

# 九州の中山間地域における放牧家畜の機能と 役割に関する研究

(課題番号 13460120)

平成13年度～平成15年度科学研究費補助金  
(基盤研究(B)(2))  
研究成果報告書

平成 16 年 3 月

杉 本 安 寛

(宮崎大学農学部教授)

## はしがき

中山間地域では、労働人口の流出による高齢化が進行し、林地や農地の管理が困難な状況になってきている。管理が放棄された林地や農地は、年々増加する一方であり、その管理技術の開発が急務である。現在は、高齢者による手作業での管理作業が行われているが、この管理作業の多くの部分は放牧家畜によって代替される可能性が高い。

日本の中山間地域における土地利用の中には、放牧家畜を活用可能なものが多いと思われる。本研究では、果樹園、針葉樹幼齢造林地、クヌギ林で実際に放牧を行い、それぞれの土地利用方式における放牧家畜利用の有効性と問題点を明確にすることを試みる。

放牧家畜による管理には、労力的に適用が困難であったり、環境面で問題が大きい場面も考えられるため、実規模での実験を行い、放牧家畜活用上の有効性と問題点の定量的評価を行い、放牧家畜の活用可能な条件を明らかにすることが、本研究の大きな目的である。

かつて、我が国でも混牧林研究が国有林を中心に行われたが、この混牧林研究は林産物としての家畜(=肉用牛)の生産を期待することが主眼であった。当該研究は、1、中山間地域での人の暮らしと文化や景観および環境保全における放牧家畜の役割を評価しようとする点、2、家畜生産のみならず林木生産、果樹生産、畑作生産、水稻生産など、中山間地域での農業的土地利用全般における放牧家畜の活用技術の開発を対象とする点、の2点でバイオニア的な研究である。いわゆる「里山」として古来から利用されてきた中山間地域では、自然と文化、暮らしを守る技術としての放牧家畜の活用は極めて有望である。

宮崎大学農学部では、10年来、放牧を林業に活用する、いわゆる林畜複合生産システムの開発の研究を行ってきた。本計画は、この林畜複合生産システムとともに、果樹生産、畑作、稲作などの中山間地域で行われてきた土地利用で放牧を活用する、「農畜複合生産システム」の構築による中山間地域の国土利用方式を確立しようとする点に特色がある。従来の研究は、例え混牧林研究であっても、家畜や林木など単一の農産物の生産に関する研究に偏りがちであった。このことは、家畜と林木や草本などの間の相互作用に関する知見の少なさにつながり、放牧家畜を活用する方式の農家への普及上で大きな障害となっている。これは「林畜複合」もしくは「農畜複合」を想定した技術体系が未整備であることを意味する。当該研究の成果によって、1、現在は、高齢者による手作業での管理作業が行われている管理作業の中で、放牧家畜によって代替されるものが明確化すること、2、放牧による家畜生産と農業生産および林業生産との共存条件が示されることの2点が期待される。これらの結果は、中山間地域の国土保全を考える上で極めて重要な意義を持つと思われる。

日本に先行して、欧州諸国では、1970年代から中山間地域・条件不利地域での国土管理や農業に対する「収入補償対策」、「環境対策」そして「直接支払制度」など様々な制度が導入されてきている。また、これらの対策を導入する際には、国民的合意を得るための公聴会などを頻繁に行うとともに、自然科学や社会科学の極めて数多くの研究者による学術的検討を何年間も行ってきた。これら条件不利地域の多くでは、環境を保全しながら食料自給率を高める上でも、景観管理においても放牧家畜の役割が強調されている。我が国でも農水省は、2001年度から「直接支払制度」によって中山間地域の農業生産活動を対象に交付金を支給する計画である。しかしながら、日本では、この制度に対する国民的合意形成は未だ十分ではなく、学術的検討もはじまったばかりであり、畜産や放牧家畜の役割の評価は十分ではない。わが国の大量の輸入飼料に依存したいわゆる「加工型畜産」はふん尿による地下水汚染、世界的な穀物不足に伴う飼料の高騰をはじめとして、その対応に苦慮しているが、当該研究はこの問題解決への方向を目指すものでもある。

## 研究組織

研究代表者 : 杉本安寛 (宮崎大学農学部教授)  
研究分担者 : 園田立信 (宮崎大学農学部教授)  
研究分担者 : 長谷川信美 (宮崎大学農学部助教授)  
研究分担者 : 平田昌彦 (宮崎大学農学部教授)  
研究分担者 : 西脇亜也 (宮崎大学農学部助教授)  
研究分担者 : 伊藤哲 (宮崎大学農学部助教授)  
研究分担者 : 高木正博 (宮崎大学農学部助教授)  
研究協力者 : 守屋和幸 (京都大学大学院情報学研究科教授)  
研究協力者 : 吉村哲彦 (京都大学大学院情報学研究科助手)  
研究協力者 : 三澤尚明 (宮崎大学農学部助教授)  
研究協力者 : 廣部宗 (宮崎大学農学部講師)

交付決定額 (配分額)	(金額単位: 千円)		
	直接経費	間接経費	合計
平成 13 年度	5500	0	5500
平成 14 年度	3600	0	3600
平成 15 年度	4100	0	4100
平成 年度			
総計	13200	0	13200

## 研究発表

### (1) 学会誌等

- 1) 長谷川信美・石村哲朗・Rekha Chowdappa・平田昌彦・高木正博・野上寛五郎・園田立信. 幼齡造林地放牧における黒毛和種雌牛の行動に及ぼす新牧区開放の影響. 日草九支報33(1), 30-35. 2003年1月
- 2) 西脇亜也・横田浩臣: 野草と野草地の再評価 - 緒言 -, 日本草地学会誌, 47(2), 194-195, 2001年6月10日
- 3) 横田浩臣・西脇亜也: 野草と野草地の再評価 - 論評 -, 日本草地学会誌, 47(2), 218-220, 2001年6月10日
- 4) 杉本安寛: 林畜複合生産システム - 宮崎県諸塚村の事例を中心に -, 日本草地学会誌, 47(6), 644-651, 2002年.
- 5) 守屋和幸・吉村哲彦・北川政幸・小山田正幸・杉本安寛: GPS測位記録を利用したスギ(Cryptomeria japonica D Don) 幼齡林内における放牧牛の行動. 日本畜産学会報, 74(2), 229-234, 2003年.
- 6) Yoshimura, T., Sugimoto, Y., Moriya, K. and Tachiki, Y.: Do cattle graze undergrowth in plantation forests? Proceedings of the International Seminar on New Roles of Plantation Forestry Requiring Appropriate Tending and Harvsting Operations. pp.176-188, 2003年9月.

- 7) 三澤尚明・小山田正幸・守屋和幸・杉本安寛： RAPD-PCR を用いた林内放牧牛由来大腸菌汚染の新しい評価法の検討. 日本畜産学会報, 74(4), 531-536, 2003 年.

(2) 口頭発表

- 1) 杉本安寛, 西脇亜也・沼口寛次： 林畜複合生産システムについて - 諸塚村における例を中心に -, 日本草地学会, 2001 年 3 月
- 2) 岡崎泰明・杉本安寛・沼口寛次・西脇亜也・中西良孝・飛岡久弥・佐々木章： スギ植栽地の植生に及ぼす放牧の影響 (1), 日本草地学会, 2001 年 3 月
- 3) 西脇亜也・杉本安寛・岡崎泰明・富永和廣： 幼齡造林地での放牧による下刈り効果と稀に生じる植栽木被害, 日本草地学会, 2001 年 3 月
- 4) 西脇亜也・杉本安寛・岡崎泰明： 林内放牧地での放牧が植物地上部現存量と裸地率および種数密度に及ぼす影響, 日本草地学会, 2002 年 9 月 22 日
- 5) 西脇亜也・杉本安寛： 林内放牧が林床植生の地上部現存量に及ぼす影響. 第 58 回日本林学会九州支部大会 (諫早), 2002 年 10 月
- 6) 高橋友継・平田昌彦・長谷川信美・小倉振一郎・野上寛五郎・園田立信. 幼齡ヒノキ造林地に放牧される黒毛和種牛の採餌行動： 秋と初夏. システム農学会, 2001 年 11 月 22 日
- 7) 高橋友継\*・平田昌彦・長谷川信美・小倉振一郎・野上寛五郎・園田立信： 幼齡ヒノキ造林地に放牧される黒毛和種牛の採餌行動と植生との関係： 秋と初夏. システム農学会, 2001 年 11 月 22 日
- 8) 高橋友継\*・平田昌彦・長谷川信美・小倉振一郎・野上寛五郎・園田立信： 幼齡ヒノキ造林地放牧における牛・植物相互作用に関する研究. 12. 放牧牛による主要採食植物の選択性. 日本草地学会, 2002 年 9 月 22 日
- 9) 平田昌彦\*・小倉振一郎・長倉由記・幸伸枝・安達和子・藤井里枝・福山喜一・盛武紘行・渡辺親弘： 九州低・中標高地帯における飼料資源としてのセンチピードグラスの評価： 植生の定着に及ぼす立地条件および造成・管理方法の影響 (2). 日本草地学会, 2003 年 3 月 26 日
- 10) Hasegawa, N., M. Hirata, K. Nogami, R. Chodappa, M. Takagi, Y. Sugimoto and T. Sonoda: The behavior of grazing Japanese Black cattle and the environmental evaluation in a young *Chamaecyparis obtusa* plantation. Proc. Int. Symposium on Pursuing Sustainable Societies in Diverse Environments:139. 2003 年 6 月 27 日
- 11) 長谷川信美・野上寛五郎・池田絵理奈・岡田真里・塩川智之・Rekha Chowdappa・平田昌彦・園田立信： 幼齡造林地放牧における牛排糞が環境に及ぼす影響”ワグネルポット溶出水成分の 3 年間の変化”. システム農学 19 別 1 : 7-8. 2003 年 5 月 30 日
- 12) 長谷川信美・石村哲朗・Rekha Chowdappa・平田昌彦・高木正博・野上寛五郎・園田立信： 幼齡造林地放牧における黒毛和種雌牛の行動に及ぼす新牧区開放の影響. 第 65 回九州農業研究発表会専門部会発表要旨集 (平成 14 年度日本草地学会九州支部大会), 62. 2002 年 9 月 19 日
- 13) 伊藤 哲\*・石上智士・西脇亜也： 林畜複合生産システムが林床植生の種組成および種多様性に及ぼす影響, 第 58 回日本林学会九州支部大会 (諫早), 2002 年 10 月
- 14) 石上智士\*・伊藤 哲・西脇亜也： 若齡人工林における林内放牧が植物種多様性に与える影響, 第 114 回日本林学会大会 (岩手), 2003 年 3 月
- 15) 高木正博\*・野上寛五郎： 南九州地方の山地溪流における出水時の成分濃度変化, 第 57 回日本林学会九州支部会 九州大学, 2001 年 10 月 10 日
- 16) 高木正博： 九州中山間地における林畜複合生産システムが渓流水の化学性分に及ぼす影響, 第 58 回日本林学会九州支部会 (諫早), 2002 年 10 月 26 日

## 研究成果

### 全体の概要

#### 14年度：

林内放牧牛にGPS受信機を装着し、同時に実施した行動調査の結果とGPS測位記録とを用いて調査牛の行動履歴の解析を行った。2002年8月27日から9月1日(8月30日のみ雨天)に、スギ人工林(約1.4ha)に放牧されている黒毛和種繁殖雌牛4頭のうち2頭にGPS受信機を装着し、10秒間隔でGPS測位記録を収集した。あわせて、1分間隔で調査牛の行動を移動・佇立・採食・横臥・反芻に分類して記録した。このうち採食行動については採食した植物種も記録した。調査牛は周囲が開けている高台の休憩場所と低地の水飲み場との間を往復しながらその途中で採食する行動をとった。調査牛の行動は、移動(10%)、採食(40%)、その他(50%)であった。調査牛はススキを最も好んで採食し、以下ワラビ、クズの順であった。下草の乾物重量は放牧によって5割〜7割減となり、放牧による下刈り労力軽減効果が大きいことが明らかであった。また牧養力も3年間、高く維持された。しかしながら、不嗜好植物の増加による牧養力の維持の問題が生じたため、放牧終了後に掃除刈りを行うことが有効であると考えられた。年度が進行するにしたがって、樹木(とくに常緑樹)が増加し、落葉樹・草本種が減少するという傾向があるといえる。これらの傾向は牛の採食選択性および、粗飼料資源の変動に対応した選択性の変化によるものと考えられた。また、溪流の硝酸濃度は林放牧地内が牧地外よりも高かったが、水道水基準よりもはるかに低かった。センチピードグラスについて、植生の定着は東斜面において良好であること、晩夏〜秋にかけての播種は造成には望ましくないこと、窒素施肥は定着に大きく影響しないことが示された。

15年度：放牧牛にGPS首輪を装着し、林内での移動履歴を終日収集するとともに、水のみ場を移動することによる放牧牛の行動圏の変化について検討を行った。その結果、放牧期間の途中で水のみ場を移動することにより、行動圏も移動した水のみ場を中心としたものへと変化することが認められ、水のみ場の移動が放牧牛の誘導に有効であることが明らかとなった。植栽木に与える放牧牛放牧の被害の発生実態を数カ所の林内放牧地において調査した結果、林内放牧地の中で斜面傾斜度が20度以上の高い地点で樹皮の損傷が認められ、これは斜面傾斜度の高い場所では放牧牛が斜面方向に対して直角方向に移動する性質によるものと考えられ、被害対策として斜面傾斜度の高い場所での放牧圧の軽減が有効である。崎県諸塚村浅藪地区を対象地に、放牧区7流域、対照区2流域の計9流域の溪流を、平水時の2003年5月23日および6月28日、大雨直後の同年9月12日に採水し、イオンクロマトグラフィで硝酸イオン濃度を測定した。その結果、硝酸濃度は増水時のみならず平水時でも放牧区の方が高かった。ただしそれでも水道水基準以下の濃度であった。宮崎県諸塚村を対象に、林畜複合生産システムの適用可能域を判定することを目的として、森林の立地解析を行った。地形・地質・気象条件から森林生産力および災害危険度の推定モデルを作成し、これを基にまず木材生産林、水土保持林および多機能林を区分した。これらの結果を総合し、メソスケール(25m×25m)での林畜複合生産システムの適地を判定した結果、木材生産林ゾーンの多くで、同システムの適用可能性が示唆された。

## 目 次

第1章	林畜複合生産システム	1
第2章	林内放牧地における放牧が下草現存量に及ぼす影響	43
第3章	林畜複合生産システムが林床植生の種組成および植物種多様性に及ぼす影響	48
第4章	林内放牧地での植栽木被害および裸地発生と斜面傾斜度との関係	56
第5章	中山間地域における林間放牧が渓流水の窒素濃度に及ぼす影響	59
第6章	宮崎県諸塚村における林畜複合生産システムの適地判定	61
第7章	幼齢造林地放牧における黒毛和種雌牛の行動と環境への影響	71
第8章	九州中標高地帯におけるセンチピードグラスの定着・発達に及ぼす立地条件, 品種および草地造成方法の影響	86

## 第1章 林畜複合生産システム

### (1) 林畜複合生産システム —宮崎県諸塚村の事例を中心に—

杉本安寛  
(宮崎大学農学部)

### (2) 植栽木の生長と林内放牧による下刈り効果

杉本安寛  
(宮崎大学農学部)

### (3) GPS 測位記録を利用したスギ (*Cryptomeria japonica* D Don) 幼齡林内における放牧牛の行動

守屋和幸<sup>1</sup>・吉村哲彦<sup>1</sup>・北川政幸<sup>2</sup>・小山田正幸<sup>3</sup>・杉本安寛<sup>3</sup>  
(<sup>1</sup>京都大学大学院情報学研究科, <sup>2</sup>京都大学大学院農学研究科, <sup>3</sup>宮崎大学農学部)

### (4) Do cattle graze undergrowth in plantation forests?

Yoshimura, T.<sup>1</sup>, Sugimoto, Y.<sup>2</sup>, Moriya, K.<sup>1</sup> and Tachiki, Y.<sup>3</sup>  
(<sup>1</sup>Kyoto University, <sup>2</sup>Miyazaki University, <sup>3</sup>Hokkaido University)

### (5) 水飲み場の移動が林内放牧牛の行動圏に及ぼす影響

守屋和幸<sup>1</sup>・吉村哲彦<sup>1</sup>・杉本安寛<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>京都大学大学院情報学研究科, <sup>2</sup>宮崎大学農学部)

### (6) RAPD-PCR を用いた林内放牧牛由来大腸菌汚染の新しい評価法の検討

三澤尚明<sup>1</sup>・小山田正幸<sup>1</sup>・守屋和幸<sup>2</sup>・杉本安寛<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>宮崎大学農学部, <sup>2</sup>京都大学大学院情報学研究科)

## 植栽木の生長と林内放牧による下刈り効果

宮崎県諸塚村飯干峠（標高約 900 ～ 1,000m）の 7 年生クヌギ、7 年生及び 37 年生スギ、原野が混在する約 3ha を林内放牧の調査対象とした。1996 年秋に 7 年生及び 37 年生スギを伐採し、翌年 4 月にスギを新植し、5 月初旬より 10 月中旬まで妊娠を確認した黒毛和種繁殖牛 3 頭を放牧した。スギ植栽初年目から放牧しても、植栽木への被害は下刈りした場合と同等であり、特に問題は無いことは前述した。

その後、1997、1999、2001 年の退牧後の 11 月に下刈り区と放牧区のスギの生長を調査した。

表 1 は 37 年生スギ伐採跡地に植栽したスギの生長を比較したものである。下刈り区と放牧区の根元直径は 1997、1999、2001 年のいずれの調査でも両者間に差異は見られなかった。樹高は、1997、1999 年は放牧区が下刈り区よりもやや低い値を示したが、2001 年にはほとんど差異がみられなかった。以上のように、林内放牧によって、スギの生長が妨げられる兆候は見られなかった。

表 1. 飯干地区における植栽スギの根元直径および樹高に及ぼす放牧の影響

調査項目	処理区	調査年		
		1997	1999	2001
根元直径 (cm)	下刈り区	0.73	1.25	4.88
	放牧区	0.73	1.24	4.79
樹高 (cm)	下刈り区	56.0	92.7	232.2
	放牧区	46.7	84.7	228.8

注：下刈り区と放牧区については 1997 年、1999 は 179 本と 464 本、2001 年はいずれの区も 50 本調査。

次に、37 年生スギ伐採跡地に植栽したスギの、残存本数に及ぼす放牧の影響を植栽 5 年後（2001 年）に調査した（表 2）。

表 2 飯干地区における放牧 4 年後の植栽スギの残存本数に及ぼす放牧の影響

処理区	調査面積 (m <sup>2</sup> )	本数/ha
下刈り区	729	2128
放牧区	729	2564

残存本数は、下刈り区が 2,128 本、放牧区が 2,564 本であり、下刈り区がやや少なかった。前述のように、下刈り区のスギはスギの生長速度にもよるが、植栽後数年間は下刈り時にススキ等の草本類によってうっ閉状態にあり、人為的に損傷を受けやすい。特に本調査地にスギを新植した場所の傾斜は約 30 度であり、下刈り作業に困難を伴いスギが損傷を受けやすかったと推察される。

以上のことから、黒毛和種繁殖牛 1 頭/ha を約半年程度放牧し、下草が十分確保できれば、特に、放牧がスギの生長と損傷に大きな障害は与えないと推察された。



次に、林内放牧による下刈り効果について述べる。

調査地は後述する放牧牛行動調査にも利用している宮崎県諸塚村の5～7年生スギ・ヒノキ人工林（2001年現在）であり、面積は1.4ha（スギ：1.28ha、ヒノキ：0.12ha）、植栽密度は約2,500本/haである。この調査地の外周を2001年の春に電牧柵で囲み、林内への放牧を開始した。電気柵の電源は太陽電池から供給した。調査地内への放牧は2001年から黒毛和種繁殖雌牛（経産牛）を、時期により2～4頭を放牧した。放牧牛はいずれも入牧前の妊娠鑑定で妊娠が確認された。

また、2001年の退牧後に調査地内の一画（約100m<sup>2</sup>）を電気柵で区切り、放牧牛が林内に入れない禁牧区を設けた。

表3には、2002年の退牧時に禁牧区およびその近隣の、それぞれ9区画（1区画が1m<sup>2</sup>）から、土際から植物体を採取し、ススキ、ススキ以外の草本類、木本類およびつる性植物に分類し、乾物重を求めた結果を示した。

表3. 林内放牧による下刈り効果（浅藪地区）

植物種	乾物重 (g/m <sup>2</sup> )		放牧に伴う 減少率 (%)
	禁牧区	放牧区	
ススキ	5,600	1,233	78.0
草本類	81	26	68.0
木本類	112	331	-195.5
つる性植物	250	57	77.2
合計	6,042	1,647	72.7

禁牧区の合計乾物重の96%はススキであり、下層植生はススキ健占であったことがわかる。他方、放牧によりススキの乾物重は78%減少し、ススキ以外の草本類が68%、クズなどのつる性植物が77%減少した。禁牧区の合計乾物重は6,042gであるが、放牧区は1,647gへと減少し、減少率は73%であった。放牧区に残存しているススキ乾物重（22%）の大部分はススキの株であり、次年度の再生を保障するためには、この程度の残存は望ましいと推察される。対照的に木本類は、禁牧区の112gから331gへと増加した。後述の行動調査の結果からも明らかなように、放牧牛はススキを優先的に採食し、一部の樹種を除いて木本類、特に有刺類を好んで採食する傾向がみられない。また、放牧牛がススキを優先的に採食することによって、光あるいは養分に対する競合上、放牧区では木本類の生長に有利な環境にあると考えられる。

以上のように、放牧により、ススキやその他の草本類、つる性植物が約70～80%減少したことは、下刈り効果としては十分で、人為的な下刈りはほとんど必要ではないと考えられる。木本類、特に有刺類が残存した場合の優占が問題になるが、植栽木であるスギとの競合下で衰退する可能性があり、今後の下層植生の推移に注目する必要がある。

#### 引用文献

- 1) 岡崎泰明・杉本安寛：植栽木の生長・損傷に及ぼす放牧の影響および放牧牛による下刈り効果、日草華誌、48巻（別号）、162～163（2002年）。

## 水飲み場の移動が林内放牧牛の行動圏に及ぼす影響

目的:先述のように筆者らは中山間地での林業と畜産業の活性化を目指した林畜複合システムとして、黒毛和種繁殖雌牛をスギ人工林内に放牧することにより、林内の下草の利用を促す方法について検討を行ってきた。

林内には図のようにスギが隠れるほどの下草が繁茂しており、これらを刈る作業は重労働である。一方このことは林内には粗飼料資源が豊富に存在するというを示している。黒毛和種繁殖牛を放牧し、このような下草を利用させ、粗飼料としての下草の利用ならびに人手による下草刈の軽減を目指すものである。太陽電池を電源とした電気柵で囲んで、放牧牛の脱柵を防止している。

(左図)

放牧地の一箇所に水のみ場を設置した。

林内に放牧牛を導入した場合、放牧牛が林内の下草を万遍なく利用することが望まれ、そのためには、状況に応じて放牧牛の行動をコントロールすることが必要となる。

これまでに、乾燥地域にある800 ha 程度の広大な放牧地においては、水のみ場を中心とした放牧牛の行動が観察されており、水のみ場の位置が放牧牛の行動圏と密接に関連していることが報告されている。

そこで本研究では九州山地内の雨量が多く、放牧面積が 1ha 程度と狭い放牧地においても放牧牛の行動圏のコントロールに水のみ場の移動が有効か否かについて検討を行った。

放牧牛に GPS 首輪を装着し移動履歴を終日、長期間にわたって取得するとともに、試験期間の途中で水のみ場を移動し、そのことによる放牧牛の行動圏の変化を検討した。

試験地：宮崎県東臼杵郡諸塚村の5～7年生のスギ主体の人工林(面積 1.4ha)に黒毛和種繁殖雌牛2頭(個体番号91および156)を2003年4月26日から2003年7月13日まで終日放牧した。これらの放牧牛に GPS 首輪を装着して15分間隔で位置情報を取得した。また、2003年5月27日に水飲み場を移動した。本放牧地には週2回程度監視員が水飲み場への水の供給と巡視を行っている。

使用機材：GPS 首輪には、Lotek 社(ロッテック)のものを使用した。GPS の測位間隔は15分に

## 林内放牧および植生調査の様子



## 使用機材等



GPS首輪(Lotek社製)

測位間隔15分(96ポイント/日)

データ解析

GISソフト: ArcView8.1など

設定し、1日あたり96ポイントの位置情報を取得した。データ解析には GIS ソフトである ArcView8.1 などを使用した。

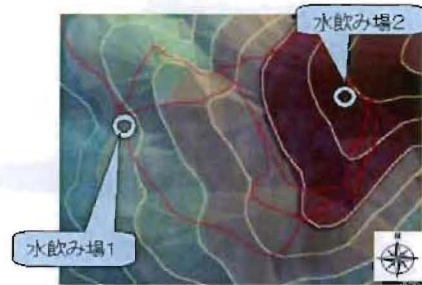
林内放牧地の地形および水飲み場の位置を左図に示した。

水飲み場は放牧開始時には水飲み場1に設置し、水飲み場1に近接したところから 2003 年4月26日に放牧牛2頭を搬入した。水のみ場は5月28日に水飲み場2に移動し、放牧終了まで水飲み場2に給水した。

結果と考察：

下図は水のみ場の位置が水のみ場1における前半期の2頭の牛の位置情報をすべてプロットしたものである。

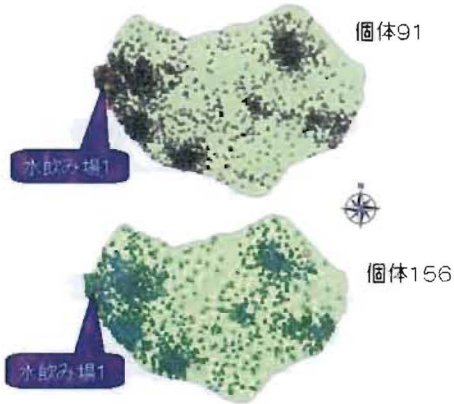
## 当該放牧地の地形図



水飲み場1: 2003年4月26日～5月27日  
東経131度21分41.48秒、北緯32度32分58.57秒  
水飲み場2: 2003年5月28日～7月13日  
東経131度21分46.44秒、北緯32度32分59.94秒

## 前半期の移動履歴

2003年4月26日～5月27日



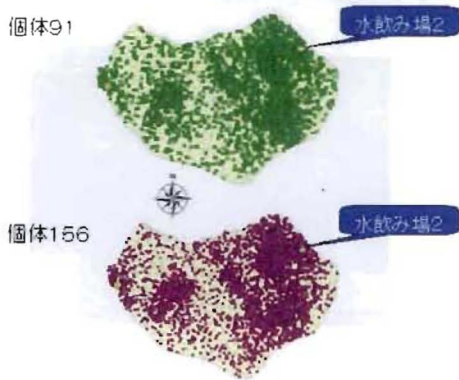
前半期には、水飲み場1を中心とした西側のエリアに主に分布

放牧開始当初は西側の水のみ場を中心としたエリアに牛の位置情報が集中していた。

放牧開始後3週間程度経過すると北東側のエリアにも分布が認められるようになった。

## 後半期の移動履歴

2003年5月28日～7月13日



後半期には、水飲み場2を中心とした東北エリアに分布が移動

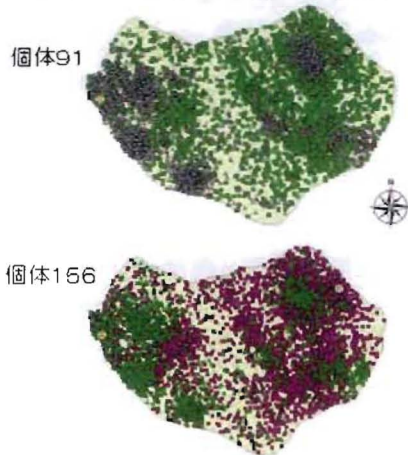
左図は水のみ場を水飲み場2に移動した後半期の2頭の位置情報をプロットしたものである。

水のみ場の移動に伴って牛の位置が、新たな水飲み場の周辺を中心に分布する傾向が認められた。

時間の経過とともに分布域が拡大し、水のみ場1の前半期に比べ後半期には放牧地全体に分布が認められるようになった。

## すべての移動履歴

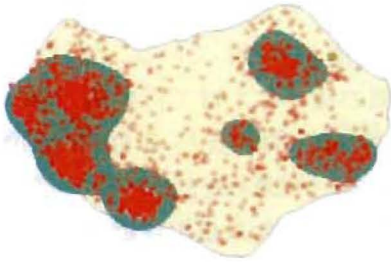
2003年4月26日～7月13日



放牧期間全体を通してみると放牧地のほぼ全域を利用していることがうかがえる。

左図に放牧期間中のすべての位置情報をプロットした。この結果は一部の地域を除いて、ほぼ放牧地域全域を牛が分布していることがわかる。

## 固定カーネル法による 行動圏推定



- ・位置情報から、領域内の確率密度を推定
- ・確率密度の累積値は100%となる
- ・頻度の高い部分から、25%、50%、90%の領域をそれぞれ抽出し地図上にその領域を描画した

計算ソフト

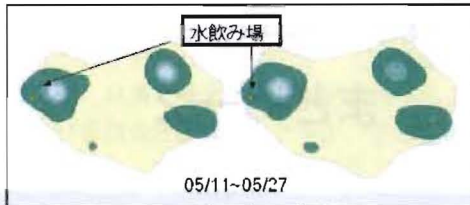
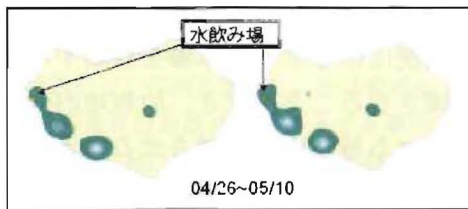
ArcView3.2+ Animal Movement

あるいは20%行動圏となっている。

左図には一般的な固定カーネル法を用いた行動圏の推定の結果を示している。なお、固定カーネル法による行動圏推定には ArcView3.2( アークビュー 3.2)のエクステンションであるアニマルムーブメントを用いた。

固定カーネル法による行動圏推定は、得られた位置情報から確率密度関数をノンパラメトリックな手法で推定するもので、この図では密度関数の上位25%、50%および90%の範囲を地図上にプロットした。この図では、赤で示したポイントが実際に取得した位置情報あり、緑のエリアが固定カーネル法で推定した90%行動圏の領域である。このように、位置情報のプロットが集中している場所、すなわち固定カーネル法により分布密度が高い領域を行動圏として抽出します。なお、ここでは赤のプロット点に隠れていますが、とくにプロットが集中している場所が50%、あ

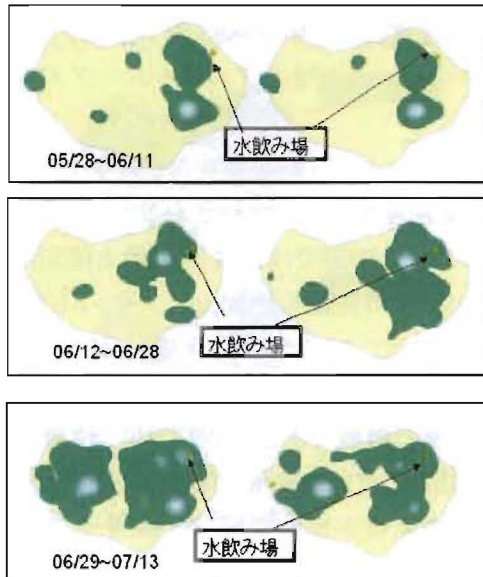
前半期(2003/04/26~05/27)の行動圏



左: 個体91、右: 個体156

左図はいずれも固定カーネル法を用いた前半期における行動圏推定の結果である。左に個体91、右に個体156の結果を示している。濃い緑から薄い緑の順にそれぞれ、90%、50%、25%行動圏を示しているが、ここでは特に濃い緑色で示した90%行動圏について考察したい。放牧導入当初は搬入位置の最初に設置した水のみ場1周辺に行動圏が限られており、行動圏が比較的狭いことがうかがえる(上図)。その後は水のみ場付近のほか、斜面北東側の部分にも行動圏が広がっていることがうかがえる(下図)。また、前半期は2頭の個体がきわめて類似した行動圏を示している。

## 後半期(2003/05/28~07/13)の行動圏



左: 個体91、右: 個体156

左図には水飲み場2へ移動後の行動圏を示した。水飲み場の移動直後の期間は新しい水のみ場の周囲に行動圏が移動していることがわかる。また、放牧期間の後半にかけて行動圏が拡大するとともに、放牧の前半期に比べ2頭の行動圏に相違が認められるようになった。

以上の結果から、水飲み場を移動することにより、牛の行動圏を変化させることができた。また、放牧地への導入当初は搬入口周辺の比較的狭い場所での行動にとどまり、かつ2頭がほとんど一緒に行動していた。放牧後半期には放牧牛が林内放牧地に慣れてきたことおよび下草量が少なくなってことから、行動圏が広がる傾向にあったと推察される。加えて各個体単独の行動も多くなったことがうかがえる。

これらのことから、放牧牛の行動圏の変化の要因として、水のみ場の移動と、放牧地内の植生量の減少も考慮する必要があると考えられる。

このようなことから放牧面積が狭く、雨量の多い林内放牧地であっても水飲み場の移動が放牧牛の誘導に有効であると考えられる。さらに状況に応じて水のみ場を移動することにより、当該放牧地内で万遍なく下草刈の効果を発揮させることができ、放牧地内の植物資源の有効利用が可能となる。さらに、特定場所における放牧圧を軽減させることが可能となり、特に利用が集中する水のみ場周辺での糞尿等による環境汚染の防止に役立つものと考えられる。さらに、牛道発生の防止、牛の行動圏を変えることにより、1日あたりの牛の行動距離を短縮し、エネルギー消費を抑制する効果なども期待できる。

### まとめ—1

- 水飲み場の移動により、行動圏が移動。
- 当初は搬入場所付近を中心にした狭い行動圏をもち、2頭が一緒に行動
- 放牧地に慣れるにしたがって行動圏が拡大し、2個体がそれぞれ異なった行動圏を持つようになる
- 行動圏の変化は、水のみ場の移動ならびに植生量の減少によりもたらされる

### まとめ—2

#### 水飲み場の移動がもたらす効果



- I. 万遍なく下草刈の効果を発揮
- II. 放牧地の植物資源の有効利用が可能
- III. 特定場所の放牧圧の軽減
- IV. 水のみ場周辺での糞尿による環境汚染の防止

## 第2章 林内放牧地における放牧が下草現存量に及ぼす影響

西脇亜也・杉本安寛・伊藤 哲  
(宮崎大学農学部)

### 1. はじめに

低コスト森林施業技術の一つとして放牧を活用する、林畜複合生産システムを確立することは、草地畜産と林業とが連携して国土管理を行う上で重要である(杉本, 2002)。このシステムの展開のためには、樹木の成長と粗飼料生産機能が調和した林地植生の成立条件を知ることが求められている。

このようなシステムは明治の中期以降、「林内放牧」、「林間放牧」、「造林地放牧」、「混牧林」などと呼ばれてきた(三田村ら, 1981; 岩波, 1998)。昭和42年から53年にわたって林野庁が全国10ヶ所の国有林を対象に混牧林実験事業を展開し、60編にのぼる報告書が印刷されたが、その中身はほとんど放牧牛による林木被害に関するものであり、混牧林経営に関する報告は皆無である(岩波, 1998)。本来ならば、林内放牧によるプラス面とマイナス面を客観的に評価すべきであるが、過去の研究では必ずしもそのように進展しなかったようである。放牧牛による採食により下草の現存量が減少することは、下刈り労力の軽減となることから林業上のメリットが大きいと考えられるが、この点に関する研究が見あたらないのは、林畜複合生産システムを確立する上で大きな問題である。

そこで、造林地での放牧によるプラス面として下刈り労力軽減効果と飼料草確保について取り上げ、これらを定量的に把握することを目的とした調査を行った。下刈り労力は下草現存量に比例して大きくなると考えられるため、下草現存量の変化に注目した。また、下草現存量だけでなく、放牧期間における被食量を同時に求めることにより、飼料草の量的な評価を試みることにした。造林地に生育する植物の多くは、経年的に放牧による被食や踏圧を被ることによって、これらの現存量は年次的に大きく変化する。放牧地の植生は数年で大きく変化するこ

とが知られているが、同様に林内放牧を連年行った造林地での植生も大きく変化すると予想される。放牧によって短期的には下草現存量が大きく減少することが知られているが(西脇, 2000)、長い年月放牧された放牧地では家畜の嗜好性の低い植物が増加することが知られており(西脇, 1993)、林内放牧地での長期的な放牧が下草現存量の増加をもたらす可能性がある。そこで、林内放牧地における連年の放牧による下草現存量と被食量の変化を知ることは、下刈りの必要頻度と放牧可能年数を明らかにする上で重要である。そこで、林内放牧地における下草現存量の放牧開始後3年間の変化について報告する。また、諸塚村では数カ所で林内放牧が行われているため、この3年間の調査を行った吉野宮地区との比較のため、最終年には戸下地区についても同様の調査を行った。

### 2. 方法

#### 1) 現存量と被食量

宮崎県諸塚村吉野宮地区のスギ・ヒノキの幼齢林(開始時5, 6年生、約3.4ha)で林内放牧が行われた。この放牧地は諸塚村で数多く行われている林内放牧地の一つである。1999年の9月から11月、2000年5月から11月中旬、2001年5月から11月中旬まで肉用牛数頭の放牧が行われた。1999年には、9月の放牧開始時と終了時に1×1m方形枠7個を設定し、それぞれの枠で現存量調査を行った。2000年と2001年には、放牧開始時に4ヶ所の放牧からの保護ケージ(縦横高さが2×2×2m)を設置し(保護区)、放牧終了時に保護区内および放牧区内のそれぞれ1×1m方形枠4個について、枠内に出現した全ての高等植物種の被度と高さを記録し、その後地際から刈取った。2001年には戸下地区についても4ヶ所の放牧からの保護ケージ(縦横高さが2×2×2m)を設置し(保護区)、放牧終了時には、保護区内および放

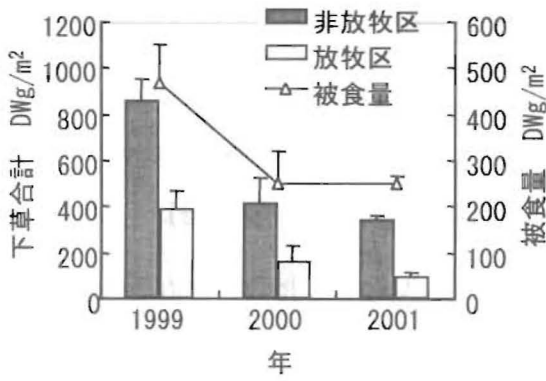


図1 下草合計の変化

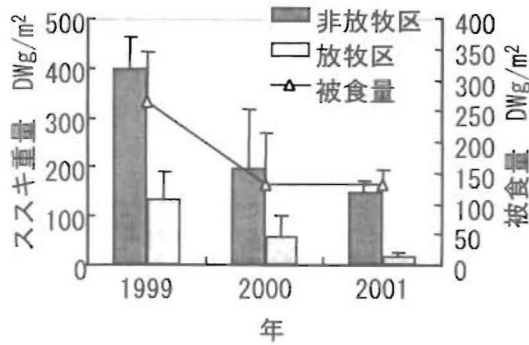


図2 ススキ重量の変化

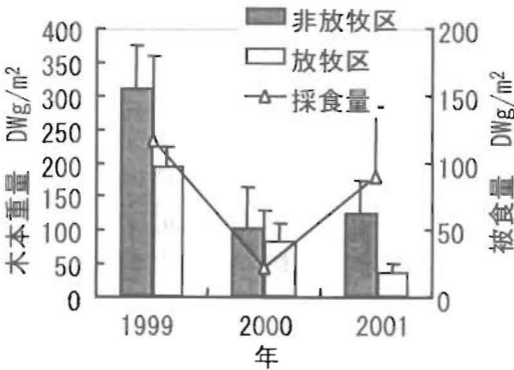


図3 木本重量の変化

牧区内のそれぞれ  $1 \times 1$  m 方形枠 3 個について、枠内に出現した全ての高等植物種の被度と高さを記録し、その後地際から刈取った。3 個しか調査できなかったのは、保護ケージ 1 個が倒壊したためである。植物は実験室に持ち帰り、通風乾燥機を用いて  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  で 48 時間以上乾燥し、種類毎に乾物重量を測定した。

## 2) 全天空写真による開空度の測定

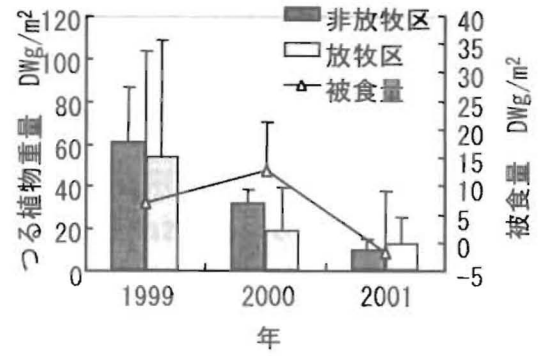


図4 ツル植物重量の変化

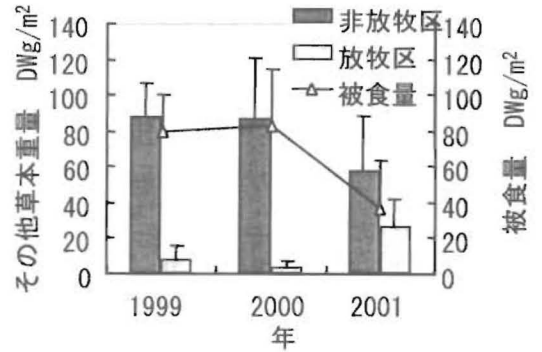


図5 その他草本重量の変化

開空度は、 $180$  度魚眼レンズを装着したデジタルカメラを用いて測定した。すなわち、魚眼レンズを水平で写真の上が磁北または真北になるよう固定して魚眼モードで撮影した全天空写真を調査地点毎に撮影し、画像処理ソフト (Adobe photoshop ver. 5.0) を用いて、トリミングと白黒 2 階調化を行った後に、ピクセル単位で白色の面積を求めることで開空度を測定した。

## 3. 結果

### 1) 植物地上部現存量の年次変化

放牧によって、下草の乾物重量は減少を続けた (図 1)。何れの年にも下草の乾物重量は放牧によって 5 割～7 割減となり、放牧による下刈り効果が大いことが明らかである。1 年目の放牧後に人力による下刈りが行われたが、必要人員は通常の数分の 1 以下であった。放牧 2 年目以降の、放牧による下刈り労力軽減効果はさらに大きかった。



表1 吉野宮地区における植物地上部現存量  
(乾物重g/m<sup>2</sup>)。保護区、放牧区とも4ヶ所の平均。  
保護区は縦横高さが2mのプロテクトゲージ内。

	保護区	放牧区	保護-放牧	放牧/保護
ススキ	148.5	17.4	131.2	0.12
木本類	127.0	37.5	89.5	0.30
草本類	1.1	7.4	-6.3	6.54
ツル植物	10.9	12.8	-1.9	1.17
シダ類	56.8	19.9	36.9	0.35
計	344.3	94.9	249.4	0.28

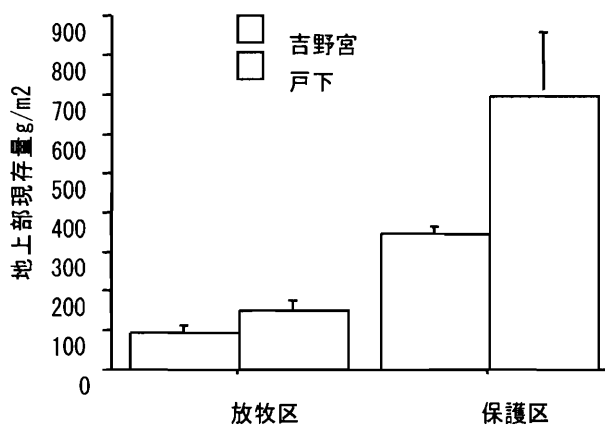


図6 地上部現存量の放牧区と保護区  
の比較。平均値±標準誤差

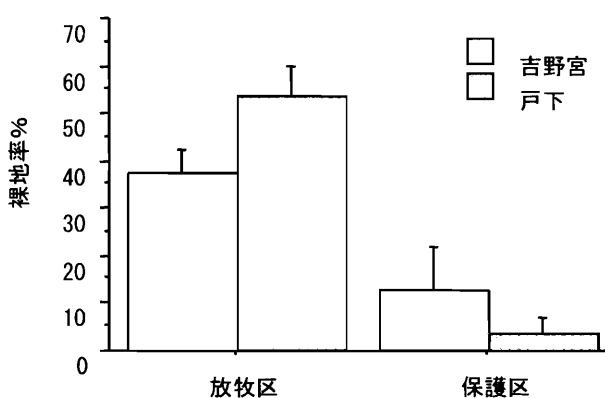


図7 裸地率%の放牧区と保護区  
の比較。平均値±標準誤差

表2 戸下地区における植物地上部現存量  
(乾物重g/m<sup>2</sup>)。保護区、放牧区とも3ヶ所の平均。  
保護区は縦横高さが2mのプロテクトゲージ内。

	保護区	放牧区	保護-放牧	放牧/保護
ススキ	41.8	1.5	40.3	0.04
木本類	369.9	84.2	285.7	0.23
草本類	38.6	26.6	12.0	0.69
ツル植物	38.7	11.6	27.1	0.30
シダ類	23.9	1.4	22.5	0.06
ハチク	178.6	21.8	156.9	0.12
計	691.6	147.1	544.5	0.21

被食量は、初年度の放牧が9頭で行われたことも反映して453g/m<sup>2</sup>と多かったが、2年目、3年目は約250g/m<sup>2</sup>であった。3年目の吉野宮地区では2494kg/haとなり、造林地の1haで約1頭～2頭分の夏場の飼料草が確保可能な程度であった。この結果から、無施肥であっても、少なくとも数年間は牧養力が維持されることが明らかである。

しかしながら、下草の内訳には変化が生じており、放牧区の現存量に占めるススキの割合が減少した(図1)。その他草本の割合は増大したが、その他草本の被食量が減少した(図5)。これはワラビなどの不嗜好植物が増加したためであった。ツル植物の現存量は放牧年数の経過に伴って減少し、被食量も3年目には極めて少なくなった(図4)。放牧3年目には木本の被食量が2年目よりも増大したが、これはススキや嗜好性の高い植物の現存量の減少に起因する(図3)。

## 2) 2つの地区間の比較

地上部現存量、被食量、裸地率%、種数密度、開空度、植生について、放牧後3年目の吉野宮地区と放牧後2年目の戸下地区との比較を行った。

地上部現存量：約6ヶ月間の放牧によって、下草の乾物重量は大きく減少していた(表1,2,図6)。下草の乾物重量は放牧によって戸下地区では約8割減、吉野宮地区では7割減となり、放牧による下刈り効果が大きいことが明らかである。放牧による下刈り労力軽減効果は大きく、特に、木本類、ハチクなどの現存量が大きく減少していたことは、里山管理に放牧牛を利用することの有効性を示している。一方、ワラビなどのシダ類の現存量が大幅に低下していることは家畜健康上の懸念材料である。

被食量：保護区と放牧区との現存量の差によって求めた被食量は表1と表2に示したが、放牧2年目の戸下地区で5445kg/ha、3年目の

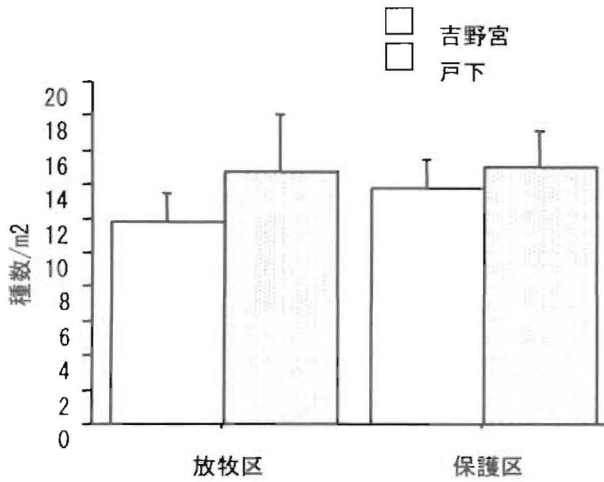


図8 種数密度の放牧区と保護区の比較. 平均値±標準誤差

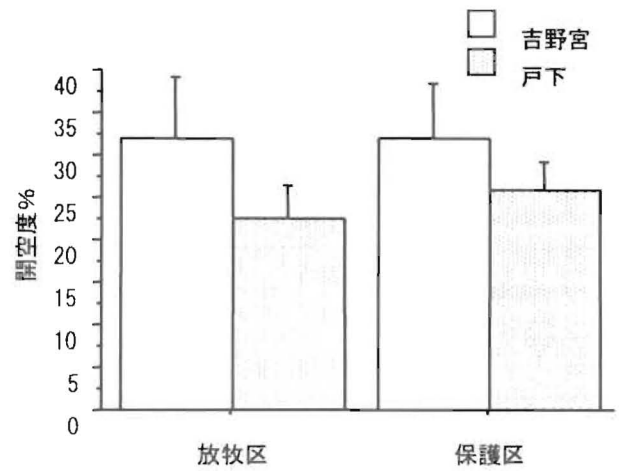


図9 開空度(明るさ度)の放牧区と保護区の比較. 平均値±標準誤差

吉野宮地区では2494kg/haとなり、造林地の1haで約1頭～2頭分の夏場の飼料草が確保可能であったことがわかる。

裸地率%：吉野宮地区、戸下地区ともに放牧区の裸地率は保護区のそれを大きく上回っていた(図6)。下刈り効果を期待した結果、放牧利用率が7割以上となったが、この高い放牧圧が裸地発生の一因である可能性がある。

種数密度：吉野宮地区、戸下地区ともに保護区と放牧区とで1×1m方形枠内に出現した種数に差は認められなかった(図7)。

開空度：開空度には、吉野宮地区、戸下地区ともに保護区と放牧区とで差は認められなかった(図8)。また、現存量は戸下地区の方が吉野宮地区よりも多かったが、開空度は逆に吉野宮地区の方が大きかった。このことから、地区間の現存量の差は、上木であるスギなどの植栽木による閉鎖の影響よりも放牧経過年数による影響の方が大きかったと判断することができる。

### 3. 考察

#### 1) 植物地上部現存量の年次変化

放牧によって下草の現存量は大きく減少したことから、放牧開始1、2年目の放牧による下刈り労力軽減効果は極めて大きかったことが明らかである。また、放牧年次が経過する毎に放牧区だけでなく保護区での現存量も低下した。これは、移動ケージ法によって被食量を測定す

るために保護区を毎年移動しているために、保護区も前年の放牧の影響を受けた場所に設置されたためであると考えられる。数年間の放牧によって、不嗜好植物が増加し、木本も増加することになり、牧養力の維持と下草刈り効果の両面で問題となる。この問題の解決には、少なくとも2年に一度、放牧終了後に掃除刈りを行うことが必要であると考えられる。

#### 2) 2つの地区間の比較

地上部現存量について、放牧後3年目の吉野宮地区と放牧後2年目の戸下地区との比較を行った結果、両地区とも放牧によって地上部現存量が大きく減少しており、放牧による下刈り効果が大きいことが明らかである。放牧による下刈り労力軽減効果は大きく、特に、木本類、ハチクなどの現存量が大きく減少していたことは、現在、竹類の繁茂が問題となっている里山管理において放牧牛を利用することの有効性を示していると考えられる。すなわち、放牧によりタケの抑制が、ある程度は可能であることが示されたことは大きな成果である。タケノコは春から夏にかけて長期間に渡って出現するため、刈り取りにより抑制することが困難な面があるが、放牧牛は、放牧期間中であればタケノコが出現するたびに放牧牛が常に摂食したり踏みつけることによるタケの抑制を可能にすると考えられる。今回の戸下地区での放牧は、5月から11月までの長期間のものであったこと

が、このような成果につながったと考えられる。

現存量や被食量については、戸下地区の方が吉野宮地区よりも多かった。これは、開空度が吉野宮地区の方が高かったことから考えて、戸下地区の光環境が吉野宮地区よりも良好であったためとは考えにくい。吉野宮地区の放牧1年目、2年目の現存量や被食量が3年目のそれよりも多かったことから、両地区間の現存量や被食量の差は、放牧履歴の差であると考えることができる。

裸地率については、両区とも放牧区の方が高かったが、両区間の差は認められなかったことから、放牧が土地に与えたインパクトの程度には大差なかったと考えられる。

種密度については、両区ともに放牧区と保護区で差はなく、放牧による種多様性に与えるインパクトの程度は確認できなかった。これは、放牧区と保護区との放牧履歴の違いが1シーズンだけであったために放牧による長期的な負の影響が顕在化していないためである可能性があるし、種数は変化しなくとも、種の交代があった可能性もあるため、今回の結果から、放牧が種多様性に対して負の影響を与えないとは言い切れないと考えられる。

これらの結果をまとめると、放牧により下草現存量は大きく減少するため下刈り労力の軽減

効果は高く、その効果は放牧年次とともに大きくなる傾向がある。しかしながら、下刈り労力軽減効果を期待しすぎると裸地率が高くなることや、嗜好性が高く再生力の弱い植物種を放牧区から排除してしまい種多様性に対して与える負の影響も大きくなるため、放牧圧については加減が必要であると考えられる。裸地率が高まるほどの放牧圧であれば、植栽木に対する被害が生じる可能性もあるため、次章ではこの点について検討する。

## 引用文献

- 岩波悠紀 (1998) 混牧林研究の歴史と残された問題点——林業サイドから見た歴史と問題点——. 草地畜産から見た混牧林の未来. 草地試験場資料, 1-13
- 三田村強・小川恭男・鎌田悦男・手島道明・岡本恭二 (1981) 混牧林に関する研究—草地に植栽した幼齢木の放牧牛による採食について—. 草地試研報 20:154-166
- 西脇亜也・菅原和夫・伊藤 巖 (1993) 放牧影響下にあるススキ型草地での低木群落の成立. 日本草地学会誌, 39: 1-6
- 杉本安寛 (2002) 林畜複合システム—宮崎県諸塚村の事例を中心に—日本草地学会誌, 47:644-651

# 第3章 林畜複合生産システムが林床植生の種組成および植物種多様性に及ぼす影響

伊藤 哲・石上智士・西脇亜也  
(宮崎大学農学部)

## 摘要

林内放牧が人工林の下層植生に与える影響を評価する目的で、宮崎県諸塚村で林内放牧が行われた幼齡林(放牧区)の植生を調査した。同時に、人手による下刈り作業のみが行われ、林内放牧がなされていない幼齡林(下刈区)、下刈り期間が終了した幼齡林(放置区)、および壯齡人工林(壯齡林)の下層植生を調査し、林分タイプ間での植生の比較を通して林内放牧による継続的・選択的採食の影響について考察した。クラスター分析の結果、下層植生の種組成は林分タイプ毎にまとめて分類された。DCAによる解析では、下層植生は林齢に沿って序列され、放牧区および下刈区の植生は共に開地性および二次植生型の草本類の繁茂と、森林性植物(主に樹木種)の欠落によって特徴づけられた。放牧区と下刈区の植生の違いはDCA第2軸で表現され、放牧区の植生は下刈区と比較して常緑樹や照葉樹林型の植物が多く、草本種や二次植生型および開地性の植物がやや少ないという特徴を持つことが示された。これは、家畜の採食選択性と継続的攪乱が放牧区の種組成変化に影響したためと考えられた。しかし種多様度の比較では、放牧区と下刈区の間にも明瞭な差は認められなかった。以上の結果から、林内放牧による採食選択性と継続的攪乱による影響は小さく、通常の下刈作業が許容される範囲においては、林内放牧の林床の植物種多様性に与える影響は大きくないと考えられた。

キーワード：林内放牧、種多様性、採食選択性、生活形、生育環境

## 1. はじめに

宮崎県諸塚村で行われている林内放牧による林畜複合生産システムは、低コスト森林施業技術の一つとして放牧を活用する複合的土地利用・管理システムである(杉本, 2004)。中山間地域および山村地域における持続的な生物生産が要請されるなかで、林畜複合生産システムは、持続的な土地管理・生産システムとして期待が高まっている。

幼齡造林地で牛の放牧を行うことにより、森林管理の面からは下刈り労力軽減の効果が期待される。一方で、幼齡林内に牛を放牧することに伴うリスクとして、造林木の損傷、糞尿による水質汚染、踏圧による表層土壌の硬化やこれにともなう雨水の浸透能の低下、および採食圧による植物種多様性へのインパクトなどが予想される。したがって、林畜複合生産システムを持続的に適用する上では、経済的な費用対効果の検証に加えて、林地の環境に対するインパクトを評価し、これに基づいて適切に運用する必要がある。このうち植物種の多様性は、資源生産を目的とした農業生態

系が正常に機能を発揮する上で重要な要素と位置づけられている(Swift and Anderson, 1994)。人工林においても、近年は木材生産以外にも多様な機能を発揮させることが世界的に求められており(Kimball and Hunter, 1990; Hansen *et al.*, 1991; Burton *et al.*, 1992; Silbaugh and Betters, 1995; Kimmins, 1997; Moore and Allen, 1999)、生物多様性の保全は持続的な森林経営の要件の一つに挙げられている(渡邊, 1995)。また、人工林が国土の約4分の1を占める我が国では、針葉樹人工林の造成自体が地域の生物多様性に多大なインパクトを与えることが指摘されている(中川・伊藤, 1997; 長池, 2001; Ito *et al.*, 2003; Ito *et al.*, 2004)。このような背景の下で、様々な森林施業の植物種多様性に対する影響評価が行われてきている(Wallace *et al.*, 1992; Wallace and Good, 1995; Brunet *et al.*, 1996; 長谷川, 1998; Battles *et al.*, 2001)。

通常的人工林施業に加えて家畜による採食の加わった場合の植物種の挙動の把握は、人工林の生物多様性管理という面からも重要である。その際、放牧の影響は他の森林管理方法の影響との違

いとして評価されるべきである。人工林の一般的な管理においては、植栽木と他の植物の競争を緩和し目的樹種による成林を促進するために、植栽後数年のあいだ下刈作業が行われる。幼齢林への林内放牧は下刈労力の軽減が期待されるが、適切な林内放牧では家畜にとって十分な粗飼料を確保するために放牧密度が一定の水準に抑えられるので、通常は放牧後に人手による補助的な下刈りが実行される。したがって、幼齢林における林内放牧の影響は、通常の年1回の手による下刈りに対して、家畜による継続的な下刈りがなされること、継続的な踏圧が下層植生に影響する可能性があること、および家畜の採食選択性による植生変化の可能性があること(Hasegawa et al., 1999)があげられる。

本研究では、林内放牧が人工林の下層植生に与える影響を評価する目的で、宮崎県諸塚村で林内放牧が行われた幼齢林の植生を調査した。同時に放牧されていない幼齢林、下刈り期間が終了した幼齢林、および壮齢人工林の下層植生を調査し、植生遷移上での種組成の比較をとおして、林内放牧による継続的・選択的採食の影響について考察した。

## 2. 方法

### 2.1. 対象地および調査方法

調査は、宮崎県東諸郡諸塚村浅敷地区(標高800-950m)の尾根に近い緩斜面上のスギ幼齢林で行った。同地区で過去2年間林内放牧が行われた3~5年生の末閉鎖林分(造林木の平均樹高3.5m)3箇所を「放牧区」の調査地として設定した。比較対照として、隣接するほぼ同齢の林分で、放牧の履歴がない林分3箇所を「下刈区」として設定した。また、植栽後7~8年と推定される、下刈り期間が終了し下層植生が放置された林分1林分(平均樹高5.3m)を「放置区」として選定した。さらに、上記調査地から約3km離れた上部斜面に成立する90年生のヒノキ人工林(平均樹高20.6m)を「壮齢林」として選定した。「壮齢林」では、1987年に最後の間伐が実施されている。以降、これらの調査区の違いを「林分タイプ」と呼ぶ。これらの調査地において、2001年10月および2002年10月にそれぞれ植生調査を行った。調査時期は、放牧区と下刈区のいずれも人手

による下刈作業が終了した後2ヶ月程度経過した時期である。

各調査林分に1m×30mの調査プロットを設置し、これを1m×1mのコドラート30個に分割して、各コドラートに出現した維管束植物の種名を記載した。したがって、用いたプロット数およびコドラート数は放牧区、下刈区および壮齢林で3プロットおよび90コドラートずつであり、放置区で1プロットおよび30コドラートである。なお、放牧区では水飲み場が設置されていた近辺で裸地が見られたが、今回の調査では水飲み場近辺の裸地を避けてプロットを配置した。

### 2.2. 解析方法

プロットごとに各出現種の相対頻度を算出し、これを優占度に用いて、クラスター分析による植生タイプの分類を行った。分析に用いた非類似度はユークリッド距離であり、結合法はWard法を使用した。また、同じ優占度行列を用いてDCA(Detrended Correspondence Analysis: Hill and Gauch, 1980)によりプロットの序列を行った。クラスター分析およびDCAにはパーソナル・コンピュータベースの植生解析用多変量解析ソフトであるPC-ord Ver4(McCune and Mefford, 1999)を使用した。さらに、DCAで抽出された第1軸および第2軸に対する植物種の貢献度を解析するために、各出現種のスコアを求め、各軸のスコアで上位の40種および下位の40種を抽出した。抽出された種群について、生活形別の構成比率、および過去の文献で記載されている本来の生育環境別の構成比率を求め、種群間で比較した。本来の生育環境(以下、生育環境)については、奥田(1997)の記載に従い、奥田(1997)に記載の無いものは「不明」として扱った。

種多様度については、プロットごとにShannonの多様度指数( $H'$ ) (Pielou, 1969)を生活形別および生育環境別に算出し、分散分析により林分タイプごとの平均値を比較した。 $H'$ は次式から算出した。

$$H' = - \sum p_i \times \log p_i$$

ただし $p_i$ は*i*種の相対優占度であり、ここでは各プロットにおける出現種の相対出現頻度を用いた。なお、放置区は1プロットのみでの調査であったため、分散分析からは除外した。

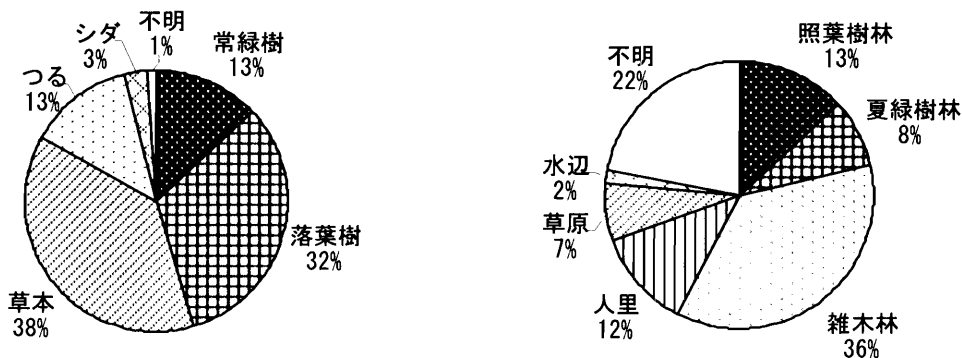


図-1. プロットに出現した全177種の生活形構成(a)および本来の生育環境別の構成(b).  
本来の生育環境は奥田(1997)の記載に従い、記載のない種は「不明」とした。

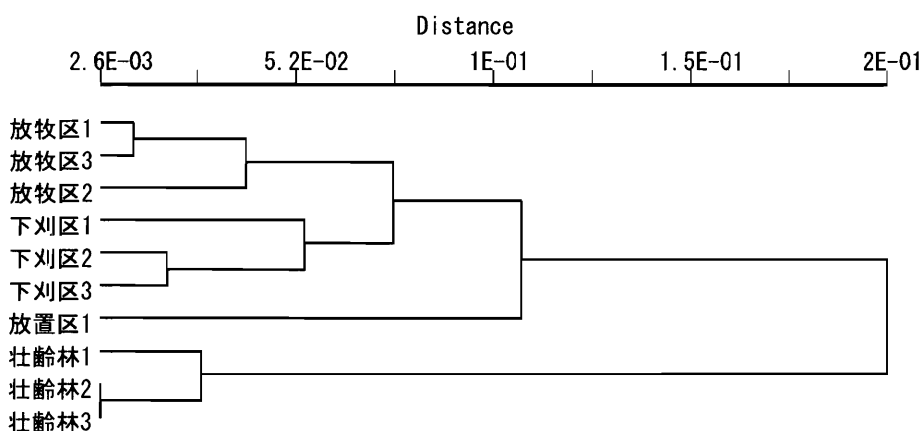


図-2. プロット間種組成の非類似度(ユークリッド距離)行列によるクラスター分析の結果

### 3. 結果

#### 3.1. 種組成

全プロットを合計して177種の出現が確認された。このうち、生活形別では常緑樹および落葉樹を合わせた樹木種が全体の45%を占め、草本種が38%、つる植物が13%であった(図-1a)。生育環境別にみると、雑木林型が36%と最も多く、本来の森林性植物である照葉樹林型および夏緑林型はそれぞれ13%および8%であった(図-1b)。より人為影響の強いハビタットに対応する人里型および草原型はそれぞれ12%および8%であった。

プロット間のクラスター分析により、全10プロットは林分タイプごとに異なるグループに区分された(図-2)。この中で放牧区と下刈区は比較的小さな非類似度で結合され、放置区がさら

にこれに結合された。壮齢林は他の林分ともっとも大きな非類似度で結合された。

DCAの結果、第1軸および第2軸の固有値はそれぞれ0.625および0.255であり、特に第1軸の固有値が高かった。第1軸および第2軸の尾直交座標系上で、各プロットは林分タイプごとにまとまって散布された(図-3)。放牧区および下刈区のプロットは第1軸のスコアが小さく、壮齢林のプロットは第1軸のスコアが大きかった。放置区は両者の中間に序列された。放牧区および下刈区のプロットは、第2軸に沿って分離しており、放牧区のプロットは第2軸のスコアが大きく、下刈区のプロットは第2軸のスコアが小さかった。

図-4にDCAの第1軸のスコアにおける上位40種と下位40種の生活形別および生育環境別構成比率を示す。上位40種では常緑樹および落葉樹の比率が高いのに対して、下位40種では草本種

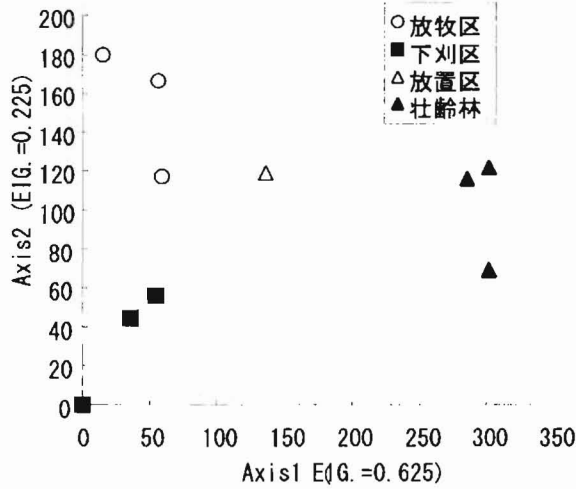


図-3. DCAの第1軸および第2軸による調査プロットの散布結果

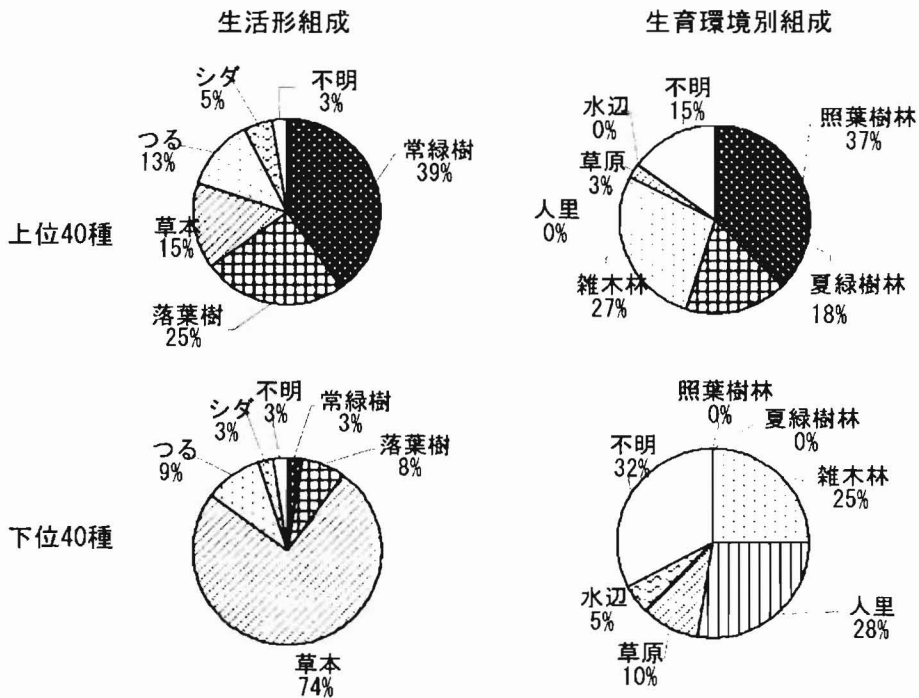


図-4. DCAの第1軸のスコアにおける上位40種と下位40種の生活形別および生育環境別構成比率

が全体の約74%を占めた。生育環境別では、上位40種の半数以上が照葉樹林型または夏緑林型であるのに対して、下位40種ではこれら森林性の植物は含まれず、人里および草原型の種の比率が高かった。

図-5にDCAの第2軸のスコアにおける上位40種と下位40種の生活形別および生育環境別構成

比率を示す。上位40種の生活形組成では草本種の比率が48%と最も高かったが、常緑樹および落葉樹もそれぞれ21%を占めた。これに対して下位40種では草本種の比率が69%と上位40種に比較してさらに高く、常緑樹は全く含まれなかった。生育環境別では、上位40種で照葉樹林型が15%含まれた。下位40種では全く含ま

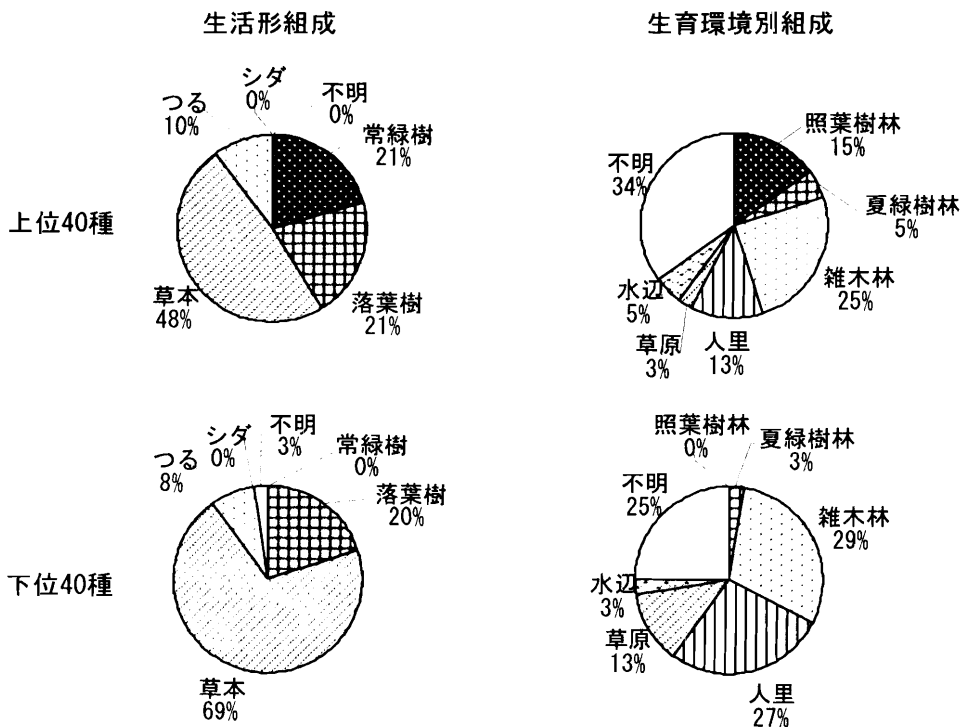


図-5. DCAの第2軸のスコアにおける上位40種と下位40種の生活形別および生育環境別構成比率

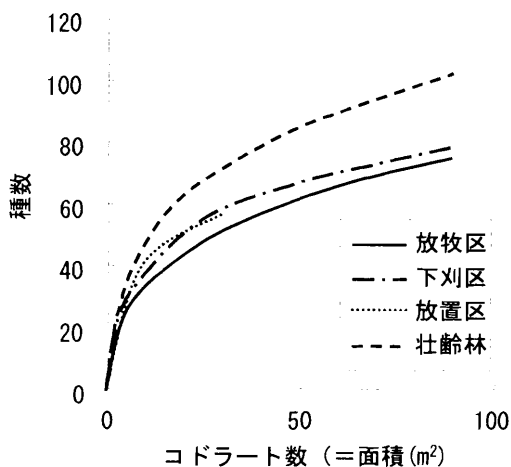


図-6. 各林分タイプの種数面積曲線

各林分タイプのプロット (30m<sup>2</sup>) あたり出現種数および全種を対象とした多様度指数  $H'$  は壮齢林で最も高く、次いで放置区、下刈区、放牧区の順であった (表-1)。放牧区と下刈区の多様度指数には有意な差が認められた。生活形別では、壮齢林で放牧区および下刈区と比較して常緑樹および落葉樹の多様度が高く、草本種およびシダ植物の多様度が低かった。放牧区と下刈区の間では、各生活形の多様度に有意な差は認められなかった。本来の生育環境別の多様度 (表-2) でも、壮齢林と放牧区および下刈区の間には有意差が認められ、壮齢林では常緑樹林型および夏緑樹林型の種の多様度が高く、人里および草原型の種の多様度が低かった。放牧区と下刈区の間では、生育環境別の多様度に有意な差は見られなかった。

れず、人里および草原型がそれぞれ 27% および 13% と、上位40種と比較して高い比率であった。

### 3.2. 種多様性

各林分タイプの種数-面積関係を比較すると (図-6)、壮齢林で最も種数が豊富であり、他の3タイプは、ほぼ同様な種の豊富さを示した。下刈区は放牧区に比較してやや種が豊富であった。

## 4. 考察

林内放牧を行った幼齢造林地 (放牧区) の植生は、基本的に人手で下刈を行った幼齢造林地 (放牧区) の植生と基本的に類似していると考えられる。クラスター分析と DCA のいずれの結果においても、これら幼齢林分の植生は壮齢林と分離し



表-1 各林分タイプのプロット当たり平均出現種数と生活形別多様度指数(H')の分散分析結果

林分タイプ	種数	多様度指数 (H')						
		全体	常緑樹	落葉樹	草本	つる	シダ	不明
放牧区	42.7 b	3.139 c	0.187 b	0.612 b	1.531 a	0.601	0.208 a	0.000
下刈区	46.7 b	3.326 b	0.055 b	0.703 b	1.740 a	0.656	0.161 a	0.011
放置区	57.0	3.609	0.394	2.013	0.864	0.254	0.084	0.000
壮齡林	60.3 a	3.627 a	0.998 a	1.031 a	0.795 b	0.715	0.083 b	0.005
F 値	11.35	20.98	78.73	8.73	25.85	0.46	9.01	0.62
有意確率	0.009	0.002	0.000	0.017	0.001	0.649	0.016	0.566

放置区はプロット数1。それ以外のタイプはプロット数3。分散分析は放牧区、下刈区、壮齡林間に対して行った。異なるアルファベットは多重比較(PSLD)において林分タイプ間に有意差があることを示す (p<0.05)。

表-2 各林分タイプの出現種の本来の生育環境別多様度指数(H')の分散分析結果

林分タイプ	常緑樹林	夏緑樹林	雑木林	人里	草原	水辺	不明
放牧区	0.012 b	0.032 b	1.495	0.791 a	0.465 a	0.065	0.278
下刈区	0.006 b	0.077 b	1.590	0.917 a	0.441 a	0.029	0.268
放置区	0.211	0.129	2.074	0.294	0.406	0.000	0.494
壮齡林	1.025 a	0.461 a	1.667	0.211 b	0.017 b	0.000	0.245
F 値	200.45	36.52	0.45	35.29	119.23	1.58	0.07
有意確率	0.000	0.000	0.660	0.000	0.000	0.281	0.931

出現種の本来の生育環境は奥田(1997)の記載に従い、記載の内種については「不明」とした。放置区はプロット数1。それ以外のタイプはプロット数3。分散分析は放牧区、下刈区、壮齡林間に対して行った。異なるアルファベットは多重比較(PSLD)において林分タイプ間に有意差があることを示す (p<0.05)。

ており、特に DCA の第 1 軸は中間的な放置区の配置を含めて、林齢の違いを反映していると考えられた。これまでの針葉樹人工林の植物種多様性に関する研究では、種組成が林齢に依存することが報告されており(清野, 1990; 中川・伊藤, 1997; Ito et al., 2003)、木材生産林として人為的な林冠構成種の誘導を行う状況下でも、下層植生に関しては二次林における遷移系列に類似した種組成変化(Schoonmaker and McKee, 1988)が概ね再現されることが示されている。DCA 第 1 軸のスコアで上位および下位 40 種の解析結果でも、第一軸に沿って草本種から常緑および落葉の樹木へ、あるいは、人里や草原型など二次植生および開地性の種から照葉樹林型および夏緑樹林型などの森林性植物への変化が示唆された。これは、上木の閉鎖

度合いと林分構造発達および時間経過に伴う本来の森林性フロアの回復を示していると考えて良いであろう。このような林齢沿った開地性植物から森林性植物への変化は、種多様性の評価においても認められた。したがって、放牧区および下刈区の植生は、共に開地性および二次植生型の草本類の繁茂と、森林性植物(主に樹木種)の欠落によって特徴づけられると言える。

同じ幼齡林分の中で、放牧区と下刈区の植生の違いは DCA 第 2 軸で表現できた。この結果は、放牧区の植生が下刈区と比較して常緑樹や照葉樹林型の植物が多く、草本種や二次植生型および開地性の植物がやや少ないという特徴を持つと解釈できる。このような種組成の違いが現れた要因として、家畜の採食選択性の影響が考えられる。動物

の採食選択性は広く知られた事実であり、牛の林内放牧においても、草本類や落葉樹等の粗飼料がある場合には常緑樹種が回避される傾向が報告されている (Hasegawa et al., 1999)。今回の調査地でも、このような家畜の採食行動が放牧区の種組成変化に影響したと考えられる。また、人手による下刈に比較して継続的に攪乱を受けることにより、選択的に採食された草本類が下刈区よりも減少したと考えてよいであろう。

種多様度の面からは、上記のような放牧区と下刈区の違いはほとんど検出されなかった。すなわち、放牧区で家畜の採食行動による種組成の変化は認められるものの、下刈区と比較して森林性の樹木種の多様度に劇的な変化をもたらすほどの影響はないと考えられる。

結論として、林内放牧による採食選択性と継続的攪乱による影響は小さく、森林性木本植物の保全の面から見て人手による下刈りとほぼ同程度であり、通常の下刈作業が許容される範囲においては、大きな問題はないと言えるであろう。ただし、基本的に人為攪乱が前提となる木材生産林においては、若齢林に対していわゆる「二次的自然」の構成要素の保全を含めて、不均一なハビタットの確保も期待される場合があるであろう。こうした視点からは、開地性の草本種の減少や全体の多様度の低下に対して注意が必要であると考えられる。また、水飲み場が設置された周辺では、林分全体の面積に対する割合は小さいながらも、頻繁な踏圧によると思われる裸地の発生が観察されたことから、植生全体の保全を考慮する上で、水飲み場の配置には注意が必要であるといえる。

## 引用文献

- Battles, J. J., Shlisky, A. J., Barrett, A. J., Heald, R. C. and Allen-Diaz, B. H. (2001) The effects of forest management on plant species diversity in a Seirran conifer forest. *Forest Ecol. Manage.* 146: 211-222.
- Burton, P. J., Balisky, A. C., Coward, L. P., Cumming, S. G. and Kneeshaw, D. D. (1992) The value of managing for biodiversity. *Forest Chron.* 68(2):225-237.
- Brunet, J., Falkengren-Grerup, U., and Tyler, G. (1996) Herb layer vegetation of south Swedish beech and oak forests: Effects of management and soil acidity during one decade. *For. Ecol. Manage.* 88 : 259-272.
- Hansen, A. J., Spies, T. A., Swanson, F. J., and Ohmann, J. I., (1991) Conserving biodiversity in managed forests. *Bioscience* 41 : 382-392.
- 長谷川幹夫 (1998) 多雪地のスギ造林地に侵入したウダイカンバの消長に及ぼす下刈り、除伐の影響. *日林誌* 80 : 223-228.
- Hasegawa, N., Hirata, M, Nogami, K. and Sonoda, T. (1999) Use of a young tree plantations for grazing cattle in southern Kyushu, Japan: 2. Diet selection, feed intake and body weight change of animals. *Proceedings of the VI International Rangeland Congress*, pp.478-479.
- Hill, M. O. & Gauch, H. G. (1980) Detrended Correspondence Analysis: an improved ordination technique. *Vegetatio*, 42 :47-58.
- Ito, S., Nakagawa, K., Buckley, G.P. and Nogami, K. (2003) Species richness in Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations in southeastern Kyushu, Japan: the effects of stand type and age on understory trees and shrubs. *J. For. Res.* 8:49-57.
- Ito, S., Nakayama, R. and Buckley, G. P. (2004) Effects of previous land-use on plant species diversity in semi-natural and plantation forests in a warm-temperate region in southeastern Kyushu, Japan. *Forest Ecology & Management* (In press).
- Kimball, A. J. and Hunter, M. L. Jr. (1990) Intensive silviculture. In *Wildlife, forests, and forestry. Principles of managing forests for biological diversity.* Hunter, M. L. Jr. (ed), 370pp, Prentice-Hall, New Jersey, 200-234.
- Kimmins, H. (1997) *Balancing act : environmental issues in forestry.* 2nd ed. 305pp, University of British Columbia Press, Vancouver.
- 清野嘉之 (1990) ヒノキ人工林における下層植物群落の動態と制御に関する研究. *森林総研研報* 359 : 1-122.
- McCune, B. and Mefford, M. J. (1999) *PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, Version 4.* MJM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA.
- Moore, S. E. and Allen, E. L. (1999) *Plantation forestry.* In *Maintaining biodiversity in forest ecosystems.* Hunter, M. L. Jr. (ed), 698pp, Cambridge University Press, Cambridge, 400-433.

- 長池卓男 (2000) 人工林生態系における植物種多様性. 日林誌 82 : 407-416
- 中川正勝・伊藤 哲 (1997) スギ人工林の種多様性－田野演習林における林齢および立地条件の影響－. 日林九支研論集 50 : 87-88
- 奥田重俊 (1997) 生育環境別日本野生植物館. 小学館. 東京
- Pielou, E. C. (1969) An introduction to mathematical ecology. Wiley-Interscience, New York.
- Schoonmaker, P. and McKee, A. (1988) Species composition and diversity during secondary succession of coniferous forests in the western cascade mountains of Oregon. Forest, Sci. 34: 960-979
- 杉本安寛 (2002) 林畜複合システム－宮崎県諸塚村の事例を中心に－日本草地学会誌, 47:644-651.
- Swift & Anderson (1994) Biodiversity and Ecosystem Function in Agricultural systems. In *Biodiversity and ecosystem function* (Schlze E.- D. and Mooney, H. A. eds.). Springer – Verlag, Berlin, pp.15-41.
- Silbaugh, J. M. and Betters, F. R. (1995) Quantitative biodiversity measures applied to forests management. Environ. Rev. 3 : 277-285
- Wallace, H. L. and Good, J. E.G. (1995) Effects of afforestation on upland plant communities and implications for vegetation management. For. Ecol. Manage. 79 : 29-46
- Wallace, H. L. and Good, J. E.G. and Williams, G. (1992) The effect of afforestation on upland plant communities : An application of the British National Vegetation Classification. J. Appl. Ecol. 29 : 180-194
- 渡邊定元 (1995) 持続的経営林の要件とその技術展開. 林業経済 557 : 18-32

## 第4章 林内放牧地での植栽木被害および裸地発生と斜面傾斜度との関係

西脇亜也・伊藤 哲・杉本 安寛  
(宮崎大学農学部)

### 1. はじめに

幼齢造林地で牛の放牧を行うことによって、家畜飼養の面からは、飼料代金の節約や糞尿処理労力軽減の効果が期待され、森林管理の面からは下刈労力軽減の効果が期待される(杉本, 2002)。一方で、幼齢林内に牛を放牧することに伴うリスクとして、造林木の損傷、裸地の発生、糞尿による水質汚染、踏圧による表層土壌の硬化やこれにともなう雨水の浸透能の低下、および採食圧による植物種多様性の低下などが予想される(伊藤ら, 未発表)。これらのリスクは、林内放牧の普及を妨げている要因の一つである。したがって、幼齢造林地で牛の放牧を行う林畜複合生産システムを持続的に適用する上では、林地の環境に対する影響を評価し、これに基づいて適切に運用する必要がある。

造林木に対する放牧牛による被害については、昭和30年代以降、多くの研究例がなされており、植栽木の食害の発生に及ぼす諸条件の検討のレビュー(三田村ら, 1981)によると、外来牧草を導入し施肥した造林地での被害発生率が高く、野草地、すなわち、下草を食草として放牧した場合には被害発生率が低いことなどが知られている。また、若齢の造林地ほど被害率が高いことも報告されている(馬場ら, 1989)。しかしながら、被害が生じる立地条件については、水飲み場に近い休息地では、植栽木の半分が枯死するなどの大きな被害が生じた記述の他には特に見あたらない。もしも放牧牛が環境に与える影響が、立地によって変化を受けないのであれば、造林地のすべてが放牧対象地の候補地として考慮されることになる。しかしながら、放牧地での放牧牛が植生や土壌に与える影響は立地によって大きく異なり(西脇, 1993; 井出, 2003)、急傾斜地などでは放牧によって裸地化や表土流亡をもたらされることが知られている(井出, 2003)。これは、放牧

牛の行動が、急傾斜地ではエネルギー消費を押し返すために等高線にそって歩行する(Osuji, 1974)際に、蹄で土壌表面を傷つけることによる。急傾斜地では、等高線密度が高いために、植栽木の植栽列間隔も狭くなり、等高線に沿って歩行する放牧牛の牛体が通過する空間の割合も高くなる。それらの結果として、急傾斜地での植栽木の被害発生率は高くなることが予想される。もしもこのように、地形条件によって表土流亡や植栽木の被害が大きく異なるのであれば、放牧適地、放牧不適地の立地を判断する際の重要な判断基準になる。

そこで、諸塚村内の複数の幼齢林放牧地における造林木の被害調査および林床植生調査を行い、放牧にともなう造林木の被害率や土壌表面の裸地化率が放牧地の立地環境の重要な要素である斜面傾斜角度によってどのように異なるのかを調査した。このことにより、林内放牧が環境へ与える影響評価のひとつとして、植栽木被害と裸地発生が生じる要因を明らかにすることで林内放牧における危機管理技術向上を目指した。

この調査結果は、林畜複合生産システムの導入に際して、持続的に適用可能な立地環境を判定する上で極めて重要である。すなわち、放牧地の設定場所の選定の際に、植栽木の被害や裸地が生じやすい場所での放牧を避けることが可能であれば、林業と畜産の合理的な共存が可能であり、山村における有望な産業の一つに発展する

### 2. 方法

宮崎県諸塚村において林内放牧が行われた複数の林分において、それぞれ50本の植栽木を対象とした被害木調査を行った。植栽木について、地際径と胸高直径と樹高を測定するとともに、被害の種類と程度を記録した。幹に被害が

存在した場合には、幹における被害の位置を記録した。裸地率の調査は、縦横高さがそれぞれ  $2 \times 2 \times 2$  m の保護ケージ内および放牧区内のそれぞれ  $1 \times 1$  m 方形枠について、吉野宮地区は4ヶ所、戸下地区では3ヶ所について行った。全ての調査地において、ハンドレベルを用いて斜面傾斜度を測定した。

### 3. 結果

植栽木被害：図1に示すように、斜面傾斜度が20度以下では植栽木の放牧牛による被害はほとんど生じていなかったが、20度以上では被害が生じ、25度以上では3割以上の植栽木に被害が生じていた。この被害のほとんどは、樹幹下部に生じた蹄傷、もしくは角や体のこすりつけによるものであり、生育悪化や材質低下が懸念される重度被害であった。ヒノキとスギの樹種による違いは認められなかった。このことは、幼齢造林地における植栽木においてヒノキの方が倒伏被害の率が高かった（西脇ら、2001）こととは異なる結果であった。今回、認められた被害は、地面から1 m 以下に生じていたので、植栽木は見かけ上は健全に見えたものが多かった。

裸地発生：図2に示すように、保護ゲージ内では裸地率が皆無である場合が多かったが、ゲージ外では放牧牛による蹄傷を反映して裸地が発生した。裸地率は斜面傾斜度に伴って上昇し、20度以上では裸地率が50%を越える場所が多かった。斜面傾斜度の高い場所では、斜面上方から下方にかけて蹄による傷が大きくつけられていることが多かった。

### 4. 考察

林内放牧地での植栽木被害および裸地発生と斜面傾斜との間には密接な関係があり、急傾斜地での被害が大きかった。斜面傾斜度が20度以上の急傾斜地での放牧には注意が必要であるが、これは何故だろうか？斜面傾斜度が低い斜面では、斜面傾斜方向とは無関係に放牧牛は行動するが、斜面傾斜度が高い斜面では、斜面傾斜方向に対して直交方向に移動することが多く（Osuji, 1974）、このことが、放牧地の急傾斜地で等高線に沿った牛

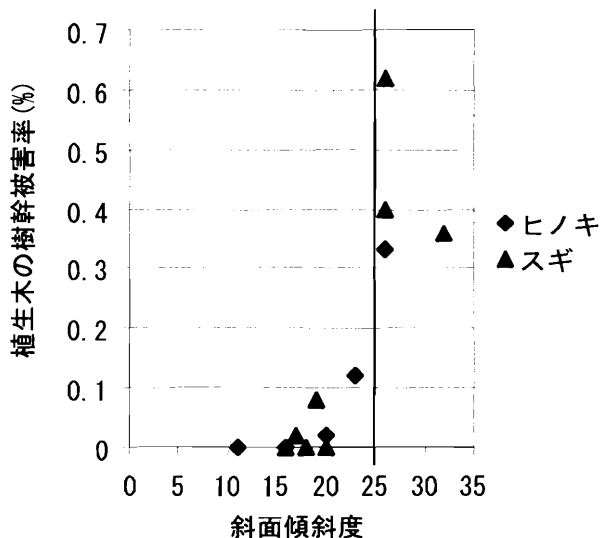


図-1. 斜面傾斜度と植栽木の樹幹被害率との関係

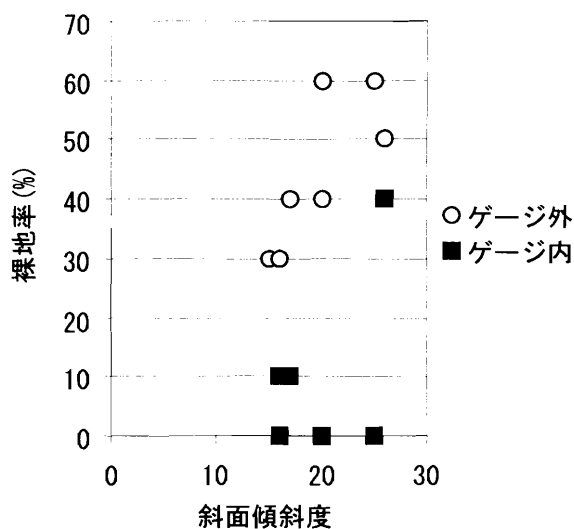


図-2. 斜面傾斜度と裸地率との関係

道の形成をもたらすことが知られている（井出ら、2000; 井出, 2003）。しかしながら、放棄された二次林内での牛道の分布は複雑な網目状を示し、等高線を横切るものが多かったとの報告もある（Ide *et al.*, 2001）ため、森林内での牛は異なる行動をとるのかもしれない。

今回調査した林内放牧地では、放牧牛は斜面傾斜方向に対して直交方向に移動することが観察さ

れたが、これは、植栽木が等高線に沿って植栽されているために、放牧牛の移動経路が等高線に沿って形成されていると考えられる。そして、急傾斜地での放牧牛の移動が植栽木の樹幹被害や裸地発生をもたらしていると考えられる。急斜面を横断移動する際に蹄が滑り地面や植栽木を傷めることが多いものと考えられる。放牧牛が植栽木の斜面上部を移動する際には、踏みつけにより、植栽木の斜面下部を移動する際には踏ん張りながら移動するために、斜面上部にある植栽木に体のこすりつけや角の衝突が生じることによる被害が生じると考えられる。そのため、植栽木の斜面上部側での被害は、より低い高さで生じ、斜面下部側での被害はより高い高さで生じると予想される。実際、被害はこのようなパターンで生じている。

また、倒伏被害や枝折れ、幹折れなどの被害は植栽後4年以内の若く小さな植栽木に生じるものが多いが、今回確認された被害は、植栽後5年以上の大きく成長した植栽木についても確認されたことには注意すべきである。

これらの被害を防止するにはどうしたらよいのだろうか？一つには、急傾斜地での放牧圧を軽減させることによる被害発生確率を下げることである。つまり、被害発生が予想されそうな傾斜地については放牧期間中であっても、牧柵を移動するなどの方法によって放牧圧を調整することが可能である。もう一つは、急傾斜での植栽木の植栽密度を下げることによって、植栽木の間隙を放牧牛が移動した際に植栽木に衝突する確率を下げることで可能であると考えられる。また、急傾斜地を放牧地に含まないように放牧区を設定する配慮が必要であると考えられる。

## 5. 引用文献

- 馬場強逸・高畑 滋・柴田弥生・田中 功・毛利勝四郎・横山長蔵(1989) トドマツ人工林の成立に及ぼす育成乳牛放牧の影響. 林業試験場報告 354 : 99-130
- 井出保行・林治雄・須藤賢司・嶋村匡俊(2000) 傾斜放牧草地の地形と草地管理 3. 植生の時間的・空間的变化と地形. 46:45-51
- Ide Y, Miyashige T, Sato S, Shijimaya K (2001) Grazing in secondary forest developed on abandoned field in southwestern Japan. 1. Characteristics of cattle tracks formed in secondary forest. *Grassland Science*, 47: 134-138
- 井出保行(2003) 山地傾斜地における放牧草地植生の時間的・空間的变化, 日本草地学会誌 49.3:286-292
- 三田村強・小川恭男・鎌田悦男・手島道明・岡本恭二(1981) 混牧林に関する研究一草地に植栽した幼齢木の放牧牛による採食について一. 草地試研報 20:154-166.
- 西脇亜也・菅原和夫・伊藤 巖(1993) 放牧影響下にあるススキ型草地での低木群落の成立. 日本草地学会誌, 39: 1-6.
- 西脇亜也・杉本安寛・岡崎泰明・富永和廣(2001) 幼齢造林地での放牧による下刈り効果と稀に生じる植栽木被害. 日本草地学会誌, 46(別):
- Osuji, P. O. (1974) The physiology of eating and the energy expenditure of the ruminant at pasture. *J. Range. Manage.* 27:437-443.
- 杉本安寛(2002) 林畜複合システム一宮崎県諸塚村の事例を中心に一 日本草地学会誌, 47:644-651

## 第5章 中山間地域における林間放牧が溪流水の窒素濃度に及ぼす影響

高木正博  
(宮崎大学農学部)

### 要旨

林蓄複合システムが溪流水の窒素濃度に及ぼす影響を明らかにするために宮崎県内の2個所で調査を行った。一つは宮崎平野西端の里山で試験的に林間放牧が行われた流域であり、もう一つは中央山地の中山間地において経営として林蓄複合システムが取り入れられている流域を対照とし、硝酸濃度が高くなる降水に伴う増水時の測定を行った。どちらの調査でも、放牧流域の溪流水中の硝酸濃度は対照流域のそれに較べて高かった。ただし必ずしも常に高いわけではなく、林齢や流域面積が影響していると推測された。また最も濃度が高い増水時でも水道水基準値の3分の1程度であった。したがって、水源地として放牧地の状況や流域面積、また採水のタイミングを工夫することによって、硝酸による生活水としての水質の汚染の影響は小さくできると判断できた。

### はじめに

近年、九州の中山間地域において放牧を林業に活用する林間放牧が再び見直されている。この試みは「林蓄複合システム」と呼ばれ、1960年代に国有林を中心に行われた混牧林研究が肉用牛の生産に主眼をおいていたのとは異なり、中山間地域における畜産業のみならず林木生産、環境保全および地域振興等に関わる諸問題を解決することを目的としている。林間放牧のメリットとして、以前から畜産業の面からは飼料代節減、糞尿処理労力の軽減、家畜の健康などの点が指摘されていた。林蓄複合システムではさらに、針葉樹造林地で放牧を行うことによって、下刈り労力の軽減や林地への施肥効果を期待している。

一方、問題点として放牧地が含まれる流域の溪流の水質汚染の可能性が指摘されている。糞尿には様々な形態の窒素分が含まれる。この中で硝酸態窒素は植物にとって利用されやすいが、土粒子とは電氣的に反発するために容易に土壌から溶脱し、溪流や河川に流出する。溪流や河川における高濃度の硝酸態窒素は下流域での富栄養化をもたらす。また生体に有毒であるために、許容濃度が水質環境基準として定められている。そのため、溪流や河川の硝酸による汚染は畜産が盛んな地域ではすでにいくつかの研究例がある。Nakagawa et

al. (2002)は北海道東部の酪農地域からの溪流水中の硝酸濃度は森林地域からのそれに較べて通年を通して高いことを報告している。また、大村・黒川(1991)は、北海道内の放牧地の河川水で富栄養化の進行を認めている。

本研究では、九州の中山間地域における林間放牧が溪流水中の窒素濃度に与える影響を明らかにするために2つの調査を行った。1つは宮崎平野西端の里山で行われた試験的な放牧に伴う測定(調査1)で、もう一つは九州山地で産業ベースで行われている林蓄複合システムに伴う測定(調査2)である。窒素成分のうち硝酸態は特に増水時に濃度が高くなることが知られているので、調査1では降水に伴う増水イベント中の経時変化を、調査2では増水時と平水時の濃度を比較した。

### 試験地と方法

調査1は宮崎県田野町にある宮崎大学農学部附属自然共生フィールド科学教育研究センター田野フィールドにおいて2001年に隣接する地形の似た3つの流域で行った。標高は150 mから200 m、地質は宮崎層群砂岩礫岩である。3流域のうち、2流域は放牧の行われている流域(IとII)で、残る1流域は放牧の行われていない対照流域とし

た。流域面積はI流域が約2 ha, II流域が約3 ha, 対照流域が約1.5 haであった。流域の植栽年は異なり, I流域は1993年と1994年, II流域は1992年, また対照流域が最も植栽年が遅く1995年であり, すなわち林齢が若かった。水深の測定を,

3流域が合流した下流の特定の点で, 各採水時におこなった。

採水は初夏の放牧開始からしばらくたった8月, 9月および10月, いずれも総降水量が100 mmを越えた降水に伴う増水イベント時に行った。いずれの月のイベント時にも降水前, 増水時, 逓減時に数回採水した。8月は18日から25日にかけて7回, 9月は5日から7日にかけて5回, 10月は15日から19日にかけて4回, それぞれ採水した。採水サンプルはすぐに実験室に持ち帰った後ろ過し, 冷凍保存し後日硝酸態窒素濃度とアンモニア態窒素をイオンクロマトグラフィを用いて, 有機態窒素濃度を紫外線吸光度法を用いて測定した全窒素濃度から硝酸態窒素濃度とアンモニア態窒素濃度を差し引くことによって求めた。

調査2は宮崎県諸塚村浅敷地区において2002年から2003年にかけて9つの小流域で行った。標高は600 mから900 m, 地質は四万十層群砂岩頁岩互層である。9流域のうち, 2流域は放牧の行われていない対照流域(c1, c2)とした。残る

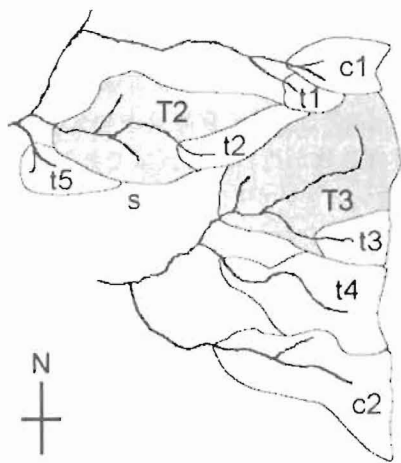


図1 諸塚村浅敷地区での放牧7流域(tおよびT)と対照2流域(c)

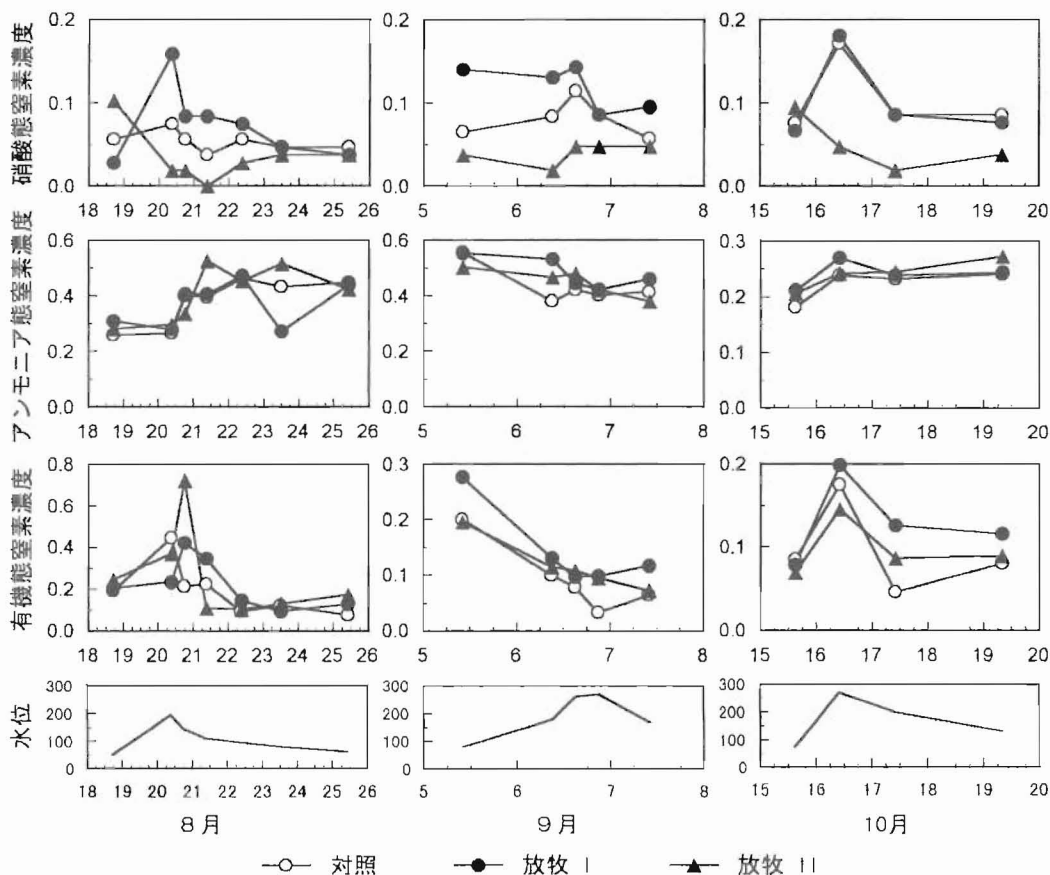


図2 宮崎大学田野フィールドにおける降雨に伴う増水時の放牧流域と対照流域の渓流水中の窒素成分濃度 (mg/l) と水位 (mm) の変化



放牧の行われていた7流域のうち、3つのt1, t4およびt5は独立した流域とし、2流域はさらに大きいそれぞれ別の流域の一部であり、t3はT3の一部およびt2はT2の一部とした(図1)。2万5千分の1の地形図上で推定した流域面積は、c1は5.5 ha, c2は13.7 ha, t1は2.5 ha, t4は12.0 ha, t5は1.9 ha, t3は3.2 ha, T3は22.5 ha, t2は5.2 haおよびT2は19.6 haであった。

採水は2002年7月29日, 9月1日, 2003年5月23日, 6月28日, 7月29日および9月12日の6回行った。うち、2002年の2回と2003年の9月12日の計3回は降水数日後の増水時に採水した。残る3回は平水時に採水したが、表流水が認められず採水できなかった流域があった。総て

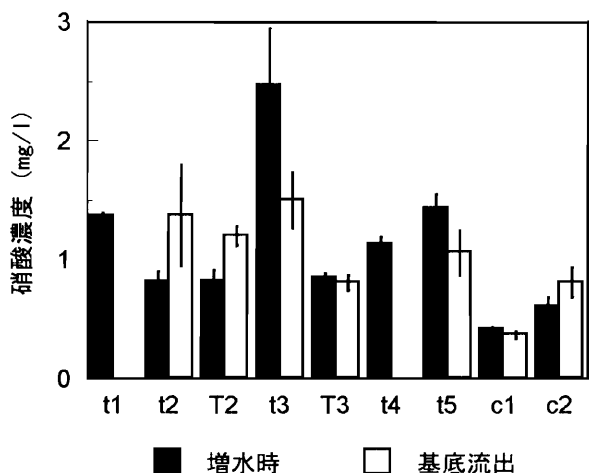


図3 諸塚村浅藪地区での放牧7流域(tおよびT)と対照2流域(c)の増水時と平水時の硝酸濃度の平均値と標準誤差

の流域の採水は1時間半以内に完了し、その日のうちに冷蔵しながら宮崎大学農学部田野フィールドの実験室に持ち帰りろ過の後、冷凍し後日、調査1の結果で明瞭な違いの認められた硝酸態窒素濃度をイオンクロマトグラフィを用いて測定した。

## 結果

調査1のそれぞれの月の硝酸態、アンモニア態、および有機態の窒素濃度の時間推移を図2に示した。硝酸態窒素は、8月と9月では、対照流域に較べて、I流域は高い濃度で推移したが、II流域では低かった。10月では対照流域とI流域は同じ濃度で推移し、II流域はやはり対照流域より低い濃度で推移した。アンモニア態窒素濃度はどの月もその推移に流域間での明瞭な違いは認められなかった。有機態窒素濃度は、9月は水位ピーク時に放牧2流域は対照流域より高い濃度であったが、8月と10月は水位ピーク時より少し遅れた時に同様のパターンが測定された。以上のことから、降水に伴う増水時の硝酸態窒素の濃度は放牧が行われていても何らかの条件により流域が異なれば高くなる場合と低くなる場合があることが明らかになった。

調査2の各流域の硝酸濃度の、増水時の3回と平水時の3回のそれぞれの平均値と標準誤差を図3に示した。増水時の場合、7つの放牧流域のそれぞれ平均値は、対照2流域の平均値より高かった。平水時の場合も、放牧流域の平均値は対照流域に較べて高いか、ほぼ同程度であった。個別の

表 諸塚村浅藪地区での放牧7流域(tおよびT)と対照2流域(c)の各採水回の硝酸濃度(mg/l)と流域毎の平均値と標準誤差。横棒は濁水による欠測を示す。

流域	2002年		2003年				平均値	標準誤差
	7/29	9/1	5/23	6/28	7/29	9/12		
t1	1.3	1.4	-	-	-	1.4	1.4	0.0
t2	0.9	0.9	1.0	0.7	2.4	0.6	1.1	0.3
T2	0.6	1.0	1.1	1.4	1.1	0.9	1.0	0.1
t3	2.9	3.2	1.9	1.1	-	1.3	2.1	0.5
T3	0.8	0.9	0.7	0.8	1.0	0.9	0.8	0.1
t4	1.2	1.2	-	-	-	1.0	1.1	0.1
t5	1.4	1.2	0.9	0.7	1.5	1.7	1.2	0.2
c1	0.4	0.5	0.4	0.3	-	0.4	0.4	0.0
c2	0.7	0.7	0.8	0.6	1.1	0.4	0.7	0.1

採水日で詳しく見てみると（表）、放牧流域は、2002年7月29日のT2、2003年5月23日のT3、および2003年7月29日のT3流域を除き、それぞれの日で対照2流域より高濃度であった。以上のことから、この浅敷地区では放牧の行われている流域の溪流の硝酸濃度は行われていない流域に較べて特に増水時には高かったことが明らかになった。

## 考察

今回の2つの調査結果からは、放牧の行われている流域の渓流水の硝酸濃度は、行われていない流域に較べて高いという結果が得られた。しかし、その原因は放牧だけに帰することが出来るわけではなく、またさらに、高いからといってすなわち林間放牧の悪影響であるとは言えないと考える。

まず原因についてだが、渓流水中の硝酸態窒素濃度に影響を与える要因として、放牧の他に林齢や流域面積の影響が考えられる。

伐採直後の幼齢林の渓流水中の硝酸濃度は高いことが知られている（佐々木1999）。これは、植物体による窒素同化量の減少や、地温の上昇による窒素無機化速度の促進などが原因といわれている。しかし伐採2、3年後にはこれらの影響は小さくなり、逆に、老齢林に較べると渓流水中の硝酸濃度は低くなるといわれている。これは、老齢林に較べて成長速度の大きい若齢林では窒素同化量が多くなるからだといわれている。調査1においては、I流域とII流域では硝酸濃度の推移パターンに明瞭な差が認められたので、たった1、2年の違いであるが、2つの流域で機能的に幼齢林タイプと若齢林タイプに分かれるのかもしれない。一般に林冠が閉鎖した林齢の高い林では渓流水中の硝酸濃度は増水に伴い上昇するが、これは硝酸は表層付近に多く含まれており、降水に伴い表層を通過し硝酸を高濃度に含んだ水が流路に流れ込むからである。しかしII流域ではこのような濃度上昇が認められなかった。すなわち、II流域は表層においても硝酸はそのほとんどが植物に同化されてしまっている若齢林タイプだと考えられる。一方、I流域と対照流域は幼齢林タイプであり、増水に伴い表層で植物に同化されきれずに残っている硝酸が降水時に流路に流出したと考えられる。10月にこの2流域で水位の変化によら

ず濃度がほぼ同程度なのは、糞尿の分解が温度（気温と地温）の低下により進まなくなったために、表層の硝酸の濃度が糞尿のあるなしに依存しなくなったからかもしれない。とすると、8月と9月のこの2流域の濃度の違いは放牧の影響と言える。以上まとめると、放牧の影響は伐採直後であれば顕著であったが、植栽後4、5年経つと植物体による窒素同化の影響が支配的になり、渓流水には現れなくなったと推測される。

また流域面積が大きくなると、増水時の硝酸濃度の増加の程度は小さくなることが報告されている（Ohte et al. 2001）。これは相対的に、流出水に占める硝酸濃度の低い地下水の割合が大きくなるからだといわれている。同様のメカニズムが、調査1におけるI流域より流域面積の大きいII流域で増水時でも硝酸濃度が増加しなかった原因の一つとして働いているのかもしれない。調査2においては、t3からT3へと流域面積が大きくなることによって増水時でも平水時でも濃度が低下した。

次に、影響の評価についてだが、少なくとも水道水基準（10 mg/l）を超える硝酸濃度は測定されなかったため、硝酸による水質汚染はまず無いと判断される。調査2における放牧流域の7流域の6回の採水のうち最高値は3.2 mg/lであった（2002年9月1日のt3）。前述のように、渓流水中の硝酸濃度が高くなるのは増水ピーク時なので、そのような高濃度が維持される時間は短い。また、調査2のt3とT3の結果が示すように、水源地を流域面積が広い点に設置することによって、増水時のみならず平水時でも硝酸濃度を低く維持することが可能である。すなわち、林間放牧地の下流の水源地においても、採水のタイミングや水源地そのものの設置個所を工夫することによって、高濃度硝酸の影響は低くすることが可能だと言える。ただし、下流への硝酸の負荷量としては、増水時に濃度が高くなるので大きくなると考えられる。下流への負荷量の影響評価は今後の課題であろう。

## 引用文献

- Nakagawa Y, Nakashima T and Mawatari K (2002) Changes in river water chemistry as affected by the confluence of forest drainage water in dairy farming area on Hokkaido island, northern Japan. J For Res

7: 131-136

大村邦男・黒川春一 (1989) 牛ふん尿の成分特性と汚濁負荷の発生 酪農地帯における肥料成分の流出と水質保全 (第 1 報) . 北海道立農試集報 59: 1-7

Ohte N, Tokuchi N, Shibata H, Tsujimura M, Tanaka T and Mitchell M J (2001) Hydrogeochemistry of forest ecosystems in Japan: major themes and research issues. *Hydrol. Processes* 15: 1771-1789.  
佐々木重之 (1999) 施業などの人為的影響 in 森林と溪流水質 . 71-89. 林業科学技術振興所 . 東京

## 第6章 宮崎県諸塚村における林畜複合生産システムの適地判定

伊藤 哲・西脇亜也  
(宮崎大学農学部)

### 摘要

幼齢林での林内放牧における造林木被害軽減と表層土壌保全に着目し、林畜複合生産システムの適地を広域で把握することを目的として、宮崎県諸塚村を対象に地理情報システム(GIS)を用いて地形因子を解析した。28.5m間隔に調整された数値標高データから地形因子を算出し、これより推定された林地生産力と災害発生確率の指標を用いて「木材生産適地」、要保全地、「木材生産不適地」を判定した結果、それぞれ全体の面積の36%、49%、49%を占めた。また、斜面傾斜度および土壌堆積区分の指標となる縦断方向の斜面凹凸度から、林内放牧に関する適地判定を行った結果、全土地面積の約半数に近い48%が「不適地」と判定され、「やや不適地」が21%、「やや適地」は21%、「適地」は全体の16%であった。「木材生産適地」のうち、「林内放牧適地」と判定された場所の比率は約30%であり、針葉樹一斉林造成型の林業に比較的向いている土地であっても、多くの場合、林内放牧の導入には注意が必要であることを示していた。「要保全地」においては、林内放牧の導入は困難であることが示唆された。また、林内放牧の「適地」および「やや適地」は、小地形区分の頂部斜面にほぼ相当し、過去に採草地あるいは林間耕作地として利用されていた推察される立地と対応すると考えられた。

キーワード：林内放牧、適地判定、斜面傾斜、斜面凹凸度、表土保全、造林木被害

### 1. はじめに

宮崎県諸塚村で行われている林内放牧による林畜複合生産システムは、低コスト森林施業技術の一つとして放牧を活用する複合的土地利用・管理システムである(杉本, 2002)。中山間地域および山村地域における持続的な生物生産が要請されるなかで、林畜複合生産システムは、持続的な土地管理・生産システムとして期待が高まっている。

幼齢造林地で牛の放牧を行うことにより、森林管理の面からは下刈労力軽減の効果が期待される。一方で、幼齢林内に牛を放牧することに伴うリスクとして、造林木の損傷、裸地の発生、糞尿による水質汚染、踏圧による表層土壌の硬化やこれにともなう雨水の浸透能の低下、および採食圧による植物種多様性へのインパクトなどが予想される。したがって、林畜複合生産システムを持続的に適用する上では、経済的な費用対効果の検証に加えて、林地の環境に対するインパクトを評価し、これに基づいて適切に運用する必要がある。

西脇(未発表)は、諸塚村内の複数の幼齢林放牧地における造林木の被害調査および林床植生調査を行い、放牧地の立地環境によって放牧にともなう造林木の被害率や土壌表面の裸地化率が大き

く異なることを明らかにしている。このことは、林畜複合生産システムの導入に際して、持続的に適用可能な立地環境を判定することが極めて重要であることを示している。諸塚村は、山間地域の占める割合が多い宮崎県においても特に高標高、急傾斜地が多い立地にある(光田・伊藤, 2003; 2004)。このような立地環境の中で、土地に占める森林の割合が極めて高く、林業が村内の産業の中で重要な位置を占めており、典型的な山村型立地・土地利用の自治体であると言える(光田・伊藤, 2003; 2004)。

本研究では、幼齢林での林内放牧における造林木被害軽減と表層土壌保全に着目し、林畜複合生産システムの適地を広域で把握することを目的として、宮崎県諸塚村を対象に地理情報システム(GIS)を用いて地形因子を解析した。

### 2. 方法

#### 2.1. 対象地および解析データ

対象地は、宮崎県北部に位置する諸塚村全域である。地形情報として、国土院発行の「数値地図50mメッシュ(標高)」(以下、数値地図50)を使用した。数値地図50の特徴として、日本全国

をカバーするDEMの中で現時点における最高の空間解像度を持つことや、全データが同一基準で作成されていることが挙げられる(村上ら, 2000)。数値地図50は25,000分の1地形図を緯度・経度方向にそれぞれ200等分し、標高値を0.1m精度で読みとったものである(高木・野田, 1999)。標高値の誤差は25,000分の1地形図においてはおよそ3から10m(西村, 1972)、数値地図50においては理論上最大10m程度(国土地理院, 1997)とされている。本研究では、GISソフトウェア(TNTmips, Microimages社)上で諸塚村全域をカバーする数値地図50の9図版分を三次畳み込み内挿法により28.5m×28.5mの格子点標高値にリサンプリングしたもの(以下DEM)を解析に用いた。なお、28.5m間隔は、ランドサットTM画像を使用する際に通常用いられるピクセルのサイズに相当する。また、藤井(2002)は、今回の方法と同じ方法で作成したDEMが50m間隔でリサンプリングされたDEMよりも高い精度で、元図版である25,000分の1地形図の等高線を再現することを示している。

## 2.2. 木材生産適地の判定方法

林畜複合生産の適地判定を行う際に、まず放牧対象となる幼齡人工林について、その造成適地を判定する必要がある。これはすなわち木材生産適地の判定である。本研究では、藤井(2002)の方法によって、木材生産適地を判定した。

持続的な森林経営のためには、高蓄積および高成長量を維持することが必須である(渡邊, 1995)。したがって、木材生産の適地判定には林地生産力の考慮が重要である。また、諸塚村の位置する九州東岸は台風の常襲地域であり、台風以外でもしばしば集中豪雨に見舞われる。生産期間が長期にわたる林業の持続性においては、このような豪雨等に誘発される斜面崩壊などの生産基盤流出のリスク評価も重要である。藤井(2002)は木材生産適地の基本的条件として、林地生産力が高いことと斜面崩壊等の災害危険度が低いことを挙げ、これら二つの指標の関係から木材生産適地を判定することを提案している。本研究でもこの考え方に従い、林地を持続的な木材生産が比較的容易と考えられる「木材生産適地」、林地保全に特に配慮が必要な「要保全地」、一斉林造成に不適と考えられる「木材生産不適地」の3タイプに区分した(図-1)。林地生産力の指標には、森林管理

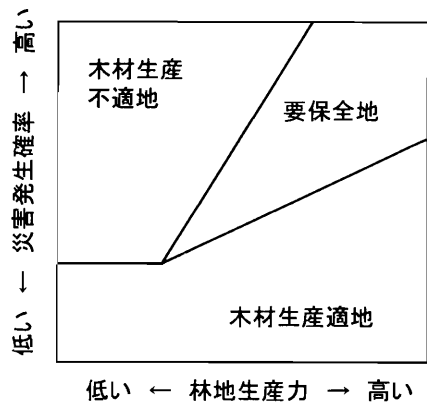


図-1. 林地生産力と災害発生確率に基づいた木材生産適地判定の概念

で一般的に使われている地位指数の概念を使用した。竹下(1964)は、福岡県のスギ林を対象に地位指数(40年生時の樹高)を解析した結果、土壌水分環境に影響を与える地形因子が地位指数を大きく左右することを示している。寺岡ら(1991)は、竹下(1964)の概念を簡略化し、スギ林の地位指数を有効起伏量(一定半径内の最高標高点との標高差)、有効貯留量(土壌の水分保持能力)、および地形的露出度(蒸発散による水分損失の度合い)で説明し、それぞれを地形因子から算出して地位指数を推定する重回帰式を得ている。さらに藤井(2002)は、これら地形因子を格子点標高データから算出して、地位指数の推定を行っている。本研究でも藤井(2002)に従い、DEMから有効起伏量、有効貯留量および地形的露出度の各地形因子を算出した。有効起伏量については当該地点から半径100m以内の標高点を検索して算出した。有効貯留量については、竹下(1964)に基づき、縦断型方向の斜面型から算出した。縦断方向の斜面型は、図-2に示すように最大傾斜方向に隣接する格子点の平均標高と当該点の標高差で評価した。地形的露出度は、当該地点から水平方位360度について1°刻みで半径100mを検索し、仰角0°で障害物のない(当該点よりも標高の高い地点のない)角度を積算して求めた。これらの因子から、寺岡ら(1991)の式を用いて任意の地点のスギの地位指数を算出して、これを林地生産力の指標とした。

災害発生確率については、地形因子から崩壊等大規模攪乱跡地の出現率を推定してこれを指標とした。藤井(2002)は、諸塚村に隣接する椎葉村の天然林を対象に、ランドサットTM画像(パス:

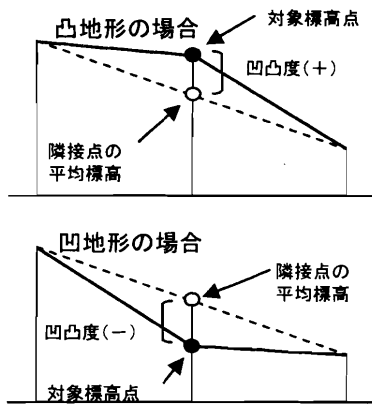


図-2 数値標高モデル(DEM)を用いた斜面の縦断方向の凹凸度の算出方法。(縦断方向に隣接する2標高点の平均値と対象標高点との標高差を凹凸度とした)

表-1. 放牧適地分類の判定基準

分類	基準
適地	傾斜 $>20^{\circ}$ かつ 凹凸度 $<-0$
やや適地	上記以外で、傾斜 $>25^{\circ}$ かつ 凹凸度 $<-5$
やや不適地	上記以外で、傾斜 $<30^{\circ}$ かつ 凹凸度 $>-10$
不適地	上記以外(傾斜 $>30^{\circ}$ または凹凸度 $<-10$ )

112、ロー:38)の落葉期(1995年9月19日)および着葉期(1995年6月26日)の2シーンを用いて正規化植生指数(NDVI)を算出し、両者の比較から、森林パッチ、草本植生パッチおよび裸地パッチの認識を行っている。同様な複数データの比較による植生判別手法の有効性は、これまでの研究で多く報告されている(中北ら, 1989; 平田ら, 1994; 露木, 1995; Hall et al., 1995; 粟屋, 1996)。さらに藤井(2002)は、この方法で判別されたパッチと各ピクセルに対応する格子点の地形因子の関係を解析し、天然林における大規模攪乱跡地(草本植生および裸地)の出現確率を地形因子で推定するモデルを得ている。本研究の対象地である諸塚村の地形および地質条件は、藤井(2002)が対象とした地域と類似している(光田・伊藤, 2003)ことから、このモデルを用いて任意の地点の大規模攪乱跡地の出現確率を算出し、この確率を災害発生確率の指標とした。

以上の林地生産力および災害発生確率という二つの指標から、図-1に従って木材生産適地判定を行った。なお、適地判定に際して各指標で閾値の設定が必要であるが、その際には当該地域全体の地形的特性や産業特性が考慮されるべきである。今回は、林地生産力および災害発生確率のそれぞれについて、諸塚村全体での頻度分布を解析し、それぞれの33.3パーセンタイルおよび66.7パーセンタイルに相当する値を閾値として採用した。この手法により、絶対的な評価ではなく、諸塚村という限られた土地資源の中での相対的な適地分類が可能であり、林業を主産業とする諸塚村の土地資源に対して適切な評価が可能となると考える。

### 2.3. 林内放牧適地の判定方法

林内放牧適地の判定は、西脇(未発表)に基づいて基準を設定した。西脇は、斜面傾斜が $25^{\circ}$ を超えると造林木に対する蹄による傷害や樹幹傾斜、倒伏等の被害率が急激に増加することを明らかにしている。また、匍行土の堆積する斜面においては造林木に対する被害が上昇すること、および踏圧による表層土壌攪乱が発生しやすく裸地が出現しやすい傾向があることを見いだしている。竹下(1964)は、縦断方向の斜面型が凹地型であると匍行土の堆積が見られやすいと報告している。そこで、本研究では斜面傾斜 $25^{\circ}$ 、および縦断方向の斜面型(凹凸度)を判定の基本とし、DEMから算出した最大傾斜角と縦断方向の凹凸度から適地を判定した。

ただし、一般に地形図は航空写真から描かれており、特に森林地帯の等高線は地表面ではなく林冠表面の起伏を反映している。集水型の凹地形では一般に散水型の凸地形に比較して林地生産力が高いことから、両者の標高差が過小評価されるのが一般的である。すなわち、地形図の等高線やこれから生成されたDEMは、空間精度の問題だけでなく、実際の地形の起伏を過小評価しているという問題がある。したがって、今回のように現地測量、観察に基づく地形因子の閾値を地形図ベースで算出された地形因子に直接当てはめるのは危険である。そこで本研究では、表-1に示すように段階的な閾値を設定し、林内放牧の適性について「適地」、「やや適地」、「やや不適地」、および「不適地」の4段階で相対的に評価した。

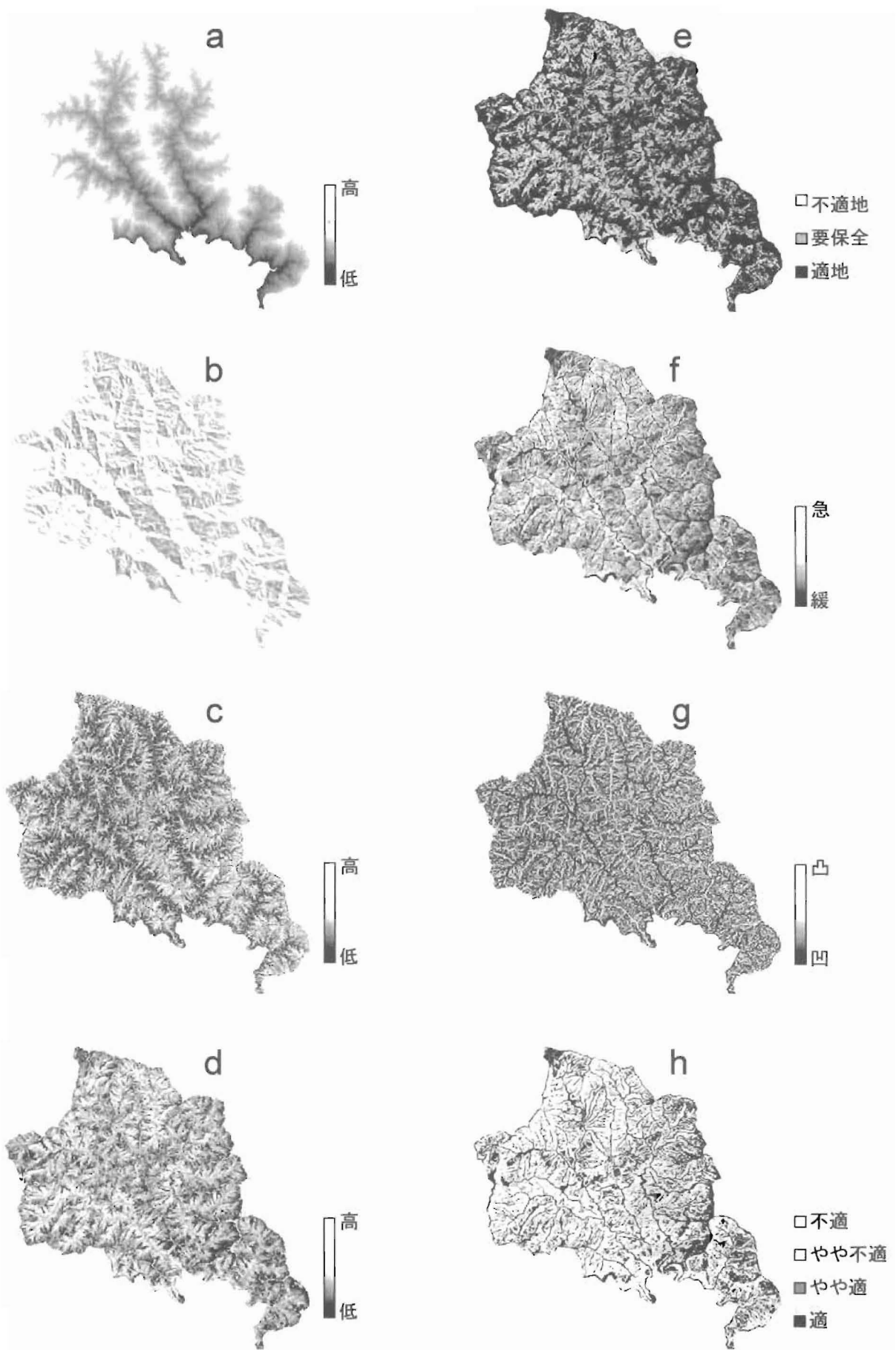


図-3.諸塚村における林業適地および林内放牧適地の評価結果

a. 標高; b. 標高から描いた陰影; c. スキの地位指数; d. 災害発生確率;  
 e. 木材生産適地; f. 傾斜度; g. 縦断方向の凹凸度; h. 林内放牧適地.

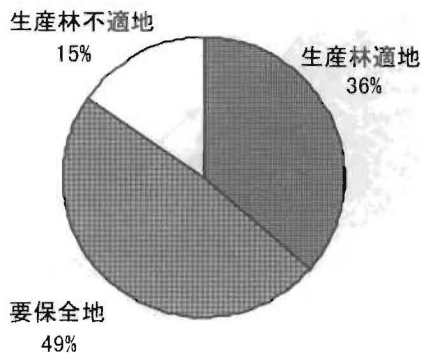


図-4. 諸塚村における木材生産適地分類の構成比率

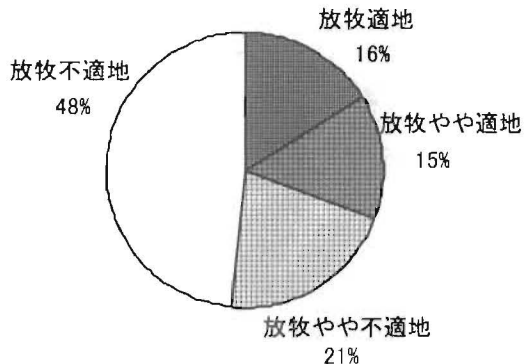


図-5. 諸塚村における放牧適地分類の構成比率

表-2. 諸塚村における木材生産適地および放牧適地分類の構成比率

	生産林適地	要保全地	生産林不適地	計
放牧適地	13.3	2.4	0.4	16.2
放牧やや適	8.8	5.4	0.5	14.8
放牧やや不適	8.2	11.4	1.2	20.8
放牧不適地	6.1	28.9	13.2	48.2
計	36.4	48.2	15.4	100.0

(%)

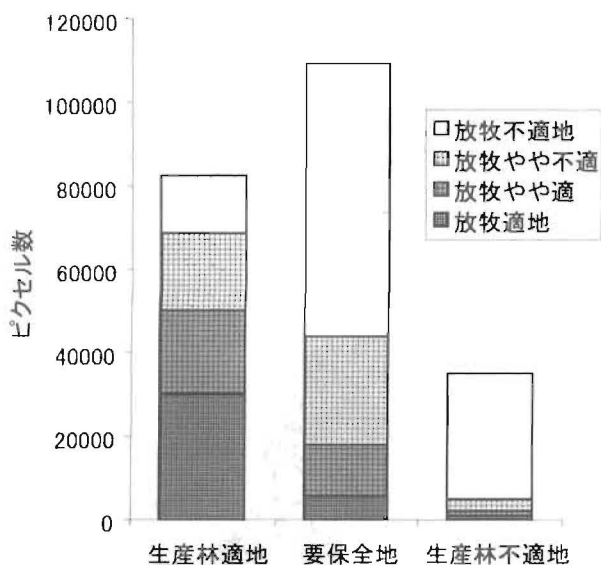


図-6. 木材生産の適性別にみた放牧適地分類の構成 (ピクセルサイズ: 28.5m × 28.5m)

### 3. 結果

#### 3.1. 木材生産の適地判定

諸塚村の標高分布およびこれから作成した陰影図を図-3aおよび図-3bにそれぞれ示す。DEMから算出された林地生産力はスギの地位指数で9m～25mの範囲にあり(図-3c)、村内における林地生産力の相対的な違いは十分に把握されたといえる。図-3dには、災害発生確率の推定結果を示す。災害発生確率は、0%から57%の範囲にあり、これも林地生産力と同様に村内の変異を十分に表現していた。

これらの二つの指標を用いて、図-1に示した考え方にに基づき、木材生産の適地・不適地を判定した結果を図-3eに示す。木材生産適地は主に尾根周辺の上部斜面に分布し、不適地は斜面下部の急傾斜地あるいは谷頭凹斜面を中心に分布した。各類型の比率は「適地」が36%、「要保全地」が49%を占め、「不適地」の比率は15%であった(図-4)。



### 3.2. 林内放牧の適地判定

林内放牧の適地判定基準に用いた斜面傾斜度と縦断方向の凹凸度を図-3fおよび図-3gにそれぞれ示す。斜面傾斜度は斜面下部で大きい傾向があり、緩傾斜地は村南東地区の尾根周辺に比較的多く分布した。凹凸度は尾根で凸地形、谷で凹地型という一般的な傾向は認められたものの、斜面中腹部には細かいモザイク状に凹凸度の変異が観察された。

斜面傾斜度および斜面凹凸度から、表-1の基準に従って算出した林内放牧の適地、不適地を図-3hに示す。林内放牧の「適地」は木材生産の「適地」と同様に緩やかな尾根周辺に分布し、林内放牧の「不適地」は木材生産「不適地」と同様に斜面下部および谷頭凹斜面を中心に分布した。各類型の比率は、全土地面積の約半数に近い48%が「不適地」と判定され、「やや不適地」が21%、「やや適地」は21%、「適地」は全体の16%であった(図-5)。木材生産と林内放牧の適地・不適地の構成を図-6および表-2に示す。木材生産の「適地」においては、林内放牧の「適地」は約30%を占め、「やや適地」を加えると木材生産「適地」の約60%であった。一方、木材生産に関する「要保全地」では、放牧「適地」および「やや適地」を合わせても2割に満たなかった。また、木材生産の「不適地」のうち約9割は林内放牧についても「不適地」と判定された。

### 4. 考察

数値標高データを用いた地形因子の解析により、諸塚村全域という広域を対象にした木材生産および林内放牧の適地判定が可能であった。今回用いたピクセルサイズは、28.5m × 28.5mであり、このサイズは実際の森林の利用形態を計画し配置する上で十分に利用可能な空間サイズであると考えられる。したがって、今回行った適地判定の試行は、森林管理および林畜複合生産システムの適用に際して、ある程度耐えうると思われる。ただし、データソースである25,000分の1地形図自身が必ずしも実際の林地の区分に耐える正確度を有するわけではない。したがって、特に地形の起伏の複雑な林地への準用においては注意を要すると言える。今回の試行はあくまで広域推定のための手法であり、実際の林分管理の意思決定に際しては、現地で測定または観察されるミクロ・ス

ケールの地形情報を加味した柔軟な適地判定が必要である。

相対的にみて木材生産林に適していると判定された「木材生産適地」は全土地面積の約3分の1であった。この「木材生産適地」のうち、「林内放牧適地」と判定された場所の比率は必ずしも高くなかった。この結果は、針葉樹一斉林造成型の林業に比較的向いている土地であっても、多くの場合、林内放牧の導入には注意が必要であることを示している。林畜複合生産システムの根本的なコンセプトが「持続的な生産と土地管理」にある以上、同システムの適用については、現地での情報を含めた慎重な判断が必要であるといえる。また、全土地面積の約半数を占めた「要保全地」においては、林内放牧の導入は困難であるとみるのが妥当であろう。また、もともと木材生産に不適であるとされる土地では林内放牧も不適であるという判定結果も、当然ながら妥当な結果であったといえる。

今回判定された林内放牧の「適地」および「やや適地」は、小地形区分の頂部斜面にほぼ相当すると考えてよい。このような立地は、過去に採草地あるいは林間耕作地として利用されていた推察される立地と対応する。すなわち、旧来、長期粗放型の管理である林業に比較して、比較的集約的な管理を必要としていた立地が、現在、林内放牧の適地であると考えられる。Ito et al. (2004)は、過去に採草地として利用されていた場所に成立する森林では、本来の森林性の植物の多くを欠き、開地性および草原性の植物が長期間維持されることを報告している。このことは逆に、今回の試行で適地と判断された頂部斜面で林内放牧による採食圧が林床植物にインパクトを与えたとしても、これが原因で森林性のフロラに新たに消失する危険性は他の立地に比較して低いことを示唆している。したがって、過去の土地利用および現存する森林性のフロラの保全から見ても、今回判定された適地は結果として妥当であるといえるであろう。

### 引用文献

藤井奈津子(2002) 土地の潜在的生産力と攪乱体制を考慮した生態的森林ゾーニング手法の開発 . 平成13年度宮崎大学大学院農学研究科修士論文 . 40pp.

- Hall, F.G., Shimabukuro, Y.E. and Huemrich, K.F. (1995) Remote sensing of forest biophysical structure using mixture decomposition and geometric reflectance models. *Ecological Applications* 5(4): 993-1013
- 平田泰雅・増田義昭・沢田治雄・齋藤英樹(1994) リモートセンシングとGISを併用した森林変化の抽出法(III)－森林変化スコア図の作成－. *日林論* 105:171-174
- 栗屋善雄(1996)森林破壊. 農業リモートセンシング－環境と資源の定量的解析－(秋山 侃ほか編著), 農林水産省農業環境技術研究所, つくば市: 117-120
- 国土地理院(1997) 数値地図50mメッシュ(標高). 日本-III(CD-ROM), 国土地理院, つくば.
- 光田 靖・伊藤 哲(2003) 国土数値情報を利用した土地利用形態の立地依存性の解析－宮崎県における事例研究－. *国際景観生態学会日本支部会報*, 8(2), 23-31
- 光田 靖, 伊藤 哲(2004) 森林利用における立地依存性の解析－宮崎県における事例－. *日本景観生態学会誌*, 印刷中.
- 村上拓彦・寺岡行雄・今田盛生(2000) 国土地理院数値地図50mメッシュによる地形因子の算出とその精度の評価. *森林計画誌* 34: 13-26.
- 村上広史(1995) 国土地理院数値地図の精度に関する考察. *情報地質* 6(2): 59-64.
- 中北 理・沢田治雄・栗屋善雄・カーリー(1989) リモートセンシングによるマレー半島の森林分類. *日林論* 100:147-149
- 西村蹊二(1972) 地図縮尺の選び方. *森林航測* 90: 7-12.
- 野上道男・杉浦芳夫(1986) パソコンによる数理地理学演習. 275pp, 古今書院, 東京.
- 杉本安寛(2002) 林畜複合システム－宮崎県諸塚村の事例を中心に－*日本草地学会誌*, 47:644-651.
- 高木潤治・野田亮(1999) 数値地図による地形解析(50mメッシュ利用). *日林九試研論文集* 52: 109-110.
- 高木幹雄・下田陽久(1991) 画像解析ハンドブック. 775pp, 東京大学出版会, 東京.
- 竹下敬司(1964) 山地の地形形成とその林業的意義. *福岡県林試時報* 17:1-109.
- 寺岡行雄・増谷利博・今田盛生(1991) 森林経営のための地位指数推定方法「地形図上で判読可能な地形因子による樹高の推定」. *九大農学芸誌* 45:125-133.
- 露木 聡(1995) 消えゆく都市近郊林－リモートセンシングによるモニタリング－. 日本の大都市近郊林－歴史と展望－(魚住侑司編著), 日本林業調査会, 東京:33-49
- 渡邊定元(1995) 持続的経営林の要件とその技術展開. *林業経済* 48(3):18-32.

## 第7章 幼齡造林地放牧における黒毛和種雌牛の行動と環境への影響

長谷川信美・平田 正彦・園田 立信・杉本 安寛  
(宮崎大学農学部)

### 緒言

日本における牛・豚・鶏などの家畜生産は輸入穀類に依存し、年間2000万トン以上もの穀類が輸入されている。牛は草食反芻動物であり、人間の食料とならない繊維質の飼料を消化できる消化機構を持っている。日本の国土の68%は森林である。輸入飼料に依存せず、日本の国土を有効に利用して家畜生産を行う1つの方策として、飼料となりうる草木の豊富な幼齡造林地を牛の放牧に利用することが考えられる。そこで、日本の山野の未利用草木資源を利用して飼養する可能性を探るために、1996年より、宮崎大学農学部附属田野演習林(現自然共生フィールド科学教育研究センター田野フィールド(演習林))で、牛の放牧実験を開始し、その結果について報告してきた<sup>1,2,3)</sup>。ここでは2000年以降の実験結果から、(1)幼齡造林地放牧における秋季における新牧区拡張が黒毛和種雌牛の行動に及ぼす影響(2001年)、新開設牧区での(2)幼齡造林地放牧における黒毛和種雌牛の採食行動とルーメン内性状およびススキ現存量変化(2003年)、および環境への影響評価として(3)幼齡造林地放牧における牛排糞が環境に及ぼす影響”ワグネルポット糞溶出水成分の896日間の変化”(2000年6月～2002年12月)について報告する。

### 実験方法

実験場所:宮崎大学農学部附属自然共生フィールド科学教育研究センター田野フィールド(演習林)(宮崎県宮崎郡田野町, 31°51'N, 131°17'E, 標高160-260 m) 幼齡ヒノキ造林地である。図1に放牧地概要を示した。本実験地は1996年7月より放牧を開始し、毎年5月中旬ないし6月初旬から11月中旬まで190日前後の期間、鉍塩以外の補助飼料は給与せず昼夜連続放牧を行ってきた。牧区面積は1996年パドック1約5haからパドック

4まで徐々に拡張し、2001年では約12haであった(写真1)。樹冠の閉鎖や連続利用による可食草現存量の減少により2002年は休牧とし、2003年には新たに開設した植栽3～5年目のパドック5・パドック6約2ha(写真2・写真3)に、同様に放牧して実験を行った。

### 実験1: 幼齡造林地放牧における秋季における新牧区拡張が黒毛和種雌牛の行動に及ぼす影響(2001年)

黒毛和種雌牛4頭の24時間行動観察を放牧期間中(2001年5月25日～11月6日)計7回(2001年6月1日・6月22日・7月22日・8月10日・9月8日・10月7日・11月2日)行った。行動は2分間隔で記録した。観察項目は、姿勢を立位・横臥(立位+横臥=24時間または100%)とし、行動分類を採食・反芻・休息・その他の行動(採食+反芻+休息+その他の行動=24時間または100%)とし、採食行動は採食植物をススキとその他の植物に分けて記録した。9月10日に新牧区約0.5haを開放し、開放前1回(9月3日)、開放後1ヶ月間に4回(9月10日・9月12日・9月17日・9月28日)、1頭について24時間行動観察を行った。また、放牧期間中体重測定を5回行った。結果の統計解析は、変動因を観察日(DATE)・個体(CATTLE)として分散分析を行い、Student's t-testにより有意差の検定を行った( $p < 0.05$ )。

### 実験2 幼齡造林地放牧における黒毛和種雌牛の採食行動とルーメン内性状およびススキ現存量変化(2003年)

新たに開設した放牧地を2つのパドック(パドック5およびパドック6)に分け、2003年6月3日～10月2日までの121日間放牧を行った。7月21日午前まではパドック5に放牧し、それ以降はパドック5とパドック6の間のゲートを開放して両パドックを牛が自由に往来できるようにした。

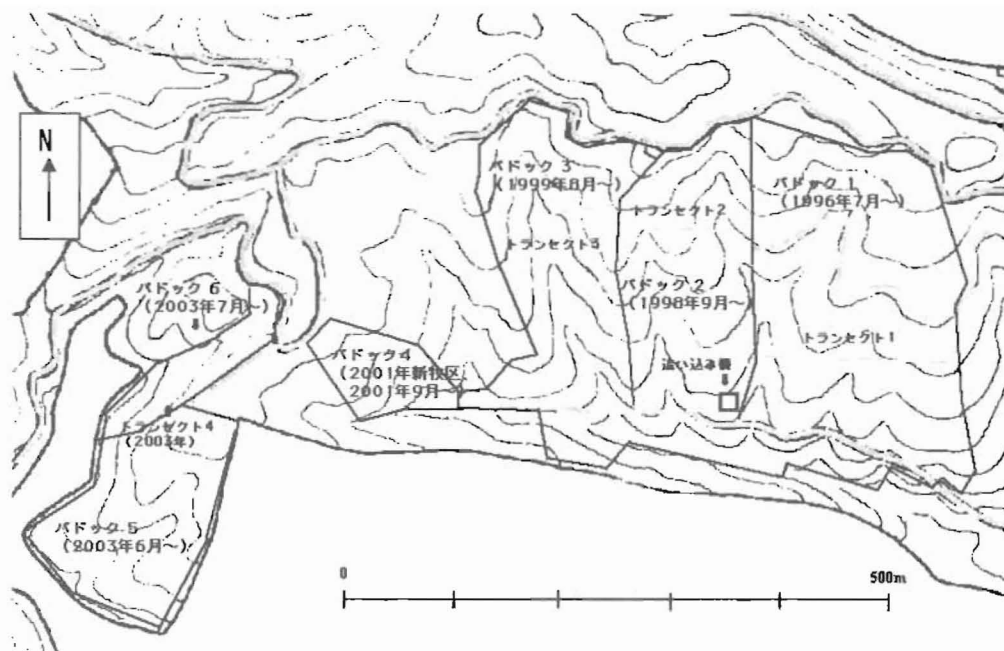


図1. 農学部附属自然共生フィールド教育研究センター  
 田野フィールド（演習林）放牧地概要



写真1. パドック1? 4（実験1）。パドック4西側道路より撮影。

黒毛和種雌牛3頭の24時間行動観察を実験1と同様の方法で、2003年6月13日、7月12日、8月2日、9月10日、9月28日の計5回行った。パドック5の南西斜面には他の牧区にはないササが自生しており、採食行動はススキ・ササ・その他の植物採食に区分して記録した。また1頭からルーメンジュース採取を7月21日（パドック6開放前）および8月3日（パドック6開放8日後）に朝の採食期終了1時間後に行い、pH、アンモニア態窒

素およびVFAの測定およびプロトゾア数および細菌数の計測を行った。

パドック6にライントランセクト25m6個計150mを設置し（トランセクト4、図2）、ススキ株の調査を7月29日～31日（パドック6開放直後）、および10月13日～19日（放牧終了後）の2回行った。ススキ分けつ3本以上のまとまりを1株とみなし、ススキ株の中心がトランセクト中心から両幅1m内に存在するススキ株を全て調査

した。測定項目は、基点からの距離、トランセクトからの垂直距離、株最高点、葉群最高点、葉群最低点、基底周、被食度である。被食度は“強”・“中”・“軽”・“なし”の4段階とした。これらから平田ら(2000)の推定式<sup>23,24)</sup>を用い緑葉重を計算した。

結果の統計解析方法は、実験1と同様である。

### 実験3 幼齢造林地放牧における牛排糞が環境に及ぼす影響“ワグネルポット糞溶出水成分の896日間の変化”(2000年6月～2002年12月)

幼齢ヒノキ造林地約12haに2000年6月1日より昼夜放牧を開始した黒毛和種雌牛3頭の24時間の全排糞を、2000年6月18・19日に採取した。6月19日に放牧地隣接地に、1/2000 a ワグネルポットを用い、下層に径約20mm砂利3kgと上層に径5mm砂利2kgを入れて礫のみ区(以下G区)、およびそれら2層の上に放牧地中・下層土4kgを入れて土+礫区(以下SG区)とし、最上部に糞塊0・750・1500・2250・3000gを置き(以下G区はG0g, G750g, G1500g, G2250g, G3000g, SG区はSG0g, SG750g, SG1500g, SG2250g, SG3000g)、それぞれ3反復合計30個を設置した(写真4)。降雨によりワグネルポット下部排水口より排出する水を15ℓ蓋付きホリバケツに貯留し、2002年12月2日までの896日間で28回の溶出水採取を行った。採取後直ちにpHとECを測定し、-20℃で冷凍保存後イオンクロマトグラフによりNa<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、FおよびBrイオン濃度の測定を行った。

## 結果および考察

### 実験1

表1に採食・休息・反芻行動時間と立位姿勢割合(平均±SD)の変化および分散分析結果を示した。採食時間は平均572.6±65.6分で、他の月よりも10月・11月に有意に短かった(DATE:p=0.007)。反芻時間は平均377.4±59.1分で、観察日による差はなかった。休息時間は平均368.0±72.2分で、11月に最も長く6・8月に短かった(p=0.005)。立位割合は平均60.7±7.5%で、9月に最も高く10月に最も低かった(p=0.0001)。

表2にススキとその他の植物の採食時間と採食割合および反芻/採食比の変化を示した。ススキ採食時間は平均70.1±47.4分で、6・7月に長く、そ



写真2. パドック5 (実験2)



写真3. パドック6 (実験2)

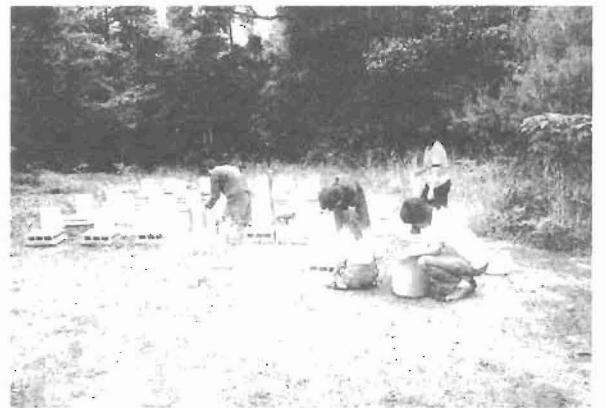


写真4. ワグネルポットによる糞溶出水成分実験 (実験3)

の後低下した(p<0.0001)。その他の植物採食時間は平均502.1±76.8分で、9・10月に他の観察日より有意に長かった(p=0.0008)。ススキ採食割合は平均12.3±8.1%で、6月1日には22.2±3.7%であったが、8月には5.1±3.3%、11月には3.9±4.0

%に減少した ( $p<0.0001$ ). いずれも個体差は示さなかった. 反芻/採食比は平均  $0.675\pm 0.164$  で観察日による差はなかった.

各行動時間(分)および反芻/採食比間の相関を表3に示した. 採食時間はその他の植物採食時間と  $r=0.788$  ( $p<0.001$ ) の高い正の相関を示したが, ススキ採食時間との相関は低かった. また, 有意な負の相関を反芻 ( $r=-0.682$ ,  $p<0.001$ )・休息 ( $r=-0.420$ ,  $p<0.05$ )・横臥 ( $r=-0.652$ ,  $p<0.001$ ) 時間と示した. その他の植物採食時間は, 反芻・横臥時間および反芻/採食比と有意な負の相関を示し (それぞれ  $r=-0.533$ ,  $r=-0.698$ ,  $p<0.01$ ), 休息行動時間との相関は低く, ススキ採食時間はそれらのいずれとも相関は低かった. 反芻時間は横臥時間と, 横臥時間は反芻/採食比と正の相関を示した (それぞれ  $r=0.586$ ,  $p<0.01$  および  $r=0.659$ ,  $p<0.001$ ).

表4に新牧区パドック4開放前後の採食・反芻行動の比較を示した. 新牧区滞在時間は9月10日に200分で, 9月12日には1098分に増加したが, その後120~152分に減少し, 11月2日には28分となった. 新牧区開放日の9月10日を除く開放前4回と開放後4回の平均を比較すると採食時間とススキ採食割合で有意差はなかったが, 反芻時間は298.0分/日から373.5分/日へ, 反芻/採食比は0.49から0.74へ有意に増加した (それぞれ  $p=0.008$ ,  $p=0.033$ ).

2001年の牛の行動を実験開始2年目の1997年<sup>9)</sup>と比較すると, 採食行動時間では差はなかった

が, 反芻時間は有意に66分減少した ( $p<0.0001$ ). また, ススキ採食割合は53.5%から12.3%に減少し ( $p<0.0001$ ), その他の植物採食時間は254分から502分へと増加した ( $p<0.0001$ ). その結果, 反芻/採食比は0.83から0.67へと有意に減少した ( $p=0.0006$ ).

2000年までの放牧実験で, 牛はススキを最も多く採食し<sup>1,4,8,9,11,25)</sup>, ススキ現存量は放牧2~3年目に急激に減少する<sup>8,9,10)</sup>ことが観察された. ススキ現存量の減少による摂取量の低下を牛は採食時間を長くすることで補い, 2001年9月8日には採食時間は10時間32分, 立位割合は71.6%にまでなった. Hasegawa and Hidari<sup>3)</sup>は, 公共放牧地における6月から10月の観察で立位割合は48.3~61.3%, 横臥反芻時間は日増体と  $r=0.55$  ( $p<0.01$ ) の相関があることを報告した. 本実験では9月10日新牧区開放後, 牧区面積が0.5haと小面積のため2週間程度の短期間で有意な結果とはならなかったが, ススキ採食割合が増加し採食時間が減少する傾向が見られ, 有意に反芻時間は増加し立位割合は低下した. そして, 日増体はマイナスからプラスへ転じ, 入牧後2ヶ月間での  $-0.115$  kg/日から, 新牧区開放後1ヶ月間では  $+0.152$  kg/日となった.

幼齢造林地を効率よく使用し, 秋の採食量を確保するための手段としての秋における新牧区開放について検討を行った結果, 牛の行動では反芻時間が増加し立位割合が減少し, 日増体も増加となることが明らかとなった.

表1. 採食・休息・反芻行動時間と立位姿勢割合の変化および分散分析結果 (実験1)

項目	採食	反芻	休息	立位
観察月日	-----	分/日 <sup>1)</sup>	-----	? %/日 ?
6月1日	576.0 ± 43.4 <sup>a</sup>	387.5 ± 30.3	290.0 ± 42.8 <sup>c</sup>	57.7 ± 4.1 <sup>b</sup>
6月22日	601.0 ± 78.3 <sup>a</sup>	364.0 ± 108.6	339.5 ± 79.4 <sup>c</sup>	62.3 ± 5.9 <sup>b</sup>
7月22日	575.5 ± 79.6 <sup>a</sup>	376.0 ± 61.1	365.0 ± 72.9 <sup>bc</sup>	58.1 ± 3.7 <sup>b</sup>
8月10日	615.0 ± 6.0 <sup>a</sup>	367.0 ± 24.9	338.5 ± 32.9 <sup>c</sup>	62.8 ± 2.4 <sup>b</sup>
9月8日	632.5 ± 51.3 <sup>a</sup>	342.0 ± 56.7	356.0 ± 59.6 <sup>bc</sup>	71.6 ± 6.3 <sup>a</sup>
10月7日	497.5 ± 17.2 <sup>b</sup>	429.5 ± 39.2	432.5 ± 27.5 <sup>ab</sup>	49.8 ± 1.2 <sup>c</sup>
11月2日	511.0 ± 22.7 <sup>b</sup>	375.5 ± 61.5	454.5 ± 44.8 <sup>a</sup>	63.0 ± 6.4 <sup>b</sup>
平均	572.6 ± 65.6	377.4 ± 59.1	368.0 ± 72.2	60.7 ± 7.5
分散分析 P 値				
DATE	0.007	0.584	0.005	0.0001
CATTLE	0.122	0.034	0.113	0.357

<sup>1)</sup> 4頭の平均±SD

<sup>abc</sup> 同列異文字間に有意差あり (student-t test)

表 2. ススキとその他の植物の採食時間と採食割合および反芻／採食比の変化（実験1）

項目	ススキ	その他の植物	ススキ採食割合 <sup>1)</sup>	反芻／採食比
観察月日	分／日 <sup>2)</sup>			
6月1日	128.5 ± 28.5 <sup>a</sup>	446.5 ± 26.7 <sup>b</sup>	22.2 ± 3.7 <sup>a</sup>	0.678 ± 0.105
6月22日	118.0 ± 28.6 <sup>a</sup>	481.0 ± 56.6 <sup>b</sup>	19.5 ± 2.9 <sup>a</sup>	0.629 ± 0.255
7月22日	105.0 ± 24.7 <sup>a</sup>	470.5 ± 100.2 <sup>b</sup>	18.8 ± 6.1 <sup>a</sup>	0.669 ± 0.178
8月10日	31.0 ± 19.8 <sup>bc</sup>	584.0 ± 25.0 <sup>a</sup>	5.1 ± 3.3 <sup>c</sup>	0.597 ± 0.041
9月8日	30.0 ± 11.3 <sup>bc</sup>	602.5 ± 52.6 <sup>a</sup>	4.8 ± 1.9 <sup>c</sup>	0.548 ± 0.128
10月7日	58.5 ± 6.4 <sup>b</sup>	439.0 ± 17.8 <sup>b</sup>	11.8 ± 1.3 <sup>b</sup>	0.866 ± 0.108
11月2日	19.5 ± 19.5 <sup>c</sup>	491.5 ± 39.5 <sup>b</sup>	3.9 ± 4.0 <sup>c</sup>	0.738 ± 0.138
平均	70.1 ± 47.4	502.1 ± 76.8	12.3 ± 8.1	0.675 ± 0.164

分散分析 P 値

DATE	<0.0001	0.0008	<0.0001	0.121
CATTLE	0.685	0.275	0.726	0.068

<sup>1)</sup> ススキ採食割合 = (ススキ採食時間／採食時間) × 100

<sup>2)</sup> 4頭の平均±SD

<sup>abc</sup> 同列異文字間に有意差あり (student-t test)

表 3. 各行動時間（分）および反芻／採食比間の相関（実験1）

項目	ススキ採食	その他の植物採食	反芻	休息	横臥	反芻／採食比
採食	0.110	0.788***	-0.682***	-0.420*	-0.652***	-0.879***
ススキ採食	?	-0.524**	-0.087	-0.256	0.252	-0.092
その他の植物採食	?	?	-0.533**	-0.192	-0.715***	-0.698***
反芻	?	?	?	-0.261	0.586**	0.938***
休息	?	?	?	?	0.150	0.037
横臥	?	?	?	?	?	0.659***

\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001

表 4. 新牧区開放前後の採食・反芻行動の比較（実験1）

項目	採食	ススキ採食割合 <sup>1)</sup>	反芻	反芻／採食比
	分／日	%／日	分／日	
開放前 <sup>2)</sup>	603.0 ± 33.7	9.6 ± 6.7	298.0 ± 27.6	0.49 ± 0.04
開放後 <sup>3)</sup>	528.5 ± 96.0	22.4 ± 15.8	373.5 ± 26.4	0.74 ± 0.14
P 値 <sup>4)</sup>	0.194	0.188	0.008	0.033

<sup>1)</sup> (ススキ採食時間／採食時間) × 100.

<sup>2)</sup> 7月22日・8月10日・9月3日・9月8日の平均±SD.

<sup>3)</sup> 9月12日・9月17日・9月28日・10月7日の平均±SD.

<sup>4)</sup> Student-t test.

## 実験 2

### (1) 行動

表 5 に採食・休息・反芻行動時間と立位姿勢割合の変化を示した。牛の 1 日の行動は平均で、採食時間は  $521.2 \pm 118.4$  分/日、反芻時間は  $366.8 \pm 75.9$  分/日 (25.5%)、休息時間は  $421.5 \pm 110.7$  分/日 (29.3%) であった。

ススキ、ササおよびその他の植物の採食時間および反芻/採食比の変化を表 6 に示した。全期間平均で、ススキ採食時間は  $116.37 \pm 73.3$  分/日、ササ採食時間は  $44.9 \pm 28$  分、その他の植物採食時間は  $354.5 \pm 91.8$  分で、いずれも観察日による有意な差を示した (それぞれ  $p=0.002$ ,  $p=0.028$ ,  $p=0.004$ )。採食時間はススキは 9 月に長く、ササは 6 月から 9 月にかけて徐々に減少し、その他の植物は逆に徐々に増加した。反芻/採食比は平均  $0.732 \pm 0.211$  で 6 月に高く 9 月に低い傾向を示した ( $p=0.121$ )。

表 7 に採食・反芻・休息・立位行動時間 (分) および反芻/採食比間の相関を示した。採食時間はススキ ( $r=0.745$ ,  $p<0.01$ ) およびその他の植物 ( $r=0.840$ ,  $p<0.001$ ) 採食時間と正の有意な相関を示し、休息時間と負の有意な相関を示した ( $r=-0.737$ ,  $p<0.01$ )。反芻時間はササ採食時間と正 ( $r=0.609$ ,  $p<0.05$ )、立位時間はその他の植物採食時間と正 ( $r=0.550$ ,  $p<0.05$ ) の有意な相関を示した。また、反芻/採食比はササ採食時間と正 ( $r=0.806$ ,  $p<0.0001$ )、その他の植物採食時間と負 ( $r=-0.637$ ,  $p<0.05$ ) の相関を示した。

### (2) ルーメン内性状の変化

表 8 にルーメン内性状を示した。アンモニア態窒素は 7 月 21 日には  $4.0\text{mg/dl}$  で、パドック 6 開放 8 日後の 8 月 3 日には  $6.4\text{mg/dl}$  に増加した。それぞれの日に総 VFA は  $8.10\text{mmol/dl}$  および  $7.60\text{mmol/dl}$ 、酢酸割合は  $55.7\text{mol}\%$  および  $52.6\text{mol}\%$ 、プロピオン酸割合は  $10.1\text{mol}\%$  および  $8.6\text{mol}\%$  であった。プロトゾア数はパドック 6 開放前  $1.96 \times 10^6$  個/ml からパドック 6 開放後  $2.67 \times 10^6$  個/ml に増加したが、細菌数はそれぞれ  $3.51 \times 10^9$  個/ml および  $3.67 \times 10^9$  個/ml でほぼ同じであった。供試個体の採食行動時間はパドック開放前の 628 分から開放後 496 分に 132 分減少し、ススキ採食時間が 54 分増加しその他の植物採食時間は 74 分減少した。総 VFA 濃度は増加していることから、栄養摂取量は増加したと推測される。また揮発性脂肪酸組成とプロトゾア数の変化は採食植物成分の変化を示していると考えられる。

Hasegawa and Hidari<sup>3)</sup> は、公共放牧地で昼夜放牧されたホルスタイン育成牛のルーメン液性状で、アンモニア態窒素  $9.28 \sim 19.69\text{mg/dl}$ 、総 VFA は  $4.50 \sim 6.42\text{mmol/dl}$ 、酢酸割合  $69.35 \sim 74.76\text{mol}\%$ 、プロピオン酸割合  $15.74 \sim 17.80\text{mol}\%$  であったと報告した。本実験結果をこれらの値と比較すると、アンモニア態窒素濃度は低く、総 VFA 濃度は高く酢酸およびプロピオン酸濃度は低かった。今回は 1 頭の 2 回のみでの測定であり、採食植物成分の分析も行っていないため詳細な検討はできなかった。今後採食植物成分分析さらに血液成分な

表 5. 採食・休息・反芻行動時間と立位姿勢割合の変化および分散分析結果 (実験 2)

項目	採食	反芻	休息	立位
観察月日	分/日 <sup>1)</sup>		%/日	
6 月 13 日	419.3 ± 43.9 <sup>b</sup>	426.0 ± 98.8	413.3 ± 106.8	58.5 ± 1.2
7 月 12 日	507.3 ± 113.8 <sup>b</sup>	326.7 ± 103.1	456.7 ± 176.7	58.5 ± 3.4
8 月 2 日	442.7 ± 46.9 <sup>b</sup>	380.0 ± 74.1	472.7 ± 92.1	58.4 ± 5.9
9 月 10 日	534.0 ± 54.1 <sup>b</sup>	342.7 ± 52.8	448.0 ± 58.4	69.0 ± 0.8
9 月 28 日	702.7 ± 57.8 <sup>a</sup>	358.7 ± 52.5	316.7 ± 88.4	62.0 ± 9.4
平均	521.2 ± 118.4	366.8 ± 75.9	421.5 ± 110.7	61.3 ± 6.1

#### 分散分析 P 値

DATE	0.004	0.604	0.480	0.128
CATTLE	0.435	<0.001	0.006	0.132

<sup>1)</sup> 3 頭の平均 ± SD

<sup>ab</sup> 同列異文字間に有意差あり (student-t test)



どの他の生理的指標も含め、より広範なデータを取って、幼齢造林地放牧が牛の栄養摂取と健康に及ぼす影響について明らかにしていく必要があると考えられた。

(3) ススキの株数、緑葉乾物重および被食度の変化

表9にススキの株数、緑葉乾物重および被食度の変化を示した。ススキ株数は平均でパドック6開放直後の7月が1.74株/m<sup>2</sup>、退牧直後の10月が2.15株/m<sup>2</sup>で月間に差はなかった。緑葉重は全平均で7月が59.2gDM/m<sup>2</sup>、10月が42.7gDM/m<sup>2</sup>で同様に月間に差はなかった。

ススキ被食度は“なし”が7月89.5%から10月24.2%に減少し、“軽”、“中”、“強”がそれぞれ9.9%から45.4%、0.6%から24.6%、0%から24.0%へと有意に増加した（それぞれp<0.001, p<0.001, p<0.01）。

本実験では被食度の増加にも関わらず緑葉乾物重に有意差はなかったが、各トランセクトの変化は一様ではなかった。牛が地形や植生を選択して行動しているとも考えられ、今後GPSによる牛の行動軌跡記録と地形や植生調査を行うことにより、採食植物成分とも関連づけて総合的に牛の採食戦略を明らかにしていく必要がある。

表 6. ススキ、ササおよびその他の植物の採食時間および反芻／採食比の変化（実験2）

項目 観察月日	ススキ		ササ 分/日 <sup>1)</sup>		その他の植物		反芻／採食比	
6月13日	62.7	± 45.8 <sup>b</sup>	76.7	± 21.2 <sup>b</sup>	267.3	± 11.7 <sup>c</sup>	1.019	± 0.219
7月12日	88.0	± 18.3 <sup>b</sup>	48.0	± 20.9 <sup>b</sup>	367.3	± 98.0 <sup>bc</sup>	0.635	± 0.065
8月2日	130.7	± 21.9 <sup>b</sup>	42.0	± 12.5 <sup>b</sup>	263.3	± 37.2 <sup>c</sup>	0.855	± 0.094
9月10日	66.7	± 25.0 <sup>b</sup>	37.3	± 12.1 <sup>ab</sup>	428.0	± 38.2 <sup>ab</sup>	0.640	± 0.053
9月28日	233.3	± 63.6 <sup>a</sup>	20.7	± 16.3 <sup>a</sup>	446.7	± 38.3 <sup>a</sup>	0.509	± 0.041
平均	116.3	± 73.3	44.9	± 23.8	354.5	± 91.8	0.732	± 0.211
分散分析 P 値								
DATE	0.002		0.028		0.004		0.121	
CATTLE	0.941		0.183		0.468		0.068	

<sup>1)</sup> 3頭の平均±SD

<sup>abc</sup> 同列異文字間に有意差あり (student-t test) .

表 7. 採食・反芻・休息・立位行動時間（分）および反芻／採食比間の相関（実験2）

項目	ススキ採食	ササ採食	その他の 植物採食	反芻	休息	立位	反芻／ 採食比
採食	0.745**	-0.430	0.840***	0.137	-0.737**	0.474	-0.620*
ススキ採食	—	-0.491	0.305	-0.007	-0.476	0.117	-0.369
ササ採食	—	—	-0.452	0.609*	-0.197	-0.024	0.806***
その他の植物採食	—	—	—	0.016	-0.532*	0.550*	-0.637*
反芻	—	—	—	—	-0.748**	0.287	0.677**
休息	—	—	—	—	—	-0.471	-0.053
立位	—	—	—	—	—	—	-0.179

\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001

表8. ルーメン内性状 (実験2)

項目	7月21日	8月3日
pH	6.9	7.4
アンモニア態窒素 (mg/dl)	4.0	6.4
総VFA (mmol/dl)	8.10	7.60
酢酸 (mol%)	55.7	52.6
プロピオン酸 (mol%)	10.1	8.6
酪酸 (mol%)	8.7	7.9
イソ酪酸 (mol%)	6.6	6.9
プロトゾア数 (個/ml)	$1.96 \times 10^6$	$2.67 \times 10^6$
細菌数 (個/ml)	$3.51 \times 10^9$	$3.67 \times 10^9$

表9. ススキの株数, 緑葉乾物重および被食度の変化 (実験2)

トラ セト	株数/m <sup>2</sup>		緑葉重 (gDM/m <sup>2</sup> )		被食度 (%)							
					7月				10月			
	7月	10月	7月	10月	なし	軽	中	強	なし	軽	中	強
T1	1.30	1.88	3.7	9.1	81.5	18.5	0.0	0.0	29.8	39.4	24.5	6.4
T2	1.12	2.10	19.1	20.3	92.9	7.1	0.0	0.0	25.8	29.9	40.2	4.1
T3	2.16	2.38	21.3	29.5	81.5	17.6	0.9	0.0	11.8	35.3	39.5	13.4
T4	2.50	2.52	75.9	76.0	95.2	4.8	0.0	0.0	22.2	62.7	14.3	0.8
T5	1.50	1.60	73.3	53.7	82.7	14.7	2.7	0.0	45.0	37.5	8.8	8.8
T6	1.88	2.42	162.2	67.4	100.0	0.0	0.0	0.0	19.0	59.5	19.0	2.5
平均	1.74	2.15	59.2	42.7	89.5***	9.9***	0.6**	0.0**	24.2	45.4	24.6	24.0

\*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001 (月間, student t-test)

### 実験3

SG区およびG区の図2に溶出水pHの変化, 図3に溶出水EC(mS/m)の変化を示した. 田野フィールド林外雨の1997~2001年の5年間平均pHは4.76であったが, 溶出水pHはほぼ中性を示し, ECは糞量が多いほど高い値を示した.

期間および積算のSG区およびG区の図4にNa<sup>+</sup>, 図5にK<sup>+</sup>, 図6にMg<sup>2+</sup>, 図7にCa<sup>2+</sup>, 図8にNH<sub>4</sub><sup>+</sup>, 図9にNO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 図10にCl<sup>-</sup>, 図11にSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>イオン溶出量(mg)を示した. FおよびBrイオンはほとんどが検出限界値以下であった.

溶出水成分の年次変化では, SG区で'S初年度の夏期までにほとんどが溶出する (K<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>), aS夏期にピークがある (Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), bS初期に多量に溶出しその後少しずつ溶出する (Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) の3タイプに分けられた.

各成分溶出量の糞量との関係では, SG区では'S糞量に比例する (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), aS0g以外比例する (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) の

2タイプに分けられた. G区では'S糞量に比例する (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>), aS糞量に反比例する (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) の2つのタイプに分けられた.

SG区とG区の比較では, 成分溶出が'S土があると遅くなる (K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>), aS土がないと遅くなる (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 変わらない (Na<sup>+</sup>) の3つのタイプに分けられた.

これらの結果から, 牛糞成分の降雨による環境への溶出の様相は成分によって大きく異なり, また糞塊の量や土壌の有無によって影響の受け方が異なってくることが明らかとなった.

なお, 引き続き糞および土壌サンプルの成分分析を行い, 環境への影響について検討する予定である.

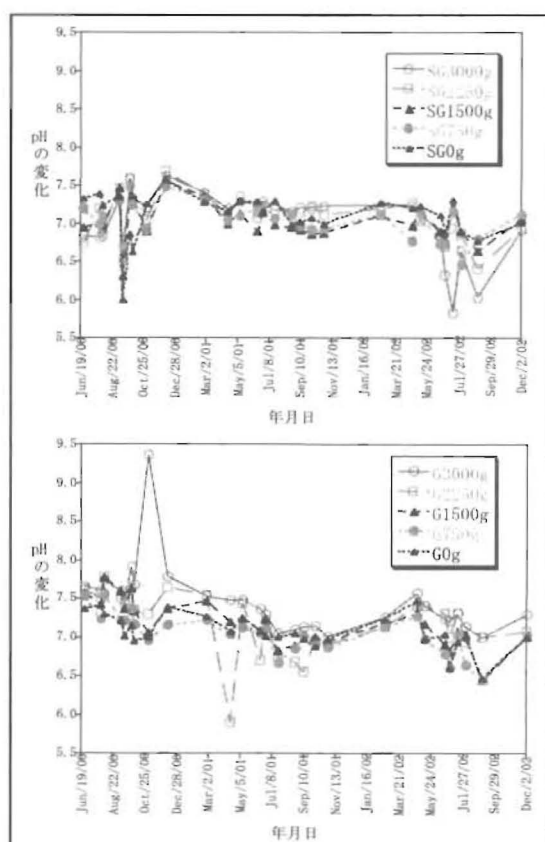


図2. SG区とG区における糞溶出水 pHの変化

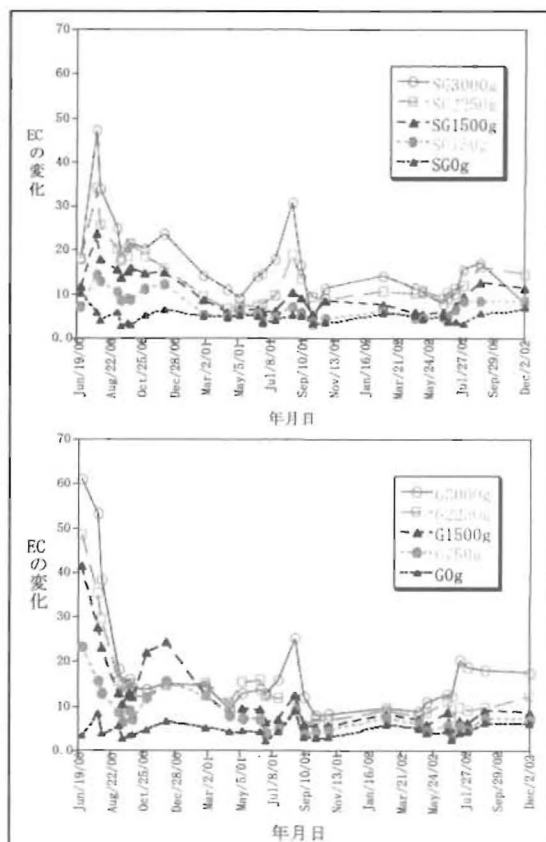


図3. SG区とG区における糞溶出水 EC (mS/m)の変化

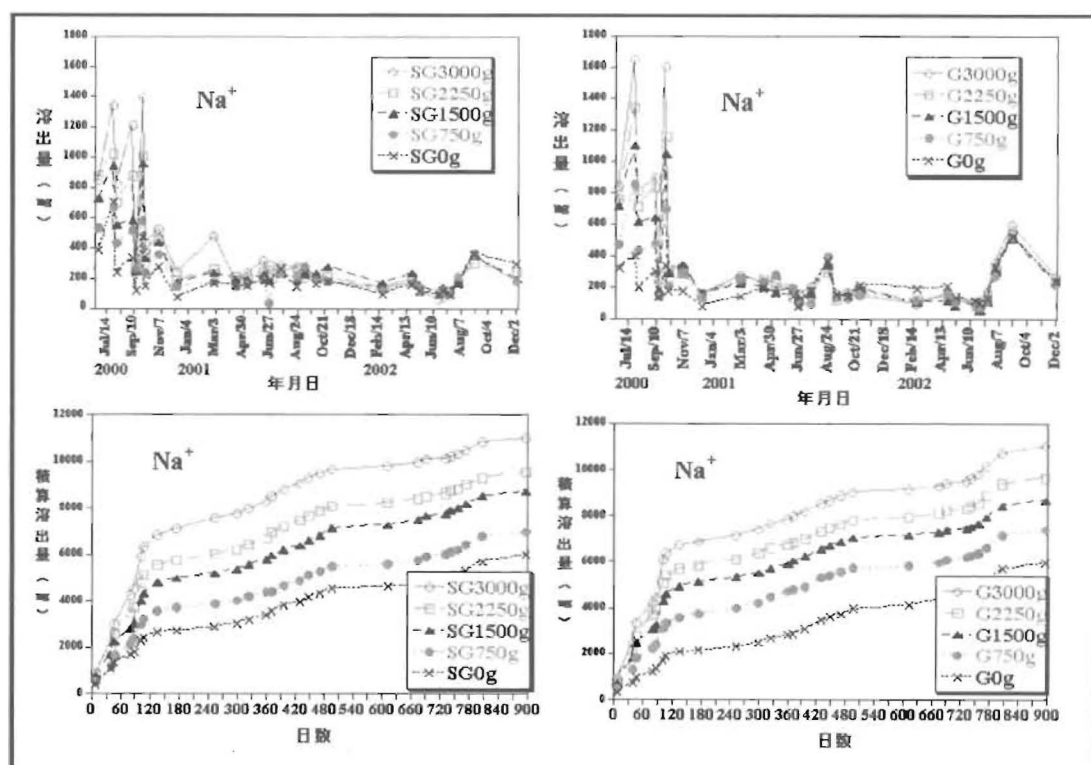


図4. SG区とG区の期間および積算Na<sup>+</sup>イオン溶出量

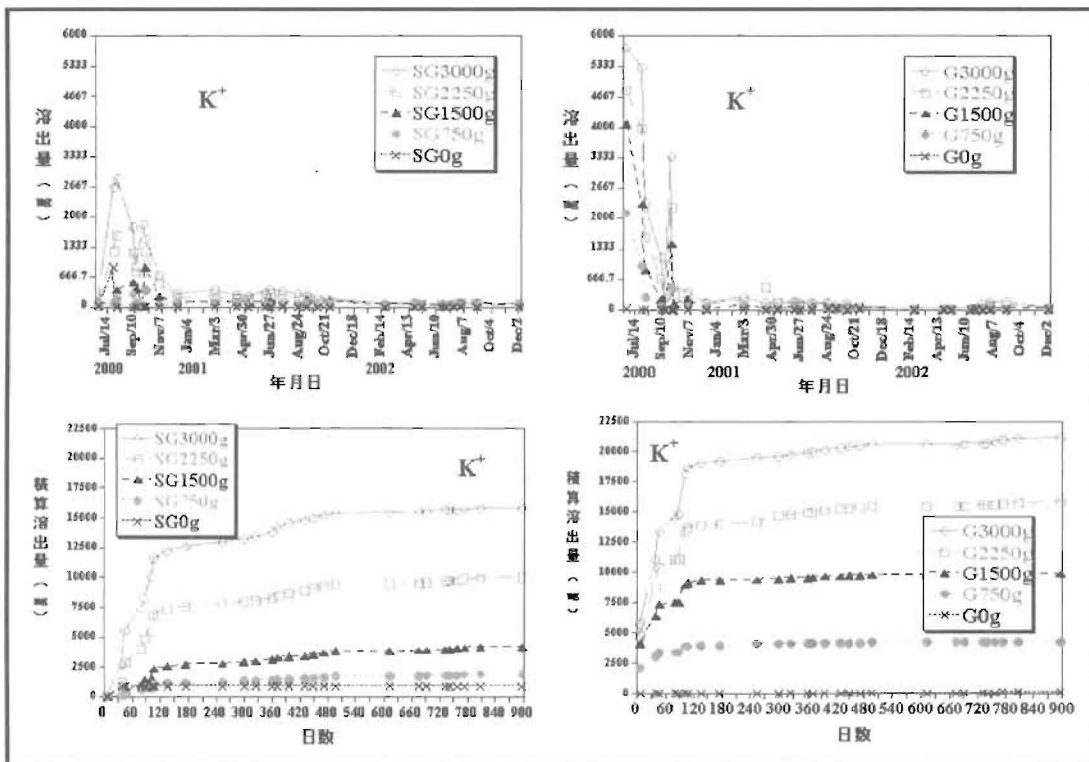


図 5. SG 区と G 区の期間および積算 K<sup>+</sup>イオン溶出量

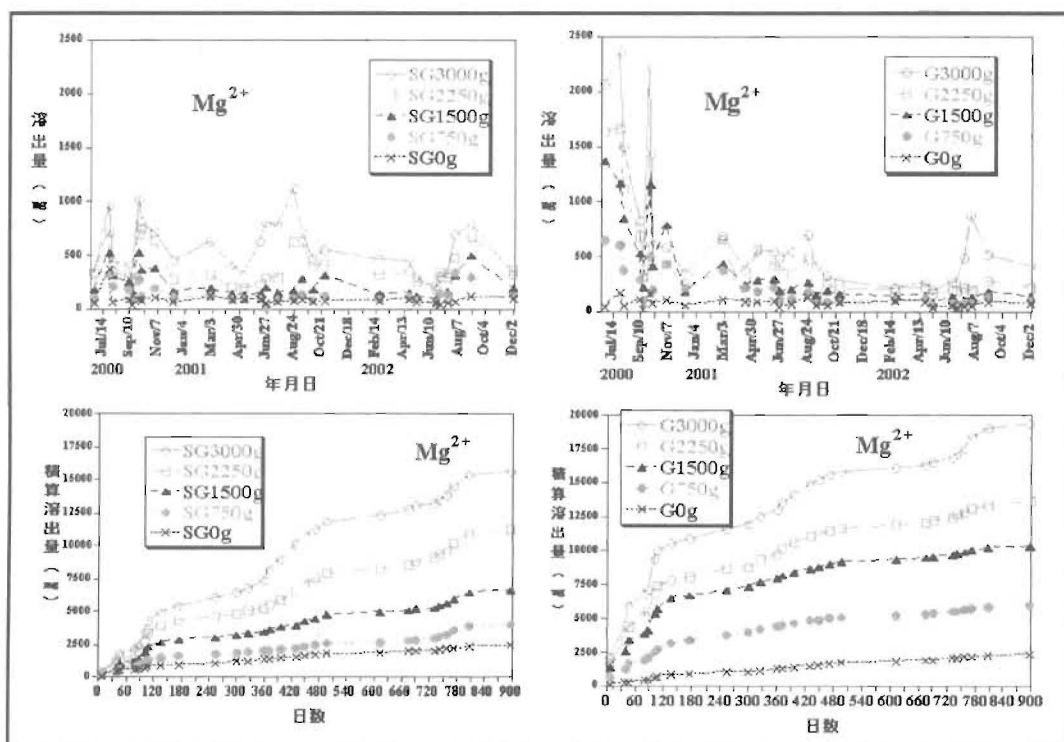


図 6. SG 区と G 区の期間および積算 Mg<sup>2+</sup>イオン溶出量

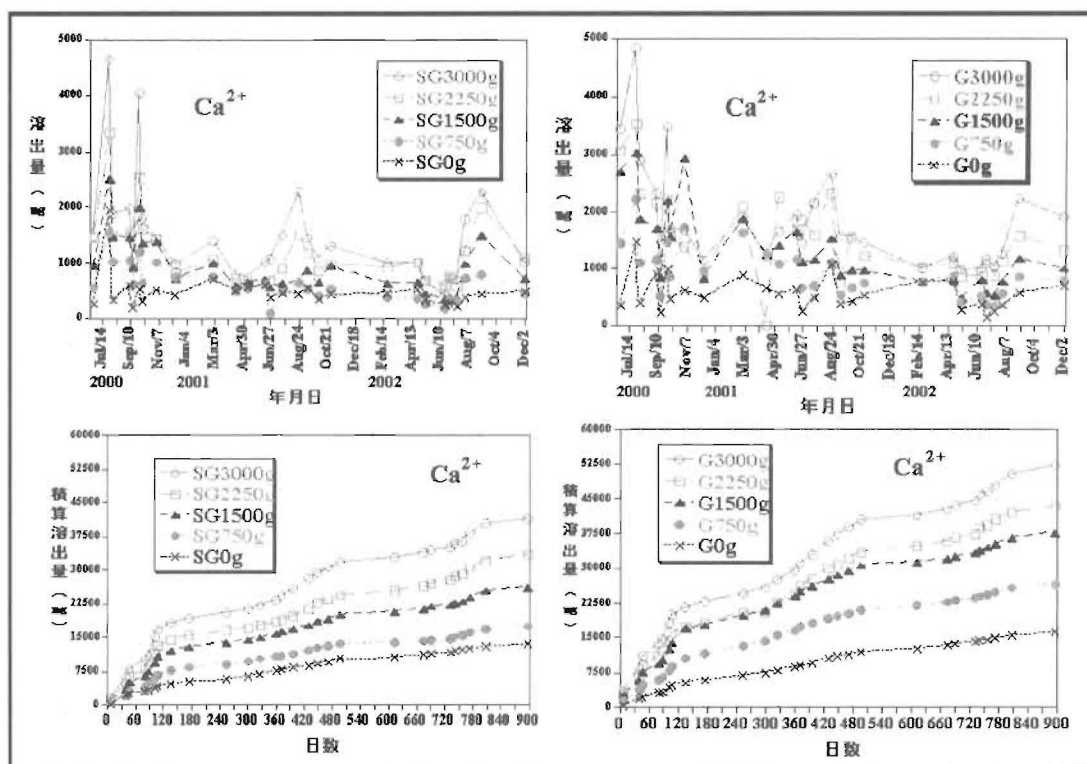


図 7. SG 区と G 区の期間および積算  $\text{Ca}^{2+}$  イオン溶出量

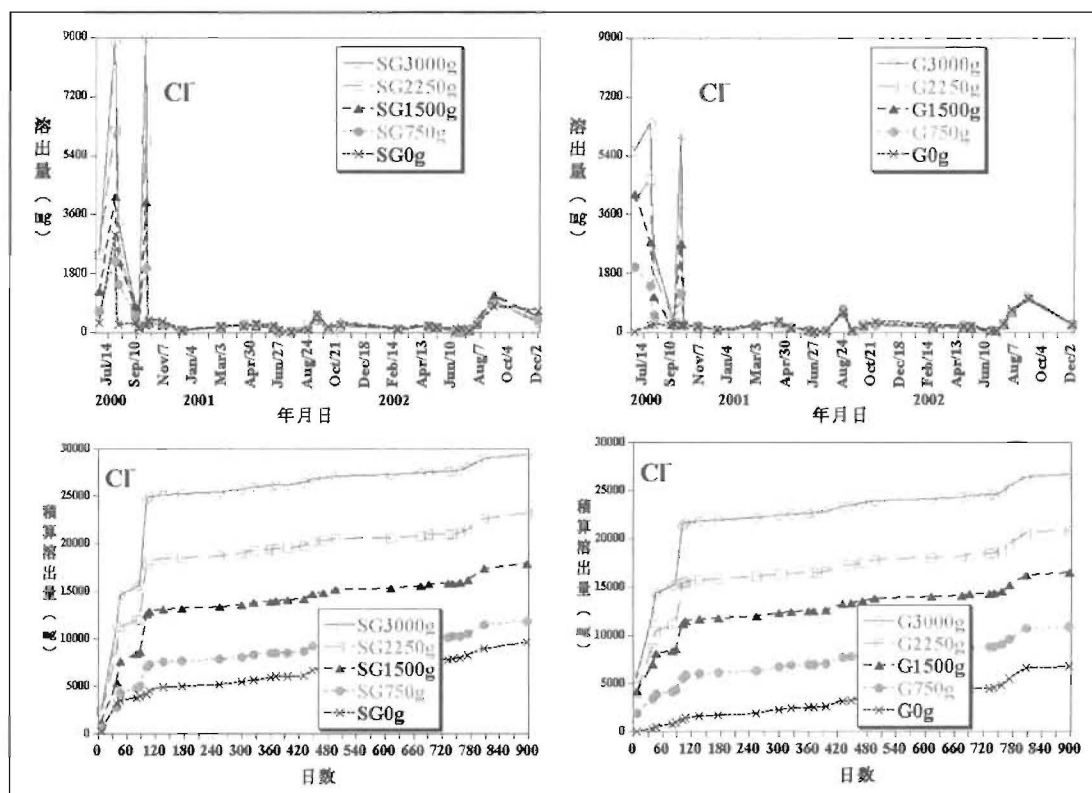


図 8. SG 区と G 区の期間および積算  $\text{NH}_4^+$  イオン溶出量

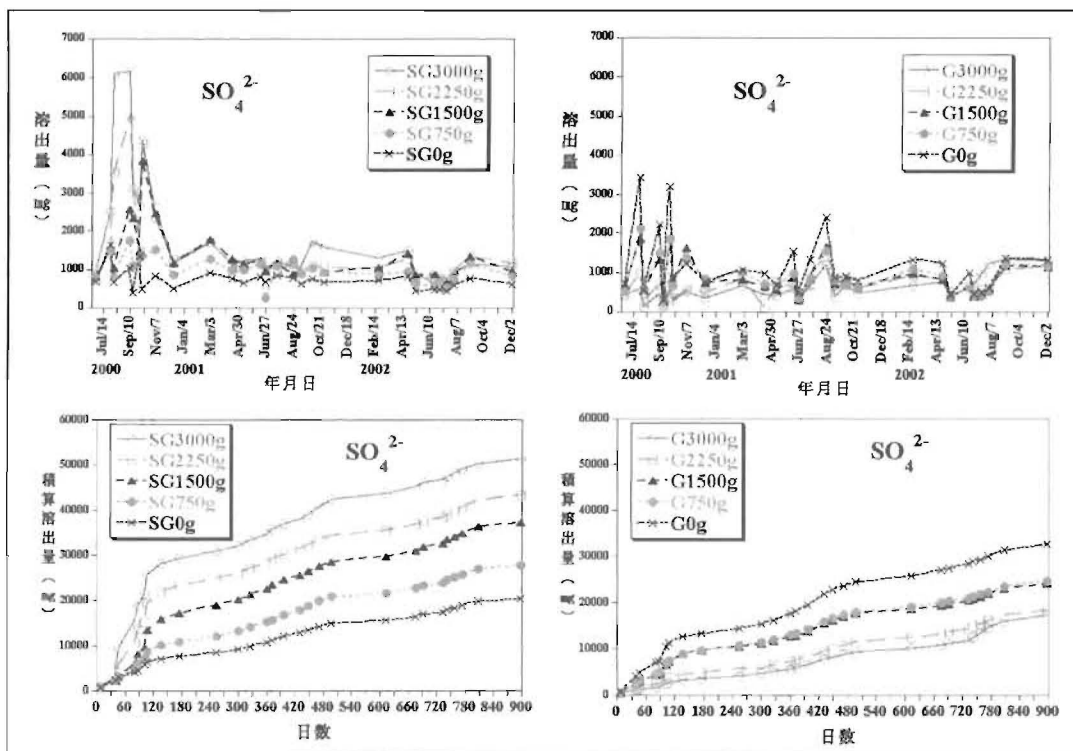


図 9. SG 区と G 区の期間および積算  $\text{NO}_3^-$  イオン溶出量

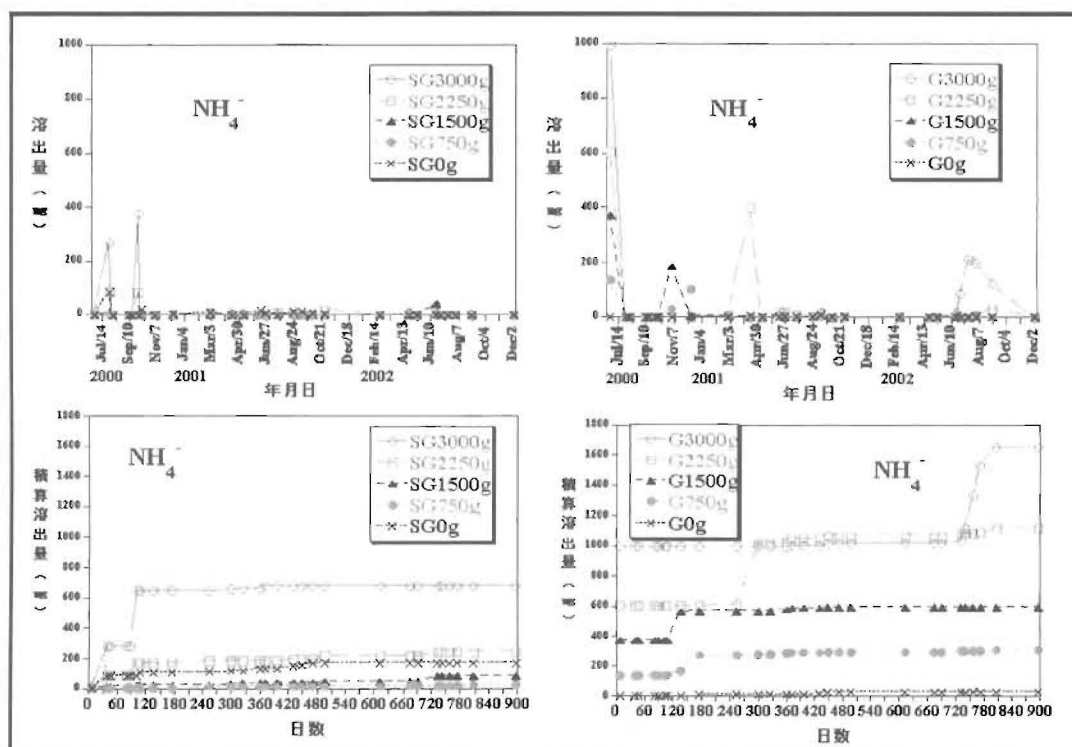


図 10. SG 区と G 区の期間および積算  $\text{Cl}^-$  イオン溶出量

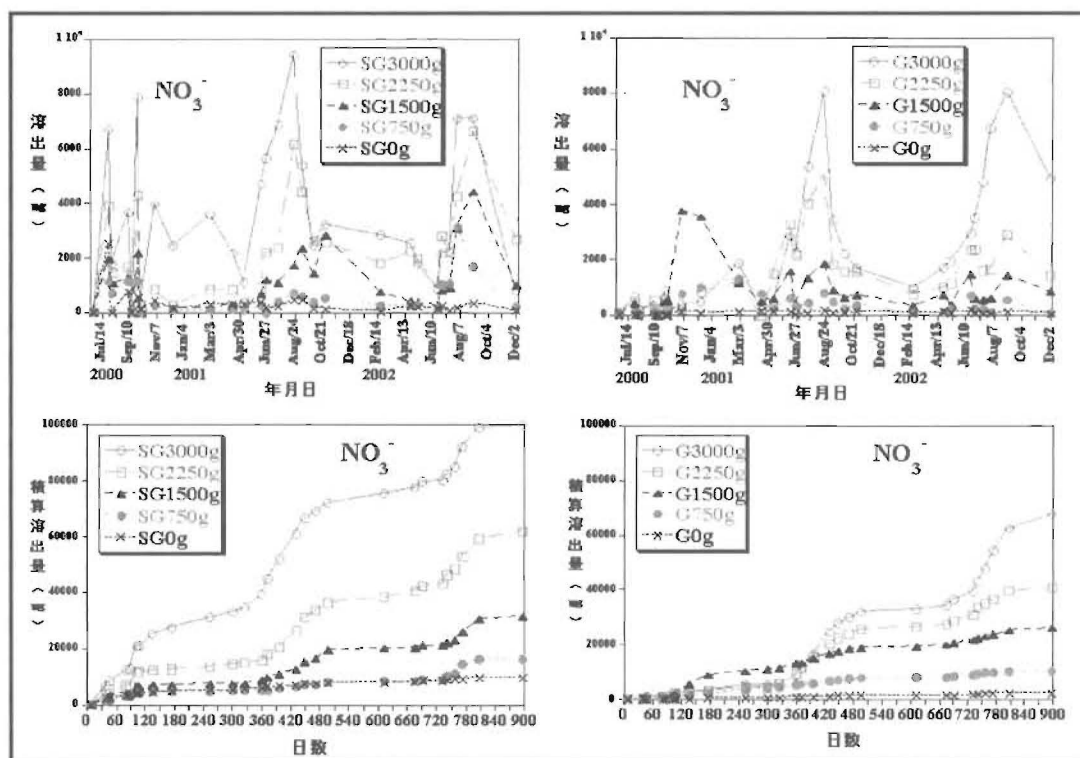


図 11. SG 区と G 区の期間および積算  $\text{SO}_4^{2-}$  イオン溶出量

## 引用文献

1. Chowdappa, R., N. Hasegawa, M. Hirata, S. Ogura, M. Takagi, K. Nogami, T. Sonoda, 2001. Selection of plants by Japanese Black cattle in relation to CP, CF and tannin contents, and digestibility in a silvipastoral system. システム農学7(別2), 95-96.
2. 長谷川信美, 2000. 牛の幼齢造林地放牧における窒素の動態. 宮崎大学学内合同研究「森と人と文化」研究成果報告書, pp.165-168.
3. Hasegawa, N. and H. Hidari, 2001. Relationships among behavior, physiological states and body weight gain in grazing Holstein heifers. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 14(6), 803-810.
4. 長谷川信美・平田昌彦・長谷川裕之・Pakiding Wempie・野上寛五郎・園田立信, 1997. 幼齢ヒノキ造林地放牧における牛・植物相互作用に関する研究. 予備調査-1. 黒毛和種育成雌牛の24時間行動, 排糞量と採食植物. 日草誌 43 (別), 354-355.
5. 長谷川信美・平田昌彦・長谷川裕之・Pakiding Wempie・野上寛五郎・園田立信, 1997. 幼齢ヒノキ造林地放牧における牛・植物相互作用に関する研究. 予備調査-2. ススキの株密度, 基底面積および現存量の時空的変動. 日草誌 43 (別), 356-357.
6. Hasegawa, N., M. Hirata, K. Nogami, R. Chodappa, M. Takagi, Y. Sugimoto and T. Sonoda, 2003. The behavior of grazing Japanese Black cattle and the environmental evaluation in a young *Chamaecyparis obtusa* plantation. Proc. Int. Symposium on Pursuing Sustainable Societies in Diverse Environments:139.
7. Hasegawa, N., M. Hirata, K. Nogami and T. Sonoda, 1999. Use of a young tree plantation for grazing of cattle in southern Kyushu, Japan: 1. Growth and defoliation of the grass *Miscanthus sinensis*, and grazing behaviour. Proc. VI Int. Rangel. Congr., 476-478.
8. Hasegawa, N., M. Hirata, K. Nogami and T. Sonoda, 1999. Use of a young tree plantation for grazing cattle in southern Kyushu, Japan: 2. Diet selection, feed intake and body weight change of animals. Proc. VI Int. Rangel. Congr., 478-479.
9. Hasegawa, N., M. Hirata, K. Nogami and T. Sonoda, 1999. Diet selection of Japanese Black Cattle

- affects the biomass of *Miscanthus sinensis* in a young plantation of *Chamaecyparis obtusa* in southern Kyushu, Japan. Proc. Int. Workshop on Conservation and Utilization of Land Resources in Less Favored Areas with Special Emphasis on the Roles of Livestock and Technology, 161.
10. 長谷川信美・平田昌彦・野上寛五郎・園田立信, 2000. 幼齡造林地放牧における牛の採食行動とススキ現存量の推移: 1996~98年の結果. 日草九支報 30(2), 13-21.
  11. 長谷川信美・平田昌彦・小倉振一郎・野村真希・塩川智之・野上寛五郎・園田立信, 2000. 幼齡ヒノキ造林地放牧における牛・植物相互作用に関する研究. 8. 糞の排泄と消失ならびにこれらのバランス: 1997~99年の結果. 日草誌 46 (別), 356-357.
  12. 長谷川信美・平田昌彦・乙津和歌・神田康孝・中島暢子・野上寛五郎・園田立信, 1998. 幼齡ヒノキ造林地放牧における牛・植物相互作用に関する研究. 1. 黒毛和種雌牛の行動, 乾物摂取量および採食植物とその栄養価. 日草誌 44 (別), 366-367.
  13. 長谷川信美・平田昌彦・尾崎奈保・佐藤玲子・古瀬瑞穂・安田宏美・塩川智之・野上寛五郎・園田立信, 1999. 幼齡ヒノキ造林地放牧における牛・植物相互作用に関する研究. 4. ススキの分けつ密度と葉身生産速度. 日草誌 45 (別), 52-53.
  14. 長谷川信美・平田昌彦・尾崎奈保・佐藤玲子・古瀬瑞穂・安田宏美・塩川智之・野上寛五郎・園田立信, 1999. 幼齡ヒノキ造林地放牧における牛・植物相互作用に関する研究. 5. ススキ分けつの被食と生存. 日草誌 45 (別), 54-55.
  15. 長谷川信美・石村哲朗・Rekha Chowdappa・平田昌彦・高木正博・野上寛五郎・園田立信, 2002. 幼齡造林地放牧における黒毛和種雌牛の行動に及ぼす新牧区開放の影響. 第65回九州農業研究発表会専門部会発表要旨集 (平成14年度日本草地学会九州支部大会), 62.
  16. 長谷川信美・石村哲朗・Rekha Chowdappa・平田昌彦・高木正博・野上寛五郎・園田立信, 2003. 幼齡造林地放牧における黒毛和種雌牛の行動に及ぼす新牧区開放の影響. 日草九支報 33 (1) 30-35.
  17. 長谷川信美・野上寛五郎・高木正博・平田昌彦, 2001. 幼齡造林地放牧における牛の行動が環境に与える影響”排糞行動と糞成分の溶脱”. 宮崎大学学内合同研究「森と人と文化」研究成果報告書, pp.143-147.
  18. 長谷川信美・野神寛五郎・池田絵理奈・岡田真里・塩川智之・Rekha Chowdappa・平田昌彦・園田立信, 2003. 幼齡造林地放牧における牛排糞が環境に及ぼす影響”ワグネルポット溶出水成分の3年間の変化”. システム農学19別 1: 7-8.
  19. 長谷川信美・高木正博・平田昌彦・小倉振一郎・内田希・塩川智之・野上寛五郎・園田立信, 2000. 幼齡ヒノキ造林地放牧における牛・植物相互作用に関する研究. 9. 排糞行動が土壌窒素成分に与える影響: 1997~99年の結果. 日草誌 46 (別), 358-359.
  20. 長谷川信美・安田宏美・平田昌彦・野上寛五郎・園田立信, 1999. 幼齡造林地放牧における黒毛和種雌牛の行動と地形との関係. 第96回日畜学会要旨, 117.
  21. 平田昌彦・長谷川信美・長谷川裕之・Pakiding Wempie・園田立信, 1997. ススキ株の基底面積と現存量の簡易推定方法の開発 (予備調査). 日草誌 43 (別), 400-401.
  22. 平田昌彦・長谷川信美・岩本拓也・岡田直子・野上寛五郎・園田立信, 1998. 幼齡ヒノキ造林地放牧における牛・植物相互作用に関する研究. 3. ススキの株密度, 基底面積全地上部重および緑葉重の時空的変動. 日草誌 44 (別), 370-371.
  23. 平田昌彦・長谷川信美・清田大輔・野上寛五郎・園田立信, 1998. 幼齡ヒノキ造林地放牧における牛・植物相互作用に関する研究. 2. ススキ株の基底面積と現存量の簡易推定方法の開発. 日草誌 44 (別), 368-369.
  24. Hirata, M., N. Hasegawa, K. Nogami and T. Sonoda, 1999. Use of a young tree plantation for grazing of cattle in southern Kyushu, Japan: 3. Nondestructive estimation of basal area and biomass of *Miscanthus sinensis* grass plants. Proc. VI Int. Rangel. Congr., 480-481.
  25. Hirata, M., N. Hasegawa, K. Nogami and T. Sonoda, 1999. Use of a young tree plantation for grazing of beef cattle in southern Kyushu, Japan: 4. Spatio-temporal dynamics in density, basal area and biomass of the grass *Miscanthus sinensis*.



Proc. VI Int. Rangel. Congr., 481-483.

26. 塩川智之・長谷川信美・平田昌彦・野上寛五郎・園田立信, 1999. 幼齡造林地放牧における窒素の動態. 第96回日畜学会要旨, 117.
27. 塩川智之・長谷川信美・平田昌彦・野上寛五郎・園田立信, 2000. 幼齡造林地放牧における糞の分解と水質. 日本家畜管理学会誌 36, 32-33.
28. 高橋友継・平田昌彦・長谷川信美・小倉振一郎・権藤聖子・野上寛五郎・園田立信, 2000. 幼齡ヒノキ造林地放牧における牛・植物相互作用に関する研究. 6. 黒毛和種雌牛の選択採食といくつかの主要採食植物種の植生変化(1). 日草誌 46 (別), 352-353.
29. 高橋友継・平田昌彦・長谷川信美・小倉振一郎・権藤聖子・野上寛五郎・園田立信, 2000. 幼齡ヒノキ造林地放牧における牛・植物相互作用に関する研究. 7. 黒毛和種雌牛の選択採食といくつかの主要採食植物種の植生変化(2). 日草誌 46 (別), 354-355.
30. 高橋友継・平田昌彦・長谷川信美・小倉振一郎・難波強・野上寛五郎・園田立信, 2001. 幼齡ヒノキ造林地放牧における牛・植物相互作用に関する研究. 11. 放牧牛の採餌行動と植生および地形との関係. 日草誌 47 (別) 190-191.
31. 高橋友継・平田昌彦・長谷川信美・小倉振一郎・野上寛五郎・園田立信, 2001. 幼齡ヒノキ造林地に放牧される黒毛和種牛の採餌行動: 秋と初夏. システム農学 7 (別 2), 97-98.
32. 高橋友継・平田昌彦・長谷川信美・小倉振一郎・野上寛五郎・園田立信, 2001. 幼齡ヒノキ造林地に放牧される黒毛和種牛の採餌行動と植生との関係: 秋と初夏. システム農学 7 (別 2), 99-100.
33. 高橋友継・平田昌彦・長谷川信美・小倉振一郎・野上寛五郎・園田立信, 2002. 幼齡ヒノキ造林地放牧における牛・植物相互作用に関する研究. 12. 放牧牛による主要採食植物の選択性. 日草誌 48 (別), 158-159.