

# 数理計画法を用いた伐採計画の評価\*<sup>1</sup>

## —九州電力（株）社有林の伐採計画との比較—

高比良聡\*<sup>2</sup> ・ 村上拓彦\*<sup>3</sup> ・ 溝上展也\*<sup>3</sup> ・ 吉田茂二郎\*<sup>3</sup> ・ 加賀英昭\*<sup>4</sup>

高比良聡・村上拓彦・溝上展也・吉田茂二郎・加賀英昭：数理計画法による伐採計画の評価—九州電力（株）社有林の伐採計画との比較—九州森林研究 59：154—157，2006 数理計画法は森林計画を支援する技術として研究されてきたが，森林経営の実務では未だにその実用性が十分に評価されておらず，経験的に計画案が決定される場合が少ない。本研究では九州電力（株）社有林のスギ・ヒノキ林を例に，数理計画法による伐採計画を現行の計画と比較し，その評価を試みた。数理計画法としては動的計画法を選択し，MSPATH アルゴリズムを用いて最適林分伐採計画を導出した。その結果，スギの場合は，若齢で多量に間伐され，相対的に森林経営に不向きな林小班では長伐期化し，また間伐回数が増加し，現行と比較して収量比数が低い等の特徴があった。ヒノキの場合は40年生程度まで無間伐で，素材単価が特異的に高い径級でより多く収穫される傾向があり，現行よりも収量比数が高い等の特徴があった。両者とも SEV 基準で収益はほぼ現行よりも増加したが，実務に用いるには仮定条件の改善及び，計画の現実性の検討が必要である。

キーワード：林分伐採計画比較，動的計画法，MSPATH アルゴリズム

### I. はじめに

現在、我が国では木材価格の急激な下落により森林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。また従来，森林計画学分野では森林計画のための技術として数理計画の手法が研究されているが（例えば，Arimizu,1958a,1958b; Johnson and Sheurman, 1977），我が国では数理計画法は森林経営の実務には十分に活用されていない状況にある。そこで本研究では，数理計画法を実務で有効に用いるための足がかりとして，数理計画法による伐採計画（時期・本数）とその収益性を林業事業者の現行の伐採計画と比較することにより評価した。森林経営の持続性を考慮するならば，伐採のみならず，植栽・保育等の更新に関わる要素も考慮すべきであるが，本研究では伐採計画のみに着目した。

日本の多くの森林所有者が小規模林家であり，林分の時間的なダイナミクスを考慮すると動的計画法（Dynamic Programming, 以下，DP とする）の適用が効率的かつ妥当であると考えられる（吉本，2003）ため，本研究では数理計画法として DP を選択し，MSPATH（Multi-Stage Projection Alternative Technique）アルゴリズム（Yoshimoto et al. 1988）を用いて最適林分伐採計画を導出した。

### II. 対象地及び方法

#### 1. 比較対象地

対象は九州電力（株）社有林（以下，社有林とする）である。社有林は主に大分県の九重・山下池地方に分布し，全体の約65%をスギ・ヒノキの人工林が占める。管理は九州林産（株）（以下，九州林産とする）が行っているため，比較する計画は九州林産の作成したものである。比較対象林分は最近主伐年が既知となったスギ5林分，ヒノキ4林分とした（表-1）。

表-1. 比較対象林小班

スギ			ヒノキ		
山林	林小班	主伐年	山林	林小班	主伐年
平家山	17の	61	平家山	17の	61
平家山	17お	62	五馬	22に1	68
五馬	18よ	51	五馬	22に2	65
野稲岳	23ら	51	飯田（大）	46二	78
野稲岳	23な	51			

#### 2. 比較方法

MSPATH アルゴリズムを用いた DP（以下 MS DP とする）により最適林分伐採計画（以下，MS DP による伐採計画とする）を導出し，九州林産による計画と比較した。伐採計画に伴う収益の比較には，伐期齢が異なる場合にも同列で比較可能とするため，土地期望値（Soil Expectation Value, 以下 SEV とする）を用い

\*<sup>1</sup> Takahira, S., Murakami, T., Mizoue, N., Yoshida, S. and Kaga, H.: Evaluation of yield regulation with Mathematical Programming - Comparison with the management by KYUSHU ELECTRIC POWER CO., INC.-

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

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

\*<sup>4</sup> 九州林産株式会社 KYUSHU FORESTRY CO., LTD.

た。SEV は以下の式により求められる。

$$SEV = PNV_{total} \frac{(1+r)^T}{(1+r)^T - 1}$$

$$PNV_{total} = \Sigma (\text{間伐の } PNV) + \text{主伐の } PNV$$

$$PNV = \frac{\text{収益} - \text{コスト}}{(1+r)^t}$$

ここで、

PNV<sub>total</sub>: 間伐および主伐の PNV の合計

PNV: 現在価値, r: 割引率, T: 伐期齡, t: 林齡

### 3. 入力情報・仮定条件

まず、MSDP による伐採計画への入力情報を示す。間伐間隔、期間隔はそれぞれ 5 本、5 年とした。これは、MSDP による伐採計画で考慮する間伐本数は 5 本単位であり、伐採可能な林齡は 5 の倍数年であるということである。計画期間は 90 年としたが、これは 90 年以内で最適な伐採計画を探索していくということである。成長モデルには九州地域密度管理図を用いた。これにより、上層樹高と立木本数を与えることにより、自然枯死を考慮した将来的な林分の成長を予測し、また各時期の平均単木材積・ha 当り材積・平均胸高直径・末口直径・年割引率・自然枯死本数・伐採コスト・収益の算出方法に関しては全て MSDP の場合と同一とした。

各林小班で異なる情報は傾斜・上層樹高・地位・素材市場までの素材運搬費用である（表— 2、ただし上層樹高は推定値の最大値）。本研究では、上層樹高の予測モデルとして Mitscherlich 型の樹高成長曲線式を導入した。地位はその樹高曲線式のパラメータの推定に用いた地位判定樹高表の地位である。植栽本数は 3086 本、丸太歩留率は間伐ではスギ・ヒノキとも 0.55、主伐ではスギ 0.70・ヒノキ 0.75 である。素材材積は、立木材積にこの歩留率を乗じて算出する。収益は 4 m 材末口直径階別単価（図— 1）に

表— 2. 比較対象林小班別、傾斜 (%)・上層樹高 (m)・地位・素材運搬費用 (¥/m<sup>3</sup>)

スギ				
林小班	傾斜 (%)	推定上層樹高最大値 (m)	地位	素材運搬コスト (¥/m <sup>3</sup> )
17の	9	33.9	1	1400
17お	45	32.4	1	1400
18よ	47	30.3	2	1500
23ら	18	31.0	2	1500
23な	18	29.4	2	1500
ヒノキ				
林小班	傾斜 (%)	推定上層樹高最大値 (m)	地位	素材運搬コスト (¥/m <sup>3</sup> )
17の	9	25.7	1	2200
22に1	22	24.5	2	2000
22に2	22	26.1	1	2000
46ニ	36	24.3	2	2400

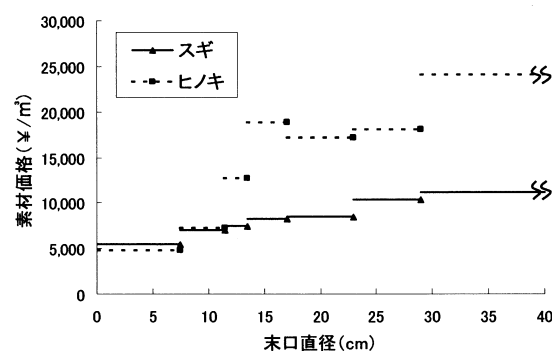
表— 3. 九州林産 (株) による間伐計画

林齡	間伐率 (%)
16	25
24	20
32	30
40	25

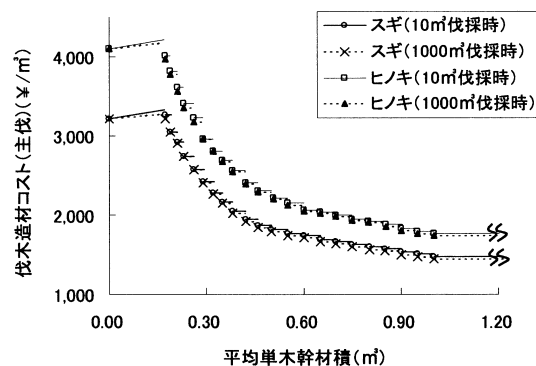
素材材積を乗じたものである。ここで末口直径は胸高直径から 4 cm を差し引いた値である。伐採コストは、伐木造材コスト（図— 2、図— 3）に立木材積を乗じたものに集材コスト（図— 4）と素材運搬コスト（表— 2）にそれぞれ素材材積を乗じたものの合計である。ここで、図— 2、図— 3 には、伐採量の極端に多い、または少ない場合しか示されていないが、これは伐採量の多寡に拘らず、伐木造材コストはほぼ変化しないためである。以上は、九州林産のデータ、コストの見積り方法を基にして設定した。

間伐に関しては、不自然な結果となるのを避けるため、間伐可能林齡を 10 年とし、また収量比数 (Ry) が 0.6 以上に保たれ、かつ一度の間伐に対する Ry の変化量を 0.15 以下とすることを制約条件とした。

九州林産の伐採計画による収益・コストは実績値ではなく、以下の仮定によって算出したものを比較に用いた。間伐は、九州林産により示された表— 3 に示す林齡、間伐率で実施され、主伐本数はその結果残った本数であるとした。上層樹高・平均単木材積・ha 当り材積・平均胸高直径・末口直径・年割引率・自然枯死本数・伐採コスト・収益の算出方法に関しては全て MSDP の場合と同一とした。



図— 1. 4m 材末口直径階別単価 (※平成 17 年 3 月～ 8 月の大分県木市況表より設定)



図— 2. 伐木造材費用 (主伐)

### Ⅲ. 結果及び考察

MSDP 及び九州林産による伐採計画を九州地域密度管理図上にプロットした。地位が良く傾斜が緩い小班として、スギ・ヒノキとも 17 の小班を、地位が悪く傾斜が急な小班として、スギは 18

よ小班, ヒノキは46ニ小班をそれぞれ図-5~図-8に示す。また, SEVの算出結果, 及び九州林産による伐採計画と比較した場合のSEV増加率を表-4に示す。

スギ人工林に関しては, MSDPによる伐採計画では全体的に, 若齢時に大量に間伐される傾向があり(15年目で約1,000本/ha以上), 現行の植栽本数では過密な可能性があると考えられた。またそれに連動して, 九州林産の計画と比較すると全ての林小班で主伐本数は少なく, Ryはほぼ常に低いため, 立木密度を現行よりも疎に推移させる方が有利であると考察された。さらに, ほとんどの林分で長伐期化したが(数年~30余年), 特に相対的に地位が悪く傾斜が急な林小班でその傾向は強く, 小規模な間伐を多く実施する結果になった(図-5, 図-6)。図に示していない林小班に関しては図に示した立地環境の両極端な林小班の結果のほぼ中庸な結果であった。このことから, 全ての林小班に同一の間伐方針を適用するのではなく, 相対的に森林経営に不向きな林分では, 伐期を長くすることや, 間伐の回数・強度を再考する必要があると考察される。また, SEVの増加率を見ると九州林産における計画と比較して減収になる場合があるが, 全体としてはそのリスクよりもSEVを増加させる期待度の方が大きいといえる。

ヒノキ人工林に関しては, 40~45年生で初めて間伐され(約400本/ha), その後20~25年間に数回間伐され(累計約1,500本/ha), 最後の間伐から5年後に主伐に至る場合が多かった。図-

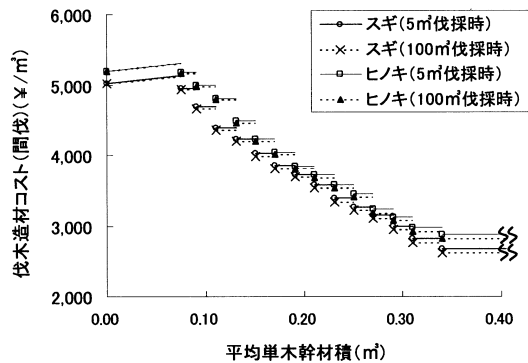


図-3. 伐木造材費用(間伐)

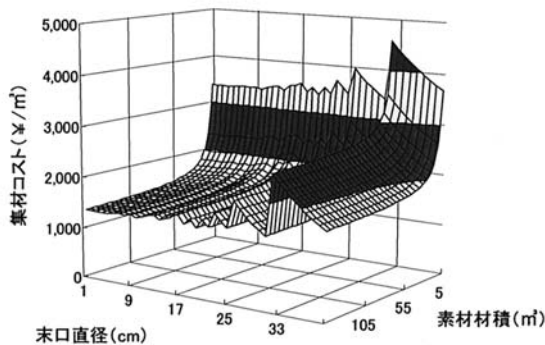


図-4. 集材費用例(間伐, 傾斜15%未満の場合)  
 ※1) 間伐時には立木保護費が加算される  
 ※2) 傾斜が急である程, コストは高くなる

7, 図-8に示した立地環境の両極端な場合を見てもその結果に大差は無いといえる。しかし伐採時の末口直径をみると, 素材単価が特異的に高い径級に対応している場合が多く(図-1参照。径級13.5~17.0cm, 及び29.0cm以上), 22に1林小班では無間伐のまま, 末口直径が14.1cmとなる45年生で主伐されるという結果になった。そのため, 計画が素材価格に大きく影響される(価格が特異的に高くなる時に, より多く収穫できるように計画されている)ため, それに対しては比較的不安定であると考察される。九州林産による計画と比較して, Ryはほぼ常に高く, 主伐本数は少なくなるが, これも素材価格が大きく影響していると考えられる。今回の結果からは, 立木密度は九州林産の現況よりも密に推移させる方が有利であるといえるが, 素材価格が変化した場合にも一概にそうであるとは言い切れないと考える。SEVに関しては全ての林小班で増加し, スギと比べると全体的に安定した増加率を示しているといえる。

以上から, 伐採計画にMSDPを用いることで, 収益を増加させ得る可能性が示唆された。しかし, 設定する仮定には不確定要素が多く(林分動態, 貨幣価値, 素材価格, 伐採コスト, 災害...), それらが安定して信用できるものでなければ, 出力される結果も必然的に信用できないものになり得る。例えば, 上記のヒノキの結果から, もし素材価格の変動が激しければその都度, MSDPによる伐採計画は大幅に変更されることが予想されるからである。さらに, MSDPによる伐採計画が現実的に実行可能であるかということも懸念される。よって, 実務で役立つには仮定条件の改善とともに, 実務者との対話による現実性の向上が必要である。また, 九州電力(株)社有林のように広域な森林全体を対象にする場合には, 森林レベルで計画を立てることが必要になる。さらに, 森林経営状況の改善のために, 木材の流通過程の集約化や, 木材の高度利用法等の諸事項を個別に, また総合的に評価できるシステムの構築を今後の課題とする。

表-4. SEV算出結果, 増加率

スギ			
林小班	計画基準	SEV(×10³)	SEV増加率(%)
17の	社有林	3412	7.6
	MSDP	3673	
17お	社有林	1100	6.9
	MSDP	1176	
18よ	社有林	760	9.3
	MSDP	830	
23ら	社有林	764	122.7
	MSDP	1702	
23な	社有林	2132	-2.7
	MSDP	2075	
ヒノキ			
林小班	計画基準	SEV(×10³)	SEV増加率(%)
17の	社有林	6174	29.4
	MSDP	7991	
22に1	社有林	6048	39.9
	MSDP	8462	
22に2	社有林	5113	35.6
	MSDP	6934	
46ニ	社有林	3292	64.8
	MSDP	5424	

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、東北大学大学院環境科学研究科環境科学専攻の吉本敦博士には、MSPATH アルゴリズムを用いた動的計画法による最適林分伐採計画の導出に関して多大なご指導を頂いた。また、九州林産(株)林業課各位には各種データを提供して頂いた。ここに記し、厚く御礼申し上げる。

## 参考文献

- Arimizu,T(1958a) J.of Jpn. For.Soc. 40: 185-190  
 Arimizu,T(1958b) J.Oper.Res.Soc.Jpn. 1: 175-182  
 Johnson,K.N.and Scheurman,H.L.(1977)  
 For.Sci.Mono. 18  
 Yoshimoto,A.,Paredes V.,G.L. and Brodie,J.D.(1988) USDA  
 For.Serv.Gen.Tech.Rep. RM-161: 154-162  
 吉本 敦 (2003) 統計数理 51 (1) : 73-94  
 (2005年11月14日 受付 : 2005年12月20日 受理)

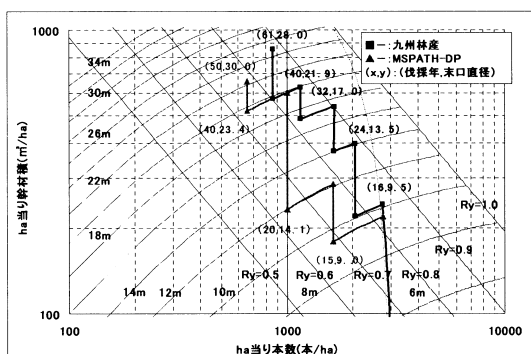


図-5. 伐採計画 (スギ17の)

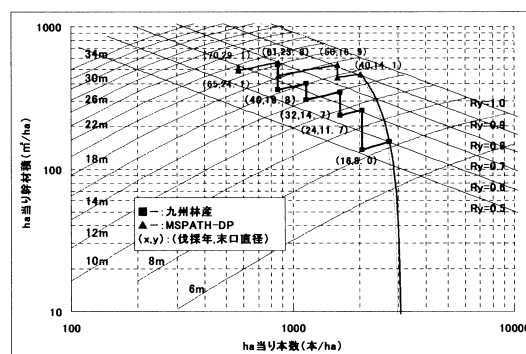


図-7. 伐採計画 (ヒノキ17の)

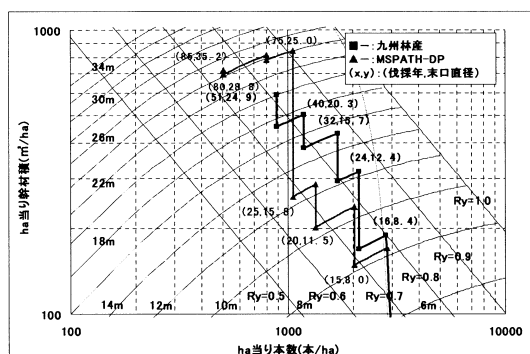


図-6. 伐採計画 (スギ18の)

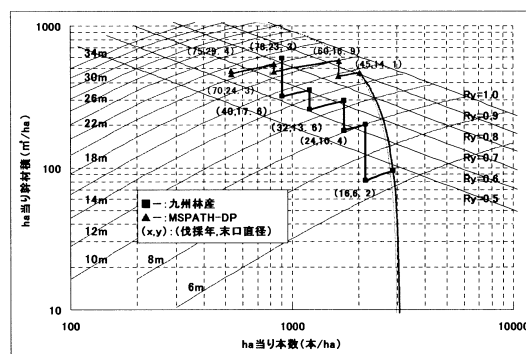


図-8. 伐採計画 (ヒノキ46の)