

速報

線形計画法による長期的な収穫計画^{*1}

—九州電力（株）社有林の伐期延長を事例として—

高比良 聡^{*2} ・ 溝上展也^{*3} ・ 吉田茂二郎^{*3} ・ 村上拓彦^{*4} ・ 加賀英昭^{*5}

高比良聡・溝上展也・吉田茂二郎・村上拓彦・加賀英昭：線形計画法による長期的な収穫計画—九州電力（株）社有林の伐期延長を事例として— 九州森林研究 60：43-46, 2007 林業経営への長伐期施業の導入はコスト削減や環境保全に対し効果があると言われ、伐期延長や長伐期施業の導入を検討する林業経営体が増加している。したがって長期的な収穫計画を作成する必要性が増し、これには線形計画法の利用が有効であると考えられるが、我が国ではこれまであまり積極的には活用されていない。そこで線形計画法を用いて長期的な収穫計画を作成し、林業経営体による経験則的なシミュレーションと比較して現場への適用の可能性を考察することを目的とした。線形計画法による結果は林業経営体によるシミュレーションと比較して必ずしも非現実的ではないと判断でき、現場での利活用の可能性が示唆された。

キーワード：線形計画法、長伐期施業、長期的な収穫計画

I. はじめに

現在、我が国では林業経営は厳しい状況にあり、林業の採算性向上は急務である。また、森林の生態系保全や公益的機能の発揮などに対する国民の要請は高まっている。これに対し、林業への長伐期施業の導入は林業コストの削減や林地攪乱の軽減などに対して効果があると言われており (1)、林業経営体などでは伐期延長や長伐期施業の導入を検討するものが増加している。したがって長期的な収穫計画を作成する必要性は増しているが、従来この収穫計画はほとんどの場合経験に基づき手計算により作成されてきた。それに対して数理計画法の一種である線形計画法 (Linear Programming, 以下 LP とする) を利用した場合には、設定条件を変えることで手計算よりも効率的に多様な森林計画を作成することが可能である。米国等では早くから伐採計画等に用いられてきたが、我が国の林業の現場ではあまり積極的には用いられていない状況にある。そこで本研究では LP を用いて長期的な収穫計画を作成し、林業経営体による経験則的なシミュレーションと比較することにより現場への適用の可能性を考察することを目的とした。

II. 対象地及び方法

1. 研究対象地

対象は九州電力（株）社有林 A ゾーンのスギ林 962.2ha である。管理は九州林産（株）が行っているため、比較対象は九州林産の

作成した計画案である。A ゾーンとは資源循環林にあたり、九州林産の木材事業地としての林分で、伐採・搬出経費の少ない地域である。伐期齢は従来 11 齢級以上であったが、H19 年度より延長し第 1 分期の H19～H23（1 分期＝5 年間）では 12 齢級以上、それ以降は 13 齢級以上とするよう計画されている。伐採に関しては、間伐は従来 4, 5, 7, 8 齢級で実施していたものを 3～11 齢級では毎齢級で実施することとし、主伐は第 1 分期での 4.9ha/年から、徐々に増加し第 6 分期以降は 16.03ha/年（＝1～12 齢級の法定齢級分配を達成したときの伐採面積）とするように予定している。九州林産による長期計画としては H78 年度（12 分期間に相当）までがシミュレーションされており、年間伐採量に関しては、約 6,200～11,000m³/年が計画されている。九州電力社有林の初期 (H19) の齢級配置と 12 分期後の齢級配置をそれぞれ図-1, 図-2 に示す。

2. 方法

LP とは連立 1 次不等式 (または等式) の制約条件のもとで、1 次式の目的関数の値を最大または最小にする解を見つけ出す最適化手法と定義され (4)、図-3 の様な基本形で表される (5)。

本研究では、九州林産による長期計画の方針および南雲ら (2)、山津ら (5) を参考にし、以下の様に目的関数と制約条件を設定した。まず、目的関数は「計画期間経過後の齢級配置と目標齢級配置との差」とし、これを最小化することとした。つまり、現在の齢級配置を数十年の計画期間後に目標齢級配置に出来るだけ近づけることと言い換えることが出来る。本研究では計画期間

*1 Takahira, S., Mizoue, N., Yoshida, S., Murakami, T. and Kaga, H.: Long-term yield regulation plan using Linear Programming - A case study about the extension of the felling age in the forest of KYUSHU ELECTRIC POWER CO., INC. -

*2 九州大学大学院生物資源環境科学府 Grad. Sch. Biores. and Bioenvir. Sci., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581

*3 九州大学農学研究院 Fac. Agric., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581

*4 新潟大学農学部 Fac. Agric., Niigata Univ., Niigata 950-2181

*5 九州林産株式会社 KYUSHU-RINSAN CO., LTD.

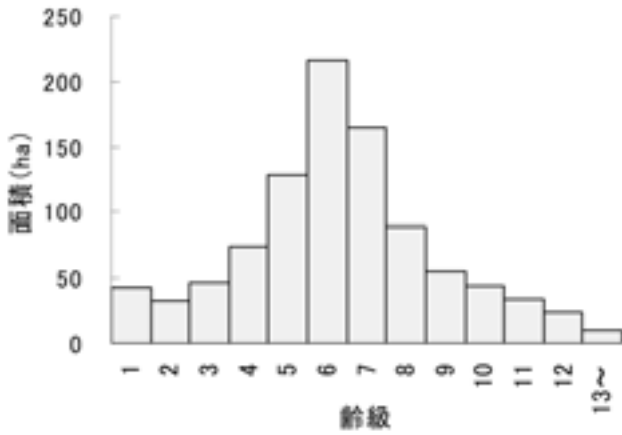


図-1. 初期年齢配置 (H19年)

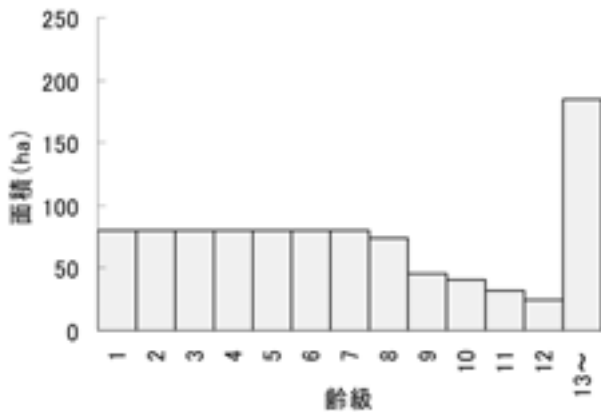


図-2. 12分期後の年齢配置 (H19年)

目的関数: $Z = c_1X_1 + c_2X_2 + \dots + c_nX_n$
 制約条件: $a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1$
 $a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2$
 \vdots
 $a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m$
 X_i の非負条件: $X_i \geq 0$
 ただし、 a_{ij}, b_i, c_j を定数とし、
 X_j を変数 (ただし、 $i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n$) とする
 Z の値を最大 (または最小) とするような X_1, X_2, \dots, X_n を求める

図-3. LPの基本形

は1分期を5年として6, 10, 14分期の3パターンを検討し、目標年齢配置は1~12年齢級の森林が等面積 (対象地面積962.2ha/12=80.18ha) で存在する法定年齢配置とした。制約条件は①第1分期では11年齢級以下では主伐不可②第2分期以降は12年齢級以下では主伐不可③主伐した面積は同分期内で更新される④間伐は3~11年齢級で行う⑤主・間伐合計で毎年5,000m³以上 (1分期で25,000m³以上) の伐採量を確保することとした。これを数式で表すと図-4の様になる。図-4中の $V_{i,j}$, $T_{i,j}$ は九州林産のシミュレーション結果及び森林簿を参考に設定した (表-1, 表-2)。

LPでは膨大な数の変数と式を同時に扱うため、コンピュータの利用が不可欠である (5) が、本研究ではGNUが無料配布しているIP/MIPソルバー「GLPK (Gnu Linear Programming Kit)」

目的関数: $\min Z = \sum_{j=1}^{max} |A_j - B_j|$
 制約条件:
 $X_{i,j} = 0 \quad (1 \leq j \leq 11)$
 $X_{i,j} = 0 \quad (2 \leq i \leq p, 1 \leq j \leq 12)$
 $Y_{i,j} = 0 \quad (1 \leq i \leq p, 1 \leq j \leq 2, 12 \leq j \leq M)$
 $Y_{i,j} = C_{i,j} \quad (1 \leq i \leq p, 3 \leq j \leq 11)$
 $C_{2,1} = \sum_{j=12}^M X_{1,j}$
 $C_{i,1} = \sum_{j=13}^M X_{i-1,j} \quad (3 \leq i \leq p)$
 $C_{i,j} = C_{i-1,j-1} - X_{i-1,j-1} \quad (2 \leq i \leq p, 2 \leq j \leq M)$
 $\sum_{j=12}^M X_{1,j} * V_{1,j} + \sum_{j=3}^{11} Y_{1,j} * T_{1,j} \geq 25,000$
 $\sum_{j=13}^M X_{i,j} * V_{i,j} + \sum_{j=3}^{11} Y_{i,j} * T_{i,j} \geq 25,000 \quad (2 \leq i \leq p)$
 非負条件: $X_{i,j} \geq 0, Y_{i,j} \geq 0$
 ここで、 i : 分期 j : 年齢級 p : 計画期間 (分期) = 6, 10, 14 の3パターン
 max: 計画期間後において達する可能性のある年齢級の最大値
 A_j : j 年齢級の目標面積
 (1~12年齢級: 対象面積962.2ha/12 = 80.18ha, 13年齢級以上: 0ha)
 B_j : 計画期間後の j 年齢級の面積 M_j : i 分期における最大年齢級
 $C_{i,j}$: i 分期 j 年齢級の面積 ($C_{1,j}$ = 初期の年齢配置)
 $X_{i,j}$: i 分期 j 年齢級の主伐面積 $Y_{i,j}$: i 分期 j 年齢級の間伐面積
 $V_{i,j}$: i 分期 j 年齢級のhaあたり材積 $T_{i,j}$: i 分期 j 年齢級のhaあたり間伐材積

図-4. 目的関数・制約条件

を用いて最適化を行った。GLPK に関しては以下のHPに詳しい。
http://mukun_mmg.at.infoseek.co.jp/mmg/glpk/

III. 結果

まず、各パターンに対する年齢配置の変化について述べる。図-5~図-8において格子状の線で示しているものは目標年齢配置である。また濃く表示している棒グラフは初期から存在している面積、薄いものは計画期間内に更新された面積である。図-5は初期の年齢配置、図-6は計画期間が6分期の場合 (以下、P6)、図-7は計画期間が10分期の場合 (以下、P10)、図-8は計画期間が14分期の場合 (以下、P14) の計画期間後の年齢配置である。図-6~図-8より、第1~5分期ではほとんどの場合、目標年齢配置に達する伐採 (=更新) 面積は確保できていないことがわかるが、これにはこれらの分期において主伐可能な面積が限られていることが影響していると考えられる。また初期には5~7年齢級を中心に面積が大きい、これらの年齢級はP6では主伐不可能であり、P10でもかなりの面積が主伐されずに残されているのに対し、P14ではかなり目標年齢配置に近い年齢配置に転換されていることがわかる。それぞれの目的関数の値はP6では717ha, P10では638ha, P14では213haであった。このことから図-5のような年齢配置を今回設定したような目標年齢配置に転換するには長期間を要することがわかる。図-6~図-8を九州林産によるシミュレーション結果 (図-2) と比較するとP10とP14のはほぼ中間の形状をしていると判断でき、類似性が伺える。

次に各パターンに対する年間主伐面積を図-9に示す。図-9からも第1~5分期ではほとんどの場合で目標年齢配置と同等の主伐面積は確保できておらず、第6分期以降は一定の面積を伐採・更新するという傾向がある。九州林産によるシミュレーショ

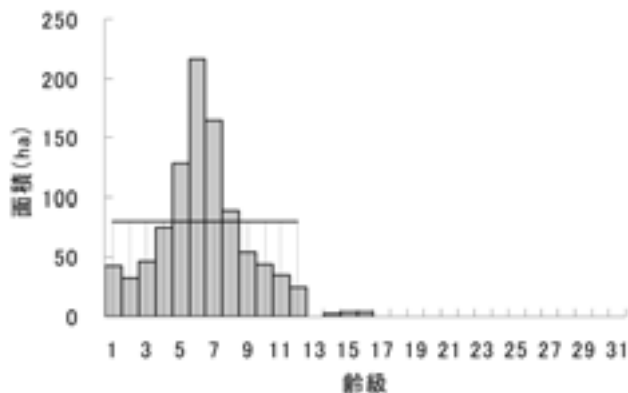


図-5. 初期齢級配置

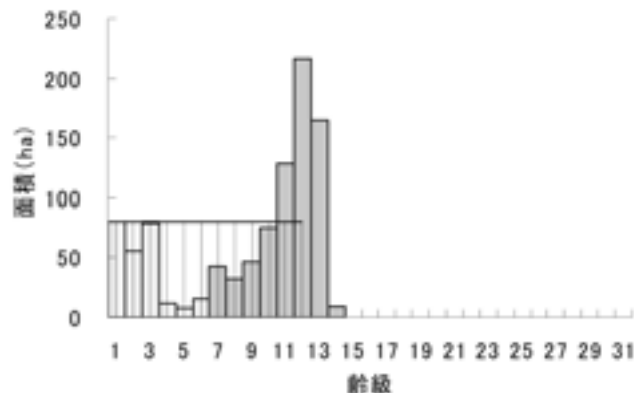


図-6. 計画期間後の齢級配置 (計画期間6分期)

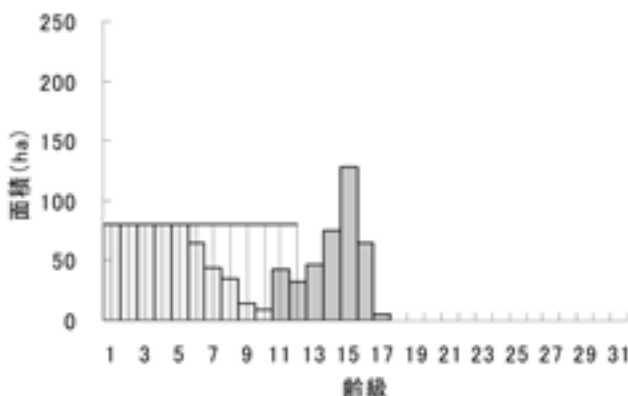


図-7. 計画期間後の齢級配置 (計画期間10分期)

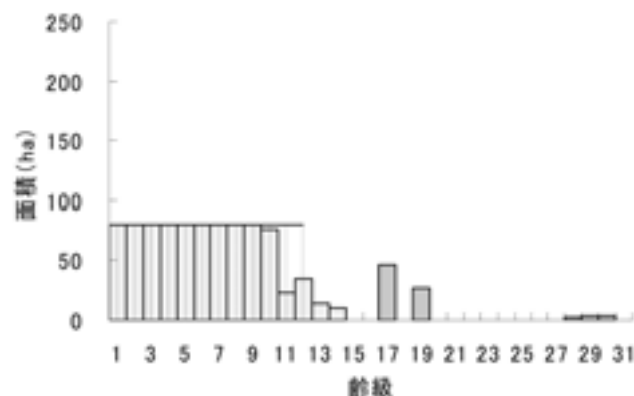


図-8. 計画期間後の齢級配置 (計画期間14分期)

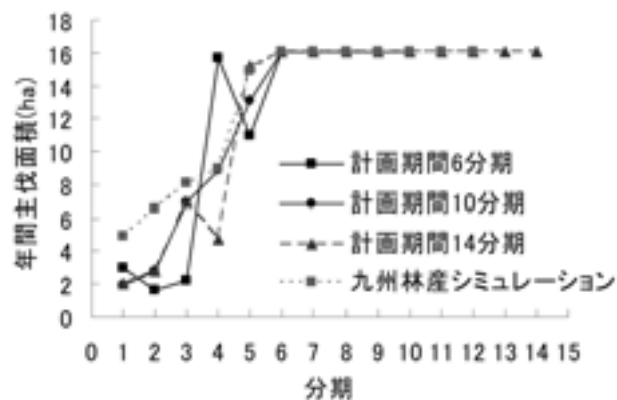


図-9. 各パターンに対する年間主伐面積

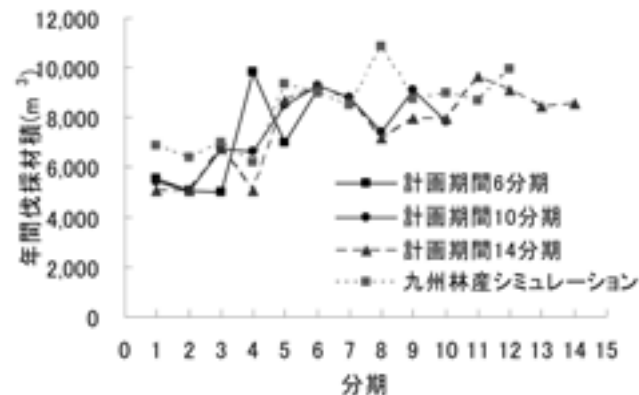


図-10. 各パターンに対する年間伐採材積

ンとLPの結果を比較すると、第6分期まではLPの結果は九州林産によるシミュレーションの結果を下回るが、全体としては変動の激しいものがあるものの類似性が伺える。

続いて各パターンに対する年間伐採材積を図-10に示す。LPの結果では第1分期から第4分期において伐採量の下限とした5,000m³になったものが多く存在したが、これは主伐可能な面積が少ないこと、及び最適化に対して制限要素として働いていることを示していると考えられる。それに対して第5分期以降では変動はあるが、ある程度の伐採材積は確保できていると判断できる。また、全体としてLPの結果と九州林産によるシミュレーションの結果には類似性が伺える。

IV. 考察

齢級配置に関してLP及び九州林産によるシミュレーションの結果を比較したところ、両者には類似性が認められた。また、年間主伐面積及び伐採材積を見ても両者に大きな差があるとは見受けられず、施業量の差に関して深刻な問題は無いと考えられる。以上から、LPによる計画案は必ずしも非現実的ではないと判断され、現場への適用の可能性が示唆されたといえる。今回は伐期延長を事例に取り上げたが、目標齢級をさらに大きくすることで、長伐期施業を意識した齢級配置に転換する森林計画が検討できると考えられる。

しかし、現場への適用ということに関しては更に検討されるべ

き事項がある。

まず一つ目は、本研究では基礎データとして各齢級の ha あたり材積 ($V_{i,j}$)、間伐材積 ($T_{i,j}$) といった林分収穫表に準ずる情報が必要であったが、高齢林についての情報が不足し、推定に依ったということがある。また間伐計画も単一のものに固定されていた。これに関しては、システム収穫表等を利用することにより問題を克服し、多様な条件下で収穫計画を立案することが出来るのではないかと考えられる。

二つ目は、目標齢級を何齢級に設定するのが最適かということである。これに対しては、林分レベルで育林計画を最適化する研究を進めることにより、最適な間伐計画や主伐年を決定することが出来るのではないかと考えられる。

三つ目は、目標齢級配置について今回は法正齢級配置としたが、南雲 (3) によると現実の齢級配置が法正齢級配置に正確に一致しない場合であっても、もし対応する数値 (各分期の蓄積、主伐面積、収穫量等) の間に大きな差が存在しない場合にはこれを法正状態と認めて差し支えない。よって、この観点から目標齢級配置をより現実的に設定することができると考えられる。

四つ目は、今回作成した計画案では林分の空間的な配置を考慮していないことである。もし同齢級の森林が隣接している場合には、小面積であれば集約的に施業ができるためコスト削減になる

が、大面積の場合には環境的に問題があると考えられるため、伐採時期をずらすといった配慮が必要になる。GIS 等の情報を利用し、必要があればこのような問題を回避する制約条件をつけるなどして対応する必要がある。

謝 辞

九州林産 (株) 林業課各位には各種データのご提供、質問に対するご回答、並びにご意見を頂いた。ここに記し厚く御礼申し上げます。

引用文献

- (1) 河原輝彦 (2001) 長伐期林施業. (森林・林業百科事典. 日本林業技術協会編, 1236pp. 丸善, 東京). 689pp.
- (2) 南雲秀次郎・古池 篤 (1981) 日林誌 63 : 79-89.
- (3) 南雲秀次郎 (1982) 日林誌 64 : 346-351.
- (4) 田中和博 (1996) 森林計画学入門, 85-89, 森林計画学会出版局, 東京.
- (5) 山津理香・石橋整司 (2000) 森林環境資源科学 38 : 145-156.

表-1. 各分期・齢級に対する ha あたり材積 ($V_{i,j}$)

齢級	第1分期	第2分期	第3分期	第4分期	第5分期	第6分期	第7分期	第8分期	第9分期~
3	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
4	7.3	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
5	4.9	6.9	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
6	6.4	5.6	7.9	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
7	4.0	4.9	4.3	6.0	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
8	3.9	4.3	5.3	4.7	6.6	4.5	4.5	4.5	4.5
9	2.6	2.9	3.2	4.0	3.5	4.9	3.4	3.4	3.4
10	2.6	2.2	2.5	2.7	3.4	3.0	4.2	2.8	2.8
11	1.9	2.1	1.7	1.9	2.2	2.7	2.4	2.2	2.2

(単位: m³/ha)

表-2. 各分期・齢級に対する ha あたり間伐材積 ($T_{i,j}$)

齢級	第1分期	第2分期	第3分期	第4分期	第5分期	第6分期	第7分期	第8分期	第9分期	第10分期	第11分期	第12分期	第13分期	第14分期
12	419													
13	391	391	432	384	386	440	444	358	396	403	327	327	327	327
14	560	560	560	465	399	400	453	456	367	406	413	338	338	338
15	612	612	612	612	499	412	411	462	464	372	413	420	347	347
16	725	725	725	725	725	532	423	420	469	470	375	416	424	354
17	744	744	744	744	744	744	565	432	427	473	472	374	417	425
18		762	762	762	762	762	762	598	441	433	476	475	374	418
19			780	780	780	780	780	780	632	450	440	480	477	374
20				799	799	799	799	799	799	665	459	447	484	480
21					817	817	817	817	817	817	698	468	453	488
22						835	835	835	835	835	835	731	477	460
23							854	854	854	854	854	854	765	486
24								872	872	872	872	872	872	798
25									890	890	890	890	890	890
26										909	909	909	909	909
27											927	927	927	927
28												945	945	945
29													964	964
30														982

(単位: m³/ha)

(2006年11月17日受付; 2007年1月9日受理)