

亜熱帯性牧草の放牧草地における植物生産と
家畜の成長に関する生態学的研究

平 川 守 彦

①

亜熱帯性牧草の放牧草地における植物生産と家畜の
成長に関する生態学的研究

平 川 守 彦

目 次

第 1 章	序 論	1
1-1 節	研究の目的	1
1-2 節	論文の構成	3
1-3 節	第 2 章～4 章までの共通する材料および方法	4
第 2 章	育成牛の放牧時成長における暖地型放牧草地 と寒地型放牧草地の比較	9
2-1 節	材料及び方法	11
2-2 節	結果	11
2-3 節	考察	21
2-4 節	小 括	23
第 3 章	放牧草地の植物生産における暖地型草種と寒地型 草種の比較	25
3-1 節	材料及び方法	25
3-2 節	結果	26
3-3 節	考察	48
3-4 節	小 括	52
第 4 章	育成牛放牧時の増体における暖地型、寒地型草種 間差異と関連要因の解析の比較	
	— 二次生産の光エネルギー効率の比較 —	53
4-1 節	材料及び方法	54
4-2 節	結果	58
4-3 節	考察	75
4-4 節	小 括	80

第 5 章	消化率向上をねらいとしたパヒアグラスの養葉	
	頻度と施肥水準の比較及び再生力との関係	82
5-1 節	材料及び方法	83
5-2 節	結果	84
5-3 節	考察	117
5-4 節	小括	120
第 6 章	暖地型牧草パンゴラグラス草地における育成牛の	
	成長と二次生産の光エネルギー効率	123
6-1 節	材料及び方法	124
6-2 節	結果	128
6-3 節	考察	142
6-4 節	小括	145
第 7 章	総合考察	147
7-1 節	放牧牛の増体の比較	147
7-2 節	消化率の草種の差	148
7-3 節	向上の方策	149
総括		151
謝辞		155
引用文献		156

第1章 序 論

1-1節 研究の目的

世界の家畜飼養頭数は牛13億頭、水牛1億頭、羊12億頭、山羊5億頭、ヤク、ラクダ2億頭（FAO（1992））で、しかも反芻家畜33億頭のうち69%にあたる22億頭（FAO（1992））は開発途上国に分布し、食料資源として重要な役割を担っている。また、そこでの家畜の飼養形態は、大部分が放牧を通して農業的に利用されている。家畜の側からみれば、反芻家畜のうち約90%以上は、草原で生活していることになる。

このような草原の植生とそこに放牧されている家畜については、生態学でも家畜栄養学の分野でもあまりに複雑なため研究の対象とされてこなかった。動物のエネルギー代謝を知るためには、飼料の摂取量と飼料成分を把握する必要がある。従来のエネルギー代謝の研究は、環境と給餌の制御のもとに代謝箱（室）中に動物を閉じ込めて行われてきたが、放牧時のように自由に行動している動物には、代謝箱での値に一定の倍率をかけて推算しているに過ぎなかった。しかし、放牧の状態にある家畜では、餌である草本植物が時々刻々と変化（成長、成熟、被食後再生、踏圧、枯死）しているため、植物生産過程の把握なしには放牧家畜の代謝動態が的確に捉えられない。したがって従来までの草原生態学の研究では家畜や人間が関与していない地域が対象とされ、家畜栄養学の研究では高い生産能力の追求が主であったこともあって、畜舎内の家畜が主に対象とされてきたのが現状である。

しかし、食料生産とならんで世界的規模の環境破壊抑止が重視される今日では、耕地における飼料生産や畜舎における家畜栄養の研究と同等、またはそれ以上に、上述の未開拓の研究が進められる必要がる。過放牧にともなう植生破壊の防止でも、また草地と家畜の潜在生産力の追求でも、その基礎的側面では共通の理論的アプローチが可能である。すなわち草地における飼料資源量と放牧家畜群の栄養要求量・現実の栄養収支とを量的に把握し、気象・土壌条件に応じて制御するための理論が必要となる。それは、放牧条件下における植物群落の物質生産過程の季節的動態と、放牧家畜のエネルギー出納の季節的变化を同じ場で実測するとともに、物質生産速度、家畜成長速度と関連諸因子との関係を関数化して解析することにより可能となる。

この種の研究は、国内では大久保ら（1975）によって始められたが、近年、システム論的な概念に基づいた草地生態系における植物および家畜生産に関する研究報告は、多くなっている。放牧草地の物質生産に関しては、大久保（1977）、福山ら（1980）、岡島ら（1985）、Hirataら（1986）の研究があり、エネルギー利用率に関しては、Okuboら（1985）、福山ら（1983）、Hirataら（1986、1989、1990）、秋山ら（1984）の報告がある。Okuboら（1977）、Shiyomiら（1981）は調査で得られた実測値をもとに放牧草地でのエネルギー流を表現する数学モデルを構築している。これらの研究はすべて植物側に重点を置いているが、家畜側、すなわち摂取から増体蓄積までの効率に重点が置かれた研究は、黒川ら（1991）、高橋ら（1981）が報告している。

ところでわが国の草地においては、寒地型牧草（C3植物）の利用が主体となっているが、寒地型牧草地ではスプリングフラッシュと夏季の高温・干ばつに起因する生産力の変動が大きく、牧草の生産性が季節によって異なることは、草地管理上の大きな問題となっている。特に、西南暖地において寒地型牧草は、夏季に夏枯れを起こし生産性が著しく低下する。一方、暖地型牧草（C4植物）は強

光・高温条件で高い光合成能力を発揮するため、夏季に生産力が高まる。

Phillipson (1966) は C3 植物の生育適温が 15~25℃ であるのに対して、C4 植物のそれは 30~40℃ であり、また、水の要求量にも違いが見られ 1 g の乾物を生産するのに C3 植物は 400~1000 g の水を必要とするが、C4 植物は約半分の 250~350 g でよいとしている。わが国において、C4 植物である暖地型牧草は、寒地型牧草が夏枯れを起こす地域において夏期の家畜の粗飼料確保のため、また、世界的にみれば開発途上国のほとんどが熱帯・亜熱帯地域に属するためそこでの乳・肉生産のための熱帯・亜熱帯性牧草（暖地型牧草）の果たす役割は大きい。

本研究は放牧草地をひとつの生態システムとして捉えて暖地型放牧草地と寒地型放牧草地における植物生産や放牧牛の成長をエネルギー論的に比較し、暖地型放牧草地における放牧牛の低い増体量の要因解明とその改善策を検討しようとするものである。

1-2 節 論文の構成

第1章で研究の目的と第2章、第3章、第4章での共通の材料と方法について述べ、第2章で暖地型牧草の放牧草地と寒地型牧草の放牧草地における放牧牛の成長量のちがいについて、第3章では暖地型牧草と寒地型牧草の植物生産の季節的なちがいについて、第4章では放牧牛の成長量の違いに影響を及ぼすと思われる要因の解析を太陽エネルギーから増体蓄積エネルギーまでの変換効率の観点から解明している。第5章では、第4章で放牧牛の成長量に及ぼす大きな要因の一つとして暖地型牧草の消化率の低さが考えられたので、消化率の向上のための方

策として頻繁な畜糞処理とその再生長促進のための窒素施肥の処理を行なった。そして、畜糞頻度と窒素施肥の効果および畜糞頻度と窒素施肥水準の交互作用について調べた。第6章は、亜熱帯性牧草のなかでも消化率の高いパンゴラグラスを対象としてその草地とパヒアグラス草地の乾物生産と放牧牛の増体の比較を行った。また、第4章と同様な方法で両放牧草地における光エネルギー変換効率も調べた。第7章では論文全体の総括をした。

1-3節 第2～4章までの共通する材料および方法

1-3-1 放牧草地

試験地は愛知県東郷町にある名古屋大学農学部附属農場にある草地で1980年から1983年まで調査を行った。そのなかの暖地型放牧草地は面積29.1aのパヒアグラス (*Paspalum notatum* Flüggé) 優占草地であるが春季に一年生のイタリアンライグラスとベッチが繁茂するという特徴をもっている。寒地型放牧草地は面積32.4aのオーチャードグラス優占草地であるが春季にイタリアンライグラスも旺盛な生育をみせる草地である。両草地とも土壌は洪積世の鈣質土壌である。

施肥は1980年に尿素33kg/10a (N45%)、熔成リン100kg/10a (P_2O_5 20%)、塩化カリ34kg/10a (K_2O) を1981年以降尿素66kg/10a、熔成リン200kg/10a、塩化カリ68kg/10aを施した。

1-3-2 放牧期間・放牧頭数・平均体重

放牧は1980年、1981年にオーチャードグラス放牧草地、予備区、パヒアグラ

表 1-1 バヒアグラス放牧草地における放牧期間・放牧頭数・平均体重

1980				
放牧期間	5/13~6/5	6/30~7/22	8/18~9/9	10/14~10/25
放牧日数	23	22	22	11
放牧頭数	4	9	9	9
平均体重	302	215	221	237
1981				
放牧期間	5/7~5/25	6/23~7/17	8/12~9/19	10/19~11/3
放牧日数	18	24	38	15
放牧頭数	6	6	6	6
平均体重	244	275	293	290
1983				
放牧期間	4/22~5/17	6/20~7/4	7/29~8/20	9/12~10/6
放牧日数	25	14	22	24
放牧頭数	4	4	4	4
平均体重	432	471	471	490

表 1-2 オーチャードグラス放牧草地における放牧期間・放牧頭数・平均体重

1980				
放牧期間	4/14~5/13	6/10~6/24	8/5~8/14	9/27~10/8
放牧日数	29	14	9	11
放牧頭数	4	9	9	9
平均体重	281	207	219	238
1981				
放牧期間	4/13~5/7	6/3~6/22	7/22~8/5	9/19~9/29
放牧日数	24	19	14	10
放牧頭数	6	6	6	6
平均体重	227	267	278	301
1983				
放牧期間	4/20~5/18	7/14~7/26	8/26~9/3	
放牧日数	28	12	8	
放牧頭数	4	4	4	
平均体重	379	411	416	

ス放牧草地の順に交互に輪換放牧した。しかし、1983年は放牧牛を2群に分けたため予備区だけと輪換した。パヒアグラス、オーチャードグラス放牧草地における放牧期間・放牧頭数・放牧期間の平均体重をそれぞれ表1-1と表1-2に示した。放牧牛は1980年にホルスタイン種6頭とアバディーンアンガスとホルスタイン種のF₁3頭を実験牛として使用した。1981年はすべてホルスタイン種6頭を用いた。1983年にはパヒアグラス、オーチャードグラス放牧草地にそれぞれホルスタイン種の4頭2群に分けて放牧試験を行った。それぞれの放牧草地にはin vivo消化率を測定するためのフィステル装着牛1頭も含まれる。

1-3-3 調査項目と調査方法

調査項目は、入牧前・退牧時の草地の植生、可食草量、牧草の地上部現存量、地下部現存量、放牧牛による乾物摂取量、放牧牛の体重、牧草の消化率である。

植生調査：放牧牛の入牧前と退牧時に1m×1mの方形枠（コドラート）を用いて10ヶ所につて草種、被度、草丈を測定した。

可食草量：上記の植生調査後、地際から5cmの高さで刈取り、これを入牧時の可食草量とした。この時、10個の移動保護ケージ（1m高×1.2m縦×1.2m横）を設置した。退牧時に1m×1mのコドラートを用いて、ケージ外側と内側それぞれについて10ヶ所、地際から5cmの高さで刈取って、退牧時の可食草量および退牧時ケージ内草量とした。刈取る場所あるいはケージを設置する場所は、放牧地全体をみわたして、草量が平均的と見なされる地点に決められた。牧草可食部の試料は、その一部を取り、草種ごとに分け、それぞれ80℃で48時間以上通風乾燥して乾物重量を求めた。

地上部現存量：草地に25cm×25cmのコドラートを持ちて6ヶ所について、地際から刈取り、その後、リター（植物遺体）を採取した。地上部は、さらに各器官ごとに分けられ、葉身部、莖部（葉鞘、稈、穂）、ほふく莖（ストロン）部、

立枯部とした。それぞれを80℃で48時間以上乾燥して乾物重を求めた。

地下部現存量：地上部を刈取った後、地下25cmを採取し、根洗い後、根を80℃48時間以上通風乾燥して根重を求めた。

牧草の被食量と供給量；以上のようにして求めた入牧時、退牧時の可食草量、退牧時のケージ内草量より、Linehan(1947)の式を用い、土地面積当たりの牧草被食量 ($\text{DMg/m}^2/\text{放牧期}$) を計算した。

$$\text{被食量} = (c-f) \times (\log d - \log f) / (\log c - \log f)$$

c; 入牧時の可食草量 (DMg/m^2)

d; 退牧時の保護ケージ内草量 (DMg/m^2)

f; 退牧時の被食残食草量 (可食草量) (DMg/m^2)

この牧草被食草量と退牧時の可食草量 (上記 f) とを加えて、放牧牛群に対する牧草の乾物供給量 ($\text{DMg/m}^2/\text{放牧期}$) とした。

放牧牛の体重：入牧時と退牧時に1日のうちの同時刻に、2～3回繰り返して測定した。

牧草の消化率：Goto & Minson(1977)のin vitro法と牧草試料(生草)を入れたナイロンバッグをルーメン内に挿入して測定したin vivo法の二つの方法でよかった。得られた茎・葉の消化率を入牧時の主たる牧草の部位別構成割合に乗じて可食部の消化率とした。

$$\text{可食部消化率} = \Sigma (\text{部位別の構成割合} \times \text{主たる牧草の部位別消化率})$$

1-3-4 エネルギー要素の計算

ここでのエネルギー要素は、土地面積1m²当たり1回の放牧期当たりのエネルギー量 ($\text{kcal/m}^2/\text{放牧期}$) として表現する。

日射エネルギー量：前回退牧時から放牧再会までの総日射量と今回放牧の退牧時までの総日射量を合計し、その日数で除した1日あたりの値。

植物蓄積エネルギー量（全植物体）：前回退牧時の全植物体重から今回退牧時のケージ内全植物体重までの増加量牧草の熱量を乗じた値。

$$\text{植物蓄積エネルギー量} = ((BG - EGR) + (IGR - BG) / (BGP + GP)) \times HE$$

BG；今回入牧時の全植物体重

EGR；前回退牧時のケージ外の全植物体重

IGR；今回退牧時のケージ内の全植物体重

BGP；前回退牧時から放牧再会までの日数

GP；放牧日数

HE；牧草乾物燃焼熱

可食部エネルギー量：植物蓄積エネルギー量と同様な計算方法で可食部草量を代入した値。

採食エネルギー量：採食量に乾物燃焼熱をかけたもの

可消化エネルギー量：採食エネルギー量に消化率をかけた値。

代謝エネルギー量：ARC（1980）に準拠して可消化エネルギーに82%をかけて算出

$$\text{増体蓄積エネルギー量 (RE)} : RE = \{ \sum (R_i \times \text{day}) / \text{土地面積 (m}^2) \}$$

R_i ；放牧牛各個体の1日当たりの増体蓄積エネルギー量 (kcal/day)

i ；個体番号

n ；放牧頭数

day ；放牧日数

R_i 、すなわち個体の日増体重量のエネルギー換算値はARC（1980）の方法で計算した。

$$R_i = (4100 + 33.2W_i - 0.09W_i^2) \times (\Delta W_i / (1 - 0.1475 \Delta W))$$

W_i ；放牧牛各個体の平均体重(kg)

ΔW_i ；放牧牛各個体の日増体重量(kg/day)

1-3-5 気象条件

日射量、最高・最低気温、降雨量の観測地は名古屋大学附属農場で計測した。

図1に1980年、1981年、1983年の最高・最低気温、降雨量を示した。

第2章 育成牛の放牧時成長における暖地型牧草の放牧草地と寒地型牧草の放牧草地の比較

放牧による育成牛の増体量は、牛の品種や草種によってちがってくる。図2-1に示したように林ら（1972）は黒毛和種とホルスタイン種の発育性を比較するためにスキ型優占の野草地とオーチャードグラス優占の牧草地に放牧してその増体量を比較した。その結果、ホルスタイン種が黒毛和種よりも、さらに野草地よりも牧草地のほうがどの品種においても増体が大いことを報告している。しかし、ホルスタイン種は野草地（0.52 kg）と牧草地（0.92 kg）とで増体の較差が黒毛和種より大きいと相対的に、黒毛和種のほうが野草地放牧の利用性が高いとしている。一般に、放牧牛の増体量は牧草の摂取量が多いほど、また、その供給量が豊富なほど大きいと考えられる。

では、牧草のなかでも暖地型牧草と寒地型牧草の放牧草地で放牧牛の増体はどうかのちがうのだろうか。同じ暖地型牧草間でも増体に差がみられるのだろうか。また、増体の季節的な違いもあるのだろうか。この章では以上のことに関して調査し、増体量に及ぼす要因について解析した。

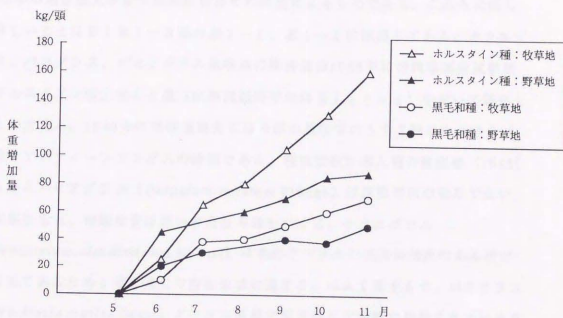


図2-1 放牧による去勢牛増体の品種間、草種間の比較
(林兼六ら、1972より。放牧開始は5月上旬)

2-1節 材料および方法

パヒアグラス、オーチャードグラス放牧草地の増体量は1980年、1981年、1983年の名古屋大学農学部附属農場での調査によるものである。これらに関し
て詳しいことは第1章1-3節の表1-1、表1-2に記載してある。キクユグ
ラス、バラグラス、パヒアグラス放牧地の増体量は1988年に沖縄県畜産試験場
でホルスタイン種去勢牛4頭（試験開始時平均体重166kg）を用いて調査し
たものである。1980年の増体量調査には9頭の放牧牛のうち3頭はホルスタ
イン種とアバディーンアンガスの雑種である。暖地型牧草導入種の解説書（1983）
によるとパヒアグラス（*Paspalum notatum* Flüge）は亜熱帯性の牧草で太い
匍匐茎をもち、初期生育は遅いが密な草地をつくる。キクユグラス
（*Pennisetum clandestinum* Hochst）は東部アフリカの適度の湿度のある所が
原産地であるため1年を通じて冷涼地域に適する。ほふく茎をもち。バラグラス
（*Brachiaria mutica* Stapf）アフリカ原産で世界的に大規模に栽培されている重
要な草種のひとつで、ほふく茎をもち侵略的であるとしている。オーチャードグ
ラス（*Dactylis glomerata* L.）は寒地型牧草で、わが国で広く栽培利用されて
いる主要な牧草のひとつである。

2-2節 結果

2-2-1 暖地型放牧草地と寒地型放牧草地における増体の比較

まず、暖地型牧草であるバヒアグラスと寒地型牧草であるオーチャードグラス放牧草地での放牧牛の日増体量を比較すると、図2-2で明らかにようにバヒアグラス草地での増体量はオーチャードグラスに比べ、約 $1/2 \sim 1/3$ 低かった。

バヒアグラス放牧草地では夏季に増体量が大きく、秋季に小さくなる傾向を示した。オーチャードグラス放牧草地では春季に著しく増体量が大きいが、夏季に小さくなった。1983年のオーチャードグラス放牧草地において初夏にも著しい増体量がみられ、その値は1.2kgであった。各年次を込にして平均するとバヒアグラス放牧草地での増体量は0.3kg、一方、オーチャードグラス放牧草地でのそれは、0.8kgであった。

2-2-2 数種暖地型牧草放牧草地における増体の比較

寒地型牧草に比べ、暖地型牧草の放牧草地での放牧牛の増体は著しく劣ることが明らかになった。では、暖地型牧草のなかでも増体に違いがあるので調べてみることにした。図2-3はホルスタイン種去勢牛をキクユグラス、バラグラス、バヒアグラスの放牧草地に輪換放牧をした時の日増体量の比較である。キクユグラス、バヒアグラスは、夏、秋、ほとんど同じ増体量であるのに対して、バラグラスはそれらの約2倍の増体量を示した。これらのことから、暖地型牧草の草種間でも放牧牛の増体が異なることがわかった。

2-2-3 放牧草地における牧草被食量の季節的、年次的推移

放牧牛の増体量に関係する要因は牧草の質、被食量、供給量、気候要因等が考えられる。ここでは、もっとも影響が大きいと思われる被食量と牧草供給量について調べてみた。

図2-4に放牧草地における被食量の季節および年次的推移を示した。バヒアグラス放牧草地における被食量はオーチャードグラス放牧草地と比べ有意 ($P <$

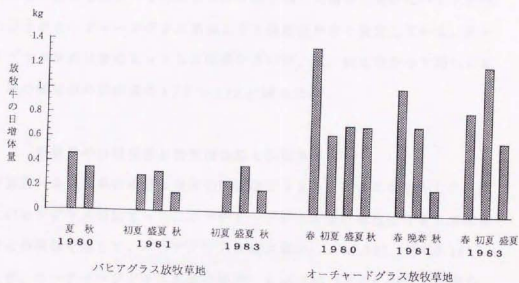


図2—2 暖地型放牧草地と寒地型放牧草地における日増体量の比較

0.01) に多かった。パヒアグラス放牧草地において、被食量は $128.68 \sim 399.35 \text{ g/m}^2$ で、春と夏に多いが、秋に減少する傾向を示した。オーチャードグラス放牧草地においては被食量は $87.25 \sim 348.06 \text{ g/m}^2$ で春に著しく増加したが夏および秋に減少した。

2-2-4 放牧草地における牧草供給量の季節的、年次的推移

牧草供給量の推移を図2-5に示した。年間を通じた場合、明かにパヒアグラス草地のほうがオーチャードグラス草地よりも供給量が多く安定している。オーチャードグラス草地は春にもっとも供給量が多いが、夏、秋に向かって著しく減少した。その値は春の供給量の $1/2 \sim 1/3$ に減った。

2-2-5 放牧牛の日増体量と牧草被食量との関係

では被食量および牧草供給量と増体の関係はどうなっているのか解析した。図2-6にパヒアグラスの図2-7にオーチャードグラス放牧草地にける日増体量と採食量との関係を示した。パヒアグラス草地の場合、 $r=0.523$ ($P<0.148$)であったが、オーチャードグラス草地の場合、 $r=0.502$ ($P<0.08$)の有意な正の相関関係が認められた。

2-2-6 放牧牛の日増体量と牧草供給量との関係

図2-8、図2-9に日増体量と牧草供給量との関係を示した。日増体量と牧草供給量の関係を調べてみるとパヒアグラス草地で $r=0.441$ ($P<0.151$)であったが、オーチャードグラス草地で $r=0.557$ ($P<0.09$)の有意な正の相関関係が認められた。

2-2-7 放牧草地における牧草被食量と供給量との関係

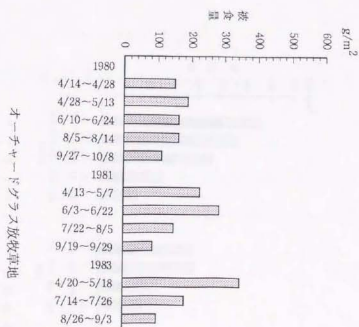
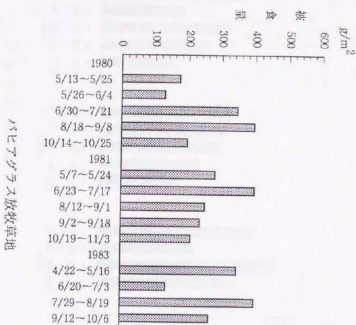
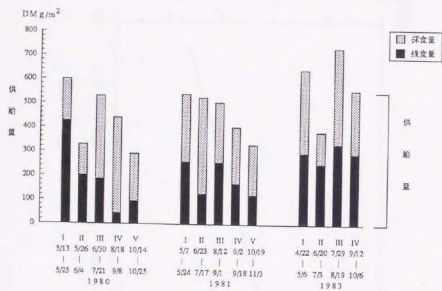
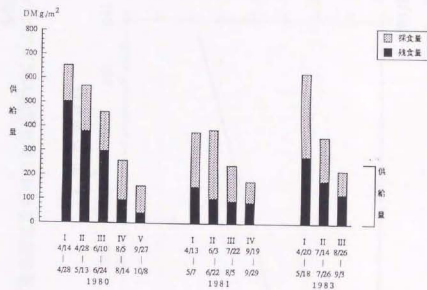


図 2-4 放牧草地における被食量の季節的、年次の推移



バヒアグラス放牧草地



オーチャードグラス放牧草地

図 2-5 放牧草地における牧草の供給量の季節的、年次的推移

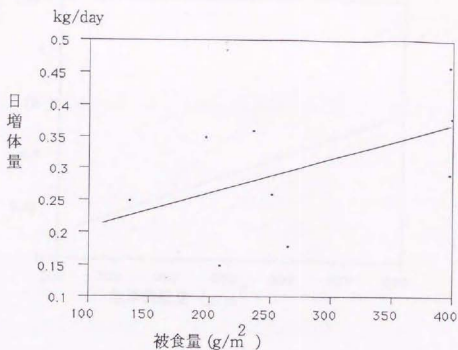


図 2-6 パヒアグラス放牧草地における日増体量と被食量との関係

$$y=0.0005x+0.1524 \quad r=0.523 \quad P<0.148$$

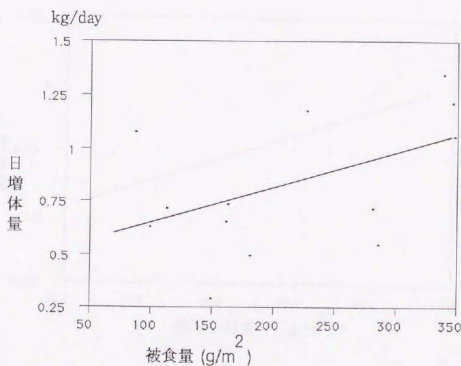


図 2-7 オーチャードグラス放牧草地における日増体量と被食量との関係

$$y=0.0016x+0.467 \quad r=0.502 \quad P<0.08$$

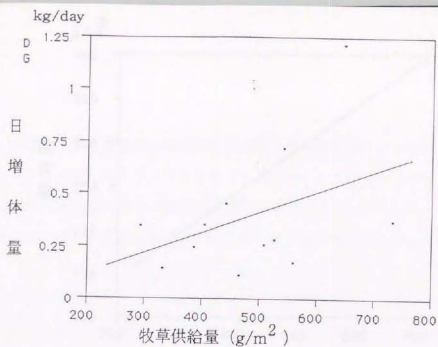


図 2-8 パヒアグラス放牧草地における日増体量と牧草供給量との関係

$$Y=0.001x-0.120 \quad r=0.441 \quad P<0.151$$

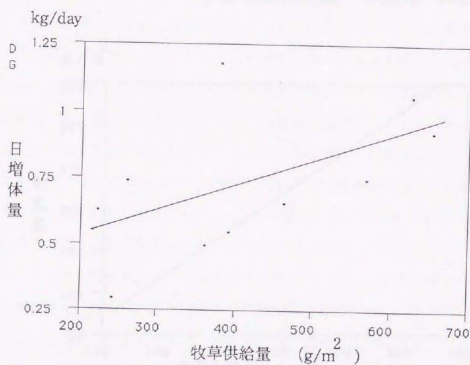


図 2-9 オーチャードグラス放牧草地における日増体量と牧草供給量との関係

$$y=0.0009x+0.3398 \quad r=0.557 \quad P<0.09$$

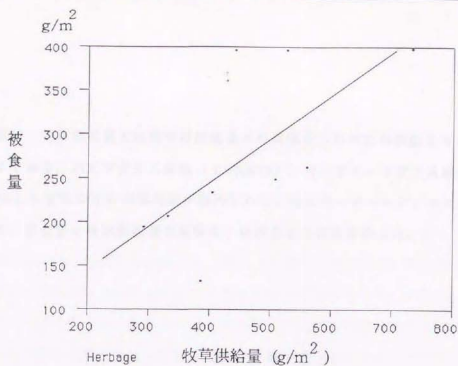


図 2-10 パヒアグラス放牧草地における被食量と牧草供給量との関係

$$y=0.4989x+44.586 \quad r=0.679 \quad P<0.04$$

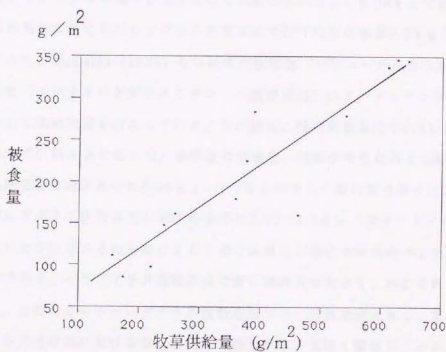


図 2-11 オーチャードグラス放牧草地における被食量と牧草供給量との関係

$$y=0.510x+15.301 \quad r=0.926 \quad P<0.001$$

次に、牧草供給量と放牧牛の採食量との関係をしらべたのが図2-9と図2-10である。パヒアグラス草地 ($r=0.679$)、オーチャードグラス草地 ($r=0.926$)とも有意な正の相関関係が認められた。特にオーチャードグラス草地において、採食量と牧草供給量の関係は、はじょうに大きかった。

2-3節 考 察

2-3-1 暖地型放牧草地と寒地型放牧草地における増体の比較

Chacon(1978)らはセタリアグラス(*Setaria anceps* cv.Nandi)とバンゴラグラス(*Digitaria decumbens*)の草地にヘレフォード種を放牧した場合バンゴラグラス、セタリアグラス草地の日増体量はそれぞれ0.46 kg、0.34 kgであった。これらの値は本研究のパヒアグラス放牧草地での平均日増体量0.3 kgとほぼ一致していた。McLaren(1983)らは熱帯型牧草地(パミューダグラス)と温帯型牧草地(オーチャードグラスとクローバ混播草地)にアバディーンアンガス種を放牧して比較試験を行なっている。その結果、熱帯型牧草地で0.5 kg、温帯型牧草地で0.83 kgであった。春季放牧の場合、増体がさらに向上し熱帯型牧草地、温帯型牧草地それぞれ0.89 kg、1.3 kgの著しく高い値であった。本試験でのパヒアグラス放牧草地における春季の0.72-1.2 kg(表4-1)の日増体量は、パヒアグラスそのものによるものではなく、春にマメ科のベッチが繁茂するためである。パヒアグラス放牧草地で夏に増体量が大きく、秋にそれが低下すること。また、オーチャードグラス放牧草地で春に増体量が大きく、夏に著しく減少するのは草地における牧草供給量(図2-5)と深く関係している。このこ

とに関して、林ら（1967）もオーチャードグラス草地における黒毛和種去勢牛の夏における増体量の低下を報告している。また、黒川ら（1990）はトールフェスク草地で夏季の著しい日増体量の低下を報告している。図2-8、図2-9から明らかなように、牧草供給量が多いと放牧牛の日増体量は高くなり、逆に、供給量が少ないと増体量は減少する。図2-5からバヒアグラス放牧草地は秋に、オーチャードグラス放牧草地は夏に供給量の低下が認められる。そして、供給量が少なくなると図2-4に示したようにバヒアグラス放牧草地は秋に、オーチャードグラス放牧草地は夏に被食量が減少し、放牧牛の増体の低下につながることになる。Stobbs(1973)は、Bite size（一噛みの草量）が採食量の決定要因となり、さらにそれは、牧草の生育ステージが進む（老化）につれて、少なくなることを報告している。Chacon(1978)は放牧牛の増体はBite sizeの大きさと関係し、さらにBite sizeは可食草量や葉部割合と正の相関関係にあることを報告している。すなわち牧草供給量が充分であると放牧牛による葉身部の摂取は容易である。供給量が少ないと放牧牛は一度に摂取する量がわずかなため要求量を満たすために長時間採食行動を行なうことになる。鈴木ら（1981）は放牧牛の摂取する牧草量が不十分だと、採食時間を延長することを認めている。この採食時間の延長はエネルギーの消費に結び付く。

バヒアグラス放牧草地とオーチャードグラス放牧草地における著しい日増体量の違いは牧草の質によるものと思われる。Reeves(1984)は数種牧草のリグニンとin vitro消化率を測定しており、その中のオーチャードグラス乾草はリグニン含量がきわめて少なく5.8%であり、細胞壁消化率67.7%、乾物消化率は78.1%であることを報告した。しかし、バヒアグラスの消化率は悪く、Okubo(1985)らは葉身で44%の値を報告している。

2-3-2 数種暖地型放牧草地における増体の比較

図2-3は沖縄県の畜産試験場で行なった試験結果である。草種によりホルスタイン種の日増体量が異なることがわかった。特に、バラグラス放牧草地での日増体量は0.8kg以上を示し、寒地型牧草なみの値であった。また、どの草種も夏に増体量が高く、秋に低下したのは、牧草供給量の減少によるものと考えられる。Ebersohn(1984)らは可食部生長速度と日増体量は高い($P < 0.01$)正の相関関係にあることを報告している。

沢村ら(1985)はバヒアグラス、グリスグラス、トールフェスク草地において放牧牛の採食量の違いを報告している。すなわち短間隔、長間隔放牧いずれにおいてもトールフェスクのほうがバヒアグラス、グリスグラスより採食量が多かった。このように本試験における草種間の増体のちがも採食量に関与していると推測される。本試験期間中、降雨量が非常に少なく干ばつであったにもかかわらず、バラグラスだけは生育が旺盛であった。この生長量も高い増体量と深く関係しているものと考えられる。

草種間の増体量の差は、消化率や粗蛋白質含量、炭水化物含量などの牧草の質の違いによることも十分考えられる。

2-4節 小 括

放牧による育成牛の増体量を暖地型放牧草地(C4植物)と寒地型放牧草地(C3植物)で比較した。また、暖地型牧草であるバヒアグラス、バラグラス、キクユグラス放牧草地での日増体量も比較した。そして、増体量に影響を及ぼすと思われる牧草供給量、牧草被食量との関係を明らかにするためにおこなった。

1. 暖地型放牧草地と寒地型放牧草地における増体の比較

年平均日増体量はバヒアグラス放牧草地、オーチャードグラス放牧草地でそれぞれ0.3 k g、0.8 k gであった。また、バヒアグラス放牧草地における日増体量は夏季に高く、秋季に低い値を示した。一方、オーチャードグラス放牧草地における日増体量は春季に高く、夏に著しく低下した。

2. 暖地型放牧草地における増体の比較

キクユグラス、バヒアグラス放牧草地における夏、秋の日増体量は0.3~0.48 k gであるのに対してパラグラス放牧草地のそれは約2倍の0.84 k gであった。同じ暖地型牧草の放牧草地でも草種の違いによって増体量に差が出ることがわかった。

3. 被食量、牧草供給量と増体との関係

バヒアグラス放牧草地における被食量はオーチャードグラス放牧草地より有意 ($P < 0.01$) に多かった。バヒアグラス放牧草地における被食量は春と夏に多いが、秋に減少する傾向を示した。オーチャードグラス放牧草地におけるそれは春に高く、夏に減少した。

牧草供給量はバヒアグラス放牧草地のほうがオーチャードグラス放牧草地よりも多く年間を通じて安定した供給量であった。オーチャードグラス放牧草地の供給量は夏に著しく減少した。

両放牧草地における採食量と日増体量との間には有意な正の相関関係が認められた。また、採食量と牧草供給量との間にも有意な正の相関関係がみられた。

以上のことから放牧草地における放牧牛の日増体量には、牧草供給量や被食量が関係していることが明らかになった。

第3章 放牧草地の植物生産における暖地型草種と寒地型草種の比較

第2章で育成牛を暖地型牧草の放牧草地と寒地型牧草の放牧草地に放牧した場合、家畜の成長に著しい差が生じることが明らかになった。そして、放牧草地での育成牛の増体量は牧草供給量や被食量の季節変化と関係していることが明らかとなった。本章では、植物側からみた場合、パヒアグラス放牧草地とオーチャードグラス放牧草地における植物生産量、すなわちC4植物とC3植物の一次生産を中心に比較検討してみた。

わが国の関東以西の地域では寒地型牧草が夏季に夏枯れを起こすためそれに代わる牧草として暖地型牧草は必要不可欠である。また、秋から初春にかけて暖地型牧草の生育は停滞（休眠）するためその時期に寒地型牧草が必要となる。南西諸島においても11月から2月にかけて気温が20℃以下に下がるため亜熱帯性牧草は緩やかに生育する。安定した粗飼料の供給を行なうためには温帯性牧草の導入が必要である。そして、草地を放牧利用する場合、そこにおける乾物生産量や季節生産性を把握することは放牧管理上大切なことである。

3-1節 材料および方法

放牧草地の概況についての説明は第1章の1-3-1に、調査項目と調査の方法については1-3-3に記述してある。1980年、1981年、1983年

におけるバヒアグラス放牧草地とオーチャードグラス放牧草地における放牧期間、放牧日数、放牧頭数、そして入牧時と退牧時の放牧牛の平均体重は表1-1と表1-2に示してある。

3-2 節 結 果

3-2-1 試験期間中の最高・最低気温および降雨量について

4月の最高気温は約15℃となり、以後だんだん上昇し7月、8月に最高気温が30℃以上になった。そして、11月まで最高気温は15℃以上であった。降雨量は梅雨時期の6月頃に多く、また、台風の襲来が多い夏季に著しい多雨が観察される。

3-2-2 放牧草地における草丈、被度について

バヒアグラス放牧草地の草丈と被度を表3-1と表3-2に、オーチャードグラスのそれを表3-3と表3-4に示した。バヒアグラス放牧草地は春と秋に寒地型牧草であるベッチャイタリアンライグラスが出現し、5～6月にかけて両草とも草丈が50cm以上になる。そして、ベッチャが放牧草地全体を覆いつくし、バヒアグラスは、その下層に存在する。しかし、放牧が開始され放牧牛がベッチャを食いつくすおよそ6月下旬になると気温の上昇とともにバヒアグラスの生育が旺盛になり始め、夏季に90%以上の被度を占めた。冬季に至っても約80%以上の被度を維持した。バヒアグラス草地の特徴は雑草の侵入がひじょうにわずかで、5月の36%を除き2～14%の範囲であった。

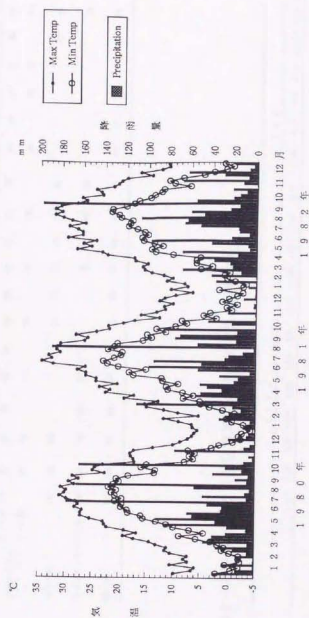


図3-1 最高・最低気温と降雨量の推移 (名古屋大学附属農場、愛知県東郷町)

表3-1 バヒアグラス放牧草地における草丈の季節的推移

草 種	単位 cm																						
	1 9 8 0											1 9 8 1											1 9 8 2
	5/12	5/26	6/5	6/28	7/22	8/18	9/9	10/14	10/25	5/6	5/23	6/23	7/15	8/11	9/2	9/18	10/14	11/2	12/24	2/10	4/26		
バヒアグラス	ケージ内	13	20	27	55	84	54	62	30	38	11	20	36	81	49	41	54	29	30	5	4	9	
	ケージ外	21	19		33		18		26		18			18		33	19		13				
ベッチ類		50	56	19			14	22	15	19	55	52	22					18	21	5	7	57	
イタリアンライグラス		52	57	8	38	22				8	67	67	59	54					34	15	10	33	
雑 草		37	48	25	50	64	36	52	26	26	52	48	44	61	37	26	39	25	23	10	6	26	

表3-2 バヒアグラス放牧草地における被度の季節的变化

	単位 %																					
	1 9 8 0										1 9 8 1											
	5/12	5/26	6/5	6/28	7/22	8/18	9/9	10/14	10/25	5/6	5/23	6/23	7/15	8/11	9/2	9/18	10/14	11/2	12/24	2/10	4/26	
バヒアグラス	0	23	66	80	83	91	78	87	80	0	6	75	85	96	93	94	89	83	80	63	0	
ベッチ類	65	39	6	0	0	0	0	4	11	92	80	+	0	0	0	0	7	9	8	23	94	
イタリアンライグラス	10	2	2	4	1	0	0	0	0	3	10	15	5	0	0	0	+	2	6	7	3	
雑草	13	36	14	13	14	2	6	3	7	3	4	10	10	3	4	4	4	6	6	4	3	
裸地	12	0	12	3	2	7	16	6	2	2	0	0	0	1	3	2	0	1	0	1	0	

表 3-3 オーチャードグラス放牧草地における草丈の季節的推移

草 種		1 9 8 0								1 9 8 1								1 9 8 2		
		4/14	4/28	5/13	6/10	6/24	8/5	8/14	10/8	4/13	5/7	6/2	6/22	7/22	8/5	9/19	9/29	11/1	12/25	2/12
オーチャードグラス	ケージ内	26	52	37	72	86	62	56	50	40	94	62	75	55	60	46	54	34	28	11
	ケージ外										13		15		20		19			
イタリアンライグラス		38	76	53	64	63	6			33	66	47	46	16	4					
白クローバ		8	16	15	22	27	26	23	20	23	32	34	36	32	30	24	27	20	12	3
ベッチ類		26	50	33	17					27	57	18								
雑草		22	36	20	40	35	38	38	32	14	31	24	42	39	41	27	31	19	16	9

表 3-4 オーチャードグラス放牧草地における被度の季節的推移

		1 9 8 0																1 9 8 1																単位 %	
草 種		4/14	4/28	5/13	6/9	6/24	8/5	8/14	10/6	4/13	5/6	6/2	6/22	7/21	8/4	9/14	9/29	11/1	12/25	2/12															
オーチャードグラス	11	10	15	50	61	69	71	66		35	65	61	61	78	76	69	72	66	71	49															
イタリアンライグラス	48	61	58	38	28	+	0	0		31	17	17	14	1	0	0	0	3	9	0															
白クローバ	1	1	1	3	2	3	2	2		13	5	15	18	16	12	18	13	19	12	41															
ベッチ類	6	9	3	+	+	0	0	0		5	7	+	0	0	0	0	0	0	+	0															
雑草	29	16	6	8	8	21	18	22		7	6	6	6	4	7	6	10	6	5	3															
裸地	5	3	17	0	0	7	9	10		9	0	0	1	1	5	7	5	6	3	7															

オーチャードグラス放牧草地はオーチャードグラスと自生するイタリアンライグラスが優占している。しかし、オーチャードグラスの被度が夏季まで約70%維持しているのに対して、イタリアンライグラスは6月までしか草地に出現しなかった。また、オーチャードグラス放牧草地は生育が停滞する夏季に雑草の侵入が多くなった。

3-2-3 草種別乾物現存量の年次および季節的推移

バヒアグラス放牧草地における草種別乾物現存量を表3-5に、オーチャードグラス放牧草地におけるそれを表3-6に示した。

バヒアグラス放牧草地における現存量は春と夏にピークが認められた。すなわち5月にベッチ、8月にバヒアグラスの著しく高い現存量である。気温のまだ低い春のバヒアグラスの生育はひじょうに遅く、気温の高くなる夏に著しい生長を示すことがこの表からわかる。退牧時のバヒアグラスの現存量は $44 \sim 333.9 \text{ g/m}^2$ の範囲であった。地際5cm以上の可食部現存量は早春に少なく以後増加し、夏に最高値に達し、秋に減少するという傾向を示した。

オーチャードグラス放牧草地における草種はオーチャードグラス、イタリアンライグラスが主で、両者は少し生育時期が異なり、4月下旬から5月初旬にかけてイタリアンライグラスが繁茂し、その後、5月下旬から6月にかけて今度はオーチャードグラスが旺盛に生育するというパターンを示した。オーチャードグラスは春から夏にかけて現存量が著しく減少した。イタリアンライグラスもオーチャードグラスと同様な傾向を示したが、オーチャードグラスよりも消失するのが早く8月には見あたらなかった。

3-2-4 部位別乾物現存量の年次的、季節的推移

バヒアグラスの部位別乾物現存量を表3-7に、オーチャードグラスのそれを

表3-8に示した。ここでの部位別現存量は、入牧時と退牧時に25cm×25cmのコドラートを6個用いて刈取り、葉身、直立茎、ほふく茎、立枯、リター、根の部位別に分けた。この表では、リターを除いた。バヒアグラスの葉身重は7月に374.5g(1980年)、425.6g(1981年)、また、直立茎は9月に390.6g(1980年)、559.2g(1981年)の最高値を示した。ほふく茎は621.5~769.1g(1980年)、648~1063.6g(1981年)の範囲にあり、夏の終から秋にかけて増加した。立枯は6月と秋から冬にかけての時期に多くみられその最高値は、305.5g(1980年)、223.1g(1981年)であった。根重は春に低く284.6g(1980年)、289.3g(1981年)であるが、夏に最高値521.4g(1980年)、673.3g(1981年)となり秋から冬に減少した。全植物体の乾物重の季節的推移は春に低く1314.3g(1980年)、1235.2g(1981年)の値で、夏季に著しく増加し2051.2g(1980年)、2519g(1981年)を示した。そして、秋から冬にかけて減少するというパターンを示した。

オーチャードグラスの葉身重は早春に低く102.4g(1980年)、42.1g(1981年)であるが4~6月に著しく高い値548g(1980年)、355.2g(1981年)を示し、夏に急減し、秋に再び増加する傾向を示した。直立茎も葉身と同様な傾向を示した。立枯はオーチャードグラスの生育が悪くなる夏季に増加し、その値は348.2g(1980年)、242.9g(1981年)であった。根重は春に584.6g(1980年)、487.7g(1981年)の高い値を示すが、夏季に減少し341g(1980年)、413.8g(1981年)となった。しかし、秋に再び増加し593.7g(1980年)、590.4g(1981年)の値であった。全植物体重は以上の部位別乾物重の変動を反映し、早春に低く777.2g(1980年)、681.6g(1981年)であるが、だんだん増加し、4月下旬に1384.5g(1980年)、6月に1443.6g(1981年)の高い値を示した。夏には820g(1980年)、892.5g(1981年)の値に減少した。しかし、気温の低くなる秋に再び増加の傾向を示した。

表3-5 バヒアグラス放牧草地における1980年、1981年、1983年の草種別乾物現存量の季節的推移

単位: g/m²

	1 9 8 0															
	3/10	5/13	5/26		6/5	6/30	7/22	8/18	9/9		10/14	10/25	12/26			
	内	外	内	外	内	外	内	外	内	外	内	外	内	外		
バヒアグラス	80.0	—	50.5	51.7	313.5	82.5	269.5	803.5	134.9	379.4	525.1	44.0	251.8	229.3	114.5	75.5
ベツナ属	1.7	209.4	298.5	135.7	222.3	123.8	58.4	22.5	1.8	—	—	—	0.8	2.3	1.7	1.5
イタリアンライグラス	—	185.7	84.0	23.5	3.5	4.5	4.3	13.3	—	—	—	—	—	—	—	—
雑 草	—	75.3	151.5	24.2	41.2	5.1	59.8	24.8	48.0	—	—	—	2.0	2.3	2.4	1.7
可食部現存量	81.7	486.4	574.5	235.1	580.5	194.0	381.9	884.0	184.7	379.4	525.1	44.0	254.6	233.9	118.8	76.8

内: プロナクトケーシ内草
外: プロナクトケーシ外草

単位 g/m^2

	1 9 8 1														1 9 8 2			
	2/24	4/23	5/7	5/25	6/23	7/17	8/12	9/2	9/19	10/19	11/5	12/24	2/10	4/26				
	内	外	内	外	内	外	内	外	内	外	内	外	内	外				
バヒアグラス	—	0.4	0.5	45.7	80.8	214.9	571.2	125.0	306.5	624.2	255.5	522.2	268.5	261.3	368.2	117.5	—	0.4
ベツナ属	—	370.7	432.0	456.5	192.0	136.4	—	—	—	—	—	—	3.0	5.4	2.5	—	—	380.3
イタリアンライグラス	—	34.5	40.2	49.5	2.8	57.5	38.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	33.6
雑 草	—	25.9	30.2	5.5	3.4	8.3	41.8	1.9	6.9	6.9	0.3	10.1	—	4.3	12.0	2.7	—	25.2
可食部現存量	431.5	502.9	567.4	258.8	417.1	852.8	126.9	315.4	831.1	255.9	532.3	268.5	268.8	365.6	122.6	—	—	—

単位: g/m^2

草 種	1 9 8 3											
	4/22	5/17		6/20	7/14		7/29	8/20		9/12	10/5	
	内	外	内	外	内	外	内	外	内	外	内	外
バヒアグラス	0.5	63.6	66.5	169.3	350.8	245.7	441.5	642.0	333.9	554.9	564.3	293.0
ベツナ属	402.4	634.8	219.5	107.5	—	—	—	—	—	—	8.2	3.7
イタリアンライグラス	37.5	66.0	3.0	45.4	24.5	—	—	—	—	—	—	—
雑 草	26.1	7.8	3.9	6.8	25.7	3.8	9.9	—	—	10.5	9.0	4.7
可食部現存量	468.5	775.2	295.9	326.8	401.1	250.5	451.4	942.0	333.9	565.4	579.5	300.9

内: プロナクトケーシ内草
外: プロナクトケーシ外草

表 3-6 オーチャードグラス放牧草地における1980年、1981年、1983年の草種別乾物現存量の季節的推移

単位: g/m^2

草 種	1 9 8 0									
	4/14	4/28		5/13		6/10		6/24		8/27
		円	外	円	外	円	外	円	外	円
オーチャードグラス	78.0	114.3	102.1	103.9	163.2	139.6	367.6	283.8	212.4	254.0
イタリアンライグラス	339.2	338.7	368.2	479.8	207.6	314.6	58.7	12.0	—	—
雑草	69.2	142.3	32.7	27.3	8.7	6.3	33.1	3.0	9.3	79.3
可食部現存量	487.4	395.3	303.0	611.3	379.5	460.7	462.4	296.8	221.9	383.3

円: プロテクトケージ内量
外: プロテクトケージ外量

単位: g/m^2

草 種	1 9 8 1									
	4/13	5/7		6/3		6/22		7/22		8/19
		円	外	円	外	円	外	円	外	円
オーチャードグラス	72.4	321.8	120.2	213.3	242.9	97.4	170.1	219.2	83.5	168.7
イタリアンライグラス	60.1	270.4	18.0	112.8	70.9	2.8	2.9	—	—	—
雑草	27.2	94.0	9.9	43.6	95.9	3.4	34.2	52.1	9.0	32.6
可食部現存量	159.9	686.2	151.1	369.7	409.7	103.6	207.2	271.2	92.3	141.3

円: プロテクトケージ内量
外: プロテクトケージ外量

単位: g/m^2

草 種	1 9 8 3									
	4/20	5/18		7/14		7/26		8/23		
		円	外	円	外	円	外	円	外	
オーチャードグラス	177.3	337.9	220.4	240.1	289.8	168.0	139.3	184.1	99.8	
イタリアンライグラス	158.9	289.9	33.0	4.1	5.3	4.8				
雑草	88.0	108.1	22.2	48.3	116.9	5.9	41.8	51.0	21.9	
可食部現存量	424.2	735.7	277.6	292.5	392.5	178.7	181.1	237.1	121.7	

円: プロテクトケージ内量
外: プロテクトケージ外量

表 3-7 バリアガラスの1980年、1981年の部位別乾物現存量の季節的推移 (g/m^2)

単位: g/m^2

	1 9 8 0															
	3/80	5/80	5/80	6/80	8/80	9/80	8/80	9/80	10/80	11/80	12/80	12/80				
全植物体量	1314.3	1204.3	1331.4	1276.6	1273.3	1613.3	1899.0	2031.2	1371.9	1497.4	1924.9	1313.6	1426.4	1321.3	1406.2	1322.1
葉身量	63.3	83.9	116.4	43.2	234.1	41.3	338.9	374.3	71.3	130.0	147.4	42.9	140.1	86.8	30.2	81.3
茎量	77.3	72.8	95.2	114.7	187.3	142.6	229.6	306.4	176.7	305.3	390.6	128.7	236.2	202.4	130.4	122.3
はら(茎量)	680.5	644.2	621.3	621.3	631.3	631.3	684.4	709.4	709.4	723.6	749.1	749.1	739.9	710.4	710.4	728.3
茎部量	209.0	116.0	144.6	176.7	61.6	305.3	113.2	139.3	89.7	82.3	106.3	87.4	119.3	112.3	86.0	249.8
根量	284.6	402.6	773.9	773.9	434.8	434.8	447.3	321.4	321.4	432.0	431.3	431.3	436.8	436.2	436.2	340.2

内: プロクタートケージ内量
外: プロクタートケージ外量

単位: g/m^2

	1 9 8 1												1 9 8 2				
	2/81	4/81	5/81	5/81	6/81	7/81	8/81	9/81	10/81	11/81	12/81	2/82	4/82				
全植物体	1255.2	1390.6	1395.0	1509.6	1418.6	1912.8	2279.4	1719.2	2335.6	2319.0	2137.1	2220.8	2426.0	2280.3	1820.1	1475.7	1791.0
葉身量	74.9	109.3	106.5	120.4	36.3	264.9	423.6	71.2	207.1	260.3	106.2	154.0	229.5	95.7	45.3	31.5	137.9
茎量	112.4	83.2	82.2	96.5	131.8	216.7	348.2	186.2	419.3	339.2	300.7	308.2	427.8	287.0	103.8	92.6	117.4
はら(茎量)	949.0	692.8	671.8	689.3	689.3	699.0	849.6	849.6	1002.9	921.3	921.3	1015.3	1063.6	1063.6	995.4	923.6	907.8
茎部量	126.6	172.4	174.2	134.1	79.7	181.1	99.1	75.3	123.8	84.9	141.6	168.6	97.2	223.1	143.9	118.9	303.5
根量	289.3	716.7	364.3	461.1	461.1	531.1	356.9	356.9	380.3	673.3	673.3	584.7	610.9	610.9	551.5	445.1	424.4

注: 2/81は2/80のデータ

内: プロクタートケージ内量
外: プロクタートケージ外量

表 3-8 オーチャードグラスの1980年、1981年における部位別乾物現存量の季節的推移

単位: g/m^2

	1 9 8 0											
	3/30	4/7	4/14	4/22	5/13	6/10	6/24	8/5	8/14	9/27	10/18	
	円	円	円	円	円	円	円	円	円	円	円	円
全植物体量	777.2	1321.2	1308.0	1384.3	1233.8	1351.7	1179.6	1214.3	782.5	884.1	975.6	820.0
葉身	302.4	500.1	314.4	341.9	222.2	348.0	330.3	474.3	426.0	54.2	267.4	279.2
茎立葉	206.6	436.5	432.0	349.3	518.4	339.0	280.7	164.7	100.1	45.2	91.3	113.1
文相	61.0	0.0	18.9	25.1	25.1	10.0	179.6	348.2	348.2	33.3	79.7	79.7
根	407.2	584.6	584.6	456.1	456.1	454.7	454.7	360.8	360.0	470.0	503.7	503.7

円: プロテクトケージ内量
外: プロテクトケージ外量

単位: g/m^2

	1 9 8 1											
	2/20	4/13	5/4	6/3	6/22	7/22	8/5	9/19	9/29	11/1		
	円	円	円	円	円	円	円	円	円	円	円	円
全植物体量	681.6	837.2	1410.3	733.9	1443.6	1292.1	908.9	1268.8	1560.7	892.5	1134.7	961.0
葉身	42.1	186.3	350.2	76.0	271.2	297.2	73.3	308.4	273.8	124.4	204.6	199.2
茎立葉	93.6	185.9	549.8	154.6	458.2	331.6	170.3	201.2	236.3	213.3	184.6	113.6
文相	94.2	3.5	17.6	17.6	219.9	227.0	227.0	242.9	140.8	206.9	220.2	220.2
根	451.7	459.1	487.7	487.7	484.3	436.3	436.3	516.4	413.9	413.9	426.6	426.6

円: プロテクトケージ内量
外: プロテクトケージ外量

これらのバヒアグラス、オーチャードグラスの現存量の季節的推移を見やすくするために図示したのが図3-2、図3-3である。また、それらの分配率を図3-4と図3-5に示した。バヒアグラスの乾物重量の推移は、春に低く、夏に著しく増加し、秋から冬にかけて減少するというパターンがよくわかる。しかし、オーチャードグラスの場合は、バヒアグラスとまったく逆のパターンで春に高く、夏に著しく減少し、秋に再び増加するという傾向を示した。葉身、直立茎、立枯、根を含めた全植物体重を比較するとバヒアグラスとオーチャードグラスでは著しい差がある。すなわちバヒアグラスは1年を通じてオーチャードグラスよりも約2倍もの大きな値であることがわかった。バヒアグラスの植物器官の分配率はほふく茎が約50%占めていることがわかる。さらに根を含めると全植物体の60~70%をこのふたつの器官が占めることになる。これらほふく茎や根は放牧牛にとって不可食な部分である。オーチャードグラスでは根が30~50%を占めているがバヒアグラスに比べて、葉身の割合が著しく高い。

図3-6にバヒアグラス、図3-7にオーチャードグラスのリター(植物遺体)を加えたいわゆる全有機物をしめした。そして、それぞれの分配率を図3-8と図3-9に示した。バヒアグラス放牧草地におけるリターの現存量は193.1~650.2g(1980年)、340.9~747.7g(1981年)の範囲であった。2月から3月にかけて少なく6月に多い傾向を示した。リターの分配率は1980年から1981年を通して12~33%を占めていた。

オーチャードグラス放牧草地ののリター現存量は春に少なく、夏から秋にかけて著しく増加した。1980年のリター現存量は38.91~569.47g、1981年のそれは239.2~412.32gであった。リターの分配率は2年間を通じて2~34%の範囲であった。リターの現存量はバヒアグラス草地のほうがオーチャードグラス草地よりも年間を通して著しく高い値を示した。

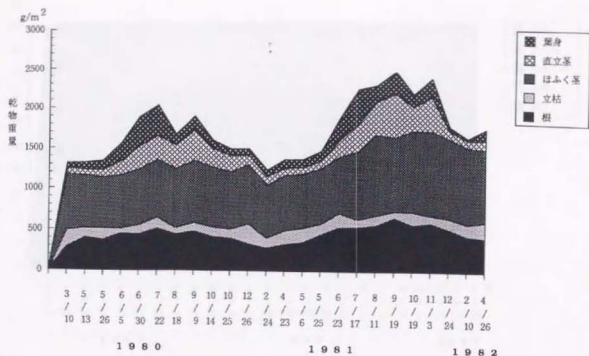


図3-2 パヒアグラスの器官別乾物重量の年次的および季節的推移

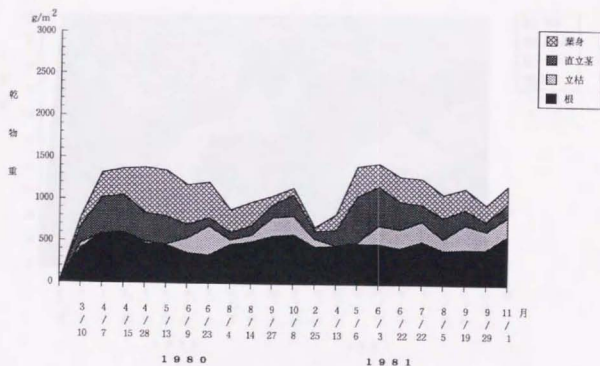


図3-3 オーチャードグラスの器官別乾物重の年次的および季節的推移

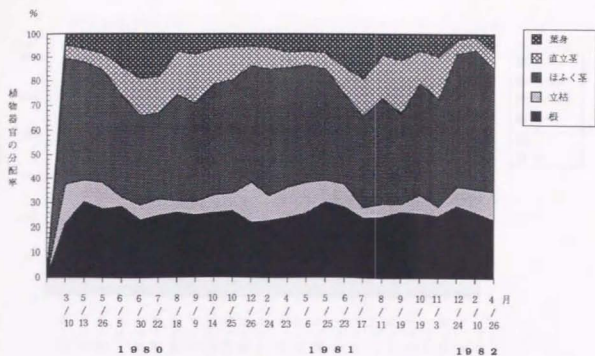


図3-4 バヒアグラスの器官別乾物重量の年次的および季節的推移

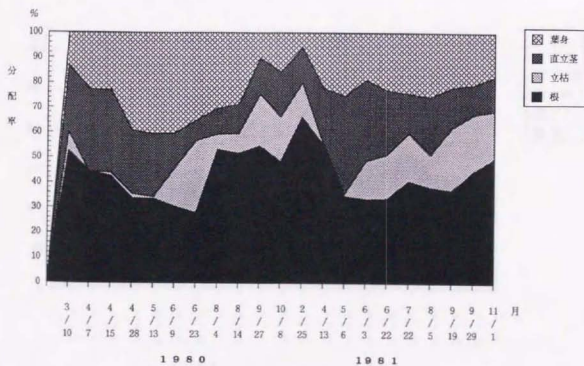


図3-5 オーチャードグラス植物器官の分配率の年次的および季節的推移

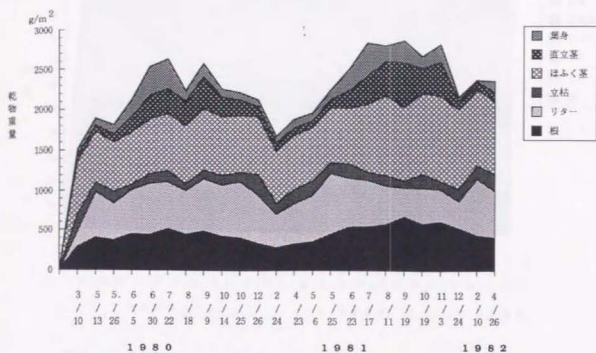


図3-6 バヒアグラスの器官別乾物重量の年次的および季節的推移 (リターを含む)

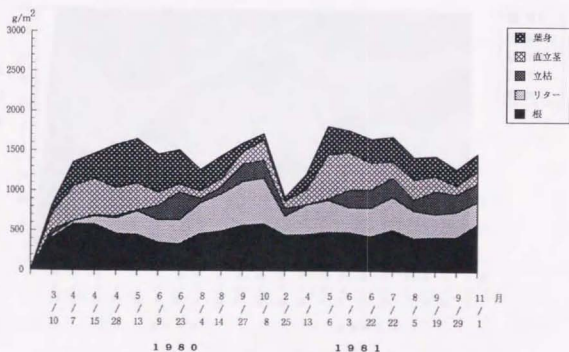


図3-7 オーチャードグラスの器官別乾物重量の年次的および季節的推移 (リターを含む)

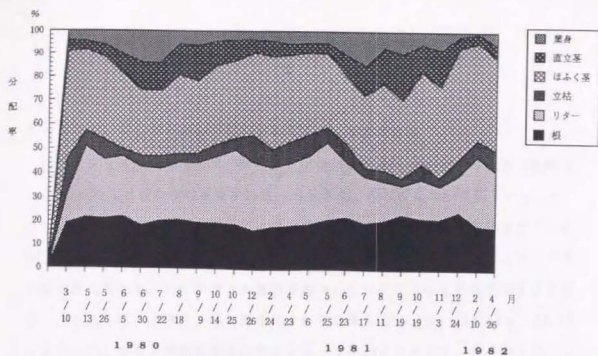


図3-8 パシアグラス植物器官の分配率の年次的および季節的推移 (リターを含む)

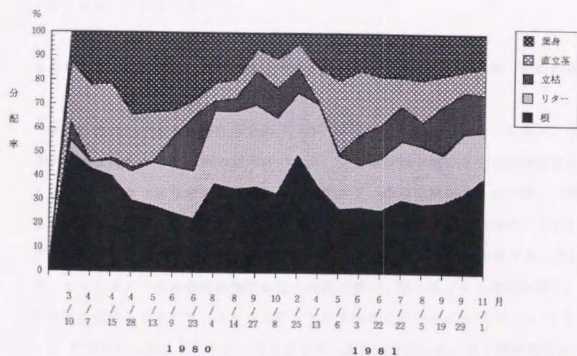


図3-9 オーチャードグラス植物器官の分配率の年次的および季節的推移 (リターを含む)

3-2-5 可食部の植物生長速度の年次的、季節的推移

パヒアグラス放牧草地とオーチャードグラス放牧草地における可食部（地際5 cm以上）の1日当たりの乾物増加量（生長速度）の推移について図3-10に示した。パヒアグラス放牧草地には優占種のパヒアグラスと寒地型牧草のベッチが、オーチャードグラス放牧草地にはオーチャードグラスとイタリアンライグラスが存在している。パヒアグラス放牧草地のパヒアグラスの生長速度は1980年、1981年、1983年の夏季にそれぞれ最高値26.18 g、14.85 g、22.75 gを示した。また、同放牧草地に存在するベッチは1980年、1981年、1983年の春にそれぞれ8.66 g、13.73 g、9.3 gの値であった。

オーチャードグラス放牧草地におけるオーチャードグラスの生長速度は1980年の初夏に最高値16.29 g、1981年、1983年の春にそれぞれ10.38 g、5.73 gの値を示した。いずれにしてもパヒアグラスの生長速度は他の草種とくらべて著しく高いことがわかった。

3-2-6 放牧草地における牧草の葉面積指数（LAI）の年次的、季節的推移

放牧草地における葉面積指数を図3-11に示した。葉面積指数（LAI）は単位土地面積当たりの牧草の葉面積である。葉面積指数が高いと光合成器官を多くもつこととなり同化量も増大する。パヒアグラスの葉面積指数は春に低く、夏に高くなり、秋に再び低くなるというパターンであった。その最高値は、1980年、1981年、1983年の夏にそれぞれ9.58、7.96、8.92の値であった。オーチャードグラスの葉面積指数は春と初夏に高く、秋に低くなる傾向を示し、その最高値は1980年、1981年、1983年にそれぞれ6.05、4.28、6.51であった。イタリアンライグラスの葉面積指数は春に高く調査期間中の最高値は5.47であった。この図からパヒアグラスの葉面積指数はオーチャード

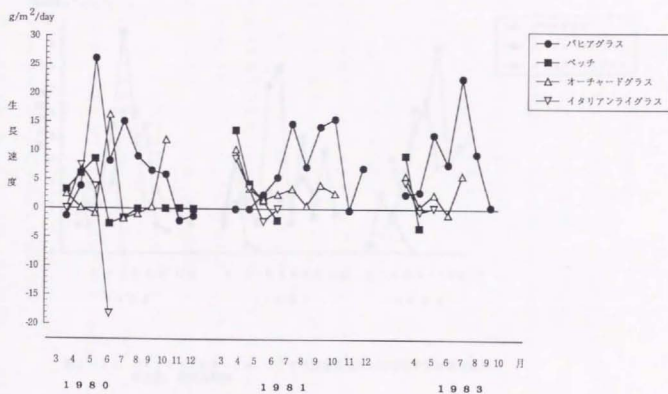


図3-10 バヒアグラスとオーチャードグラス放牧草地における可食部生長速度の年次的、および季節的推移

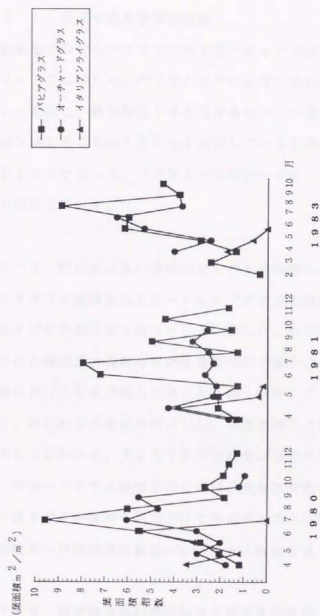


図3-11 ハビタダグラスとオーチャードグラス放牧草地における牧草相対相対数の
年次的、季節的推移

グラスやイタリアンライグラスと比較して著しく高い値であった。

3-2-7 分けつ数の季節的推移

放牧草地におけるバヒアグラスとオーチャードグラスの分けつ数の季節的推移を図3-12に示した。バヒアグラスの分けつ数は春に少ないが夏から秋にかけて著しく増加し、最高値は190本であった。一方、オーチャードグラスの分けつ数は年間を通じて約120本で推移しているものの6月に著しく増加し、最高値は208本であった。バヒアグラスはオーチャードグラスよりも常に高い分けつ数で推移している。

3-2-8 牧草供給量の季節的および年次的推移

バヒアグラス放牧草地とオーチャードグラス放牧草地における牧草供給量の季節的および年次的推移を図3-13に示した。牧草供給量は放牧期間中に放牧牛に食された被食量と退牧時の残食草量の和で表すことができる。バヒアグラス放牧草地における牧草供給量は春と夏に高く平均して 500 g/m^2 以上であった。そして、秋にわずかながら減少した。年間を通じての牧草供給量は比較的安定していることがわかる。1983年の供給量は他の年度と比べ高かった。

オーチャードグラス放牧草地における牧草供給量は春に 600 g/m^2 と著しく高い値を示すが夏から秋にかけて急減するのが特徴である。よって年間を通しての放牧牛への牧草供給量はバヒアグラス放牧草地と比較してきわめて少ない。

3-2-9 牧草被食量の季節的および年次的推移

バヒアグラス放牧草地とオーチャードグラス放牧草地における牧草の被食量を図3-14に示した。放牧牛による牧草の被食量の測定方法は第1章の1-3-3で詳しく述べている。バヒアグラス放牧草地における被食量は春と夏に多かつ

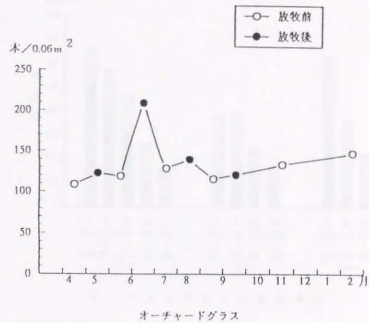
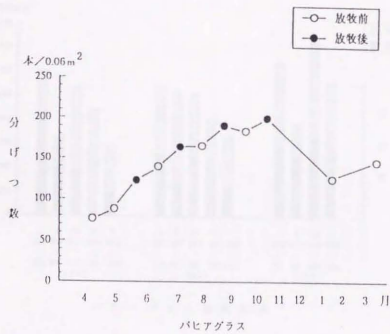
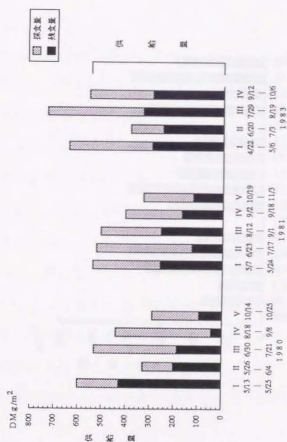
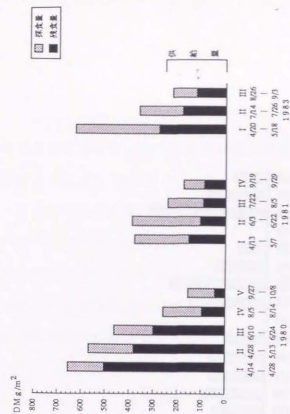


図3-12 放牧草地におけるパヒアグラスとオーチャードグラスの分けつ数の季節的推移

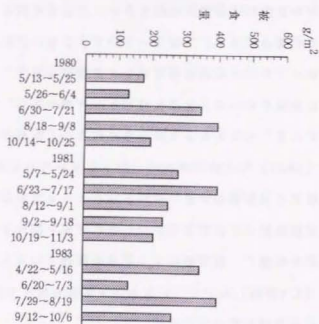


パビアングラス放牧草地

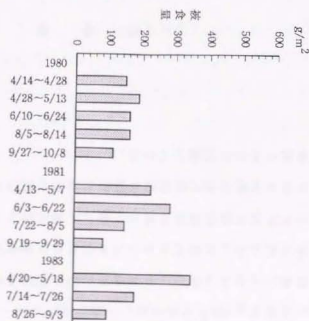


オーチャグラス放牧草地

図3-13 放牧草地における牧草供給量の季節的、年次の推移



パヒアグラス放牧草地



オーチャードグラス放牧草地

図3-14 放牧草地における牧草被食量の季節的、年次の推移

た。1980年、1981年、1983年における被食量は平均してそれぞれ248、275、286 g/m²であった。一方、オーチャードグラス放牧草地における1980年、1981年、1983年の被食量はそれぞれ155、187、209 g/m²であった。このことからバヒアグラス放牧草地における牧草被食量はオーチャードグラス放牧草地と比べ、著しく高く約1.5倍であった。また、オーチャードグラス放牧草地で被食量が夏季に急激に減少するのに対して、バヒアグラス放牧草地のそれは安定していた。

3-3節 考 察

3-3-1 可食部現存量の季節変化

暖地型牧草（C4植物）であるバヒアグラス放牧草地において初春頃からベッチが草地の全面を被覆し、低温条件下で生育が緩慢なバヒアグラスはその基部に存在し、平均気温が約15℃以上になった頃に生長を始める。その時はちょうど第1回放牧が終る5月初旬である。温度とバヒアグラスの生育（苗令）との関係で、猪ノ坂ら（1973）は平均気温が10℃以上であればわずかながら生育が進むことを報告している。バヒアグラス放牧草地において放牧牛にベッチが食い尽くされ、その下に存在したバヒアグラスは光をいっぱい受け、著しい生長を見せる。このことは図3-10の可食部生長速度からも明白である。そして、高温条件下の夏季において旺盛な生育をし、図3-5のような高い現存量を示す。しかし、気温の下がる秋から冬に生長速度が低くなり、現存量も減少する。表3-1の被度は牧草の葉が覆っている面積（冠部被度）であらわしたものであるため春に0

%のときもあった。しかし、実際にはパヒアグラスは、ほふく茎をもち、それが地表面を網目状に広がっているために牧草基部を覆っている面積（基底被度）で表すと90%以上の被度を示すものと思われる。そのため雑草の侵入が季節的にあっても攻撃を受けることはないであろう。窪田ら（1983）は、パヒアグラスとイタリアンライグラスの混播草地で本試験とほぼ同様なパヒアグラスの2年間にわたる被度の推移を報告している。本試験に用いたパヒアグラス放牧草地は自然発生したベッチとパヒアグラスが共存し、季節生産性の平衡を保っているのがひじょうに特徴的である。そのため図3-13に示したように1年を通じて牧草の供給量がオーチャードグラス放牧草地と比べ、著しく多く安定している。

寒地型牧草（C3植物）であるオーチャードグラス放牧草地においては、4月中旬から5月初旬の第1回放牧開始時にイタリアンライグラスが優占するが放牧牛に摂取された後、次ぎは、オーチャードグラスが優占し、春から初夏にかけて高い牧草生産量をもつ草地である。そのため可食部現存量が夏季に著しく減少し、牧養力を短くする原因になっている。この草地は基底被度による裸地が多いため雑草の侵入がひじょうに目立つ。

3-3-2 部位別現存量および分配率について

パヒアグラスの全植物体の乾物現存量は春に低く、夏に最も高くなり、また、秋に低くなる傾向を示した。一方、オーチャードグラスは春に最も高く、夏に減少する傾向を示した。この季節生産性は暖地型牧草と寒地型牧草の特有なものである。それぞれのピーク時の全植物体の現存量はパヒアグラスのほうが1.5~2倍も高い。しかし、放牧牛が採食しやすい葉身部の現存量はオーチャードグラスのほうが高いことからbite sizeはパヒアグラスより大きいことが推測される。オーチャードグラスは夏枯れを起こすため夏と秋に立枯が著しく増加した。

図3-2~図3-9からパヒアグラスのほふく茎は常に全植物体の50%以上

占めており、これに根を加えると約60～70%になる。このことからパヒアグラスの不可食部分がいかに多いかがわかる。しかし、Rodriguez(1973)らはストロン（ほふく茎）を羊に与え0.25kgの日増体量を得ているが、嗜好性の面で問題があることも指摘している。オーチャードグラスの根の占める割合は30～50%であるが、葉の占める割合がパヒアグラスと比べ、著しく多いことがわかる。パヒアグラスの根の変動は少なくほぼ一定であることから、放牧の影響をほとんど受けてないと思われる。しかし、オーチャードグラスのそれは変動が激しく放牧の影響を強く受けているものと考えられる。パヒアグラス放牧草地のもうひとつの特徴は、年間を通じて約500g/m²（全体の25%）のリターが地表面に堆積していることである。このことは長期的に見れば土壤の肥沃化につながるものと推測される。

3-3-3 生長解析法による草地の比較

草種による草地の単位面積当たりの生産力は生長解析法で比較することができる。植物の生長解析法は単なる生産量の結果を示すのではなく、その生産過程を表しているのが特徴である。そのため異なる植物でも比較することが可能である。生長速度は1日当たりの乾物の蓄積量である。C4植物であるパヒアグラスは、その高い光合成能力を発揮していた。特に、夏には他の草種と比較にならないほど高い生長速度を示し、26.18 g/m²/dayの最高値を示した。オーチャードグラスの生長速度の最高値は初夏に16.29 g/m²/dayで、パヒアグラスより著しく低い値であった。ベッチは平均して10 g/m²/dayであった。これらの能力には単位面積当たりの葉面積の大きさ（LAI）が深く関わっている。図3-10において草種間の葉面積指数には大きな違いが見られる。すなわち生長速度の高かったパヒアグラスは葉面積指数も他の草種と比べ、著しく大きかった。本試験でのLAIはHirataら（1990）の報告したパヒアグラス草地での2.2～7.7とほぼ一致

していた。

3-3-4 牧草供給量および被食量

牧草供給量は放牧牛の飼料要求量を満足しているか否かによって増体量に大きく影響を及ぼす。図3-13からバヒアグラス放牧草地における牧草供給量は春・夏 500 g/m^2 以上を示し、年間を通してほぼ一定量を保っていた。本来なら暖地型牧草の場合、春に乾物生産量は著しく低いか、あるいは皆無の状態であるにもかかわらず、本試験のバヒアグラス放牧草地においては春にも高い供給量を示している。このことは自然発生したマメ科のベッチによるものである。その時期にベッチはバヒアグラスと競合することなく生育している。また、窒素固定を行なうことからバヒアグラス放牧草地に対する貢献度は計り知れない。

一方、オーチャードグラス放牧草地には侵入してきたイタリアンライグラスもかなりの量存在するがオーチャードグラスと同様、生育旺盛な時期(図3-10)が春であり、高い牧草供給量がその時期にのみ集中している。そして、それが夏に著しく減少するため牧養力の低下を招いている。

放牧牛による牧草の被食量はバヒアグラス放牧草地で著しく高く、オーチャードグラス放牧草地の1.5倍以上であった。この被食量は供給量と関係しており、オーチャードグラス放牧草地で夏季にもっと供給量があればその時期の被食量は増加したものと考えられる。よってここでの被食量の大きさは直接牧草に対する放牧牛の嗜好性の高さではないと考えられる。

3-4節 小 括

この章では暖地型牧草（C4植物）と寒地型牧草（C3植物）の放牧草地における植物生産を生長解析法を用いて比較検討した。

1. 乾物現存量の季節的推移

バヒアグラス放牧草地における現存量は春と夏にピークが見られた。すなわち5月にマメ科のベッチ、8月にバヒアグラスで季節生産性の平衡を保っていた。オーチャードグラス放牧草地は春の早い時期にイタリアンライグラス、少し遅れてオーチャードグラスが高い現存量を示したが、季節生産は春に集中し、夏に著しく低い現存量であった。年間を通じての現存量はバヒアグラス放牧草地のほうがオーチャードグラス放牧草地より著しく高かった。

2. 部位別乾物現存量の季節的推移

地下部も含めた全植物体重はバヒアグラスのほうがオーチャードグラスよりも1.5~2倍高かった。しかし、葉身部の現存量はバヒアグラスが著しく低かった。バヒアグラスの根重は年間を通して比較的安定していたがオーチャードグラスは変動が大きかった。バヒアグラス放牧草地におけるリターの現存量は著しく多く年間を通じて約 500g/m^2 が地表に堆積している。

3. 植物分配率の季節的推移

バヒアグラス植物器官の分配率はほふく茎が約50%を占め、さらに根を加えると60~70%になる。オーチャードグラスの葉身部の占める割合はバヒアグラスより約2倍多かった。

4. 可食部生長速度の季節的推移

バヒアグラスの生長速度は夏に著しく高く最高値 $26.18\text{g/m}^2/\text{day}$ をしめた。オーチャードグラス、イタリアンライグラス、ペッチは春にピークを示し、それぞれ $16.29\text{g/m}^2/\text{day}$ 、 $4\text{g/m}^2/\text{day}$ 、 $13.73\text{g/m}^2/\text{day}$ であった。

5. 葉面積指数 (LAI) の季節的推移

バヒアグラスのLAIは春に低く、夏に高くなり、秋に再び低くなった。その最高値は夏の9.58であった。オーチャードグラスのLAIは春と初夏に高く、最高値は6.51であった。イタリアンライグラスのそれは初春に5.47であった。

6. 牧草供給量および被食量

バヒアグラス放牧草地における牧草供給量は春と夏に高く、年間平均して約 500g/m^2 の安定した供給量であった。オーチャードグラス放牧草地における牧草供給量は春 (600g/m^2) に著しく高い値を示すが、夏に急減した。バヒアグラス放牧草地における被食量はオーチャードグラス放牧草地のそれよりも著しく高かった。

第4章 育成牛放牧時の増体における暖地型、寒地型草種間差異と関連要因の解析の比較

――二次生産の光エネルギー効率の比較――

暖地放牧草地と寒地型放牧草地における家畜の増体の比較を第2章で、植物生

産の比較を第3章で述べた。しかし、これらは一次生産と二次生産を部分的に取り上げたに過ぎない。

この章では放牧草地を生態システムとして捉え、そこにおけるエネルギーの流れを包括的にとらえることを目的として、大久保ら(1969)、Okuboら(1985)の考え方に従って、地下部も含めた全植物体蓄積量、可食部蓄積量、放牧牛による採食量、可消化草量、増体蓄積量の各過程における光エネルギー(全短波放射量)が蓄積される割合、すなわち光エネルギーの変換効率を季節別、年次別に調べた。また、家畜により摂取されたエネルギーが体重増加として蓄積される比率はエネルギーが変換される個々の過程ととらえることができるが、これらの過程における効率は、一次生産と二次生産における光エネルギー変換効率の値に大きな影響を与えると考えられる。いずれにせよ放牧草地におけるエネルギー流の季節的および年次的変化を把握することは草地の生産量のみならず、効率的な草地管理あるいは家畜管理の実現に寄与するものと考えられる。

4-1節 材料および方法

4-1-1 植物および動物サブシステムの単位土地面積当たりのエネルギー要素

放牧草地を生態システムとみなした場合3つのサブシステムに分けられる。それは、植物サブシステム、動物サブシステム、土壌サブシステムである。本研究において土壌サブシステムについては触れてない。パヒアグラスとオーチャードグラス放牧草地における単位土地面積当たりのエネルギー要素を表4-1と表4

表4-1 バヒアグラス放牧草地における植物および動物サブシステムの土地面積当たりのエネルギー要素

		バヒアグラス放牧草地								
		1980			1981					
		春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	秋
放牧期間(days)		23	22	11	18	38	15	25	22	24
植物生育期間(days)		86	47	46	59	63	44	96	47	47
日射量(kcal/m/day)		4038	3515	2725	5576	3888	2612	3317	4019	2905
植物サブシステム	全植物体蓄積量									
	乾物重(g/m/day)	3.22	9.27	0.13	3.53	12.7	6.61	6.98	22.18	5.34
	エネルギー量(kcal/m/day)	12.22	35.23	0.49	13.42	48.24	25.12	26.52	84.27	20.29
システム	可食部蓄積量									
	乾物重(g/m/day)	9.75	9.55	4.13	3.93	12.39	2.66	8.08	14.51	5.23
	エネルギー量(kcal/m/day)	37.04	36.29	15.69	14.95	47.08	10.11	30.69	55.91	19.86
牧草燃焼熱量(kcal/g)		3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
採食量										
動物サブシステム	乾物重(g/m/day)	13.1	15.76	17.85	15.61	12.79	13.86	13.88	18.15	11.05
	エネルギー量(kcal/m/day)	49.78	59.89	67.84	59.33	48.61	52.68	52.73	68.98	41.98
	可消化量									
システム	乾物重(g/m/day)	10.48	9.77	9.28	12.49	5.88	5.41	11.1	8.71	4.75
	エネルギー量(kcal/m/day)	39.82	37.13	35.27	47.46	22.36	31.08	42.18	33.11	18.05
	in vivo 消化率(%)	80	62	52	80	46	39	80	48	43
平均体重(kg)		302	215	237	244	293	290	432	471	490
増体蓄積量										
システム	増体量(g/day)	0.2	0.00	0.35	0.72	0.32	0.15	1.22	0.38	0.18
	エネルギー量(kcal/m/day)	1.07	0.77	3.86	4.20	2.10	1.20	8.50	2.55	1.78

表 4-2 オーチャードグラス放牧草地における植物および動物サブシステムの
土地面積当たりのエネルギー要素

	1 9 8 0			1 9 8 1			1 9 8 3	
	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏
放牧期間(days)	29	9	11	24	14	10	28	12
植物生育期間(days)	64	51	55	71	43	54	79	69
日射量(kcal/m ² /day)	4104	3480	2910	3531	3960	3350	4041	4165
植 全植物体蓄積量								
物 乾物重(g/m ² /day)	11.33	3.79	7.43	10.26	4.0	1.27		
サ エネルギー量(kcal/m ² /day)	43.06	14.39	28.22	39.00	15.18	4.82		
ブ								
シ 可食部蓄積量								
ス 乾物重(g/m ² /day)	3.38	-0.3	2.53	9.47	3.90	1.84	9.31	1.66
テ エネルギー量(kcal/m ² /day)	12.84	-1.15	9.61	35.99	14.81	7.00	35.39	6.31
ム								
牧草乾燥熱量(kcal/g)	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
採食量								
乾物重(g/m ² /day)	11.68	18.06	10.21	9.45	10.65	8.73	12.43	15.09
エネルギー量(kcal/m ² /day)	44.37	68.62	38.79	35.90	40.47	33.16	47.24	57.35
動物								
サ 可消化量								
ブ 乾物重(g/m ² /day)	9.58	13.00	7.15	10.24	4.12	3.79	9.10	6.10
シ エネルギー量(kcal/m ² /day)	36.38	49.40	27.15	29.44	28.33	23.21	38.74	40.15
ス in vivo 消化率(%)	82	72	70	82	70	70	82	70
テム 平均体重(kg)	281	219	238	227	278	301	379	411
増体蓄積量								
日増体量(g/day)	1.35	0.73	0.72	1.03	0.19	0.21	0.84	0.29
エネルギー量(kcal/m ² /day)	6.35	6.87	7.42	7.20	1.93	3.77	6.09	2.28

ー2に示した。調査方法については第1章1-3-3に詳しく説明してある。植物サブシステムは放牧草地の牧草が太陽エネルギーを吸収して光合成により炭水化物の貯蔵蓄積を行なう根までも含めた全植物体蓄積量と牛の採食できる5cm以上の可食部蓄積量からなる。これらの植物蓄積量にそれぞれの牧草燃焼量を掛けてエネルギー換算した。なお、牧草燃焼量は、カロリーボンベ熱量計(島津製)で測定した値である。パヒアグラスとオーチャードグラスの熱量はほとんど差がなく本試験では3.8kcal/gの一定値とした。動物サブシステムは放牧牛による牧草採食量、可消化量、増体蓄積量である。可消化量を求めるにあたって牧草消化率はナイロンバッグ法で測定したin vivoの値を用いた。

4-1-2 光エネルギー変換効率(E)の計算

光エネルギー変換効率の調査は1980年、1981年、1983年の3年間にわたって行なった。全植物の生産、可食部の生産、放牧牛による被食、放牧牛による増体蓄積、の各過程におけるEを年間および季節別にそれぞれ次ぎのようにして計算した。ただし、1983年のオーチャードグラス放牧草地において地下部の調査は行なわなかったため全植物生産の蓄積エネルギー量は算出できなかった。

全植物生産におけるE(%)

$$= (\text{植物蓄積エネルギー量 (全植物体)} / \text{植物生育期間における全短波放射量}) \times 100$$

1-3-3 参照

可食部生産におけるE(%)

$$= (\text{可食部蓄積エネルギー量} / \text{植物生育期間における全短波放射量}) \times 100$$

1-3-3 参照

放牧牛による植物被食部分におけるE%

$$= (\text{採食エネルギー量} / \text{植物生育期間における全短波放射量}) \times 100$$

1-3-3 参照

可消化部分における E (%)

$$= (\text{可消化エネルギー量} / \text{植物生育期間における全短波放射量}) \\ \times 100 \quad 1-3-3 \text{ 参照}$$

代謝部分における E (%)

$$= (\text{代謝エネルギー量} / \text{植物生育期間における全短波放射量}) \times 100 \\ 1-3-3 \text{ 参照}$$

放牧牛による増体蓄積における E (%)

$$= (\text{増体蓄積エネルギー量} / \text{植物生育期間における全短波放射量}) \\ \times 100 \quad 1-3-3 \text{ 参照}$$

以上のエネルギー量の単位はいずれも 1 日当たり単位面積当たりのキロカロリー
(kcal/m²/day)である。

4-2 節 結 果

4-2-1 放牧の概況と牧養力

放牧の概況と牧養力についてバヒアグラス放牧草地は表 4-3 に、オーチャードグラス放牧草地は表 4-4 に示した。

バヒアグラス放牧草地での放牧は 5 月に始まり 10 月に終るが、オーチャードグラス放牧草地では 1 カ月早まり 4 月から 9 月までであった。放牧日数はバヒアグラス放牧草地で 1980 年、1981 年、1983 年それぞれ 78 日、95 日、85 日であった。オーチャードグラス放牧草地でのそれは短く、1980 年、1981 年、1983 年それぞれ 63 日、67 日、48 日であった。放牧牛は両草

地に輪換放牧して調査したため各年度の頭数はおなじである。平均体重は入牧時と退牧時の体重の平均値で表した。日増体量は第2章でも述べたようにパビアグラス放牧草地で低く、オーチャードグラス放牧草地で著しく高かった。パビアグラス放牧草地で春に増体が著しく高いのはベッチヤイタリアンライグラスなどの寒地型牧草が繁茂していて、それを放牧牛が採食したためだと考えられる。牧養力の表示方法はいろいろあるが、ここでの牧養力はわが国で広く使われている体重500kgの成牛を1日放牧した場合を1cow dayとして計算した。パビアグラス放牧草地における牧養力はひじょうに高く276~317cow dayであった。一方、オーチャードグラス放牧草地における牧養力はパビアグラス放牧草地と比べ著しく低く152~210cow dayであった。

4-2-2 放牧草地におけるエネルギーフロー（実測値）

パビアグラス放牧草地における1980年、1981年、1983年の春・夏・秋のエネルギーフローを図4-1に、オーチャードグラス放牧草地におけるそれを図4-2に示した。パビアグラス放牧草地における期間平均日当たりの日射量は2612~5576の範囲であった。1981年春の日射量は著しく多く5576 kcal/m²であった。全植物体蓄積エネルギーおよび可食部エネルギーはいずれも夏に著しく大きく、秋に小さかった。パビアグラス放牧草地における春の植物生産は寒地型マメ科牧草であるベッチが主である。採食エネルギーはそんなに季節間の差はなく、41.98~68.98kcal/m²であった。可消化エネルギーは牧草の消化率に依存している。表4-3から明らかなように春に80%の高い消化率であるが夏と秋に低く39~62%の範囲にあった。この著しく低い消化率の値はパビアグラスの質の悪さを示しているものである。よって放牧牛が摂取した草の大半が糞として草地に排泄されることとなる。代謝エネルギーはARC（1980）に準拠して、可消化エネルギーよりルーメン内からのメタンガスによる損失を差

表4—3 バヒアグラス放牧草地の牧養力

1980					
放牧期間	5/13~6/5	6/30~7/22	8/18~9/9	10/14~10/25	合計
放牧日数	23	22	22	11	78
放牧頭数	4	9	9	9	
平均体重	302	215	221	237	
日増体量	0.20	0.00	0.46	0.35	
C D *	56	85	88	47	276

1981					
放牧期間	5/7~5/25	6/23~7/17	8/12~9/19	10/19~11/3	合計
放牧日数	18	24	38	15	95
放牧頭数	6	6	6	6	
平均体重	244	275	293	290	
日増体量	0.72	0.29	0.32	0.15	
C D	53	79	134	52	318

1983					
放牧期間	4/22~5/17	6/20~7/4	7/29~8/20	9/12~10/6	合計
放牧日数	25	14	22	24	85
放牧頭数	4	4	4	4	
平均体重	432	471	471	490	
日増体量	1.22	0.25	0.38	0.18	
C D	87	53	83	94	317

* C D (cow day) : 草地に体重500 kg の成牛を1日放牧した場合を1cow dayとする。

表4—4 オーチャードグラス放牧草地の牧養力

1980					
放牧期間	4/14~5/13	6/10~6/24	8/5~8/14	9/27~10/8	合計
放牧日数	29	14	9	11	63
放牧頭数	4	9	9	9	
平均体重	281	207	219	238	
日増体量	1.35	0.65	0.73	0.72	
C D *	65	53	36	47	201

1981					
放牧期間	4/13~5/7	6/3~6/22	7/22~8/5	9/19~9/29	合計
放牧日数	24	19	14	10	67
放牧頭数	6	6	6	6	
平均体重	227	267	278	301	
日増体量	1.03	0.33	0.19	0.21	
C D	66	61	47	36	210

1983					
放牧期間	4/20~5/18	7/14~7/26	8/26~9/3		合計
放牧日数	28	12	8		48
放牧頭数	4	4	4		
平均体重	379	411	416		
日増体量	0.84	0.29	0.60		
C D	85	40	27		152

* C D (cow day) : 草地に体重500 kg の成牛を1日放牧した場合を1cow dayとする。

パヒアグラス放牧草地

(単位: kcal/m²/day)

	1980			1981			1983		
	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	秋
日割エネルギー	4058	3515	2725	5576	3888	2612	5317	4019	2906
植物茎葉エネルギー (全植物体)	12.22	35.23	0.49	19.42	46.24	25.12	26.52	84.27	20.29
可食部エネルギー	37.04	30.29	15.69	14.95	47.08	19.11	30.69	55.91	19.86
牛の採食エネルギー	49.78	59.89	87.84	59.33	48.61	52.68	52.73	68.98	41.98
牛の可消化エネルギー	59.82	37.13	35.27	47.46	52.36	31.08	42.18	33.11	18.09
牛の代謝エネルギー	32.65	30.45	28.92	38.92	18.34	25.49	34.59	27.15	14.80
牛の増体蓄積エネルギー	1.074	0.773	3.960	4.199	2.099	1.204	8.498	2.547	1.778

図4-1 パヒアグラス放牧草地におけるエネルギーフローの季節的、年次的变化

オーチャードグラス放牧草地

(単位: kcal/m²/day)

	1980			1981			1983	
	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏
12割エネルギー	4104	3460	2910	3531	3960	3350	4041	4165
総牧草量エネルギー (全植物体)	43.08	14.39	28.22	39.00	15.18	4.82	*	*
可食部エネルギー	12.84	-1.15	9.61	35.99	14.81	7.00	35.39	6.31
牛の採食エネルギー	44.37	68.62	36.79	35.90	40.47	33.16	47.24	57.35
牛の可消化 エネルギー	36.38	49.40	27.15	29.44	28.35	23.21	38.74	40.15
牛の代謝エネルギー	29.83	40.51	22.26	24.14	23.23	19.03	31.77	32.92
牛の増体蓄積 エネルギー	8.35	6.87	7.42	7.20	1.93	5.77	6.09	2.28

*: 地下部の調査データなし

図4-2 オーチャードグラス放牧草地におけるエネルギーフローの季節的、年次的変化

し引いて求めた値である。そして代謝エネルギーは放牧牛に利用されるエネルギーの総量で、そのうち肉生産に利用されるのが増体蓄積エネルギーである。それ以外は牛自体の維持エネルギーとなる。放牧牛の日増体量は春に著しく高く、夏、秋に減少した。その値は $0.773 \sim 8.498 \text{ kcal/m}^2$ であった。

オーチャードグラス放牧草地における期間平均日射量は $2910 \sim 4165 \text{ kcal/m}^2/\text{day}$ であった。全植物体および可食部における植物蓄積エネルギーはパヒアグラス放牧草地と比べ小さく約 $1/2 \sim 1/3$ の値であった。採食エネルギーもパヒアグラス放牧草地と比べ小さかった。可消化エネルギーはオーチャードグラスの消化率がパヒアグラスより高く、 $70 \sim 82\%$ であった。そのため採食エネルギーから可消化エネルギーへの移行量が急減しなかった。牛の日増体量はパヒアグラス放牧草地よりも著しく高く表4-4から春に最高値 1.35 kg であった。しかし、オーチャードグラスの夏枯れが生じる夏に低い増体量であった。これが反映してパヒアグラス放牧草地よりも高い増体蓄積量であった。

4-2-3 光エネルギー変換効率

図4-1、図4-2の日射エネルギーを 100 とした時のパヒアグラス放牧草地とオーチャードグラス放牧草地の光エネルギー変換（利用）効率を図4-3と図4-4に示した。パヒアグラス放牧草地における全植物体の蓄積エネルギーの光エネルギー利用効率は季節によって異なり、夏に高く $1.002 \sim 2.097\%$ であった。可食部における蓄積エネルギーも夏に最高値 1.391% を示した。採食エネルギーについてのそれは、 $1.064 \sim 2.017\%$ の範囲であった。放牧牛の可消化エネルギー、代謝エネルギー、増体蓄積エネルギーにおける光エネルギー利用効率は、それぞれ $0.621 \sim 1.294\%$ 、 $0.472 \sim 1.061\%$ 、 $0.022 \sim 0.256\%$ であった。増体蓄積エネルギーにおける光エネルギー利用効率は春に高く、夏に低かった。

オーチャードグラス放牧草地における全植物体蓄積エネルギーの光エネルギー

バヒアグラス放牧草地

	1980			1981			1982		
	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	秋
日照エネルギー	100	100	100	100	100	100	100	100	100
植物蓄積エネルギー (全植物体)	0.303	1.002	0.018	0.241	1.241	0.962	0.800	2.097	0.698
可食部エネルギー	0.017	1.032	0.152	0.266	1.211	0.387	0.925	1.391	0.694
牛の採食エネルギー	1.233	1.704	2.480	1.064	1.250	2.017	1.580	1.716	1.445
牛の消化 エネルギー	0.988	1.056	1.294	0.851	0.575	1.190	1.272	0.824	0.621
牛の代謝エネルギー	0.809	0.866	1.061	0.698	0.472	0.978	1.043	0.676	0.510
牛の増体蓄積 エネルギー	0.027	0.022	0.142	0.075	0.054	0.046	0.256	0.063	0.061

図4-3 バヒアグラス放牧草地における太陽エネルギー変換効率の季節的、年次的变化

オーチャードグラス放牧草地

	1980			1981			1983	
	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏
日射エネルギー	100	100	100	100	100	100	100	100
植物蓄積エネルギー (全植物体)	1.049	0.414	0.970	1.105	0.383	0.144	*	*
可食部エネルギー	0.313	-0.633	0.330	1.019	0.374	0.200	0.931	0.152
牛の採食エネルギー	1.081	1.972	1.333	1.017	1.022	0.990	1.109	1.377
牛の可消化 エネルギー	0.886	1.420	0.933	0.834	0.715	0.693	0.959	0.964
牛の代謝エネルギー	0.727	1.164	0.705	0.664	0.667	0.568	0.786	0.790
牛の増体蓄積 エネルギー	0.155	0.197	0.255	0.204	0.049	0.112	0.151	0.055

*: 地下部の割合データなし

図4-4 オーチャードグラス放牧草地における太陽エネルギー変換効率の季節的、年次的変化

利用効率は春に1.049% (1980)、1.105% (1981)と高い値であったが、夏には著しく下がり0.414% (1980)、0.383% (1981)であった。可食部の蓄積エネルギーの利用効率高く0.313~1.019%であった。採食エネルギーにおける光エネルギー利用効率は0.99~1.972%の範囲であった。放牧牛の可消化エネルギー、代謝エネルギー、増体蓄積エネルギーにおける光エネルギー利用効率は、それぞれ0.693~1.42%、0.568~1.164%、0.049~0.255%であった。

4-2-4 通年のエネルギーフローの比較

1980年、1981年、1983年のバヒアグラス放牧草地とオーチャードグラス放牧草地における通年のエネルギーフロー(実測値)を図4-5、図4-6に示した。バヒアグラス放牧草地での放牧日数はオーチャードグラス放牧草地のそれより長いため日射量は多くなっている。植物蓄積エネルギー、採食エネルギー、可消化エネルギー、代謝エネルギーは、いずれもバヒアグラス放牧草地のほうが著しく大きかった。しかし、放牧牛の増体蓄積エネルギーは1983年を除き、いずれもオーチャードグラス放牧草地のほうが大きかった。

4-2-5 通年の光エネルギー変換効率

バヒアグラス放牧草地とオーチャードグラス放牧草地の1980年、1981年、1983年の通年の日射量を100とした時のそれぞれの段階における光エネルギー利用効率を図4-7、図4-8に示した。バヒアグラス放牧草地における1980年の植物蓄積(全植物体)エネルギーの光エネルギー利用効率は低かったが1981年、1983年のそれは0.935%、1.045%であった。オーチャードグラス放牧草地におけるそれは0.739%と0.733%の低い値であった。可食部の植物蓄積エネルギーの利用効率はバヒアグラス放牧草地で著しく高く0.698~0.875%であった。しかし、オーチャードグラス放牧草地においては0.213~

パヒアグラス放牧草地

(単位: kcal/m²/day)

	1980	1981	1983
日射エネルギー	789154	877799	860369
植物蓄積エネルギー (全植物体)	4070.89	5206.96	8991.44
可食部エネルギー	6906.41	6123.15	6907.27
牛の採食エネルギー	4717.74	5219.24	4354.61
牛の可消化エネルギー	2844.93	3123.92	2407.36
牛の代謝エネルギー	2332.84	2561.61	2047.85
牛の増体蓄積エネルギー	182.29	196.51	332.92

図4-5 パヒアグラス放牧草地における1980、1981、1983年の年間を通じてのエネルギーフロー

オーチャードグラス放牧草地

(単位: kcal/m ² /day)	1980	1981	1983
日射エネルギー	753185	790493	763715
植物蓄積エネルギー (全植物体)	5568.51	5795.67	*
可食部エネルギー	1606.66	4552.92	3453.11
牛の採食エネルギー	2946.86	2846.39	2387.24
牛の可消化エネルギー	2229.33	2085.02	1837.48
牛の代謝エネルギー	1828.05	1709.72	1506.73
牛の増体蓄積エネルギー	403.34	303.08	228.54

*: 地下部の調査データなし

図4-6 オーチャードグラス放牧草地における1980、1981、1983年の年間を通じてのエネルギーフロー

0.58%であった。バヒアグラス放牧草地とオーチャードグラス放牧草地における牛の採食エネルギー、可消化エネルギー、代謝エネルギー、増体蓄積エネルギーの光エネルギー利用効率の平均値は、それぞれ0.567と0.355%、0.336と0.267%、0.275と0.219%、0.028と0.041%であった。バヒアグラス放牧草地における光エネルギー利用効率はオーチャードグラス放牧草地と比べ、可食部の植物蓄積エネルギーで2倍、放牧牛の採食エネルギーで1.6倍、可消化エネルギーと代謝エネルギーで1.3倍とその差は縮まり、放牧牛の増体蓄積エネルギーの段階では逆転した。

4-2-6 採食エネルギー利用効率

バヒアグラス放牧草地とオーチャードグラス放牧草地における採食エネルギーを100とした時の季節別の利用効率を図4-9、図4-10に示した。牧草の消化率の違いによりバヒアグラスとオーチャードグラスではかなりの差が生じる。バヒアグラス放牧草地の春にはベッチが優占草種であるため消化率は高く、そのため可消化エネルギーにおける利用効率は他の季節より高かった。しかし、夏、秋とバヒアグラスの消化率が低下するにつれ利用効率も悪くなり、43~62%であった。消化率の影響は次ぎの代謝エネルギーや増体蓄積エネルギーの段階までおよぶ。すなわち代謝エネルギーにおける利用効率は最も低い値で35.25%で、さらに増体蓄積エネルギーの段階では1.29~5.69%の範囲であった。

寒地型牧草であるオーチャードグラス放牧草においては、消化率が高いため可消化エネルギーでの採食利用効率はいずれの季節でも常に70%以上の値を示し、バヒアグラス放牧草地のそれよりも高い値であった。放牧牛の増体蓄積エネルギーの段階における利用効率は春と秋に著しく高いが、夏にその効率は急減した。また、バヒアグラス放牧草地と比べるとオーチャードグラス放牧草地の増体蓄積エネルギーにおける採食利用効率は約2倍上回っていた。

パヒアグラス放牧草地

	1980	1981	1983
日射エネルギー	100	100	100
植物蓄積エネルギー (全植物体)	0.516	0.935	1.045
可食部エネルギー	0.875	0.696	0.803
牛の採食エネルギー	0.598	0.595	0.506
牛の可消化エネルギー	0.361	0.356	0.290
牛の代謝エネルギー	0.296	0.292	0.236
牛の増体蓄積エネルギー	0.023	0.023	0.039

図4-7 パヒアグラス放牧草地における1980、1981、1983年の
年間を通じての太陽エネルギー変換効率

オーチャードグラス放牧草地

	1980	1981	1983
日射エネルギー	100	100	100
植物蓄積エネルギー (全植物体)	0.739	0.733	*
可食部エネルギー	0.213	0.580	0.452
牛の採食エネルギー	0.391	0.360	0.313
牛の可消化エネルギー	0.296	0.264	0.241
牛の代謝エネルギー	0.243	0.216	0.197
牛の増体蓄積エネルギー	0.054	0.036	0.030

*：地下部の調査なし

図4—8 オーチャードグラス放牧草地における1980、1981、1983年の年間を通じての太陽エネルギー変換効率

パヒアグラス放牧草地

	1980			1981			1983		
	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	秋
放牧牛の採食エネルギー	100	100	100	100	100	100	100	100	100
放牧牛の可消化エネルギー	79.99	62.00	51.99	79.99	46.00	59.00	79.99	48.00	43.00
放牧牛の代謝エネルギー	65.59	50.84	42.83	65.60	37.73	48.39	65.60	39.36	35.25
放牧牛の増体蓄積エネルギー	2.16	1.29	8.69	7.08	4.32	2.29	16.13	3.69	4.24

図4—9 パヒアグラス放牧草地における放牧牛の採食エネルギーから増体蓄積エネルギーまでの効率

オーチャードグラス放牧草地

	1980			1981			1983	
	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏
放牧牛の採食エネルギー	100	100	100	100	100	100	100	100
放牧牛の可消化エネルギー	81.99	71.90	69.99	82.01	70.00	69.99	82.01	70.01
放牧牛の代謝エネルギー	67.23	59.04	57.39	67.24	57.40	57.39	67.25	57.40
放牧牛の増体蓄積エネルギー	14.31	10.01	19.13	20.06	4.77	11.37	12.89	3.99

図4-10 オーチャードグラス放牧草地における放牧牛の採食エネルギーから増体蓄積エネルギーまでの効率

表 4-5 パヒアグラス放牧草地における粗生産効率の季節的推移

	1980			1981			1983		
	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	秋
放牧牛の可消化エネルギー (DE) kcal/m ²	39.82	37.13	35.27	47.46	22.36	31.08	42.18	33.11	18.05
放牧牛の増体蓄積エネルギー (RE) kcal/m ²	1.07	0.77	3.86	4.20	2.10	1.20	8.50	2.55	1.78
粗生産効率 (RE/DE)	3.0	2.0	11.0	9.0	9.0	4.0	20.0	8.0	10.0

表 4-6 オーチャードグラス放牧草地における粗生産効率の季節的推移

	1980			1981			1983	
	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏
放牧牛の可消化エネルギー (DE) kcal/m ²	36.38	49.40	27.15	29.44	28.33	23.21	38.74	40.15
放牧牛の増体蓄積エネルギー (RE) kcal/m ²	6.35	6.87	7.42	7.20	1.93	3.77	6.09	2.28
粗生産効率 (RE/DE)	17.0	14.0	27.0	24.0	7.0	16.0	16.0	6.0

次に、パヒアグラス放牧草地とオーチャードグラス放牧草地における採食利用効率を1980年、1981年、1983年の通年で比較したのが図4-11である。

通年で比較すると両草地の差は明らかである。放牧牛の可消化エネルギーの段階でパヒアグラス放牧草地の3年間の平均で59%、オーチャードグラス放牧草地で75%の利用効率である。増体蓄積エネルギーにおける採食利用効率はパヒアグラス放牧草地で5.1%、オーチャードグラス放牧草地で11.3%で2倍以上の差がみられた。

4-2-7 粗生産効率

パヒアグラス放牧草地とオーチャードグラス放牧草地における粗生産効率(RE/DE)の季節的推移を表4-5、表4-6に示した。粗生産効率は放牧牛が摂取し消化した飼料のエネルギー量のうち生産物にまわったエネルギー量の割合である。パヒアグラス放牧草地における粗生産効率は春(1983年)に最も高く20%、次に秋(1980年)の11%、夏(1981年)の9%であった。

オーチャードグラス放牧草地における粗生産効率は春と秋に高く、それぞれ24%(1981年)、27%(1980年)であった。しかし、夏になると粗生産効率は著しく低下し、7%(1981年)に下がった。オーチャードグラス放牧草地の粗生産効率はパヒアグラス放牧草地と比べ、著しく高い値を示した。

4-3 節 考 察

	バヒアグラス放牧草地			オーチャードグラス放牧草地		
	1980	1981	1983	1980	1981	1983
放牧牛の採食 エネルギー	100	100	100	100	100	100
放牧牛の可消化 エネルギー	60.30	59.65	57.35	75.65	73.25	76.97
放牧牛の代謝 エネルギー	49.45	49.08	47.03	62.03	60.07	63.12
放牧牛の増体 蓄積エネルギー	3.86	3.80	7.65	13.69	10.65	9.57

図4-11 1980年、1981年、1983年のバヒアグラスおよびオーチャードグラス放牧草地における放牧牛の採食エネルギーから増体蓄積エネルギーまでの効率

4-3-1 放牧草地におけるエネルギーの流れについて

草地農業の生産過程をエネルギーという尺度によって流通系もしくは物質の循環系として把握する意義は、それぞれのサブシステムである植物、動物、土壤生物を通じて共通のエネルギー単位（ジュール、カロリー）を使うことができ、生態系を構成する生物要素の働きを統一的に捉えるという点にある。本試験においても草種の異なる放牧草地の季節および年次のエネルギーフローを単位面積あたりのキロカロリーで捉えた。

バヒアグラス放牧草地における夏と秋の全植物体および可食部の蓄積エネルギー量はオーチャードグラス放牧草地と比べ著しく多い。このことは第3章の図3-10、表3-5、表3-6、表3-7、表3-8に示した乾物量の差がエネルギー量の違いとして現れている。すなわちC4植物の高い光合成能力によるものである。バヒアグラス放牧草地の植物蓄積エネルギーが1年を通して正の値であるのに対して、オーチャードグラス放牧草地において夏に負の値になっている。これはオーチャードグラスの植物器官のうち直立茎の生長速度が夏季に負の値（生育衰退）になることが大きな原因である。採食エネルギーはバヒアグラス放牧草地のほうがオーチャードグラス放牧草地よりも著しく多かった。このことは図2-10、図2-11より採食量は牧草供給量と正の相関関係があり、牧草供給量が多いと採食量も増加する。この点では、バヒアグラス草地のほうがオーチャードグラス草地よりも放牧時の牧草現存量が多かった。しかし、夏季における両草地の可食部草量はバヒアグラス放牧草地のほうがオーチャードグラス放牧草地のそれよりも1.7~3.1倍多いにもかかわらず、採食量の差はわずかである。これは放牧期間中の放牧牛のbite sizeの大きさの違いにより生ずるものと考えられる。本試験のオーチャードグラス放牧草地で草量の多い春よりも草量の少ない夏に放牧牛の採食量が多いのは表3-3より春のイタリアンライグラス（1980年）、オーチャードグラス（1981年）の草丈がそれぞれ、76cm、94cmと高いた

め放牧牛に踏み倒されて採食量が減少したものと推測される。

バヒアグラス放牧草地における放牧牛の増体蓄積エネルギーが春に他の季節（夏、秋）より著しく高い理由は、表3-5に示した1年生マメ科植物のベッチの可食草量が、その時期にひじょうに多いことによるものである。

4-3-2 光エネルギー変換効率

草地生態系におけるエネルギーの流れに関する研究報告の中では、草地の一次生産量が調査され、全植物体における光エネルギー変換効率（E）が計算されている（大久保ら（1969）、大久保ら（1977）、Okuboら（1985）、Akiyamaら（1984）、Takahashiら（1989）、Hirataら（1986）、福山ら（1983）、小山ら（1989）。これらの報告のうちAkiyamaら（1984）、Hirataら（1986）、Takahashiら（1989）は、年間の太陽エネルギー量をベースにして、牧草生産や家畜生産における光利用効率（E）を計算している。放牧による以外に、刈取による採草がなければ放牧が行なわれた期間における牧草および家畜の生産量は、太陽エネルギーの年間固定（蓄積量）、すなわち年間の生産量に等しい。従って、より現実的な光利用効率の記述のためには、年間の太陽エネルギーをベースにして計算を行なうことが望ましいと考えられる。

大久保ら（1977）のシバ型草地における全植物体の光利用効率は春から夏にかけて0.22～0.62%の範囲で、年平均0.1%であった。本研究のバヒアグラス放牧草地における光利用効率は3年間を通じて0.018～2.097%であった。年平均は1980年に0.516%、1981年に0.935%、1983年に1.045%であった。以上のことからバヒアグラス放牧草地の全植物体の光利用効率はシバ型草地よりもひじょうに高い値であった。オーチャードグラス放牧草地の全植物体の光エネルギー利用効率もシバ型草地よりも著しく高く、年平均で0.73%であった。福山ら（1983）はオーチャードグラス放牧草地での全植物体の光利用効率を年平均

0.72%としており本研究のオーチャードグラス放牧草地の値0.74%と類似していた。Hirataら(1989)はバヒアグラス草地での光利用効率を-0.45~2.06%とし、春に0.31%、夏に1.35%、秋に1.09%の値を報告した。この値は、本研究のそれとはほぼ一致していた。

4-3-3 採食エネルギー利用効率

採食量から増体蓄積量までの効率について、福山ら(1983)6.3%、秋山ら(1981)2.8~2.2%を報告している。本研究のバヒアグラス放牧草地において1980年、1981年、1983年それぞれ1.29~5.69%、2.29~7.08%、3.69~16.12%、オーチャードグラス放牧草地において1980年、1981年、1983年それぞれ10.01~19.13%、4.77~20.06%、3.98~12.89%であった。バヒアグラス放牧草地の春に採食エネルギー利用効率が高いのはマメ科のベッチによるのが大きい。夏に効率が低くなるのはバヒアグラスの消化率の低下と夏季の暑熱によるエネルギーの損失などが要因と考えられる。バヒアグラス放牧草地の1983年春の利用効率が16.12%でもっとも高い値を示したのは、その年の草地におけるマメ科のベッチがの可食草量が他の年と比べ、著しく多かったことによるものと思われる。ベッチは消化率が高く(80%)良質のマメ科草である。

4-3-4 粗生産効率

粗生産効率は放牧牛が摂取し消化した飼料のエネルギー量のうち生産物(増体蓄積)にまわったエネルギー量の割合である。可消化エネルギー(DE)の一部は、尿・メタンガスなどとして失われ、残りの代謝エネルギー(ME)から飼料摂取時に生じる熱増加(HI)を除いたものが正味エネルギー(NE)である。そして、正味エネルギーは体の維持(NE_m)、活動(NE_a)に使われ、残りが生産物(増体蓄積量)である。飼料摂取量(粗飼料)が放牧牛の維持に必要な

量を上回る程度により、飼料から生産物までの効率が異なり、摂取量が多くなるほどその効率は小さくなる。

福山ら（1983）のオーチャードグラス草地における粗生産効率の2年間の平均値は、8.3%であった。本試験においてバヒアグラス放牧草地の1980年、1981年、1983年の粗生産効率はそれぞれ、2~11、4~9、8~20%であった。1983年の春の粗生産効率はひじょうに高い値で20%であった。これは、春の入牧時のベツチの可食草量が著しく多く 400 g/m^2 であり、可消化エネルギーも 42.18 kcal で高かったことによるものである。その時の日増体量は 1.2 kg の高い値であった。オーチャードグラス放牧草地における粗生産効率は常に高く6~27%であった。この高い粗生産効率はオーチャードグラスの栄養価値の高いことを示唆している。また、両草地とも夏に効率が低くなっているが、これは牧草の質の低下（消化率）や暑熱環境下におけるエネルギー消費量の増加によるものと思われる。

4-4 節 小 括

今まで、バヒアグラス放牧草地とオーチャードグラス放牧草地における一次生産、二次生産を部分的に取り上げてきたが、この章では、これらを包括的に捉え、光（太陽）エネルギーをベースに各過程におけるエネルギー変換効率を調べ、比較検討した。

1. 光エネルギー変換効率

バヒアグラス放牧草地における全植物体の光エネルギー変換効率は夏に高く1.002~2.097%であった。また、可食部における効率も夏に最高値を示し1.391%であった。オーチャードグラス放牧草地における全植物体の変換効率は、春に高くその値は1980年、1981年それぞれ1.049%、1.105%であった。しかし、春に著しく低く、1980年、1981年それぞれ0.414%、0.383%であった。

2. 採食エネルギー利用効率

採食エネルギーを100としたときの増体蓄積エネルギーまでの効率はバヒアグラス放牧草地、オーチャードグラス放牧草地でそれぞれ1.29~16.12%、3.98~20.06%の範囲であった。いずれの草地においても夏に効率は低下した。バヒアグラス放牧草地、オーチャードグラス放牧草地における3年間の平均利用効率は、それぞれ5.1%、11.3%であった。

3. 粗生産効率

バヒアグラス放牧草地における粗生産効率は春に高く1983年には最高値20.0%であった。つづいて秋に高く、1980年、1983年それぞれ11%、10%であった。しかし、夏にもっとも低く、1980年、1981年、1983年それぞれ2%、9%、8%であった。オーチャードグラス放牧草地における粗生産効率はひじょうに高く、1980年秋に最高値27%を示した。しかし、夏に低く1980年、1981年、1983年それぞれ14%、7%、6%の値であった。

以上のことからバヒアグラス放牧草地における全植物体および可食部の光エネルギー変換効率はオーチャードグラス放牧草地よりも著しく高い。しかし、その高い植物蓄積エネルギーは放牧牛の増体蓄積エネルギーにそのまま反映されなかった。その原因になっているのはバヒアグラスの消化率の低さと粗生産効率の低さの2つによるものであることがわかった。

第5章 消化率向上をねらいとしたバヒアグラスの棄葉頻度と施肥水準の比較 および再生力との関係

第3章で暖地型牧草であるバヒアグラス (*Paspalum notatum* Flugge) の器官別乾物重は不可食部であるほふく茎 (ストロン) のみで全植物体の35~57%を占めさらに根を含めると70%以上になることがわかった。ほふく茎 (ストロン) は光合成によって炭酸同化された炭水化物を貯蔵し、また、棄葉されたとき再生のために養分を転流する器官である。だが、地表面をどのように分布しているため放牧牛は、ほふく茎 (ストロン) を採食できないでいる。貯め込みすぎる炭水化物を家畜に供給するには頻繁に刈取 (採食) を行つて葉の再生のために多くの養分の転流を行わせる方法が考えられる。また、第4章で光エネルギー利用効率、採食利用効率、粗生産効率で牧草の消化率の影響がひじょうに大きいことがわかった。バヒアグラスの消化率は寒地型牧草のオーチャードグラスやイタリアンライグラスと比べ著しく低いと、高い光合成能力による植物蓄積エネルギーが増体蓄積エネルギーに結び付かない最大の要因となつてゐる。しかし、わが国の西南暖地や亜熱帯地域において暖地型牧草は不可欠な存在である。そこで、本実験は、バヒアグラスの消化率を向上させる目的で放牧強度を慣行のものから非常に強めた場合を想定して頻繁な棄葉と植物の再生長速度を促進させるために窒素処理の影響も調べた。

名古屋大学農学部附属農場で造成され放牧に使われている1年目のパヒアグラス (*Paspalum notatum* Flugge) 草地からランダムに苗を採取した。それぞれのほふく茎 (ストロン) から出ている主茎を5 cmの長さで切りすて、さらにはほふく茎を2 cmの長さに切りそろえた。ここで、主茎とほふく茎の区別は、主茎が一番近いほふく茎の節を境とした。根はほふく茎から全部除去し22日間砂耕栽培して発根させた。7月30日に、縦36 cm、横42 cm、深15 cmの塩化ビニル製の箱に鉱質酸性土壌を入れ、中央を板で仕切ってその片側に2本ずつ72個の箱に合計266本の苗を移植した。

基肥はP2O5 (燐) 20 Kg/10 a、K2O (塩加) 40 kg/10 aに相応する量としてそれぞれ1箱当たり0.4 g、0.5 g、0.8 gを移植前に施肥した。

刈取処理は葉身のみを3日間隔刈取、6日間隔刈取、12日間隔刈取、24日間隔刈取の4処理と施肥処理として窒素水準を0 kg/10 a、30 kg/10 a、90 kg/10 aの3処理の4繰り返し6反復とした。

8月14日に一斉に直立茎の葉身を刈り取り、この日を起点(0日)として、以後10月1日まで48日間上述の処理と生育追跡の実験を行った。

植物体の経時的な乾物重増加の調査は8月14日とそのあと12日おきに8月26日、9月7日、9月17日、10月1日の5回24個体ずつ抜き取り、根を洗浄後、葉身、株、ほふく茎、根の各器官ごとに分け循環熱風乾燥機を用いて70~80℃で約72時間乾燥し乾物重とした。また、草丈、葉長、葉数、分げつ数、分げつ枯死数、葉面積を測定した。灌水は土壌の状態を見て適宜行った。

5-2節 結 果

5-2-1 実験期間中の気象データ

実験期間中の最高、最低温度及び日射量を図5-1-1に示した。実験開始後、21日までの最高、最低温度は、それぞれ、33℃、23℃であったが、それ以降は最高温度27℃、最低温度は15.4℃に下がった。日射量は、かなり変動し実験開始後27~29日、36~37日、40~42日、47~48日に著しく低い値を記録した。日射量が 10 MJ/m^2 以下の時、天気はほとんど曇の日で、そして、 5 MJ/m^2 以下になると雨の日（実験開始後2、23、28、37、40日目）であった。

5-2-2 葉頻度の影響

1) 全植物体重に及ぼす影響

パヒアグラスの葉身、直立茎（葉鞘を含む）、ほふく茎（ストロン）、根を含めた全植物体の12日間隔の乾物重を表5-1-1に示した。ただし、0日目の植物体には葉身は含まれていない。3日刈取、6日刈取は実験開始後、わずかに増減し両者に有意な差は認められなかった。しかし、48日目における6日刈取の全植物体重は3日刈取より約2倍大きかった。12日刈取は6日刈取と同様なパターンを示しているが、いずれの調査日においても約2倍大きかった。12日刈取の48日目は他の調査日と比べ有意におおきかった。24日刈取の全植物体重はどの刈取処理よりも著しく大きく、実験終了時におけるそれは3日刈取、6日刈取、12日刈取と比べ、それぞれ、10倍、5倍、3倍であった。実験終了時に開始時より乾物重が減少しているのは3日刈取のみで他の刈取処理は増加し

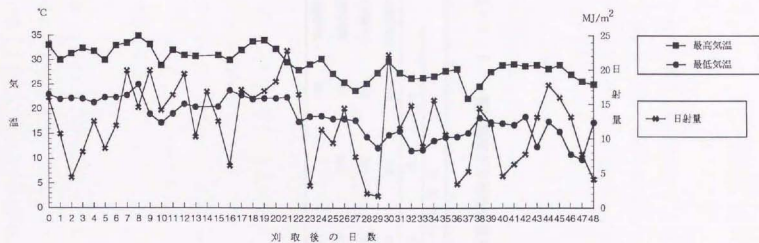


図5-1-1 試験期間中の最高・最低気温および日射量の推移

表 5-1-1 奪葉頻度が全植物体重に及ぼす影響

単位: mg/plant/pot

	刈 取 後 の 日 数				
	0	12	24	36	48
3日間隔刈取	898	986	857	882	728
6日間隔刈取	923	1287	1415	1300	1415
12日間隔刈取	931	2105	2757	2655	2998
24日間隔刈取	941		5732		7652

ていた。

2) 葉(同化器官)の再生長速度に及ぼす影響

1日当たり個体の葉重変化、すなわち再生長速度を図5-1-2に示した。再生長速度は3日刈取<6日刈取<12日刈取<24日刈取の順で大きかった。3日刈取、6日刈取の生長速度は、ともに刈取後12日目に最大値を示し、その値はそれぞれ15mg、27mgであったが、それ以後、急激に減少した。12日刈取、24日刈取の生長速度は第1回刈取後緩やかに減少し、最終日(48日目)の値はそれぞれ12.7mg、40mgであった。3日刈取の48日目における生長速度は0.7mgでほとんど生長停止の状態、養葉頻度の苛酷さが認められた。

3) 非同化器官に及ぼす影響

非同化器官である直立茎、ほふく茎、根に及ぼす養葉頻度の影響を図5-1-3に示した。3日刈取の直立茎重、ほふく茎重、根重は刈取回次の進むにつれほとんど横ばい状態であった。しかし、6日刈取の根重を除き、12日刈取、24日刈取のそれらは増加した。6日刈取の48日目の直立茎重、ほふく茎重は処理開始時と比べ、約1.2~1.8倍増加した。しかし、根重だけは緩やかな減少を示した。24日刈取の48日目の直立茎重、ほふく茎重、根重は開始時と比べ、著しく増加し、それぞれ、7.8倍、5.7倍、8.6倍であった。また、それらの値は、12日刈取の約2倍の値に相当した。

4) 非構造性炭水化物(TNC)に及ぼす影響

図5-1-4に養葉頻度がほふく茎に含まれるTNC含有率に及ぼす影響を示した。パヒアグラスのほふく茎に多く含まれる非構造性炭水化物(TNC)は養葉後の葉の依存再生に重要な役割を担っている。ほふく茎のTNC含有率は図5

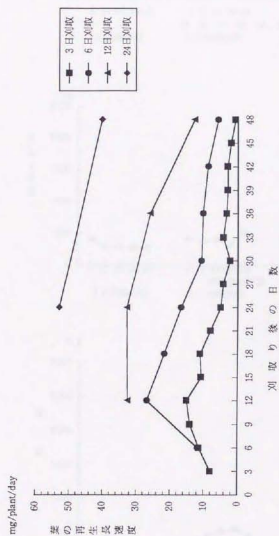


図5-1-2 刈集頻度が葉の再生量に及ぼす影響

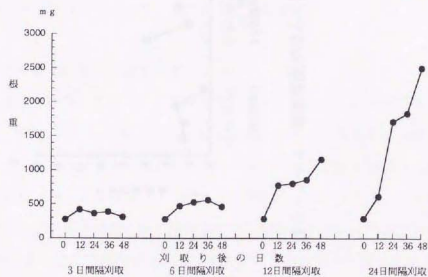
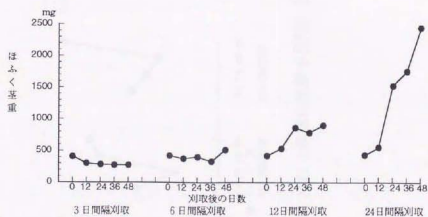
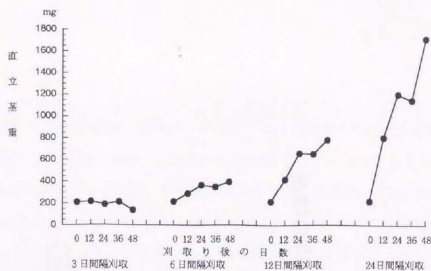


図5-1-3 剪葉頻度が直立茎、ほふく茎、および根の乾物重に及ぼす影響

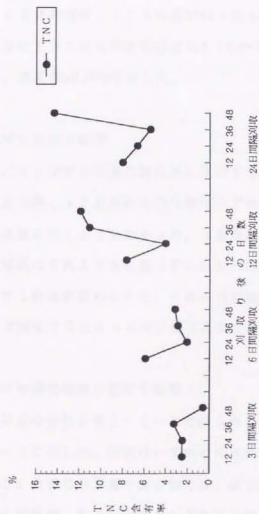


図5-1-4 穂葉頻度がほふく茎のTNC（非構造性炭水化物）含有率に及ぼす影響

—1—3に示したほふく莖重の推移とくらべると大きく変動していることがわかる。3日刈取のTNC含有率は36日目に3.2%の最高値であったが48日目に急減し0.6%になった。6日刈取、12日刈取のTNC含有率はいずれも刈取後24日目に急減し、その後増加した。しかし、両者のTNC含有率には著しい差がみられ、48日目の値は、12日刈取が約4倍も多い量であった。24日刈取だけは36日目にTNC含有率が開始日の8.1%から5.5%に減少した。その後、著しく増加し、最高値14.4%を示した。

5) 葉の消化率に及ぼす影響

養葉頻度がパヒアグラスの葉の消化率に及ぼす影響を表5—1—2に示した。3日刈取、6日刈取、12日刈取の消化率はいずれも65%であったが、24日刈取の消化率は最も低く61%であった。3日刈取、6日刈取、12日刈取の消化率は24日刈取のそれよりも有意($P < 0.01$)に高かった。頻繁な養葉により消化率が向上する傾向が認められた。これらの値は*in vitro*での結果であり*in vivo*の消化率で測定するともっと高い値になると推測される。

6) 葉重および可消化葉量に及ぼす影響

養葉による葉重の変化と表5—1—2で得られた消化率により求めた可消化葉量を表5—1—3に示した。葉重はいずれの刈取処理においても刈取の進行にともない減少した。最終日の葉重の減少割合は、初回刈取時の葉重と比べ3日刈取、6日刈取、12日刈取、24日刈取それぞれ75%、62%、61%、24%であった。6日刈取と12日刈取の減少割合はほとんど変わらなかったが合計葉重から見ると約1.8倍12日刈取のほうが大きかった。3日刈取の可消化葉量は最も少なく215gであった。24日刈取の消化率はいずれの刈取処理よりも低いため他の刈取処理との合計葉量と可消化葉量の比較を行なうとわずかながらその差

表 5-1-2 毒葉頻度が葉の消化率に及ぼす影響

	刈 取 処 理			
	3 日間隔刈取	6 日間隔刈取	12日間隔刈取	24日間隔刈取
消化率 (%)	65.5 ± 0.3	65.2 ± 0.5	65.0 ± 0.6	61.0 ± 0.4

表 5-1-3 養葉頻度が葉重および可消化葉量に及ぼす影響
(個体当たりDMmg、ポット材料)

養 葉 頻 度	刈 取 後 の 日 数				合計	可消化葉量
	12	24	36	48		
3日間隔刈取	145	104	43	36	328	215
6日間隔刈取	231	230	126	88	675	440
12日間隔刈取	390	394	312	152	1248	811
24日間隔刈取		1273		967	2240	1366

は縮んだ。

5-2-3 窒素施肥水準の影響

奪葉頻度がバヒアグラスの同化器官である葉や、非同化器官である直立茎、はふく茎、根の生育および非構造的炭水化物に影響を及ぼすことがわかった。特に、3日刈取は植物器官に大きく影響を及ぼし、刈取後48日目における再生葉重や根重の著しい減少、TNC含有率の低下を招き、これ以上処理を行えば枯死に至るものと思われた。しかし、6日刈取以上の奪葉間隔では各植物器官やTNC含有率が横ばい、あるいは増加を示すことから、この程度の放牧利用(放牧強度)では問題ないものと考えられた。しかし、この奪葉頻度がバヒアグラスの生育に及ぼす実験は窒素施肥を普通に畜産農家で実施されている30kg/10aの施肥量で行なったものである。

次に、窒素施肥水準を無窒素、中窒素(30kg/10a)、高窒素(90kg/10a)に変えた場合バヒアグラスの生育にどのような影響を及ぼすかについて調べてみた。奪葉間隔は24日刈取とした。

1) 全植物体に及ぼす影響

窒素施肥水準のバヒアグラス全植物体重に及ぼす影響について表5-2-1に示した。初回刈取後24日目の全植物体重は無窒素区、中窒素区、高窒素区それぞれ2191mg、5732mg、4185mgで、処理間に有意差($P < 0.01$)が認められた。また、中窒素区の全植物体重は高窒素区よりも高い値であった。48日目における中窒素区の値は24日目よりも著しく増加したため高窒素区との間に有意な差はなくなった。試験期間中の全植物体の合計においては、中窒素区の方が高窒素区よりも高い値を示した。

表 5-2-1 窒素施肥水準が全植物体重に及ぼす影響

	刈 取 後 の 日 数				合 計
	12	24	36	48	
無 窒 素 区		2191		2244	4435
中 窒 素 区		5732		7651	13383
高 窒 素 区		4185		7815	12000

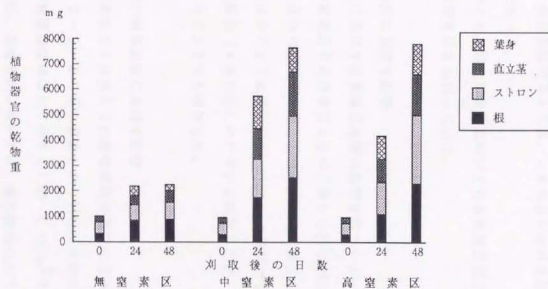


図5-2-1 窒素施肥水準がバヒアグラスの植物器官に及ぼす影響
(ポット植え個体重mg)

2) 植物器官に及ぼす影響

窒素施肥水準が葉身、直立茎、ほふく茎（ストロン）、根に及ぼす影響を図5-2-1に示した。刈取開始時に葉身を切り揃えたため0mgになっている。窒素を施肥施肥することにより植物器官が著しく増加することがこの図からわかる。中窒素区、高窒素区の24日目、48日目における器官乾物重は無窒素区の2～3倍の値であった。

中窒素区の24日目の植物器官はいずれも高窒素区より大きく、48日目の直立茎と根も高窒素区を上回っていた。

3) 葉の再生に及ぼす影響

再生葉重に及ぼす窒素施肥水準の影響を図5-2-2に示した。無窒素区の再生葉重は中窒素区や高窒素区と比べ、著しく低く400mg以下であった。また、刈取後24日目の398mgから48日目の247mgに減少した。中窒素区と高窒素区の再生葉重はひじょうに高く900～1300mgの範囲であった。中窒素区の再生葉重は実験最終日（48日目）にわずかに減少したが、高窒素区のそれは、24日目よりもさらに32%も増加した。

4) 葉面積の展開速度に及ぼす影響

窒素施肥水準の1日当たりの葉面積展開速度に及ぼす影響は図5-2-3に示すように図5-2-2の再生葉重と全く同様な傾向を示した。そして、無窒素区での葉面積展開速度は著しく小さく $1.93\sim 2.12\text{cm}^2$ であった。しかし、窒素施肥した中窒素区、高窒素区においては、葉の展開に対する効果が大きく葉面積展開速度の最高値は処理後24日目の中窒素区での 12.25cm^2 であった。中窒素区において処理後48日目に展開速度の低下がみられるが高窒素区においては、まだ、増加傾向にあった。

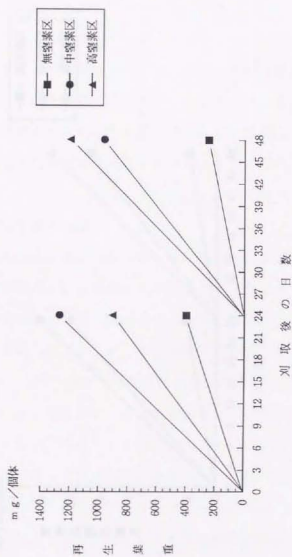


図5-2-2 窒素施肥水準が再生集重に及ぼす影響

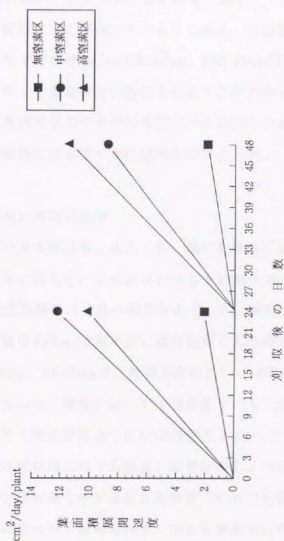


図 5-2-3 窒素施肥水準が葉面積の展開速度に及ぼす影響

5) 葉面積比 (SLA) に及ぼす影響

パヒアグラスの葉重や葉面積の展開速度に及ぼす窒素の効果は顕著であった。今度は、葉の薄く伸びた受光面積の広い状態を示す葉面積比 (SLA) に及ぼす窒素施肥の影響を表5-2-2に示した。この表からわかるように無窒素区の葉面積比は $179.86\text{cm}^2/\text{g}$ の小さな値を示しており、このことは無窒素区のパヒアグラスの葉が厚いことを意味している。しかし、中窒素区、高窒素区における葉面積比は平均値でそれぞれ $224.99\text{cm}^2/\text{g}$ 、 $230.27\text{cm}^2/\text{g}$ の高い値となり、窒素を施肥することにより葉面積比は改善されることがわかった。中窒素区と無窒素区の葉面積比は無窒素区のそれより有意 ($P < 0.01$) に高かったが、中窒素区と高窒素区の葉面積比には有意な差は認められなかった。

6) 非同化器官に及ぼす影響

非同化器官である直立茎、ほふく茎、根の乾物重に及ぼす窒素施肥水準の影響を図5-2-4に示した。この図は12日おきに地下部も含めた全植物体の採取を行なって12日間隔の乾物重の動きを見ている。無窒素区の4・8日目における直立茎の乾物重は 437mg であるが、窒素施肥した中窒素区、高窒素区のそれは、それぞれ 1728mg 、 1617mg で、無窒素区の3.7~3.9倍にあたる。ほふく茎においても同様であった。根重においては直立茎やほふく茎ほど乾物増加率は著しくないが、それでも無窒素区より2.6~2.9倍大きかった。これらのことから直立茎、ほふく茎、根の乾物重に対する窒素の効果はひじょうに大きいことがわかる。また、窒素量の3倍も違う中窒素区と高窒素区における直立茎、ほふく茎、根の乾物重に有意差はまったく認められず、むしろ中窒素区のほうが直立茎重、根重において高窒素区を上回っていた。

7) 非構造性炭水化物 (TNC) に及ぼす影響

表 5-2-2 窒素施肥水準が葉面積比 (SLA) に及ぼす影響

	単位: mg/個体				
	刈 取 後 の 日 数				平 均
	12	24	36	48	
無窒素区		173.92		185.79	179.86
中窒素区		231.78		218.20	224.99
高窒素区		230.25		230.29	230.27

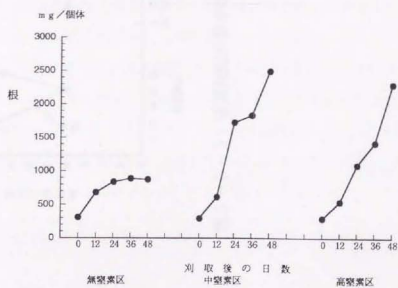
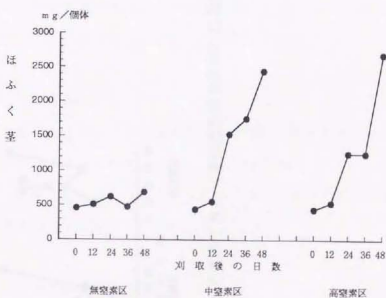
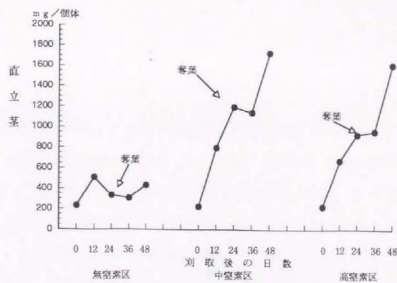


図5-2-4 窒素施肥水準が直立茎、ほふく茎、根の乾物重に及ぼす影響

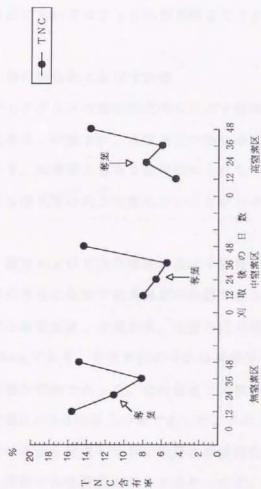


図5-2-5 窒素施肥水準がほく茎のTNC（非構造性炭水化物）に及ぼす影響

非構造性炭水化物 (TNC) に及ぼす窒素施肥の影響を図 5-2-5 に示した。無窒素区、中窒素区、高窒素区の最終日 (48 日目) における TNC 含有率はそれぞれ 14.9、14.4、13.7% で処理間に有意な差は認められなかった。このことから窒素施肥は TNC 含有率にほとんど影響を及ぼさないことがわかった。むしろパヒアグラスはふく茎の TNC 含有率に影響するのは 5-2-2 で述べた奪葉頻度である。しかし、高窒素区の TNC 含有率の推移は無窒素区や中窒素区とは異なる。すなわち初回奪葉後無窒素区と中窒素区は TNC が減少しているのに高窒素区においては 24 日の奪葉時まで TNC が増加している。

8) 葉の消化率に及ぼす影響

パヒアグラスの葉の消化率に及ぼす窒素施肥の影響を表 5-2-3 に示した。無窒素区、中窒素区、高窒素区の消化率はそれぞれ 61.49%、61.01%、59.35% であり、処理間に有意な差は認められなかった。このことから窒素施肥量を増やしても消化率の向上は望めないことがわかった。

9) 葉重および可消化葉量に及ぼす影響

再生葉重に及ぼす窒素施肥の影響を表 5-2-4 に示した。奪葉後 24 日目における無窒素区、中窒素区、高窒素区の再生葉重はそれぞれ 326mg、1273mg、1070mg であり、無窒素区のそれは有意 ($P < 0.01$) に低かった。48 日目においても同様な傾向であった。合計葉重と比較すると中窒素区、高窒素区の再生葉重は無窒素区の 3.8 倍以上の値であった。このことは窒素施肥することにより奪葉後の葉の再生を促進して早い時期に炭酸同化を行なっていることを示唆している。合計葉重は高窒素区の方が高かったが、可消化葉量は逆転した。

表 5-2-3 窒素施肥水準が消化率に及ぼす影響

	窒 素 施 肥		
	無窒素区	中窒素区	高窒素区
消化率 (%)	61.49 ± 1.08	61.01 ± 0.44	59.35 ± 0.20

表 5-2-4 窒素施肥水準がバヒアグラスの葉重に及ぼす影響

単位: mg/個体

	刈 取 後 の 日 数				合計	可消化葉量
	1 2	2 4	3 6	4 8		
無窒素		3 2 6		2 6 3	5 8 9	3 6 2
中窒素		1 2 7 3		9 6 7	2 2 4 0	1 3 6 7
高窒素		1 0 7 0		1 2 0 0	2 2 7 0	1 3 4 7

5-2-4 奪葉頻度と窒素施肥水準の組み合わせによる影響

5-2-2で3日間隔刈取、6日間隔刈取、12日間隔刈取、24日間隔刈取の4段階の奪葉頻度がバヒアグラスの消化率と再生に及ぼす影響について、また、5-2-3で無窒素(0Nkg/10a)、中窒素(30Nkg/10a)、高窒素(90Nkg/10a)の3段階の窒素施肥水準の影響を報告した。ここでは、奪葉頻度と窒素施肥水準の組み合わせによるバヒアグラスの全植物体重、葉の再生長速度、葉面積の展開速度、直立茎重、ほふく茎重、根重、消化率の交互作用について処理後24日目と48日目について報告する。処理後24日と48日は同化器官、非同化器官を含むいわゆる全ての植物器官の乾物重を調査した日である。統計分析はSAS/S T A Tソフトウェアを使用して行なった。

1) 全植物体重に及ぼす影響

奪葉頻度と窒素施肥水準が全植物体重に及ぼす影響を図5-3-1に示した。処理後24日目と48日目における奪葉と窒素の交互作用は著しく強く0.001%以下の確率で有意であった。処理後24日目の全植物体重にもっとも効果のあるものは24日刈取の中窒素区(N30kg)、高窒素区(N90kg)、12日刈取の中窒素区、高窒素区の順であった。処理後48日目においては24日刈取の高窒素と中窒素区が同じ効果、次に12日刈取の中窒素区であった。

2) 葉の再生長速度に及ぼす影響

再生葉の生長速度に及ぼす交互作用を図5-3-2に示した。1日当たりの葉の再生長速度にも奪葉頻度と窒素施肥水準は著しく強く作用した($P < 0.001$)。交互作用の程度は図5-3-1の全植物体重と類似していた。窒素施肥の影響は奪葉間隔が狭まるとその効果は希薄になった。これは全植物体重でも同様な傾向

であった。処理後48日目になると中窒素区と高窒素区の差が24日刈取、12日刈取で縮まり、窒素の効果が低くなった。

3) 葉面積の展開速度に及ぼす影響

図5-3-3に示すように葉面積の展開速度にも奪葉頻度と窒素施肥水準の交互作用は強く認められた($P < 0.001$)。処理後24日目に葉面積展開速度の大きいのは24日刈取の中窒素区、高窒素区であったが、48日目においては逆転し、高窒素区がもっとも高い値を示した。12日刈取における窒素施肥の効果は処理後48日目に低下し、特に窒素(30-90)と奪葉頻度(12-24)は処理後24日目の確率0.04%から48日目の0.53%に変化した。

4) 直立茎重に及ぼす影響

直立茎に及ぼす奪葉頻度と窒素施肥の交互作用を図5-3-4に示した。パヒアグラス直立茎に及ぼすそれらの交互作用は処理後24日目、48日目ともに強く受けた($P < 0.001$)。処理後24日目、48日目の窒素(30-90)と奪葉頻度(3-24)の交互作用の有意差は、それぞれ $P < 0.001$ 、 $P < 0.001$ であった。しかし、窒素(30-90)と奪葉頻度(12-24)、窒素(0-90)と奪葉頻度(12-24)においては交互作用は認められなかった。

5) ほふく茎重に及ぼす影響

ほふく茎重に及ぼす奪葉頻度と窒素の交互作用を図5-3-5に示した。処理後24日目と48日目におけるほふく茎重の推移は類似していた。処理後48日目における24日刈取のほふく茎重は高窒素区で最高値2693mg、次に中窒素区で2453mgを示し、窒素(0-90)と奪葉(3-24)、窒素(0-90)と奪葉(6-24)において強い交互作用を示した。窒素(0-90)と奪葉(12-24)において直立茎

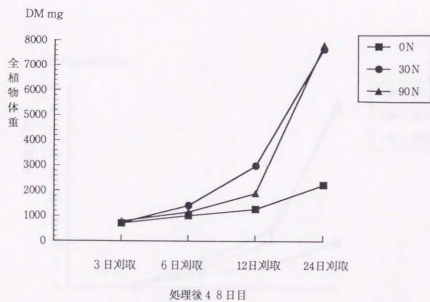
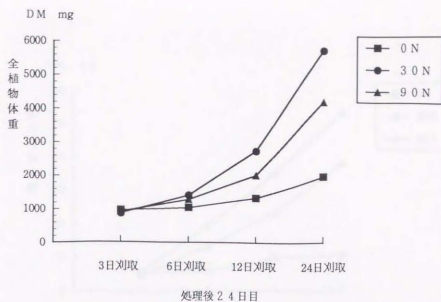


図5-3-1 剪葉頻度と窒素施肥水準が全植物体重に及ぼす影響

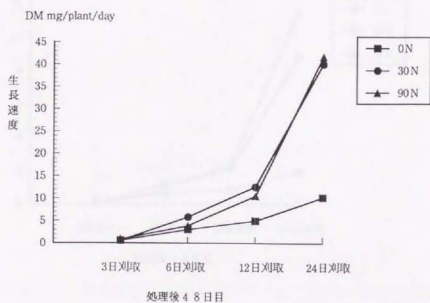
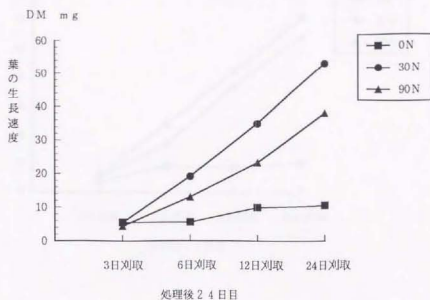


図 5-3-2 奪葉頻度と窒素施肥水準が再生葉の生長速度に及ぼす影響

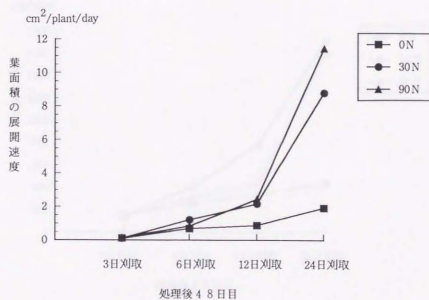
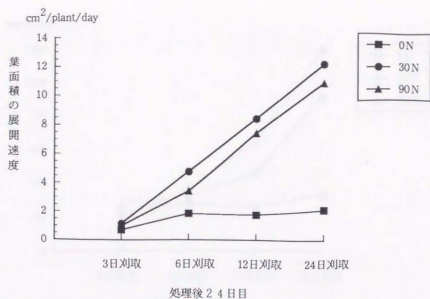


図 5-3-3 奪葉頻度と窒素施肥水準が葉面積の展開速度に及ぼす影響

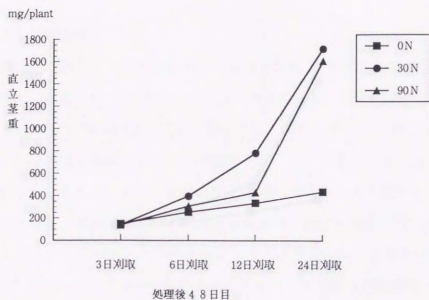
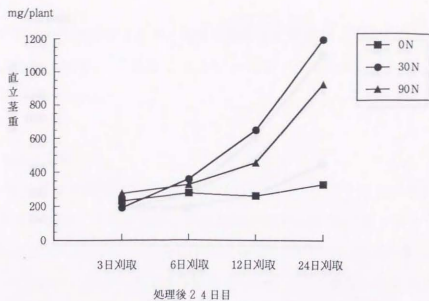


図 5-3-4 奪葉頻度と窒素施肥水準が直立茎重に及ぼす影響

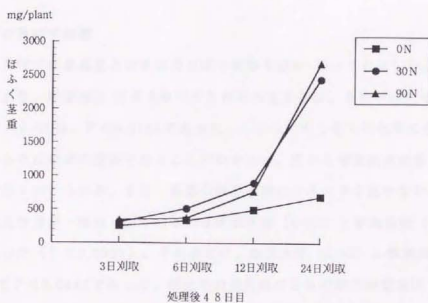
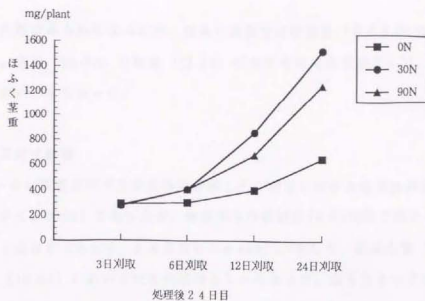


図 5-3-5 剪葉頻度と窒素施肥水準がほふく茎重に及ぼす影響

重では交互作用がみられなかったが、ほふく茎重では有意差 ($P < 0.0152$) が認められた。窒素 (30-90) と奪葉 (12-24) の交互作用は処理後 2 4 日、4 8 日どちらにおいてもなかった。

6) 根重に及ぼす影響

図 5-3-6 に根重に対する交互作用を示した。根重に対する窒素処理間の影響は有意 ($P < 0.0001$) であったが、奪葉頻度の影響は 12-24刈取で認められなかった (2 4 日目 $P < 0.127$ 、4 8 日目 $P < 0.168$)。そして、窒素水準 (0-90) と奪葉頻度 (12-24) において交互作用はみられなかった。最も大きい交互作用は窒素水準 (0-90) と奪葉頻度 (6-24) の時であった ($P < 0.0015$)。処理後 2 4 日、4 8 日目のどちらにおいても中窒素区の根重は高窒素区より高い値を示した。

7) 消化率に及ぼす影響

消化率に及ぼす奪葉頻度と窒素施肥水準の影響を図 5-3-7 に示した。奪葉頻度、窒素水準、奪葉頻度・窒素水準の交互作用の有意差は、それぞれ $P < 0.0001$ 、 $P < 0.0098$ 、 $P < 0.0168$ であった。このことから最も消化率に影響を及ぼしているのは奪葉の要因であることがわかった。図から奪葉頻度が長くなると消化率の低下がみられる。また、窒素の施肥水準による大きな差がないこともわかる。交互作用が一番強く出ているのは窒素水準 (0-90) と奪葉頻度 (3-24) の場合であった ($P < 0.0007$)。その次ぎは、窒素水準 (0-90) と奪葉頻度 (12-24) で $P < 0.0485$ であった。消化率の最高値は 3 日刈取の無窒素区で 70.15%、逆に低い消化率は、2 4 日刈取の高窒素区で 59.34% であった。

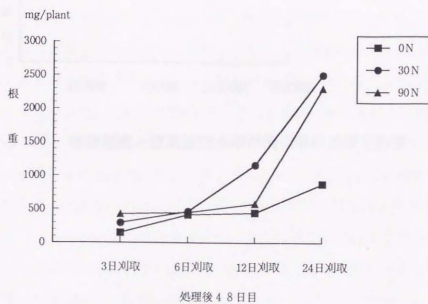
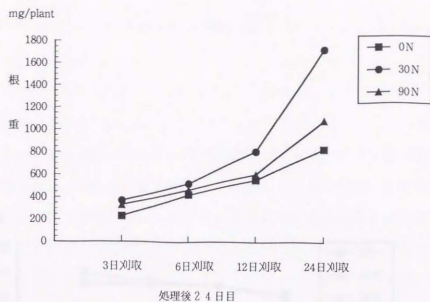


図 5-3-6 奪葉頻度と窒素施肥水準が根重に及ぼす影響

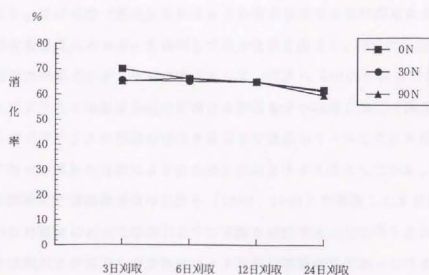


図 5-3-7 剪葉頻度と窒素施肥水準が消化率に及ぼす影響

5-3節 考 察

1. 棄葉頻度について

牧草生産は主として刈取（摂食）と再生の繰返しであり、穀実生産のように1回限りの収穫をねらいとする作物に対して、長期的な牧草の利用、管理方法が必要となる。葉は刈取（摂食）られるとその葉の再生のために貯蔵炭水化物が使われ、再生後は光エネルギーを利用して炭水化物を貯える。そして、貯蔵するよりも消費の方が多くなると生育が衰えてくる。江原ら（1966）は $C^{14}O_2$ を使用してバヒアグラスの初期再生過程における貯蔵養分の利用に関して報告した。その結果、バヒアグラスの貯蔵養分は6日目まで急減していることから依存再生期間（根・株の貯蔵炭水化物による再生）はおよそ6日間としている。それからすると本試験の3日間隔刈取は江原ら（1965、1966）の報告した6日間よりさらに短いため植物にとってはひじょうに苛酷な状態であったものと思われる。しかし、本試験の3日刈取りの植物体は48日間の試験期間であったにもかかわらず、枯死することはなかった。このことからバヒアグラスがいかに頻繁な刈取り（強放牧）にも耐えることができるということがわかった。図5-1-3から3日刈取りの貯蔵期間である直立茎、ほふく茎、根の乾物重は、刈取り処理後、横ばい状態か、緩やかに減少している。また、図5-1-4のTNC含量は急激に減少していることから枯死に至る可能性が高い。6日刈取りにおける非同化器官（直立茎、ほふく茎、根）とTNC含量は刈取処理後も増加傾向にあり、その処理を長期間続けても枯死の心配はないものと推測される。

本試験でバヒアグラスの低い消化率を頻繁な棄葉をすることによってそれを向上させることができた。3日間隔刈取り（65.5%）、6日間隔刈取り（65.2%）、12日間隔刈取り（65.0%）いずれも24日間隔刈取り（61.0%）より有意（P

＜0.01）に高い値であった。しかし、6日間隔刈取りと12日間隔刈取りの消化率に有意な差は認められなかった。これらの結果は中窒素区(N30kg)で得られた値であり、無窒素区(N0kg)での消化率は、さらに向上し、3日間隔刈取り、6日間隔刈取り、12日間隔刈取り、24日間隔刈取り、それぞれ、70.2%、66.2%、64.8%、61.5%であった。ここでも6日間隔刈取りと12日間隔刈取りで消化率に有意差は認められなかった。

以上のことを考慮すると棄葉（刈取り）頻度は6日間隔刈取りと12日間隔刈取りが消化率向上の方策として良いことになるが、12日間隔刈取りは図5-1-3の非同化器官の乾物重や図5-1-4のTNC含量の推移から炭水化物を過剰に貯蔵していることから気象条件（季節）にあった放牧強度や刈取間隔の調節が必要であろう。

2. 窒素施肥水準について

バヒアグラスの刈取りや窒素施肥に関する報告は多数ある(Sampio(1976), Stanley(1977), Beaty(1962, 1968, 1974, 1971, 1974, 1975, 1977, 1980))。江原ら(1966, 1970)は刈取り後のバヒアグラスに高温下で窒素施肥を行なうと著しく乾物重が増加することを報告している。また、窒素追肥の効果も報告(1970)している。本試験においても棄葉、非同化器官の乾物重は無窒素区より窒素施肥区のほうが著しく増加した。全植物体重は中窒素区のほうが高窒素区より大きかった。また、窒素施肥することによって葉面積の展開速度が速まり、そして、SLA（葉面積比）も有意に大きくなるため、棄葉（刈取）後、迅速に受光態勢を高めて光合成を活発に行なうことができる。Beaty(1980)らは窒素施肥の時期をバヒアグラスが生長を開始する4月と最盛期の7月に行なうと収量がもっとも大きかったことを報告している。また、灌水の効果も報告している。杉本ら(1981)は牧草の窒素吸収速度について調べた結果、バヒアグラスは高

濃度窒素の場合、もっとも吸収速度が小さくローズガラスの1/3.5、ダリスガラスの1/1.9であった事、また、葉身への窒素の取込みもひじょうに遅かった事を報告している。また、Beatyら(1980)はバヒアガラスの窒素水準N168kg/ha区とN336kg/ha区で植物体中の窒素含量に差がないことを報告している。本試験においても高窒素区(N90kg)は中窒素区(N30kg)の3倍量施肥していながら葉重、葉面積展開速度、SLA、直立茎重、ほふく茎重、根重に有意な差が認められなかったばかりか、逆に中窒素区のほうが上回っていたこともあった。この主な原因は、上述した杉本ら(1981)の研究報告、すなわち、バヒアガラスの窒素に対する反応の鈍いことが関与しているものと思われる。このことに関して、Beaty(1980)は高窒素施肥区(N336kg)の根重は中窒素施肥区(N168kg)より小さかったことを報告している。

刈取頻度はTNC含量や消化率に大きな影響を及ぼしたが、窒素施肥水準はそれらにほとんど影響を及ぼさなかった。

以上のことから奪葉後、再生を促進するための窒素施肥の効果は、中窒素区(30kg/10a)と高窒素区(90/10a)の間に差がないことから、中窒素区のほうが低コストの点で好ましいと考えられる。

3. 奪葉頻度と窒素施肥水準の交互作用について

奪葉頻度と窒素施肥水準の交互作用は全植物体重、再生葉の生長速度、葉面積の展開速度、葉面積比、直立茎重、ほふく茎重、根重、非構造化性炭水化物、消化率に強く認められた。

全植物体重、再生葉生長速度、株重、ほふく茎重、根重、消化率の窒素水準(30-90)×奪葉間隔(12-24)に交互作用はなかった。これは、窒素水準(30-90)は $P < 0.0001$ で有意であるが、奪葉間隔12日刈取と24日刈取の間に有意差がなかったからである。

奪葉間隔で6日間隔刈取と12日間隔刈取、窒素施肥水準で30kgが推奨されたが、いずれの調査項目についても窒素水準(0-30)×奪葉間隔(6-12)の交互作用はまったく認められなかった。これも窒素水準で有意差はあるが、奪葉間隔で有意差がないために交互作用が相殺されてしまった。

消化率は無窒素区の3日間隔刈取が一番高い値70.15%を示したが、3日刈取では長期間続くと枯死に至る可能性が強いので、次ぎに消化率の高いのは中窒素区の6日間隔刈取である。

5-4節 小 括

パヒアグラスの低い消化率を向上させるため基礎的な管理方法として奪葉処理と再生を促進するための窒素施肥水準の効果を調べた。また、パヒアグラスの生育に及ぼす奪葉処理と窒素処理の交互作用も調べた。

1. 奪葉頻度の影響

葉身、直立茎、ほふく茎、根を含めた24日刈取の全植物体重は3日、6日、12日刈取と比べ、それぞれ、10、5、3倍大きかった。実験終了時の乾物重が開始時より減少したのは3日刈取のみであった。

葉の再生長速度は3日<6日<12日<24日刈取の順に大きかった。3日刈取の48日目における生長速度は0.7mgで奪葉処理の苛酷さが伺われた。

非同化器官である直立茎、ほふく茎、根の3日刈取の乾物重はで横ばい状態であったが6、12、24日刈取は増加した。

非構造性炭水化物 (TNC) は各養葉処理後減少し、ふたたび増加する傾向を示した。

3日、6日、12日刈取の消化率はいずれも65%であったが、24日刈取のそれは61%であった。

3日刈取の可消化葉量は215 g (48日目) でもっとも少なかった。

2. 窒素施肥水準の影響

処理後24日目における全植物体重は無窒素区、中窒素区、高窒素区それぞれ2191、5732、4185 mgであった。試験期間中の合計量は中窒素区の方が高窒素区より高かった。

窒素を施肥することにより非同化器官の乾物重は著しく増加し、無窒素区の2～3倍の値であった。中窒素区の24日目の非同化器官はいずれも高窒素区を上回っていた。

無窒素区の再生葉重は24日目から48日目にかけて40%も減少したが、高窒素区は32%増加した。中窒素区のそれは、ほんのわずかに減少しただけであった。

無窒素区における葉面積の展開速度は著しく小さく $1.93 \sim 2.12 \text{ cm}^2$ であったが、施肥することにより大きくなり、中窒素区で 12.25 cm^2 であった。高窒素区の展開速度は48日目まで増加傾向を示した。

窒素施肥の葉面積比に対する効果は顕著であった。無窒素区、中窒素区、高窒素区それぞれ179.86、224.99、 $230.72 \text{ cm}^2/\text{g}$ であった。

非同化器官に対する窒素の効果はひじょうに大きく、48日目における中窒素区、高窒素区の直立茎は無窒素区の3.7～3.9倍の値であった。高窒素区と中窒素区における直立茎、ほふく茎、根の乾物重に有意差は認められなかった。

ほふく茎中のTNC含有率は窒素施肥の影響をほとんど受けなかった。

葉の消化率は窒素施肥の影響を受けなかった。

24日目の中窒素区 (1273mg)、高窒素区 (1070mg) における再生葉重は無窒素区 (326mg) より有意 ($P < 0.01$) に高かった。合計葉重で比較すると3.8倍以上であった。合計葉重は高窒素区の方が高かったが、可消化葉量では逆転した。

3. 奪葉頻度と窒素施肥水準の交互作用

全植物体重に対する奪葉頻度と窒素水準の交互作用は著しく強かった ($P < 0.0001$)。その中でも中窒素区の24日刈取はもっとも効果が大きかった。

葉の再生長速度の対しても交互作用は強くでた。奪葉間隔が狭まると窒素の効果は希薄になった。処理後48日目になると中窒素区と高窒素区の差が24日刈取と12日刈取で縮まり、窒素の効果が低下した。

葉面積の展開速度にも奪葉頻度と窒素施肥水準の交互作用は強く認められた ($P < 0.0001$)。処理後24日目の展開速度の大きいのは中窒素区の24日刈取であった。

直立茎重の奪葉頻度と窒素水準の交互作用は強く現れた。直立茎重の窒素 (30-90) × 奪葉 (3-24) の交互作用は有意であった。

しかし、窒素 (30-90) × 奪葉 (12-24)、窒素 (0-90) × 奪葉 (12-24) においては交互作用は認められなかった。

ほふく茎重に及ぼす奪葉頻度と窒素水準の交互作用は、窒素 (0-90) × 奪葉 (3-24)、窒素 (0-90) × 奪葉 (6-24) において有意に認められた。しかし、窒素 (30-90) × 奪葉 (12-24) の交互作用はなかった。

根重の交互作用は窒素 (0-90) × 奪葉 (6-24) において強かった。しかし、窒素 (0-90) × 奪葉 (12-24) において、それはなかった。

以上のことから奪葉頻度を多くするにつれてバヒアグラスの葉の消化率は高くなった。そして、さらに窒素施肥を行なうことによって奪葉後の同化器官や非同

化器官の再生を促進することができた。

第6章 暖地型牧草パンゴラグラス草地における育成牛の成長と二次生産の光エネルギー効率

暖地型牧草のパヒアグラスと寒地型牧草のオーチャードグラスの一次生産の比較を第3章で、二次生産までを含めた光エネルギー利用率の比較を第4章で述べた。その結果、パヒアグラス草地における放牧牛の増体蓄積エネルギーはオーチャードグラス草地と比べ低かった。この原因は、パヒアグラスの消化率の低さと粗生産効率の低さの2つによるものであることがわかった。そこで、第5章では、パヒアグラスの消化率を高めるために剪葉処理を、また、再生を速めるために窒素施肥水準の処理を行なった結果、頻繁な剪葉により消化率は65%に向上した。また、窒素施肥により再生長速度、葉面積の展開速度が促進された。この結果から、剪葉間隔は6日間隔刈取、12日間隔刈取が、窒素施肥水準は中窒素区(30kg/10a)が望ましかった。

この章では、亜熱帯性牧草のなかでもとりわけ消化率の高いパンゴラグラス(*Digitaria decumbens* Steut.)を対象としてその草地とパヒアグラス(*Paspalum notatum* Flugge)草地の一次生産から二次生産までを第4章と同様な方法でエネルギー論的に捉えて光エネルギーの利用効率の比較を行なった。また、両草地における放牧行動およびそれに伴う熱生産量に違いがあるか調べてみた。

6-1節 材料および方法

6-1-1 放牧草地

本試験で用いた放牧草地の概略図を図6-1に示した。パヒアグラス (*Paspalum notatum* Flugge)42.69a、バンゴラグラス (*Digitaria decumbens* Steut)44.41aを実験草地とし、隣接するバラグラス (*Brachiaria mutica* Stapf)42.57a、とキクユグラス (*Pennisetum clandestinum* Hachst.)43.91aの2草地を予備区として輪換放牧を行なった。

施肥はパヒアグラス草地、バンゴラグラス草地ともに1988年3月、6月、9月に化成肥料(商品名804)を300kg/ha (N 54kg、 P_2O_5 30kg、 K_2O 42kg)を施した。

6-1-2 実験牛

実験牛は試験開始時に平均7カ月齢、平均体重166kgのホルスタイン種去勢牛4頭を使用した。放牧牛の体重測定は入牧時と退牧時には同時に行った。

6-1-3 放牧期間

放牧期間はバンゴラグラス放牧草地において7月8日～8月1日(24日間)、9月12日～10月9日(27日間)、パヒアグラス放牧草地において8月5日～9月2日(28日間)、11月1日～11月26日(25日間)であった。その他の期間は予備区であるバラグラスとキクユグラス放牧草地に放牧した。

6-1-4 植生調査と牧草可食部現存量の測定

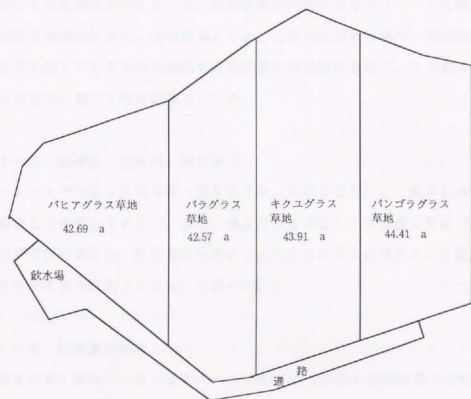


図 6-1 放牧草地の概略図

入牧時に $1.2 \times 1.2 \times 1.2$ m (横・縦・高さ)の移動保護枠(プロテクトケージ) 9個を植生の均一な場所に設置した。そして、保護枠を設置した場所と近似した植生の所を9ヶ所選び、そこに $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ のコードラートを置き各草種の被度と草丈を測定した後、地際5 cmの高さで刈取り、それを可食部草量とした。また、退牧時にも植生調査を行なった後、移動保護枠内外の草をコードラートを置いて同様に刈取り保護枠内草量、残食草量とした。上記の刈取った草の一部(約200 g)を取りだし約 70°C 48時間通風乾燥後秤量し乾物率を求めた。この乾物率をそれぞれの生草に掛けて牧草乾物重とした。

6-1-5 茎葉比、葉面積、葉面積比

6-1-4で刈取った牧草の一部を取り茎(葉鞘を含む)、と葉身に分け乾物重を測定して茎葉比を求めた。また、葉身だけを採取して自動葉面積計(林電工製)で葉面積を測定後、乾物重量を求め1 gあたりの葉の面積すなわち牧草の葉の薄さを示す葉面積比(SLA)を調べた。

6-1-6 採食量の推定

採食量は第1章の1-3-3でのべたりネハン(1947)の式にあてはめて計算した。

また、朝夕2 gずつ酸化クロムを経口投与し、亀岡(1957)らの方法に準拠して採食量を求めた。

排糞量 = 酸化クロム投与量 / 糞中酸化クロム濃度

採食量 = 排糞量 / (1 - 採食草の乾物消化率)

6-1-7 消化率の測定

消化率の測定はGoto and Minson(1977)の方法に準拠した。

6-1-8 一般成分、全非構造性炭水化物 (TNC) の測定

一般成分は常法で、全非構造性炭水化物はD.Smith(1969)によるWeinman法
改定タカジアスターゼ酵素抽出法で測定した。

6-1-9 牧草の乾物燃焼量の測定

各放牧期の入牧時の牧草を器官別に分け、それぞれ1g当たりの乾物燃焼量を
熱研式自動ボンベ熱量計(島津製作所製)で測定した。

6-1-10 エネルギー量の測定

エネルギー量の計算に関してはすでの第1章1-3-3で詳しく説明している。

6-1-11 心拍数と産熱量の測定

心拍数は心拍メモリ装置(竹井機器製)を2頭の実験牛に装着して胸部双極
誘導法により1分間隔で測定した。そして、24時間測定後に心拍装置をコンピ
ュータに接続してデータの解析を行なった。

熱産生量は山本(1980)の方法により、以下の手順で推定した。ダグラスバ
ッグ法により呼吸を採取し、呼吸ガス分析装置(日本光電三栄製)で呼吸量、大
気、呼吸ガスの酸素濃度を測定した。実験牛の酸素消費量からMcLean(1972)の
式により算出される熱産生量と心拍数との個体ごとの回帰式を計算。この回帰式
を用いて心拍数から熱産生量を算出した。回帰式は下記に示すとおりである。

$$\text{1号牛} \quad y = 0.0585x + 0.5906 \quad r = 0.896$$

$$\text{2号牛} \quad y = 0.1005x - 2.8118 \quad r = 0.931$$

y: 熱産生量 x: 実験牛の心拍数

6-2節 結 果

6-2-1 放牧期間中の最高・最低気温、降水量、および日射量

放牧期間中の最高気温、最低気温、降水量を図6-2に、日射量を図6-3に示した。5月は梅雨のため降水量が多かった。7月は気温が最も高く最低気温26℃、最高気温33℃であった。しかし、降水量はほとんどないような状態であった。12月に入っても最低・最高気温はそれぞれ15℃、20℃であった。日射量は7月に5000kcal/m²以上を示し、以後緩やかに減少した。

6-2-2 牧草供給量および採食量

パヒアグラス放牧草地とバンゴラグラス放牧草地における牧草供給量を図6-4に、採食量を図6-5に示した。

牧草供給量は放牧期間中の採食量と退牧時の残食草量の和でしめされる。パヒアグラス放牧草地の牧草供給量は、夏、秋、それぞれ493g/m²、437g/m²であった。一方、バンゴラグラス放牧草地におけるそれは夏、秋、それぞれ589g/m²、738g/m²で、両草地を比較するとバンゴラグラス放牧草地の供給量がパヒアグラス放牧草地より有意に高かった。特に、放牧後の残食草量が著しく多かった。

次に、両草地における放牧牛の採食量を比較するとバンゴラグラス放牧草地のほうがパヒアグラス放牧草地よりも多かった。

6-2-3 増体量

パヒアグラス放牧草地とバンゴラグラス放牧草地における日増体量を図6-6に示した。図から明らかなように4頭の放牧牛の日増体量は、いずれもバンゴラ

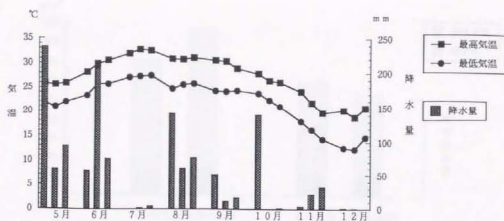


図 6-2 放牧期間中の最高・最低気温と降水量

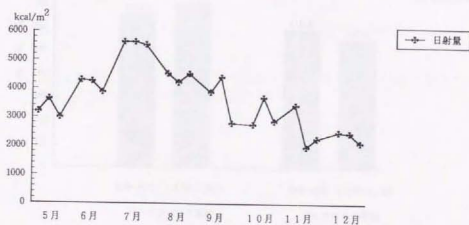


図 6-3 放牧期間中の日射量

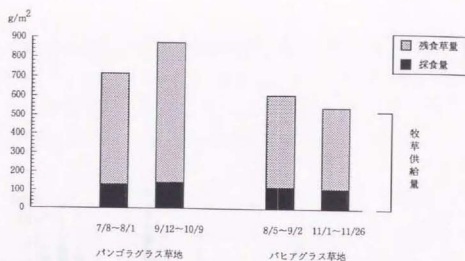


図 6-4 パンゴラグラスおよびバヒアグラス放牧草地における牧草供給量(g/m^2)

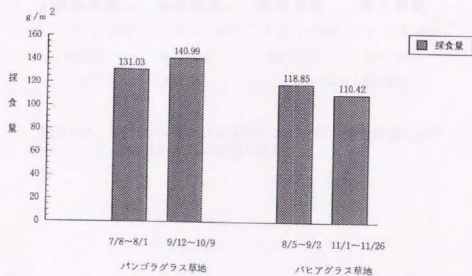


図 6-5 パンゴラグラスおよびバヒアグラス放牧草地における採食量(g/m^2)

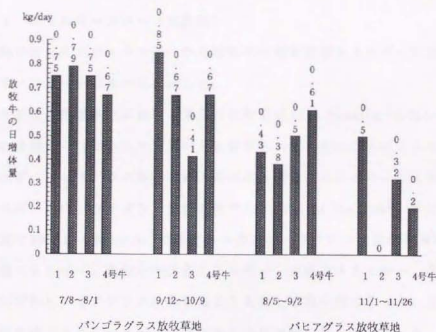


図6-6 パンゴラグラスおよびバビアグラス放牧草地における放牧牛の日増体量の推移

グラス放牧草地のほうがバヒアグラス放牧草地より高かった。パンゴラグラス放牧草地の夏季における日増体量は第2章で述べたオーチャードグラス放牧草地における値とほとんど差がなかった。すなわち亜熱帯性牧草の中でもパンゴラグラスは温帯性の牧草に引けをとらないぐらい良質な牧草であることがわかった。

6-2-4 エネルギーフロー (実測値)

放牧草地における日射エネルギーから放牧牛の増体蓄積エネルギーに至るまでのエネルギーフローを図6-7に示した。

パンゴラグラス放牧草地における夏季の日射量は 5014.9kcal/m^2 の高い値であった。これは図6-3に示した7月に日射量をもっとも高いことによるものである。その次ぎにバヒアグラス放牧草地の夏季の日射量が高かった。可食部の植物蓄積エネルギーはパンゴラグラス放牧草地で $131.5\sim 139.1\text{kcal/m}^2$ 、バヒアグラス放牧草地で $89\sim 108.9\text{kcal/m}^2$ の値であった。パンゴラグラス放牧草地における植物蓄積エネルギー、放牧牛の採食エネルギー、可消化エネルギー、代謝エネルギーはいずれもバヒアグラス放牧草地よりも著しく高い値であった。また、放牧牛の増体蓄積エネルギーもパンゴラグラス放牧草地のほうが高かった。

6-2-5 光エネルギー利用率

日射エネルギーを100とした場合のバヒアグラス放牧草地とパンゴラグラス放牧草地における光エネルギーの利用率を図6-8に示した。

可食部蓄積エネルギーにおける両草地の利用率に有意差はなかった。しかし、第4章の図4-3の値と比べ、両草地とも著しく高い値であった。採食エネルギー、可消化エネルギー、代謝エネルギーそれぞれにおける光エネルギー利用率はパンゴラグラス放牧草地のほうがバヒアグラス放牧草地よりも著しく高い値であった。だが、図4-3の値よりは著しく低い値であった。増体蓄積エネルギー



図6-7 バンゴラグラス放牧草地およびバヒアグラス放牧草地におけるエネルギーフロー (実測値)

	バンゴラグラス放牧草地		バヒアグラス放牧草地	
(単位: $\text{kcal}/\text{m}^2/\text{day}$)	夏	秋	夏	秋
日射エネルギー	100	100	100	100
植物蓄積 (可食部) エネルギー	2.62	3.56	2.34	2.78
牛の採食エネルギー	0.50	0.58	0.39	0.50
牛の可消化エネルギー	0.31	0.37	0.18	0.30
牛の代謝エネルギー	0.26	0.30	0.15	0.24
牛の増体蓄積エネルギー	0.04	0.04	0.03	0.02

図 6-8 バンゴラグラス放牧草地およびバヒアグラス放牧草地における光エネルギー変換効率

における利用効率はバンゴラグラス放牧草地で0.04の高い値を示した。

6-2-6 非構造性炭水化物 (TNC)

バヒアグラスとバンゴラグラスの可食部に含まれる非構造性炭水化物 (TNC) の季節的推移を図6-9に示した。バンゴラグラスのTNC含有率はいずれの時期においてもバヒアグラスよりいちじるしく高い値を示した。その最高値は8月の8.23%であった。

6-2-7 葉面積比 (SLA)

牧草の葉の薄さを示す指標である葉面積比の季節的推移を表6-1に示した。バンゴラグラスのSLAは夏に小さく秋に大きくなる傾向を示したが、バヒアグラスのそれは夏に大きく、秋に小さくなる傾向であった。両草種のSLAの平均値を比較するとバンゴラグラスで $331\text{ cm}^2/\text{g}$ 、バヒアグラスで $186\text{ cm}^2/\text{g}$ であった。このことからバンゴラグラスの葉は薄くて広く伸びていることがわかる。一方、バヒアグラスの葉はひじょうに厚みのある葉であることが示された。

6-2-8 葉身のin vivo消化率

葉面積比(SLA)で両草種に大きな違いがみられたが消化率ではどうだろうか、調べてみた。ホルスタイン種のルーメン内に牧草の葉身をナイロンバッグに詰めて48時間挿入した。その結果を表6-2に示した。バヒアグラスの消化率は53%であったが、バンゴラグラスの消化率は70%の著しく高い値で、寒地型草種の消化率に近い数値であった。両者のin vivo消化率を比較するとバンゴラグラスはバヒアグラスのそれよりも有意 ($P < 0.01$) に高かった。

次に、両牧草の葉を組織学的に観察してみた。ルーメン内に挿入する前のバヒアグラスとバンゴラグラスの葉の組織切片の顕微鏡写真を写真1~4に、ルー

表6-1 パンゴラグラスおよびバヒアグラスの葉面積比 (S L A)

	パンゴラグラス						バヒアグラス			
	7/8	8/1	9/12	10/9	11/29	12/8	8/5	9/2	11/1	12/26
S L A	326.4	287.8	343.1	317.0	369.8	346.0	202.5	190.2	199.3	153.5
² (cm/g)										

表6-2 パンゴラグラスとバヒアグラスの in vivo 消化率の比較

	パンゴラグラス	バヒアグラス
in vivo 消化率 (%)	70.61 ± 2.17	53.17 ± 3.15

平均値 ± 標準偏差



写真1. パヒアグラスの葉の横断面 (12倍)



写真2. パンゴラグラスの葉の横断面 (12倍)

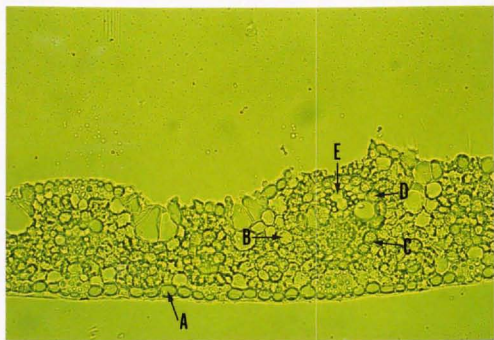


写真3. パヒアグラスの葉の横断面 (50倍)

A; 表皮細胞 B; 葉肉細胞 C; 葉緑体
D; 維管束鞘細胞 E; 維管束

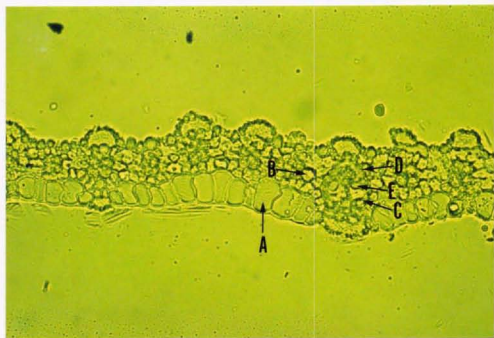


写真4. パンゴラグラスの葉の横断面 (50倍)

A; 表皮細胞 B; 葉肉細胞 C; 葉緑体
D; 維管束鞘細胞 E; 維管束

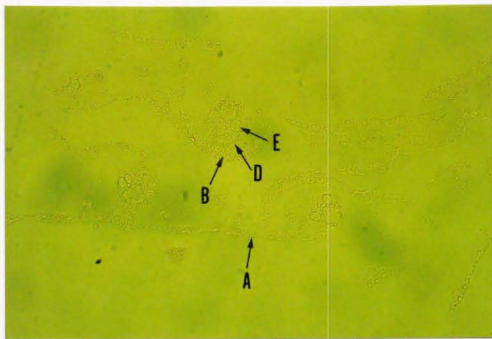


写真5. ルーメン内4-8時間滞留後のパヒアグラスの葉の横断面 (25倍)

A; 表皮細胞 B; 葉肉細胞 D; 維管束鞘細胞 E; 維管束



写真6. ルーメン内4-8時間滞留後のパンゴラグラスの葉の横断面 (25倍)

B; 葉肉細胞 D; 維管束鞘細胞 E; 維管束

メン内挿入後48時間経った葉の組織切片の写真を写真5～6に示した。写真1、2からバヒアグラス（写真1）の葉の厚いこととパンゴラグラス（写真2）の葉の薄いのがわかる。また、バヒアグラスの葉は、全体的に黒っぽく、維管束鞘細胞が凝集しているのが見られる。これらを50倍に拡大した写真が写真3、4である。バヒアグラス（写真3）の維管束鞘細胞の数はパンゴラグラス（写真4）のそれと比べ著しく多いことがわかる。また、バヒアグラスの表皮細胞が小さい細胞で敷き詰められているのに比べて、パンゴラグラス細胞はひじょうに大きい。

ルーメンから取り出した葉の組織切片の顕微鏡写真（25倍）を写真5、6に示した。写真5のバヒアグラスの切片は葉の原形をとどめており、葉の一番外側の細胞である表皮細胞さえ残っている。しかし、パンゴラグラス（写真6）の切片はルーメン内微生物により分解され、原形をとどめていない。わずかに維管束鞘細胞が残っているだけである。このことからバヒアグラスの葉がいかにルーメン内微生物によって分解されにくいかが明らかになった。

6-2-9 放牧牛の熱産生量

放牧草地の草種の違いによって放牧牛の熱産生量が異なるかどうかを調べてみた。そして、代謝体重当たり、一日当たりの放牧牛の熱産生量を表6-3に示した。パンゴラグラス放牧草地における冬季の熱産生量は風が強く体感温度が著しく低くなったために高い値となった。冬季を除いてバヒアグラス放牧草地と比較すると採食行動による熱産生量はほぼ同じであるが、反芻行動で大きな違いがみられた。すなわちパンゴラグラス放牧草地での反芻による熱産生量はバヒアグラス放牧草地のそれよりもひじょうに低かった。休息行動による熱産生量もパンゴラグラス草地のほうが低い傾向を示した。全ての放牧行動による熱産生量はパンゴラグラスのほうがバヒアグラス放牧草地よりも低い値となった。

表 6-3 パンゴラグラスおよびバヒアグラス放牧草地における
放牧牛の行動に伴う熱産生量 (kcal/代謝体重/日)

		パンゴラグラス放牧草地		バヒアグラス放牧草地	
		晩夏	冬	盛夏	晩夏
採食行動		54.90	77.45	52.65	52.70
反芻 行動	起立	8.75	12.65	13.20	13.20
	横臥	26.00	22.15	31.55	27.50
	合計	34.80	34.90	44.80	40.70
休息 行動	起立	6.10	3.75	10.50	9.60
	横臥	15.95	15.90	18.10	19.20
	合計	22.05	19.65	28.55	28.80
	飲水	0.40	0.25	0.40	0.60
	移動	2.00	3.20	2.60	2.70
総 計		114.15	136.00	126.00	125.50

1. 増体量について

Chaconら(1978)はパンゴラグラス、セタリアグラス草地にヘレフォード牛を放牧したときのそれぞれの日増体量0.46kg、0.34kgを報告した。本試験におけるパンゴラグラス放牧草地での日増体量は夏に0.74kg、秋に0.65kgの高い値であった。一方、バヒアグラス放牧草地においては夏に0.48kg、秋に0.26kgであった。この増体量の著しい差は、図6-4のパンゴラグラスの牧草供給量と図6-5の採食量がバヒアグラス放牧草地よりも多いことによるものと考えられる。すなわち、牧草供給量が放牧牛の維持エネルギーに必要な飼料要求量を上回り、生産物増加に結び付いていることを示すものである。第2章の図2-8、図2-9より牧草供給量が多いと被食量も増加しており、本試験においてもそれが認められた。

さらに、増体量に大きく関与している要因は、消化率であると思われる。in vitro消化試験においてパンゴラグラスとバヒアグラスの間に有意差は認められなかったが、ナイロンバッグ法によって直接ルーメン内にサンプルを挿入後測定したら、両者に有意差($P < 0.01$)が認められパンゴラグラス70.6%、バヒアグラス53.2%であった。このことに関して、Chaconら(1978)は春にパンゴラグラスの葉身のin vitro消化率70%を報告している。Van Soest(1965)はリグニン含量や細胞壁含量が多くなると摂取量が減少することを報告している。つまり、消化率が低下すると放牧牛の摂取量が減ることを意味している。また、亜熱帯牧草の質の劣化は環境要因、とりわけ温度に左右されることをFordら(1979)、Wilsonら(1976)、Moir(1977)らは報告している。温度が上昇するとリグニン含量細胞壁含量が増加し消化率がさがる。また、Moir(1977)らは細胞壁含量が

増加するとルーメン内の醗酵ガスが減少することも報告している。すなわち栄養価に富む基質はバクテリアの攻撃を受けてガスが多量発生するが、細胞壁の多い基質はそれに対する食いつきが悪く、ガス産生量も少ない。Wilson (1980)によると牧草の消化率は生育中に受けた環境温度が平均1℃上昇ごとに0.5~0.6%低下するとしている。本試験でも夏に牧草の消化率が低下した。Thorntonら(1973)は消化率の高い牧草は消化器管内通過速度や消化速度が早くなり、採食量が多くなることを報告している。本試験でのパンゴラグラスも消化率が高いため通過速度が速まり、採食量が増加したことも考えられる。葉面積比(SLA)に関して、Laredo(1973)はSLAの異なる草種で噛み砕くエネルギー(grinding energy)を測定しているが、草種間に有意差はなく、むしろ生育ステージの違いによる影響が強いことを指摘している。

牧草組織の解剖学的研究に関する報告は多数ある(Henderson(1982), Akin(1975, 1977, 1984, 1984), da Silva(1987), Wilson(1983, 1983, 1987))。Wilson(1983)らは消化の容易性を維管束鞘構造の違いにあるとしている。すなわち維管束鞘を取り巻く壁にsuberized lamella (コルク質のラメラ)が存在するかどうかによるとしている。Akin(1975)らはルーメン液に培養後12時間のバヒアグラス葉の切片を観察すると表皮細胞と小維管束鞘が消失せずに残っていることを報告した。このことに關して、本研究の写真5と一致していた。ただし、本研究の切片はルーメン内挿入後48時間経っているにもかかわらずまだ原形を留めていることからバヒアグラスの葉は消化が容易でないことが推測される。

2. 光エネルギー利用効率について

パンゴラグラス草地とバヒアグラス草地における可食部の植物蓄積エネルギーに有意な差は認められなかった。このことから両草とも亜熱帯性牧草(C4植物)

のため光合成能力に差はないものと推測される。しかし、光エネルギー変換効率は第4章で報告した（愛知県名古屋）1983年のパヒアグラス放牧草地での夏の最高値1.391%よりも著しく高く、本章でのパヒアグラス放牧草地の変換効率2.34~2.78%、パンゴラグラス放牧草地で2.62~3.56%であった。このことは、パンゴラグラスおよびパヒアグラスのもつ潜在能力が亜熱帯の場所（沖縄県）で発揮されたことによるものと思われる。夏における粗生産効率もパンゴラグラス、パヒアグラス、それぞれ12.9%、16.7%で高い値であった。また、増体蓄積エネルギーの効率はパンゴラグラス草地で高く0.04%であった。この値は、福山ら（1983）のオーチャードグラス草地や本研究（第4章）でのオーチャードグラス草地よりも高いか匹敵する値であった。増体量には図6-9に示した非構造的炭水化物（TNC）も関与しているものと考えられる。Wilson(1971, 1973)らは牧草の非構造的炭水化物は容易にルーメン内で醗酵しガスを生じることを報告していることからパンゴラグラスのTNCも消化され体内に取り込まれたのではないかと思われる。

3. 熱産生量について

パンゴラグラス放牧草地における冬の総熱産生量は136kcalと調査中もっとも高い値であった。これは調査時に海風が強く風速10~15mであったため、体感温度が低いことが原因していると思われる。その冬を除いてパヒアグラス放牧草地と比較すると、反芻行動による熱産生量がすくなかった。これは、前述したパンゴラグラスの高い消化率によるものと推測される。

6-4節 小 括

亜熱帯型牧草のなかでとりわけ消化率の高いバンゴラグラスを対象としてその草地とバヒアグラス草地の一次生産から二次生産までを包括的に捉えて光エネルギー利用効率の比較をおこなった。

1. 牧草供給量および採食量

バンゴラグラス放牧草地の牧草供給量は夏、秋それぞれ $589\text{g}/\text{m}^2$ 、 $738\text{g}/\text{m}^2$ 、バヒアグラス放牧草地のそれは、それぞれ $493\text{g}/\text{m}^2$ 、 $437\text{g}/\text{m}^2$ であった。採食量はバンゴラグラス放牧草地のほうがバヒアグラス放牧草地よりも多かった。

2. 増体量

バンゴラグラス放牧草地の夏、秋の日増体量は、それぞれ 0.74kg 、 0.65kg と著しく高い値であった。バヒアグラス放牧草地におけるそれは夏、秋それぞれ 0.48kg 、 0.26kg であった。

3. 光エネルギー利用効率

バンゴラグラス、バヒアグラス放牧草地における可食部の光エネルギー利用効率は著しく高く、それぞれ $2.62\sim 3.56$ 、 $2.34\sim 2.78$ であった。

4. 非構造性炭水化物 (TNC)

バンゴラグラスの可食部に含まれるTNCはバヒアグラスと比べ、約2倍高かった。

5. 葉面積比 (SLA)

バンゴラグラスおよびバヒアグラスの平均SLAはそれぞれ331cm²、186cm²でバンゴラグラスのほうが大きかった。また、バンゴラグラスのSLAは夏に小さく、秋に大きくなる傾向を示した。

6. 葉身のin vivo消化率

バンゴラグラス、バヒアグラスの葉の消化率は、それぞれ70%、53%であった。バヒアグラスの葉の切片の顕微鏡写真から消化されにくい維管束鞘細胞が多数みられた。ルーメン内挿入後のバンゴラグラスの切片は維管束鞘細胞がわずかなだけであったが、バヒアグラスのそれは表皮細胞もまだ、残っていた。

7. 放牧牛の熱産生量

放牧牛の行動に伴う総熱産生量はバンゴラグラス放牧草地のほうがバヒアグラス放牧草地よりわずかに低かった。反芻行動による熱産生量はバンゴラグラス放牧草地で低い値となった。

以上のことからバンゴラグラス草地は植物生産および家畜生産の点でバヒアグラス草地を上回っていた。その原因はバンゴラグラスの高い消化率によるものであるということが明らかになった。また、亜熱帯地域においてバヒアグラスの光利用効率は、温帯地域よりも著しく高く、C4植物のもつ潜在能力を発揮した。

本論文で放牧牛の増体量の草種間比較を行なった結果、増体量に差が認められた。草種間の増体量の違いは何だろうか。その要因を考えてみた。次に、放牧草地をひとつの生態系とみなし、そこにおける一次生産、二次生産を包括的に捉えてエネルギー換算し、亜熱帯性放牧草地と温帯性放牧草地の光エネルギー変換効率を比較検討した。そして増体に関与する要因を解析し、改善策を考えてみた。

7-1節 放牧牛の増体の比較

亜熱帯性牧草のパヒアグラス草地と温帯性牧草のオーチャードグラス草地にホルスタイン種とアバディーンアンガス種を放牧したら草地間に増体の較差が生じた。すなわち、亜熱帯性草地における放牧牛の増体量は著しく低かった。牛の品種による増体の違いは認められなかった。また、林ら（1972）も報告しているようにホルスタイン種の牛を牧草地と野草地において比較すると、牧草地のほうが増体がよかった。このことに関して、著者ら（1992）もホルスタイン種を用いてパンゴラグラス草地、パヒアグラス草地と野草地（センダングサとススキ優占草地）に放牧すると野草地<パヒアグラス草地<パンゴラグラス草地の順に増体量が高かった。

では、どうして、このように草地によって増体量は変わってくるのだろうか。放牧期間中の増体量の推移を見ると、牧草供給量が多い時期に増体量も高い、また、放牧牛の牧草被食量が多いと増体量も高いことが明らかになった。ここでわかった要因は、牧草供給量と被食量である。しかし、パヒアグラス草地はオーチャードグラス草地よりも年間を通して牧草供給量や被食量は著しく多いのに、増体量は著しく低かった。このことから牧草供給量や被食量だけではその原因を説

明できないことがわかった。では、増体量に及ぼす要因は、他に何があるのだろうか。

7-2節 消化率の草種の差

草種間における増体量の違いは牧草供給量だけでは説明できなかった。そこで、放牧草地における一次生産、二次生産をエネルギーの流れで捉えてみた。光エネルギーが全植物体に蓄積された変換効率はバヒアグラス草地で1.23%（1981年春を除く）、オーチャードグラス草地で0.73%（1981年）で、約1.7倍バヒアグラス草地が高かった。可食部における変換効率は、バヒアグラス草地0.89%（春を除く）、オーチャードグラス草地0.58%で、これもバヒアグラス草地が1.5倍高かった。亜熱帯地域で行なったバヒアグラスの可食部の光エネルギー変換効率は2.34~2.78%で温帯地域で行なった値の2~3倍であった。このことは亜熱帯という環境が亜熱帯性牧草であるバヒアグラスの潜在生産力を引き出したといえよう。

放牧牛の採食エネルギーの段階での光エネルギー変換効率はバヒアグラス草地0.595%、オーチャードグラス草地0.36%でバヒアグラス草地のほうが1.7倍高かった。可消化エネルギーの段階で変換効率は1.3倍に縮まり、バヒアグラス草地0.356%、オーチャードグラス草地0.264%であった。しかし、放牧牛の増体蓄積エネルギーの段階になるとオーチャードグラス草地がバヒアグラス草地を上回り、バヒアグラス草地の増体蓄積エネルギーはオーチャードグラス草地の約1/2であった。

次に、採食エネルギーをベースにして家畜の増体蓄積エネルギーまでの効率（採食利用率）を見てみるとバヒアグラス草地（1981年）で2.29~7.08%、オーチャードグラス草地（1981年）で4.77~20.06%の値を示した。図4-11の通年の採食利用率を比較するとバヒアグラス草地は可消化エネルギーの段階

でオーチャードグラス草地より低い値となった。そして、増体蓄積エネルギーの段階では、オーチャードグラス草地の1/2～1/3の値であった。

以上のことからパヒアグラス草地とオーチャードグラス草地の比較で、可消化エネルギー、代謝エネルギー、増体蓄積エネルギーの段階での光エネルギー変換効率の差の縮小や採食利用効率の逆転に深く関与しているのは牧草の消化率であると考えられる。このことに関しては第6章での亜熱帯牧草どうしの比較で、パンゴラグラス草地における増体量はパヒアグラス草地におけるそれよりも著しく高かった。その主な要因はパンゴラグラス牧草の高い（70％）消化率とそれに加えての非構造的炭水化物であると思われる。

さらに、放牧牛が摂取し消化した粗飼料のエネルギー（DE）のうち生産物にまわった割合を示す、粗生産効率（RE/DE）を比較すると、パヒアグラス草地で4～9％、オーチャードグラス草地で6～27％であった。この効率も加わってパヒアグラス草地とオーチャードグラス草地における放牧牛の増体量に著しい差が生じたものとおもわれる。

7-3 節 向上の方策

放牧牛の増体を向上させるための方策として下記のようなことが考えられる。

イ) パヒアグラスの頻繁な輪換放牧で利用

第5章で頻繁な刈取を行なうことによってパヒアグラスの消化率は向上した。このことを応用して、牧区面積を小さくして、あるいは面積当たりの放牧頭数を増やすかして頻繁な輪換放牧を行ない植物の生育ステージを若く保つ方法である。この方法と似たのが落合ら（1987）や塩見ら（1989）の行なった超集約放牧である。彼らは超集約放牧により著しい増体を上げたことを報告している。

ロ) 消化率の高い牧草の導入 (*Digitaria*属等)

一般に亜熱帯性牧草は消化率が悪いといわれている。しかし、第6章で報告したパンゴラグラス(*Digitaria decumbens* Steut)は消化率が著しく高く70%を示し、日増体量も夏に0.74kgの著しく高い値であった。この増体量は温帯性牧草のオーチャードグラスに劣らない値である。Okubo(1985)らは同じ*Digitaria*属のメヒシバ(*Digitaria ciliaris*)も78%の高い消化率を有することを報告した。Gotoら(1977)は生育ステージの異なるパンゴラグラスとローズグラスを使って消化試験をした結果、若いステージの草は消化率が高いことを報告した。Wilsonら(1973)は若い生育ステージ(47日)のパンゴラグラスの葉の消化率は63.8%で、古い生育ステージ(89日)の消化率は49%であることを報告している。そして、若い葉は採食量も著しく多いことを報告している。消化率の高い牧草でも草地造成を行なう上で栄養繁殖のものは作業が大変であり、種子繁殖と栄養繁殖ができる牧草が望ましい。

ハ) マメ科牧草との混播

本試験の第3章、第4章のパヒアグラス放牧草地は春にマメ科のベッチが草地を覆うほど繁茂している。この時期に牛を放牧すると著しく高い増体量が年得られた。これはベッチの消化率(葉88%、茎72%)と粗蛋白含量がひじょうに高いことによるものと思われる。パヒアグラスの生育期間は5月から10月頃までであるため、春や秋には生育停滞し、収量は望めない。しかし、本試験で使った草地は春にマメ科のベッチが旺盛に生育し、亜熱帯性牧草の季節生産性の平衡をつくりだしている。よってパヒアグラス放牧草地の牧養力はオーチャードグラス放牧草地よりも1.7倍高かった。

また、ベッチは1年生の温帯性牧草でありパヒアグラスと生育時期が異なるため互いに競合することがほとんどないものと考えられる。自然が作り出した理想的

な草地であると思われる。亜熱帯性牧草とマメ科との混播に関して、McLaren(1983)らはバミューダグラスとクローバの混播草地(0.57kg)はバミューダグラス単播草地(0.52kg)やトールフェスクとクローバ混播草地(0.52kg)よりもアバディーンアンガス去勢牛の日増体量が大きかったことを報告している。しかし、オーチャードグラスとクローバ混播草地(0.83kg)よりは小さかった。Dunavinら(1982)、Kalmbacherら(1980)はバヒアグラス草地にクローバやベッチ等のマメ科牧草を播種して単播草地よりも著しく高い収量、可消化収量、粗蛋白収量を報告している。

総 括

本研究は放牧草地をひとつの生態システムとして見なし、暖地型放牧草地と寒地型放牧草地における植物生産や放牧牛の成長を土地面積当たりのエネルギー量の動きとして捉え、両放牧草地の生産力を比較検討した。また、暖地型牧草地どうしの比較もおこなった。

試験地は名古屋大学農学部附属農場にあるバヒアグラス草地(29.1a)とオーチャードグラス草地(32.4a)で1980年から1983年間調査を行なった。放牧牛は1980年にホルスタイン種6頭とアバディーンアンガスとホルスタイン種のF1 3頭を、1981年はホルスタイン種6頭を用いた。1983年はホルスタイン種4頭の2群に分けて放牧試験を行なった。調査は被度、草丈、可食草量、地上部および地下部現存量、器官別乾物重、被食量、消化率を調べた。エネルギー要素として日射エネ

ルギー、植物蓄積エネルギー、可食部エネルギー、採食エネルギー、可消化エネルギー、増体蓄積エネルギーを実測値から計算した。

第2章で放牧による育成牛の増体量を暖地型放牧草地と寒地型放牧草地で比較した。

バヒアグラス放牧草地、オーチャードグラス放牧草地における年平均日増体量は、それぞれ0.3 kg、0.8 kgであった。また、バヒアグラス草地における日増体量は夏季に高く、秋季に低い値を示した。一方、オーチャードグラス草地のそれは、春季に高く、夏に著しく低下した。

キクグラス、バヒアグラス草地における夏、秋の日増体量は0.3~0.48 kgであるのに対して、バラグラス草地は0.84 kgであった。

バヒアグラス草地における被食量はオーチャードグラス草地より有意 ($P < 0.01$) に多かった。また、バヒアグラス草地の被食量は春と夏に多いが、秋に減少した。オーチャードグラス草地の被食量は春に多く夏に著しく減少した。バヒアグラス草地の牧草供給量はオーチャードグラス草地よりも多く安定していた。

採食量は日増体量と有意な正の相関関係が、牧草供給量とも有意な正の相関関係が認められた。

以上のことから放牧牛の日増体量には草地における牧草供給量と被食量が関係している。

第3章で暖地型牧草と寒地型牧草の放牧草地における植物生産を生長解析法を用いて比較検討した。

年間を通じての乾物現存量はバヒアグラス草地の方がオーチャードグラス草地よりも著しく多かった。

地下部も含めた全植物体重はバヒアグラスの方がオーチャードグラスよりも1.5~2倍大きかった。バヒアグラスのはふく茎重、根重は年間を通して比較的安

定していたが、オーチャードグラスの根重は激しく変動した。バヒアグラス草地のリター（植物遺体）は年間を通じて約 500 g/m^2 地表に堆積している。

バヒアグラス植物器官の分配率はほふく茎が約50%占め、さらに根を加えると60~70%が不可食部となる。

バヒアグラスの生長速度は夏に著しく高く最高値 $26.18\text{ g/m}^2/\text{day}$ を示した。オーチャードグラスは春に $16.29\text{ g/m}^2/\text{day}$ であった。

バヒアグラスの葉面積指数は春に低く、夏に高かった。バヒアグラス、オーチャードグラスの最高値はそれぞれ9.58、6.51であった。

第4章でバヒアグラス草地とオーチャードグラス草地の一次生産、二次生産を包括的に捉えるためにエネルギー量で表わし比較した。

バヒアグラス草地における全植物体の光エネルギー変換効率は高く（春を除いた）0.884~1.23%、可食部においては0.558~0.892%を示した。オーチャードグラス草地のそれは、バヒアグラス草地より低く、0.74%であった。採食エネルギーを100としたときの増体蓄積エネルギーまでの採食利用率はバヒアグラス草地、オーチャードグラス草地でそれぞれ1.29~16.12%、3.98~20.06%であった。両草地とも採食利用率は夏に低下した。3年間の平均採食利用効率はバヒアグラス草地で低く5.1%であったが、オーチャードグラス草地は11.3%であった。

バヒアグラス草地における粗生産効率は春に高く、1983年には最高値20.0%を示した。しかし、夏にもっとも低く、3年間で2~9%であった。オーチャードグラス草地における粗生産効率はバヒアグラス草地よりも著しく高く、6~14%の範囲で、1980年秋に最高値27%を示した。

以上のことから、バヒアグラス放牧草地における全植物体、可食部の光エネルギー変換効率はオーチャードグラス草地よりも著しく高い値であったにもかかわらず、採食利用効率や粗生産効率に反映しなかった。

第5章でバヒアグラスの低い消化率を向上させるために頻繁な刈草をおこなった。そして、刈草後の再生を促進させるために窒素施肥水準の効果も調べた。

葉の再生長速度は3日<6日<12日<24日刈取の順におおきかった。非同化器官である直立茎、ほふく茎、根の3日刈取は横ばい状態であった。

3日、6日、12日刈取の消化率はいずれも65%であったが、24日刈取のそれは61%であった。窒素を施肥することにより全植物体重、葉重、非同化器官は著しく増加した。窒素施肥は葉面積展開速度を速める効果があった。中窒素区と高窒素区のバヒアグラス植物体に及ぼす効果は、類似していた。

第6章で亜熱帯性牧草であるパンゴラグラス草地とバヒアグラス草地における光エネルギー変換効率の比較を行なった。

牧草供給量、被食量ともにパンゴラグラス草地のほうがバヒアグラス草地よりも多かった。

パンゴラグラス草地の夏、秋の日増体量はそれぞれ0.74、0.65 kgと著しく高い値であった。バヒアグラス草地におけるそれは夏、秋、にそれぞれ0.48、0.26 kgであった。

パンゴラグラス、バヒアグラス草地の可食部における光エネルギー変換効率は著しく高く、それぞれ2.62~3.56%、2.34~2.78%であった。

パンゴラグラスの可食部に含まれる非構造性炭水化物はバヒアグラスの約2倍の値であった。

パンゴラグラスの葉面積比、消化率はバヒアグラスよりも高かった。

パンゴラグラス草地における放牧牛の熱産生量は反芻行動時にバヒアグラス草地よりも少なかった。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、基礎的な考え方から論文のまとめに至るまで終始懇篤なる御指導を賜った東京大学農学部大久保忠旦教授に深謝いたします。また、同大学農学部森裕司助教授、武内ゆかり助手には御高配を賜り、深く御礼を申し上げます。

東京農工大学農学部附属農場黒川勇三助手にはコンピュータプログラムの御助言を頂き感謝いたします。放牧試験を手伝ってくれた琉球大学農学部畜産学科学士の糸満裕君、平山一浩君、田代隆君、原口洋一君、今屋数健君、泉昌男君に心から御礼申し上げます。また、論文執筆中、日夜、私の世話をしてくれた妻美千代と子供ながらに応援してくれた息子の萌樹に、そして、御厚情を頂いた父の故本常、母キヨ、妻の両親である野原廣和・菊枝夫妻、義兄の比嘉国男、野原薫に心から感謝いたします。

引用文献

- Adjei, M. B., Mislevy, P., and Ward, C. Y. (1980).
Response of tropical grasses to stocking rate.
Agronomy Journal, 72, 863-868.
- Agricultural Research Council (1980) The nutrient
requirements of ruminant livestock. Commonwealth
Agricultural Bureaux, Slough
- 秋山侃・高橋繁男・塩見正衛・大久保忠旦 (1981). 放牧草地のエネルギー
効率. V. 混播放牧草地における乾物生産の季節的、年次的推移. 草地試
験場研究報告(20), 20-41.
- 秋山侃・塩見正衛・高橋繁男・萬田富治・村井勝・畠中哲哉 (1984). 耕地およ
び採草地の飼料生産過程におけるエネルギー利用効率. 日草誌, 30(1),
49-58.
- Akin, D. E., and Burdick, D. (1975). Percentage of tissue type in
tropical and temperate grass leaf blades and degradation of tissues
by rumen microorganisms. Crop Science, 15, 661-668.
- Akin, D. E., and Burdick, D. (1977). Rumen microbial
degradation of starch-containing bundle sheath cell in warm-season
grasses. Crop Science, 17, 529-533.
- Beaty, E. R., Powell, J. D., Brown, R. H., and Ethredge, W. J.
(1962). Effect of nitrogen rate and clipping frequency on yield of
Pensacola bahiagrass. Agronomy Journal, 32, 3-4.
- Beaty, E. R., Stanley, R. L., and Powell, J. (1968). Effect of height

- of cut on yield of Pensacola bahiagrass. *Agronomy Journal*, 60, 356-358.
- Beaty, E. R., and Tan, K. H. (1971). Pensacola bahiagrass. J. Series paper No. 1078 Uni. Georgia college of Agric. Exper. Sta., 38-40.
- Beaty, E. R., Smith, Y. C., and Powell, J. (1974).
Response of Pensacola bahiagrass to irrigation and time of N.
fertilization. *J. Range Management*, 27(5), 394-396.
- Beaty, E. R., Tan, K. H., McCreery, R. A., and Jones, J. B. (1975).
Root-herbage production and nutrient uptake and retention by
bermudagrass and bahiagrass. *J. Range Management*, 28(5), 385-
388.
- Beaty, E. R., Tan, K. H., McCreery, R. A., Edwards, J. H., Jr., and
Stanley, R. L. (1976). Returned clippings and N fertilization on
bahiagrass herbage production and nitrogen and organic matter
contents of soil. *Agronomy Journal*, 68, 384-387.
- Beaty, E. R., Engel, J. L., and Powell, J. D. (1977). Yield, leaf
growth, and tillering in bahiagrass by N rate and season.
Agronomy Journal, 69, 308-311.
- Beaty, E. R., Tan, K. H., McCreery, R. A., and Powell, J. D. (1980).
Yield and N content of closely clipped bahiagrass as affected by N
treatments. *Agronomy Journal*, 72, 56-60.
- Brown, R. H. (1985). Growth of C₃ and C₄ grasses under low N levels.
Crop Science, 25, 954-957.
- Chacon, E. A., Stobbs, T. H., and Dale, M. B. (1978).
Influence of sward characteristics on grazing behaviour and growth

- of Hereford steers grazing tropical grass pastures. Aust. J. Agric. Res., 29, 89-102.
- da Silva, J. H. S., Johnson, W. L., Burns, J. C., and Anderson, C. E. (1987). Growth and environment effect on anatomy and quality of temperate and subtropical forage grasses. Crop Science, 27, 1266-1273.
- Dunavin, L. S. (1982). Vetch and clover overseeded on a bahiagrass sod. Agronomy Journal, 74, 793-796.
- Ebersohn, J. P., and Moir, K. W. (1984). Effect of pasture growth rate on live-weight gain of grazing beef cattle. J. Agric. Sci. Camb., 102, 265-268.
- 江原薫・田中重行 (1961). 暖地型および寒地型牧草の生育並びに化学成分に及ぼす温度の影響. 日作記, 29, 304-306.
- 江原薫・三好環・水城光男・池田一 (1965). 牧草の再生に関する生理・生態学的研究. 第3報 肥料3要素および窒素施用の時期がバヒアグラス (*Paspalum notatum* Flugge) の再生におよぼす影響. 日草誌, 11(3), 105-113.
- 江原薫・佐々木統治・池田一・名田陽一 (1965). 牧草の再生に関する生理・生態学的研究. 第2報 バヒアグラスおよびオーチャードグラスの暗黒下における再生に及ぼす貯蔵養分、温度、光および植物養分の影響. 日草誌, 10(3), 221-225.
- 江原薫・三好環・水城光男・池田一 (1966). 牧草の再生に関する生理・生態学的研究. 第3報 肥料3要素および窒素施用の時期がバヒアグラス (*Paspalum notatum* Flugge) の再生に及ぼす影響. 日草誌, 11(3), 105-113.

江原薫・山田芳雄・前野休明 (1966). 牧草の再生に関する生理生態学的研究.

第4報 $C^{14}O_2$ 利用によるパヒアグラスの初期再生過程における貯蔵養分の利用の証明. 日草誌, 11(4), 1-4.

江原薫・前野休明 (1966). 牧草の再生に関する生理生態学的研究

第5報 パヒアグラス (*Paspalum notatum* Flugge) およびイタリアンライグラス (*Lolium multiflorum* Lam.) の再生における貯蔵養分の利用に
およぼす光の影響. 日草誌, 12(1), 5-8.

江原薫・前野休明 (1966). 牧草の再生に関する生理生態学的研究

第6報 2、3 牧草の初期再生における貯蔵養分の利用率および再生利用率. 日草誌, 12(1), 9-13.

Edye, L. A., Williams, W. T., and Winter, W. H. (1978).

Seasonal relations between animal gain, pasture production and
stocking rate on two tropical grass-legume pasture. Aust. J. Agric.
Res., 29, 103-113.

FAO (1992), FAO quarterly bulletin of STATISTICS, p. 34-37.

福山正隆・嶋村匡俊・牛山正昭・及川棟雄 (1980). 放牧草地における物質生産
とエネルギー効率. I. 経年オーチャードグラス草地の一次生産. 日草
誌, 26(1), 26-35.

福山正隆・嶋村匡俊・牛山正昭・及川棟雄・富井光一 (1983). 放牧草地におけ
る物質生産とエネルギー効率. 第2報 経年オーチャードグラス草地のエ
ネルギー効率. 日草誌, 28(4), 383-394.

福山正隆・嶋村匡俊・牛山正昭・及川棟雄 (1984). 短草型草地の特性の解明.

II. 短草型及び長草型草地の形成過程の解析. 草地試験場研究報告(28), 96-
107.

Ford, C. W., and Williams, W. T. (1973). In vitro digestibility and

- carbohydrate composition of *Digitaria Decumbens* and *Setaria* *Anceps* grown at different levels of nitrogenous fertilizer. *Aust. J. Agric. Res.*, 24, 309-316.
- Ford, C. W., Morrison, I. M., and Wilson, J. R. (1979). Temperature effects on lignin, hemicellulose and cellulose in tropical and temperate grasses. *Aust. J. Agric. Res.*, 30, 621-633.
- Goto, I., and Minson, D. J. (1977). The potential digestibility of leaf and stem fraction of grasses. *J. Agric. Sci. Camb.*, 89, 143-149.
- Goto, I., and Minson, D. J. (1977). Prediction of the dry matter digestibility of tropical grasses using a pepsin-cellulase assay. *Animal Feed Science and Technology*, 2, 247-253.
- Hatt, R. H., Carlson, G. E., and McCloud, D. E. (1971). Cumulative effects of cutting management on forage yields and tiller densities of tall fescue and orchardgrass. *Agronomy Journal*, 63, 895-898.
- Henderson, M. S., and Robinson, D. L. (1982). Environmental influences on yield and in vitro true digestibility of warm-season perennial grasses and the relationships to fiber components. *Agronomy Journal*, 74, 943-946.
- Hirata, M., Sugimoto, Y., and Ueno, M. (1986). Energy and matter flows in bahiagrass pasture.
- I. Seasonal changes in dry matter weight and structure of sward. *J. Japan. Grssl. Sci.*, 31(4), 377-386.
- Hirata, M., Sugimoto, Y., and Ueno, M. (1989). Productivity and energy efficiency of bahiagrass (*Paspalum notatum* Flugge)

- I. Energy mass of plant and litter, net primary production, and efficiency for solar energy utilization. Bull. Fac. Agric. Miyazaki Univ., 36(1), 231-237.
- Hirata, M., Sugimoto, M., and Ueno, M. (1989). Productivity and energy efficiency of bahiagrass (*Paspalum notatum* Flugge). II. Herbage intake of grazing cattle. Bull. Fac. Agric. Miyazaki Univ., 36(1), 239-244.
- Hirata, M., Sugimoto, Y., and Ueno, M. (1989). Productivity and energy efficiency of bahiagrass (*Paspalum notatum* Flugge) pasture. I. Energy mass of plant and litter, net primary production, and efficiency for solar energy utilization. Bull. Fac. Agri. Miyazaki Univ., 36(1), 231-237.
- Hirata, M., Sugimoto, Y., and Ueno, M. (1990). Relations of aboveground plant dry weight, leaf area index and their vertical distribution to sward height in before-grazing canopy of bahiagrass pasture. Bull. Fac. Agric. Miyazaki Univ., 37(1), 97-108.
- Hirata, M., Sugimoto, Y., and Ueno, M. (1990). Productivity and energy efficiency of bahiagrass (*Paspalum notatum* Flugge). III. Rate of increase in energy mass of plant parts. Bull. Fac. Agric. Miyazaki Univ., 36(2), 383-390.
- Hirata, M., Sugimoto, Y., and Ueno, M. (1990). Productivity and energy efficiency of bahiagrass (*Paspalum notatum* Flugge). IV. Relations between energy flows through the producer. Bull. Fac. Agric. Miyazaki Univ., 37(1), 109-114.
- 平田昌彦 (1989). 暖地型牧草の導入・利用上の技術的諸問題

- バヒアグラスの放牧草地における葉身の生長と消費. 日草九支報, 19(1), 35-42.
- Hodgson, J., Rodriguez Capriles, J. M., and Fenlon, J. S. (1977). The influence of sward characteristics on the herbage intake of grazing calves. *J. Agric. Sci. Camb.*, 89, 743-750.
- Hoveland, C. S., McCormick, R. F., Jr., Carden, E. L., Rodriguez-Kabana, R., and Shelton, J. T. (1978). Maintaining tall fescue stands in association with bahiagrass. *Agronomy Journal*, 70, 649-652.
- Hoveland, C. S., Anthony, W. B., McGuire, J. A., and Starling, J. G. (1978). Beef cow-calf performance on coastal bermudagrass overseeded with winter annual clovers and grasses. *Agronomy Journal*, 70, 418-420.
- 林兼六・太田実・伊沢健・照屋善吉・竹内三郎 (1967). 牛の放牧による肉生産に関する研究. II. 若令肥育における春子および秋子の全放牧による増体比較. 日畜会報, 38(8), 345-350.
- 林兼六・小田島守・伊沢健 (1979). 野草地と牧草地の放牧条件が2品種(黒毛和種およびホルスタイン種)去勢牛の増体に及ぼす影響. 日草誌, 24(4) 353-357.
- 岩崎和雄 (1988). 乳牛と肉牛のエネルギー代謝研究と飼養標準への応用. 畜産の研究, 42(2), 17-20.
- 猪ノ坂正之・伊藤浩司・沼口寛次・平川静馬 (1973). 暖地型牧草の越冬性に関する研究. 第1報 播種期を変えて秋播きしたダリスグラス (*Paspalum dilatatum* Poir.) 及びバヒアグラス (*Paspalum notatum* Flugge.) の初冬に至るまでの乾物の生産および分配. 日草誌, 19(1), 77-84.

- Kalmbacher, R. S., Mislevy, P., and Martin, F. G. (1980). Sod-seeding bahiagrass in winter with three temperature legumes. *Agronomy Journal*, 72, 114-118.
- 亀岡暉一・吉田実・窪田大作・高橋正也 (1957). 消化率測定指示物質としての酸化クロムの定量について. 農技研報告, G 13, 67-72.
- 窪田博弥・大脇精一・柄本康・横山三千男 (1983). 暖地における放牧利用型草地の生産利用技術. 九州農業研究(45), 168.
- 熊井清雄 (1977). 光合成速度における寒地型牧草と暖地型牧草の差異. 日本草地学会, 23(2), 108-113.
- 黒川勇三・大久保忠旦・松井寛二・持丸均 (1991). トールフェスク (*Festuca arundinacea* Schreb.) 放牧草地における牧草の供給から放牧牛による増体蓄積までのエネルギー効率. 日草誌, 36(3), 238-246.
- 小山信明・塩見正衛・築城幹典 (1991). 放牧草地における牧草及び野草の消化率の季節変化を表すモデル. 日草誌, 37(1), 76-83.
- King, J., Lamb, W. I. C., and McGregor, M. T. (1979). Regrowth of ryegrass swards subject to different cutting regimes and stocking densities. *Grass and Forage Sci.*, 34, 107-118.
- Kretschmer, A. E., Jr., and Snyder, G. H. (1978). Pasture production in acid soils of the tropics. *Proceedings of a Seminar*, (pp. 227-258). Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
- Laredo, M. A., and Minson, D. J. (1973). The voluntary intake, digestibility, and retention time by sheep of leaf and stem fractions of five grasses. *Aust. J. Agric. Res.*, 24, 875-888.
- Ludlow, M. M., and Wilson, G. L. (1971). Photosynthesis of tropical pasture plants. *Aust. J. biol. Sci.*, 24, 1077-1087.

McLean, J. A. (1972). On the calculation of heat production from open circuit calorimetric measurements. *Br. J. Nutr.*, 27, 597-600.

三秋 尚・田中重行・川村修 (1981). 砂丘地バヒアグラス草地の牧養力と飼草の栄養価の季節変化. 宮大農学報, 28(1), 71-84.

正岡淑邦・高野信雄 (1985). 暖地型飼料作物の細胞壁消化率の草種間差異. 日草誌, 31(1), 110-116.

前野休明・江原薫 (1970). 牧草の再生に関する生理・生態学的研究
第10報 牧草の再生に及ぼす温度の影響. 日草誌, 16(2), 136-140.

前野休明・江原薫 (1970). 牧草の再生に関する生理・生態学的研究
第11報 牧草の再生に及ぼす窒素追肥の影響. 日草誌, 16(2), 141-144.

前野休明・江原薫 (1970). 牧草の再生に関する生理・生態学的研究
第12報 刈株の諸形質と再生との関係についての考察. 日草誌, 16(3), 149-155.

前野休明・江原薫 (1970). 牧草の再生に関する生理・生態学的研究
第13報 貯蔵物質の利用効率と再生力との関係について. 日草誌, 16(3), 156-161.

前野休明・江原薫 (1970). 牧草の再生に関する生理・生態学的研究
第14報 貯蔵物質の利用効率に影響する要因について. 日草誌, 16(3), 162-167.

増田泰久 (1972). 暖地型牧草の飼料価値. 日草九支報, 3(1), 25-33.

Miaki, T., Tanisake, M., Ando, K., and Kawakami, A. (1970).
Studies on chemical composition and feeding value of forage crops. XV. Effect of clipping on the forage production and feeding value of Pensacola bahiagrass. *J. Japan. Grassl. Sci.*, 16(3), 198-202.

- Middleton, C. H. (1982). Dry matter and nitrogen changes in five tropical grasses as influenced by cutting height and frequency. *Tropical Grasslands*, 16(3), 112-117.
- Mislevy, P., and Everett, P. H. (1981). Subtropical grass species response to different irrigation and harvest regimes. *Agronomy Journal*, 73, 601-604.
- Moe, P. W., and Tyrrell, H. F. (1973). The rationale of various energy systems for ruminants. 37, 1, 183-189.
- Moir, K. W., Wilson, J. R., and Blight, G. W. (1977). The in vitro digested cell wall and fermentation characteristics of grasses as affected by temperature and humidity during their growth. *J. Agric. Sci., Camb.*, 88, 217-222.
- Mowat, D. N., Christie, B. R., and Winch, J. E. (1965). The in vitro digestibility of plant parts of orchardgrass clones with advancing stages of maturity. *Can. J. Plant Sci.*, 45, 503-507.
- 農林水産省九州農業試験場研究資料第63号 (1983). 暖地型牧草導入種の解説
- 岡嶋毅・大久保忠旦・佳山良正・菊池正武 (1985). レッドトップ放牧草地の物質生産. 1. 乾物生産の季節的推移と多量窒素施肥の影響. *日草誌*, 31(3), 297-307.
- 大久保忠旦・大泉久一・星野正生・松本フミエ (1969). 草地生態系のエネルギー効率. 第1報 数種牧草群落の乾物生産と光利用効率. *日草誌*, 15(2), 138-149.
- 大久保忠旦 (1971). エネルギー論的にみた牧草生産. 東京: 養賢堂.
- 大久保忠旦・高橋繁男・秋山侃・井上楊一郎・岩元守男 (1977). 放牧草地のエネルギー効率. 第2報 シバ型草地の物質生産と光利用効率の季節的推移

一禁牧した場合. 日草誌, 23(1), 30-42.

大山一夫・佐藤博保 (1979). 暖地型牧草の特性に関する研究

第5報 生産構造について. 九州農業研究(41), 147.

Okubo, T., Hirosaki, S., and Okuno, T. (1975). A model for plant-growth under grazing condition. Tokyo: JIBP Synthesis.

Okubo, T., Hirosaki, S., Takahashi, S., and Akiyama, T. (1977). A model for seasonal changes in productivity and solar energy utilization of grazing pasture. JARQ, 11(4), 221-227.

Okubo, T., Hirakawa, M., Okajima, T., and Kayama, R. (1985). Energy efficiency of primary and secondary production in grazed pasture of *Dactylis glomerata* as compared with those of *Paspalum notatum*. In XV IGC, (pp. 736-738). Kyoto:

Phillipson, J. (1966). Ecological energetics

生態系とエネルギー (清水誠, 訳). Edward Arnold.

Rodriguez, M., Blue, W. G., and Moore, J. E. (1973).

Nutritive value of *Pensacola bahiagrass* stolons. Agronomy Journal, 65, 786-788.

Sampaio, E. V. S. B., Beaty, E. R., and Ashley, D. A. (1976).

Bahiagrass regrowth and physiological aging. J. Range Management, 29(4), 316-319.

Sampaio, E. V. S. B. (1976). Morphology and growth of bahiagrass at three rates of nitrogen. Agronomy Journal, 68, 379-381.

杉本安寛・仁木巖雄 (1975). 施肥窒素に対する牧草の反応に関する研究

I. 数種暖地型牧草の施肥窒素に対する反応の差異について. 日草誌, 21(3), 194-198.

杉本安寛・仁木厳雄 (1977). 施肥窒素に対する牧草の反応に関する研究

II. 数種暖地型牧草幼植物の RGR、NAR、LAR および RLGR によ
よはす窒素施肥の影響。日草誌, 23(2), 114-119.

杉本安寛・仁木厳雄 (1979). 施肥窒素に対する牧草の反応に関する研究

III. 数種暖地型牧草の光合成に及ぼす窒素施肥量、葉身窒素含有率および
クロロフィル含有量の影響。日草誌, 25(2), 121-127.

杉本安寛・仁木厳雄 (1981). 施肥窒素に対する牧草の反応に関する研究

V. 数種暖地型牧草の窒素吸収速度および吸収窒素の葉身への取込み
における草種間差異について。日草誌, 27(1), 25-30.

沢村浩・名田陽一 (1985). バヒアグラス、ダリスグラス、トールフェスク

草地における放牧牛の採食量。九州農業研究(47), 181.

Shiyomi, M., Takahashi, S., and Akiyama, T. (1982). A

preliminary simulation model of grazing pasture
ecosystem. Bull. Natl. Grassl. Res. Inst.(22), 27-43.

Stanley, R. L., Beaty, E. R., and Powell, J. D. (1977). Forage yield

and percent cell wall constituents of Pensacola bahiagrass as
related to N fertilization and clipping height. Agronomy Journal,
69, 501-504.

Stobbs, T. H. (1973). The effect of plants structure on the intake of

tropical pastures. II. Differences in sward structure, nutritive
value, and bite size of animals grazing *Setaria Anceps* and *Chloris*
Gayana at various stages. Aust. J. Agric. Res., 24, 821-829.

Tan, K. H., Beaty, E. R., and McCreery, R. A. (1975).

Differential effect of bermuda and bahiagrasses on soil chemical
characteristics. Agronomy Journal, 67, 407-411.

高橋繁男・大久保忠旦・秋山侃・塩見正衛 (1981). 放牧草地のシステム分析.

I. 草量および被食量の決定に関する要因. 草地試験場研究報告(18), 13-26.

高橋繁男・秋山侃・大久保忠旦・塩見正衛 (1981). 放牧育成牛の採食草量に及ぼす草量と葉部量の影響. 日草誌, 27(1), 114-120.

高橋繁男・秋山侃・塩見正衛・大久保忠旦 (1984). 混播放牧草地における数種牧草の茎葉別乾物消化率の季節変動. 日草誌, 30(3), 264-268.

Utley, P. R., Marchant, W., and McCormick, W. C. (1976).

Evaluation of annual grass forages in prepared seedbeds and overseeded into perennial sods. *Journal of Animal Science*, 42(1), 16-20.

Van Soest, P. J. (1965). Symposium on factors influencing the

voluntary intake of herbage by ruminants: Voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. *J. Animal Science*, 24, 834-843.

Wilson, J. R. (1976). Temperature and atmospheric

humidity effects on cell wall content and dry matter digestibility of some tropical and temperate grasses. *N. Z. J. Agric. Res.*, 19, 41-46.

Wilson, J. R., and Minson, D. J. (1980). Prospects for improving the

digestibility and intake of tropical grasses. *Tropical Grassland*, 14(3), 253-259.

Wilson, J. R., Brown, R. H., and Windham, W. R. (1983).

Influence of leaf anatomy on the dry matter digestibility of C_3 , C_4 , and C_3/C_4 intermediate type of *Panicum* species. *Crop*

Science, 23, 141-146.

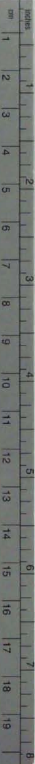
Wilson, J. R., and Hattersley, P. W. (1983). In vitro digestion of bundle sheath cells in rumen fluid and its relation to the suberized lamella and C4 photosynthetic type in *Panicum* species. Grass and Forage Science, 38, 219-223.

Wilson, J. R., and Hacker, J. B. (1987). Comparative digestibility and anatomy of some sympatric C3 and C4 arid zone grasses. Aust. J. Agric. Res., 38, 287-295.

山本禎紀 (1980). 家畜の心拍数連続測定による熱発生量推定方法の検討.

栄養生理研究会報, 24, 59-73.





Kodak Color Control Patches

© Kodak, 2007 TM Kodak

Blue	Cyan	Green	Yellow	Red	Magenta	White	3/Color	Black

Kodak Gray Scale



© Kodak, 2007 TM Kodak

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

