

# 森林管理のための数理計画法\*

## —アメリカでの応用—

木平 勇吉\*\*

### 1. 数理計画法の発展

経営上の問題について計画を立て、意志決定を助けるための計量的手法は第2次大戦後のアメリカで発展し、多くの実務分野で応用されて成果をあげている。ORや数理計画法 (Mathematical Programming) はそれらを代表する手法であり、今日では経営科学の計量的手法と同じ意味で用いられている<sup>6)</sup>。それらの手法が実務に定着した背景として次の4点が挙げられる。

- (1) 解くべき問題が複雑になり、計量的手法なしには良い解決案が見つからない。
- (2) 問題が重大で規模が大きいので、最終決定をする前に事前の分析が必要である。
- (3) 問題が新しく、今までの経験では解けない。
- (4) 問題が繰り返し生じる場合は、計量手法を用いれば意志決定の労力が省ける。

その主な応用分野としては(1)予測, (2)生産計画, (3)在庫管理, (4)資金計画, (5)運送, (6)工場配置, (7)品質管理, (8)販売戦略, (9)部品交換, (10)保守等が挙げられる。

意志決定に果たす定性的分析と定量的分析の役割は図1に示される通りであり<sup>1)</sup>、前者は経営実務についての豊富な経験から得られるのに対し、後者は手法を学ぶことにより使うことが出来るので若い世代が積極的に導入していった。定量的分析は職場移動の多いアメリカ経営者の雇用形態には必要であったと思われ、これに対し、長年の経験を重んじる終身雇用制では定性的分析がより重んじられるといえる。

ところで今日、アメリカで用いられている計量的手法は表1の調査結果のとおり多くの手法が実務レベルで使われている<sup>1)</sup>。

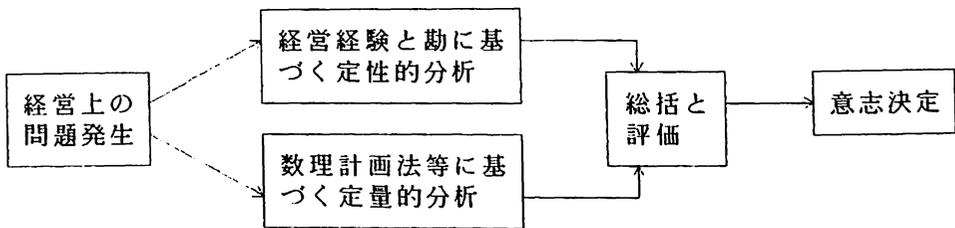


図1 意志決定の手順

\*Mathematical Programming for Forest Management Planning — Application in the United States of America—

\*\*Yukichi K<sub>ONOHIRA</sub>, Faculty of Agr., Shinshu Univ., Minamiminowa, Nagano, 399-45  
信州大学農学部

表1 計量的手法の経営実務への普及度（1980年調査）

手 法	親密度の順位	使用経験（％）
線型計画	1	83.8
シミュレーション	2	80.3
ネットワーク分析	3	58.1
待ち行列	4	54.7
意志決定樹	5	54.7
整数計画	6	38.5
動的計画	7	32.5
非線型計画	8	30.7
マルコフ過程	9	31.6
取り替え分析	10	38.5
ゲーム理論	11	13.7
多目的計画法	12	20.5

まず、線型計画（LP）はその応用分野が広く、目的函数の最適化（最大化あるいは最小化）の考え方は広く受け入れられ、その問題や感度分析は計算機により容易に解けるようになった。また、線型計画のためのプログラムパッケージの開発はこの方法の利用を容易にし、数百から数千の変数をもつ大きな問題も解けるようになった。応用例として、投資選択問題、資金調達問題、広告手法、販売戦略、生産計画、労働力計画、配合問題、飼料問題、廃棄問題が挙げられる<sup>1)</sup>。線型計画の特殊なタイプとして発展したものに多目的計画法（ゴールプログラミング）、輸送問題、割りつけ問題等がある。ゴールプログラミングは目的函数が複数である場合で、いずれの目標に対しても最も近づく解を見出す手法である。あるいは目標間に優先順位をつける場合にも適用できる。線型計画のもう1つの特殊なタイプは変数が整数である整数計画である。これは比較的最近になって、計算機の処理能力が大きくなり実用化され始めた。その中には混合型計画、0-1型計画が含まれる。

線型計画と同様に普及した計量的手法は計算機シミュレーションである。その理由として次のことが挙げられる。

- (1) 問題の内容が非常に複雑で線型計画などで解けない場合、シミュレーションにより良い解が得られる。
- (2) シミュレーションはその原理を説明すること、または理解することが容易である。したがって、経営者は自信をもってこの手法の解を使える。
- (3) コンピュータのためのシミュレーション言語が開発されて使いやすくなった。
- (4) シミュレーションはいろいろな状況に応用でき、柔軟性に富む。

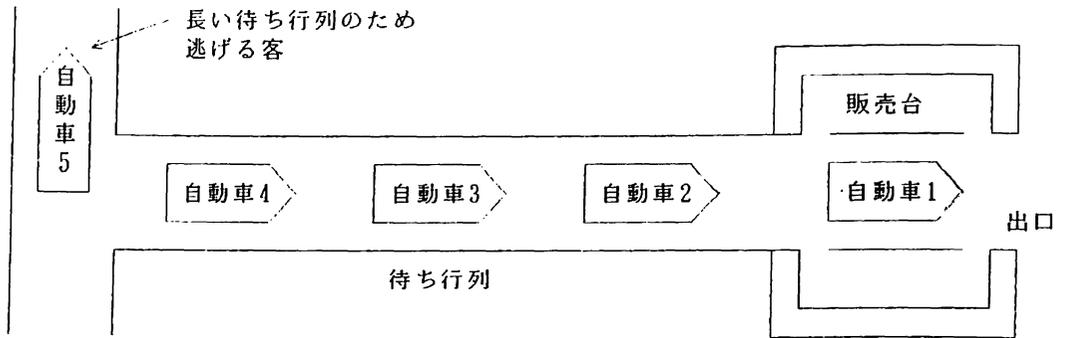


図2 ドライブ・スルーのシミュレーション

とりわけ有利な点の1つは、複雑な問題でも、とくに図2のような確率的な現象が入っても解くことが出来る。第2に、一旦シミュレーションモデルが作られると容易に実験が出来るし、さまざまに条件を変えて結果への影響を知ることが出来る。一方、欠点の第1はプログラム開発の費用が高いことであるが、専門言語が開発されて容易にはなっている。第2の欠点は、シミュレーションの解は最適解とは限らないことである。しかし、それに近いものを見つけることは出来る。

動的計画が特に注目されるのは多段階的な決定問題や自動制御に使えるからである。「部分の最適化の合計は必ずしも全体の最適化ではない」という問題を解く時、長期の見通しのもとで短期の政策を決める時間上の動的な関係、部門の最適化は全体配置の中で決まるという空間上の動的な関係を解くのが動的計画である。

ネットワークには最短ルート問題、最大流量問題、最少結合路問題を含んでおり、PERT-CPMは時間を基準にして作業日程の調整手法、PERT-COSTは費用を基準とする手法である。その他、在庫管理、予測問題、マルコフ過程など多くの手法が経営科学の計量的手法として使われている。

## 2. 森林管理への応用

森林の伐採計画を立案するために線型計画を応用する考え方は $L_{EAK}$  (1964)、 $L_{OVCKS}$  (1964)、 $K_{IDD}$  (1966) などにより報告されており<sup>9)</sup>、やがて $N_{AVON}$ のTimber RAM (Resources Allocation Method) が1971年に完成してアメリカの国有林で実用化された。 $C_{LUTTER}$ のMAX-MILLION (1971) は林業会社で使われた。これらのプログラムはモデルIと呼ばれ、計画期間中に生産される木材の価値や木材生産量の最大化、あるいは生産コストの最小化を目的関数としている。制限条件として森林の伐採面積、伐採材積、計画期間の終わりでの森林の齢級構成、森林蓄積などがある。 $W_{ALKER}$  (1971)のECHOは市場の需給要因を収穫計画に取り入れた<sup>9)</sup>。オレゴン州立大学で開発されたTREESは異齢林の収穫に適用できる。

$J_{OHNSON}$ と $S_{CHEURMAN}$  (1977) はモデルIIと呼ばれる新しいプログラムを開発した。そのMUSY-C (The Multiple Use Sustained Yield Calculation) は、林分の取り扱いの単位である施業団の変

更が計画期間中に出来る方法であり、より柔軟性がある。しかし、より多くの入力条件が必要となる。これら伐採計画や土地管理のための線型計画は現在では図3のようにJOHNSONのFORPLAN(1981～)に統合されている<sup>3)</sup>。

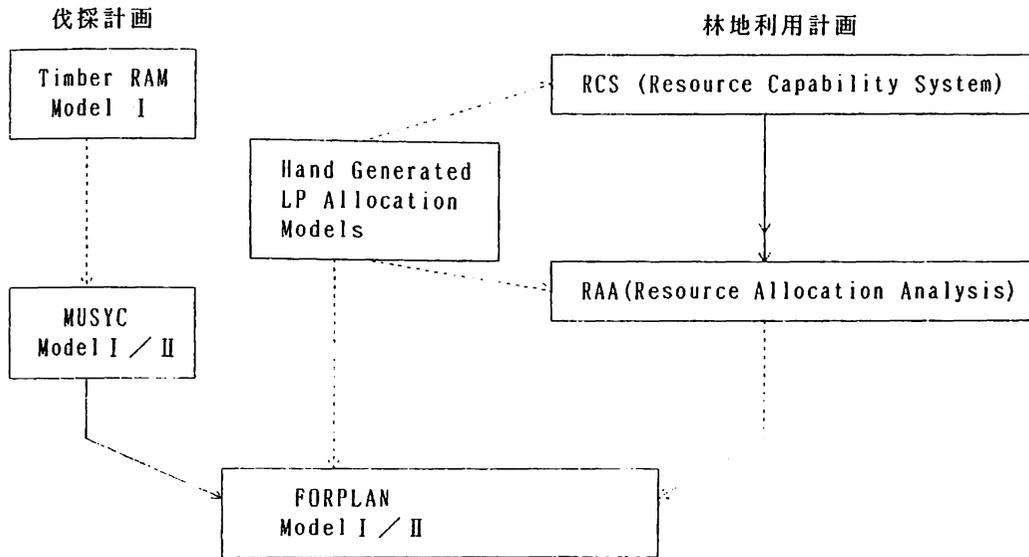


図3 アメリカ国有林の伐採計画と林地利用計画の手法の開発

線型計画がアメリカ国有林の業務に定着するために、組織的に「人材」と「道具」と「理論」とが整えられた。まず、プログラムを開発する試験場や大学の研究者から実務担当者への講習会、利用手引書の発行、プログラムの改良が経済的に続けられている。道具として通信回線とデータベースを整備して、森林簿や土地管理の資料などが容易に検索、引用出来る計算機環境を作り出した。そして、理論的な裏づけにより解析されたデータを使って計画の編成実務を行う体制を実現していった。LPを伐採計画へ応用することは、今日では研究ではなく経営実務を支援する仕事の一部となっている。

具体的に線型計画をはじめ数理計画法の森林管理へ応用する試みとその報告例は1970年以降きわめて多くの領域に見られる。ベニア工場の生産管理では目的関数として利益(販売価-原木仕入価)が用いられた(KOTAK 1976)。野性動物管理での目的関数は一定期間に収穫される野鹿の数の最大化(DAVIS 1967)、土壌保全の場合の目的関数は土地収益の最大化であり、土壌流失は制約条件として扱われている(FOSTER 1977)。アグロフォレストリーでは、目的関数を開発によって生じる税収入の最大化としている。食糧生産計画の場合は目的関数を一定食料を得るのに必要な土地面積の最小化として、その他にレクリエーション計画、集運材計画等である。

計算機施設として、アメリカ全土に広がる国有林を管理する各営林局、営林署、試験場は通信回線を通じてコロラド州の計算機センターに結ばれ、共通で使えるFORPLANは施業計画の立案に絶

対に欠かせない手段となっている。FORPLANの基本構造は図4の3つの部分から成っている。

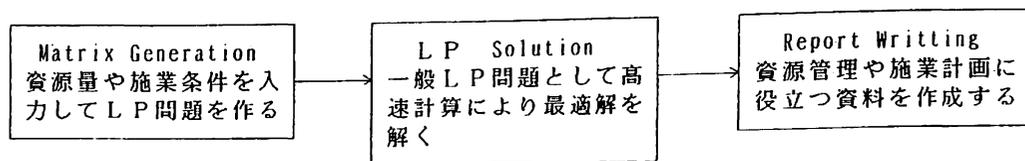


図4 FORPLANの構造

### 3. 森林の価値の多様化

1960年に森林の多目的利用・保続生産法 (The Multiple-Use, Sustained-Yield Act) が成立した。これは法的には国有林に適用されたが、その考え方はアメリカのすべての森林管理に影響した。すなわち「国有林は野外レクリエーション、牧野、木材、水、野性動物(魚)の多目的な利用に合うように管理されなければならない」と規定された。これと関連して、アメリカ国民の価値観の変化に応じて森林の多機能を高めるための立法が次のとおり続いた。

1963 Bureau of Outdoor Recreation Act, 1964 Land and Water Conservation Act, 1964 Wilderness Act, 1965 Clean Air Act, 1965 White House Conference on Natural Beauty, 1965 Water Quality Act, 1966 Endangered Species Act, 1968 Wild Rivers Act, 1968 National Trails Act, 1969 National Environmental Policy Act.

このように1960年代の立法過程を通じてアメリカ国民の森林への期待は多様化し、森林計画を評価する価値基準は複雑になってきたことがわかる。木材に代わってレクリエーション、水、土地保全、原生林、空気、森林美、絶滅に瀕する野生動植物、川、国立公園、遊歩道、環境などの要素が森林管理の焦点となってきた。

この国民の期待に対応して森林側の管理手法の1つはデータと数理的な理論に基づく最適案の提示であり、もう1つは地域社会の合意形成である。

多目的計画法 (multi objective programming) であるゴールプログラミングは、その応用として小林地の経営 (FIELD 1973), 木材生産 (RUSTAGI 1976, KAO 1979, FIELD 1980), 土地利用計画 (BELL 1976, DANE 1977), 集材残材処理 (BARE 1976), クリスマスツリー生産 (HANSEN 1977), 木材生産, レクリエーション, 放牧, 狩猟動物生産 (SCHULER 1977), 草地管理 (BOTTOMS 1975), レクリエーション計画 (ROMESBURG 1974) など多くの分野に応用された<sup>4)</sup>。その結果、多目的計画法は今日、森林の管理において最も必要な手法となりつつある。なぜなら、森林の多目的利用の必要が高くなるにつれて、森林の利用方法について矛盾と意見の対立が生じ、それを調整するための客観的な解析資料が必要になっているからである。

### 4. 意志決定支援システムと数理計画

数理計画法が研究的興味だけでなく実務として森林管理に応用されていく背景として、アメリカ

の森林行政機関や企業での意志決定の手續きに意志決定支援システムDSS (Decision Support Systems) が導入された事が関わってくる。森林管理の目標が複雑になるにつれて伝統的な勘による判断は役に立たなくなり、豊富な資料とその解析とが欠くこくが出来なくなってきた。DSSは次の要件をそなえたシステムである。

- (1) 意志決定に直接、非常に役立つように設計されたシステムでなければならず、単に抹消的な計画手續きを効率的にするようなものではない。
- (2) 自動的に決定される方法ではなく、意志決定を助けるシステムである。
- (3) 意志決定者にとって必要な事が変われば、すぐに対応できるシステムである。

DSSは次の4つの機能をそなえたサブシステムからなる。

- (1) ユーザーがシステムと直接に語りあえる対話機能
- (2) 内外のデータベースから必要なデータを引き出し、使えるデータ管理機能
- (3) 簡単なパラメーターや説明事項を入力するだけで、特定の意志決定問題を解くために役立つ数理計画法を使うようにするモデル化機能
- (4) ユーザーの問いに対して、解をわかりやすく図示する表示説明機能。

このように、計量的手法は理論面の発展と同時にアメリカでは経営上の実務に応用される環境が整えられた。すなわち、DSSの導入は経営者の最終的な判断を重んじる前提として、的確な分析に基づく客観的な資料が必要となり、数理計画法はこの意志決定の過程になくてはならない手法として広く受け入れられた。そして、先に述べたが通信回線による計算機ネットワークと多種のデータベースの整備はこの経営の意志決定支援の手續きを実行可能にした。現場職員は計算機環境に慣れて計画手法への理解が深まると平行して、上級経営者のこの方法への信頼が厚くなり、今日、数理計画法と森林管理との結びつきは深くなっている。この分野の報告が大学や研究機関のみならず、企業や官庁の中から出されていることは数理計画の応用の広がりを示している。

## 5. おわりに

日本の国民性の同質さや森林の同質さに較べて、アメリカ人の考え方や価値観は多様で個人や民族に基づく巾は非常に大きい。同様に、苔むした多雨林からガラガラヘビの乾燥地や砂漠、氷河に接する高山林から沼に広がる亜熱帯林までアメリカの森林の変化は大きい。それだけに森林管理の方向づけには潜在的に多くの可能性と選択巾があるといえる。それは数理計画法とモデルが活躍するにうってつけの舞台である。これに対して、わが国の森林はいずれも樹木に覆われ、清らかな水を養い、土砂を保全している。この恵まれた自然の豊かな均質さと地域ごとに異なる施業の多様性とを兼ねそなえた日本の森林を対象にして数理計画法を展開するには相当の配慮が必要であらう<sup>5.7)</sup>。

#### 参考文献

- 1) ANDERSON, D., et al. : An introduction to management science, Quantitative approaches to decision making 758pp, West Publishing Company, St. Paul, 1985
- 2) DYKSTRA, D. : Mathematical programming for natural resource management 318pp, McGraw Hill, New York, 1984
- 3) KENT, B. et al. : FORPLAN Version 1, USDA, Washington D. C., 1985
- 4) LEUSCHNER, W. : Introduction to forest resource management 298pp, John Wiley & Sons, New York, 1984
- 5) 松下幸司 : 森林計画に関する研究 オペレーションズ・リサーチの視点から, 京都大学学位論文 243pp 1987
- 6) 日科技連OR部会編 : ダイナミック・プログラミング入門 162pp 日本科学技術連盟, 東京 1967
- 7) 西沢正久他 : 最適間伐計画法に関する研究 昭和56年度科研報告書 166pp 1974
- 8) SHARPE, G., et al. : Introduction to forestry 544pp, McGRAW-Hill, New York, 1976
- 9) WALKER, J. : Land use planning applications of the economic harvest optimization (ECHO) model. Proceedings of the workshop on simulation techniques in forest operational planning and control 96~104, 1978