

複層林の収穫予測手法の  
開発に関する研究

# 複層林の収穫予測手法の開発に関する研究

## I 試験担当者

林業経営部資源計画科科長	西川 匡英
林業経営部資源計画科資源解析研究室	神戸 喜久
	高橋 文敏
北海道支所経営部天然林管理研究室	猪瀬 光雄
	小木 和彦
	佐野 真
東北支所経営部広葉樹管理研究室	金 豊太郎
関西支所育林部経営研究室	家原 敏郎
木曽試験地	原 光好
四国支所経営研究室	松村 直人
九州支所育林部経営研究室	松本 光朗

(・: 現在の所属 企画調整部)

## II 要旨

近年、複層林施業が重要視されている。しかし、複層林の所在及び内容についての情報が不足している。また、複層林の収穫予測については、上木下木の生育条件、取り扱い条件が一様でないことに加えてデータ不足であることから、手探りの状態である。このため、現在国有林内に所在し、なんらかの調査が行われている複層林（二段林）についての統一フォーマットによる第一次アンケート調査を行い、さらに、国有林内で複層林施業が行われている林分の箇所数・面積を把握するための第二次アンケートを行った。これにより全国規模での複層林の実態を明らかにするとともに二段林の収穫予測手法の開発を行った。

実態調査は、二段林の設置目的、樹種構成、林況、地況、施業経過など12項目について、営林局・署の協力を得て営林局単位で昭和63年度にアンケート調査を実施し、分析を行った。また、収穫予測手法については、いくつかの新しい予測モデルを開発した。

第一次アンケート調査の結果から、全国で 164箇所の二段林についての情報が得られた。第二次アンケートの結果、平成 3年 3月現在、1,097箇所、6,321haの複層林（二段林）が存在することが示された。

地域によって樹種構成に特徴がみられるとともに、北海道では列状間伐が行われているのがめだっていた。複層林の設置目的では、事業としての複層林造成が今後かなりの面積

で見込まれているが、アンケート調査の時点では、更新・保育・植栽管理試験、諸被害の回避、風致的施業などが上位を占めていた。また、調査時点では下木の林齢が若いものがきわめて多かった。

現在ある複層林について継続的にデータが収集されている林分は下木が若齢であるため、二段林の下木の成長予測のために必要なデータの蓄積が不足している。また、複層林においては、皆伐一斉林施業と異なり、上木の配置が一様でないため下木の生育条件の幅が大きく、成長予測を困難にしている。こうしたことによって、これまで複層林に関する収穫予測については系統だった研究はなされていない。

本研究において、収穫予測について、①密度管理図・収量比数・相対照度・樹高成長割引率による成長予測モデル、②林内の光環境の尺度として上木の収量比数を用い、林内の照度低下による下木の成長抑制を示す係数を乗じたミッチャーリッヒの拡張式を用いた収穫予測モデル、③上木の伐採率・相対照度・密度管理図・下木の成長とを組み合わせた成長予測モデル、④林内の光環境の指標として林内照度、収量比数と下木の成長との関係を把握する手法を検討し、上木のha当たり平均占有面積を密度のパラメータとして含むミッチャーリッヒ式を仮定した成長式による成長予測モデルの4つの新しい収穫予測モデルを提案した。加えて、⑤今後の複層林の精密な収穫予測のための考え方として、上木の配置によって形成される異なる生育空間と下木の成長との関係を長期二段林の事例について検討した例、⑥亜高山針葉樹林を間伐した結果形成された天然性二段林の継続調査結果例を示した。

ここにあげた予測モデルについては、下木の成長についておおよその見当をつけるのに有效地に利用できよう。今回の研究を通じて、現実林分のデータから、下木の成長が一斉林に比べてかなり劣ることが示された。しかし、モデルを検証するための現実林分のデータが不足しており、下木～上木の継続的な測定資料による予測精度の向上、上木を除去したあとの下木の成長を予測する方法など、データの蓄積を含め、課題が残されている。

(資源解析研究室 高橋文敏、資源計画科長 西川匡英)

### III 試式馬鹿の目的

近年、公益的機能・環境保全、長伐期指向、風致的施業、高品質材生産などの多様な施業動向に応える手段として、従来の画一的な皆伐一斉造林に対する複層林施業に関心が高まり、各地で複層林（二段林）施業が取り入れられるようになってきている。また、複層林施業に関して、更新初期段階の光環境の制御や下木の初期段階での成長などについて多くの報告がなされている。しかし、複層林の施業体系の現状についてみれば複層林の所在情報が不足しており、また、複層林の収穫予測についてはデータ不足から手探りの状態である。このため、現在国有林内に所在する複層林について統一フォーマットによるアン

ケート調査を行い、全国規模での複層林の実態を明らかにすることを第一の目的とする。さらに、今後、事業レベルでの複層林造成が予定されており、森林計画策定上複層林についての収穫予測が必要となっている。しかし、複層林においては、皆伐一斉林施業と異なり、上木の配置が一様でないため下木の生育条件の幅が大きく、成長予測を困難なものとしている。そうした困難性が予見されていたため、これまで複層林に関する収穫予測については系統だった研究はなされていない。加えて、二段林の下木の成長予測に関しては、必要なデータの蓄積が不足している。そのため、本課題においては、固定試験地の継続調査資料、二段林についてこれまで得られている技術開発試験データ、林内更新についての研究で得られた知見を成長モデルに組み込んだ二段林の収穫予測手法の開発を行う。

(資源計画科長 西川匡英)

### IV 試式馬鹿の方法と結果

#### 1. 二段林の実態調査

##### 1) 国有林に所在する二段林の実態調査

###### (1) アンケート調査の必要性と実施方法

近年、複層林施業が重要視されるにつれ、国有林内の二段林施業についての実態把握が望まれている。しかし、複層林の所在情報が不足しており、また、複層林施業が行われていてもその林分の履歴、施業内容についてどれだけの調査などが行われたかについての情報も全国的なレベルでは不明である。このため、複層林の収穫予測のためのデータもどこにどれだけあるか手探りの状態である。全国規模で複層林に関する情報を収集し、複層林の実態を明らかにすることを第一の目的として、昭和63年に国有林内に所在し、なんらかの調査データがある複層林（二段林）について統一フォーマットによるアンケート調査を行った。調査表は表 1-1に示した。

9項目からなる第一次アンケート調査票を林野庁と協議の上作成し、各営林局を単位として配布し、国有林に所在する複層林（二段林）の実態調査を行った。アンケート項目の主なものは、昭和63年を調査時点とし、複層林の所在する林小班、面積、上木下木の樹種構成及び植栽年度と植栽本数、その目的、特色、上木下木の施業経過、地況（標高、温量指数、方位、傾斜、表層地質、局所地形、土壤型、有効深度、土性、堆積型、降水量、植生型の12項目）、林況（林分構成の変化など）、その他特記事項の9項目からなっている。

また、第二次アンケートとして測定データの有無に関係なく、平成2年度（3年3月時点）に複層林として存在する林分の箇所数及び面積の把握を行った。



表1-3. 国有林内複層林の上木、下木の組み合せ別箇所数と実面積

上木	下木	箇所数	実面積
アカマツ	アカマツ	3	24.07
アカマツ	スギ	2	2.57
アカマツ	ヒノキ	27	174.17
アカマツ	ヒノキ・アカマツ	2	28.73
アカマツ	ヒノキ	1	1.73
イチイガシ	イチイガシ	2	1.08
イチイガシ	イチイガシ・ケヤキ	1	1.21
エゾマツ	アカエゾマツ	1	2.50
エゾマツ	エゾマツ	3	14.30
エゾマツ・トドマツ	トドマツ	1	0.54
カラマツ	アカエゾマツ	81	755.40
カラマツ	エゾマツ	4	13.10
カラマツ	エゾマツ・アカエゾマツ	1	36.00
カラマツ	グイマツ	1	1.75
カラマツ	スギ	41	61.63
カラマツ	トドマツ	189	3197.36
カラマツ	トドマツ・アカエゾマツ	1	12.00
カラマツ	ヒノキ	93	596.14
カラマツ	ヒバ	1	0.40
カラマツ	ヨーロッパアカマツ	1	22.00
ケヤキ	ケヤキ	1	1.60
ケヤキ	スギ	1	1.00
ケヤキ	スギ外	1	3.14
スギ	ヒノキ	1	3.89
スギ	イチイガシ	2	1.58
スギ	エンジュ	1	3.34
スギ	ケヤキ	4	4.31
スギ	スギ	239	504.02
スギ	スギ・イチイガシ	1	1.69
スギ	スギ・カヤ・ケヤキ	1	1.38
スギ	スギ・ケヤキ	1	0.40
スギ	スギ・ヒノキ	2	1.83
スギ	ヒノキ	17	27.23
スギ	ヒノキ・イチイガシ・ケヤキ	1	2.42
スギ	他広	1	0.42
スギ・ヒノキ	スギ	15	12.51
スギ・ヒノキ	スギ・ヒノキ	32	90.69
スギ・ヒノキ	スギ・ヒノキ・イチイガシ・ケヤキ・イヌエンジュ	1	7.60
スギ・ヒノキ	スギ・ヒノキ・ケヤキ	1	1.56
スギ・ヒノキ	ヒノキ	22	67.03
スギ・ヒノキ・アカマツ	スギ・ヒノキ	2	2.37
スギ・ヒノキ・アカマツ	ヒノキ	3	5.60
スギ・ヒノキ・クス	スギ・ヒノキ	1	7.22
スギ・ヒノキ・モミ	ヒノキ	1	2.51
スギ・ヒノキ・他広	ヒノキ・ケヤキ	2	9.78
スギ・モミ・他広	イチイガシ	3	5.69
スギ・モミ・他広	スギ	1	0.85
タブ	タブ	1	0.54
トドマツ	アカエゾマツ	1	18.38
トドマツ	エゾマツ	2	5.30
トドマツ	スギ	3	5.50
トドマツ	トドマツ	25	40.10
トドマツ	トドマツ・エゾマツ・アカエゾマツ	2	18.00
トイツトウヒ	スギ	3	2.63
トイツトウヒ	トドマツ	2	1.45
ヒノキ	クス・タブ・ケヤキ	1	2.34
ヒノキ	クロマツ・ヒノキ	1	0.25
ヒノキ	ケヤキ	5	7.77
ヒノキ	スギ	13	14.45
ヒノキ	スギ・ヒノキ	12	16.47
ヒノキ	ヒノキ	210	458.88
ヒノキ外	ヒノキ外	1	3.98
ヒノキ外	ヒノキ外	1	6.32
合計		1097	6320.88 ha

## 2) 国有林に所在する複層林(二段林)の実態調査結果の解析

## (1) 調査結果の概要

国有林に所在し、これまでなんらかの調査が行われている複層林(二段林)に関して、樹種構成、設定の目的、施業経過、林況、地況、特色などの項目についての第一次アンケート調査を行い、164プロット(空欄のあるものも含む)の回答を得た。表1-2に営林局別、上木、下木の樹種構成別の複層林の箇所数を示した。

二段林実態調査の第二次アンケートとして、平成3年3月現在の国有林の複層林(二段林)について営林局・署名、上木、下木の樹種構成及び齢級、箇所数、実面積についての実態把握を行った。この結果、国有林内の複層林は1,097箇所、実面積の総計は6,321haであった。上木、下木の組み合せ別の箇所数と実面積は表1-3に示した。複層林(二段林)の営林局・署名、上木、下木の樹種構成及び齢級、箇所数、実面積についての一覧を表としてとりまとめた(付表)。

以下に第一次アンケートで得られた結果について述べる。

複層林の局別・樹種構成別の種類とプロット数は表1-2のとおりである。上木、下木の組み合せではスギースギ、カラマツヒノキ、カラマツトドマツ、カラマツスギ、スギヒノキスギ・ヒノキが多い。二段林の面積ではカラマツヒノキ、スギースギ、ヒノキほかヒノキ(天)、トドマツトドマツの組み合せの二段林の面積が多い。地域別にみると上木にカラマツをもつタイプは帯広、函館、長野に多く、上木スギでは函館、青森、秋田、上木ヒノキでは前橋、長野、大阪、高知、上木スギヒノキの混交林は東京、高知にそれ多くみられた。

二段林を設定した目的の主な内訳と上木、下木の組み合せ例を回答のあった箇所数の多い順に示すと以下のようになっている。

① 更新、保育、植栽管理試験(37)：新しい更新、保育などの方法を試験的に調べている段階のものを取りあげた。ほかの目的に分類したものでも試験的色彩を含んでいるものがある。北海道全域ではトドマツトドマツ、トウヒトドマツ、カラマツトドマツ、カラマツスギの林型が多くみられる。長野では、カラマツヒノキ、大阪ではヒノキヒノキ、アカマツヒノキが試みられている。

② 諸被害の回避(22)：長野のカラマツヒノキのタイプに多くみられる。また、台風に対する二段林造成が1か所あった。

③ 風致的施業(16)：風致的施業は国民の多面的な森林利用への関心が高まるとともに重要視されてきている。秋田では風致的維持を配慮した伐採更新の方法をスギースギ、カラマツスギで、単木択伐、伐採率を変え樹下植栽する伐採、更新方法の検討がされている。前橋ではヒノキスギ・ヒノキ・そのほか針葉樹の混交林の形の例、長野ではヒノキヒノキ(天然林)の組み合せによる風致施業、熊本では前橋と同じくヒノキスギ・ヒノキの組み合せによる風致的施業の実施とともに高価値材の生産を目的としている。高知

ではスギースギ、スギースギ・ヒノキの混交林で自然休養林としての風致的施業を行っている。④ 公益的機能 (11)：林地保護、水源保全などがその主な目的としてあげられている。長野のヒノキーヒノキ（天然林）、木曽ヒノキー木曽ヒノキ、大阪のヒノキーヒノキ、熊本のヒノキーヒノキ、ヒノキースギ・ヒノキの混交、スギ・ヒノキースギなど、ヒノキを中心とした組み合せが多い。

⑤ 高品質材の生産 (5)：高品質材生産を主目的とした長伐期型のもである。秋田のスギースギ、名古屋のヒノキースギ・ヒノキの混交二段林と高知のヒノキーヒノキ・天然下種2類が見られる。

また、特色としては、列状間伐が行われている地域として北海道の帯広があり、カラマツードマツの二段林型で1伐1残、1伐2残、1伐3残、2伐2残、2伐3残、3伐3残と多様な方法を行っている。函館でもトドマツードマツの林型で2伐4残の例があつた。そのほか、特色のあるものとして、長野ではカラマツ、ヒノキを同時植栽し、成長のよいカラマツが上木となる二段林型を成しており、秋田では上記③に述べたように、上木について各種の伐採率を検討し、単木伐採後の樹下植栽を行うなど、工夫がみられる。

次に、林齢を見ると上木のヒノキ林は70～80年、スギは50年、一番若いカラマツでは30年の林が多く、下木は若干のプロットを除いて15年以下の若い林が多い。特色的ところで述べたように、長野だけに上木（カラマツ）下木（ヒノキ）の林齢が同じものがある。

## (2) スギースギ二段林の林分構造の特色

第一次アンケートの林況調査項目を用いて複層林の林分構造の解析を行った。

調査の結果上木、下木の樹種の組み合せが多かった順に、スギースギ、カラマツーヒノキ、カラマツードマツ、カラマツースギなどとなつた。そのなかからスギースギ、カラマツーヒノキについて分析を行つた。

スギースギ二段林の林分構造の特色は以下のようになつてゐる。

資料は函館13、青森5、秋田7、東京3、高知1の計29プロット（25小班）である。比較的資料の多い函館（13）と青森・秋田を合わせた（12）2つのグループに分けて、これを中心として林分構造の分析を行つた。

① 上木の林齢と本数の関係：上木の林齢とha当たり本数の関係を間伐前（○、△、□）と間伐後（●、▲、■）に分け、前者の本数をもとにフリーハンドでほぼ中心線を記入した（図1-1）。

下木植栽時の上木の間伐は38年から72年生頃までに行われており、函館と青森・秋田では上木の本数管理に特に著しい差はないようである。間伐本数は、200本から800本の間で行われ、本数間伐率でいうと40～60%となっている。林分密度の尺度として、林木の平均距離（S）と林分の上層木の平均樹高間（H<sub>m</sub>）との比で表わされる相対幹距（S<sub>r</sub>） [S<sub>r</sub> = (S/H<sub>m</sub>) × 100 (%)] を用いて間伐率の目安を検討した。間伐前と間伐後の相

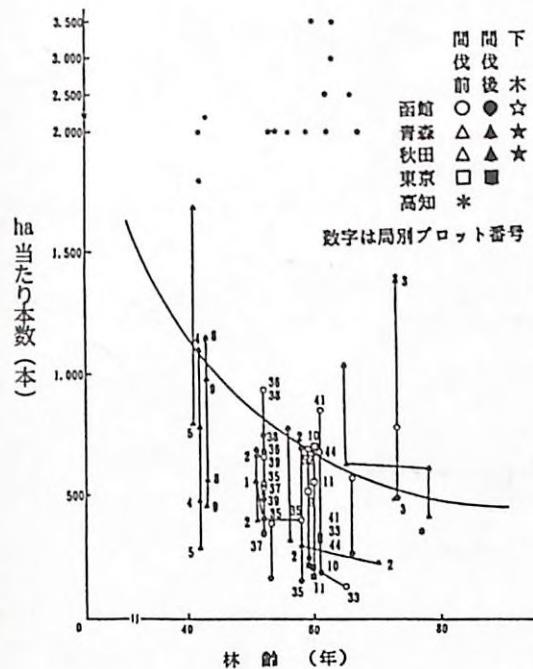


図1-1. スギースギの上木、下木の林齢と本数

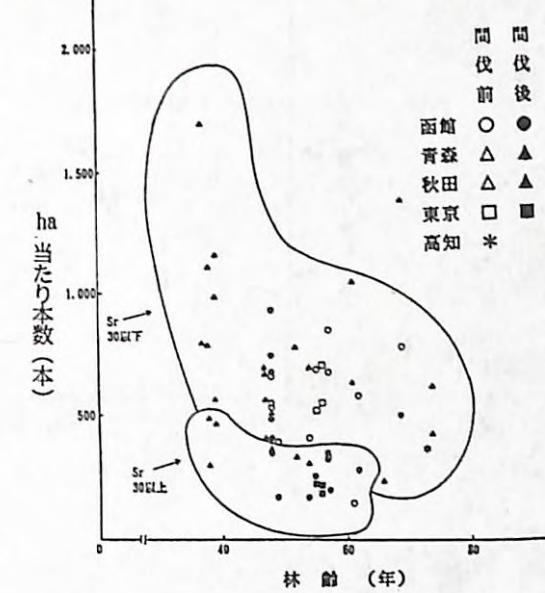


図1-2. スギースギの上木の相対幹距

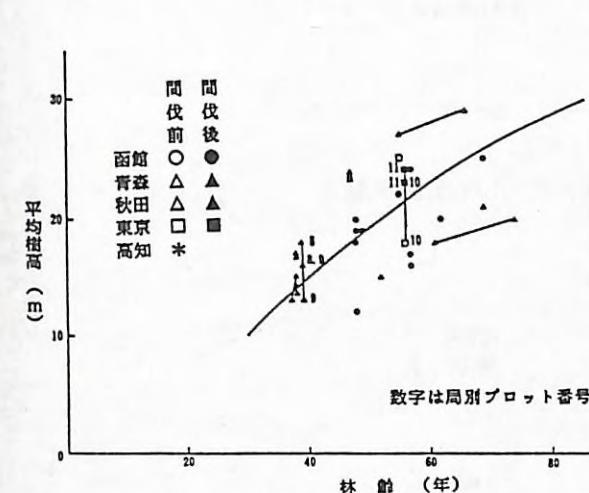


図1-3. スギースギの上木の林齢と平均樹高

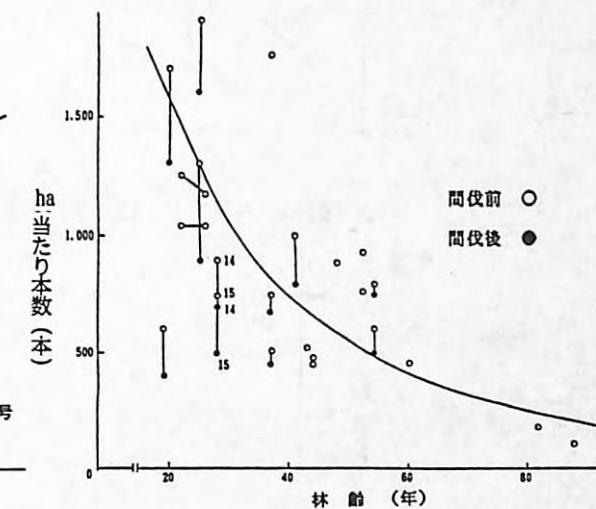


図1-4. カラマツーヒノキの上木の林齢と本数

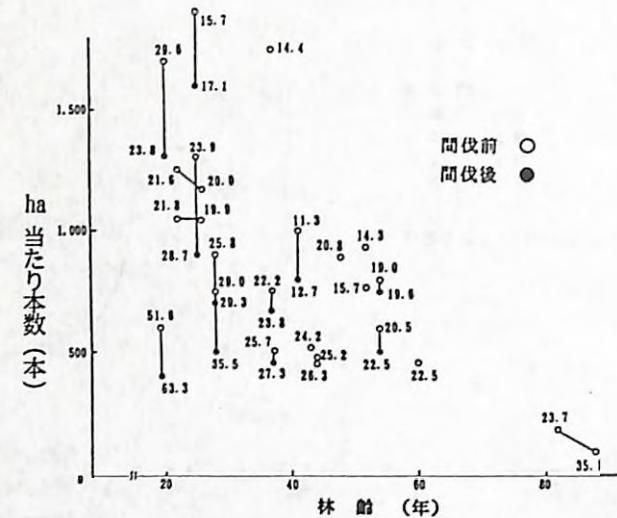


図1-5. カラマツ-ヒノキの上木の相対幹距

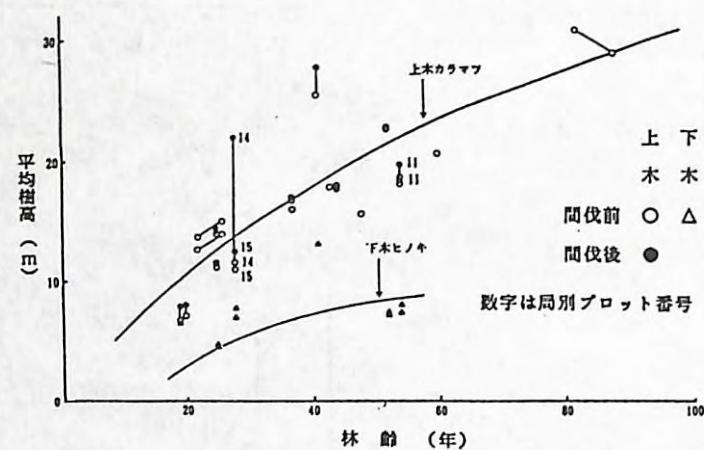


図1-6. カラマツ-ヒノキの上木、下木の林齢と平均樹高

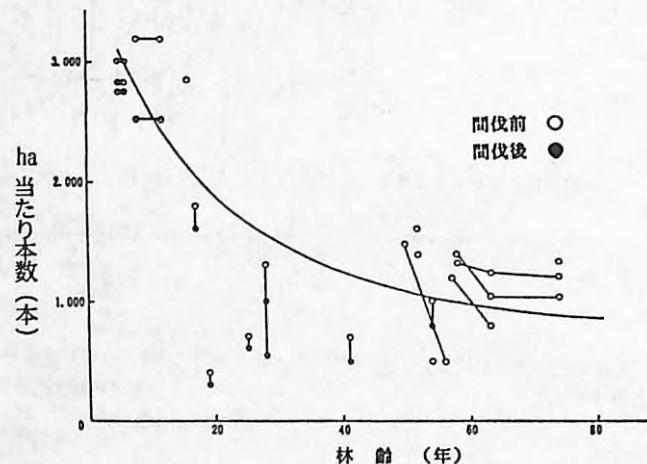


図1-7. カラマツ-ヒノキの下木の林齢と本数

対幹距 ( $S_r$ ) を算出し、相対幹距30未満と30以上の2つのグループに分けて示したもののが図1-2である。図より間伐後の相対幹距はほとんどの場合30代になるような、従来の間伐の尺度からみれば強度間伐を超えるレベルでの本数の管理が行われていることが分かる。

調査の中では初回間伐のものが大半であるが、2回間伐を行っている秋田の1プロットは1回目の間伐で1,038本から627本に、13年後に615本から422本といずれも30~40%の間伐を行っている。また、函館では、第1回目の間伐では545本から405本へと間伐率25%, 6年後に第2回目を本数間伐率60%で161本へという本数管理を行っている。

② 上木の平均樹高成長：平均樹高は間伐前と間伐後の両方記入してあるものと、どちらか一方のみ記入してあるものなどあり正確なものではないが、平均樹高の推移を本数と同様にフリーハンドで記入したものが図1-3である。函館と青森・秋田地区では上木の樹高成長に著しい差はないようである。

③ 下木の本数：下木の林齢が若いため（ほぼ1~3齢級）はっきりした傾向はつかめないが、上木の林齢に応じて植栽された下木の本数を示すと図1-1の上部のようになる。ha当たりの植栽本数は2,000本から3,500本の幅になるが、2,000本植栽が比較的多い。

### (3) カラマツ-ヒノキ二段林の林分構造の特色

上木にカラマツ、下木にヒノキの調査プロットは長野のみで22プロット（15小班）、ほかに上木のカラマツにヒメコマツ、ダケカンバ、クリ、シデ、シラベ、アカマツなどの混交したものが6プロット（4小班）あった。列状のものが大半（一部群状）であるが、これらは同時植栽で、そのあとのカラマツとヒノキに成長の差が現われ二段林化したものである。

① 上木の林齢と本数の関係：ここでは、下木がヒノキの林分のみをとり上げてスギースギと同様、上木の林齢と本数の関係を図1-4に示し、間伐前の本数をもとにほぼ中心線をフリーハンドで記入した。スギースギの場合の上木の林齢に比して、カラマツの上木の林齢は20年から60年と若くなっている。30年から60年までは間伐前ha当たり本数500本から1,000本の林分が多く、間伐率20~30%程度で実行されている。

スギースギと同様、林齢ごとに間伐前と間伐後の相対幹距を示したものが図1-5である。図内の数字は間伐前後の相対幹距を表わす。スギースギでは相対幹距30を境にして間伐前後の林分のグループに分けられ、間伐前と間伐後の本数管理曲線の大体の目安が得られたが、カラマツ-ヒノキではそのような著しい傾向はなく、それぞれの林分の状態に応じて間伐後の林分相対幹距は12~35と多様であることが分かった。

② 上木、下木の平均樹高成長：先に述べたように長野のカラマツ-ヒノキは同時植栽し、成長のよいカラマツが上木となった二段林である。図1-6は同時植栽したカラマツ、ヒノキの平均樹高成長の推移を表わしているが、同一林齢でも下木のヒノキの平均樹高はカラマツの平均樹高の約半分程度である。

③ 下木の本数：下木ヒノキの林齢ごとの本数を示したものが図 1-7である。間伐前の本数をもとにフリーハンドでほぼ中心線を記入した。

上木カラマツの本数が、40年で 700～800本、60年で 500本と推移しているのに比べ（図 1-7），下木ヒノキは40年で1,200～1,300本、60年で 1,000本程度と約2倍程度の本数で管理されていることが分かった。

#### （4）二段林実態調査からみた収穫予測図

二段林の収穫予測図については現在、正確なものが開発されていないため、営林局や県などでよく使われている二段林施業模式図<sup>1)</sup>をデータに基づいて作成することを試みた。

しかし、スギースギの二段林においては下木の林齢が若いため、下木の植栽時のha当たり本数のみを記入するにとどまった。また、カラマツヒノキについては、同時植栽のため、林齢が経過するにつれて、樹高や本数の推移に著しく差が現れてくる変則的な図（図 1-4, 1-7）となった。今後はこれらの林分の 5年、10年後の経過をみて二段林施業模式図完成を図る必要があろう。

アンケート結果では、大部分の下木の林齢が 5年未満で、二段林の林分構造や成長特性などの研究には不充分であった。5年後、10年後に同様な調査の継続・実行が必要である。

#### 引用文献

(1) 榎森啓三：森林計画会会報, 10～16, 1984

（資源解析研究室 神戸 喜久, 高橋 文敏, 資源計画科長 西川 匡英）

#### （5）そのほか、地域に特有な二段林施業に関する知見

##### ア. 関西地域

大阪営林局は近畿、中国、北陸地方にまたがる気候的にも異なった広大な地域を管轄しており、そのため多様な森林施業が見られるのが特徴である。国有林では、二段林施業や複層林施業は最近造成されたものを除けば試験的に取り組まれたものが多く、過去に行われたものを含め、実際に事業として行われているものは少ないのが現状である。その中で最も多く行われているのは、後述するアカマツヒノキ二段林施業であろう。また、瀬戸内海よりにはヒノキの天然更新が容易な場所が若干あり、広島営林署野路山国有林のように小面積であるがヒノキヒノキ複層林施業が行われてる例もある。中国山地の高海拔地には、かつてブナ・ミズナラなどの広葉樹を混えたスギ天然林が広く分布し、山崎営林署赤西国有林のようにスギの択伐、複層林施業が行われていた事例もある。特殊な施業として日原営林署（島根県西部）でみられるケヤキスギ二段林施業がある。これは上木のケヤキを150～200年生まで生育させ、その間に数回スギの収穫をねらったものである。

（関西支所 家原 敏郎）

#### イ. 亜高山帶針葉樹林における二段林の一事例

##### ①. はじめに

八ヶ岳国有林において大正末期から昭和初期にかけて大規模な択伐が行われ、コケ型林床に更新したシラベを主とし、アオモリトドマツ、コメツガが混じる幼齢林（12,000～15,000本/ha）を早期に経済的用材林に導く目的で、1936年（樹齢44年）に間伐試験地が設定された<sup>1,2)</sup>。1958年以降は収穫試験地の一環として定期的に調査を継続し、林分の成長量、収穫量などを長期間にわたって集積している。また、間伐によって下層には稚樹が更新し二段林を形成している亜高山性樹種の稀少な試験地である。ここでは亜高山帯の天然林施業の基礎資料に供するため一部を報告する。

##### ②. 試験地の概況及び調査方法

試験地は八ヶ岳山麓（臼田事業区73n 林小班）に位置し、その面積は0.38ha（B種間伐区 892m<sup>2</sup>, C種間伐区 815m<sup>2</sup>, 無間伐区 316m<sup>2</sup>）で、地況は海拔高1,800m、山腹の南東向きの急斜面、土壌型はPw III～II（石礫土）で理学性は比較的よい状態である。また、年平均気温は 4°C、年平均降水量は 1,700mmである。

林分調査は3～8年間隔で延11回実施した。設定時の毎木野帳が不明で単木の記録は樹齢50年からである。間伐はB種間伐区が樹齢44年（間伐率本数76%, 材積40%）、58年（34%, 14%）、66年（31%, 18%）、74年（15%, 7%）、82年（21%, 12%）、90年（10%, 7%）に、C種間伐区は樹齢44年（78%, 28%）、50年（30%, 11%）、58年（28%, 12%）、66年（43%, 31%）、74年（4%, 2%）、82年（13%, 7%）にそれぞれ6回実行された。稚樹の更新調査は樹齢74, 79, 90, 93 年にその都度 4～50m<sup>2</sup> のプロットを設定し稚樹高を測定した。また、樹齢90, 93年には樹齢解析を試みた。

##### ③. 結果と考察

各調査年度における上木の林分構成値と下木の稚樹本数の推移を表 1-4に示した。材積の連年成長量は現在でも間伐区は 8m<sup>3</sup> に近い成長を示し、この地域の収穫予想表<sup>3)</sup>を大きく上回り良好な成長を持續している。試験地設定間伐前の林分密度は相対幹距比(Sr)で12% とかなり高密度であった。間伐によってB種間伐区はおよそ17～19% に管理され、C種間伐区は樹齢66年の強度の間伐で27% に上昇し、それ以後は22% まで徐々に低下している。これに対して無間伐区は9%まで低下し、徐々に設定当初の12% に近づきつつある。一方、林内の相対照度を推定すると<sup>4)</sup>、試験地設定間伐前は7～8% で初回の間伐で30% 以上にあげたが、葉量の増加に伴い年々低下の傾向をたどり間伐が繰り返されて、おおよそB種間伐区では10～21%，C種間伐区は15～34% の範囲の明るさと思われる。また、無間伐区は5～6% の明るさを持続し、かなり暗い林分といえる。樹齢94年における上木樹種の本数比率は、B・C種間伐区ではアオモリトドマツとコメツガは間伐されてシラベの純林を形成

表1-4. 上木の林分構成値(残存木)と下木の稚樹本数の推移 ha当たり

区分	樹齢	上木						下木					
		本数	相対幹距比%	平均直径cm	平均樹高m	断面積m <sup>2</sup>	材積m <sup>3</sup>	総収穫量m <sup>3</sup>	H10~30cm本	31~60cm本	61~120cm本	121~cm本	計本
種間伐区	*44	3,532	24.7	6.4	5.0	11.6	44	73					
	50	3,353	19.2	8.9	6.3	23.9	106	137					
	*58	2,153	18.6	13.5	9.6	33.4	192	256					
	*66	1,491	18.5	17.7	12.5	38.5	268	390					
	70	1,424	17.2	19.2	13.6	43.3	319	457					
	*74	1,200	17.8	21.1	14.7	43.4	341	505	3,400	3,000	1,600	200	8,200
	79	1,155	17.3	22.5	15.6	47.2	391	564	6,600	1,800	200	400	9,000
	*82	908	18.7	24.1	16.5	42.2	364	591					
	86	864	18.9	25.0	16.9	43.0	376	624					
無間伐区	*90	774	19.4	26.0	17.5	41.9	377	654	32,000	10,000	5,500	2,000	49,500
	93								120,000	12,000	7,000	4,000	143,000
	94	751	19.3	27.2	17.7	44.2	402	684					
種間伐区	*44	3,005	25.7	7.2	5.1	12.5	51	71					
	*50	1,680	25.7	10.9	6.8	17.9	85	120					
	*58	1,214	23.9	16.4	10.2	27.6	166	223					
	*66	687	27.1	22.1	13.1	27.2	192	337					
	70	687	26.3	24.2	13.6	32.6	237	381					
	*74	650	25.3	25.8	14.6	34.9	265	420	2,600	1,400	800	-	4,800
	79	650	23.9	27.4	15.5	39.2	316	471	9,800	3,400	2,400	1,600	17,200
	*82	564	24.9	29.0	16.2	37.9	317	496					
	86	564	23.9	30.0	16.8	40.6	348	526					
無間伐区	90	564	22.9	30.8	17.5	42.8	381	560	26,500	13,500	4,500	7,500	52,000
	93								61,000	12,000	11,000	11,000	95,000
	94	564	21.8	31.7	18.1	45.4	414	592					
種間伐年	44	11,614	11.9	4.6	3.9	21.2	75	75					
	50	11,361	9.6	5.7	4.9	37.8	159	160					
	58	8,861	8.9	7.8	7.3	52.1	280	291					
	66	7,025	8.8	9.8	9.0	63.8	393	421					
	70	5,601	9.3	11.6	10.6	69.0	461	505					
	74	4,620	9.3	12.9	12.0	68.0	492	556	-	-	-	-	-
	79	3,766	10.1	14.3	13.0	66.3	505	608	-	-	-	-	-
	82	3,386	10.4	15.0	13.5	64.8	506	630					
	86	3,133	10.6	15.8	14.1	66.3	521	661					
	90	2,817	11.0	16.2	14.3	63.1	507	686	5,000	-	-	-	5,000
	93								22,500	-	-	-	22,500
	94	2,691	10.7	16.9	15.0	65.5	554	743					

\* 間伐年

している。無間伐区では設定当初シラベ68%，アオモリトドマツ26%，コメツガ2%であったが、50年間の枯損率は劣勢木の割合の高いアオモリトドマツとコメツガが90%を超えて、シラベも69%に達して、比率はシラベ90%，アオモリトドマツ8%，コメツガ2%と大きく変遷した。また、枯損率の最大はSr9%が持続したときで、各樹種とも樹齢66~74年に現れている。上木シラベの期首直径( $D_{50}$ )と期末直径( $D_{94}$ )の関係は次式で表され、その結果を図1-8に示した。

$$\begin{aligned} \text{B種間伐区} & D_{94} = 13.442 + 1.130 D_{50} & r: 0.73 \\ \text{C種間伐区} & D_{94} = 16.028 + 1.117 D_{50} & r: 0.73 \\ \text{無間伐区} & D_{94} = 3.139 + 1.520 D_{50} & r: 0.83 \end{aligned}$$

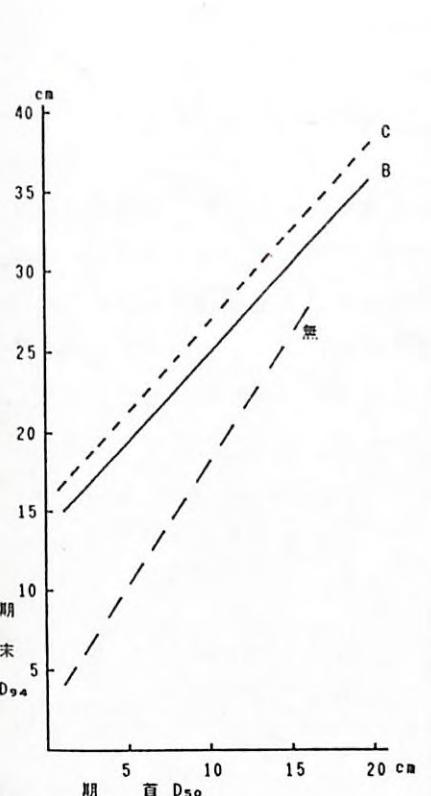


図1-8. 上木シラベの直径成長

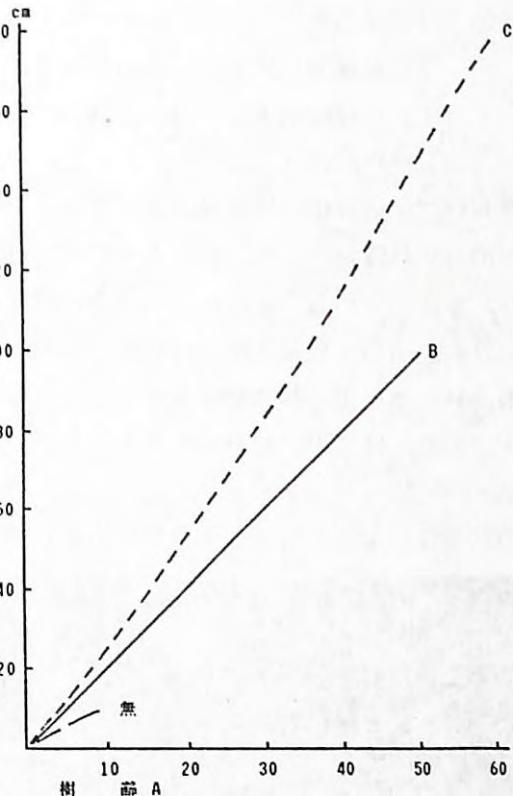


図1-9. 下木の稚樹成長

期首直径10cmの期末直径は、B種間伐区24.7cm，C種間伐区27.2cm，無間伐区18.3cmに肥大し、連年直径成長量はそれぞれ0.34cm, 0.39cm, 0.19cmで、間伐区は無間伐区のほぼ2倍の成長を示し、間伐効果が顕著に認められる。なお、間伐効果は期末直径( $D_{94}$ )の連年直径成長量がそれぞれ0.39cm, 0.47cm, 0.28cmを示していることから、すでにこの時期には現れている。一方、アオモリトドマツとコメツガは期末直径( $D_{94}$ )でB種間伐区がそれぞれ0.24cm, 0.24cm, C種間伐区0.38cm, 0.23cm, 無間伐区0.24cm, 0.11cmで、その後は間伐区の標本数が少なく傾向はつかみにくいが、シラベと比較してアオモリトドマツはやや劣り、コメツガはかなり劣っていると思われる。

下層に更新した稚樹は、固定プロットでないためにバラツキが生じているが、稚樹高10cm以上の本数は年数が経過するにつれて増大し間伐区に多い。無間伐区では地床条件がよいことから樹齢94年における稚樹高10cm未満の稚樹は242,500/haを数え、B種間伐区の

1.9倍、C種間伐区の3.3倍の量を示しているが、低照度のために数年のうちに大部分が消失し10年以上の稚樹はみられない。樹齢94年における更新稚樹の樹種別本数比率は、間伐種によって多少の違いはみられるが稚樹高10cm以上の稚樹は、おむねシラベ86%，アオモリトドマツ3%，コメツガ11%である。樹齢(A)と稚樹高(H)の関係は次式で表され、その結果を図1-9に示した。

B種間伐区	$H=2.6671A^{0.9239}$	r:0.93
C種間伐区	$H=2.0958A^{1.0901}$	r:0.96
無間伐区	$H=3.8223A^{0.4646}$	r:0.83

稚樹高10cm以上の稚樹は試験地設定前に更新したものも数本みられるが、B種間伐区では上木樹齢71年以降が95%を占め、C種間伐区はB種間伐区よりも若干早く更新し、65年以降が90%を占めている。稚樹高31cm以上の稚樹の平均伸長量はB種間伐区2.9cm、C種間伐区3.7cmと極めて成長速度は鈍いが、林内相対照度の違いによる成長差が認められる。

亜高山帯林の漸伐用材林施業体系における更新完了判定基準<sup>5)</sup>の稚樹は、B・C種間伐区とも確保でき、ほぼ均等に分布していることから、上木伐採にも十分対応できるものと考える。

以上の結果は、漸伐施業法の更新稚樹の取り扱いに一つの指針を与える資料となろう。



写真1  
無間伐区の林分状態  
(1985年6月)



写真2  
B種間伐区の林分状態  
(1985年6月)

#### 引用文献

- (1) 松井 勝ほか：高山性天然幼令林の保育（間伐）の一端、長野局報 9, 63~70(1951)
- (2) 滑川良一ほか：八ヶ岳天然幼令林の保育について、林試研報 123, 93~102(1960)
- (3) 長野営林局：収穫予想表、千曲川上流、漸用I、シラベ地位中、9~10(1968)
- (4) 長野営林局：天然更新技術 I、林分構成と稚樹生長状況調査表、90~95(1974)
- (5) 長野営林局：千曲川上流地域施業計画区第5次地域施業計画書、79~82(1989)

(木曽試験地 原 光好)

#### ウ. 四国地域における複層林施業の特徴

四国地域における国有林の複層林施業は、昭和48~51年度にかけて下木が植栽された施業試験的性格を持つもの、昭和59年度以降事業として実施されているもの、さらに、旧藩造林地の中で複層林と考えられるものと性格的には大きく3つに分類される。そのほか、上木ケヤキー下木スギの複層林もある。上木の林齢は昭和62年度現在で、藩政時代に植栽された178年生から38年生のものまであるが、60~80生のものが多い。しかし、下木はほとんどが3齢級以下のものである。

旧藩造林時代の造林地が複層林化している一例として、川崎営林署管内小椎尾山国有林57林班がある。その、①地況、②施業履歴、③現況（1986.8）を示すと以下のようになっている。

- ① 地況、面積：1.42ha、基岩：中古生層・砂岩、土壤型：Bd、傾斜：急、方位：南東、標高：530~600m。
- ② 施業履歴、上木の植栽年度と施業経緯：1811年 新植（スギ 0.98ha, ヒノキ 0.44ha）、昭和8（1933）年 択伐（本数36%，材積31%，広葉樹は伐採せず）、下木の植栽年度、施業履歴など：昭和9年補植（スギ500本、ヒノキ500本、ha当たり710本）、昭和10~14年毎年下刈り（人工数 7.0人, 8.8人, 6.8人, 10.5人, 13.7人）、上長成長量：4年目 スギ0.52cm, ヒノキ0.44cm, 5年目 スギ0.46cm, ヒノキ0.29cm。
- ③ 現況は表1-5に示すようになっており、自然観察、自然休養林的な利用が考えられている。

一方、四国の民有林での複層林施業は久万地方を中心進められており、その特徴は良質な柱材と大径木生産を生産目標としたきめの細かい作業にある。すなわち、下層木への光線不足の解消と高品質材の生産を図るために、上木の伐採、間伐と枝打のセットなど、林分ごとの条件に応じた作業実行の配慮がなされている。収穫についても、伐採・搬出をも考慮した選木がなされている。これらの集約な施業を可能にしているのは、比較的緩傾斜な地形条件に恵まれ、バックホウによる幅員1.5mの作業道を高密度（久万地方では250m/ha以上が望ましいとされている）で配置してアクセスを改善し、クローラー型林内作業車

を利用して搬出経費の節減を図っていることがある。

これらの集約な施業を今後とも続けるための問題点として労働力の確保があげられよう。

表 1-5. 川崎営林署管内小椎尾山国有林の複層林の現況 (1986.8)

区分	樹種	本数	材積	平均直径	平均樹高	林齢
上木	スギ	74本	445m <sup>3</sup>	78cm	33m	176年
	ヒノキ	59	168	58	24	
	そのほかN	123	119			
	そのほかL	24	19			
	計	280	751			
下木	スギ	428	91	16	12	53年
	ヒノキ	329	59	16	11	
	そのほかN	257	9			
	そのほかL	1,987	30			
	計	3,001	189			

(資源解析研究室 高橋文敏)

## 2. 複層林の収穫予測モデル

### 1) 密度管理図・収量比数・相対照度・樹高成長割引率による成長予測モデル

～カラマツ～トドマツ二段林を対象にして～

#### (1) 背景・目的

カラマツは現在郷土樹種のような位置を占めているが、本州から移入した樹種である。カラマツが道内で育苗造林されるようになったのは明治の中頃であり、当時は長野県の幼苗を取りよせ苗木を生産していた。この状態は、昭和30年代まで続いたが、昭和32年頃には育苗技術がほぼ確立された。

カラマツトドマツ二段林施業は、大正時代に入って小樽国有林、新冠御料林や民有林などで部分的に実施され始めた。

その後、昭和20年代以降のいわゆる拡大造林によって、カラマツは坑木等短伐期施業を目的として道内一円に渡って大面積に植林された。これらの林分は、現在、間伐あるいは主伐期を迎えている。

しかし、現在では、カラマツ材の需要構造の変化や外材の影響などから、その材価や販路が伸び悩んでいる。また、カラマツ材は小・中径木では、ねじれなどで材質が劣ることや、最近の森林の公益的機能に対する国民の要求の高まりの中で、皆伐一斉造林を改める傾向などを背景にカラマツの長伐期化が求められている。

このため、カラマツの下にトドマツを植え込んで二段林とする施業方法が多く採用されるようになってきた。

カラマツトドマツ二段林施業の内容についてみると、カラマツを列状間伐したあとにトドマツを列状に植栽している場合がほとんどである。また、上木と下木の年齢差は3年～34年と幅があるが、18年以下の年齢差の少ない林分が多い。

カラマツトドマツ二段林の長所については、複層林全体に通じる項目を除けば次のようなことが挙げられる。

土地生産力の向上：カラマツは陽樹であり、樹冠を大きく拡張させて成長する樹種である。従って、長伐期大径材を目的とする場合には、林冠閉鎖以後の間伐を早めに行い、立木に充分な空間を与える施業が求められる。このため、林内空間には余裕ができるので下木にトドマツを植栽することによって、空間の有効利用を図ることができる。

トドマツ植栽木の寒害防止：目的樹種としてトドマツを育成する場合、トドマツの寒害が発生しやすい場所では、最初にカラマツを保護木として利用することによって、トドマツ植栽木の生存率を高めて樹種転換を容易にすることができる。

なお、空間を急激に疎開すると、カラマツは不定芽を発生しやすくなるのでこの点での配慮が必要である。

#### (2) 材料・方法及び結果

##### 材料

分析に利用した資料は、”複層林施業の実態調査”によって収集されたデータに加え、養老牛試験地<sup>1,2)</sup>、パイロットフォレスト内の試験地の報告<sup>3,4)</sup>、福地ほかの報告<sup>5)</sup>、武井ほかの報告<sup>6)</sup>にしめされている数値などを利用している。また、トドマツの地位指指数曲線の作成には、道内12地域のトドマツ人工林から選ばれた上層木90本の樹幹解析資料を用いている。

##### 方法及び結果

###### ①カラマツの成長予測

上木であるカラマツの成長は”北海道林分密度管理図”<sup>7)</sup>の作成に用いられた計算式で求める。

###### a. 樹高

上層樹高 $H_T$ は、カラマツの地位指指数曲線を利用して、 $t$ における成長曲線 $f_1$ 、誤差の変動幅曲線 $f_2$ 、地位指指数 $S_I$ と林齢 $t$ を与えることによって次式(1)～(3)式で計算される。

$$H_T = f_1(t) + \frac{f_2(t)}{f_2(30)} (S_I - f_1(30)) \quad (1)$$

$$f_1(t) = 22.4497 - 22.0331 (0.952204)^t \quad (2)$$

$$f_2(t) = 3.3948 - 3.0945 (0.919964)^t \quad (3)$$

平均樹高 $H_m$ は(4)式で求められる。

$$H_H = 0.107977 + 1.007113 - 0.118244\sqrt{N} \cdot H_T \quad (4)$$

#### b. 枝下高 $H_B$

上木であるカラマツの枝下高は、下木トドマツの梢端部の成長に直接影響を与えることから、枝下高の予測式を作成した。枝下高  $H_B$  に直接影響を与える因子としては、平均樹高  $H_H$  と立木本数  $N$  を考慮して (5) 式で表現した。

$$H_B = a + b H_H + c (H_H \cdot \sqrt{N} / 100) \quad (5)$$

“複層林実態調査”，養老牛試験地報告，パイロットフォレスト試験地報告からえられた83組のデータを用いて計算した結果， $a = -2.7131$ ， $b = 0.3394$ ， $c = 0.9536$  ( $r = 0.87$ ) がえられた。

#### c. 材積 $V$

カラマツの林分材積は次式で求められる。

$$V = (0.0651368 H_T^{-1.230184} + 9492.9 H_T^{-2.948559} / N)^{-1} \quad (6)$$

#### d. 胸高直径 $D$

平均胸高直径は林分形状高  $H_F$ ，断面積合計  $G$ ，断面積平均直径  $D_g$  から次の手順で求められる。

$$H_F = 0.954862 + 0.42397 H_T + 0.025833\sqrt{N} \cdot H_T / 100 \quad (7)$$

$$G = V / H_F, D_g = 200\sqrt{G / (\pi \cdot N)}$$

$$D = -0.176987 + 0.99847 D_g - 0.03653\sqrt{N} \cdot H_T / 100 \quad (8)$$

#### e. 収量比数 $R_Y$

林分の混み具合いを示す  $R_Y$  は下木トドマツの光環境の指標ともなり、次式で示される。

$$\log N_{RF} = 5.43631 - 1.718375 \log H_T \quad (9)$$

$$V_{RF} = (0.0651368 H_T^{-1.230184} + 9492.9 H_T^{-2.948559} / N_{RF})^{-1} \quad (10)$$

$$R_Y = V / V_{RF} \quad (11)$$

また、収量比数に応じた本数  $N_{RY}$  と材積  $V_{RY}$  は (12)，(13) 式で求められる。

$$\log N_{RY} = K_1 - 1.718375 \log H_T \quad (12)$$

$$\log V_{RY} = K_2 - 0.7159 \log N \quad (13)$$

$$K_1 = \frac{(1 - R_f) R_Y}{1 - (1 - R_f) R_Y} \cdot \frac{9492.9}{0.0651368} \quad (14)$$

$$K_2 = \frac{(1 - R_f) R_Y}{0.0651368} \left[ \frac{0.0651368}{9492.9} \cdot \frac{(1 - (1 - R_f) R_Y)}{(1 - R_f) R_Y} \right]^{-0.7159} \quad (15)$$

なお、限界競争比数  $R_f$  は 0.3480 である。

#### ②トドマツの成長予測

##### a. 地位指数曲線

従来使用してきたトドマツの地位指数曲線は、年齢の比較的若いデータから作成されたが、今回、林齢50年以上の86組のデータを用いて新しく地位指数曲線を作成した。曲線式

には次式で示される Richards 関数を採用した。

$$W = A \cdot [1 - \exp^{-kt}]^{\frac{1}{(1-m)}} \quad (16)$$

ここで、 $W$ ：樹高， $t$ ：年齢， $m$ ， $k$ ，  
A：定数。 (16) 式の定数の計算には伊藤<sup>8)</sup> の開発した SSFTR/86 を利用した。

86組の樹高データを50年の値で10グループに分け、齢階別樹高の平均値に対して、それについて曲線式の定数を計算した。

10グループについて、 $m$ ， $k$ ， $A$  と50年の樹高  $S$  の間の関係を表 2-1 からみて、次のように仮定した。

$$m = b_1 + b_2 S$$

$$k = b_3 + b_4 S \dots \dots (17)$$

$$\ln A = \ln b_5 + b_6 \ln S$$

(16) 式の対数をとり、 $m$ ， $k$ ， $A$  を上式でおきかえると

$$\ln W = \ln b_5 + b_6 \ln S + \ln \frac{[1 - \exp \{-(b_3 + b_4 S) t\}]}{(1 - b_1 - b_2 S)} \quad (18)$$

となる。ここで、 $t$  が 50 のとき左辺が  $\ln S$  に等しくなるという条件を使うと、 $b_5$ ， $b_6$  が消去されて

$$\ln W = \ln S + \ln (X / Y) / (1 - b_1 - b_2 S)$$

$$X = [1 - \exp \{-(b_3 + b_4 S) t\}]$$

$$Y = [1 - \exp \{-(b_3 + b_4 S) 50\}]$$

となる。

逐次近似による最小二乗法で、グループの齢階別平均樹高をデータとして (19) 式にあてはめて、 $b_1 = 0.805564$ ， $b_2 = -0.009893$ ， $b_3 = 0.018915$ ， $b_4 = 0.001168$  が得られた。10年間隔の樹高を地位指数ごとに計算すると表 2-2 の数値が得られる。なお、計算プログラムを図 2-1 に示した。年齢 (AX) と上層樹高 (X) から地位指数を求めるときは  $K = 1$ ，地位指数 (X) と年齢 (AX) を与えて上層樹高  $HIGHT$  を求める場合は  $K = 2$  とする。

##### b. 収量比数と相対照度

下木であるトドマツの上長成長を抑制するのは、林内の明るさや光量などであるが、ここでは、相対照度を明るさの尺度とする。相対照度は、上木のカラマツの密度によって影

表 2-1. グループ別曲線の定数

グループ	本数	50年の樹高(S)		定数		
		範囲	平均	A	m	k
1	2	12.8~13.8	13.3	26.2165	0.7182	0.0349
2	4	15.0~15.8	15.5	26.4104	0.6056	0.0333
3	4	16.6~17.2	16.9	27.8210	0.5846	0.0335
4	6	17.6~18.3	17.9	25.8042	0.6871	0.0443
5	13	18.5~19.4	19.1	28.4138	0.6363	0.0402
6	15	19.5~20.4	20.1	29.5831	0.5782	0.0378
7	16	20.5~21.4	20.9	29.6868	0.5797	0.0398
8	14	21.5~22.4	21.9	30.4160	0.6160	0.0427
9	5	22.5~23.4	23.0	28.2577	0.6023	0.0507
10	7	23.5~25.1	23.9	32.6753	0.5828	0.0421

響を受ける。収量比数は林内材積のつまり具合を示すものであるため、これと相対照度  $R_i$  との関係（図 2-2）を見た。

この関係は、収量比数が高いほど相対照度は低く、逆に収量比数が小さいほど相対照度が高くなる。これらの関係は次の（20）式で表された（ただし、 $R_y < 0.25$  のときは  $R_i = 100$  とする）。

$$\log R_i = 0.6278 - 2.26866 \log R_y \quad \dots \dots \dots \quad (20)$$

表 2-2. 地位指数ごとの年齢別樹高

地位指数	10	20	30	40	50	60	70
15	0.79	3.67	7.63	11.58	15.00	17.73	19.80
16	0.95	4.20	8.44	12.55	16.00	18.69	20.70
17	1.14	4.76	9.28	13.52	17.00	19.65	21.60
18	1.35	5.35	10.15	14.51	18.00	20.61	22.49
19	1.58	5.98	11.05	15.51	19.00	21.56	23.37
20	1.84	6.65	11.96	16.52	20.00	22.50	24.24
21	2.12	7.34	12.90	17.53	21.00	23.45	25.12
22	2.43	8.07	13.86	18.56	22.00	24.39	25.99
23	2.76	8.82	14.83	19.59	23.00	25.32	26.86
24	3.12	9.60	15.82	20.63	24.00	26.26	27.73
25	3.50	10.42	16.83	21.67	25.00	27.19	28.60
26	3.92	11.25	17.85	22.71	26.00	28.13	29.47
27	4.35	12.12	18.89	23.76	27.00	29.06	30.35
28	4.82	13.00	19.93	24.82	28.00	30.00	31.22
29	5.31	13.91	20.99	25.87	29.00	30.93	32.10
30	5.83	14.84	22.06	26.93	30.00	31.87	32.98

```

10 DEF FNEH (X, Y) = (1 - EXP(-(.018915 + .001168 * X) * Y))
20 PRINT: INPUT "地位指数を計算しますか (Yes/No)" . X$: A$ = LEFT$ (X$, 1)
30 IF A$ = "N" OR A$ = "n" THEN 80
40 K = I: PRINT
50 INPUT "年齢は" : AX: INPUT "上層樹高は" : X
60 GOSUB *HIGHT
70 PRINT: PRINT USING "地位指数 = ##.##" : HIGHT: PRINT: GOTO 120
80 K = 2: PRINT
90 INPUT "地位指数は" : X: INPUT "年齢は" : AX
100 GOSUB *HIGHT
110 PRINT: PRINT USING "上層樹高 = ##.##" : HIGHT
120 END
1000 *HIGHT
1010 IF K = 1 THEN 1040
1020 EST = LOG (X) + LOG (FNEH (X, AX)/FNEH (X, 50!)) / (.194436 + .009893 * X)
1030 HIGHT = EXP (EST): RETURN
1040 W = 10!: ADD = 1!
1050 EST = LOG (W) + LOG (FNEH (W, AX)/FNEH (W, 50!)) / (.194436 + .009893 * W)
1060 EST = EXP (EST)
1070 IF ABS (EST-X) < .1 THEN 1110
1080 IF EST < X THEN 1100
1090 W = W - ADD: ADD = ADD * .1: W = W + ADD: GOTO 1050
1100 W = W + ADD: GOTO 1050
1110 HIGHT = W: RETURN

```

図2-1. 地位指数または上層樹高を求めるためのプログラム

### c. 相対照度と樹高成長

一般に、相対照度が高くなれば下木の樹高成長も良好であることが福地らの報告<sup>5)</sup>で示されている。この報告から、相対照度とトドマツの樹高の成長割合  $H_r$ （相対照度 80% のときの値を 1 とする）を調べると（図 2-3），この関係は次式で表現できた。

$$\log H_r = 0.012238 - 0.793702 \cdot 0.948023^{R_i} \quad (21)$$

以上の関係式を利用することによって、カラマツ林下の成育段階と密度に応じた樹高成長が求められる。

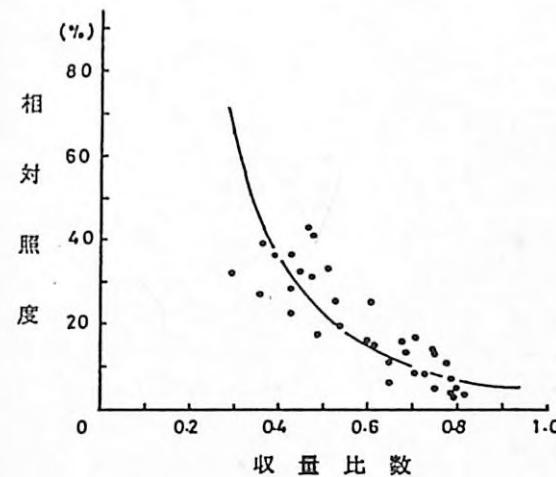


図2-2. カラマツ林分の収量比数と相対照度の関係

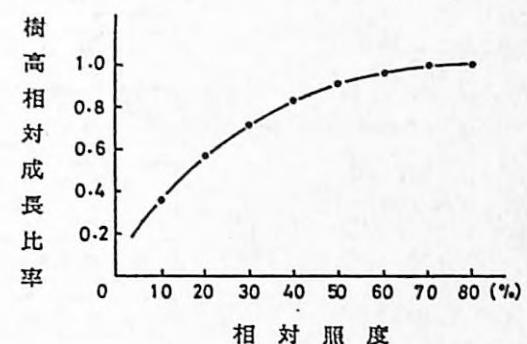


図2-3. 相対照度に応じたトドマツの樹高相対成長比率（相対照度 80% を樹高成長 1 とする）

### d. 胸高直径 $D_T$

樹下植栽されたトドマツ下木の胸高直径の成長については、現在のところ予測に十分な研究蓄積がえられていないのが現状である。ここでは、立木密度の高い林分ほど形状比 ( $S_r = H/D$ ) が高くなることに着目し、成育段階と収量比数によって変化する形状比の値を利用して樹高  $H$  から平均直径  $D$  を計算する。その手順は次のとおりである。上層樹高  $H_T$  と収量比数  $R_y$  に応じた立木本数  $N_{R_y}$  は次式で求められる。

$$N_{R_y} = (126777.1384 R_y) / (1 - 0.8833 R_y) H_T^{-1.893839} \quad (22)$$

次いで、材積  $V$  が（23）式で求められる。

$$V = (0.215578 H_T^{-1.617855} + 30941.2 H_T^{-3.51173}) / N_{R_y}^{-1} \quad (23)$$

また、形状高  $H_F$  は次式で計算される。

$$H_F = -0.2785 + 0.4877 H_T - 0.04143 \sqrt{N_{R_y}} \cdot H_T / 100 \quad (24)$$

カラマツの場合と同様に、胸高断面積合計  $G$  は、 $G = V/H_F$ 、また、断面積平均直径  $D_g$  は、 $D_g = 200 \sqrt{G / (\pi \cdot N_{R_y})}$  で、次いで、直径  $D$  は、

$$D = -0.1287 + 0.9935 D_g - 0.05676 \sqrt{N_{R_y}} \cdot H_T / 100 \quad (25)$$

（25）式から計算される。そして、形状比  $S_r$  は、 $S_r = H_T / D$  で求められる。従って、トドマツの樹高  $H_T$  に対応する直径  $D_T$  は、次式

$$D_T = H_T \times 100 / S_r \quad (26)$$

によって求められる。

### ③計算プログラムの概要

①および②に示される計算式をもとに、カラマツートドマツ二段林の計算プログラムを作成した。そのフローチャートを示すと、図2-4のとおりである。以下に、その手順を概説する。

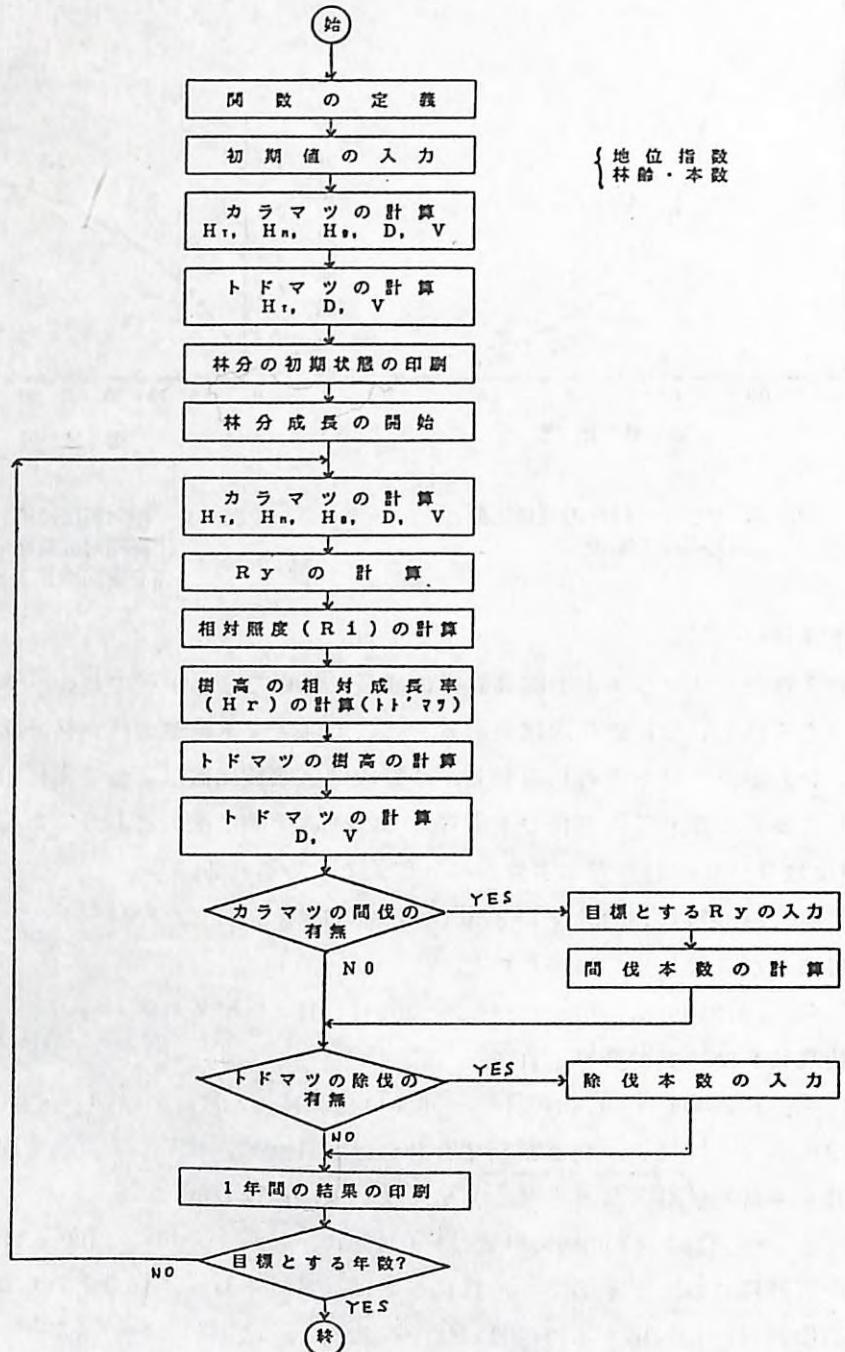


図2-4. カラマツートドマツ二段林成長予測フローチャート

- a. 予測に用いる主要な計算式について関数定義を行う。
  - b. カラマツ及びトドマツの地位指数、林齢、本数を初期値として入力する。
  - c. カラマツ及びトドマツについて、樹高、直径、材積など林分の初期状態を計算し、次いで初期状態を印刷する。
  - d. 林分成長を開始する（1年ごと）。
  - e. 1年後のカラマツの上層樹高、平均樹高、平均直径、枝下高、材積を計算する。
  - f. 収量比数を計算し、この値をもとに、相対照度を計算する。ついで、相対照度からトドマツの樹高の相対成長率を計算し、この値からトドマツの樹高成長量及び樹高を算出する。
  - g. トドマツの直径、材積を計算する。
  - h. カラマツ林分の収量比数の値をみながら、間伐が必要か否かを判断し、間伐を行う場合は、目標とする収量比数を入力する。この場合、下げる値は0.1以下とする。間伐が不要のときは次のステップに進む。
  - i. 下木トドマツの混み具合をみて、除伐の有無を判断する。除伐を実行する場合は除伐本数を入力する。しない場合は次のステップへ進む。
  - j. 1年間の結果を印刷する。
  - k. 目標とする成長年数に達しない場合は、翌年の成長へ進む。達した場合は計算を終了する。
- このようにして、上木であるカラマツの地位指数、林齢、本数に応じたトドマツの樹高、直径、材積についての成長予測が可能になる。

### ④計算例

カラマツの地位指数（30年生時の上層樹高）18、林齢30年、本数1000本、トドマツの地位指数（50年生時の上層樹高）20、林齢10年、本数1500本を初期状態として、5年ごとに、弱度の間伐を繰り返し、カラマツの林齢が60年になるまでの成長予測を行った。

その結果を示したのが、図2-5である。また、カラマツの初期本数を600本とし、そのほかを同じ条件にして計算した結果を示したのが図2-6である。

二つの図を比較してみると、上木カラマツの成立本数によって、下木トドマツの樹高成長が大きく左右されることが分かる。カラマツ林分の収量比数についてみると、密度管理基準でいえば、0.5が疎仕立て、0.6が中庸仕立て、0.7が密仕立てと考えることができる。この基準から考えると、図2-5に示される林分では、トドマツを育成するには上木の本数が多いすぎるといえる。また、図2-6では、カラマツが30年生時の立木本数は600本であり、光環境がやや改善され、下木トドマツは比較的良好な成育状況を示している。

このように、作成されたカラマツートドマツ二段林の計算プログラムを利用することによって、上木カラマツ、下木トドマツの地位指数、林齢、立木本数に応じたその後の本数管理を通して、二段林の施業目的に合致した施業体系を予測できることが分かった。

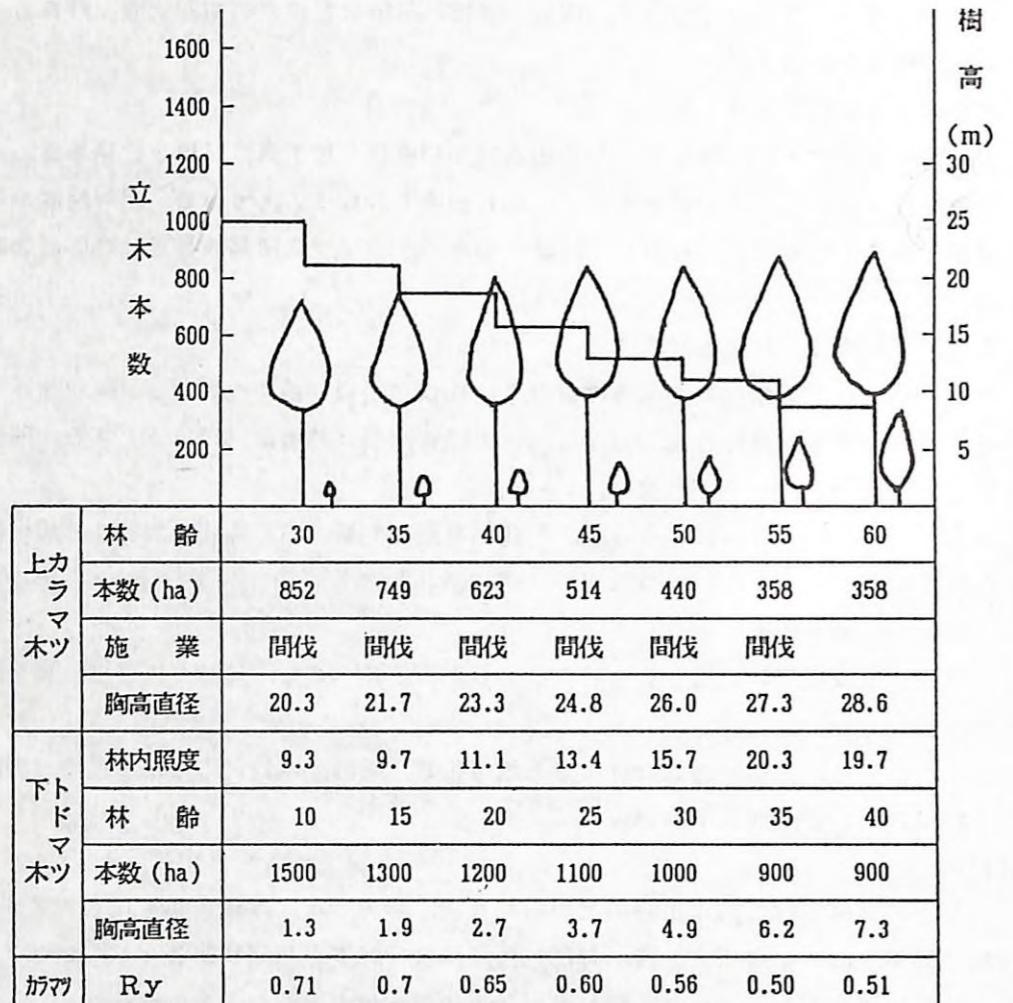


図2-5. カラマツートドマツ二段林成長予測 計算例 1

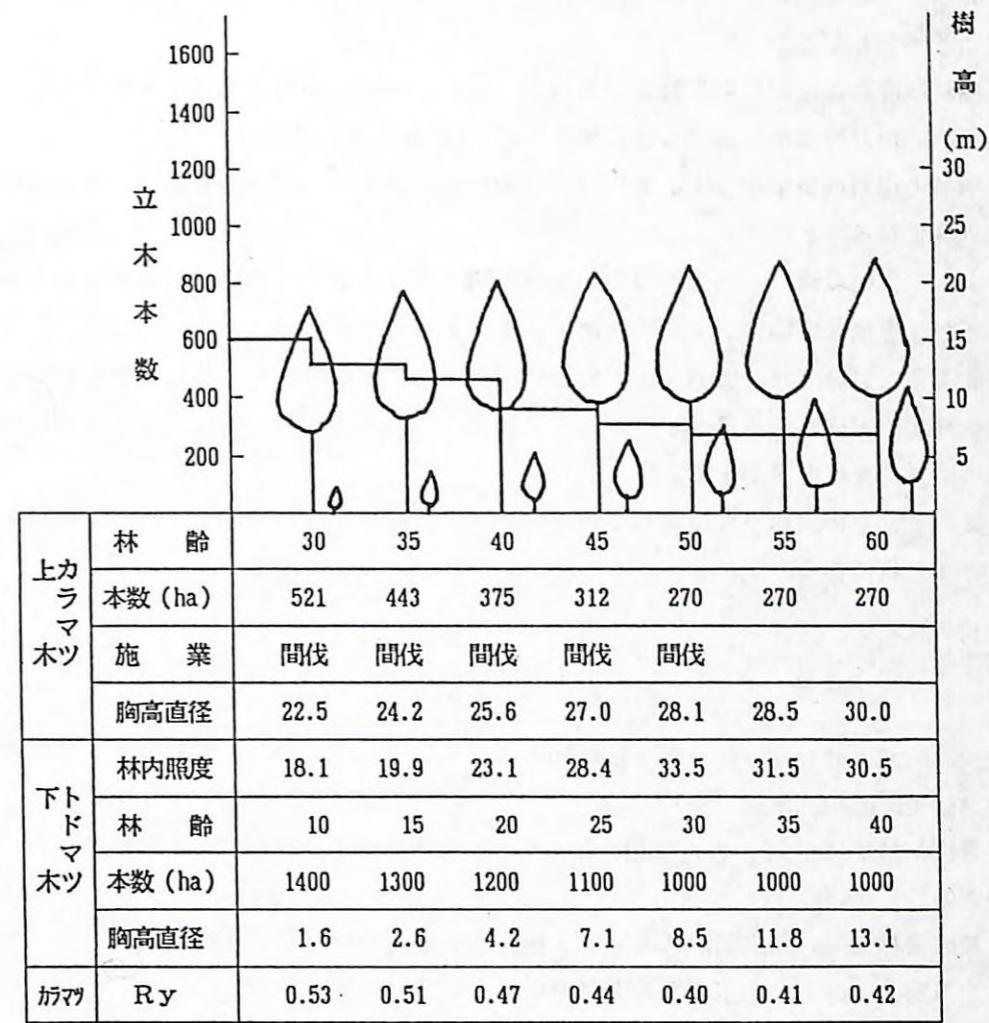


図2-6. カラマツートドマツ二段林成長予測 計算例 2

### (3) 考察・問題点

カラマツ及びトドマツの成長法則をもとに、カラマツートドマツ二段林の成長予測プログラムを作成した。これを用いて、上木カラマツの林齢30年、トドマツの林齢10年を出発点として、その後30年間の毎年の上木及び下木の成長をシミュレートした。その結果、上

木カラマツの本数密度を調整することによって、下木トドマツの成長がほぼ予測できることが分かった。従って、このプログラムを利用することによって、カラマツートドマツ二段林について、施業目的に合致した本数管理の目安が得られることが分かった。

しかし、今回作成されたカラマツートドマツ二段林成長予測プログラムは、以下の理由から、暫定的なものであることを付記しておく。

主要な問題点は以下に示すとおりである。

- a. カラマツ林分の枝下高の推定には比較的若齢林分のデータが多いため、高齢部分は外挿による予測となる。
- b. 相対照度の推定には収量比数を用いているが、予測に利用したデータが不足している。このため、相対照度が0.25より低い値は100%で計算している。
- c. 樹高の相対成長率は下木トドマツの林齢が10年までのものであるため、それ以後の予測は外挿になること。
- d. トドマツの直径は、密度管理図の成育段階と収量比数から求められる形状比を利用しているが、今後は実際のデータの利用による予測が必要である。
- e. 北海道においては、カラマツの第1回間伐が列状間伐で行われることが多く、下木の植栽も列状に実施される場合がほとんどである。このため、列状間伐、列状植栽に伴う光環境や成長の変化を予測する必要がある。

今後、これらの問題点を解決してカラマツトドマツ二段林の成長予測の信頼性を高めることが必要である。

#### 引用文献

- (1) 梅津 武：カラマツ列状間伐試験10年の成果について（養老牛試験地），帯広営林支局業研集，昭和52年度
- (2) 帯広営林支局：カラマツ列状間伐10年の成果（養老牛試験地），北方林業，31(2)，(1979)
- (3) 帯広営林支局：固定試験地の間伐事例と二・三の考察（II）—樹下植栽したトドマツの光環境について—，帯広営林支局業研集，昭和54年度
- (4) 梅津 武：パイロットフォレストのカラマツ施業試験，日林北支講28(1979)
- (5) 福地 稔ほか：カラマツ林内に植栽したトドマツの10年間の成長，日林北支論34(1985)
- (6) 武井富喜雄：複層林施業における林内人工更新技術に関する研究，長野県林業指導所業務報告(1981)
- (7) カラマツ人工林林分密度管理図説明書－北海道地方－，林野庁(1982)
- (8) 伊藤達夫：SSFITR／86 Version 1.0 for MS-DOS RICHARD（成長関数のあてはめのためのコンピュータープログラム），J・Pc-For. 3, 41~42(1985)

（北海道支所天然林管理研究室 猪瀬光雄、小木和彦、佐野 真）

#### 2) 下木の樹高成長にミッチャーリッヒ式の拡張式を導入した成長モデル

～スギースギ二段林を対象として～

##### (1) 背景・目的

九州地方の複層林に関しては、近年になって試験地として設定された林分がほとんどであり、その成長についてはいまだ十分な資料がそろっていないのが現状である。特に上木の状態によって敏感に変化する下木の成長については、複層林成長予測の要でありながらデータ収集途中の段階である。

そこで、本研究では理論的成長曲線の一つであるミッチャーリッヒ曲線の検討から、光環境を考慮した下木の樹高成長曲線式を導き、既往の研究成果を用いながらモデルの検討を行った。

##### (2) 方法・結果

複層林においては、上木の成長及び樹冠の閉鎖に伴い林内の照度低下が生じ、その結果として下木の成長が抑制される。安藤はスギ林の間伐後の収量比数と林内相対照度の関係を示し、両者にはばらつきが大きいものの相関関係が認められることを示した（安藤, 1983）。また、藤森はいくつかの研究報告からスギ林の間伐後の収量比数と林内相対照度の関係を示した（藤森, 1989）。これらの結果は収量比数が林内相対照度と深い関係をもち、相対照度を収量比数から推定することが可能であることを意味している。

相対照度は測定に手間がかかる上に値が不安定であり、林分の成長に伴った変化も捕らえにくい。それに対し、収量比数は上層樹高と本数密度から容易に算出できる相対的な林分閉鎖の尺度であり、密度の変化や林分の成長に伴う閉鎖度の変化を比較的容易に示すことができるという特徴を持つ。このように、相対照度の代用として収量比数を利用することは、成長の予測を行う上で非常に都合がよい。

さて、松本は針葉樹混牧林の研究において、混牧林内の草生産量が林内の相対照度のみならず収量比数と高い相関を持つことを示した（松本, 1990）。特に、すでにうつ闇したカラマツ林を強度間伐して行った実験においても、収量比数と下層植生量は同様に高い相関を示した。このことから林内の植物生産量を収量比数から推定する手法が開発されている。混牧林における林内生産物とはササ、ススキ、シバといった野草、あるいは人工的に導入された牧草といった草本が主体であり、複層林における下木となるスギあるいはヒノキといった木本とは異なる。しかしながら、林内における光環境と植物の反応という関係においては根本的には大きな差はないと考え、本研究では複層林における下木の樹高成長を予測する手法として、上木の収量比数を用いた方法を開発することとした。

樹高成長を表現する成長式としてはミッチャーリッヒ式が最もしばしば利用される。林

分収穫表では一般的に樹高成長式として修正指數曲線が用いられているが、修正指數曲線は、簡単な変形によりミッチャーリッヒ式に変換される。ミッチャーリッヒ式は、成長速度が成長の上限と現在量の差に比例するという考え方方に立つ理論的成長曲線である。そこで、(1)式で表されるミッチャーリッヒ式の基礎方程式において、右辺に林内照度の低下による成長の抑制を表す抑制係数を乗じた成長式を考案した。

$$\begin{aligned} \text{ミッチャーリッヒ式} \quad & dh/dt = k(m-h) \quad (1) \\ \text{拡張式} \quad & dh/dt = k(m-h)F \quad (2) \end{aligned}$$

ここで、 $h$ :下木の樹高、 $m$ :成長の上限値、 $k$ :係数、 $F$ :抑制係数。

ここで抑制係数 $F$ は0~1をとる。上木による成長抑制がない場合、つまり上木がない場合には $F=1$ となり、基礎となるミッチャーリッヒ式そのものとなる。(2)式の解は逐次近似法による近似解として(3)式のような漸化式の形で得られる。さらに収穫表と同様に1分期を5年として(4)式が得られる。

$$\begin{aligned} h(t) &= h(t-1) + k(m-h(t-1)) \cdot F(t) \quad (t=1, 2, 3, \dots) \quad (3) \\ h(t) &= h(t-5) + 5k(m-h(t-5)) \cdot F(t) \quad (t=5, 10, 15, \dots) \quad (4) \end{aligned}$$

ちなみに、熊本営林局林分収穫表より熊本地方スギ、地位中について係数を求めたところ、(5)式が得られた。

$$h(t) = h(t-5) + 5 \cdot 0.01131 \cdot (35.947 - h(t-5)) \cdot F(t-5) \quad (t=5, 10, 15, \dots) \quad (5)$$

抑制係数 $F$ は上木の状態によって変化するが、試験地調査からは今のところ十分な資料を得るに至っていない。そこで、河原によって求められた樹下植栽木の成長量に関する相対照度と相対樹高の関係(6)式(河原、1983)、及び藤森によって求められた収量比数と相対照度の関係(7)式(藤森、1989)を用いた。

$$\begin{aligned} \text{河原の式 (スギ樹高)} \quad & 1/RH = 0.169/RI + 1/118 \quad (6) \\ \text{藤森の式} \quad & RI = -84.3 \cdot RY + 83.5 \quad (7) \end{aligned}$$

ここで、 $RH$ :相対樹高(%)、 $RI$ :相対照度、 $RY$ :収量比数。

河原は一般的の林内庇陰下とサランネットによる人工庇陰下による相対照度と成長量の関係を報告しているが、ここではより現実に近い一般的の林内庇陰下における結果を使用した。また、藤森の式は既報の研究報告からスギ林の間伐後の収量比数と林内相対照度の関係を

求めたものである。

(6)、(7)の2式の相対照度 $RI$ に注目して収量比数と相対樹高の関係式を求める(8)式が得られる。

$$1/RH = 0.169/(-84.3 \cdot RY + 83.5) + 1/118 \quad (8)$$

(8)式の相対樹高 $H$ の100分の1をとれば、それは(5)式の抑制係数 $F$ と考えることができると。

$$F = RH/100 \quad (9)$$

さて、もともと密度管理図の収量比数 $RY$ は次のように定義されている。

$$RY = V/V_{Rf} \quad (10)$$

$$V = (aH^b + a'H^{b'} / N)^{-1} \quad (11)$$

$$V_{Rf} = (aH^b + a'H^{b'} / N_{Rf})^{-1} \quad (12)$$

$$N_{Rf} = a''H^{b''} \quad (13)$$

ここで、

$$V : \text{上木材積 (m}^3/\text{ha}) \quad V_{Rf} : \text{上木最多材積 (m}^3/\text{ha})$$

$$H : \text{上木上層木樹高 (m)} \quad N : \text{上木本数密度 (本/ha)}$$

$$N_{Rf} : \text{上木最多密度 (本/ha)}$$

(10)~(13)の関係式を整理することにより、(10)式の $RY$ は上木本数密度と上木上層木樹高の関数として次のように導かれる。

$$RY = (aH^b + a'H^{b'} / a''H^{b''}) / (aH^b + a'H^{b'} / N) \quad (14)$$

このように、(8)式の $RY$ は密度管理図に示されているいくつかの関係式の係数を用い、上木の本数密度と上層木樹高から求められることが分かる。従って、上木の樹高成長と密度管理計画が定められれば、前述の式を連立させて下木の成長を推定することができる。時間に注意しながら関連する関係式をまとめると以下のようになる。

$$h(t) = h(t-5) + 5k(m-h(t-5)) \cdot F(t) \quad (15)$$

$$F(t) = RH(t-5)/100 \quad (16)$$

$$1/RH(t-5) = 0.169/(-84.3 \cdot RY(t-5) + 83.5) + 1/118 \quad (17)$$

$$RY(t-5) = (aH(t-5)^b + a'H(t-5)^{b'} / a''H(t-5)^{-b''}) / (aH(t-5)^b + a'H(t-5)^{b'} / N)$$

(18)

ここで、

$t$ : 年 (5, 10, 15, ...)

$h(t)$ : 下木の樹高

$m$ : 成長の上限値

$F(t)$ : 抑制係数

$H(t)$ : 上木上層木樹高

$N(t)$ : 上木本数密度

$RH(t)$ : 相対樹高

$RY(t)$ : 収量比数

$k, a, a', a'', b, b', b'', b'''$ : 係数

この方法では図 2-7 に示した手順で下木の樹高成長を推定する。まず、あらかじめ対象地の地位から林分収穫表などを用い上木の樹高成長を把握し、密度管理様式も設定しておく。次に、一分期ごとに上木の上層樹高及び本数密度から抑制係数を求め、下木の成長量を算出し、前期の樹高に加算する。これを分期ごとに繰り返す。この計算にはパーソナルコンピュータ上でロータス 1-2-3、エクセルといった表計算ソフトを利用すると非常に容易に行なうことができる。表計算ソフトの使用は計算の簡易化のみならず、密度管理計画の変更や下木植栽時期などを変更するといったシミュレーションを可能にする。試行錯誤で適当な管理計画を設計することができるなど非常に都合がよい。表 2-3 に表計算ソフトでの計算例を示した。

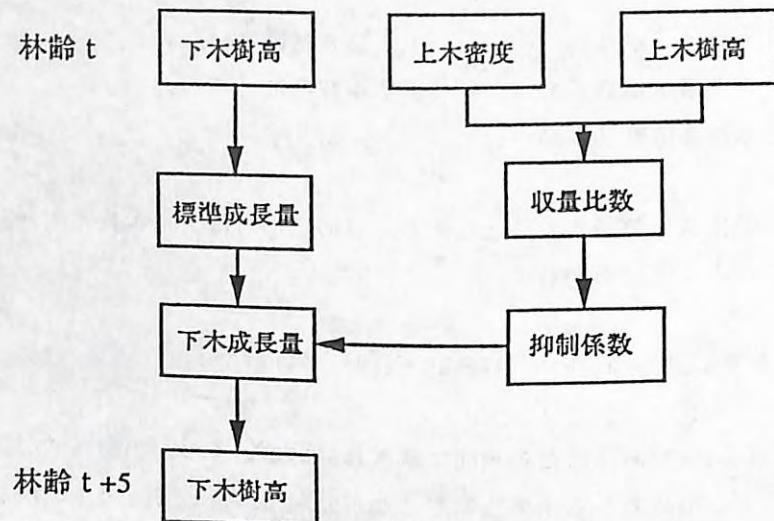


図2-7. 下木の樹高成長を推定する手順

表2-3. 複層林下木樹高成長の計算例

1. 熊本営林局複層林施業大系図(スギ)の密度管理計画による
2. 熊本地方スギ林分収穫表の樹高(2等地)
3. 九州地方国有林スギ林分密度管理図
4.  $H(t) = H(t-5) + 5 * 0.0110036 * (40.3985 - H(t-5)) * F$

林齢	樹高	上木		下木	
		本数密度	Ry	樹高係数(F)	樹高
0	0.30	3000	3000	0.01835	0.94906
5	2.50	2880	2880	0.30371	0.87769
10	5.20	2760	2760	0.5805	0.74827
15	7.20	2640	2640	0.70464	0.64569
20	9.00	2520	2520	0.77979	0.55592
25	10.80	2400	2000	0.83353 0.7895	0.54207
30	12.40	2000	2000	0.83862	0.46141
35	13.90	2000	1500	0.87597 0.81056	0.38495 0.50981
40	15.30	1500	1500	0.84391	0.45147
45	16.70	1500	1500	0.87251	0.39271
50	17.90	1500	1000	0.89388 0.80291	0.34221 0.5219
55	19.10	1000	1000	0.82599	0.48404
60	20.20	1000	500	0.84515 0.66612	0.4491 0.68238
65	21.30	500	500	0.68811	0.66208
70	22.30	500	300	0.70687 0.56148	0.64339 0.76061
75	23.20	300	300	0.57838	0.74968
80	24.10	300	200	0.59465 0.47849	0.73862 0.80711
85	25.00	200	200	0.49376	0.79934
90	25.80	200	100	0.50698 0.3247	0.79235 0.87066
95	26.60	100	100	0.33535	0.86696
100	27.30	100	100	0.34457	0.86369
105					0.86369
110					13.45
115					14.93
120					16.33
125					17.65
130					18.91
135					20.09
140					21.21
145					22.26
150					23.26
155					24.20
160					25.09
					25.94

### (3) 考察・問題点

残念ながら、現在においては、本モデルの妥当性を検証するための資料は十分にはそろわない。従って、本モデルが妥当であるのか否かを示す方法はないというのが正直なところである。しかしながら、いくつかのシミュレーションを行ってこのモデルの特徴を知ることはできる。

本モデルを利用し、熊本地方のスギについて通常の林分収穫表に従った密度管理を行う場合、そして熊本営林局が作成した複層林施業体系図に従った密度管理を行う場合の 2 種類の密度管理方式で下木の樹高成長を想定した。いずれの場合も樹高成長は林分収穫表 2 等地の値を使用し、九州地方国有林スギ林分密度管理図を使用した。また、下木の植栽は上木が 60 年生のときとし、上木を 100 年生時に主伐することとして推定を行った。推定結果は複層林密度管理を行った場合を図 2-8 に、標準的な密度管理を行った場合を図 2-9 に示した。

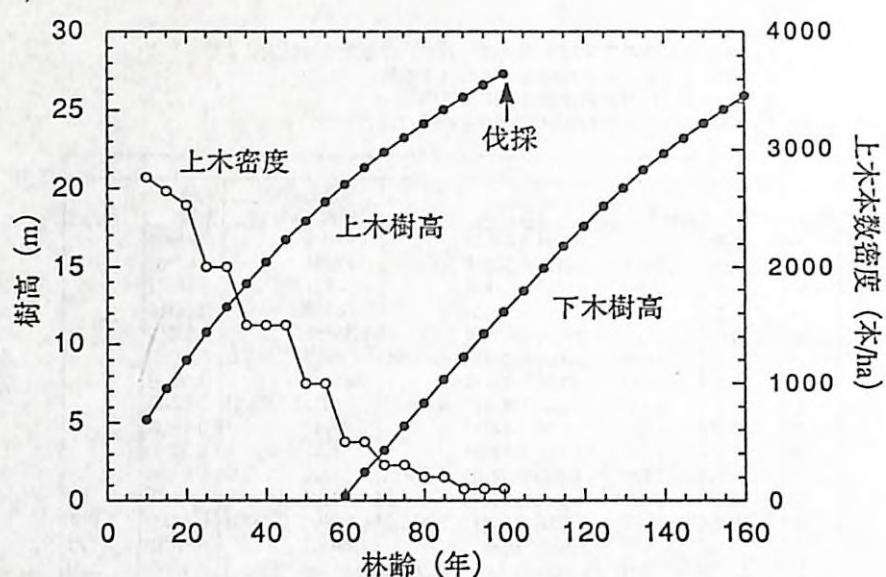


図2-8. 複層林密度管理を行った場合の下木の樹高成長

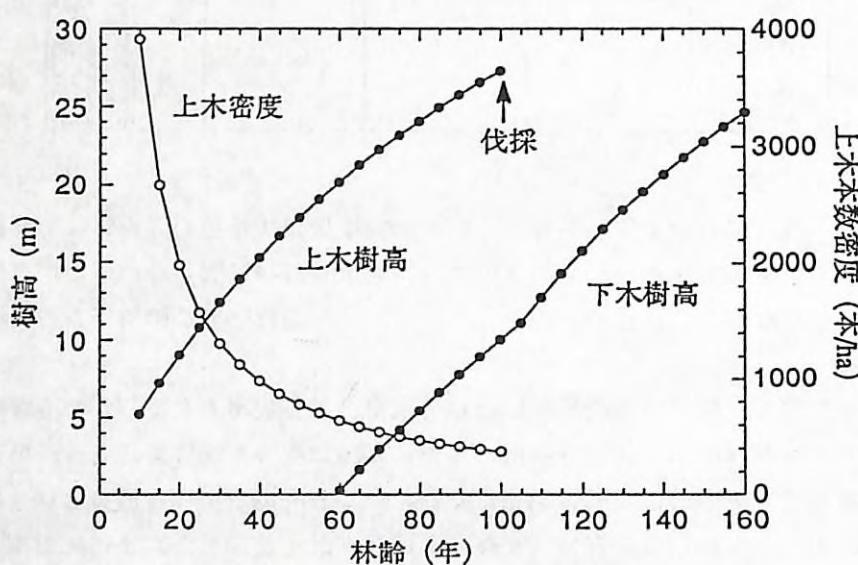


図2-9. 一般的な密度管理を行った場合の下木の樹高成長

複層林密度管理を行った場合、早くから上木の密度を低く管理するため、木の成長速度の抑制比率は14~34%であった。一方、一般的な密度管理方法では下木の成長速度の抑制比率は36~39%と高く、通常の密度管理では下木の成長速度は通常の6割程度にとどまることが推定された。下木の40年生時の樹高は一般的な密度管理の場合では10.1m、複層林密度管理の場合では12.1mと推定された。ちなみに、一斉林の場合の樹高は15.3mなので、一般的な密度管理では5.2m、複層林密度管理では3.2mが上木の影響のため抑制されたものと考えてよい。この樹高成長の差は一般密度管理では約17年分の成長の遅れであり、複層林密度管理の場合では約10年分の成長の遅れである。

上木の主伐後は光環境が改善され、下木の樹高成長に関する抑制はなくなる。このモデルにおいても上木伐採後に急激な下木の成長が見られた。下木の100年生時には一般的な密度管理の場合では24.6m、複層林密度管理の場合では25.9mと推定された。一斉林の場合では27.3mであるから、一般密度管理の場合では2.7m、複層林密度管理の場合では1.4mの成長の遅れが推定されることになる。

以上の手法は複層林における下木の動態として一般的な知見に反するものではない。しかしながら、推定値の精度に関しては判断の基準はなく、これから複層林実験の結果を待たざるを得ないであろう。

このように、本モデルの最大の問題点はモデルの基礎を支えるデータの不足である。特に、相対照度あるいは収量比数と成長量の関係を把握することは重要である。これらの資料の収集が本研究のみならず複層林研究全体の問題と考える。

また、本モデルは上層樹高と本数密度から一意的に相対照度が定まるこを前提としたが、密度が疎になるにつれて枝張りによる照度変化が重要になってくる。従って、本モデルとしてはさらに枝打ち効果を加味する余地があると考える。

#### 引用文献

- (1) 安藤 貴: スギ林間伐後の林内相対照度, 林試研報, 323, 58~59(1983)
- (2) 藤森隆郎: 複層林の生態と取扱い, わかりやすい林業研究解説シリーズ, 93, 林業科学技術振興所, 96pp(1989)
- (3) 河原輝彦: 人工庇陰下の植栽木と樹下植栽木の成長比較, 林試研報, 323, 133~134(1983)
- (4) 松本光朗: 針葉樹混牧林に関する研究(I)適正放牧強度の推定, 日林誌, 72(4), 286~291(1990)

(九州支所経営研究室 松本 光朗)

### 3) 安藤・竹内～河原モデルを適用した成長予測

～アカマツ～ヒノキ二段林を対象にして～

#### (1) 背景・目的

近畿・中国地方の低山、丘陵地帯には、アカマツを上木、ヒノキを下木とする二段林が広範囲に、そして複層林としては最も多く存在し、国有林にも多く見られる。特に広島県の東部、兵庫県氷上郡、滋賀県の琵琶湖周辺に多く、京都府北桑田郡、大阪府の箕面国有林、鳥取県倉吉市周辺、島根県の川本営林署艾山国有林などにもみられる。その成因としてヒノキ人工林内に天然更新したアカマツが、ヒノキの樹高を追越して自然に二段林状態になった場合と、アカマツ林内にヒノキを樹下植栽して育成した場合がある。

前者は広く普遍的に存在し、アカマツが容易に天然更新するアカマツの適地に、ヒノキが造林された場合にみられる。植生的には、アカマツの天然生二次林のうち、暖帶中南部のコシダ型、ヒサカキ型、ウラジロ型、及びネザサ型など人為作用の加わりの度合の大きいアカマツ群落の出現する地域にみられる。一方、人為化の少ないアカマツ林では広葉樹が多くなりヒノキの生育を阻害するため、また、ハゲ山、瘠薄林に相当するネズミサシー・ヒサカキ型の諸群落型ではヒノキ植栽が不適であるためともに二段林とはならない<sup>1)</sup>。アカマツの樹齢がヒノキとほぼ等しく混交林と呼ぶべき林分で、その収穫量についてはアカマツとヒノキの本数混交率と材積の関係を中心に、河原・山本<sup>2)</sup>によって報告されている。

後者の事例は少なく、関東平野の平地林での事例や、気象害回避を目的にしたもの<sup>1)</sup>、風致を重視したもの（奈良営林署地獄谷国有林）などが報告されているにすぎない。アカマツ～ヒノキ二段林は、アカマツが日光をよく透過するので下木の成長が良好で仕立てやすく、また、ヒノキ単純林にくらべ土壤をよく保全する<sup>1)</sup>。近年マツクイムシによるマツ枯れが進行し、アカマツ適地へのヒノキ造林が進行していることも考えあわせると、土地生産力の低い林地での複層林として大変有望であり、また、アカマツ林からヒノキ林への林種転換の1方法となるものと思われる。

しかし、樹下植栽によるアカマツ～ヒノキ二段林の林分構造や収穫量については、あまり研究されていない。そこで、このタイプの二段林の成長について、固定試験地の測定資料をもとに検討した。また、下木（ヒノキ）の成長を予測する計算プログラムを作成し、プログラムを用いて、固定試験地とほぼ同様な施業を行った場合の下木の成長をシミュレートし、試験地の実測値と比較検討を試みた。

#### (2) 材料・方法・結果

##### ア. アカマツ～ヒノキ固定試験地の成長

大阪営林局は、1940年2月、奈良市高畠町の地獄谷国有林内に、地獄谷アカマツ伐林収穫試験地を設け、アカマツ～ヒノキ・スギ複層林の収穫に関する研究を始めた。試験地

の調査は戦後、林業試験場関西支場、及び森林総合研究所関西支所に引きつがれ、以後52年間継続して調査されている。

試験地は海拔高200～240m、傾斜約20度の南東斜面で土壌型はB<sub>1(d)</sub>～B<sub>8</sub>型である<sup>3), 4)</sup>。アカマツ～齊林をアカマツ、ヒノキ、スギの混交する複層林に仕立てるために、1923年12月当時46年生のアカマツを択伐し、その跡地にヒノキ・スギを植栽した。試験地は3箇分地に分かれ、それ以下のような施業を行ってきた。

1分地 ヒノキ択伐誘導区 0.2648ha

上木アカマツ、下木ヒノキの二段林作業

2分地 スギ択伐誘導区 0.3446ha

アカマツ、スギ、ヒノキの択伐作業

3分地 自由施業区 0.3556ha

アカマツ皆伐作業とスギ・ヒノキ補植

なお、試験地設定時のアカマツの平均樹高は、1分地では21.3m、2分地は20.1m、3分地は16.2mで、1、2分地は近畿地方アカマツ林収穫表の3等地、3分地は3等地以下に相当する。

1986年までに計8回調査を行い、択伐はアカマツを主に、1923, 1940, 1965年に行い、ほかの調査時点では枯損木を伐採する程度にとどめた（表2-4）。

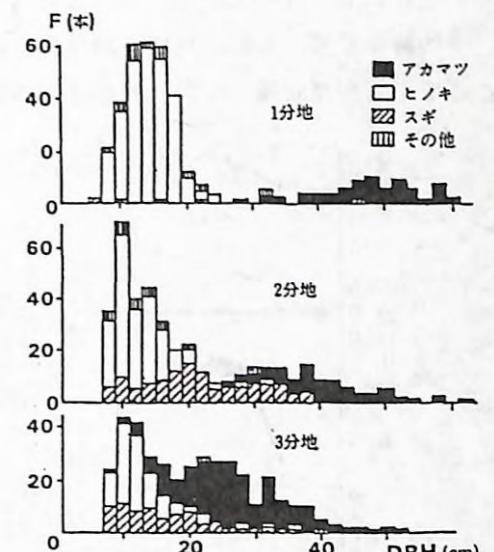


図2-10. 下木が42年生時の直径分布

表2-4. 地獄谷試験地の施業の経過

年 度:	1923	'39	'49	'54	'59	'64	'69	'75	'86
林齢(上木)	46	63	73	78	83	88	93	99	110
(下木)	0	17	27	32	37	42	47	53	64
調 査:		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
施 業:	W WW WWW VVVV								
(1分地)	SR	J S	D	D	S	D	D R DR		
(2分地)	SR	J S	D	D	S	D	D R DR		
(3分地)	SR	J S	D	D	S	D	D R DR		

S:上木伐採 D:アカマツ枯損木伐採 R:樹下植栽 J:下木除伐 W:下刈り V:蔓切り

択伐率は材積で1, 2, 3分地それぞれ1940年が8.2%, 14.2%, 15.3%, 1965年が48.4%, 37.2%, 31.5%であった。樹下植栽は1923, 1940, 1977, 1979年に行った。なお、1923年

の伐採率及び樹下植栽本数は、記録が残っていないため不明である。1979年ごろよりマツクイムシの被害があらわれ、枯損木を順次伐採し、アカマツの本数が減少してきている。測定は胸高直径、樹高、幹級区分、枝下高について行ったが、欠測したときがある。材積は大阪営林局で使用されている幹材積表から算出した。

図2-10に上木が88年生、下木が42年生であった1965年時点での樹種別直径分布を示す。1分地は双峰型分布を示し、二段林型を呈している。2、3分地は双曲線型を示し、かなり伐採林に近い林型<sup>5)</sup>となっていると思われる。

平均胸高直径、本数、材積、収穫量及び材積成長率の経年変化を図2-11に示す。

ここで平均胸高直径、本数、材積は伐採または枯損木の伐採を行ったあとの値である。

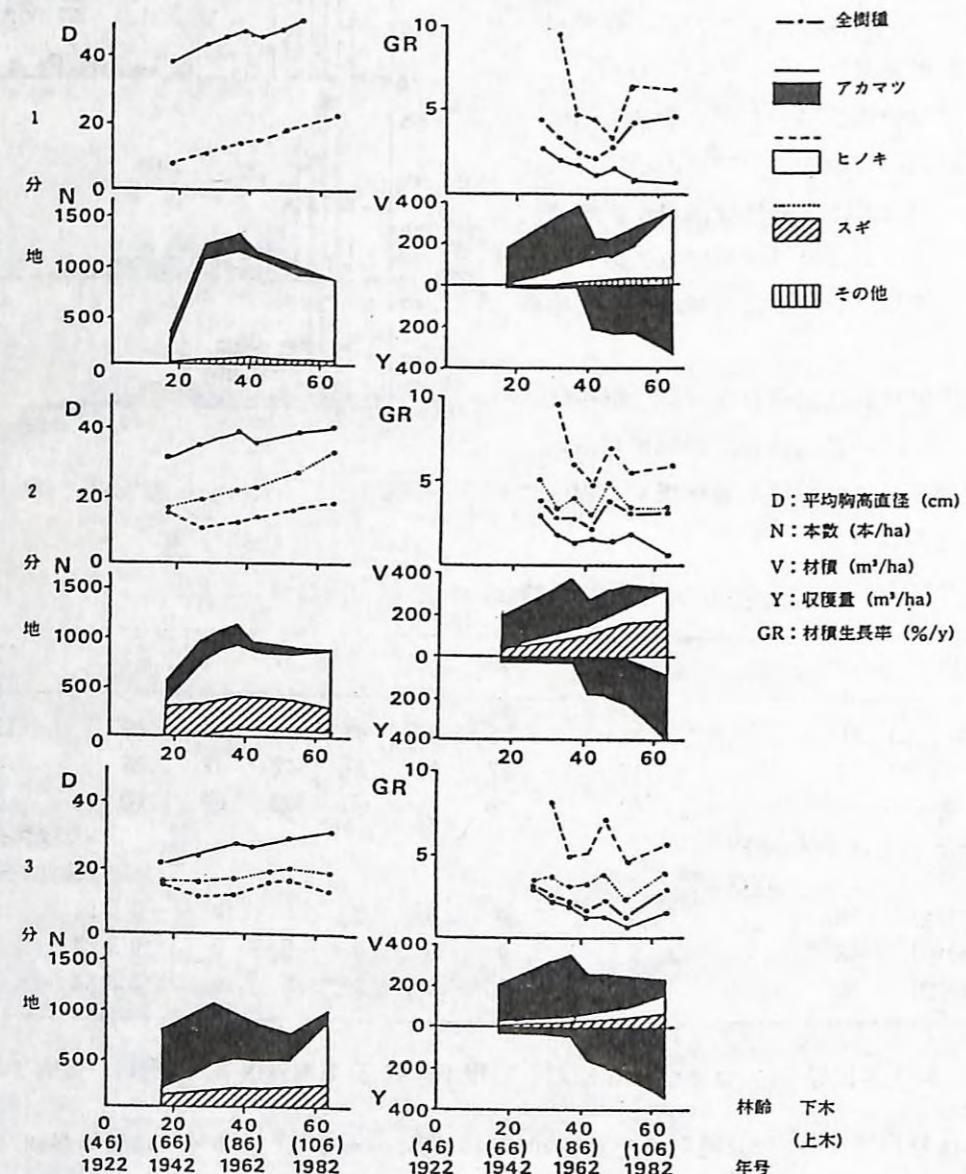


図2-11. 地獄谷試験地の林分構造の経年変化と成長率

第1分地は下木が64年生のときに材積が352.0m³/haあり、1940年から1986年までに370.3m³/ha収穫した。アカマツは181~49本/haと比較的少なく、ヒノキの本数は約500本/haでほぼ一定で、スギは約300本/haと少なかった。現在アカマツがすべて枯死したためヒノキの単純林となっており、ヒノキの胸高直径は22.1cmに達している。

第2分地は1986年に材積が339.5m³/haで、収穫量は403.4m³/haであった。アカマツは伐採や枯損によって229本/haから97本/haに減少し、スギは約300本/ha、ヒノキは約50本/haでほぼ一定であった。また、ヒノキに比ベスギの直径成長が大きかった。

第3分地は材積、収穫量とも最も少なくそれぞれ227.4m³/ha、353.6m³/haであり、スギ、ヒノキとも直径成長が小さかった。アカマツが604~112本/haと多く、スギは約200本/ha、ヒノキは約250本/haでほぼ一定であった。それぞれの樹種の材積成長率はスギが6.0~2.3%、ヒノキが9.5~4.7%であり、高齢であるにもかかわらず著しく高い値を示し、特に1965年の伐採以後高い成長を維持した<sup>6,7)</sup>。

#### イ. 予測モデルによる収穫予測

樹下植栽されたヒノキの成長については、野外試験で成長と相対照度の関係が論じられている<sup>1)</sup>。また、人工庇陰実験での照度とヒノキの樹高成長の関係についても報告されている<sup>8)</sup>。河原<sup>9)</sup>は上木の伐採率（間伐率）と、林内の相対照度の伐採直後及びその後数年間の変化の関係から、複層林を仕立てるための林内照度の管理について検討している。また、安藤・竹内<sup>10)</sup>は、上木の伐採による相対照度の変化によって下木の樹高成長を推定し、また、下木の樹高・林分密度と材積・平均直径などの林分因子との関係に林分密度管理図の諸式が適用できると仮定して、両者を組み合わせて、スギ、ヒノキ二段林の成長予測方法を検討している。

二段林の下木の成長法則に関する理論は、いまだ確立したものを見ないので、二段林に適用できる理論的な成長モデルを作成し、実用に耐えうる収穫予測を行うのは現状では困難だと思われる。そこでここでは、河原<sup>8,9)</sup>に従い上木であるアカマツの伐採率から相対照度、下木の成長を予測し、安藤・竹内<sup>10)</sup>に従い林分密度管理図を援用して下木の成長を予測することにした。アカマツヒノキ複層林において下木（ヒノキ）の成長を予測する計算プログラムを作成し、それを用いて、二段林である地獄谷試験地の1分地とほぼ同様な施業を行った場合の下木の成長をシミュレートし、試験地の実測値と比較検討した。

まず、アカマツ林に対し、材積でx(%)の上木伐採を行ったあとの相対照度RI(%)は式(1)で求められる。アカマツの林内は伐採前でも明るいことから、伐採前の林内相対照度を25%とした<sup>9)</sup>。また、50年生以上の林分では、伐採後の樹冠の再閉鎖による相対照度の変化は非常に小さいことから<sup>9)</sup>、伐採後の相対照度の低下はないと仮定した。皆伐地に植栽されたヒノキに対する樹下植栽されたヒノキの相対樹高(RH)、相対直径(RD)、相対材積(R

$V$ )は、相対照度に対しそれぞれ式(2)～(4)のような関係をもつ。これらの式より相対照度別に、樹下植栽されたヒノキの成長割合を求めると、表2-5のようになる。

$$RI = 0.0394 \cdot x^{1.667} + 25 \quad \dots \dots (1)$$

$$1/RH = \{(0.123/RI) + 1/114\}/100 \quad \dots \dots (2)$$

$$1/RD = \{(0.219/RI) + 1/128\}/100 \quad \dots \dots (3)$$

$$RV = RD^2 RH \quad \dots \dots (4)$$

ある時点 $t_0$ にヒノキが植栽されたとすると、皆伐地に植栽された場合の林齢( $t_1, t_2, \dots, t_n$ )に対する樹高が( $h_1, h_2, \dots, h_n$ )のときの、各期間での下木の成長率( $RH_{1-2}, \dots$ )を式(2)から求める。すると、下木の樹高( $H_1, H_2, \dots, H_n$ )は式(5)のように求められる。

$$H_2 = H_1 + (h_2 - h_1) \times RH_{1-2}$$

$$(ただし、H_1 = h_1 \times RH_{0-1}) \quad \dots \dots (5)$$

表2-5. 林内相対照度と下木  
(ヒノキ)の樹高、地際直径、  
材積の成長割合

相対照度	樹高	直径	材積
(%)	(m)	(cm)	(m³)
5	.30	.19	.01
10	.47	.34	.05
15	.59	.45	.12
20	.67	.53	.19
25	.73	.60	.26
30	.78	.66	.34
35	.81	.71	.41
40	.84	.75	.47
45	.87	.79	.54
50	.89	.82	.60
55	.91	.85	.66
60	.92	.87	.70
65	.94	.89	.74
70	.95	.91	.79

安藤・竹内<sup>10)</sup>より一部改変して引用

下木の施業を考えてヒノキの本数の変化を決め、樹高と本数から密度管理図の諸式を利用して管理図上の胸高直径 $d_2$ 、 $d_1$ を求め、直径の相対成長率( $RD_{0-1}, RD_{1-2}, \dots$ )をかけ、下木の胸高直径 $D_2, D_1$ を求める(式(6))。

下木の間伐を行った場合は式(7)より間伐後の胸高直径 $D_{2T}$ を求める。

$$D_2 = D_1 + (d_2 - d_1) \times RD_{1-2} \quad (ただし、D_1 = d_1 \times RD_{0-1}) \quad \dots \dots (6)$$

$$D_{2T} = D_2 \times (d_{2T}/d_2) \quad \dots \dots (7)$$

材積についても材積の相対成長率( $RV_{0-1}, RV_{1-2}, \dots$ )より、直径と同様な手法で求める(式(8)、(9))。

$$V_2 = V_1 + (v_2 - v_1) \times RV_{1-2} \quad (ただし、V_1 = v_1 \times RV_{0-1}) \quad \dots \dots (8)$$

$$V_{2T} = V_2 \times (v_{2T}/v_2) \quad \dots \dots (9)$$

なお、安藤・竹内<sup>10)</sup>では、上木の伐採による下木の被害を見込んでいるが、ここでは計算プログラムに組み込みます、下木の被害による本数減少は、間伐による本数の減少に等しい

表2-6. アカマツ-ヒノキ二段林の施業モデルと下木の成長予測

下木 樹齢 (年)	モデルの仮定		モデルによる推定値				下木実測値		上木の林分構造						
	伐採 率 <sup>**</sup> (%)	本数 率 <sup>**</sup> (%)	樹高 (m)	平均 直径 (cm)	材積 (m³)	相対 照度 (%)	樹高 (m)	本数 (cm)	平均 直径 (cm)	材積 (m³)	樹高 (m)	本数 (%)	伐採 率 <sup>**</sup> (%)	平均 材積 (m³)	林齢 (年)
0	50	1500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46
10	1500	3.2	4.0	3.1	51.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	1500	5.0	7.2	13.3	51.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60
17	1000	5.0	7.4	9.2	51.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	1000	6.0	9.3	18.0	51.8	6.3	151	7.6	2.2	21.3	200	37.3	198.9	63	
27	8	1000	6.0	9.3	18.0	55.4	6.3	151	7.6	2.2	21.3	181	8.4	37.5	182.1
27	1000	8.8	13.6	57.8	55.4	8.7	1009	10.9	44.2	22.2	181	42.5	239.2	73	
32	1000	8.8	13.6	57.8	55.4	8.7	1005	10.9	44.1	22.3	173	1.8	43.1	234.8	
37	1000	9.9	15.2	82.8	55.4	10.1	1046	12.5	69.7	22.6	173	-	45.1	259.0	78
37	1000	10.8	16.5	108.7	55.4	11.1	1076	13.4	88.5	22.8	173	47.0	281.3	83	
42	1000	10.8	16.5	108.7	55.4	11.1	1065	13.4	88.3	22.8	170	0.8	47.3	279.0	
42	1000	11.6	17.6	134.1	55.4	11.8	1065	14.7	109.7	22.9	170	48.7	297.7	88	
67	1000	11.6	17.6	134.1	89.6	11.8	1005	14.7	106.8	22.7	64	67.1	45.6	98.0	
47	1000	12.4	18.6	170.3	89.6	12.4	1005	16.6	122.7	22.8	64	-	105.8	93	
17	950	12.4	18.8	164.8	92.9	12.4	956	16.6	121.6	22.8	53	17.4	47.1	87.4	
53	950	13.2	19.7	193.2	92.9	13.4	956	19.0	178.4	22.8	53	49.0	91.8	99	
57	900	13.2	19.9	186.8	92.9	13.4	884	19.0	166.3	22.8	49	3.0	50.3	88.9	
57	900	13.6	20.4	203.3	92.9	-	884	-	-	-	49	-	94.8	99	
100	850	13.6	20.6	196.2	100.0	-	873	-	-	-	0	100.0	-	0.0	
64	850	14.3	21.4	221.4	100.0	16.1	895	21.5	323.5	-	-	-	-	110	
64	850	14.3	21.4	221.4	100.0	16.5	850	22.1	320.8	-	-	-	-	-	

注) \*: 下段は上木ないし下木の伐採後の値 \*\*: 材積伐採率

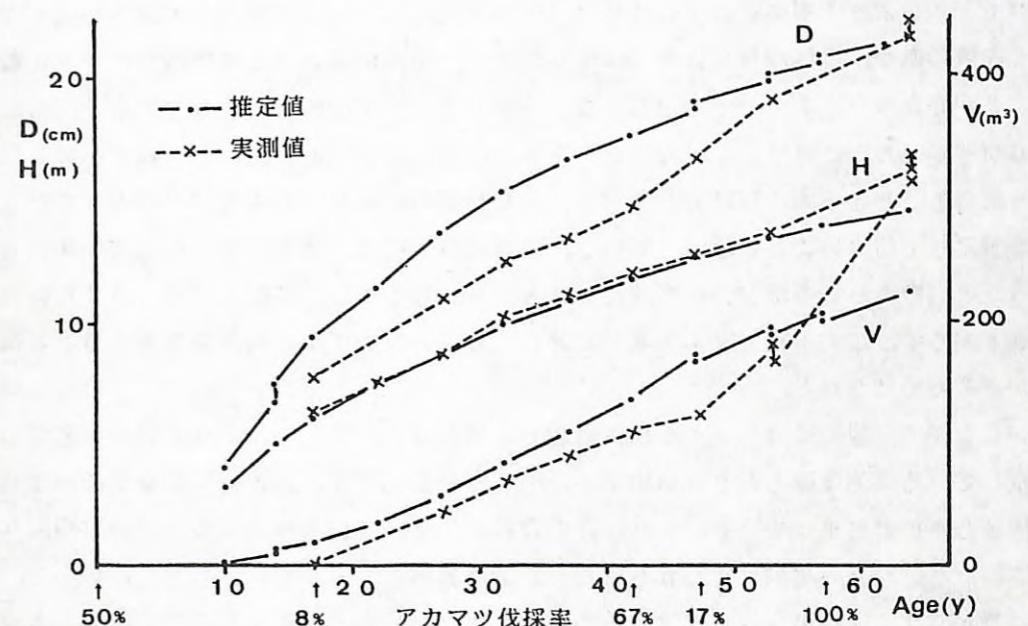


図2-12. モデルによる下木(ヒノキ)の成長

として処理することにした。

以上のモデルによって、下木がほぼヒノキだけである地獄谷試験地1分地とほぼ同じ施業を行った場合の下木の成長を推定した。下木植栽時のアカマツの材積伐採率は50%，ヒノキの植栽本数は1500本/haと仮定した。その後は試験地の施業にあわせ、表2-6に示したように、下木が17年生、42年生、47年生、及び57年生の時に上木が伐採され、57年生の時には上木がすべて除かれたとした。また、下木は14年生のときに除伐され立木本数は100本/haに減少し、以後42年生まで本数の変化はなく、その後徐々に本数が減少するとした。皆伐地に植栽されたヒノキの樹高成長は、周囲のヒノキ一斉林の樹高から、中国地方ヒノキ林分収穫表の3等地に相当するとした（表2-6）。ここで収穫表にない林齢の樹高は、ミッチャーリッヒ式によってあてはめて求めた。

図2-12及び表2-6に、以上の条件での下木の成長の推定値を、試験地での実測値とあわせて示す。モデルによる樹高の推定値は、上木が残存している間は実測値とよく一致したが、上木がなくなったあとでは試験地のヒノキの樹高が急激に大きくなつたため、過小に推定された。直径は下木が17~47年生にかけて推定値のほうが大きかったが、上木が53年生以降は実測値と差が小さくなり、64年生では実測値よりやや小さく推定された。材積は樹高と直径の差が相乗されたため、実測値と推定値の差が大きく、47年生までは過大に推定され、上木がなくなった64年生では実測値の約70%にすぎず、かなり過小に推定された。

### （3）考察・問題点

予測モデルによる下木のヒノキの成長は、樹高成長については試験地での測定結果と大変よく一致したが、直径成長ではあてはまりが悪く、樹高成長よりも直径成長の予測が難しいことが分かった。また、上木がなくなったあとでの下木の成長がかなり大きく、あてはまりが悪かった。これは、この方法が一斉林の樹高成長に照度によって1以下の値の成長率を乗じることを予測の基礎としており、同じ林齢の一斉林より樹高成長が大きくなることを想定していないことに起因している。現実の林分では、植栽木がいわば何十年か若返ったとも考えられるほどの樹高成長の増大が見られるのに、このモデルではそれに対応できおらず、この手法で上木をすべて除去したあとでの下木の成長を予測することは問題があると感じられた。

しかしながら、現実にはヒノキを樹下植栽した林分は少なく、下木の成長経過を継続して測定している事例はほとんどないので、この報告でもモデルの良否を1試験地の測定結果で検証したにとどまっている。また、この資料も、ヒノキ植栽時のアカマツの材積間伐率が不明なことなど、実際に行われた施業の経過を厳密にシミュレートしていないので、この結果からすぐ手法の良否を断定することはできないであろう。またここでは、アカマツの皆伐跡地に植栽したヒノキの樹高成長を収穫表の3等地に従うと仮定したが、本来は

複層林造成前のアカマツの樹高から、ヒノキを植栽したときの地位指数を推定すべきである。

従って、予測モデルをより精度が高く、良好な予測が可能なものにするには、下木-上木の成長に関する継続的な測定資料を多く蓄積して手法を改良する必要がある。特に、上木を完全に除去したとの成長を予測する方法の確立が望まれる。また、アカマツの樹高から、ヒノキの地位指数を推定する手法の開発も必要である。

この収穫予測モデルにはまだ問題点が多くあるが、下木の成長についておよその検討をつけるには十分だと思われる所以、いろいろな強度の間伐を行ったアカマツ-ヒノキ複層林の収穫量のおおよその基準を与えること、また、上木の本数調整など施業の基準を提供するのに有効に活用することができると思われる。

### 引用文献

- (1) 日林協編：複層林の施業技術，日林協，東京，89~107(1982)
- (2) 河原輝彦・山本久仁雄：ヒノキ・アカマツ混交林に関する研究（Ⅲ），混交林の材積について，日林誌，68(8)，327~332(1986)
- (3) 上野賢爾・長谷川敬一：地獄谷アカマツ、ヒノキ、スギ伐用材林作業収穫試験地，林試関西支場年報，17，39~47(1976)
- (4) 上野賢爾・山崎安久：地獄谷アカマツ天然林伐用材林作業収穫試験地調査報告，林試関西支場年報，6，31~35(1966)
- (5) 大金永治ほか：日本の伐用，日本林業調査会，東京，370pp.(1981)
- (6) 家原敏郎：収穫試験地の生長経過と林分構造の推移（Ⅰ），林試関西支場年報，28，45~48(1987)
- (7) 家原敏郎：アカマツ-スギ・ヒノキ複層林の成長について，一地獄谷固定試験地の成長の概要一，第99回日林論，127~128(1988)
- (8) 河原輝彦：人工庇陰下の植栽木と樹下植栽木の成長比較，林試研報，323，133~134(1983)
- (9) 河原輝彦：複層林を仕立てるための林内照度管理，林業技術，584，17~20(1990)
- (10) 安藤 貴・竹内郁雄：スギ、ヒノキ二段林の密度管理指針の作成と成長予測方法の検討，森林計画研究会報，331，1~11(1990)

（関西支所経営研究室 家原 敏郎）

#### 4) 二段林の施業事例における成長・収穫の解析

～上木の配置による下木の生育空間及び成長～

##### (1) 背景・目的

東北地方における二段林施業の林分は、「上木スギー下木スギ」の樹種の組み合せが最も多く、ほかの樹種の組み合せの過半数を占める。その林齢構成は、上木が30年生以上、下木が10年生以下の林分が大部分である。従って、その林分形態は二段林を造成した直後の林分で、複層林の成長特性を把握分析できる状況にはない。

そこで、東北地方、特に秋田地方の国有林において、先駆的に行ってきただ既往のスギ二段林施業林分を対象に、林分の施業実態の特徴を明らかにすると同時に、成長解析を行う中から、複層林の収穫予測に結びつく手法の端緒を見い出そうとするものである。

##### (2) 分析方法

ア. 複層林（二段林）試験地として継続的に調査を行い、林分成績の把握を行ってきた2林分の事例を基に、林齢の推移に伴う成長・収穫などの解析を行う。

対象林分は、つぎの2林分である。

事例1：相内沢スギ人工林収穫試験地（秋田局十和田署12・は）

事例2：務沢スギ天然林施業試験地（秋田局秋田署18・ぬ）

イ. 前項の林分実態を基に、複層林の成長法則の特性について解析を行う。

ここで解析の視点は、上木の配置によって異なる生育空間を与えられたときに、下木はどのような成長経過をたどるかを把握することにある。

このため、二段林施業を行ってきた林分を対象に、上木の環境条件を表す尺度を設定する。この一つは、上木の樹木配置を基に、相隣接する上木で囲まれる面積を「孔状生育空間A」とする場合<sup>3)</sup>と、二つには、「孔状生育空間A」とその空間に関与する4本以上の上木の材積合計を局所材積Vとし、前者の孔状生育空間Aを後者の局所材積Vで除した値を求め、これを「局所材積密度D<sub>v</sub>」とする場合<sup>2)</sup>の二つの尺度を用いて、下木の成長との関係を明らかにする（図2-13）。

これらの尺度を用いた解析には、局所的生育空間の大きさにおける下木の成長、局所生育空間と相対照度の関係、相対照度と下木の成長などについて検討を行う。

##### (3) 結果と考察

ア. 二段林施業事例による成長収穫の実態

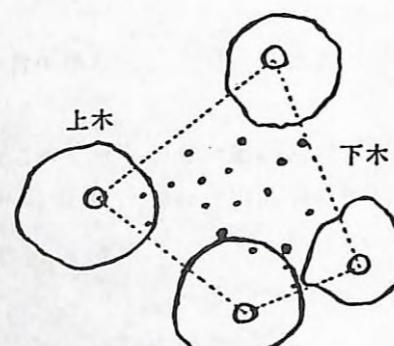


図2-13. 孔状生育空間の決め方

##### ① 相内沢スギ人工林試験地の事例

###### 1) 試験地の取り扱い経過と概況

当該試験地は、秋田営林局十和田営林署12林班は小班にあって、林分状況は試験地面積0.20ha、南斜面、平均傾斜7℃、土壤型B<sub>b</sub>型の林分である。

1935年の林齢31年生のときに人工林収穫試験地として設定された。1956年、上木の林齢が51年生のときに、林床面にスギ伏条性更新稚幼樹が多数認められたため、これまでのB種間伐を主とする施業から、この稚幼樹を育成するための施業、すなわち、「上木スギー下木スギ」の二段林施業に転換を図った。以来、1986年の林齢81年生までの30年間、二段林施業を継続してきた。さらに、1958年には間伐前の材積360m<sup>3</sup>/haから間伐木130m<sup>3</sup>/ha（間伐率36%）の強度の上層間伐を行い、1987年には施業後2回目の上層間伐による強度の間伐を行った。

###### 2) 上木の林分構造と成長の推移

本試験地の上木の林分推移を秋田地方スギ林分密度管理図に描くと、図2-14のとおりになる。上層間伐の終ったあとの収量比数Ryは、0.33～0.35の範囲になる<sup>2)</sup>。

また、林齢51年生の間伐後と林齢81年生について、樹高階ごとの本数分配率による上木と下木の垂直的構造を表すと、図2-15にみられる分布の変化になる。最近、林齢81年生における下木の樹高の上限は、上木樹冠の枝下高と重なる状態までになっていて複層林らしい林分状態になっている。

###### 3) 下木の更新と成長の推移

上木の林齢51→63→81年までの3回の調査による稚幼樹の本数の推移をみると、ha当たり本数4,024本→3,903本→3,766本になり、過去24→3,903→3,766本になり、過去

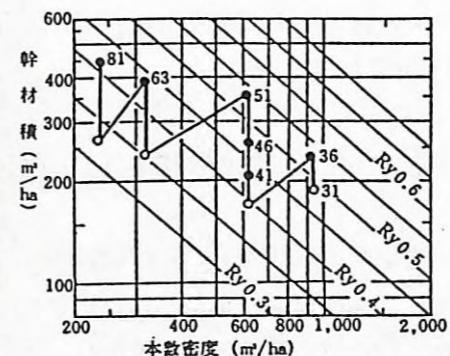


図2-14. 相内沢試験地の上木の施業経過

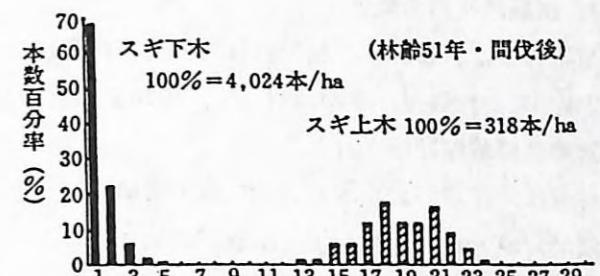


図2-15. 樹高階別本数による分布の推移

30年間で6.4%の本数減少になる。この値は、意外に小さい。この原因は、高さ10~20cmほどの稚樹でも伏条性のため、なかなか枯死に至らないからである。

また、下木の本数を樹高階別本数占有率で整理し、林齢による樹高階ごとの本数の推移と樹高成長の経年変化をみると、図2-16のとおりになる。

この結果から見ると、林分中に生育するスギ下木の稚樹本数は、例えば、林齢51年では総本数4,024本/haになるが、この樹高階の範囲は最高5mの範囲に分布している。この下木の樹高階に対する本数分布の状態は、①式の回帰式で表されL字型の分布になる。そして本数占有率は、樹高階1mで約65%，5mでは0.8%である。

同様に、30年を経過した林齢81年生での最大樹高は11mであり、このときの本数占有率は0.4%である。

これらの林齢の推移による関係式を表すと、つぎの3式になる。

$$\text{林齢51年: } N_{51} (\%) = 217.4273 \cdot e^{-0.5058} \dots \dots \dots \text{①}$$

$$\text{林齢63年: } N_{63} (\%) = 92.8208 \cdot e^{-0.2973} \dots \dots \dots \text{②}$$

$$\text{林齢81年: } N_{81} (\%) = 52.1074 \cdot e^{-0.1834} \dots \dots \dots \text{③}$$

ここに、 $N_i$ : 本数率(%)、 $e$ : 自然対数

## ② 務沢スギ天然林施業試験地の事例

### 1) 試験地経過の概要

当該林分は、1928年、秋田営林局秋田営林署18林班ぬ小班に設定され、その林況は面積1.0ha、東向き斜面、平均傾斜5°、土壤型Bd型である。スギ天然生林（推定250年前後）を対象に試験が開始された。

林分は、設定前成立本数191本/ha、材積908m³/haの天然林に択伐を行い、本数46本/ha、材積331m³となった林分で、試験が開始された。

この状態の林床にスギの下木植栽を行い、「上木スギ天然林－下木スギ人工林」の二段林形態に誘導を図った。下木植栽は、スギをha当たり1,500本植栽した<sup>1)</sup>。

### 2) 上木の林分構造の推移

1928年の設定時から1987年現在までの59年間にわたる上木の平均形態の推移を表すと図2-17のとおりになる。

これによると、各林分因子の成長は、平均胸高直径が設定時の80cmから59年間に115cmになり、この間の連年平均成長量は約0.58cmになる。また、平均樹高は36mから39mになり、同様に、材積では、設定時の331m³/haが697m³/haになり、設定時の約2倍の蓄積になった。この間の連年平均成長量は、約6.1m³/haである。

また、上木の樹冠面積の拡張状態の推移をみると、設定時0.18haの樹冠面積は、設定後22年目で0.22ha、59年目では0.41haに拡張している。

## 3) 下木の林分構造の推移

スギ下木について、設定時から林齢59年生までの成長経過をみると、図2-18のとおりになる。

林齢59年生の林分成績に限ると、平均直径は、24.8cmになる。これを秋田地方スギ林分収穫表2等地と比較すると、収穫表の値は33cmであり、当該下木は約8cm小さい。平均樹高は14m、これに対して収穫表は23.6mで、約10mの差になる。また、材積は239m³/ha、この連年成長量は5m³/haである。

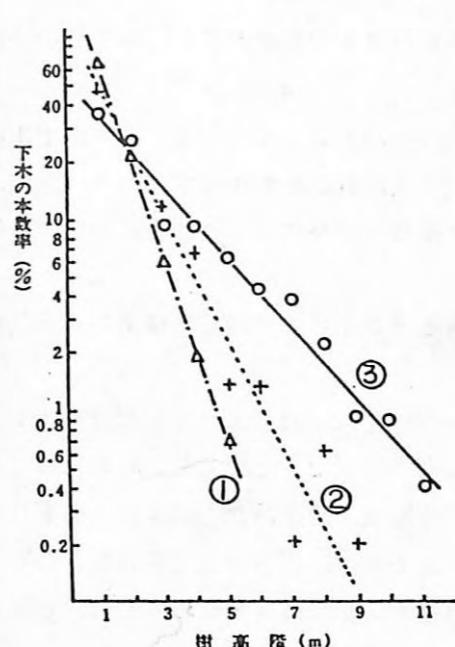


図2-16. スギ下木の樹高階別本数の推移

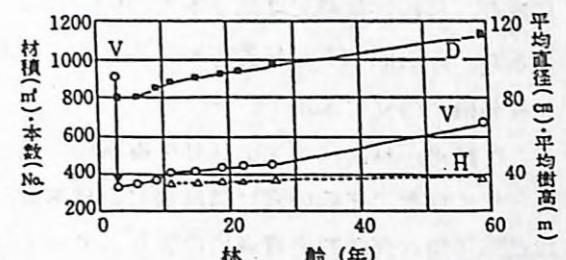


図2-17. 上木の成長の推移

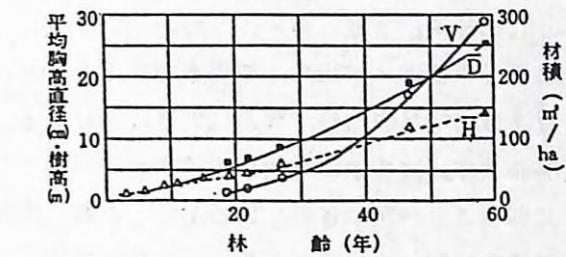


図2-18. 下木の成長の推移



図2-19. 下木の樹高階別本数分布曲線の推移

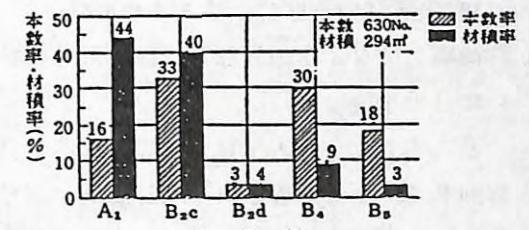


図2-20. 寺崎式樹径級区分による本数・材積占有率

一方、林齢59年生のときの林分総材積は、上木の697m<sup>3</sup>/haに下木の293m<sup>3</sup>/haを加えた990m<sup>3</sup>/haになり、この連年成長量は11.2m<sup>3</sup>/haになる。これを収穫表2等地の連年成長量12.3m<sup>3</sup>/haと比較すると、ほぼ同等の値になる。

さらに、下木の材積成長の推移では、59年間のうち前半の30年間は50m<sup>3</sup>/ha、後半の約30年間で240m<sup>3</sup>/haの材積生産になり、後半の材積増加の著しいことが分かる。

さらに、下木の成立本数の推移をみると、設定時の1,500本/haは、植栽後9年目までに急激な減少を示し、残存率約60%であった。これ以降は徐々に一定の割合で減少する傾向に変り、林齢59年時では成立本数630本/ha、残存率42%である。

また、この間の主な林齢における下木の樹高階別本数分布曲線を表すと、図2-19のような林分構造の変化を示す。

この結果、林齢59年生の林分の樹高階の範囲は、3~28mに及んでいる。これは上木の樹冠下や局所の庇蔭の強い箇所などの林木は、枯死・先折れなどの被害木になり、反面、成長が可能な局所的生育環境に置かれている林木は優勢な成長になるため、このような幅広い分布型を形成する原因になっている。

この林齢59年生時の下木について、寺崎式樹型級区分を用いて分類した結果を、本数率・材積率によって表すと、図2-20のようになる。

この結果、本数占有率は、B<sub>2c</sub>=33%，B<sub>4</sub>=30%となり、この2タイプで大部分を占める。これを不良木・被圧木・被害木であるB<sub>2d</sub>・B<sub>4</sub>・B<sub>5</sub>の3タイプにまとめると、この三者で成立本数の52%を占め、異常に大きな値になる。この原因は、設定時から59年間、除間伐を実施せず、被害木が林地に蓄積されていたことが一因である。複層林は冠雪害などの被害に弱いことが指摘されているが<sup>6)</sup>、これと同様の被害傾向が当該林分にもみられ、冠雪害による梢頭部の折損木が多く認められる。

また、樹型級区分を基に、各樹型級の材積占有率达到みると、A<sub>1</sub>=44%，B<sub>2c</sub>=40%になり、この両者で下木の材積の大部分を占める。

#### イ. 局所生育空間における下木の成長について

##### 1) 局所材積密度による下木の成長

前項ではタイプの異なる二段林形態の林分を対象に、上木と下木の林分状態の推移について分析を行った。

ところで、一斉人工林から二段林への誘導を想定すると、上木の樹高や林冠の構成はほぼ同じで、樹木配置もほぼ均等配置に調整されて、林床面に均一の陽光量が射込む生育環境を与えて下木を均質に育成するのが林分の取り扱いの条件と考えられる。

こうした林分施業の条件が得られるならば、複層林、特に二段林の収穫予測を単相林に準じた形で可能にする基本的条件が成立すると思われる。

しかし、林分内を上木・下木を含めて均一な生育環境に調整する育林技術は極めて難し

い。先駆的な二段林への誘導を目的とした前掲の林分においても、上木の配置の不均一性のために、現実の下木の成長は局所的な成長差となって明確に現れており、均質な下木の成長管理を期待することの難しさを示している。

従って、ここでは、こうした上木の配置の不均一性が、下木の成長に与える影響について、林分内の上木の局所的密度の違いを基にした成長状態を把握することとした。

その上木の局所的密度の考え方は、すでに前掲、図2-13に表した。

① ここでは相内沢人工林試験地を対象に、局所材積密度D<sub>u</sub>を用いたときの下木の成長との関連性について検討した(図2-21)。

相内沢試験地の上木の樹木配置の状態を基に、4本以上の立木を結んで囲われる局所的な生育空間(=孔状生育空間面積)で林内を分割すると、最低10m<sup>2</sup>から最大370m<sup>2</sup>の範囲の生育空間に分けられる。この生育空間ごとの局所材積密度D<sub>u</sub>を求めるとき、1.5~18.0の範囲の値が得られる。この数値は、小さい値ほど上木の局所的密度が大きく、庇蔭の影響の大きい局所環境であることを表している。

相内沢試験地での局所材積密度D<sub>u</sub>に対して、そこで孔状生育空間から最大胸高直径・最大樹高をもつ下木を抽出し、両者をプロットすると両対数式の関係で表され、④⑤式が得られる(図2-22)。

$$H_{max} = 1.40239 \cdot D_u^{0.7623} \quad (r=0.870) \quad \dots \dots \dots \quad ④$$

$$D_{max} = 0.84257 \cdot D_u^{1.1346} \quad (r=0.891) \quad \dots \dots \dots \quad ⑤$$

これによると、下木の成長は、局所材積密度の値の大きい、すなわち、孔状生育空間の大きい生育環境の林木が良好な成長を示している。この関係式は林内の局所材積密度を把握することによって、どの値のとき、どのような下木の成長が期待されるかを、おおよそ予測することが可能になることを示している。

② つぎに、上木が天然林である務沢試験地を対象にして、局所面積Aと局所材積Vの2因子からなる局所材積密度D<sub>u</sub>を簡略化して、局所面積としての孔状生育空間面積Aのみを用い、この尺度による下木の成長との関係について検討を行った。

まず、当該試験地の上木で構成される孔状生育空間の箇所を抽出すると、局所面積の最小は126m<sup>2</sup>から最大1,095m<sup>2</sup>までの範囲にわたり、21箇所の生育空間面積に分けられる<sup>3)</sup>。

これを基に、その孔状生育空間内に成立する下木の平均直径・平均樹高・材積(ha換算)を求め、孔状生育空間面積Aとの対比でこの関係をプロットした(図2-23)。

この結果、当然のことながら、広い生育空間が与えられた環境下での下木の成長は良好である。この関係式を表すと、つきの⑥⑦⑧式になる。

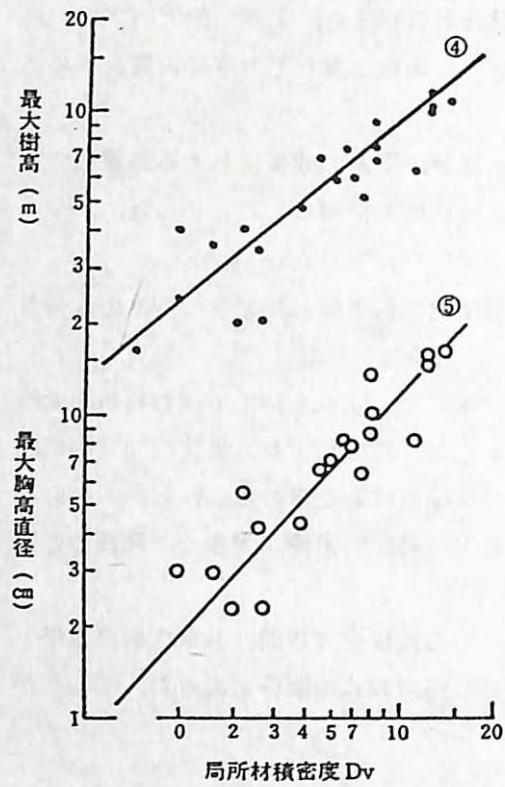


図2-21. 上木の局所材積密度と下木の最大木の成長

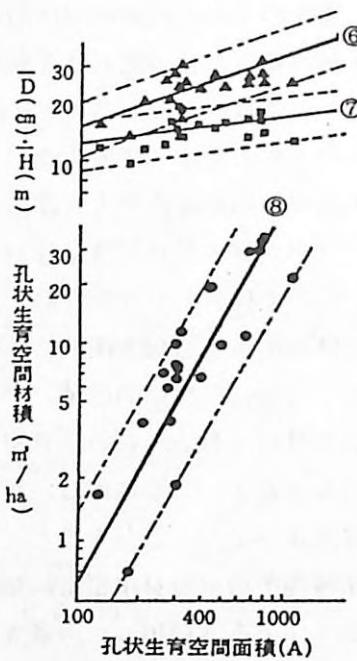


図2-22. 孔状生育空間面積と下木の各因子との関係(林齢59年生)

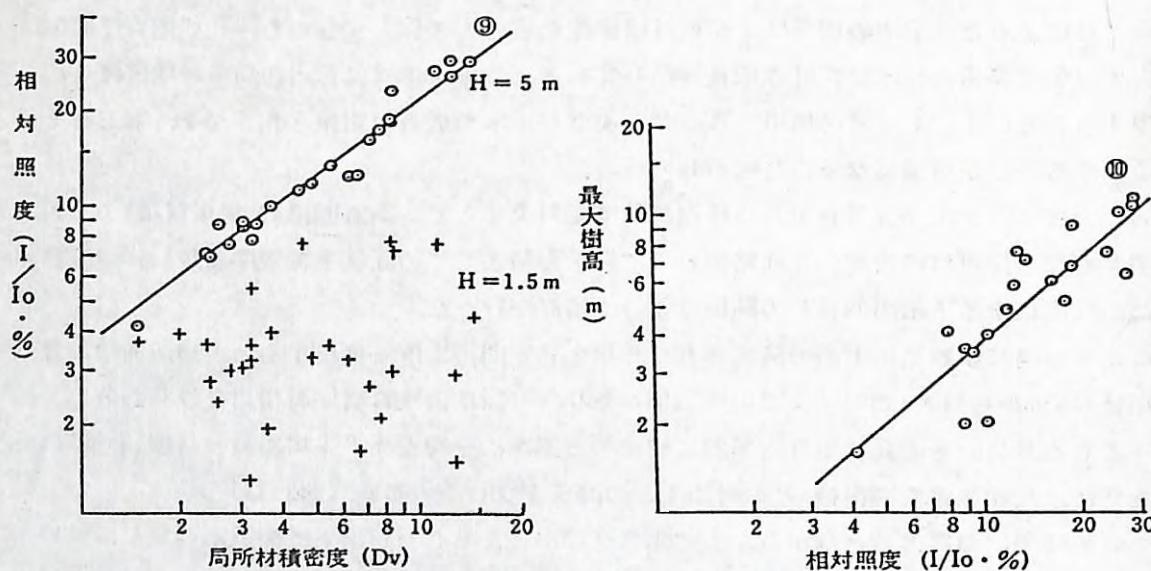


図2-23. 局所材積密度と相対照度との関係

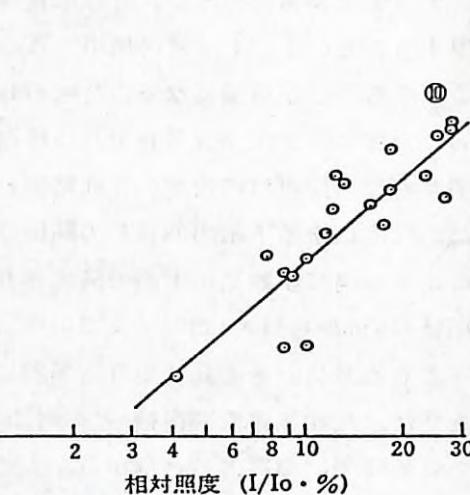


図2-24. 相対照度と最大樹高の関係

$$\log D = 0.4398 + 0.3646 \cdot \log A \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

$$\log H = 0.8183 + 0.1356 \cdot \log A \dots \dots \dots \textcircled{7}$$

$$\log V = -4.0808 + 1.9256 \cdot \log A \dots \dots \dots \textcircled{8}$$

ここに, D: 平均胸高直径, H: 平均樹高, V: 材積, A: 孔状生育空間面積である。

## 2) 局所材積密度と相対照度との関係

前項では、上木の配置から得られる局所材積密度ないしは孔状生育空間面積を基にした生育環境条件を表す尺度が、下木の成長を左右していることが明確になった。

こうした尺度と、複層林の生育環境などの目安を表すときの尺度である相対照度との間には、相互に関係があるものと思われ、また、それが提案した尺度のどの値に対応するか、その関連性について明らかにする必要がある。

ここでは、相内沢試験地において、前項の局所材積密度  $D_v$  の値を得た箇所を対象に、そこでの相対照度を測定した。測定点は、地上高 1.5m と下層木のほぼ梢端と見なされる 5m の高さの 2 点にした。また、一つの生育空間で 5 点の相対照度を測定し、これを平均して局所の相対照度の値にした。

この局所材積密度  $D_v$  に対応する相対照度  $I/I_0 (\%)$  との関係を表すと、図 2-24 のとおりになる。

これによると、下木の梢端である地上高 5m では、局所材積密度と相対照度との間には高い相関が認められる。この関係式を両対数式で表すと⑨式になる。

$$I/I_0 (\%) = 3.5511 \cdot D_v^{0.79827} \quad (r = 0.961) \dots \dots \textcircled{9}$$

ここに,  $I/I_0 (\%)$ : 相対照度,  $D_v$ : 局所材積密度

一方、この地上高 1.5m での高さの林内の相対照度の測定は、複層林造成の初期段階で相対照度の測定を必要とするとき、一般的に行われている高さである<sup>5)</sup>。ここで地上高 1.5m の局所生育空間における相対照度は、1.4~8.0 % になる。この高さは、林内の上木と下木の樹冠の双方の下になるため、局所材積密度との間には何の関係も見い出しえない。

また、庇蔭下のスギの生存限界の相対照度は、2~3 % とされるが<sup>1)</sup>、この値と比較すると林内の局所の一部は生存限界の生育環境におかれていることを示している。さらに、1.5m の高さの相対照度で下木の成長への目安を得て調整を図ろうとするのは、下木が 1.5m に達するまでの複層林造成の初期的段階に限定されよう。その理由は、下木の樹高が 3~4m 以上になると、梢端での相対照度の測定は極めて困難な作業を伴うからにほかならず、また、生育環境の多様性を考慮すると、相対照度による技術指針を与えることには非常に難しい側面があるものと推察されるからである。

## 3) 相対照度と下木の成長の関係

ここでは、局所の相対照度の値を用いて、下木の成長との関連性について検討を行った。

相内沢試験地における局所環境の相対照度と、そこで下木の最大樹高を有する林木とを対比させると、その関係は図2-25のとおりである。

この結果、両者の関係は両対数式の⑩式で表される。

$$H_{\max} = 0.4390 \cdot (I/I_a \cdot 100)^{0.931} \quad (r = 0.870) \cdots \text{⑩}$$

同様に、務沢試験地の林齢59年生の下木を対象に、局所の孔状生育空間面積の中に成立する林木の材積V (ha換算) と、その箇所での相対照度(I/I\_a)との関係をプロットすると、両者は両対数式の⑪式で表される (図2-25)。

$$\log V = 0.0939 + 1.7862 \cdot \log(I/I_a \cdot 100) \cdots \text{⑪}$$

この結果、孔状生育空間の面積が大きければ、相対照度の値も大きくなり、局所に成立する下木の材積も多い。

なお、務沢試験地の場合の相対照度の測定は、下木の樹冠の下に位置する地上高1.5 m である。この場合、局所の相対照度は相内沢試験地とは異なり、孔状生育空間の有効な尺度としての使用が可能になっている。

この原因を推測すると、上木の樹冠が相隣接しており、その樹冠で囲まれる孔状の生育空間を下木の樹冠が覆う状態にあり、上木と下木の樹冠長・樹冠幅などの構成には差があるものの、樹冠層は一層をなしている。従って、こうした林相での林内照度は比較的安定した値として林床面で捉えることができるからと思われる。

このように相対照度と下木の成長には関係が認められるものの、それがどの状態の林相であれば有効な相対照度の値として成長分析の情報を組み込めるかが不明である。それだけ尺度としての相対照度は、不安定なものといえよう。

#### (4) 残された問題点

複層林の形態として、「上木スギ人工林+下木スギ伏状更新」、「上木スギ天然林+下木スギ人工林」のタイプの異なる二段林を対象に、林分構造の推移と二段林の成長解析を行い、上木と下木の関係から成長予測に結び付く二・三の分析を試みた。

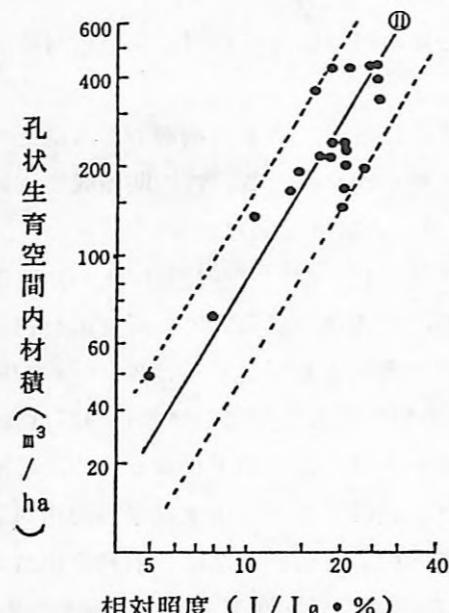


図2-25. 相対照度と材積との関係 (林齢59年生)

この結果、上木の樹高、本数密度、材積、樹冠拡張の程度、樹木配置の関係から生じる孔状の生育空間の大小など、下木の成長に与える因子の多いことが分かる。

このようなあい関連する諸因子をみると、上木の樹幹の大きさ、クローネの拡張に応じた本数密度の調整、枝打ちによるクローネ長の調節、配置関係の均一性などが、二段林施業などの取り扱いで必要な情報であり、かつ、投入されなければならない技術である。しかし、この取り扱い技術と、それに伴う成長予測は困難を極めるものになりそうである。

複層林の取り扱いは、下木の生育よりも、価値のある上木の管理を重視するべきであるとの見地<sup>5)</sup>に立てば、下木の成長予測は必要不可欠のものであっても、必ずしも性急に解決しなければならない性格のものではないように思われる。

従って、今後とも、複層林の成長予測を必要とするならば、上木重視の見地に立った成長予測法の構築を行う必要があるようと思われる。

#### 引用文献

- (1) 小坂淳一・金 豊太郎: スギの複層林誘導試験と成績、東北支場年報 17, 95~103 (1976)
- (2) 金 豊太郎・小坂淳一: スギ複層林施業試験の成長と収穫 (I) -相内沢人工林試験地の事例-, 日林東北支誌 39, 143~145(1987)
- (3) 金 豊太郎・小坂淳一: スギ複層林における成長と収穫 (II) -務沢スギ天然林施業試験地の事例-, 日林東北支誌 40, 157~159(1988)
- (4) 日本林業技術協会: 複層林の施業技術 52~55, 84~86(1982)
- (5) 早稲田 収: 複層林の仕立て方、林業改良普及双書77, 77~80(1981)
- (6) 藤森 隆郎: 複層林施業の体系的位置づけ (その2) -スギ、ヒノキの場合-, 林業技術, 557, 20, 1988

(東北支所広葉樹管理研究室〔現 企画調整部〕 金 豊太郎)

## 5) ミッチャーリッヒ式によるスギ・ヒノキ複層林の成長予測

### (1) はじめに

高知営林局管内では、昭和48年度技術開発課題「林内人工更新法」以来、試験地を設定しながら、成長量・照度などの調査を継続している。主として、上木スギ・ヒノキ、下木スギまたはヒノキの試験地であり、これまで約10年間の資料が蓄積されてきている。これらの資料をもとに、ミッチャーリッヒ式を基礎にして下木の樹高成長、直径成長の予測を行った。その際、上木の本数密度をパラメータとして含むモデルと陽関数的には含まないモデルとを仮定した。

本研究の実施にあたり、貴重な測定資料を提供していただいた高知営林局・技術開発室の各位に厚く御礼申し上げる。

### (2) 過去10年間の下木の成長

下木がスギまたはヒノキである試験地の概要とこれまでの施業内容を表2-7、及び2-8に示す。また、スギ試験地とヒノキ試験地とにおける下木と対照区（皆伐区）の平均値を表2-9、2-10及び図2-26に示す。

下木の樹高成長は、スギで対照区に比べ約2年（伸長高78%）遅れており、ヒノキにおいても約1年半（同84%）遅れている<sup>1)</sup>。根元直径については、樹高に比べ対照区との差が大きくスギで3年半（64%）、ヒノキで3年（61%）程度の遅れがでている<sup>1)</sup>。

表 2-7. スギ・ヒノキ試験地の概要

試験地名	設定年度	林班	面積 (ha)	上木伐採前・更新伐後の林況			(ha当たり本数)	
				植栽・伐採年度	樹種	伐採前	伐採後	
奈半利	S 4 8	29	1.89	T 1 4	S 4 8	スギ・ヒノキ	708	330
松山	〃	65	5.11	M 3 2	S 4 6	スギ	不明	538
宇和島	S 5 0	38, 39	6.79	M38~T4	S 5 0	スギ・ヒノキ	860	400-600
窪川	〃	36	2.61	M 4 0	〃	ヒノキ	427	248
宿毛	〃	73	0.92	M 4 2	〃	ヒノキ	949	508
奈半利2号	〃	29	1.86	T 1 4	〃	スギ・ヒノキ	732	320

(平成元年度技術開発課題完了報告書<sup>1)</sup>から抜粋)

表 2-8. スギ・ヒノキ試験地の施業内容

試験地名	下木の更新			受光伐
	更新年月	樹種	植付本数/ha	
奈半利	S49.03	スギ・ヒノキ	3100	61年度
松山	S48.04	スギ	3000	53年度（強度区を除く）58年度
宇和島	S52.03	スギ・ヒノキ	1500-2500	53年度、61年度
窪川	S51.03	ヒノキ	1533	57年度（30%区）、62年度（50%区）
宿毛	S51.11	ヒノキ	1535-1633	59年度
奈半利2号	S51.03	スギ・ヒノキ	2300-2500	61年度

(平成元年度技術開発課題完了報告書<sup>1)</sup>から抜粋)

表 2-9. スギ下層木の生育状況

成長年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	樹高 (m)	0.42	0.55	0.76	1.02	1.32	1.65	2.02	2.30	2.83
複層平均	根元直径(cm)	0.84	0.99	1.30	1.84	2.57	3.29	4.45	5.35	5.83
	樹高 (m)	0.43	0.65	1.10	1.49	2.02	2.51	2.96	3.25	3.67
対照平均	根元直径(cm)	0.72	1.00	1.92	3.31	4.70	6.02	7.88	8.17	9.50
	樹高 (m)	0.43	0.65	1.10	1.49	2.02	2.51	2.96	3.25	3.67
根元直径(cm)	0.72	1.00	1.92	3.31	4.70	6.02	7.88	8.17	9.50	10.1

(平成元年度技術開発課題完了報告書<sup>1)</sup>から抜粋)

表 2-10. ヒノキ下層木の生育状況

成長年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	樹高 (m)	0.54	0.64	0.83	1.02	1.30	1.56	1.82	2.09	2.49
複層平均	根元直径(cm)	0.70	0.78	1.05	1.53	1.86	2.34	2.98	3.67	3.94
	樹高 (m)	0.49	0.63	0.93	1.18	1.51	1.87	2.36	2.84	3.20
対照平均	根元直径(cm)	0.67	0.88	1.30	1.92	2.65	3.57	4.48	6.02	6.62
	樹高 (m)	0.49	0.63	0.93	1.18	1.51	1.87	2.36	2.84	3.20
根元直径(cm)	0.67	0.88	1.30	1.92	2.65	3.57	4.48	6.02	6.62	8.05

(平成元年度技術開発課題完了報告書<sup>1)</sup>から抜粋)

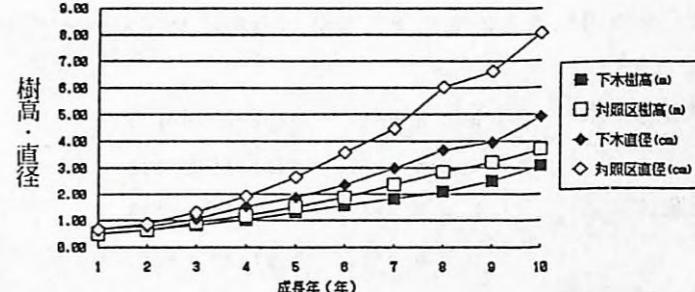
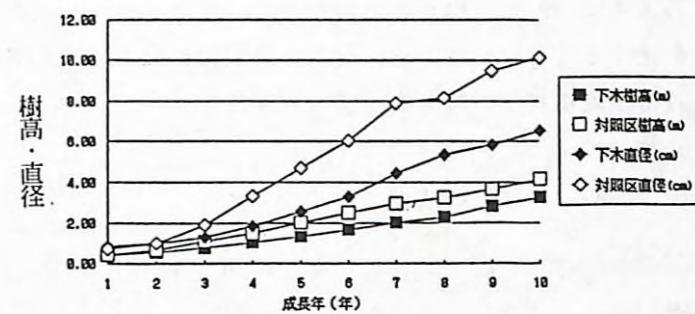


図 2-26. スギ（上）・ヒノキ（下）下木の成長資料

### (3) 成長予測モデルの作成と成長シミュレーション

前述の過去10年間の資料だけでは、長期にわたる下木の成長予測は困難であるので、まず収穫表資料によって四国地方における平均的な成長を把握することにした。土佐地方スギ林<sup>2)</sup>・ヒノキ林<sup>3)</sup>地位中の平均樹高、平均直径の資料にミッチャーリッヒの成長式、

$$h = M_h * (1 - \exp(-k_h * t))$$

$$d = M_d * (1 - \exp(-k_d * t))$$

をデミングの最小2乗法によってあてはめた（表2-11）。h, dは平均樹高、平均直径、tは林齢、パラメータMは成長の上限値、kは成長速度に関するパラメータである。

表 2-11. 収穫表値へのあてはめ結果

	平均樹高 M_h k_h		平均直径 M_d k_d	
スギ	28.62	0.025	79.56	0.010
ヒノキ	23.88	0.019	73.13	0.008

成長の上限値は複層林でも対照区（皆伐区）でも等しいと仮定し、成長速度のパラメータkを前述の資料の最終測定値（ほとんどの場合10年目の値）を初期値として求めた。これは10年程度で林分としても安定したと思えるためである。また、そのときの根元直径の測定値を胸高直径値と仮定することにした。その結果を表2-12に示す。添え字のf, cは複層林と対照区、h, dは平均樹高、平均胸高直径を表す。

表 2-12. 試験地の成長パラメータk

	平均樹高 k'_h k°_h		平均直径 k'_d k°_d	
スギ	0.012	0.016	0.009	0.014
ヒノキ	0.014	0.017	0.007	0.012

これらのパラメータM, kを用いると以下のような成長方程式が仮定できる。

- ・ 複層林下木  $h = M_h * (1 - \exp(-k'_h * t))$   
 $d = M_d * (1 - \exp(-k'_d * t))$
- ・ 対照区  $h = M_h * (1 - \exp(-k^h * t))$   
 $d = M_d * (1 - \exp(-k^d * t))$

このモデルによる成長予測の結果を表2-13と図2-27に示す。この成長式には明らかな形では密度に関するパラメータが含まれていない。下木の成長を対照区と比較すると、スギの場合、樹高で50年で82%，100年で88%，胸高直径で72%，79%，ヒノキで樹高88%，92%，胸高直径66%，72%の成長であった。

表 2-13. 複層林の成長予測

樹種	林齢	成長予測					
		10	20	30	40	50	100
スギ	下木樹高	3.2	6.1	8.7	10.9	12.9	20.0
	対照区樹高	4.2	7.8	10.9	13.5	15.8	22.8
	下木直径	6.8	13.1	18.8	24.1	28.8	47.2
	対照区直径	10.4	19.4	27.3	34.1	40.1	59.9
ヒノキ	下木樹高	3.1	5.8	8.2	10.2	12.0	18.0
	対照区樹高	3.7	6.9	9.5	11.8	13.7	19.5
	下木直径	4.9	9.6	13.9	17.9	21.6	36.8
	対照区直径	8.3	15.6	22.1	27.9	33.0	51.1

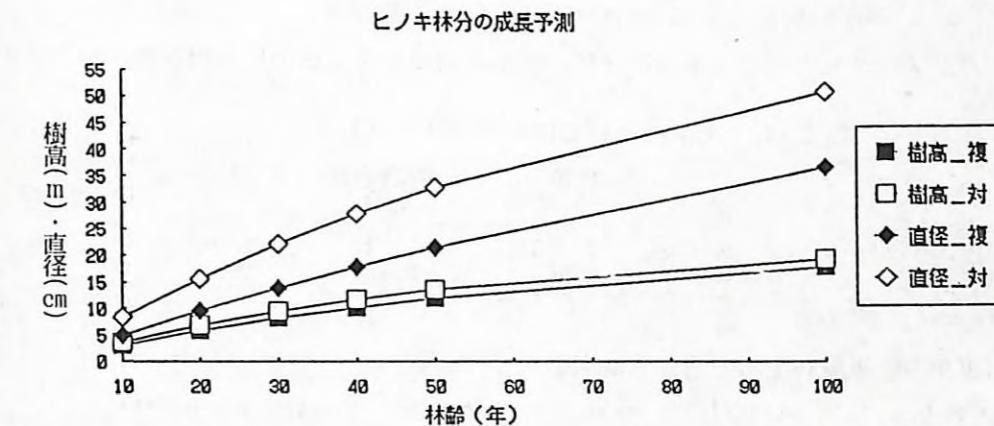
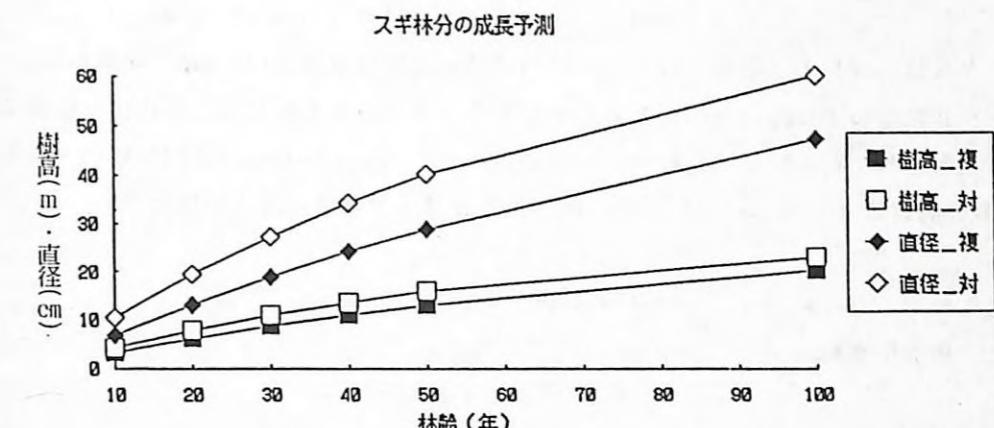


図 2-27. スギ下木（上）・ヒノキ下木（下）の成長予測

次に上木の本数密度をパラメータとして含む成長式,

$$y = M * (1 - \exp(-h*s)) * (1 - \exp(-k*t))$$

を仮定する。sを上木の平均占有面積(10000/ha当たり上木本数、[m\*\*2])として、ミッチャーリッヒ式を拡張した型になっている。この式では、林齢と占有面積という2つの成長要因に対してミッチャーリッヒ式に従う成長を仮定している。単純林における林分密度管理のための直径成長方程式として、この型の成長式が利用されている<sup>4)</sup>。本研究では、下木の成長予測のために、上木のha当たり平均占有面積を密度のパラメータとして含むミッチャーリッヒ式を以下のように仮定する。

- ・複層林下木  $h = M_h * (1 - \exp(-h_h*s)) * (1 - \exp(-k_h*t))$
- $d = M_d * (1 - \exp(-h_d*s)) * (1 - \exp(-k_d*t))$

パラメータMは、成長の上限値として、前述の成長式と同様収穫表値M\_h, M\_dを用いる。パラメータkについては、 $s \rightarrow \infty$ のとき、すなわち上木を皆伐したときに皆伐区の成長に復帰すると仮定し、 $k_h = k^*_h$ ,  $k_d = k^*_d$ を用いる。パラメータhは各試験地の上木本数n<sup>i</sup>と最終測定値(t<sup>i</sup>\_0, y<sup>i</sup>\_0)から、次のような最小2乗法によって推定する。

$$y^i_0 / (M * (1 - \exp(-k*t^i_0))) \equiv f^i$$

と置くと、残差平方和、

$$S = \sum (h*s^i + \ln(1 - f^i))^2$$

を最小にするように、

$$\delta S / \delta h = 0$$

とする。ここで $s^i = 10000/n^i$ 。パラメータhの推定値 $\hat{h}$ は、

$$\hat{h} = -\sum s^i * \ln(1 - f^i) / \sum s^{i^2}$$

となる。パラメータhの推定値を表2-14に、また実測値と推定値の散布図を図2-28に示す。

表 2-14. 上木の占有面積のパラメータh

	樹高 h_h	胸高直径 h_d
スギ	0.069	0.043
ヒノキ	0.062	0.024

以上の結果から、複層林下木の成長式は次のようになる。

- ・スギ  $h = 28.62 * (1 - \exp(-0.069*s)) * (1 - \exp(-0.016*t))$
- $d = 79.56 * (1 - \exp(-0.043*s)) * (1 - \exp(-0.014*t))$
- ・ヒノキ  $h = 23.88 * (1 - \exp(-0.062*s)) * (1 - \exp(-0.017*t))$
- $d = 73.13 * (1 - \exp(-0.024*s)) * (1 - \exp(-0.012*t))$

この式を用いて、上木の本数管理を含めた成長予測を行う。例えば、下木樹高hについて、

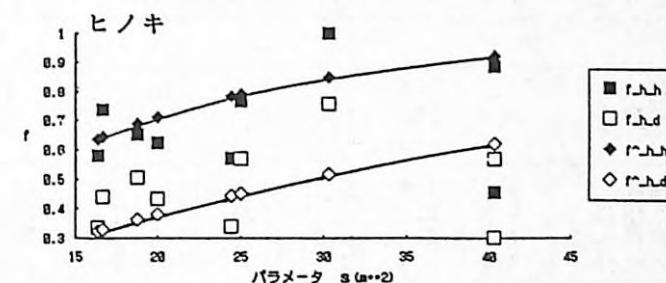
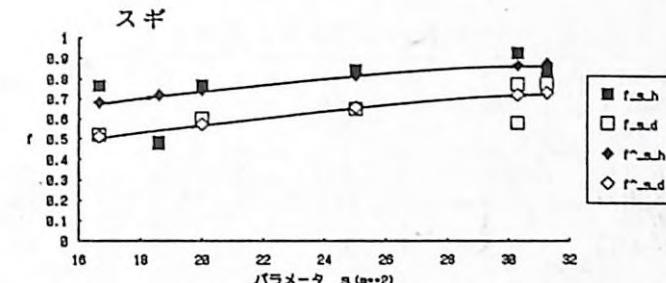


図 2-28.  $f^i$  と  $s^i$  の散布図

上木のha当たり本数を、 $n_1 \rightarrow n_2$ と管理するとき、成長曲線が $h(s_1)$ から、 $h(s_2)$ に乗り換えるものと仮定することになる。それ以降は乗り移った成長式から成長量を算出し、次々と加算していく。

今回はモデルケースとして、上木を $700 \rightarrow 500 \rightarrow 300 \rightarrow 0$ と管理する例(Case I)と $500 \rightarrow 300 \rightarrow 0$ の例(Case II)とを考える。シミュレーション結果を表2-15に示す。一例として、Case I のスギ下木樹高と胸高直径の成長を図2-29に示す。

#### (4) おわりに

四国地方の地位中の林分において、スギ・ヒノキの複層林施業を行った場合の樹高・胸高直径の成長を試算した。非常に簡単な仮定に基づく推定であるが、成長予測の一例として、モデル計算を試みたものである。複層林の成長には、各成長要因が非常に複雑に関与すると思われる。現実には、個々の複層林ごとに成長が異なっているといえよう。今回の例では、上木密度のパラメータを含む場合と含まない場合とを考えた。上木が残っていたときの初期値と成長パラメータkが成長を決定する最初のモデルと、後半の上木が皆伐されたときに、皆伐区の成長量に復帰すると仮定したモデルとの間が、四国地方の平均値としては適当であろうと推測される。なお、胸高直径については10年生時の根元直径値を胸高直径値と仮定したため、若干過大に推定されていると思われる。

表 2-15. 上木本数の管理と成長予測

Case I	林齢	2	10	15	20	30	40	50	100
		上木本数 1 2	700 500	700 300	500 -	300			
スギ	下木樹高	0.6	2.7	4.1	5.6	8.7	11.3	13.5	20.6
	対照区樹高	0.9	4.2	6.1	7.8	10.9	13.5	15.8	22.8
	下木直径	1.0	4.8	7.5	10.8	18.6	25.5	31.4	51.3
	対照区直径	2.2	10.4	15.1	19.4	27.3	34.1	40.1	59.9
ヒノキ	下木樹高	0.5	2.2	3.4	4.7	7.3	9.6	11.5	17.3
	対照区樹高	0.8	3.7	5.4	6.9	9.5	11.8	13.7	19.5
	下木直径	0.5	2.4	3.8	5.8	12.3	18.1	23.2	41.3
	対照区直径	1.7	8.3	12.1	15.6	22.1	27.9	33.0	51.1

Case II	林齢	2	5	10	20	30	40	50	100
		上木本数 1 2	500 300	500 -	300				
スギ	下木樹高	0.7	1.8	3.9	7.5	10.6	13.2	15.4	22.5
	対照区樹高	0.9	2.2	4.2	7.8	10.9	13.5	15.8	22.8
	下木直径	1.3	3.1	6.9	16.0	23.8	30.6	36.6	56.5
	対照区直径	2.2	5.4	10.4	19.4	27.3	34.1	40.1	59.9
ヒノキ	下木樹高	0.6	1.4	2.9	6.1	8.8	11.0	12.9	18.7
	対照区樹高	0.8	2.0	3.7	6.9	9.5	11.8	13.7	19.5
	下木直径	0.7	1.6	3.8	11.2	17.7	23.4	28.6	46.7
	対照区直径	1.7	4.3	8.3	15.6	22.1	27.9	33.0	51.1

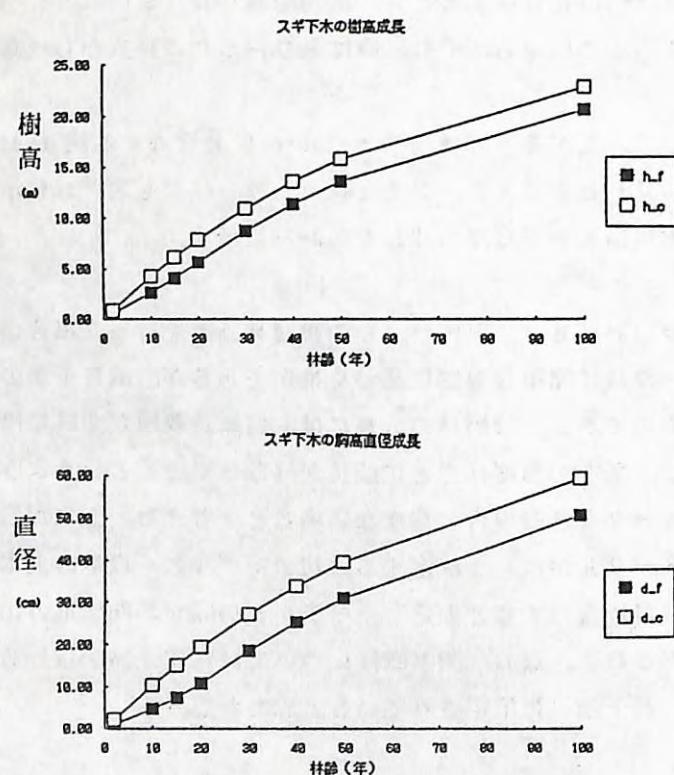


図 2-29. 上木本数の管理と成長予測の一例

## 引用文献

- (1) 高知営林局：平成元年度技術開発課題完了報告書，印刷中
- (2) 津田清隆：土佐地方スギ林林分収穫表，1952（本多靜六原著：森林家必携 68 版，林野弘済会，1982）
- (3) 西谷和雄：土佐地方ヒノキ林林分収穫表，1957（同上書所収）
- (4) 松村直人・鈴木太七：新しい密度管理図の提案（予報），95回日林論，111～112, 1984  
(四国支所経営研究室 松村直人)

## V まとめ

国有林における複層林（二段林）施業について実態把握を試み、あわせて複層林の成長予測について検討した。

これまで、データとして把握できていなかった国有林内の複層林の箇所数は 1,097 箇所、面積 6,321ha であった。また、なんらかの形でデータが収集されているプロットは 164 箇所であった。

今回のアンケート調査の実施に当たっては、各営林局計画課、技術開発室はじめ複層林の所在する営林署の協力を得た。これは、複層林の所在情報が森林簿に登録されていないために、局レベルでの把握が困難であったことを意味する。今後、これまでの林内更新試験・施業試験レベルでの複層林造成に加えて、事業レベルでの複層林造成が予定されており、かなりの箇所、面積の複層林が造成されるので、森林簿への記載・格納方式について早急に検討する必要があろう。

さらに、複層林の収穫予測については、今後とも継続的なデータの集積が必要であるが、データの保管については長期間を要するので、一元的に実施されることが望ましい。

これら複層林の下木の齢級は 3 齡級以下のものがほとんどであり、収穫予測を行うためにはデータ不足であった。これは、これまで複層林の成長資料については、林内更新の試験データの収集の段階であったことに起因している。今回開発した収穫予測モデルの検証をするためにも継続的に下木の成長データを収集するほか、上木についてもデータを収集して行くことが必要である。

複層林の収穫予測については、上木の配置が均一でないため下木の生育条件も同一林分内でもかなりの幅を持つことが予想されている。精密な収穫予測については、上木の配置によって形成される様々な生育空間別のデータの組み合せ、さらには生産される材の品質（価格）などへの配慮も絡んでくる。こうした考えを押し進めて行くと、林分ごとの予想表が必要になる。

本報告での収穫予測のモデルは、下木の生育空間の光環境が上木による照度低下をもた

らし、それによって成長が低下するとの仮定をもつて作成している。予測式は成長の低下率（割引率）を、上木の残存本数、上木の伐採率、収量比数、上木のha当たり平均占有面積などを用いて表現した式によって示している。これらの収穫予測の式は、資源計画の支援ソフトとしての性格上、ha当たりの平均値で表わすようになっている。また、現段階においては、データ不足の問題もあり、上木の年級別など、各種の条件別の予測は無理であった。

（資源解析研究室 高橋文敏、資源計画科長 西川匡英）

付表1. 国有林に所在する複層林（二段林）………森林局別一覧

No.	森林局	上木	下木	年級	年齢	面積	面所数	実面積	營林署	備考
1	北海道	カラマツ	トドマツ	6	1	1.62	1	1.62	日高・上芦別・鶴川	孔状 散点的全域
2	北海道	カラマツ	トドマツ	7	1	3.73	1	3.73	上芦別・鶴川	
3	北海道	カラマツ	トドマツ	8	1	1.38	1	1.38	苦小牧	
4	北海道	カラマツ	トドマツ	8	1	2.54	1	2.54	札幌	
5	北海道	カラマツ	トドマツ	17	1	0.43	1	0.43	札幌	
6	北海道	トドマツ	トドマツ	12	1	9.96	1	9.96	旭川	
7	北海道	トドマツ	トドマツ	13	1	5.29	1	5.29	旭川	
8	北海道	トドマツ	エゾマツ	12	1	2.58	1	2.58	旭川	
9	北海道	トドマツ	エゾマツ	13	1	2.72	1	2.72	旭川	
10	北海道	エゾマツ	エゾマツ	13	1	8.80	1	8.80	苫小牧	
11	北海道	エゾマツ	エゾマツ	15	1	4.50	1	4.50	苫小牧	
12	北海道	エゾマツ	エゾマツ	17	1	1.00	1	1.00	苫小牧	
13	北海道	エゾマツ	アカエゾマツ	13	1	2.50	1	2.50	苫小牧	
14	北海道	エゾマツ・トドマツ	トドマツ	14	1	0.54	1	0.54	日高・室蘭	
15	北海道	カラマツ	スギ	8	1	5.50	1	5.50	室蘭	
16	北海道	カラマツ	スギ	6	1	1.42	1	1.42	乙部	
17	函館	カラマツ	スギ	8	1	0.27	1	0.27	東瀬棚	
18	函館	カラマツ	スギ	7	1	1.75	1	1.75	東瀬棚	
19	函館	カラマツ	スギ	8	1	1.16	1	1.16	江差	
20	函館	カラマツ	スギ	9	1	1.42	1	1.42	江差	
21	函館	カラマツ	スギ	8	1	1.12	1	1.12	江差	
22	函館	トドマツ	スギ	10	1	2.65	1	2.65	木古内	
23	函館	トドマツ	スギ	11	1	1.00	1	1.00	木古内	
24	函館	トドマツ	スギ	13	1	1.92	1	1.92	木古内	
25	函館	トドマツ	スギ	14	1	7.74	1	7.74	室蘭	
26	函館	トドマツ	スギ	13	1	13.42	1	13.42	室蘭	
27	函館	トドマツ	スギ	13	1	5.50	1	5.50	江差	
28	函館	スギ	スギ	8	1	1.12	1	1.12	江差	
29	函館	スギ	スギ	9	1	2.65	1	2.65	木古内	
30	函館	スギ	スギ	11	1	1.00	1	1.00	木古内	
31	函館	スギ	スギ	12	1	9.12	1	9.12	木古内	
32	函館	スギ	スギ	12	1	10.81	1	10.81	木古内	
33	函館	スギ	スギ	13	1	2.33	1	2.33	乙部	
34	函館	スギ	スギ	13	1	5.05	1	5.05	乙部	
35	函館	スギ	スギ	14	1	1.15	1	1.15	江差	
36	函館	スギ	スギ	14	1	4.59	1	4.59	木古内	
37	函館	スギ	スギ	15	1	1.38	1	1.38	乙部	
38	函館	スギ	スギ	16	1	0.95	1	0.95	江差	
39	函館	スギ	スギ	16	1	0.30	1	0.30	江差	
40	函館	スギ	スギ	17	1	2.45	1	2.45	富良野	
41	函館	スギ	スギ	17	1	6.00	1	6.00	清水・鷲路	
42	函館	トドマツ	スギ	12	1	22.00	1	22.00	機貢	
43	旭川	カラマツ	スギ	12	1	23.00	1	23.00	新得・清水・帶広・足寄・鷲路・中標津	
44	旭川	カラマツ	スギ	14	1	12.00	1	12.00	新得	
45	旭川	カラマツ	スギ	14	1	31.00	1	31.00	清水・鷲路	
46	旭川	カラマツ	スギ	14	1	103.00	1	103.00	旭川	
47	旭川	カラマツ	スギ	16	1	20.00	1	20.00	士幌・足寄・鷲路・弟子屈・中標津	
48	旭川	カラマツ	スギ	13	1	7.18	1	7.18	新得	
49	街	カラマツ	スギ	6	1	6.00	1	6.00	清水・鷲路	
50	街	カラマツ	スギ	6	1	12.00	1	12.00	旭川	
51	街	カラマツ	スギ	7	1	41.00	1	41.00	士幌・足寄・鷲路・弟子屈・中標津	
52	街	カラマツ	スギ	7	1	6.00	1	6.00	新得	
53	街	カラマツ	スギ	7	1	68.00	1	68.00	清水・鷲路	





スギ・ヒノキ・イチイガヤ・ケヤキ・イヌエンジユ  
新得・清水・上土保・足寄・陸別・劍淵・弟子屈・中標津・根室  
原田・阿仁・二ツ井・秋田・鶴沢・本荘・矢島  
十和田・麻生・田泽湖・湯沢・本庄・大曲・湯沢・新莊・向町・村山・山形・米沢  
喜多方・福島・郡山・猪苗代・会津・磐梯・本荘・真室川

付表2. 国有林に所在する複層林（二段林）……上木・下木、樹種構成別一覧

No.	樹種	管林局	上木	下木	輪級	面積	面所數	營林署	
								加治木 石巻	加治木 石巻
350	熊本	熊本	アカマツ	アカマツ	18	11.23	1	2	2
351	熊本	青森	アカマツ	アカマツ	18	12.84	1	1	1
105	青森	アカマツ	アカマツ	アスギ	13	0.40	1	1	1
106	青森	アカマツ	アカマツ	スギ	14	2.17	1	1	1
107	青森	アカマツ	アカマツ	ヒノキ	14	1.15	1	1	1
108	青森	アカマツ	アカマツ	ヒノキ	15	0.60	1	1	1
200	長野	アカマツ	アカマツ	ヒノキ	6	5.00	1	1	1
201	長野	アカマツ	アカマツ	ヒノキ	7	8.00	1	1	1
202	長野	アカマツ	アカマツ	ヒノキ	9	14.00	1	1	1
203	長野	アカマツ	アカマツ	ヒノキ	10	42.00	1	1	1
204	長野	アカマツ	アカマツ	ヒノキ	11	1.00	1	1	1
205	長野	アカマツ	アカマツ	ヒノキ	12	59.00	1	1	1
206	長野	アカマツ	アカマツ	ヒノキ	13	1.00	1	1	1
207	長野	アカマツ	アカマツ	ヒノキ	14	20.00	1	1	1
208	長野	アカマツ	アカマツ	ヒノキ	15	7.00	1	1	1
209	長野	アカマツ	アカマツ	ヒノキ	17	8.00	1	1	1
210	長野	アカマツ	アカマツ	ヒノキ	18	1.00	1	1	1
261	大阪	アカマツ	アカマツ	ヒノキ	6	1.31	1	1	1
262	大阪	アカマツ	アカマツ	ヒノキ	7	2.89	1	1	1
263	大阪	アカマツ	アカマツ	ヒノキ	8	0.81	1	1	1
352	熊本	アカマツ	アカマツ	ヒノキ	17	1.41	1	1	1
353	熊本	アカマツ	アカマツ	ヒノキ	6	28.73	1	1	1
264	大熊本	アカマツ	アカマツ	ヒノキ	6	1.73	1	1	1
354	熊本	イチイガシ	イチイガシ	ヒノキ	14	1.08	1	1	1
355	熊本	イチイガシ	イチイガシ	ヒノキ	14	1.21	1	1	1
13	北海道	エゾマツ	エゾマツ	ヒノキ	13	2.50	1	1	1
10	北海道	エゾマツ	エゾマツ	ヒノキ	13	8.00	1	1	1
11	北海道	エゾマツ	エゾマツ	ヒノキ	15	4.50	1	1	1
12	北海道	エゾマツ	エゾマツ	ヒノキ	17	1.00	1	1	1
14	北海道	エゾマツ	エゾマツ	ヒノキ	14	0.54	1	1	1
48	旭川	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	13	26.00	1	1	1
67	帯広	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	6	52.00	1	1	1
68	帯広	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	6	10.00	1	1	1
69	帯広	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	7	27	1	1	1
70	帯広	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	7	363.00	1	1	1
71	帯広	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	7	109.00	1	1	1
72	帯広	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	4	2.00	1	1	1
73	帯広	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	1	2.00	1	1	1
74	帯広	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	1	79.00	1	1	1
75	帯広	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	8	36.00	1	1	1
76	帯広	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	2	11.00	1	1	1
77	帯広	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	5	12.40	1	1	1
78	帯広	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	5	3.00	1	1	1
79	帯広	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	1	34.00	1	1	1
80	帯広	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	1	3.00	1	1	1
5	函館	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	3	6.00	1	1	1
65	函館	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	1	6.00	1	1	1
66	函館	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	1	5.00	1	1	1
83	北見	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	13	1.67	1	1	1
47	旭川	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	16	36.00	1	1	1
21	函館	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	2	1.75	1	1	1
16	函館	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	6	1.42	1	1	1
17	函館	カラマツ	カラマツ	ヒノキ	6	0.27	1	1	1

孔状 散点的全域		孔状 带状 带状 列状	
11.95	鶴田	1.62	日高
4.95	1	3.73	上戸別・鶴川
2	2	1.36	古小牧
2.54	3	5.50	札幌・森
8.00	4	8.00	苗良野
371.00	5	103.00	新得・清水・帶広・足寄・網走・中標津
17	6	20.00	新得・清水・土樽・足寄・陸別他(2)
1.62	7	41	新得・清水・土樽・足寄・中標津・根室
3.73	8	23	新得・清水・土樽・中標津
1.36	9	1	新得・清水・土樽・阿寒・弟子屈・中標津
2.54	10	18	新得・清水・土樽・根室
5.50	11	20	新得・清水・土樽・根室
8.00	12	2	中標津
214.00	13	12	中標津
1.00	14	5	中標津
17.00	15	4	中標津
2.00	16	1	根室
23.00	17	1	中標津
5.00	18	1	中標津
4.50	19	7	生田原
7.11	20	1	置戸
12.00	21	5	根室
2.75	22	4	喜多方
10.00	23	3	王滝
13.10	24	2	上松・飯田・白田
15.00	25	3	飯原・噴沢
29.00	26	38	王滝
44.00	27	2	上田・噴沢
52.00	28	4	上田・松本・馳勝・王滝
35.00	29	5	飯原・福島・松木
74.00	30	5	飯原・福島・上田・噴沢
17.00	31	3	長野
27.00	32	10	飯原・長野
17.00	33	4	岩村田・噴沢
16.00	34	2	岩村田
3.39	35	1	神岡
0.40	36	1	噴沢
1.60	37	1	高千穂
1.00	38	1	松山
3.14	39	1	鳶奥
3.93	40	2	松山
0.52	41	1	加治木
1.06	42	1	小林
3.34	43	1	北莊
2.31	44	1	宮崎
2.00	45	1	江差
1.12	46	1	函館
8	47	1	スザン
スザン	48	1	スザン
スザン	49	1	スザン
スザン	50	1	スザン
スザン	51	1	スザン
スザン	52	1	スザン
スザン	53	1	スザン
スザン	54	1	スザン
スザン	55	1	スザン
スザン	56	1	スザン
スザン	57	1	スザン
スザン	58	1	スザン
スザン	59	1	スザン
スザン	60	1	スザン
スザン	61	1	スザン
スザン	62	1	スザン
スザン	63	1	スザン
スザン	64	1	スザン
スザン	65	1	スザン
スザン	66	1	スザン
スザン	67	1	スザン
スザン	68	1	スザン
スザン	69	1	スザン
スザン	70	1	スザン
スザン	71	1	スザン
スザン	72	1	スザン
スザン	73	1	スザン
スザン	74	1	スザン
スザン	75	1	スザン
スザン	76	1	スザン
スザン	77	1	スザン
スザン	78	1	スザン
スザン	79	1	スザン
スザン	80	1	スザン
スザン	81	1	スザン
スザン	82	1	スザン
スザン	83	1	スザン
スザン	84	1	スザン
スザン	85	1	スザン
スザン	86	1	スザン
スザン	87	1	スザン
スザン	88	1	スザン
スザン	89	1	スザン
スザン	90	1	スザン
スザン	91	1	スザン
スザン	92	1	スザン
スザン	93	1	スザン
スザン	94	1	スザン
スザン	95	1	スザン
スザン	96	1	スザン
スザン	97	1	スザン
スザン	98	1	スザン
スザン	99	1	スザン
スザン	100	1	スザン
スザン	101	1	スザン
スザン	102	1	スザン
スザン	103	1	スザン
スザン	104	1	スザン
スザン	105	1	スザン
スザン	106	1	スザン
スザン	107	1	スザン
スザン	108	1	スザン
スザン	109	1	スザン
スザン	110	1	スザン
スザン	111	1	スザン
スザン	112	1	スザン
スザン	113	1	スザン
スザン	114	1	スザン
スザン	115	1	スザン
スザン	116	1	スザン
スザン	117	1	スザン
スザン	118	1	スザン
スザン	119	1	スザン
スザン	120	1	スザン
スザン	121	1	スザン
スザン	122	1	スザン
スザン	123	1	スザン
スザン	124	1	スザン
スザン	125	1	スザン
スザン	126	1	スザン
スザン	127	1	スザン
スザン	128	1	スザン
スザン	129	1	スザン
スザン	130	1	スザン
スザン	131	1	スザン
スザン	132	1	スザン
スザン	133	1	スザン
スザン	134	1	スザン
スザン	135	1	スザン
スザン	136	1	スザン
スザン	137	1	スザン
スザン	138	1	スザン
スザン	139	1	スザン
スザン	140	1	スザン
スザン	141	1	スザン
スザン	142	1	スザン
スザン	143	1	スザン
スザン	144	1	スザン
スザン	145	1	スザン
スザン	146	1	スザン
スザン	147	1	スザン
スザン	148	1	スザン
スザン	149	1	スザン
スザン	150	1	スザン
スザン	151	1	スザン
スザン	152	1	スザン
スザン	153	1	スザン
スザン	154	1	スザン
スザン	155	1	スザン
スザン	156	1	スザン
スザン	157	1	スザン
スザン	158	1	スザン
スザン	159	1	スザン
スザン	160	1	スザン
スザン	161	1	スザン
スザン	162	1	スザン
スザン	163	1	スザン
スザン	164	1	スザン
スザン	165	1	スザン
スザン	166	1	スザン
スザン	167	1	スザン
スザン	168	1	スザン
スザン	169	1	スザン
スザン	170	1	スザン
スザン	171	1	スザン
スザン	172	1	スザン
スザン	173	1	スザン
スザン	174	1	スザン
スザン	175	1	スザン
スザン	176	1	スザン
スザン	177	1	スザン
スザン	178	1	スザン
スザン	179	1	スザン
スザン	180	1	スザン
スザン	181	1	スザン
スザン	182	1	スザン
スザン	183	1	スザン
スザン	184	1	スザン
スザン	185	1	スザン
スザン	186	1	スザン
スザン	187	1	スザン
スザン	188	1	スザン
スザン	189	1	スザン
スザン	190	1	スザン
スザン	191	1	スザン
スザン	192	1	スザン
スザン	193	1	スザン
スザン	194	1	スザン
スザン	195	1	スザン
スザン	196	1	スザン
スザン	197	1	スザン
スザン	198	1	スザン
スザン	199	1	スザン
スザン	200	1	スザン
スザン	201	1	スザン
スザン	202	1	スザン
スザン	203	1	スザン
スザン	204	1	スザン
スザン	205	1	スザン
スザン	206	1	スザン
スザン	207	1	スザン
スザン	208	1	スザン
スザン	209	1	スザン
スザン	210	1	スザン
スザン	211	1	スザン
スザン	212	1	スザン
スザン	213	1	スザン
スザン	214	1	スザン
スザン	215	1	スザン
スザン	216	1	スザン
スザン	217	1	スザン
スザン	218	1	スザン
スザン	219	1	スザン
スザン	220	1	スザン
スザン	221	1	スザン
スザン	222	1	スザン
スザン	223	1	スザン
スザン	224	1	スザン
スザン	225	1	スザン
スザン	226	1	スザン
スザン	227	1	スザン
スザン	228	1	スザン
スザン	229	1	スザン
スザン	230	1	スザン
スザン	231	1	スザン
スザン	232	1	スザン
スザン	233	1	スザン
スザン	234	1	スザン
スザン	235	1	スザン
スザン	236	1	スザン
スザン	237	1	スザン
スザン	238	1	スザン
スザン	239	1	スザン
スザン	240	1	スザン
スザン	241	1	スザン
スザン	242	1	スザン
スザン	243	1	スザン
スザン	244	1	スザン
スザン	245	1	スザン
スザン	246	1	スザン
スザン	247	1	スザン
スザン	248	1	スザン
スザン	249	1	スザン
スザン	250	1	スザン
スザン	251	1	スザン
スザン	252	1	スザン
スザン	253	1	スザン
スザン	254	1	スザン
スザン	255	1	スザン
スザン	256	1	スザン
スザン	257	1	スザン
スザン	258	1	スザン
スザン	259	1	スザン
スザン	260	1	スザン
スザン	261	1	スザン
スザン	262	1	スザン
スザン	263	1	スザン
スザン	264	1	スザン
スザン	265	1	スザン
スザン	266	1	スザン
スザン	267	1	スザン
スザン	268	1	スザン
スザン	269	1	スザン
スザン	270	1	スザン
スザン	271	1	スザン
スザン	272	1	スザン
スザン	273	1	スザン
スザン	274	1	スザン
スザン	275	1	スザン
スザン	276	1	スザン
スザン	277	1	スザン
スザン	278	1	スザン
スザン	279	1	スザン
スザン	280	1	スザン
スザン	281	1	スザン
スザン	282	1	スザン
スザン	283	1	スザン
スザン	284	1	スザン
スザン	285	1	スザン
スザン	286	1	スザン
スザン	287	1	スザン
スザン	288	1	スザン
スザン	289	1	スザン
スザン	290	1	スザン
スザン	291	1	スザン
スザン	292	1	スザン
スザン	293	1	スザン
スザン	294	1	スザン
スザン	295	1	スザン
スザン	296	1	スザン
スザン	297	1	スザン
スザン	298	1	スザン
スザン	299	1	スザン
スザン	300	1	スザン
スザン	301	1	スザン
スザン	302	1	スザン
スザン	303	1	スザン
スザン	304	1	スザン
スザン	305	1	スザン
スザン	306	1	スザン
スザン	307	1	スザン
スザン	308	1	スザン
スザン	309	1	スザン
スザン	310	1	スザン
スザン	311	1	スザン
スザン	312	1	スザン
スザン	313	1	スザン
スザン	314	1	スザン
スザン	315	1	スザン
スザン	316	1	スザン
スザン	317	1	スザン
スザン	318	1	スザン
スザン	319	1	スザン
スザン	320	1	スザン
スザン	321	1	スザン
スザン	322	1	スザン
スザン	323	1	スザン
スザン	324	1	スザン
スザン	325	1	スザン
スザン	326	1	スザン
スザン	327	1	スザン
スザン	328	1	スザン
スザン	329	1	スザン
スザン	330	1	スザン
スザン	331	1	スザン
スザン	332	1	スザン
スザン	333	1	スザン
スザン	334	1	スザン
スザン	335	1	スザン
スザン	336	1	スザン
スザン	337	1	スザン
スザン	338	1	スザン
スザン	339	1	スザン
スザン	340	1	スザン
スザン	341	1	スザン
スザン	342	1	スザン
スザン	343	1	スザン
スザン	344	1	スザン
スザン	345	1	スザン
スザン	346	1	スザン
スザン	347	1	スザン
スザン	348	1	スザン
スザン	349	1	スザン
スザン	350	1	スザン
スザン	351		

- 199 -



- 202 -

- 203 -

286	287	288	297	298	299	300
高知	高知	高知	高知	高知	高知	高知
327	328	329	330	331	332	333
熊本	熊本	熊本	熊本	熊本	熊本	熊本
334	335	336	337	338	339	340
熊本	熊本	熊本	熊本	熊本	熊本	熊本
名古屋	名古屋	名古屋	名古屋	名古屋	名古屋	名古屋
239						
ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
17	17	18	17	18	17	18
高知	高知	高知	高知	高知	高知	高知
ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
3.53	2	4	2	2	2	2
宿毛・蓮川	宇和島	松山	長崎	大分	福岡	玖珠
1.26	1	1	1	3	4.39	4.39
1.22						
4.10	1	1	1	3	2	2
4.10						
0.81						
0.41						
4.98	1	1	2	2	2	2
3.23						
10.62	1	1	2	2	3	3
4.20						
8.21						
11.64	1	1	5	3	2	2
3.46						
4.50	1	1	2	2	2	2
0.92						
5.69	3	3	2	2	2	2
3.98	2	2	1	1	1	1
6.32	1	1	1	1	1	1

- (1) スギ・ヒノキ・イチイガヤ・ケヤキ・イヌエンジユ  
 (2) 新得・清水・上士幌・足寄・薩摩・本荘・矢島  
 (3) 鹿田・阿仁・二ツ井・牧田・湯沢・木田・酒田・新庄・向町・村山・山形・米沢  
 (4) 十和田・頸田・田沢湖・湯沢・木田・秋田・鶴田・大曲・能代・五城目・牧田・合川  
 (5) 十和田・頸田