

森林經營管理システムに関する研究

鄭 躍 軍

①

学位論文

森林経営管理システムに関する研究

Studies on Forest Management and Planning System

1995

東京大学大学院

農学生命科学研究科

林学専攻 博士課程

鄭 躍軍

Yuejun ZHENG

# 目 次

序 論	1
第1章 持続可能な森林経営と森林の多面的利用	8
1・1 はじめに	8
1・2 これからの森林経営管理のあり方	9
1・3 森林の多面的利用	11
1・4 持続可能な森林経営	15
第2章 森林機能評価と土地利用区分システム	17
2・1 はじめに	17
2・2 森林機能評価の考え方	18
2・2・1 得点評価法	18
2・2・2 モデル評価法	22
2・3 森林土地利用区分システム	24
2・3・1 類似区分法	25
2・3・2 最適区分法	26
2・4 適用例	30
2・4・1 適用されたデータについて	30
2・4・2 森林機能評価システムの適用例	31
2・4・3 土地利用区分システムの適用例	33
第3章 森林管理における長期経営計画策定システム	38
3・1 はじめに	38
3・2 木材生産をめぐる長期経営計画策定システム	40
3・2・1 シミュレーションを利用した長期経営計画策定システム	42
3・2・2 線形計画法を利用した長期経営計画策定システム	45
3・3 森林の多面的利用に関する長期経営計画策定システム	64
第4章 森林管理における中期施業計画策定システム	69
4・1 はじめに	68
4・2 中期施業計画策定システムの概要	70



4・2・1	0-1 計画法による伐採小班の決定モデル	70
4・2・2	シミュレーションによる育林作業配分システム	72
4・3	応用実例	75
第5章	森林管理における短期作業計画策定システム	78
5・1	はじめに	78
5・2	研究方法	78
5・3	適用例	83
結 語		87
謝 辞		90
引用文献		91
図 表		99



## 序 論

森林には酸素の供給、自然環境の保全、災害の防止、渇水、洪水の緩和、水質の浄化、生物多様性の保障、景観・レクリエーションの創出等の多面的な働きがあり、それによって森林は、国土保全、水源かん養、生活環境の保全・形成、自然災害防止、保健文化機能の提供など、人間生活にとって不可欠のものとなっている。したがって、これらの森林のもつ多面的な機能をいかに総合的に発揮させるかということが森林経営管理にとって重要な課題となった。

これまでの森林経営管理において、森林の多目的利用は木材生産を満たした上での一課題として捉えていたにすぎない。このような課題を多くの国々では議論し始めたのは、70年代のことであった(59, 91)。さらに前の時代において、森林が地球環境における究極の制約要素とすることが十分に認識されてなかったが、不適切な経営管理及び商業伐採によって数多くの森林が被害されてしまった。結局、熱帯林をはじめ地球の森林面積の急激な減少を引き起こさせてしまったが、例えば、1950年における世界の森林面積は、485,000万ヘクタールであったが、1973年の森林面積は266,000万ヘクタールである。すなわち、年間に1,800万から2,000万ヘクタールの森林面積が消えてしまった。この減少率によって西暦2000年には地球の森林面積は、約210,000万から220,000万ヘクタールとなると予測できる(47)。

80年代にはいると地球環境問題の深刻化とともに森林に対する価値観が激しく変わってきている。それ以来、「森林の多面的利用」という言葉がしばしば文献に現れ

ている。1992年6月、ブラジルで開催された国連環境と発展会議において採用された「森林原則声明」では「持続可能な開発」(Sustainable Development)という新たな森林経営方向を打ち出した。いわば森林資源を持続的に現代および将来の人々の社会的、経済的、生態的、文化的並びに精神的ニーズを満足させるように経営管理していくべきである。これは、各国の森林資源管理は自国の主権のもとにおかれることを再確認したうえで国際間の協力によって地球環境の改善および持続的な経営管理の遂行を各国の権限と責任に委ねているものである。

21世紀において森林資源はどのような役割を果たすべきであるか？ここで、まずこれからの森林及び林業の動態を分析してみよう。人口の年成長率1.8%に基づいて西暦2000年までには、世界人口は1975年の人口の41億人より55%の23億人を新たに増加して64億になろうと予測できる(47)。人口増加と経済成長の相乗作用によって森林面積の減少はもたらされるが、森林が消失することによって第一に考えられるのは地球環境の破壊である。まず、森林がなくなると、水や土壌中の養分の循環が不安定になる。土壌は降雨や太陽の直射熱から保護されないままにおかれるため、しばしば地力の急激な低下と気温や湿度に極端な変動を生じるようになる。その結果、人類の生存がかかっている農業生産力が低下する。次に、森林資源の実質的減少は、気候にマイナスの影響を与える。すなわち、化石燃料の使用による二酸化炭素は地球上の植物によって消費されているが、その量の半分が森林に貯蔵されている。しかし、森林蓄積の減少は二酸化炭素の増加を促し、将来の気候に深刻な影響をもたらすことを暗示している。また、森林の皆伐と破壊が種の消滅を促進させる最大の要因である。熱



帯林は、地球上では種の最高の多様さと、世界でもっとも未知の動植物相に恵まれている。しかし、最近、熱帯地方の森林の減少が著しいので生物多様性の変化に重要な影響を与えると予測できる。一方、森林の猛烈な減少、それと時を同じくして林産物需要の増加の結果、人工林面積を拡大しようとする気運が高まってくることは確かである。この傾向によって土着の動物の棲息環境が破壊されるので種の多様性は乏しくなると考えられる。

第二に配慮すべきなのは、21世紀において森林資源の減少に伴って、工業用及び民間用木材、原住民の薪炭材、木炭の供給が重大な問題となろうことが予想できることである。しかしながら、現在の木材の価格よりもコストの低い燃料が容易に入手できることは考えられない。これは、先進国にとって発展途上国からの林産物の供給を将来にわたって確保することの難度を示している。

以上の考察によって21世紀に向かって森林資源が林産物の供給だけでなく、さらに人類の生存と緊密なつながりを保つ地球環境にも影響を及ぼすと筆者は結論した。

「森林原則声明」では、森林は、他の自然資源と同様に適正な利用がされにくい事実を明らかにした。林地は個人もしくは各国政府の所有に属しているが、それでも、森林は生態系を構成し、われわれが森林経営管理に対して思い描いている水準をはるかに上回る国内的、かつ国際的便益を生み出すことができる。前述したように森林には、気温を緩和したり、水源や国土を保全する治山治水の機能や、多量の未知生物資源に対して棲息地を供与したり、自然風景を創出する等の働きがある。これらの機能は個々別々ではなく一つの全体として発揮されるので、一般の経済理論から排除されている全人類の共有財産と言える。したがって、局部林業政策や森林施業に際



して森林から得られるすべての社会的便益を考慮すべきである。これからの森林施業は、経営と保全の双方に適用した場合に最適な収穫を保続的に確保しながら、同時に森林全体の均衡を保つことができないなければならない。つまり、森林経営の視点から見ると、従来の経営目標にも環境面にも積極的な影響をもたらす新たな集約的な森林経営管理体系を検討する必要がある。

ところで森林経営学が誕生してから長い年月を経過したが、その定義は時代とともに多少変わってきている。ここではその中最近の二つを挙げて分析してみよう。アメリカの J. Buongiorno 教授は、森林経営学とは、森林の組織、利用並びに保護に関する意思決定を研究する芸術と学問であるが、その意思決定では森林の長期の将来計画から日常の経営行為まで含んでいる(55)と定義している。一方、南雲秀次郎教授は、森林経営学とは森林経営の目的を達成するために森林を組織化し、その生産過程を秩序づける理論と技術を研究する学問であると定義した。その実践的任務は森林経営計画を策定することである(31)。以上の二つの定義を比較すると、その共通点としては、森林経営と森林経営計画とはいつも手に手をとっている。したがってある意味で森林経営学は森林経営計画学に変わった方が適当であると筆者は考えている。

従来の森林経営では、木材生産を目的とした数多くの収穫予定法が発展してきた。例えば、14世紀のドイツで出現した区画輪伐法から、18世紀後半の平分法、法正蓄積法を経て、19世紀後半の齡級法、林分経済法へ至る推移発展を考察すると、これらの方法は、その時代の林業経営特徴を反映しているものと考えざるをえない。その中で、法正蓄積法、齡級法及び林分経済法は、今でも単に木材生産を追求している国で引続いて適用されて

いる。

勿論、すべての科学の進歩はその時代の他の技術の発展と緊密なつながりを保っている。1960年代に入ると、数理計画法及びコンピュータ技術の発展とともに、従来の森林経営計画では想像もできない躍進がもたらされ、その後の20年間にわたって多くの森林経営計画モデルが提出されてきた。この中で Timber Resource Allocation Method (Timber RAM, Navon1971) は、アメリカで大面積森林の伐採に関する生物永続性を強調するために開発され、広範に利用された最も早い森林経営計画策定プログラムであった(91)。しかし、環境問題を配慮しながら木材生産を行う呼びかけが高まってくるとともに、森林の多面的利用を実現実現することを保証できる森林経営計画策定システムが必要となった。Multiple-Use-Sustained Yield Calculation Technique (MUSYC, Johnson 等 1979) は、森林経営計画を単純な木材生産問題から環境問題へ転換させる最初の試みとして木材生産機能に森林の社会機能を融合することを目指していた(91)。さらに FORPLAN (Johnson 1986) は、木材収穫に重要なストラタ情報と環境問題に大切なエリア情報を結合して開発された森林の多面的利用計画策定プログラムとして現れた(3, 19)。これらのモデルは、最近20年間の森林経営に重要な役割を果たしてきた。とくに最近、混合整数計画法、多目的計画法、目標計画法及びファジイ計画法のアルゴリズムが発展してきたので、これらの最適化技術は有効な道具として森林経営管理分野により幅広く適用されるであろうと考えられる。

近年、コンピュータ技術の発展は、ハード、ソフトとも著しい。従来、大型コンピュータでしか可能でなかった図面情報の処理が、パソコンで容易に迅速にかつ多様



に実行できるようになった。この驚くべき進歩のおかげで大規模な情報化システムを開発することが可能となった。今や森林の経営管理に必要な全ての情報をコンピュータによって統一的に管理することが可能となり、われわれは科学的な森林経営管理に必要な全ての手段を技術的にも経済的にも容易に獲得できることになった。近い将来、森林経営管理の手法に革命的な変化が生ずることが予測できる。その中で、地理情報システム(GIS)は近年森林の経営管理にとって注目すべき情報処理ツールの一つである。

GISとは、Geographic Information Systemの略称であり、空間及び非空間情報を特定の手順を通じて入力し、貯え、管理し、これらの相互関係を処理、解析して表示するシステムである。ここで空間データは点、線、ポリゴンから構成されており、非空間データとは空間データを反映する各種の属性情報である。つまりコンピュータマッピング技術にデータベース技術が統合されて生まれたのが地理情報システムである。地理情報システムは、施設管理分野で広く用いられるようになってくるとともに都市計画、地域計画、さらに環境保護計画の研究にも導入されてきた(11, 20, 39)。森林科学分野にもいくつかの研究をあげることにもできる。例えば、地域木材の供給問題、森林火災の管理問題にGISが重要な役割を果たすと結論した(77, 87, 88)。日本では森林変遷の予測、森林施業などの分野にGIS技術が導入された(1, 32)。

GISの登場はまさに森林管理の手法に重要な革命をもたらしつつある。これは、GISによって森林経営管理に関するすべての情報を迅速に分析、処理しながら意志決定に必要なデータが更新、作成できるからである。

従来の森林の単一な利用方式から森林の多面的利用方



式への転換を実現するためには森林経営計画において次のシステムが完成されなければならない。

- ① 森林機能評価システム
- ② 土地利用区分システム
- ③ 多目的に応じる長期経営計画策定システム
- ④ 有効な中期施業計画システム
- ⑤ 能率的な短期作業計画策定システム

本論文では、木材生産を中心とする森林の経済的な機能のみならず、市場価格を形成し得ないような森林の社会的機能をも森林経営計画の中で考慮しなければならないという理念から、森林経営管理システムを考究することとする。そして、その直接的研究目標はGISを利用して各種の最適化方法によって得られた長期、中期及び短期計画のさまざまな代替案を修正したり、決定したりする柔軟な計画策定システムを開発することである。

第1章では、持続可能な森林経営管理及び森林の多面的利用についての理論と実践的な考え方を明らかにする。第2章以下では第1章での考察を踏まえ、次のような構成内容となっている。まず第2章では、森林が保有するすべての機能が総合的に有効に利用できるような森林機能評価と土地利用区分を行うための理論と方法について考究する。次に第3章では、さまざまな森林類型を挙げてシミュレーション方法、数理計画法及びGISによる森林の多面的利用に合わせる長期経営計画策定システムの開発について考察する。また第4章では、分期作業順序と労働量の配分を課題とする中期施業計画策定システムの開発について述べる。そして終章の第5章では、年間作業時期の決定を中心とする短期作業計画策定システムの開発について考究を行う。

## 第1章 森林の多面的利用および持続可能な森林経営

### 1・1 はじめに

21世紀を迎え、高度情報化社会においては社会の経済発展をより高度に推進するために、森林の多面的な生態的、経済的、社会的、文化的有形価値および公益的価値を持続的に確保し、これを高度に利用することが必要である。なぜならば森林は一つの再生可能な資源として経済価値を保有しているばかりでなく、社会的環境及び自然環境保全に重要な役割も果たしているからである。

最近、社会で話題になっている「持続可能な森林経営 (Sustainable Forest Management)」という言葉は、伝統的森林経営における「保続経営 (Sustained Yield Management)」から発展してきた経営理念であると考えられる。伝統的な森林経営においては、木材生産を目的として経営活動を行っていた。なぜならば、その時代森林の木材生産以外の多面的価値が人類の生存に与える莫大な影響について十分に認識されてなかったからである。一方、新しい持続可能な森林経営理念では、再生可能な木材資源と環境問題とが対立している客観的な事実を踏まえ、どちらにも配慮して森林を利用、開発をすべきであることを強調している。つまり森林資源及び林地が現在および将来の世代のさまざまな需要を満たすために持続的に経営されるべきである。木材木製品、水、食料、飼料、医薬品、燃料、住居、余暇機会の提供、野生生物の生息地、景観の多様性の保持、炭酸ガスの固定などのすべての森林生産物およびサービスを重視しながら適切に経営管理すべきである(24)。

森林経営計画は、森林に関する法律及び国際条約に基づいて森林資源の有する機能を確保し、利用するための

資源管理計画である。その目的は、社会から期待されている森林の機能を適正に発揮し得るように時間的および空間的に多様な森林を整備、配置することである。

日本では、国有林及び民有林の経営に関する森林計画制度はすでに40年以上の歴史を有している。例えば、改正された森林法（平成3年）によると国有林の森林経営計画は、次のような種類から構成されている。

- ① 森林資源に関する基本計画（政府による50年間の計画）
- ② 全国森林経営計画（農林水産大臣による森林資源に関する長期の見通しについて5年ごとの15年間の計画）
- ③ 地域別の森林経営計画（営林局長による森林経営計画区域内のその経営管理する森林について5年ごとの10年間の計画）
- ④ 施業管理計画（営林局長による区域施業計画についての5年間の計画）

上述の計画種類の中では、森林経営管理と直接に密接に関連しているのは、地域森林経営計画と施業管理計画である。

過去200年以上にわたって世界の森林経営では、木材生産を中心とした森林収穫予定法の研究が進められてきている。それとともに、次のような一般的な森林経営計画プロセスが定着してきた。

すなわち、まず計画対象地域における林小班からそれぞれ類似した施業目的を持つものをまとめて作業級を構成する。そして個々の作業級を対象として保続収穫計画を策定する。

しかし、このような計画プロセスでは各作業級の間に与える相互影響を調整することは不十分であり、森林の



多面的な機能の発揮もないがしろにされる恐れがあると筆者は考えている。そこで、本章ではこれからの森林経営理念、多面的利用および持続可能な森林経営についての理論と実践的な考え方を考究する。

## 1・2 これからの森林経営理念

森林に期待されているすべての社会的なニーズに応えるためには、この目的を実現させるような新たな森林経営計画体系および評価体系を導入しなければならないと筆者は考えている。

森林経営管理の根本的な理念は、健全な森林生態系を維持しながら森林資源のすべての機能を有効に発揮させることである。したがって、この目標を実現させる手段としての森林経営管理においては、社会各層からのニーズに十分に答えうるように森林の整備を行わなければならない。

ここでは、まず森林経理学の理念を回顧しよう。森林経理学は、森林経営における計画と評価ないし技術と経済の両領域からなるものであるが、この理念は、計画と評価の側面から見ると森林経営の持続性原則を体现していると同時に、技術と経済の側面を通じて森林経営の経済性原則をも強調している。この経営理念は過去二百年間にわたって森林経営実践に影響を与えてきただけでなく、これからの持続可能な森林経営においても重要な指導原則の一部になるであろうと筆者は考えている。その上に、持続可能な森林経営に対して多面的利用原則および合意形成原則という新たな理念を加えなければならない。なぜならば、現行の森林経営では、持続可能な多面的利用を確保することができないからである。筆者は、この考え方を基にして新たな持続的な森林経営理念を図

1-1のように案出した。その左側は、現行の森林経営理念であり、右側はこれからの森林経営理念である。

現行の森林経営理念

これからの森林経営理念

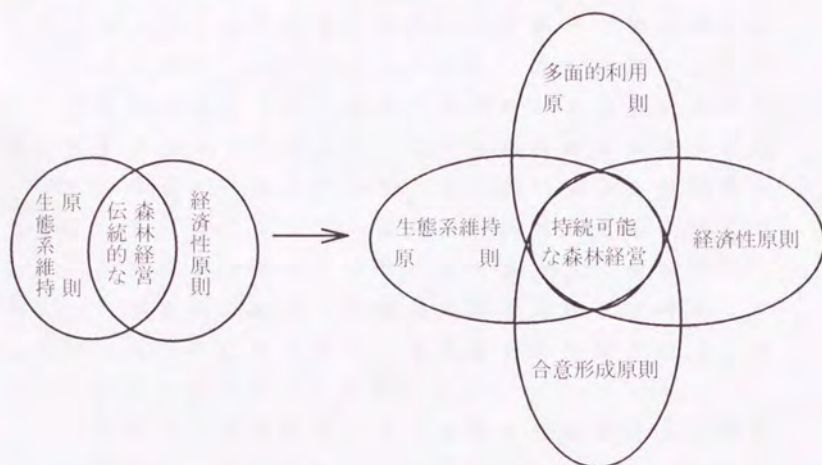


図 1 - 1 森林経営理念の比較図

図 1 - 1 によると、現行の森林経営では、森林生態系維持原則と経済性原則の共通性を抽出して木材生産量の最大を求めることを目標としている。現行の適正な森林経営基準では、意思決定者が豊かな生態学の知識と経済学の知識を持つことが要求されている。まず生態学の理論は、森林経営行動に必要な制約条件を設定し、そして経済学の理論は森林経営活動に目標を提供する。

しかし、これからの森林経営の目的は木材生産だけでなく、他の直接測定できない価値をも取り込まなければならない。したがって、図 1 - 1 の右側の部分で示される持続可能な森林経営理念では、現行の森林経営理念を維持したうえで新たに多面的な利用原則と合意形成原則

を加えている。これは、これからの森林経営理念の特質であると筆者は考えている。

個別林分に着目して森林育成及び伐出技術に基づいて健康な森林を作るのは、伝統的な森林経営計画の主な役割である。これは木平勇吉教授による縦糸・横糸論の縦糸とも言える(23)。これとは逆に社会各側面からの多面的要望に応えるように縦糸を組み合わせる横糸とは上述の合意形成原則であるが、これは現代森林経営計画のもう一つの重要な機能である。特に森林資源を地球環境資源として森林の市場財と環境財、地域と全国、国土と地球全体などのさまざまな視点から総合的に計画策定に取り込む場合は、縦糸(伝統的な林業技術)と横糸(合意形成)の交点にある新しい森林経営計画策定技術を開発する必要性が高まってきている。

これまでは、森林経営における多様な施業技術、計画技術が開発されてきたが、これらが社会の要請を無視し、縦糸面のみを偏重したため、森林の被害をもたらしたことがしばしば言われている。したがって、区域および地球環境の悪化とともに森林の木材生産以外の機能を最も適切に発揮させるために横糸面に合意形成を行わなければならない。これが新しい森林経営理念の原点であると筆者は考えている。

### 1・3 森林の多面的利用

前章で述べたように、近年、森林の保有する木材生産、国土保全、水源かん養、災害防止、環境保全、保健文化および動植物保護などの多面的機能が注目されてきている。いかに森林の保有するすべての機能を高度に適正に発揮させるかということはこれからの森林経営の重要な課題である。しかし、それぞれの社会的ニーズに満足で



きるような森林を造り出すことは極めて困難なことである。まず森林自身の特質に基づいて森林の保有する諸機能を明確に分析するのは難しい。また、ある特定の要望に対応する最も望ましい森林にはさまざまな姿が存在するので具体的に決定しにくい。ここで、森林の多面的機能を次のようにまとめられる。

木材及び他の森林生産物等の生産という森林の経済機能はもっともよく知られている。これまで森林は単に木材等生産の場として捉えられてきているが、これによって雇用機会の提供、貨幣収入の増加、国際貿易の増大、生活水準の向上に重要な役割を果たしていた(82)。

しかし、森林を環境資源として捉える場合、できるだけ豊かな自然生態系を維持しながら他の公益的機能を持続的に開発しようということとはまさに時代の要請となっている。森林の公益的機能は、通常次の5種類からなっている。

森林の水源かん養機能は、通常、洪水流量を軽減させる「洪水緩和機能」、低水流量を増加させて水資源を確保する「渇水緩和機能」、水質を改善する「水質浄化機能」の三つの種類から成り立っていると考えられる(23)。森林には、降水、融雪水等の土壌への浸透を促進することによって水資源をかん養して渇水を緩和し、ピーク流量を低減して洪水を緩和するとともに良質な水を供給する働きがある。

山地災害防止機能には、土砂流出防止、土砂崩壊防止、落石防止、なだれ防止、浸食防止などの機能がある。森林は自然現象等による土砂の崩壊、流出等を抑制することによって山地の荒廃化を防ぎ、さらに山地災害の発生を防ぐ働きを保有する。

環境保全機能とは、日常生活にかかわる大気汚染、風

害、雪害、騒音、水土の流失などを緩和する機能、水質をきれいに保つ機能などを指している。森林は最大の生物集合体としての活動を通じて二酸化炭素を固定し酸素を供給し、湿度を維持することによって快適な環境を保全・形成する働きをもっていると同時に、強風、飛砂、塵埃、騒音等による環境の悪化を防ぐ働きをもはたしている。

保健文化機能は、レクリエーションの場の提供、森林景観の保全、森林景観の創出などを含む保健文化的役割である。森林は文化的、教育的、保健休養的な諸活動のための場の提供、形成等を通じて人間の肉体的健康の維持・増進や資質の向上に寄与する働きを果たしている。

動植物保護機能は、野生動物の棲息地、多様な動植物種の保存の場を提供して、生物の多様性を保護する機能である。森林は、原生的なランドスケープの保護、貴重な動植物の棲息の場の保存等を通じて、森林生態系を構成する生物の遺伝子資源を保全し、生物の多様性を保護する働きを担っている(6)。

ほとんどの場合、同じ森林が多数の機能を含んでいるが、勿論、その度合は森林の状態によって異なる。森林のさまざまな機能を同時に発揮させるために、いかに適切な森林状態に整備するかは、持続可能な森林経営にとって重要な点である。

一方、森林の多面的利用についての具体的な形態にはさまざまな類型があるが、森林経営の視点からこの問題を考えると、都市近郊地帯、中間地帯地帯、奥地山村地帯の森林における力点の置き方で違いがみられる。そこで、それぞれの区域において森林の多面的利用のあり方は異なる。この線引き問題を解決するにあたって、森林機能評価システムと土地利用区分システムを開発する必

要がある。

もちろん、個々の森林に対してどのような機能に重点をおくべきかを明らかにするために、森林機能を定量的に評価すると同時に関係者との合意形成を行う必要がある。これによってその森林の保有する機能と社会の要望との間のギャップを埋めることができる。

#### 1・4 持続可能な森林経営

持続可能な森林経営とは、森林の保有する有形価値及び無形価値を含むすべての機能を高度に永久に維持、発展させながら人類の多様な要望に最大限応えられる森林経営であると筆者は定義したい。このような経営が誰にとっても望ましく必要であると判断できる。しかしながら、人によって、何を中心として持続的に経営してゆくべきかという質問にはいろいろな解答が存在するかもしれない。ところが持続可能な森林経営を実現するためには上述の根本的な問題を明らかにしなければならない。ここで、筆者は持続可能な森林経営の特質は次の各側面から構成されるべきであると考えている。

- ① これからの世代が豊かに生活できるように森林資源の有形価値を持続させる。例えば、木材及び林産品生産、食料及び飼料、燃料などの物質を持続的に提供すること。
- ② 現代の人々の良好な生活を保障するために森林のもつ大気浄化、水土保持、生態システム維持などの社会公益的機能を恒常的に保持すること。
- ③ 人類の健康な文化ニーズを満たすために森林資源の風致景観保全機能を持続的に発揮させること。
- ④ 地球上の生物的多様性を維持するために森林生態系を最大の遺伝子保全源とする機能を確保すること。



上述の4つの目標を達成するために、森林の空間的秩序及び時間的順序を整備しなければならない。これに対して持続可能な森林の理想状態は次のような条件を備えるべきであると筆者は考えている。

- ① 適正な蓄積量：蓄積量が低くなると生態系自身を維持するのは不可能であり、二酸化炭素を固定する能力もよわくなる。逆に蓄積量が高すぎると優良な材質の形成及び森林生態系の健康に不利である。
- ② 高成長量：高成長量は森林の二酸化炭素の固定能力を増強できる上に、各種機能の維持にも重要な前提となる。
- ③ 高生物的多様性：健全で生産的な生態系の維持にとって必須である。動植物種は食料、繊維、薬品等として利用することができ、人間にとって不可欠である。地球の温暖化を緩和し、遺伝子の多様性を保存することが特に重要になっている。
- ④ 高密度の林道網：高密度の林道網は木材の搬出による被害の減少、森林施業、森林レクリエーションに重要な役割を果たしている。

もちろん、上述の4つの条件を満足する森林の姿を造り出すためには新たな森林経営計画システムを作成する必要がある。筆者は森林の多面的利用原則及び持続的な森林経営理念に基づいて図1-2のような区域森林経営計画策定システムを案出した。

## 第2章 森林機能評価と土地利用区分システム

### 2・1 はじめに

近年、人々の森林に対する価値観が多様化するとともに「森林が保有している各種機能を高度に発揮させよ」という要請が社会各方面から益々高まってきている。前章では森林の多面的利用についてのさまざまな側面を述べたが、いかに現実の森林をそれぞれの目的にかなうように整備すべきか、どのぐらいの整備水準を維持すべきかというのは、これからの森林経営計画の策定にかかわる根本的な課題である。したがって、木材生産を中心とした従来の森林経営計画は、その計画の内容から策定の方法に至るまで大幅に修正されるべき状況に來ている。これからの森林経営計画では、森林の持つすべての機能を総合的に考えるべきである。つまり森林の動態を把握し、森林の各種機能を量的に評価し、その結果に基づいて土地利用区分を行い、そのおかれた社会的ならびに自然的環境の下で森林が総合的に最も有効に利用されるように策定しなければならない(32, 33)。このために多種類の森林情報を適切に分析できる手法を開発する必要がある。

そこで、本章では、箕輪教授らが『森林の整備水準、機能計量等調査報告』(24)で研究開発した森林機能評価体系を参考として、森林機能に基づく土地利用区分方法を検討した。すなわち、まず地理情報システム(GIS)を用いて小班ごとの標高、傾斜、林道からの距離などの評価要因を計算した。次にこの評価要因と森林簿の情報を用いて森林の機能を評価し、それに基づいて森林土地利用区分を行った。また、同時にGISによって森林の各種機能評価と土地利用区分の結果をコン

ビュータ画面上で分析したり、校正したりする手法を開発した。森林機能の評価方法では、従来の森林の各種機能評価方法(4, 18, 38, 43)に基づいて、様々な森林の状態に対応できるように、従来の得点評価法を基にしたモデル評価法を作成した。森林の土地利用区分の手段としてはクラスター分析法と線形計画法を用いた。

## 2・2 森林機能評価の考え方

森林の保有する機能の種類に関しては、ここでは森林経営計画研究会編「新たな森林、林業の長期ビジョン」に基づいて①木材等生産、②水源かん養、③山地災害防止、④生活環境保全、⑤保健文化の5機能とした(24)。森林の多面的利用を目指して森林経営計画を策定するにあたっては、上述の森林機能の評価方法を開発しなければならない。森林は一般に、その度合は異なるが、上述のすべての複合的な機能を保有している。単一の機能しか発揮していない森林を探すのは困難である。さらに個々の森林は寄り集まって全体として別次元の働きをしている。したがって、各種機能が計量化できなければ森林に期待される多種機能を総合的に高度に発揮できる森林土地利用区分が行えない。そこで、森林機能の定量的な評価が必要となるが、その評価とは機能ごとに最も高い相関を持つ要因を森林から選んでその相関関係を数量的に明らかにすることである。そこで、筆者は本研究では、さまざまな森林状況に応じられるように次の二つの評価方法を考えた(53)。

### 2・2・1 得点評価法[Score Evaluation Method(SEM)]

得点評価法とは、機能ごとに評価要因を決定し、それをカテゴリーに区分し、各カテゴリーに得点を与えて評



価する方法である。この方法では、森林が保有する機能に関わる評価要因について、機能の特性と実際の調査結果を分析したうえで、各種機能が最もよく反映できる要因を選択し各カテゴリーに得点を与えている。本研究では、各種機能についての評価基準として、前述の報告書(24)を参照し、各種機能の評価基準を以下のようにまとめた。

① 木材等生産機能の評価基準 「森林資源に関する基本計画」に規定された「望ましい森林の姿」に基づいて木材等生産機能の評価要因を、次の3点にまとめる。

a. 平均成長量の大きさ b. 林道からの距離 c. 管理状態

林分材積平均成長量は、森林生育状況、林分密度などの総合的な評価要因であり、また、林道からの距離(集材距離)は森林の地利状況を代表する要因であり、木材生産の基盤でもある。管理形態は、森林経営の集約度を反映する要因として選択した。

以上の3要因をそれぞれ3つのカテゴリーに区分し、それに対して得点を与える。ただし、森林が森林として存在する限りこの機能を保有するので、基礎点として定数を与える。

② 水源かん養機能の評価基準 前章に述べたように森林の水源かん養機能は、洪水緩和機能、渇水緩和機能、水質浄化機能の三つの機能の総称である(38, 43)。樹冠のうっ閉度、成長の旺盛さ及び樹種の組成などが水源かん養機能の発揮に重要な影響を与えると考えられる。そこで、この機能の総合評価要因として次の要因を用いる。

a. 林齢 b. 断面積疎密度 c. 樹種 d. 管理状態

なお、ここで、林齢とは天然林や人工複層林の場合、

優勢木の平均林齢を意味する。樹種とは複数の樹種の場合、優勢木を指す。

これらの要因に基づいて評価する場合には、まず針葉樹林及び広葉樹林に分けてそれぞれの評価要因のウェイトを決定し、つぎに各要因をカテゴリーに区分してそれに得点を与える。

③ 山地災害防止機能の評価基準 山地災害防止機能には土砂流出防止、土砂崩壊防止、落石防止、雪崩防止などの機能がある。これらのサブ機能のメカニズムを全体として考えると、地表の植生状況に大幅な差の存在する有林地及び無林地で評価方法が異なる。ここでは有林地の場合のみを考えて人工林と天然林の2タイプに分け、次の評価要因を選択した。

人工林の評価要因：

a. 断面積疎密度 b. 林齢 c. 間伐等管理

天然林の評価要因：

a. 断面積疎密度 b. 林齢

山地災害防止機能を最も高く保持している森林は、一定の林分疎密度と林齢に達した森林であると考えられる。人工林と天然林は各種のサブ機能のメカニズムに大きな相違が存在するので、ここではそれぞれ評価基準を別個に選ばなければならない。以上の評価要因に対してそれぞれカテゴリーに区分して得点を与える。

④ 生活環境保全機能の評価基準 生活環境保全機能としてはここでは主として森林の風害、飛砂、塵埃及び騒音などの防止機能を考えている。そこで、以上の各側面の機能に影響を与える要因を絞って次の因子を評価要因として用いる。

a. 樹種 b. 上層木樹高 c. 立木密度

落葉と常緑の樹種では、着葉量の多少があるので諸害

防止の効果が異なる。また、一定樹高と立木密度に達しなければ騒音防止機能が発揮できない。以上の評価要因をカテゴリーに区分してそれに得点を与える。

⑤ 保健文化機能の評価基準 林相によって景観の保全と創出価値、レクリエーション価値及び生物多様性の保護価値が大きく異なる。そこで、保健文化機能の評価するに当たって、まず森林のタイプを天然林、二次林及び人工林に区分してそれに基づいて評価要因が選択する。

天然林の評価要因：

a. 林地面積    b. 林道からの距離    c. 林齢    d. 平均標高

二次林の評価要因：

a. 林齢    b. 林地面積    c. 平均傾斜角

人工林の評価要因：

a. 林齢    b. 林地面積    c. 間伐実施率

森林の成因によって森林の保健文化価値は大きく異なる。また、森林の面積の規模、位置、及び地形なども景観の評価あたっては考えなければならない。そこで各種森林タイプに対して評価要因をいくつかのカテゴリーに分けてそれに得点を与える。

上述の評価要因に関しては、前述の林野庁の「森林の整備水準、機能計量等調査報告」（平成 3 年）（24）の評価体系の評価基準を参照して森林機能評価基準を作った。ここでは、すべての機能に対して最高得点を 100.0、最低得点を 0.0 にするという基準を設定した。その結果は、表 2-1 から表 2-5 のように表すことができる。

以上の基準に関連する評価要因が入手できる限り、これらの評価基準によって任意の森林（小班あるいは林分）に対して上述の五つの機能評価を行うことができる。



ここで述べた森林機能の評価基準というのは、一般の林分に対して特に強く期待されている森林機能を発揮させるうえで、その森林の状態がどの程度望ましい水準であるかを評価する方法についてとりまとめたものである。各林分ごとに主として着目すべき森林機能や、それぞれの機能を高度に発揮する森林の理想的な姿はすでに全国森林経営計画に明示されているため、ここで述べた機能発揮の程度は、目標とする森林の理想的な姿に対する現在の森林の機能整備の度合を評価することにほかにならない。この基準は、それぞれの地域で、各種森林タイプに基づいてとりあげた評価因子が大いに活用され、各評価因子に対して具体的なランクが判断された結果である。したがって、この評価基準は原則としていずれの森林タイプ、どこの森林に対しても利用できる」と筆者は考えている。

#### 2・2・2 モデル評価法 [Model Evaluation Method(MEM)]

通常の森林簿には、標高、傾斜及び林道からの距離などの地理要因は載せられてない。しかし、その場合でも地理情報のデータが入手可能ならば上記の地理要因をGISの解析ツールによって求めることができる。しかし、入手不能の場合には得点評価法が使えない。また、仮にすべての評価要因が揃っていても、評価手法を確立しておかなければ、機能評価の得点を迅速に求めるのは困難である。そこで、筆者は次のモデル評価法を考えた。それは、機能ごとにすべての評価要因の相関を分析し関連する要因を選択して評価モデルをあてはめ、それに基づいて各種機能の得点を計算する方法である。この方法は、得点評価法よりも少なく入手しやすい要因によって森林機能が計量化でき、任意の小班の各種機能の得点を

迅速に評価することも可能である。

そこで、まず機能ごとに得点評価法によって得られた評価結果と、小班ごとの各種要因の関係を解析した上で、一次式、二次式などの多項式及び対数、指数変換した各種形式のモデルを構築し、重回帰分析によって各モデルのパラメータの性質及び変化を分析した(9)。その結果、各種機能がすべての評価要因の一次式あるいは対数変換後の一次式と最も高い相関があることがわかった。そこで、機能ごとに次の形式のモデルを最良と仮定して採用した。

ここで、次の記号をモデルの中に用いる。

G : 平均成長量 ( $m^3/y \cdot ha$ ) ;

A : 平均林齢 (年) ;

D : 林道からの距離 (m) ;

T : 林分タイプ (天然林 = 1.0 ; 二次林 = 2.0 ; 人

工林 = 3.0) ;

S : 断面積疎密度 (0.0 ~ 1.0) ;

H : 平均樹高 (m) ;

F : 林分面積 (ha) ;

$\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ 、 $\theta$ 、 $\lambda$  : 正の値を取るパラメータ。

#### ① 木材生産等機能評価モデル :

木材等生産機能は、林分成長量、林齢及び林道からの距離の対数の一次式に高い相関関係があることがわかった。したがって、木材生産機能評価モデルは

$$TPF = \alpha_1 + \beta_1 \ln(G) + \gamma_1 \ln(A) - \delta_1 \ln(D) \quad (2-1)$$

となる。

#### ② 水源かん養機能評価モデル :

水源かん養機能は、林分タイプ、疎密度指数、樹高、林齢及び林地面積などの要因の対数の一次式と高い相関があることがわかった。したがって、水源かん養機能評

価モデルは

$$WCF = -\alpha_2 + \beta_2 \ln(T) + \gamma_2 \ln(S) + \delta_2 \ln(H) + \theta_2 \ln(A) + \lambda_2 \ln(F) \quad (2-2)$$

となった。

③ 山地災害防止機能評価モデル：

山地災害機能は、疎密度指数、樹高と平均林齢の3要因の対数の一次式と高い相関を持っていることがわかった。したがって、山地災害防止機能評価モデルは

$$LCF = -\alpha_3 - \beta_3 \ln(S) - \gamma_3 \ln(H) + \delta_3 \ln(A) \quad (2-3)$$

となった。

④ 生活環境保全機能評価モデル：

生活環境保全機能は、植生状況が反映できる疎密度、樹高及び林地面積の対数の一次式との相関が高いことがわかった。したがって、生活環境保全機能評価モデルは

$$ECF = \alpha_4 + \beta_4 \ln(S) + \gamma_4 \ln(H) + \delta_4 \ln(F) \quad (2-4)$$

となった。

⑤ 保健文化機能評価モデル：

保健文化機能は、その性質上多数の異質な要因によって生成されるものと言えるが、繰り返しの分析結果からとくに特定の要因と深い相関を持っていないことが分かった。したがって、保健文化機能評価モデルは、次のような評価要因の一次式で表すこととした。当然、これは相関がもっとも高い式である。

$$HCF = \alpha_5 - \beta_5 T + \gamma_5 A + \delta_5 F + \theta_5 D \quad (2-5)$$

上述の得点評価法あるいはモデル評価法によって小班ごとに各種機能の評価値が得られたならば、これに基づいて森林土地利用区分を行う方法を構築することができる。

以上の森林機能評価システムは、図2-1のように表すことができる。これを用いれば個々の小班の全ての機能の評価やその結果をGISによって図面上で表示することが可能となる。



## 2・3 森林土地利用区分システム

総合的な森林経営計画を策定するのは、森林の多面的利用を実現するための現存量、成長量、収穫レベルなどの時間的問題を意思決定するプロセスだけでなく、地域森林のゾーニング、土地利用の空間的レイアウト並びに経営活動の空間配置問題を解決する過程でもある。この研究では、筆者は森林機能評価の結果に基づいて2種類の土地利用区分方法を開発した。

### 2・3・1 類似区分法(Similarity allocation)

類似区分法とは、各小班の各機能の性質に基づいて似た小班を同じ施業集団に割り当てる土地利用区分方法である。つまり、小班の各種機能の評価値及び排列順位によって多数の施業集団に分けられる。ここでは、筆者はクラスター分析(9)を用いた類似区分法を開発した。

クラスター分析(Cluster Analysis)とは、異質なもののまざり合っている対象のなかで、互いに似たものを集めて集落(クラスター)をつくり、対象を分類しようという方法を総称したものである。症状に基づく疾患の分類、財務諸指標による企業の分類、形状や性質による細菌の分類など、さまざまな分野に応用されている。

ここでは、すでに得られた各小班の各種機能の評価値に基づいて類似度を測る距離法を選んで階層的なクラスター分析を行うならば、いくつかの施業集団に区分できることを利用した。一般に、採用される類似度によって、異なるクラスター分析の結果が得られるので、1つの類似度による結果だけから結論を出すのではなく、いろいろな類似度を適用してみて総合的な判断をすることがこの方法のポイントである。なお、この区分の結果はその

まま経営計画に利用できるわけではなく、GISによって各施業集団に属する小班レイアウトを分析し、人為的に修正したり、地域森林関係者と合意形成を行ったりしなければならない。つまり類似区分法、合意形成及びGISの三者の結合によって最終の土地利用区分案を作成すべきであると筆者は考えている。一方、各施業集団の帰属する経営類型は林学及び経済学の理論に基づいて分析して決定する必要がある。

### 2・3・2 最適区分法(Optimum Allocation)

類似区分法は、小班の客観的な性質によっていくつかの自然施業集団に分ける方法であるが、この方法では区分された施業集団の数が主観的にコントロールできない。しかし、実際には集約的な森林経営を取り込む場合、森林施業集団の数を主観的に決定しなければならないという要件が存在する。そこで、土地利用区分を行うためにより実用化しやすい最適区分法を開発した(100)。

最適区分法とは、小班の機能特徴に基づいてできるだけその優勢機能を発揮させるように、現実の森林をそれぞれ木材等生産林、水源かん養林、環境保全林及び保健文化林などに割り当てる方法である。ところが、森林経営では優勢機能だけでなく、他の従属的機能をも持続可能な経営目標に組み入れなくてはならない。そこで、この土地区分問題を容易に解明するために、地域森林に対して次のようにいくつかの仮定をおく必要がある。勿論、これらの仮定は一般の森林においても代表性を失っていないという前提がある。

ここでまず地域森林の特徴を次の6つの要件を規定する。

① 地域森林が地理的な要因及び行政的原因によってい

くつかのゾーンに分けられる。

- ② 地域森林に対して全体として森林経営計画を策定するが、さまざまな利益レベルに応じてゾーンごとに特定の制約が課せられる。
- ③ 考慮すべき森林機能としては木材等生産、水源かん養、生活環境保全及び保健文化の四種である。
- ④ すべての小班に対して各種の機能の度合に基づいてゾーンの境界を越えて新たな施業集団を組織することができる。
- ⑤ 新たに組織された各施業集団或いはその一部分に対して種々の土地利用目的を定義することができる。
- ⑥ 土地利用区分計画の構成部分として各施業集団に対して総面積の範囲を主観的に限定できる。

以上のような森林を対象として土地利用区分計画を行うために次のような最適モデルを建てた(40)。

Maximize

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^p f_{ijk} x_{ijk}, \quad (2-6)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^p a_{ij} x_{ijk} = A, \quad (2-7)$$

$$h_k^l \leq \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} a_{ij} x_{ijk} \leq h_k^u, \quad \forall k \quad (2-8)$$

$$b_{ik}^l \leq \sum_{j=1}^{m_i} a_{ij} x_{ijk} \leq b_{ik}^u, \quad \forall i, k \quad (2-9)$$

$$\sum_{k=1}^p x_{ijk} = 1.0, \quad \forall i, j \quad (2-10)$$

$$x_{ijk} = \{0, 1\}, \quad \forall i, j, k \quad (2-11)$$

ここで、

$A$  = 地域森林の総面積 (ha)

$h_k^l$  = 地域森林の全体における第  $k$  種土地利用に割り当てる面積の下限 (ha)



$h_k^u$  = 地域森林の全体における第  $k$  種土地利用に割り当てる面積の上限 ( $ha$ )

$b_{ik}^l$  = 第  $i$  ゾーンに対して第  $k$  種土地面積利用に割り当てる面積の下限 ( $ha$ )

$b_{ik}^u$  = 第  $i$  ゾーンに対して第  $k$  種土地面積利用に割り当てる面積の上限 ( $ha$ )

$a_{ij}$  = 第  $i$  ゾーンにおける第  $j$  小班の面積 ( $ha$ )

$f_{ijk}$  = 第  $i$  ゾーンにおける第  $j$  小班の第  $k$  種土地利用に関する機能の評価値

$x_{ijk} = 1$  (第  $i$  ゾーンにおける第  $j$  小班が第  $k$  種土地利用に割り当てられる場合)

$= 0$  (その他の場合)

$i$  = 地域森林が区分されたゾーン数を記録する添字

( $i = 1, 2, \dots, n$ )

$j$  = 小班数を記録する添字 ( $j = 1, 2, \dots, m_i$ )

$k$  = 施業集団数を記録する添字 ( $k = 1, 2, \dots, p$ )。

この土地利用区分モデルを用いれば地域森林に対する土地利用区分を最適に行うことができる。ここで、目的関数(2-6)は小班の機能評価結果による森林土地区分の効率をはかるものである。この目的関数値が高ければ高いほどもっとも適切な土地利用に割り当てられた小班の数がより多いことを意味している。制約式(2-7)は森林地域の総面積を定義するものである。実際には、地域のあるゾーンに無林地が存在したり、新た入手したりする場合がある。しかし、このような無林地を潜在的な林地として上述の機能評価方法によって取り扱うことができるので完全に林地として土地利用区分が行える。次に制約集合(2-8)は地域における各種土地利用に割り当てる面積の上限と下限を規定する。また、制約集合(2-9)はゾーンごとに各種土地利用に割り当てる面積の上限

と下限を規定する。さらに(2-10)は一つの小班のすべての面積を何らかの土地利用種類に区分しなければならないことを保証する制約集合である。(2-11)は決定変数 $x_{ijk}$ が整数1または0しかとらないことを限定する制約である。通常、特殊な条件の場合を除いて、小班は最小の経営単位なので計画期間中に細分することはできない。もし、ひとつの小班をいくつかの新たな小班にやむえず分けなければならない場合必要なことは、対応した整数変数 $x_{ijk}$ を連続変数に変換することである。もちろん、この条件変化にともなって上述の整数計画問題は連続の線形計画問題になる。

一方、類似区分法と同じように最適モデルによって得られた最適解はGISデータとリンクさせる必要がある。GISの最大の特徴は空間データと非空間データを貯蔵し、管理すると同時にその相互関係を解析し、表示することである(1,11,20,39)。GISによって最適解を分析し、経済、地理および社会状況などを加えたうえで、制約式のパラメータを繰り返し調整することができる。なお、経営戦略の意思決定者は、「土地利用区分の空間関係は意思決定者の主観的判断にしか依存しない。」という思想をつねに頭に入れておかなくてはならない。逆に有効な空間配置計画は数学モデルによって定式化できる。具体的に言えば、土地利用区分を行う際、次の要件を配慮すべきだと筆者は考える。

- ① 木材等生産に割り当てる小班はできるだけ同一ゾーンに集中しないように調整すること。
- ② 森林レクリエーションに割り当てる小班は道路整備がすでに完成したところに位置すべきこと。
- ③ 同一ゾーンに対してできるだけ多くの土地利用種類を配分するためにモデルのパラメータを選択すること。

- ④ 地域森林にかかわる社会団体を検討したうえで土地利用配分の結果を決定すべきこと。

要件の性質に基づいて最適モデルにおけるパラメータを修正しながら新たなモデルを繰り返し解けば満足な土地利用配分を達成することができる。この森林土地利用区分システムは、図2-2のように表すことができる。このシステムを用いれば小班ごとの機能評価結果に基づいて、森林経営を最適に組織化する基礎となる森林土地利用区分を行うことができる。

類似配分法と最適配分法を較べると、前者は森林の自然状況に依存して森林施業を組織する場合に対して有効な方法として利用することができ、一方後者は森林の自然状況だけでなく関係者の主観的意識をも考慮して土地利用配分を行う方法である。次節で事例を通じて森林機能評価及び土地利用区分システムを解釈する。

## 2.4 適用例

### 2.4.1 適用されたデータについて

本研究の資料としては、東京大学千葉演習林の各種データを用いた。当演習林は、房総半島南部に位置し、面積が約2,170ヘクタールで、林班数が47、小班数が693である。スギ、ヒノキを中心としている人工林は総面積の1/3以上を占めて860ヘクタールとなっている。ほかの2/3弱は天然林及び二次林からなっている(44)。

パーソナルコンピュータに対応している地理情報システム(TerraSoft)を利用して、1/5,000のオルソフォトマップから全演習林の林班、小班、林相の境界線および等高線を入力した。等高線の間隔は20メートルである。また従来から森林簿として管理されてきた情報



は dBASE IV のファイルに変換してある。地形に関しては、等高線を基本データとして TerraSoft を用いてラスターデータ変換し、標高 (DTM)、傾斜角、傾斜方位などのレイヤを生成した。

このように GIS によって全演習林の標高、傾斜、方位のラスター型のデータを作成したが、このデータを利用してメッシュ (20 メートル) ごとの各因子の値が計算できる。このラスター型のデータをベクター化し既存の基本図にオーバーレイして、各小班の標高、傾斜、方位の算術平均値が求められる。本研究では、これらの地形情報のうち、標高と傾斜角を用いた。一方、面積主題をネットワーク主題とバッファリングさせることによって各小班ごとに林道からの距離が求められる。以上の結果は既存の森林簿データベースに書き込むことができる。

#### 2. 4. 2 森林機能評価システムの適用例

適用例では、まず得点評価法を用いて個々の小班の持つ各種機能の評価した。具体的な手順は次の通りである。

- ① 最新の森林調査データに基づいて各小班の林分要因及び地理要因を整備して dBASE IV によって管理した。
- ② 地理要因が不備な場合、GIS によって必要な要因を補完してデータベースに書き込ませた。
- ③ 類似配分法の評価基準に基づいて作成されたプログラムを用いて森林の機能評価を実行してその結果を自動的にデータベースに記入した。
- ④ GIS によって得た各機能の分布状況図及び優勢な機能の分布図を作成して出力した。

ステップ②の結果は図 2-3、図 2-4 と図 2-5 で表すことができる。この三つの図はそれぞれ標高、傾斜

レイヤと小班ポリゴンを、オーバーレイさせたものとネットワーク主題とバッファリングさせたものである。千葉演習林札郷作業所管内の4ヶ林班計47小班に対して得点評価法を適用した結果は表2-6の通りである。GISを用いると各種機能の評価結果は、図2-6と図2-7のように図面上で表すことができる。図2-6は、得点評価法による小班ごとの木材等生産機能の得点を表示したものである。また、図2-7は、同一地域の得点評価法による得点に基づいて判断された支配的な機能を表す図である。

次に、モデル評価法のパラメータを推定するために演習林全域で693の小班から、無作為に70個のサンプルずつを、重複を許して5回抽出してモデル評価法のパラメータの推定値、その標準誤差及び相関係数を求めたが、各パラメータの推定値はほぼ安定していることがわかった。

したがって、各種機能ごとに相関が最も高い評価モデル式は次のように決めることができた。なお、ここで、 $R^2$ は、各評価モデルの決定係数であり、各パラメータの下に括弧の中にある数字は、そのパラメータの推定値の標準誤差である。

木材生産等機能評価モデル：

$$TPF = 36.40 + 21.38 \ln(G) + 11.98 \ln(A) - 7.59 \ln(D)$$

$$(3.501) (0.559) \quad (0.636) \quad (0.492)$$

$$R^2 = 0.7846$$

水源かん養機能評価モデル：

$$WCF = -15.10 + 4.53 \ln(T) + 2.52 \ln(S) + 3.20 \ln(H) + 22.10 \ln(A) + 0.55 \ln(F)$$

$$(1.685) (0.543) \quad (1.320) \quad (0.463) \quad (0.463) \quad (0.242)$$

$$R^2 = 0.8244$$

山地災害防止機能評価モデル：

$$LCF = -20.87 - 5.62 \ln(S) - 2.49 \ln(H) + 25.5 \ln(A)$$

$$(3.679) \quad (2.996) \quad (0.556) \quad (0.964)$$

$$R^2 = 0.5095$$

環境保全機能評価モデル：

$$ECF = 32.49 + 3.97 \ln(S) + 13.78 \ln(H) + 0.20 \ln(F)$$

$$(0.578) \quad (1.178) \quad (0.216) \quad (0.215)$$

$$R^2 = 0.8795$$

上式の右側の林地面積  $F$  のパラメータの標準誤差はかなり大きい値を示したが、要因の寄与率から考えるとこの要因を留保すべきと結論した。

保健文化機能評価モデル：

$$HCF = 80.46 - 17.07T + 0.52A + 0.43F + 0.01D$$

$$(4.455) \quad (1.281) \quad (0.036) \quad (0.192) \quad (0.001)$$

$$R^2 = 0.4127$$

以上の各機能ごとのモデルを用いることによって、任意の小班に対して森林機能評価を行うことができる。表2-7は、得点評価法を適用した同じ小班に対してモデル評価法を用いた機能評価結果を表すものであり、表2-8は、得点評価法とモデル評価法による計算結果を対比したものである。この表によって、木材等生産機能、水源かん養機能及び生活環境保全機能については、二つの評価方法による機能評価結果が一致する割合は高いが、山地災害防止機能と保健文化機能についての得点の一致率はやや低いことがわかった。この結果は上述の相関係数の結果に一致している。特に保健文化機能については森林のさまざまな利用方式があるので、統一基準をまとめるのは困難である。なお、森林経営計画の策定では、一般に森林の機能に関して木材等生産、水源かん養及び環境保全機能を中心として求める場合が多い。この立場からするとこの二つの評価方法はいずれも利用できる。



表 2-9 はモデル評価法の結果に基づいて得られた千葉演習林全域の優勢機能の分布状況である。

GIS を用いると各種機能の評価結果は、モデル評価法による結果も得点評価法と同じように図面上に表示することができるので、この二つの方法の結果を詳しく比較分析することも容易である。

#### 2・4・3 土地利用区分システムの適用例

機能ごとの評価結果に基づいてクラスター分析法もしくは最適配分法を用いれば森林土地利用区分を行うことができる。まず、類似配分法を適用した結果を説明する。

ここでは、最短距離法、最長距離法、重心法とウォード法を用いて森林機能評価の結果に基づいてクラスター分析を行った。各類似度に対応した結果を分析したうえで、クラスター分析法における変数間の類似度は最長距離法の結果を選択した。もちろん、ほかの類似度を利用することも可能である。図 2-8 は、千葉演習林札郷作業所管内の 4 ヶ林班計 47 小班を対象としたモデル評価法による評価得点に基づいて得られた森林土地利用区分の結果である。林小班番号の中で、A、B、C、D がそれぞれ天然林、二次林、人工林、試験林である。例えば、28C0205 というのは、28 林班の人工林 2-5 小班を意味している。図 2-8 の結果を分析すると、左側からクラスター I は、林齢が低いので五機能のうちではどちらの機能が優っているかはまだわからない。そこで、その機能が確定できるまでこれらを後続林施業集団と命名した。また、クラスター II は環境保全林施業集団、クラスター III は水源かん養林施業集団、クラスター IV は木材等生産林施業集団であると判断された。この結果は、実際の演習林の森林経営実態とほぼ一致していることがわ

かった。したがって、この手法は森林土地利用区分に有効な方法であると言える。

次に、当演習林の同一地域の 23 個の小班を対象として最適配分法を適用した。この地域は図 2-9 のように 68.53 ha で 6 つの天然林小班と 17 の人工林小班からなっている。ゾーン 1 とゾーン 2 に分けるとそれぞれ 14 と 9 つの小班があり、主林道がゾーン 1 を通る。組成樹種はスギ、ヒノキ、広葉樹などである。ここでは、木材等生産、水源かん養と保健文化機能だけを経営対象として森林土地利用区分を行った。表 2-10 は現実森林の状態及び各種機能の評価値を示すものである。この表には、区分の効率を直観的に解析するために、評価値を 100.0 で割って得られた相対値として表している。また、決定された各ゾーン及び各種土地利用面積に関するパラメータは表 2-11 のように表すことができる。

式(2-6)～(2-11)の最適化モデルに基づいて上述のデータを代入して 34 行、69 の整数変数を含んでいる 0-1 線形計画モデルを作った。

このモデルを解くと最初の最適解が得られる。しかし、区分された施業集団の空間レイアウトを前述のルールに基づいて GIS によって分析し、ある変数の値を主観的に規定する場合があるので、繰り返しモデルを修正したり新たに解いたりする必要がある。表 2-12 は調整後の目的関数と土地利用区分の最終結果を示すものである。経営条件が異なると、その最適な区分結果が違うわけである。表 2-12 によると、土地利用区分結果と森林機能を反映する要因との相互関係がよくわかる。例えば、木材生産施業集団においては、小班の林齢及び林道からの距離に最も小さい値が現れているが、保健文化施業集団においては中庸であり、水源かん養施業集団に対して



は両方とも最大値をとっている。この時の目的関数値は14.43であるが、もし、現存の小班が細分できるとすれば連続のLPモデルになり、その目的関数値が5.61増加する。その結果に対応する空間的レイアウトは図2-10の通りである。図2-10によると、その空間的レイアウトは前述の条件を満足するようになった。

現在、最も理想的と考えられる森林経営とは、社会からそこに求められている森林の機能を持続的に最も効果的に発揮できるようにすることである。このためにまず必要なことは、森林の経営目的を決定し、その目的に最も適した施業方法を確定することである。しかし、このことは言葉ではたやすいが実際には極めて難しい課題である。それは、森林に期待する機能は人によって選択の順位は異なるし、かりにそのような問題が生じない場合であっても、森林が最優先して発揮すべき機能を見出すことが難しいからである。

ここで行った機能評価は森林として潜在的に保有している機能を対象としたものである。実際に経営目的を確定するためには、特定の機能発揮を期待する外部からの要請を考慮しなければならない。たとえば、生活環境保全機能の高い森林であってもそれが都市から遠く離れて存在する場合、その機能の発揮はあまり考慮する必要はない。このように経営目的は、森林が潜在的に保有する機能と、それを享受したいという社会のニーズとの相互作用によって決まってくるものと考ええる。

ここで述べた方法は、今後、森林経営計画を策定する際に有力な手段となりえよう。しかし、上述のような意味でこの手法はあくまで計画担当者に経営目的を決定する際の判断材料を提供するものであって、唯一絶対的なものではない。計画担当者はさまざまな側面から経営目



的を検討し、自己の経験に基づいて最終的に経営目的を決定すべきであると考える。

なお、得点評価法では各カテゴリーに得点を与える基準がまだ統一されてないので、重回帰分析で高い相関が得られていてもそれは得点との相関が高いことを意味する。したがって、得点と各種機能の関係に不明な点があれば、必ずしも各種機能との関係が高いとはいえない。森林の多面的機能を数量的に評価し始めたのは近年のことであったので、評価基準の生物学的解釈については更に多くの研究成果に依存しなければならない。そのために、本研究においてはさまざまな仮定に基づく結果を利用せざるを得なかった。将来、森林の機能が合理的に数量化されれば、その土地利用区分は今回示した方法によって容易に行うことができるであろう。

### 第3章 長期経営計画策定システム

#### 3.1 はじめに

計画とは、将来のある目標を達成するために現時点からとるべき行為を決定するものである。われわれが将来の目標に向かって意思決定を行う場合、そこには数多くのリスクが存在する。したがって、こうしたリスクを事前に十分検討評価したうえで最も合理的な行為の系列を決定することに計画策定の根本的な意義がある。計画の対象が複雑であればあるほど、また一つの行為の将来に及ぼす影響力が大きければ大きいほど綿密な計画が必要となる。計画において望ましいことは各時点で作成された行為の系列がその適用された全計画期間にわたって最適性を失わないことである。しかし、実際には、計画対象の本質から見ると、ある時点で最良と考えられた行為が次の時点で判断した場合、自然条件、経済情勢及び社会ニーズなどの変化によって必ずしも最良のものであったと評価されないことが多い。したがって、長い期間にわたる計画は上述の変化に応じて修正する必要がある。このように計画の策定にフィードバック思想を持ち込むことが大切である。さらに、われわれは計画策定において、計画期間ごとの計画内容の整合性ができるかぎり保持されるように努力する必要がある。

森林は木材等生産、水源かん養、山地災害防止、生活環境保全、保健文化等諸機能の発揮を通じて有形並びに無形の効用を人々に与える自然資源である。筆者は先に、森林が期待される機能を最も高く実現できるような計画を策定し、これを実行することによって森林の維持、培育及び利用を図るというプランが森林経営計画であると定義した。したがって、森林経営の目標が多様化される



とともに、いかに森林を永久に維持しながらその多面的な機能を持続的に高度に発揮させるかが、森林経営の大切な任務となっている。近年、コンピュータ処理装置、地理情報システムなどの先端技術が発達してくるに伴って、森林経営計画を建てるにあたって新しい情報解析手段を有効に使える条件が整いつつある。

森林経営計画を策定する際、あらかじめ対象森林の特質及び追求する目標、また時間的ならびに空間的に適用する範囲、さらに森林施業の実行に影響を与えるいろいろな制約条件を決定しなければならない。森林経営計画が森林の持つすべての機能に対応して地域の経済的、社会的ならびに自然生態的な要件にしたがって策定されるのは、もちろんのことである。これは前に述べたように森林経営計画における横糸である。一方、森林経営計画における縦糸にあるのは、長期、中期及び短期の三種類から構成される施業計画である。長期経営計画は、いわば資源計画であるが、まず、対象とする森林に関して理想状態を決定し、長期的にこの理想状態に誘導してゆこうとする分期ごとの経営計画である。中期計画とは、長期計画で決定された計画の中の最初の1分期間の計画を具体化してゆく年次施業計画である。中期施業計画では、その施業量に必要な労働量の配分が主要な課題となっている。短期計画とは、月ごとの作業計画である。ここでは年間の各種施業実行に必要な労働量をいかに均等に割り振るかという問題が短期計画の中心課題となっている。

森林経営計画のうち、長期経営計画にあたる部分を拡充された林齢空間理論に基づいて抽象的に概括すれば、林齢空間上のある点から改良期を経た後、理想目標とする一点に林齢ベクトルを移動させる経路を決定することだということである。この場合、二点間の移動の経路を



どのようにとるかという問題に関しては、前述した施業上の諸制約条件によって制限された領域の中から個々の計画者が自由に決めることができる。その経路が施業実行上無理がなく、経営上都合のよいように決定することが計画策定者の役目である(28)。つまり、森林を理想状態に誘導してゆこうという長期目標と、その現実状態に要求されている諸経営条件のもとで森林を改良することが長期経営計画の中心課題である。

本章では、まず、森林を土地利用区分システムに基づいて分けられた複数の施業集団に対して開発された、さまざまな森林管理における長期経営計画策定システム(32, 100)について最初に述べ、次にその適用例を通じて各種方法の特質を分析することによって長期経営計画策定システムの特徴を考究する。このシステムでは経営方法の視点から一斉林施業と択伐林施業に分類したわけであるが、一斉林施業に対して、平分法に基づくシミュレーション法、齢級法に基づく線形計画モデル、ファジイ計画モデル、目標計画モデル及び多目的計画モデルなどを開発した。択伐林施業に関しては、筆者は林分直径遷移行列に基づく最適経営モデルと最適規整モデルを修士論文(48, 49, 50, 51, 52, 93)としてすでに発表した。本研究では、一斉林施業を対象としてその長期経営計画策定システムを考察する。

### 3・2 木材生産をめぐる長期経営計画策定システム

森林の木材生産機能の発揮は、将来の長い期間にわたって森林経営の重要な目的として続いてゆくことが予測できる。したがって、いかに木材生産を目標とする長期経営計画を効率的に策定するかという研究が必要である。

森林経営という概念が発生したのは、木材の需要が増加して、従来通りの自由な収穫をしていては将来必要とする量が確保できないという危機に遭遇したときであった(25, 26)。そのときから森林資源をうまく利用するためにいくつかの収穫予定法が発展してきた。最初現れたのは区画輪伐法であったが、これは毎年少なくとも必要とする収穫量が確保されるというきわめて非能率的な森林の利用法であり、森林をより有効に使おうというものではなかった。木材需要が増加し、それに伴う木材の不足が森林をより合理的に利用しようとする意識をおこさせ、そのことが経営の発展を促した。その結果、区画輪伐法に続いて材積配分法、法正蓄積法、平分法、齢級法などの収穫予定法の発展がもたらされた。勿論、この発展はその相互作用として森林の蓄積、成長量の測定や予測技術、森林の多面的機能の利用技術などの発達もあった。

上述の収穫予定法はいずれも一斉林を対象として開発されたものである。ちなみに一斉林に関する代表的な収穫予定法として平分法、齢級法及び法正蓄積法などが現在も使われている。しかし、森林の多面的利用が追求されてくるにつれて、伝統的な収穫予定法に新たな制約条件を追加する必要性が増えてきている。この複雑な経営環境に対して適切な長期経営計画を策定するために、さまざまな収穫予定技術と先端技術を導入して、新しい策定態勢を開発する必要がある。同時に同一森林に対して複数の施業計画代替案を作成して互いに分析比較したうえで、最も有効な計画を決定すべきである。ここでは、まずGISを用いて平分法に基づいて開発したシミュレーション・システムを説明し、さらに計画期間内の貨幣収入あるいは木材総収穫量の最大化を目指す一組の線形計



画法モデルについて考察する。

### 3・2・1 シミュレーションを利用した長期経営計画策定システム

**システムの概要** シミュレーション (Simulation) とは、対象とする物理的、生態的、あるいは社会的システムのモデルを作成し、これにより対象システムの挙動を模擬することである(8)。この手法はシステムに含まれる要因が多く複雑で、たとえ定式化できたとしても解を解くことが不可能な場合や、実験費用が高くついたり繰り返しがきかない場合などに使われる。シミュレーション・モデルには大別して物理的モデル (Physical Model) と数学モデル (Mathematical Model) がある。物理的モデルにおいてスケール・モデルは実物を縮小したモデル、類推モデルはシステムの特性を類似した他のモデルに置き換えたモデル、アナログモデルはアナログ計算機内で構成されるモデルをそれぞれ表している。一方、数学的モデルにおいてはデジタルモデル (Digital Model) と解析モデル (Analytical Model) がある。前者は連続変化モデルと離散変化モデルに分けられる。後者は対象システムの論理的な側面をとらえてこれを解析的に表現したものであり、線形計画法 (LP) のモデルはその一例である。

ここで、筆者は収獲予定法の一つである平分法に基づくシミュレーション手法を用いて長期経営計画策定システムを作成してみた。これは、平分法によって決定された結果が収納されるデータベースと、地理情報システム TerraSoft を用いた森林基本図を連結させて、長期経営計画を逐次修正してゆく対話型計画作成システムである。このシステムの核心は面積平分法に基づいて、長期経営計画策定の手続きをコンピュータ化する点である。このシステムを用いると長期経営計画期間にわたって各分



に割与えられた面積合計及び伐採量をほぼ均等させると同時に、空間的な伐採配置をも調整できる。

このシミュレーション・システムの作成手順は次の段階を踏んでいる。

① 分析目的の決定

地域森林を対象とする長期経営計画を、より簡潔に合理に策定する手法を検討する。

② 対象モデルの整理

対象とする森林は類似した小班から構成され、かつ正常な生長過程を維持している。

③ 構成要素の確認

このシミュレーション・システムは森林の要因（樹種、植栽年度、面積、地位、疎密度など）、地理要因（集材距離、傾斜度、方位など）及び決定要因（計画の実行年度、輪伐期、分期の長さ、許容誤差限界など）からなっている。

④ 必要なデータの決定

入力された森林簿、森林基本図及び樹種ごとの収穫表データを利用する。

⑤ フローチャート、プログラムの作成

まずこのシミュレーション・システムのフローチャートを作って、さらにdBASE IVを用いてこのシミュレーションのプログラムを作成する。

⑥ 実行

パーソナル・コンピュータ (NEC PC-98) で千葉演習林のデータを用いて実行する。

⑦ 結果の分析

⑥ から得られた結果と他の手段によって求められた結果と比較し、分析する。

⑧ 実用化

分析された結果に基づいてこのシミュレーション・システムが実用化できるかどうかという結論をまとめる。

このシステムは図3-1のようなフローチャートで表すことができる。まず、GISを用いて計画地域の森林基本図を入力し、dBASE IVによって森林に関する情報と収穫表をデータベースとして管理する。次にすでに作成されたプログラムを実行させる。まず、この長期経営計画をいつ実行するか、平均伐期齢をどのぐらいにするか、隣接する分期の伐採面積差の許容限界をどの程度にするかなどをユーザが入力した後、システムは自動的に各種結果を計算してデータベースに書き込む。

そして対象とする森林の総面積に基づく分期ごとに伐採すべき面積を、最大林齢の小班から最初の分期に割り与えてその伐採面積、収穫量及び伐採齢を計算する。次に各分期の伐採面積のバラツキが許容限界以内にあるかどうかを判断し、もし均等でない場合は誤差許容限界を修正してもう一度「誤差限界の入力」にもどる。もし許容限界を修正できない場合は、小班を分割したり計画に関する条件を調整して、満足な結果に至るまで繰り返しこのシステムを実行させる。もし伐採面積がすでに均等になったと判断される場合、地理情報システムによって結果の空間的なレイアウトを表示したり、合理的かどうかを判断したりする。もし合理的でないなら同じく計画に上の諸条件を調整して最初からやり直す。

**応用実例** 東京大学千葉演習林札幌作業所管内の4ヶ林班、47ヶ小班からなる総面積88.09ヘクタールのスギ、ヒノキ人工林資料にこのシステムを適用した。図3-2はこの研究地域の森林基本図である。

まず、全域を一作業級、平均伐期齢を80年、1分期



を10年として8つの分期に分けるものとした。このシミュレーションを繰り返すことによって分期ごとに施業すべき小班が決まった。つまりすべての経営面積を分期ごとにできる限り均等になるように合理に配分した。その最終結果は、表3-1の通りであるが、ここで第3分期までの長期経営計画結果を表示した。各分期の伐採面積、収穫量及び伐期齢がほぼ均一になっている。8つの分期のすべての結果をGISによって表示すると図3-2のようになった。さまざまなハッチングパターンが分期ごとに割り与えられた小班を示している。

ここでは、GISを利用して長期経営計画策定シミュレーション・システムを作成して適用を試みた。GISは、図面上に載せられた情報を目的によって変更できる利点を持っているので、森林経営計画を策定する新たな手段として有効であることが実例を通じて認められた。このシステムを使うと、さまざまな条件を満たす計画を迅速に策定できるので、採用したい長期経営計画が現実の森林に与える影響を、時間的にも空間的にも分析することができる。また、利用者はそれぞれの目的によって必要なさまざまな図面を出力できる。

しかしながら、このシミュレーション・システムでは、計画地域の規模が増大するとともに決定にかかる時間が急増する。したがって、より広範に実用化でき、現場でより実行しやすい他の手段を検討し、構築する必要がある。そこで、次に線形計画法に基づいて開発した長期経営計画策定システムについて考究する。

### 3・2・2 線形計画法を利用した長期経営計画策定システム

線形計画法 (Linear Programming) とは、ある問題を線形計画問題の形に定式化することによってその問題の解



法や数学的特質を論ずる理論のことをいう(26, 40)。  
線形計画問題とは、線形方程式や線形不等式で与えられる制約条件と、変数に対する非負条件のもとで、線形の目的関数を最大あるいは最小にするという問題を対象している。

例えば、 $a_{ij}, b_i, c_j$ を定数、また  $x_1, x_2, \dots, x_n$ を非負の変数として目的関数

$$z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

を線形の制約条件

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m$$

のもとで最大あるいは最小にさせる問題である。ここで制約条件式は等号で結ばれているが、さまざまな不等式は適当な方法によって等式に変形ができる。一般に最適解における目的関数の値は計画の解と呼ばれる。

序論で述べたように60年代からLPが森林計画に導入されてからいろいろな森林計画策定用プログラムが開発された。例えばアメリカにはTimber RAM、MUSYCやFORPLANなどの単純な木材生産から多面的な利用までの専用プログラムが開発された(57, 60, 61, 83)。しかし、Timber RAMとMUSYCは用材林経営モデルに基づくツールであり、森林の水源かん養、自然環境の創出及び動物の棲息などの機能に重要な役割を果たしているエリア問題がモデルに考慮されなかった。一方、森林の多面的な機能を発揮させるような森林計画に対してストラタ情報だけでなく空間的な情報も必要である。

FORPLANは木材収穫に重要なストラタ情報とレクリエーション、野生動物、水資源に大切なエリア情報を結

びつけて開発された、森林の多面的な機能に関する長期経営計画策定プログラムである。これはさまざまな計画問題を処理でき、その効果をも評価できる唯一のシステムであるとも言える(12, 91)。それ以外にも、線形及び非線形最適化手法を利用して森林経営に関する時間的及び空間的問題を研究した研究はたくさん行われてきている。例えば択伐林施業においては直径遷移行列及び林分経済法に基づいて数多くの研究が行われた(56, 62, 63, 64, 65, 66, 78, 81)。また間伐、森林経営計画策定及び森林規整についても数理計画法が適用された(58, 59, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 76, 80, 84, 85, 89, 90, 92, 94, 95, 96, 98)。さらに森林施業の空間的な効果を分析するための研究が近年盛り上がってきている(74, 75, 86)。

日本でも南雲(25, 26, 27, 28, 29)と天野(2, 3)らのLP、南雲(30)と木平(13, 14, 15)らの0-1計画法、黒川(16, 17)の目標計画法、松下(21)と清水(41)の多目的計画法、野上(34, 35, 36, 37)のファジイ線形計画法などのいくつかの研究がある。しかし、これら手法は実際の計画業務レベルであまり利用されていない。なぜならば、日本での植生条件と計画態勢の複雑さが支障になっているからである。もちろん、これらのモデル自身の実用性を改善する余地もある。

とりわけ、これらのモデルあるいはその結合において次の共通の欠点を解決しなければならない。

- ① 土地利用区分問題が無視されていた。
- ② 非木材機能が単なる制約条件として考えられていた。
- ③ 空間的な問題を解決できる整数計画法にモデリング環境がうまく提供されていなかった。
- ④ ファジイ線形計画法が十分に適用されていなかった。



以上に述べたように線形計画法においてさまざまな理論問題が取り上げられるとはいうものの、他の手法に比べて大規模な計画問題が解けるという利点がある。そこで、筆者はこれらのモデルの利点を保持しながらその欠点を克服するためにGISを利用して新たに6つのモデルを開発した。

**モデルⅠ 用材林長期経営計画LPモデル** 木材生産を中心とする経営には、すでに組織された施業集団に対して通常次のような条件が要求される。

- ① ある齢級以上の過熟林分は必ずある分期前に収穫する。最低伐期齢に達していない林分は収穫しない。
- ② 各分期の収穫面積はある基準（収穫予定法）のもので決まるが、その値はある変動範囲にするか一定とする。
- ③ 各分期の収穫量は分期ごとに増加させてゆくか最低収穫量を下回らない。
- ④ 計画期間が終了する時点の森林の総蓄積は一定の水準を維持する。
- ⑤ 計画期間の拡大造林面積は、分期ごとに徐々に減少させてゆくと同時に新たな裸地をできる限り同分期に造林する。
- ⑥ 伐採したならば必ず同分期に更新する。
- ⑦ 計画期間が終了した後の目標として、森林のある理想状態を実現する。
- ⑧ 経営指標は計画期間の総収穫量や総収益、純収益前価とする。

ここでは、各施業集団に属するすべての小班の立地条件が中庸であると仮定する。また、計画期末の森林の理想状態を持続可能な経営の要因として定義する。そこで、



筆者は Nautiyal と Pearse (83) のモデル、Johnson と Scheurman (79) のモデル II 及び Hoganson と McDill (76) モデルを参照して次の用材林長期経営計画に関する LP モデルを作った。

目的関数：

$$\text{Max} z = \sum_{i=-p_0}^{T-a_0} \sum_{j=i+a_0}^{\min(i+a_0, T)} v_{ij} x_{ij} + w_r$$

或いは

$$\text{Max} z = \sum_{i=-p_0}^{T-a_0} \sum_{j=i+a_0}^{\min(i+a_0, T)} y_{ij} x_{ij} + s_r \quad (3-1)$$

制約条件：

A. 計画初期の齢級配置：

$$\sum_{j=\max(0, i+a_0)}^{\min(i+a_0, T)} x_{ij} + e_{i+T+1} = A_i \quad \forall i = -p_0, \dots, -p_y \quad (3-2)$$

B. 分期ごとの収穫面積及び更新面積：

$$\sum_{i=\max(-p_0, k-a_0)}^{k-a_0} x_{ij} + b_k - \sum_{j=k+a_0}^{\min(T, k+a_0)} x_{ij} - e_{T+1-k} = 0 \quad \forall k = 1, 2, \dots, T \quad (3-3)$$

C. 計画初期の裸地面積：

$$b_0 = A_0 \quad (3-4)$$

D. 理想状態の齢級配置：

$$re_k - N = 0 \quad \forall k = 1, 2, \dots, r \quad (3-5)$$

E. 森林の総面積：

$$\sum_{i=-p_0}^{-p_y} \left( \sum_{j=\max(0, i+a_0)}^{\min(i+a_0, T)} x_{ij} + e_{i+T+1} \right) + b_0 - N = 0 \quad (3-6)$$

F. 分期ごとに収穫量を下回らない制約：

$$\sum_{i=-p_0}^{T-a_0} v_{ij} x_{ij} - \sum_{i=-p_0}^{T-a_0} v_{i,j+1} x_{i,j+1} \leq 0 \quad \forall j = 1, 2, \dots, T-1 \quad (3-7)$$

G. 分期ごとに収穫面積を下回らない制約：

$$\sum_{i=-p_0}^{T-a_0} x_{ij} - \sum_{i=-p_0}^{T-a_0} x_{i,j+1} \leq 0 \quad \forall j = 1, 2, \dots, T-1 \quad (3-8)$$

H. 非負の制約：

$$\begin{aligned}
 x_{ij} &\geq 0 & \forall i, j \\
 x_k &\geq 0 & \forall k \\
 b_k &\geq 0 & \forall k = 0, 1, 2, \dots, T+1
 \end{aligned}
 \tag{3-9}$$

こ こ で

$a_o$  = 収穫可能な最大齢級（この齢級に達する林分が必ず伐採される）

$a_y$  = 収穫可能な最小の齢級（この齢級に達していない林分は伐採されない）

$A_i$  = 計画期間が始まる時点の  $i$  齢級の面積（ $ha$ ）

$b_k$  = 第  $k$  分期に伐採を実施する前にすでに存在した裸地面積（ $ha$ ）

$e_k$  = 計画期間が終了する時点の第  $T+1$  分期に  $k$  齢級の面積（ $ha$ ）

$N$  = 計画地域森林の総面積（ $ha$ ）

$p_o$  = 計画期間が始まる時点で、森林が保有する最大齢級

$p_y$  = 計画期間が始まる時点で、森林が保有する最小齢級

$r$  = 計画期間（改良期）の長さ（齢級数）

$T$  = 計画期間（改良期）の分期の最大値

$v_{ij}$  =  $i$  分期に更新して  $j$  分期に収穫すれば計画期間が終了する時の現純値（Present Net Value）（ $yen/ha$ ）

$y_{ij}$  =  $i$  分期に更新して  $j$  分期に収穫する場合の収穫量（ $m^3/ha$ ）

$w_r$  =  $r$  を計画期間とする  $T$  分期後に残存した未来林分からの前純価（Discounted Net Return）（ $yen$ ）

$s_r$  =  $r$  を計画期間とする  $T$  分期後に残存した未来林分の蓄積量（潜在収穫量）（ $m^3$ ）

$x_{ij}$  = 第  $i$  分期に更新して第  $j$  分期に収穫する小班面積（ $ha$ ）

このモデルでは計画期間  $r$  を  $T+1$  個の分期に分けてすべての経営行為を  $T+1$  個の離散点に発生させると意味している。第  $T+1$  分期は計画期間が終了する時点からである。ここで、目的関数 (3-1) は計画期間にわたって地域森林からの貨幣純収益あるいは木材総蓄積を測るものであり、 $w_r$ 、 $s_r$  は森林の理想状態と計画期間の長さの変動によってもたらされた最適解の偏差を表すものである。制約 (3-2) は森林の初期状態を定義するものである。制約 (3-3) は収穫面積と造林面積とのバランスを分期ごとに確保する典型的な保続条件である。制約 (3-4) は計画期間が始まる時に現存している裸地を 0 齢級として明示するものである。制約 (3-5) は  $T+1$  分期が始まる時点の森林の理想状態を定義するものである。制約 (3-6) は現実の森林総面積を変数  $N$  で表すことを定義するものである。この制約は問題の双対性を解釈するために導入したが、森林の面積は 1 単位を増減すればこれによって最終の齢級配置がどのように変わるかを経営者は知りたいと考えられる。制約 (3-7) と (3-8) は後分期の収穫量と収穫面積を前分期より下回らない条件である。最適解に対して制約 (3-2) に関する双対解は基本的に法正林モデル、調整林モデル、Faustmann 氏基準及び広義の法正林モデルに基づくことができる。

モデルⅡ 長期経営計画ファジイLPモデル 経営計画を策定するときには、現在もっている資源量や市場需要量、木材価格などに基づいて経営を組織しなければならない。また機械整備や労働力など、種々の制限条件も課される。一方、森林計画を記述した線形システムに対して、現実には必ずしも明確な目標関数と制約条件を設定できるとは限らない。例えば、ある制約がだいたい  $r$  程



度であるとか、目的関数をだいたい $f$ 以上にしたいという曖昧な要求をもっている場合が多い。本来、計画策定という行為は人間の主観的判断に基づく部分が多いので、その本質ははっきりしない曖昧な面がある。Zadeh(1965)はこうした曖昧さを定量的に解析するためファジイ集合の概念を提案した。その後、Zimmermann(1978)によりファジイ目標とファジイ制約を考慮した意思決定の考え方が線形計画問題に導入された。ファジイ線形計画とは、意思決定者がある志望水準をもっており、それをできるだけ満たすというファジイ目標と、制限量をあまり越えないというファジイ制約がついている形の線形計画問題である(40)。

ここで、まずファジイ線形計画法の定式化を簡単に述べよう。全体集合 $X$ におけるファジイ集合 $A$ は $\mu_A: X \rightarrow M = [0, 1]$ なるメンバシップ関数 $\mu_A$ によって特性づけられた集合である。ここで $M$ はメンバシップ空間と呼ばれ、値 $\mu_A(x) \in M$ は $A$ における $x$ の帰属度を表す。いわば $\mu_A(x)$ の値が1に近ければ $x$ の $A$ に属する度合は大きく、0に近ければその度合は小さい。

Zimmermannは、ファジイ目標とファジイ制約をもつ線形計画問題に対して、意思決定者が主観的にメンバシップ関数を線形の関数であると仮定してファジイ決定に対する最大化決定を採用すれば、通常の線形計画問題として解けることを示した。

従来の線形計画問題：

$$\text{Min} \quad z = cx$$

$$\text{Sub.to} \quad Ax = b$$

$$x \geq 0$$

に対して次のようなファジイ目標とファジイ制約をもつ問題が取り上げられる。

ファジイ目標 :  $\mathbf{c}\mathbf{x} < z_0$

ファジイ制約 :  $\mathbf{A}\mathbf{x} < \mathbf{b}$

$$\mathbf{x} \geq 0$$

この問題は「目的関数  $\mathbf{c}\mathbf{x}$  をだいたい  $z_0$  以下にしたい」というファジイ目標と、「制約  $\mathbf{A}\mathbf{x}$  をだいたい  $\mathbf{b}$  以下にしたい」というファジイ制約が与えられている。

ファジイ目標とファジイ制約は決定に対して同じ役割を果たすと考えて、目標と制約を纏めて次のように表した。

$$\begin{array}{lll} \mathbf{B}\mathbf{x} < \mathbf{b}' \\ \mathbf{x} \geq 0 \end{array} \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{c} \\ \mathbf{A} \end{bmatrix} \quad \mathbf{b}' = \begin{pmatrix} z_0 \\ \mathbf{b} \end{pmatrix}$$

ファジイ不等式  $\mathbf{B}\mathbf{x} < \mathbf{b}'$  の  $i$  番目の不等式

$(\mathbf{B}\mathbf{x})_i < b_i$  ( $i = 0, 1, \dots, m$ ) に対して次のような線形メンバーシップ関数を定義する。

$$\mu_i((\mathbf{B}\mathbf{x})_i) = \begin{cases} 1 & ; (\mathbf{B}\mathbf{x})_i \leq b_i \\ 1 - \frac{(\mathbf{B}\mathbf{x})_i - b_i}{d_i} & ; b_i \leq (\mathbf{B}\mathbf{x})_i \leq b_i + d_i \\ 0 & ; (\mathbf{B}\mathbf{x})_i \geq b_i + d_i \end{cases}$$

$d_i$ : 幅値であり、意志決定者が主観的に決定したものである。そこで、このファジイ線形計画問題は

$$\mu_D(\mathbf{x}^*) = \max_{\mathbf{x} \geq 0} \min_{0 \leq i \leq m} \{\mu_i((\mathbf{B}\mathbf{x})_i)\}$$

を満たす  $\mathbf{x}^*$  を求める問題である。すなわち、最小のメンバーシップ関数値を最大にするような  $\mathbf{x}^* \geq 0$  を求める問題である。ここで

$$b_i'' = b_i / d_i, \quad (\mathbf{B}\mathbf{x})_i = (\mathbf{B}\mathbf{x})_i / d_i$$

とおけば上式は

$$\mu_D(\mathbf{x}^*) = \max_{\mathbf{x} \geq 0} \min_{0 \leq i \leq m} \{1 + b_i'' - (\mathbf{B}'\mathbf{x})_i\}$$

となり、結局次式で与えられる通常の線形計画問題に変換することができる。

$$\text{Max } \lambda$$

$$\text{Sub. to } \lambda \leq 1 + b_i'' - (\mathbf{B}'\mathbf{x})_i \quad i = 0, 1, \dots, m$$

$$x \geq 0$$

このようにして単一目的関数をもつファジイ線形計画ができたことになる。この考え方は直ちに目標計画問題と多目的線形計画問題にも適用できる。

ここで、モデル I の長期経営計画に関する最適化問題に上述のファジイ理論を適用すれば次のファジイ LP モデルを定式化することができる。

目的関数：

$$\text{Max} z = \lambda \quad (3-10)$$

制約式：

A. 初期の齢級配置

$$\sum_{j=\max(0, i+a_0)}^{\min(i+a_0, T)} x_{ij} + e_{i+T+1} = A_i \quad \forall i = -p_0, \dots, -p_y \quad (3-11)$$

B. 分期収穫及び更新面積

$$\sum_{i=\max(-p_0, k-a_0)}^{k-a_0} x_{ij} + b_k - \sum_{j=k+a_0}^{\min(T, k+a_0)} x_{ij} - b_{k+1} - e_{T+1-k} = 0 \quad \forall k = 1, 2, \dots, T \quad (3-12)$$

C. 初期の裸地面積

$$b_0 = A_0 \quad (3-13)$$

D. 目標齢級配置

① だいたい  $N_{kl}$  以上であり、すなわち  $\lambda(N_{kl}) = 0$

$$\lambda \leq \frac{e_k - N_{kl}}{N_k - N_{kl}} \quad \forall k = 1, 2, \dots, r \quad (3-14)$$

② だいたい  $N_{kw}$  以下であり、すなわち  $\lambda(N_{kw}) = 0$

$$\lambda \leq 1 - \frac{e_k - N_k}{N_{kw} - N_k} \quad \forall k = 1, 2, \dots, r \quad (3-15)$$

③ 齢級が増えるとともに齢級面積を上回らない制約

$$e_k - e_{k+1} \geq 0 \quad \forall k = 1, 2, \dots, r \quad (3-16)$$

E. 森林総面積

$$\sum_{i=-p_0}^{-p_y} \left( \sum_{j=\max(0, i+a_0)}^{\min(i+a_0, T)} x_{ij} + e_{i+T+1} \right) + b_0 - N = 0 \quad (3-17)$$

F. 分期収穫量の波動範囲

① 前、後分期間の収穫量の差がだいたい  $y_l$  以上であり、



$$\lambda(y_i) = 0$$

$$\lambda \leq \frac{\left( \sum_{i=p_0}^{T-a_y} v_{ij} x_{ij} - \sum_{i=p_0}^{T-a_y} v_{ij} x_{i,j+1} \right) + y_i}{-y_i} \quad \forall j = 1, 2, \dots, T-1 \quad (3-18)$$

② 前、後分期間の収穫量の差がだいたい  $y_u$  以下であり、

$$\lambda(y_u) = 0$$

$$\lambda \leq \frac{y_u - \left( \sum_{i=p_0}^{T-a_y} v_{ij} x_{ij} - \sum_{i=p_0}^{T-a_y} v_{ij} x_{i,j+1} \right)}{y_u} \quad \forall j = 1, 2, \dots, T-1 \quad (3-19)$$

G. 分収面積を下回らない制約:

$$\sum_{i=p_0}^{T-a_y} x_{ij} - \sum_{i=p_0}^{T-a_y} x_{i,j+1} \leq 0 \quad \forall j = 1, 2, \dots, T-1 \quad (3-20)$$

H. 元々の目的関数からの制約

① 現純値 (PNV) を目的関数として考える場合:

$$\lambda \leq \frac{\sum_{i=p_0}^{T-a_y} \sum_{j=\min(i+a_y)}^{\min(i+a_y)} v_{ij} x_{ij} + w_r - Y_L}{Y_U - Y_L} \quad (3-21)$$

② 総収穫量を目的関数として考える場合

$$\lambda \leq \frac{\sum_{i=p_0}^{T-a_y} \sum_{j=\min(i+a_y)}^{\min(i+a_y)} y_{ij} x_{ij} + s_r - M_L}{M_U - M_L} \quad (3-22)$$

I. 非負の制約:

$$\begin{aligned} x_{ij} &\geq 0 & \forall i, j \\ x_k &\geq 0 & \forall k \\ b_k &\geq 0 & \forall k = 0, 1, 2, \dots, T+1 \end{aligned} \quad (3-23)$$

ここで、モデル I で使われた記号以外、新たに次の記号を定義した。

$\lambda$  = ファジイ線形計画モデルの決定変数

$N_{kl}$  = 第  $k$  齢級の理想齢級配置の下限

$N_{ku}$  = 第  $k$  齢級の理想齢級配置の上限

$y_l$  = 前後分収の収穫量差の下限

$y_u$  = 前後分収の収穫量差の上限

$Y_L$  = 現純値 (PNV) の最低志望値

$Y_U$  = 現純値 (PNV) の最高志望値

$M_L$  = 総収穫量の最低志望値

$M_U$  = 総収穫量の最低志望値

目的関数 (3-10) はメンバシップ関数  $\lambda$  を最大にすることである。制約 (3-14) と (3-15) は明確な値の代わりに理想年齢級配置に対してある程度で緩める条件を定義するものである。制約 (3-18) と (3-19) は元々の収穫量に関する逡増条件の代わりに前、後分期間の収穫量の変動範囲を与えるものである。制約 (3-21) と (3-22) は計画期間の現純値 (PNV) と総収穫量の最低及び最高志望値を指定するものであるが、実践中この二つの制約条件から一つを選んでモデルに入れる。その他の制約式はモデル I と同じである。

**モデルⅢ 長期経営計画の目標計画モデル** 森林経営計画を策定する際、与えられた制約条件のもとで複数個の目的に対して設定された目標値にできる限り近づけることを追求する場合がある。これは、目的関数との差異の絶対値の和を最小化するという線形目標計画 (Goal Programming) (CharnesとCooper(1961)) 問題である。

これは線形計画の個々の単一目標よりむしろ複数個の目標を同時に考慮する問題として取り扱う。まず  $k$  個の線形の目的関数に対してそれぞれ目標値を設定する。通常、これらの複数個の目標は、他の目標を犠牲にしてのみ達成可能である

いま  $k$  個の線形の目的関数

$$z_1 = c_1 x$$

$$z_2 = c_2 x$$

.....

$$z_k = c_k x$$

が存在し、これらの目的関数  $z_1, z_2, \dots, z_k$  に対する目標値

が  $g_1, g_2, \dots, g_k$  で与えられて、さらに次の線形制約条件を満足するとする。

$$Ax \leq b$$

$$x \geq 0$$

そして、各目標値からの差異の絶対値の和を利用して目標値にできる限り近づけるような実行可能解を求める問題は次のように定式化される。

$$\text{Min} \quad \sum_{i=1}^k |c_i x - g_i|$$

$$\text{Sub. to} \quad Ax \leq b$$

$$x \geq 0$$

この問題では、もし実行可能解が存在すれば最適解も存在することがわかる。目的関数としては相互に共通性がなく、相競合しているものを選ぶことが必要である。

ここで、長期経営計画に対して次の線形目標計画モデルを定式化した。

目的関数：

$$\text{Min} z = p_1(d_1^+ + d_1^-) + p_2(d_2^+ + d_2^-) \quad (3-24)$$

制約式：

モデル I の (3-1) ~ (3-9) 式を適用したうえで次の二つの制約式を加える。

A. PNV の制約

$$\sum_{i=a_0}^{T-a_0} \sum_{j=i+a_0}^{\min(i+a_0, T)} v_{ij} x_{ij} + w_r - d_1^+ + d_1^- = g_1 \quad (3-25)$$

B. 木材収穫量の制約

$$\sum_{i=a_0}^{T-a_0} \sum_{j=i+a_0}^{\min(i+a_0, T)} y_{ij} x_{ij} + s_r - d_2^+ + d_2^- = g_2 \quad (3-26)$$

ここで新たに次の記号を導入した。

$P_i$  = 目的関数の絶対優先順位係数

$d_i^+ & d_i^-$  = 各目標に対する差異係数

$g_1$  = 計画期間の現純値 (PNV) の目標値

$g_2$  = 計画期間の総収穫量の目標値



モデル I に比べて二つの制約式を加えたが、目的関数 (3-25) は現純値と総収穫量の両目標の達成度を測るものである。制約式 (3-25) と (3-26) は現純値と木材収穫量の目標値を規定するものである。このモデルを利用すると矛盾が存在する現純値と総収穫量を同時に目標達成させることができる。

**モデル IV ファジイ目標計画モデル** 普通の線形目標計画法に複数の曖昧な目標を加えるとファジイ目標モデルを定式化することができる (99)。ここでは各目標に関するメンバシップ関数の代数和を最大にするという考え方にに基づいて、次の長期経営計画におけるファジイ目標計画法を定式化した。

目的関数：

$$Maxz = (w_1\lambda_1 + w_2\lambda_2) \quad (3-27)$$

制約式：

ここで、まずモデル I の (3-1) ~ (3-9) 式を適用しながらさらに次の二つの制約条件を加える。

A. 現純値の制約：

$$\lambda_1 \leq \frac{\sum_{i=P_0}^{T-a_s \min(i+a_s)} \sum_{j=i+a_s} v_{ij} x_{ij} + w_r - P_l}{P_u - P_l} \quad (3-28)$$

B. 総収穫量制約：

$$\lambda_2 \leq \frac{\sum_{i=P_0}^{T-a_s \min(i+a_s)} \sum_{j=i+a_s} y_{ij} x_{ij} + s_r - Y_l}{Y_u - Y_l} \quad (3-29)$$

ここで新たに次の記号を導入した。

$\lambda_i$  = 第  $i$  番目の目的関数の関するメンバシップ関数

$w_i$  = 第  $i$  番目の目的関数に付けられる重み

$$\left( \sum_{i=1}^n w_i = 1 \right)$$

$P_l$  = 現純値 (PNV) の下限目標値

$P_v$  = 現純値 (PNV) の上限目標値

$Y_l$  = 計画期間の総収穫量の下限目標値

$Y_u$  = 計画期間の総収穫量の上限目標値

ここで目的関数 (3-27) は両目標の共通の達成程度を測るものである。制約式 (3-28) と (3-29) は現純値と総収穫量の志望値を規定するものである。このモデルを用いると目的関数に重みをつけて目標達成をはかることができる。

**モデル V 長期経営計画の多目的 LP モデル** 森林経営  
施業計画を策定する際、往々にして複数の相競合な目標を同時に考慮しなければならないことがある。このような複数の線形の目的関数を線形の制約条件の下で最適化する問題は、多目的線形計画問題 (Multiobjective Linear Programming) と呼ばれている。その定式は次のように表すことができる。

$k$  個の目的関数

$$z_1(x) = c_1x$$

$$z_2(x) = c_2x \quad \rightarrow \quad z(x) = cx$$

.....

$$z_k(x) = c_kx$$

を線形の制約条件

$$Ax \leq b$$

$$x \geq 0$$

のもとで同時に最小化しようとする問題である。

このように多目的関数問題では目的関数ベクトルとなるため、通常のスカラ値の目的関数をもつ単一目的の場合の最適解と同じように論ずることはできない。容易にわかるように、互いに競合する目的関数群に対して同時に最適化するような完全最適解は一般に存在しない。ある目的関数の値を改善するために、少なくとも他の一

つの目的関数の値を改悪せざるを得ないような解がわれわれにとって有効である。こうした解はパレート最適解と呼ばれている。パレート最適解は複数個存在するが、すべてのパレート最適解は、上式の目的関数群から一つずつ目的関数を選んで解いたパレート最適端点の凸結合で表すことができる。したがって、真に望ましい解は個々の凸結合の中に存在している。

ここで、現純値と総収穫量の二つの目標を考えて次の長期経営計画に関する多目的計画モデルを定式化した。

第一目標：

$$Maxz_1 = \sum_{j=-p_0}^{T-d_f} \sum_{i=1+d_f}^{\min(i+d_f, T)} v_{ij} x_{ij} + w_f \quad (3-30)$$

第二目標：

$$Maxz_2 = \sum_{j=-p_0}^{T-d_f} \sum_{i=1+d_f}^{\min(i+d_f, T)} y_{ij} x_{ij} + s_f \quad (3-31)$$

制約式：

モデルⅠの(3-1)～(3-9)式と全く同じである。

二つの目的関数のトレード・オフを行うことによって長期経営計画に貨幣収益と木材収穫量の両目標を同時に配慮することができる。

モデルⅥ ファジイ多目的計画モデル 森林経営計画のすべての目標値は、明確に与えることができないことが少なくない。こうした場合、中期経営計画問題をファジイ多目的計画問題として考究する必要がある。そこで、モデルⅤをファジイモデルにすると次の定式が得られる。

目的関数：

$$Max \ z = \lambda \quad (3-32)$$

制約式：

モデルⅠの(3-1)～(3-9)式と全く同じにしたうえで次の各目的関数の志望値に関する制約を加える。



A. 現純値目的関数の制約 :

$$\lambda \leq \frac{\sum_{i=a-j_0}^{T-a_j} \sum_{j=1+a_j}^{\min(i+a_j)} v_{ij} x_{ij} + w_r - Z_1^o}{Z_1^u - Z_1^o} \quad (3-33)$$

B. 総収穫量目的関数の制約 :

$$\lambda \leq \frac{\sum_{i=a-j_0}^{T-a_j} \sum_{j=1+a_j}^{\min(i+a_j)} v_{ij} x_{ij} + s_r - Z_2^o}{Z_2^u - Z_2^o} \quad (3-34)$$

ここで、新たに次の記号を用いた。

$\lambda$  = 多目的関数に関するメンバシップ関数

$Z_1^o$  = 現純値目標値の志望水準

$Z_1^u$  = 現純値目標値の上限

$Z_2^o$  = 総収穫量目標値の志望水準

$Z_2^u$  = 総収穫量目標値の上限

目的関数(3-32)は、すべての目標が同時に満足される程度を測るものである。制約(3-33)と(3-34)式は各目標の志望値を与えるものである。このモデルによって、二つの目的関数に関する志望水準をメンバシップ関数で表現し、それを最大にするようなパレート最適解を求めることができる。

このシステムは以上の6つのモデルが含まれる。場合によって必ずしもすべてのモデルを選択する必要がない。関心のあるモデルだけを構築して、それらの解を分析したうえで望ましい結果を得ることができる。またこれらのモデルによって決定されたのは分期ごとに伐採する面積であるので、意思決定者はGISデータの助けを借りて具体的な小班を割り当てる必要がある。

**適用例** この用材林長期経営計画策定システムを千葉演習林全域のスギ、ヒノキ施業実験林に適用した。森林の総面積は658.86ヘクタールで352個の小班から

なっている。平均地位は 2 である。ここで、すべての小班に対して年齢間隔を 10 年として、表 3-2 のような年齢配置が得られた。同時に図 3-2 のように対象森林の年齢分布を描くことができる。図 3-2 から、この森林の年齢分布が極めて凹凸のあるパターンを示し、特に中間の 5、6 年齢の面積が少ないことがわかった。表 3-3 は本演習林の資料に基づいて作成された地位Ⅱのスギとヒノキ収穫表(45)であり、これによって平均成長量の最大に達するのは 55 年であることがわかる。そこで、現時点の森林では老齢林(8 年齢以上)の割合が高いので、一定の計画期間を設けて森林整備を行う必要があると考えられる。この対象森林に本節に述べたモデルを適用するために次のような条件を採用した。

- ① 5 年齢以上から小班を伐採し始めて、11 年齢までの小班をすべて伐採する ( $a_0=5$ ,  $a_T=11$ )
- ② 伐採したら同分期限内に更新する
- ③ 計画期間を 80 年(8 年齢)とし、8 分期末法正状態を実現する
- ④ 目的関数は計画期間の総収穫量と総貨幣収入を最大にすることである
- ⑤ 各分期末の収穫量と収穫面積に様々な条件を付ける

まずモデル 1 に関する他のパラメータは表 3-2 ~ 表 3-4 のように与えたが、ただし、表 3-3 の千葉演習林収穫表は立木度を 10 とする場合のものであり、現実の森林の 7 で修正しなければならない。表 3-4 の現純値収入は利子を 5% として計算されたものである。森林の理想状態は基本的に法正林モデルによって定まる。本節の最適化モデルをワーク・ステーションを通じて大型コンピュータで解いた。

さて、モデル 1 を適用する結果を分析する。ここで、

このシステムから得られるすべての計画代替案を互いに比較するために、まずモデルⅠの制約(3-7)と(3-8)を外して、モデルⅠを対照解として解いて表3-5の長期経営計画問題の最適解を求めた。この場合、単に計画期間の総収穫量を最大にすることを目的とするので、できる限り平均成長量最大の齢級で収穫しようとする傾向が生ずる。結局、現実の森林に対して平均伐期齢を越える小班をすべて第Ⅰ分期に収穫して、第Ⅱ分期から理想状態を作ってしまうという、最も簡単な代替案Ⅰが決定された。代替案Ⅰでは、総収穫量を最大にする目標を達成しているが、分期間の収穫面積及び収穫量に大きな変動が生じている。一方、モデルⅠをそのまま解いて表3-6の代替案Ⅱを得た。代替案Ⅱでは、代替案Ⅰより総収穫量は $16858.5\text{ m}^3$ 減少するが、分期ごとの伐採面積を均一化させることができた。代替案Ⅱは労働力及び生産設備が急に変更できない場合、適切な計画であると筆者は考える。次いで計画期間の総現純値を目的関数として、制約(3-7)と(3-8)を外してモデルⅠによって得られた代替案を分析する。代替案Ⅰの制約条件のもとで解いた総現純値最大の代替案Ⅲは表3-7の通りである。この結果では、第Ⅰ分期の収穫面積が森林総面積の約1/2を占めている。一方、モデルⅠのすべての制約のもとで代替案Ⅳが得られたが、この案では各分期の収穫面積がほぼ均一にできたものの、総現純値は代替案Ⅲよりおよそ41%の109357.46千円減少することを示している。

ここで、古典的法正状態を森林の理想状態として追求することが最も合理であるかどうかを考究するために、鈴木教授の広義の法正状態を理想状態としてこのシステムに適用した。つまり、平均伐期齢を80年とし、変動係数を10%として広義の法正林齢級配置を求めたが、



その結果は表 3-9 に示されている。これをモデル I の理想状態として新たに最適解を解いた。その中で、分期ごとの収穫量が制限されない場合については、表 3-9 の代替案 V となったが、この結果、分期ごとの伐採面積が代替案 I とほぼ同じであるが、計画期間の総収穫量は少しだけ減少した。逆に分期ごとの収穫量を下回らない制約を加えると、作成された代替案 VI は同じ制約のもとで古典的法正状態を理想状態とする代替案 II より総収穫量が若干増加し、分期ごとの収穫面積の均一性も改善されている。その結果は表 3-10 の通りである。以上のことから、古典的法正状態はこのモデルにとって唯一の理想状態でないことがわかった。

第二に、モデル II のファジィ LP 線形計画の最適解を考察する。まず計画期間の総収穫量の志望水準を  $550,000\text{m}^3 \sim 570,000\text{m}^3$ 、分期ごとの収穫量の変動の許容範囲を  $\pm 5,000\text{m}^3$ 、理想状態の齢級分布を  $74.25 \sim 90.75\text{ha}$  としてメンバシップ関数  $\lambda$  を最大にする問題を解いたが、その結果は表 3-11 の代替案 VII となった。この代替案では各分期の収穫量がほぼ均等になったが、収穫量が代替案 I より  $10871.8\text{m}^3$  落ちた。一方、代替案 VII と同じ制約条件のもとで総現純値を  $170,000 \sim 190,000$  千円として、新たな表 3-12 の代替案 VIII が得られた。

第三に、モデル III とモデル IV によって表 3-13 と表 3-14 の代替案 IX と X が得られたが、両代替案の結果からファジィ目標線形計画モデルの解は通常の LP の最適解より柔軟性があり、実用的であると結論できる。

第四に、モデル V と VI から得られた表 3-15 と表 3-16 の代替案 XI と XII を考察すると、やはりファジィパレート解の方がさらに実用的であると考えられる。

以上の 11 個の代替案の結果を比較分析した結果をま

とめたのが表3-17である。これの結果の中から、どの代替案を採用すべきかということは森林の経営目標や生産整備状況などを総合的に考慮して決定すべきである。

なお、以上のLPモデルによって分期ごとに施業する齢級面積が決定されたが、ただ同一の齢級の小班はいくつかの分期に割り振る場合もあるし、逆に同一の分期に複数の齢級の小班を施業する場合もある。したがって、GISを用いて第1分期に施業する小班あるいは小班の一部を決定しなければならない。

### 3・3 森林の多面的利用に関する長期経営計画策定システム

前節では木材生産を経営目標とする長期経営計画策定システムについて考究したが、総合的な森林経営計画においては各施業集団の各小班の具体的な状況に基づいて対応する経営目標及び投入・産出額を提案すべきであると筆者は考えている。そこで、本節では、地域森林の木材生産、水源かん養及び保健文化機能を総合的に利用するために、計画期間全体にわたって一連の経営戦略を決定できる計画策定システムを開発した。

森林経営の知識によると、任意の林齢の小班に対して、その経営目的に基づいて各分期に一連の可能な施業方法を定義することができる。ここで、各々の施業方法を一つの決定変数として取り扱って、次の経営戦略最適化モデルを作成した。

目的関数：

① 計画期間の総収穫量：

$$\text{Max} z_1 = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{S_i} \sum_{k=1}^{R_{i,j}} a_{i,j} v_{i,j,k} d_{i,j,k} \quad (3-35)$$

② 計画期間の訪問者総数：

$$Maxz_1 = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{S_i} \sum_{k=1}^{P_{i,j}} a_{i,j} r_{i,j,k} d_{i,j,k} \quad (3-36)$$

③ 計画期間の土砂流出総量：

$$Minz_3 = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{S_i} \sum_{k=1}^{P_{i,j}} a_{i,j} s_{i,j,k} d_{i,j,k} \quad (3-37)$$

制約式：

土地利用制約

$$\sum_{k=1}^{P_{i,j}} d_{i,j,k} = 1, \quad \forall i, j \quad (3-38)$$

木材収穫制約

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{S_i} \sum_{k=1}^{P_{i,j}} (y_{i,j,k,t} + u_{i,j,k,t}) a_{i,j} d_{i,j,k} - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{S_i} \sum_{k=1}^{P_{i,j}} (y_{i,j,k,t-1} + u_{i,j,k,t-1}) a_{i,j} d_{i,j,k} \geq 0 \quad \forall t \quad (3-39)$$

皆伐面積制約

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{S_i} \sum_{k=1}^{P_{i,j}} c_{i,j,k,t} d_{i,j,k} \leq c_t \quad \forall t \quad (3-40)$$

変数の定義

$$0 \leq d_{i,j,k} \leq 1 \quad (3-41)$$

( $i$  施業集団の  $j$  小班に対してより小さい面積に分けてさまざまな施業方法が採用できる場合)

$$d_{i,j,k} = \{0, 1\} \quad (3-42)$$

( $i$  施業集団の  $j$  小班に対して同一の施業方法が採用されなければならない場合)

ここで

$d_{i,j,k}$  = 第  $i$  施業集団の第  $j$  小班に施業方法  $k$  で経営する面積の割合

$v_{i,j,k}$  = 第  $i$  施業集団の第  $j$  小班に施業方法  $k$  で経営した時に計画期間にわたって収穫される木材量 ( $m^3/ha$ )

$r_{i,j,k}$  = 第  $i$  施業集団の第  $j$  小班に施業方法  $k$  で経営した時の訪問者数 ( $visitor-day/ha/yr.$ )



$s_{i,j,k}$  = 第  $i$  施業集団の第  $j$  小班に施業方法  $k$  で経営した時に  
起こる土砂流出量 ( $m^3/ha/yr.$ )

$y_{i,j,k,t}$  = 第  $i$  施業集団の第  $j$  小班に施業方法  $k$  で経営した時に、  
第  $t$  分期に収穫される木材主伐量 ( $m^3/ha$ )

$u_{i,j,k,t}$  = 第  $i$  施業集団の第  $j$  小班に施業方法  $k$  で経営した時に、  
第  $t$  分期に収穫される木材間伐量 ( $m^3/ha$ )

$c_{i,j,k,t}$  = 第  $i$  施業集団の第  $j$  小班に施業方法  $k$  で経営した時に、  
第  $t$  分期に割当てられる皆伐面積 ( $ha$ )

$c_t$  = 第  $t$  分期に許容される皆伐面積の上限 ( $ha$ )

$i$  = 地域森林における施業集団の番号 ( $i = 1, 2, \dots, M$ )

$j$  = 施業集団内の小班的番号 ( $j = 1, 2, \dots, S_i$ )

$k$  = 定義された潜在的な施業方法番号 ( $k = 1, 2, \dots, P_{ij}$ )

$t$  = 分期の番号 ( $t = 1, 2, \dots, N$ )

目的関数 (3-35) と (3-36) はそれぞれ伝統的な木材  
収穫量を最大にするものと、レクリエーションのために  
訪ねる人数 (人天数/年) を最大にするものである。目的  
関数 (3-37) は経営行為によってもたらされる土砂流出  
量 ( $m^3/年$ ) を最小にするものである。制約 (3-38) は小  
班のすべての面積をすでに定義されている可能な経営処  
方で経営することである。制約式 (3-39) は分期の木材  
収穫量が下回らないことを規定する。制約 (3-40) は  $t$   
分期の皆伐面積の上限を規定する。制約 (3-41) はこの  
長期経営計画問題が混合整数線形計画モデルであることを  
定義する。このモデルを用いて目的関数間のトレー  
ド・オフによって異なるパレート解を見つけることができ  
る。同時にその結果を GIS によって表示したり分析  
したりすることができる。そこで意思決定者は自分の判  
断によって最終の経営戦略を選定することができる。

適用例 適用例としてすでに第 2 章の最適配分法に適

用した地域のデータを用いた。この地域は森林機能によって3つの施業集団に分けられた。ここでは分期を10年とし、計画期間を30年とする長期経営計画を策定する。

まずすべての小班に対して、一連の潜在的な施業方法を提示する。その結果は表3-18の通りである。例えば、各小班に対して間伐時期、主伐時期などを明示することができる。その中で、流出量及び訪問者数は文献(41)によって決められたものである。そこでこの長期戦略計画問題は、31行と68個の0-1変数と11個の連続変数からなる多目的混合整数線形計画モデルにまとまった。

決定手順としては、まず連続のLPモデルを解いた結果をGISによって分析したうえで0-1変数を決定する。次に一連の目的モデルのパレート解とその解の空間的なレイアウトに基づいてシミュレートする。最後に一番望ましい代替案を決定する。この適用例について最終的に決定された案は表3-19のように表すことができる。ここで、最も重要な目標は木材生産であり、第二と第三の目標はそれぞれ土砂流出量と保健文化の利用者数が選ばれた。その結果に対応する空間レイアウトは図3-4の通りである。

このモデルでは森林を多面的に利用するための長期経営計画問題を総合的に考えた。その重要なポイントは、森林地域がさまざまな機能をもつ林分で構成される生態系として、生物、地理及び行政的な要因に基づいてその経営計画を策定することである。

本章で長期経営計画策定システムに関する3つの方法を提示したが、実践にあたって意思決定者は地域森林の主な経営動向にしたがって適切な方法を選ぶ必要がある。

## 第4章 中期施業計画策定システム

### 4. 1 はじめに

第3章では長期経営計画策定システムについて考究した。このシステムを利用すると、施業対象の森林に期待されている木材等生産、国土保全、水源かん養、保健文化などの機能や森林更新及び作業条件などを検討しながら、各分期にどの小班にどのような施業を行うべきかということを決定することができる。

しかしながら、現実の森林状態及び意思決定に関する要因が時間とともに変化しているので、これらの変化に対応して、以前決定された長期経営計画は各分期にはいる前に修正する必要がある。すなわち、通常施業計画は、上述の長期経営計画策定システムによって得られた結果に基づいて、第1分期において実行すべき施業に関する場所と年次を明らかにするが、第2分期以降の計画内容を第1分期が終了する直前に新たな決定要因に基づいて修正しなければならない。そこで、中期施業計画とは、第1分期の計画内容だけを年次ごとに具体化すると同時に、その施業に必要な労働量を年次ごとに合理的に配分するものであると筆者は考えている(33)。つまり、中期計画策定の主な任務は、できる限り毎年雇用される労働量を安定化させるように各種施業を年次ごとに配分することである。因みに中期施業計画では、施業集団ではなく各小班を対象として作業を取り扱うことにする。

中期施業計画策定システムでは、まず森林施業の実行に必要な労働量を考慮の対象としなければならない。また施業功程に基づいて各年次に主伐、間伐、植林、下刈、除伐及び枝打などの育林作業を実行すべき小班を決定しなければならない。そこで、本章ではまず 0-1 線形計画



法、シミュレーション法とGISを利用して作成した中期施業計画策定システムを分析し、さらに千葉演習林に対する適用例を通じてその特質を考究する。

#### 4・2 中期施業計画策定システムの概要

この中期施業計画策定システムは、次の二つの部分から構成されている。第一部分としては、1分期間に含まれる各年次ごとに伐採小班の順序を決定する最適化モデルである。第二部分というのは、拡大造林地、再造林地あるいは幼齢林分にかかわる育林作業を割り当てるシミュレーション・システムである。本節では、まず伐採小班を決定するために0-1線形計画モデルを構築し、次いで育林作業を配分するためのシミュレーション・システムを開発し、最後にこの中期施業計画策定システムを千葉演習林の経営に適用してその特徴を分析した。

##### 4・2・1 0-1計画法による伐採小班決定モデル

森林施業は収穫施業と育林施業の2種類に分けられる。前者は皆伐、択伐及び漸伐の3種類の作業を含んでいる。後者は面積測量、地ごしらえ、苗木運搬仮植、区画、植付、下刈、補植、つる切、除伐、枝打、間伐及び生長測定などの12種類の作業から構成される。森林施業基準に基づいて、上述のすべての育林施業は拡大造林地、再造林地及び幼齢林に対して行われる。したがって、小班の伐採年次は一連の育林作業及び必要な労働量に直接に影響を与えている。そこで、中期施業計画を策定するに当たって、最初に年次ごとにどこの小班を伐採するかを確定する必要がある。この問題には現実の経営の集約度ならびに利用可能な労働量に応じてさまざまな条件が課せられる。そこで、数理計画法を用いてこの問題を解決

するのは適切であると筆者は考えた。

したがって、ここでは第1分期において伐採予定の小班に与えられた条件のもとで伐採順序を最適に決定する方法を考えた。この方法は次のような線形計画問題として記述することができる。

まず、所与の森林における長期計画の第1分期に伐採すべき小班は  $n$  個とし、その面積をそれぞれ

$$a_1, a_2, \dots, a_n$$

で表すことにする。

いま、第1分期を  $m$  年間からなるとし、各小班に対して伐採する予定の年次を表示する決定変数  $x_{ij} (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$  を定義する。つまり  $x_{ij}$  は、第  $i$  小班が第  $j$  年次に伐採されれば 1、伐採されなければ 0 をとるものと定める。ここで伐採を小班ごとに行うという条件を仮定すれば、この伐採順序問題は次の 0-1 線形計画モデルによって表すことができる。

目的関数：

$$\text{Max} z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \quad \forall i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m. \quad (4-1)$$

制約条件：

① 年次ごとの伐採面積制約

$$S_j \leq \sum_{i=1}^n a_i x_{ij} \leq S_u \quad \forall j=1, 2, \dots, m \quad (4-2)$$

② 年次ごとの収穫量制約

$$C_l \leq \sum_{i=1}^n a_i v_{ij} x_{ij} \leq C_u \quad \forall j=1, 2, \dots, m \quad (4-3)$$

③ 各小班に関する制約

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1 \quad \forall i=1, 2, \dots, n \quad (4-4)$$

④ 林道整備状況にかかわる制約

$$x_{ij} = 0 \quad (4-5)$$

第  $i$  小班の第  $j$  年次に林道が利用できない場合

⑤ 0-1 決定変数に関する制約

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad \forall i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (4-6)$$

ここで

$c_{ij}$  = 第  $i$  小班を第  $j$  分期に伐採する時の材積収穫量 ( $m^3$ ) あるいは貨幣収益 (円)

$v_{ij}$  = 第  $i$  小班を第  $j$  分期に伐採する時の単位面積当たりの材積 ( $m^3/ha$ )

$S_i$  = 各年次における伐採面積の下限 ( $ha$ )

$S_u$  = 各年次における伐採面積の上限 ( $ha$ )

$C_i$  = 各年次における収穫量の下限 ( $m^3$ )

$C_u$  = 各年次における収穫量の上限 ( $m^3$ )

この 0-1 線形計画モデルを用いて、設定されたパラメータに基づいて年次ごとに伐採する小班を確定することができる。ここでは、目的関数は第 1 分期間の木材生産量あるいは貨幣収入量を最大にするものである。制約式 (4-2) 及び (4-3) は各年次に生産をできるだけ均衡に維持しようとはかるものである。制約式 (4-4) は伐採対象とする小班は分期間に必ず 1 度だけ伐採することを規定するものである。制約式 (4-5) は伐採計画が進むとともに林道開設をも行う分期において必要である。制約式 (4-6) はこの最適化問題を 0-1 整数計画モデルで表すと定義する。なお、中期施業計画における具体的な問題に対応して、その他の制約条件を追加することが可能である。

以上の 0-1 問題を分岐限定法によって解いたうえで、その結果を GIS 図面上に表示し、分析することができる。実際には、最初に得られた小班の伐採計画は必ずしも適当ではない。不要な条件を外したり、新たな条件を加わ



えたりすることによって、意思決定者は施業条件の整備状況、労働量の供給状況などの条件を眺めながらその解の有効性を調べ、改めて定式化をして新しい計画を建てる必要がある。

#### 4・2・2 シミュレーションによる育林作業配分システム

前節で中期施業計画策定システムにおける第一部分の内容について述べた。第二部分として、各年次にかかる労働量を均等に配分するためのシミュレーションによる育林施業の配分システムを開発した。この部分では、伐採を予定している小班だけではなく、すべての小班的施業について考慮しなければならない。なぜならば、第1分期までにすでに造林された幼齢林分の小班に対して育林作業を実施しなければならないし、つる刈り、除伐などの保育を行う必要もある。除伐、枝打及び間伐などの作業実施時期については、一定の範囲に規制されるものの、その時期が年次ごとに具体的に決定されなければ労働量を均等に配分することができない。そこで、上述のような定式化できない問題は、シミュレーション手法を利用するのが効率的である。そこで、dBASE IVを基にして次の機能をもつ育林施業配分システムを開発した。

まずデータベースから対象とする分期に育林施業を実行すべき林齢に達している小班を検索して、その施業時期を中間林齢にして分期間に必要な労働量を概算する。これによって年次ごとに必要な労働量の平均値を推算することができる。年平均労働量のバラツキに関する許容誤差限界を与えてから、各種施業の作業時期を繰り返し調整しながら、年次ごとに雇用される労働量が均等になるように配分する。

以上の二つの部分から構成される中期施業計画策定シ

システムは、図4-1のフローチャートで表すことができる。まずこのシステムに必要な施業基準及び作業工程表のデータを入力する。これは林を伐採したり、林を仕立てたりする場合、どのような作業をいつ実行すべきか、また、その作業に要する労働量は何人日かというデータである。森林基本図、森林調査簿などはすでにコンピュータの中に入っているから、施業基準及び作業工程表の入力がすむと矢印の下の「0-1計画モデルによる第1分期の伐採順序計画の決定」に入る。ここで必要なパラメータを決めれば、0-1計画モデルによって各年次に伐採する小班が得られる。次にその結果を表示するGIS図面を眺め、データベースから伐採する予定の林分を呼び出し、林道配置や林道網計画を考慮しながら伐採計画を分析する。

この結果を基本図上に表示させて、伐採順序、年次ごとの伐採面積が適切かどうかを判断し、もし適切でない場合、右の矢印に沿って再び、「第1分期の伐採計画案の決定」にもどる。

もし伐採配置が適切と判断される場合、施業基準及び作業工程表に基づいて主伐、再造林、下刈、つる切、除伐と間伐などの第一分期間に予定されている作業に必要な総労働量の概算をする。ここから、年平均労働量を計算し、年次ごとの平均労働量のバラツキの許容限界を決定する。たとえば、年平均労働量の $\pm 5\%$ の範囲を許容限界とするという具合である。

次に各年次ごとの必要労働量がこの許容限界内にあるかどうか具体的に計算し、適否を判断する。もし、許容限界からはずれた場合、間伐、枝打及び除伐の作業年次を調整する。

その調整をしても労働量均等の条件が満たされない場

合には、伐採計画案の再調整をする必要があるかどうかを判断する。もし、その必要がある場合、改めて最初にもどって伐採計画案を決定し直す。また、大きな変更が必要ないと判断された場合には「労働量均等に関する許容限界」を緩める。

こうして労働量均等の条件が満たされると中期施業計画が完了したことになり、計画策定の結果を出力する。

#### 4・3 応用事例

この中期施業計画策定システムの実例として用いた資料は、第3章のシミュレーション法による長期経営計画策定システムに適用した千葉演習林札郷作業所管内の4ヶ林班、47小班からなる総面積88.09ヘクタールのスギ、ヒノキ人工林である。図3-2は、この区域の林相をあらわす森林基本図である。ここで使われた森林施業基準及び功程表は表4-1の通りである(5)。

まず、全林を1作業級、輪伐期を80年、1分期を10年として8つの分期に分けるものとする。ここでは、施業の最小単位を小班ではなく林相とした。なぜならば、本演習林では小班内の森林が必ずしも均一でなく、樹種や林分構造によって多数の林相に分けられるからである。したがって、まず長期経営計画策定システムによって分期ごとに施業すべき林相群を決める。つまり表3-1のように、88.09haの経営面積を林相単位でできるだけ分期ごとに均等になるように配分した。

小班の伐採順序を決定するために分期間の総収穫量を最大にすることを目的関数としたが、他のパラメータは次のような値を与えた。

$$S_l = 0.95(ha);$$

$$S_u = 1.15(ha);$$



$$C_t = 650(m^3);$$

$$C_u = 800(m^3).$$

0-1 線形計画モデルを解いて、その結果を GIS によって調整することを繰り返して最終の小班の伐採順序を決めた。ただし、この適用例においてはその伐採する予定の林相のサイズはかなり異なるので、新たに細かい林相を区分した。すなわち、面積が 1.10ha を越える林相に対しては新たに小さい林相に分けた。その最終結果に育林作業配分の結果を加えて決定した年次別の中期施業計画は、表 4-2 の通りで、各種作業に必要な労働量、作業面積ならびに年次ごとに必要な総労働量を決定した。また年次ごとに伐採すべき林分、伐採面積、必要労働量及び作業種類ごとの労働量は、表 4-3、図 4-2 の通りである。表 4-3 は、1993 年度における林相ごとの施業計画表であり、図 4-2 は 1993 年度の作業林相及び作業種類を表示したものである。以上の結果によって、意思決定者は分期におけるすべての施業内容を簡単に把握することができる。

本章の研究は、これまで図面と帳簿に基づいて計画策定担当者が経験と勘によって行ってきた中期施業計画策定の手順を、GIS を加えたコンピュータ・システムに置き換えたものであるということができる。しかし、この置き換えは次のような点から潜在的に極めて大きな威力を秘めていると考えることができる。すなわち、

① 森林の経営管理に必要な図面、帳簿類一切がデータベースのなかに収納されているので、施業担当者は、必要な時に、必要な形で引き出すことができる。したがって、大規模な中期施業計画の策定も能率よくできるばかりでなく、日常の施業管理業務の簡素化も可能となる。

② 万一計画策定時に予想できなかった事態が生じて、

その計画の軌道修正が容易且つ迅速にできる。

③ これまでは計画の内容を十分に検討せずに計画策定をせざるを得ない場合もあったが、このシステムでは、シミュレーションによって様々な代替案を検討することができるため、より適切な施業計画の策定ができる。

このような展望に立った場合、筆者が作成した長期経営計画策定システムは完全なものであるとは言えない。なお、森林管理においては長期経営計画策定システム、中期施業計画策定システムを策定したうえで、第5章で検討する短期作業計画策定システムが適用されなければならない。

## 第5章 短期作業計画策定システム

### 5.1 はじめに

筆者は、これまでにGISを用いた長期及び中期施業計画策定システムの開発を試みてきた。長期経営計画では、現実の森林をいかに理想的な状態に誘導してゆくかという資源計画を中心とした。また中期施業計画では、長期経営計画で定まった1分期間の施業量を年次ごとに適切に配分することが課題であった。第3章では、すでに施業を実施するための1年間の月間計画が短期作業計画であると定義した。この短期作業計画の目的は、年間に小班ごとに予定されている各種作業に必要な労働量をいかに適切に配分するかということである。短期作業計画を適切に策定しなければ、長期経営計画及び中期施業計画の策定をいくら工夫しても森林経営に関する施業を適切に実行することは不可能である。そこで、本章では、線形計画法及びファジイ線形計画法を導入して最適な月間労働配分を決定するLPモデルをつくり、GISを利用した短期作業計画策定システムの開発を試みた。

### 5.2 研究方法

この短期作業計画策定システムは、図5-1のようなフローチャートで表すことができる。短期作業計画では、各種作業をできるだけ適切な時期に実施し、且つ月ごとに雇用される総労働量を安定化させることが大切である。ここで、その労働配分を考える場合、短期作業計画のように現場に密着した計画では標準工期は使えない。なぜならば、現実の作業労働量は、小班の傾斜及び林道からの到達時間によって違うからである。つまり小班の傾斜が急であればあるほど必要な労働量が多くなり、また林



道からの到達時間が長ければ長いほど現場での労働時間が短くなる。したがって、個々の小班ごとに必要な労働量は、その斜面の傾斜や林道からの距離などによって修正する必要がある。そこで、本研究では、まず各種標準労働量を小班ごとに補正するための傾斜及び距離補正係数の決定方法を次のように考えた。

ここで、補正係数とは、標準功程表に基づいて定められた標準労働量に対する実際必要労働量の比である。まず、傾斜の補正係数については、作業現場の経験を参考として表5-1の通りに決めた。

一方、個々の小班の林道からの到達時間は、距離と道路の傾斜度の関数と考えられる。そこで、本研究では、距離補正係数に次式を採用した。

$$DI = \alpha + \beta D + \gamma S \quad (5-1)$$

ここで、 $DI$ ：距離補正係数

$D$ ：林道からの距離 (m)

$S$ ：傾斜度 (1, 2, 3, 4)

$\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ ：正の定数

各種標準労働量に以上の傾斜補正係数と距離補正係数を乗ずれば各種作業に必要な労働量が得られる。

しかし、普通の森林簿には小班の傾斜及び林道からの距離が記載されていないので、傾斜補正係数と距離補正係数を計算しようとする場合、一定の手順を通じてそれらを求めなくてはならない。そこで、本章では、まずGISを利用して小班ポリゴンにおいて林道網にバッファを設定して小班ごとの林道からの距離を求めた。さらにDTMデータから作られた傾斜レイヤを小班ポリゴンと重ね合わせて各小班の平均傾斜を求めた。それらに基づいて補正係数を小班ごとに決定し、すでに中期施業計画によって与えられた標準労働量を小班ごとに補正した。

短期作業計画では、月ごとに利用可能な月間労働量、年間の作業種類及び必要な労働量が定められている。一方、計画目的としては、すべての作業をできるだけ適切な時期に実施することである。そこで、この適期に配分するということを定式化するために作業価値係数という概念を導入した。作業価値係数とは、作業を適期に実施する場合1.0という値をとり、作業の実施が最適時期からずれるにしたがって減少する非負の常数である。そこで、ここの課題は与えられた利用可能な月間労働量の下で、すべての作業をできるだけ適切な時期に実施する労働量配分計画を作ることである。

本研究では、上述の作業価値係数を用いて労働配分計画に次のような線形計画モデルを適用した。すなわち、目的関数：

$$\text{Max} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \quad (5-2)$$

制約式：

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq M_j \quad \forall j = 1, 2, \dots, 12 \quad (5-3)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = L_i \quad \forall i = 1, 2, \dots, m \quad (5-4)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (5-5)$$

ここで、

$x_{ij}$ ：第*i*種類の作業に対して第*j*月に配分される人工数

$c_{ij}$ ：第*i*種類の作業を第*j*月に作業するときの作業価値係数

$L_i$ ：第*i*種類作業に対する年間必要人工数

$M_j$ ：第*j*月の利用可能な人工数

(5-2)式の目的関数とは、各種作業に対する有効労働

量を最大にすることである。(5-3)式は、月ごとに配分される労働量が利用可能な月間労働量を越えないという制約であり、(5-4)式は、いずれの種類の作業もかならず12カ月以内に実施するという制約である。

なお、作業種類とは、主伐、面積測量、地ごしらえ、苗木運搬、面積区画、植付、成長測定、補植、下刈、つる切、除伐、枝打、間伐などを意味している。

上述のLPモデルでは、月ごとに利用可能な月間労働量はあらかじめ定まっている。しかし現実には、このことは必ずしも確かではない。また、この目的関数を最大にすることだけが現実にも望ましい計画であるとは限らない。この点ある程度曖昧性を加味して計画策定するほうが現実には望ましい場合がある。そこで、本研究では、次の第二の計画モデルを考えた。

ファジイ線形計画法は、意思決定者がある志望水準をもっており、それをできるだけ満たすというファジイ目標と制限量をあまり越えないというファジイ制約がついている形の線形計画問題である。本研究では、柔軟な意思決定が行なえるように次のようなファジイモデルを考えた。

① 毎月使用される労働量はだいたい限定される労働量を越えない。

② すべての作業をだいたい適期に実施する。

③ メンバシップ関数を線形と仮定する。

さて、上記の三つの条件に基づいて次のようにファジイ線形計画が定式化される。すなわち、

目的関数：

$$\text{Max}\lambda$$

(5-6)

制約式：



$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} - d_0 \lambda \geq z_i \quad (5-7)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} + d_j \lambda \leq M_{ij} \quad (5-8)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = L_i \quad \forall i = 1, 2, \dots, m \quad (5-9)$$

ただし、 $d_0 = z_u - z_l$ ,  $d_j = M_{uj} - M_{lj}$ である。

$z_l$ : 目的関数の最低志望値

$z_u$ : 目的関数の最高志望値

$M_{lj}$ : 第  $j$  月の利用可能な月間労働量の最低値

$M_{uj}$ : 第  $j$  月の利用可能な月間労働量の最高値

$\lambda$ : メンバシップ関数

上述のLPモデルとファジィLPモデルによって最適な  $x_{ij}$  が決定されると、それをどのように小班に振り分けられるかという問題が生ずる。すなわち、同一の作業を実施すべき小班が複数の場合もあるし、一つの種類の作業に対して最適な作業時期が数カ月にあたっている場合もある。そこで、ある作業に対して割り振られた労働量をどのように実施してゆくか、つまり作業すべき小班の順序を決めなければならない。こうした問題には現場の複雑な要因がからむので、これを組み込んだ最適計画モデルをつくるよりもシミュレーションによって実際の計画担当者が判断するほうが現実的である。そこで、本研究では、運搬手段の整備状況や樹種の成長特性、林分状態などの条件を設定し、シミュレーション手法によって望ましい作業順序を決定することにした。すなわち、逐次選択した作業順序をGIS図面上で計画担当者が評価してもっとも適当と考えられる作業順序を決定するのである。ここでは、上述の三つの条件を考えながら植付、下刈、つる切、除伐及び間伐作業などのより重要な作業を最適

期に実施できるかどうかという基準に基づいて作業順序を決定した。

### 5.3 適用例

実例として東京大学千葉演習林の人工林の中期施業計画のうち、平成6年度の短期作業計画策定にこのシステムを適用した。ここで、距離補正係数については、演習林における実例を聞き取りした調査の結果によって各パラメータを決定した。すなわち、100, 300, 500, 1,000と1,500メートルの徒歩距離の場合、1, 2, 3, 4と分類した傾斜度に対して必要な徒歩時間を現場の職員に聞き取りした、その結果、

$$DI = 0.95858 + 0.95858D + 0.00008S \\ (0.00852) (0.00252) (0.000006)$$

(決定係数  $R^2 = 0.9311$ ) となった。平成6年における作業種類、標準労働量及び作業を実施すべき小班は第4章の中期施業計画ですでに決定されている。そこで、傾斜度及び距離補正係数によって標準労働量を補正して実際の必要労働量を得た。この必要労働量から必要労働者数を算出するには、各月の祝祭休日を除いた一人の月間出勤日数を算出しなければならない。この結果から、年間の各作業を実施するのに必要な人数が少なくとも19人であるとわかった。

標準作業工程表に記載されている作業適期に基づいて決定された千葉演習林における作業価値係数  $c_{ij}$  は、表5-2の通りである。次に月ごとに利用可能な労働者が19人であり、作業種類が13種類であると仮定して式(5-2)～(5-5)を示すと次の通りである。

$$\text{目的関数: } \text{Max} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij}$$

ただし、 $c_j$ は表-2の通りである。

制約式は、表5-3の行和と列和によって表すことができる。ここで、すべての変数は、人工数を意味している。最後の一行の値 $b_j$ は、月ごとの出勤日数と労働者人数によって計算されたものであり、最後の一行の値 $b_i$ は、作業種類に必要な労働量である。

表5-3の行和が各作業に対して必要な労働量制約なので、その和は右辺値 $b_i$ と" $=$ "で結ばれていなければならない。また、各列の和が、月ごとの利用可能な労働量上限なので下の右辺値 $b_j$ に対して" $\leq$ "で結びついていなければならない。

このLP問題をシンプレックス法によって解いた結果は、表5-4の通りである。目的関数の値は3,884.8人工であった。この値は、年間必要な総労働量が4,531.8人工であり、年間利用可能な労働量が4,560.0人工であるという条件に対して決定された最大有効労働量である。ここで、年間必要な労働量と目的関数の値との違いは、最適な時期に実施できない作業量を測る尺度である。ここでは、月ごとに最適配分された有効労働量の合計を年間必要労働量で除した比を、作業が適切な時期に行われているかどうかをはかる指標として労働有効率と定義した。この事例では、労働有効率は0.857となった。

次に、 $z_1 = 3,756.5$ 人工、 $z_2 = 4,183.1$ 人工とにおいて、また月ごとの利用可能な労働量がだいたい19名とおき、22名を越えないというファジィLPモデルを解いて、表5-5のようなファジィ最適解を得た。ここでは、目的関数の値は、4,014.1人工であり、メンバシップ関数 $\lambda = 0.6038$ であった。このファジィ最適解は、LPの最適解より129.3人工だけ増えている。

このファジィ最適解は、通常のLP解よりも労働有効



率が2.9%だけ増加している。作業をできるだけ適期に実施させたいという立場からすれば、ファジィLP解の方が望ましいと結論できる。

ただ、ファジィ解は、最繁忙期の八月に444.2人工を要している。他方、通常のLP解には418人工である。これを労働者数に換算すると前者は20.2(=444.2人工/22日)名であり、後者は19(=418人工/22日)名である。本計画では常勤労働者を19名としたので、もし、ファジィ解を採用するとしたら、最繁忙期に1名程度を臨時に外部から雇用する必要がある。この二つの解のいずれが現実的であるかは、その作業現場によって異なる。通常の場合は後者の最繁忙期に1名臨時雇用する方法を採用することになるであろう。したがって、ファジィLPは、計画策定システムにとって必要な手法と言える。

以上の結果は、シミュレーションによってGISの図面上に表示することができる。計画担当者は、この結果に基づき各種作業を実施する小班の順序をあらかじめ決定された基準に基づいて決定することができる。図5-2は、小班ごとの作業種類を表す図面の一例である。例えば、08C0300とは、8林班C3小班を表わし、補植と成長測定という作業を行う予定である。図5-3は、月ごとになんらか作業を実施する小班を抽出した図面の一例である。例えば、8林班C3小班では補植と成長測定作業を六月に実施する予定であることを示している。

#### 5.4 むすび

これまでの森林計画策定手法に関する研究は、森林資源の長期利用計画の策定に集中しており、中期及び短期作業計画の策定手段についての研究は少なかった。本研究では、ファジィ線形計画法やGISなどの手段を短期作

業計画策定システムの開発に導入した。このシステムによって策定した短期作業計画の結果は、各種作業が適切に実施されていると同時に計画が柔軟に決定できることから、実際の年度計画に対して有効な手段になりうると筆者は考える。

今後、このシステムの実践性を更に高めるためには長期計画、中期施業計画まで含んだ総合計画システムを完成することが必要であると考えている。

## 結 論

本論文では、これからの森林経営管理の特質を記述したうえでそれにかかわる機能評価、土地利用区分並びに経営計画システムについて考察した。本研究で明らかになったことは、次の通りである。

①本研究の主旨は、森林の多面的機能をできるかぎり高度に発揮する経営管理システムを作ることである。その考え方は、森林の保有する機能の評価および土地利用区分を行ったうえで、各機能の特徴に対応する複数の代替案を策定する方法を開発することであった。

②森林機能の評価では森林機能の度合いを反映できる要因を選んで数量化法や多変数回帰分析法を適用する評価方法を作成した。傾斜、方位、標高及び集材距離などの機能評価要因は地理情報システムを利用して求めた。そして土地利用区分にクラスター分析、0-1混合計画法を導入して新たな評価方法を開発した。

③長期経営計画策定システムには3種類の方法が含まれている。まず、シミュレーション・システムによって指定された条件に基づいて適切な長期経営計画を策定できる。また線形計画法による各種のモデルに基づいて大規模な森林に対して複数の代替案を得ることができる。さらに小班ごとに計画期間にわたって一連の可能な施業方法を与え、0-1計画法によって分期ごとに各小班の最適な施業方法を決定することができる。加えて意思決定者は、主観的に数理計画モデルの最適解をGISによって分析したり、策定し直したりすることが容易になった。

④中期施業計画策定システムでは、小班の伐採序列の決定に線形計画法を適用して年次ごとの労働量配分を定めるシミュレーションシステムを作った。また、その結果を自



動的にデータベースに書き込むことが可能となった。

⑤ 短期作業計画策定システムに関しては、月間に雇用する最適な労働人数を決定する LP とファジィ LP モデルを開発した。

⑥ 本研究では一貫して GIS を加えたコンピュータシステムに基づく森林管理システムを開発した。GIS という情報処理システムにより森林経営計画を能率的に策定できるばかりでなく、同時に日常の森林管理の簡潔化にも重要な道具として利用することが可能となった。今後、より複雑な環境のもとで適切な森林管理計画を適正に策定するために GIS を活用する必要がある。

さて、本研究の今後の展望について次のようにまとめることができる。そのなかには、本研究の問題点も含まれている。

① 森林機能の評価方法に関しては、入手できる範囲の資料に基づいて各機能に影響を与える要因を選んだが、より重要な相互関係を見落とした可能性が存在する。したがって、今後の一つの課題としてさまざまなデータを調査して科学的に解釈できる評価基準を研究する余地がある。

② 木材生産以外の機能に対しては、森林面積よりもむしろ森林の空間配置の方が重要である。したがって、これから森林の多面的な機能の発揮を検討する場合、森林経営に関する空間的、並びに時間的分析システムの開発が必要である。すべての可能な経営行為に対してその影響力を空間的に時間的に分析して、もっとも合理的な経営計画を提供できるようにしなければならない。各経営単位に対して潜在的な施業方法を決定した上で、各種機能に関して施業実行の効果を分析して、確率理論および最適化理論によって空間的並びに時間的分析ができる多目的モデルを開発する必要がある。同時に GIS を利用して各種経営代替案の効

果を評価する森林管理計画評価システムを作成しなければならない。

③森林の多面的利用へ転換するとともに、木材資源だけでなく木材以外のさまざまな活用方法も取り扱えるような柔軟な森林管理システムが必要である。本研究ではパーソナルコンピュータ上でシミュレーションシステムのプログラムを作ったが、それ以外にも、ワークステーション及び大型コンピュータも用いた。今後、より使いやすい総合的なコンピュータシステムを研究する必要があると筆者は考えている。

## 謝 辞

本研究の遂行にあたり、つねにご懇意なるご指導を賜った南雲秀次郎教授、箕輪光博教授に衷心より深甚の謝意を表するとともに、貴重な助言と指導を賜った東京大学農学部森林経理学研究室の露木聡助手、龍原哲助手に対し、心より深く感謝を申し上げます。

また、貴重なる資料を提供して下さった東京大学千葉演習林の職員各位に心より感謝する次第である。



## 引用文献

- 1) 阿部信行 (1993) GIS を利用したトドマツの間伐作業支援システム, 日林誌 75(5): 501-510.
- 2) 天野正博・熊崎 実・野田 敏 (1985) 森林計画のシステム分析, 計画行政 15: 45-50.
- 3) 天野正博 (1992) 国有林の森林計画体系に関する研究, 博士論文, 278pp.
- 4) 青柳みどり・内藤正明 (1989) 森林の持つ生活環境保全機能の評価に関する研究, 農村計画学会誌 18(2): 22-35.
- 5) 崔 鍾天 (1985) 森林盛業計画の策定に関する研究, 博士論文, 330pp.
- 6) 藤沢秀夫 (1988) 森林の多面的機能に係わる森林管理, 森林計画研究会会報 No. 318: 1-8.
- 7) 藤沢秀夫 (1993) 森林計画制度と林業政策, 林業経済 No. 534: 9-17.
- 8) 橋本文雄ら (1993) 新編生産管理システム, 258pp, 共立出版, 東京.
- 9) 林 知己夫 (1993) 数量化—理論と方法, 233pp, 朝倉書店.
- 10) 平田種男 (1983) 林業経営原論, 158pp, 地球社.
- 11) JEFFREY STAR and JOHN ESTES 著, 岡部篤行・貞広幸雄・今井修訳 (1990) 入門地理情報システム, 235pp, 共立出版, 東京.
- 12) 木平勇吉 (1990) 森林管理のための数理計画—アメリカでの応用, 林統研誌 15: 68-74.
- 13) 木平勇吉 (1981) 収穫予定のための 0-1 線形計画の解法 (I) 加速列挙法の開発, 日林誌 63(10): 345-353.
- 14) 木平勇吉 (1981) 収穫予定のための 0-1 線形計画の解法 (II) 適用方法と処理能力, 日林 63(11): 392-399.
- 15) 木平勇吉 (1982) 収穫予定のための 0-1 線形計画の解法 (III) 林道計画を取り入れた収穫予定法と適用事例, 日林誌 64(1): 27-31.
- 16) 黒川泰亨 (1977) 林業経営計画に対するリス・プログラミングの応例, 日林誌 59(3): 80-88.
- 17) 黒川泰亨 (1981) 林業経営計画に対する目的計画法の利用について,

日林誌63(4):144~149.

18) 熊谷洋一(1989) 森林の保健文化機能と住民評価に関する研究. 造園雑誌52(5):175~180.

19) JOHNSON, K. N., T.W., Stuart, And S. A., Crim著. 林野庁・森林総合研究所北海道支所訳(1993) FORPLAN Version 2—アメリカ合衆国国有林の森林計画システム. 研究資料.

20) 松田 聡(1994) 地理情報システム—入門とマスター. 178pp, 山海堂, 東京.

21) 松下幸司(1987) 森林計画に関する研究—多目的計画法の応用について—. 京大演報59:99~111.

22) 松下幸司(1988) 森林計画に関する研究—ファジイ理論の応用について—. 京大演報60:126~140.

23) 箕輪光博(1991) 林業経済と森林経理の間. 林業経済44(5):1~12.

24) 箕輪光博ら(1991) 森林の整備水準・機能計量等調査報告(森林の整備水準の評価手法). 186pp, 林野庁.

25) 南雲秀次郎・箕輪光博(1967) 線形計画法による収穫規制の分析. 東大演報, 64:235~265.

26) 南雲秀次郎(1970) 線型モデルによる収穫予定理論に関する研究. 名大演習林報告5:139~235.

27) 南雲秀次郎・古池篤(1981) 民有林の施業計画策定に関する研究(Ⅰ) 地域森林計画における人工林の伐採量および造林面積の決定. 日林誌63(3):79~89.

28) 南雲秀次郎(1982) 民有林の施業計画策定に関する研究(Ⅱ) 森林の法正状態に関する考察. 日林誌64(9):346~351.

29) 南雲秀次郎(1983) 民有林の施業計画策定に関する研究(Ⅲ) 人工林の法正齢級配置への収束の早さについて. 日林誌65(3):98~103.

30) 南雲秀次郎ら(1987) 線形モデルによる収穫予定法研究(Ⅰ)—0-1計画法の適用. 日林誌 56(4):128~135.

31) 南雲秀次郎(1990) 森林経理学の実践的課題. 山林90:2~10.

32) 南雲秀次郎・鄭 躍軍・龍原 哲(1992) GIS を利用した収穫予定シ

システムの作成. 日林関支論44:41~42.

33) 南雲秀次郎・鄭 躍軍・龍原 哲・鈴木 誠(1993) GISを利用した  
施業計画策定システムの研究(1). 日林論104:221~224.

34) 野上啓一郎(1990) 収穫規整におけるファジイ意志決定手法の応用につ  
いて(1)線形計画法における 代替案の製作. 日林誌72(3):188~193.

35) 野上啓一郎(1990) 収穫規整におけるファジイ線形計画法の応用につ  
いて. 日林誌72(1):23~26.

36) 野上啓一郎(1990) ファジイ多目的計画法について. 林統研誌15:18  
~24.

37) 野上啓一郎(1991) 林業経営計画とファジイ目標計画法. 日林誌  
73(1):34~39.

38) 大田猛彦(1991) 森林の水源かん養機能と森林施業のあり方私論. 水  
利科学197:1~33.

39) P.A.パーロー著, 安仁屋政武・佐藤亮訳(1990)地理情報システムの原  
理. 232pp, 古今書院, 東京.

40) 坂和正敏(1984) 線形システムの最適化(一目的から多目的へ).  
233pp, 東北, 東京.

41) 清水 晃(1990) 流域管理問題における多目的資源管理計画に関する  
研究. 林統研誌15:1~17.

42) 杉村 乾(1993) ランドスケープエコロジーの見方・考え方. 林業技術  
61834~36.

43) 竹下敬司(1984a):森林の有する水源かん養について. 森林計画研究  
会会報No.285.

44) 竹内公男・長谷川茂(1975) 千葉演習林における林分成長資料. 東大  
演習林19:69~175.

45) 田中和博(1984) スギ・ヒノキ人工林の長伐期施業に関する研究. 東京  
大学農学部研究成果報告書, 79pp.

46) 田中豊・脇本和昌(1991) 多変量統計分析法. 296pp, 現代数学社.

47) 逸見謙三・立花一雄訳, アメリカ合衆国政府著(1980) 西暦2000年  
の地球1・2. 968pp, 家の光協会.



- 48) 于政中・鄭 躍軍 (1989) 異齡林経営への最適化方法の応用について  
日林誌71(9): 363~368.
- 49) 鄭 躍軍 (1987) 異齡林施業に関する研究, 148pp, 修士論文.
- 50) 鄭 躍軍・于 政中 (1987) 異齡林成長への動的分析について, 北京  
林業大学学報9(2): 145~151.
- 51) 鄭 躍軍・宋 鉄英 (1989) 異齡林経営への意志決定に関する研究.  
北京林業大学学報11(3): 9~16.
- 52) 鄭 躍軍・宋 鉄英 (1989) 異齡林経営への動的最適化およびそのシ  
ミュレーション. 林業科学25(4): 330~338.
- 53) 鄭 躍軍・南雲秀次郎 (1994) GISを利用した森林機能による類型区  
分. 日林誌76(6): 522~ 530.
- 54) 鄭 躍軍・南雲秀次郎・龍 原哲 (1994) GISを利用した施業計画策  
定システムの研究—短期計画の策定について—. 日林誌77(1): 36~46.
- 55) BUONGIORNO, J., and J. K. GILLESS. 1987. Forest management and  
economics: A primer in quantitative methods. Macmillan, New York. 285p.
- 56) BUONGIORNO, J., DAHIR, S., LUH., and C. LIN. 1994. Tree size diversity  
and economic returns in uneven-aged forest stands. For. Sci. 40(1): 83-103.
- 57) DAVID, C., AND M. A. RICHARD. 1986. The genesis of FORPLAN: A  
historical review of forest service planning models. General Technical Report  
INT-214. Forest Service, United States.
- 58) DAVID, R. B., ERIC, A. S., and T. T., MATTHEW. 1991. Singular path  
solutions and optimal rates for thinning even-aged forest stands. For. Sci.  
37(6): 1632-1640.
- 59) DAVIS, L. S., and LIU GAO. 1991. Integrated forest planning across  
multiple ownership's and decision makers. For. Sci. 37(1):200-226.
- 60) DAVIS, L. S., and K. N. JOHNSON. 1987. Forest management. McGraw-  
Hill, New York, 790pp.
- 61) DYKSTRA, D. P. 1984. Mathematical programming for natural resource  
management. McGraw-Hill, New York. 318.
- 62) HAIGHT, R. G. 1987. Evaluating the efficiency of enve-aged and uneven-

- aged stand management. *For. Sci.* 33(1): 116-134.
- 63)HAIGHT, R. G. 1987. Fixed and equilibrium endpoint problems in uneven-aged stand management. *For. Sci.* 33(4): 908-931.
- 64)HAIGHT, R. G., and R. A. MONSERUD. 1990. Optimizing any-aged management of mixed-species stand: I. Performance of a coordinate-search process. *Can. J. For. Res.* 20: 15-25.
- 65)HAIGHT, R. G., and R. A. MONSERUD. 1990. Optimizing any-aged management of mixed-species stand: II. Effects of decision criteria. *For. Sci.* 36(1): 125-144.
- 66)HAIGHT, R. G. 1990. Feedback thinning policies for uneven-aged stand management with stochastic prices. *For. Sci.* 36(4): 1015-1031.
- 67)HAIGHT, R. G. 1991. Stochastic log price, land value, and adaptive stand management: numerical results for california white fir. *For. Sci.* 37(5): 1224-1238.
- 68)HAIGHT, R. G. and W. D. SMITH. 1991. Harvesting loblolly pine plantations with hardwood competition and stochastic prices. *For. Sci.* 37(5): 1266-1282.
- 69)HAIGHT, R. G., R. A. MONSERUD, and J. D. CHEW. 1992. Optimal harvesting with stand density targets: Management rocky mountain conifer stands for multiple forest outputs. *For. Sci.* 38(3): 554-574.
- 70)HOF, J. G., and B. M., KENT. 1990. Nonlinear programming approaches to multistand timber harvest scheduling. *For. Sci.* 36(4):894-907.
- 71)HOF, G. H., and J. B., PICHENS. 1991. Chance-constrained and chance-maximizing mathematical programs in renewable resource management. *For. Sci.* 37(1): 308-325.
- 72)HOF, J. G., and A. J., LINDA. 1992. Spatial optimization for wildlife and timber in managed forest ecosystems. *For. Sci.* 38(3):489-508.
- 73)HOF, J. G., and J. B., PICHENS. 1992. Chance-constrained and chance-maximization with random yield coefficients in renewable resource optimization. *For. Sci.* 38(2): 305-323.



- 74)HOF, J. G., and L. A., JOYCE. 1993. A mixed integer linear programming approach for spatial optimizing wildlife and timber in managed forest ecosystems. *For. Soc.* 39(4):816-834.
- 75)HOF, J. G., BEVERS, M., JOYCE, L., and B. M., KENT. 1994. An integer programming approach for spatially and temporally optimizing wildlife populations. *For. Sci.* 40(1):177-191.
- 76)HOGASON, H. M., and M. E., MCDILL. 1993. More on forest regulation: An LP perspective. *For. Sci.* 39(2): 321-347.
- 77)JAMES, A. Z., and A. M., RICHARD. 1991. Integration of geographic information systems with a diagnostic wind field model for fire management. *For. Sci.* 37(2): 560-573.
- 78)JEFFERY, H. G., and E. F., STEPHEN. 1992. Optimizing the management of uneven-aged forest stands: A stochastic approach. *For. Sci.* 38(3):623-640.
- 79)JOHNSON, K. N., H. L. SCHEURMAN. 1977. Techniques prescribing optimal timber harvest and investment under different objective-discussion and synthesis. *For. Sci. Monograph No.18*. 31p.
- 80)KAO, C., and C., YANG. 1991. Measuring the efficiency of forest management. *For. Sci.* 37(5): 1239-1252.
- 81)KAYA, I., and J., BUONGIORNO. 1987. Economic harvesting of uneven-aged northern hardwood stands under risk: A markovian decision model. *For. Sci.* 33(4): 889-907.
- 82)KLEMPERER, W. D.. 1993. Finacial and environmental conflicts in sustainable forest development. *Proceedings on advancement in forest inventory and management science*: 68-82. Korea.
- 83)NATIYAL, J. C., and P. H. PEARSE. 1967. Optimizing the conversion to sustained yield—A programming solution. *For. Sci.* 13(2): 131-139.
- 84)NATIYAL, J. C., and J. S. WILLIAMS. 1990. Response of optimal stand rotation and mamagement intensity to one-time change in stumpage price, mamagement cost, and discount rate. *For. Sci.* 36(2): 212-223.
- 85)NELSON, J., Brodie, J.D., and J. SESSIONS. 1991. Integrating short-term,



- area-based logging plans with long-term harvest schedules. *For. Sci.* 37(1): 101-122.
- 86) NELSON, J.D., and D. ERRICO. 1993. Multiple-pass harvesting and spatial constraints: An old technique applied to a new problem. *For. Sci.* 39(1): 137-151.
- 87) PAUL, V. B.. 1992. Geometric errors in natural resource GIS data: Tilt and terrain effects in aerial photographs. *For. Sci.* 38(2): 367-380.
- 88) RICHARDS, W. B., and D. J., BEN. 1991. Using a Geographic information system to study a regional wood procurement problem. *For. Sci.* 36(6): 1614-1631.
- 89) ROISE, J. P.. 1986. A Nonlinear programming approach to stand optimization. *For. Sci.* 32(3): 735-748.
- 90) ROISE, J. P.. 1990. Multicriteria Nonlinear programming for optimal spatial allocation of stand. *For. Sci.* 36(3): 487-501.
- 91) ROISE, J. P.. 1993. Forest management planning, ecology and economics: management science perspective. *Proceedings on advancement in forest inventory and management science*: 80-100. Korea.
- 92) SHERALL, H., and C., LIU. 1990. Identification of a network substructure and some algorithmic considerations for large-scale harvest scheduling problems. *For. Sci.* 36(3): 599-613.
- 93) SONG, T., YU, Z., and Y., ZHENG. 1991. A prototype decision support system for selection forest management. *Proceeding on an integrated forest management information systems in Tsukuba, Japan*. 255-264.
- 94) VALSTA, L. T.. 1992. A scenario approach to stochastic anticipatory optimization in stand management. *For. Sci.* 38(2): 430-447.
- 95) WEINTRAUB, A., and A. CHOLAKY. 1991. A hierarchical approach to forest planning. *For. Sci.* 37(2): 439-460.
- 96) WEINTRAUB, A., BARRAHONA, F., and R., EPSTEIN. 1994. A column generation algorithm for solving general forest planning problems with adjacency constraints. *For. Sci.* 40(1): 142-161.

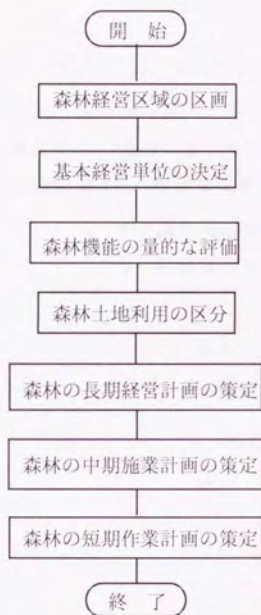
98) WILLIAMS, J. S., and J. C. NATIYAL. 1990. The long-run timber supply function. *For. Sci.* 36(1): 77-86.

99) YANG, Y., and W., LIN. 1991. An application of fuzzy goal programming to forest management planning and decision making in Taiwan. *Proceedings of the symposium on integrated forest management information systems.* 185-194.

100) ZHENG, Y., and H., NAGUMO. 1994. An integrated forest management planning system using a geographic information system. for a symposium on a sustainable forest managements.

圖	表
---	---





- 基本計画及び全国森林計画に従って経済条件と自然条件に基づいて多数の区域施業計画区を区画する
- 経営単位（小班或いは林分）の最大及び最小の面積を決める
- 森林機能の評価方法を選択して経営対象とするすべての機能を小班或いは林分ごとに評価する
- 森林機能評価の結果に基づいて開発された方法を利用して施業集団に分ける
- 5年或いは10年ごとに森林の長期経営計画を作成する
- 第一分期に作業する小班或いは林分を年次ごとに合理に配分する中期施業計画を策定する
- 年次ごとに短期作業計画を作る

図1-2 区域森林経営計画策定システムのフローチャート

表2-1 木材等生産機能の評価基準

カテゴリー 区分 評価要因	H	M	L
平均成長量	15.0	10.0	0.0
林道への距離	15.0	10.0	0.0
管理状態	20.0	10.0	0.0
基礎得点	50.0		

ここで、L、M、Hは次の各評価要因のカテゴリーを意味している。

平均成長量の大きさ：L:5m<sup>3</sup>未満，M:5~8m<sup>3</sup>，H:8m<sup>3</sup>以上

林道からの距離：L:500m以上，M:500~300m，H:300m未満

管理状態：L:間伐等の管理が行われてない，

M:間伐等の管理が不十分である，

H:間伐等の管理が適切に行われている。

表2-2 水源かん養機能の評価基準

		カテゴリー区分	評点	得点
林 齢 (ウエイト=0.6)		15年以下	0.0	0
		16~20	0.2	12
		21~30	0.5	30
		31~40	0.7	42
		41~50	0.8	48
		51~70	0.9	54
		71年以上	1.0	60
疎 密 度 (ウエイト=0.2)		3以下	0.0	0
		4~5	0.7	14
		6~8	1.0	20
		9以上	0.8	16
管理状態 (ウエイト=0.2)	針葉樹	管理 不良	0.0	0
		管理 可	0.4	8
		管理 良	0.7	14
		管理 優	1.0	20
	広葉樹	管理 良	0.5	10
		管理 優	1.0	20

(注)管理形態は除間伐・枝打の管理程度を意味する。

表 2-3 山地災害防止機能の評価基準

林 種	評価要因	ウェイト	A	B	C	D
針葉樹人工林	間伐等管理	0.3	0	100		
	疎密度	0.2	0	60	100	80
	林齢	0.5	0	30	70	100
針葉樹天然林	疎密度	0.3	0	60	90	100
	林齢	0.7	0	50	80	100
広葉樹人工林	間伐等管理	0.2	0	100		
	疎密度	0.2	0	60	90	100
	林齢	0.6	0	50	70	100
広葉樹天然林	疎密度	0.2	0	70	90	100
	林齢	0.8	0	60	80	100

ここで、A、B、C、Dは次の各評価要因のカテゴリーを意味している。

間伐等の管理 A：間伐等の管理が行われてない。

B：間伐等の管理が行われている。

断面積疎密度 A：3以下

平均林齢 A：15年以下

B：4～7

B：16～30

C：8～9

C：31～50

D：10

D：51年以上

表 2-4 生活環境保全機能の評価基準

樹 種	カテゴリー区分	得 点
	落葉樹 常緑樹	10.0 20.0
上層木 樹高	10m以下	10.0
	10～15m	30.0
	15～18m	40.0
	18m以上	50.0
立木密度	750本/ha以下	10.0
	750-2,000本/ha	20.0
	2,000本/ha以上	30.0



表2-5 保健文化機能の評価基準

林 種	天然林	カテゴリ-区分	ウェイト	得点		天然林	カテゴリ-区分	ウェイト	得点
		天 然 林					500m未満 500-1,000m 1,000m以上		
	二次林	天 然 林	0.51	70	平均標高				
面 積	天然林	5ha未満	0.29	0	林 齢	天然林	100年未満 100年以上	0.17 0.17	50 100
		5~20ha	0.29	50			20年未満 20~39年 40~59年 60年以上	0.31 0.31 0.31 0.31	0 40 70 100
		20~50ha	0.29	70			20年未満 20~39年 40~59年 60~79年 80年以上	0.64 0.64 0.64 0.64 0.64	0 30 50 80 100
		50ha以上	0.29	100			50%未満 50~80% 80%以上	0.28 0.28 0.28	0 70 100
	二次林	0.2ha未満	0.15	0		二次林			
		0.2~0.5ha	0.15	30					
		0.5~1.0ha	0.15	50					
		1.0ha以上	0.15	100					
	人工林	0.2ha未満	0.08	0		人工林			
		0.2~0.5ha	0.08	30					
		0.5~1.0ha	0.08	50					
		1.0ha以上	0.08	100					
平 均 傾斜角	二次林	20°以上	0.03	0	間 伐 実 施 率	人工林			
		10~20°	0.03	40					
		5~10°	0.03	70					
		5°未満	0.03	100					
					林道から の距離	天然林	100m未満 100m以上	0.18 0.18	0 100

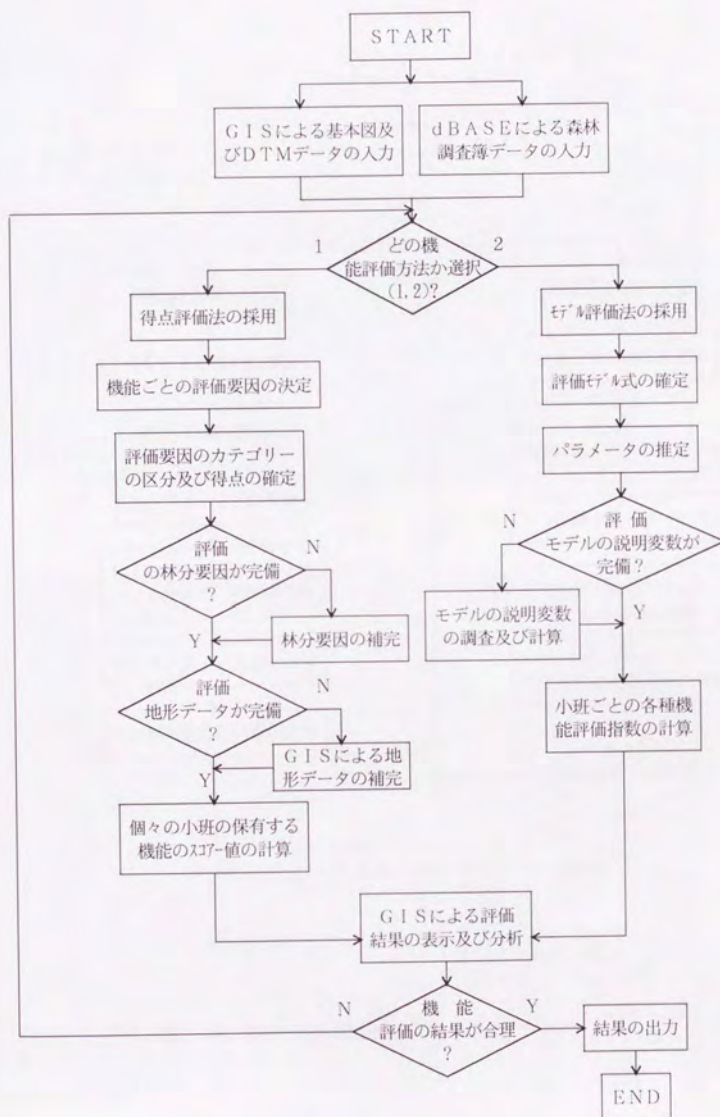


図2-1 森林機能評価システムのフローチャート

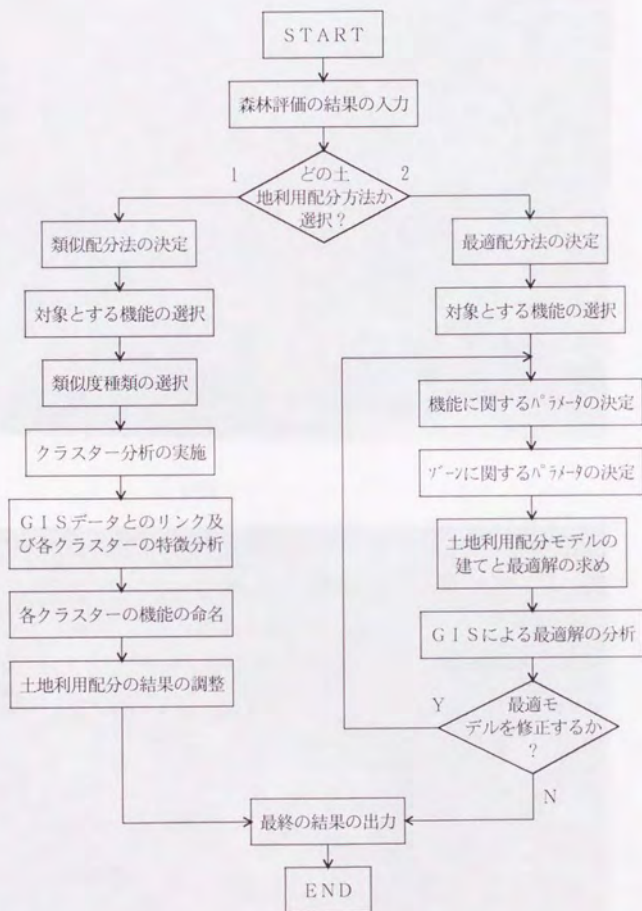
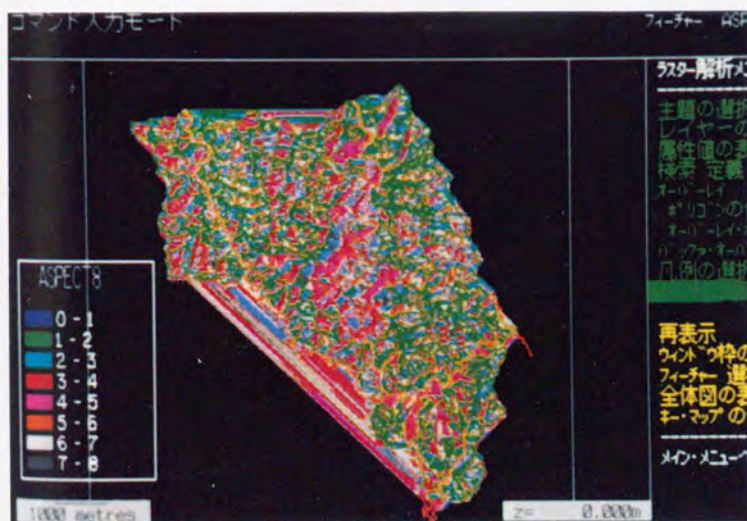


図2-2 森林土地利用配分システムのフローチャート





A. 傾斜レイヤ



B. 方位レイヤ

図2-3 GISによる傾斜と方位レイヤと小班をオーバーレイさせた結果

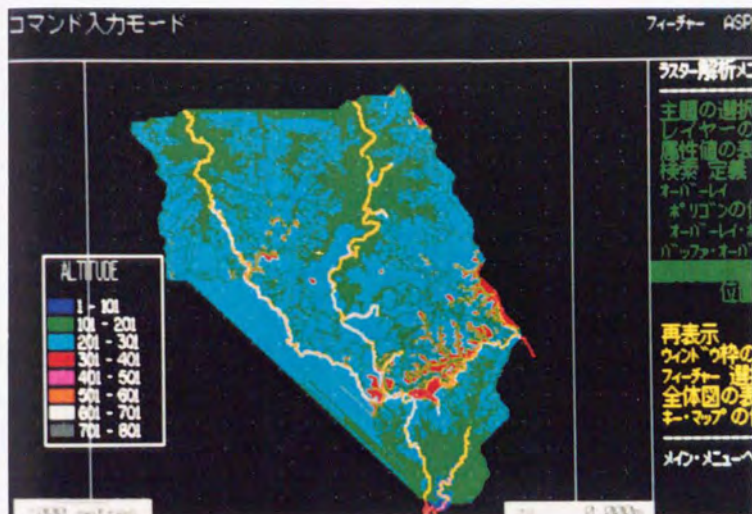


図2-4 GISによる標高レイヤと小班をオーバーレイさせた結果

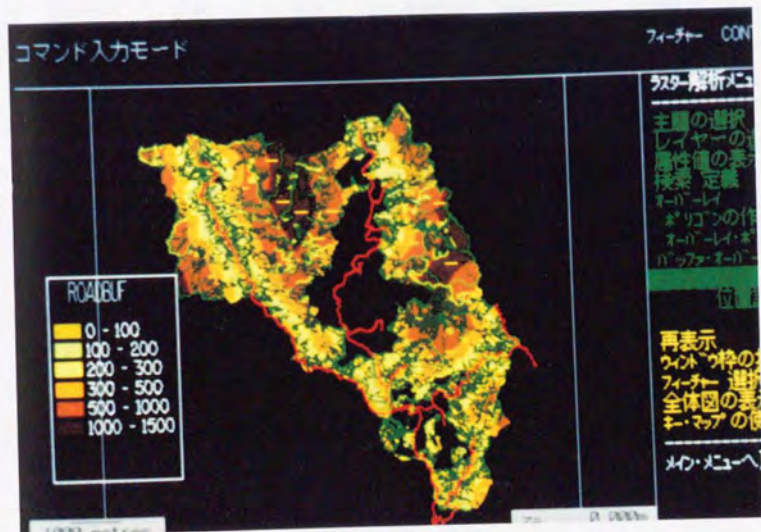


図2-5 GISによる小班と林道をバッファリングさせた結果



表 2-6 得点評価法による各種機の評価値（その 1）

小 班	木材生産	水源かん養	災害防止	環境保全	保健文化
25B0100	65.0	100.0	94.0	30.	97.0
25B0200	60.0	66.0	78.0	30.0	77.9
25B0300	65.0	82.0	78.0	30.0	80.2
25B0400	0.0	26.0	20.0	30.0	53.4
25C0100	95.0	90.0	100.0	80.0	83.2
25C0200	95.0	72.0	85.0	60.0	55.2
25C0300	95.0	72.0	0.0	70.0	55.2
25C0400	100.0	78.0	51.0	60.0	58.0
25C0500	95.0	72.0	85.0	60.0	55.2
25C0600	95.0	78.0	51.0	70.0	58.0
25C0700	100.0	72.0	51.0	60.0	0.0
25C0800	95.0	100.0	92.0	70.0	87.2
25C0900	80.0	64.0	77.0	70.0	60.0
25C1000	50.0	94.0	0.0	30.0	0.0
26B0100	65.0	88.0	78.0	30.0	87.7
26B0200	65.0	82.0	78.0	30.0	73.3
26C0100	85.0	72.0	51.0	70.0	55.2
26C0200	85.0	90.0	66.0	80.0	87.2
26C0300	85.0	90.0	100.0	80.0	81.6
26C0400	60.0	84.0	100.0	70.0	64.0
26C0500	85.0	90.0	66.0	70.0	100.0
26C0600	85.0	72.0	85.0	70.0	55.2
26C0700	85.0	84.0	66.0	80.0	58.0
26D0000	95.0	88.0	83.0	60.0	0.0
27A0100	65.0	100.0	94.0	30.0	64.7
27A0200	65.0	100.0	94.0	30.0	50.2
27B0100	60.0	88.0	78.0	30.0	87.7
27B0200	65.0	94.0	98.0	30.0	97.0
27B0300	65.0	100.0	98.0	30.0	97.0



表2-6 得点評価法による各種機の評価値(その2)

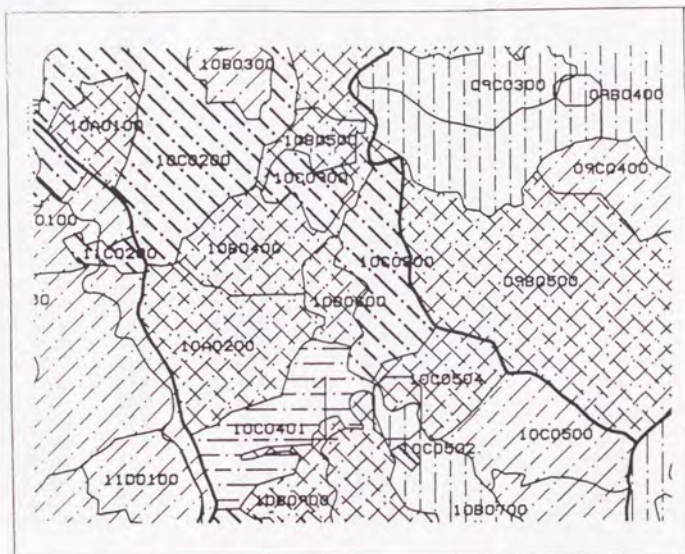
小 班	木材生産	水源かん養	災害防止	環境保全	保健文化
27C0100	85.0	72.0	51.0	70.0	0.0
27C0200	60.0	84.0	100.0	70.0	81.6
27C0300	95.0	88.0	85.0	70.0	58.0
27C0400	100.0	90.0	66.0	70.0	100.0
27C0500	95.0	84.0	66.0	80.0	0.0
27C0600	100.0	94.0	100.0	80.0	58.0
27D0000	65.0	100.0	97.0	40.0	0.0
28B0100	60.0	82.0	78.0	30.0	88.4
28B0200	60.0	54.0	62.0	30.0	88.4
28B0300	50.0	54.0	62.0	30.0	88.4
28B0400	65.0	74.0	84.0	30.0	90.1
28B0500	60.0	100.0	98.0	30.0	97.0
28B0600	50.0	94.0	94.0	30.0	97.0
28C0100	85.0	90.0	100.0	70.0	100.0
28C0101	0.0	22.0	42.0	40.0	27.6
28C0102	0.0	40.0	42.0	40.0	27.6
28C0103	0.0	40.0	42.0	40.0	27.6
28C0104	0.0	40.0	42.0	40.0	27.6
28C0200	60.0	100.0	92.0	70.0	100.0
28C0201	80.0	60.0	31.0	70.0	55.2
28C0202	95.0	60.0	31.0	70.0	55.2
28C0203	50.0	52.0	57.0	60.0	55.2
28C0204	85.0	60.0	31.0	70.0	55.2
28C0205	50.0	52.0	57.0	50.0	55.2
28C0206	0.0	34.0	57.0	40.0	27.6
28C0300	85.0	60.0	31.0	70.0	47.2
28D0100	65.0	64.0	74.0	40.0	0.0
28D0200	65.0	82.0	88.0	40.0	0.0

# 東京大学農学部附属千葉演習林



図2-6 得点評価法による木材等生産機能の分布状況

東京大学農学部附属千葉演習林



木材機能

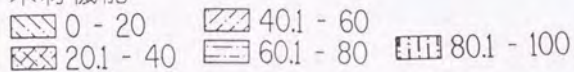


図2-7 得点評価法による優勢機能の分布状況



表2-7 モデル評価法による各種機能の評価値（その1）

小 班	木材生産	水源かん養	災害防止	環境保全	保健文化
25B0100	52.2	82.8	92.1	30.7	87.6
25B0200	48.9	65.6	75.1	29.6	68.7
25B0300	59.4	68.2	76.1	30.4	68.5
25B0400	31.2	42.0	42.5	32.1	53.6
25C0100	93.9	94.4	81.9	74.2	71.1
25C0200	84.2	77.6	64.5	68.9	51.7
25C0300	83.3	73.7	60.8	65.6	47.1
25C0400	94.8	85.1	72.2	69.7	56.8
25C0500	88.1	77.9	65.6	66.7	50.4
25C0600	91.8	85.1	71.3	71.9	58.2
25C0700	91.1	79.2	66.3	67.6	51.2
25C0800	96.6	94.6	82.7	73.5	72.9
25C0900	74.1	77.5	70.3	67.1	53.1
25C1000	45.3	78.2	86.0	30.3	65.1
26B0100	58.9	73.6	80.2	31.1	82.3
26B0200	60.9	66.1	74.8	30.1	67.1
26C0100	75.4	75.5	61.1	68.3	57.5
26C0200	87.7	96.4	82.3	75.1	81.0
26C0300	84.6	93.8	81.6	74.0	77.4
26C0400	75.2	85.5	73.8	69.5	66.6
26C0500	94.2	100.0	89.0	75.9	87.2
26C0600	73.3	75.8	62.4	68.1	57.6
26C0700	89.4	88.0	73.6	72.8	63.8
26D0000	85.2	80.6	69.3	67.1	35.1
27A0100	52.2	87.2	100.0	30.9	100.0
27A0200	56.6	84.8	99.5	30.3	100.0
27B0100	52.4	72.1	79.1	30.9	76.4
27B0200	62.4	81.4	88.8	31.6	84.2
27B0300	59.8	88.1	96.3	31.7	96.8

表2-7 モデル評価法による各種機能の評価値（その2）

小 班	木材生産	水源かん養	災害防止	環境保全	保健文化
27C0100	84.0	78.8	65.8	69.7	54.7
27C0200	76.0	89.0	77.6	70.7	71.2
27C0300	85.2	82.0	70.0	70.1	55.6
27C0400	100.0	100.0	89.0	76.1	84.4
27C0500	99.6	89.0	75.4	74.9	63.0
27C0600	96.7	86.9	74.9	71.7	58.9
27D0000	59.8	91.6	96.3	31.8	63.3
28B0100	50.9	64.9	71.2	30.8	68.6
28B0200	47.0	59.0	66.1	30.0	64.5
28B0300	37.4	58.0	65.1	29.9	70.4
28B0400	69.5	75.1	78.9	32.7	74.6
28B0500	53.5	86.0	93.7	31.7	94.3
28B0600	44.8	79.0	86.4	31.3	90.0
28C0100	86.1	99.9	86.5	75.4	88.7
28C0101	14.7	45.4	48.5	29.9	47.2
28C0102	13.7	43.9	45.4	30.6	46.4
28C0103	12.7	42.0	43.2	30.6	45.9
28C0104	11.6	40.0	40.7	30.7	45.6
28C0200	77.5	97.3	87.6	73.5	84.7
28C0201	77.4	72.4	59.2	64.9	48.8
28C0202	80.5	71.0	57.1	66.5	47.3
28C0203	51.5	67.7	61.4	62.4	53.6
28C0204	69.5	68.9	55.3	65.6	52.8
28C0205	44.3	64.0	58.9	58.6	51.8
28C0206	17.9	51.0	55.3	29.8	48.8
28C0300	68.5	66.3	54.3	64.6	51.8
28D0100	55.1	70.3	75.8	29.9	33.9
28D0200	50.0	87.3	97.9	28.9	58.3

表2-8 得点評価法(SEM)とモデル評価法(MEM)の評価結果の対比

機能別 カテゴリー	比較項目 得点カテゴリー	SEM		MEM		共通評価 結果の 小班数	共通結 果の 割合%
		小班数	面積ha	小班数	面積ha		
木材等生産	0.0~40.0	6	11.39	7	14.00	6	85.71
	40.1~80.0	27	86.57	30	91.91	26	86.67
	80.1~100.0	24	56.01	20	48.06	20	83.33
	小 計	57	153.97	57	153.97	52	91.23
水源かん養	0.0~40.0	6	11.39	1	2.60	1	16.67
	40.1~80.0	21	39.34	31	88.40	19	61.29
	80.1~100.0	30	103.24	25	62.97	23	76.67
	小 計	57	153.97	57	153.97	43	75.44
災害防止	0.0~40.0	7	9.32	0	0.00	0	0.00
	40.1~80.0	27	83.55	38	72.85	23	60.52
	80.1~100.0	23	61.10	19	81.12	14	60.86
	小 計	57	153.97	47	153.97	37	64.91
生活 環境保全	0.0~40.0	26	86.95	26	86.95	26	100.00
	40.1~80.0	31	67.02	31	67.02	31	100.00
	80.1~100.0	0	0.00	0	0.00	0	100.00
	小 計	57	153.97	57	153.97	57	100.00
保健文化	0.0~40.0	13	20.08	2	2.42	2	15.38
	40.1~80.0	23	42.04	42	88.22	21	50.00
	80.1~100.0	21	91.85	13	63.33	11	52.38
	小 計	57	153.97		153.97	34	59.65

表2-9 千葉演習林の優勢機能分布表

機能別 カテゴリー	木材生産		水源かん養		災害防止		環境保全		保健文化	
	小班	面積	小班	面積	小班	面積	小班	面積	小班	面積
0.0	57	85.2	19	19.8	37	52.9	18	18.8	91	115.0
0.1~20.0	0	0.0	0	0.0	11	16.2	0	0.0	0	0.0
20.1~40.0	0	0.0	25	45.5	27	37.3	285	1411.3	27	56.3
40.1~60.0	213	954.0	75	147.7	72	132.7	86	139.0	182	401.1
60.1~80.0	166	615.9	178	588.5	219	898.6	305	657.2	64	212.0
80.1~100	258	571.2	397	1424.9	328	1088.7	0	0.0	330	1442.2
支配機能	192	343.3	181	734.1	184	466.4	10	19.1	109	664.6



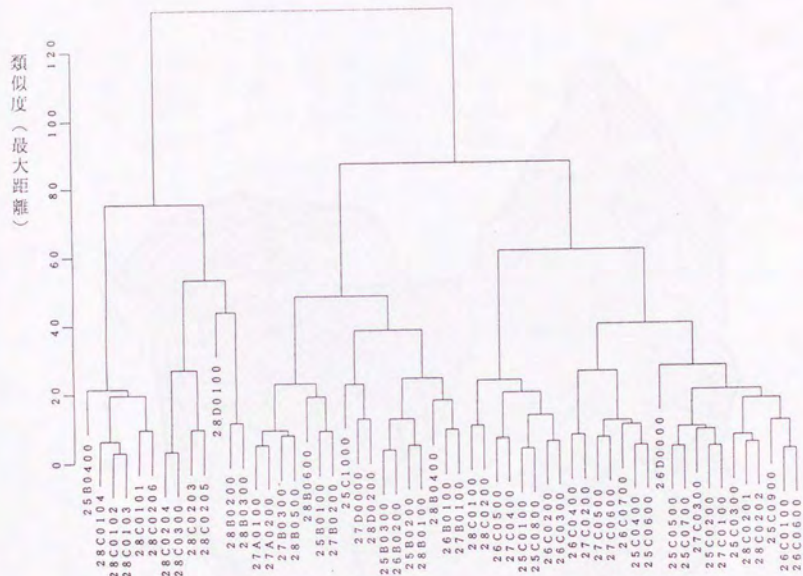


図2-8 土地利用区分における樹状図

- ゾーンの境界線  
 ———— 小班境界線  
 ———— 林道



- 広葉樹林    スギ (*Cryptomeria japonica*)    ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*)

図2-9 最適配分法を適用した森林基本図

表 2-10 対象森林の状況と機能評価値

ゾーン No.	小班 No.	林齢 (yr.)	小班面積 (ha)	森 林 機 能 評 価 値		
				木材等生産	水源かん養	保健文化
1	1B01	84	2.88	0.65	1.00	0.97
1	1B02	46	0.44	0.60	0.66	0.78
1	1B03	49	0.84	0.65	0.82	0.80
1	1B04	21	0.17	0.00	0.26	0.53
1	1C01	83	0.88	0.95	0.90	0.83
1	1C02	45	1.76	0.95	0.72	0.55
1	1C03	40	1.68	0.95	0.72	0.55
1	1C04	59	1.34	1.00	0.78	0.58
1	1C05	46	2.18	0.95	0.72	0.55
1	1C06	58	1.20	0.95	0.78	0.58
1	1C07	48	1.65	1.00	0.72	0.00
1	1C08	81	12.10	0.95	1.00	0.87
1	1C09	49	0.18	0.80	0.64	0.60
1	1C10	68	0.37	0.50	0.94	0.00
2	2B01	56	24.57	0.65	0.88	0.88
2	2B02	47	0.14	0.65	0.82	0.73
2	2C01	41	3.86	0.85	0.72	0.55
2	2C02	86	3.93	0.85	0.90	0.87
2	2C03	82	0.48	0.85	0.90	0.81
2	2C04	61	0.83	0.60	0.84	0.64
2	2C05	9	1.01	0.85	0.90	1.00
2	2C06	42	2.66	0.85	0.72	0.55
2	2C07	63	3.38	0.85	0.84	0.58
合計			68.53			



表2-11 土地利用区分適用例の諸パラメータ

ゾーン No.	面積 (ha)	木材等生産面積		水源かん養林面積		保健文化林面積	
		下限	上限	下限	上限	下限	上限
1	27.67	8.00	10.00	10.00	15.00	2.67	9.67
2	40.86	10.00	24.57	6.00	9.00	7.29	24.86
合計	68.53	18.00	34.57	22.00	24.00	9.96	34.53

表2-12 土地利用区分の結果及び目的関数値

項 目	森 林 施 業 集 団			平 均 林 齢
	木材等生産	水源かん養	保 健 文 化	
小班の個数	9	3	11	
総面積(ha)	32.22	18.69	17.62	22.84
平均林齢 (yr.)	48	70	57	58
林道からの距離(m)	267	700	409	459
目的関数値	14.43			

- ゾーンの境界線  
 ———— 小班境界線  
 ———— 林道



- 木材等生産林   ■ 水源かん養林   ■ 保健文化林

図 2-10 土地利用区分の空間的レイアウト

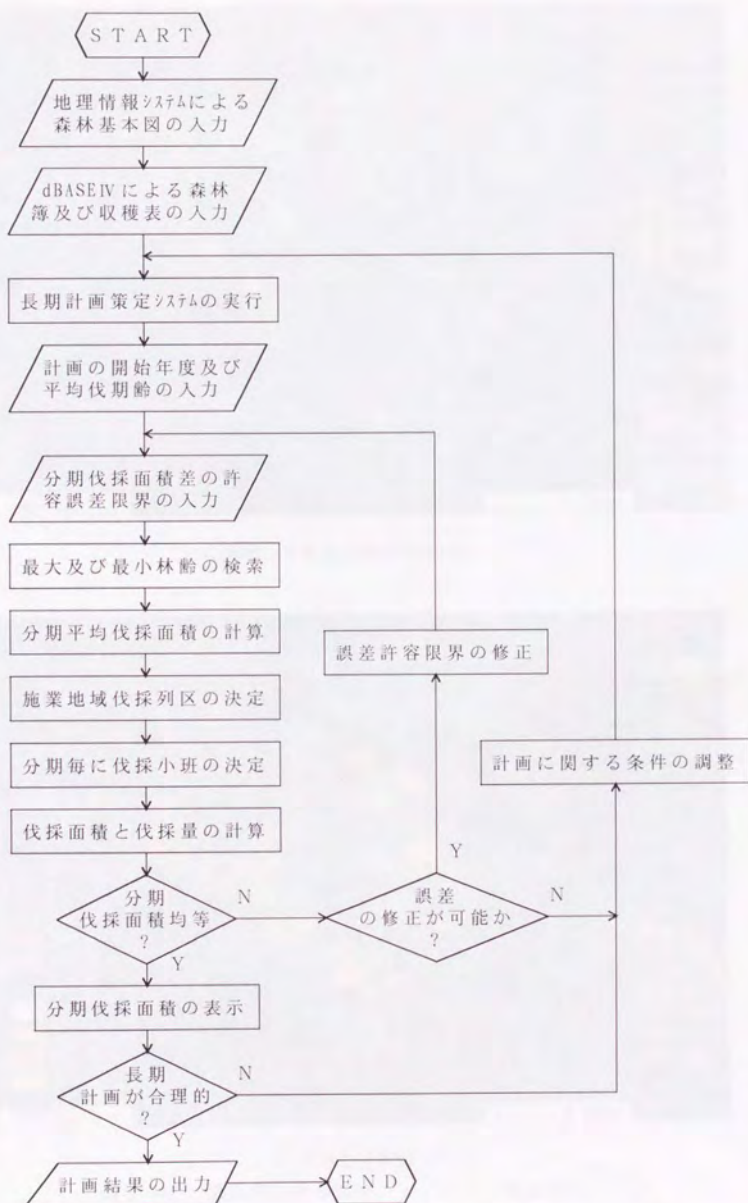
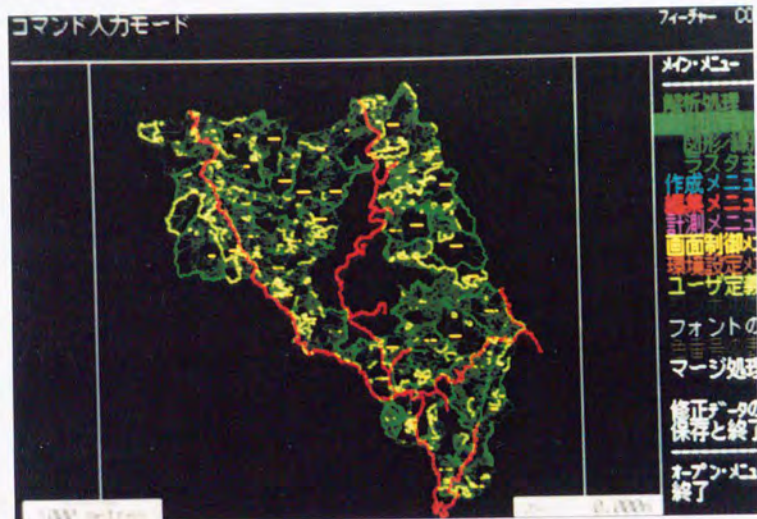
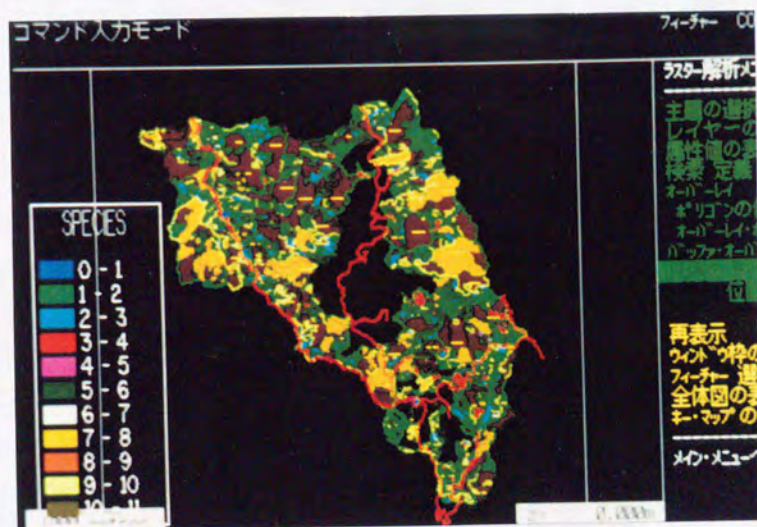


図 3 - 1 シミュレーションによる長期計画策定システムのフローチャート





A. 林班、小班及び林相の境界線



B. 樹種の分布図

図3-2 適用例とするスギ、ヒノキ人工林基本図

表3-1 第3計画分期までの長期経営計画結果  
(平均伐期齢=80年; 分期=10年)

分期	林班	小班	林相	林相面積 (ha)	樹種 コード	地位	林 齢 (年)	伐採面積 (ha)	伐期齢 (年)	伐 採 量 (m <sup>3</sup> )
1	26	C5	1	1.17	1	2	98	1.17	103	854.0
1	26	C5	2	0.13	2	2	98	0.13	103	68.0
1	27	C4	1	1.12	1	2	98	1.12	103	816.7
1	27	C4	2	1.31	1	2	98	1.31	103	952.9
1	27	C4	3	1.31	1	2	98	1.31	103	952.9
1	28	C1	2	5.97	1	2	86	5.97	91	4038.8
小計								11.10		7683.3
2	26	C2	2	0.60	2	2	74	0.60	89	290.1
2	27	D	1	0.26	1	2	91	0.26	106	189.9
2	27	D	2	0.03	3	2	91	0.03	106	12.2
2	28	C1	1	9.47	1	2	86	9.47	101	6831.6
2	28	C1	3	0.86	2	2	86	0.86	101	444.4
小計								11.12		7756.0
3	25	C1	1	0.61	1	2	71	0.61	96	428.5
3	25	C8	10	0.49	1	2	69	0.49	94	335.8
3	25	C8	11	0.36	2	2	69	0.36	94	183.3
3	25	C1	2	0.41	2	2	71	0.41	96	207.2
3	25	C8	3	0.61	1	2	69	0.61	94	419.7
3	25	C8	4	0.36	1	2	69	0.36	94	251.8
3	25	C8	5	0.61	2	2	69	0.61	94	305.5
3	25	C8	6	0.12	2	2	69	0.12	94	61.1
3	25	C8	7	0.61	2	2	69	0.61	94	305.5
3	25	C8	8	1.22	1	2	69	1.22	94	839.5
3	25	C8	9	0.61	2	2	69	0.61	94	305.5
3	26	C3	1	0.47	1	2	70	0.47	95	325.6
3	26	C2	1	1.19	1	2	74	1.19	99	849.6
3	26	C2	3	1.99	1	2	74	1.99	99	1415.9
3	26	C2	4	0.12	2	2	74	0.12	99	61.2
3	26	C2	5	0.08	2	2	74	0.08	99	40.8
3	28	C2	1	0.17	2	2	82	0.17	107	87.9
3	28	C2	2	0.99	1	2	82	0.99	107	737.8
小計								11.02		7162.2







表3-2 千葉演習林スギ、ヒノキ人工林齢級分布表

級	林 齢 範 囲	ス ギ	ヒ ノ キ	小 計
1	1-10	77.70	9.67	87.37
2	11-20	38.60	10.81	49.41
3	21-30	37.40	12.08	49.48
4	31-40	82.90	33.52	116.42
5	41-50	4.94	2.34	7.28
6	51-50	32.30	4.30	36.60
7	61-70	74.65	38.50	113.15
8	71-80	96.90	4.73	101.63
9	81-90	53.31	2.03	55.34
10	91-100	34.86	0.22	35.08
11	101-110	5.61	1.49	7.10
合 計		539.17	119.69	658.86

図3-4 千葉演習林人工林齢級分布図

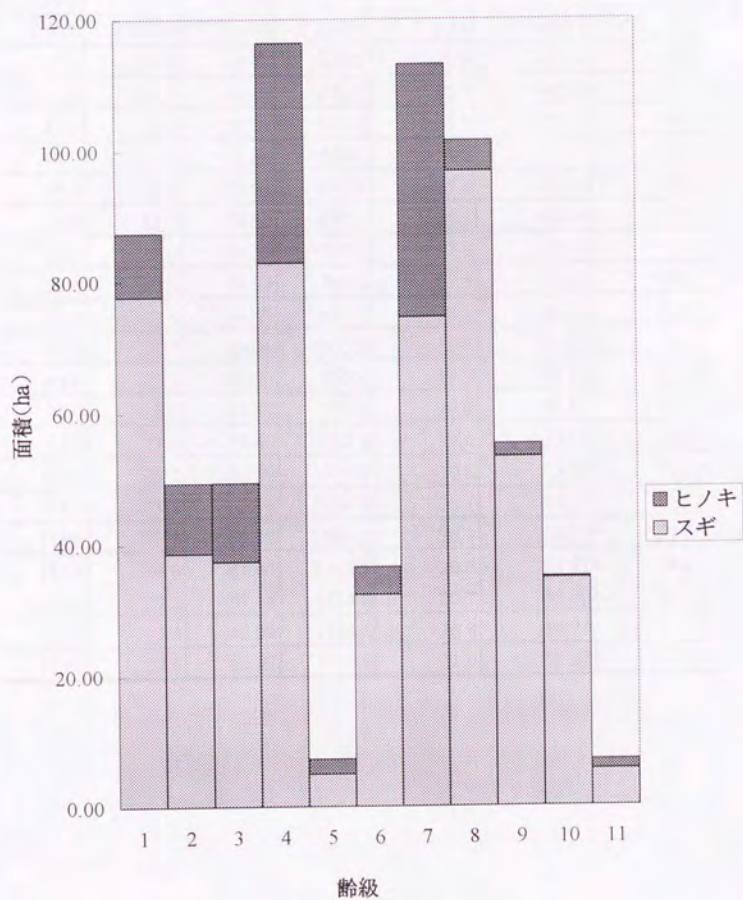


表3-3 千葉演習林人工林収穫表（スギ、ヒノキ）

林 齢 (年)	樹高 (スギ)	断面積 (スギ)	材積 (スギ)	樹高 (ヒノキ)	断面積 (ヒノキ)	材積 (ヒノキ)
20.0	9.3	32.01	158.1	7.8	30.59	128.4
25.0	11.0	38.56	225.0	9.2	36.99	180.1
30.0	12.6	44.05	296.8	10.6	40.78	233.7
35.0	14.1	46.05	366.7	11.8	42.74	286.1
40.0	15.4	48.15	436.2	12.9	44.39	337.1
45.0	16.6	50.17	503.9	13.9	45.90	386.9
50.0	17.6	51.66	569.4	14.8	47.15	433.4
55.0	18.5	53.03	630.3	15.6	48.19	476.5
60.0	19.3	54.32	687.8	16.3	49.10	517.3
65.0	20.2	52.29	735.3	17.0	47.73	554.2
70.0	20.7	56.27	786.2	17.5	50.63	589.3
75.0	21.4	54.67	833.3	18.1	49.43	620.7
80.0	21.7	58.06	877.8	18.4	51.77	649.4
85.0	22.3	56.70	917.6	18.9	50.97	675.8
90.0	22.6	59.57	959.6	19.2	52.87	701.1
95.0	23.0	58.46	993.9	19.6	52.00	722.7
100.0	23.2	60.89	1025.3	19.8	53.56	736.9
105.0	23.5	60.16	1054.3	20.1	53.07	753.8
110.0	23.7	62.22	1080.2	20.3	54.35	771.8
115.0	24.0	61.43	1103.7	20.5	53.92	786.0
120.0	24.1	63.18	1125.0	20.7	55.00	801.1
125.0	24.3	62.48	1144.5	20.8	54.72	815.3
130.0	24.4	63.97	1169.5	21.0	55.63	825.7



表 3-4 千葉演習林参考立木価格統計表

単位：千円

齡級	平均直径 (cm)	平均樹高 (m)	材 積 (m <sup>3</sup> )	単 価	価 格	事業費	施設費	林分価格	現 純 値 (PNV)
30		11	296	12.1	3359	2960	1500	101	30
40		13	436	15.1	6583	4360	2000	223	40
50	20	15	520	18.1	9036	5200	2000	1741	194
60	25	18	630	21.5	13004	6300	2000	5245	358
70	28	22	750	23.4	16848	7500	2000	8928	374
80	31	25	880	24.5	20698	8800	2000	12485	321
90	33	27	100	26.0	24960	10000	2000	16600	262
100	35	30	1100	27.5	29040	11000	2000	21788	211
110		32	1351	28.7	38774	13510	2000	24264	145

表3-5 モデルⅠによる8分期間の収穫面積表  
(目的関数=木材総収穫量)

単位: ha

初期齢級配置	計 画 分 期								齢級蓄積 (m³/ha)	目標齢級配置
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
								0	36.7	B01=82.35
							0	0	73.5	B02=82.35
						0	82.35	82.35	147.1	B03=82.35
A01= 87.31					4.96	82.35	0	0	237.9	B04=82.35
A02= 49.41				0	49.41	0	0	0	325.4	B05=82.35
A03= 49.48			0	21.5	27.98	0	0	0	405.3	B06=82.35
A04=116.42		0	55.57	60.85	0	0	0	0	472.4	B07=82.35
A05= 7.28	0	0	7.28	0	0	0	0	0	533.7	B08=82.35
A06= 36.60	0	17.1	19.5	0	0	0				
A07=113.15	47.9	65.25	0	0	0					
A08=101.63	101.63	0	0	0						
A09= 55.34	55.34	0	0							
A10= 35.08	35.08	0								
A11= 7.10	7.1									
計画期間総収穫量	658.8	247.05	82.35	82.35	82.35	82.35	82.35	82.35		658.8
										577340 6m³

注: 1. この結果は、他の結果に比較するためにモデルⅠの制約式(3-7)と(3-8)を外して解かれたものである。

表3-6 モデルⅠによる8分期間の収穫面積表  
(目的関数=木材総収穫量)

単位: ha

初期齢級配置	計画分								齢級蓄積 (m <sup>3</sup> /ha)	目標齢級配置
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
								0.00	36.70	B01=82.35
							0.00	0.00	73.50	B02=82.35
						0.00	0.00	0.00	147.10	B03=82.35
A01= 87.31					0.00	16.71	24.13	46.47	237.90	B04=82.35
A02= 49.41				0.00	28.90	0.00	11.58	8.94	325.40	B05=82.35
A03= 49.48			0.00	22.54	0.00	0.00	0.00	26.94	405.30	B06=82.35
A04=116.42		6.40	22.04	0.00	0.00	41.34	46.64	0.00	472.40	B07=82.35
A05= 7.28	7.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		533.70	B08=82.35
A06= 36.60	12.30	0.00	0.00	0.00	0.00	24.30				
A07=113.15	3.79	0.00	0.00	55.90	53.45					
A08=101.63	16.80	20.61	60.31	3.91						
A09= 55.34	0.00	55.34	0.00							
A10= 35.08	35.08	0.00								
A11= 7.10	7.10									
計画期間総収穫量	658.80	82.35	82.35	82.35	82.35	82.35	82.35	82.35		658.80
										560482.1m3

注: モデルⅠから得られた結果である。



表3-7 モデルⅠによる8分期間の収穫面積表  
(目的関数=計画期間の現純値(PNV)最大)

単位: ha

初期 齢 級 配 置	計 画 分 期								齢 級 蓄 積 (m <sup>3</sup> /ha)	齢 級 現 純 値 (円/ha)	目 標 齢 級 配 置
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
								0.00	36.70		B01=82.35
							0.00	0.00	73.50		B02=82.35
						26.78	82.35	82.35	147.10		B03=82.35
A01= 87.31					31.74	55.57	0.00	0.00	237.90	-959.00	B04=82.35
A02= 49.41				0.00	49.41	0.00	0.00	0.00	325.40	-549.00	B05=82.35
A03= 49.48			0.00	48.28	1.20	0.00	0.00	0.00	405.30	30.00	B06=82.35
A04=116.42		0.00	82.38	34.07	0.00	0.00	0.00	0.00	472.40	40.00	B07=82.35
A05= 7.28	0.00	7.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		533.70	194.00	B08=82.35
A06= 36.60	0.00	36.60	0.00	0.00	0.00	0.00				358.00	
A07=113.15	113.15	0.00	0.00	0.00	0.00					374.00	
A08=101.63	101.63	0.00	0.00	0.00						321.00	
A09= 55.34	16.87	38.47	0.00							262.00	
A10= 35.08	35.08	0.00								211.00	
A11= 7.10	7.10									145.00	
658.80	273.83	82.35	82.38	82.35	82.35	82.35	82.35	82.35			658.80
計画期間総現純値											265648.05千円

注: 1. この結果は、他の結果に比較するためにモデルⅠの制約式(3-7)と(3-8)を外して解かれたものである。

表3-8 モデルIによる8分期間の収穫面積表  
(目的関数=計画期間の現純値(PNV)最大)

単位: ha

初期 齢 級 配 置	計 画 分 期							齢級蓄積 (m <sup>3</sup> /ha)	齢級現純値 (円/ha)	目標 齢級 配置
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
								0.00		B01=82.35
							0.00	0.00		B02=82.35
						0.00	0.00	2.39		B03=82.35
A01= 87.31					0.00	0.00	32.66	54.65	-959	B04=82.35
A02= 49.41				0.00	10.10	39.31	0.00	0.00	-549	B05=82.35
A03= 49.48			0.00	16.56	26.64	0.00	0.00	6.28	30	B06=82.35
A04=116.42		0.00	29.80	17.90	0.00	0.00	49.69	19.03	40	B07=82.35
A05= 7.28	0.00	0.84	0.00	0.00	0.00	6.44	0.00		194	B08=82.35
A06= 36.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.60			358	
A07=113.15	10.24	57.30	0.00	0.00	45.61				374	
A08=101.63	53.74	0.00	0.00	47.89					321	
A09= 55.34	0.00	2.79	52.55						262	
A10= 35.08	13.66	21.42							211	
A11= 7.10	7.10								145	
658.80	84.74	82.35	82.35	82.35	82.35	82.35	82.35	82.35		658.8
計画期間総現純値										156290.59千円

注: モデルIから得られた結果である。

表3-9 モデルⅠによる8分期間の収穫面積表  
(目的関数=木材総収穫量)

単位: ha

初期 齢級 配置	計 画 分 期						齢級蓄積 (m³/ha)	目標 齢級 配置 (広義の法正林)
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
							0.00	B01=85.00
							0.00	B02=85.00
						13.87	85.00	B03=85.00
A01= 87.31					0.00	71.13	0.00	B04=85.00
A02= 49.41				0.00	48.45	0.00	0.00	B05=85.00
A03= 49.48			0.00	12.93	36.55	0.00	0.00	B06=84.54
A04=116.42		0.00	44.35	72.07	0.00	0.00	0.00	B07=78.53
A05= 7.28	0.00	0.00	7.28	0.00	0.00	0.00	533.7	B08=53.59
A06= 36.60	0.00	3.69	32.91	0.00	0.00	0.00		B09=16.18
A07=113.15	38.31	74.84	0.00	0.00	0.00			B10= 0.96
A08=101.63	101.63	0.00	0.00	0.00				
A09= 55.34	55.34	0.00	0.00					
A10= 35.08	35.08	0.00						
A11= 7.10	7.10							
658.8	237.46	78.53	84.54	85.00	85.00	85.00	85.00	658.8
計画期間総収穫量								576360.34m³

注: 1. この結果は、他の結果と比較するためにモデルⅠの制約式(3-7)と(3-8)を外して解かれたものである。



表3-10 モデルIによる8分期間の収穫面積表  
(目的関数=木材総収穫量)

単位: ha

初期 齢 級 配 置	計 画 分 期						齢 級 蓄 積 (m³/ha)	目 標 齢 級 配 置 (広議の法正林)
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
							0.00	B01=85.00
							0.00	B02=85.00
						0.00	147.10	B03=85.00
A01= 87.31					0.00	18.50	237.90	B04=85.00
A02= 49.41				0.00	30.74	0.00	325.40	B05=85.00
A03= 49.48			0.00	26.58	0.00	3.91	405.30	B06=84.54
A04=116.42		0.00	20.73	0.00	0.00	40.52	472.40	B07=78.53
A05= 7.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.28	533.70	B08=53.59
A06= 36.60	0.00	0.00	0.00	0.00	21.81	14.79		B09=16.18
A07=113.15	0.00	0.00	22.28	58.42	32.45			B10= 0.96
A08=101.63	0.00	60.10	41.53	0.00				
A09= 55.34	35.56	19.78	0.00					
A10= 35.08	35.08	0.00						
A11= 7.10	7.10							
658.8	77.74	79.88	84.54	85.00	85.00	85.00	85.00	658.80
計画期間総収穫量								561607.58m³

注: モデルIから得られた結果である。

表3-11 モデルⅡによる8分期間の収穫面積表  
(目的関数=木材総収穫量)

単位: ha

初期 齢 級 配 置	計 画 分 期								齢 級 蓄 積 (m³/ha)	目 標 齢 級 配 置
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
								0.00	36.70	B01=83.97
							0.00	2.87	73.50	B02=83.95
						0.00	1.78	0.00	147.10	B03=82.55
					0.00	0.00	10.15	77.16	237.90	B04=81.67
A01= 87.31					0.00	0.00	0.00	49.41	325.40	B05=81.67
A02= 49.41				0.00	3.66	0.00	32.85	9.03	405.30	B06=81.67
A03= 49.48		0.00	0.00	14.47	38.68	49.70	13.58	0.00	472.40	B07=81.67
A04=116.42		0.00	0.00	0.89	6.39	0.00	0.00		533.70	B08=81.67
A05= 7.28	0.00	0.00	0.00	0.00	36.60	0.00				
A06= 36.60	0.00	0.00	0.00	0.00	62.65	0.00				
A07=113.15	0.00	0.00	50.50							
A08=101.63	0.00	70.47	31.16	0.00						
A09= 55.34	41.27	14.07	0.00							
A10= 35.08	35.08	0.00								
A11= 7.10	7.10									
	83.45	84.54	81.66	81.67	81.67	82.55	83.95	83.97		658.80
計画期間総収穫量	658.8									566468.80m³

注:  $\lambda = 0.82344$  齢級面積: 74.25~90.75 ha 分期待収穫量: 42,000~52,000m<sup>3</sup>

表3-12 モデルⅡによる8分間の収穫面積表  
(目的関数=計画期間の現純値(PNV)最大)

単位: ha

初期 齢 級 配 置	計 画 分 期								齢 級 蓄 積 (m <sup>3</sup> /ha)	齢 級 現 純 値 (円/ha)	目 標 齢 級 配 置
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
									36.70		B01=82.60
							0.00	3.62	73.50		B02=82.60
						0.00	0.00	22.32	147.10		B03=82.60
A01= 87.31					0.00	0.00	42.83	44.48	237.90	-959.00	B04=82.60
A02= 49.41				0.00	0.00	34.95	9.92	4.54	325.40	-549.00	B05=82.60
A03= 49.48			0.00	0.00	41.83	0.00	0.00	7.65	405.30	30.00	B06=82.60
A04=116.42		0.00	21.10	35.69	0.00	29.78	29.85	0.00	472.40	40.00	B07=82.60
A05= 7.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.28	0.00		533.70	194.00	B08=80.58
A06= 36.60	0.00	26.00	0.00	0.00	0.00	10.60				358.00	
A07=113.15	72.38	0.00	0.00	0.00	40.77					374.00	
A08=101.63	23.42	25.14	6.16	46.91						321.00	
A09= 55.34	0.00	0.00	55.34							262.00	
A10= 35.08	0.00	35.08								211.00	
A11= 7.10	7.10									145.00	
658.80	102.90	86.22	82.60	82.60	82.60	82.61	82.60	82.61			658.80
計画期間総現純値											175347.40千円
計画期間総収穫量											561871.16m <sup>3</sup>

注:  $\lambda = 0.7674$ ; 齢級面積: 74.25~90.75ha; 分期収穫量: 42,000~52,000m<sup>3</sup>; PNVの最低希望値: 160,000千円



表3-13 モデルⅢによる8分期間の収獲面積表  
(目標=計画期間の現純値及び総収獲量の満足解)

単位: ha

初期 齢 級 配 置	計 画 分 期								齢 級 蓄 積 値 (m³/ha)	齢 級 現 純 値 (t/ha)	目 標 齢 級 配 置
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
									36.70	15.83	B01=82.35
								0.00	73.50	23.11	B02=82.35
						0.00	28.45	18.94	147.10		B03=82.35
A01= 87.31					0.00	15.21	53.90	18.20	237.90	-959.00	B04=82.35
A02= 49.41				0.00	0.00	49.41	0.00	0.00	325.40	-549.00	B05=82.35
A03= 49.48			0.00	0.00	25.48	17.73	0.00	6.27	405.30	30.00	B06=82.35
A04=116.42		0.00	42.84	29.11	44.47	0.00	0.00	0.00	472.40	40.00	B07=82.35
A05= 7.28	0.00	7.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		533.70	194.00	B08=82.35
A06= 36.60	0.00	36.60	0.00	0.00	0.00	0.00				358.00	
A07=113.15	100.75	0.00	0.00	0.00	12.40					374.00	
A08=101.63	21.89	26.50	0.00	53.24						321.00	
A09= 55.34	0.00	0.00	55.34							262.00	
A10= 35.08	0.00	35.08								211.00	
A11= 7.10	7.10									145.00	
658.80	129.74	105.46	98.18	82.35	82.35	82.35	82.35	82.35			658.80
計画期間総現純値											211453.00千円
計画期間総収獲量											566862.00m³

注: 計画期間の総現純値の目標値 = 220,000.00 千円; 総収獲量の目標値 = 560,000.00m³

表3-1-4 モデルⅣによる8分期間の収穫面積表  
(目標=計画期間の現純値及び総収穫量の満足解)

単位: ha

初期 齢 級 配 置	計 画 分 期								給 級 蓄 積 値 (m <sup>3</sup> /ha)	給 級 積 貯 現 純 値 (t <sup>3</sup> /ha)	目 標 給 級 配 置
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
								8.05	36.70		B01=82.35
							0.00	22.25	73.50		B02=82.35
						0.00	0.00	47.37	147.10		B03=82.35
A01= 87.31					0.00	0.28	82.35	4.68	237.90	-959.00	B04=82.35
A02= 49.41				0.00	0.00	49.41	0.00	0.00	325.40	-549.00	B05=82.35
A03= 49.48			0.00	0.00	16.82	32.66	0.00	0.00	405.30	30.00	B06=82.35
A04=116.42	0.00	0.00	23.41	31.78	61.23	0.00	0.00	0.00	472.40	40.00	B07=82.35
A05= 7.28	0.00	7.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		533.70	194.00	B08=82.35
A06= 36.60	0.00	36.60	0.00	0.00	0.00	0.00				358.00	
A07=113.15	108.85	0.00	0.00	0.00	4.30					374.00	
A08=101.63	13.78	25.64	11.65	50.57						321.00	
A09= 55.34	0.00	0.00	55.34							262.00	
A10= 35.08	0.00	35.08								211.00	
A11= 7.10	7.10									145.00	
658.80	129.73	104.60	90.40	82.35	82.35	82.35	82.35	82.35			658.80
計画期間総現純値											211789.00千円
計画期間総収穫量											567511.00m <sup>3</sup>

注: 目標: 計画期間の総収穫量と総現純値。

総収穫量の志望水準: 550,000-570,000m<sup>3</sup>; 総現純値の志望水準: 190,000-212,000千円;  $\lambda_1=0.87558$ ,  $\lambda_2=0.58944$

表3-15 モデルVによる8分期間の収穫面積表  
(計画期間の総現純値と総収獲量のバレット解)

単位: ha

初期 齢 級 配 置	計 画 分 期								齢 級 蓄 積 (m <sup>3</sup> /ha)	齢 級 現 純 値 (t <sup>12</sup> /ha)	目 標 齢 級 配 置
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
								16.51	36.70		B01=82.35
							2.71	15.50	73.50		B02=82.35
						0.00	23.14	0.00	147.10		B03=82.35
A01= 87.31					0.00	0.00	36.97	50.34	237.90	-959.00	B04=82.35
A02= 49.41				0.00	0.00	29.88	19.53	0.00	325.40	-549.00	B05=82.35
A03= 49.48			0.00	0.00	0.00	49.48	0.00	0.00	405.30	30.00	B06=82.35
A04=116.42		0.00	13.55	17.53	82.35	2.99	0.00	0.00	472.40	40.00	B07=82.35
A05= 7.28	0.00	0.00	0.00	7.28	0.00	0.00	0.00		533.70	194.00	B08=82.35
A06= 36.60	0.00	0.00	36.60	0.00	0.00	0.00				358.00	
A07=113.15	0.00	6.90	48.70	57.54	0.00					374.00	
A08=101.63	7.97	93.66	0.00	0.00						321.00	
A09= 55.34	55.34	0.00	0.00							262.00	
A10= 35.08	35.08	0.00								211.00	
A11= 7.10	7.10									145.00	
計画期間総収獲量	105.49	100.56	98.85	82.35	82.35	82.35	82.35	82.35			658.80
計画期間総現純値											571009.62m <sup>3</sup>
											195000.42千円

注: 計画期間の第一目標=総収獲量; 第二目標=総現純値。



表3-16 モデルⅥによる8分期間の収穫面積表  
(計画期間の総現純値と総収穫量のパレート解)

単位: ha

初期 齢 級 配 置	計 画 分 期							齢 級 蓄 積 (m³/ha)	齢 級 現 純 値 (円/ha)	目 標 齢 級 配 置
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
								8.05	36.70	B01=82.35
							0.00	22.25	73.50	B02=82.35
						0.00	0.00	47.37	147.10	B03=82.35
A01= 87.31					0.00	0.28	82.35	4.68	237.90	B04=82.35
A02= 49.41				0.00	0.00	49.41	0.00	0.00	325.40	B05=82.35
A03= 49.48			0.00	0.00	16.82	32.66	0.00	0.00	405.30	B06=82.35
A04=116.42		0.00	23.41	31.78	61.23	0.00	0.00	0.00	472.40	B07=82.35
A05= 7.28	0.00	7.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		533.70	B08=82.35
A06= 36.60	0.00	36.60	0.00	0.00	0.00	0.00			358.00	
A07=113.15	108.85	0.00	0.00	0.00	4.30				374.00	
A08=101.63	13.78	25.64	11.65	50.57					321.00	
A09= 55.34	0.00	0.00	55.34						262.00	
A10= 35.08	0.00	35.08							211.00	
A11= 7.10	7.10								145.00	
658.80	129.73	104.60	90.40	82.35	82.35	82.35	82.35	82.35		658.80
計画期間総収穫量										567511.53m³
計画期間総現純値										211789.00千円

注: 計画期間の第一目標=総収穫量; 第二目標=総現純値。

総収穫量の志望水準: 550,000-570,000m³; 総現純値の志望水準: 190,000-212,000千円 ( $\lambda = 0.58944$ )

表3-17、線形計画モデルによる長期計画代替案の比較

長期計画の 代替案番号	線形計画 モデル番号	森林の理想状態 (齢級配置)	総収獲量目的 関数値(m <sup>3</sup> )	総現純値目的 関数値(千円)	分期収獲面積 の通増条件	分期収獲量 の通増条件	総収獲量 の順位	総現純値 の順位
I	I	法正林模型	577340.60	×	×	×	1	×
II	I	法正林模型	560482.10	×	○	○	10	×
III	I	法正林模型	×	265648.05	×	×	×	1
IV	I	法正林模型	×	156290.59	○	○	×	6
V	I	広義の法正林模型	576360.34	×	×	×	2	×
VI	I	広義の法正林模型	561607.58	×	○	○	9	×
VII	II	ファジィ齢級配置	566468.80	×	×	△	6	×
VIII	II	ファジィ齢級配置	561871.16	175347.40	×	△	8	5
IX	III	ファジィ齢級配置	566862.00	211453.00	×	△	7	3
X	IV	ファジィ齢級配置	567511.00	211789.00	×	△	5	2
XI	V	ファジィ齢級配置	571009.62	195000.42	×	△	3	4
XII	VI	ファジィ齢級配置	567511.53	211789.00	×	△	4	2

注 ⅹ：その制約がついていない、○：その制約がついている、△：その制約がファジィ制約に変わっている。



表3-18 各施業集団の小班に関する潜在的な施業方法 (その1)

小班決定変数	林齢 (yr.)	面積 (ha)	樹種	材 用			計画分期			主伐取獲 (m <sup>3</sup> /ha)	間伐取獲 (m <sup>3</sup> /ha)	訪問者 (人・天/yr./ha)	土砂流出量 (m <sup>3</sup> /ha/yr.)
				1	2	3	施 業 団	1	2	3	1	2	3
X <sub>1,1,1</sub>	84	2.88	雑木	C		T	集 団			143.1	8.1	40.0	2.5
X <sub>1,1,2</sub>					C					143.3	0.0	50.0	2.0
X <sub>1,1,3</sub>						C				143.4	0.0	70.0	1.0
X <sub>1,1,4</sub>						R				0.0	0.0	100.0	0.0
X <sub>1,2,1</sub>	46	0.44	雑木		C					133.0	0.0	50.0	2.0
X <sub>1,2,2</sub>						C				138.7	0.0	70.0	1.0
X <sub>1,2,3</sub>						R				0.0	0.0	100.0	0.0
X <sub>1,3,1</sub>	49	0.84	雑木		C					133.0	0.0	50.0	2.0
X <sub>1,3,2</sub>						C				138.7	0.0	70.0	1.0
X <sub>1,3,3</sub>						R				0.0	0.0	100.0	0.0
X <sub>1,4,1</sub>	21	0.17	雑木			C				138.7	0.0	70.0	1.0
X <sub>1,4,2</sub>						R				0.0	0.0	100.0	0.0
X <sub>1,5,1</sub>	59	1.34	ヒノキ	C		T				476.5	8.1	40.0	2.5
X <sub>1,5,2</sub>					C					554.2	0.0	50.0	2.0
X <sub>1,5,3</sub>						C				620.7	0.0	70.0	1.0
X <sub>1,5,4</sub>						R				0.0	0.0	100.0	0.0
X <sub>1,6,1</sub>	56	24.57	雑木	C		T				138.7	8.1	40.0	2.5
X <sub>1,6,2</sub>					C					141.3	0.0	50.0	2.0
X <sub>1,6,3</sub>						C				142.5	0.0	70.0	1.0
X <sub>1,6,4</sub>						R				0.0	0.0	100.0	0.0
X <sub>1,7,1</sub>	47	0.14	雑木		C					133.0	0.0	50.0	2.0
X <sub>1,7,2</sub>						C				138.7	0.0	70.0	1.0
X <sub>1,7,3</sub>						R				0.0	0.0	100.0	0.0
X <sub>1,8,1</sub>	61	0.83	ヒノキ	C		T				554.2	8.1	40.0	2.5
X <sub>1,8,2</sub>					C					620.7	0.0	50.0	2.0
X <sub>1,8,3</sub>						C				675.8	0.0	70.0	1.0
X <sub>1,8,4</sub>						R				0.0	0.0	100.0	0.0
X <sub>1,9,1</sub>	9	1.01	スギ		T					0.0	8.1	70.0	1.2
X <sub>1,9,2</sub>						T				0.0	26.4	70.0	0.6
X <sub>1,9,3</sub>						R				0.0	0.0	70.0	0.0



表3-18 各施業集団の小班に関する潜在的な施業方法 (その2)

小班決定変数	林齢 (yr.)	面積 (ha)	樹種	計画分期			主伐收穫 (m <sup>3</sup> /ha)	間伐收穫 (m <sup>3</sup> /ha)	訪問者 (人・天/yr./ha)	土砂流出量 (m <sup>3</sup> /ha/yr.)
				1	2	3				

水源かん養施業集団										
X <sub>2,1,1</sub>	81	12.10	スギ	C		T	917.6	8.1	32.0	5.0
X <sub>2,1,2</sub>				C			993.9	0.0	40.0	2.5
X <sub>2,1,3</sub>						C	1054.3	0.0	56.0	2.0
X <sub>2,1,4</sub>						R	0.0	0.0	80.0	0.0
X <sub>2,2,1</sub>	86	3.93	スギ	C		T	917.6	8.1	32.0	5.0
X <sub>2,2,2</sub>						C	993.9	0.0	40.0	2.5
X <sub>2,2,3</sub>						C	1054.3	0.0	56.0	2.0
X <sub>2,2,4</sub>						R	0.0	0.0	80.0	0.0
X <sub>2,3,1</sub>	42	2.66	スギ		C		630.3	0.0	40.0	2.5
X <sub>2,3,2</sub>						C	735.3	0.0	56.0	2.0
X <sub>2,3,3</sub>						R	0.0	0.0	80.0	0.0

保健文化施業集団										
X <sub>3,1,1</sub>	83	0.88	スギ	T			0.0	26.5	150.0	1.8
X <sub>3,1,2</sub>					T		0.0	37.6	150.0	1.2
X <sub>3,1,3</sub>						T	0.0	42.5	150.0	0.6
X <sub>3,1,4</sub>						E	0.0	0.0	150.0	0.0
X <sub>3,2,1</sub>	45	1.76	スギ		T		0.0	26.5	150.0	1.2
X <sub>3,2,2</sub>						T	0.0	46.4	150.0	0.6
X <sub>3,2,3</sub>						R	0.0	0.0	150.0	0.0
X <sub>3,3,1</sub>	40	1.68	スギ		T		0.0	26.5	150.0	1.2
X <sub>3,3,2</sub>						T	0.0	46.4	150.0	0.6
X <sub>3,3,3</sub>						R	0.0	0.0	150.0	0.0
X <sub>3,4,1</sub>	46	2.18	ヒノキ		T		0.0	26.5	150.0	1.2
X <sub>3,4,2</sub>						T	0.0	46.4	150.0	0.6
X <sub>3,4,3</sub>						R	0.0	0.0	150.0	0.0
X <sub>3,5,1</sub>	58	1.20	スギ	T			0.0	26.5	150.0	1.8
X <sub>3,5,2</sub>					T		0.0	46.4	150.0	1.2

表3-18 各施業集団の小班に関する潜在的な施業方法 (その3)

小班決定変数	林齢 (yr.)	面積 (ha)	樹種	計画分期			主伐收穫 (m <sup>3</sup> /ha)	間伐收穫 (m <sup>3</sup> /ha)	訪問者 (人・天/yr./ha)	土砂流出量 (m <sup>3</sup> /ha/yr.)
				1	2	3				
X <sub>3,5,3</sub>						T	0.0	46.7	150.0	0.6
X <sub>3,5,4</sub>						R	0.0	0.0	150.0	0.0
X <sub>3,6,1</sub>	48	1.65	ヒノキ		T		0.0	26.5	150.0	1.2
X <sub>3,6,2</sub>						T	0.0	46.4	150.0	0.6
X <sub>3,6,3</sub>						R	0.0	0.0	150.0	0.0
X <sub>3,7,1</sub>	49	0.18	スギ		T		0.0	26.5	150.0	1.2
X <sub>3,7,2</sub>						T	0.0	46.4	150.0	0.6
X <sub>3,7,3</sub>						R	0.0	0.0	150.0	0.0
X <sub>3,8,1</sub>	68	0.37	スギ	T			0.0	26.5	150.0	1.8
X <sub>3,8,2</sub>					T		0.0	46.4	150.0	1.2
X <sub>3,8,3</sub>						T	0.0	46.7	150.0	0.6
X <sub>3,8,4</sub>						R	0.0	0.0	150.0	0.0
X <sub>3,9,1</sub>	41	3.86	スギ		T		0.0	26.5	150.0	1.2
X <sub>3,9,2</sub>						T	0.0	46.4	150.0	0.6
X <sub>3,9,3</sub>						R	0.0	0.0	150.0	0.0
X <sub>3,10,1</sub>	82	0.48	スギ	T			0.0	26.5	150.0	1.8
X <sub>3,10,2</sub>					T		0.0	46.4	150.0	1.2
X <sub>3,10,3</sub>						T	0.0	46.7	150.0	0.6
X <sub>3,10,4</sub>						R	0.0	0.0	150.0	0.0
X <sub>3,11,1</sub>	63	3.38	スギ	T			0.0	26.5	150.0	1.8
X <sub>3,11,2</sub>					T		0.0	46.4	150.0	1.2
X <sub>3,11,3</sub>						T	0.0	46.7	150.0	0.6
X <sub>3,11,4</sub>						R	0.0	0.0	150.0	0.0

表3-19 多面的な利用をめぐる長期計画の目的関数値とその結果

施業集団 No.	小班 No.	小班面積 (ha)	計画分期の木材取引量										土砂流出量 (m <sup>3</sup> /yr.)	訪問者数 (v.d./yr.)
			第一計画分期			第二計画分期			第三計画分期			総取引量 (m <sup>3</sup> )		
			面積 (ha)	皆伐 (m <sup>3</sup> )	間伐 (m <sup>3</sup> )	面積 (ha)	皆伐 (m <sup>3</sup> )	間伐 (m <sup>3</sup> )	面積 (ha)	皆伐 (m <sup>3</sup> )	間伐 (m <sup>3</sup> )			
用材林施業集団	1B01	2.88	2.88	412.1					2.88		23.3	435.5	43.2	115.2
	1B02	0.44										0.0	4.9	44.0
	1B03	0.84										0.0	0.0	84.0
	1B04	0.17										0.0	1.9	17.0
	1C04	1.34							1.34	831.7		831.7	15.0	93.8
水源かん養施業集団	2B01	24.57	6.26	868.3					6.26		50.7	919.0	93.9	2081.4
	2B02	0.14										0.0	0.0	14.0
	2B04	0.83				0.83	515.2				515.2	10.6	41.5	
	2C05	1.01							1.01		26.7	26.7	7.6	70.7
	1C08	12.10	0.86	796.1		9.07	9114.1		2.07	2181.3	7.0	12092.5	192.1	637.8
保健文化施業集団	2C02	3.93							3.93	4143.4		4143.4	56.2	275.1
	2C06	2.66							2.66	1955.9		1955.9	42.3	186.2
	1C01	0.88	0.88			37.4						37.4	2.2	132.0
	1C02	1.76							1.76		81.7	81.7	4.6	264.0
	1C03	1.68							1.68		78.0	78.0	4.4	252.0
	1C05	2.18							2.18		101.2	101.2	5.5	327.0
	1C06	1.20							1.20		56.0	56.0	3.0	188.0
	1C07	1.65							1.65		76.6	76.6	4.1	247.5
	1C09	0.18							0.18		8.4	8.4	0.5	27.0
	1C10	0.37	0.05			2.3	0.32		15.0			17.3	0.9	55.5
目的関数値	2C01	3.86							3.86		179.1	179.1	9.7	579.0
	2C03	0.48	0.48			20.4						20.4	1.2	72.0
	2C07	3.38					3.38		157.8			157.8	8.5	507.0
			11.4	2076.5	60.1	13.6	9629.3	172.8	32.66	9112.3	688.7	21733.8	512.3	6311.7

\*v.d./yr. = visitor-day/year.



- ゾーンの境界線  
 ——— 小班境界線  
 ——— 林道



- |  |                        |  |           |
|--|------------------------|--|-----------|
|  | 第1分期に主伐して第3分期に間伐する     |  | 第2分期に主伐する |
|  | 第1、2、3分期に主伐して第3分期に間伐する |  | 第1分期に間伐する |
|  | 第1と2分期に間伐する            |  | 第3分期に間伐する |
|  | 第3分期に主伐する              |  | 第2分期に間伐する |
|  | 保存林                    |  |           |

図3-5 総合的な長期経営計画結果の空間的レイアウト

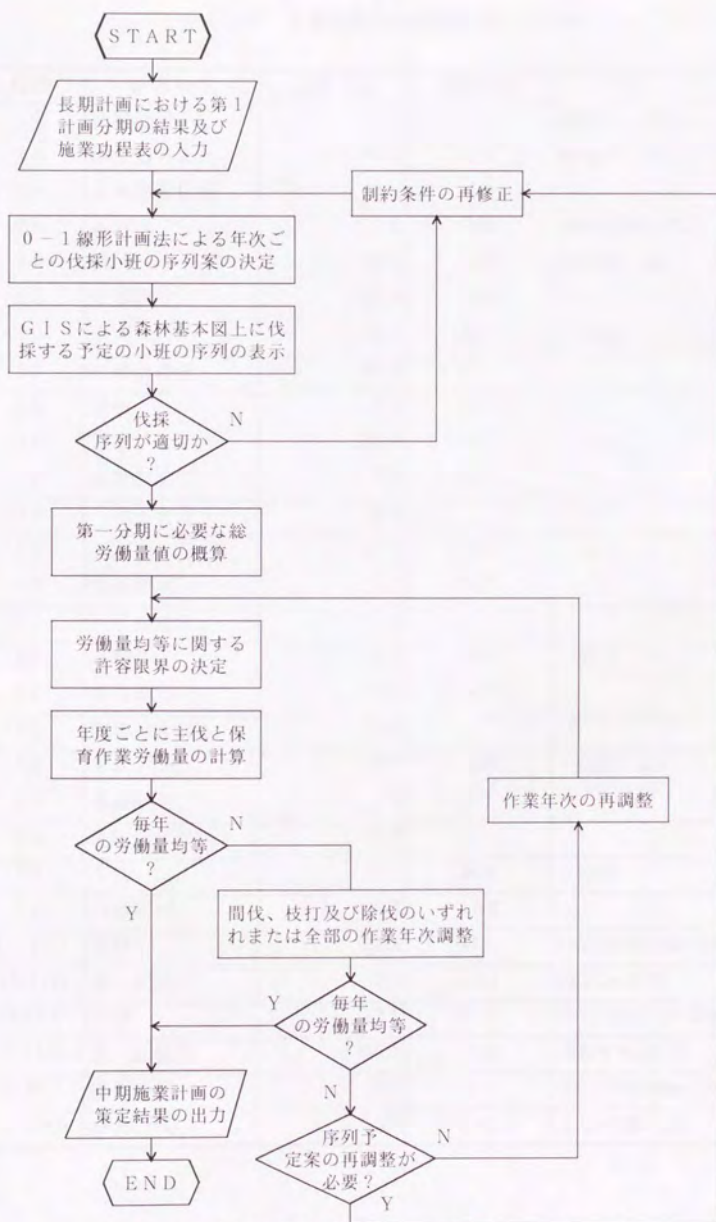


図4-1 中期施業計画策定システムのフローチャート

表4-1 千葉演習林作業基準及び功程表

林齢	作業種類	必要人数	実行月次	備 考
1.0	面積測量	2.0	2-3	棚積み、地ごしらえ
1.0	地ごしらえ	42.3	2-3	棚積み、地ごしらえ
1.0	苗木運搬仮植	3.0	3-4	
1.0	区画割	5.0	3-4	108本植付/1人、1日
1.0	植付	41.0	3-4	4444本/ha
1.0	生長測定	4.4	4-5	
1.0	下刈	10.7	6-7	一回刈
1.0	一年目合計	108.4		
2.0	補植	5.6	6-7	
2.0	下刈	21.4	8-9	二回目
2.0	生長測定	2.2	6-7	
2.0	二年目合計	29.2		
3.0	下刈	21.4	8-9	二回目
3.0	生長測定	2.2	6-7	
3.0	三年目合計	23.6		
4.0	下刈	21.4	8-9	二回目
4.0	生長測定	2.2	6-7	
4.0	四年目合計	23.6		
5.0	下刈	10.7	8-9	一回目
5.0	生長測定	2.2	6-7	
5.0	五年目合計	12.9		
6.0	下刈	10.7	8-9	一回目
7.0	つる切刈	3.8	11-2	
8.0-10.0	除伐	27.5	11-2	仕立本数3500-4000
9.0-11.0	第一回枝打	30.0	11-2	高さ2mまで
14-15.0	除伐	27.5	11-2	仕立本数3000前後
14-15.0	第二回枝打	40.0	11-2	高さ4-5mまで
20-25.0	撫育間伐	12.5	11-2	仕立本数2000-2500
30-35.0	撫育間伐	12.5	11-2	仕立本数1500



表4-2 各年度の労働量配分表

単位：人日

年度	主伐	植林	下刈	補植	つる	除伐	枝打	間伐	総量	総面積ha
1993	13.1	0.0	0.0	0.0	0.0	103.7	200.4	61.3	378.5	15.97
1994	13.0	102.7	11.8	6.2	0.0	162.8	65.1	17.5	372.8	11.69
1995	13.1	102.7	35.2	6.1	0.0	72.8	64.0	86.3	380.4	14.47
1996	13.1	102.7	58.9	6.2	0.0	0.0	164.5	0.0	345.2	8.51
1997	13.1	102.7	82.4	6.2	0.0	56.7	72.2	18.5	351.7	10.84
1998	13.1	102.7	94.2	6.2	0.0	59.7	106.0	0.0	381.8	11.42
1999	13.1	102.7	105.8	6.2	0.0	0.0	51.1	91.2	370.0	14.55
2000	13.1	102.7	105.8	6.2	4.2	0.0	118.0	20.0	370.0	15.07
2001	13.0	102.7	105.9	6.2	4.2	30.3	0.0	103.1	365.3	18.14
2002	13.1	102.7	105.9	6.2	4.2	30.3	0.0	76.4	338.7	16.01
合計	130.8	924.3	705.9	49.5	2.6	516.3	841.3	474.3	3654.4	136.68

表4-3 年度別施業計画表(1993)

年 度	林 相	林齢(年)	施業面積(ha)	施 業 種 類	労働量(人日)
1993	25C020001	35	0.53	第2回間伐	6.6
1993	25C020002	35	0.53	第2回間伐	6.6
1993	25C020003	35	0.53	第2回間伐	6.6
1993	26C050001	0	1.10	主伐	13.1
1993	28C020301	24	0.85	第1回間伐	10.6
1993	28C020401	24	1.03	第1回間伐	12.9
1993	28C020401	24	0.44	第1回間伐	5.5
1993	28C020601	16	0.52	第2回枝打	20.7
1993	28C020602	16	0.50	第2回枝打	20.1
1993	28C020603	16	0.46	第2回枝打	18.2
1993	28C010201	11	0.42	第1回枝打	12.6
1993	28C010202	11	0.14	第1回枝打	4.2
1993	28C010203	11	1.38	第1回枝打	41.5
1993	28C010301	10	0.93	第1回枝打	27.8
1993	28C010302	10	1.13	第1回枝打	34.0
1993	28C010401	9	0.27	第1回除伐	7.5
1993	28C010402	9	0.04	第1回除伐	1.2
1993	28C010403	9	0.02	第1回除伐	0.6
1993	28C010404	9	0.22	第1回除伐	6.0
1993	28C010405	9	0.04	第1回除伐	1.2
1993	28C010102	13	1.60	第2回除伐	44.0
1993	28C010203	11	0.71	第1回間伐	21.3
1993	28C010401	9	1.57	第1回除伐	43.2
1993	28C020301	25	1.00	第1回間伐	12.5
小 計			15.96		378.5

# 東京大学農学部附属干葉演習林

作業種類

主伐	第1回除伐	第2回除伐	第1回枝打	第2回枝打	第1回間伐	第2回間伐
□	▨	▩	▧	▦	▥	▤

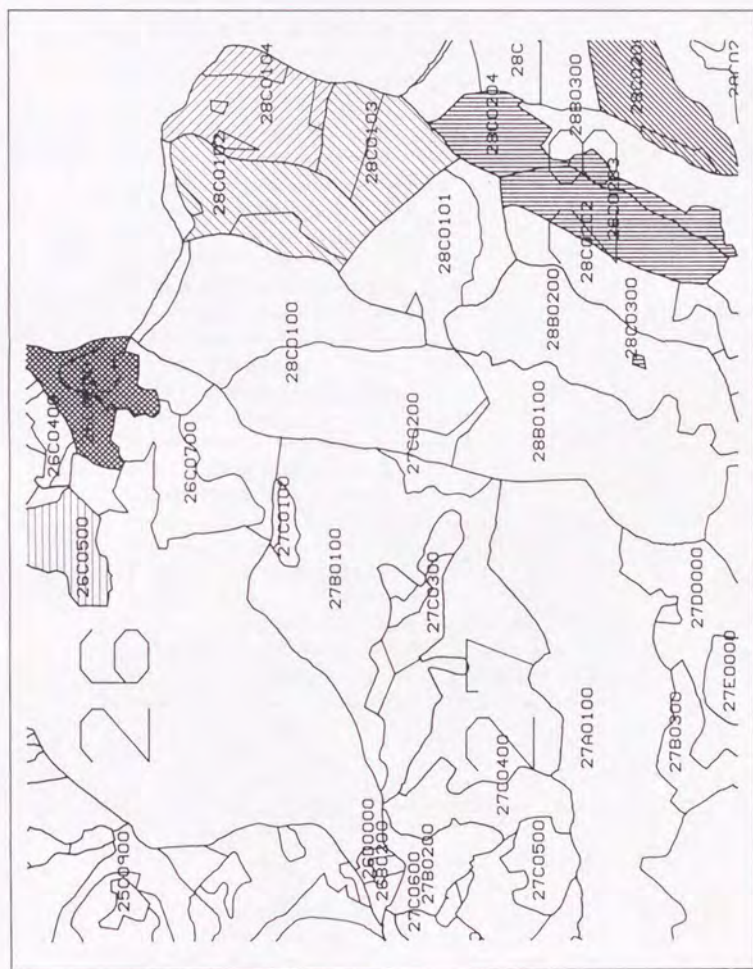


図4-2 GISによる中期施業計画策定の結果

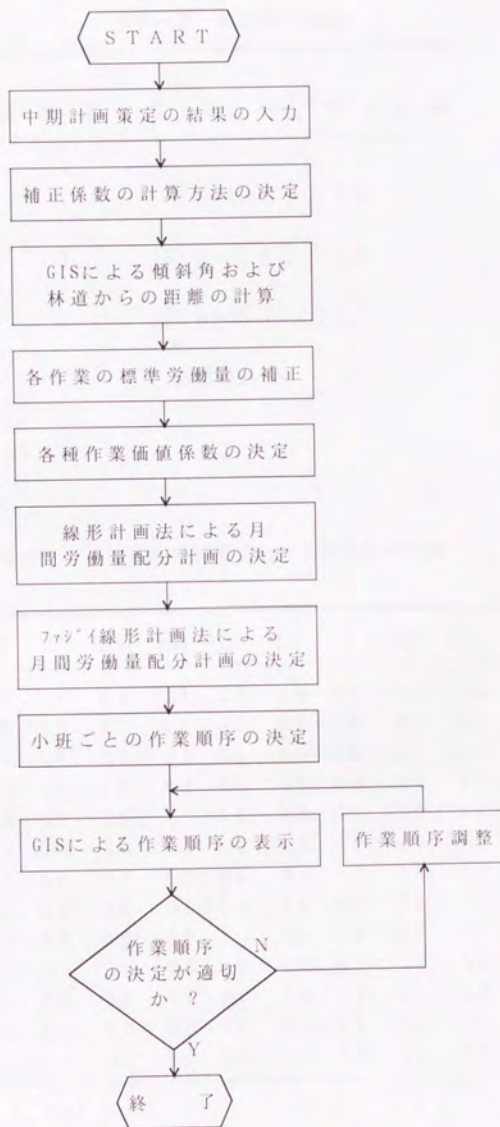


図5-1 短期作業計画策定システムのフローチャート



表5-1 傾斜補正係数

傾 斜 度	傾 斜 角	補 正 係 数
1	0.0~15.0	1.0
2	16.0~25.0	1.1
3	26.0~35.0	1.2
4	36.0以上	1.3

表5-2 短期作業計画における作業価値係数

作業種類	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
主 伐	1.0	1.0	1.0	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	1.0	1.0
面積測量	0.1	1.0	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
地 拵 え	0.5	1.0	1.0	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
苗木運搬	0.1	0.5	1.0	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
面積区画	0.1	0.5	1.0	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
成長測定	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
植 付	0.1	0.2	1.0	1.0	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
補 植	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
下 刈	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	1.0	0.5	0.1	0.0	0.0
つる切刈	1.0	1.0	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	1.0	1.0
除 伐	1.0	1.0	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	1.0	1.0
枝 打	1.0	1.0	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	1.0	1.0
間 伐	1.0	1.0	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	1.0	1.0

表5-3 労働量配分計画における制約

必 要 な 労 働 量 制 約									$b_i$
利 用 可 能 な 労 働 量 制 約	$x_{1,1}$	$x_{1,2}$	$x_{1,3}$	・	・	・	$x_{1,11}$	$x_{1,12}$	128.1
	$x_{2,1}$	$x_{2,2}$	$x_{2,3}$	・	・	・	$x_{2,11}$	$x_{2,12}$	33.0
	$x_{3,1}$	$x_{3,2}$	$x_{3,3}$	・	・	・	$x_{3,11}$	$x_{3,12}$	701.8
	$x_{4,1}$	$x_{4,2}$	$x_{4,3}$	・	・	・	$x_{4,11}$	$x_{4,12}$	49.8
	$x_{5,1}$	$x_{5,2}$	$x_{5,3}$	・	・	・	$x_{5,11}$	$x_{5,12}$	82.9
	$x_{6,1}$	$x_{6,2}$	$x_{6,3}$	・	・	・	$x_{6,11}$	$x_{6,12}$	178.9
	$x_{7,1}$	$x_{7,2}$	$x_{7,3}$	・	・	・	$x_{7,11}$	$x_{7,12}$	680.3
	$x_{8,1}$	$x_{8,2}$	$x_{8,3}$	・	・	・	$x_{8,11}$	$x_{8,12}$	87.3
	$x_{9,1}$	$x_{9,2}$	$x_{9,3}$	・	・	・	$x_{9,11}$	$x_{9,12}$	13.89.0
	$x_{10,1}$	$x_{10,2}$	$x_{10,3}$	・	・	・	$x_{10,11}$	$x_{10,12}$	23.5
	$x_{11,1}$	$x_{11,2}$	$x_{11,3}$	・	・	・	$x_{11,11}$	$x_{11,12}$	357.8
	$x_{12,1}$	$x_{12,2}$	$x_{12,3}$	・	・	・	$x_{12,11}$	$x_{12,12}$	469.9
	$x_{13,1}$	$x_{13,2}$	$x_{13,3}$	・	・	・	$x_{13,11}$	$x_{13,12}$	349.5
$b_j$	342.0	361.0	418.0	・	・	・	361.0	361.0	

表5-4 線形計画法による短期作業計画表（平成6年）

作業種類	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	合 計
主 伐	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	128.1	128.1
面積測量	0.0	33.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.0
地 拵 え	0.0	283.8	418.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	701.8
苗木運搬	0.0	0.0	0.0	49.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.8
面積区画	0.0	0.0	0.0	82.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	82.9
成長測定	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	178.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	178.9
植 付	0.0	0.0	0.0	266.3	342.0	72.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	680.3
補 植	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.3
下 刈	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.6	399.0	418.0	380.0	178.4	0.0	0.0	1,389.0
つる切刈	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.5	23.5
除 伐	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	148.4	209.4	357.8
枝 打	0.0	36.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	220.6	212.6	0.0	469.9
間 伐	342.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	349.5
月間合計	342.0	361.0	418.0	399.0	342.0	351.8	399.0	418.0	380.0	399.0	361.0	361.0	4,531.8



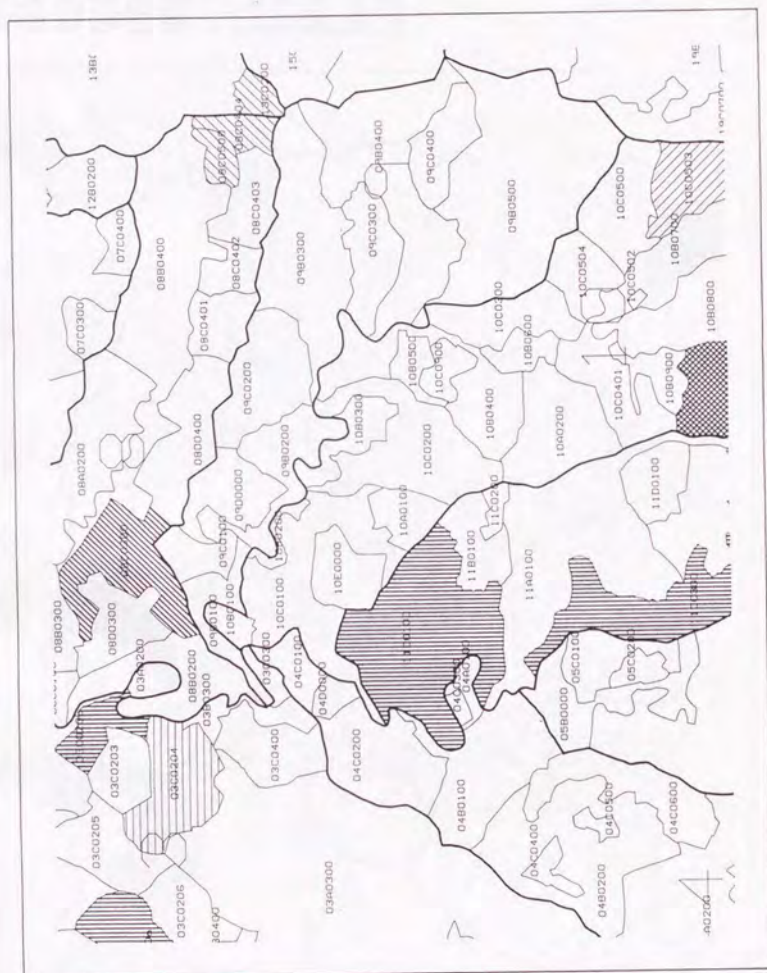
表5-5 ファジイ線形計画法による短期作業計画表（平成6年）

作業種類	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	合 計
主 伐	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	102.3	25.8	128.1
面積測量	0.0	33.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.0
地 拵 え	0.0	283.3	418.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	701.8
苗木運搬	0.0	0.0	25.6	24.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.8
面積区画	0.0	0.0	0.0	82.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	82.9
成長測定	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	178.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	178.9
植 付	0.0	0.0	0.0	316.9	363.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	680.3
補 植	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.3
下 刈	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	423.9	444.2	403.8	117.1	0.0	0.0	1,389.0
つる切刈	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.5	0.0	23.5
除 伐	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	357.8	357.8
枝 打	13.9	67.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	130.9	257.8	0.0	469.9
間 伐	349.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	349.5
月間合計	363.4	383.6	444.1	424.0	363.4	266.2	423.9	444.2	403.8	248.0	383.6	383.6	4,531.8

# 東京大学農学部附属千葉演習林

作業種類

主伐	植付、成割
補植、成割	下刈
つる切刈	除伐
校打	間伐



Scale 1: 7000

図5-2 平成6年度における小班ごとの作業種類分布図

# 東京大学農学部附属千葉演習林

作業時期  
 JAN.  
 FEB.  
 MAR.  
 APR. MAY  
 JUNE  
 JULY  
 AUG.  
 SEPT.  
 OCT.  
 NOV.  
 DEC.

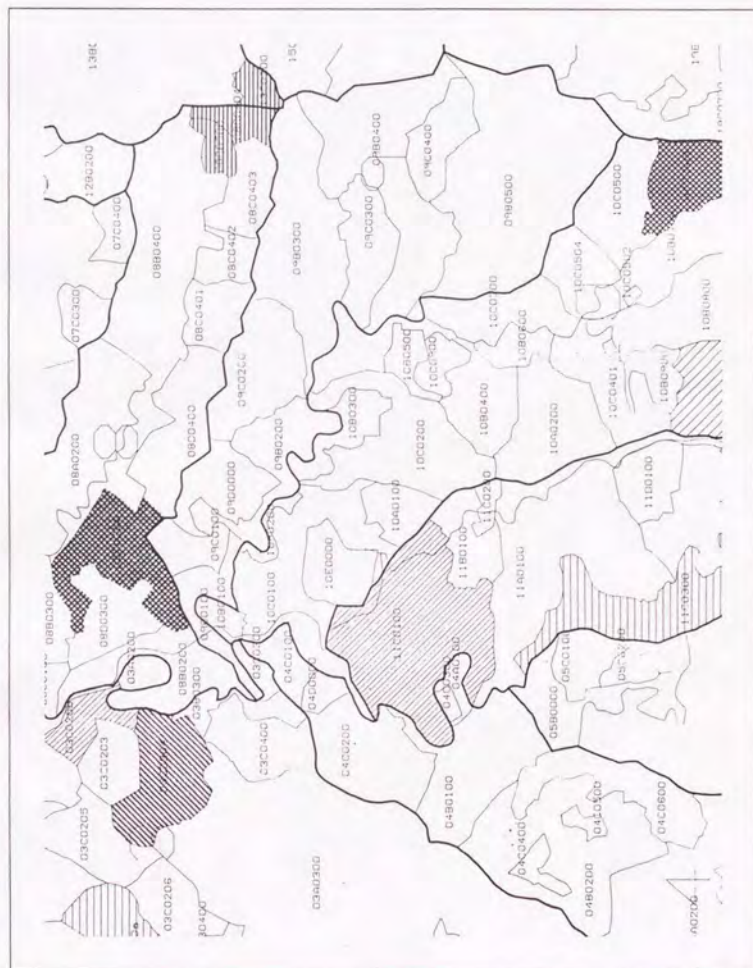


図 5-3 平成 6 年度における小班ごとの作業時期分布図



