

混牧林のための収穫予測モデル Yield Prediction Model for Forest Grazing

松本光朗

Matsumoto, Mitsuo

キーワード: 混牧林、収穫予測、収量比数、牧養力、放牧強度

要約: 森林内で放牧を行う混牧林施業について、これを林・畜・草の3要素から構成されたシステムととらえ、各要素間の関係をモデル化することにより、林分と放牧の両者を見据えた収穫予測モデルを開発した。林分の収量比数 R_y と牧養力には1次線形の関係が見られ、 $R_y=0.5$ 以下で放牧が可能であることが分かった。これと牧区面積と牧養力の関係を組合せ、林分の状態と面積から牧養力を推定する $R_y \cdot S$ -牧養力モデルを導いた。このモデルとシステム収穫表を収量比数を介して関係付けた収穫予測手法を開発し、牧養力を付加した収穫表を作成した。

Abstract: This report intends to analyze the forest grazing system, and to develop a yield production model for managing forest stands along with grazing. The forest grazing system is governed by three main factors, i.e., forest stands, cattle, and grass. The relationship of these factors plays an important role in constructing the model. It is shown that there is a correlation between R_y (yield index) and grazing capacity, and that grazing becomes possible under R_y less than or equal to 0.5. There is also a correlation between the size of grazing area and capacity. Combining these results and system yield tables, a yield prediction model for forest grazing is developed.

はじめに

放牧を行う上で管理者がまず把握すべきことは放牧地の牧養力であり、これを基礎にして放牧管理が実施される。しかしながら、混牧林施業においては草量だけに注目するのではなく、林木への被害も考慮して放牧管理を行う

必要がある。この視点から、草地の草生産量を基礎とする「牧養力」に対し、林木を含めた放牧地を荒廃させずに飼養できる家畜頭数という意味で「混牧林牧養力」という概念を提案し、これに注目しながら混牧林施業のための収穫予測手法を検討した。

混牧林施業はその形態からいくつかのタイプに分類されるが、その中で幼齢人工林の混牧林利用は放牧地の確保や下刈りの代用効果を目的にしたものであり、その施業は確立していると言って良い。このことから、この報告では針葉樹人工林における混牧林施業を対象とすることとした。

本報告は林畜複合経営である混牧林施業の技術的側面に関して、そのシステムの分析と数理的なモデル化を通し、混牧林施業における収穫予測手法を開発することを目的としている。本報告においては、まず混牧林施業をシステムとして分析し、それに基づいた混牧林牧養力の推定方法の提案を行い、最後に混牧林における収穫予測手法について述べる。

混牧林施業のシステム

混牧林は林、畜、草の3つの主要素からなり、これらの要素を適正にバランス良く管理・制御することにより全体としての施業が成立する（図1）。これらの3要素はそれぞれ相互作用をもたらすが、その中でも以下の関係は重要である。まず、林と草の関係は混牧林において最も重要な関係である。立木密度や林分成長は林内の光環境に大きく影響を与える。林木が成長し、樹冠が閉鎖していくに従い林内照度が低くなり、林床植生の生産量の低下、さらに牧養力の低下をもたらす。また、幼齢時、家畜が移動することにより幹や枝の折れや剥皮、また家畜による葉の採食といった林木への被害が発生することがある。このような被害の発生は放牧強度と深い関係がある。家畜は草を採食し、その飼育頭数は草量に依存する。草量に見合った以上の放牧強度を与えることを過放牧と呼ぶ。過放牧は一時的には飼育頭数を増やすことができるが、草の回復が遅れ、結果的に安定した草量を生産できなくなる。極端な過放牧は裸地化をもたらし、林地荒廃の引き金となる。したがって、草生産に応じた放牧強度で管理することが必要となる。

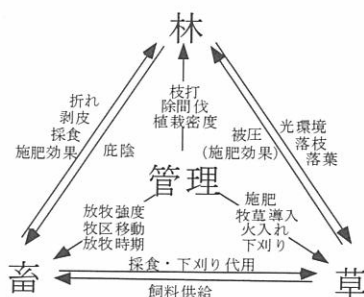


図1 混牧林施業のシステム

野草放牧地における混牧林牧養力の推定

林・畜・草からなる混牧林の構成因子のうち、特に林分密度と牧養力、放牧強度と林木被害の二つの関係に注目し、混牧林における牧養力の推定方法を検討した。

1. 資料

資料には、林業試験場（現森林総合研究所）高萩試験地の針葉樹幼齢林における放牧試験（林試高萩試験地 1982）と、林業試験場東北支所平笠試験地のカラマツ若齢間伐林における放牧試験（小川 1985）で得られた成果を利用した。その概要は以下の通りである。高萩試験地は茨城県北部の十王町に位置し、スギ、ヒノキ、アカマツの植栽地（3000本/ha）におおの3.33haの禁牧区、野草区、牧草区を設け、黒毛和種牛を放牧した。いっぽう、平笠試験地は岩手県岩手山麓に位置し、うっ閉していたカラマツ林（2000本/ha）を16年生時700、1000、1300本/haと3段階の密度に間伐し、それぞれの密度で0.47haの野草区と牧草区を設け、19年生時から6年間にわたり黒毛和種牛を放牧した。以下、高萩試験地および平笠試験地については、これらを高萩、平笠と表記する。ここで、牧養力とは草地を荒廃させずに単位期間、単位面積当りに飼養しうる最大の家畜頭数で、その土地が草を生産する能力を表す。また、放牧強度とは草地に対する放牧の強さを表す（松本1998）。本報告では牧養力、放牧強度の単位はともにカウデイ（CD/ha）を

用いた。これは体重 500kg の牛を基準として ha 当りの延べ頭数を日単位で表したものである。

2. 林分密度と牧養力

林木の成長にしたがって樹冠は閉鎖し、林内は暗くなっていき、それにしたがって林内植生は減少し、牧養力も減少していく。牧養力の推定を行うためには、このような動的な林・畜・草の関係を的確に把握する必要がある。

安藤（1983）は林分密度管理図における収量比数 R_y と林内相対照度の相関が高いこと示した。 R_y とは最多密度曲線上の幹材積に対する材積比率であり、最多密度曲線からのへだたりを示す相対的な密度の尺度である（安藤 1968）。このことに注目し、林分密度と牧養力の関係を把握するにあたって、 R_y を林分密度を表す指標として取り上げることとし、 R_y と牧養力の関係を調べた。

R_y はその定義から、[1]式のように上層樹高と本数密度により表現することができる。

$$[1] \quad R_y = (aH^{-b} + a'H^{-b'}/a''H^{-b''}) / (aH^{-b} + a'H^{-b'}/N)$$

ここで、 R_y ：収量比数 ($0 \leq R_y \leq 1$)、 H ：上層木樹高 (m)、 N ：本数密度 (本/ha)、 a 、 b 、 a' 、 b' 、 a'' 、 b'' ：パラメータである。

混牧林では一般の施業と比較して R_y の低い林分を対象としており、被圧木はあまり発生しないと考えられる。そのためここでは混牧林における上層木樹高は平均樹高と等しいと仮定し、林分密度管理図（林野庁 1981、1982）の係数から[1]式により R_y を算出した。また、牧養力は実験で得られた放牧実績から算出した。

その結果、 R_y と牧養力の関係は、図 2、図 3 に示すように、高萩、平笠ともに高い相関を示し、 R_y による牧養力の推定式[2]～[5]を得た。これを「 R_y -牧養力モデル」と名付ける。

$$[2] \quad GC = 170.0 - 169.5R_y \quad R = 0.87 \quad \text{高萩} \quad \text{スギ野草区}$$

$$[3] \quad GC = 469.8 - 595.5R_y \quad R = 0.91 \quad \text{高萩} \quad \text{スギ牧草区}$$

$$[4] \quad GC = 118.3 - 124.6R_y \quad R = 0.88 \quad \text{平笠} \quad \text{カラマツ野草区}$$

$$[5] \quad GC = 467.0 - 636.8R_y \quad R = 0.98 \quad \text{平笠} \quad \text{カラマツ牧草区}$$

ここで、 GC : 牧養力 (CD/ha)、 c 、 d : パラメータ、 R : 相関係数である。

高萩、平笠の試験における放牧終了時の R_y は、高萩の野草区で 0.50、牧草区で 0.61~0.63、平笠の野草区で 0.41~0.65、牧草区では 0.43~0.67 であった。また、高萩の試験では、牧草区においては 9 年生以降は牧草の収量が急激に低下したので施肥を行わなかったと報告されており (林試高萩試験地 1982)、その時の R_y は 0.55~0.59 であった。これらの事例から判断すると、実務上は R_y 0.5 付近が放牧の限界であり、林内放牧は R_y が 0.5 以下の状態が好ましいと考えられた。

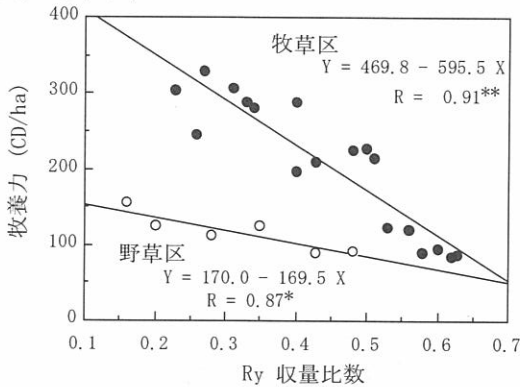


図2 スギ幼齢林における R_y と牧養力の関係 (高萩)

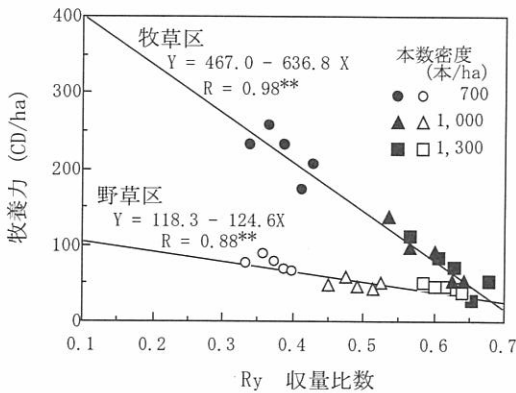


図3 カラマツ間伐林における R_y と牧養力の関係 (平笠)

大迫 (1934) は林内草量の無立木地に対する草量比は、上木の疎密度が

0.3 内外で最大になると報告した。この疎密度 0.3 の林況を密度管理図に当てはめるとおおよそ $Ry=0.2$ に相当する。そこで、本報告において Ry から牧養力を推定するモデルを考える場合、0.2 以下の場合はすべて $Ry=0.2$ と見なすこととする。

ところで、牧養力は牧区面積の影響を受ける。一般に牧区面積が大きくなるにつれ単位面積当りの牧養力は低下することが知られている。岩波ら(1986)はこれまでに行われた試験や報告から、東北地方の混牧林における牧区面積の大きさと単位面積当りの牧養力の関係を示した。その内容を図化すると、図4のように牧区面積の常用対数を取った片対数目盛りのグラフ上で線形関係を示し、[6]式を得た。

$$[6] \quad GC = 50.7 - 11.7 \log(S)$$

ここで、 S ：牧区面積 (ha) である。

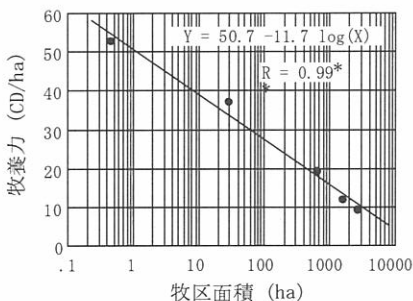


図4 牧区面積と単位面積当り牧養力の関係

さて、前述の[2]～[5]式は試験の牧区面積に限定されている。そこで、牧区面積を一般化するための補正項を付加すると、任意の Ry と牧区面積に対する牧養力は次のように求められる。

$$[7] \quad GC = (170.0 - 169.5Ry) \cdot (0.900 - 0.208 \log(S)) \quad \text{高萩 スギ野草型}$$

$$[8] \quad GC = (118.3 - 124.6Ry) \cdot (0.930 - 0.215 \log(S)) \quad \text{平笠 カラマツ野草型}$$

ここで、 GC ：牧養力 (CD/ha)、 Ry ：収量比数 ($0 \leq Ry \leq 1$ 、 $Ry < 0.2$ の場合 $Ry=0.2$ と見なす)、 S ：牧区面積 (ha) である。[7]、[8]式は林分密度の指標である Ry と牧区面積から牧養力を推定するものであり、これを「 $Ry \cdot S$ —牧養力モデル」と名付ける。 $Ry \cdot S$ —牧養力モデルは、林分成長や林分密度

の変化、牧区面積の大きさに対応した牧養力の推定が可能となるだけでなく、 R_y という共通の指標によって林分密度と牧養力を管理できるという特徴を持つ。これは従来の混牧林研究では見られなかったものであり、本報告で取り扱っている混牧林施業における収穫予測手法の根幹をなすものである。

3. 放牧強度と林木被害

放牧牛による林木被害の発生は単に放牧強度の大小により決まるものではなく、樹高をはじめとする林況によって大きく左右される。高萩の試験では図5のように樹高が 1.0~1.5m の時に枯死率が最大となり、樹高が 1.5~2.0m を越えるとほとんど枯死が生じなくなった。この現象が放牧牛の体高に関係していることは明らかである。そこで、樹高が 1.5m に達するまでの放牧強度と、その期間に生じた累積枯死率の関係を高萩の試験結果から調べた(図6)。ここでは禁牧区の放牧強度を0とし、スギ、ヒノキ別にそれぞれの回帰式を求めたが、両者間には有意差が無かったので、これらをこみにして次の回帰式を得た。

$$[9] \quad MR = 9.75 + 0.0875GI$$

ここで、 MR : 樹高 1.5m に達するまでの累積枯死率 (%), GI : 樹高 1.5m に達するまでの平均放牧強度 (CD/ha) である。この[9]式により樹高 1.5m に達するまでの枯死は放牧強度の管理により制御できると考えられ、これを「放牧強度-枯死率モデル」と名付ける。

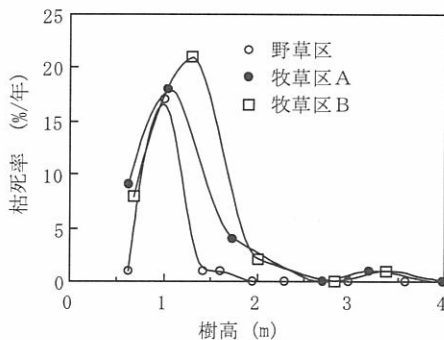


図5 樹高と枯死率の関係

ところで、枯死が放牧牛の体高と関連があることから、枯死の発生が幹折

れなど物理的な原因に起因していると考えられ、スギ、ヒノキ両者ともに同様な回帰式であったことから[9]式は樹種に関わりなく成立するものと考えられる。

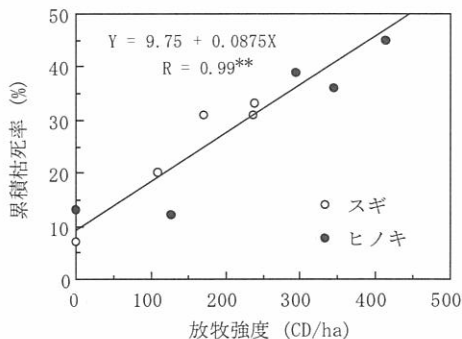


図6 樹高が1.5 mに達するまでの放牧強度と累積枯死率の関係

4. 混牧林牧養力の推定

経営期間が長期にわたる林業にとって林木の枯死は経済的に大きな痛手であり、もちろん混牧林においても枯死が少ないことが望ましい。もし、放牧による枯死発生を極力避けたいならば、樹高が1.5mに達するまでの期間は放牧を禁止するという計画も考えられる。しかし、最も下刈りの必要な時期に禁牧とすれば、下刈りの代用効果と草資源の有効利用という元来の混牧林の目的から外れることとなる。

ここで、混牧林施業において林と畜のバランスを保ちながら林分と放牧の管理を行うために、あらかじめ林木枯死の許容範囲を設定し、それを越えない放牧強度に管理するという方法を提案したい。つまり、林木枯死を許容枯死率の範囲内にとどめる放牧強度の上限と、草資源が持つ牧養力のうち、いずれか低い値を混牧林における適正な牧養力、つまり混牧林牧養力とするものである。

この考え方を基礎に、これまでに得たモデルを組み合わせた混牧林牧養力の推定手順を図7に示した。その概略は次の通りである。まず、林分収穫表

や既存のデータから対象林地の毎年の樹高を求める。一方、林分収穫表や密度管理計画から本数密度を求め、該当する林分密度管理図から毎年の収量比数 R_y を算出する。この R_y と牧区面積から $R_y \cdot S$ 牧養力モデルを用い牧養力を推定する。次に、あらかじめ定められた許容枯死率から放牧強度-枯死率モデルを用い、樹高が 1.5m に達するまでの放牧強度の上限を推定する。樹高が 1.5m に達した後は、前項の結果から放牧による林木枯死は発生しないと考え、放牧強度の上限は設定しない。このようにして推定された牧養力と放牧強度の上限を比較し、低い方の値を混牧林牧養力とする。これを毎年繰り返し、 R_y が 0.5 を越えた時点で放牧の終了とする。

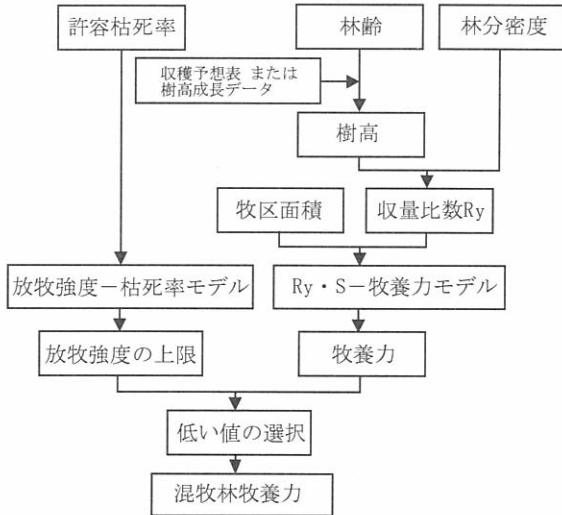


図7 混牧林牧養力の推定手順

この混牧林牧養力推定方法の適合性を調べるため、笹村ら(1982)によって報告されている岩手県畜産試験場外山分場における混牧林試験結果を利用し、推定値と観測値を比較した。この試験地は平均牧区面積が 30.2 ha、平均本数密度 3500 本/ha のカラマツ・アカマツの混植林であったが、ここでは便宜的にこれを一般のカラマツ人工林として取り扱い、[8]式の $R_y \cdot S$ 牧養力モデルを用いた。また、許容枯死率を一般的な林業と同等な 20%とし、樹高成長に関しては試験で得られたデータを利用した。

混牧林牧養力の推定値と放牧強度の観測値の比較を図8に示した。牧区面積が広いため、推定された混牧林牧養力は最高 57CD/ha であった。許容枯死率 20%が守られるためには、樹高 1.5m 未満の林分の放牧強度 117CD/ha 以内に抑えればよく、結果的に 20%という許容枯死率の制限に達しなかった。推定による平均誤差率は 18.6%であり、1～5年の適合が悪かった。笹村らの報告によれば、当初数年間は林木の被害を低くするために意図的に放牧強度を低くしたとしており、必要以上に放牧強度を低くしたことが適合の悪さをもたらしたものと考えられる。その一方、6年生以降において誤差率は 5.3%であり、林分の成長、樹冠の閉鎖にしたがい混牧林牧養力が低下していく動的な変化を的確に推定していた。

以上の結果から、本収穫予測手法は混牧林牧養力の推定手法として適切であると言えよう。

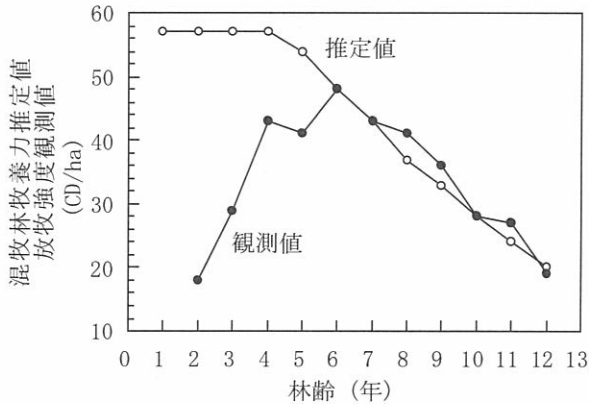


図8 混牧林牧養力の推定値と放牧強度の観測値

混牧林施業のための収穫予測手法

これまで、混牧林施業を形作る林・畜・草およびその管理の関係を明らかにし、混牧林牧養力を推定する方法を述べた。そこで得られた $R_y \cdot S$ -牧養力モデルは、 R_y を介して任意の密度管理計画に応じた混牧林牧養力を推定するものである。この特徴を活用して、林畜の両者を見据えた混牧林施業の

ための収穫予測手法を開発した。当手法を要約すると、林分密度管理図と樹高成長データを用い、 R_y の管理範囲や間伐強度、材積、胸高直径を考慮しながら密度管理計画を立て、それに対応する混牧林牧養力を推定して混牧林施業としての収穫予測を行うというものである。

ところで、針葉樹人工林を対象とした収穫予測手法としてシステム収穫表による手法が開発され、これまで様々なシステム収穫表が開発・提案されてきたが、その中で稲田(1991)は林分密度管理図や R_y を基礎としたシステム収穫表を提案している。したがって、本研究での収穫予測手法は稲田のシステム収穫表を拡張したものと位置づけられる。以下、収穫予測の手順と具体的な適用事例を示す。

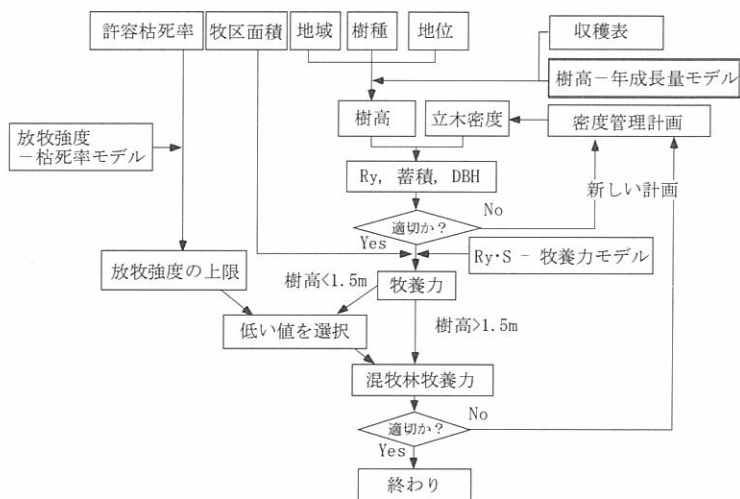


図9 混牧林収穫予測の手順

1. 収穫予測の手順

混牧林施業のための具体的な収穫予測の手順を図9に示した。以下作業順序に従い、その要点を示す。まず、対象地域、樹種、地位、牧区面積を定め、植栽密度および密度管理計画を仮定する。仮定した密度管理計画についてシミュレーションを繰り返し、直径、材積、 R_y などに注目しながら、目的に適合した密度管理計画を求める。次に、得られた密度管理計画に関して、

$R_y \cdot S$ —牧養力モデルを利用し牧養力を推定する。樹高 1.5m 未満においては、許容枯死率から定まる放牧強度の上限と牧養力を比較して低い値を混牧林牧養力とする。ここで、推定された混牧林牧養力が畜産側の目的に対して不適当である場合は、密度管理計画を変更しながら目的に適合した密度管理計画を求め直す。最終的に以上の結果を林分収穫表の形にまとめる。

2. スギ幼齢混牧林の収穫予測

まず、当研究の基盤となったスギ幼齢林を対象とした混牧林施業に関し、その収穫予測を試みた。幼齢林での放牧は、樹冠の閉鎖および林内植生の減少に伴って中止されるのが一般的であるが、あまり短期間のうちに放牧利用ができなくなると、代替する放牧地と牧柵などの施設が必要となり、経営実行上不利となる。そこで、放牧利用期間の延長を目標に、低い植栽密度を仮定して収穫予測を行った。ここで設定した条件は以下のとおりである。地域：茨城県、樹種：スギ林、地位：2等、植栽密度：2000 本/ha、牧区面積：1ha、 R_y の上限：0.5、許容枯死率：20%。

表 1 スギ幼齢混牧林の収穫予測

林齢 年 植栽	茨城県地方スギ林 地位2等					混牧林 牧養力 CD/ha
	平均 樹高 m	平均 胸高直径 cm	立木密度 本/ha	幹材積 m ³ /ha	R_y	
			2000			
1	0.5	0.7	1857	0.1	0.02	117
2	1.2	1.9	1723	0.7	0.06	117
3	1.8	3.2	1600	2.2	0.09	117
4	2.4	4.4	1600	4.8	0.14	123
5	3.0	5.5	1600	8.7	0.19	123
6	3.6	6.5	1600	13.9	0.23	119
7	4.2	7.5	1600	20.3	0.28	112
8	4.8	8.4	1600	28.0	0.32	105
9	5.3	9.2	1600	36.7	0.36	99
10	5.9	10.0	1600	46.5	0.40	93
11	6.4	10.7	1600	57.2	0.43	88
12	7.0	11.4	1600	68.7	0.47	83
13	7.5	12.0	1600	80.9	0.50	78
14	8.0	12.6	1600	93.8	0.53	74
合計						1450

上記の地域、樹種から、林分密度管理図として南関東・東海地方スギ林分密度管理図（林野庁 1981）を、樹高成長の資料として北関東、阿武隈地方スギ林分収穫表（林野庁・林業試験場 1955）を利用した。その結果、表 1 に示したように 2000 本/ha という低い植栽密度により樹冠の閉鎖が遅れ、 R_y が 0.5 を越え放牧が中止されるのは林齢 14 年時と予測された。同条件で

植栽密度を一般的な 3000 本/ha とすると、放牧の中止は林齢 10 年時と予測されたことから、3000 本/ha から 2000 本/ha への植栽密度の低下は 4 年の放牧期間の延長をもたらしたことになる。

放牧中止となる 14 年生までの混牧林牧養力は 74~123CD/ha と推定され、その積算値は 1450CD/ha であった。3 年生までは許容枯死率による放牧強度の上限が牧養力を上回ったが、草生産量の余剰は 6CD/ha と小さいことから、下刈りの代用効果は高いものと考えられた。

表 2 スギ壮齢混牧林の収穫予測

		茨城県地方スギ林 地位2等						
		主林木			副林木			混牧林 牧養力 CD/ha
林齢	平均樹高	胸高直径	立木密度	材積	本数	材積	Ry	
年	m	cm	本/ha	m ³ /ha	本/ha	m ³ /ha		
植栽			2000					
2	1.2	1.9	1723	0.7			0.06	117
4	2.4	4.4	1600	4.8			0.14	123
6	3.6	6.5	1600	13.9			0.23	119
8	4.8	8.4	1600	28.0			0.32	105
10	5.9	10.0	1600	46.5			0.40	93
12	7.0	11.4	1600	68.7			0.47	83
14	8.0	14.5	800	60.3	800	33.5	0.34	102
20	10.9	18.4	800	125.4			0.46	84
25	13.1	24.0	400	122.3	400	66.6	0.35	101
30	15.1	26.8	400	172.0			0.40	93
35	16.9	29.1	400	224.7			0.45	85
40	18.6	31.0	400	278.5			0.49	79
45	20.1	34.8	300	280.2	100	52.0	0.44	87
50	21.5	36.4	300	327.0			0.47	82
55	22.8	37.9	300	372.6			0.49	79
60	24.0	42.6	200	325.1	100	91.6	0.40	93
65	25.1	43.9	200	360.3			0.42	90
70	26.0	45.1	200	393.9			0.44	87
75	26.9	46.2	200	426.0			0.45	85
80	27.8	47.1	200	456.3			0.46	83
合計					1400	243.7		2706

3. スギ壮齢混牧林の収穫予測

強度間伐などにより林分密度を低く維持すれば、林内照度が増し長期間の混牧林利用が可能となる。立木密度を低く維持することは、放牧利用を行う側ばかりでなく、大径材生産を狙う林業側にとっても都合が良い。このような施業形態としては、高知県嶺北地域のヒノキ高齢林を対象とした混牧林(岩波 1994a)、北海道釧路地方のカラマツ・トドマツ林を対象とした混牧林(岩波 1994b)といった事例があり、林業の長伐期化が進む中、今後この

ような利用が広まるものと予想される。

このような背景をふまえ、植栽時から主伐までの全期を通した混牧林利用を目標とし、スギ壮齢混牧林の収穫予測を行った。ここでは、先に扱ったスギ幼齢混牧林を強度間伐により壮齢混牧林に導くものとし、先の条件に密度管理： Ry 0.3~0.5を維持、主伐：80年生時といった条件を加えて予測を行った。その結果を表2に示した。林齢14年生で Ry が0.5を越したので、その時点で立木密度を1600本/haから800本/haに落とす計画とした。それにとともに、 Ry は0.53から0.34に落ち、牧養力は前年の78CD/haから102CD/haに回復することが予測された。同様な間伐を25、45、60年生時に行うことにより、それぞれ66.6、52.0、35.2、91.6 m^3 /haの副林木の収穫が予想され、低い立木密度のため25年生において主林木の平均胸高直径が20mを越えることが予想された。80年生の主伐時には、立木密度200本/ha、平均胸高直径47.1cm、材積456 m^3 /haが予測されたが、60年生時においてもそれぞれ200本/ha、42.6cm、325 m^3 /haが予測され、この時点でも十分に主伐が可能であることがわかる。全期を通し79CD/ha以上の混牧林牧養力を維持し、野草利用の混牧林としては十分な牧養力を持つことが予測された。

引用文献

- 安藤 貴 1968. 同齢単純林の密度管理に関する生態学的研究、林試研報 210:1-153.
- 安藤 貴 1983. スギ林間伐後の林内相対照度、林試研報 323: 58-59.
- 稲田充男 1991. 林分密度管理図に基づく人工林収穫予想表等の作成、森林計画学会誌 16:71-85.
- 岩波悠紀・神長毎夫・蛇沼恒夫 1986. 混牧林経営における林分密度管理図の活用 (3)、畜産の研究 40:727-731.
- 岩波悠紀 1994a. 林内放牧による肉牛振興と森林・環境・国土保全、畜産の研究 48:224-230.
- 岩波悠紀 1994b. 林業サイドの指導による釧路地方の混牧林(I)、草その情報 84: 7-15.

- 松本光朗 1998. 混牧林、pp.946-957、林業技術ハンドブック、全国林業改良普及協会、東京
- 小川 澄 1985. カラマツ間伐林における牧草栽培が牧養力ならびに林木の生長に及ぼす影響、日林東北支部誌 37:50-54.
- 大迫元雄 1934. 樹林庇陰の草生に及ぼす影響について、山林彙報 29: 1-10.
- 林試高萩試験地 1982. 針葉樹人工幼齡林の放牧利用、181p.
- 林野庁 1981. 南関東・東海地方スギ林分密度管理図、日本林業技術協会、東京、28p.
- 林野庁 1982. 東北地方国有林カラマツ林分密度管理図、日本林業技術協会、東京、6p.
- 林野庁・林業試験場 1955. 北関東、阿武隈地方すぎ林林分収穫表、9p.
- 笹村 正ら 1982. 肉牛放牧による高原造林地牧養力の年次推移、岩手県畜試研究報告 11:1-22.

