因として考えられるが、ポット試験の結果、牧草体りん酸、カリなど無機成分含有率は生育量が小さかった低温条件下で高かったこと(表5)から、牧草自体の養

分吸収力低下による収量低下とは考えられない。従って、この異常低温時における古い経年草地の収量低下は施肥窒素および土壌窒素の供給量に起因する現象と考えられ、本報ではこの窒素に焦点をしばって論議することとする。

低温条件で、古い経年草地が新しい3年目草地より明らかに低収となる番草では、古い経年草地の牧草による施肥窒素利用率および土壌由来窒素の吸収量が新しい3年目草地より劣ることは圃場試験および無底ポット試験で共通した現象であった。この古い経年草地の牧草収量が3年目草地より明らかに低下する低温時には、土壌から無機化される易分解性窒素含量が古い経年草地>新しい3年目草地であり、この傾向は収穫時まで認められた。これとは逆に比較的高温条件で経過した番草では、古い経年草地の収量は3年目草地のそれと同等かもしくは上廻り、土壌の易分解性窒素含量は古い経年草地で一時的に3年目草地より高まるものの牧草収穫時には両者はほぼ同等の含量を示した(図2)。更に、3年目および9年目草地の表層土壌を用いて添加窒素の有機化量と有機化窒素の再無機化に必要な時間を差引き法で検討した結果(図4)、培養温度10°Cの低温条件での添加窒素の有機化量は9年目草地>3年目草地で、かつ有機化した窒素の再無機化は3年目草地が概ね積算温度400°C前後で完了しているのに対し、9年目草地では500°Cに至っても有機化窒素の再無機化が認められなかった。

以上の現象を考え併せれば、古い経年草地における施肥窒素の有機化量は3年目草地に比べ明らかに多く、この有機化された窒素の再無機化が牧草収穫時に至っても完了せず土壌中に残存し、これが牧草の施肥窒素利用率を低下させた要因と考えられた。このことはポット試験で前歴を低温条件にすると施肥窒素の残効が古い経年草地で大きかったこと(表4)および同試験終了時の表層集積有機物に保持された施肥窒素量が大きかったこと(表6)からも支持される。

一方、土壌由来窒素吸収量は低温条件で古い経年草地が3年目草地より低い現象は、図3に示したように9年目草地の表層土壌は有機物が集積し土壌窒素給源が多いにもかかわらず、低温条件では土壌窒素無機化量が3年目草地より少ないことから説明される。これに対し、培養温度が高まる

ことによって古い経年草地の表層土壌の窒素無機化量は3年目草地のそれを凌駕し、牧草収量に反映していた(図1)。すなわち、地温が低い条件では古い経年草地の土壌窒素の無機化が劣り、土壌由来窒素吸収量が3年目草地より低くなることを示唆した。

以上のことから、2、3番草生育期の異常低温時における古い経年草地の低収化の原因は施肥窒素の有機化量および有機化した窒素の再無機化速度、さらに土壌窒素の無機化量とが密接に関連していると考えられた。

そこで上述の施肥窒素の動態(有機化-再無機化)および土壌窒素の無機化とそれに影響を及ぼす表層集積有機物の存在量とその化学組成との関連について考察を加える。

一般に施肥窒素の有機化量は有機物のC/N比に支配されるが温度には制限されずらく、低温条件でも施肥窒素の有機化が生ずること、逆に土壌窒素の無機化速度は温度に大きく支配されることが知られている¹⁹⁾。まず第1に古い経年草地の表層に集積する有機物量は3年目草地に比べて明らかに多い。有機物の分解過程で施肥窒素の有機化が認められる有機物のC/N比を20以上²⁾とすると、8年目草地は0.1mm以上の有機物中840g/m²であり、2、3年目草地316~482g/m²に比べて遙かに多い。第2に粒径別有機物の化学組成として地表面の枯死茎葉を除いた2mm以上、1~0.5mm画分は熱水、0.2%塩酸および80%硫酸可溶有機物のC/N比が草地の経年化に伴って高まる。以上のことから施肥窒素の有機化能は古い経年草地が圧倒的に大きいことが理解される。

一方、有機化された施肥窒素の再無機化が古い経年草地で3年目草地より遅れることは、温度条件が同一であっても集積有機物の粒径別存在量およびその化学組成に影響されているものと推察される。すなわち、Kai¹⁹⁾は低温時における有機化窒素の再無機化は、有機物添加時のC/N比が大きい条件ほど遅れると指摘している。このことから、古い経年草地は新しい草地よりC/N比の高い有機物量が明らかに多いことが有機化した窒素の再無機化を遅らせる主要因と考えることが妥当であろう。

他方、古い経年草地は集積有機物中で分解が進んだC/N比の低い細粒画分が量的に多いにもか

かわらず、低温時の土壤窒素供給量が3年目草地より少ないのは、古い経年草地の集積有機物は窒素の無機化しやすい画分が多いと同時に無機態窒素の有機化を引起すC/N比の高い画分の有機物量が多いことに関連している。すなわち、C/N比の低い細粒画分が無機化された土壤窒素は、C/N比の高い画分では有機化され、この有機化された窒素の再無機化は、低温条件では有機化された施肥窒素の再無機化と同様に古い経年草地が新しい草地より遅れるため、相対的に古い経年草地の土壤窒素供給量が3年目草地より少なくなるものと考えられる。

従って2、3番草生育期の異常低温下で古い経年草地が低収となる原因としては施肥窒素や無機化された土壤窒素が集積有機物の分解過程で有機化され、その再無機化が遅れるためにこれら窒素の供給量が減少することにあると考えられる。この考え方に基づいて、低温時における古い経年草地の収量低下を軽減させる一手法として窒素施肥量を増加させることが想定され、ポットで確認試験を行なった結果を図7に示した。古い経年草地

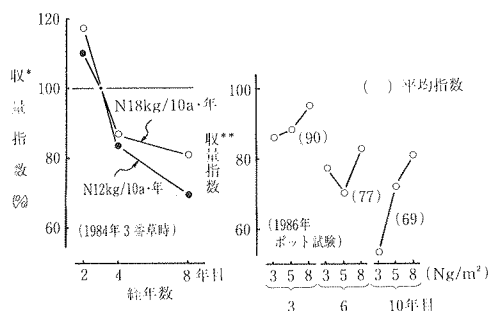


図7 経年草地の低温時における窒素施肥反応

* 3年目草地：100，**低温区の高温区に対する収量指数

は低温条件下で低窒素施肥水準のとき、3年目草地の59%の収量しか示さないのに対し、高窒素施肥水準では3年目草地の76%の収量まで回復していた。また同様に、低温条件の高温条件に対する収量指数は低窒素施肥水準で3年目草地86%、古い経年草地53%と明らかに低温の影響は古い経年草地で大きい。しかし、低温条件における高窒素施肥水準の収量指数は3年目草地で10%程度の回復であるのに対し、古い経年草地では30%程度の回復を示し、低温の影響を緩和していた。このことは、1984年3番草時の圃場試験で古い経年草地

における低温の影響が窒素12kg/10a・年>同18kg/10a・年であったことから支持される。

以上のことから、2、3番草時の異常低温下における古い経年草地の施肥窒素利用率、土壌からの窒素吸収量の低下は、主に表層集積有機物量が新しい草地のそれより明らかに多く、しかも分解性に富む熱水、0.2%塩酸および80%硫酸可溶有機物のC/N比が高いなど施肥窒素の有機化を促進する要因が多く、低温条件ではこの有機化された施肥窒素および土壌窒素の再無機化を遅延させるためと判断された。この古い経年草地の低温条件における収量低下を緩和させる一手法として窒素施肥量を増加させることが指摘できる。

謝辞：本研究を遂行するに際し、農林水産省農業環境技術研究所井ノ子昭夫室長並びに尾和尚人博士には分析法の御指導および御助言をいただいた。また、天北農業試験場長齊藤亘博士、中央農業試験場環境保全部大崎玄佐雄部長には御指導と、御校閲をいただいた。各位に深く謝意を表する。

引用文献

- 1) Campbell, C.A. Jame, Y.W.: Winkleman, G. E. "Mineralization rate constants and their use for estimating nitrogen mineralization in some Canadian prairie soils" Can. J. Soil Sci. **64**, 333-343 (1984).
- 2) 広瀬春郎, "各種植物遺体の有機態窒素の畑状態土壌における無機化について", 日土肥誌**44**, 157-163 (1973).
- 3) 宝示戸雅之, 佐藤辰一郎, 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).
- 4) Kai, H.: Ahmad, Z.; Harada, T. "Factors affecting immobilization and release of nitrogen in soil and chemical characteristics of the nitrogen newly immobilized. I. Effect of temperature on immobilization and release of nitrogen in soil" Soil Sci. Plant Nutr., **15**, 207-213 (1969).
- 5) 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).
- 6) 三木直倫, "草地畜産系における窒素循環とその管理上の問題点", 北海道土壌肥料研究通信, **31**, 17-32 (1984).

- 7) 大村邦男, 木曾誠二, 赤城仰哉, “火山灰草地における施肥管理が草地の経年変化に及ぼす影響”, 北海道立農試集報, **52**, 65-76 (1985).
- 8) 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).
- 9) Stanford, G.; Frere, M.H.; Schwasinger, D.H. “Temperature coefficient of soil nitrogen mineralization”, *Soil Sci.*, **115**, 321-323 (1973).
- 10) Stevenson, F.J. “Gross chemical fractionation of organic matter” In C.A.Black et al eds. *Methods of soil analysis, Part 2. Am. Soc. Agric. Madison. Wisconsin*, 1965, p.1409-1421.
- 11) 和田秀徳, 金沢晋二郎, “土壌有機物の物理分画法 (第1報)” 日土肥誌, **41**, 273-280 (1970).
- 12) 山神正弘, “生態的観点からみた草地の生産性” 北海道土壌肥料研究通信, **25**, 13-27 (1978).
- 13) 三木直倫, 高尾欽弥, “草地更新に際する土壌肥料的諸問題, III. 耕起法の違いによる N 肥効発現”, 日土肥誌講演要旨集, **26**, 227 (1981).

The Effect of Fertilizer Nitrogen Immobilization, It's Release and Soil Nitrogen Mineralization on Grass Yield of Permanent Swards in Cool Temperature

Naomichi MIKI*, Kinya TAKAO** and Akira NISHIMUNE*

Summary

Fields and pot experiments which used an air conditioned room were conducted in order to determine the effect of fertilizer nitrogen immobilization and it's release and soil nitrogen mineralization on grass yield of permanent swards in cool temperatures. These experiment were carried out in 5 swards in the pot experiment and 10 swards in the field experiment which were established in different years, and used ^{15}N -labelled nitrogen in form of ammonium sulfate.

The results obtained are summarized as follow :

1) Grass yield of old permanent swards which have been used for more than 7 or 8 years were obviously lower than 3 year old sward in cool temperature (less than 20-30 percent of the mean accumulated temperature) at 2nd and 3rd growth periods.

2) These resulted from the fate of fertilizer nitrogen and the amount of soil nitrogen supply were lower in old permanent swards than those in the 3 year old sward in both fields and pot experiments.

3) In the incubation experiment, the amount of immobilized fertilizer nitrogen in surface layer soil of the old permanent sward was larger than it of the 3 year old sward. Furthermore, in the old permanent sward, a release speed of immobilized fertilizer nitrogen was slower than the 3 year old sward in cool temperatures. It needed about 300-400°C (accumulated temperature) in the 3 year old sward and more than about 500°C in the old permanent sward.

4) The amount of mineralized soil nitrogen in the surface layer soil of the old permanent sward was affected strongly by temperature, in low temperature, it was lower in the old permanent sward than it was in the 3 year old sward.

From these results, it was concluded that one of the reason which are responsible for the low grass yield of old permanent swards in cool temperature at 2nd and 3rd growth periods is a small supply of both fertilizer and soil nitrogen.

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

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