

## 森林管理における林分保有期間の最適決定 に関するシステム論的考察

黒川 泰亨

平成15年7月1日受付

鳥取大学農学部森林科学講座

## System-logical Considerations on the Optimum Retention Period of Stands in the Forest Management

Yasuaki Kurokawa

*Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Tottori University, Tottori 680-8553, Japan*

The key task for forest planner is to describe the expected production potentials of forest, and to allocate the forest area to produce the timbers and services that are wanted. One of the most important decisions that a forest owner must make is to determine whether a forest stand should be cut or reserved or when it should be cut in accordance with the estimation of its financial maturity period with the maximization of the total net present value of the whole forestry stand. This paper aims to describe an approach for timber harvest scheduling and optimization of forest stands retention period. The method is based on the combined use of a network planning system and a linear programming that generates treatment schedules for forest stands and selects optimal schedule combination. The forest planning system consists of two principal parts: optimization and simulation. In the simulation the future development of stands is predicted and a large number of possible treatment schedules are generated for each stand. The simulation also produces information on the results attained if the treatment schedule is applied. Optimization method is used to select one treatment for stands from the simulated schedule. This model can therefore furnish more effective information on the long term forest management decision making of forest owners.

(Received 1 July 2003)

*Key words: harvest scheduling, network planning, linear programming, financial maturity*

### 結 言

システムとは相互に関係を持つ構成要素から成り立つ全体のことである、というのが一般的な定義である。システム化とは、この複雑な相互関係を持つ諸構成要素から成り立つ全体が組織管理の決められた目標に向かって効率よく円滑に運営される仕組みを確立することであるといえる[8]。

森林は再生可能資源であり有効利用すれば化石燃料のように枯渇することなく永久に利用できる。森林はそれ

を構成する個別林分の保有期間つまり伐期の変動に伴って森林管理に所要する費用が変動する。同時に森林から稼働できる収益も変動する。そのため森林は林分保有期間の変動によって異なる純収益を生み出す資産となる。本稿で検討する林分保有期間の最適決定システムとは、林分保有に関する時間配分についての決定問題をシステム化すること、つまり林齢の異なる多数の林分をどの様に組み合わせて保有するのが森林経営の実行において最適であるかに関する決定を計画論の立場からシステム化することであると考えられる。

森林経営の指導原則

森林経営においては、植栽から伐採まで数十年を要し、生産活動が超長期に及ぶため生産に対する自然力の支配が他の生産活動と比較して大きく、経営自体がきわめて不確実性の大きい環境下に置かれている。よって森林経営においては指導原則として従来から収益性原則と保続原則がとくに重視されてきた。収益性原則はあらゆる経営に共通する原則でもあるが、最大の純収益を獲得するよう森林経営を行うことを要請する。一方、保続原則は森林から得られる便益を連年均等的かつ永久に保持するよう森林経営を行うことを要請するものである。よって以上2つの指導原則に依拠すれば、森林経営は森林のもたらす多様な便益を可能な限り大きくし、かつ森林資源を永久に健全に保持するよう森林をコントロールする行為であると理解できる。

各種の森林施業は森林を人為的にコントロールする手段であるが、植栽は育林投資の開始行為として、伐採は育林投資の回収行為としてとくに重要な意義を持つ。森林経営は林地に対する林木の植栽で開始され、伐採・收穫をもって1サイクルが完了するが、森林管理上の最も重要な意思決定は、どの林分をいつ伐採し、どの林分を次期に残すかを明確にし各林分の最適な保有期間を決定することであるといえる[4]。

林分の最適保有期間の決定に関しては伝統的には森林較利学の中で取り扱われてきた。森林較利学における理論は計算の厳密さの点では優れたものであるが、森林較利学は与件の動的変化を無視した静態経済を前提としたものであること、経営実行上の諸々の制約を無視した抽象次元の計算であり経営モデルが欠如していること、単一投資を対象としていて多数の投資対象が重畳した状態の取り扱いが困難であること等の点で実践力が乏しい。

森林に関する状態変数

保続原則を重視する森林管理では林分の伐採や植栽に関する決定は系列的多段決定過程と考えられる。森林経営における各種の意思決定はつねに長期にわたる林分全体への影響を十分考慮して行う必要がある。この多段決定過程を構成する各段階は、1)入力状態ベクトル、2)出力状態ベクトル、3)決定ベクトル、4)状態変換、5)段階利得の5つの要素によって規定される。森林管理に関する多段決定過程では前段階の出力状態ベクトルがそのまま次段階の入力状態ベクトルを形成するから、いわゆる系列的である。この系列的多段決定過程は以下のように考えることができる[7]。

任意の時期  $t$  における森林の状態は、状態変数ベクトル  $S_t$  として次のように表現できる。

$$S_t = \begin{pmatrix} D_{1t} \\ D_{2t} \\ D_{3t} \\ \dots \\ D_{nt} \end{pmatrix}$$

ここで、ベクトル成分  $D_{1t}, D_{2t}, \dots, D_{nt}$  は、林齢、面積、本数、樹高、材積などを意味し森林の状態を具体的に表わすものである。

森林の状態に関するベクトル成分は、森林に対して全く人為的コントロールが加わらない自然放置の場合でも時間の経過に伴って変化していく。森林は  $t$  期から  $t+1$  期にかけて林齢が1期分進み、それに伴って樹高や材積も成長する。通常は  $t$  期から  $t+1$  期へ森林が推移する過程に森林に対して何んらかの人為的コントロールが加わる。これが森林施業と呼ばれるものである。

森林施業と系列的多段決定

森林に対する  $t$  期の森林施業を  $M_t$  として次のように表現できる。

$$M_t = \begin{pmatrix} Q_{1t} & \dots & \dots & \dots \\ : & Q_{2t} & \dots & : \\ : & \dots & Q_{3t} & \dots \\ : & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & Q_{nt} \end{pmatrix}$$

行列成分  $Q_{1t}, Q_{2t}, \dots, Q_{nt}$  は、植栽、下刈、枝打、除間伐、主伐などを表わし森林施業の内容を具体的に示すものである。 $t$  期から  $t+1$  期への森林の推移は、 $M_t$  を用いて(1)式のように記述できる。ここで、 $S_t$  が入力状態ベクトル、 $S_{t+1}$  が出力状態ベクトルに相当する。

$$\begin{pmatrix} D_{1,t+1} \\ D_{2,t+1} \\ D_{3,t+1} \\ \dots \\ D_{n,t+1} \end{pmatrix} = M_t * \begin{pmatrix} D_{1t} \\ D_{2t} \\ D_{3t} \\ \dots \\ D_{nt} \end{pmatrix} \dots \dots \dots (1)$$

(1)式から明らかなどおり、次期の森林状態は今期の森林状態と今期の森林施業に依存して決定されることになる。初期状態として  $S_0$  の状態であった森林は、計画期間 ( $m$  分期) の間に、

$$\begin{aligned} S_1 &= M_0 * S_0 \\ S_2 &= M_1 * S_1 \dots \dots \dots (2) \\ &\dots \\ S_m &= M_{m-1} * S_{m-1} \end{aligned}$$

と推移して終端状態としての  $S_m$  へ逐次変換されていく。

(2)式に示す森林の変換過程における森林施業に伴って費用と収益が発生する。森林施業 $M_i$ に伴って発生する段階費用を(3)式、間伐や主伐による段階収益を(4)式のように考えると、

$$C_i = c_i(M_i) \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$R_i = r_i(M_i) \quad \dots\dots\dots(4)$$

初期状態から終端状態への森林の変換過程で段階利得として(5)式および(6)式に示す費用系列および収益系列が得られ、これが利得系列となる。

$$C_1, C_2, \dots, C_m \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$R_1, R_2, \dots, R_m \quad \dots\dots\dots(6)$$

以上のように構成される系列的多段決定過程において、(5)式および(6)式の対応から計画期間(m分期)において最大純利得が獲得できるような $M^*$ を求めたとき、森林経営に関する最適計画が策定されたことになる。

$$M^* = (M_1, M_2, M_3, \dots, M_m) \quad \dots\dots\dots(7)$$

任意の森林の状態を現実に即してより具体的に表現するには状態変数ベクトルや森林施業ベクトルの成分を多くする必要があるが、成分を多くすれば森林施業と森林状態の関連付けが複雑になる。そこで第1次接近として、樹種を特定した一斉人工林の場合を対象にし、林分ごとの地位や施業法等が同じものであるとすると、森林状態は林齢別面積で表現でき、その他の森林状態に関する成分は従属的に決定されるとしても差し支えない。

ここで、状態変数ベクトルを、

$$S_t = \begin{pmatrix} A_{1t} \\ A_{2t} \\ A_{3t} \\ \dots \\ A_{nt} \end{pmatrix}$$

とし、ベクトル成分 $A_{nt}$ を $t$ 期における林齢 $n$ 年の林分面積と考えると、上記モデルはきわめて単純化され最終的には個別林分の各計画分期における林齢別の伐採面積を求める問題に帰着できる。伐採跡地の植栽を伐採直後に実行するものとする、求めるべき最適決定ベクトル列 $M^*$ は個別林分の各計画分期における伐期と面積を示すことになる。このように単純化した系列的多段決定過程をネットワーク計画問題として展開すれば線形計画法による最適化問題に帰着できる[6]。

### 森林経営における費用収益系列の特徴

森林経営における林分保有期間の最適決定を考える場合、系列的多段決定過程における費用と収益の時間的な対応関係は両者に係わる価格条件が不変であるとする、(3)式に示す森林施業に要する費用の時間的分布として

の費用系列ならびに(4)式に示す森林の主間伐によって実現される収益に関する時間的分布としての収益系列によって提示されることになる。

森林経営における1つの林分の造成から伐採に至る間の一般的な費用系列は次のようになる。森林造成の初期段階での費用が極端に大きく、その後時間の経過とともに徐々に減少してゆき、下刈過程を終了した段階以降の費用は数回の除間伐費用とごく少額の管理費用が年々必要となるのみである。一方、収益系列は次のようになる。植栽後20~30年の間に1,2回の間伐収入があり、伐期に達した段階で1回限りの主伐収入が発生する。多くの場合、森林経営は多点投入1点産出の形態をとることが多い。このような特徴を備えた森林経営のキャッシュフローは、費用系列が収益系列より大きく先行し両者の差である純収益系列は植栽から20年間ほどは負値となり、その後徐々に正値に転じる形になる。

### 最適林分保有期間と伐期決定基準

前節のような特徴を持つ費用系列および収益系列をもとにして林分の伐期決定の基準を検討する。 $C_j$ を植栽後 $j$ 年目に発生する育林費用とし、同様に $R_j$ を植栽後 $j$ 年目に実現する伐採収益を表すものとし、計算利率 $p$ が与えられると費用系列および収益系列の現価和(割引現在価値合計額: Net Present Value)は、(8)式および(9)式で示されることになる。これらの式は何れも林分保有期間 $t$ の関数となる。

$$\text{費用現価和} \quad \kappa(t) = \sum [C_j / (1+p)^j] \quad \dots\dots(8)$$

$$\text{収益現価和} \quad \lambda(t) = \sum [R_j / (1+p)^j] \quad \dots\dots(9)$$

$$\text{純収益現価和} \quad \mu(t) = \kappa(t) - \lambda(t) \quad \dots\dots(10)$$

林分保有期間の最適決定を考える場合は森林経営を投資の1形態として捉える必要があるが、投資決定基準として利益率法と現在価値法の2つの大きい立場がある。第1の利益率法は、資本の内部効率、資本の限界効率あるいは資本の内部収益率と同じ概念である。要するに、

$$\mu(t) = 0 \quad \dots\dots\dots(11)$$

となる計算利率をもって資本の内部効率とし、この計算利率の最大化を投資基準とするものである。

第2の現在価値法の考え方は、所与の計算利率において(10)式の最大化を投資基準とするものである[5]。

利益率法と現在価値法の2つの考え方に関する優劣論争は古いが、未だ結論を得ていないといえよう。大勢としては現価法を支持する学者も多く、現価法が優位であると見られている。現在価値法は現在価値に割引く利率決定のための合理的基準が明確でないこと、遠い将来に関する予測に危険や不確実性が伴うこと等の問題点が

指摘されているが[3]、本稿では比較的難点が少ないとされる現在価値法の立場をとって以下の議論を進めることにした。

以上のように考えた場合、最適な林分保有期間は(10)式に示す $\mu(t)$ を最大化する期間 $t$ に一致することになる。森林経営のように超長期に及ぶ場合は、ゴーイング・コンサーンとしての経営の1断面から出発し将来の1断面を結んだ過程において最適化を考慮するため、樹種、林齢、地位条件などが異なる多数の林分が計画対象に入ってくることになる。この場合には、結局、数理計画手法に頼らざるを得なくなる。次節でその数理計画手法について検討する。

多段決定とネットワーク構造

先に述べたように、森林に関する状態変数ベクトル

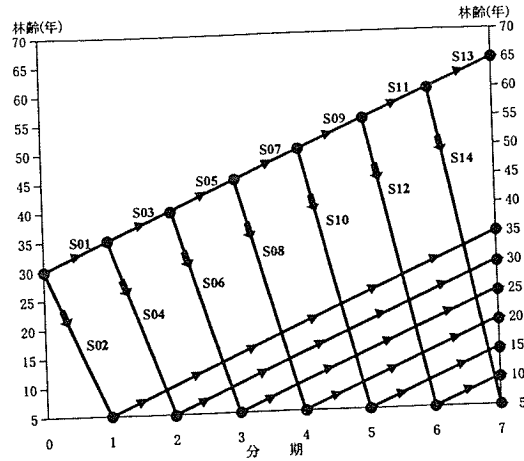
$$S_t = \begin{pmatrix} A_{1,t} \\ A_{2,t} \\ A_{3,t} \\ \dots \\ A_{n,t} \end{pmatrix}$$

におけるベクトル成分 $A_{n,t}$ を $t$ 期における林齢 $n$ 年の林分面積に限定すると、森林経営に関する系列的多段決定過程のモデルは、第1図のようなノードとアークを持つネットワーク図で表現できる。

第1図は、計画当初30年生の林分に関して計画期間7分期(1分期=5年、計35年間)における林分の動きを示したものである。計画当初における30年生の伐採可能林齢に達した林分は、計画分期1へ進む際には、伐採されず5年間成長してS01のアークを辿る林分と、伐採されて直後に新植されるS02のアークを辿る林分の何れかのルートを進むことになる。当然ながら伐採されずに成長する林分の面積と伐採され直後に新植される林分の面積は元の林分面積に等しい。

同様にS01のアークを辿った林分は第2分期においてS03かS04の何れかのアークを進むことになる。以下同様に伐採可能林齢に達した林分は必ず分岐する2本のアークを持つが、伐採可能林齢に達していない林分は成長するのみであるから、1本のアークしか持たず分岐するアークを持たない。また老齢過熟林分が形成されることを回避するために所定の林齢に達した林分を必ず伐採するものとするという条件を付けた場合は伐採に相当するアークしか持たないことになる。

このネットワーク図によれば、計画当初に存在した1つの林分は、伐採と新植を繰り返しつつ計画期末に8つ



第1図 多段決定のネットワーク図

の林分が形成される潜在的可能性を持っている。本稿では伐採後直ちに新植することを前提としているが、1)裸地のまま放置することを許容する場合、2)1分期を越えた後に新植することを許容する場合、3)林種転換や樹種転換を行う場合、4)他作目への林地転用を考える場合には、それに相当するアークを準備する必要がある。このような場合にはネットワークの構造は複雑なものとなるが基本的な構造は同じである。

ノードとアークの数は計画分期の進行に伴って加速的に増加する。また計画対象林分の数が多いほど複雑なネットワークが構成されるが、このようなネットワークで示される各アークの最適フローを決定すれば(7)式に示した森林経営における林分保有の最適計画を策定したことになる。

保続原則と終端状態

森林管理においては保続原則が重要な意義を持つことは前述のとおりであるが、計画末期( $m$ 分期後)に形成される林分状態、すなわち終端状態としてのベクトル

$$S_m = \begin{pmatrix} A_{1,m} \\ A_{2,m} \\ A_{3,m} \\ \dots \\ A_{n,m} \end{pmatrix}$$

の内容ならびに各分期における伐採面積や伐採材積等が保続原則を具体化するうえで重要な要素となる。つまり、計画期間中に強度の伐採を行えば多額の収益が得られるが、計画期末に若齢林分が多く形成され森林経営の保続が確保できなくなるため、計画期末に形成される林分についても林齢と面積を指定し、これを制約条件として設定することが必要となる。

景観維持や公益的機能発揮の観点から、大面積の皆伐

を避けたり、大面積の裸地が発生することを避けるために伐採・新植に相当するフローに一定の上限制約を設定することも必要となる。また分期ごとの収穫材積に対して厳密に水準を指定する水平保続(even-flow)を確保するための制約や、対前分期の伐採材積水準を下回らない等の水平保続(nondeclining even-flow)を確保するための下限制約を設定することも保続原則を確保するうえで重要となる[1]。

### 線形計画法による最適フローの決定

上記のネットワークにおける各フローの最適決定に線形計画法の利用を考える。第1表は第1図のネットワークに基づいた線形計画タブローを示したものである[2]。この場合の計画目的は7分間にわたるプロセス純収益現価値の最大化(割引率=2.0%)とし、制約条件として

下記の3つを設定する。

- (1)面積バランス式(制約条件式1~7に該当)。
- (2)各分期における最低収穫材積を第1分期については50m<sup>3</sup>とし、その後分期ごとに最低収穫材積を20%ずつ増加させる(制約条件式9~15に該当)。
- (3)計画末期に残存する20~35年生の林分面積が全面積の40%(2.63ha×40%=1.052ha)以上を確保する(制約式8に該当)。

第3表に最適解を示した。S01~S14の値が各アークに対応する最適フローであり、これが当該林分の保有に関する最適計画となる。

第2表は最適解を林分保続表の形で整理したものである。当初存在した30年生の2.63haの森林が第1分期において0.213ha伐採されて5年生の新生林分となり、残りの2.417haは成長して35年生の林分になる。第2分期においては、35年生になった2.417haの林分が0.223ha伐採されて5年生の新生林分になるとともに、残りの2.194haは成

第1表 線形計画タブロー

	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	S12	S13	S14	rhs
Za	477	-171	518	-153	535	-135	534	-119	519	-102	495	-84	463	-58	⇒ max
1)	1	1													= 2.63
2)	1		-1	-1											= 0
3)			1		-1	-1									= 0
4)					1		-1	-1							= 0
5)							1		-1	-1					= 0
6)								1			-1	-1			= 0
7)											1		-1	-1	= 0
8)		1		1		1									≧ 1.052
9)		235													≧ 50
10)			269												≧ 60
11)					299										≧ 72
12)							331								≧ 86
13)								337							≧ 104
14)									346						≧ 124
15)												369			≧ 149

第2表 林分の最適保続計画

林 齢 (年)	分 期							
	0	1	2	3	4	5	6	7
5	-	0.213	0.223	0.616	0.260	0.309	0.358	0.651
10	-	-	0.213	0.223	0.616	0.260	0.309	0.358
15	-	-	-	0.213	0.223	0.616	0.260	0.309
20	-	-	-	-	0.213	0.223	0.616	0.260
25	-	-	-	-	-	0.213	0.223	0.616
30	2.630	-	-	-	-	-	0.213	0.223
35	-	2.417	-	-	-	-	-	0.213
40	-	-	2.194	-	-	-	-	-
45	-	-	-	1.578	-	-	-	-
50	-	-	-	-	1.318	-	-	-
55	-	-	-	-	-	1.010	-	-
60	-	-	-	-	-	-	0.651	-
65	-	-	-	-	-	-	-	-
材 積	-	50.0	60.0	184.1	87.6	106.9	240.5	-

注) 単位: 面積(ha), 材積(m<sup>3</sup>)

長して40年生の林分になる。さらに、第1分期に成立した0.213haの幼齢林分は5年分成長して10年生になっていることを表わしている。

### 計画対象林分の概要

本稿でモデルの検証に使用する森林経営に関する基礎データを第4表に示した。兵庫県神崎郡下における個別経営の実態調査をもとに平均的数値として整理したものである。第4表では地位を基準にして2つの施業タイプに区分している。タイプⅠは高地位の林分を対象とする集約施業、タイプⅡは低地位の林分を対象とする普通施業の平均的な姿を示す。間伐収益は考慮せず経常的管理費は10,000円/haとしている。調査対象の個別経営は、山林面積74.8haで山林は広く51箇所に分散している。

第5表はこのうちの主要林分を施業タイプと林齢を基準にしてグルーピングしたものである。これを計画対象林分とする。計画対象となる総ての林分について、先に検討した系列的多段階決定過程における段階費用と段階収益に関するデータを準備し、利得系列を明確に示す必要

があるが、各林分についてこれらのデータを収集することは到底困難であるため、本稿では便宜的に地位や施業法が同じと見なされる林分については各林分ごとの育林に関する基礎的データは概ね同一とし、林分群として扱うことにした。

### 林分保有期間の最適決定

第5表に示した林分群を計画対象とした最適計画を具体的に作成しその結果を検討する。計画期間を8分期(=40年)に設定し、各分期内の伐採プロセスと育林プロセスとの間ならびに各分期内における諸活動の間には時間的な経過はなく各々の計画分期末に一斉に実行されるものとする。各分期の経営活動を関連付ける繰越制約要素は林齢別の林分面積のみとし、各分期のプロセスによって直接使用される共通的な制約要素は存在しない。第1分期の繰越制約要素の制約量は、計画直前からの繰越量であり、計画対象となる林齢別の林分面積のみである。先に示したネットワーク図からも明らかのように、各アークに対応する繰越制約は林分単位に設定する。

第3表 最適解

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 8		
OBJECTIVE FUNCTION VALUE 4528.990		
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
S01	2.417234	0.000000
S02	0.212766	0.000000
S03	2.194186	0.000000
S04	0.223048	0.000000
S05	1.578000	0.000000
S06	0.616186	0.000000
S07	1.318181	0.000000
S08	0.259819	0.000000
S09	1.009576	0.000000
S10	0.308605	0.000000
S11	0.651194	0.000000
S12	0.358382	0.000000
S13	0.247400	0.000000
S14	0.403794	0.000000
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
1)	0.000000	3541.000000
2)	0.000000	-3064.000000
3)	0.000000	-2546.000000
4)	0.000000	-2011.000000
5)	0.000000	-1477.000000
6)	0.000000	-958.000000
7)	0.000000	-463.000000
8)	0.000000	-2681.000000
9)	0.000000	-4.387234
10)	0.000000	-1.992565
11)	112.239540	0.000000
12)	0.000000	-6.435045
13)	0.000000	-4.685460
14)	0.000000	-3.011561
15)	0.000000	-1.411924

第4表 森林経営に関する基礎データ (ha当り)

施業タイプ	林齢 (年)	育林費用 (千円)	伐採収益 (千円)	伐採収益標準偏差 (千円)	利用材積 (m <sup>3</sup> )
Ⅰ	1-5	1,154.2	-	-	-
	6-10	402.9	-	-	-
	11-15	191.9	-	-	-
	16-20	118.2	-	-	-
	21-25	78.4	-	-	-
	26-30	69.8	4,167.1	993.9	189.0
	31-35	48.5	5,268.9	1,132.5	235.1
	36-40	47.8	6,313.0	1,390.4	268.5
	41-45	30.7	7,198.6	1,537.9	298.5
	46-50	43.6	7,935.1	1,667.9	331.0
	51-55	18.8	8,520.7	1,992.7	336.5
	56-60	-	8,959.6	1,979.4	346.2
	61-65	-	9,253.7	2,248.6	369.3
	Ⅱ	1-5	927.4	-	-
6-10		358.6	-	-	-
11-15		170.5	-	-	-
16-20		106.6	-	-	-
21-25		69.8	-	-	-
26-30		63.1	2,476.2	563.4	133.3
31-35		43.2	3,334.0	700.4	170.8
36-40		42.6	4,145.2	953.2	202.8
41-45		27.5	4,807.4	1,109.1	228.4
46-50		38.7	5,324.0	1,224.9	247.4
51-55		15.9	5,605.9	1,295.5	260.5
56-60		-	5,808.2	1,327.8	269.9
61-65		-	6,256.3	1,495.3	283.3

注)標準的なヒノキ造林(兵庫県神崎郡,1985年10月調査)による。費用と収益は各林齢階の最終年に一括して発生するとして擬制計算した。施業タイプⅠは集約施業、タイプⅡは普通施業の平均的値を代表させたものである。

第5表 計画対象の林分

林分番号	施業タイプ	林齢(年)	面積(ha)
1	I	10	8.05
2	I	25	5.98
3	I	30	2.63
4	I	40	7.05
5	I	55	5.84
6	II	5	10.69
7	II	15	9.48
8	II	30	10.01
計			59.73

注) 樹種はヒノキ。施業タイプは主として地位の差による。林齢は5年単位で括約。

計画目的は計画期間内に得られるプロセス純収益現価の最大化(割引率=年2.0%とする)とする。計画期間内における規模拡大や規模縮小等による林分面積の増減はないものとする。地元での伐採慣行に従って40年生以下の林分は伐採対象外とする。さらに過熟林分が形成されることを回避するために65年を超過する林分は必ず伐採する(つまり輪伐期を60年とする)とし、伐採された林分はその分期内に必ず植栽されるものとする。この計画では輪伐期を60年と設定しているため、

$$59.73\text{ha}/60\text{年} \times 5\text{年}/\text{分期} = 4.98\text{ha}/\text{分期}$$

から1分期内の伐採面積 $\leq 4.98\text{ha}$ を制約条件とする。

1分期内での伐採面積に上限を設定すると、特定の分期に林分が一度に大きく伐採されて大面積の裸地が発生することを避けられると同時に、特定分期に伐採活動が集中することを回避し伐採を平均化させる効果も持つ。この他に最低伐採材積を確保するうえから分期当りの伐採材積 $\geq 1,000\text{m}^3$ とする。保続の観点から計画最終年に成立する50年生以上の林分が総面積の35%以上存在していることを条件としている。従って、

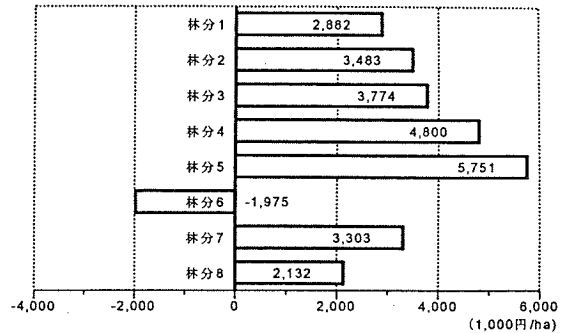
$$59.73\text{ha} \times 35\% = 29.055\text{ha}$$

から、50年生以上の林分面積 $\geq 29.055\text{ha}$ を条件とする。

### 最適計画の評価と検討

計画対象林分の全体の保続計画を見やすい形に整理したものが第6表である。線形計画はイタレーション59で最適解に到達した。この最適計画は、分期内の1林分当り伐採面積の上限、計画期末に残存する一定林齢以上の林分の面積の下限、分期当りの伐採材積の下限制約の3つを条件としているが、総ての条件を満足している。

森林経営の保続という観点からは、計画期末に成立する林分の林齢と面積は、系列的多段決定過程の終端条件として次ステージの計画を策定する場合の与件を形成するが、ゴーイング・コンサーンとしての森林経営を考え



第2図 各林分のシャドウ・プライス

る場合にはとくに重要な意義を持つ。さらに森林保全という観点からは伐採面積の上限制約が大きい意義を持つ。

第2図に、各林分の持つシャドウ・プライス(shadow price)を示した。この数字は各林分に関する純収益現価の単位面積当り価格を意味するから、このシャドウ・プライスの値は、計算利率2.0%で現在価値に割引いたときの、各林分の持つha当りの潜在的評価額に相当すると考えられる。シャドウ・プライスは、また計画時点における限界純収益力による各林分の評価額の現在価とも解釈できる。

このシャドウ・プライス値は概ね現実林分の評価額とも一致しているといえる。林分6(林齢5年)は幼齢林分であり本来は取引価格を持たない林分である。価額が負価となっているが、この林分は第8分期まで収益を得る機会がなく、それまでは育林費を投入するのみであるので当然の結果といえる。

### 総括

超長期に及ぶ森林管理においては計画の前提となるデータはあくまで期待値であり、不確実性の支配下に置かれている。データの持つ不確実性は、現在の計算時点より未来へ遠ざかるほど増大するが、実際には計算時点で全計画期間にわたるデータを推定せざるを得ない。不確実性下では、時間経過に伴って不確実性が解消されるまで、特定の意思決定の結果は明らかにならない。

このような場合には、計画作成の前提条件となる諸数値について当初から確定値を与えず、数値自身を変数と見なし与件変化による最適計画の動きを事前に十分チェックし、諸々の試行実験を繰り返してその後最終的な意思決定を行うことが重要となる。

森林経営はいわゆる系列的多段決定過程として捉え、森林の推移をネットワーク構造に展開したうえで線形計画法を適用すれば、上記の問題に対して有効な方策が提

第6表 全林分の最適保有計画

林分	分 期								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	8.05(10)	8.05(15)	8.05(20)	8.05(25)	8.05(30)	8.05(35)	8.05(40)	8.05(45)	8.05(50)
2	5.98(25)	5.98(30)	5.98(35)	5.98(40)	5.98(45)	5.98(50)	2.60(5)	2.60(10)	2.60(15)
3	2.63(30)	2.63(35)	2.63(40)	2.63(45)	2.63(50)	2.22(5)	0.41(5)	0.41(10)	0.41(15)
4	7.05(40)	7.05(45)	4.03(5)	3.02(5)	3.02(10)	3.02(15)	3.02(20)	3.02(25)	3.02(30)
5	5.84(55)	4.98(5)	0.86(5)	0.86(10)	0.86(15)	0.86(20)	0.86(25)	0.86(30)	0.86(35)
6	10.69(5)	10.69(10)	10.69(15)	10.69(20)	10.69(25)	10.69(30)	10.69(35)	10.69(40)	5.71(45)
7	9.48(15)	9.48(20)	9.48(25)	9.48(30)	9.48(35)	9.48(40)	9.48(45)	9.48(50)	9.48(55)
8	10.01(30)	10.01(35)	10.01(40)	10.01(45)	4.98(5)	1.32(5)	1.32(10)	3.71(5)	3.71(10)
材積		1,675.8	1,500.3	1,000.0	1,137.4	1,062.7	1,000.0	1,000.0	1,009.9

注) 単位:ha, ( )は林齢(年), 材積はm<sup>3</sup>

供できる。この計画モデルでは、与件変化によるパラメトリック操作によって試行することも可能であるし、感度分析によって与件変化が計画全体に及ぼす影響を事前に評価することもできる。計画という名の思考実験を行うことができるため、森林管理に関する意思決定の支援システムとして有効に利用できると思われる。

## 引用文献

- 1) Boungiorno, J. & Gilles, K. : Decision Making for Forest Management, Academic Press, New York(2003)pp.119-122
- 2) Davis, S. & Johnson, N. : Forest Management (Third Edition), McGraw-Hill Book Company, New York (1987) pp.763-769
- 3) 栗村哲象 : 林業経営計算学, 養賢堂, 東京(1970) pp. 251-255
- 4) 黒川泰亨 : 多段階線形計画法による育林投資の最適化, システム農学, 4(1), 74-86(1988)
- 5) ルッツ F. & V. : 投資決定の理論, 後藤幸男(訳), 中央経済社, 東京(1969)pp. 19-28
- 6) 大矢雅則他編 : 数字情報科学事典, 朝倉書店, 東京(1995)pp. 516-517
- 7) 林野庁監査課 : 森林経営における伐採・更新に関するシステマ的研究, 林野庁, 東京(1974)pp. 11-19
- 8) 杉田競 : 経営管理総論, 有斐閣, 東京(1979)p. 102