

システム収穫表および
森林情報アトラスに関する研究*
—— 流域森林管理情報システムの開発 ——

鄭 小 賢
信州大学農学部 森林環境研究室

目 次

| | |
|-------------------------------|----|
| I 序 論 | 3 |
| 1. 研究の目的 | 3 |
| 2. 論文の構成 | 3 |
| II システム収穫表 | 4 |
| 1. 収穫表に関する研究 | 4 |
| 2. システム収穫表 | 6 |
| (1) システム収穫表の定義 | 6 |
| (2) この分野の研究 | 7 |
| (3) システム収穫表の機能 | 7 |
| 1) 柔軟な入力処理機能 | 7 |
| 2) 豊富な予測機能 | 7 |
| 3) 多様な出力機能 | 8 |
| 3. システム収穫表の作成方法 | 8 |
| (1) 予測対象, 項目, 作成方針の決定 | 9 |
| (2) 資料の入手, 解析 | 10 |
| (3) 成長予測システムの構築 | 10 |
| 1) 林分状況の入力 | 11 |
| 2) 枯損木本数の予測 | 11 |
| 3) パラメータの選択 | 11 |
| 4) 林分平均樹高の成長予測 | 12 |
| 5) 林分平均直径の成長予測 | 12 |
| 6) 直径分布の予測 | 13 |
| 7) 樹高曲線の予測 | 13 |
| 8) 立木材積の計算 | 13 |
| 9) 間伐モデル | 13 |
| 10) 丸太材積の計算 | 13 |
| III 流域森林情報データベース (アトラス) | 14 |

* 本論文は岐阜大学大学院連合農学研究科学位論文である。

| | |
|---|----|
| 1. 地理情報システム GIS に関する研究 | 14 |
| 2. 教育用地理情報システム GIS kit の開発と応用 | 14 |
| (1) GIS kit の開発 | 14 |
| (2) 信州大学農学部演習林における GIS kit の応用 | 16 |
| 1) GIS kit による手良沢山演習林地理データベースの構築 | 16 |
| 2) 手良沢山演習林教育研究計画における GIS kit の応用 | 19 |
| 3. 流域森林情報データベースの作成 | 22 |
| (1) 方法 | 23 |
| 1) 情報の収集 | 23 |
| 2) 用いた GIS ソフトおよび機種 | 23 |
| 3) データの入力 | 23 |
| (2) データベースの構築 | 23 |
| (3) 結果 | 24 |
| IV システム収穫表と森林情報アトラスを統合した流域森林管理情報システムの開発 | |
| 一信州カラマツ林施業計画への応用一 | 27 |
| 1. 流域森林管理情報システム | 27 |
| (1) 流域森林管理情報システムとは | 27 |
| (2) 流域森林管理情報システムに必要な情報 | 28 |
| (3) 流域森林管理情報システムの構造 | 28 |
| 2. カラマツ人工林の長伐期施業計画の意志決定への支援 | |
| 一最適施業体系の確立一 | 29 |
| (1) 対象地域および対象林分の概況 | 30 |
| 1) 対象地域の概況 | 30 |
| 2) 対象林分の概況 | 30 |
| (2) 研究の方法 | 30 |
| 1) 用いたデータベース, GIS ソフトおよび機種 | 30 |
| 2) 施業区分の方法 | 31 |
| 3) 最適伐期齢判定の方法 | 31 |
| (3) GIS による支援の結果 | 32 |
| 1) 地位条件の区分 | 32 |
| 2) 地利条件の区分 | 35 |
| 3) 施業区分 | 35 |
| (4) システム収穫表による支援の結果 | 35 |
| 1) 間伐方法の比較 | 35 |
| 2) 間伐間隔期間の比較 | 41 |
| 3) 最適伐期齢の判定 | 41 |
| (5) 問題点および今後の課題 | 45 |
| 3. 流域森林の素材生産量の予測 | 47 |
| (1) 素材生産量の予測方法 | 47 |
| 1) 素材収穫表の作成 | 47 |
| 2) 素材生産量の予測方法 | 47 |

| | |
|--------------|----|
| (2) 素材生産量の予測 | 50 |
| 1) 伐採性向の現況 | 50 |
| 2) 伐採モデル | 50 |
| (3) 結果 | 51 |
| V まとめ | 55 |
| 謝辞 | 56 |
| 要旨 | 56 |
| 引用文献 | 58 |
| Summary | 61 |

I 序 論

1. 研究の目的

本研究では、第1にシステム収穫表を開発すること、第2に流域森林情報データベース（アトラス）を開発すること、第3にシステム収穫表と流域森林情報データベースを統合した流域森林管理情報システムを開発することを目的としている。

今、「流域」を単位として、効率的な流域森林管理システムを確立することが必要となっている。流域森林を管理するには、まず、対象となる森林の「空間（場所）」と「時間（成長）」を把握しなければならない。次に、その空間と時間を統合した管理方法を開発しなければならない。そこで、本研究では、まず森林の様々な成長を予測するために、システム収穫表を開発する。次に、流域森林の場所を把握するために、アトラス形式の流域森林情報データベースを開発する。さらにシステム収穫表と流域森林情報データベースを統合した流域森林管理情報システムを開発する。最後に、流域森林管理システムを流域森林施業計画に応用し、その有効性を確認する。

2. 論文の構成

本論文の構成は次の通りである。第II章では、筆者が考えるシステム収穫表を体系的に説明する。まず、システム収穫表の定義と要件を明らかにする。次に、筆者が信州カラマツ林システム収穫表を開発した経験に基づき、その作成方法の考え方を一般化し、システム収穫表の作成方法を明らかにする。

第III章ではまず、筆者らが開発した地理情報システム GIS kit を用いて、信州大学農学部演習林への応用を事例として地理情報システム（GIS）を簡単に説明する。次に、長野県天竜川流域にある長谷村を対象地域として、GIS を用いて森林資源に関する情報を統合し、必要な情報を適時適切に提供する流域森林情報データベース（アトラス）の開発および応用を試みる。

第IV章ではシステム収穫表と流域森林情報データベースとを結合した流域森林情報管理システムを構築し、信州カラマツ林施業計画への応用を試み、本システムの有効性を確認する。まず、対象地域の立地条件と地利条件により施業区分方法を明らかにする。次に、システム収穫表を用いて、各種の間伐方法と伐期齢の検討を行い、有利な間伐体系および最適な伐期齢を明らかにする。さらに、対象林分の5分期（25年）後までの素材生産量の予測を行い、

その動向を明らかにする。

第V章では本論文の結果をまとめる。

II システム収穫表

1. 収穫表に関する研究

収穫表の定義は人によって相違があるが、「成長条件が近似している地方において、一定の地位、作業種に対して一つの林分が法正な成長状態を維持しているとき、単位面積あたりの収穫量などが一定年数ごとに記載されている表である。」というように要約できる⁽²⁰⁾。

収穫表が作られた歴史は古く、18世紀の終わりごろからといわれており、ドイツの Paulsen は1795年に発表していたのが恐らく一番最初の収穫表なのであろう⁽¹⁰⁾。その後、世界各国で多くの収穫表が調製されてきた。

日本における最初の収穫表は、志賀泰山によって明治20年代に作られたアカマツ林収穫表であるといわれている。次いで明治25年に原音吉、望月常がスギ林収穫表を調製した。昭和30年代までに、日本各地で主要な樹種の収穫表が次々と発表され、今日までに100種類以上の収穫表が調製されている⁽¹⁹⁾。

カラマツの最初の収穫表は、寺崎渡が1907年に作った長野県地方カラマツ林収穫表である⁽⁴⁾。今までに公表されたカラマツの収穫表をあげてみると、次のようである。

- ① 寺崎渡(1907)：長野県地方カラマツ林収穫表
- ② 猿谷嘉吉(1926)：別子地方カラマツ林収穫表
- ③ 杉浦重昭(1927)：長野県諏訪郡地方カラマツ林収穫表
- ④ 中島広吉・斉藤善三朗(1930)：北海道軽川地方カラマツ林収穫表
- ⑤ 斉藤一通(1937)：長野県諏訪郡地方カラマツ林収穫表
- ⑥ 藤原藤吉郎(1942)：北海道地方カラマツ林収穫表
- ⑦ 吉成秀夫(1944)：長野県地方カラマツ林収穫表
- ⑧ 嶺一三(1955)：信州地方カラマツ林収穫表（以下嶺収穫表という）
- ⑨ 松井善喜(1957)：北海道地方カラマツ林収穫表
- ⑩ 長野営林局(1967)：長野営林局カラマツ収穫予想表

これらの収穫表のうち、①、③、⑤、⑦、⑧、⑩は長野県のカラマツ林を対象に調製されたものである。そのうち寺崎、杉浦、斉藤の収穫表は、植付本数が著しく密な施業法で材積も過大であって、現実林にはほとんど適合しないといわれている。吉成の収穫表は長野営林局、前橋営林局管内のカラマツ林の調査資料を用いて調製されたものであるが、いまではあまり利用されていない。嶺の収穫表⁽¹⁰⁾は長野県の国有林10営林署135ヶ所の資料から調製された収穫表であり、これまでの信州カラマツ林の施業の手がかりとしてよく用いられている。

一方、戦後の大面積人工造林により、日本の人工林面積が急増し、現在、人工林の面積は約1,000万haである。その人工林資源をより一層充実するために、適正な施業体系を確立していかなければならない。そのために、昭和40年代から、人工林資源の把握、収穫量の予測、人工林施業体系の検討の基礎資料として、各地で主要樹種の人工林収穫予想表が作成されてきた。長野営林局では昭和42年に標準地調査の結果に基づき、当時の施業状況に合わせて、

カラマツ人工林の収穫予想表⁽¹¹⁾が作成された。

ここで、これらの収穫表を従来の収穫表と呼ぶ。従来の収穫表の主要な用途を整理すると次のようになる⁽¹²⁾。

- ① 森林の将来の成長量および収穫量の予測
- ② 経営成果の判定
- ③ 育林、保育等施業の指針
- ④ 経営計画や経営経済的計算の資料
- ⑤ 地位の判定

しかし、従来の収穫表は基本的に一つの施業体系を前提として、一定の地位、植栽から、通常5年単位ごとにha当りの林分の平均値（本数、樹高、直径、材積など）の変化と成長を表示した数表である。従来の収穫表を現実林分に適用する際の問題点を整理すると次の3点があげられる。

①施業方法に選択の余地がない。対象林分に対し一つの施業体系のもとに、5年ごとに下層間伐や全層間伐等の施業を一通り繰り返して行うことは、実際の林業経営ではほとんど不可能である。したがって、現実林分の施業指針としてはそれほど有効なものとは評価されていない。

②林分の成長経過が固定されている。直径成長も、樹高成長も一種類の成長経過情報しか得られない。しかし、現実林分の成長はさまざまであり、その成長経過も多種多様である。したがって、従来の収穫表からは、現実林分の成長および収穫量を予測することはできない場合が多い。

③林分の平均値情報しか得られない。現実の林分ごとの施業計画や林分評価をする際には、平均値情報だけでは不十分であり、少なくとも間伐や主伐時に直径階ごとの樹木が何本得られるかというような直径分布情報が必要である。

以上のように、従来の収穫表は現実林分の施業計画実務に対して不十分であったため、個別の林分の施業を検討するための資料としては使われず、地域のマクロ的な資源予測や保続計算資料として使われてきた。そのために、研究者は現実林分の施業計画や林分評価などに応えられるような収穫表を開発しようと考えており、現場からの要求も高い。

例えば長野営林局の場合を考えてみよう。長野営林局は昭和30年代から、カラマツ造林を急速に進めた。現在、カラマツ人工林は人工林総面積の半分以上を占めており、林齢20年～40年の造林地面積はカラマツ人工林の約7割を占めている。しかし、間伐が遅れ、不健全な林分が多く、間伐については大きな問題をかかえている。また、長野営林局ではこれまでの短伐期施業から長伐期大径材施業への転換が検討されている。そのためには、適切な施業体系が確立されなければならない。しかし、従来のカラマツ収穫表は短伐期、下層間伐の繰り返しを前提に調製されたものであり、間伐方法のちがいによる収穫量予測はできない。また径級別の収穫量予測や長伐期施業にも対応していない。したがって、現実林の施業計画実務にふさわしい機能を備えた新しい収穫表が必要となっている。

一方、篠崎・吉良⁽²⁵⁾らの密度効果の理論に基づいて、同齢単純林の密度管理と林分収穫との関係を一つの図にまとめた林分密度管理図が取り上げられてきた。最初に作られた林分密度図は安藤貴によるもので、1968年にスギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツの4樹種の林分

密度管理図⁽³⁾が発表された。その後、各地で林分密度理論の手法を用いて、主要樹種別に人工林林分密度管理図が作成されてきた。長野営林局では、昭和52年に相対幹距比によるカラマツ林密度管理図⁽¹²⁾が作成された。この林分密度管理図では従来の収穫表と異なり、多様な植栽密度を同時に検討できるようになったが、地位と林齢が直接表示されていない、従来の収穫表と同様に下層間伐しか取り扱えない、林分の平均値情報しか提供できないという3つの欠点を持っていた。

収穫表の調製や開発などに対応して、森林の成長モデルに関する研究が進められてきた。昭和30年代までは主として様々な成長曲線が検討されてきた。昭和30年代に、篠崎・吉良によって Logistic 理論に基づく、密度と成長に関する研究が提起され、林学における成長に関する研究の重点は林分密度管理図へと移った。同時に鈴木⁽²⁸⁾は MITSCHERLICH 式を中心に研究を進めていた。その後、大隅⁽²²⁾をはじめ多くの人々が Richards 成長関数に基づく単木および林分の成長解析を精力的に進めている。

林分構造の予測については、木梨^(6,7)によって Weibull 分布についての成長モデルの研究が進められてきた。

最近、単純同齢林ばかりではなく、複層林、天然林も含めて様々な森林の成長を予測するコンピュータシミュレーションシステム^(5,45)が開発されている。

このように、多くの成長モデルが公表されてきており、これからは、これらの研究成果と林業の実践とを結び付け、実用性が高い収穫表の開発が望まれている。また、計算機を使用して森林の成長および収穫量を予測しようという考え方が時代の流れである。

これから開発しようとする収穫表は少なくとも次の3つの機能を持たなければならない。

- ①自由度が高く、現実林分のさまざまな施業に対応した成長予測ができる。
- ②予測機能が豊富であり、林分の平均値だけでなく、単木の成長や丸太情報も予測できる。
- ③予測結果の表示が多様であり、数表だけでなく、グラフや計算機画面などにも表示できる。

2. システム収穫表

システム収穫表には、明確な論理性が要求されるが、その成長モデルやアルゴリズムは自由である。システム収穫表の機能や形式、作成方法は一義的には規定されず、それぞれの作成者の林分成長および収穫量予測に関するシステム思考を具体化したシミュレーションソフトウェアであるといえる。したがって、ここでは筆者が開発した信州カラマツ林システム収穫表を具体例に、システム収穫表の概念と作成方法をまとめた。

(1) システム収穫表の定義

システム収穫表とは、今までの研究成果と林業の実践を結び付け、現実のさまざまな施業に対応して林木の成長および収穫量を予測するコンピュータシミュレーションシステムである⁽³⁶⁾。

システム収穫表は現実のさまざまな林況にある林分を対象としており、予測する林分の林況(出発点)、予測を必要とする林齢(終点)を任意に設定することができなければならない。

施業とは植栽本数、除・間伐、枝打、主伐など林分の取扱い方法である。システム収穫表では主に密度管理に関する植栽本数、間伐を扱う。経営目的に合わせて、間伐を行う時期、

種類や間伐率などを自由に設定することができなければならない。

信州カラマツ林システム収穫表では、間伐の種類としては下層間伐、全層間伐、上層間伐および直径階別本数指定間伐の4つが選択できるように設計した。信州カラマツ林システム収穫表の場合は、間伐が必要になる場合、まず間伐方法と強度を入力することによって、システムが間伐木の選定を行うように設計した。その結果、間伐前後の平均直径、平均樹高、総本数、総材積などの林分状況の他に、間伐木と残存木の直径階ごとの本数、樹高、単木材積などの単木情報も表示されるようにした。利用者が間伐の結果を見ながら異なる間伐を行いたい場合、その間伐内容を入力し、システム収穫表を試行することができるようにした。次いで、間伐直後の林分状態を新たな出発点として成長予測を行う。このように、林分ごとに伐期齢まで、何回、どのような間伐を行えばよいといった最適な施業体系は、システム収穫表との対話を繰り返すことにより見いだすことができるようにした。したがって、システム収穫表は林木の成長および収穫量を予測するシステムであるとともに、施業計画の意志決定を支援するシステムでもある。

林木の成長、林分の収穫量は経営目的や施業内容、土地の生産力に依存している。従来の収穫表では林齢と地位が独立変数として調製されている。しかし、実際の森林管理には、林齢と地位のほか、立木密度も不可欠であり、それらの3つの変数を統合した成長予測システムを作成する必要があると考える。

以上のシステム収穫表の定義および特徴は現時点で考えているもので、それを形にしたものが成長モデルを中核とするプログラムである。

(2) この分野の研究

システム収穫表の共同研究（代表木平勇吉）は日本では1989年から始められ、1992年3月まで、すでに11のプロトタイププログラムが、それぞれの製作者の考え方や作成目的に基づいて発表されている⁹⁾。これらのシステム収穫表をまとめておくと表-1のとおりである。そして今、システム収穫表の実用化と広葉樹林や複層林システム収穫表の開発のための共同研究（代表木平勇吉）が進められている。

(3) システム収穫表の機能

先に述べたが、システム収穫表は任意の林況、任意の施業内容に柔軟に対応する成長予測のためのソフトウェアである。その機能は次の3つに分けることができる。

1) 柔軟な入力処理機能

入力項目は予測対象林分の林齢、平均樹高、径級別本数などである。これらの入力値には制限はなく、入力値により予測林分の出発点の状態が設定される。入力項目の一部の値がわからない場合、システム収穫表によってその値を補うことができなければならない。わからない項目の値を補う能力はデフォルト機能と呼ばれる。次に、予測の時間間隔（1年ごとあるいは5年ごと）と必要とする林齢（伐期齢）を指定することができなければならない。また、予測の出発点から終点までの予測期間中の任意時点で、システム収穫表と対話しながら施業内容（間伐の時期、間伐の方法、間伐強度など）を指定することもできなければならない。

2) 豊富な予測機能

入力した林況に基づき、成長モデルおよびパラメータを選択し、成長および収穫予測を行

表-1 現在発表されているシステム収穫表の一覧表

| 作成者 (所属) | システム収穫表の名前 | 特 徴 |
|-----------------------|--------------------------|--|
| 阿部信行・伊藤寿勝 (北海道林試) | トドマツ人工林のシステム収穫表 | RICHARDS 式の単木成長から林分への積み上げ, 丸太本数, 材積などを予測する |
| 石橋整司・小林 聡 (東京農工大学) | 天然林択伐施業用システム収穫予想表 | FSD 成長モデルを用いる 3次元グラフィックス表示 |
| 伊藤立夫 (京都府立大学) | ヒノキ人工林収穫予測プログラム | RICHARDS 式の3つの林分成長モデル式でヒノキ人工林の平均レベルの成長を予測 |
| 稲田充男 (島根大学) | 林分密度管理図に基づく収穫予測表作成システム | 人工林収穫予測表・林分材積表を作成する 統合化支援システム |
| 白石則彦 (森林総研) | システム収穫表 —LYCS— | 関東地方のスギ・ヒノキ人工林を対象 ワイブル分布による直径分布の変化を予測 |
| 鄭 小賢 (信州大学) | 信州カラマツシステム収穫表 | 長野営林局管内のカラマツ人工林を対象 林分から単木への配分方式 |
| 龍原 賢 (東京大学) | 材積成長モデルによるスギ・ヒノキ人工林の成長予測 | 同齢単純林, 二段林を対象 材積成長予測を中心 |
| 田中和博 (三重大学) | 林分表予測システムの開発 | 三重県内のスギ人工林を対象, VPM 法に基づき, 単木から林分への積み上げ |
| 福島敏彦 (福岡県林試) | 九州地方スギ・ヒノキのシステム収穫表 | 九州地方のスギ・ヒノキの品種特性と成長と施業を説明する |
| 山本博一 (東京大学) | 相対化の手法によるシステム収穫表 | 同大学演習の同齢林, 二段林および天然林を対象, 林分から単木への配分方式 |

* 作成者名の順は五十音順にした。

うことができなければならない。また、指定した施業内容に応じて成長予測を行うことができなければならない。すなわち一つの施業体系に限らず、異なる施業体系ごとの成長を予測し、林木の多様な成長をシミュレーションすることができなければならない。

林分平均成長の予測を行うだけでなく、単木レベルの直径と樹高の成長、間伐や主伐時の単木(丸太)収穫量の予測も必要である。

3) 多様な出力機能

必要な情報を希望する形式で出力することができなければならない。すなわち、予測結果の必要部分をグラフや従来の収穫表のような数表の形で、計算機の画面に表示し、紙に印刷し、計算機媒体に記録することができなければならない。

この3つの機能を備えた収穫表を、従来の収穫表と区別するために「システム収穫表」と呼ぶ。システム収穫表の基本的な機能を図で表すと図-1のとおりである。また、システム収穫表と従来の収穫表との相違点を整理すると表-2のとおりである。

3. システム収穫表の作成方法

最初に述べたが、システム収穫表に統一的な作成方法があるわけではない。したがって、ここで説明する内容は筆者が設計した作成方法の考え方をできる限り一般化したものである⁽⁴⁰⁾。信州カラマツに関する内容はシステム収穫表の作成方法を説明するための具体例である。その手順としては、まず予測対象と作成方針を決定する。次に、入手した資料を解析

表-2 従来の収穫表とシステム収穫表との相違点

| | 出発点 | 施業体系 | 地位 | 林分情報 | 林分密度 | 間伐 | 表示形式 |
|---------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| 従来の収穫表 | 植栽から | 固定 | 上,中,下 | 林分平均値 | 正常密度 | 5年ごと | 標準形式 |
| システム収穫表 | 任意林齢 | 柔軟 | 連続 | 林木レベル | 現実密度 | 適宜林齢 | 自由設計 |

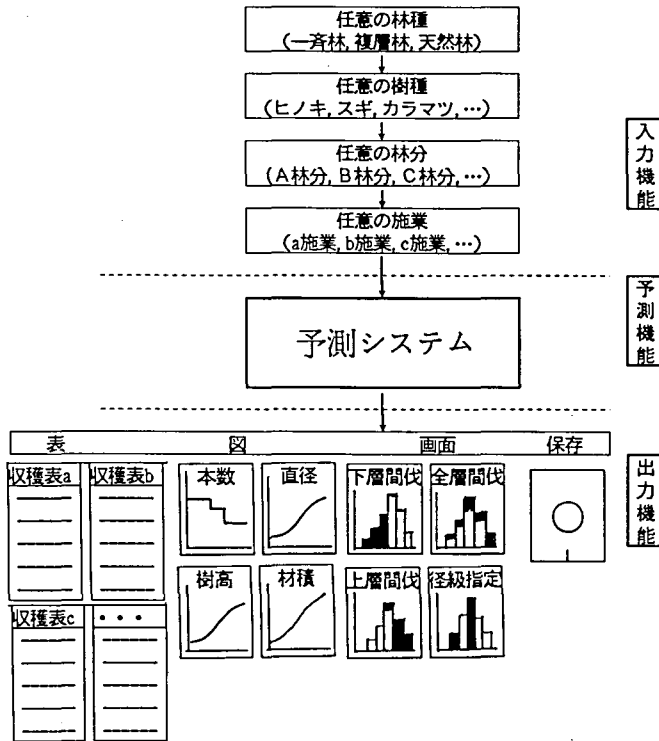


図-1 システム収穫表の基本機能

し、成長予測システムを構築する。最後に、プログラムを作成する。この手順にしたがってシステム収穫表の作成方法を説明する。ただし、本論文ではプログラムの作成については述べない。

(1) 予測対象, 項目, 作成方針の決定

まず、システム収穫表の適用地域を明確にしなければならない。信州カラマツ林システム収穫表の場合には、適用対象は長野営林局管内のカラマツ人工林である。作成目的は従来の短伐期から長伐期大径材施業体系を確立するために、主間伐時にどのような大きさの樹木がどれほど得られるか、それを予測する収穫表を開発することである。

次に、予測項目を決めなければならない。システム収穫表の要件を満たすために、平均直径や平均樹高などの林分平均値だけでなく、直径分布や樹高曲線の推移、特に間伐や主伐を

行い場合の単木の木数や樹高、収穫量などの予測項目が必要となる。

現在発表されているシステム収穫表の作成方針を整理すると、単木成長量から林分への積み上げ方式^(2,30)と、林分成長量から単木への配分方式^(29,46)の2種類に分けることができる。カラマツ林システム収穫表の場合は後者を採用した。すなわち、まず林分レベルの成長モデルを構築して、林分の平均成長量を予測し、次に成長段階に応じてその平均成長予測量を単木へ配分することにした。その理由は林分レベルの成長に関する資料や研究例は多く、また日本各地の主要な樹種の平均直径、平均樹高成長については、多くの研究(従来の収穫表や密度管理図)によって明らかになっているからである。一方、単木成長に関する資料や研究例は少なく、単木の成長過程を把握することが困難である。その場合、林分の平均直径と平均樹高の成長予測値を林分の標準木(直径、樹高が林分の平均的な大きさを持つ樹木)の直径、樹高の成長量と見なすことによって、林分の標準木の成長を把握しておけば、定期直径、定期樹高成長量の線形関係を用いて単木の成長を予測することができ、大きな誤差が生じないと考えた。

なお、林分レベルの成長モデルとは地位別の平均直径、平均樹高などの林分平均値の変化を表現する成長モデルである。単木レベルの成長モデルとは、径級別の本数や樹高の推移変化を表現する直径分布と樹高曲線転位モデルである。

(2) 資料の入手・解析

システム収穫表を調製するための資料としては、長期間に繰り返し測定された固定試験地の資料が理想的である。固定試験地資料は林分や単木の成長の経過を明らかにするために非常に役立つ⁽²⁴⁾。

固定試験地が少なく、必要な成長経過を固定試験地資料から推定することが困難の場合は、樹幹解析や標準地調査などの資料を加えて調製することができる^(1,29)。

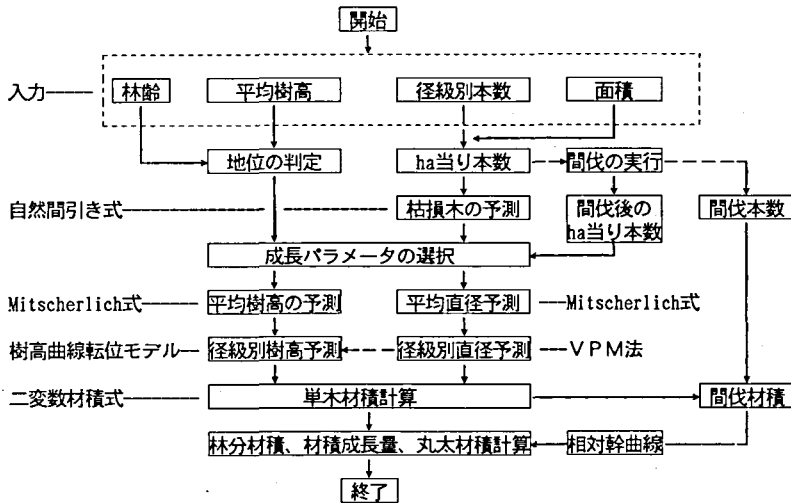
上記の資料が得られない場合、とりあえず今までの研究成果、既往の収穫表や密度管理図などを用いて作成する。資料の蓄積により成長モデルおよびパラメータを修正することができる。単木の成長を予測するためには、単木の成長が記録されている固定試験地や樹幹解析資料が必要である。

筆者は信州カラマツ林システム収穫表を作成するために、長野営林局管内のカラマツ人工林の成長に関する密度試験地3箇所、間伐試験地8箇所、収穫試験地7箇所、また管内5つの計画区のカラマツ収穫予想表作成のための標準地などの調査資料を入手することができた。

資料の解析とは入手した資料に基づいて林木の成長経過を解明し、その成長パラメータを推定することである。解析方法は多様で、統計的な方法で成長傾向を解明する方法と、理論的な仮説により成長をシミュレーションする方法がある。一般的には両者を複合して用いられることが多い^(1,24,31)。

(3) 成長予測システムの構築

作成方針にしたがって、各種の成長モデルおよびパラメータを組み合わせて成長予測システムを構築しなければならない。ここでは、著者が考えた信州カラマツ林成長予測システムは図-2のとおりである。この成長予測システムは①できるだけ単純しかも柔軟性をもつモデルを用いること、②成長予測システムには矛盾がなく、予測値の算出方法が明確であること、③単木の成長や丸太情報も予測できることの3つの基本的考え方にに基づき構築された。



図一 信州カラマツ林成長予測システム

以下本システムの具体的な流れを説明する。

1) 林分状況の入力

成長予測に最低限必要な入力項目は林分の面積、林齢、平均樹高、直径階別の本数であると考えられる。林分の面積、林齢は森林簿に記述されている。平均樹高や直径階別の本数は林分の調査から得られるが、わからない場合は、森林簿から得られる林分の平均値を用いて、適当な理論分布（Weibull 分布）を利用することによって、直径階別の本数を推定することができる。

2) 枯損木本数の予測

林冠が完全に閉鎖されている林分においては、林木間の競争により枯損木がでる。この現象は自然間引きと呼ばれる。林分密度管理図に記載されている自然間引き曲線は自然間引き現象をモデル化したものである。この曲線を用いることによって、自然間引きによる枯損木の本数を予測することができる。信州カラマツ林の自然間引きによる枯損木本数を予測するために、「長野地方国有林カラマツ林分密度管理図」⁽¹⁴⁾の自然間引き曲線式を採用することにした。それは

$$N = (1 / N_0 + v / (2.503661 \cdot N_0^{-0.7159} \cdot 10^5))^{-1} \dots\dots(1)$$

である。ここで、Nはhaあたり本数、N₀は植え付け本数、vは林分の平均材積である。予測する林分の立木密度が上式のNの値より上回る時には、自然枯損木が発生すると仮定する。その差が枯損木本数となる。この時、林分中の最小木から順に枯損木本数まで計算する。

3) パラメータの選択

システム収穫表では立地や施業内容によって生じる林木成長の相違を成長モデルのパラメータの値の違いにより表現することにする。入手した資料に基づいて各種のパラメータを推定し、これらの数値を成長予測システムに用いた。

林分の平均樹高の入力値によって、地位の判定と樹高成長パラメータの選択を行った。地

位がわかれば、立木密度（直径階別本数の合計）の入力値によって直径成長パラメータの選択が行われる。

4) 林分平均樹高の成長予測

長野営林局管内のカラマツ人工林収穫予想表作成のための標準地資料を用いて、次のような林齢 t を関数する MITSCHERLICH 式にあてはめることを試み、林分平均樹高成長モデルとして採用した。

$$H(t) = M (1 - L \cdot \exp(-K \cdot t))$$

ここで、 M 、 L 、 K はパラメータである。

また、収穫試験地ごとのパラメータを調べた結果⁽²⁹⁾、パラメータ L と K の値はほぼ一定であることが認められた。ここで、パラメータ M は最も重要なパラメータで、パラメータ M を与えれば、平均樹高成長を予測することができる。言いかえれば、予測林分の平均樹高値を与えれば、パラメータ M の値が求められる。したがって、従来の収穫表は平均樹高成長が段階的なものであるに対して、システム収穫表は現実の林分ごとの平均樹高成長を予測できる。地位という概念が従来の段階的なものから連続的なものになる。

5) 林分平均直径の成長予測

林分の直径成長は地位の他に、林分の立木密度の影響を大きく受ける。その3者の関係を記述することはシステム収穫表の特徴の一つである。信州カラマツ林システム収穫表の場合は、入手した密度試験地資料を用いて、次の MITSCHERLICH 式をあてはめ、平均直径成長を表現するモデルとした。

$$D(t) = M (1 - L \cdot \exp(-K \cdot t))$$

ここで、 M 、 L 、 K はパラメータである。

さらに、植え付け本数 N_0 とパラメータ M との関係を解析した結果⁽²⁹⁾、 N_0 と M との間では地位にかかわらず、立木密度の増加に伴い M の値は直線的に減少することがわかった（図-3）。 N_0 と M との関係を以下の回帰式で表した。

$$M = a + bN_0 \quad \dots\dots(2)$$

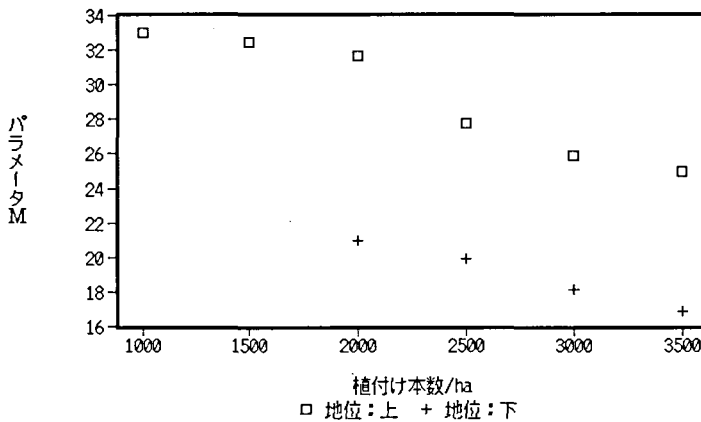


図-3 直径成長曲線パラメータ M と植付密度の関係

ここで、a, b はパラメータで、それぞれ地位に依存する。

従来の標準的な林分密度しか対応できない収穫表に比べて、システム収穫表はさまざまな林分密度ごとに直径成長を予測することができる。

6) 直径分布の予測

同齢単純林では、定期直径成長量とその期首直径との間に、直線関係が認められている^(21,31)。この線形関係を用いて、直径階別の成長量を推定することができる。したがって、期首直径分布と直径階別の成長量から期末直径分布を予測することができる。直径分布の推定方法については、田中⁽³⁰⁾の「VPM法」がある。

信州カラマツ林の場合も、定期直径成長量と期首直径との間に明確な直線関係が認められる⁽³⁷⁾。信州カラマツ林システム収穫表では、「VPM法」を用いて直径分布を予測することにした。なお、前述したように、林分の標準木の定期直径成長量は林分平均直径成長予測値から推移することにした。

7) 樹高曲線の予測

一方、同齢単純林では、定期樹高成長量とその期首樹高の大きさにかかわらず、ほぼ一定とみなせることが認められている。田中⁽²⁹⁾は同齢単純林の定期直径成長の線形性と定期樹高成長の一定性を用いて、樹高曲線転位モデルを開発した。

カラマツ林では、若齢林を除き、定期樹高成長量と期首樹高との間に線形関係は認められず、ほぼ一定とみなせることが認められている⁽³⁷⁾。また、若齢時には樹高曲線は上方に凸な単調増加曲線であるが、成長に伴い、樹高曲線は直線になっていく傾向を示す。

信州カラマツ林システム収穫表では、田中の考え方を採用することにした。なお、前述したように、林分の標準木の定期樹高成長量は林分平均樹高成長予測値から推定される。樹高曲線は直線式である。

8) 立木材積の計算

直径と樹高がわかれば、二変数材積式を用いて、単木の材積および収穫予測値を計算することができる。単木材積の合計は林分の材積となる。そして、林分材積の平均成長量と連年成長量を計算する。

9) 間伐モデル

間伐モデルについては、間伐ごとにパラメータの異なる成長曲線への乗り換えを仮定する手法を阿部⁽¹⁾、白石⁽²⁴⁾は用いている。カラマツの間伐試験地および収穫試験地の資料を解析した結果から⁽²⁹⁾、間伐ごとに直径成長曲線に乗り換えられることを確認した。また、その乗り換えは式(2)、すなわち平均直径成長モデルのパラメータMと植え付け本数N₀との回帰式によって表すことができることを確認した。したがって、従来の下層間伐しか対応できない収穫表に比べて、システム収穫表は様々な間伐に対応した直径成長予測が可能になる。その間伐の効果を密度効果によって表現することができる。

10) 丸太材積の計算

次の3次の相対幹曲線式を用いて任意の地上高における直径を求める。

$$y = ax + bx^2 + cx^3$$

ここで、a, b, c はパラメータで、y は樹高の1/10の高さの直径を1とする相対直径で、x は樹高を1とする相対樹高である。

上式より求められた直径に基づき、丸太の末口直径自乗法により丸太材積を計算し、丸太の材長別、末口径級別の本数・材積を予測する。

III 流域森林情報データベース (アトラス)

1. 地理情報システム GIS に関する研究

森林資源を管理維持するために、森林がどこに(位置)、どれだけ(面積)どのように(分布)所在しているかという空間情報は重要である。森林の所在場所により林木の成長、立木の価格、土地の利用などが相当違うからである。森林の位置などをよく把握することが森林管理の第一歩であると言える。しかし、これまでの森林の空間に関する情報の利用方法は地図を作り、それを目で見えて探したり、読み取ったり、属性情報(例えば森林簿)を調べたりすることであった。計算機の導入により地図の利用方法は変わってきた。地図上に描かれる図形情報とその属性情報とを計算機で処理できるようになった。その機能を地理情報システム GIS (Geographic Information System) と呼ぶ。GIS とはある地域の空間対象物(土地、水、道路、土壌、植生など)についてえられる多くの異種の情報を統合するものである。いいかえれば、GIS を用いることによって、利用者が多くの異なる種類の情報を使って作業できるようになり、また問題に関するすべての情報が与えられるので、情報を高度分析することが可能になった。したがって、GIS は空間情報の入手、分析、評価、保存と管理に最も適した道具である。

GIS の研究は1960年代にアメリカとカナダで始まり、広大な国土や森林の地図を計算機で解析して、開発や保護が必要な地域を見つける方法が開発された。現在、世界各国でこの研究が進んでおり、林道の開発計画、伐採や育林計画などの森林管理や施業計画への応用が期待されている。GIS を森林管理に適用することの最大の利点は、森林の位置などを容易に把握できることである。これからの森林管理にとっては欠かせない手法である。

2. 教育用地理情報システム GIS kit の開発と応用

(1) GIS kit の開発

GIS kit は信州大学農学部の本平らが1991年開発した教育用の GIS のソフトウェアである⁽⁸⁾。このソフトは多くの大学や研究機関に無償で配布されている。GIS kit は日本で良く普及している PC-9801 シリーズを対象機種として、Pascal 言語で開発したソフトウェアである。その開発の目的は次の2つである。

① GIS の内容をわかりやすく示すことにより、GIS の普及と理解を進め、森林管理、林学研究に有効に利用されることである。

② GIS kit は簡易な小型システムであるが、GIS の基本的な機能を備えている。利用者が手持ちのパソコンに小型のデジタイザーとプロッタを加えることにより、日常業務に必要な地図の解析や林学研究課題の分析などを容易にできる(図-4)。

以下、GIS kit が備えている機能を具体的な事例で説明する。

① 林小班界および林小班名の記憶

デジタイザーを利用し森林基本図上の林小班界を入力することによって、各林小班の形と位置が記憶される。また、各林小班の名前および性質を入力することによってその属性情報

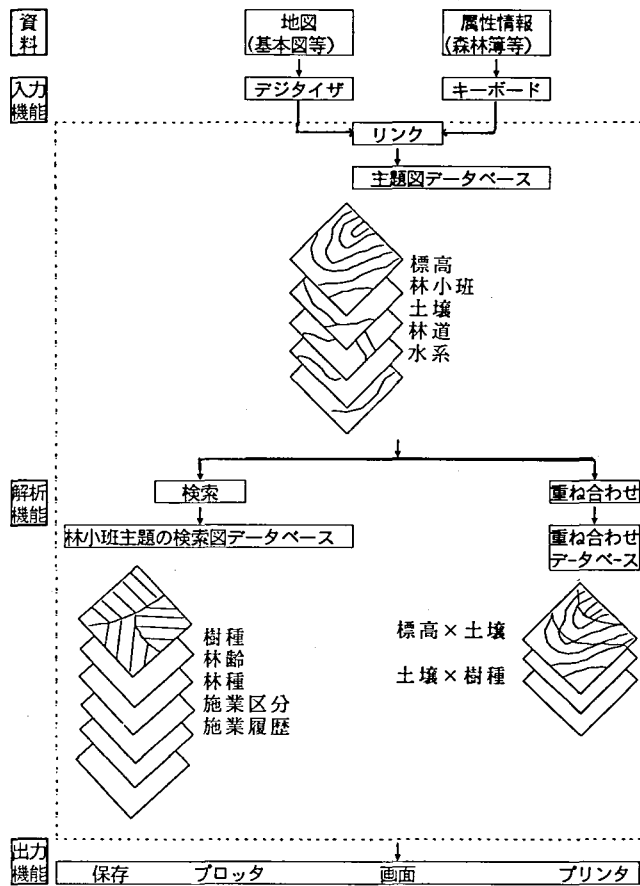


図-4 GIS kit の基本的な機能と機械装置

が記憶される。

② 林小班面積の計算

数値化されて記憶された境界線によって描かれた各林小班の面積を計算する。

③ 森林基本図と森林簿との結合

森林基本図と森林簿を対応させて計算機内で結合することができる。

④ 小班区画の変更の記憶

森林区画の変更が生じれば、その時点で新しい境界線と新小班名とを再記憶する。

⑤ 地図の記憶

数多くの林小班で構成される森林基本図を記憶できる。また、地質図や土壌図のように異なった種類の地図を記憶できる。

⑥ 地図の重ね合わせおよび解析

2種類の地図を計算機内で重ね合わせ、合成された地図を記憶する。合成した地図から与えられた条件に合致する地域を選び出し、その性質を記憶し、面積を計算する。

⑦ 記憶された地図の表示および出力

計算機内に記憶された内容を画面上の任意な場所に任意の大ききで移動, 拡大, 縮小して, 表示できる。表示と同様にプリンタ, またはプロッタで任意の縮尺で出力できる。

⑧ 区画の塗分け

各区画をその性質ごとに分類して塗分けて表示できる。

(2) 信州大学農学部演習林における GIS kit の応用

まず, GIS kit を用いて同演習林に関する地理データベースを構築した⁽³³⁾。次に, 演習林地理データベースを利用して演習林の研究教育計画への応用を試みた⁽³⁴⁾。ただし, ここでは, 同演習林の手良沢山演習林のみを事例として説明する。他の演習林については文献⁽³⁵⁾を参照されたい。

1) GIS kit による手良沢山演習林地理データベースの構築

主な資料として同演習林の1万分の1の森林基本図, 土壌図等の地図と森林調査簿, 育林・収穫実行簿などの帳簿(属性情報)とを用いた。

図-5は森林基本図から各林小班の形と位置とをデジタイザにより入力し, 森林調査簿から林小班の名前などの属性情報をファイル化することにより, プロッタで作られた地図である。この図では, それぞれの区画に林小班名が与えられ, 各林小班の面積が自動計算されている。上記と同じ方法で同演習林の標高図, 土壌図, 林道図, 水系図, きのこと・山菜図, 試験地分布図などの主題図が作られた(図-6~11)。このように演習林の管理に必要な地図とその属性情報とをデータベース化したものを演習林地理データベースと呼ぶ。

演習林地理データベースを検索や解析することにより, 演習林の管理に有効な情報を提供できる。図-12は樹種ごとに, 図-13は齢級ごとに検索して区分された地図である。同演習林の総面積は228haであり, そのうち, 人工林面積は204ha(ヒノキ林110ha, カラマツ林65

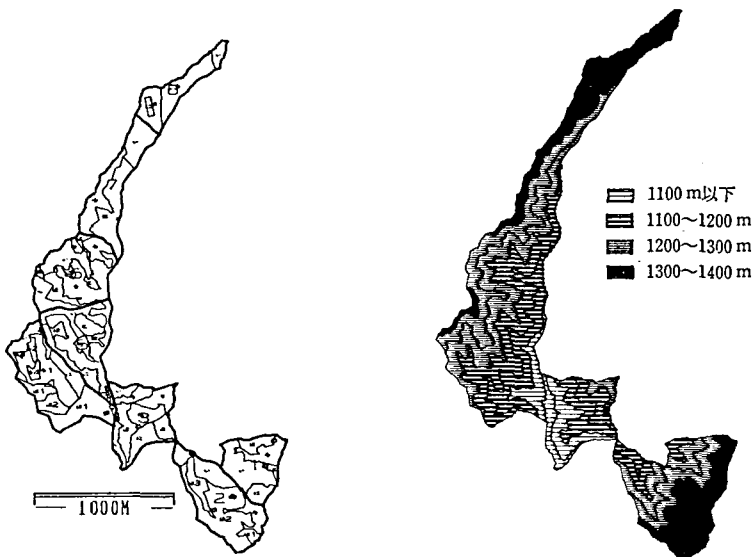


図-5 手良沢山演習林基本図

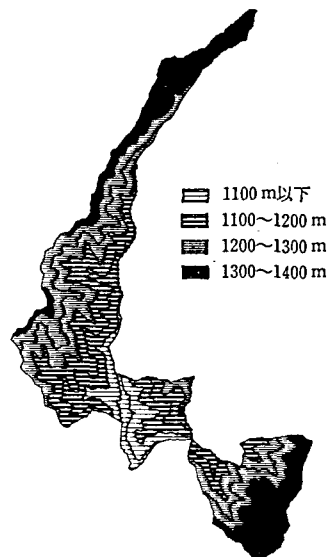


図-6 標高図

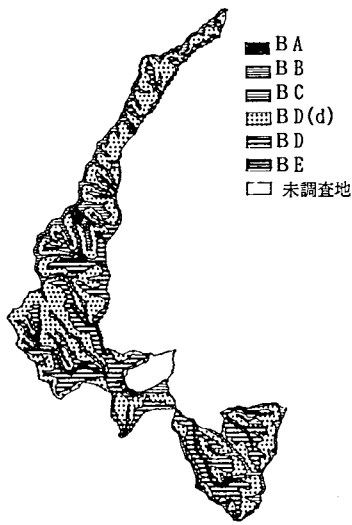


図-7 土壌図

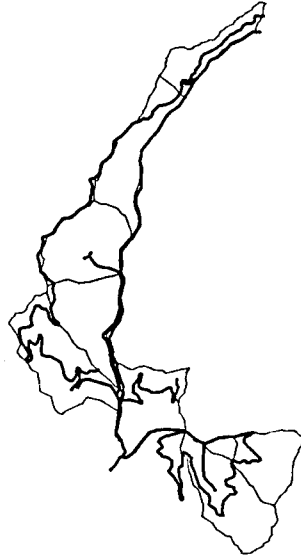


図-8 林道図

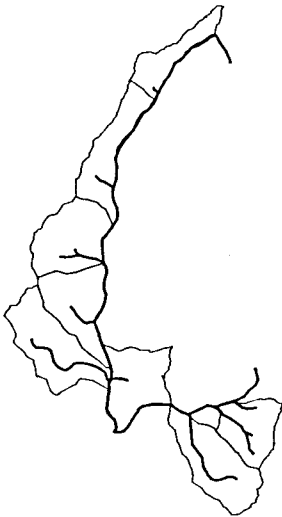


図-9 水系図

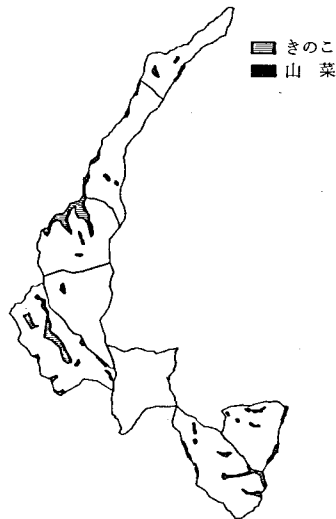


図-10 きのこ・山菜分布図

ha, アカマツ林29ha) であることがわかった。森林基本図を樹種別、齢級別に塗分けることにより、演習林の樹種分布、齢級分布を視覚的に把握できる。また、1つの樹種について齢級別に区分することもできる(図-14)。さらに、色や模様を自由に決めることができる。

これまで例示した樹種分布図や齢級分布図はすべて森林基本図から目的に沿って特定の区画が検索され、色や模様で塗分け出力した結果である。すなわち、図-12から図-14までで

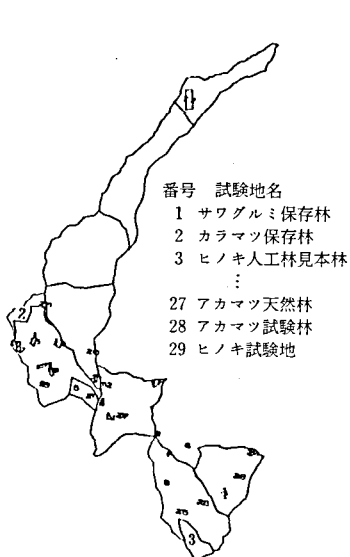


図-11 試験地分布図

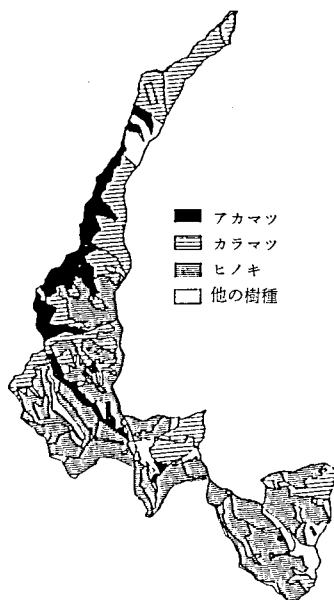


図-12 樹種分布図

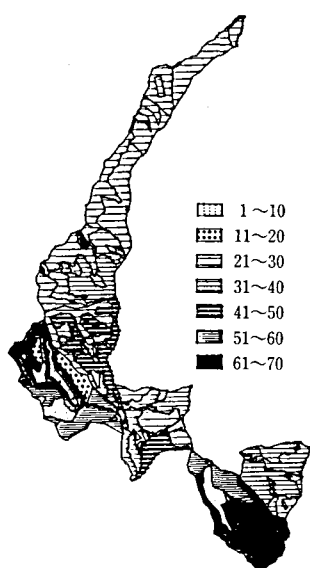


図-13 林齢分布図

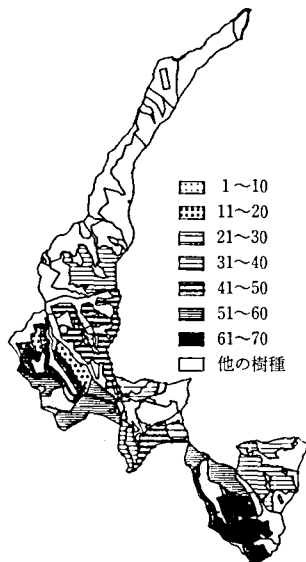


図-14 ヒノキ林齢分布図

は区画線を共有している。それに対して、標高図と土壌図は上記の地図とは全く独立した区画線で作られた地図である。自然条件が描かれた区画線は人間が作った区画線と異なる場合が多い。

ところで図-12の樹種図と図-6の標高図との重ね合わせを考えてみよう。2つの地図の

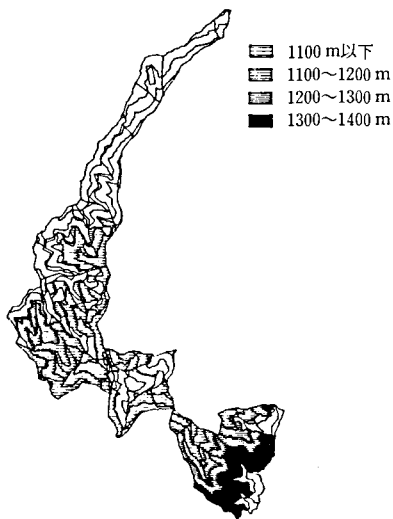


図-15 ヒノキ林と標高の
重ね合わせ図

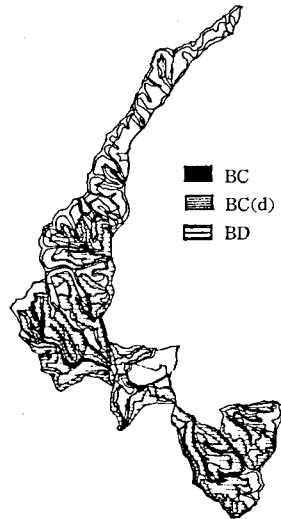


図-16 ヒノキ林と土壌の
重ね合わせ図

区画線はまったく異なっている。従来の方法では、その重ね具合を調べるには、2枚の地図を直接に重ね合わせて、ある条件に合致している場所を目で見つけることにより、重ね合わせ図を作るという手順である。ところが、GIS kitは2種類の異なる地図を重ね合わせる機能を持っている。図-15は同演習林の主要樹種であるヒノキと標高図とを重ね合わせた結果である。また、カラマツ林、アカマツ林もそれぞれ標高図と重ね合わせて、それらの樹種の垂直的な分布状態をみると、ヒノキ林の総面積の69%が海拔1,200m以下に分布しているが、カラマツ林の76%、アカマツ林の80%が海拔1,200m以上に分布していて、ヒノキ林より海拔の高い所にカラマツ林やアカマツ林が位置していることがわかる(表-3)。ヒノキ、カラマツ、アカマツ3つの樹種図と土壌図とを重ね合わせた結果を図-16、表-4に示す。表-4を見ると、ヒノキ林の面積の45.6%はBD型土壌で、43.2%がBD(d)型である。カラマツ林の面積の81%はBC~BD(d)型土壌であり、アカマツ林の面積の31.4%はBC型土壌であることがわかる。このように、樹種の分布や施業方法は標高や土壌等の自然条件と深く関連していると考えられるが、GISは樹種と標高や土壌との地理的関係の情報を提供できる。同演習林では上記の樹種を主体とする経営、研究教育が行われているので、これらの地理情報は必要である。

2) 手良沢山演習林教育研究計画におけるGIS kitの応用

昭和63年度信州大学農学部改組に伴って新たに森林科学科が発足し、演習林の活用をはかるため、演習林について第5次教育研究計画(1988年~1992年)が立案された⁽²⁶⁾。教育研究計画の基本は森林を多面的に利用して学部の教育研究活動の場を提供しようとするものである。その演習林教育研究計画を作成する際に、GIS kitが試験的に導入され、既存の演習林の地図情報とその属性情報とを結合したデータベースが構築された。ここでは、その演習

表-3 標高別樹種別の面積構成

上段：面積 (ha)
下段：割合 (%)

| 標高範囲 | 1100m以下 | 1100~1200m | 1200~1300m | 1300~1400m | 1400m以上 | 合計 |
|------|---------|------------|------------|------------|---------|-----|
| アカマツ | 4 | 3 | 19 | 10 | 2 | 39 |
| | 10 | 8 | 49 | 26 | 5 | 100 |
| カラマツ | 2 | 14 | 28 | 19 | 3 | 66 |
| | 3 | 21 | 42 | 29 | 5 | 100 |
| ヒノキ | 15 | 52 | 13 | 17 | 1 | 99 |
| | 15 | 53 | 13 | 17 | 1 | 100 |
| 合計 | 21 | 70 | 60 | 46 | 6 | 204 |

表-4 土壌別樹種別の面積構成

上段：面積 (ha)
下段：割合 (%)

| 土壌型 | BA | BB | BC | BD(d) | BD | BE | 合計 |
|------|----|----|----|-------|----|----|-----|
| アカマツ | 1 | 1 | 13 | 24 | 3 | 0 | 42 |
| | 2 | 2 | 32 | 56 | 8 | 0 | 100 |
| カラマツ | 0 | 0 | 9 | 53 | 56 | 5 | 123 |
| | 0 | 0 | 8 | 43 | 46 | 4 | 100 |
| ヒノキ | 0 | 0 | 9 | 53 | 56 | 5 | 223 |
| | 0 | 0 | 8 | 43 | 46 | 2 | 100 |
| 合計 | 1 | 2 | 31 | 150 | 70 | 5 | 223 |
| | 0 | 1 | 14 | 52 | 31 | 2 | 100 |

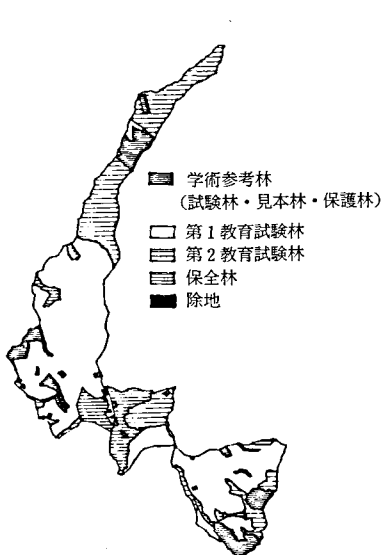


図-17 地種図

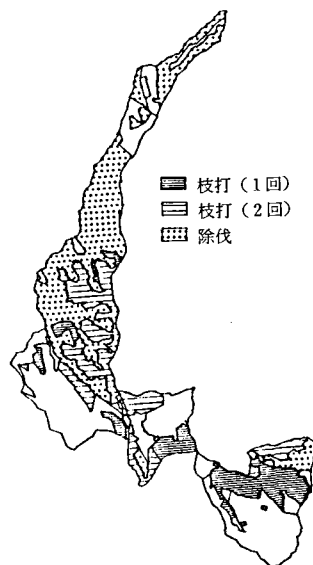


図-18 育林実行履歴図

林地理データベースを手良沢山演習林教育研究計画へ応用した結果を説明する。

本計画の指針によって地種の区分した結果が図-17に示されている。同演習林の普通林地（第I，第II教育研究試験林）の面積は176.4ha，制限林地の面積は45.7ha，除地面積は5.8haである。

施業計画をたてる際に，演習林の事業沿革や施業の履歴を把握しなければならない。図一



図-19 収穫実行履歴図

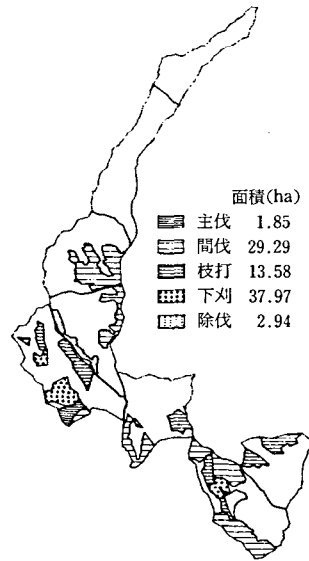


図-20 1988～1992年経営計画図

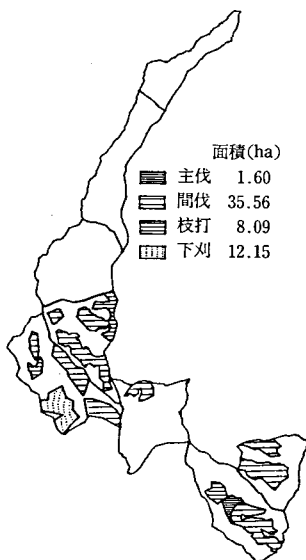


図-21 1993～1997年経営計画図

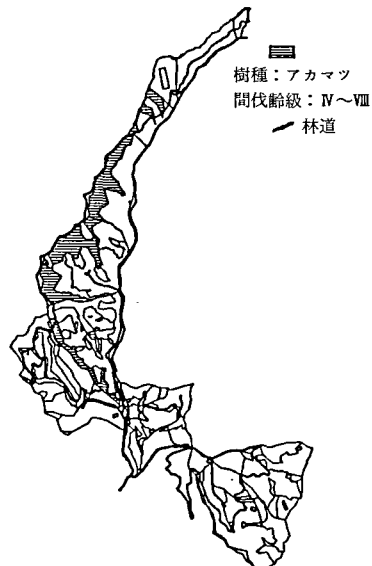


図-22 間伐必要林分分布図

18, 図-19は同演習林過去20年間の育林, 収穫実行履歴図である。地理情報システムの導入によって, 演習林での育林や収穫の実行経過を視覚的に追跡することができるとともに, 将来の森林計画の立案にも役立つ。図-20, 図-21は同演習林の1988年~1992年, 1993年~1997年の人工林経営計画図である。このように, 森林の推移をしっかりとらえることにも役立つ。また, 収穫計画をたてる際, 間伐必要林分と主伐可能林分はどこにあるかの位置情報を把握しなければならない。図-22では間伐齢級に達したアカマツ人工林のうち, 林道から近い林分の位置を示している。図-23は伐期齢(たとえばヒノキの場合61年以上)に達した人工林のうち, 蓄積が $260\text{m}^3/\text{ha}$ 以上の主伐可能林分の位置を検索した結果である。

図-8, 図-24はそれぞれ既存林道分布図と林道計画図である。これらの情報は林道からの距離による間伐や主伐の搬出可能領域の判定, 林道の維持管理, 新規開設などに役立つ。

図-11は同演習林の試験地として継続して利用されている林分分布図である。伐採や土地利用の変更などの計画をたてる場合, これらの試験地の位置情報は重要な資料となる。

このように地理情報システム GIS kit は演習林の管理, 教育や研究などに役立つ道具となっている。地理情報システムの導入によって演習林の情報整備, 森林管理のレベルアップ, 施業経営計画, 教育研究への応用などが期待できる。

3. 流域森林情報データベース(アトラス)の作成

国有林と民有林について, 流域を単位として, 効率的な流域森林管理システムを確立することが必要になっている。そのためには流域森林に関する情報を十分に活用し, 森林現状を把握しなければならない。しかし, 現在森林情報は分散的に作られ使われているので, 十分に活用されていないのが実状である。例えば基礎資料である森林簿は計算機で処理できるデータとして管理されているが, 県と営林局とで作成項目や使用している計算機などが異なるので共通性は高くない。森林簿情報は5年ごとにしか更新されていないので, 情報として古い

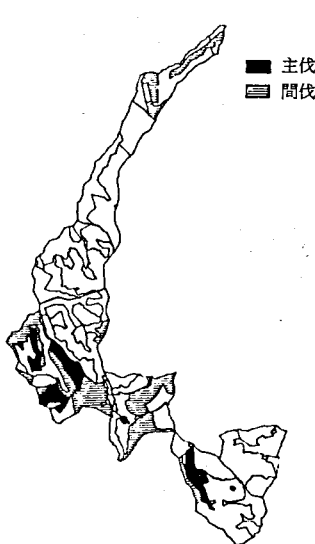


図-23 主伐可能林分分布図

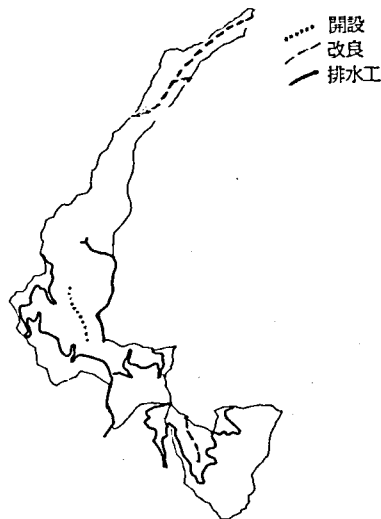


図-24 林道計画図

のではないかという意見もある。また、民有林の場合には、所有者の属人情報などを含むため一般に公開されていない。さらに森林基本図や土壌図などの地図情報は行政の部門別に保存されている。そこで、対象地域の森林に関する情報を統合し、流域森林の状態が容易に把握でき、森林管理計画を支援できる流域情報アトラス形式のデータベースを構築することを試みた⁽⁴²⁾。

対象地域は伊那谷森林計画区にある長谷村の美和地域であり、面積は13,671haで、村総面積32,081haの43%を占めている。そのうち森林面積は12,744haで森林率は93%となっている。森林の所有形態は国有林7,628ha、民有林5,116haである。

(1) 方法

1) 情報の収集

地図情報：森林基本図、土壌図、地質図、水系図、崩壊地および地すべり地分布図、治山・砂防堰堤分布図等を入手した。

属性情報：森林基本図の属性情報については、国有林の場合は森林調査簿、民有林の場合はデータファイルとして管理されている森林簿（所有者の属人情報などを削除したデータ）を入手した。土壌図や地質図等の属性情報はそれぞれの図面上から読み取ることにした。

2) 用いた GIS ソフトおよび機種

地図データベースは Digital resource systems 社（日本版）の Terra Soft、属性データベースは dBASE III を利用し、NEC の PC-9801 で処理を行った。

3) データの入力

本研究では林班、小班、地質、土壌等の入力対象情報ごとに主題を設け、主題ごとにデータの入力を行った。林班、小班主題の入力に用いた森林基本図（縮尺1/5,000）は22枚（国有林13枚、民有林9枚）である。基本図から林班、小班の位置をポリゴン型としてそれぞれデジタイザにより入力した。対象地域の林班個数は国有林99、民有林98である。小班個数は国有林560、民有林356である。民有林の場合は、小班をさらに施業番号、枝番まで細分されており、枝番の総個数は8,760である。本研究では、国有林の場合は小班、民有林の場合は枝番を最小区画単位とすることにした。したがって、最小区画のポリゴン数は全部で9,320となった。そして地図情報と属性情報をリンクさせるために、林班、小班ポリゴンごとに林班名、小班名を入力した。さらに森林基本図から林道、歩道の位置をネットワーク型、等高線（50m間隔）の位置をラスター型としてそれぞれデジタイザにより入力した。また水系図はネットワーク型、その他の地図はポリゴン型でデジタイザにより入力した。これらの図面の座標系は公共測量に広く利用されている19座標系の第Ⅷ座標系が用いられており、多くの図面と整合性があり便利である。森林簿情報については国有林の場合は森林調査簿から入力し、民有林の場合は森林簿データファイルから dBASE III のファイルに変換した。土壌図や地質図等の属性情報はすべて dbASE III を用いて入力した。

(2) データベースの構築

GIS を利用し、入力した地図情報と属性情報をリンクさせ、まず主題のデータベースを構築した（表-5）。次に主題から検索図データベースを作成した。小班主題ごとよりそれぞれの利用目的によって作られた検索図は表-6 に示す通りである。また等高線主題から標高、斜面方位、傾斜角の3つのメッシュ（25m×25m）データを作成した。さらに異なる主題の

表一 5 対象地域主題一覧表
1994年3月現在

| | |
|----------|------------|
| * ポリゴン情報 | * ネットワーク情報 |
| 対象地域位置 | 林道 |
| 林班 | 歩道 |
| 小班 | 水系 |
| 土壌 | * 点情報 |
| 地質 | 治山・砂防堰堤 |
| 地すべり地分布 | * ラスター情報 |
| 崩壊地分布 | 等高線 |

表一 6 小班ごとの主題により作成された検
索図一覧表 1994年3月現在

| | |
|---------|--------------|
| 施業区分図 | 樹種別の齢級分布図 |
| 施業方法区分図 | 国立・県立公園分布図 |
| 樹種分布図 | 特別母樹林分布図 |
| 制限林分布図 | カモンカ保護区域図 |
| 保安林分布図 | 学術参考保護林分布図 |
| 風景林分布図 | 風致保護林分布図 |
| 鳥獣保護区図 | 生物遺伝資源保存林分布図 |
| 試験地分布図 | 国有林森林機能類型区分図 |
| 砂防指定地図 | 国有林木材生産機能区分図 |
| 林種分布図 | 森林機能評価区分図 |

表一 7 重ね合わせ図一覧表
1994年3月現在

| | |
|-------|-------|
| 小班×土壌 | 小班×林道 |
| 小班×地質 | 土壌×地質 |
| 小班×標高 | 土壌×標高 |
| 小班×傾斜 | 土壌×傾斜 |
| 小班×方位 | 土壌×方位 |

| 林小班名 (枝番) | 林種 コード | 樹種 コード | 混交 歩合 | 面積 | 林齢 | 材積 | | 制限 コード | 保安林1 コード | 保安林2 コード | 施業区分 コード | 伐採方法 コード |
|--------------|-----------|-----------|----------|----|----|----|-----|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | | | | ha | 成長量 | | | | | |

| 機能類型 コード | 生産群 コード | 木材 生産 | 水源 かん養 | 山地 災害 | 保健 文化 | 生活 環境 | 土壌型 | 標高 | 傾斜角 | 方位角 コード | 地質 コード | 重心座標 | | 備考 |
|-------------|------------|----------|-----------|----------|----------|----------|-----|----|-----|------------|-----------|------|---|----|
| | | | | | | | | | | | | X | Y | |

図一 25 小班(枝番)に対応するデータベースの内容

重ね合わせによって重ね合わせ図データベースを作成した。これまでに作られた重ね合わせ図は表一 7 に示す通りである。

入手した森林簿には小班的標高や方位等の情報が記載されていない。そこで小班ごとの重心座標、面積、周囲長などを Terra Soft により求めた。さらに標高、斜面方位、傾斜角の3つのメッシュデータを小班主題と重ね合わせて、各小班的標高、斜面方位、傾斜角を求めた。それらの情報と森林簿情報を1つのデータベースに統合した。この内容は図一 25 に示す通りである。上記のデータベースにより対象地域の森林情報データベース(アトラス)を構築した。

(3) 結果

ここでは、いくつかの図と表を例としてこのアトラスを紹介する。詳細は附属資料を参照されたい。図一 26 はプロッタ

表一 8 土壌型の標高分布

| 土 壤 型 | 平均標高 (m) |
|----------|-------------|
| BA | 1027 |
| BB | 1122 |
| BC | 1245 |
| BD | 1123 |
| BD(d) | 1204 |
| BE | 1192 |
| BLD | 1054 |
| PD I~III | 1591 |
| PW(h) | 1599 |

で作られた土壤主題図である。地図の縮尺，図面の大きさ，模様や色などについては，利用者が自由に設定することができる。図-26に出現する土壤群の面積割合は，褐色森林土系80%，黒色土5%，ポドゾル13%である。土壤主題と等高線主題を重ね合わせることにより，各土壤型の標高分布（表-8）を調べた結果，PD I～III型は標高1,380mから1,850mまでのほとんど尾根部に分布しており，PW (h)型土壤は標高1,320mから1,840mまでの主に山頂に分布していることが把握できた。流域情報アトラスを利用すれば，必要な情報に合わせて最も効果的な解析表示によって，対象森林の土壤や標高等の立地条件を把握することができる。図-27は小班主題から樹種別を検索し抽出した結果である。表-9を見ると対象地域の森林総面積の45.5%の5,201ha，人工林総面積（5,785ha）の89%がカラマツ人工林である。カラマツ林の齢級別構成は図-28に示すように現在5，6 齢級をピークとして，8 齢級以下に偏在しており，35年生以下保育を対象する林分はその総面積の82%にあたる4,240haとな

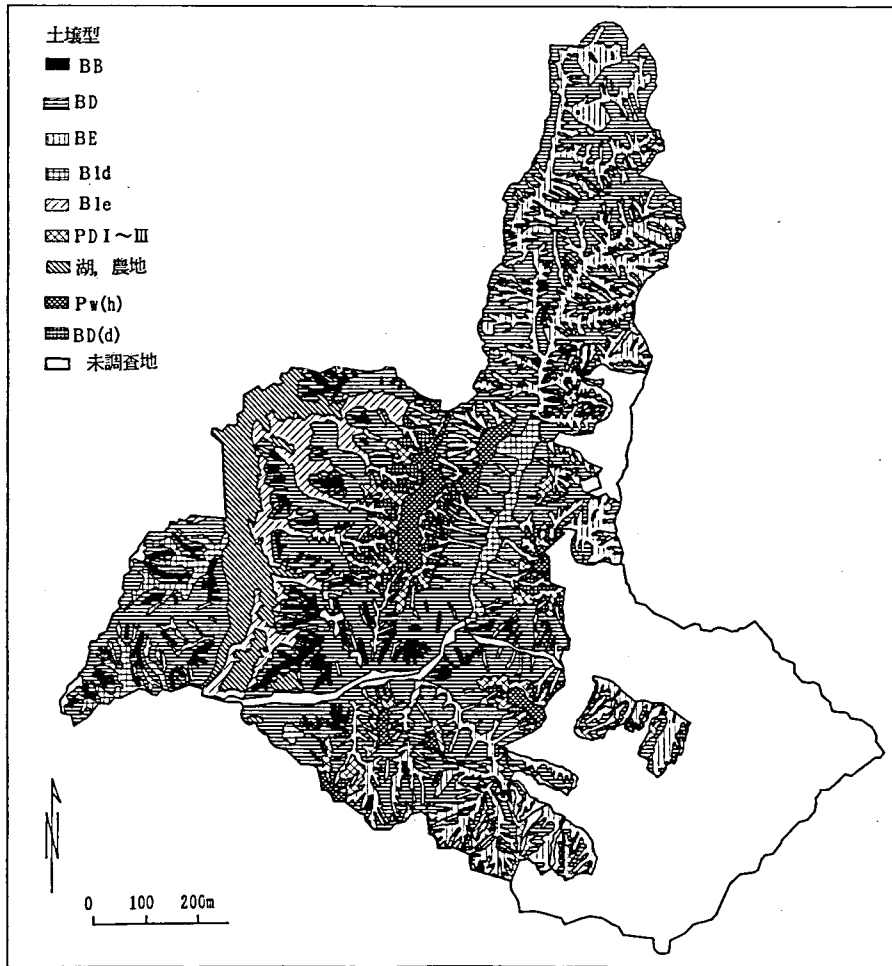


図-26 土 壤 図

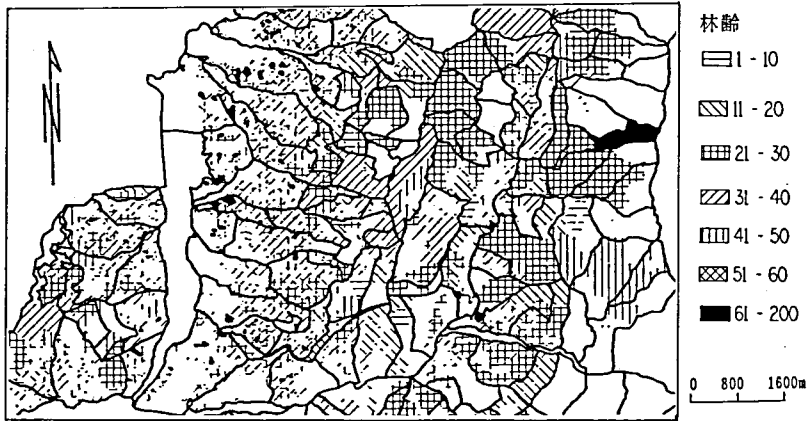


図-27 カラマツ林齢級分布図

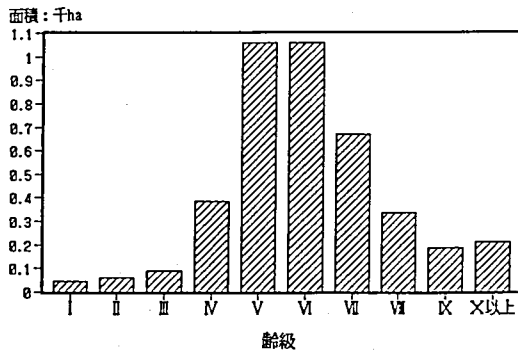


図-28 カラマツ林齢級構成

表-9 樹種別面積構成

| 樹種 | 面積 (ha) | | | |
|------|---------|---------|----------|-------|
| | 国有林 | 民有林 | 計 | 割合(%) |
| スギ | | 43.46 | 43.46 | 0.38 |
| ヒノキ | 26.24 | 105.23 | 131.47 | 1.15 |
| アカマツ | | 784.28 | 784.28 | 6.86 |
| カラマツ | 2539.64 | 2661.21 | 5200.85 | 45.47 |
| シラベ | 398.87 | | 398.87 | 3.49 |
| モミ | 29.00 | | 29.00 | 0.25 |
| コメツガ | 235.06 | | 235.06 | 2.05 |
| その他針 | 3037.02 | 42.52 | 3079.54 | 26.92 |
| ナラ | | 104.07 | 104.07 | 0.91 |
| その他広 | 156.23 | 1276.33 | 1432.56 | 12.52 |
| 計 | 6422.06 | 5017.10 | 11439.16 | 100 |

っている。今後カラマツ林をいかに管理計画していくかが対象地域の重要な課題なのであり、その施業計画の意志決定を支援する際、流域森林情報アトラスを利用すれば、森林現況を容易に把握できることと、各種情報を森林管理や計画に有効に活用できることが確認された⁽⁴³⁾。

以上のように、流域森林情報アトラスは流域森林の管理と施業計画に役立つ道具となりうることを明らかにした。すなわち、

① 森林資源を経営管理するために、必要な地図情報と属性情報が地理データベースの形で計算機で処理されるようになると、森林の位置などの把握が容易になる。利用者が必要な時に、必要な情報を、必要な形で入手することができる。したがって、森林管理の向上と日常業務の簡素化が可能となる。

② 林齢の更新、伐採や新植などの施業、風害や雪害などの災害により森林区画線や属性情報が変わった時、即時にその区画線や属性情報を更新することができる。したがって、常に新しい森林情報を知ることができる。従来の5年に一度の地図と森林調査簿の書き換えの集中化が避けられ、労力と費用を抑制することもできる。

③ 過去の育林や収穫の履歴を把握し、将来の森林管理、施業計画に役立つ情報を提供できるとともに、森林の変化（モニタリング）を把握することもできる。

④ 林道設計、高機能機械の導入、間伐団地づくり、間伐、主伐など各種の計画策定のための支援システムになりうる。

IV システム収穫表と森林情報アトラスを統合した流域森林管理 情報システムの開発 —信州カラマツ林施業計画への応用—

1. 流域森林管理情報システム

(1) 流域森林管理情報システムとは

流域の森林を管理するには、まず管理している森林を知ること、例えばその森林の位置、地形、樹種、施業の歴史などを把握しなければならない。これらの膨大な情報を把握するには、これらの情報をデータベース化することが必要となる。次に、林分ごとに応じて適切な管理目標や施業計画を立てなければならない。そのために、森林の成長予測や意志決定などを行うことが必要である。

筆者は1989年に地理情報システムの開発および応用^(8,35)、1990年に信州カラマツシステム収穫表^(9,29)の開発および応用に着手して以来、森林管理や施業計画に関する森林の空間情報と林分の成長予測を試みてきた。これらの経験をもとに、現在さらに流域の森林に関する時空間情報を一体化して総合的管理をするための「流域森林管理情報システム」の開発研究を進めている。

流域森林管理情報システムを開発する必要性として次の2点があげられる。

① 流域を単位として、効率的、効果的な森林管理システムを確立することが必要となっている。そのために、まず必要なことは情報の一元的管理システムの確立である。すなわち、国有林と民有林で別々に収集・管理されている森林情報を流域全体として統合し、これらの情報を扱うシステムを構築しなければならない。森林官、普及員にとっては流域の統合さ

れた森林情報を把握することが必要不可欠である。

② 流域の森林に関する情報は多種多様である。地図情報もあるし、数十年以上にわたる時系列情報もあるから、従来の情報管理方法を変えなければならない。最近、パソコンの進歩と普及によって、その膨大な森林情報を一つのシステムにより処理することが可能になった。必要な情報を迅速に入手できるようなシステムは、流域森林管理や施業計画の意志決定の有効な支援道具となる。

(2) 流域森林管理情報システムに必要な情報

流域森林管理に対する必要な情報は、大別すると森林の地理情報とその地況・林況情報、森林の成長予測情報および計画資料の4種類であると考えている。

① 林況・地況情報 通常の森林簿には小班毎の林況(密度, 直径, 樹高, 材積)が記載されているが、標高, 傾斜および林道からの距離など地理要因が記載されていない。地理情報システム GIS の導入によって、これらの地理要因を容易に求める。また造林, 保育, 間伐, 主伐など施業沿革やさまざまな目的の調査資料などが流域森林の管理や計画に必要な不可欠である。

② 地理情報 特に森林の位置情報は森林管理や施業計画の最も重要な情報である。地理情報システム GIS の導入によって、森林の位置情報を容易に把握できる。

③ 成長予測情報 地形や土壌などの地況因子は一度データベース化すればほとんど更新する必要がないのに対して、林況に関する情報は常に更新する必要がある。ところが、それらの情報収集(調査)は多大の時間, 労力と経費を要するので、すべての林分を調査することは不可能である。しかし、現実林分の林況をなるべく正確に反映している情報が森林管理にとって最も重要である。システム収穫表を適用することにより、林分ごとの変化をシミュレーションでき、林況情報の自動更新が可能になる。

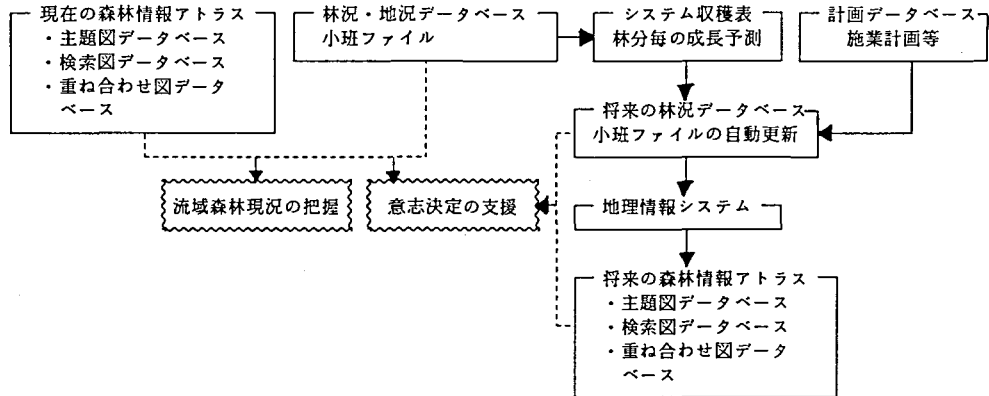
④ 計画資料 例えば施業計画, 治山計画, 林道計画, 保全林計画, 森林整備計画, レクリエーション計画, 森林機能類型区分計画などの台帳や表をとりまとめることが必要である。

(3) 流域森林管理情報システムの構造

本研究では、必要な情報を次の3つのデータベースに格納した。

- ① 林況・地況データベース
- ② 地図データベース(森林情報アトラス)
- ③ 施業計画資料データベース

また、流域森林情報アトラスとシステム収穫表をそれぞれサブシステムとして、上記の3つのデータベースとを組み合わせることによって、流域森林管理情報システムを構築した。林況・地況データベースには前述したように小班(枝番)ごとの林況・地況が記載されている。その林況・地況データベースと流域森林情報アトラスを用いることにより、流域森林の現状を容易に把握できる。さらに林況・地況データベースの個別の小班ごとの情報に基づき、システム収穫表を用いて、将来の個々の小班ごとの成長予測と情報の自動更新、施業計画の意志決定の支援などができる。流域森林管理システムを用いて、検索, 更新, 解析, 成長シミュレーションなどを行うことによって、情報の付加価値はさらに高まり、新しい情報を見いだすこともできる。これらはこのシステムの重要な機能である。本システムの構造を図-29に示す⁽⁴¹⁾。なお、そのうちの施業計画資料データベースは未完成である。



2. カラマツ人工林の長伐期施業計画の意志決定への支援

—最適施業体系の確立—

ここでは、流域森林管理情報システムを用いて、信州地方のカラマツ林を対象として、カラマツ林の長伐期施業計画の意志決定への支援方法を検討し、その流域森林管理情報システムの有効性を実証することにした。

森林施業計画の具体的な任務としては、

- ①施業目的・目標の設定
- ②森林の組織化
- ③施業法の確立
- ④収穫量の予測

などがあげられる。これらの任務は木材生産を重点にしたものである。しかし、森林は必ずしも木材生産のみを重点にするものではなく、場所により時代によって異なるものなので、森林のもつ各種の機能を持続的、調和的に活用するような森林施業を行わなければならない。したがって、今後さらに森林の公益機能について検討する必要がある。

近年、カラマツ林施業の基本的な方向として、付加価値の高い大径優良材生産を目指す長伐期施業の傾向が強くなってきている。カラマツ林の長伐期施業計画を樹立するためには、まず林地の生産力を把握しなければならない。林地の生産力は樹種や立地条件に大きくかかわっている。また、立地条件の諸要因は互いに作用しあいながら林地の生産力に影響をおよぼしている。カラマツ林の生産力と立地条件との関係については様々な研究がなされている。立地条件諸要因のうち標高、斜面方位、傾斜角や土壌型などを数量化し、カラマツ林の生産力（地位指数）を推定しようとする試みが浅田⁽⁴⁾、菅原⁽²⁷⁾により行われている。これらの研究結果はいずれも表などの形式となっており、利用する場合いくつかの立地要因項目から林分の立地条件をあてはめ、地位指数を推定し、その後森林基本図上でその林分の位置を探さなければならない。GISを用いることにより林分の標高や土壌などの立地条件属性データはデータベース化されるので、条件に満たされる林分は検索抽出され、その位置と面積を容易に表示することができる^(2,35)。本研究ではGISを利用し、対象林分の立地条件区分について

検討した。

森林資源としての木材を持続的に生産するためには、使用機械や路網密度と林地の生産力などとの間に調和的な計画をたてなければならない。間伐や主伐の場合、対象林分から林道までの距離などの地利条件は重要である。林道からの距離が遠くなるにつれて主間伐所要経費に占める集材費の割合が高くなっていくため収益性にも大きく影響を及ぼす⁽²⁷⁾。長野県では林道からの距離が遠いことや間伐材の低価などの不採算性を理由にカラマツ間伐材の大部分は林内放置されており、間伐材の利用率は平成2年度では18%にすぎない。特に林道までの距離が100mを越えると搬出意欲が減少し、搬出利用率は大幅に低下していることが県の調査によって明らかにされている⁽¹⁷⁾。林道からの集材可能距離は地形、作業方法や使用機械の作業領域などによって決められる。GISを利用すると林道からの任意の集材距離に対応した林地がどこに、どのようにどれだけあるかという具体的な検索結果を容易に把握することができる。すなわち、対象林分に林道から一定幅の領域（バッファ）をかけることにより該当する位置と面積が表示されるからである⁽²⁾。本研究ではGISを利用し、対象林分の立地条件や地利条件などを把握することにより、どのような支援をすることができるかということについて検討した。

現在、長野県と長野営林局ではこれまでのカラマツ林短伐期施業から長伐期施業への転換が検討されている。そのために、長伐期に応じた成長量や収穫量を予測しなければならない。従来の収穫表と比較するとシステム収穫表は様々な施業に対応でき、林分の平均値だけではなく、丸太の材長別・末口径級別の素材生産量を予測することができる⁽⁴³⁾。本研究では、システム収穫表の特徴を活用し、様々な施業方法による収穫予測を行い、収穫量を比較検討した。また、伐期の違いによる収穫量の増加程度をシミュレーションした。さらに、施業区分毎の最適施業方法および最適伐期齢の意志決定を支援するためにはどのような情報を提供できるかという問題について検討した。

(1) 対象地域および対象林分の概況

1) 対象地域の概況

対象地域は前章に述べたように全国森林計画の天竜川流域の長野県南東部にある長谷村の美和地域であり、面積は13,671haで、村総面積32,081haの43%を占めている。また、対象地域は天竜川の支流である三峰川水系に属している。

2) 対象林分の概況

対象地域のカラマツ人工林の面積は5,171haで、人工林総面積の89%を占めている。ここではそのカラマツ人工林のうち木材生産機能林分を対象林分（以下「対象林分」という）とすることにした。所有形態は国有林1,312ha、民有林2,659haである。この地域の人工林の大部分を占める対象林分の年齢別構成は前章に述べたように現在5、6歳級をピークとして8歳級以下に偏在しており、35年生以下で保育を必要とする林分はその総面積3,971haの82%にあたる3,256haとなっている。

(2) 研究の方法

1) 用いたデータベース、GISソフトおよび機種

ここでは、前節で作成した流域森林情報アトラスを用いた。なお、用いたGISソフトはTerra Softであり、用いた機種はNECのPC-9801である。

2) 施業区分の方法

まず立地条件要因のうち標高、斜面方位、傾斜角および土壌型がカラマツ林の生産力にどのような影響を与えるかについて考察し、GISを用いてカラマツ林の地位区分を試みた。

次に、対象林分から林道までの距離や傾斜角などの地利条件について検討した。長野県では現行搬出作業は主にトラクター集材タイプと架線集材タイプに大別でき、前者は主に緩傾斜地（傾斜角25°未満）、後者は主に急傾斜地（傾斜角25°以上）に適用されている⁽¹⁷⁾。本研究では対象林分の搬出作業は地形に応じてこの2つのタイプを想定し、現行の搬出距離を林道から100mとして作業可能領域の位置と面積を求めた。

また、人工林のカラマツ材の場合長野県では末口径13cm以下を細物、末口径14～19cmを中目、末口径20cm以上を太物と分けている。細物は丸太のまま杭丸太用など土木用材として、中目材は土木製材用や梱包材などに、太物は製材用や大断面構造集成材用などに利用されている。本研究では、末口径級30cm以上を大径材、末口径級20～28cmを中径材、末口径級18cm以下を小径材とすることにした。地位条件、地利条件および素材需要などを考慮しながらGISを利用して施業区分を行い、それぞれの位置と面積を容易に表示できるようにした。

3) 最適伐期齢判定の方法

まず、システム収穫表⁽²⁹⁾を利用し、様々な間伐方法による林分の間伐量を含めた立木の幹材積合計（以下「総収穫量」という）および利用可能な丸太材積の合計（以下「総利用材積」という）がどのように変化するかについて検討する。次に、伐期齢の違いによってその総収穫量および総利用材積がどの程度増加するか、さらに材長別径級別の割合がどのように変化するかを予測する。続いて、総収穫量の年平均（以下「年平均収穫量」という）と総利用材積の年平均（以下「年平均利用材積」という）について比較検討し、施業目標に合わせてそれぞれの最適伐期齢を判定する。

収穫予測に関与する要因のうち主なものは立地条件、保育方法、伐期の3つである。保育方法としては、本研究では間伐のみを扱うことにした。間伐方法は上層、全層、下層および無間伐の4種類である。下層間伐は直径階の小さい木から順に、上層間伐は直径階の大きい木から順に、全層間伐はほとんどの直径階から選木し、伐採されることとした。無間伐の場合の枯損木本数予測には式(1)を採用することにした。予測林分の立木密度が式(1)のNの値より上回る時には上限をNとし、その差は枯損木本数とした。

間伐間隔期間は10年、15年、20年3つのケースとし、間伐強度は収量比数が0.7前後になるように密度管理をすることにした。収量比数 R_V は長野営林局の算出式を採用することにした。それは次式であたえられる。

$$R_V = V / V_{Rf}$$

$$V = (0.113264 \cdot H^{-1.36383} + 18402.7 \cdot H^{-3.26889} / N)^{-1}$$

$$V_{Rf} = (0.113264 \cdot H^{-1.36383} + 18402.7 \cdot H^{-3.26889} / N_{Rf})^{-1}$$

$$\log N_{Rf} = 5.68875 - 1.90506 \cdot \log H$$

ここで、Vはha当たり材積、 V_{Rf} は最大密度におけるha当たり材積、Hは林分上層樹高、Nはha当たり本数、 N_{Rf} は最大密度におけるha当たり本数である。

伐期は現行標準伐期齢40年から100年まで10年おきに設定し、伐期齢ごとの材長別末口径級別の素材生産量を予測する。採材の基準は対象地域の実態に基づき表-10のように決める。

まず、最初に元玉から4m材が採れるところまで採り、次に3m材、2m材の順で末口径が採材限界末口径以上となるように採材していくこととする。間伐材については根曲がり等を考慮し、採材された材積の値の80%を素材生産量の計算に用いた。なお、丸太材積の計算は末口径乗法によることとした。

以上の考え方にに基づき、さらに次節の素材生産量予測とあわせて、対象林分の最適施業体系の確立および素材生産量の予測を行う手法を開発した。この手法は図-30のように表すことができる。これを用いて対象林分の立地評価と施業区分ができ、その結果をGISによって図面上で表示することもできる。また、各小班ごとの立地評価と施業区分の結果に基づいて、森林を組織化する基礎となる最適施業体系と最適伐期齢を確立でき、さらに次節で述べるように素材生産量の予測を行うこともできる。以下本システムの流れを説明する。

(3) GISによる支援の結果

1) 地位条件の区分

地位条件区分資料としては長野営林局管内伊那谷地域カラマツ林収穫予想表作成標準地(91ヶ所)資料⁽¹²⁾、長野県民有林カラマツ人工林標準地(140ヶ所)資料⁽¹⁶⁾を用いた(以下「標準地」という)。

まず、標準地調査因子である林齢と上層樹高を用いてカラマツ林システム収穫表により標準地ごとの地位指数(基準林齢30年)を求めた。標高を1,000m以下、1,000m~1,500m、1,500m以上の3つに分けてそれぞれの地位指数の平均値を求めると、1,000m以下で17.8m、1,000m~1,500mで17.0m、1,500m以上で14.6mであり、標高が高くなるほど地位指数は低くなった。平均値の差の検定を行った結果いずれも1%水準で有意な差が認められた。標高は気温、地形や土壌などに関係し、カラマツ林の生産力に大きく影響を与えると考えられる。

斜面方位の区分については北、東北、東、南東、南、南西、西、北西の8方位に区分して、それらの地位指数の平均値を表-11に示した。表-11からみると、斜面方位別の平均地位指数は南東、東、南、東北、北西、南西、

表-10 採材方針

| 優先順位 | 材長(m) | 採材限界末口径(cm) |
|------|-------|-------------|
| 1 | 4.0 | 14 |
| 2 | 3.0 | 10 |
| 3 | 2.0 | 8 |

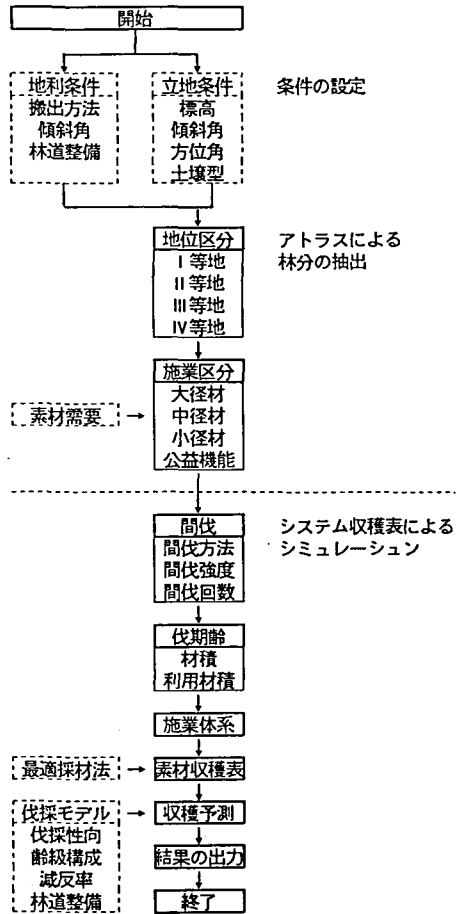


図-30 最適施業体系および木材生産量予測システム

表-11 斜面方位の地位指数

単位：m

| 斜面方位 | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 地位指数 | 16.6 | 17.1 | 17.3 | 17.7 | 17.2 | 16.9 | 16.6 | 16.9 |

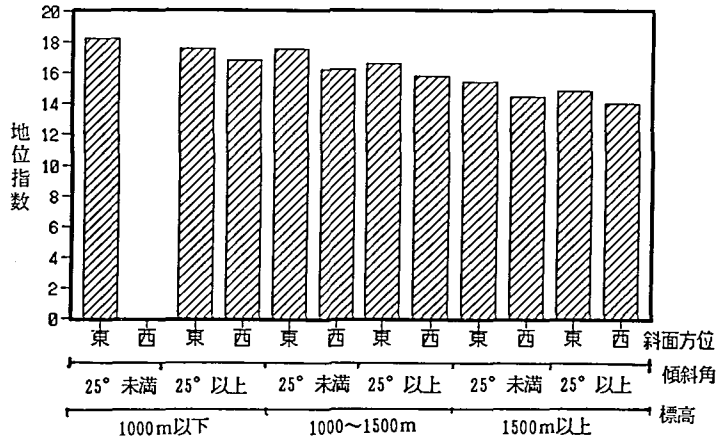


図-31 立地条件別の地位指数

注：西斜面，25°未満，1,000m以下には林分は無かった。

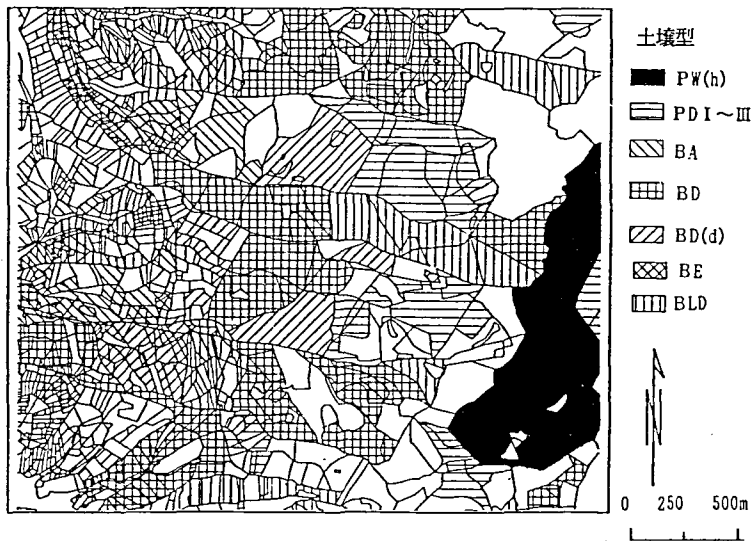


図-32 土壤型別分布図

西、北の順となっており、東系斜面では地位指数が高くなっている。そこで、斜面方位を東系斜面（東北、東、南東、南）と西系斜面（北、南西、西、北西）の2つに分けて考えると、東系斜面と西系斜面の平均地位指数はそれぞれ17.3mと16.8mとなり、5%水準で有意な差が認められた。また、現行搬出機械の適用作業環境⁽¹⁷⁾により林地傾斜角を25°未満と25°以上の2つに区分して、それぞれの地位指数を求めたところ平均値は16.5m、16.0mとなり、5%水準で有意な差が認められた。

このように、林地生産力には立地条件要因が複雑に影響しあっており、特定の要因のみでは説明できない場合が多い。そこで標高を3段階、傾斜を2段階、斜面方位を2段階に分けて組み合わせて計12通りの地位指数の平均値を求めて図-31のように示した。図-31をみると、標高の低い所で地位指数が高くなる傾向を示している。したがって、斜面方位と傾斜角よりも標高の方がカラマツ林の生産力に強く影響していると判断した。

次に、GISを利用し対象地域の土壤図と林小班図と重ね合わせるにより、対象林分を土壤型別に分類したものを図-32に示した。各土壤型別の面積構成を表-12に示した。表-12を見ると、対象林分面積の26.6%がBE型、26.5%がBD型、17.2%がBD(d)型で、その他の土壤型の面積割合は約30%であることが分かった。長野県林務部の適地適木調査報告⁽¹³⁾によると、BA型、BB型、PD I~III型、PW(h)型の4土壤型とも理化学性不良な土壤である。前章ですでに述べたようにPD I~III型は標高1,380mから1,850mまで（平均1,590m）で、ほとんど尾根部に分布している。PW(h)型土壤は標高1,320mから1,840mまで（平均1,600m）で、主に山頂に分布している。なお、BA、BB、PD I~III、PW(h)型の4土壤型は本来カラマツの造林適地ではないため良好な成長が期待できない。

以上の解析結果に基づきカラマツの成長に最も強く影響を与える立地要因である標高と土壤型を用いてGISによる地位区分を実行した結果を図-33に、また各地位別の面積を表-13に示した。地位区分別の面積はII等地1,557.2ha、III等地1,112.3ha、IV等地1,084.3ha、I等地217.6haの順となっており、I等地が最も少ないことが分かった。

表-13 立地条件による地位区分

| 表-12 土壤型別の面積 | | 表-13 立地条件による地位区分 | | | |
|--------------|---------|------------------|-----------|--|---------|
| 土壤型 | 面積 (ha) | 地位区分 | 標高区分 (m) | 土壤型 | 面積 (ha) |
| BA | 30.5 | I等地 | 1000以下 | B _c , B _D , B _D (d), B _E | 217.6 |
| BB | 279.0 | II等地 | 1000~1500 | B _c , B _D , B _D (d), B _E | 1557.2 |
| BC | 21.1 | III等地 | 1500以上 | B _c , B _D , B _D (d), B _E | 1112.3 |
| BD | 1089.0 | IV等地 | | B _A , B _B , P _D I~III, P _W (h) | 1084.3 |
| BD(d) | 706.5 | | | | |
| BE | 1091.6 | | | | |
| BD | 216.5 | | | | |
| PD I~III | 342.3 | | | | |
| PW(h) | 194.9 | | | | |
| 計: | 3971.4 | | | | |

| 表-14 地位区分別の面積 | | | |
|---------------|-----------------|-----------------|--------|
| 地位区分 | バッファ内 面積(ha) | バッファ外 面積(ha) | 計 |
| I等地 | 60.0 | 157.61 | 217.6 |
| II等地 | 458.3 | 1098.91 | 1557.2 |
| III等地 | 288.6 | 823.7 | 1112.3 |
| IV等地 | 84.6 | 999.7 | 1084.3 |
| 計: | 891.5 | 3079.9 | 3971.4 |



図-33 地位区分図

2) 地利条件の区分

図-34は現行の集材機械の作業領域幅を100mとし、GISにより林道から100m幅のバッファを行った結果と図-33と重ね合わせた例である。この地位区分別の面積を表-14にまとめた。表-14をみると、対象林分面積の約22%にあたる891.5haがバッファ内に含まれていることが分かった。そのうち国有林面積は252.21ha、民有林面積は639.3haである。また、地位区分別のバッファ内面積の割合はI等地で27.6%、II等地で29.4%、III等地で25.9%、IV等地で7.8%であることが分かった。現在、長野県では現行搬出作業システムの改善と高性能林業機械の導入についての検討が進められているが、このような機械を導入した場合でもその作業可能領域幅を基準としてバッファをかければその位置と面積を容易に把握することができる。また、GISを利用することにより作業予定林分の標高や土壌などの立地条件を把握できるため、高性能林業機械の選択、導入にも支援できると考える。

3) 施業区分

ここでは、地位、地利条件および素材需要などを考慮し表-15のように大径材生産林、中径材生産林、小径材生産林および公益機能重視林の4つの施業目標を想定した。なお、公益機能重視施業を除いて、それぞれの施業区分別の面積は林道からの距離を100mとして設定した例である。森林公益機能重視施業林分では木材生産を期待できないが、ここでは「施業区分」の1つとして取り扱うことにした。この公益的な機能を発揮させるためには、今後樹種の転換等について検討しなければならないが、本節の論旨と異なるので、この点については述べない。

(4) システム収穫表による支援の結果

1) 間伐方法の比較

表-16は地位II等地の10年生林分をモデルにし、15年生から45年生まで、10年おきの間伐

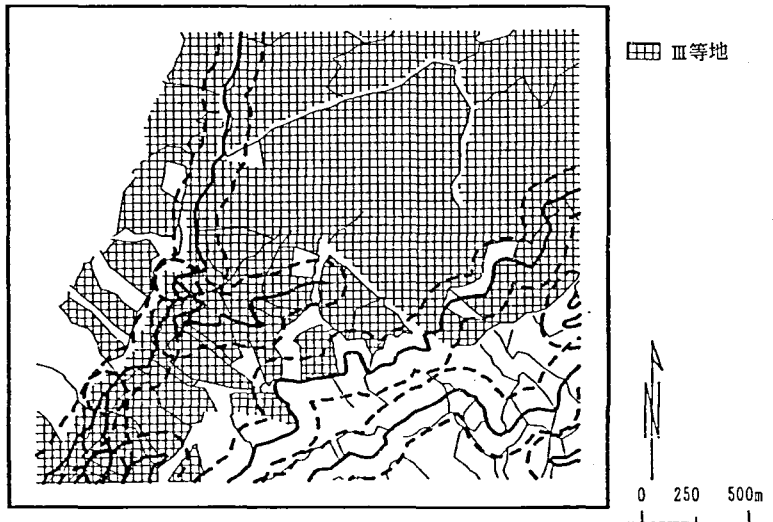


図-34 林道から100m幅のバッファ

注：太い破線の部分はバッファ内を表す。太い線は林道，細い線は小班境界線。

表-15 施業区分

| 区 分 | 施業目標 | 地 位 | 現行搬出作業 | 面積(ha) |
|--------|-----------|-------|----------|--------|
| 大径材 | 末口径30cm以上 | I等地 | 林道から100m | 60.0 |
| 中径材 | 末口径20cm以上 | II等地 | 林道から100m | 458.3 |
| 小径材 | 末口径8cm以上 | III等地 | 林道から100m | 288.6 |
| 公益機能重視 | | IV等地 | | 1084.6 |

方法別の収穫予測をシミュレーションした例である。まず，間伐方法別の林木の成長について検討することにした。

主林木の平均胸高直径はすべての林齢において下層間伐の場合が最も大きく，次いで全層間伐，無間伐，上層間伐の順となる。主林木の平均樹高はすべての林齢で下層間伐の場合が最も高く，次いで無間伐，全層間伐，上層間伐の順となる。すなわち，残された主林木のサイズは下層間伐で最も大きく，上層間伐で最も小さいのである。これは間伐の選木基準に関係し，下層間伐の場合，成長の弱った木が伐採され，残された樹木のサイズが他の間伐方法より大きくなるためと考えられる。また，間伐木の平均胸高直径を比較すると2回目までの間伐木の平均直径の大きさは上層間伐，全層間伐，下層間伐の順となるが，3回目は下層間伐，全層間伐，上層間伐の順になった。さらに，総収穫量に占める間伐木の割合は50年生において，上層間伐58.9%，全層間伐47.8%，下層間伐42.5%であるが，80年生になると上層間伐40.1%，全層間伐32.9%，下層間伐28.9%となることが分かった。すなわち，高齢にな

表-16 a 全層間伐林分の収穫予測 (II等地)

| 林齢 | 主林木 平均樹高 (m) | 立 木 本 数 | | | 平均胸高直径 | | | 幹 材 積 | | | 平均成長量 (m ³ /ha/年) |
|-----|--------------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| | | 全林木 (本/ha) | 主林木 (本/ha) | 間伐木 (本/ha) | 全林木 (cm) | 主林木 (cm) | 間伐木 (cm) | 全林木 (m ³ /ha) | 主林木 (m ³ /ha) | 間伐木 (m ³ /ha) | |
| 10 | 5.5 | 1900 | 1900 | | 6.5 | 6.5 | | 19.57 | 19.57 | | 1.96 |
| 15 | 9.0 | 1900 | 1330 | 570 | 9.9 | 9.9 | | 67.20 | 47.04 | 20.16 | 4.48 |
| 20 | 11.9 | 1330 | 1330 | | 12.2 | 12.2 | | 112.07 | 91.91 | | 5.60 |
| 25 | 14.2 | 1330 | 931 | 399 | 14.4 | 14.4 | 14.3 | 172.46 | 106.61 | 45.69 | 6.90 |
| 30 | 16.2 | 931 | 931 | | 16.1 | 16.1 | | 216.47 | 150.62 | | 7.22 |
| 35 | 17.6 | 931 | 652 | 279 | 18.0 | 18.0 | 17.9 | 271.61 | 144.03 | 61.73 | 7.76 |
| 40 | 18.9 | 652 | 652 | | 19.4 | 19.4 | | 308.46 | 180.88 | | 7.71 |
| 45 | 19.9 | 652 | 489 | 163 | 21.1 | 21.1 | 21.0 | 353.63 | 169.54 | 56.51 | 7.86 |
| 50 | 20.7 | 489 | 489 | | 22.5 | 22.5 | | 384.54 | 200.45 | | 7.69 |
| 55 | 21.4 | 489 | 489 | | 24.0 | 24.0 | | 420.62 | 236.53 | | 7.65 |
| 60 | 22.0 | 489 | 489 | | 25.3 | 25.3 | | 454.06 | 269.97 | | 7.57 |
| 65 | 22.5 | 489 | 489 | | 26.3 | 26.3 | | 484.70 | 300.61 | | 7.46 |
| 70 | 22.9 | 489 | 489 | | 27.2 | 27.2 | | 512.51 | 328.42 | | 7.32 |
| 75 | 23.2 | 489 | 489 | | 28.0 | 28.0 | | 537.57 | 353.48 | | 7.17 |
| 80 | 23.5 | 489 | 489 | | 28.7 | 28.7 | | 560.03 | 375.94 | | 7.00 |
| 85 | 23.7 | 489 | 489 | | 29.3 | 29.3 | | 580.06 | 395.97 | | 6.82 |
| 90 | 23.8 | 489 | 489 | | 29.8 | 29.8 | | 597.86 | 413.77 | | 6.64 |
| 95 | 24.0 | 489 | 489 | | 30.2 | 30.2 | | 613.63 | 429.54 | | 6.46 |
| 100 | 24.1 | 489 | 489 | | 30.5 | 30.5 | | 627.56 | 443.47 | | 6.28 |

表-16 b 下層間伐林分の収穫予測 (II等地)

| 林齢 | 主林木 平均樹高 (m) | 立 木 本 数 | | | 平均胸高直径 | | | 幹 材 積 | | | 平均成長量 (m ³ /ha/年) |
|-----|--------------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| | | 全林木 (本/ha) | 主林木 (本/ha) | 間伐木 (本/ha) | 全林木 (cm) | 主林木 (cm) | 間伐木 (cm) | 全林木 (m ³ /ha) | 主林木 (m ³ /ha) | 間伐木 (m ³ /ha) | |
| 10 | 5.5 | 1900 | 1900 | | 6.5 | 6.5 | | 19.57 | 19.57 | | 1.96 |
| 15 | 9.6 | 1900 | 1330 | 570 | 9.9 | 11.1 | 7.2 | 67.21 | 58.31 | 8.90 | 4.48 |
| 20 | 12.7 | 1330 | 1330 | | 13.6 | 13.6 | | 122.66 | 113.76 | | 6.13 |
| 25 | 15.7 | 1330 | 865 | 466 | 15.7 | 16.7 | 13.9 | 191.19 | 136.03 | 46.26 | 7.65 |
| 30 | 17.8 | 865 | 865 | | 18.2 | 18.4 | | 243.75 | 188.59 | | 8.13 |
| 35 | 20.1 | 865 | 562 | 303 | 20.2 | 21.3 | 18.2 | 308.06 | 185.42 | 67.48 | 8.80 |
| 40 | 21.5 | 562 | 562 | | 22.6 | 22.8 | | 353.14 | 230.50 | | 8.83 |
| 45 | 23.2 | 562 | 393 | 169 | 24.2 | 25.6 | 22.6 | 406.83 | 217.98 | 66.21 | 9.04 |
| 50 | 24.2 | 393 | 393 | | 27.1 | 27.1 | | 444.40 | 255.55 | | 8.89 |
| 55 | 25.0 | 393 | 393 | | 28.7 | 28.7 | | 487.76 | 298.91 | | 8.87 |
| 60 | 25.6 | 393 | 393 | | 30.1 | 30.1 | | 527.57 | 338.72 | | 8.79 |
| 65 | 26.2 | 393 | 393 | | 31.3 | 31.3 | | 564.21 | 375.36 | | 8.68 |
| 70 | 26.6 | 393 | 393 | | 32.3 | 32.3 | | 597.43 | 408.58 | | 8.53 |
| 75 | 27.0 | 393 | 393 | | 33.2 | 33.2 | | 627.34 | 438.49 | | 8.36 |
| 80 | 27.3 | 393 | 393 | | 33.9 | 33.9 | | 654.14 | 465.29 | | 8.18 |
| 85 | 27.6 | 393 | 393 | | 34.5 | 34.5 | | 678.03 | 489.18 | | 7.98 |
| 90 | 27.8 | 393 | 393 | | 35.1 | 35.1 | | 699.27 | 510.42 | | 7.77 |
| 95 | 27.9 | 393 | 393 | | 35.6 | 35.6 | | 718.08 | 529.23 | | 7.56 |
| 100 | 28.0 | 393 | 393 | | 36.1 | 36.1 | | 734.70 | 545.85 | | 7.35 |

表-16c 上層間伐林分の収穫予測 (II等地)

| 林齢 | 主林木 平均樹高 (m) | 立 木 本 数 | | | 平均胸高直径 | | | 幹 材 積 | | | |
|-----|--------------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| | | 全林木 (本/ha) | 主林木 (本/ha) | 間伐木 (本/ha) | 全林木 (cm) | 主林木 (cm) | 間伐木 (cm) | 全林木 (m ³ /ha) | 主林木 (m ³ /ha) | 間伐木 (m ³ /ha) | 平均成長量 (m ³ /ha/年) |
| 10 | 5.5 | 1900 | 1900 | | 6.5 | 6.5 | | 19.57 | 19.57 | | 1.96 |
| 15 | 8.7 | 1900 | 1520 | 380 | 9.9 | 9.3 | 12.5 | 67.20 | 45.12 | 22.08 | 4.48 |
| 20 | 11.5 | 1520 | 1520 | | 11.5 | 11.5 | | 111.38 | 89.30 | | 5.57 |
| 25 | 13.1 | 1520 | 1064 | 456 | 13.6 | 12.3 | 16.5 | 169.96 | 80.17 | 67.71 | 6.80 |
| 30 | 14.9 | 1064 | 1064 | | 14.3 | 13.9 | | 205.42 | 115.63 | | 6.85 |
| 35 | 16.0 | 1064 | 851 | 213 | 15.9 | 15.1 | 18.1 | 253.33 | 119.20 | 44.34 | 7.24 |
| 40 | 17.1 | 851 | 851 | | 16.3 | 16.6 | | 288.12 | 153.99 | | 7.20 |
| 45 | 17.5 | 851 | 638 | 213 | 17.7 | 17.0 | 21.3 | 328.84 | 125.56 | 69.15 | 7.31 |
| 50 | 18.2 | 638 | 638 | | 18.2 | 18.2 | | 354.18 | 150.90 | | 7.08 |
| 55 | 18.9 | 638 | 638 | | 19.7 | 19.7 | | 385.29 | 182.01 | | 7.01 |
| 60 | 19.4 | 638 | 638 | | 20.8 | 20.8 | | 414.27 | 210.99 | | 6.90 |
| 65 | 19.8 | 638 | 638 | | 21.8 | 21.8 | | 440.91 | 237.63 | | 6.78 |
| 70 | 20.1 | 638 | 638 | | 22.7 | 22.7 | | 465.18 | 261.90 | | 6.65 |
| 75 | 20.4 | 638 | 638 | | 23.4 | 23.4 | | 487.12 | 283.84 | | 6.49 |
| 80 | 20.6 | 638 | 638 | | 24.0 | 24.0 | | 506.84 | 303.56 | | 6.34 |
| 85 | 20.8 | 638 | 638 | | 24.5 | 24.5 | | 524.47 | 321.19 | | 6.17 |
| 90 | 21.0 | 638 | 638 | | 25.0 | 25.0 | | 540.18 | 336.90 | | 6.00 |
| 95 | 21.1 | 638 | 638 | | 25.4 | 25.4 | | 554.14 | 350.86 | | 5.83 |
| 100 | 20.3 | 638 | 638 | | 25.7 | 25.7 | | 566.51 | 363.23 | | 5.67 |

るほど下層間伐の方が他の間伐方法より間伐された材積の割合が少なくなる傾向を示している。

次に、総収穫量を比較するとすべての林齢において下層間伐で最も多く、次いで無間伐、全層間伐、上層間伐の順となる。これは下層間伐した場合、残された樹木のサイズが他の間伐方法より大きく、残された材積が大きくなるためであると考えられる。80年生以降、全層間伐は無間伐を上回る総収穫量を示している。これは無間伐の方が高齢になるほど枯損により損失量が多いためであると考えられる。また、カラマツの標準伐期齢40年から100年まで10年おきに7つの伐期齢を想定し、間伐方法別の総収穫量を比較すると、伐期齢60年までの20年間には下層間伐では174.5m³、全層間伐では145.6m³、上層間伐では126.2m³、無間伐では125.6m³となっている。伐期齢80年までは下層間伐では301m³、全層間伐では251.5m³、上層間伐では218.7m³、無間伐では188.1m³となっている。伐期齢100年までは下層間伐では381.6m³、全層間伐では319.1m³、上層間伐では278.4m³、無間伐では248.5m³となっている。いずれの場合も下層間伐による総収穫量が最も大きく、長伐期になるほど他の間伐方法との差が大きくなる傾向を示した。

また、間伐方法別のそれぞれの伐期齢までの総利用材積について予測した結果を表-17にまとめた。表-17を見ると、伐期齢50年までは無間伐、下層間伐、全層間伐、上層間伐の順となるが、伐期齢60年からは下層間伐、無間伐、全層間伐、上層間伐の順となる。しかし、伐期齢80年からは下層間伐、全層間伐、無間伐、上層間伐順となる。また、伐期齢40年から

伐期齢ごとに総利用材積を比較すると、伐期齢60年までは下層間伐で123.7m³、全層間伐で109.7m³、上層間伐で98m³、無間伐で95.3m³である。伐期齢80年までは、下層間伐で223.9m³、全層間伐で184.5m³、上層間伐で165.9m³、無間伐で128.6m³である。伐期齢100年までは下層間伐で283m³、全層間伐で235.7m³、上層間伐で206.9m³、無間伐で168.3m³である。いずれの場合も下層間伐の場合が他の間伐方法より総利用材積が多くなり、長伐期にしたがいその差が大きくなる傾向を示した。したがって、前述のように収量比数0.7を前提とすれば、下層間伐が最も適当な間伐方法であると判断できる。これは山本⁽⁴⁶⁾による秩父地方のカラマツ林についての報告と一致した。

さらに、間伐方法別に伐期齢までの末口径級30cm以上の大径材材積お

よび総利用材積に対する割合の変化について考察した。表-18をみると伐期齢60年まで無間伐、下層間伐、全層間伐、上層間伐の順となるが、伐期齢70年から下層間伐、無間伐、全層間伐、上層間伐の順となる。また、上層間伐では伐期齢100年まで大径材がほとんど採材で

表-16d 無間伐林分の収穫予測 (II等地)

| 林齢 | 平均樹高 (m) | 立木本数 (本/ha) | 平均直径 (cm) | 幹材積 (m ³ /ha) | 平均成長量 (m ³ /ha/年) |
|-----|-------------|----------------|--------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 10 | 5.5 | 1900 | 6.5 | 19.57 | 1.96 |
| 15 | 9.1 | 1900 | 9.9 | 67.20 | 4.48 |
| 20 | 12.0 | 1900 | 12.2 | 132.01 | 6.60 |
| 25 | 14.4 | 1900 | 13.9 | 206.81 | 8.27 |
| 30 | 16.3 | 1621 | 14.9 | 262.41 | 8.75 |
| 35 | 17.9 | 1345 | 16.8 | 297.23 | 8.49 |
| 40 | 19.3 | 1168 | 18.7 | 345.62 | 8.64 |
| 45 | 20.3 | 1047 | 20.2 | 386.77 | 8.59 |
| 50 | 21.2 | 962 | 21.2 | 432.74 | 8.65 |
| 55 | 21.9 | 900 | 22.1 | 453.02 | 8.24 |
| 60 | 22.5 | 854 | 22.8 | 471.16 | 7.85 |
| 65 | 23.0 | 818 | 23.5 | 493.67 | 7.59 |
| 70 | 23.4 | 791 | 24.3 | 518.93 | 7.41 |
| 75 | 23.7 | 769 | 25.1 | 528.58 | 7.05 |
| 80 | 24.0 | 721 | 25.7 | 533.67 | 6.67 |
| 85 | 24.2 | 721 | 26.3 | 552.82 | 6.50 |
| 90 | 24.4 | 721 | 26.7 | 569.66 | 6.33 |
| 95 | 24.6 | 712 | 26.8 | 593.18 | 6.24 |
| 100 | 24.7 | 707 | 26.9 | 594.14 | 5.94 |

表-17a 全層間伐林分の利用材積予測 (II等地)

| 林齢 | 4 m | | | 3 m | | 2 m | | 総材積 (m ³ /ha) | 平均成長量 (m ³ /ha/年) |
|-----|---------|---------|-------|---------|--------|--------|-------|-----------------------------|---------------------------------|
| | 14~18cm | 20~28cm | 30cm~ | 10~12cm | 14cm~ | 8~12cm | 14cm~ | | |
| 40 | 42.28 | 17.45 | | 18.86 | 45.63 | 13.85 | | 220.32 | 5.51 |
| 50 | 39.10 | 54.05 | 0.58 | 8.00 | 44.01 | 9.47 | 0.15 | 280.66 | 5.61 |
| 60 | 34.53 | 103.86 | 3.23 | 9.46 | 47.96 | 5.08 | 0.63 | 330.05 | 5.50 |
| 70 | 24.76 | 130.95 | 11.01 | 6.86 | 66.23 | 3.58 | 2.42 | 371.11 | 5.30 |
| 80 | 19.70 | 152.56 | 14.69 | 7.25 | 78.27 | 1.87 | 5.17 | 404.81 | 5.06 |
| 90 | 16.87 | 158.74 | 27.43 | 5.18 | 91.54 | 1.84 | 7.23 | 434.13 | 4.82 |
| 100 | 15.13 | 159.56 | 40.80 | 2.86 | 102.63 | 1.67 | 8.06 | 456.01 | 4.56 |
| 15副 | | | | | | 4.42 | | 4.42 | |
| 25副 | 2.07 | | | 7.19 | 9.60 | 11.68 | | 30.54 | |
| 35副 | 12.65 | 2.83 | | 8 | 14 | 9.65 | | 47.29 | |
| 45副 | 12.57 | 10.78 | 0.06 | 4.37 | 11.41 | 3.84 | 0.02 | 43.05 | |

注：「副」は間伐材を示している。

表-17b 下層間伐林分の利用材積予測 (II等地)

| 林齢 | 4 m | | | 3 m | | 2 m | | 総材積 (m ³ /ha) | 平均成長量 (m ³ /ha/年) |
|-----|---------|---------|--------|---------|--------|--------|-------|-----------------------------|---------------------------------|
| | 14~18cm | 20~28cm | 30cm~ | 10~12cm | 14cm~ | 8~12cm | 14cm~ | | |
| 40 | 63.39 | 40.18 | 0.01 | 5.17 | 57.67 | 13.51 | 0.10 | 260.18 | 6.50 |
| 50 | 28.73 | 105.13 | 1.40 | 10.04 | 45.39 | | 1.87 | 323.44 | 6.47 |
| 60 | 4.68 | 152.99 | 9.32 | 0.19 | 76.71 | | 9.14 | 383.91 | 6.40 |
| 70 | 1.75 | 163.77 | 32.06 | 0.07 | 110.93 | 1.24 | 3.73 | 444.43 | 6.35 |
| 80 | 1.02 | 149.06 | 68.51 | 0.04 | 130.60 | 0.75 | 3.18 | 484.04 | 6.05 |
| 90 | 0.72 | 132.28 | 101.93 | 0.03 | 147.93 | | 4.30 | 518.07 | 5.76 |
| 100 | 0.57 | 131.73 | 113.62 | | 161 | | 5.23 | 543.17 | 5.43 |
| 15副 | | | | | | | | | |
| 25副 | | | | 19.23 | | 9.63 | | 28.86 | |
| 35副 | 8.71 | | | 13.07 | 20.38 | 9.13 | | 51.29 | |
| 45副 | 30.69 | 7.10 | | 5.36 | 3.82 | 3.76 | | 50.73 | |

注: 「副」は間伐材を示している。

表-17c 上層間伐林分の利用材積予測 (II等地)

| 林齢 | 4 m | | | 3 m | | 2 m | | 総材積 (m ³ /ha) | 平均成長量 (m ³ /ha/年) |
|-----|---------|---------|-------|---------|-------|--------|-------|-----------------------------|---------------------------------|
| | 14~18cm | 20~28cm | 30cm~ | 10~12cm | 14cm~ | 8~12cm | 14cm~ | | |
| 40 | 15.37 | | | 26.20 | 43.51 | 30.68 | | 207.09 | 5.18 |
| 50 | 34.91 | | | 19.19 | 45.40 | 18.36 | | 261.53 | 5.23 |
| 60 | 54.43 | 31.97 | | 14.74 | 42.94 | 17.29 | | 305.04 | 5.08 |
| 70 | 51.12 | 71.43 | | 10.31 | 52.85 | 13.73 | | 343.11 | 4.90 |
| 80 | 43.46 | 103.92 | | 5.80 | 63.79 | 12.38 | | 373.02 | 4.66 |
| 90 | 37.83 | 127.91 | 0.22 | 4.95 | 70.35 | 7.72 | 4.14 | 396.79 | 4.41 |
| 100 | 40.61 | 144.34 | 1.68 | 7.21 | 67.14 | 5.43 | 3.86 | 413.94 | 4.41 |
| 15副 | | | | 1.05 | | 9.21 | | 10.26 | |
| 25副 | 1.64 | | | 5.75 | 24.65 | 18.42 | | 50.46 | |
| 35副 | 1.20 | | | 8.69 | 16.13 | 4.59 | | 30.61 | |
| 45副 | 25.48 | | | 9.19 | 14.96 | 2.71 | | 52.34 | |

注: 「副」は間伐材を示している。

表-17d 無間伐林分の利用材積予測 (II等地)

| 林齢 | 4 m | | | 3 m | | 2 m | | 総材積 (m ³ /ha) | 平均成長量 (m ³ /ha/年) |
|-----|---------|---------|-------|---------|--------|--------|-------|-----------------------------|---------------------------------|
| | 14~18cm | 20~28cm | 30cm~ | 10~12cm | 14cm~ | 8~12cm | 14cm~ | | |
| 40 | 72.37 | 44.46 | 0.25 | 35.64 | 89.61 | 29.90 | 0.15 | 272.38 | 6.81 |
| 50 | 86.03 | 107.41 | 4.27 | 32.40 | 85.20 | 17.13 | 1.48 | 333.92 | 6.68 |
| 60 | 71.98 | 144.21 | 14.58 | 28.24 | 96.59 | 9.11 | 3.01 | 367.72 | 6.13 |
| 70 | 63.91 | 159.82 | 29.63 | 12.31 | 116.31 | 6.94 | 4.23 | 393.15 | 5.62 |
| 80 | 52.85 | 165.28 | 45.57 | 7.52 | 120.64 | 4.53 | 4.57 | 400.96 | 5.01 |
| 90 | 49.82 | 166.78 | 59.72 | 7.16 | 133.33 | 4.79 | 5.45 | 427.05 | 4.75 |
| 100 | 47.18 | 175.79 | 57.56 | 6.56 | 141.00 | 4.46 | 8.16 | 440.71 | 4.41 |

きないのに対して、下層間伐の場合は長伐期になるほど大径材の割合が大きくなる傾向を示している。すなわち、伐期齢60年では2.4% (9.3m³)、伐期齢80年では14.2% (68.5m³)、伐期齢100年では20.9% (113.6m³)となる。したがって、大径材生産の立場からは、下層間伐が最も適当な間伐方法であると判断できる。

以上の解析の結果、収量比数0.7を前提とした密度管理を行った場合同地方のカラマツ林間伐の方法としては下層間伐が最も有利であると思われる。

2) 間伐間隔期間の比較

これまでの間伐方法を比較した結果、下層間伐が有利であることがほぼ明らかになった。ここでは、下層間伐を前提とし、間伐の間隔期間を10年ごと、15年ごとおよび20年ごとの3つのケースを設定

し、間伐の間隔期間について検討した。なお、10年ごとのケースは前節で予測した結果をそのまま利用することにした。15年ごとと20年ごとの場合、いずれも林齢15年生から3回の間伐を行うことにした。それぞれのケースの総収穫量および総利用材積についてシミュレーションをした結果を表-19、表-20に示した。

まず、総収穫量を比較するとすべての林齢で20年ごと、15年ごと、10年ごとの順となる。20年ごとの間伐のケースと15年ごとの間伐のケースを比較するとその差はほとんどみられない。一方、10年ごとの間伐の場合、他の2つのケースより総収穫量は少ない。

次に、総利用材積を比較すると総収穫量と同様な傾向を示している。すなわち、20年ごとの間伐のケースと15年ごとの間伐のケースとの差はほとんどみられない。10年ごとの間伐の場合、他の2つのケースより総利用材積は少ない。

この3つのシミュレーションでは、いずれも収量比数が0.7前後になるように設定されており、10年ごとの間伐の場合本数間伐率は30%~35%となるのに対して15年ごとの場合の間伐率は35%~45%で、20年ごとの場合の間伐率は40%~50%となる。すなわち、間伐間隔が長くなるほど間伐率が大きくなる。また、間伐率が大きくなるほど間伐後の林分の環境条件の変化が大きくなり、林分の安定性が損なわれることが考えられる。たとえば、雪害や風害などの危険性が高まるのである。したがって、弱度の間伐が理想であるが、現実の労働力不足などを考慮すると10年ないし15年ごとの間伐が適当であると判断した。

3) 最適伐期齢の判定

ここでは、10年ごとの下層間伐を前提として施業区分別に収穫予測を行い、最適伐期齢の基準としての伐期齢ごとの年平均収穫量および年平均利用材積の変化について検討し、それぞれの最適伐期齢を判定した。表-21は地位I等地の大径材施業と地位III等地の小径材施業

表-18 大径材材積予測 (II等地)

単位：m³

| 林齢 | 全層間伐 | 下層間伐 | 上層間伐 | 無間伐 |
|-----|-----------------|-------------------|----------------|------------------|
| 40 | | 0.01 (0.00) | | 0.25 (0.09) |
| 50 | 0.58 (0.27) | 1.40 (0.43) | | 4.28 (1.28) |
| 60 | 3.23 (0.98) | 9.32 (2.43) | | 14.58 (3.96) |
| 70 | 11.01 (2.97) | 32.06 (7.21) | | 29.63 (7.45) |
| 80 | 14.69 (3.63) | 68.51 (14.15) | | 45.57 (11.36) |
| 90 | 27.43 (6.32) | 101.93 (19.68) | 0.22 (0.05) | 59.72 (13.98) |
| 100 | 40.80 (8.95) | 113.62 (20.92) | 1.68 (0.40) | 57.56 (13.06) |

注：()内の数値は総利用材積に対する割合

表-19 a 15年ごと間伐林分の収穫予測 (II等地)

| 林齢 | 主林木 平均樹高 (m) | 立 木 本 数 | | | 平均胸高直径 | | | 幹 材 積 | | | |
|-----|--------------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| | | 全林木 (本/ha) | 主林木 (本/ha) | 間伐木 (本/ha) | 全林木 (cm) | 主林木 (cm) | 間伐木 (cm) | 全林木 (m ³ /ha) | 主林木 (m ³ /ha) | 間伐木 (m ³ /ha) | 平均成長量 (m ³ /ha/年) |
| 10 | 5.5 | 1900 | 1900 | | 6.5 | 6.5 | | 19.57 | 19.57 | | 1.96 |
| 15 | 9.7 | 1900 | 1235 | 665 | 9.9 | 11.2 | 7.6 | 67.20 | 55.45 | 11.75 | 4.48 |
| 20 | 12.8 | 1235 | 1235 | | 13.7 | 13.7 | | 108.05 | 108.05 | | 5.40 |
| 25 | 15.3 | 1235 | 1235 | | 15.9 | 15.9 | | 186.71 | 174.96 | | 7.47 |
| 30 | 18.2 | 1235 | 679 | 556 | 17.6 | 19.2 | 15.9 | 258.33 | 165.05 | 81.53 | 8.61 |
| 35 | 20.0 | 679 | 679 | | 20.7 | 20.7 | | 304.93 | 211.65 | | 8.71 |
| 40 | 21.4 | 679 | 679 | | 22.5 | 22.5 | | 364.39 | 271.11 | | 9.11 |
| 45 | 23.3 | 679 | 408 | 271 | 24.0 | 25.8 | 21.4 | 421.82 | 231.06 | 97.48 | 9.37 |
| 50 | 24.4 | 679 | 408 | | 27.1 | 27.1 | | 458.28 | 267.52 | | 9.17 |
| 55 | 25.2 | 408 | 408 | | 28.7 | 28.7 | | 502.92 | 312.16 | | 9.14 |
| 60 | 28.9 | 408 | 408 | | 30.0 | 30.0 | | 544.20 | 353.44 | | 9.07 |
| 65 | 26.4 | 408 | 408 | | 31.2 | 31.2 | | 581.93 | 391.17 | | 8.95 |
| 70 | 26.9 | 408 | 408 | | 32.2 | 32.2 | | 616.14 | 425.38 | | 8.80 |
| 75 | 27.3 | 408 | 408 | | 33.0 | 33.0 | | 646.94 | 456.18 | | 8.63 |
| 80 | 27.6 | 408 | 408 | | 33.8 | 33.8 | | 674.52 | 483.76 | | 8.43 |
| 85 | 27.8 | 408 | 408 | | 34.4 | 34.4 | | 699.11 | 508.35 | | 8.22 |
| 90 | 28.0 | 408 | 408 | | 34.9 | 34.9 | | 720.96 | 530.20 | | 8.01 |
| 95 | 28.2 | 408 | 408 | | 35.4 | 35.4 | | 740.30 | 549.54 | | 7.79 |
| 100 | 28.3 | 408 | 408 | | 35.8 | 35.8 | | 757.37 | 566.61 | | 7.57 |

表-19 b 20年ごと間伐林分の収穫予測 (II等地)

| 林齢 | 主林木 平均樹高 (m) | 立 木 本 数 | | | 平均胸高直径 | | | 幹 材 積 | | | |
|-----|--------------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| | | 全林木 (本/ha) | 主林木 (本/ha) | 間伐木 (本/ha) | 全林木 (cm) | 主林木 (cm) | 間伐木 (cm) | 全林木 (m ³ /ha) | 主林木 (m ³ /ha) | 間伐木 (m ³ /ha) | 平均成長量 (m ³ /ha/年) |
| 10 | 5.5 | 1900 | 1900 | | 6.5 | 6.5 | | 19.57 | 19.56 | | 1.96 |
| 15 | 9.7 | 1900 | 1140 | 760 | 9.9 | 11.3 | 7.9 | 82.10 | 52.30 | 14.90 | 5.47 |
| 20 | 12.8 | 1140 | 1140 | | 13.6 | 13.8 | | 116.67 | 101.77 | | 5.83 |
| 25 | 15.4 | 1140 | 1140 | | 16.2 | 16.2 | | 181.82 | 166.92 | | 7.27 |
| 30 | 17.5 | 1140 | 1140 | | 18.0 | 18.0 | | 251.30 | 236.40 | | 8.38 |
| 35 | 20.3 | 1140 | 570 | 570 | 19.4 | 21.7 | 17.1 | 322.15 | 196.97 | 110.28 | 9.20 |
| 40 | 21.8 | 570 | 570 | | 23.0 | 23.0 | | 364.77 | 239.59 | | 9.12 |
| 45 | 23.0 | 570 | 570 | | 24.7 | 24.7 | | 419.88 | 294.70 | | 9.33 |
| 50 | 24.0 | 570 | 570 | | 26.1 | 26.1 | | 472.12 | 346.94 | | 9.44 |
| 55 | 25.7 | 570 | 342 | 228 | 27.3 | 29.5 | 24.0 | 520.80 | 282.06 | 113.56 | 9.47 |
| 60 | 26.4 | 342 | 342 | | 30.6 | 30.6 | | 551.21 | 312.47 | | 9.19 |
| 65 | 26.9 | 342 | 342 | | 32.0 | 32.0 | | 588.08 | 349.34 | | 9.05 |
| 70 | 27.4 | 342 | 342 | | 33.1 | 33.1 | | 621.57 | 382.83 | | 8.88 |
| 75 | 27.8 | 342 | 342 | | 34.0 | 34.0 | | 651.79 | 413.05 | | 8.69 |
| 80 | 28.0 | 342 | 342 | | 34.9 | 34.9 | | 678.90 | 440.16 | | 8.49 |
| 85 | 28.3 | 342 | 342 | | 35.7 | 35.7 | | 703.10 | 464.36 | | 8.27 |
| 90 | 28.5 | 342 | 342 | | 36.3 | 36.3 | | 724.64 | 485.90 | | 8.05 |
| 95 | 28.7 | 342 | 342 | | 36.8 | 36.8 | | 743.71 | 504.97 | | 7.83 |
| 100 | 28.8 | 342 | 342 | | 37.3 | 37.3 | | 760.53 | 521.79 | | 7.61 |

表—20 a 15年ごと間伐林分の利用材積予測 (II等地)

| 林齢 | 4 m | | | 3 m | | 2 m | | 総材積 (m ³ /ha) | 平均成長量 (m ³ /ha/年) |
|-----|---------|---------|--------|---------|--------|--------|-------|-----------------------------|---------------------------------|
| | 14~18cm | 20~28cm | 30cm~ | 10~12cm | 14cm~ | 8~12cm | 14cm~ | | |
| 40 | 71.78 | 47.23 | 0.01 | 7.28 | 68.09 | 16.86 | 0.20 | 271.81 | 6.80 |
| 50 | 29.06 | 108.77 | 2.33 | 10.31 | 47.66 | | 1.89 | 335.56 | 6.71 |
| 60 | 6.60 | 156.37 | 12.28 | 0.35 | 87.52 | 2.99 | 5.07 | 406.72 | 6.78 |
| 70 | 2.93 | 163.62 | 36.88 | 0.14 | 115.02 | 1.52 | 3.96 | 459.61 | 6.57 |
| 80 | 1.82 | 150.22 | 72.66 | 0.08 | 136.77 | | 5.13 | 502.22 | 6.28 |
| 90 | 1.35 | 134.92 | 105.03 | 0.06 | 153.54 | | 5.33 | 535.77 | 5.95 |
| 100 | 1.11 | 122.81 | 130.47 | | 168.89 | 0.21 | 4.24 | 536.27 | 5.63 |
| 15副 | | | | | | | | | |
| 30副 | | | | 24.01 | 25.23 | 11.12 | | 60.36 | |
| 45副 | 46.00 | 4.32 | | 11.74 | 8.23 | 4.89 | | 75.18 | |

注：「副」は間伐材を示している。

表—20 b 20年ごと間伐林分の利用材積予測 (II等地)

| 林齢 | 4 m | | | 3 m | | 2 m | | 総材積 (m ³ /ha) | 平均成長量 (m ³ /ha/年) |
|-----|---------|---------|--------|---------|--------|--------|-------|-----------------------------|---------------------------------|
| | 14~18cm | 20~28cm | 30cm~ | 10~12cm | 14cm~ | 8~12cm | 14cm~ | | |
| 40 | 62.08 | 47.88 | | 5.92 | 55.66 | 13.36 | 0.22 | 274.22 | 6.86 |
| 50 | 50.81 | 127.92 | 3.48 | 15.98 | 57.52 | 1.64 | 2.18 | 348.63 | 6.97 |
| 60 | 3.03 | 135.80 | 13.75 | | 78.64 | 2.44 | 4.83 | 414.04 | 6.90 |
| 70 | 0.63 | 140.52 | 39.54 | | 105.30 | 0.76 | 3.85 | 466.15 | 6.66 |
| 80 | 0.27 | 123.05 | 78.38 | | 127.22 | | 3 | 507.83 | 6.35 |
| 90 | 0.16 | 104.71 | 113.27 | | 145.42 | | 2.87 | 541.98 | 6.02 |
| 100 | 0.11 | 90.74 | 140.22 | | 157.06 | 0.03 | 3.90 | 576.61 | 5.68 |
| 15副 | | | | | | | | | |
| 35副 | 5.77 | | | 13.39 | 49.80 | 20.14 | | 89.10 | |
| 55副 | 31.59 | 29.53 | | 4.53 | 19.19 | 1.61 | | 86.45 | |

注：「副」は間伐材を示している。

の収穫予測シミュレーション例である。地位II等地の中径材施業区分の場合、前節の予測例をそのまま用いることにした。

まず、施業区分別の年平均収穫量を比較した。表—22をみると、いずれも伐期齢50年前後の時に年平均収穫量が最も大きい。次に、施業区分別の年平均利用材積を比較した。表—23をみると、I等地の大径材施業とII等地の中径材施業では伐期齢50年前後、III等地の小径材施業では伐期齢60年前後の時にそれぞれの年平均利用材積が最も大きい。さらに、それぞれの施業目標としての素材材積、すなわちI等地の末口径級30cm以上の材積、II等地の末口径級20cm以上の材積、III等地の末口径級18cm以下の材積を比較した。表—24をみると、I等地とII等地では伐期齢70年前後、III等地では伐期齢60年前後の時に施業目標としての素材材積の年平均が最も大きい。

表-21 a I等地林分の収穫予測

| 林齢 | 主林木 平均樹高 (m) | 立木本数 | | | 平均胸高直径 | | | 幹材積 | | | 平均成長量 (m ³ /ha/年) |
|-----|--------------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| | | 全林木 (本/ha) | 主林木 (本/ha) | 間伐木 (本/ha) | 全林木 (cm) | 主林木 (cm) | 間伐木 (cm) | 全林木 (m ³ /ha) | 主林木 (m ³ /ha) | 間伐木 (m ³ /ha) | |
| 10 | 6.7 | 1615 | 1615 | | 8.2 | 8.2 | | 26.80 | 26.80 | | 2.68 |
| 15 | 10.6 | 1615 | 1050 | 565 | 12.5 | 14.2 | 9.5 | 97.84 | 80.82 | 17.02 | 6.52 |
| 20 | 13.9 | 1050 | 1050 | | 17.3 | 17.3 | | 175.26 | 158.24 | | 8.76 |
| 25 | 17.5 | 1050 | 577 | 472 | 20.1 | 21.9 | 17.9 | 274.25 | 171.74 | 85.49 | 10.97 |
| 30 | 19.8 | 577 | 577 | | 24.1 | 24.1 | | 340.73 | 238.22 | | 11.36 |
| 35 | 22.3 | 577 | 346 | 231 | 26.9 | 28.2 | 25.0 | 429.74 | 219.25 | 107.98 | 12.28 |
| 40 | 23.9 | 346 | 346 | | 30.4 | 30.4 | | 485.21 | 274.72 | | 12.13 |
| 45 | 25.5 | 346 | 260 | 87 | 33.2 | 33.9 | 31.1 | 558.22 | 274.09 | 73.64 | 12.40 |
| 50 | 26.6 | 260 | 260 | | 36.2 | 36.2 | | 610.74 | 326.61 | | 12.21 |
| 55 | 27.5 | 260 | 260 | | 38.6 | 38.6 | | 670.68 | 386.55 | | 12.19 |
| 60 | 28.3 | 260 | 253 | | 40.6 | 40.6 | | 713.81 | 429.68 | | 11.90 |
| 65 | 28.9 | 253 | 253 | | 42.4 | 42.4 | | 763.17 | 479.04 | | 11.74 |
| 70 | 29.3 | 253 | 253 | | 43.9 | 43.9 | | 807.96 | 523.83 | | 11.54 |
| 75 | 29.8 | 253 | 253 | | 45.2 | 45.2 | | 848.32 | 564.19 | | 11.31 |
| 80 | 30.1 | 253 | 253 | | 46.3 | 46.3 | | 884.49 | 600.36 | | 11.06 |
| 85 | 30.4 | 253 | 253 | | 47.3 | 47.3 | | 916.77 | 632.64 | | 10.79 |
| 90 | 30.6 | 253 | 253 | | 48.1 | 48.1 | | 945.47 | 661.34 | | 10.51 |
| 95 | 30.8 | 253 | 253 | | 48.8 | 48.8 | | 970.92 | 686.79 | | 10.22 |
| 100 | 30.9 | 253 | 253 | | 49.5 | 49.5 | | 993.43 | 709.30 | | 9.93 |

表-21 b III等地林分の収穫予測

| 林齢 | 主林木 平均樹高 (m) | 立木本数 | | | 平均胸高直径 | | | 幹材積 | | | 平均成長量 (m ³ /ha/年) |
|-----|--------------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| | | 全林木 (本/ha) | 主林木 (本/ha) | 間伐木 (本/ha) | 全林木 (cm) | 主林木 (cm) | 間伐木 (cm) | 全林木 (m ³ /ha) | 主林木 (m ³ /ha) | 間伐木 (m ³ /ha) | |
| 10 | 4.2 | 2015 | 2015 | | 5.0 | 5.0 | | 12.86 | 12.86 | | 1.29 |
| 15 | 7.3 | 2015 | 1411 | 605 | 7.7 | 8.4 | 5.9 | 35.00 | 29.62 | 5.38 | 2.33 |
| 20 | 9.6 | 1411 | 1411 | | 10.3 | 10.3 | | 61.41 | 56.03 | | 3.07 |
| 25 | 11.5 | 1411 | 1058 | 353 | 11.2 | 12.0 | 10.8 | 112.41 | 89.55 | 17.48 | 4.50 |
| 30 | 13.5 | 1058 | 1058 | | 13.6 | 13.6 | | 130.70 | 107.84 | | 4.36 |
| 35 | 14.8 | 1058 | 793 | 364 | 14.9 | 15.3 | 14.2 | 191.96 | 138.15 | 30.95 | 5.48 |
| 40 | 15.9 | 793 | 793 | | 16.3 | 16.3 | | 224.92 | 171.11 | | 5.62 |
| 45 | 17.3 | 793 | 595 | 198 | 17.2 | 18.2 | 16.5 | 263.03 | 171.69 | 37.53 | 5.85 |
| 50 | 18.0 | 595 | 595 | | 19.0 | 19.0 | | 275.65 | 184.31 | | 5.51 |
| 55 | 19.0 | 595 | 595 | | 20.8 | 20.8 | | 287.50 | 196.16 | | 5.22 |
| 60 | 19.5 | 595 | 595 | | 21.5 | 21.5 | | 294.51 | 203.17 | | 4.91 |
| 65 | 19.9 | 595 | 595 | | 22.2 | 22.2 | | 314.69 | 223.35 | | 4.84 |
| 70 | 20.3 | 595 | 595 | | 22.8 | 22.8 | | 332.94 | 241.60 | | 4.76 |
| 75 | 20.5 | 595 | 595 | | 23.4 | 23.4 | | 349.36 | 258.02 | | 4.66 |
| 80 | 20.8 | 595 | 595 | | 23.9 | 23.9 | | 364.04 | 272.70 | | 4.55 |
| 85 | 21.0 | 595 | 595 | | 24.3 | 24.3 | | 377.14 | 285.80 | | 4.44 |
| 90 | 21.1 | 595 | 595 | | 24.6 | 24.6 | | 388.77 | 297.43 | | 4.32 |
| 95 | 21.2 | 595 | 595 | | 25.0 | 25.0 | | 399.08 | 307.74 | | 4.20 |
| 100 | 21.3 | 595 | 595 | | 25.2 | 25.2 | | 408.20 | 316.86 | | 4.08 |

以上の結果から、それぞれの施業目標に合わせて、10年単位で最適伐期齢を検討した結果、I等地の大径材施業とII等地の中径材施業では伐期齢70年、III等地の小径材施業では伐期齢60年が最適であると判定した。信州カラマツ人工林最適施業体系は図-35の通りである。

このように、流域森

林を対象とした施業計画を作成するには、適切な施業目標と施業体系の確立、伐期齢と収穫表を決定することが重要であると考えられる。流域森林管理情報システムを利用すれば、施業目標の設定や伐期齢の決定などが容易になることが明らかになった。

(5) 問題点および今後の課題

① 本研究では、GISを利用し、対象林分の立地条件や地利条件などを考慮し、施業区分、施業方法の最適化を試みた。対象林分の最小区画面積は国有林の場合（小班）平均11.3ha、民有林の場合（枝番）平均0.6haであり、森林所有形態別の平均面積の差が大きい。民有林の場合枝番面積は小さく、施業区分により分割されることがほとんどな

いが、国有林の場合小班面積は大きいいため施業区分により分割されることが多い。その場合、立地条件の違い等を考えると、その小班が細分されることが望ましい。しかしその区分方法は容易ではないので、今回は国有林の場合小班を最小区画単位とすることにした。この点は今後、流域管理システムの中で改良されるべきであろう。

② 今回は林小班や等高線などの区画線の座標値を1点ずつすべてデジタイザによって手作業で入力したため、多大な労力と時間が必要であった。これは、今後のGISの普及における最大の課題であると考えられる。今後、計算機の高性能化とGISソフトの進歩により、この問題が解決されていくことを願いたい。

③ 本研究では、施業区分別の最適な施業および伐期齢の意志決定を支援するために、カラマツ林システム収穫表を用いて様々な施業方法に応じて伐期齢100年までの収穫予測シミュレーションを行った。ところが、筆者はカラマツ林システム収穫表を調製した際、70年生以上の高齢林分のデータを入手することができなかった。そのため、長伐期林に適用するために入手した資料の成長傾向を延長することにした。カラマツ高齢林分のデータは少ないた

表-22 施業（地位）別の年平均収穫量

単位：m³

| 地位/ 伐期齢 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| I | 12.13 | 12.21 | 11.90 | 11.54 | 11.06 | 10.51 | 9.9 |
| II | 8.83 | 8.89 | 8.79 | 8.53 | 8.18 | 7.77 | 7.35 |
| III | 5.62 | 5.51 | 4.91 | 4.76 | 4.55 | 4.32 | 4.1 |

表-23 施業（地位）別の年平均利用材積

単位：m³

| 地位/ 伐期齢 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| I | 8.61 | 8.94 | 8.51 | 8.38 | 7.96 | 7.53 | 7.11 |
| II | 6.50 | 6.47 | 6.40 | 6.35 | 6.05 | 5.75 | 5.43 |
| III | 3.11 | 3.53 | 3.55 | 3.49 | 3.31 | 3.09 | 2.91 |

表-24 施業目標別の年平均
利用材積

単位：m³

| 林齢 | 大径材 30cm～ | 中径材 20cm～ | 小径材 8cm～ |
|-----|--------------|--------------|-------------|
| 40 | 0.05 | 1.00 | 3.12 |
| 50 | 1.42 | 2.27 | 3.53 |
| 60 | 2.39 | 2.82 | 3.55 |
| 70 | 3.28 | 2.90 | 3.49 |
| 80 | 3.21 | 2.81 | 3.31 |
| 90 | 3.06 | 2.68 | 3.09 |
| 100 | 2.92 | 2.52 | 2.91 |

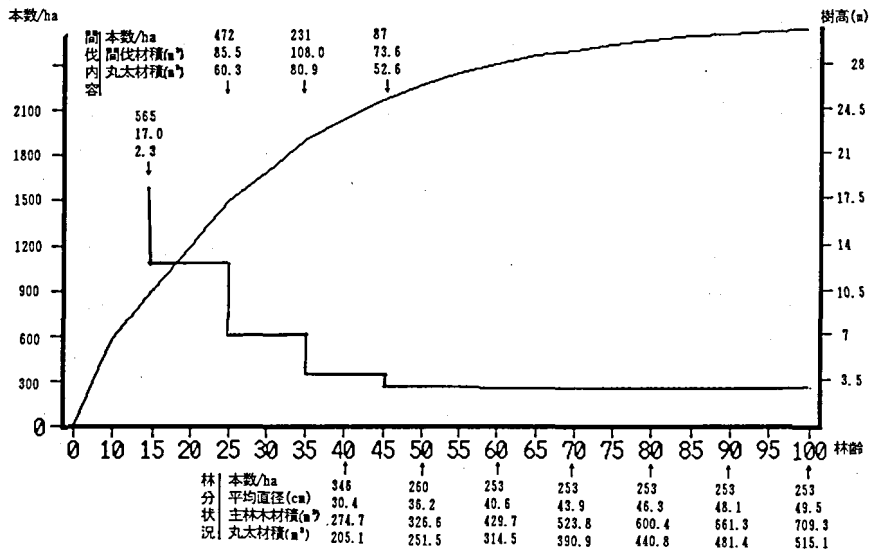


図-35 a 施業体系図 (I等地)

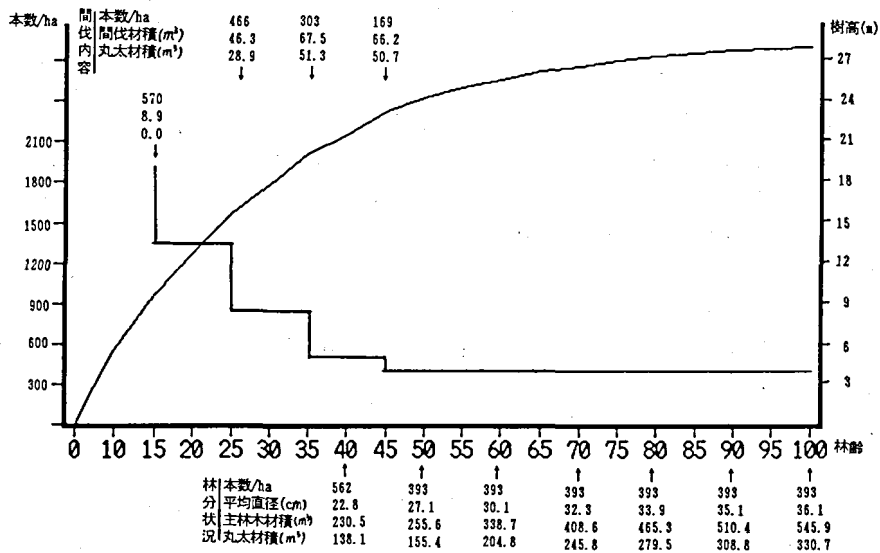


図-35 b 施業体系図 (II等地)

め、その成長経過において解明されていない点が多い。また、高齢林分は現在大面積に存在している40年生前後のカラマツ林と違った施業をうけたと考えられ、両者が同様な成長経過をたどるかどうか不明であるという問題が残っている。高齢林のデータが集まればシミュレーション結果がさらに正確なものとなっていくであろう。今後、カラマツの成長経過を解明す

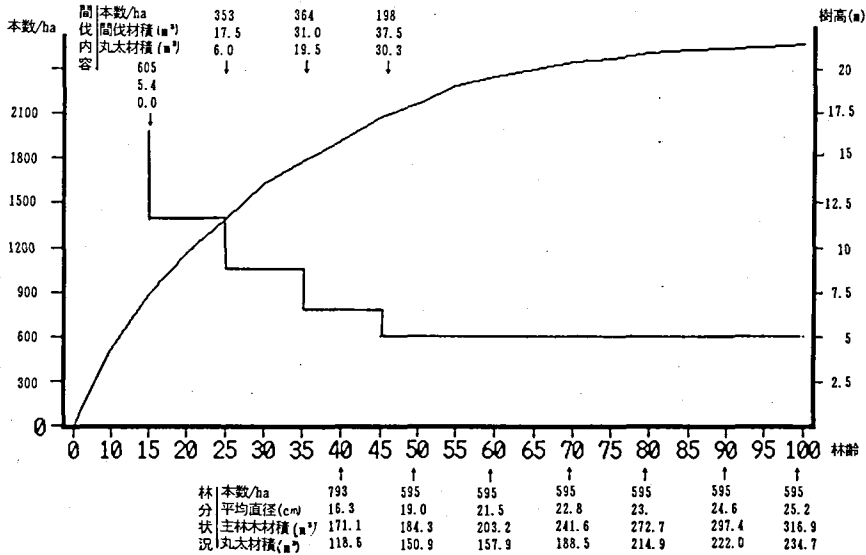


図-35c 施業体系図 (III等地)

る研究を進めなければならない。

3. 流域森林の素材生産量の予測

長野県では、戦後大面積に造林されたカラマツ人工林が今後次々に主伐期を迎えようとしている。これらの成熟しつつある森林資源の木材生産能力は21世紀になると飛躍的に増大するものと予測されている。このような状況の中で、木材生産林分の施業体系を整備して行くための基礎資料として、今後の木材生産量の動向が求められている。

木材生産量を予測する際、減反率法が各地で用いられている。一般に減反率法で計算した木材生産量は、実際の木材生産量よりかなり過大な値となることが指摘されている。それに対して、龍原⁽³²⁾は林業活動が行われている部分と休止している部分とに分け、前者に対してのみ減反率を適用している。そこで、本研究でも同様な見方から対象林分の素材生産量の予測を行ったので、その結果⁽⁴⁴⁾を報告する。なお、その予測手法は図-30の通りである。

(1) 素材生産量の予測方法

予測方法は大きく二つの部分に分かれる。一つはいくつかの育林に関する条件などを設定して、それに対応した素材収穫表を作成することである。もう一つは伐採に関する条件を設定し、素材収穫表と伐採林分面積から、材長別末口径級別の素材生産量を予測することである。以下、予測方法を説明する。

1) 素材収穫表の作成

対象林分の素材収穫表は表-25に示してある。その素材収穫表を作成する際、保育方法や採材方針などについては前節の検討結果に基づいた。

2) 素材生産量の予測方法

対象林分の収穫量を予測するには、現在の齢級別面積の他、今後の伐採性向および素材収穫表が必要である。今後の伐採性向を決定すれば鈴木⁽⁴⁴⁾の減反率方法を適用することにより、

表-25 a 素材収穫表 (I 等地)

素材収穫表 (m³/ha)

| 林 年 | 4 m | | | 3 m | | 2 m | | 総材積 |
|-----|---------|---------|--------|---------|--------|--------|-------|--------|
| | 14~18cm | 20~28cm | 30cm~ | 10~12cm | 14cm~ | 8~12cm | 14cm~ | |
| 15副 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.31 | 0.00 | 2.31 |
| 25副 | 10.24 | 0.00 | 0.00 | 15.17 | 21.90 | 12.94 | 0.00 | 60.25 |
| 35副 | 26.67 | 36.95 | 0.00 | 5.18 | 6.53 | 5.60 | 0.00 | 80.93 |
| 40 | 4.14 | 141.25 | 2.01 | 3.45 | 53.01 | 1.22 | 0.00 | 205.08 |
| 45 | 0.30 | 116.02 | 36.63 | 1.73 | 69.24 | 0.61 | 1.74 | 226.25 |
| 45副 | 0.00 | 37.20 | 0.00 | 0.00 | 15.39 | 0.00 | 0.00 | 52.59 |
| 50 | 0.50 | 90.78 | 71.24 | 0.00 | 85.46 | 0.00 | 3.48 | 251.46 |
| 55 | 0.00 | 70.46 | 107.18 | 0.00 | 103.20 | 0.00 | 1.89 | 282.72 |
| 60 | 0.00 | 50.13 | 143.12 | 0.00 | 120.94 | 0.00 | 0.29 | 314.48 |
| 65 | 0.00 | 26.91 | 186.40 | 0.00 | 137.27 | 0.00 | 2.09 | 352.67 |
| 70 | 0.00 | 3.68 | 229.68 | 0.00 | 153.60 | 0.00 | 3.89 | 390.85 |
| 75 | 0.00 | 2.16 | 243.39 | 0.00 | 164.85 | 0.00 | 5.45 | 415.84 |
| 80 | 0.00 | 0.63 | 257.09 | 0.00 | 176.10 | 0.00 | 7.00 | 440.82 |
| 85 | 0.00 | 0.43 | 266.43 | 0.00 | 188.51 | 0.00 | 5.76 | 461.12 |
| 90 | 0.00 | 0.22 | 275.77 | 0.00 | 200.91 | 0.00 | 4.51 | 481.41 |
| 95 | 0.00 | 0.17 | 284.02 | 0.00 | 211.80 | 0.00 | 2.26 | 498.24 |
| 100 | 0.00 | 0.11 | 292.27 | 0.00 | 222.68 | 0.00 | 0.00 | 515.06 |

注：副は間伐材を示している。

表-25 b 素材収穫表 (II 等地)

素材材積表 (m³/ha)

| 林 年 | 4 m | | | 3 m | | 2 m | | 総材積 |
|-----|---------|---------|-------|---------|--------|--------|-------|--------|
| | 14~18cm | 20~28cm | 30cm~ | 10~12cm | 14cm~ | 8~12cm | 14cm~ | |
| 15副 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 25副 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 19.23 | 0.00 | 9.63 | 0.00 | 28.86 |
| 35副 | 8.71 | 0.00 | 0.00 | 13.07 | 20.38 | 9.13 | 0.00 | 51.29 |
| 40 | 42.28 | 17.45 | 0.00 | 18.86 | 45.63 | 13.85 | 0.00 | 138.07 |
| 45 | 40.69 | 35.75 | 0.29 | 13.43 | 44.82 | 11.66 | 0.08 | 146.72 |
| 45副 | 30.69 | 7.10 | 0.00 | 5.36 | 3.82 | 3.76 | 0.00 | 50.73 |
| 50 | 39.10 | 54.05 | 0.58 | 8.00 | 44.01 | 9.47 | 0.15 | 155.36 |
| 55 | 36.82 | 78.96 | 1.91 | 8.73 | 45.99 | 7.28 | 0.39 | 180.06 |
| 60 | 34.53 | 103.86 | 3.23 | 9.46 | 47.96 | 5.08 | 0.63 | 204.75 |
| 65 | 29.65 | 117.41 | 7.12 | 8.16 | 57.10 | 4.33 | 1.53 | 225.28 |
| 70 | 24.76 | 130.95 | 11.01 | 6.86 | 66.23 | 3.58 | 2.42 | 245.81 |
| 75 | 22.23 | 141.76 | 12.85 | 7.06 | 72.25 | 2.73 | 3.80 | 262.66 |
| 80 | 19.70 | 152.56 | 14.69 | 7.25 | 78.27 | 1.87 | 5.17 | 279.51 |
| 85 | 18.29 | 155.65 | 21.06 | 6.22 | 84.91 | 1.86 | 6.20 | 294.17 |
| 90 | 16.87 | 158.74 | 27.43 | 5.18 | 91.54 | 1.84 | 7.23 | 308.83 |
| 95 | 16.00 | 159.15 | 34.12 | 4.02 | 97.09 | 1.76 | 7.65 | 319.77 |
| 100 | 15.13 | 159.56 | 40.80 | 2.86 | 102.63 | 1.67 | 8.06 | 330.71 |

注：副は間伐材を示している。

表-25c 素材収穫表 (Ⅲ等地)

| 林 年 | 素材材積表 (m ³ /ha) | | | | | | | 総材積 |
|-----|----------------------------|---------|-------|---------|-------|--------|-------|--------|
| | 4 m | | | 3 m | | 2 m | | |
| | 14~18cm | 20~28cm | 30cm~ | 10~12cm | 14cm~ | 8~12cm | 14cm~ | |
| 15副 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 25副 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.99 | 0.00 | 5.99 |
| 35副 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9.70 | 3.73 | 6.09 | 0.00 | 19.52 |
| 40 | 10.87 | 0.05 | 0.00 | 38.90 | 45.67 | 23.09 | 0.00 | 118.58 |
| 45 | 26.21 | 2.44 | 0.00 | 36.56 | 48.78 | 20.78 | 0.00 | 134.76 |
| 45副 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.30 | 19.25 | 6.81 | 0.00 | 30.36 |
| 50 | 41.54 | 4.83 | 0.00 | 34.21 | 51.89 | 18.46 | 0.00 | 150.93 |
| 55 | 49.81 | 14.42 | 0.00 | 25.61 | 48.20 | 16.40 | 0.00 | 154.42 |
| 60 | 58.07 | 24.00 | 0.00 | 17.00 | 44.50 | 14.33 | 0.00 | 157.90 |
| 65 | 58.84 | 37.72 | 0.00 | 12.00 | 50.23 | 14.44 | 0.00 | 173.22 |
| 70 | 59.60 | 51.43 | 0.00 | 7.00 | 55.96 | 14.54 | 0.00 | 188.53 |
| 75 | 57.64 | 63.59 | 0.01 | 5.83 | 56.90 | 12.27 | 2.00 | 198.23 |
| 80 | 55.68 | 75.74 | 0.01 | 4.66 | 57.84 | 10.00 | 4.00 | 207.93 |
| 85 | 59.44 | 85.29 | 0.06 | 6.67 | 51.38 | 7.81 | 4.30 | 214.94 |
| 90 | 63.20 | 94.83 | 0.11 | 8.68 | 44.92 | 5.62 | 4.59 | 221.95 |
| 95 | 60.55 | 102.03 | 0.27 | 8.06 | 47.49 | 5.34 | 4.62 | 228.34 |
| 100 | 57.90 | 109.22 | 0.42 | 7.44 | 50.05 | 5.06 | 4.64 | 234.73 |

注：副は間伐材を示している。

期首の齢級別面積から期末の齢級別面積，期間内の齢級別伐採面積を計算することができる。齢級別伐採面積と単位面積当たりの素材収穫量をかけると齢級別の収穫量が求められる。

①伐採条件の設定

伐採条件として伐期齢の平均，変動係数，伐採開始林齢および主伐比率を設定した。ただし，この主伐比率 P は対象森林の内主伐の対象になるものの割合で，0 から 1 までの値をとる。また， $(1-P)$ は択伐に似た施業を行われるか，全く放置されていて主伐されていない人工林の割合を示している。

②林齢遷移確率の決定

減反率分布として，Weibull 分布を用いる。Weibull 分布は伐採条件の内，伐期齢の平均，変動係数，伐採開始林齢の 3 つの値により決定される。減反率分布 $f(x)$ は上述のように求められた分布 $g(x)$ と主伐比率 P をかけたものとして次のように表現される。

$$f(x) = P \cdot g(x)$$

ここで， i 齢級における減反率，保存率をそれぞれ q_i ， r_i とすると

$$r_i = 1 - q_1 - q_2 - \dots - q_{i-1}$$

であり，ある分期に i 齢級であった人工林がその次の分期の $i+1$ 齢級に遷移する確率 $P_{i,i+1}$ は

$$P_{i,i+1} = r_{i+1} / r_i$$

となる。

③各分期における期末の齡級別面積と期間内の伐採面積の決定

期首の齡級別面積 $A = {}^t(a_1, a_2, \dots, a_n)$ と林齡遷移確率 $P_{1,1+1}$ から期末齡級別面積 $A' = {}^t(a'_1, a'_2, \dots, a'_n)$ を

$$a_{i+1}' = a_i \cdot P_{1,1+1}$$

によって求める。期間内の伐採面積 $B = {}^t(b_1, b_2, \dots, b_n)$ は A と A' を比較することにより求める。

④各分期における主伐による素材収穫量の決定

素材収穫表から主伐、間伐ごとに齡級別の素材収穫量が得られる。齡級別の主伐による素材収穫量 (1 ha 当たり) $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ と期間内の伐採面積 B から主伐による素材収穫量が

$$(C, B) = c_1 \cdot b_1 + c_2 \cdot b_2 + \dots + c_n \cdot b_n$$

として求められる。

⑤各分期における間伐による素材収穫量の決定

齡級別の間伐による素材収穫量 (1 ha 当たり) $D = (d_1, d_2, \dots, d_n)$ と期間内の間伐対象面積 (Ⅲ齡級からの各齡級で主伐されなかった面積) $A - B$ から間伐による収穫量が

$$(C, A - B) = d_1 (a_1 - b_1) + d_2 (a_2 - b_2) + \dots + d_n (a_n - b_n)$$

として求められる。しかし、間伐は対象となる全ての林分で行われて、間伐材が市場に出されるとは限らない。間伐されず放置されているものや切り捨てられるものも考えられる。そこで、本来間伐すべき林分のうち、林道からの距離が100m以内になる林分の割合を間伐比率として、上記のように求められた間伐収穫量にかけることにより実際の間伐収穫量を推定することにした。

⑥各分期における全体収穫量の決定

主伐による収穫量と間伐による収穫量とを加えることにより、期間内の収穫量が求められる。

(2) 素材生産量の予測

1) 伐採性向の現況

対象林分の最近の主伐実績は民有林 (1989年~1993年) では11.38ha, 国有林 (1992年~1993年) では1.64haであり、そのほとんどが林道新設支障木のためである。また、長野県がカラマツ人工林の主伐実績を調査した結果、最近5年間では、Ⅸ, X 齡級林分を中心に主伐が行われており、伐採齡の高齡化が目立つと報告している。長野県間伐実態調査報告書⁽¹⁸⁾によると、最近3年間に間伐材を搬出した林分のうち59%が林道からの距離が100m以内であり、間伐材が搬出されない最大の理由としては林道から遠く、搬出経費がかかることがあげられている。そこで、前述したように間伐すべき林分のうち林道からの距離が100m以内になる林分を実際に間伐を行う対象林分とすることにした。

2) 伐採モデル

素材生産量に関与する要因のうち、主なものは立地条件、保育方法、伐期の3つである。立地条件と保育方法については前節の検討結果を採用した。伐期については国有林、民有林ごとの現在の伐採性向を踏まえて将来の伐採性向を表-26のように設定し、素材生産量の予

表一26 伐採モデル
民有林の伐採モデル

| | 平均伐採齢（上）／主伐比率（下） | | | | | 変動係数 | 開始林齢 |
|-------|------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|------|------|
| | I 分期 | II 分期 | III 分期 | IV 分期 | V 分期 | | |
| モデル 1 | 55 0.1 | 55 0.1 | 55 0.1 | 55 0.1 | 55 0.1 | 0.25 | 35 |
| モデル 2 | 60 0.1 | 62.5 0.1 | 65 0.1 | 67.5 0.1 | 70 0.1 | | |
| モデル 3 | 60 0.1 | 62.5 0.2 | 65 0.3 | 67.5 0.4 | 70 0.5 | 0.25 | 35 |

国有林の伐採モデル

| | 平均伐採齢（上）／主伐比率（下） | | | | | 変動係数 | 開始林齢 |
|-------|------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|------|------|
| | I 分期 | II 分期 | III 分期 | IV 分期 | V 分期 | | |
| モデル 1 | 55 0.2 | 55 0.2 | 55 0.2 | 55 0.2 | 55 0.2 | 0.2 | 40 |
| モデル 2 | 60 0.2 | 62.5 0.2 | 65 0.2 | 67.5 0.2 | 70 0.2 | | |
| モデル 3 | 60 0.2 | 62.5 0.3 | 65 0.4 | 67.5 0.5 | 70 0.5 | 0.2 | 40 |

表一27 想定路網密度（m/ha）と間伐対象林分の比率

| | 民 有 林 | | | | | 国 有 林 | | | | |
|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|------|
| | I 分期 | II 分期 | III 分期 | IV 分期 | V 分期 | I 分期 | II 分期 | III 分期 | IV 分期 | V 分期 |
| 路網密度 | 21.70 | 22.70 | 23.70 | 24.70 | 25.70 | 4.90 | 5.40 | 5.90 | 6.40 | 6.90 |
| 間伐比率 | 0.30 | 0.31 | 0.33 | 0.34 | 0.35 | 0.15 | 0.16 | 0.18 | 0.19 | 0.21 |

測を行うことにした。このモデルは伐期齢の平均と変動係数、伐採が開始される林齢、主伐の対象となる林地の主伐比率の4つの要素から構成される。実際の間伐対象となる林分の間伐比率は林道（作業道を含める）の整備や搬出可能領域（林道からの距離100m以内）等を考慮し、表一27のように設定した。ただし、この表の路網密度は国有林、民有林のそれぞれの林道開設計画をもとにして予測した将来の路網密度である。

(3) 結果

上記のモデルに基づき、対象林分における5分期（25年）後までの素材生産量の予測を行った（図一36～38）。

モデル1は間伐が中心となり、主伐はわずかしが行われていない現在の伐採性向が継続されるモデルである。もしこのままの状態が継続されるとすると、大部分の森林は主伐されな

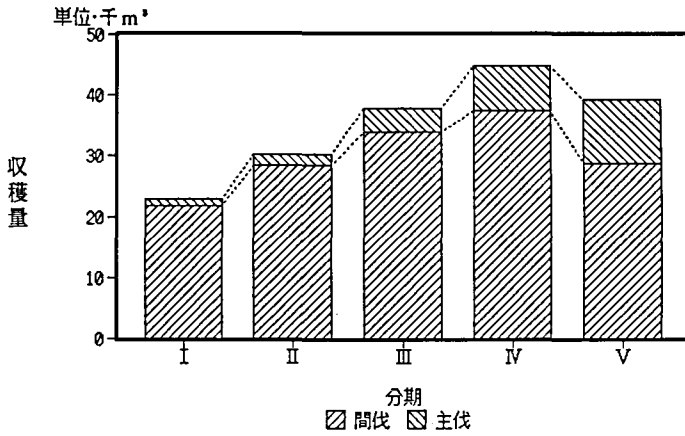


図-36 a 収穫量の予測結果 (モデル1)

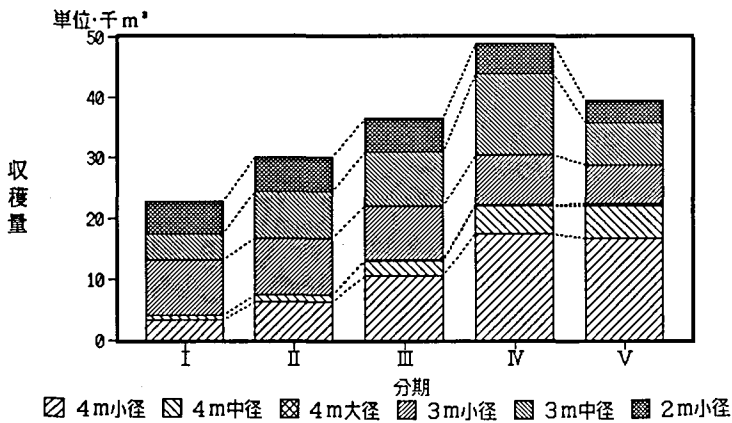


図-36 b 材長別・末口径級別収穫量の予測結果 (モデル1)

表-28 モデル1による地位別・材長別・径級別の素材生産量 (m³)

第I分期/第V分期

| 材長 (m) 末口径級 (cm) | 4 m大 (30~) | 4 m中 (20~28) | 4 m小 (~18) | 3 m中 (14~) | 3 m小 (~12) | 2 m小 (8~14) |
|---------------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| I等地 | 48/276 | 113/275 | 0/0 | 76/297 | 2/2 | 2/8 |
| II等地 | 2/39 | 164/1685 | 196/1042 | 217/1256 | 69/278 | 57/255 |
| III等地 | 0/0 | 29/187 | 37/1267 | 37/1747 | 9/1183 | 11/670 |

いと予測される。このモデルでは今後伐期を迎える森林が増加していくため、主伐による素材生産量は25年間で国有林では25倍、民有林では5倍、全体としては10倍の増加となる。また、地位別・径級別の主伐による素材生産量をみると25年間でI等地では大・中径材は大幅に増加するが、III等地では小径材が激増する(表-28)。しかし、間伐による素材生産量は国有林では第IV分期、民有林では第III分期、全体としては第IV分期で頭打ちになっている。これは間伐対象林分が今後減少していくことによる。間伐と主伐の素材総生産量は第V分期には39,313m³となり、25年間で1.7倍の増加となる。径級別にみると2m、3mの小径材は減少し、3m、4mの中・大径材と4mの小径材の増加が著しい。

モデル2は既に平均伐期が遅くなり始めている傾向があり、今後伐期は徐々に遅れると予測されるモデルである。そのため、25年間で主伐による素材生産量は国有林では3.8倍、民

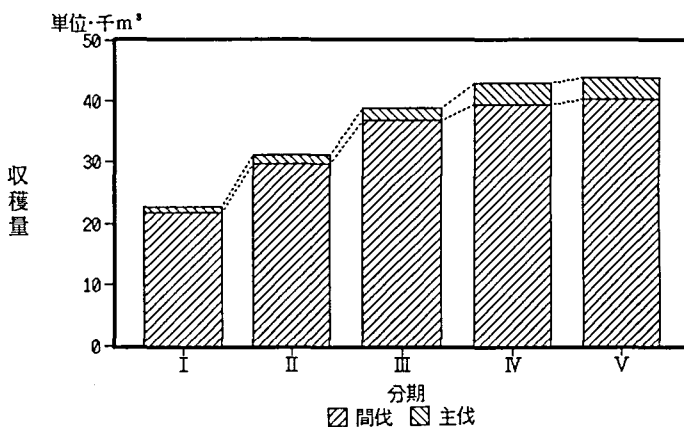


図-37a 収穫量の予測結果(モデル2)

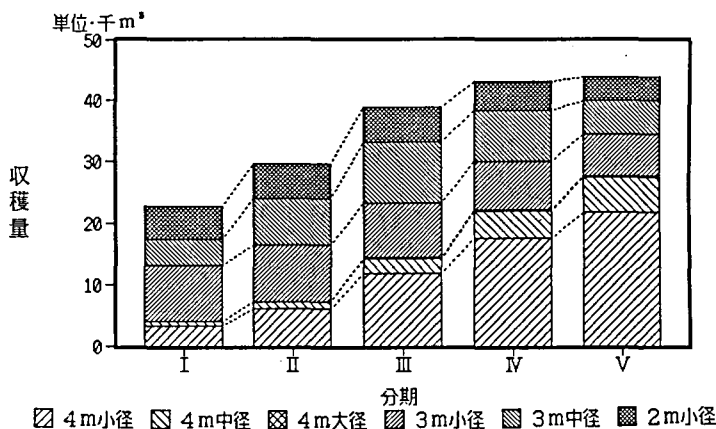


図-37b 材長別・末口径級別収穫量の予測結果(モデル2)

有林では3.5倍、全体では3.6倍の増加となる。モデル1と比較するとそれぞれ1/5, 1/2, 1/3程度である。しかし、間伐による素材生産量は25年間で国有林, 民有林および全体ではそれぞれ2.5倍, 1.7倍, 1.9倍の増加となり, モデル1に比べてそれぞれ1.2倍, 1.5倍, 1.4倍と多くなる。これはモデル2のほうがモデル1に比べて主伐対象林分の面積は少ないが, 間伐対象林分の面積が多いことによる。その結果, 素材総生産量は第V分期には44,066m³となり, 25年間で1.9倍の増加となる。その9割以上が間伐による素材生産量である。径級別に見ると2m, 3mの小径材は減少し, 3m, 4mの中・大径材と4mの小径材は大幅に増加する。

モデル3は平均伐期が徐々に長伐期になるとともに木材生産活動も徐々に活発になっていくと予想されるモデルである。そのため, 主伐対象林分の増加にしたがって主伐による素材

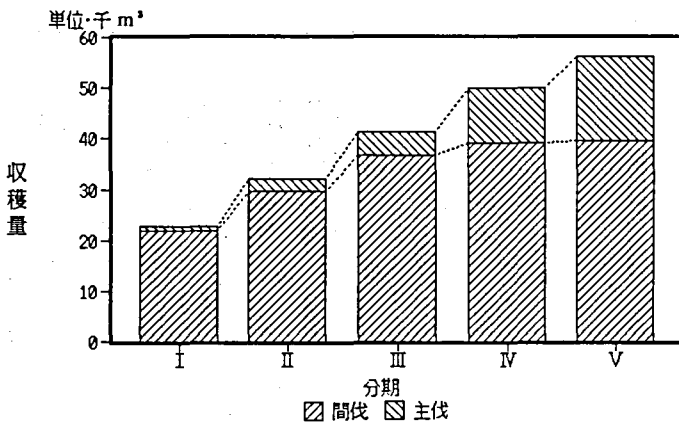


図-38 a 収穫量の予測結果 (モデル3)

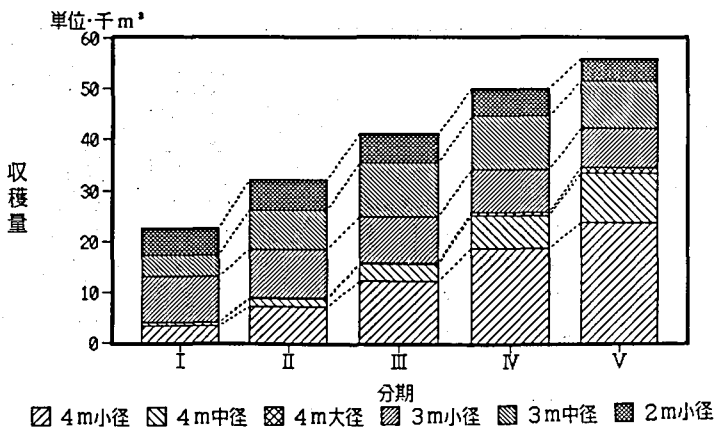


図-38 b 材長別・末口径級別収穫量の予測結果 (モデル3)

生産量が激増し、25年間で国有林では9倍、民有林では22倍、全体では17倍の増加となる。しかし、間伐による素材生産量は25年間で国有林では2.5倍、民有林では1.6倍、全体では1.8倍の増加となり、モデル2に比べて若干少ない。その結果、素材総生産量は第V分期には56,293m³となり、25年間で2.5倍の増加となる。その過半数が間伐による素材生産量である。径級別にみると2m、3mの小径材は減少し、3m、4mの中・大径材と4mの小径材は激増する。

その他の組み合わせ、例えばモデル2の国有林とモデル1の民有林とを組み合わせさせた素材生産量の予測もできる。このモデルは国有林では徐々に長伐期になっていくが、民有林では現在の伐採性向が継続されることを想定したモデルである。その結果、主伐による素材生産量は第V分期に国有林では1,528m³、民有林では3,824m³、計5,352m³、間伐による素材生産量は第V分期に国有林では13,320m³、民有林では17,989m³、計31,309m³、素材総生産量は第V分期に国有林では14,848m³、民有林では21,813m³、計36,661m³であると予測できた。

カラマツ人工林の木材生産活動は安定して行われているのではなく、伐採性向自体も変化していくことが予想される。このような状況の中では減反率法を簡単に適用することができない。本研究では、伐期齢の平均、伐期齢の変動係数および伐採開始齢の他に伐採対象比率を設定条件に加えるという限られた情報をもとに将来の素材生産量の動向を予測した。今後対象林分が伐期に達するにつれて、国有林、民有林ともに木材生産量は飛躍的に増加し、特に中・大径木の生産量は大きく増加することが予測できた。したがって、立地条件などに応じて大径材施業が期待できる。今後間伐主体の木材生産を行うか、主伐主体の木材生産を行うかによって木材生産量の予測値は大きく変化するが、今後25年程度までの間では、木材生産量の大部分が間伐材で占められると予測できた。

このように、流域管理情報システムを利用すれば、流域森林計画の意志決定を支援するために、いくつかの計画案を提供できること、したがって計画作成方法としての柔軟性を持つと共に有効な情報を提供しうることを明らかにした。

以上のように、流域森林状況の把握、施業目標の区分、適切な施業体系と伐期齢の確立、林分の成長や伐期齢までの丸太の材長別末口径級別の素材生産量の予測などの流域森林管理と施業計画の意志決定に必要な情報が容易に提供できる「流域森林管理情報システム」の有効性が確かめられた。

V ま と め

本研究では、流域森林を経営管理するために、まず時間に関する情報（成長）を把握するためのシステム収穫表と、空間に関する情報（位置、地形、樹種等）を把握するための森林情報アトラスを開発した。次いで、システム収穫表と森林情報アトラスを統合した流域森林管理情報システムを開発した。そして、流域森林管理や森林計画の意志決定のための有効な支援方法を検討した。本研究によって、より効率的な流域森林管理方法を実証的に明らかにすることができた。

本研究の独創点として次の3点をあげることができる。一番目は、システム収穫表を開発し、その作成方法を明らかにしたことである。このことによって、現実林分の様々な施業に

対する成長と収穫量を予測できるシステム収穫表の作成手法が確立された。二番目は、森林情報アトラスを開発したことである。このことによって、流域森林の空間情報を容易に把握できるようになった。三番目は、システム収穫表と森林情報アトラスを統合した流域森林管理情報システムを開発したことである。このことによって、流域森林現状の把握と将来の予測だけでなく、森林情報の自動的更新、さらに意志決定の支援などを容易にできるようになった。

近年、カラマツ林施業の基本的方向としては、付加価値の高い大径優良材生産を目指す長伐期施業の傾向が強くなってきている。そのためには、まず対象林分の場所と変化などをよく把握しなければならない。また、大径材を生産するための間伐などの適切な施業と木材生産動向の予測を行わなければならない。すなわち、長伐期になっても、適切な施業を行っていかなければ、大径材を生産することが不可能となる。今後、立地条件や素材需要などの多様な要求に応じた明確な施業目標のもとに木材生産を行われなければならない。そして、施業目標に対応した施業体系の確立、伐期齢の多様化・長期化の展開を進めるためには、高度な情報分析と意志決定が必要となっている。

本研究の基本的考え方と開発手法は、流域森林管理と施業計画に役立つだけでなく、今後の森林の多目的利用計画を策定する場合の有効な手段としても期待できるし、自然保護や環境保全などの分野にも大きく寄与できるであろう。

森林は水源かん養などの公益機能と木材生産などの経済的機能をあわせて持っている。流域森林管理ではこれらの森林機能が将来に向かってより健全に発展するように努力されなければならない。本研究では木材生産を中心にして展開していて、森林の公益機能についてはほとんど論じていない。今後、流域森林の公益機能の評価と利用、さらに公益機能と経済機能を調和した流域森林多目的利用についての研究を進めなければならないと考えている。これらの問題を解決して、流域森林の総合管理と多目的利用に役立てるシステムまで発展させることが今後の課題である。

謝 辞

本研究を取りまとめるにあたり、終始懇切な御指導御校閲を賜った信州大学農学部教授菅原聰先生、東京農工大学農学部教授木平勇吉先生をはじめ、論文の御校閲を頂いた太田和利先生に厚く御礼を申し上げる。Terra Soft の適用では東京大学農学部助手龍原哲先生にお世話になった。さらに、本研究にあたり、宇都宮大学農学部助教授内藤健司先生、三重大学農学部助教授田中和博先生、信州大学農学部教授北澤秋司先生、同教授野口俊邦先生、同講師中堀謙二先生、岐阜大学農学部教授林進先生、静岡大学農学部教授小嶋睦雄先生から御指導を頂いた。ここに、心から御礼を申し上げる。また、対象地域に関する貴重な資料を提供して下さった長野県林務部および長野営林局計画課の職員各位に深く感謝する次第である。

要 旨

本研究の目的は①システム収穫表を開発すること、②森林情報アトラスを開発すること、

③システム収穫表と森林情報アトラスを統合した流域森林管理情報システムを開発すること、そして④この流域森林管理情報システムを流域森林管理や森林計画に応用し、その有効性を確認することである。

1. システム収穫表の開発

システム収穫表は従来の収穫表と比べ、現実林分の様々な施業に対応する成長および収穫量を予測することができる。信州カラマツ人工林を対象として、林齢と地位及び立木密度の3つの変数を統合したシステム収穫表の開発を行った。このシステム収穫表を利用すれば森林の成長と収穫量を容易に予測できるので、施業目標に対して適切な施業体系を見いだすための意志決定支援システムになりうることを明らかにした。また、信州カラマツ林システム収穫表を開発した経験を基に、システム収穫表の作成方法を一般化し、その作成方法を確立した。その作成方法の手順は、①予測対象と作成方針の決定、②資料の入手と解析、③成長予測システムの構築、④プログラムの作成である。信州カラマツ林システム収穫表の成長予測システムが7つの成長モデル（自然間引き、平均樹高と平均直径、樹高曲線と直径分布、間伐と相対幹曲線）の組み合わせによって構築された。

2. 森林情報アトラスの開発

長野県長谷村を対象地域として、GISを用いて森林情報アトラス形式の地理データベースを構築することを試みた。まず、対象地域の森林基本図、土壤図、地質図等の地図情報と、それらの属性情報を収集した。次に、地図情報を数値化し、属性情報をデータベース化した。さらに、GISを用いて地図情報と属性情報をリンクさせ、アトラス形式の地理データベースを構築した。この森林情報アトラスを利用すれば対象地域の森林状況（空間情報）を容易に把握でき、森林計画を支援できることを確認した。

3. 流域森林管理情報システムの開発

システム収穫表と森林情報アトラスをそれぞれサブシステムとして、この2つのサブシステムを統合した流域森林管理情報システムを開発した。このことによって、森林情報アトラスをベースにした流域森林に関する情報の収集と分析、さらに森林情報アトラスから収集された個々の林分の情報に基づき、システム収穫表を使って様々な取り扱いに応じて林分ごとに成長させることにより各林分ごとの成長予測や情報の自動更新、意志決定の支援などのことができるようになった。

4. 流域森林管理情報システムの応用

(1) 信州カラマツ林の最適施業体系の検討

森林情報アトラスを用いて対象地域の立地条件（標高、斜面方位、傾斜角と土壤型）、地利条件（林道からの距離、傾斜角）によって、対象林分を大径材施業、中径材施業、小径材施業および森林公益機能重視施業の4つの施業区分に分けた。また、大径材施業、中径材施業および小径材施業の3つの林分について、システム収穫表を用いてそれぞれ様々な間伐方法、時期及び強度に対応する成長および収穫量をシミュレーションした結果、次のことが明らかになった。①間伐方法としては下層間伐が最も適当である。②10年ないし15年ごとの間伐が適当である。③総収穫量の最多となる伐期齢はいずれも50年前後である。④総利用材積の最多となる伐期齢はI等地の大径材施業とII等地の中径材施業では50年前後で、III等地の小径材施業では60年前後である。⑤施業区分別の最適な伐期齢は、大径材施業と中径材施業

では70年前後、小径材施業では60年前後である。このように、流域森林管理情報システムを用いることにより、森林施業計画の基礎となる施業目標の設定、適切な施業体系と伐期齢の確立、林分の成長と収穫量の予測などを容易にできるので、施業計画の意志決定が容易になることを明らかにした。

(2) 流域素材生産量の予測

まず、分期ごとの伐採面積と分期末の齢級別面積については、現在の伐採性向を踏まえていくつかの伐採に関する条件を設定し、減反率法によって求めた。次に、システム収穫表を用いて対象林分の最適な施業体系に対応した地位別の素材収穫表を調製した。ここでは、間伐材の生産量について林道からの距離100m以内になる林分を予測対象林分とした。最後に、素材収穫表と分期毎の齢級別面積から、対象林分の5分期(25年)後までの材長別末口径級別の素材生産量の予測を行った結果、①対象林分が成熟しつつあり、国有林、民有林とも木材生産量は今後飛躍的に増加し、特に中・大径木の生産量は大きく増加することが予測できること、②立地条件などに応じて長伐期大径材施業が期待できること、③今後25年程度までの間では、木材生産量の大部分が間伐材で占められることの3点を明らかにした。

本研究の独創点として次の3点をあげることができる。一番目は、システム収穫表の作成方法を明らかにしたことである。二番目は、森林情報アトラスを開発したことである。三番目は、システム収穫表と流域森林情報アトラスを統合した流域森林管理情報システムを開発したことである。

以上本研究では、流域森林管理のための具体的な情報の実用方法と森林計画の意志決定のための有効な支援方法を検討し、流域森林管理情報システムを開発した。このことによって、より効率的な流域森林管理方法を実証的に明らかにすることができた。

引用文献

- (1) 阿部信行(1989) トドマツ人工林間伐の体系化に関する研究。道立林試研報26:1~96
- (2) 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75:501~510
- (3) 安藤 貴(1968) 同齢単純林の密度管理に関する生態学的研究。林試研報210:1~153.
- (4) 浅田節夫・佐藤大七郎(1981) カラマツ造林学。289pp, 農林出版, 東京
- (5) 石橋整司(1990) シミュレーションモデルに基づく天然林の林分構造の動態に関する研究。東大演報82:11~101
- (6) 木梨謙吉(1978) 人工林の直径分布について(I) ワイブル分布のパラメータと年齢。日林論89:59~60
- (7) 木梨謙吉(1979) 人工林の直径分布について(II) ワイブル分布のパラメータと年齢・直径・本数との関係。日林論90:95~96
- (8) 木平勇吉(1991) 地理情報システム GIS Kit の利用手引き。文部省科学研究費研究成果報告書:86pp.
- (9) 木平勇吉(1992) システム収穫表。文部省科学研究総合(A)研究成果報告書:138pp.
- (10) 嶺 一三(1955) 収穫表に関する基礎的研究と信州地方カラマツ林収穫表の調製。収穫表調製業務研究資料第12号:201pp. 林野庁

- (11) 長野営林局編 (1967) 伊那谷経営計画区カラマツ人工林収穫予想表調製説明書。93pp, 長野
- (12) 長野営林局編 (1967) カラマツ人工林収穫予想表調製説明書。93pp, 長野
- (13) 長野県林務部編 (1976) 民有林適地適木調査14: 52pp, 長野
- (14) 長野営林局編 (1978) 長野地方国有林カラマツ林分密度管理図。6pp, 長野
- (15) 長野営林局編 (1978) 間伐の手引。33pp, 長野
- (16) 長野県林務部編 (1991) 長野県民有林カラマツ人工林・長伐期施業の手引き。110pp, 長野
- (17) 長野県林業改良普及協会編 (1993) 新たな林業機械化をめざして。76pp, 長野
- (18) 長野県林務部編 (1994) 間伐等実態調査報告書。29pp, 長野
- (19) 南雲秀次郎・箕輪光博 (1990) 測樹学。243pp, 地球社, 東京
- (20) 南雲秀次郎 (1990) 森林経理学の实践的課題。山林9: 2~10
- (21) 大隅真一ほか (1971) 森林計測学。415pp, 養賢堂, 東京
- (22) 大隅真一 (1977) Richards の生長関数。林統研誌2: 47~58
- (23) 坂口勝美 (1961) 間伐の本質に関する研究。林試研報131: 1~95
- (24) 白石則彦 (1986) 同齡単純林の成長予測に関する研究。東大演報75: 199~256
- (25) SHINOZAKI. K. & KIRA. T. (1956) Intraspecific competition among higher plant (VII) Logistic theory of the C-D effect. J. Inst. Polytech. Osaka City Univ. Sre. D7: 35~72
- (26) 信州大学農学部附属演習林編 (1990) 信州大学農学部附属演習林教育研究計画 (1988~1992年)。71pp, 伊那
- (27) 菅原 聡 (1971) カラマツ材の需給構造。217pp, 日本林業調査会, 東京
- (28) 鈴木太七 (1976) 森林経理学。197pp, 朝倉書店, 東京
- (29) 田中和博 (1991) 林分の成長に伴う樹高曲線の転位と修正 HENRICKSEN 式の適用。日林誌73: 172~177
- (30) 田中和博 (1991) 各成長段階における最大林分断面積の推定。森林計画誌16: 99~124
- (31) TANAKA. K. (1986) A Stochastic Model of Diameter Growth in an Even-Aged Pure Forest Stand. J. Jpn. For. Soc.68: 226~236
- (32) 龍原 哲 (1991) 減反率法の適用について。日林論102: 221~224
- (33) 鄭 小賢・木平勇吉・川上 浩 (1990) 地理情報システム GIS kit の応用 (I) 演習林地理データの作成。日林中支論 38: 21~24.
- (34) 鄭 小賢・木平勇吉・川上 浩 (1990) 地理情報システム GIS kit の応用 (II) 施業計画への応用。日林論101: 237~238
- (35) 鄭 小賢 (1990) 信州大学農学部演習林地理データベース。信州大農演報27: 17~32
- (36) 鄭 小賢 (1991) システム収穫表の研究 (I) その概念と形式。日林中支論39: 35~36
- (37) 鄭 小賢 (1991) システム収穫表の研究 (II) 信州カラマツの成長について。日林論102: 165~166
- (38) 鄭 小賢 (1992) システム収穫表の研究 (III) 従来の収穫表との比較。日林中支論40: 35~36
- (39) 鄭 小賢 (1992) システム収穫表。信州大学大学院農学研究科修士論文: 62pp.
- (40) 鄭 小賢 (1994) システム収穫表の作成方法。日林誌76: 132~137
- (41) 鄭 小賢 (1993) 流域森林管理情報システム (I) その基本構想について。日林論104: 225~226
- (42) 鄭 小賢 (1994) 流域森林管理情報システム (II) 流域情報アトラス。日林論105: 159~162
- (43) 鄭 小賢 (1994) 流域森林管理情報システム (III) カラマツ林長伐期施業計画への支援。森林

計画誌22：43～59

- (44) 鄭 小賢 (1995) 流域森林管理情報システム (Ⅳ) 流域素材生産量の予測。日林中支論43：13～16
- (45) 山本博一 (1990) 択伐林施業計画のシステムに関する研究。東大演報83：31～142
- (46) 山本博一 (1992) システム収穫表の活用 (Ⅰ) シミュレーションによる意志決定。森林計画誌18：1～8

Studies on system yield table and an atlas of forest information
—Development of an information system for watershed management—

Zheng XIAOXIAN

Laboratory of Forest Environment, Fac. Agric., Shinshu Univ.

Summary

The purpose of this paper is to develop an information system for watershed forest management. The information system is made up of two subsystems, a system yield table and an atlas of forest information.

This paper consists of four parts. The first part systematically explains system yield table which is based on ideas developed at this university in this research. It gives the definitions and functions of the system yield table which can be applied to various stand structures and forest treatments, not only to predict yield but also to provide a decision support system for forest planning. Next, concepts based on a system yield table for Shinshu karamatsu (*Larix kaempferi*) even-aged stands is generalized and the procedure for constructing the system is developed. The procedure is: 1) determination of the object and policy, 2) collection and analysis of the data, 3) construction of a growth simulation system, and 4) development of the program.

In the second part, an atlas of forest information is constructed based on database. The atlas provides an easier understanding of the forest conditions in Hase village, Nagano prefecture. First, map information (e. g. forest map, soil map) and their attributes (e. g. forest register) were collected. Next, map information including lines and polygons were digitized and the attributes were data based. Finally, using GIS (Geographic Information System) to link map information and their attributes, an atlas useful for forest management and planning was produced.

In the third part, an information system for watershed forest management is developed, which integrates the system yield table with the atlas.

The last part shows that a decision support system can be implemented using the information system. There are two application examples, which provide more practical information for watershed forest management and planning in the Tenryu River watershed in Hase Village, Nagano Prefecture. The first example is an application of the best forest systems to Karamatsu stands for timber production. The atlas was used to divide the planning area into 4 working blocks, one each for large log production, middle log production, small log production and ecological conservation, based on contour lines, angles of declinations and inclinations, soil types and geographical criterion judging from whether or not the areas were within a certain distance from a forest road. The growth

and the volume of yield and utilization were predicted for various thinning patterns and felling ages by a simulation model using the system yield table. The results were as follows: 1) Low thinning is the most suitable method. 2) Thinning is necessary every 10 to 15 years. 3) The rotation in maximum final mean annual increment of yield volume is about 50 years. 4) The rotation in maximum final mean annual increment of utilizing volume is about 50 years for class I and II sites, and about 60 years for class III site. The best felling ages were judged to be about 70 years for large and middle log production, and 60 years for small log production. The second example is a prediction of the future timber production for the next 5 periods (25 years) using the gentan probability. The prediction is based on the analysis of present harvesting patterns. Using the system yield table, log yield tables were constructed based on the best forest systems and thinned-log predicted taking accessibility. Timber production was forecast by log length and top-diameter class for both thinning and felling based on the log yield tables and the present age-class distributions. The results were as follows: 1) Future timber production is on the rapid increase. 2) Large log production is a possibility based on site quality. 3) Greater part of the prediction is yield of thinning.

In this paper there are three original points. The first point is the establishment of a method to construct a system yield table. The second point is the development of an atlas of forest information to provide an easier understanding of forest conditions. The third point is the development of an information system for watershed forest management and planning.

In summary, this paper develops methods which provides more practical information and decision support, and demonstrates the possibilities of a new useful system for watershed forest management and planning.