

## 消化液・堆肥・化学肥料の長期連用飼料畑における収量性

—— 6ヶ年連用したチモシー主体草地における乾物収量および草種構成の推移 ——

義平大樹<sup>1)</sup>・小阪進一<sup>2)</sup>・名久井忠<sup>3)</sup>

Dry matter yield of a forage field receiving long-term applications of anaerobically digested cattle slurry, farmyard manure and chemical fertilizer

—— Changes in dry matter yield and botanical composition of timothy cutting grassland for six years ——

Taiki YOSHIHIRA<sup>1)</sup>, Shinichi KOSAKA<sup>2)</sup> and Tadashi NAKUI<sup>3)</sup>

(Accepted 5 August 2011)

### 1. 緒 論

酪農場において家畜糞尿を適切に処理し、草地や飼料作物圃場に十分に還元することは、循環型・持続可能な酪農を展開するうえで、不可欠である(松中 2010)。酪農家における糞尿処理は、かつては、好氣的に有機物を分解させる方式、すなわち堆肥化やばっ気による浄化が主流であった(松田 2006)。しかし、悪臭や環境汚染などの環境問題の発生が多いため、その解決策の1つとして、嫌氣的に発酵させるバイオガスプラントによる糞尿処理技術が注目され始めた(Schulz and Eder 2002)。

バイオガスプラントは家畜の糞尿を嫌気発酵させ、発生したメタンガスを利用することによりエネルギーの回収を可能にする技術であり、嫌気発酵させる場合に発酵タンクを使用するため、外部へのメタンや悪臭物質の揮散を防止できる利点を持つ。さらに、エネルギーを回収し終わった糞尿は貯蔵タンクで保管され、消化液として圃場へ肥料として散布される(松田 2002)。本学においても、2000年11月より消化液が学内の草地やサイレージ用トウモロコシ圃場に還元されている。

渡部(2002)によると、チモシー単播草地における消化液の窒素利用率は乳牛のスラリーとほぼ同等であり、松中ら(2004)によれば、バイオガスプラ

ント消化液を牧草に表面施用した場合、その肥料成分はスラリーと同等の肥効率と補正係数を用いて化学肥料に換算できる。さらに、三枝と渡部(2006)によれば、アンモニウム態窒素が全窒素の50%以上を占める場合には、アンモニウム態窒素を基準として化学肥料と同様の施肥効果を発揮する。著者らも、サイレージ用トウモロコシにおいて消化液を施用し、施肥効果(2002a)および窒素循環(2002b)を化学肥料と比較したところ、消化液においてアンモニア揮散がみられる以外はほぼ同様の結果であることを確認した。

草地への長期連用においては、桑原ら(2011)によると、別海町において消化液を9年連用した結果、土壤の理化学性が改善し、非散布圃場に比べても大きな収量の減少はみられなかった。一方、近藤ら(2004)は消化液をチモシー主体草地に3年間連用すると、牧草中のK含有率が15%上昇したとしている。また、澤本ら(2008)によれば、消化液の3ヶ年の連用では土壤の理化学性に主たる変化はみられない。

一方、堆肥の連用においては、反町と安井(1988)によると、牛ふん堆肥を12年間連用すると、冬作イタリアンライグラス・オオムギおよび夏作トウモロコシ・ソルゴーにおいて増収効果が大きく表れたが、多量施用では硝酸態窒素含有率やカリとカルシウ

<sup>1)</sup> 酪農学園大学酪農学部酪農学科飼料作物学研究室

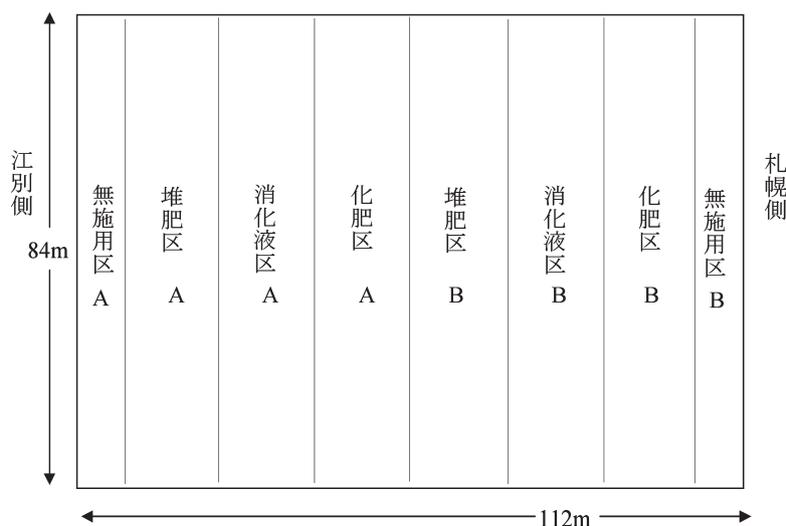
Forage crop, Department of Dairy Science, Faculty of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501, Japan

<sup>2)</sup> 酪農学園大学酪農学部酪農学科草地学研究室

Grassland Science, Department of Dairy Science, Faculty of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501, Japan

<sup>3)</sup> 酪農学園大学短期大学部サステイナブルディリーシステム研究室

Sustainable Dairy System, Department of Dairy Science, Faculty of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501, Japan



第1図 試験地図

ム・マグネシウム当量比が上昇し、土壌のミネラルバランスが崩れる。したがって、長期連用する際の上限量は 150 t/ha である。また、中辻ら (1999) によれば、天北地方の採草地において更新 3 年目以降の経年的な導入草種割合の低下と堆肥施用との間の関連性は小さく、牧草収量は、標準量の化学肥料を施用した場合と比べて、これに加えて堆肥を施用すると 10~39% 増加し、化学肥料の半量を堆肥に置き換えて施用しても変わらない。

しかし、寒冷地において消化液と堆肥と化学肥料を同一草地で、長期にわたって連用し、牧草収量と草種構成の変化を継続的に調査した報告は、わが国においてほとんどみられない。そこで、消化液、堆肥および化学肥料を、チモシー主体草地に 6 年、トウモロコシに 3 年、これを再度繰り返し、計 18 年間にわたり連用することを目標とし、連用 6 年目までのチモシー主体草地における乾物収量と植生の変化を調査し、経年的な収量と草種構成の変化が施用資材によって影響を受けるのか、受けるとすれば、どのような要因によってもたらされるかを明らかにしようとした。

## 2. 材料と方法

### (1) 調査草地、処理区の配置および調査地点

試験は本学附属農場 No.23 圃場において行った。本草地は、チモシー中生品種「ホクセン」を 2003 年 8 月中旬に播種し造成した、チモシー主体草地である。それ以前は、江別側半分にはアルファルファが、札幌側にはチモシーが栽培されていた。その他、管理履歴の詳細は澤本ら (2006, 2008, 2011) の報告に記載されている。

処理区として、堆肥のみを施用する区 (堆肥区)、消化液のみを施用する区 (消化液区)、化学肥料のみを施用する区 (化肥区) および無施用区を 2 反復で設定し (第 1 図)、処理は 2005 年より開始した。堆肥区のみ、2004 年の秋より散布を開始した。また、収量および植生調査は、各処理区を縦方向に両側約 20 m を除き、中央部を等間隔に 5 つに分割した 5 地点を中心に毎年固定して行った。処理区の配置および調査地点は澤本ら (2006) の報告と同様である。

### (2) 施用資材の肥料成分と施用量

施用資材の肥料成分含有率、処理前の化学肥料施用量、および処理開始後の資材の施用量をそれぞれ、第 1, 2 および 3 表に示した。化学肥料は 6 ヶ年すべて「かくさん 206」を用いた。その肥料成分含有率は全窒素 (T-N)、アンモニア態窒素 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ )、リン酸 ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )、カリ ( $\text{K}_2\text{O}$ )、それぞれ、12, 8, 10, 4 % である。播種時の 2003 年のみ、リン酸肥料として熔成リン肥を施用した。その肥料成分含有率は、く溶性りん酸 20.0, アルカリ分 45.0, く溶性苦土 12.0, 可溶性けい酸 20.0% である。消化液の肥料成

第1表 施用資材の肥料成分含有率

資材	T-N	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O}$
	(%)			
化学肥料 (かくさん206)	12	8	10	4
消化液	0.30 ±0.32	0.15 ±0.22	0.28 ±0.46	0.74 ±1.01
堆肥	0.66	0.04	0.61	0.68

消化液および堆肥の値はそれぞれ、土壌植物栄養学研究室、大学附属農場および飼料作物学研究室による。

消化液の値は、過去 6 年 10 回の調査の平均値 ± 標準偏差を表す。

第2表 播種年から処理開始までの化学肥料施用量

年次	施用時期	施用量 (kg/10a)	各成分施用量			
			T-N	NH <sub>4</sub> -N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
2003	化学肥料 <sup>1)</sup> 春	20	3.6	2.4	3	1.2
	リン酸 <sup>2)</sup> 春	50			10	
2004	化学肥料 早春	30	3.6	2.4	3	1.2
	夏	20	2.4	1.6	2	0.8
	年間合計	50	6	4	5	2

早春, 夏はそれぞれ, 4月下旬, 7月上中旬(1番草刈取後)を示す。

1) 化学肥料はかくさん206(登録番号, 生第58634号)を用い, その保証成分含有率は窒素全量12.0(内アンモニア性窒素8.0), < 溶性りん酸10.0(内水溶性りん酸6.0), < 溶性加里4.0(内水溶性加里2.0)。

2) リン酸肥料は熔成りん肥(登録番号, 輸第5853号)を用い, その保証成分含有率は< 溶性りん酸20.0, アルカリ分45.0, < 溶性苦土12.0, 可溶性けい酸20.0。

第3表 処理開始以降の資材の施用量

試験区	試験年次	施用時期	施用量 (kg/10a)	各成分施用量			
				T-N	NH <sub>4</sub> -N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
化学肥料区	2005 ~2008	早春	30	3.6	2.4	3	1.2
		夏	20	2.4	1.6	2	0.8
		年間合計	50	6	4	5	2
	2009 ~2010	早春	30	3.6	2.4	3	1.2
		夏	0	0	0	0	0
		年間合計	30	3.6	2.4	3	1.2
消化液区	2004	秋	3000	9.1	4.4	8.4	22.1
	2005 ~2008	早春	3000	9.1	4.4	8.4	22.1
		夏	2000	6.1	2.9	5.6	14.7
		秋	3000	9.1	4.4	8.4	22.1
		年間合計	8000	24.2	11.6	22.4	59.0
	2009 ~2010	早春	3000	9.1	4.4	8.4	22.1
		夏	—	—	—	—	—
晩秋		3000	9.1	4.4	8.4	22.1	
年間合計	6000	18.2	8.7	16.8	44.2		
堆肥区	2004 ~2010	秋	2000	13.2	0.8	12.2	13.6
無肥料区	2004 ~2010	—	—	—	—	—	

早春, 夏, 晩秋はそれぞれ, 4月下旬, 7月上中旬(1番草刈取後), 10月下旬~11月上中旬を示す。

化学肥料はかくさん206(登録番号, 生第58634号)を用い, その保証成分含有率は窒素全量12.0(内アンモニア性窒素8.0), < 溶性りん酸10.0(内水溶性りん酸6.0), < 溶性加里4.0(内水溶性加里2.0)。

分含有率は, 本学酪農学科土壌植物栄養学研究室の調査によれば, 過去6年, 10回の平均値は, T-N, NH<sub>4</sub>-N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>Oそれぞれ0.30, 0.15, 0.28, 0.74%であった。また, 堆肥の肥料成分含有率は大学附属農場および飼料作物学研究室の簡易分析の平均値によれば, T-N, NH<sub>4</sub>-N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>Oそれぞれ0.66, 0.04, 0.61, 0.68%であった。

2003年の播種前に化学肥料, リン酸肥料をそれぞれ20, 50 kg/10 a 施用し, 播種2年目2004年においては全区共通して化学肥料を早春と春にそれぞれ

30, 20 kg/10 a 施用した。また, 熔成りん肥を2005年から2008年の処理開始後4ヶ年においては化肥区では, 早春(4月下旬~5月上旬), 1番草刈取後(7月上中旬)にそれぞれ30, 20 kg/10 a, 消化液区では早春, 1番草刈取後に加えて秋にそれぞれ3, 2, 3 t/10 a を施用した。しかし, 2009, 2010年においては, 両区ともに過去4ヶ年に比べて減肥し, 化肥区では, 早春(4月下旬~5月上旬), 1番草刈取後(7月上中旬)にそれぞれ30, 20 kg/10 a, 消化液区では早春, 秋のみにそれぞれ3, 3 t/10 a を施用した。

これに対して堆肥区においては2004~2010年の7ヶ年、一貫して秋に2t/10aを施用した。

### (3) 調査方法

連用6ヶ年、1番草と2番草はそれぞれ、6月下旬、および8月下旬から9月上旬に収穫した(澤本2011)。収量調査として、収穫の数日前に1m×1mのコドラートを各区5ヶ所に置き、枠内の牧草を刈り取った。イネ科(チモシー)、マメ科(シロクロバー)、雑草に分けて原物重を測り、その後70℃で72時間以上通風乾燥し、乾物重を測定した。

植生調査として、6ヶ年、ライン法による出現頻度(沼田1969a)とコドラート法による相対優占度(沼田1969b)を、早春(4月下旬~5月上旬)、夏(7月上~中旬)、秋(9月上~中旬)に調査した。調査時期はそれぞれ、融雪後、1番草および2番草刈取後の再生が始まってから3週間後を目処とした。

### (4) 連用6ヶ年における気象概要

第4表に連用6ヶ年における牧草の生育期間に当たる4月から10月までの単純積算気温、降水量、および日射量を示した。積算気温は2010年が最も高く、2006年が低かった。降水量も2010年が最も多く、日射量の最も多かった2008年が最も少なかった。

### (5) データの解釈と統計処理

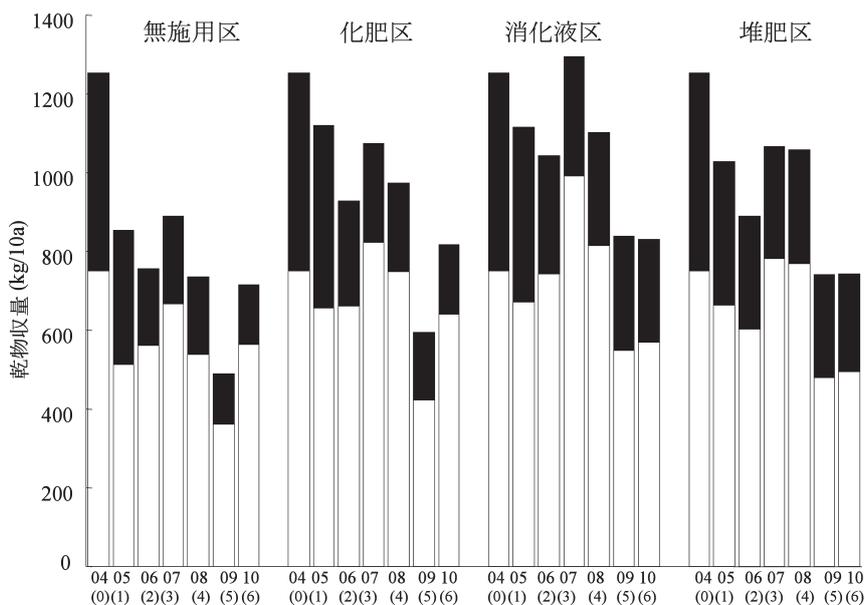
N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>Oの施用量が異なるため、施用資材の効果の差異を一般的に論ずることはできない。しかし、前述の施用量の違いを前提とした処理区として、処理区間差異についてコメントした。したがって、本報のデータは、あくまでも各施用資材を長期連用した場合の事例的な調査結果である。

同一年次の処理間比較における統計処理は、澤本ら(2006)と異なり、各処理区の斜面方向5ヶ所の調査結果を平均し、2反復で一元配置による分散分析を、統計解析ソフトウェアStatviewを用いて行なった。有意性がみとめられた要因に対してFisherのPLSD(最小有意差)による多重比較を行った。また、年次と処理(施用資材)を2要因とする二元配置分散分析も同様にStatviewを用いて行い、処理区の経年的変化の差異を検討した。

## 3. 結果および考察

### (1) 乾物収量およびその気象要因との関係

第2図に年間合計乾物収量の推移を示した。合計年間乾物収量(年間収量)は、2007年の消化液区を除いてすべての処理区において、播種2年目の2004年をピークに連用年数にともなって低下した。特に、連用5、6年目には無施用区を除く3区共通して、4年目までに比べて年間収量が著しく低下した。この低下は経年化にともなう減収に加え、チモシー主体草地の施肥標準にみえない量の肥料成分しか各施



第2図 年間合計乾物収量

横軸の2桁の数字は西暦を表し、( )内は連用年数を示す。

□: 1番草, ■: 2番草

第4表 牧草の生育期間(4~10月)の気象概要

年次	積算気温 (°C)	降水量 (mm)	日射量 (MJ/m <sup>2</sup> )
2005	3,049	694	3,282
2006	2,996	451	3,390
2007	3,131	579	3,333
2008	3,168	424	3,422
2009	3,118	577	3,413
2010	3,289	756	3,286
平均	3,125	580	3,354

用資材によって施用されていないことによって促され、特に、連用5、6年目に4年目までに比較して、著しく減肥した影響が大きく反映されているものと思われる。連用4年目までの年間収量を比較すると、どの区においても施用2年目の2006年が低かった。これは積算気温が低く、しかもやや乾燥年次であったこと(第4表)に起因すると考えられる。

第3図に番草別の乾物収量の推移を示した。経年変化をみるとすべての処理区に共通して、1番草収量は、連用3年目の2007年が最も高く、それ以降低下し、2番草収量は処理開始以降、連用6年目まで漸減する傾向を示した。分散分析の結果、施用資材と年次に1番草収量においてのみ、10%水準の弱い交互作用がみとめられた(第5表)。すなわち、連用3年目から6年目にかけての収量の経年的な低下程度は、消化液区が最も大きく、無施用区が最も小さかった。

第6表に全処理区を込みにした、乾物収量と気象要因の間の相関係数を示した。1番草収量は4月の

第5表 乾物収量(雑草を含む)、およびそれに対するマメ科牧草と雑草の乾物収量割合における施用資材と年次の交互作用(P値)

	1番草	2番草
乾物収量	0.086 †	0.469 ns
マメ科乾物割合	0.092 †	0.043*
雑草乾物割合	0.090 †	0.656 ns

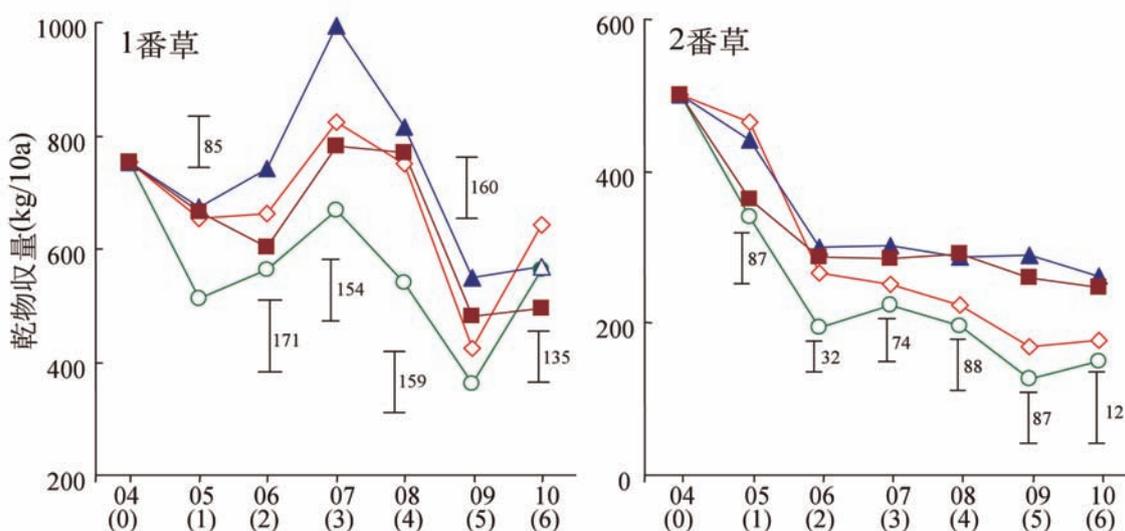
処理と年次を2要因とする、2元配置の分散分析をおこなった。  
\*、†はそれぞれ5、10%水準で有意、nsは有意でないことを示す。

第6表 乾物収量(雑草を含む)と気象要因との間の相関係数

番草	月	平均気温	降水量	日射量
1番草	4月	0.620**	-0.346	0.394 †
	5月	0.302	0.414*	0.097
	6月	0.341	-0.515**	0.350 †
2番草	6月	0.610**	-0.188	0.349
	7月	0.656***	0.332	-0.495*
	8月	0.283	0.460*	-0.288

\*\*\*, \*\*, \*, †はそれぞれ0.1, 1, 5, 10%水準で有意であることを示す。データ数(n)は、24(=4処理×6ヶ年)。

平均気温、および5月の降水量との間には有意な正の相関関係が、6月の降水量とは負の有意な相関関係がみとめられた。これに対して、2番草は6月、7月の平均気温および8月の降水量との間に有意な正の相関関係がみとめられた。2005年から2006年にかけてのすべての処理区における収量の低下には、草地の経年化に加えて、2006年の6月の低温と8月の少雨が影響しているものと考えられる。三木



第3図 番草別の乾物収量の推移

○：無施用区、◇：化肥区、▲：消化液区、■：堆肥区  
横軸の2桁の数字は西暦を表し、( )内は連用年数を示す。縦棒は最小有意差(5%水準)を示す。

(1993)によると、天北地方のオーチャードグラス主体採草地の収量は、当該番草の生育期間における降水量に強く影響を受ける。本報においても2番草においてはこの傾向がみられたといえる。

(2) 乾物収量に占めるマメ科牧草および雑草の割合

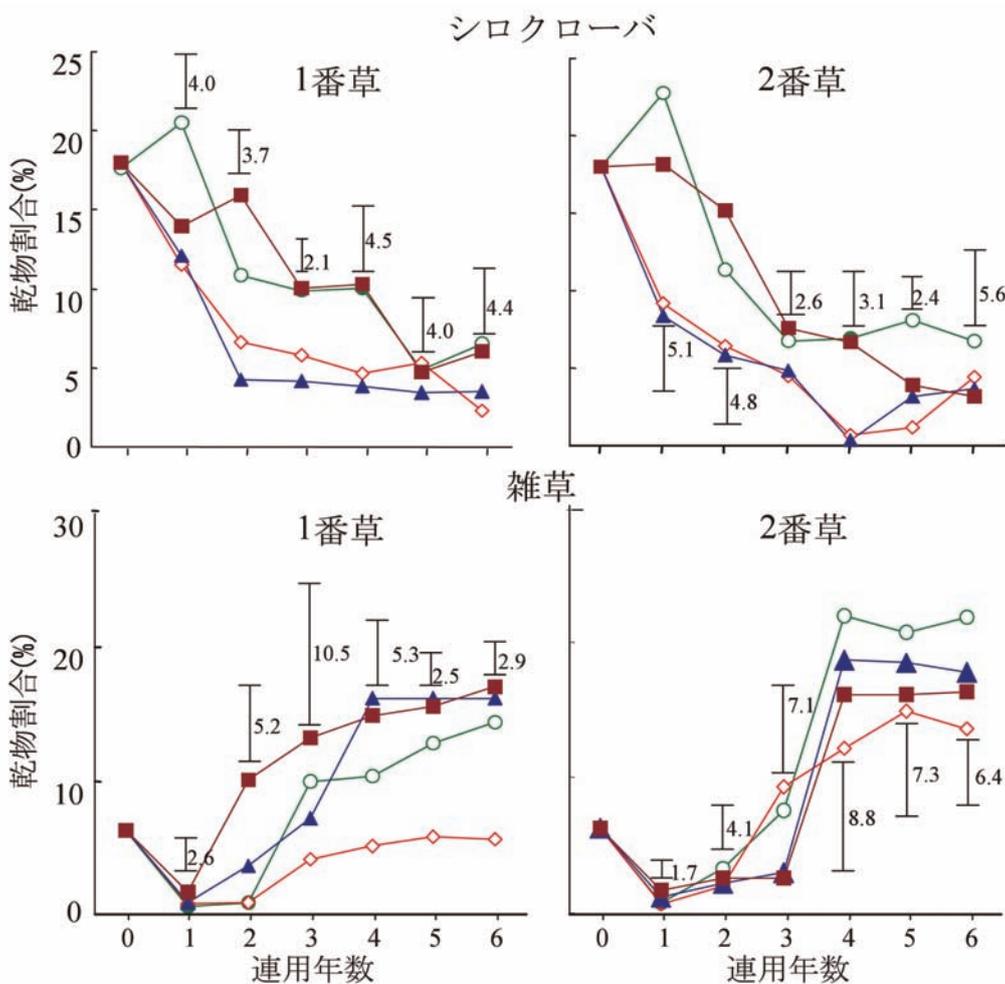
第4図に雑草を含む全乾物収量に占めるマメ科牧草および雑草の割合(乾物割合)の推移を示した。マメ科乾物割合は、すべての処理区において連用1年目から6年目にかけて減少した。分散分析の結果、両番草ともに、施用資材と年次の間には、それぞれ10, 1%水準の交互作用がみられた(第5表)。したがって、経年的なマメ科率の低下の進行には処理間差異がみられ、無施用区、堆肥区において遅く、化肥区および消化液区で早かった。

雑草乾物割合の変化をみると、全処理区に共通し

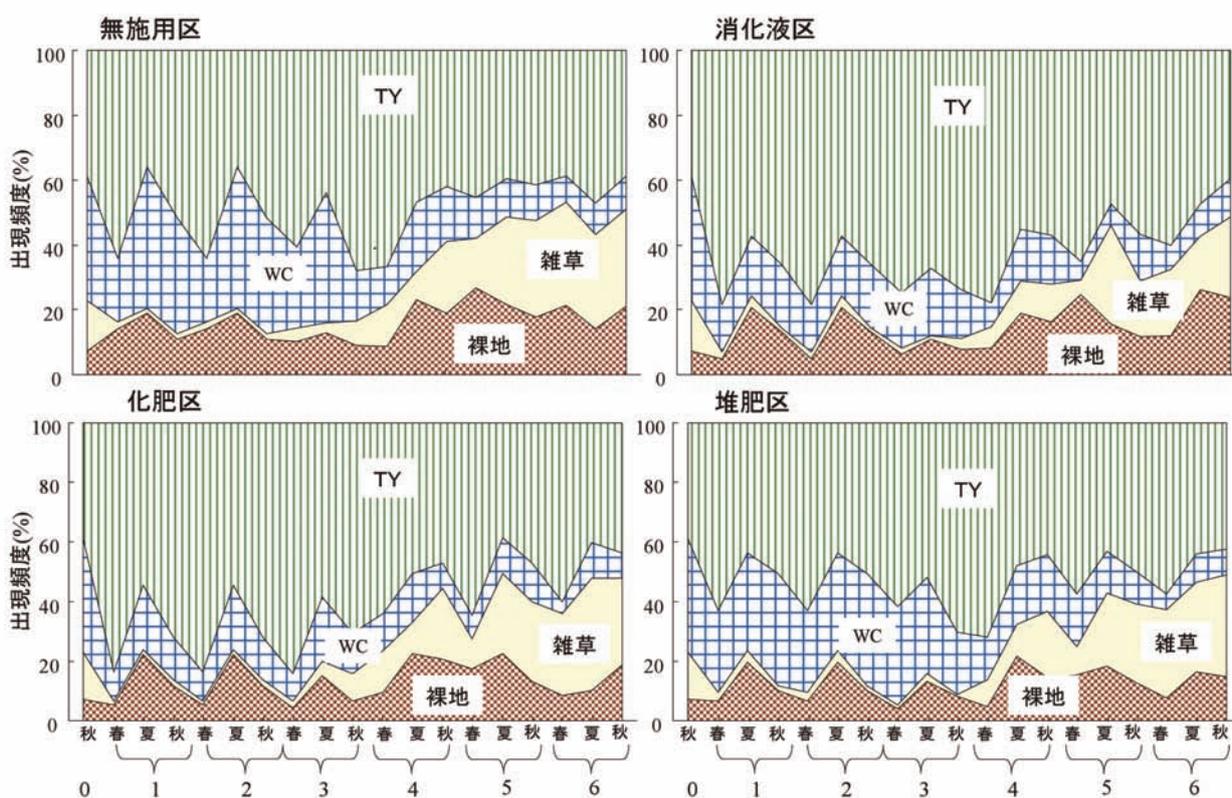
て、1番草においては連用1年目より、2番草においては連用3年目より漸増した。1番草においては処理と年次の間に10%水準の交互作用がみとめられ(第5表)、雑草割合の経年的な上昇は堆肥区、消化液区において早く進行し、化肥区において遅い傾向を示した。

(3) 出現頻度

第5図にライン法による出現頻度の推移を示した。出現頻度は、草地の経年化にともないすべての処理に共通してチモシーとシロクロバにおいて減少し、裸地と雑草において増加した。チモシーとシロクロバの減少は、連用3年目までは主として裸地の増加によって引き起こされたのに対して、連用4年目以降は雑草の増加が反映したものであった。各草種および裸地の出現頻度における季節推移をみると、連用3年目までは春と秋にチモシーが上昇し、



第4図 マメ科および雑草乾物割合の推移  
 〇：無施用区，◇：化肥区，▲：消化液区，■：堆肥区  
 縦棒は最小有意差（5%水準）を示す。



第5図 ライン法による出現頻度の推移

TY:チモシー, WC:シロクロバ

シロクロバと裸地が低下し、逆に夏においてはシロクロバと裸地の上昇がみられチモシーが低下した。これに対して連用4年目以降は夏におけるチモシーの減少にとともに、主として雑草の増加が見られた。経年化にとともなうシロクロバの減少は、無施用区と堆肥区が化肥区と消化液区に比べて遅く、チモシーの減少および連用4年目以降の裸地と雑草の増加は、無施用区で他の区よりも早い傾向がうかがえた。

早春、夏および秋における各草種および裸地の出現頻度の推移を季節別に詳細に第6, 7, 8図に示した。雑草全体の推移をみると、連用3年目まではエゾノギシギシに、連用4年目以降はタンポポの変化に類似し、4年目に主要雑草の転換がみられたといえる。また、早春、夏および秋の出現頻度は、いずれも乾物割合と同様に、チモシーとシロクロバの経年的低下が確認された。

出現頻度の経年変化における施用資材と年次の交互作用を第7表に示した。春の裸地率, 夏のチモシーおよびシロクロバにおいて、両者の交互作用がそれぞれ10, 5, 10%水準で有意であった。すなわち、経年的な裸地率の増加, およびチモシー, シロクロバ割合の減少は無施用区が他の処理区に比べ早く進

行することが、出現頻度の変化からも確認された。

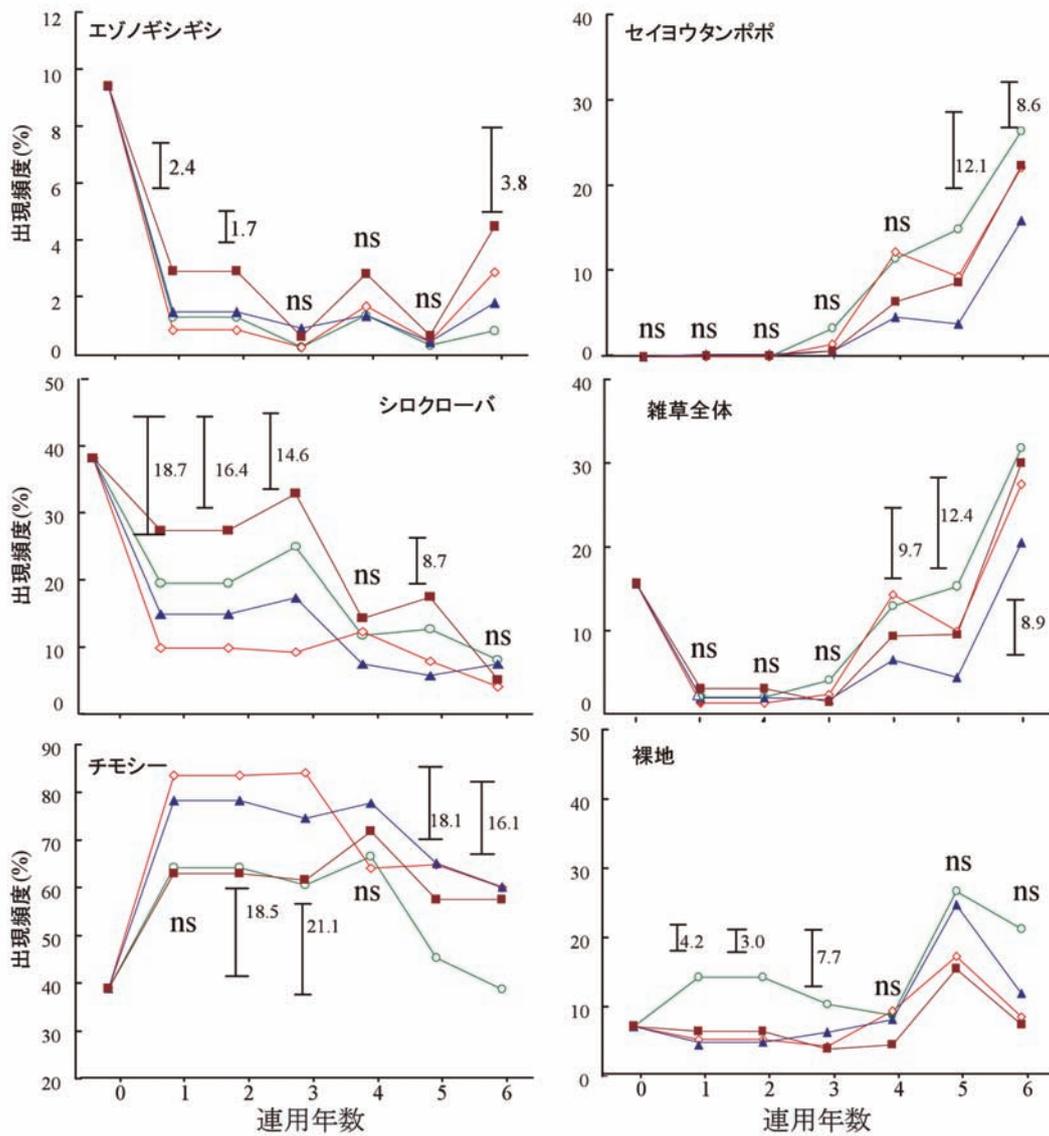
(4) 相対優占度

第9図に各草種の相対優占度の推移を示した。相対優占度は草地の経年化にともなって、チモシーとシロクロバが減少し、雑草割合が増加した。これらの変化は出現頻度(第5図)に比べて連用初期から雑草割合が高く、チモシーおよびシロクロバ割合が低かった。第10図に早春における相対優占度および植被率の推移を示した。どの処理区においても

第7表 出現頻度の経年変化における施用資材と年次の交互作用 (P値)

	春	夏	秋
チモシー	0.180 ns	0.029*	0.414 ns
シロクロバ	0.347 ns	0.097 †	0.423 ns
裸地	0.091 †	0.994 ns	0.730 ns
雑草全体	0.858 ns	0.973 ns	0.789 ns
エゾノギシギシ	0.811 ns	0.934 ns	0.940 ns
タンポポ	0.815 ns	0.994 ns	0.787 ns
その他雑草	0.981 ns	0.945 ns	0.974 ns

処理と年次を2要因とする、2元配置の分散分析をおこなった。  
\*, †はそれぞれ5, 10%水準で有意, nsは有意でないことを示す。  
その他雑草とは、ナズナ, ヒメオドリコソウ, オオバコ, シバムギなどを含む。



第 6 図 早春における各草種および裸地の出現頻度の推移

○：無施用区，◇：化肥区，▲：消化液区，■：堆肥区  
 縦棒は最小有意差（5%水準）を，nsは5%水準では有意でないことを示す。

連用 6 年目にかけてシロクローバ割合と植被率が減少し，雑草割合が増加した。この変化は連用 4 年目以降，特に顕著であった。夏における相対優占度は春に比べて連用初期におけるチモシーが低い傾向を示したものの，全体の推移は春と類似していた（第 11 図）。さらに秋の相対優占度は，チモシー割合の経年的な減少が春に比べて明らかな傾向を示したほかは，総じて春と類似していた（第 12 図）。

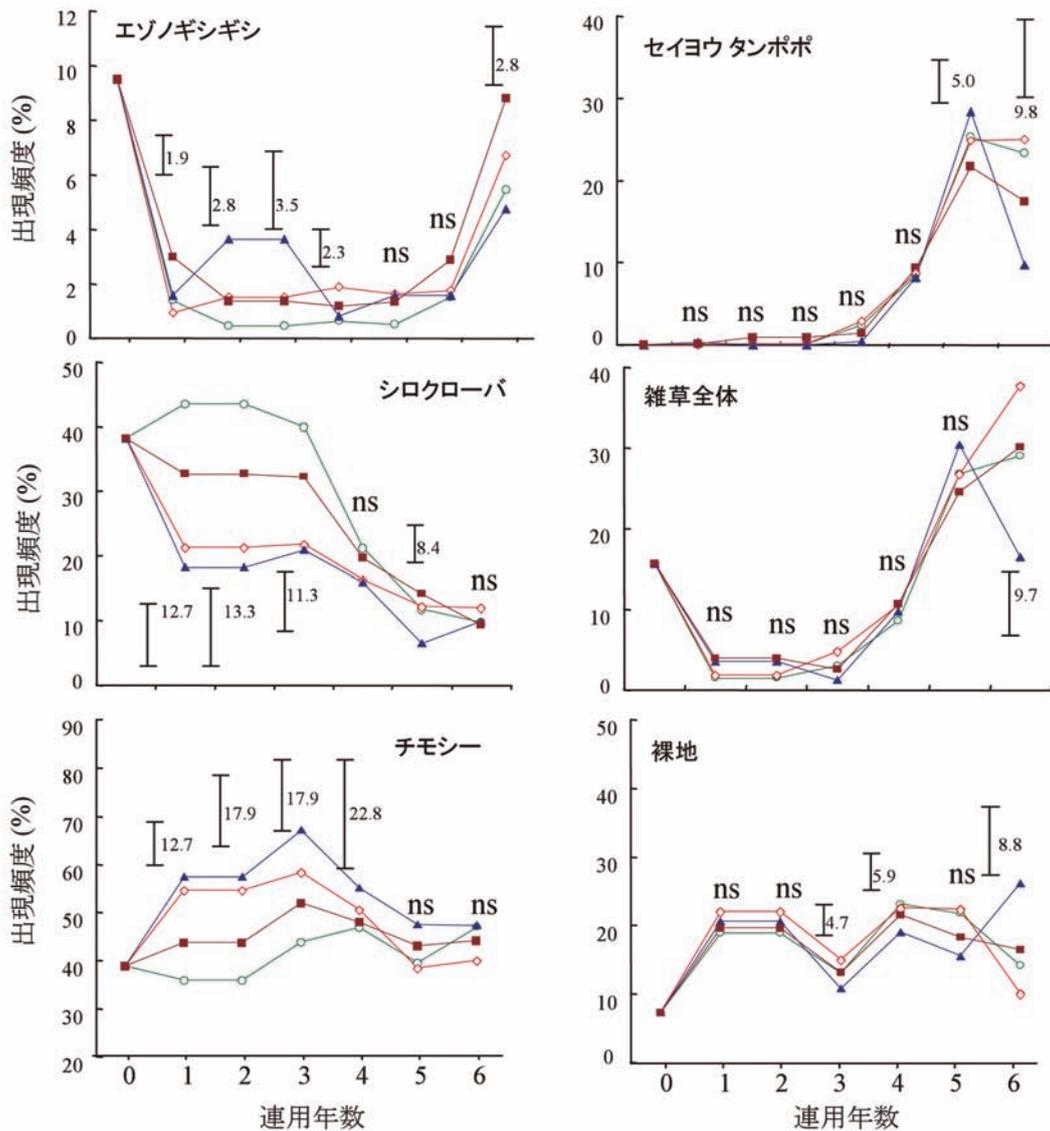
相対優占度における施用資材と年次の交互作用をみると（第 8 表），春，秋のチモシー割合，夏，秋のシロクローバ割合にはそれぞれ，1，10，5，10%水準の有意性がみとめられ，経年的なチモシー割合の減少は堆肥区で最も遅く，無施用区で最も早く，

マメ科率の低下は無施用区，堆肥区が化肥区に対して遅い傾向がうかがえた。

第 8 表 相対優占度および植被率の経年変化に関する分散分析

	春	夏	秋
チモシー	0.009**	0.410 ns	0.048*
シロクローバ	0.467 ns	0.068 †	0.074 †
雑草全体	0.236 ns	0.630 ns	0.286 ns
植被率	0.867 ns	0.780 ns	0.851 ns

処理と年次を 2 要因とする，2 元配置の分散分析をおこなった。  
 \*\*，\*，†はそれぞれ 1，5，10%水準で有意，nsは有意でないことを示す。

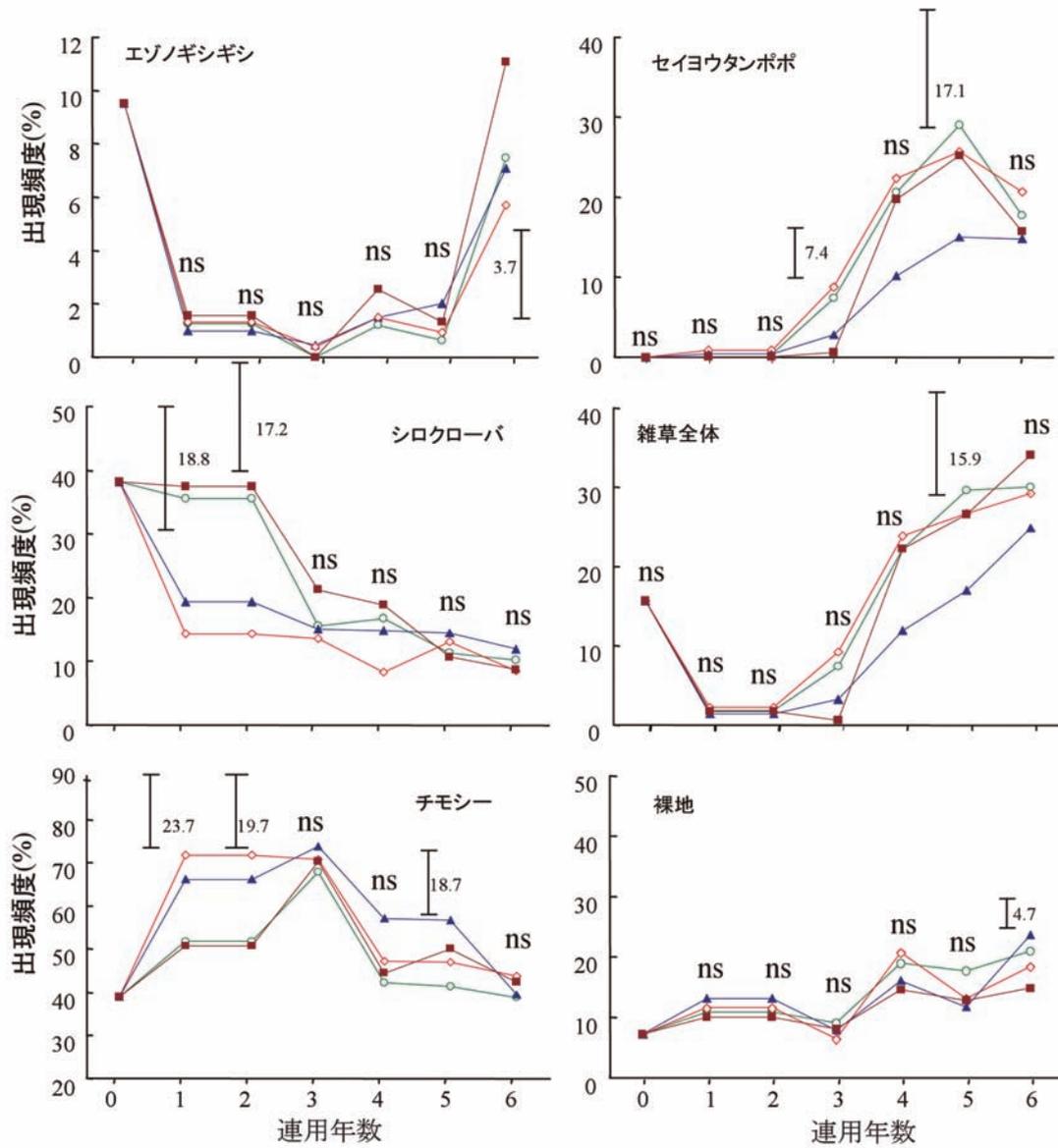


第7図 1番草刈取後3週間後（7月中旬）における各草種および裸地の出現頻度の推移  
 ○：無施用区，◇：化肥区，▲：消化液区，■：堆肥区  
 縦棒は最小有意差（5%水準）を，nsは5%水準では有意でないことを示す。

(5) 草種構成の調査方法による共通性

草地の経年化ともなうチモシーとシロクローバの減少とこれに代わる裸地の増加，これに引き続く雑草割合の上昇は，全区共通して1，2番草の雑草を含む全乾物収量に占める割合(乾物割合)，出現頻度，相対優占度の調査方法にかかわらずとらえることができた。これらの関連性を第9表に乾物割合と，出現頻度および相対優占度との間の相関係数として示した。シロクローバ割合は，1，2番草共通して季節にかかわらず出現頻度と相対優占度ともに，有意な正の相関関係がみとめられた。これらの相関係数は，出現頻度においては春，相対優占度においては夏の相関係数が他の季節に比べてやや低かった。

雑草割合との関係を見ると，2番草においては出現頻度と相対優占度ともに季節にかかわらず有意な正の相関関係が認められ，これらの相関係数は，両調査方法ともに秋において他の季節よりもやや高い傾向にあった。しかし，1番草における相関係数は，両方法ともに2番草に比べて低く，出現頻度の夏と秋のみ，5%水準もしくは1%水準で有意であった。以上より，マメ科牧草および雑草割合を推定する指標として，秋の出現頻度が最も有効であると考えられた。



第8図 2番草刈取後3週間後(9月中旬)における各草種および裸地の出現頻度の推移

○: 無施肥区, ◇: 化肥区, ▲: 消化液区, ■: 堆肥区

縦棒は最小有意差(5%水準)を, nsは5%水準では有意でないことを示す。

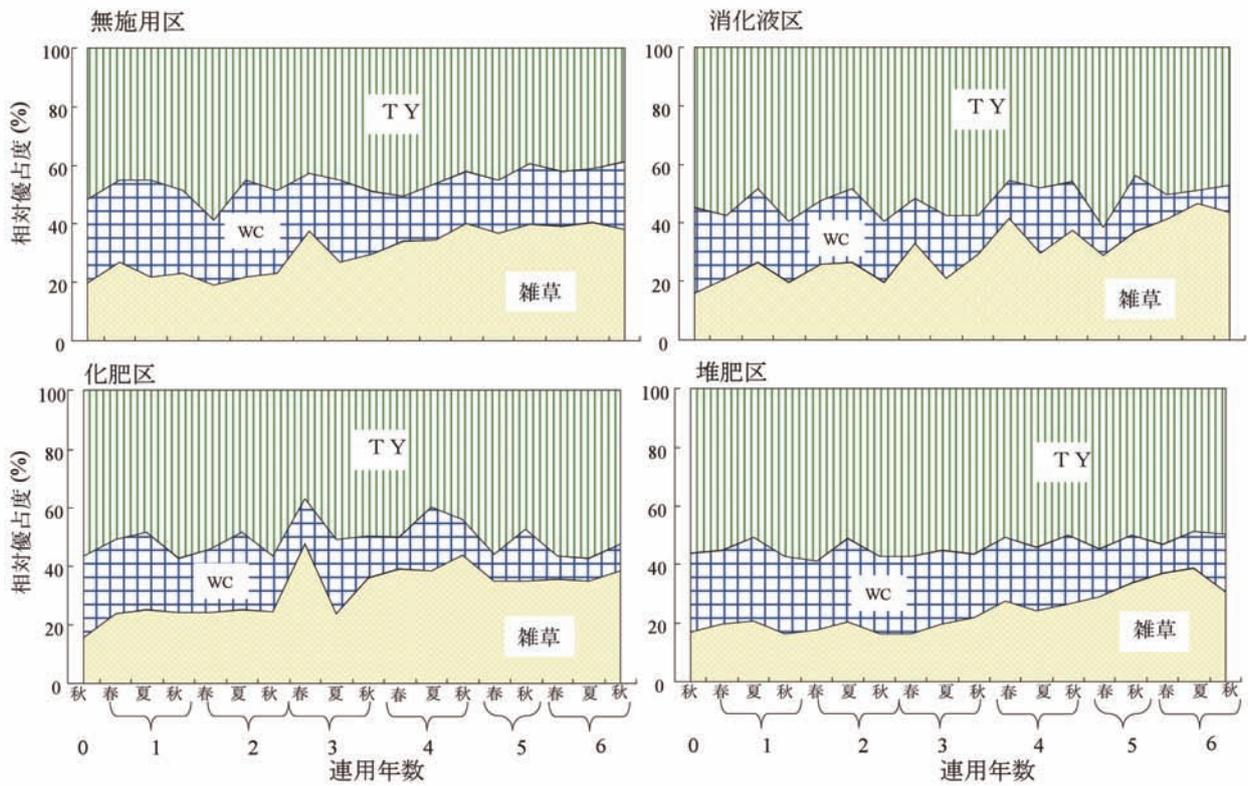
第9表 乾物収量(雑草を含む)に占める割合と, 出現頻度および相対優占度との間の相関係数

草種	番草	出現頻度			相対優占度		
		春	夏	秋	春	夏	秋
シロクローバ	1番草	0.799***	0.839***	0.888***	0.838***	0.713***	0.891***
	2番草	0.776***	0.809***	0.911***	0.827***	0.696**	0.864***
雑草	1番草	0.437†	0.516*	0.593**	0.447†	0.434†	0.451†
	2番草	0.617**	0.711***	0.858***	0.776***	0.757***	0.815***

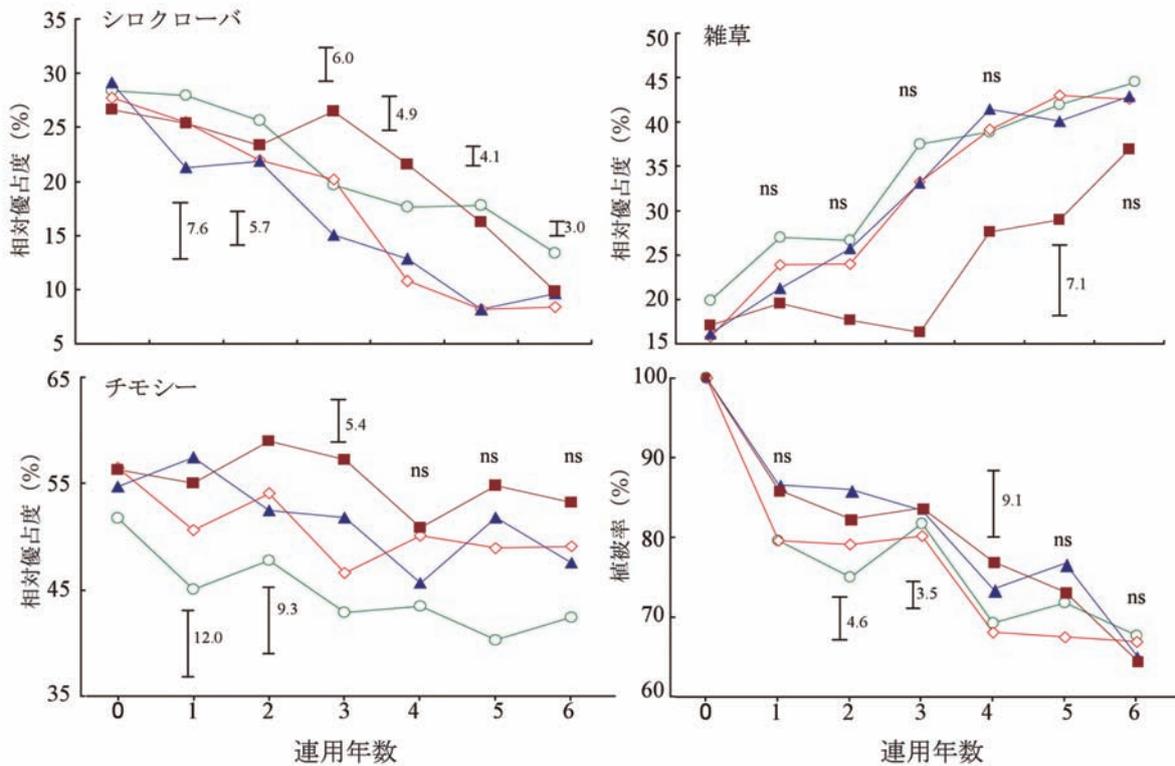
\*\*\*, \*\*, \*, †はそれぞれ0.1, 1, 5, 10%水準で有意であることを示す。

データ数(n)は, 24 (= 4処理 × 6年)。

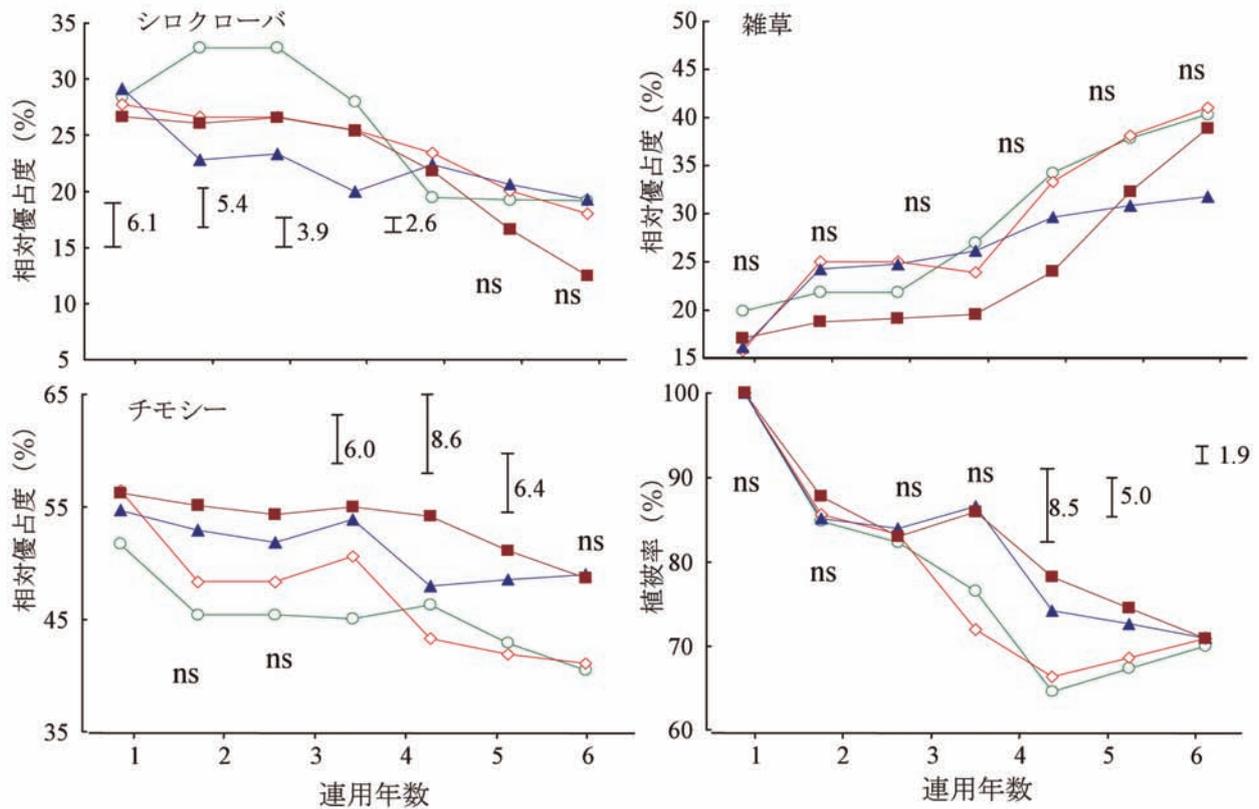
早早春, 夏, 秋はそれぞれ, 4月下旬, 7月上中旬(1番草刈取後), 9月上中旬(2番草刈取後)を示す。



第9図 コドラート法による相対優占度の推移  
TY:チモシー, WC:シロクローバ



第10図 早春における各草種の相対優占度および植被率の推移  
○: 無施用区, ◇: 化肥区, ▲: 消化液区, ■: 堆肥区  
縦棒は最小有意差 (5%水準) を, nsは5%水準では有意でないことを示す。



第 11 図 1 番草刈取後 3 週間後（7 月中旬）における各草種の相対優占度および植被率の推移

○：無施用区，◇：化肥区，▲：消化液区，■：堆肥区  
縦棒は最小有意差（5%水準）を，ns は 5%水準では有意でないことを示す。

第 10 表 乾物収量（雑草を含む）と、シロクローバおよびタンポポの出現頻度との間の相関係数

草種	番草	春	夏	秋
シロクローバ				
	1 番草	0.406*	0.348 †	0.263
	2 番草	0.678***	0.528**	0.653***
タンポポ				
	1 番草	-0.618**	-0.695***	-0.566**
	2 番草	-0.617**	-0.643***	-0.682***

†, \*\*\*, \*\*, \* はそれぞれ 10, 0.1, 1, 5%水準で有意であることを示す。  
データ数 (n) は, 24 (= 4 処理 × 6 ヶ年)。  
早春, 夏, 秋はそれぞれ, 4 月下旬, 7 月上旬 (1 番草刈取後), 9 月上旬 (2 番草刈取後) を示す。

(6) 牧草収量と、マメ科牧草および雑草割合との関係

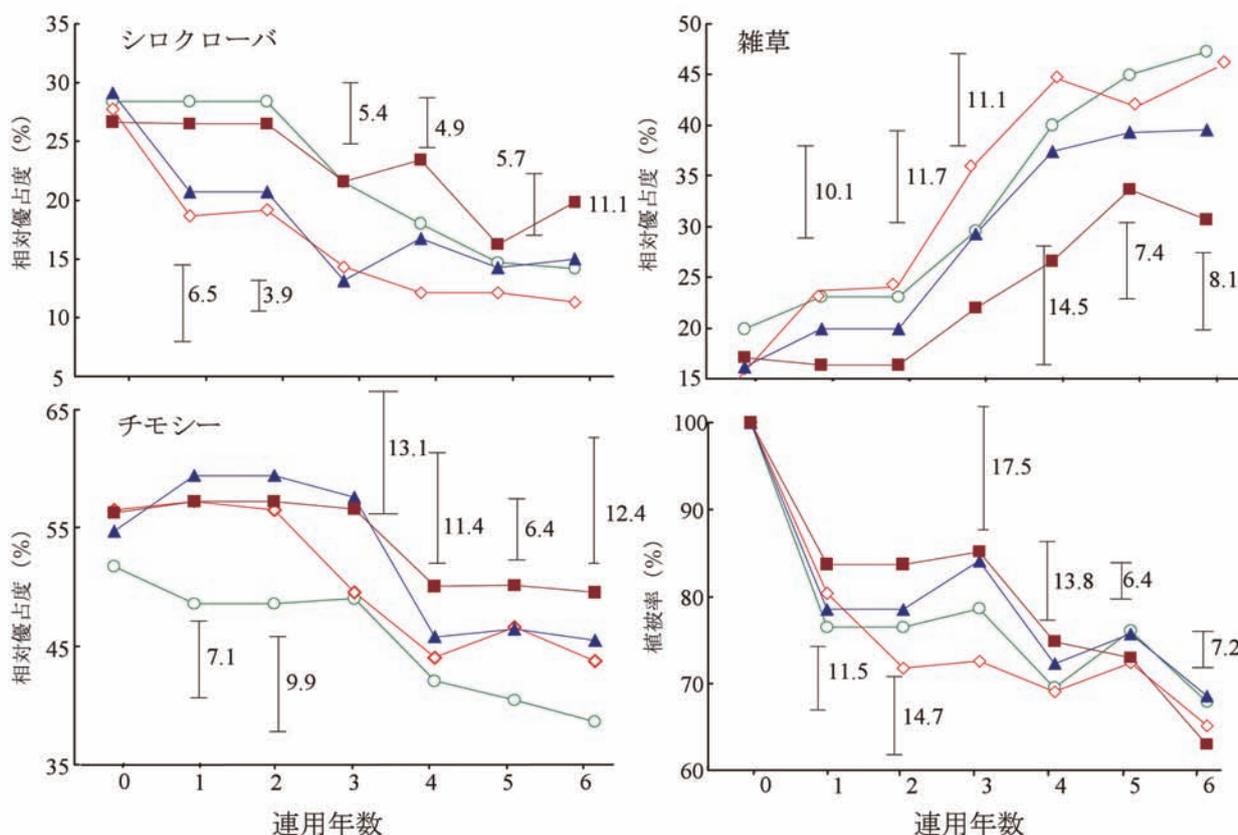
第 10 表に牧草収量と、シロクローバおよびタンポポの出現頻度との間の相関係数を示した。1 番草乾物収量とシロクローバの出現頻度との間には春において、5%水準で有意な正の相関関係はみられたものの、夏と秋では関係性は弱かった。これに対して、2 番草収量とシロクローバの頻度の間には、季節にかかわらず、1%水準以下の有意な正の相関関係が

みとめられた。さらに、タンポポの出現頻度との関係を見ると、1 番草、2 番草ともに季節にかかわらず、1%水準以下で有意な負の相関関係がみとめられた。

木曾 (1986) によると、根釧地域の草地の経年的な収量の低下は、マメ科混播草地からイネ科牧草主体草地、低収牧草優占草地への草種構成の推移とよく対応する。本報においても、2 番草においてこの関係が強くみられたといえる。また、松中ら (1988) によれば、牧草生産力は土壌条件や施肥条件よりも草種構成により強く影響を受け、根釧地域の草地においてはケンタッキーブルーグラスやレッドトップの侵入が主たる要因である。本報においては各肥料成分の施用量が異なるために施肥条件については考察することはできない。しかし、処理区を込みにした場合のタンポポの出現頻度と牧草収量との間には有意な負の相関関係がみとめられたことから、雑草の種類は異れども、道央地域の草地においても同様のことが強調できるであろう。

(7) 総合考察

すべての処理区において乾物収量は経年的に低下



第12図 2番草刈取後3週間後（9月上中旬）における各草種の相対優占度および植被率の推移

○：無施用区，◇：化肥区，▲：消化液区，■：堆肥区  
縦棒は最小有意差（5%水準）を示す。

し、同時に草種構成の経年的な変化として、チモシーとシロクロローバの減少と、これに変わる裸地、それに続く雑草割合の増加が、各番草の乾物割合、出現頻度、相対優占度共通してみとめられた。したがって、本試験状況下では、施用資材にかかわらず、乾物収量が経年的に低下した。その原因は草種構成割合の悪化であるといえた。

しかし、乾物収量および草種構成の悪化において、施用資材と年次間の交互作用が若干、みとめられ、マメ科牧草割合の減少においては堆肥区と無施用区が遅く、雑草および裸地率の増加においては無施用区が早かった。しかし、これら草種構成割合の悪化が何によってもたらされたかは、本試験条件では明確にできなかった。今後、土壌の理化学性の変化との関連を検討することが重要であろう。

### 要 約

本学附属農場内に設けられたチモシー主体草地において、消化液・堆肥・化学肥料を6年にわたり連用し、乾物収量および草種構成の変化を調査した。肥料成分の施用量が異なるために、施用資材の効果

の差異を一般的に論ずることはできないが、これを前提とし、事例的な調査結果として報告すると、以下のような結果が得られた。年間合計収量は1、2番草ともに消化液区が最も高く、無施用区が最も低かった。草種構成の変化として、草地の経年化にともなうチモシーとシロクロローバの減少と、これに変わる裸地、それに続く雑草割合の増加が、各番草の乾物割合、出現頻度、相対優占度に共通してみとめられた。しかし、番草にかかわらずマメ科牧草および雑草乾物割合と最も関係性が高いのは秋の出現頻度であった。この草種構成の変化は、マメ科牧草割合の減少においては堆肥区と無施用区が遅く、雑草および裸地率の増加においては総じて無施用区が早かった。また、連用4年目以降の主要雑草は処理区共通してタンポポであり、チモシー乾物収量の経年的な低下と関係が深かった。

### 謝 辞

本研究の遂行に当たり、附属農場の野英二博士および泉賢一氏および同学科の澤本卓治博士から貴重なご助言をいただいた。また、試験草地の施肥管理

と収穫には関して、尾崎邦嗣氏、上野秀樹氏および尾形仁氏をはじめとした附属農場の技術職員の方々に6ヶ年間毎年、多大な協力をいただいた。また、試験設計に関しては、同学科の松中照夫博士にコメントをいただき、消化液の分析値を提供していただいた。収量調査と草種分け作業および植生調査に当たっては同学科の飼料作物学および草地学、サステイナブルデイリースystem研究室の多くの学生諸君に協力していただいた。ここに記して心よりの感謝の意を表する。

### 引用文献

- 木曾誠二 1986. 混播草地におけるマメ科牧草の動態. 北草研報 20: 20-29.
- 近藤侑生・義平大樹・尾形 仁 2004. チモシー主体草地に対するバイオガスプラント消化液の3年間の連用が年間収量に及ぼす影響 (大学附属農場の一事例), 北草研報 39: 33.
- 桑原淳・横濱充宏・大岸 讓 2011. メタン発酵消化液の長期連用が牧草地土壌理化学性と牧草収量・品質に及ぼす影響. 寒地土木研究所月報 696: 22-28.
- 松田従三 2002. バイオガスシステムの基本的考え方, バイオガスシステムによる家畜ふん尿の有効利用, 酪農ジャーナル増刊号 8-14. 酪農学園大学エクステンションセンター, 江別.
- 松田従三 2006. 経済的視点からみた酪農バイオガスシステムの歴史的意義. 酪農バイオガスシステムの社会的・経済的評価. 酪農ジャーナル増刊号 14-23. 酪農学園大学エクステンションセンター, 江別.
- 松中照夫・小関純一・松代平治・赤城仰哉・西陰研治 1984. 収量規制要因としての草種構成の重要性. 日草誌 30: 59-64.
- 松中照夫, 熊井美鈴, 千徳あす香 2003. バイオガスプラント消化液由来窒素のオーチャードグラスに対する肥料的效果. 日土肥誌 74: 31-38.
- 松中照夫 2010. 第1節 土地利用型酪農としての循環酪農, 第1章 循環酪農とは, 循環型酪農へのアプローチ. 酪農ジャーナル増刊号 10-15. 酪農学園大学エクステンションセンター, 江別.
- 三木直倫 1993. 第2章 草地の経年変化に伴う牧草収量と有機物蓄積の関係. 寒冷地における草地土壌の有機物並びに窒素の経年的動態とそれに基づく窒素施肥管理法に関する研究. 北海道農試報告 79: 1-71.
- 中辻敏朗・大塚省吾・木曾誠二 1998. 天北地方の採草地に対する厩肥施用効果の長期実証. 北草研報 33: 54.
- 沼田 真 1969a. 1. 植物群落の標本調査. II. 植物群落の構造. 図説 植物生態学. 18-23. 朝倉書店, 東京.
- 沼田 真 1969b. 2. 群落測定と優占度. II. 植物群落の構造. 図説 植物生態学. 24-33. 朝倉書店, 東京.
- 三枝俊哉・渡部 敢 2006. 乳牛ふん尿を主原料とするバイオガスプラント消化液のチモシー採草地に対する肥効と効果的分施肥. 北海道立農試集報 90: 29-39.
- 澤本卓治・岡部彰洋・斎藤忠義・松中照夫 2006. 消化液・堆肥・化学肥料の長期連用草地における土壌物理化学性——初年度の結果——. 酪大紀要 31 (1): 7-16.
- 澤本卓治・水上朋美・松中照夫 2008. 消化液・堆肥・化学肥料の長期連用草地における土壌化学性——開始3年目までの結果——. 酪大紀要 33 (1): 75-84.
- 澤本卓治・青木理有・松中照夫 2011. 消化液・堆肥・化学肥料の長期連用草地における土壌物理化学性——開始6年目までの結果——. 酪大紀要 36 (1): 1-15.
- Schulz, Heinz., and Barbara Eder 2002. 第1章 バイオガス技術の基礎. バイオガス実用技術. 浮田良則監訳. 1-13. オーム社, 東京.
- 反町 裕・三井安麿 1988. 牛ふん尿の連年多量施用が資料作物の生育・収量および土壌に及ぼす影響. 千葉畜産研報 12: 61-68.
- 義平大樹・鈴木清恵・山中七瀬・成瀬往代・松中照夫 2002a. サイレージ用トウモロコシに対するバイオガス消化液の施肥効果. 日草誌別 48: 376-377.
- 義平大樹・松下雅幸・清水健太郎・岡本全弘 2002 b. サイレージ用トウモロコシの施肥水準とトウモロコシサイレージの消化性——発酵品質および消化液由来窒素の動態——. 日草誌別 48: 378-379.
- 渡部 敢. 2002. 消化液の利用技術, バイオガスシステムによる家畜ふん尿の有効利用, 酪農ジャーナル増刊号 48-53. 酪農学園大学エクステンションセンター, 江別.

### Abstract

The present study investigated the changes in dry matter yield and botanical composition in Timothy meadows at our university farm over a six-year period. The cutting grassland were supplied continuously with anaerobically digested cattle slurry, farmyard manure, and chemical fertilizer. However, due to differences in the amounts of fertilizer applied, differences in the effects of the applied materials could not be generalized. Nonetheless, a case study was conducted taking this point into account, and the following results were obtained. Total annual yields of the first and second cuttings were the highest in plots applied with anaerobically digested cattle slurry and the lowest in the non-treated plots. Regarding changes in botanical composition, decreases in Timothy and white clover were observed due to secular changes of the cutting grassland, changes in bare land. An increase in weed ratio was observed for all cuttings in terms of dry matter ratio, appearance frequency, and relative dominance. However, for all the cuttings, autumn appearance frequency was most closely related to the dry matter ratios of legumes and weeds for total dry matter yield. Among the changes in botanical composition, the decrease in legume ratio was slight in the plots applied with farmyard manure and the non-treated plots, while the increases in weed and bare land ratios were generally higher in the non-treated plots. In addition, the most common weed in all treated plots after the fourth year of continuous application was the dandelion (*Taraxacum officinale* Weber), which was closely associated with a decrease over time in the dry matter yield of the Timothy.