

琉球大学学術リポジトリ

熱帯・亜熱帯地域の草地における高位生産型放牧システムの開発と窒素動態に関する研究

メタデータ	言語: 出版者: 川本康博 公開日: 2009-08-04 キーワード (Ja): 窒素動態, ジャイアントスターグラス, 草地, 放牧システム, パンゴラグラス, 放牧 キーワード (En): Nitrogen dynamics, Pasture, Giant stargrass, Grazing system 作成者: 川本, 康博, Kawamoto, Yasuhiro メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/11708

第3章 ジャイアントスターグラス放牧草地における

施肥窒素由来の窒素動態

本章では強放牧および弱放牧の2水準の放牧強度が本地域のジャイアントスターグラス放牧草地における施肥窒素の植物体利用効率を含む窒素動態について ^{15}N 標識窒素を用いたトレーサー試験(日本土壤肥料学会, 1990)を実施し, 本地域の放牧地における効率的な窒素施肥の動態を知ることが目的に圃場試験を行った。

材料および方法

試験は沖縄県石垣市にある沖縄県肉用牛生産供給公社の造成後約20年経過したジャイアントスターグラス(*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst, 以下Gs)放牧草地で行った。放牧草地の土壌は表層より約5cmまではリターなどの有機物に富むが, 深度約1mまでは強酸性の国頭マーヅ土壌(赤黄色土, pH4.72)の層が分布している。

異なる放牧強度条件下での ^{15}N を指標とする施肥窒素の動態を検討するため, 2001年10月から翌年3月までの半年間(以下, 前期)と, 2002年4月から同年12月までの9ヵ月間(以下, 後期)の2期にわたる調査を行った。全放牧期間の放牧強度を強放牧と弱放牧の2水準に設定するため, 強放牧の草地には黒毛和種繁殖雌牛23頭(425±57kg)とそれぞれの分娩子牛(57±16kg)の群, 弱放牧の草地には黒毛和種繁殖雌牛17頭(453±43kg)と分娩子牛(27±4kg)の群をそれぞれ配置し, 放牧期間および休

牧期間をいずれの牧区ともに 4-6 日および約 30 日で輪換放牧した。なお、各牧区の面積は 0.5ha であり、1 群はそれぞれ 7 牧区で輪換されるが、放牧強度の調整のために、さらに予備区を設けた。放牧牛には、毎朝、補助飼料として 1 日 1 頭当たり約 0.7kg のふすまを給与した。結果的には強放牧と弱放牧の放牧強度は、それぞれ 6.6 頭/ha と 4.9 頭/ha となった。以下それぞれの草地を強放牧区および弱放牧区として示した。

強放牧区と弱放牧区のそれぞれの牧区内の 4 箇所について、内径 30 cm (0.07065 m²)、深さ 30 cm の塩化ビニール製パイプ(以下、塩ビパイプ)を地際から 30 cm の深さに埋め込み、¹⁵N 標識窒素を施用する区を設置した。なお、塩ビパイプ内の中心には Gs がすでに定着している状態にするため、傷つけないように注意深く設置した。また、放牧牛による被食防止のため、塩ビパイプを中心に約 2m × 2m の枠内を電気牧柵で囲んだ。

試験期間における ¹⁵N による施肥窒素利用効率を求めるために施用した購入肥料は、N, P205 および K20 それぞれ 18%, 10% および 14% 含有する。窒素成分のうち、11% はアンモニア性窒素、9% は尿素態窒素であるため、それぞれの窒素成分の 10% 分を 50atom% ¹⁵N 硫安 (21%N) と 50atom% ¹⁵N 尿素 (46%N) で代替し ¹⁵N 混合肥料を調製した。すなわち、¹⁵N 混合肥料は、購入肥料、¹⁵N 硫安 および ¹⁵N 尿素をそれぞれ m² 当たり 18.0g, 1.05g および 0.30g をそれぞれ混合し施用した。本試験で施用した ¹⁵N 混合肥料の窒素成分や ¹⁵N excess 量については表 5-1 に示した通りである。¹⁵N 混合肥料の施用は、2001 年 10 月～翌年 3 月の期間で

は 1 ヶ月間隔，2002 年 4 月～12 月では 2 ヶ月間隔でそれぞれ行った。

なお， ^{15}N 施用区以外の各牧区の草地には，通常の購入肥料を退牧後 a 当たり窒素の要素量として塩ビパイプ内と同様に 0.30kg を施用した。

これまで行った放牧強度の試験から強放牧と弱放牧の退牧時の草冠を参考にし，塩ビパイプ内の刈取り調査は，入牧直前に強放牧区では地際から 10 cm，弱放牧区では地際から 20 cm の高さで行った。刈取った試料は生重を測定し，70℃で 48 時間通風乾燥し乾物重を求めた後，1 mm の篩を通るように粉碎し分析に供した。最終刈取りの 2001 年 3 月および同年 12 月には地上部の他に残株，根および土壌の採取を行い，残株および根については地上部と同様の処理を施した。採取土壌は常温で乾燥させ 1 mm の篩にかけた試料を分析に用いた。 ^{15}N および全窒素含量の分析は，昭光通商株式会社杉戸研究所に依頼した。なお，本試験における ^{15}N の回収率および $^{15}\text{N}_{\text{excess}}$ 量は以下の式を用いてそれぞれの採取試料について算出した。

$$^{15}\text{N}\text{回収率} = ^{15}\text{N}_{\text{excess}}\text{量} / \text{土壌中への } ^{15}\text{N}\text{投入量} \times 100$$

$$^{15}\text{N}_{\text{excess}}\text{量} = \text{乾物重} \times \text{全窒素含有量} \times ^{15}\text{N}_{\text{excess}}\%$$

ただし， $^{15}\text{N}_{\text{excess}}\%$ は自然界に存在する $^{15}\text{N}_{\text{excess}}\%$ (平均 0.371%)を差し引いた値を用いた。

結 果

試験期間中の塩ビパイプ内で採取した地上部収穫部における乾物重の推移を図 3-1 に示した。地上部収穫部はいずれの放牧強度とも 1 月ま

たは 2 月にかけて低く推移し、その後徐々に増加し、6 月の最高値を境に徐々に低下する傾向を示した。試験開始時の 2001 年 10 月から翌年 7 月までは強放牧で高く推移したが、8 月には弱放牧が高く推移する傾向を示した。

地上部の施肥窒素由来の ^{15}N 利用効率について、2001 年 10 月から 3 月の前期における ^{15}N 回収率を表 3-2 に、2002 年 4 月から 2002 年 12 月の後期における ^{15}N 回収率を表 3-3 にそれぞれ示した。地上部、すなわち放牧家畜に採食可能な収穫部の ^{15}N 回収率は、季節によって異なり、冬季を含む前期では 10-41% の範囲内で推移し、夏季を含む後期では 20-43% の範囲内で推移した。月ごとにその変動を比較すると、試験開始月の 10 月を除いて気温が低下する 1 月の ^{15}N の回収率が低い傾向を示し、強放牧と弱放牧の平均値で 16% となり、4-5 月では最も高い 43% の値となった。放牧強度ごとに比較すると、前期では強放牧で高い傾向を示し、後期では弱放牧でやや高い傾向を示した。次に、収穫部における ^{15}N の回収率と平均気温との関係について図 3-2 に示した。 ^{15}N の回収率は平均気温が 25°C 付近では高くなる傾向を示し、平均気温が 25°C 以下の低温時あるいは 30°C 付近の高温時には低下する傾向を示した。

調査期間 15 ヶ月の ^{15}N 回収量を採取した全部位ごとに算出し、また、植物-土壌系での ^{15}N 回収率も併せて表 5-3 に示した。 ^{15}N 回収量は放牧強度の違いによりそれぞれ異なり、強放牧の ^{15}N 回収量は地上部収穫部で最も高く、次いで、土壌、残株および根の順となった。弱放牧では土壌、地上部、残株および根の順に高い値を示した。年間の植物-土壌

系での合計 ^{15}N 回収量は、強放牧および弱放牧でそれぞれ 890 mg/m^2 および 1376 mg/m^2 となり弱放牧で高くなった。年間の植物-土壌系での ^{15}N 回収率は強放牧で 42.2%，弱放牧で 65.2% となった。

考 察

弱放牧(4.9頭/ha)と強放牧(6.6頭/ha)の異なる放牧強度がGs放牧草地の施肥窒素由来の窒素の動態に及ぼす影響について ^{15}N 標識窒素を用いたトレーサー試験によって明らかにした。その結果、Gsの放牧地における地上部の ^{15}N の回収率は年間を通じて10-43%の範囲内にあり、バヒアグラス放牧草地の28-35%(杉本ら,1994)と比較して全期間を通じてほぼ同水準の値と考えられ、冬季においては低く、夏季においては高くなる傾向にあった。乳用育成牛を用いたバヒアグラス放牧草地におけるエネルギーと物質の流れを明らかにした杉本ら(1987)によると、季節によって植物体の窒素吸収量が異なり、冬季で低くなると報告している。本試験における ^{15}N の回収率から同じことが推察され、このことは気温の低下によって生育が停滞する暖地型イネ科牧草の特徴に起因するものと考えられる。すなわち、夏季においては窒素施肥がGsの生育を促進させる要因(Henzell,1963; Wilson and Haydock,1971b; Bishop,1977; Ryle, 1969)となり、生産量が増収し ^{15}N の回収率、すなわち、窒素の利用率を高めたものと考えられた。しかし、冬季においては気温が低下することで生育が停滞し、窒素施肥を行ってもその生長を促進する要因とならない。本県における暖地型牧草地においては窒素施肥によって乾物収量が高めることが知られているが(宮城,1983;新城・星野,1990;知

念ら, 2001), 冬季では窒素施肥によって牧草中の窒素含有率を高めるものの, 乾物収量の増加には結びつかず (Henzell and Oxenbam, 1964), ^{15}N の回収率, すなわち, 施肥窒素の利用率を低下させたものと考えられた. このことから, 前章で提唱したように, 冬季における窒素施肥量の低減は, 効率的な乾物生産の面だけでなく, 窒素の動態の面からも必要な草地管理方法であるといえる.

次に, 放牧強度が施肥窒素の動態に及ぼす影響について年間の部位別の ^{15}N 回収量から検討した. その結果, 年間における全体の ^{15}N 回収量は, 強放牧 (890.7 mg/m^2) より弱放牧 (1376.1 mg/m^2) で高くなり, 植物-土壌系の全体の ^{15}N 回収率についても強放牧 (42%) より弱放牧 (65%) で高くなった. 言い換えれば, 本試験結果は強放牧では 58%, 弱放牧では 35%の施肥窒素が放牧地の圏外へ揮発, 溶脱, 流亡および脱窒していることが推察された. Gs 放牧草地においては弱放牧が強放牧よりも窒素利用が効率的に行われているように見受けられる. しかしながら, 放牧強度別で ^{15}N の蓄積部位を検討してみると, 強放牧では家畜の採食部位(地上部)が全体の 61%を占めるが, 弱放牧ではわずか 35%しかなく, ほとんどが土壌中(57%)での回収となった. すなわち, 杉本ら(1987)が年間を通じた植物体の窒素吸収量の約 80%が土壌窒素に由来すると指摘したように, 弱放牧では本来乾物生産のために利用すべき植物の窒素利用量が少ないために, 1 回の施肥で利用されなかった ^{15}N 量そのまま土壌中に蓄積されたと考えられた. 同一量の施肥条件にも関わらず, 弱放牧では冬季期間の 10 月から翌年 2 月までの長期にわたり地上部での

^{15}N 回収率が10%程度で推移したが、夏季に入るとその値が40%を越え、6-7月には強放牧よりも高くなったことから、冬季で利用されずに蓄積されていた土壌中窒素を夏季における牧草の生理的進行のために、急激な窒素利用が行われた結果と推察された。すなわち、本試験結果で示された弱放牧での高い ^{15}N 回収量および ^{15}N 回収率については、土壌-植物系の中では回収されたものの、効率的な利用によるものではなく、むしろ非効率的な放牧利用が行われた結果によるものと推察された。Impithuksa and Blue (1985)の試験では、Gsの植物-土壌系における ^{15}N 回収率が70%あったと報告していることから、本地域の気象あるいは放牧地の立地条件を考慮せずとも、Gsは本来、土壌窒素をより有効に利用する草種であることが推察され、放牧方法の如何によって施肥窒素の利用率を高めることが推察された。

以上のことから、本地域のGs放牧草地においては冬季では施肥窒素の約10-20%が、夏季では施肥窒素の約20-40%が収穫部あるいは採食部に利用され、年間の窒素利用効率は約20-33%であることが明らかとなった。また、本地域のGs放牧草地は年間を通じて施肥窒素の35-58%が植物-土壌圏外へ排出される窒素循環を示しているが、植物が利用した窒素については、年間を通じて強放牧での放牧管理がその効率的な利用と窒素循環の面から有効な草地管理方法であることが示唆された。

表3-1. ¹⁵N混合肥料の窒素含有率, ¹⁵N excess%および¹⁵N excess量

窒素含有率 (%)	¹⁵ N excess% ¹⁾ (%)	¹⁵ N excess量 (mg ¹⁵ N/m ²)
19.07	5.72	210.98

1) 実際の¹⁵N混合肥料の¹⁵N excess%(6.09%)から自然界に存在する

表3-2. 2001年10月から2002年3月までにおける収穫部の¹⁵N回収率(%)

放牧強度	収穫部						全体 ¹⁾
	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
強放牧	10.3	16.3	27.4	17.8	32.5	41.1	24.2
弱放牧	11.5	16.7	19.2	15.3	16.8	21.3	16.8
平均	10.9	16.5	23.3	16.6	24.7	31.2	20.5

注) 冬季における¹⁵Nの施与は刈取り後毎回行った。

1) 6ヵ月間に地上部で回収された全¹⁵N excess量を全¹⁵N投入量で除した値。

表3-3. 2002年4月から2002年12月までの収穫部の¹⁵N回収率(%)

放牧強度	収穫部				全体
	4-5月	6-7月	8-9月	10-12月 ¹⁾	
強放牧	43.3	33.7	20.7	29.2	31.7
弱放牧	43.1	39.2	25.6	27.4	33.8
平均	43.2	36.5	23.2	28.3	32.8

注) 夏季における¹⁵Nの施与は2ヶ月間隔で4,6,8および10月に行った。

1) 10,11,12月の3ヵ月の地上部の合計から算出した。

表3-4. 調査期間¹⁾の部位別¹⁵N excess合計量および植物-土壌系の¹⁵N回収率

放牧強度	合計 ¹⁵ N excess量 ²⁾ (mg/m ²)				全体	¹⁵ N回収率(%) (植物-土壌)
	地上部	残株	根	土壌		
強放牧	547.3	36.6	13.0	293.9	890.7	42.2
弱放牧	485.3	82.7	20.7	787.4	1376.1	65.2

1) 2001年10月から2002年12月までの15ヵ月間

2) ¹⁵N excess量=全窒素含有量×¹⁵N excess%

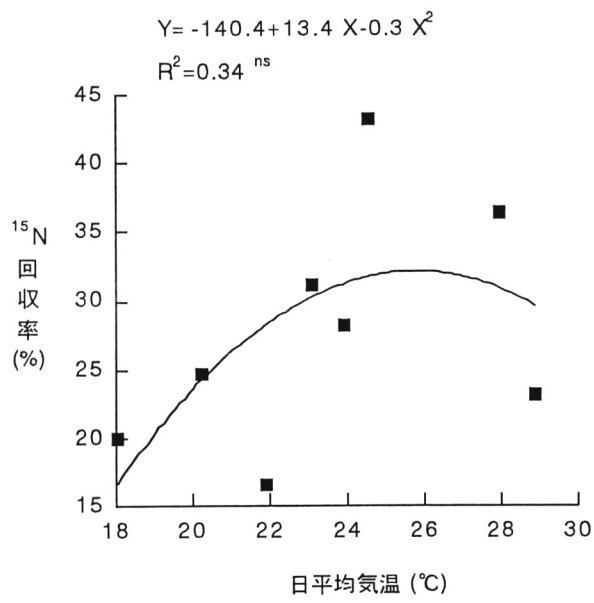


図3-2. 収穫部における¹⁵N回収率と平均気温との関係

第4章 ジャイアントスターグラス放牧草地の牧養力評価

第1節 異なる放牧強度と放牧方法がジャイアントスターグラス 放牧草地の夏季牧養力に及ぼす影響

本節では、これまでの知見をもとに、いかなる放牧様式がジャイアントスターグラス草地における最も牧養力を高める方式であるかを6月から11月の夏季において検討した。

材料および方法

試験は沖縄県石垣市にある沖縄県肉用牛生産供給公社の造成後15年を経過したジャイアントスターグラス(*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst, 以下Gs)の放牧草地4.0haで実施した。供試牛は黒毛和種繁殖雌牛27頭(平均体重 444 ± 26 kg)とそれぞれの分娩子牛(平均体重 86 ± 14 kg)を1群として放牧を行った。

放牧方法の概要は表4-1に示した通りである。すなわち、Gs放牧草地4haを2haに2分割し、集約的な輪換放牧(集約区)と緩やかな連続放牧(慣行区)に大別した。さらに、集約区は電気牧柵を用いて0.5haの4牧区にそれぞれ区分し、放牧強度3.5, 5.0, 6.4および8.3頭/haの4水準の放牧強度を設定した。放牧強度の設定のために、滞牧日数をそれぞれ2, 3, 4および5日間とし、休牧期間をいずれの放牧強度ともに30日とする輪換放牧で行った。一方、連続放牧を想定した慣行区として、供試牛群が集約区で滞牧されている期間を含む2-7日の休牧期間を除き、

2.0ha の牧区に連続的に放牧した。慣行区の設定放牧強度は 5.0 頭/ha である。集約区は期間中合計 4 回の滞牧と休牧を繰り返した。施肥管理は退牧ごとに N, P205 および K20 をそれぞれ要素量で 36kg/ha, 20kg/ha および 28kg/ha を施した。なお、供試牛は毎朝、1 頭当たり約 0.7kg のふすまを補助飼料として給与した。

調査項目は入牧時草量、草地利用率、粗タンパク質含有率、乾物消化率、乾物摂取量および TDN 摂取量である。調査方法は入退牧前後にそれぞれの放牧地内 5 箇所について 1 m×1 m のコドラートの枠内を地際から 15cm の高さで刈取りを行った。入牧時草量と退牧時草量との前後差法によって草地利用率を算出し、それに放牧頭数および滞牧日数で除した値を放牧家畜 1 頭当たりの摂取量とした。刈取った試料の一部は、生重量を測定し、70℃で 48 時間通風乾燥した後、乾物重を測定した。その後 1mm の篩を通るように粉碎し粗タンパク質含有率および *in vitro* 乾物消化率の分析に供した。粗タンパク質含有率はケルダール法によって算出した窒素含有率に 6.25 を乗じて算出し、*in vitro* 乾物消化率はペプシン・セルラーゼ法 (Goto and Minson, 1977) に準拠した。TDN 含有率は Minson ら (1976) および Goto and Minson (1977) によって示された関係式 ($\text{TDN 含有率} = 0.683 \times \text{in vitro 乾物消化率} + 21.077$) から求め、これに乾物摂取量を乗じて TDN 摂取量を算出した。なお、試験期間の気温、降水量についての気象観測データは沖縄気象台の沖縄県農業気象速報 (1998) の石垣市の値を用いた。

結 果

試験期間中の気象条件を図 4-1 に示した。試験期間中の日平均気温は約 28℃であった。試験期間中における 1 日当たりの降水量は 10.9mm/日であり、9 月および 10 月に降水量が多く、試験開始時から 8 月中旬にかけては例年に比べ干ばつ傾向であった。

異なる放牧強度条件下における入牧時草量と草地利用率の推移について図 4-2 に示した。入牧時草量は、放牧強度の増加に伴い変動はあるものの、平均すると放牧強度 3.5, 5.0, 6.4 および 8.3 頭/ha それぞれ 3.03, 3.04, 2.99 および 2.76 ton/ha となり、放牧強度の増加に伴い若干低下する傾向し、それぞれの処理間に有意差は認められなかった。

草地利用率は放牧強度が 3.5, 5.0, 6.4 および 8.3 頭/ha と高まるに従って、それぞれ 19.1, 26.0, 50.3 および 60.0%の値を示した。放牧強度 6.4 および 8.3 頭/ha の草地利用率は放牧強度 3.5 および 5.0 頭/ha に比べて有意 ($p < 0.05$) に高い値を示した。

慣行区における放牧強度 5.0 頭/ha 以上の集約区、すなわち放牧強度 5.0, 6.4 および 8.3 頭/ha で得られたそれぞれの入牧時草量ならびに草地利用率を平均した値ならびに慣行区の値を表 4-2 に示し比較した。集約区および慣行区の入牧時草量はそれぞれ 2.91 および 1.93 ton/ha となり、集約区は慣行区に比べて有意 ($p < 0.05$) に高くなった。草地利用率についても、集約区および慣行区それぞれ 49.7 および 21.1%となり集約区が有意 ($p < 0.01$) に高い値となった。

試験期間内における平均入牧時草高と平均退牧時草高を表 4-3 に示

した。3.5 および 5.0 頭/ha の比較的放牧強度が低い場合，入牧時の草高は放牧強度が高い場合(6.4, 8.3 頭/ha)と比較して有意($p < 0.05$)に高く，退牧時についても同様に放牧強度が低い場合(3.5, 5.0 頭/ha)に有意($p < 0.01$)に 11-14cm 高かった。

異なる放牧強度条件下における粗タンパク質含有率，乾物消化率および TDN 含有率について表 4-3 に示した。粗タンパク質含有率はいずれの放牧強度においても 10.3-10.9%の範囲内にあり，放牧強度の違いによる有意差は認められなかった。乾物消化率および TDN 含有率についても同様に，乾物消化率は 47.3-50.3%，TDN 含有率は 53.4-55.4%の範囲内にあり，放牧強度の違いによる顕著な差は認められなかった。

放牧強度の違いによる放牧家畜の乾物摂取量ならび TDN 摂取量について表 4-4 に示した。1日1頭当たりの乾物摂取量は放牧強度 6.4 頭/ha が 6.9kg と最も高く，放牧強度 8.3 頭/ha が 6.0kg と最も低かった。しかし，放牧強度の違いによる顕著な差は認められなかった。TDN 摂取量は，3.2-3.8kg の範囲内にあり，放牧強度 6.4 頭/ha で最も高かったが，放牧強度の違いによる有意差は認められなかった。

連続放牧の慣行区と輪換放牧の集約区との放牧方法の違いによる入退牧時の草高，粗タンパク質含有率および乾物消化率について表 4-5 に示した。入牧時の草高は集約区が 74.9cm と慣行区より有意($p < 0.01$)に高く，退牧時の草高についても同様に集約区が有意($p < 0.01$)に高かった。粗タンパク質含有率は慣行区(14.8%)が集約区(10.5%)より有意($p < 0.05$)に高かった。乾物消化率についても同様に，集約区 48.7%，慣行区 50.0%

となったがそれぞれの値に有意差は認められなかった。

連続放牧の慣行区と輪換放牧の集約区との乾物摂取量と TDN 摂取量について表 6-6 に示した。放牧家畜の乾物摂取量および TDN 摂取量は、放牧方法の違いによって異なり、集約区が慣行区より有意 ($p < 0.01$) に高く、その値は集約区および慣行区それぞれ 6.4 および 2.9 kg/頭/日となった。TDN 摂取量についても同様に、集約区の 3.5 kg/頭/日が慣行区の 1.6 kg/頭/日より有意 ($p < 0.01$) に高かった。

考 察

我が国の南西諸島における放牧草地の主要な草種である Gs の夏季における潜在的牧養力を明らかにするため、4 段階の放牧強度 (3.5, 5.0, 6.4 および 8.3 頭/ha) の集約的輪換放牧とこれまでの慣行的な連続放牧とを比較し、Gs 放牧草地における効率的な利用法について検討した。

異なる放牧強度条件下における草地生産量は、放牧強度の違いによる顕著な差異は認められずほぼ同じ値を示した。しかし、草地利用率は放牧強度が 3.5-8.3 頭/ha に高まるにつれ 19% から 60% に顕著に向上した ($p < 0.05$)。放牧強度 3.5 および 5.0 頭/ha では、放牧強度が高い場合 (6.4 および 8.3 頭/ha) に比べて退牧時の草高が 10cm 以上高く ($p < 0.01$)、また、本試験の結果では示さなかったが、退牧後の残存草量が約 2.0 ton/ha 程度残存し、牧草生産量の約 70% が放牧家畜に採食されずに残っていた。このことが草地利用率の低下を招いているものと考えられた。前章で明らかにしたように、Gs は刈取り高さが低い場合において日乾物生産速度 (CGR) が高く維持され、Adjei *et al.* (1988) の放牧試験でも、

放牧強度が高い場合、すなわち退牧後の残存草量が少ない場合に生産量も高い値を示した。すなわち、今回のように放牧強度を高めた場合(6.4-8.3 頭/ha)ではGsの潜在的な生産性を示すと考えられ、低い放牧強度(3.5-5.0 頭/ha)では効率的な牧草利用が行われていないことが示唆された。したがって、本地域におけるGsの持続的な草地生産量と高い草地利用率を前提とした放牧強度である6.4あるいは8.3頭/haの強い放牧強度では、高い草地生産性を示すことが明らかとなった。また、本試験の牧養力をカウデー(CD)で表示すると、本試験期間の夏季の125日間におけるGs放牧草地は894-1188CDとなり、が報告した沖縄県北部における年間のGs草地の550-570CD(玉代勢ら, 1987)より極めて高い値であり、また、本試験結果を年間に換算した1983-2636CDはこれまで本地域において暖地型牧草地で得られた値(長崎・池田, 1993a, b)や農林水産省畜産局(2002)が示した八重山地域における牧養力の目標値(600-800CD)より2~3倍高い牧養力を有することが明らかとなった。

放牧方法としては、電気牧柵を用いてGs放牧草地を分割して集約的な輪換放牧を実施したところ、これまでの慣行的な緩やかな連続放牧より草地生産量を1.5倍に増加させ、草地利用率を2.3倍に高めることによって牧養力を向上させることが可能となった。長崎・池田(1991a)はネピアグラス、バヒアグラスおよびパンゴラグラスのそれぞれの放牧草地0.40haについて、簡易電気牧柵を用いて放牧牛が2-3日で採食できる量を目安に細分化し、集約放牧を実施したところ、有刺鉄線を用いるよりも低コストで省力的であると共に牧養力が38-50%向上することを

示した。また、本放牧草地においても輪換放牧を実施する上での電気牧柵の利用は低コスト(細川ら, 1999)でかつ草地利用の面から極めて効果的であった。本試験の集約的輪換放牧は生産された牧草を短日間(3-5日)で均一に採食させ、休牧期間を約 1 ヶ月間とし、さらに、退牧後の施肥管理(36kgN/ha)を毎回行うことに特徴がある。名田・沢村(1985)はトールフェスク、ダリスグラスおよびバヒアグラス草地で輪換放牧を実施したところ、短期間の滞牧期間は長期間よりも年間の合計乾物収量、草地利用率および利用草種の株数の維持にとって効果的である指摘している。また、Mcmeekan and Walsh (1963)は輪換放牧の利点として、休牧期間に得られる大量の貯蔵牧草にあると指摘した。本試験においては、短日間(2-5日)の滞牧と休牧期間を 30 日に設けたこと、および退牧後の施肥管理を行った結果、Gs の再生長を効率的に促進させ、集約区における Gs 放牧草地の生産量の増収ならびに草地利用率の向上をもたらしたものと推察された。

次に、Gs 放牧草地の栄養価について検討した結果、粗タンパク質含有率は、放牧強度の違いによる影響は認められず、いずれの放牧強度においても約 10%で、乾物消化率は 47.3-50.3%の範囲内となった。この値は日本飼養標準・肉用牛(農林水産技術会議事務局, 2000)に示された体重 450kg の黒毛和種繁殖雌牛の維持に必要な飼料中の粗タンパク質含有率の値(12%)を下まわる結果となったが、CP 摂取量は約 640g となり、必要養分量(485g)より高い値を示した。また、TDN 含有率(53-55%)は必要要求量(49%)を十分に充たし、1 日当たりの乾物摂取量についても

6.4kg と基準値(6.04kg)以上の摂取量が得られていたこと、さらに、放牧牛の分娩が順調に行われたことから、本地域における放牧牛の維持に必要な栄養価をGsの放牧草地で充しているものと推察された。また、結果では示さなかったが、放牧期間中の各牧区における粗タンパク質含有率が必ずしも10%とは限らず、時期によってはこの値より高い場合もあった。Larbi *et al.* (1990)による42日間隔(放牧期間14日、休牧期間28日)の放牧試験でのGsの粗タンパク質含有率は7.7-8.8%、乾物消化率は52.7-56.9%であったが、再生期間6週間、窒素施肥量67.5kg/haで管理されたGs草地の粗タンパク質含有率は8.8-9.3%(窒素含有率1.4-1.5%に6.25を乗じて修正)、乾物消化率は48.6-52.9%(Brown *et al.*, 1988)とする報告からも、本地域のGs放牧草地の栄養価が低すぎるものとは言いがたい。したがって、本試験の集約区の放牧方法は、1牧区に滞牧する期間が2-5日と短く、その後は約1ヵ月間休牧させていた別の牧区へ移動させるため、放牧初期の栄養状態は比較的高いものと推察できる。このように、本試験で行った放牧強度を高めた集約放牧が、Gsの放牧草地の栄養価や放牧家畜への栄養摂取量に悪影響を及ぼさないものと判断できた。

以上のことから、Gs草地の夏季牧養力は6.4 - 8.3頭/haが可能であることが示された。退牧後の施肥管理と休牧期間を30日以上設けた集約的輪換放牧はこれまでの慣行放牧より効率的な草地生産、草地利用ならびに放牧家畜の乾物および栄養摂取量においてもGsの再生特性を十分に活用した有効な技術であることが実証できた。

表4-1. 放牧方法と放牧強度

放牧方法		放牧面積 (ha)	放牧日数 (日)	休牧日数 (日)	設定放牧強度 (頭/ha)
集約区	牧区1	0.5	2	30	3.5
	牧区2	0.5	3	30	5.0
	牧区3	0.5	4	30	6.4
	牧区4	0.5	5	30	8.3
慣行区		2.0	11	5-7	5.0

表4-2. 集約区と慣行区における入牧時草量と草地利用率

放牧方法	入牧時草量 (kg/a)	草地利用率 (%)
集約区 ¹⁾	29.1 ± 6.4 ^{2)b}	49.7 ± 11.3 ^B
慣行区	19.3 ± 0.8 ^{a*}	21.1 ± 19.9 ^A

1) 慣行区の放牧強度5.0頭/ha以上の集約区の値を平均した値.

2) 平均値±標準偏差,

*:異なる大文字(p<0.01)と小文字(p<0.05)を付した平均値間に有意差あり.

表4-3. 異なる放牧強度条件下における草高, 粗タンパク質含有率, 乾物消化率およびTDN含有率

放牧強度 (頭/ha)	入牧時草高 (cm)	退牧時草高 (cm)	粗タンパク質含有率 (%)	乾物消化率 (%)	TDN含有率 (%)
3.5	77.6 ± 15.7 ¹⁾	43.7 ± 13.3 ^B	10.4 ± 2.1	50.3 ± 7.0	55.4 ± 4.8
5.0	79.2 ± 13.5 ^c	43.8 ± 9.9 ^B	10.3 ± 2.5	47.3 ± 11.8	55.1 ± 3.1
6.4	71.4 ± 9.4 ^{ab}	32.4 ± 7.2 ^A	10.9 ± 2.9	49.7 ± 5.4	55.0 ± 3.7
8.3	70.0 ± 7.8 ^{a*}	29.4 ± 3.1 ^A	10.7 ± 3.3	47.4 ± 4.4	53.4 ± 3.0

1) 平均値±標準偏差, *: 同列の大文字(p<0.01)ならびに小文字(p<0.05)を付した間に有意差あり.

表4-4. 異なる放牧強度条件下における乾物摂取量およびTDN摂取量¹⁾

放牧強度 (頭/ha)	乾物摂取量 (kg/頭/日)	TDN摂取量 (kg/頭/日)
3.5	6.1 ± 4.7 ²⁾	3.2 ± 2.3
5.0	6.7 ± 2.1	3.7 ± 1.1
6.4	6.9 ± 0.8	3.8 ± 0.5
8.3	6.0 ± 0.9	3.2 ± 0.5

1) TDN摂取量は乾物摂取量にTDN含有率を乗じて算出した(Goto and Minson, 1977).

2) 平均値 ± 標準偏差

表4-5. 放牧方法の違いにおける入牧退牧時草高, 粗タンパク質含有率および乾物消化率

放牧方法	入牧時草高 (cm)	退牧時草高 (cm)	粗タンパク質含有率 (%)	乾物消化率 (%)
集約区	74.9 ± 4.1 ^{1)B}	37.3 ± 11.4 ^B	10.5 ± 0.3 ^a	48.7 ± 1.5
慣行区	53.3 ± 4.3 ^A	29.2 ± 5.1 ^A	14.8 ± 2.7 ^b	50.0 ± 6.3

1) 平均値 ± 標準偏差, *: 同列の異なる大文字(p<0.01)ならびに小文字(p<0.05)を付した間に有意差あり.

表4-6. 放牧方法の違いにおける乾物摂取量およびTDN摂取量¹⁾

放牧方法	乾物摂取量 (kg/頭/日)	TDN摂取量 (kg/頭/日)
集約区	6.4 ± 0.4 ^{2)B}	3.5 ± 0.3 ^B
慣行区	2.9 ± 3.2 ^A	1.6 ± 1.7 ^A

1) TDN摂取量は乾物摂取量にTDN含有率を乗じて算出した(Goto and Minson, 1977).

2) 平均値 ± 標準偏差, *: 同列の異なる大文字を付した処理間に有意差あり(p<0.01).

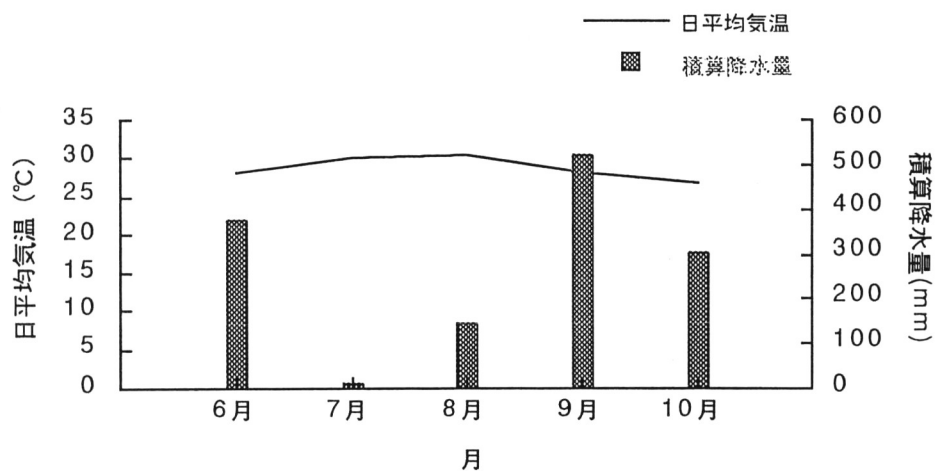


図4-1. 放牧期間内の平均気温と積算算降水量

1998年6月1日から1998年10月31日まで

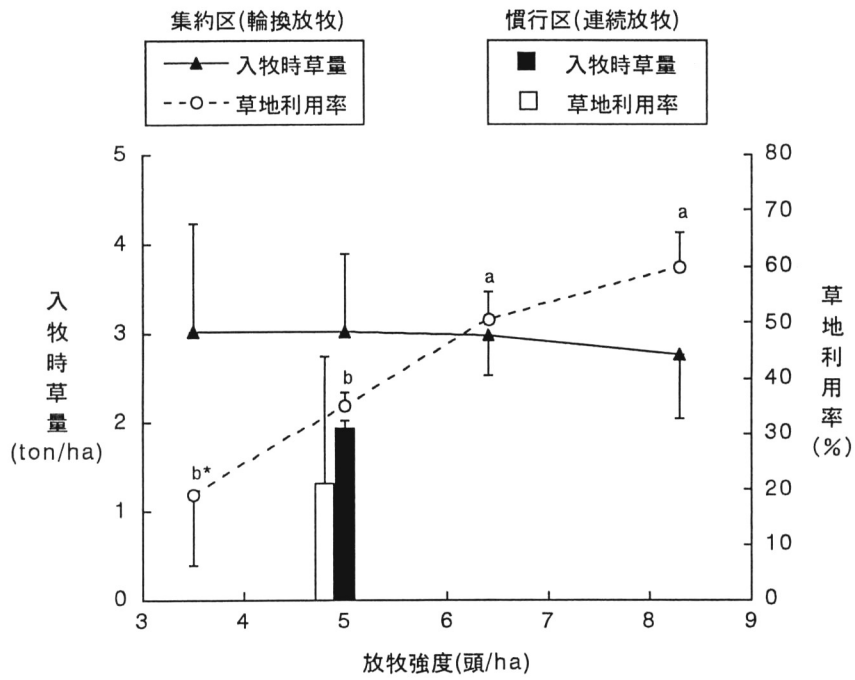


図4-2. 放牧強度の増加に伴う入牧時草量と草地利用率の推移

*: 縦線は標準偏差を示し、小文字を付した平均値間に有意差あり(p<0.05).

第2節 ジャイアントスターグラス放牧草地における

イタリアンライグラスの追播に伴う牧養力の評価

本節では、ジャイアントスターグラス放牧草地の冬季牧養力ならびに補完草種として寒地型イネ科牧草イタリアンライグラスを追播した追播草地の牧養力の評価を行った。

材料および方法

本試験の供試草地および草地管理の概要は、前節と同様である。すなわち、造成後 15 年を経過したジャイアントスターグラス (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst, 以下 Gs) の放牧草地で行った。Gs の放牧草地 4.0ha について、電気牧柵を用いて 0.5ha の 4 牧区および 1.0ha の 2 牧区の計 6 牧区に区分し、Gs 単播草地 (Gs 単播区) とイタリアンライグラス (*Lolium multiflorum* Lam, 以下 Ir) 追播草地 (Ir 追播区) を設け、それぞれの牧区について、弱放牧および強放牧の 2 水準の放牧試験を行った。放牧面積が 0.5ha と 1.0ha に対して、弱放牧および強放牧の設定放牧強度は、それぞれ 3.4 頭/ha, 6.8 頭/ha とした。滞牧期間および休牧期間をそれぞれ 5 日および 30 日に統一し、放牧強度を設定した。供試牛は黒毛和種繁殖雌牛 27 頭 (平均体重 444 ± 26 kg) とそれぞれの分娩子牛 (平均体重 56 ± 17 kg) を 1 群として輪換放牧を実施した。

Ir の追播に際しては、まず供試牛を用いて Ir を追播する Gs 草地 1.0ha の 1 牧区および 0.5ha の 2 牧区について草高が地際から 10cm になるまでそれぞれ重放牧と掃除刈りを行った。11 月 12 日にニプロ簡易草地更

新機(リノベータ)を用いて条間 54cm に Ir を追播した。追播量は 2kg/10a である。同時に基肥として N, P205 および K20 をそれぞれ ha 当たり 36kg, 20kg および 28kg を施肥した。また、いずれの牧区についても退牧後には基肥と同量の施肥管理を行った。追播後 39-55 日経過した同年 12 月末から翌 1 月上旬に順次放牧を開始した。試験終了日の翌年 5 月 6 日までいずれの牧区共に合計 4 回の放牧を行った。入退牧時の刈取り調査は 1m×0.81m のコドラート内を地際から約 15cm の高さでそれぞれ 3 箇所行った。調査項目は入牧時草量、草地利用率、栄養価(粗タンパク質含有率、*in vitro* 乾物消化率)および乾物収量の前後差法で得られた値から求めた TDN 摂取量である。粗タンパク質含有率はケルダール法、*in vitro* 乾物消化率はペプシン・セルラーゼ法(Goto and Minson, 1977)に準拠した。TDN 含有率ならびに TDN 摂取量の算出法は前節の通りである。

結 果

試験期間中における日平均気温は 11 月下旬の 24.1℃から徐々に低下し 1 月および 2 月の平均気温はそれぞれ 19.1 および 19.4℃となり 20℃を下回った。その後、徐々に上昇し 4 月の 24.4℃まで上昇した。試験期間の平均気温は 21.6℃、1 日当たりの降水量は 4.5mm/日となった。

試験期間中の入牧時草量の推移を放牧強度ごとに図 4-3 に示した。入牧時草量はいずれの放牧強度とも放牧 2 回目において最も低い値となり、その後増加に転じ放牧 4 回目で最も高い値となった。また、強放牧では、すべての放牧回次で Ir 追播区の値が Gs 単播区より高い傾向を示し、1 回目および 2 回目の放牧時には有意差($p < 0.05$)が認められた。弱

放牧の入牧時草量は、放牧 1 回目および 3 回目では Gs 単播区が Ir 追播区より有意 ($p < 0.05$) に高かったが、それ以外の放牧時には有意差が認められなかった。試験期間中における合計 4 回の平均入牧時草量と草地利用率は図 4-4 に示したように、Gs 単播区では、弱放牧と強放牧それぞれ 1.92 ton/ha と 2.13 ton/ha となり、Ir 追播区でそれぞれ 1.74 ton/ha, 2.74 ton/ha となり、いずれの放牧強度でも強放牧で高い入牧時草量を示した。草地利用率について、放牧強度間で比較すると、いずれの牧区ともに強放牧より弱放牧で高い値となる傾向にあった。次に、Gs 単播区と Ir 追播区を放牧強度別に比較すると、弱放牧では、Gs 単播区、Ir 追播区それぞれ 69.1%, 89.3%, 強放牧でそれぞれ 61.8%, 87.3% となり、いずれも Ir 追播区の値が Gs 単播区より有意 ($p < 0.05$) に高い値を示した。

試験期間の平均入退牧時の草高を表 4-7 に示した。入牧時草高は弱放牧と強放牧のいずれについても、Ir 追播区が Gs 単播区より有意 ($p < 0.05$) に高かった。退牧時の草高は、放牧強度ならびに草地間に有意差は認められなかったが、強放牧が弱放牧より低い傾向であった。

Gs 単播区と Ir 追播区の栄養価ならびに放牧家畜の栄養摂取量について表 4-8 に示した。Ir 追播区の粗タンパク質含有率 (19.7%) は、Gs 単播区 (16.4%) より有意 ($p < 0.05$) に高く、乾物消化率についても Ir 追播区 (68.9%) が Gs 単播区 (57.3%) より有意 ($p < 0.05$) に高かった。TDN 含有率も同様に、Ir 追播区が Gs 単播区より有意 ($p < 0.01$) に高く、その値は Ir 追播区が 68.1%, Gs 単播区が 60.2% となった。乾物摂取量および TDN 摂取量の値は、いずれも Gs 単播区より Ir 追播区で高く、TDN 摂取量には

有意差 ($p < 0.01$) が認められた。

次に、放牧強度の違いによる栄養価ならびに栄養摂取量について表 4-9 に示した。放牧強度の違いによる栄養価の顕著な差は認められなかったが、粗タンパク質含有率と TDN 含有率は強放牧で、乾物消化率については弱放牧でそれぞれ高い傾向を示した。乾物摂取量は弱放牧では 12.1kg/頭/日、強放牧では 6.6kg/頭/日となり、TDN 摂取量は弱放牧および強放牧それぞれ 6.3kg/頭/日および 4.3kg/頭/日となり、いずれの値も弱放牧で高い値を示したが、有意差は認められなかった。

本試験の冬季における述べ放牧期間 199 日における牧養力としてカウデー (CD) を表 4-10 に示した。Gs 単播区および Ir 追播区いずれの草地ともに放牧 2 回目において低い値となった。期間内の積算 CD を草地間で比較すると強放牧では Ir 追播区で高く、弱放牧では Gs 単播区で高い値となった。

考 察

周年放牧による草地管理を行う場合、利用草地の季節的な牧養力を知ることが極めて重要である (名田ら, 1983)。それによって放牧強度が決定され、適切な放牧草地の管理方法が確立される。本試験では、冬季における Gs 草地の牧養力を把握するため、弱放牧 (3.4 頭/ha) と強放牧 (6.8 頭/ha) の異なる放牧強度条件下で放牧を実施し、Gs 草地の冬季牧養力について検討した。さらに、Gs 草地の冬季の牧養力の低下を補完する目的で Ir を追播した場合についても併せて検討した。

その結果、Gs 単播区における冬季の入牧時草量は、弱放牧と強放牧

を含め、期間内の平均で約 1.90 ton/ha の生産量が得られたが、前節で得られた夏季での値と比べると 27-34%の減収となった。特に、放牧 2 回目に限っては、平均気温が最も低下し、20℃以下となる 1 月から 2 月上旬の時期で、Gs の生育が停滞した時期と重なったため、Gs の入牧時草量が 3.30-5.90 ton/ha 程度の実産量しか得られず、夏季の 1/5 から 1/10 に相当する極めて低い値となった。他方、Ir 追播区の期間内の平均入牧時草量は約 2.10 ton/ha となり、Gs 単播区よりも僅かに高い値となったものの、有意差は認められなかったため、平均値だけをみると Gs 草地における生産性の平準化を図るほどの増収効果が得られたとは言いがたい。ただし、強放牧での放牧 1 回目と 2 回目は、Ir 追播区の入牧時草量が Gs 単播区に比べて約 3 倍の 0.8-1.1 ton/ha の生産量を示した。バミューダグラスの生育が停滞する冬季の時期に寒地型牧草を追播することで放牧期間や牧草の生産期間がおおよそ 2-3 ヶ月間延長できるとし、草地生産性の平準化をもたらしたとする報告 (Hoveland *et al.*, 1978a, b; Henry *et al.*, 1979; Evers, 1985; 菅野, 1995) がある。本地域の Gs 単播区においては、冬季期間を通じて高い草地生産性を示し、放牧が可能であったため、前章において述べたように、本地域の平均気温が 20℃を越える 3 月には基幹草種である Gs の伸長が再び促進されるため、草地全体の生産性の向上をもたらし、冬季を通じて Gs 単播区での周年放牧が可能である。しかし、乾物収量だけに限定した場合の Ir の追播効果が最大限に発揮できる時期は少なくとも 1-2 月に限定されると言えよう。

次に，Ir 追播区の栄養価ならびに栄養摂取量について評価した．本試験においても，Gs 単播区に比べて Ir 追播区の栄養価が，粗タンパク質含有率では 3%単位，乾物消化率では 11%単位，TDN 含有率では 8%単位それぞれ有意 ($p < 0.05$) に高くなった．沖縄県の八重山地域で 4 月から 11 月に生産された冬季利用のための貯蔵飼料を含む自給粗飼料の品質を分析した結果，粗タンパク質含有率は 2.5-15.7%，乾物消化率は 31.7-58.8% の範囲にあったとする報告 (庄子ら, 1996) よりも高い値を示したことから，Ir の追播は明らかに栄養価の向上をもたらしたことを示すものである．北村 (1984b) は牧草の高い乾物消化率が家畜による摂取量の増加をもたらし，家畜生産性に及ぼす相乗効果が期待できることを指摘している．バミューダグラス単播草地とバミューダグラスに Ir を追播した草地で育成牛の放牧を行い，家畜の増体量を比較した試験では，バミューダグラスの単播草地の延べ放牧期間が約 6 ヶ月間であったのに対し，Ir 追播草地では冬季放牧によって 8-10 ヶ月間の放牧が可能となり，家畜の増体量はおおよそ 2 倍に増えたとの報告がある (Hoveland *et al.*, 1978a)．本試験においても，放牧牛の 1 日 1 頭当たりの乾物摂取量は，Gs 単播区では 6.4kg となり，この値は日本飼養標準・肉用牛 (農林水産技術会議事務局, 2000) に記された体重 450kg の繁殖雌牛の維持に必要な値 (6.06kg) とほぼ同じ値であるのに対し，Ir 追播区はそれを遥かに上回る 9.9kg となり，さらに，TDN 摂取量では Gs 単播区 (3.6kg) の約 2 倍の 6.9kg となった．このことから，Gs 放牧草地への Ir の追播による栄養価の向上が家畜の栄養摂取量の向上をもたらし，夏季と同水準の

牧養力は期待できないまでも、1-2 月においては Gs 単播区の草地生産性の低下を抑えることができたものと考えられる。また、草地利用率が Gs 単播区では 61-69%の範囲内にあるのに対して、Ir 追播区では 87-89%と高いのは、Ir の高い嗜好性によって、採食量の向上をもたらしたものと考えられ、Ir の追播に伴う家畜生産性の向上をもたらしたと推察された。

本放牧試験の 199 日間における牧養力は表 4-10 に示した通りであり、強放牧(943-958CD)での牧養力は前節で示した夏季における 125 日間の 1188CD と比較した場合は 100-200CD 程度低い値となった。このことは放牧 2 回目(1-2 月)における草地生産量の停滞によって弱放牧と同水準の 135-158CD の牧養力であったことに影響されていると考えられた。

以上のことから、冬季における Gs 草地の牧養力は、1-2 月に限定した場合は夏季の 1/2 から 1/3 に草地生産量が低下するため、弱放牧(3.4 頭/ha)での利用が望ましいが、冬季における他の期間では強放牧(6.8 頭/ha)が可能であることが明らかとなった。また、この時期に限定した場合は、Ir 追播によって Gs 単播区の約 3 倍の増収効果が認められ、さらには、放牧期間内の Gs 放牧草地の栄養価も向上し、これに伴う放牧家畜の乾物および栄養摂取量も向上をもたらした。このことから、冬季における Gs 放牧草地への Ir 追播は放牧地での家畜生産性の向上にも極めて効果的な草地管理技術の一つであることが示唆された。

表4-7. 冬季期間内における平均入退牧時草高

	草地 ¹⁾	入牧時 (cm)	退牧時 (cm)
弱放牧	Gs	25.3 ± 16.3 ^{2)A*}	13.6 ± 9.1
	Gs+lr	34.4 ± 17.6 ^B	12.0 ± 9.1
強放牧	Gs	30.2 ± 22.1 ^A	11.6 ± 6.1
	Gs+lr	37.9 ± 17.9 ^B	11.0 ± 7.6

1)Gs : ジャイアントスターグラス単播区.

Gs+lr : イタリアンライグラス追播区.

2) 平均値±標準偏差,

* : 異なる大文字ならびに小文字を付した草地間に有意差あり.

表4-8. Gs単播とlr追播における栄養価ならびに放牧家畜の栄養摂取量

草地 ¹⁾	粗タンパク質含有 ²⁾ (%)	乾物消化率 (%)	TDN含有率 (%)	乾物摂取量 (kg/頭/日)	TDN摂取量 (kg/頭/日)
Gs	16.4 ± 2.9 ^{2)A*}	57.3 ± 4.5 ^A	60.2 ± 3.1 ^A	6.4 ± 6.0	3.6 ± 2.2 ^A
Gs+lr	19.7 ± 4.7 ^B	68.9 ± 8.9 ^B	68.1 ± 6.1 ^B	9.9 ± 6.9	6.9 ± 4.3 ^B

1)Gs : ジャイアントスターグラス単播区, Gs+lr : イタリアンライグラス追播区.

2) 平均値±標準偏差, * : 同列の異なる大文字(p<0.01)ならびに小文字(p<0.05)を付した間にそれぞれ有意差有り.

表4-9. 放牧強度の違いによる放牧草地の栄養価ならびに放牧家畜の栄養摂取量

	粗タンパク質含有 (%)	乾物消化率 (%)	TDN含有率 (%)	乾物摂取量 (kg/頭/日)	TDN摂取量 (kg/頭/日)
弱放牧	18.0 ± 4.8 ¹⁾	63.8 ± 11.8	63.4 ± 7.5	12.1 ± 8.5	6.3 ± 4.5
強放牧	18.2 ± 3.6	62.4 ± 7.3	64.5 ± 5.1	6.6 ± 4.2	4.3 ± 2.7

1) 平均値±標準偏差

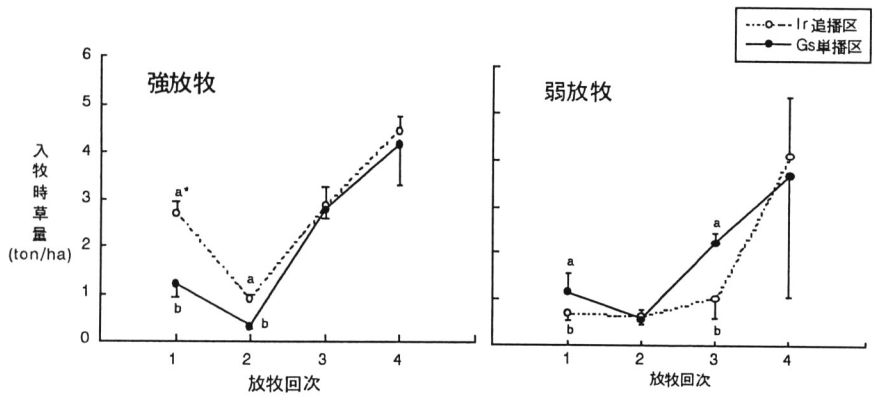


図4-3. 試験期間における放牧回次の進行に伴う入牧時の草量の推移

平均値±標準偏差, 異なる小文字を付した追播区とGs単播区との間に有意差あり (P<0.05).

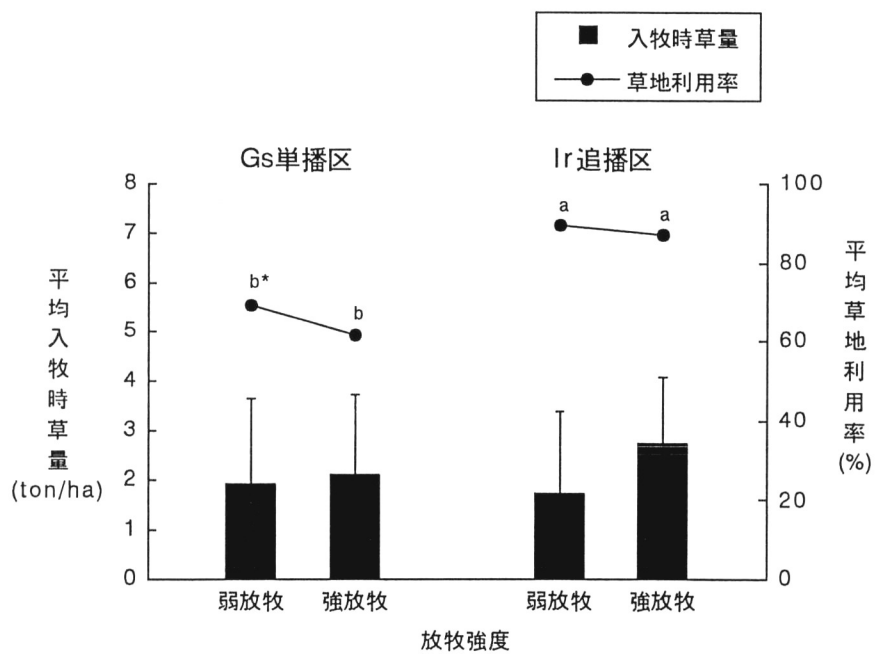


図4-4.試験期間中の平均入牧時草量と平均草地利用率

平均値±標準偏差, *:異なる小文字を付した放牧強度処理間に有意差あり(p<0.05).