

トドマツ人工林間伐の体系化に関する基礎的研究

阿 部 信 行*

Studies on the system for thinning of *Abies sachalinensis* MAST· planted forest

Nobuyuki ABE*

要 旨

トドマツ人工林を対象に、有利な間伐方法を検討するために、単木単位の生長モデルを作成した。この生長モデルはトドマツ人工林の各生長要素に適合のよいリチャード生長曲線式のパラメーターを林分内の各個体に割り当てて、個体ごとに直径生長量を推定するものである。この生長モデルを用いて各種間伐方法別の直径、材積生長量を予測した。間伐方法は定性的な見方を考慮し、優勢木から選木、劣勢木から選木、2級木を主体に大部分の直径階から選木する、それぞれの方法を上層、下層、全層間伐と定義した。予測した結果、全層間伐が60年までの総収穫量が多く、また、定性的な観点からも標準的な伐期範囲内では有利なことが分かった。トドマツ人工林間伐の体系化の例として、生長実態を調査し、地位は特I等地、I等地、II等地、III等地の4区分、仕立本数は特別密仕立、密仕立、中庸仕立の3区分とし、全層間伐による間伐指針表を示した。

目 次

第1章 緒言	4
1) 研究の背景	4
2) 研究の目的	5
3) 研究の意義	5
第2章 トドマツ人工林間伐の体系化に関する研究方法	6
第1節 トドマツ人工林施業の沿革	6
1) 時代区分	6
2) トドマツ人工林の施業方法の沿革	7
(1) 第1期の施業	7
(2) 第2期の施業	8
(3) 第3期の施業	9
第2節 トドマツ人工林の間伐技術の構造	9
1) 植栽本数	9
2) 間伐の目的	11

*北海道立林業試験場 Hokkaido Forest Experiment Station, Bibai, Hokkaido 079-01

[北海道立林業試験場研究報告 第26号 平成元年 1月, Bulletin of the Hokkaido Forest Experiment Station, No. 26. January, 1989]

3) 間伐効果の考え方	11
4) トドマツ間伐研究の現状	11
5) 間伐技術	12
6) 間伐技術と主伐目標	14
第3節 研究方法の沿革	15
第4節 研究方法	15
第3章 調査個所の概要と調査成績	16
1) 間伐試験林	16
(1) 久保トドマツ間伐試験林	16
(2) 下川間伐試験林	18
2) 植栽密度試験林	19
3) 樹型級別生長試験	19
4) 生長量試験地	22
5) 生長曲線のあてはめ資料	22
6) 地位区分と収穫表の作成	23
第4章 林分成長モデルの構成と適合性	23
第1節 生長モデルの考え方	23
第2節 モデルの構成	26
1) リチャード式の性質	26
2) リチャード式の適合度	28
3) 林分内固体における生長曲線のパラメーターの変異	29
(1) 直径生長へのあてはめ	29
(2) 断面積生長へのあてはめ	31
(3) 材積生長へのあてはめ	32
4) パラメーター間の相互関係	32
5) パラメーター間の相互関係を利用した直径分布の推定	37
6) パラメーターKに及ぼす立木密度の影響	38
第3節 収穫予測の結果と適合度	40
1) 直径生長	40
2) 材積生長	41
3) 道有林トドマツ収穫表との比較	41
4) 考 察	42
第4節 小 括	44
第5章 林分成長モデルによる間伐方法別の収穫予測	44
第1節 各種間伐と無間伐林部分の生長予測方法	44
1) 選木方法	44
2) 間伐方法別の間伐効果の評価方法	46
3) 樹高の推定方法	48
第2節 間伐方法別の予測結果と考察	49
1) 間伐設計	49

2) 予測結果	51
第3節 小 括	58
第6章 林分成長モデル利用による間伐指針	58
第1節 本数管理の考え方	58
1) 本数管理の実態	58
2) 本数の基準	60
第2節 地位区分	60
第3節 予測方法と選木方法	63
第4節 材積計算	73
1) 平均樹高と上層高との関係	73
2) 樹高分布の推定	73
3) 材積計算	73
第5節 収穫予測の結果と考察	74
1) 直径生長	74
2) 材積生長	80
第6節 小 括	82
第7章 間伐の体系化に関する総括的考察	82
第8章 結 言.....	85
摘 要	86
文 献	89
Summary	94

第 I 章 緒 言

1) 研究の背景

北海道の開拓は、明治 2 年 7 月、北海道開拓使が設置され、さらに同 4 年、封建的土地支配関係が廃止されて全道が開拓使の所管となってからようやく緒に就いた。当初、大部分の山林原野は官有地とされた。そして森林の伐採は、開拓の進展に伴う農地造成として進められた。交通手段が未発達であった当時としては、森林は無価値であったばかりでなく、農業開拓のためにはむしろ邪魔物であった。

開拓の進展に並行して、明治 20 年代から 40 年代にかけて、官林の分割を通じて森林の所有形態が形成され、同時に木材は次第に価値を増大していった。こうした本道の開拓とわが国の資本主義の発展を反映して、本州の木材採取資本が本道に進出し、商品としての木材市場が本格的に形成された。その時期は、日清戦争を終えた 30 年代から日露戦争を終えた 40 年代、大正の初期とされている（小関、1962）。

当時無尽蔵と思われた森林も、採取が進むと地域的に木材の欠乏が生ずるようになった。そこで、明治 30 年代から小規模ながら造林が実行され始めたが本格化するのは大正期半ばの立木価格の騰貴という契機をまたなければならなかった。当初の造林樹種は外国樹種、本州産樹種など移入樹種に重点がおかれたが、次第に養苗、造林が容易で、生長の旺盛なニホンカラマツが中心となり、国有林、民有林とも山火事跡地の緑化が進められた。

大正期の終わり頃から昭和年代の初めにかけて、移入樹種に欠点が現われたため郷土樹種の見直しが行われ、当時やっと養苗法が確立したトドマツが国有林、道有林を中心に造林されるようになった（松井、1965）。この時期は、森林生態学による自然の摂理を尊重する機運が高まってきて、保護樹林下の植栽、幼苗造林など、トドマツのいろいろな造林方法が提唱されるようになる。そして、道庁も造林樹種として郷土樹種であるトドマツ、エゾマツを積極的に植栽するように指導した。これ以降、トドマツが国有林、道有林、とも最主要造林樹種となり、カラマツを大きくしのいだ。昭和 31 年に国有林で経営合理化方針が打ち出され、33 年に生産力増強計画が実行されてからも、トドマツはカラマツ以上に多く造林された。

この計画は、国民経済の発展に即応して、国有林の生産力を高める必要から立案されたものである。北海道では、昭和 29 年の第 15 号台風による風害木発生とその処理のために、本州国有林よりも 1 年早く実施に移された。計画では、作業種を単純化して大面積一斉皆伐方式を採用し、昭和 32 年度末の人工林面積 14 万 ha を 40 年間に 113 万 ha に拡大することをねらっていた（日本林学会北海道支部、1957）。採用樹種はカラマツ、トドマツ、エゾマツとし、改良期終了時の比率は、トドマツ、エゾマツを 60~70%、カラマツを 30~40%とするものであった。

このような経営方針の転換は道有林でも基本的に同じであった。道有林では、昭和 31 年の「北海道有林野施業案編成規程」に基づき臨時に編成された昭和 32 年度編成の施業案は、同年から実行された道有林林力増強計画（第 1 次林強計画）の趣旨に沿うもので、皆伐作業に重点がおかれており、トドマツの新植面積が次第に増加するようになった（大金、1968）。

一方、民有林についても、カラマツ材の需要構造が近年になって大きく変化し、従来の短伐期による小径木の利用が減少してきた。また、昭和 35 年頃から、先枯病のまん延、野ネズミ害の増加などがあり、カラマツを主体とする造林に変化がみられ、昭和 49 年度の造林面積ではトドマツがカラマツを抜いて首位となっている（北海道林業統計時系列版、1986 b）。

以上のように、トドマツは国、道有林では最主要造林樹種として取り扱われ、民有林でもトドマツ造林のウエイトは年々高まっている。このように、トドマツはカラマツとともに本道を代表する造林樹種

である。しかしながら、第2次大戦前に造林されたトドマツは戦時中の人手不足のため、不成績に終わるものも多く、年齢構成では昭和33年の生産力増強計画以降に造林されたVI年齢級以下の若い林分が圧倒的に多い。筆者(1976b)はトドマツ人工林の資源状況から、その問題点を報告している。それらを整理してみると、まず第1に年齢構成の不均一があげられる。例えばIV～VI年齢級の面積はトドマツ人工林の約4割を占めており、間伐対象林分が急激に増加し、間伐方法をどうするのか大きな問題をかかえている。第2の課題として、昭和初期に造林された高齢林分は主伐期を迎えつつあるが、これらの林分は大面積の一斉皆伐を前提に仕立てられてきた林分である。しかし、造林地をめぐる環境は植栽当時と異なってきており、その後の一斉林における気象害、病虫害の発生、皆伐による環境の悪化等のため、再び大面積にわたる一斉皆伐方式は難しい情勢にある。これらは大面積を対象にした粗放的な施業から小面積における集約的な施業への変化を表すものである。高齢人工林を事業的にどのような方法で更新させるのかは、間伐適期を迎えた林分の今後の施業方針にも大きな影響を与えることになる。将来、一斉皆伐を採用できない林分では、第1回目の間伐から準備を始めなければならないといえよう。このように、間伐方法も大面積を対象とした間伐方法から、選木も含めたより集約的な方法を検討すべき時期といえる。

本論文は、このような背景を踏まえ、具体的な間伐方法の提示に努めた。

2) 研究の目的

一斉人工林を経営していくためには、植栽方法から間伐、主伐、保護、そして更新に至る一貫した施業技術の体系化が必要である。こうした一連の施業技術の中で、最も重要なのが間伐、すなわち本数管理である。

そこで、本論文では第1にトドマツ人工林の間伐技術を高めるために、単木単位の生長モデルを作成して各種間伐方法の比較を行い、有利な間伐方法に言及すること、第2に道内トドマツ人工林の生長実態に即した具体的な施業目標を達成するための間伐指針表の提示を行うこと、第3にそれらの結果を基に間伐の体系化を試みることを目的としている。

3) 研究の意義

施業指針としての従来の収穫表および密度管理図はある地域の相対的な地位区分ごとに平均直径、平均樹高に代表されるような平均値および幹材積に代表される総量の記載しかない。林業経営では、目標径級に達した立木をどのくらい収穫するのかが重要である。従って、径級別本数の情報を表示した収穫表の提示の意義は大きいと考える。

一方、人工林において目標径級に達するための施業技術として最も重要なのが間伐である。間伐は具体的な施業目標に沿って行われるものであり、経営目標によって多様な間伐方法が求められる。そこで各種の間伐方法を分析し、有利な間伐方法を検討した。このことは施業目標を達成するために具体的な選木基準が与えられる途を開くことであり、今まで以上に実践的かつ詳細な指針が可能になると考えられる。生長実態に即した間伐指針表の提示は、より効果的な施業指針を作成する上で、今後重要な意義を有するものと考えられる。

本研究を取りまとめるに当たり、収支懇切な御指導を賜った北海道大学農学部教授大金永治博士をはじめ、論文の御校閲を賜った北海道大学農学部教授東三郎博士、同教授五十嵐恒夫博士、同教授氏家雅男博士に対して深甚な感謝を申し上げます。さらに、本研究の進行に際し、新潟大学農学部教授高田和彦博士並びに同大学農学部助教授小林正吾博士には、平素から御指導御鞭撻を下さり心から御礼を

申し上げる。貴重な収獲試験地の資料の使用を御許可頂いた農林水産省林業試験場北海道支場真辺昭博士に厚く御礼を申し上げる。一方、本研究の遂行に当たって常に御鞭健と御協力をいただいた北海道立林業試験場の古本忠場長をはじめとする職員の各位には心から感謝を申し上げる。これら各位のほか協力をいただいた方々に御礼を申し上げる。終わりに、貴重な試験林の設定、管理に当たってこられた道有林管理室、並びに下川町に対して謝意を表す。

なお、本論文は「北海道大学審査学位論文」である。

第2章 トドマツ人工林間伐の体系化に関する研究方法

第1節 トドマツ人工林施業の沿革

1) 時代区分

造林の歴史が浅い本道の場合、人工林施業の沿革は北海道林業経営の時代区分としてとらえなければならぬ。従来は更新技術の見地からの時代区分が多い。例えば林(1954)は人工造林の歴史として、第1期・新移民の郷土連想からその故郷樹種の移植時代(幕政時代より明治19年道庁新設頃まで)、第2期・森林荒廃にかえりみて、速成目的による道外樹種の移輸入時代(明治20年以降大正中葉に至る約30年間)、第3期・本道固有樹種に目ざめ、立地の特性に適応する更新法に向かって進む時代(大正後半期以後)の3期に区分している。松井(1965)はさらに詳しく5区分して造林の変遷を区分している。それらは、1. 本州産樹種の造林時代(明治初期とそれ以前)、2. 外国樹種の試植時代(明治中期)、3. 外来樹種の造林時代(明治後期—大正時代)、4. 郷土樹種の造林時代(昭和元年より戦時まで)、5. 戦後のカラマツ、トドマツ造林時代(昭和21年度以降)である。これらは主として植栽された樹種による区分であるが、森林の取り扱い方法からは、脇元(1969 a, b)は、1. 粗放な択伐作業時代における施業(明治初期から大正末期まで)、2. 集約的択伐作業時代における施業(大正末期から終戦まで)、3. 小面積皆伐作業時代における施業(戦後から拡大造林政策直前まで)、4. 大面積皆伐作業時代における施業(拡大造林政策以降)の4期に区分した。

以上のような見方に対して、大金(1973)は国家的林野所有を中心に経営方式とそれを支える技術の特質から時代区分を検討している。国有林は、大正中期までの法正林思想定着以前の経営(初期)、これより昭和30年頃までの法正林思想下の経営(中期)、さらに最近までの法正林思想否定後の経営(後期)に区分した。御料林については明治末期までの漸伐方針の経営(中期)、終戦までの択伐方針の経営(後期)に区分し、道有林については明治末期より大正中期までの森林純収獲説に基づく経営(初期)、昭和30年頃までの森林純収獲説と土地純収獲説による経営(中期)、昭和40年頃までの土地純収獲説のみによる経営(後期その1)、これ以降土地純収獲説崩壊後の経営(後期その2)に区分した。これらは、経営方式を技術の体系とみなし、その技術は所有形態により異なるとし、所有形態ごとに区分する考えである。すなわち、国有林と道有林は経営と法正林思想との関連により、また御料林は経営方式の採用方針によって区分したものであり、それぞれの時代区分については社会経済的背景を基に、経営に関する諸規程、経営方式並びに技術の性格等の特質が詳述されている(大金, 1970, 1973)。

上述の時代区分の中で、トドマツの播種養苗技術が漸次改良されて、ほぼ事業的生産の見通しがたってきたのは、国有林では大正末期頃からといわれている(松井, 1965)。道有林ではこれよりも遅れて、昭和に入ってからである。雄武林務署管内峠団地の経営に関する調査報告(谷口, 大金, 1975)による

と、苗木は昭和 10 年頃まで主として山引苗を樹下苗畑で 1~2 年養成し、これを植栽したものであり、昭和 12 年に苗畑が設定されてから、養成苗が逐次用いられてきたことを報告している。これからも分かるように、大正末期から昭和 10 年代までにトドマツ苗木の確保が比較的容易になり、おりからの郷土樹種の見直しともあいまって、トドマツの新植面積が国、道有林ともに飛躍的に増加するようになった。しかし、戦時の非常事態を迎えて造林事業は停滞し、またせっかく造林した林分も、その後の手入れ不足より、多くが消滅していった。

戦後の造林事業は、昭和 25 年頃からようやく軌道に乗り始めた。その後、国民経済の発展に対応して国有林では生産力を高めることを目的に、経営合理化方針に基づく生産力増強計画が昭和 33 年から実行され、道有林においても同様の計画が昭和 32 年度から実行された。この計画（以下、国有林、道有林、ともに林増計画という）には様々な批判が寄せられたが（日本林学会北海道支部 1957 年）、その後計画に沿ってトドマツの造林面積は図-1 の齢級配置に示すように増加の一途をたどることになる。しかし、この林増計画は大面積の一斉造林を前提にしていたものであり、拡大造林地には、野ネズミの異常発生、カラマツ先枯病の発生、諸種の気象害の発生が頻繁に現れるようになる。林増計画が実行されて 5 年目には、早くも林学会北海道支部大会でシンポジウム「北海道の拡大造林の反省と天然林のとりあつかいについて」（日本林学会北海道支部、1963）が開催される事態となった。トドマツ造林地に対しても、寒冷積雪地方を中心に昭和 45 年にトドマツ枝枯病が発見され（横田、1970）、その後被害は拡大し、激害林分が多発しつつある（青柳ら、1984、田中、1984）。

前述（谷口、大金、1975）した雄武林務署管内峠団地の小班面積を調べてみると、最大で 22ha の林分が認められる。このような大面積一斉造林地には様々な被害が発生し、かなりの補植を必要としたと考えられる。しかし、一斉林型が現在のように立派な造林地になっていることは驚異である。造林地付近の状況が現在とは異なり、周辺に相当の天然林が存在していたこと、および山苗などの地元産苗木の使用、豊富な労働力の存在等、様々な要因が考えられる。いずれにしても、育苗技術が確立する以前とそれらがすっかり定着した以降の造林成績に差があるとすれば、それらの背景を探る必要がある。

ここでは、それらの特質を考慮してトドマツ人工造林の歴史を 3 期に区分してそれぞれの時代に対応した施業方法の沿革を述べてみる。第 1 期を大正末期から昭和 10 年代末までの技術の定着時代とする。次に第 2 期を終戦後から枝枯病が発見された昭和 45 年までとするが、この時期は質より量の一斉皆伐造林の時代であり、戦後の造林から拡大造林、さらに拡大造林への反省が生まれてくる時期である。第 3 期は昭和 46 年以降とし、トドマツ枝枯病の被害が初めて確認され、一斉林への不安がますます強くなってきた昭和 40 年代後半から、拡大造林の反省が高齢林分の更新に生かされるようになってきた大面積非皆伐施業時代である。

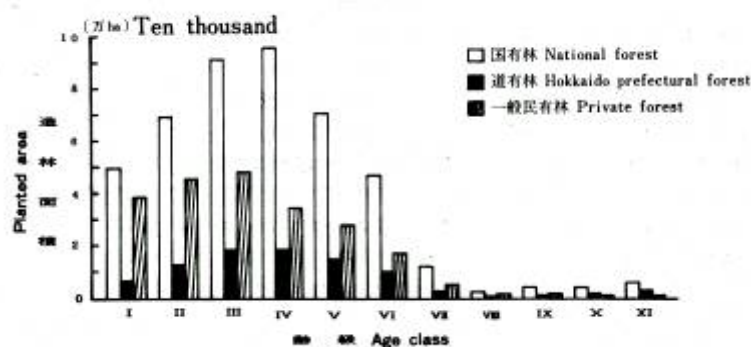
2) トドマツ人工林の施業方法の沿革

(1) 第 1 期の施業

この時期は、それ以前の数々の天然更新補助作業を通して観察されてきたトドマツの樹種特性を基に、養成技術が確立された時代である。新島(1915)はトドマツ種子の品質について調査し、人工造林の可能性について発表している。さらに、石原ら(1937)は幼苗造林方法を提唱するなど、様々な植栽方法が試行された。国有林、御料林、道有林を中心にトドマツの造林が進む中で、昭和 15 年に早くもトドマツの育苗から間伐までの撫育方法が体系化されて刊行された(山内、1940)また、トドマツの測樹的特性が明らかにされて、大正 10 年には天然林の生長解析結果を基にトドマツの収穫表が公表された(小出ら、1921)。収穫表はこの外に井上(1938)が作成している。当時は人工林の歴史も浅く、その成績

調査もわずかな事例（地方林課造林係，1932）しかなく，人工林の成績を基にした収穫表の作成までには至らなかった。

一方，育林技術史の立場から生井（1973）は，例として道有林池田経営区久保団地の昭和 41 年度末における成林率を考察している。それによると，成林率は昭和 3 年から 5 年植栽の造林地で 99%，同 6 年から 9 年で 72%，11 年から 15 年で 38%，16 年から 20 年で 29%であることを示している。また，このような昭和初期における育林成績の著しい向上とその後における成林率の低下を次のように考察している。当初の植栽対象地は森林の形態を保持しており，人工林造成において自然との離反の程度が著しくなかったこと，多くは皆伐跡地といいながら上木を多数残存させており，裸地造林の弊害は未然に防止されていたこと，および各工程ごとに質のよい労働投下が著しく増大したことを指摘している。一方，昭和 10 年代以降の不成績地の発生に関しては，伐採率の向上により植栽対象地が森林の形態を喪失したこと，および社会経済的条件の変化によって低賃金労働者の給源を失ったことを原因として指摘している。



図一1 トドマツ人工林資源構成表

昭和 59 年 12 月現在 北海道林務部森林計画課

Fig.1. Resources of artificial *Abies sachalinensis* stand

こうした事情は図一 1 に示したように，所有形態を問わず全道的に共通していたといえる。確かに昭和初期の一時期に植栽された林分の現存率が高いが，皆伐方式に基づく単純林造成方法にば変わりなく，更新には様々な問題点を含んでいる。

(2) 第 2 期の施業

この期の最大の特色は終戦後の復興期を経過した後，道有林では昭和 32 年から，国有林では翌 33 年から実施された林増計画である。日本林学会北海道支部（1957）では，この計画をテーマにシンポジウムを開催したが，国有林，道有林当局の説明に対し，学識経験者を中心に多くの批判や危惧などが提起され活発な討論が行われた。国有林における基本的な構想は昭和 32 年度末現在の人工林 14 万 ha を 40 年間で 113 万 ha に拡大する点である。採用樹種はトドマツ，エゾマツ，カラマツとし，その伐期齢をトドマツ 50～60 年，エゾマツ 60～70 年，カラマツ 25～30 年とし，作業種を単鈍化し，総面積に対する皆伐面積を 18%から 40%に増大するとしている。一方，道有林もシンポジウムでは 27 年度から実行されている道有林経営基本計画に基づいており飛躍的な変化はないと報告しているが，その後「道有林林力増強計画」を実行し，国有林とほぼ同じ経緯を歩むことになる。

このシンポジウムで指摘されたように、大面積の潔癖皆伐跡地に植栽された林分には様々な気象害、病虫害が発生するようになる。この時代におけるトドマツの施業は拡大造林に伴う撫育方法が中心であるが、一方で昭和初期に植栽された林分が間伐適期を迎えている。前期の項でふれたように、この時期には人工林の資料を用いた収穫表がやっと作成（松井，1962）されたばかりで、まだ十分に活用される段階に至っていなかった。この時期の後半になると、道有林で最初に設定された間伐試験地の測定結果が公表（馬渕ら，1966，山根，1966）されるようになり、徐々に実際の測定結果が蓄積されるようになってきた。

以上示したように、昭和初期に植栽された林分がやっと間伐適期を迎えつつあったが、主伐までには達しておらず、トドマツ人工林の施業方法の体系化はようやく緒に就いたばかりであった。

(3) 第3期の施業

大々的に実行されていた拡大造林は、カラマツ先枯病の発生、野ネズミの異常発生、トドマツの気象害の発生等の大きな問題を生じ、実施5年目には、全般的に目的の達成が困難という基調にたって、日本林学会北海道支部大会（1963）でシンポジウムがもたれた。トドマツに関してはこのシンポジウムで、松井氏、武藤氏が凍霜害に弱いことから、側方林分による低気温緩和効果の期待できる狭い帯状皆伐とか上木による保護効果の期待できる諸作業の必要性を指摘している。

施業方法に関しては、道有林の資料を基に収穫表（北海道林務部，1970）が作成されて広く現場で使用され始めた。一方、密度効果理論を基にしたトドマツ密度管理図（真辺，1974）も作成され、任意の間伐設計に対する収穫予想が可能となった。その後、トドマツ人工林の収穫予想に関しては、次々に新しい理論が開発された（阿部，1980 a， KIKUZAWA 1981， 真辺，1982， 猪瀬，1982）。

昭和初期に植栽された林分がそろそろ主伐期を迎えるようになったのも、この時期である。拡大造林に伴う各種の被害の中で、特筆されるのは昭和45年に発見されたトドマツ枝枯病（横田，1970）であろう。この病気は寒冷多雪地帯を中心に現在まで被害が拡大し、昭和60年の全道の枝枯病被害面積は1万7千 ha に達している。現時点では防除方法に決め手がなく、施業上の対策としては上木効果の利用や混交林の造成等が有効と考えられている。寡雪地帯以外では、本病に対して十分な施業上の配慮を行うことが重要である。

この時期の特色としては、各種の被害に対応するために非皆伐施業方法が実行されだしたことである。同時に、非皆伐施業は大径材の積極的な生産という観点からも注目されるようになり（早稲田，1981a, b），間伐方法も上層間伐が注目されるようになった（松井ら，1984）。道有林でも昭和55年に高齢級人工林の更新に関して指針をだしている（道有林管理室，1980）。これによると、トドマツは胸高直径が28cmに達すると価値生長がほぼ横ばいとなることから、直径分布幅が広い林分では、この径級に達した個体の多いところを中心に更新面を発生させるとしている。

以上のように、この時期は大面積のこ斉造林の弊害が顕在化するとともに、ようやく主伐期に達した高齢林分に対しての更新方法が慎重に検討されだした時期といえる。さらに、施業方法を体系化するための収穫予想技術が密度濃く進んだ時期ともいえる。しかし、収穫予想は収集資料が一斉造林地からのものだけであり、複層林下のトドマツの生長予測技術は将来の課題といえよう。

第2節 トドマツ人工林の間伐技術の構造

1) 植栽本数

間伐は植栽本数と密接に関連している。トドマツの過去の植栽事例を検討してみた。

疎植の事例としては、択伐作業地における補助的な造林の場合、ha 当たり 1,000 本ないし、列間 3.0m、苗間 1.8m の 1,500 本植栽が多い。次にササ地帯における昭和初期の筋刈地ごしらえの場合、1.2m 内外の置幅をとり、列間 2.7m、苗間 1.8m の 2,000 本植栽が多い。2 条植栽の場合は、条間 0.5~0.9m、苗間は 1.8m、列間は 4.0~3.6m で 3,000~2,500 本植栽となっている。また、昭和 40 年代からはブルトローザによる全刈地ごしらえが普及するようになり、この場合は 1.8m×1.8m の 3,000 本植栽、置幅をとる場合は刈幅内に 8 条植栽して 2,500 本程度の植栽密度が多い。

民有林の現在の植栽本数は 2,500 本/ha を基準にしている場合が多い(北海道林務部, 1986 a)が、地形や障害物などとの関係から、実際の植栽本数は 2,200 本内外が多い。

トドマツは初期生長が非常に遅く、うっ閉まで相当に時間がかかる。一般に人工林はうっ閉直後に林分葉量が最大値を示し、生長量も最大値を示す(只木, 1976)。従って、早期にうっ閉させることは、生長量の増大を図ることになり、また諸被害に対する抵抗力も増大する。そのためには植栽密度を高めることが有利であるが、苗木代や造林経費の問題から、植栽本数には制限がある。

筆者は事業的に植栽可能な範囲内で適正な植栽本数を探るために、植栽本数が 3,000 本/ha, 4,500 本/ha, 6,000 本/ha のトドマツ植栽密度試験地を設定し、その成績を調べてみた(表-1)。試験区は林齢 18 年生時に設定したものであり、調査時点では、6,000 本区、4,500 本区は既にうっ閉が完了し、

表-1 トドマツ植栽密度試験の結果(下川町有林 44 班-8 小班)
Table 1. Spacing experimental plot of *Abies sachalinensis* at Shimokawa, northern Hokkaido

密度区 Plot	6,000 本区 Number/ha			4,500 本区 Number/ha			3,000 本区 Number/ha		
	本数 Number/ha	材積 Volume	平均直径 Mean d.b.h	本数 Number/ha	材積 Volume	平均直径 Mean d.b.h	本数 Number/ha	材積 Volume	平均直径 Mean d.b.h
林齢 Age(yrs)	本	m ³	cm	本	m ³	cm	本	m ³	cm
18 年生	5,290	181.2	9.2	3,430	139.7	10.0	2,550	72.9	8.8
20 年生	5,290	252.9	10.1	3,430	199.8	11.1	2,550	111.5	10.3
22 年生	5,270	307.3	10.7	3,430	250.7	12.0	2,540	165.0	11.5
24 年生	5,130	377.1	11.7	3,390	317.8	13.1	2,510	225.7	13.0
26 年生	4,930	430.8	12.4	3,380	375.2	13.8	2,510	287.8	14.1

3,000 本区はうっ閉直前の状態であり、広葉樹が林内に侵入していた。プロット設定時の調査では、表-1 に示したように 4,500 本/ha の成績がよい。しかし、時間の経過とともに、高密度区は密度効果により、直径生長が低下し始め、3,000 本区の生長がよくなる。

従って、高密度区は間伐が必要になってきている。早期にうっ閉させるためには、高密度に植栽し、うっ閉直後から、弱度の間伐を繰り返すのがよいが、現実的な方法ではない。そこで、最適な植栽本数を検討してみた。

植栽後、造林地内には大型草本等が侵入するために下刈作業が実行される。植栽密度を高めて、うっ閉を早めたとしても、大型草本等の植生高以下では意味がないことになる。そこで、植生高を考慮して、うっ閉する時の平均樹高ごとの植栽密度を検討してみた。

密度の影響を受けない疎開木の樹高 (HT) と樹冠幅 (W) との間には次の相対生長式が成立する(阿部, 1976 a)。

$$W = 0.6454 HT^{0.8807} \quad (1)$$

うっ閉は隣接木の枝がふれ合う現象と定義すると、植栽密度 (N) は次式で推定できる。

$$N = 10,000 / W^2$$

HTを2.5mとすれば、植栽密度は4,780本/ha,HTを3mとすれば,3,460本/ha, HTを3.5mとすれば2,640本/haとなる。大型草本のアザミ,ハンゴンソウ,オオイタドリ等の植生高を考慮すると、樹高が3m程度でうっ閉が始まるのが望ましいと考えることができる。従って,この場合の最適植栽密度は3,500本/haとなる。

以上のように,早期にうっ閉を凶るためには3,000本以上の植栽本数が望ましいが,実際はこの値よりかなり本数が少ないのが現実である。トドマツは諸被害に対する抵抗力が若齢時ほど弱いので,被害が予想される個所は早期にうっ閉させるためにも植栽本数は多めの方がよい。

2) 間伐の目的

一斉人工林を仕立てていく技術のうち,最も重要なのが本数管理としての間伐技術である。トドマツの間伐も他樹種とまったく同様であり,樹冠が閉鎖し下枝が枯上がってくる頃に,個体間の競争を緩和し,また,形質不良木を淘汰するのが目的である。このように保育的な手段と同時に,経済的行為を目的としても実行される。従って,様々な考え方に基づく間伐方法が実行されているのが現状である。そこで,この論文では様々な間伐目的に対処できるように,各種の間伐方法による林分推移を記述するようにした。

3) 間伐効果の考え方

間伐は森林所有者が経営意識をもつことから始まる。すなわち,間伐収入をどの程度得るのか,また将来,価値の高い材を生産するためには,林分をどのように誘導したらよいかなどを考慮しながら実行するものである。したがって,経営的には間伐を実行することによりトータルで無間伐以上に価値の高い材を生産できれば間伐効果があったことになる。ここで,トドマツ人工林材はスギ,ヒノキに比較して使用目的がはっきりせず,年輪幅や節等が「優良材」の条件として価格体系に十分反映するところまでには至っていない。従って,何十年も先の木材の価値を想定し間伐を実行するのは難しい面がある。間伐収入を考えてみても,例えば初回間伐時にはスギの磨丸太のような利用例もなく,径級の太さがそれほど価格に反映しない事情もある。

従来,トドマツは天然生の年輪幅の狭い材が使われてきた。人工林と天然林とでは生長経過が異なるので,主伐時に人工林で果たして天然林のような材の生産が可能かどうか,,植栽密度から検討すべき問題であろう。現行の植栽密度から考えても,本州のスギ,ヒノキにみられるように年輪幅を厳密に考慮した「優良大径木」の生産に一足飛びには移行できない。また,民有林の経営事情を考えても,できるだけ目標とする伐期内に大径材生産を行うことが必要である。トドマツ材の一般的な利用例として10.5cm正角を心去りで4本採材することを考えてみれば,胸高直径で36cmは必要となる。そこで,それに対応した径級に仕立てることが,まず第1段階としての目標と考えられる。従って間伐効果についても菊沢(1981)が提唱しているように,大径木本数の比較で行うことが施業上,重要と考えることができる。

4) トドマツ間伐研究の現状

植栽の歴史が浅いトドマツにあっても,最近になって間伐適期を迎えた林分が増加しつつある。トドマツ人工林を対象に各種の間伐試験地や収穫試験地が既に設定されており,それらの結果が逐次報告されている(阿部,1982,1983 a,1983 b,北海道林務部,1974,1979,1984,篠原,1973,梅井,1981,

織田ら, 1981)。

これらの試験以外に, 事業的に間伐が始まったのは昭和 40 年代からである。当初は既存の収穫表の本数を参考に, 弱度の下層間伐が行われることが多かった。有効な間伐方法を求めて, 模索が続くなかでトドマツの樹種特性に立脚した間伐方法が提唱されるようになった(渡辺定元, 1971, 中西, 1971, 金野, 1971, 野田, 1971)。渡辺定元(1971)は, 立木を優占本, 準優占本, 被圧本に区分し, 林木の競争を階層的にとらえ, 準優占木層を主体に間伐する方法(新聞伐法と定義)を提示した。この方法はトドマツの場合, 40 年間被圧されても主林木となりうる種の特性を利用して, 被圧木を将来の主林木に仕立てる予備として確保しつつ, 優占木をますます太らしめ, 径級的, 階層的にみて複層林型を造成し, 優占木が期待径級に達したところで, 選木法をなすび切りにきりかえて, 経済性の高い間伐を繰り返しながら長伐期の人工林を造成しようとするものである。この方法も, 間伐で上層林冠を開けることで下層木の育成をねらったものといえる。上層林冠を積極的に開ける間伐方法としては, 同時期に道有林の渡辺啓吾(1971), 中西(1971), 金野(1971)も提示している。

単に上層林冠を開けるだけでなく, 間伐木の積極的利用を意図した間伐方法を提唱したのが早稲田(1981 a, 1981 b)である。この間伐における選木方法は「残しての将来の価値生産の可能性と, 伐つての現在の利用価値とを勘案して決める」ことをねらいとしており, 具体的な選木方法として, 年輪幅が一定より広すぎる優勢木を伐るとしている。この考え方の基礎になっているのは, 吉野林業における間伐方法である。吉野地方では 20~30 年生で永代木を決定し, 壮齢期では 2 級木の大部分と 1・3 級木の一部が伐採される(大金, 1982, 大金ら, 1982)。一方, 吉野地方の川上村ではかなり広く幼齢期の上層間伐が行われている(早稲田, 1981 b)。織田ら(1981)はトドマツ人工林を対象に上層間伐試験地を設定して, その効果を追跡中である。

トドマツ人工林の齡級構成は図-1 に示したとおりであり, 要間伐林分も, ここ十数年で一時にピークに達するようになる。このように増大する大面積の要間伐林分をかかえている道有林では計画的に間伐を実行しなければならず, 効率的な間伐方法を模索しているのが現状である。

5) 間伐技術

間伐は保育手段であると同時に, 森林から収穫を得る手段である。大金(1970)は一斉林の選伐を間伐, 複層林のそれを択伐と規定している。収穫手段としての間伐は林分生長量の動向を見極めながら, 効果的な時期, その間隔, 期間, 回数, 間伐率, さらにどのような個体を伐採するかなど, 生長量の観点から総合的に検討しなければならない。

こうした間伐技術の構成の中で最も基本的なのが選木である。わが国では寺崎式樹型級区分(1982)に代表される定性間伐法が主であったが, 近年, 密度効果理論を応用した間伐指針が検討されるようになり, 定量間伐が主となった。坂口(1961)は間伐の歴史的発展を取りまとめており, その中で次のように定性間伐法を批判している。

- (1) 林分の恒星状態が違うときが, 同一の間伐法によっても異なる間伐程度が現れる。つまり, 実行者の主観により間伐程度が異なり, 絶対的な間伐量は定まらない。
- (2) 樹型級区は定性的な立場から決められるため, 主観を避けることはできない。また, 樹型級による間伐度合は変異が大きく, 繰り返し期間と間伐度合(間伐種)との関係が不明瞭なため観念的な攪乱が生じる。

坂口(1961)は, 以上のように定性間伐を批判し, 林分がその構成状態によってまったく質的量的な違いを示す生態学, 測樹学的な法則性によって, 伐期までの全生産期間を通じての立木本数(密度)を

調節しようとする間伐方法を定量的な (Quantitative or numerical) 間伐として定義した。この定量間伐は間伐対象本数を例えば、胸高直径や、樹高、胸高断面積合計、樹冠幅、その他 1 本当たりの占有面積等の要因から求めるものである。坂口(1961)は定量間伐の尺度として、平均胸高直径から最大本数密度式を導き、最大本数密度を 100 とし、おのおのの直径に対応する現実の立木本数の百分率から本数密度比数として立木度を表わす方法を示した。

その後、只木 (1963) は立本密度 (ρ) と平均幹材積 (v) との間に $3/2$ 乗則を仮定し、等平均樹高線と組み合わせて、定量間伐への理論的根拠を与え、間伐指針を提示した。この理論的根拠により、定量間伐法はより応用されうる途が開かれたといえよう。安藤 (1968) はこの理論を基に、主要樹種を対象に「密度管理図」を作成して、定量間伐の概念をさらに一般化し、具体的な間伐指針を示した。しかし、密度管理図では具体的な選木方法については述べられておらず、定量間伐法は選木方法を無視した質より量の時代に対応した間伐方法といえる。すなわち、定量間伐法における間伐指針として重要なのは、立木本数の調整である。密度管理図で得られる具体的な指針としては、ha 当たり本数、材積、および林分の平均樹高、平均胸高直径といった総量あるいは平均値並びに最多密度に対する比率としての収量比数、自然枯死線である。これらの数値は平均値レベルであり、径級別本数等の個体群の情報は含んでいない。また、密度管理図における間伐方法は、間伐後に平均直径が増加する、下層間伐を前提にしている。間伐効果に関する研究成果 (菊沢, 1981) から、上層林冠を開けるような間伐方法が求められており、その意味からも、密度管理図のみでは不十分である (菊沢, 1981)。

生産目標に沿った間伐指針を得ようとするれば、間伐指針も径級別本数を表示しなければならないと考える。筆者 (1980a) は既に道有林のトドマツ人工林を対象に径級別本数を予測した収穫表を提示した。

この収穫表は、トドマツ人工林の直径分布によく適合するワイブル分布を用いて径級別本数を予測したものである。ワイブル分布によれば、間伐等で直径分布が変わっても、それに対応して間伐後の分布を表現できる (西沢ら, 1976)。一方、確率密度関数ではなく、林分個体群の法則性を基にトドマツの「収量-密度図」が作成されている (KIKUZAWA, 1981)。これは林分内の大きな個体から積算した材積 (Y) と本数 (N) との関係を示す $Y-N$ 曲線と等限界直径線、最多密度線、等平均直径線から成立するもので、やはり直径分布を知ることが可能である。

このように、直径分布を示した収穫表は作成されているが、具体的な選木方法については、ほとんど言及されていない。収穫手段として間伐を規定すれば、単木ごとの生長予測、しかも樹型級区分ごとの傾向が必要になってくる。収穫する立場からは、胸高直径が同じでも形質によってその後の生長に差が生ずるのであれば、選木時にそのことを考慮しなければならないからである。また最近、拡大造林の反省から、大面積の一斉皆伐を避け、複層林化が望まれている。このような場合、より集約的な施業が望まれており、トドマツ人工林材の質を高めるためにも樹型級区分を考慮した選木方法が必要になってくると考えられる。

わが国の間伐技術で最も古い歴史を持つ吉野林業では長年の経験を伝承した定性間伐が実行されている (岩水, 1970)。大金ら (1982) は、吉野地方における間伐の経営的考察を行い、この地方の間伐は年齢の推移に伴う林分構成の変化に対応して定性と定量の間伐を統一して実施していることを指摘している。アカマツを対象に、生育段階別に適正本数を示し適正本数に至る選木方法に寺崎式樹型級区分を実践したのが麻生 (1943) の間伐方法である。麻生は間伐の目的を樹種別、地位別、年齢別に常に適正な立木状態に置くこととし、残存林分の健全な姿を維持するために選木を寺崎式樹型級区分によったものである。それ以前の間伐法は、樹型級区分により形質の悪い立木の淘汰のみを重視する傾向があったが麻生の適正本数の考え方は、大面積の要間伐林分を所有している国有林にも大きな影響を与えた。大橋

(1949)は、間伐の目的を悪木の淘汰におくことに変わりはないが、大面積の場合の間伐方法に適正本数の活用を推奨している。

このように、定性間伐に定量間伐を組み入れた間伐方法の考え方が提唱され始めていたが、拡大造林以降、定量間伐が主流となり、定性的な選木方法まで余裕がなくなると考えられる。しかし、本州の造林は間伐の古い歴史をもち、樹型級区分も実行されてきた背景があり、定性的見方と同時に定量的見方があったと考えられる。一方道内では、人工造林の歴史が浅く、定性的な見方がないままに、定量間伐時代を迎えたと考えられる。定性的な見方の例としては、わずかに長内(1968)が示した区分があげられる。

一方、筆者は、35年間にわたり継続して調査されてきた久保トドマツ間伐試験林を解析して、間伐区における大径木本数が無間伐区のそれを上回ることを実証した。このことは、間伐で立木本数は減少するが、ある径級以上の本数は逆に増加することを意味し、経営上極めて重要なことを示唆しているといえる。この場合の間伐は下層間伐であるが、材積間伐率が31%とやや強度である。一方、梅井(1981)は、間伐方法の違いによる間伐効果を比較した結果、強度上層間伐区の材積生長率が下層間伐区よりもよいことを報告している。

このように、間伐効果を期待できる間伐方法は、全層や上層、あるいはやや強めの間伐のように、上層林冠を開放するような間伐方法といえることができる。したがって、間伐方法としては葉層をできるだけ効果的に利用するために、まず形質不良木を間伐した上で、単木当たりの占有面積がほぼ均一になるように選木するのが理想である。具体的には全層間伐が望ましい。全層間伐を実行することで、林分には大小様々な個体が存在し、生態的にも、また、将来の木材需要にも弾力的に対応でき都合と考える。なお、寺崎式の樹型級区分に基づいた間伐型式で分類すれば全層間伐はB種間伐に該当するものである。

6) 間伐技術と主伐目標

道有林では、胸高直径28cm以上の蓄積が50%以上の林分を主伐が可能な林分とし、その蓄積が75%以上の林分は全体が伐期に達したものとしている(道有林管理室, 1980)。この基準となった直径は、筆者が設定した帯状2段林施業試験地(阿部, 1980b, 1981b)について道有林が素材生産歩止りと、その素材の一部を試験挽きして、決めたものである。その結果によると、立木の価値は胸高直径が小さいうちは大きくなるにしたがい急上昇するが、28cmぐらいからほぼ横ばいとなる。これは現在の市場では28cm以上の立木から生産される一般材の価格にあまり差がないためであり、この時点で価値生長がほぼ止まり、あとは材積生長のみとなる。このように、トドマツはスギ、ヒノキのように径級に応じた価値生長が明確ではないが、ここでは、材質的に安定している心取り角が木取りできる原木を生産目標と定める。そのためには、材長3.65mの1番玉の末口径で34cm程度、立木胸高直径で36cm前後は必要となる。上述したように、現在の価格体系に反映されなくても、今後人工林材が本格的に市場にでてくることを考慮してみると、材質的に安定している木取りが可能な大径木が有科になると考えられるので、ここでは生産目標として36cm以上を目標とした。

従来は、林分の平均直径が例えば30cmに達すれば、主伐時期というような決め方が多かったが、現在は林分のある直径階以上の本数を主伐対象とするように変わってきた。これは一斉皆伐方式から択伐方式に転換しつつあることの反映であろう。このように、林分の主伐目標を決めるに際し直径分布が重要になってきている。

既に筆者(1980a)は、大きな個体から積算した本数と材積を表示した「トドマツ人工林の収穫予想表」を示している。今後の施業は、こうした情報がますます必要になってくると考えられる。

第3節 研究方法の沿革

トドマツ人工林の取り扱いで最も重要な本数管理に関しては、収穫表が一般的に用いられてきた。トドマツの収穫表も前述したように、松井（1962）、北海道林務部（1970）が作成し、現場で広く使われ始めた。しかし、現実林分の本数管理が収穫表に記述されている本数と大きく異なる場合は、補正方法が明確ではなく、あまり実用的なものではなかった。現実林分の立木密度に対応した予測値を得るための努力が続けられ、その後、安藤（1962）は密度効果理論を基に、任意の立木本数に対して幹材積、平均直径が読み取れる密度管理図を発表した。真辺（1974）は、安藤の示した計算方法を改良して、トドマツ密度管理図を作成し、取量比数を用いた間伐設計を示した。さらに真辺（1982）は、施業別収穫予測のシステムを組み立て、これにより予測される間伐・主伐収穫を貨幣価値に換算するための収益評価システムを示した。密度管理図は間伐後に平均直径が上昇する、つまり下層間伐方法を前提としたものであり、得られる情報も総量としての幹材積、平均値としての平均直径であるため、直径分布や間伐方法別の情報は得ることができなかった。

一方、確率密度関数を応用した直径分布の研究が盛んに行われるようになった（西沢、1976、柿原ら、1982、鈴木、1979）。筆者（1980）はトドマツの直径分布によく適合するワイブル分布を利用して径級別本数を表示した新しい形の収穫予想表を初めて提示した。その後、ワイブル分布を利用した同様の収穫表は南雲ら（1981）、白石（1986）により作成されている。径級別本数を表示したものには KIKUZAWA（1981）の収量－密度図がある。

収穫予測に関しては、単木間の競争関係をもとにシュミレーションにより林分の生長過程を再現しようとする研究も幅広く行われている。わが国における単木生長モデルの研究については、高田（1961）がスギ人工林を対象に、林内における立木の受光環境から林内の樹高生長を説明するモデルを提示したのが始まりとされている。その後、電子計算機が利用できるようになると、NEWNHAM（1964）の Douglasfir 林分を対象とした研究を皮切りに、MITCHELL（1969）のように単本ごとに樹高生長を求め、その時の樹冠長に応じた幹の肥大生長を求めるといった具合に、単木単位の生長量から林分全体の生長量を予測するようになった。隣接木との競争関係から単木の生長過程を具体的にモデル化して、任意の生育段階の収穫予測を実行したのが小林（1978）の相対生長モデルである。一方、トドマツに関しては猪瀬（1982）が単木の生長予測を行っている。

最近、生長曲線に関する理論的な研究が進み、林分生長の仕組みが統一的に説明されつつある。箕輪（1982、1983 a、1983 b）はゴンペルツ関数を、内藤（1983、1984）はリチャード関数を対象に研究を行っている。リチャード関数は大隅（1976）によりわが国に紹介されたもので、大隅ら（1983）、大隅（1985）により林木の生長解析への応用が精力的に行われている。その後、Itoら（1984、1985）、PIENAARら（1973）が胸高断面積合計の生長予測に用いている。

以上のように、従来の収穫表や密度管理図に代わり、径級別本数を表示するなど、より具体的な施業目標を樹立できるようになりつつあるといえる。しかし、これらの予測値と具体的な間伐方法との解析は不十分であるといえる。

第4節 研究方法

トドマツ人工林の施業は大面積一斉皆伐から小面積皆伐や択伐の間伐を実行後の非皆伐施業へと移行しつつある。このような集約的な施業に対しては、従来の定量間伐のように立木本数のみを考慮する間

伐ではなく、選木方法に結びつく定性間伐の導入が必要となってくる。間伐が収穫を得る手段であるとすれば、間伐方法は経営の目的に応じて変わる。例えば、早期に収穫を得るためには、ある径級以上を対象とした上層間伐を実行することになる。

一方、民有林では中下層木を中心とした保育間伐の考え方が強く、大径木を残存させることが多い。このように、実際の選木では直径の大きさが有力な要因となることが多い。従って寺崎式樹型級区分も梢頭の位置により優勢木、劣勢木と大きく区分した上、欠点の度合いに応じて細分化するものであり、個体の大きさが有力な要因である。相対生長理論からも、一般に直径の大きい個体ほど、樹高が高く、逆に直径の小さい個体ほど樹高が低い。従って寺崎式樹型級区分は直径の大きさにほぼ対応していると考えることができる。上層、下層、全層間伐をそれぞれ、間伐木を優勢木から選木する方法、劣勢木から選木する方法、および2級木を主体に大部分の直径階から選木する方法と定義すると、上層間伐は寺崎式樹型級区分の1級木、2級木を中心に選木するD種間伐に、下層間伐は2級木の1部と3級木以下を選木するA種間伐に、全層間伐は2級木を中心に選木するB種間伐に対応するものである。B種間伐による実際の選木では、直径が大きくても欠点木は選木されるので、全層間伐並みに上位の個体が選木されることが多い。

このように、各間伐方法別に径級別の収穫量を予想するには、個体ごとに生長経過を予測しなければならない。そこで樹木の各要素の生長予測に対して最も理論的な意味づけが可能であるリチャード生長曲線を用いて、林分内の各個体にこの生長曲線を適合させて生長を予測する方法を開発し検討した。この方法は、単木生長モデルに属するが隣接木との競争因子を導入せずに、生長曲線のパラメーターを推定する方法なので容易に個体の生長予測が可能である。この予測方法を用いて各間伐種別の総収穫量を求めて、有利な間伐方法を明らかにし、間伐技術の向上を図ることにした。

一方、道内トドマツ人工林の生長実態を明らかにし、地位に応じた間伐の体系化を試み、多様な林業経営に対応できるようにした。

第3章 調査個所の概要と調査成績

1) 間伐試験林

(1) 久保トドマツ間伐試験林

道有林池田林務署管内久保団地2林班52小班内にある久保トドマツ人工林間伐試験林は、昭和4年にha当たり4,200本植栽され、林齢20年の昭和23年に間伐試験林として設定されたものである。それ以来、5ないし10年間隔で単木単位に測定され、長期間にわたるトドマツの測定結果としては唯一の例となっている。筆者はこの試験林に対し、林齢47年の昭和50年から調査に携わってきた。この間に、立木位置図の作成、林齢50年、55年の昭和53年、昭和58年の調査、および過去の測定結果の整理を行い公表している（北海道林務部、1982）。さらに筆者は林齢50年および55年までの生長量を取りまとめて報告している（阿部、1983b、北海道林務部、1984）。

この試験林は林齢20年と40年に2回の間伐を実行したIA区、林齢40年に1回間伐を実行したIB区、林齢24年、26年、30年、33年、36年、40年の6回間伐を実施した施業区および無間伐区のIIB区とから成っている。各試験区における林齢別材積と生長量関係は表-2に示した。

55年生時の総収穫量はIB、IA、ともに $900 \text{ m}^3/\text{ha}$ を超えており、無間伐区は $870 \text{ m}^3/\text{ha}$ とやや下回る。無間伐区を100とすれば、IA区で110、IB区で111、施業区で91となり、100を中心に約

表-2 久保トドマツ間伐試験林成長量一覧
 Tble.2. Stem volume increment of thinning experimental plot of
Abies sachalinensis at Kubo
 (1) 林齢別材積 (m³/ha)
 (1) Volume

試験区	plot	林齢 Age(yrs)				
		20年生	30年生	40年生	50年生	55年生
	無間地区 Unthinned	130.4	364.9	648.6	838.1	865.9
	2回間伐区 Two-times thinned	140.0	314.0	606.3	603.4	720.0
	1回間伐区 One-time thinned	128.8	384.5	690.9	666.6	747.7
	6回間伐区 Six-times thinned			403.5	461.1	434.0

注 (1) 各材積は間伐前を表す。
 Numerals show before thinning.

(2) 総収穫量 (m³/ha)
 (2) Total yield

試験区	plot	林齢 Age(yrs)				
		1-20年生	1-30年生	1-40年生	1-50年生	1-55年生
	無間地区 Unthinned	130.4	364.9	648.6	838.1	865.9
	2回間伐区 Two-times thinned	139.9	358.0	650.3	880.8	997.2
	1回間伐区 One-time thinned	128.8	384.5	690.9	929.3	1,009.9
	6回間伐区 Six-times thinned			569.5	743.3	818.8

注 (2) 6回間伐区間は、1965年設定時までに5回、2,270/ha, 166m³/haの間伐が行われた。
 Six times thinned plot was thinned five-times until 1965.
 Accumulation thinned number and volume were 2,270 num./ha and 166m³/ha.

(3) 粗生長量 (m³/ha)
 (3) Gross increments

試験区	plot	林齢 Age(yrs)				
		1-20年生	21-30年生	31-40年生	41-50年生	51-55年生
	無間地区 Unthinned	130.4	237.0	315.4	275.9	82.0
	2回間伐区 Two-times thinned	139.9	221.7	302.0	256.9	116.6
	1回間伐区 One-time thinned	128.8	255.4	316.1	272.4	98.6
	6回間伐区 Six-times thinned				236.3	75.4

(4) 純生長量 (m³/ha)
 (4) Net increments

試験区	plot	林齢 Age(yrs)				
		1-20年生	21-30年生	31-40年生	41-50年生	51-55年生
	無間地区 Unthinned	130.4	234.5	283.7	189.5	27.8
	2回間伐区 Two-times thinned	139.9	218.1	292.3	230.5	116.5
	1回間伐区 One-time thinned	128.8	255.8	306.4	238.4	80.6
	6回間伐区 Six-times thinned				217.3	-27.6

注 (3) 6回間伐区は、1981年にhaあたり130本の風倒木が発生したために純生長量がマイナスになった。
 Windfalls tree occurred at six times thinned plot in 1981 and net production was minus quantity.

±11%内におさまる。最近5年間の期間平均生長量をみると、ⅡB無間伐区で著しく低下していることが分かる。

この試験林は個体が識別されているので、単木の生長を基にした解析は第4章で行う。

(2) 下川間伐試験林

この試験林は、間伐後の材積が一定になるように各種の間伐を実行した場合、間伐方法の違いによる径級分布の推移を解析するために設定したものである。試験林は下川町有林 44 林班 8 小班にあり、昭和 35 年植栽のトドマツ人工林である。試験区の大きさは各 0.2ha であり、いずれも林齢 23 年時に間伐を実行した。その後5年間の生長量を表-3 に示した。各区の期間生長量はほぼ同じ値を示す。総收穫量を図-2 に示した。全層間伐区が 370m³とほかの試験区よりも約 20m³程多い値を示す。

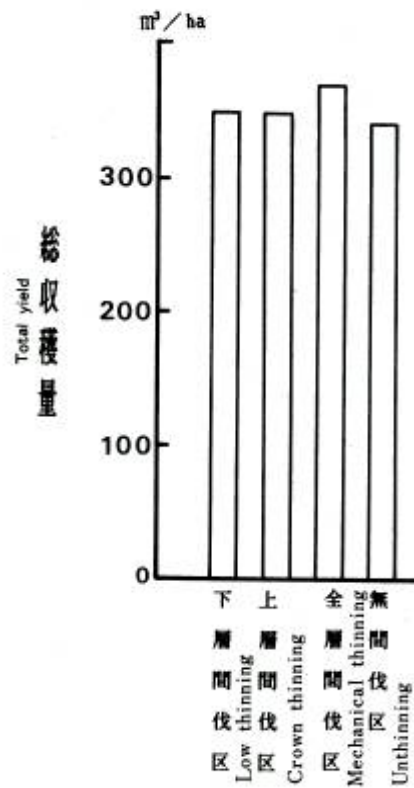


図-2 下川間伐試験林における各間伐区の総收穫量の比較

Fig.2 Comparison of the total yield in the various thinned plot at Shimokawa

表-3 下川間伐試験区の概況
Table 3. Outline of the thinning experimental plot of *Abies sachalinensis* at Shimokawa

間伐区名 Plot	林齢 Age(yrs)	本数/ha Number/ha	材積/ha Volume/ha	間伐率 (%) Thinning rate		期間生長量 m ³ /ha Volume increment
				本数 Number	材積 Volume	
I 区 下層間伐区 Low thinning plot	23年生	2,260	195	44	30	158
	間伐前 Before thinning					
	間伐木 Removed	990	59			
	間伐後 After thinning	1,270	136			
II 区 上層間伐区 Crown thinning plot	28年生	2,290	193			162
	23年生	2,290	193			
	間伐前 Before thinning					
	間伐木 Removed	465	60	20	31	
III 区 全層間伐区 Mechanical thinning plot	28年生	2,350	214			157
	23年生	2,350	214			
	間伐前 Before thinning					
	間伐木 Removed	835	70	36	33	
IV区 無間伐区 Unthinned plot	28年生	2,345	178			164
	23年生	2,320	342			

2) 植栽密度試験林

個体レベルに対する植栽密度の影響を明らかにするために、上記の下川間伐試験林と同一小班内に密度を変えて植栽されていた個所を対象に、植栽密度試験林を設定した。この試験林も、個別別に生長曲線を適合させて、生長モデルを作成するためのものである。試験区は、昭和35年にha当たり6,000本、4,500本、3,000本植栽された個所内に、林齢18年時に0.1ha設定し、その後、2年間隔で26年生まで測定している。試験区の概況を表-1に示した。試験林設定時には4,500本区の直径生長がよかったが、生育段階が進むにつれて低密度区の直径生長がよくなってきている。

3) 樹型級別生長試験

間伐方法別の生長量を調べる場合、樹型級別の生長量の動向に注目する必要がある。第2章の第2節で述べたように、大面積一斉造林に対応した定量間伐法から今後は多様な施業に対応できるような間伐方法が望まれている。そこで、樹齢の経過とともに、樹型級区分がどのように推移するのか、また、間伐木はどのような樹型級区分から選木されているかを調べるために、林業試験場北海道支場および北海道営林局が設定したトドマツ人工林取獲試験地の資料(1984)のうち、昭和2年植栽常磐および昭和4年植栽緋牛内の毎木調査の結果を用いた。試験地における20年間の樹型級(寺崎,1928)の推移を図-3, 4に示した。図に示したとおり、常磐も緋牛内もほぼ同様の推移を示している。2回の間伐実行時には、2級木以下が選木されることが多い。試験地設定時の樹型区分の比率と比較すると、試験地設定後2回の間伐をはさんで20年経過した段階では、1級木の占める比率がかなり高くなる。

次に、久保トドマツ間伐試験林および下川植栽密度試験林を対象に、樹型級別の頻度分布図を図-5

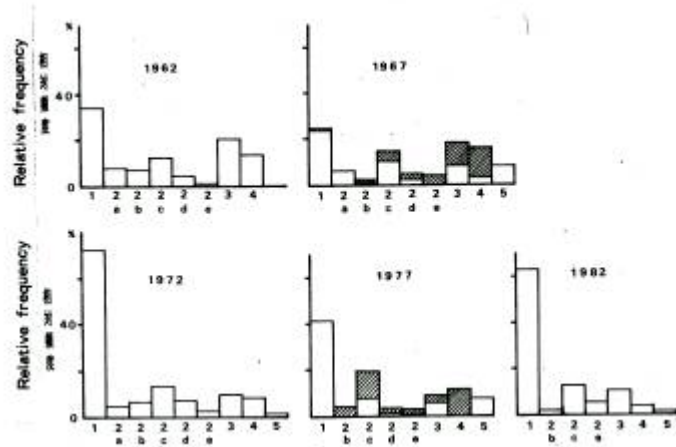


図-3 トドマツ収穫試験地における間伐木の樹型級区分 斜線は間伐木を表す
林業試験場北海道支場設定の収穫試験地 緋牛内（昭和4年植栽）

Fig.3. Stem class of thinned tress in *Abies sachalinensis* yield experimental plots.
Slashed bar : Symbol indicates thinned trees
Hiushinai *Abies sachalinensis* yield experimental plots (planted in 1929)
were established by Hokkaido Branch,For.& For.Res.Inst.

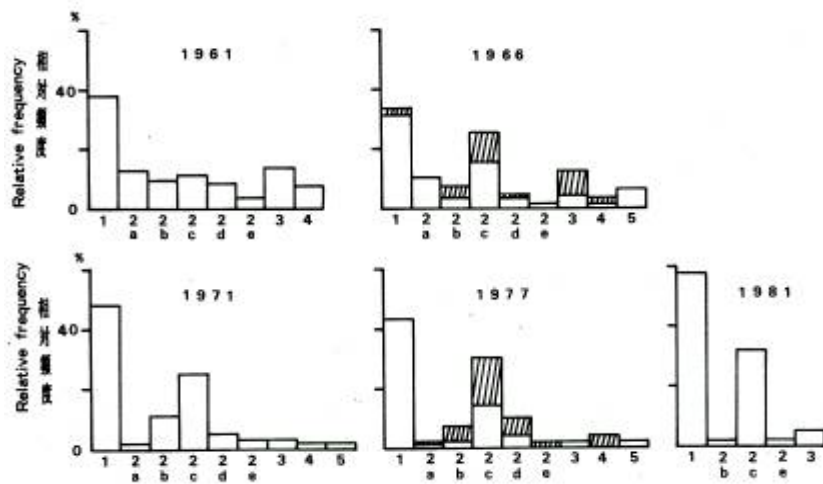


図-4 トドマツ収穫試験地における間伐木の樹型級区分 斜線は間伐木を表す
林業試験場北海道支場設定の収穫試験地 常盤（昭和2年植栽）

Fig.4. Stem class of thinned tress in *Abies sachalinensis* yield experimental plots.
Slashed bar : Symbol indicates thinned trees
Tokiwa *Abies sachalinensis* yield experimental plots (planted in 1927)
were established by Hokkaido Branch,For.& For.Res.Inst.

に示した。植栽密度別では、低密度地ほど、1級木および2級木の本数比率が高く、樹型級別本数は密度の影響を受けるといえる。一方、間伐試験林の場合には、間伐で本数が減少した区ほど、1、2級木の本数比率が高く、密度階別とほぼ同様の傾向を示す。

以上のように、無間伐で推移すれば3、4級木の閉める割合が非常に多くなり、定性的な見方の間伐を実行すれば価値生長向上させることが可能となる。

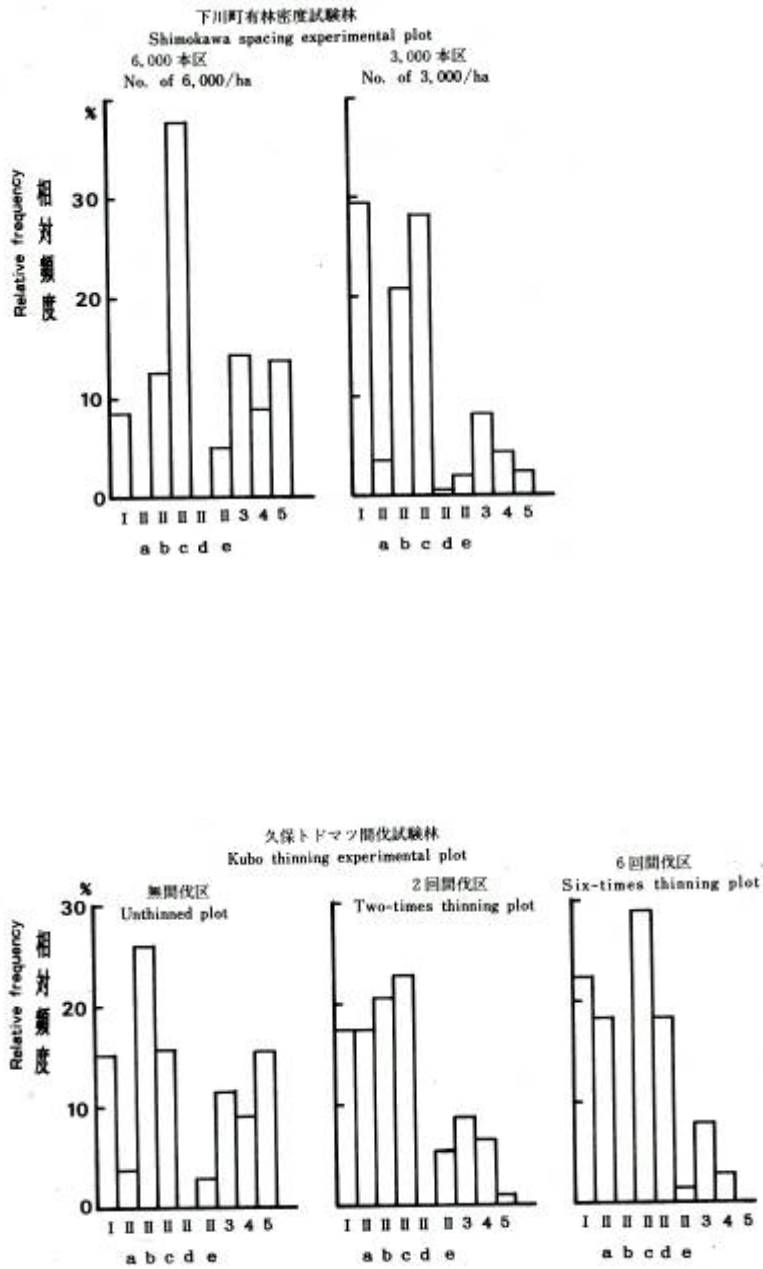


図-5 樹型級別本数構成比

Fig. 5. Component ratio of tree classification numbers of trees

4) 生長量試験地

トドマツ高齢人工林の蓄積動態を測定するために、函館林務署管内 112 林班 51 小班内の大正 8 年植栽林分に、29m×100mの固定試験地を昭和 49 年に設定した。この試験地は昭和 49 年（林齢 56 年）および昭和 53 年（林齢 60 年）に間伐が実行されている。試験地の測定は昭和 49 年、昭和 53 年に筆者が行い、昭和 57 年に木幡ら（1982）が行った。林分構造の推移を表-4に示す。

表-4 寅沢トドマツ収穫試験地の林分構造の推移
Table.4. Change of the stand structure of Torasawa yield experimental plot

	1974 (林齢 56 年) 56 yrs. of age			本数 間伐率 (%)	1978 林齢 (60 年) 60 yrs. of age			本数 (林齢 64 年) 64 yrs. of age
	間伐前 Before thinning	間伐木 Removed	間伐後 After thinning		間伐前	間伐木	間伐後	
							(%)	
平均直径(cm) Mean d.b.h.	37.2	38.5	36.4		38.5	32.9	39.7	41.7
平均樹高(m) Mean tree height	26.9	27.0	26.9		27.3	26.3	27.5	27.6
平均材積(m ³) Mean stem volume	1.416	1.543	1.342		1.487	1.077	1.571	1.737
本数/ha No. /ha	500	184	316	37	304	52	252	17
材積/ha Stem volume	708	284	424		452	56	396	424

この試験地設定の目的は、高齢級トドマツ人工林の調査事例が少ないので、その生長量及び林分の動向を明らかにするためである。最近4年間の期間生長量は 28m³であり、それ以前の4年間と比較してもまだ低下していない。この生長量は道有林函館・松前経営区トドマツ収穫表（1970）のI等地と比較しても遜色がない。

5) 生長曲線のあてはめ資料

生長曲線のあてはめによる生長モデルを作成するために、道内のトドマツ人工林から樹幹解析木の資料を採集して生長曲線の適合度を検定した。採集した樹幹解析木一覧表を表-5に示した。

林分内の個体に対する生長曲線のパラメーターの変動には、前述の久保トドマツ間伐試験林、下川植栽密度試験林の資料を用いた。以上の個体に対するあてはめ結果については第4章の生長モデルで詳述する。

表-5 樹幹解析一覧表
Table 5. List of stem analysis data

地名	採集本数 (本) Number	林齢 (年) Age(yrs)	採集林分の立木密度 (本数/ha) Tree density(No./ha)
雄武 Oumu	25	53	431
芦川 Ashikawa	3	40	1,380
川西 Kawanishi	2	40	2,190
開源 Kaigen	6	29	1,646
豊富 Toyotomi	2	30	2,450
歌登 Utanobori	2	31	1,744
浅茅野 Asajino	2	50	740
久保 Kubo	3	47	2,228
寅沢 Torasawa	3	56	500
池田 Ikeda	2	42	疎開木
雄武 Oumu	2	29	Open-grown tree 疎開木
			Open-grown tree

6) 地位区分と収穫表の作成

地位区分を行うために、全道トドマツ民有林を対象に実施された立地級調査の結果(1983)を用いた。この立地級調査では、個々の林分を対象に毎木調査が行われており、プロット数は全部で1,019である。

一方、道有林は昭和50年現在の人工林基本調査標準地調査結果(18経営区)の1,092林分を用いた。このほかに、主に宗谷管内の間伐指針を得る目的で管内約20林分で行った毎木調査の結果を用いた。

第4章 林分生長モデルの構造と適合性

第1節 生長モデルの考え方

間伐指針表を作成するためには様々な条件下による生長を予測しなければならず、生長モデルの考え方が必要となる。生長モデルはその考え方から3種に分けられる(MUNRO, 1973)。

- (1) 単木単位で考え、樹木間の距離情報を必要とするもの。
- (2) 単木単位で考え、樹木間の距離情報を必要としないもの。
- (3) 林分単位で考えるもの。

(1)の代表的な生長モデルの例としては小林(1978)のカラマツを対象にした相対生長モデルがあげられる。これは個体間の競争関係を基に個体別に生長予測を行うものである。(2)の例としては阿部(1980a)や、PIENAARら(1973)、南雲ら(1981)、白石(1986)、Itoら(1985)があげられる。このほかに確率過程を用いた林分遷移の方程式(鈴木, 1979)もこの範ちゅうに入ると考えられる。(3)は従来の収穫表や林分生長量を表す回帰式等があげられる。

間伐時の選木を考慮すれば、樹木間の距離情報を含んだ(1)のモデルがよいといえる。しかし、(1)のモデルは林分内における個体間の競争をモデル化する必要がある。

既に筆者(1983b)は、過去30年間にわたって継続して調査されてきた久保トドマツ間伐試験林を対象に、個体の生長に及ぼす要因を解析した。この試験林の無間伐区と間伐区を対象に、個体の生長に及ぼす要因を図-6に示したように、4グループに分けて検討を行った。グループ1はある対象木から周囲の隣接木までの距離を算出して、近い順から10番目に至る平均距離、グループ2は同様にある対象木から近い順に10番目までの隣接個体の直径を累積したもの、グループ3は隣接木の直径を距離で重みづけしたもの、グループ4は隣接木の断面積を累計したものである。グループ1~3は対象木の直径(Y)と、ある対象木から近い順に10番目に至るまでの各要因(X)との相関関係、グループ4は直径の代わり

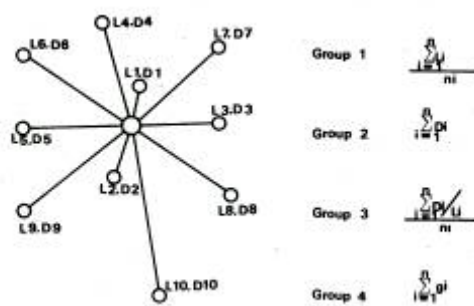


図-6 個体の生長に影響を及ぼす隣接木の配置の因子

- L_i : 対象木からの距離
- D_i : 隣接木の胸高直径
- G_i : 隣接木の断面積
- n : 隣接木の本数

Fig.6. Environmental factors used to represent the influence of neighbour trees on growth of a single tree.

- L_i : Distance from the subject tree
- D_i : D.b.h. of the i -th nearest neighbour tree
- G_i : Basal area of the i -th nearest neighbour tree
- n : Number of neighbouring tree

に対象木の断面積 (Y) と, ある対象木から近い順に 10 番目に至るまでの各要因 (X) との相関係数を算出し, 近い順に 8 番目までの結果を表-6 にまとめて示した。

表-6 固体の直径, 断面積と, 隣接木の配置との相関表
Table.6. Coefficients of correlation between d.b.h. or basal area of a single tree and arrangement of its neighbour trees

グループ	無 間 伐 区				2 回 間 伐 区			
	20 年生	Unthinned plot		50 年生	Two-times thinned plot		50 年生 Age(yrs)	
		30 年生	40 年生		30 年生	40 年生		
1	n=1	0.112	0.118	0.143	0.168	0.155	0.165	0.269
	2	0.113	0.129	0.168	0.209	0.215	0.228	0.243
	3	0.092	0.126	0.189	0.223	0.224	0.240	0.244
	4	0.068	0.121	0.193	0.210	0.255	0.242	0.239
	5	0.066	0.123	0.182	0.203	0.201	0.219	0.241
	6	0.058	0.123	0.180	0.192	0.180	0.197	0.244
	7	0.047	0.115	0.180	0.181	0.164	0.179	0.244
	8	0.038	0.112	0.174	0.171	0.145	0.159	0.239
2	1	0.030	-0.030	0.013	0.014	-0.108	-0.167	-0.212*
	2	0.100*	-0.022	-0.019	-0.055	-0.169*	-0.171*	-0.215*
	3	0.142*	-0.015	-0.042	-0.110*	-0.182*	-0.210*	-0.216*
	4	0.171*	-0.005	-0.060	-0.146*	-0.192*	-0.232*	-0.238*
	5	0.182*	-0.021	-0.056	-0.165*	-0.176*	-0.221*	-0.235*
	6	0.193*	-0.011	-0.074	-0.174*	-0.168*	-0.215*	-0.240*
	7	0.205*	-0.009	-0.090	-0.176*	-1.156*	-0.201*	-0.247*
	8	0.212*	-0.019	-0.091	-0.176*	-0.132*	-0.172*	-0.251*
3	1	0.086	-0.058	-0.030	-0.020	0.009	-0.021	-0.053
	2	0.204*	-0.002	-0.024	-0.068	-0.047	-0.124	0.017
	3	0.251*	0.027	-0.008*	-0.105*	0.000	-0.114	0.072
	4	0.283*	0.059	0.004	-0.137*	0.014	-0.116	0.019
	5	0.295*	0.040	0.042	-0.145*	0.055	-0.080	0.101
	6	0.304*	0.070	0.030	-0.133*	0.083	-0.043	0.119
	7	0.313*	0.078	0.011	-0.128*	0.118	-0.001	0.116
	8	0.316*	0.060	0.023	-0.123*	0.172	0.066	0.115
4	1	0.101*	-0.044	-0.023	-0.027	0.010	-0.036	-0.052
	2	0.206*	-0.005	-0.025	-0.086	-0.057	-0.144*	0.013
	3	0.257*	0.022	-0.011	-0.130*	-0.006	-0.132	0.075
	4	0.287*	0.047	-0.010	-0.161*	0.020	-0.117	0.009
	5	0.301*	0.036	0.023	-0.170*	0.066	-0.073	0.089
	6	0.305*	0.065	0.009	-0.156*	0.100	-0.040	0.108
	7	0.316*	0.076	-0.006	-0.148*	0.127	0.000	0.106
	8	0.317*	0.058	0.007	-0.147*	0.179	0.056	0.107

* 5%水準で有意.
5%level.

20年生時の無間伐林分をみると、グループ3,4にみられるように、対象木の直径ないし断面積と隣接木の直径ないし断面積の累積和が正の相関を示す。このことから、生長のよい個体は集中して群を形成していることが分かる。しかし、林齢が進むにつれて単木間の競争が激しくなり、30年生時ではこれらの相関は認められなくなり、50年生時では負の相関に移行していく。従って群の中で優劣が生じ、優勢木ほど次第に占有面積を拡大していくことになる。この占有面積の拡大が直径生長にどのように影響を与えるかは、グループ1を調べればよい。

無間伐林分では、単木の直径生長に及ぼす平均隣接距離の影響は、20年生時ではほとんど相関が認められないが、林齢が高くなるに従い相関係数が高くなる。林齢50年生時では最短隣接距離から近い順に3番目までの平均距離との相関が高かった。つまり、平均隣接距離が増加する、すなわち生育空間が広がるほど、対象木の直径は大きい傾向を示している。すなわち、間伐で生育空間が広がった個体ほど、直径生長がよかったことを示している。相関係数が高い範囲は、無間伐区では $n=3\sim 4$ 本、間伐区では $n=4$ 本と、ほぼ同様な傾向を示している。ただし、第2回目の間伐実行後は、 $n=1$ の時が相関係数の最大値を示す。これは立木本数が少なくなったために、最短隣接木までの距離の影響が最も大きかったことを示している。

このように、ある対象木の直径生長に影響を及ぼしている因子としては、近い順に3~4本程度の隣接木までの平均距離が指摘できる。しかし、相関関係はそれほど高くなく、単木の生長にどのような因子が有効なのかは簡単には結論づけられない。

同様な例として TAKATA (1979) は、ヨーロッパトウヒを対象に59年間の測定値を基に、対象木からの平均距離、平方平均距離、対象木と至近木を結ぶ線分の垂直2等分線で囲まれた多角形の面積と対象木の生長との相関係数を求めている。それによると、どの因子もほとんど有効ではなく、樹木の生長に最も関係のある因子はそのもの自身の大きさであるとの結論を述べている。

一方、WEINER (1984) は若いリギダマツを対象に個体の生長率に及ぼす2m以内の隣接木の影響を調べ、隣接木の断面積合計と個体の生長率との相関係数が0.6を示すことを報告している。

このように環境因子が有効な報告例はあるが、個体の生長に影響を及ぼす独立変数に何を選擇するかについては確定的な要因はまだみつかってはいない。さらにトドマツは、陽樹であるカラマツと異なりうっ閉前の耐陰性の強い時代とそれ以降では生長の型や集団としての生態的な特徴が異なることに注意する必要がある。例えば耐陰性の強い時代は、前述の下川植栽密度試験林を対象に樹高が7.5m以上の優勢木の分布様式を調べてみると、I δ 指数は1.7であり集中分布を示す(阿部ら, 1983c)。このような事例は他の植栽密度試験でも観察されている(清和, 1982)。

継続的な測定値がある久保トドマツ間伐試験林の資料を用いて、生長段階が進んだ場合に大きい方からの個体の分布様式がどのように変化するかを調べてみた。無間伐区を対象に、材積の大きい方から全本数の10, 20, 30, 50%に該当する個体の分布をI δ 指数を用いて、林齢20年と50年の場合を図-7に示した。これによると、うっ閉直後の林齢20年では、大きな方から10, 20%に該当する個体は集中分布しているが、林齢50年ではいずれの大きさの個体もランダムに分布していることが分かる。

このようにトドマツでは、うっ閉前の耐陰性の強い時代には生長のよい個体が集中分布を示す。しかし、うっ閉が完了してしばらく経過すると、下枝が枯れ上がるようになり陽樹的性格を帯びるようになる。その結果、立木密度の影響を受けやすくなり、集中分布していた生長のよい個体間に種内競争が生じ、やがて林齢の経過とともにランダムな分布に移行すると考えられる。従って、隣接木との係わり合い方もカラマツとは異なり、生育段階で変わってくる。このようなことから、ここでは距離の情報を必要としないモデルにより収穫表を作成するものとした。すなわち、林分内の個体ごとに成長曲線を適合

させて、単木単位に成長予測を行うことにした。林分内の個体ごとに成長曲線をあてはめる例として、山本ら（1986）は間伐効果の解析のために生長曲線（ミッチャリッヒ式）を適合させている。

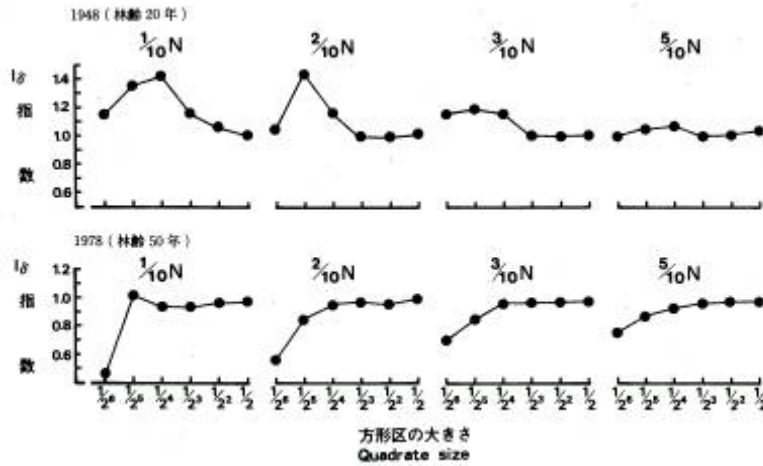


図-7 生育段階が進んだ場合の大きな方からの個体（材積）の分布様式の変化
 方形区全体の大きさは 36m×36m であり、本数 N は 510 本である。

Fig.7.Changes of Iδ index which were calculated by summing up the tree number beginning with the largest one with age.

The whole quadrat area is 36m×36m,and number of trees of trees are 510 numbers.

第2節 モデルの構成

個体の生長過程を表すために、様々な生長曲線が検討され、各生長要素にあてはめられている。従来は林分の平均値、例えば平均直径、断面積合計等に生長曲線を適合させる場合が多かったが、平均値の時系列そのものは各要素の生長過程を表すものではない。林分生長量は林分を構成している個々の生長を積み重ねたものであり、個体ごとに推定された値から平均値を求めるべきと考える。樹木の各生長要素に対しては各種の生長曲線の適合が行われている。ここ、では樹木の生長過程を理論的に考察できるリチャード生長曲線を用いて生長モデルを作成した。

1) リチャード式の性質

リチャード式は von BERTALANFFY (1968) の生長モデルにその基礎をおいたものである。すなわち von BERTALANFFY は動物の生長について、その生長速度は合成作用の速度と分解作用の速度との差で表わされ、前者は体重の m 乗に比例するが、後者は体重自体に比例するとした。

$$\frac{dw}{dt} = \eta W^m - kw \quad (2)$$

ただし、W : 体重, η , m, k : 定数

von BERTALANFFYは m の値の範囲を $2/3 \leq m < 1$ と定めた。この場合、大隈 (1985) は (2) 式の積分結果を

$$W = \{ \eta / k - [\eta / k - W_0^{1-m}] e^{-(1-m)kt} \}^{1/(1-m)} \quad (3)$$

ただし、 $W_0 : t=0$ における重量として示している。

この式が von Bertalanffy の生長関数である。ところで、F.J.RICHARDS (1959) は、植物の生長に関して、式 (2) の m の値が $2/3 \leq m < 1$ の範囲に限定されるべきでなく、 $0 \leq m$ として、その値を経験的に定めることにすれば、この生長関数の適用範囲はより拡大されることを示した。

式 (3) は

$$A^{1-m} = \eta / k, \quad B = \eta / k - W_0^{1-m}, \quad k = (1-m)k$$

とすれば

$$W^{1-m} = A^{1-m} - \beta e^{-kt} \quad (4)$$

(4) 式がリチャード生長関数の一般形である。

$m < 1$ の時

$$W = A (1 - \beta e^{-kt})^{\frac{1}{1-m}} \quad (5)$$

$$\text{ただし, } \beta = \beta A^{m-1} > 0$$

$m > 1$ の時

$$W = A (1 + \beta e^{-kt})^{\frac{-1}{m-1}} \quad (6)$$

$$\text{ただし, } \beta = -\beta A^{m-1} > 0$$

大隈 (1985) は、 $m=0$ とおけば

$$W = A (1 - \beta e^{-kt}) \quad (7)$$

となりミッチャリッヒの生長関数が得られ、

$m=2$ とおけば

$$W = \frac{A}{1 + \beta e^{-kt}} \quad (8)$$

となりロジスティック生長関数が得られ、

$m=1$ の時は解不能となるが、 $m \rightarrow 1$ の極限の場合にゴンペルツ生長関数

$$W = A e^{-\beta e^{-kt}} \quad (9)$$

が得られることを示した。

このように、リチャード生長関数は、既存の三つの生長関数を包含し、さらにそれらの中間遷移型及び $m > 2$ の生長型を包含する汎生長関数といえる。内藤ら (1983a, 1983b) は、 $A > 0$ として残りのパラメーターの符号の組み合わせにより、機械的にリチャード式を 8 種の型に分類して理論的に解析して

いる。

リチャード式のパラメーター m , A , b , k の解析的役割りはすでに大隈ら(1983)により論じられている。パラメーター A は最終到達量を表し、連年生長量が最大となる年齢を TI 、その時の総生長量を WI とすれば、これらは以下の式で表される。

$$TI = \frac{1}{K} \log_e \frac{1}{1-m} \quad (10)$$

$$WI = Am \frac{1}{1-m} \quad (11)$$

式の変曲点は (TI, WI) である。母数 k は生長速度に関係している。大隈ら(1983)によれば生長速度は次式で与えられる。

$$\frac{dW}{dt} = kW \left(\left(\frac{A}{W} \right)^{1-m} - 1 \right) / (1-m) \quad (12)$$

従って相対生長速度は時式で与えられる。

$$\frac{1}{W} \cdot \frac{dW}{dt} = k \left(\left(\frac{A}{W} \right)^{1-m} - 1 \right) / (1-m) \quad (13)$$

(12)式から、生長の型が決まれば、与えられた生育段階における生長速度または相対生長速度は k の大きさに比例するといえる。

2) リチャード式の適合度

トマツ人工林の生長要素にリチャード式がどの程度適合するかを検討してみた。資料は宗谷管内の民有林を対象に採集した樹幹解析本を用いた。それらの林分は豊富町芦川(40年生)、稚内市開源(29年生)、豊富町サロベツ(41年生)、稚内市川西(40年生)であり、さらに、稚内市クトネベツの資料(北海道林木育種場, 1982)を引用させていただいた。リチャード式のパラメーターの推定には伊藤(1985)の開発したプログラム`SSFITR/86`を用い、ゴンペルツ式、ミツチャリッヒ式のパラメーターは田中(1983)の開発したプログラム`MGLFIX`をそれぞれ利用して推定した。推定誤差は、推定値 S の平均値を E とし推定式の不偏分散をと σ^2 すればその偏差 σ を平均値 E で割って求めた、誤差率 $(\sigma/E \times 100)$ で示した。樹高生長に対する適合結果を図-8に、直径生長の場合を図-9に示した。その

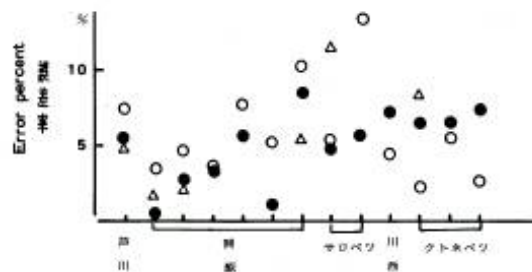


図-8 樹高生長へのあてはめによる生長曲線式の精度

● リチャード式 ○ゴンペルツ式 △ ミツチャリッヒ式

RICHARDS growth function GOMPERTZ growth function MITSCHERLICH growth function

Fig.8. Goodness of fit of growth functin for height increment

結果、樹高生長に対する平均誤差率はリチャード式で 4.8%，ゴンペルツ式で 5.8% であるのに対し、ミッチャリッヒ式は解が発散して推定不能が 6 例あり、著しく適合しなかった。一方、直径生長に対する平均誤差率はリチャード式で 2.6%，ゴンペルツ式で 5.8%，ミッチャリッヒ式で 13.7% となり、樹高生長、直径生長のいずれにもリチャード式のあてはまりが非常によいことが確かめられた。

このほかに、生長モデルを作成する上で基本的な事項となる直径、断面積、材積に関しては、十数本の樹幹解析木にあてはめるだけではなく、過去 35 年間にわたって継続して測定されてきた久保トドマツ間伐試験林及び下川植栽密度試験林の資料にリチャード式をあてはめてみた。あてはめた本数は間伐試験区のうち、無間伐区で 160 本、間伐区で 74 本、さらに植栽密度試験林から 3,000 本区、6,000 本区でともに 40 本である。その結果、いずれの生長要素に対しても著しくよい適合をみせ、その平均誤差率はどの要素に対しても 2～3% 程度であることを確かめた。

以上のように、リチャード式はトドマツ人工林の各生長要素に対して非常によいあてはまりを示す。トドマツのように幼齢時と壮齢時の生長率が大きく変化する樹種に対しても、リチャード式はその全生長期間に適合できうる生長曲線といえる。

今回の分析に使用したリチャード式は伊藤 (1985) の SSFITR/86 で用いられている下記の式とした。

$$W=A(1-e^{-k(t-t_0)})^{\frac{1}{1-m}} \quad (14)$$

ここで t_0 は胸高に達するまでの年齢を指している。今回は資料不足により $t_0=0$ としてパラメータを求めた。従って、リチャード式の一般式

$$W=A(1-be^{-kt})^{\frac{1}{1-m}}$$

において、 $b=1$ とした場合と同様である。すなわち、 $t=0$ の時、原点を通ることにした。従って、樹齢に対する推定値では胸高に達する年齢を t にプラスする必要がある。

3) 林分内個体における生長曲線のパラメーターの変異

林分内生長量は個々の生長を積み重ねたものなので、個体ごとに生長曲線を適合させて推定値を合計することで林分生長量を推定する方法について検討した。そのためには同一林分内の多数の個体に生長曲線を適合させて、そのパラメーターの変異状態を調べる必要がある。

(1) 直径生長へのあてはめ

久保トドマツ間伐試験林の無間伐区 (II B)、2 回間伐区 (I A) を対象に、林齢 20 年から 55 年ま

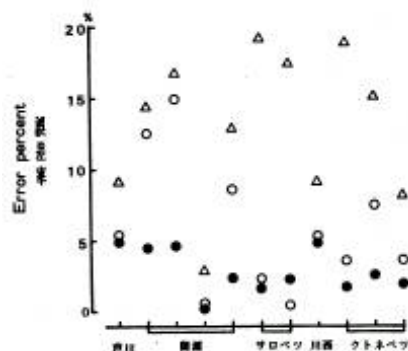


図-9 直径生長へのあてはめによる生長曲線式の精度

- リチャード式 RICHARDS
- ゴンペルツ式 GOMPERTZ
- △ ミッチャリッヒ式 MITSCHERLICH

Fig.9. Goodness of fit of RICHARDS growth function for diameter increment

での各個体の測定値へリチャード式をあてはめた。無間伐区はすべての期間が5年間隔であり、2回間伐区は林齢40年から50年の期間だけが10年間隔である。対象木は林齢55年まで生存していた個体とし、あてはめた結果を無間伐区、間伐区あわせて図-10に示した。最終到達量を表すAの分布は、間伐区の方が分布幅が広がっているが、一山型の分布型を示している。kは生長の型が決まれば、生長速度に密接な働きを示すパラメーターである。図ではやや左に片寄っているが、ほぼ正規分布型を示していると考えられる。生長の型を表すmもほぼ正規分布を示している。そして若干の例外を除くと、大部分はミッチャリッヒ型を表しており、また、最終到達量Aは無間伐区に対して間伐区の方が右側に広がっていることが分かる。これは間伐効果とみることができる。一方、下川植栽密度試験林を対象に同様のあてはめを行い、結果を図-11に示した。植栽密度試験の場合、林齢18年から26年まで2年間隔に測定されており、林齢がまだ若い段階のあてはめ例である。3,000本区はうっ閉直前、直後の最も生長がよい時期の資料であるため、kの分布は左側に片寄っている。これに対し、6,000本区は林齢18年時で既にうっ閉しており、kの分布も正規分布型に移行してきており、立本密度の影響で生長が低下したことを裏付けているといえる。生長の型を表すmは、正規分布型を示さない。これは、初期の生長過程が中心の場合の生長型と久保トドマツ間伐試験林のように比較的高齢な生長過程を含む場合とではその生長型が異なることを意味している。

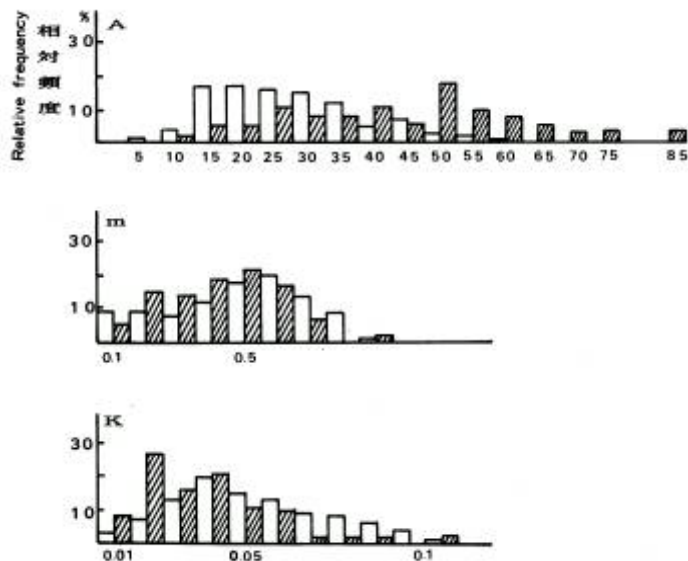


図-10 久保トドマツ間伐試験林の直径成長へのあてはめによるリチャード式のパラメーターの頻度分布

Fig.10. Frequency distribution of the parameters of RICHARDS growth function fitted on diameter increment in thinning experimental plot of *Abies sachalinensis* at Kubo

Slashed bar : Symbol indicates thinned plot

Unslashed bar : Symbol indicates unthinned plot

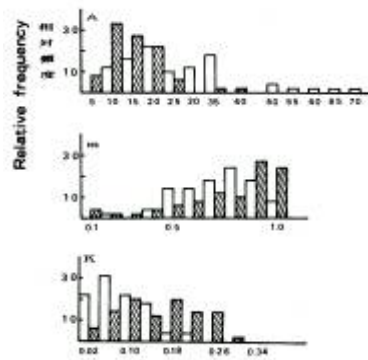


図-11 下川植栽密度試験林の直径成長へのあてはめによる
リチャード式のパラメーターの頻度分布
斜線：6,000 本区 無地：3,000 本区

Fig.11. Frequency distribution of the parameters of RICHARDS growth function fitted on diameter increment in planting density experimental plot of *Abies sachalinensis* at Shimokawa
Slashed bar : Symbol indicates 6,000 numbers per ha
Unslashed bar : Symbol indicates 3,000 numbers per ha

(2) 断面積生長へのあてはめ

久保トドマツ間伐試験林を対象に、断面積生長にリチャード式をあてはめて、そのパラメーターの頻度分布を求めたのが図-12である。直径生長と比較すると、 k 、 m ともに、より正規分布化していることが分かる。また、最終到達量Aの分布をみると、断面積生長の方がL型分布の傾向にあることが認められる。このことは、2次の量である断面積の場合は生長要素そのものの分布が左傾するので、生長要素に対応した分布を示すといえる。

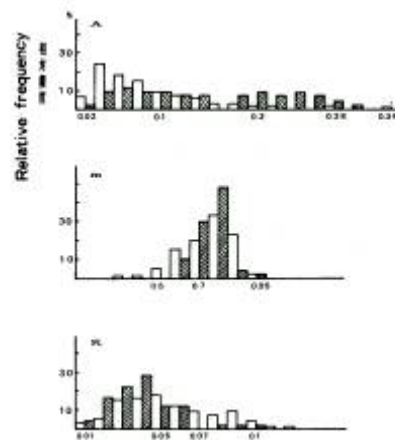


図-12 久保トドマツ間伐試験林の断面積成長へのあてはめによるリチャード式のパラメーターの頻度分布
斜線：間伐区 無地：無間伐区

Fig.12. Frequency distribution of the parameters of RICHARDS growth function fitted on cross-sectional area increment in thinning experimental plot of *Abies sachalinensis* at Kubo
Slashed bar : Symbol indicates thinned plot
Unslashed bar : Symbol indicates unthinned plot

(3) 材積生長へのあてはめ

久保トドマツ間伐試験林の無間伐区を対象に材積生長にリチャード式をあてはめ、結果を図-13に示した。生長要素が3次になった分、 k はより一層正規化する傾向が認められ、 m ではますます分布幅が狭くなる。 A は断面積とほぼ変わらない傾向を示す。

以上、林分内の集団にリチャード式を適合させて、パラメーターの分布を調べてみた。その結果、各パラメーターはある分布形をなしていることが分かり、これらを利用すれば生長モデルの作成が可能である。

4) パラメーター間の相互関係

各パラメーターのうちで、生長速度に関する深い k は最も重要なパラメーターである。 k が決まれば、最終到達量を示す A は、 m との関連もあるが、 k に大きく依存することが予想される。 m も生長型を示すパラメーターなので、ある程度 k との関連が予想される。このような動向は断面積、材積、直径ともに成立する。本研究では、間伐指針表を作るのが目的なので、1次の量である直径生長に焦点を当てて、これ以降の解析をすることにした。そこで、久保トドマツ間伐試験林を対象に、直径生長にあてはめた場合の k と A 、 k と m との関係を図-14、15に示した。それによると、 A と k の間では、 k の値が増加するに従い、 A は指数

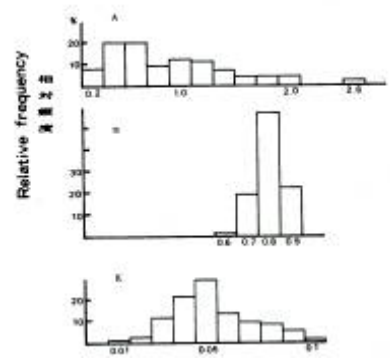


図-13 久保トドマツ間伐試験林（無間伐区）の材積生長へのあてはめによるリチャード式のパラメーターの頻度分布

Fig.13. Frequency distribution of the parameters of RICHARDS growth function fitted on volume increment in thinning experimental plot(unthinning plot) of *Abies sachalinensis* at Kubo

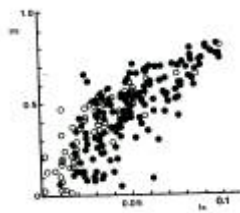


図-15 リチャード式のパラメーターの相互関係
久保トドマツ間伐試験林の直径生長における
 m と k との関係
●無間伐区 ○2回間伐区

Fig.15. Interrelationship between parameter m of RICHARDS growth function and parameter k fitted on diameter increment in thinning experimental plot of *Abies sachalinensis* at Kubo
●Unthinned plot ○Two-times thinned plot

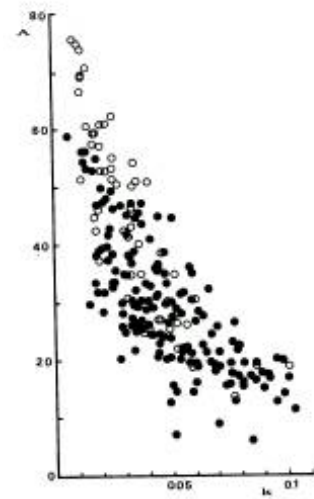


図-14 リチャード式のパラメーターの相互関係
久保トドマツ間伐試験林の直径生長における
 A と k との関係
●無間伐区 ○2回間伐区

Fig.14. Interrelationship between parameter A of RICHARDS growth function and parameter k fitted on diameter increment in thinning experimental plot of *Abies sachalinensis* at Kubo
●Unthinned plot ○Two-times thinned plot

関数的に減少していく。また、mの値はkの増加に伴い直線的に増加していく。無間伐区における両者の間には次の回帰式が成立する。

$$A = 97.4e^{-25.46k} \qquad r = -0.81 \qquad (15)$$

$$m = -0.108 + 10.329k \qquad r = 0.79 \qquad (16)$$

従ってkが決まれば、各個体のAとmは上から推定できることになる。また、間伐区、無間伐区ともに、kとA、kとmとの間には一定の関係式が成立する。このような傾向は下川植栽密度試験林の資料でも同様に成立する。Aとkとの関係を図-16に、mとkとの関係を図-17に示した。若い林齢におけるあてはめであるので、両者の関係式は久保トドマツ間伐試験林よりも変動幅が少なく、さらに密度の影響がでていいる。これはパラメーターの変異の項で述べたように、6,000本区と3,000本区との生長差が最も表れる時期を中心としているためと考えられる。

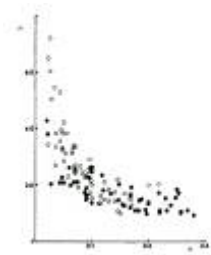


図-16 下川植栽密度試験林の直径生長におけるAとkとの関係

●6,000本区 ○3,000本区

Fig.16. Interrelationship between parameter A of RICHARDS growth function and parameter K fitted on diameter increment in spacing experimental plot of *Abies sachalinensis* at Shimokawa
●6,000No./ha ○3,000No./ha

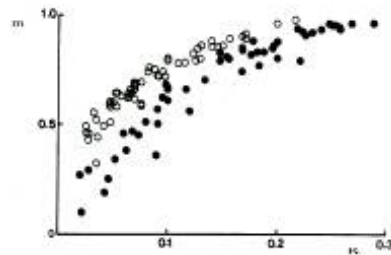


図-17 下川植栽密度試験林の直径生長におけるmとkとの関係

●6,000本区 ○3,000本区

Fig.17. Interrelationship between parameter m of RICHARDS growth function and parameter K fitted on diameter increment in spacing experimental plot of *Abies sachalinensis* at Shimokawa
●6,000No./ha ○3,000No./ha

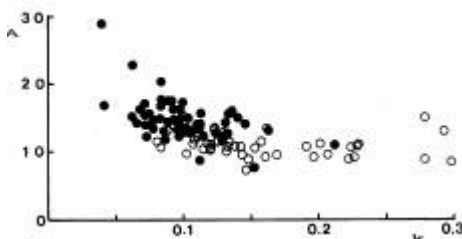


図-18 久保トドマツ間伐試験林の無間伐区における枯損木のAとkとの関係（直径生長）

●55年生時における枯損木 ○45年生時における枯損木

Fig18. Interrelationship between parameter A of RICHARDS growth function and parameter K fitted on diameter increment of trees died between twenty and forty-five or fifty-five years of age in unthinned plot of thinning experimental plot of *Abies sachalinensis* at Kubo
●Trees died at 55 yrs. Of age
○Trees died at 45 yrs. Of age

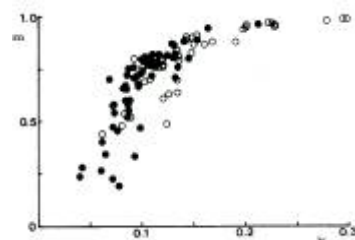


図-19 久保トドマツ間伐試験林の無間伐における枯損木のmとkとの関係

●55年生時における枯損木 ○45年生時における枯損木

Fig.19. Interrelationship between parameter m of RICHARDS growth function and parameter K fitted on diameter increment of trees died between twenty and forty-five of fifty-five years of age in unthinned plot of thinning experimental plot of *Abies sachalinensis* at Kubo
●Trees died at 55 yrs. of age

林分の推移に伴い、期間内に枯損木が発生する。そこで久保トドマツ間伐試験林の無間伐区を対象に期間途中で枯損した個体の直径生長にリチャード式をあてはめ、パラメーターAとk、mとkとの関係を調べてみた(図-18, 19)。この試験林における枯損木は、表-7に示すように、無間伐区では林齢35年時と50年時に大量に発生していることが分かる。ここではパラメーターを求める都合上、林齢45年生時と林齢55年生時に枯損した個体の直径生長を対象にパラメーターを求めた。Aとkとの関係をみると、45年生時に枯損した個体ほど、kの値が非常に大きく、Aの値は頭打ちになる。一方、55年生時に枯損した個体では図-14に示した全体の場合に近似している。また、mとkとの関係では、kが0.1前後までmも直線的に増加するが、それ以降、kの増加に対してmは1.0に漸近する形となる。

表-7 自然枯損の推移

Table.7. Numbers of trees died during 20 and 55 yrs of age		(本数/ha)						
林齢 Age(yrs)	20~ 25年生	26~ 30年生	31~ 35年生	36~ 40年生	41~50年生 45年生 50年生		51~ 55年生	合計 Total
区 plot								
2回間伐区 Two-times thinned plot	—	49	109	99	109		—	366
1回間伐区 One-time thinned plot	10	129	505	356	138		30	1,168
無間伐区 Unthinned plot	17	182	486	370	254	524	315	2,148

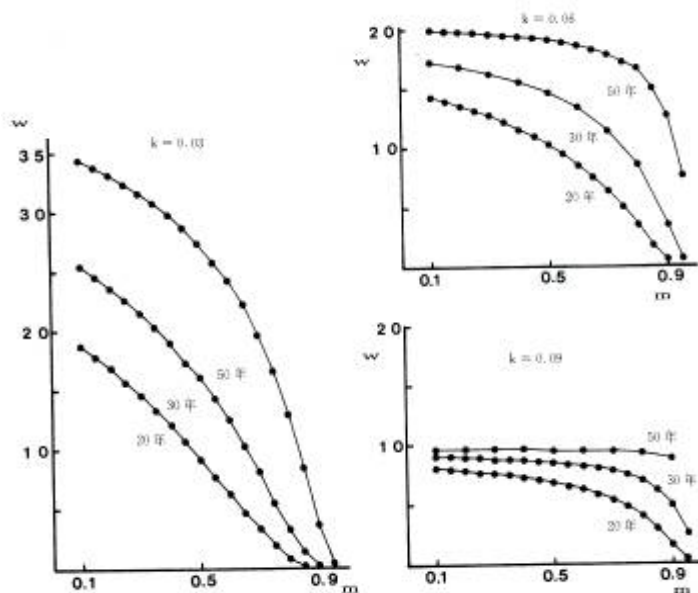


図-20 kを一定にした時の、mによる推定値wの変化

Fig.20. Under parameter K is constant conditions, the change of w with m

このように、生育期間の途中で枯損した個体ではkの値が非常に大きいことが分かる。

リチャード式のWはkとmに依存している。kを一定にした場合、mによりWがどのように変わるかをモデル計算してみた。図-20に示したように、kの値が小さい場合はmの増加に伴い、Wは小さくなる。しかし、kの値が大きくなると、mの値が変化してもWはそれほど変化しない。図-14の久保トドマツ間伐試験林の無間伐区におけるkの平均値は0.05となり、伐期近くの状態ではmの変化をあまり受けない。

久保トドマツ間伐試験林の無間伐区を対象に、mの区分別にAとkとの関係を示したのが図-21である。これによると、kの値の増加にたいしてmの値も増加し、前述したようなkとmとの間の直線関係を裏付けている。図-22には、個体別にあてはめた場合のkとその個体の実際の期末直径との関係を示した。期末直径が同じでも、様々なkとmとの組み合わせがあることが分かる。変動幅は大きいですが、kが増加するとmも増加する。

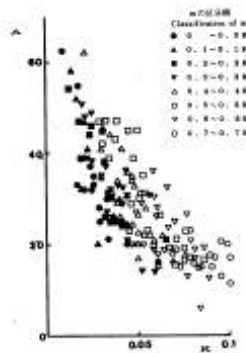


図-21 久保トドマツ間伐試験林の無間伐区におけるmの区分別のAとkとの関係
Fig.21. Relation between parameter A and k according to classification by parameter m in unthinned plot of thinning experimental plot of *Abies sachalinensis* at Kubo

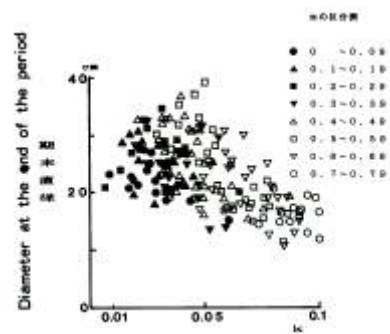


図-22 久保トドマツ間伐試験林の無間伐区におけるmの区分別の期末直径とkとの関係
Fig.22. Relation between parameter k and diameter of the end of the period according to classification by parameter m in unthinned plot of thinning experimental plot of *Abies sachalinensis* at Kubo

以上のように、Aや期末直径にはmとkが関係しているが、中でもmはkが大きくなると、mも大きくなる傾向があるので最も重要なのはkということが出来る。

ここで、同様に間伐区と無間伐区の両区を対象に、期首の直径階別にAとkとの関係を調べてみた(図-23)。期首の直径階が同一でも、その後の生長は様々である。筆者は久保トドマツ間伐試験林を対象に、期首の直径階ごとに、その後の直径分布がどのように推移するのかを調べ、期首に同じ直径階に属していた個体も、数年の経過とともに拡散することを示した(阿部, 1983b)。期首に同一な直径階に属していた個体にリチャード式をあてはめて、パラメーターAとkとの関係を図-23に示した。その結果、それぞれの直径階で図-14に示したのと同様の関係が得られる。同時に、期首の直径階が大きくなると、それに属する個体のパラメーターkの値は大きな値、例えば0.06以上を示す個体数は減少してくることが分かる。このように、期首に同一の直径階に属していても、その後の直径の拡散に対応したパラメーターが存在し、しかも、全体の場合のパラメーター間の相互関係に近似した関係が成立している。このことは、生長曲線を用いることで、期首に同一の直径階に属する個体のその後の生長を予測できる可能性を示している。

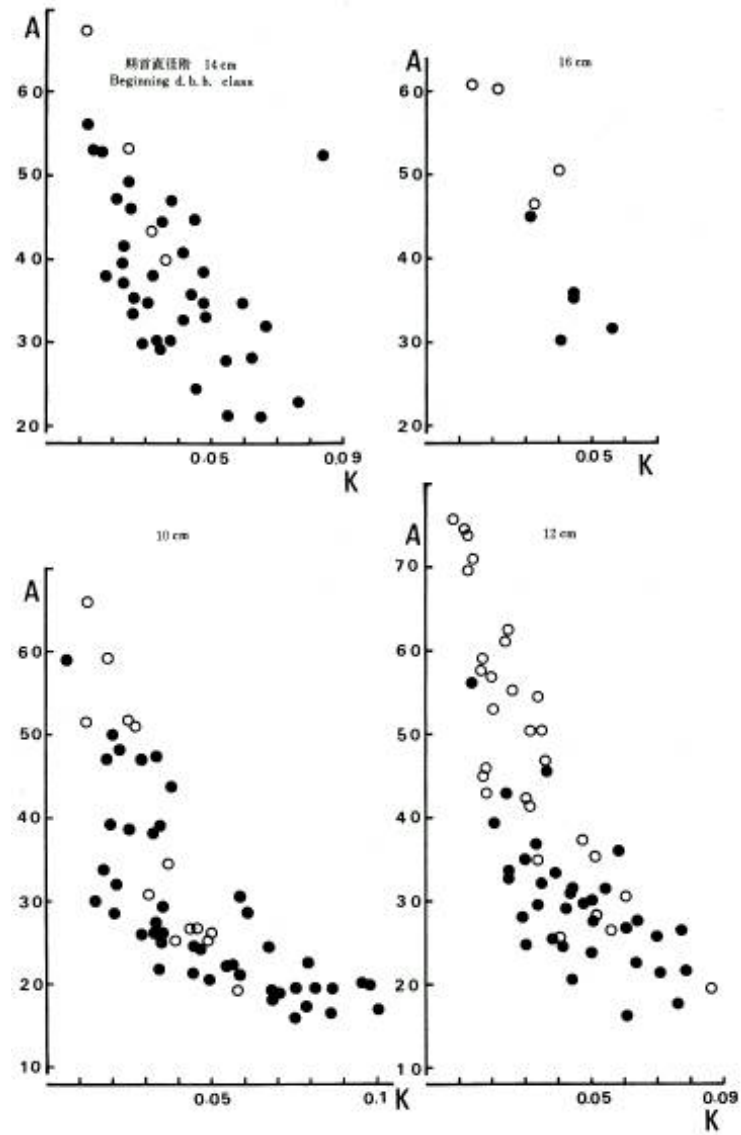


図-23 無間伐区を対象に期首の直径階ごとの A と k との関係
 Fig.23. Relation between parameter k and A according to classification

by diameter of the beginning of the period in unthinned plot of thinning experimental plot of *Abies sachalinensis* at Kubo

5) パラメーター間の相互関係を利用した直径分布の推定

林分内の個体に生長曲線をあてはめると、パラメーター k は一山型の正規分布型を示す。そこで、 k の分布を正規分布と仮定し、他のパラメーターは k との回帰式 (16), (17) 式から推定すると、リチャード式のすべてのパラメーターが求められ、個体別に任意の樹齢に応じた直径の推定が可能である。

ここで、個体の生長に変動を及ぼす要因は不明なので、個体の生長についての変動はパラメーター k に反映していると仮定した。久保の無間伐区を対象に、直径分布を求める流れ図を図-24 に示した。林分の k の平均値 E は 0.05、標準偏差 δ は 0.01 とした。個体ごとに各林齢における直径を予測し、無間伐区の現実の直径分布図上に推定結果を示した (図-25) が、ほぼ現実の直径分布に近似していることが分かる。

このように、生長曲線のパラメーターのうち、生長速度に関係の深いパラメーターの分布を推定する方法で、任意の生育段階における各個体の直径を求めることができた。

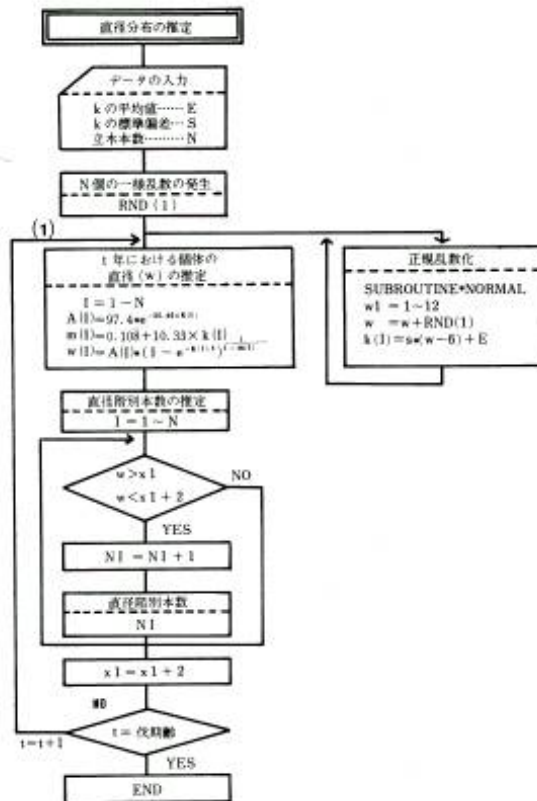


図-24 直径分布の推定方法の流れ図

Fig.24. Flow chart of estimation of diameter distribution

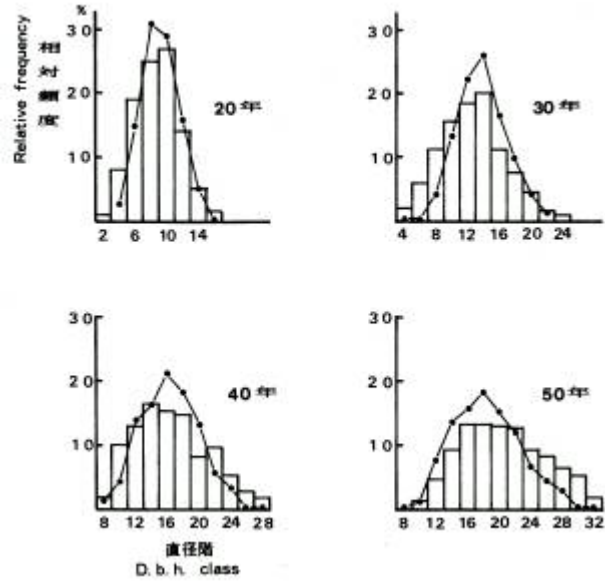


図-25 久保トドマツ間伐試験林の無間伐区における直径分布の推定
実線が推定値を表す

Fig.25.Prediction of the diameter distribution with age in unthinned plot of thinning experimental of *Abies sachalinensis* at Kubo
Histograms indicate observed tree numbers and solid curves are the expected values

6) パラメーターkに及ぼす立木密度の影響

kは林分の地位に応じて固有な値をとるが、地位が同一でも、立木密度が異なればその影響を受ける。そこで、その度合を定量化した。立木密度の影響のない疎開木、および宗谷、網走管内の色々な林分から採集した樹幹解析木を基に、Aとkとの関係を立木密度階別に調べてみた。その結果、図-26に示すように、密度の影響のない疎開木を上位とし、立木密度の増加とともにAとkとの関係式の位置が低下することが分かった。さらに密度の増加とともに、Aおよび関係式の勾配の低下が認められた。そこで、(15)式

$$A = \alpha e^{\beta k} \tag{17}$$

のパラメーターβが立木密度(ρ)の影響を受けるとし、

$$\beta = a + b\rho \tag{18}$$

とした。

疎開木および立木密度が異なる林分にあてはめた(17)式から、βとρとの一般的な関係を図-27に示した。これから

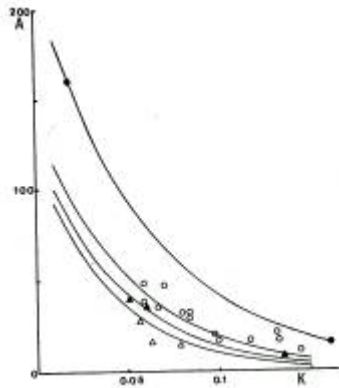


図-26 立木密度階別の A と K との関係

- 疎開木 ○雄武 431 本/ha ▲芦川 1,380 本/ha
- △川西 2,190 本/ha

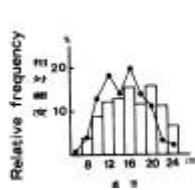
Fig.26. Relationship between parameter A of

RICHARDS growth function and parameter k on each stand density class

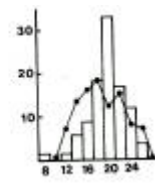
- Open-grown tree ○Oumu 431 No./ha
- ▲Ashikawa 1,380 No./ha
- △Kawanishi 2,190 No./ha

を (19) 式から求めて (17) 式のパラメーターを決定して、A を推定した。生長曲線の型を表わす m は (16) 式から推定した。このようにしてリチャード式のパラメーターを決定して個体ごとに直径を予測したのが図-28 である。対象とした二つの現実林分は宗谷管内の私有林で林齢はどちらも 40 年であり、地位は川西の方が若干よい程度であるが、立木本数はかなり異なっている。推定値は現実値に対して適合のよいことが確かめられた。平均直径もほぼ近似している。

このように、パラメーター k におよぼす立木密度の影響について、(18) 式はほぼ妥当であるといえよう。



川西
Kawanishi
林齢 40 年, ha あたり本数 2,190
40 yrs. of age, 2,190 No./ha
現実平均直径 16.6cm
Observed mean d.b.h
予測平均直径 15.8cm E=0.055
Estimated mean diameter



芦川
Ashikawa
林齢 40 年, ha あたり本数 1,380
40 yrs. of age, 1,380 No./ha
現実平均直径 20cm
Observed mean d.b.h
予測平均直径 19.8cm E=0.06
Estimated mean diameter

図-28 現実林分と立木密度を考慮した推定値との比較
実線が推定値を表す

Fig.28. Prediction of diameter distribution by equation

Solid curves indicate observed diameter distribution

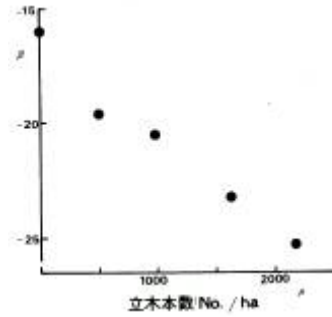


図-27 立木密度 (rho) と beta との関係

Fig.27. Relationship between stand density (rho) and parameter beta

$$\beta = -16.76 - 0.0044 \rho \quad (19)$$

を得た。

宗谷管内の私有林を対象に、立木密度の異なる林分について、直径分布を推定して現実の直径分布と比較してみた。推定方法は地位に応じた k を決め、調査プロット 0.1ha 内の立木本数について、正規乱数を発生させる。立木本数 (rho) に応じた beta

第3節 収穫予測の結果と適合度

生長モデルの適合度を調べるために、過去 35 年間の測定資料のある久保トドマツ間伐試験林を対象に、現実林分と同じ本数管理をモデル上で実施して、各林齢ごとに間伐試験林分と比較した。一方、道有林で広く使われている収穫表は、調査プロットの成績を基に調整されたものであり、現実林分の動向を表していると考えられる。そこで、収穫表と同一の本数管理をモデル上で行い、その予測精度を調べてみた。

1) 直径生長

久保トドマツ間伐試験林のうち、2 回間伐を実行した I A 区と無間伐区 II B を対象に、直径を推定し結果を図-29,30 に示した。予測方法は試験林の地位から、相対生長速度に最も関係の深い E は無間伐区、間伐区ともに 0.05, σ は 0.01 とした。また、立木密度の影響を表わす (19) 式

$$\beta = -16.76 - 0.0044 \rho$$

は、第 5 章で述べたように、間伐方法によりパラメーターが変わる。久保トドマツ間伐試験林の場合は下層間伐なので、無間伐林分とともに (19) 式のパラメーターを次のように推定した。

$$\beta = -18.76 - 0.0044 \rho$$

間伐区での選木は中下層木を主体としているが、間伐率が高いため、平均値より大きい個体も選木されている。そこで、立木番号に対応した一様乱数を発生させて、その立木番号に対応する個体を間伐木とした。一方、無間伐区における枯損木は下位の直径階に属する個体から発生するので、生長モデルでは各林齢ごとに k の値を大きい順にソートし、現実林分の枯損本数分、下位の個体から選木した。ただし林齢 40 年以降は現実林分でも枯損木の直径階が広がってくるので、立木番号に対応した一様乱数を発生させて、その立木番号に対応する個体を枯損木とした。

図-29, 30 から、生長モデル上と 2 回間伐区 I A 直径生長は極めてよく近似していることが分かる。一方、無間伐区の場合には、35 年生までは過小推定を、それ以降はやや過大推定を示すがほぼ妥当な推定値といえる。このモデルによれば、個体ごとに

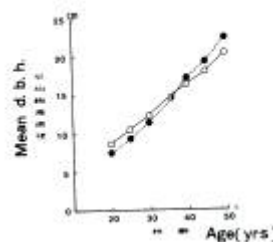


図-29 生長モデルと久保無間伐区との直径生長の比較

モデル上で無間伐と同じ本数管理を行った場合
○無間伐区 ●生長モデルの予測値

Fig.29. Comparison of the expected diameter increment in growth model with observed results from unthinned plot of thinning experimental plot at Kubo - in case of same tree number control by growth model

○Unthinned plot ●Estimated value by growth model

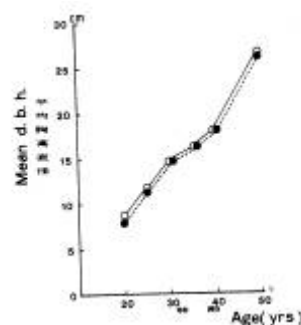


図-30 生長モデルと久保 2 回間伐区との直径生長の比較

モデル上で 2 回間伐区と同じ本数管理を行った場合
○2 回間伐区 ●生長モデルの予測値

Fig.30. Comparison of the expected diameter increment in growth model with observed results from two-times thinned plot of thinning experimental plot Kubo-in case of same tree number control by growth model

○Two-times thinned plot

●Estimated value by growth model

生長量を推定できるので選木内容別に予測することも可能である。

2) 材積生長

直径生長と同様に、久保トドマツ間伐試験林の I A 区と II B 区を対象に、試験区と同じ本数管理を実行した場合の予測材積を図-31, 32 に示した。材積推定に際しての個体ごとの樹高は、久保トドマツ間伐試験林を対象に筆者が作成した林齢別の樹高曲線を使用した（北海道林務部, 1982）。生長モデルによる予測値は、直径生長の場合と同様に、I A 区ではよく近似しているが、II B 無間伐区では 40 年生以降やや過大推定の傾向を示している。しかし、その誤差率は 50 年生時で約 18% なので実用の範囲と考えることができる。

以上のように、過去の測定値がある試験林分と同じ経過をモデルで再現して平均直径、材積を推定したところ、ほぼ妥当な推定値が得られた。このことは、本モデルの高い適合性を実証するものと考えられる。

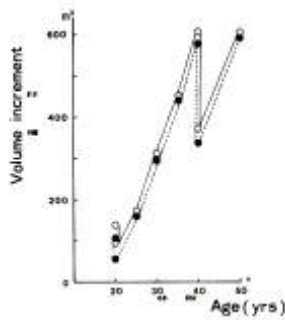


図-31 生長モデルと久保 2 回間伐区との材積生長の比較

モデル上で 2 回間伐と同じ本数管理を行った場合

○ 2 回間伐区 ● 生長モデルの予測値

Fig.31. Comparison of the expected volume increment in growth model with observed results from two-times thinned plot of thinning experimental plot at Kubo-in case of same tree number control by growth model

○ Two-times thinned plot

● Estimated value by growth model

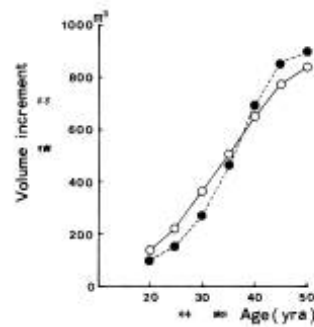


図-32 生長モデルと久保無間伐区との材積生長の比較

モデル上で無間伐と同じ本数管理を行った場合

○ 無間伐区 ● 生長モデルの予測値

Fig.32. Comparison of the expected volume increment in growth model with observed results from unthinned plot of thinning experimental plot at Kubo-in case of same tree number control by growth model

○ Unthinned plot

● Estimated value by growth model

3) 道有林トドマツ収穫表との比較

道有林トドマツ人工林収穫表（北海道林務部, 1970）は人工林成績調査の結果を基に作成されており、間伐はどの直径階においても間伐される本数と間伐後に残す本数とが一定の比率になるような方法、つまり全層間伐方法を採用している。そこで、モデルにおける立木密度の影響を表す式は（19）式と同様に

$$\beta = -16.76 - 0.0044 \rho$$

として、収穫表と同様の本数管理をモデル上でを行い、材積、直径を予測した（表-8）。この場合の E は 0.06 とした。表-8 から、25 年まではやや過小推定だが、その後は実用上十分な予測精度であり、

最終伐期の 60 年では材積生長で誤差率 1.3%である。

表-8 道有林トドマツ人工林収穫予想表とモデルによる予想結果の比較
Table 8. Comparison of the diameter and volume growth of the yield table *Abies sachalinensis* plantation in Hokkaido Prefectural forest) with model in the case of thinning stand in same manner

林齢 Age(yrs)	名寄・美深経営区 I 等地 Yield table				生長モデル Growth model		
	間伐前 本数 Before thinning Number/ha	間伐前 材積 Before thinning Volume	間伐後 材積 After thinning Volume	平均直径 Mean d.b.h	間伐前 材積 Before thinning Volume	間伐後 材積 After thinning Volume	平均直径 Mean d.b.h
	年	本	m ³	m ³	cm	m ³	m ³
20	2,000	94	91	10.6	80	78	8.0
25	1,944	204	144	14.2	160	113	12.7
30	1,373	250	191	17.4	228	178	17.2
35	1,050	287	233	20.2	292	239	20.9
40	853	321	272	22.7	338	284	23.8
45	723	347	304	24.8	361	323	26.0
50	633	374	333	26.7	392	351	28.0
55	567	391	357	28.3	404	367	29.4
60	517	408	378	29.7	410	372	30.4

※本数管理は両者同一とした。

4) 考 察

本生長モデルは個体ごとに生長曲線のパラメーターを推定して単木単位に個体の生長を予測する方法である。リチャード生長曲線は各樹種の各生長要素にあてはめられ、よく適合することが確かめられている。パラメーターの推定に大きな誤差を伴わなければ、ほぼ妥当な予測値が得られることが予想される。林分内の様々な個体の直径にリチャード式を適合させたところ、どのような個体にもよく適合することが確かめられた。従って、パラメーターの分布を基礎に、個体にそのパラメーターを割り当てる方法により生長モデルを作成したものである。この生長モデルは隣接木との競争関係を基にしていなため、一度ある個体に与えられたkは、本数が変化しても変わることがないために、期末時における大きさの逆転現象は起きないことになる。この点に関して、期首と期末の直径がどの程度の相関を示すかについて、久保トドマツ間伐試験林の無間伐区と2回間伐区を対象に、期首の林齢を変えながら調べてみた。結果は表-9に示すとおりで、相関係数は期首の林齢から時間が経過するに従い低下していく。しかし、うっ閉が完全に完了したと考えられる25年時の直径を期首にした場合、林齢50年時の相関係数はいずれも0.8以上を示す。従って、上下の直径階が変動する度合はそう大きくないと考えられる。

既に見てきたように期首に同じ大きさの個体であっても期末時には変動する。この現象は、生長速度に関係の深いkは同一でも生長の型を決めるmが変動するためと考えることができる。試みにmもkと独立に正規分布をするという仮定で久保トドマツ間伐試験林無間伐区を対象に直径分布を推定したところ、図-33に示すように一山型の分布が得られた。このことからmを変動させることで、大きさの逆転現象を説明できるモデルの作成が可能と考えられる。この点は今後の課題としたい。

表-9 期首の直径と期末直径との相関表
 Table 9. Coefficients of correlation between the diameter at the beginning and that at the end of the period

期首林齢 Age of the beginning of period	期末林齢 Age of the end of period	25年	30年	35年	40年	50年 Age(yrs)
20年	2回間伐区 Two-times thinned	0.977	0.945	0.912	0.862	0.690
	無間伐 Unthinned	0.975	0.939	0.878	0.827	0.719
25年	2回間伐区 Two-times thinned		0.967	0.942	0.923	0.821
	無間伐 Unthinned		0.972	0.931	0.879	0.841
30年	2回間伐区 Two-times thinned			0.992	0.971	0.925
	無間伐 Unthinned			0.988	0.966	0.934
35年	2回間伐区 Two-times thinned				0.992	0.949
	無間伐 Unthinned				0.992	0.956
40年	2回間伐区 Two-times thinned					0.956
	無間伐 Unthinned					0.983

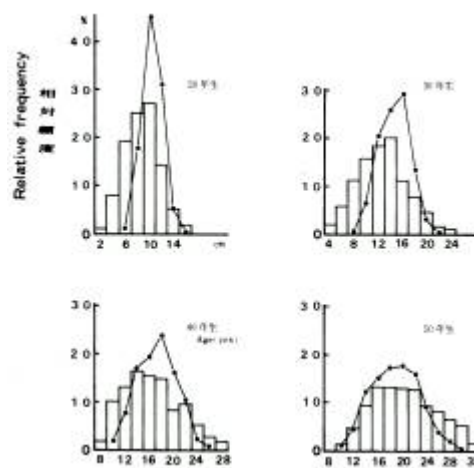


図-33 久保トドマツ無間伐区を対象に k, m 共に正規乱数を与えた場合の直径分布の推移

Fig.33. Prediction of the diameter distribution by parameters K and m given from normal random numbers in unthinned plot of thinning experimental plot of *Abies sachalinensis* at Kubo

一方、過去の本数管理が分かっている現実林分、並びに、広く使われている収穫表を対象に、同じ本数管理をモデル上で行ってみると、いずれも適合がよかった。これらは本モデルの妥当性を示すものであり、現場で使われている収穫表には径級分布の情報はないが、本モデルを活用することにより、容易に径級分布の予測が可能であることを示している。

第4節 小 括

林分内の個体ごとにリチャード生長曲線を適合させ、そのパラメーター間の相互関係を利用して単木単位の生長モデルを作成した。リチャード生長曲線のパラメーターのうち、地位に応じて生長速度に最も関係の深い k の平均値 E が与えられると、各個体の k は E を平均値とする正規乱数で与えられるとした。そして他のパラメーターは k との関係式から求められることを示した。従って本生長モデルによれば、隣接木との競争因子を導入しないで、個体識別した生長予測が可能である。

一方、生長曲線のパラメーターのうち、立木密度の増加とともに A と k との関係式の位置が低下することを明らかにし、その度合を立木密度との関係式により示した。

地位に応じた E から、上述した手順により直径分布を推定して現実林分と比較した結果、良好な結果を得た。さらに本モデルの適合性を調べるために、過去の施業経過が分かっている間伐試験区、並びに道有林トドマツ人工林収穫表を対象に、同じ本数管理を実行した場合の平均直径、幹材積を予測し、現実的な範囲内では十分な予測精度であることを明らかにし、本生長モデルの妥当性を実証した。

第5章 林分生長モデルによる間伐方法別の収穫予測

人工林の経営が多様化する時代においては、画一的ではなく多種類の間伐方法が求められている。従って間伐指針表も目的に応じて上層間伐、下層間伐、全層間伐等を想定したものが望ましい。

本章ではこの論文で採用した予測システムにより、各種の間伐方法および無間伐林分の予測方法とその結果について述べる。

第1節 各種間伐と無間伐林分の生長予測方法

1) 選木方法

本論文で採用した予測システムは、個体ごとに生長曲線を適合させて、その予測結果を積み重ねて林分の予測値とするものである。従って、間伐方針に応じて特定の個体を伐採し、それ以降の林分生長量を推定することが可能である。間伐における実際の選木作業では定性的な見方が非常に重要であり、間伐技術の大半を占めるといえよう。定性的な見方として寺崎式樹型級区分がある。この樹型級区分は梢頭的位置により優勢木、劣勢木と大きく区分した上で、欠点の度合に応じて細分化するものであり、個体の大きさが有力な要因となる。久保トドマツ間伐試験林の無間伐区を対象とした寺崎式樹型級区分別の直径分布を図-34に示した。これによると、1級木は直径の大きい個体に多く、逆に3級木以下は直径の小さい個体が多い傾向がはっきりとでている。

一方、2級木は立木本数が最も多く、各直径階に分布していることがわかる。2級木は樹冠や隣接関係、被害木等の要因により細分化されるが、生長モデルによる選木方法では、まず生長のよい個体すなわち1級木を中心とした上層間伐区、生長のよくない個体すなわち、4級、5級木を中心とした下層間

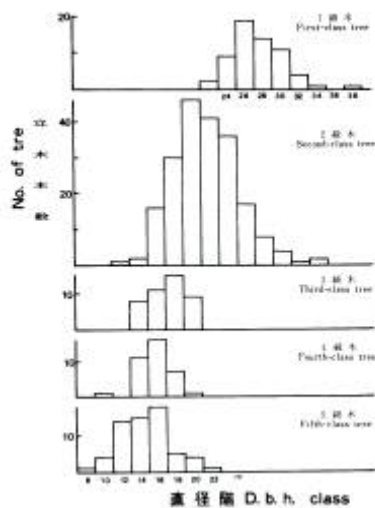


図-34 久保トドマツ間伐試験林の無間伐区 (55年生)における寺崎式樹型級区分と直径分布との関係

Fig.34. Relation between stem class by TERASAKI'S method and diameter distribution in unthinned plot thinning experimental plot of *Abies sachalinensis* at Kubo (fifty-five years of age)

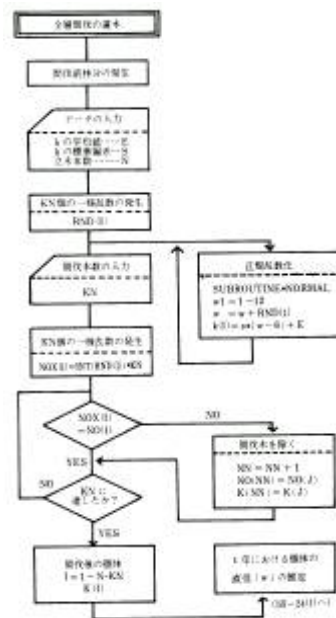


図-35 全層間伐における選木の流れ図

Fig.35. Flow chart of mechanical thinning method

伐区、並びに立木本数が最多の2級木を中心に、ほとんどの直径階から選木する全層間伐区とした。このように、実際の樹型級調査の結果を基に、個体の大きさがその樹型級に大きく影響していることを根拠に選木したものである。なお、今回定義した各間伐方法と樹型級区分による定性間伐との関連を示すと、土層はD種、下層はA種、全層はB種間伐に対応するものである。

間伐方法ごとの選木については、個体の生長に大きな影響をおよぼす k の値に注目し、下層間伐は k の値の大きい順に、土層間伐は k の小さい順に、全層間伐は間伐木の k が一様分布するようにした。全層間伐における選木手順を図-35に示した。まず、地位に応じた k の平均値 E , k の標準偏差 S および立木本数を入力する。そうして間伐木本数を指定すると、間伐木本数分だけ立木番号に対応した一様乱数を発生させて、その立木番号に対応する個体を間伐木として除去し、林齢に応じた直径階を予測する。2回目以降の間伐実行の場合には、発生した一様乱数が既に前回の間伐で消滅している立木番号やあるいは重複して発生した場合は、間伐本数に達するまで乱数を発生させて選木することにした。3回目以降も全く同様な手順とした。一方、上層、下層間伐の場合には、生長のよい個体すなわち k の値の小さい個体を間伐するのが上層間伐であり、下層間伐ではその逆に生長の悪い個体すなわち k の値の大きい個体を間伐することになる。従って図-36に示したように、 k をソートすることで選木が可能となる。実際の選木では定性的な見方、すなわち樹型級区分を行うが、個体ごとの k と樹型級区分との関係については定量化できなかった。

無間伐林分では生育段階が進むと自然枯損が生じる。自然枯損木が下位の直径階に属する個体から発

生することは久保トドマツ間伐試験林の無間伐区の解析結果から確かめられている（阿部，1983b）。そこで、枯損木の発生本数に達するまで、 k の大きい順に枯損するものと仮定した。



図-36 上層、下層間伐における選木方法の流れ図

Fig.36. Flow chart of low and crow thinning method

2) 間伐方法別の間伐効果の評価方法

間伐効果は間伐の種類により異なると考えられる。例えば、下層木のみを間伐しても、上層の残存木には間伐効果がないことは明らかであろう。そこで、間伐方法別の間伐効果を次のように仮定した。全層間伐や上層間伐のように、上層林冠を開ける間伐方法と下層間伐とでは、その間伐効果が異なると仮定した。そして、間伐効果に応じて予測システムの立木密度効果式のパラメーターを決めた。

各種の間伐方法で定数がどの程度変わるかについては、実際のトドマツ間伐試験の結果から推定した。各種の間伐方法については、前述したとおり筆者も下川町有林内に設定しているが、まだ経過年数が足りないので公表されている間伐試験林の資料を用いた。雄武林務署内トドマツ間伐試験林（北海道林務部,1979）は、昭和11年にha当たり2,100本植栽された林分を対象に、林齢34年時点に強度上層間伐区、下層間伐区、無間伐区を設定したもので、5年後,10年後に測定されている。強度上層間伐区は26cm以上、下層間伐区は18cm以下を伐採することを原則とし、あわせて欠点木と立木配置上間伐するのが望ましい個体を伐採したものである。各試験区の林分構造の推移を表-10に示した。これらの間伐区の前半5年間の期間生長量は下層間伐区、無間伐区、強度上層間伐区の順であり、後半5年間は下層間伐区、強度上層間伐区、無間伐区の順となっている（北海道林務部,1984）。

これらの試験区の本数管理とおり、林分生長モデルを適合させてパラメーターの動きを調べた。林

表-10 雄武林務署トドマツ間伐試験地の生長量一覧表
Table 10. Stem volume increment of thinning experimental plot at Oumu

試験区名 plot	強度上層間伐区 Heavy crown thinning plot			下層間伐区 Low thinning plot			無間伐区 Unthinned plot			
林齢 Age(yrs)	年									
	34	39	44	34	39	44	34	39	44	
本数 Number/ha	1,030	947	936	901	901	897	1,783	1,682	1,608	
平均直径 Mean d.b.h	cm									
	17.4	20.6	23.0	24.1	27.0	28.8	19.0	21.3	22.8	
材積 Volume	m ³									
	222.1	286.7	365.3	369.0	471.4	554.6	450.5	541.6	599.5	
期間生長量 Volume Increment	m ³									
		64.6	78.6		102.4	83.2		91.1	57.9	
生長率 Volume increment rate	%									
		5.1	4.8		4.9	3.2		3.7	2.0	

齢 34 年時点の各区の直径階別本数によろ適合するように、E と σ とを求めた。そして、一般的な立木密度効果式

$$\beta = a + b \rho$$

の定数を基準に、無間伐区、下層間伐区は間伐効果が下回るとし、その間伐効果の度合いを a の値を動かしながら求めた。その結果、無間伐区、下層間伐区の間伐効果は全層間伐より密度効果式の定数を 2.0 小さくすることで表現した。各間伐区に用いた生長モデルのパラメーターは表-11 に示した。林分生長モデルに各試験区の立木本数と林齢を組み込んで予測した。予測結果は直径生長を図-37 に、材積生長を図-38 に示した。なお、表-10 の 34 年時の本数は間伐後の本数しか表示されていなかったもので、間伐前の本数は各区とも、無間伐区と同じとした。

表-11 雄武林務署トドマツ間伐試験地
生長モデルのパラメーター 一覧表
Table 11. Parameters of growth model in case of thinning experimental plot at Oumu

試験区	E	σ	a
強度上層区 Heavy crown thinning plot	0.063	0.0079	-16.76
下層区 Low thinning plot	0.04	0.01	-18.76
無間伐区 Unthinned plot	0.05	0.01	-18.76

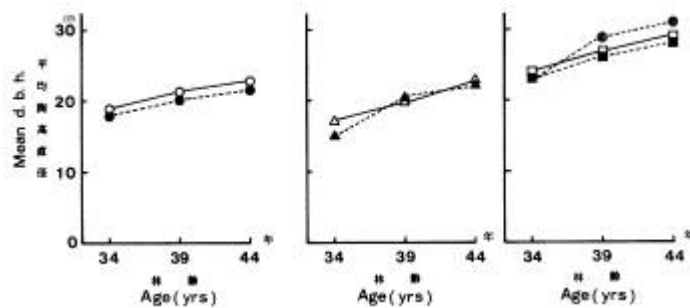


図-37 生長モデルによる雄武トドマツ間伐試験林へのあてはめ 一直径生長—
○無間伐区 △強度上層区 □下層間伐区
●生長モデル ▲生長モデル ■生長モデル
◎下層間伐区における間伐効果を変えた場合 a=-16.76 とした場合

Fig.37. Prediction of the diameter increment in growth model in case of the thinning experimental plot of Abies sachalinensis at Oumu
○Unthinned plot △Heavy crown thinned plot □Low thinned plot
●Growth model ▲Growth model ■Growth model
◎Change the thinning effect in low thinning in case of a=-16.76

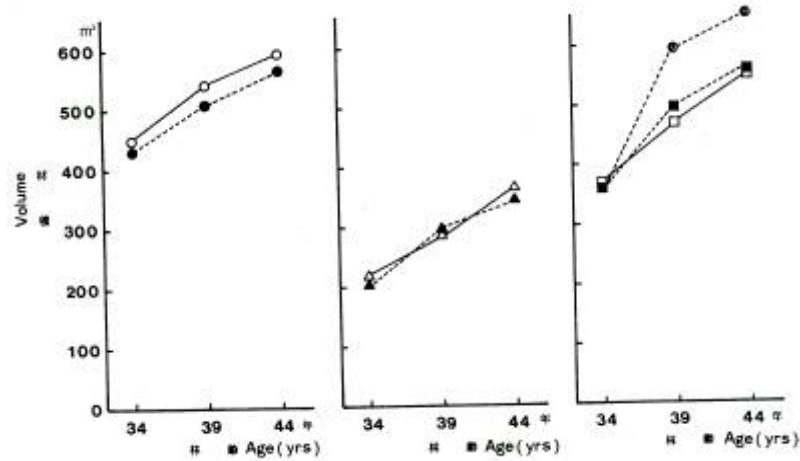


図-38 生長モデルによる雄武トドマツ間伐試験林へのあてはめ材積生長一

○無間伐区 △強度上層区 □下層間伐区
●生長モデル ▲生長モデル ■生長モデル

◎下層間伐区における間伐効果を変えた場合 a=-16.76 とした場合

Fig.38. Prediction of the volume increment in growth model in case of

The thinning experimental plot of *Abies sachalinensis* at Oumu

○Unthinned plot △Heavy crown thinned plot □Low thinned plot
●Growth model ▲Growth model ■Growth model

◎Change the thinning effect in low thinning in case of a = -16.76

図-37, 38 から生長モデルの適合がよいことが分かる。これらの事実を根拠に間伐方法別の密度効果式として、上層林冠の競争を緩和する上層、全層間伐は

$$\beta = -16.76 - 0.0044\rho$$

であり、下層間伐、無為間伐は、

$$\beta = -18.76 - 0.0044\rho$$

とした。図-37, 38 には、下層間伐区を対象に a の値を上層間伐区と同様にした場合も示している。その結果、間伐効果が過大になりすぎるのがわかる。間伐効果を減じるために、下層間伐では全層間伐に対して a の値を低下させた本モデルが妥当であるといえる。

3) 樹高の推定方法

各個体の樹高は樹高曲線により推定するが、無間伐区や上層間伐区では、直径の小さい個体が多くなると樹も低く推定され、結果的には平均樹高が低下してしまう。間伐度合と樹高生長の関係は多くの研究者により報告されているが、安藤 (1968) は、嶺 (1955) や坂口 (1961) の研究成果を総括して収穫表の調整や育林的な立場からは、樹高成長に対する密度の影響は無視しても差し支えないとしている。これらを根拠に、ここでは全層間伐区に比較して、間伐直前の平均樹高の差が 1m 以内になるように、樹高曲線を上方にシフトさせて樹高を推定した。

第2節 間伐方法別の予測結果と考察

1) 間伐設計

全道民有林の地位区分の I 等地（基準林齢 30 年時の地位指数 14.2）を対象に、トドマツ密度管理図（真辺，1974）を基に間伐後の収量比数を 0.6 前後に保たせた本数管理とした。各間伐方法とも同じ本数管理とした。一方，無間伐林分は 2,500 本植栽とし，密度管理図上から自然枯死線を利用して枯損本数を読み取り，各生育段階の立木本数を求めた（表-12）。本数基準は表-13（1）～（6）に示したとおりであり，間伐方法別の比較には中庸仕立を対象とした。

表-12 2,500 本植栽において無間伐で推移した場合の立木本数表

Table 12. Numbers of trees during 17 and 70 yrs. of age with unthinning at the start 2,500/ha planning numbers

林齢 Age(yrs)	上層高 Upper-tree height	残存立木本数 Number of reserved trees
17 年	8m	2,400 本/ha
21	10	2,350
25	12	2,300
30	14	2,250
35	16	2,200
40	18	2,100
50	20	2,000
60	22	1,970
70	24	1,950
80	25	1,940

表-13（1） 間伐指針林分の間伐基準 特 I 等地

Table 13. (1) Thinning schedule for site special I *Abies sachalinensis* stand

上層高 Upper-tree height	中庸仕立林分 Medium schedule stand				密仕立林分 High schedule stand			
	間伐前 Before	間伐木 removed	間伐後 After	間伐率 Thinning rate	間伐前 Before	間伐木 removed	間伐後 After	間伐率 Thinning rate
	thinning	removed	thinning	rate	thinning	removed	thinning	rate
m				%				%
8	2,400	300	2,100	13	2,900	200	2,700	7
10	2,100	400	1,700	19	2,700	400	2,300	15
12	1,700	500	1,200	29	2,300	600	1,700	26
14	1,200	300	900	25	1,700	400	1,300	24
16	900	200	700	22	1,300	300	1,000	23
18	700	150	550	21	1,000	210	790	21
20	550	100	450	18	790	150	640	19
22	450	70	380	16	640	100	540	16
24	380	60	320	16	540	90	450	17
26	320	50	270	16	450	60	390	13
28	270	40	230	15	390	50	340	13

立木本数は ha 当たりを示す。
Number of trees/ha.

（2） 間伐指針林分の間伐基準 I 等地

(2) Thinning schedule for site I *Abies sachalinensis* stand

上層高 Upper-tree height	中庸仕立林分 Medium schedule stand				密仕立林分 High schedule stand			
	間伐前 Before	間伐木 removed	間伐後 After	間伐率 Thinning rate	間伐前 Before	間伐木 removed	間伐後 After	間伐率 Thinning rate
	thinning	removed	thinning	rate	thinning	removed	thinning	rate
m				%				%
8	2,400	300	2,100	13	2,900	200	2,700	7
10	2,100	400	1,700	19	2,700	400	2,300	15
12	1,700	500	1,200	29	2,300	600	1,700	26
14	1,200	300	900	25	1,700	400	1,300	24
16	900	200	700	22	1,300	300	1,000	23
18	700	150	550	21	1,000	210	790	21
20	550	100	450	18	790	150	640	19
22	450	70	380	16	640	100	540	16
24	380	60	320	16	540	60	480	17
25	320	50	270	16	480	50	430	13

立木本数は ha 当たりを示す。
Number of trees/ha.

(3) 間伐指針林分の間伐基準 II等地

(3) Thinning schedule for site II *Abies sachalinensis* stand

上層高 Upper- tree height	中庸仕立林分 Medium schedule stand				密仕立林分 High schedule stand			
	間伐前 Before	間伐木 Removed	間伐後 After	間伐率 Thinning rate	間伐前 Before	間伐木 Removed	間伐後 After	間伐率 Thinning rate
	thinning	Removed	thinning	rate	thinning	Removed	thinning	rate
m				%				%
8	2,400	300	2,100	13	2,900	200	2,700	7
10	2,100	400	1,700	19	2,700	400	2,300	15
12	1,700	500	1,200	29	2,300	600	1,700	26
14	1,200	300	900	25	1,700	400	1,300	24
16	900	200	700	22	1,300	300	1,000	23
18	700	150	550	21	1,000	210	790	21
20	550	100	450	18	790	150	640	19
21	450	70	380	16	640	100	540	16

立木本数は ha 当たりを示す。
Number of trees/ha.

(4) 間伐指針林分の間伐基準 III等地

(4) Thinning schedule for site III *Abies sachalinensis* stand

上層高 Upper- tree height	中庸仕立林分 Medium schedule stand				密仕立林分 High schedule stand			
	間伐前 Before	間伐木 Removed	間伐後 After	間伐率 Thinning rate	間伐前 Before	間伐木 Removed	間伐後 After	間伐率 Thinning rate
	Thinning	Removed	thinning	rate	thinning	Removed	thinning	rate
m				%				%
8	2,400	300	2,100	13	2,900	200	2,700	7
10	2,100	400	1,700	19	2,700	400	2,300	15
12	1,700	500	1,200	29	2,300	600	1,700	26
14	1,200	250	950	21	1,700	250	1,450	15
15	950	150	800	16	1,450	150	1,300	10
16	800	100	700	13	1,300	100	1,200	8

立木本数は ha 当たりを示す。
Number of trees/ha.

(5) 間伐指針林分の間伐基準 特I等地

(5) Thinning schedule for site special I high dense stand
of *Abies sachalinensis*

上層高 Upper- tree height	特別密仕立 Special high schedule stand			
	間伐前 Before	間伐木 Removed	間伐後 After	間伐率 Thinning rate
	thinning	Removed	thinning	rate
m				%
8	6,500	2,000	4,500	31
10	4,500	1,500	3,000	33
12	3,000	500	2,500	17
14	2,500	500	2,000	20
16	2,000	500	1,600	25
18	1,600	400	1,200	25
20	1,200	400	900	33
22	900	300	700	33
24	700	200	600	29
26	600	100	500	17
28	500		500	

立木本数は ha 当たりを示す
Number of trees/ha

(6) 間伐指針林分の間伐基準 I 等地
 (6) Thinning schedule for site I high dense stand of *Abies Sachalinensis*

上層高 Upper- Tree height	特別密仕立 Special high schedule stand			
	間伐前 Before thinning	間伐木 Removed	間伐後 After thinning	間伐率 Thinning rate
				%
8	5,500	1,500	4,000	27
12	4,000	1,200	2,750	31
14	2,750	750	2,000	27
16	2,000	400	1,600	20
18	1,600	400	1,200	25
20	1,200	300	900	25
22	900	200	700	22
24	700	150	550	21
25	550	100	450	18
	450		450	

立木本数は ha 当たりを示す
 Number of trees/ha

2) 予測結果

各間伐方法および無間伐林分の総収穫量の推移を図-39 (1) にまた、林齢ごとの期首材積生長量を図-39 (2) に示した。全層間伐区では、上層林冠が開放されるため間伐効果が大きく、また、大径木も残存しているために単木生長量も大きく、60 年生までは総収穫量が常に大きい傾向を示した。上層間伐区でも上層林冠が開き、間伐効果が大きい。しかし、生長のよい個体から順次間伐されるために、50 年生以降総収穫量が低下する傾向を示している。下層間伐区では、小径木から間伐されるので間伐効果は小さいが、大径木が残っているために生長量は全層間伐区の次によい。無間伐区は 2,500 本植栽を想定したので、間伐区と比較して立木本数の開きがそれほど大きくないので 35 年生までは直径生長が劣る分、

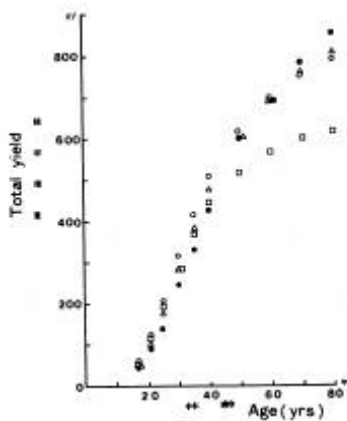


図-39 (1) 各種間伐方法による総収穫量の比較
 ●無間伐 ○全層間伐 △下層間伐 □上層間伐
 Fig.39. (1) .Comparison of the total yield
 of various thinning method
 ●Unthinned ○Mechanical thinning method
 △Low thinning method □Crown thinning method

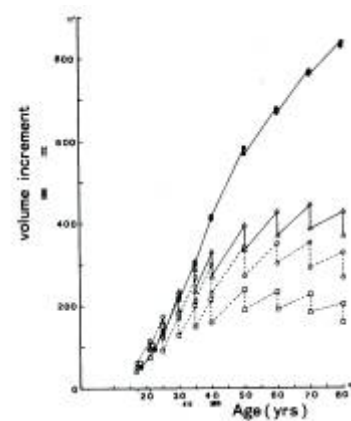


図-39 (2) 各種間伐方法による材積生長
 ●無間伐 ○全層間伐 △下層間伐 □上層間伐
 Fig.39. (2) . Comparison of the volume increment
 of various thinning method
 ●Unthinned ○Mechanical thinning method
 △Low thinning method □Crown thinning method

材積が大きくなる。各林齢における期首の材積は間伐時における選木の仕方によって大きく異なる。図-39(2)は間伐木の材積が大きい間伐方法ほど、高齢級になると期首の材積に回復しないことを示している。

各間伐方法別の間伐前平均直径を図-40に示す。平均直径の比較では、35年を過ぎると下層間伐区で大きくなるが、全層間伐区との開きがそれほど大きくないので、間伐材積の大きい全層間伐の総収穫量が大きくなったと考えられる。ある直径階以上の本数を各間伐方法別に表-14に示した。50年時で28cm以上の本数は下層間伐区で550本、全層間伐区で340本、70年時で32cm以上は下層間伐区で380本、全層間伐区で210本と高齢級になれば大径木本数は下層間伐で多くなる。しかし、30年時の壮齢期における20cm以上の本数を比較してみると、下層間伐区で370本、全層間伐区で460本となり、全層間伐区の方が多くなる。これは生長の旺盛な時期ほど、間伐効果がやすいことを表している。

林齢50年時の無間伐区の総収穫量を100とすると、全層間伐区のそれは103、下層間伐区は100、上層間伐区は85となる。無間伐林分のまま推移させた場合に比較して、生長量は間伐区の方がよくなるようである。久保トドマツ間伐試験林の55年時の総収穫量は、無間伐区を100とすると2回間伐区では115、1回間伐区では117、6回間伐区では95となる(表-2)。林分生長モデルによる結果も、これらの現実林分の結果に類似している。施業目標の直径36cm上の本数は、林齢70年時の間伐前本数で全層間伐区がha当たり100本、下層間伐区が280本残存しているのに対し、無間伐区、上層間伐区では残存せず、総収穫量は同じでも間伐方法で径級別生産本数が大きく異なることを表している。

無間伐区の立木本数は密度管理図から読み取ったが、既に久保トドマツ間伐試験林の解析で述べたように個体ごとに生長曲線を適合させてみると、枯損木ではkの値が一定値以上を示している。本生長モデルは生長曲線のパラメーターを発生させて直径を推定する方法なので、生育段階別にkの値が一定値以上を示す個体は枯損するという仮定を取り入れることで無間伐林分の推移が記述できる。I等地の場合、枯損となるkの目安は表-15に示したとおりである。初期林分を発生させた後に、生育段階別に立木密度に対応した一定以上のk値を持つ個体を枯損させていけば、その推移を示すことができる。

I等地を対象に行った各間伐方法別の直径分布の推移は図-41に、また、林分構造の推移は表-16に示した。この図から分かるように、上層および下層間伐区では間伐により上位や下位の直径階が消滅するために、全層間伐に比較して直径階の幅が狭くなる傾向を示した。無間伐区でもkの大きい順に枯損させたので、今回は本数が少ないために分布がやや左に片寄る傾向を示した。この点に関しては、本モデルではkからmも推定しているが、実際林分では生長の型を決めるmも変動するために、無間伐で下位が枯損しても正規性を復元したり、あるいは期首に同じ大きさの個体が期末時に変動したりすると考えられる。

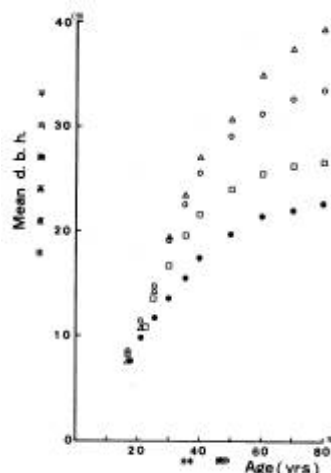


図-40 各種間伐方法による間伐前の平均直径の比較

●無間伐 ○全層間伐 △下層間伐 □上層間伐

Fig.40. Comparison of the mean diameter

thinning of various thinning method

●Unthinned ○Mechanical thinning method

△Low thinning method □Crown thinning method

表—14 間伐方法別 ha 当たり径級別本数の比較
 Table 14. Comparison of the tree numbers from the largest size with the three thinning methods and unthinned

D.b.h class 直径階	本数 Number/ha	40cm 以上	36	32	28	24	20	16	12	8	4
Thinning method 間伐種	林齡 Age(yrs)										
全層間伐 Mechanical thinning	17年								40	1,460	2,400
	21							30	800	2,060	
	25						20	60	1,540	1,700	
	30						460	1,070	1,200		
	35					300	730	900			
	40				160	460	690				
	50				340	510	550				
	60			50	190	330	440				
	70		20	100	210	320	380				
80		30	110	220	280	320					
上層間伐 Crown thinning	17								70	1,460	2,380
	21								620	1,940	2,100
	25							30	1,350	1,690	1,700
	30							880	1,180	1,200	
	35						420	850	900		
	40						610	700			
	50					360	530	550			
	60					380	450				
	70				70	330	380				
80				100	290	320					
下層間伐 Low thinning	17								10	960	2,350
	21								440	1,960	
	25							280	1,660	1,700	
	30						370	1,200			
	35					300	900				
	40				180	700					
	50			10	180	550					
	60			140	450						
	70		50	280	380						
80		130	320								
無間伐 Unthinned	17								10	960	2,350
	21								280	1,820	2,350
	25							70	940	2,230	2,300
	30						10	370	1,660	2,250	
	35						140	880	1,950	2,200	
	40					40	360	1,320	2,100		
	50				20	230	870	1,770	2,000		
	60				100	370	1,130	1,880	1,970		
	70			20	170	500	1,260	1,950			
80			40	180	590	1,360	1,940				

表-15 I 等地を対象に、2,500 本/ha を植栽し無間伐のまま
推移させた場合の自然枯損木の K

Table 15. Value of K of self-thinning trees in the case of site I
at the start 2,500/ha planning numbers

上層高 Upper-tree height	林齢 Age(yrs)	枯損本数 Number of dead tree	K の平均値 Mean K
8	17	50	0.071
10	21	50	0.069
12	25	50	0.067
14	30	50	0.066
16	35	100	0.065
18	40	100	0.063
20	50	30	0.063
22	60	20	0.062
24	70	10	0.063
25	80	10	0.063

林 齢	17年	21	25	30	35	40	50	60	70	80
平均直径	8.5*	11.4	14.8	19.1	22.5	25.6	29.0	31.3	32.8	33.7
	8.5**	11.4	14.6	18.8	22.6	25.4	28.8	31.3	32.5	33.3
分 散	2.97*	3.97	5.02	6.95	7.18	9.00	12.14	16.40	18.76	21.93
	2.96**	4.17	5.33	6.28	7.45	8.75	11.42	16.60	21.09	22.95
歪 度	-1.21*	-0.98	-1.00	-0.82	-0.78	-0.83	-0.89	-0.68	-0.60	-0.36
	-1.19**	-0.92	-0.84	-0.93	-0.90	-0.83	-1.01	-0.75	-0.41	-0.25
尖 度	-0.36*	-0.55	-0.17	-0.67	-0.98	-0.76	-0.41	-0.66	-0.98	-0.67
	-0.37**	-0.61	-0.53	-0.65	-0.87	-0.64	-0.06	-0.72	-1.20	-0.72

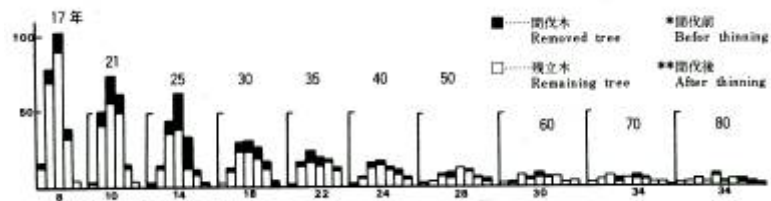


図-41 (1) 各間伐方法別の直径分布の推移 —全層間伐 (I 等地) —

Fig.41- (1). Prediction of the diameter distribution of various thinning method

林 齢	17年	21	25	30	35	40	50	60	70	80
平均直径	7.5	10.6	14.3	19.4	23.6	27.1	31.7	35.0	37.5	39.5
	8.0	11.2	15.1	20.0	24.1	27.6	32.1	35.5	38.0	40.0
分 散	3.67	3.65	2.83	3.04	2.77	2.95	3.88	3.90	4.47	4.70
	2.79	2.77	2.45	1.90	2.15	2.32	3.01	3.70	3.87	4.11
歪 度	-1.16	-1.00	-0.75	-1.02	-0.92	-0.99	-0.90	-0.79	-0.72	-0.72
	-1.19	-1.02	-1.06	-0.82	-0.83	-1.08	-0.76	-1.08	-0.86	-0.90
尖 度	-0.37	-0.59	-0.92	-0.92	-0.90	-1.01	-1.01	-1.29	-0.96	-0.91
	-0.57	-0.93	-0.82	-1.59	-1.62	-0.73	-1.11	-0.97	-0.76	-0.58

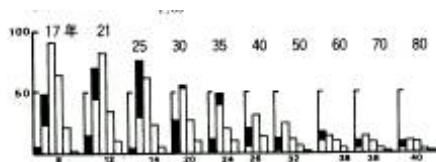
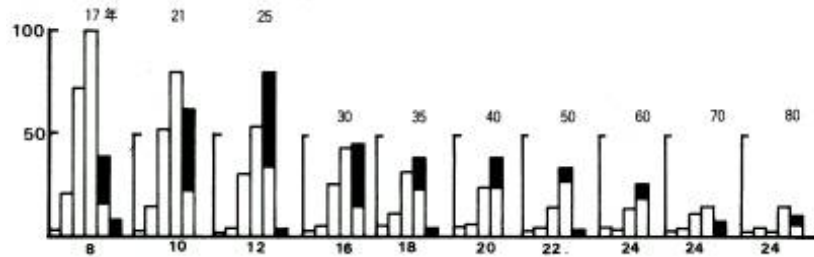


図-41 (2) —下層間伐 (I 等地) —

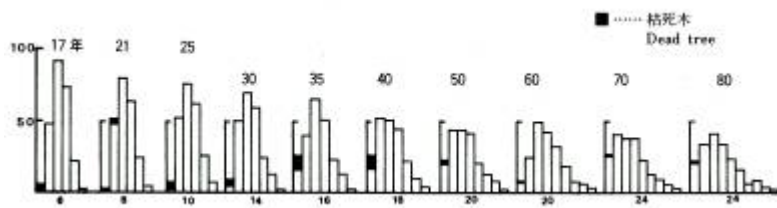
Fig.41- (2). Low thinning (site I)

林 齡	17年	21	25	30	35	40	50	60	70	80
平均直径	8.4	10.8	13.5	16.9	19.7	21.7	24.2	25.5	26.3	26.7
	8.0	10.3	12.7	16.3	19.1	21.2	23.8	25.2	25.9	26.3
分 散	3.67	3.54	3.18	3.62	3.50	2.90	2.76	3.60	4.46	4.73
	2.61	2.93	2.90	3.16	3.07	3.12	2.63	3.85	3.46	4.55
歪 度	-1.18	-1.58	-1.76	-1.73	-1.72	-2.15	-2.10	-2.15	-1.72	-1.94
	-1.55	-1.57	-1.54	-1.65	-1.74	-1.92	-2.24	-1.96	-1.93	-1.88
尖 度	-0.01	0.44	1.10	1.30	0.86	2.46	2.71	2.42	1.03	1.90
	0.50	0.52	0.72	1.28	0.79	1.75	2.99	1.72	1.53	1.70



図—41(3) —上層間伐 (I 等地) —
Fig.41—(3).Crown thinning(site I)

林 齡	17年	21	25	30	35	40	50	60	70	80
平均直径	7.5	9.7	11.6	13.7	15.5	17.3	19.8	21.2	22.0	22.5
	7.6	9.7	11.7	13.8	15.7	17.5	19.9	21.2	22.1	22.6
分 散	3.67	4.07	4.98	6.02	7.51	8.39	10.67	12.21	14.11	15.90
	3.30	3.87	4.61	5.64	.87	7.83	10.48	11.94	14.06	15.83
歪 度	-1.16	-1.01	-0.90	-0.73	-0.74	-0.52	-0.37	-0.31	-0.10	-0.04
	-1.07	-0.93	-0.84	-0.68	-0.73	-0.52	0.40	-0.25	-0.16	-0.09
尖 度	-0.37	-0.64	-0.62	-0.64	-0.58	-0.76	-0.75	-0.52	-0.66	-0.05
	-0.73	-0.74	-0.80	-0.75	-0.55	-0.73	-0.75	-0.50	-0.70	-0.58



図—41(4) —無間伐 (I 等地) —
Fig.41—(4).Unthinned(site I)

表—16 各間伐方法別林分構造の推移 (I 等地)

Table 16. Change of the stand structure of each thinning method (site I)

間伐方法 Thinning method	林齡 Age (yrs)	上層高 Top-height	間伐前 Before thinning			
			平均 Mean		ha 当たり Per ha	
			樹高 Height	胸高直径 D.b.h	立木本数 No. of trees	材積 Volume
			年 年	m	cm	本 本
全層間伐 Mechanical thinning	17	8	7.0	8.5	2,400	62
	21	10	9.1	11.4	2,100	118
	25	12	10.4	14.8	1,700	176
	30	14	12.3	19.1	1,200	234
	35	16	14.1	22.5	900	270
	40	18	16.1	25.6	700	304
	50	20	18.4	29.0	550	343
	60	22	20.2	31.3	450	355
	70	24	21.8	32.8	380	353
80	25	22.7	33.7	320	327	
下層間伐 Low Thinning	17	8	7.0	7.5	2,400	48
	21	10	8.7	10.6	2,100	100
	25	12	10.3	14.3	1,700	162
	30	14	12.4	19.4	1,200	238
	35	16	14.2	23.6	900	292
	40	18	16.3	27.1	700	334
	50	20	18.7	31.7	550	399
	60	22	20.5	35.0	450	430
	70	24	22.1	37.5	380	444
80	25	22.9	39.5	320	429	
上層間伐 Crown Thinning	17	8	6.0	8.4	2,400	62
	21	10	8.0	10.8	2,100	107
	25	12	9.0	13.5	1,700	147
	30	14	11.0	16.9	1,200	184
	35	16	12.8	19.7	900	207
	40	18	14.5	21.7	700	218
	50	20	17.0	24.2	550	237
	60	22	17.7	25.5	450	235
	70	24	18.8	26.3	380	224
80	25	19.7	26.7	320	201	
無間伐 Unthinned	17	8	6.5	7.5	2,400	48
	21	10	8.2	9.7	2,350	91
	25	12	9.4	11.6	2,300	140
	30	14	11.3	13.7	2,250	221
	35	16	13.1	15.5	2,200	313
	40	18	15.1	17.3	2,100	419
	50	20	17.4	19.8	2,000	584
	60	22	18.1	21.2	1,970	678
	70	24	19.2	22.0	1,950	767
80	25	20.1	22.5	1,940	840	

間伐木 Removed		間伐後 After thinning					総収穫 Total yield	
ha 当たり Per ha		平 均 Mean					ha 当たり Per ha	
立木本数 No. of trees	材 積 Volume	類型材積 Accum thinned vol.		樹 高 Height	胸高直径 D.b.h	材 積 Volume	材 積 Volume	
		m ³	m ³					m
300	8	8		7.0	8.5	54	62	
400	22	30		9.1	11.4	96	126	
500	55	85		10.4	14.6	121	206	
300	65	150		12.2	18.8	169	319	
200	58	208		14.1	22.6	212	420	
150	69	277		16.0	25.4	235	512	
100	68	345		18.3	28.8	275	620	
70	54	399		20.2	31.3	301	700	
60	62	461		21.6	32.5	291	752	
50	59	520		22.5	33.3	268	788	
300	2	2		7.3	8.0	46	48	
400	10	12		9.0	11.2	90	102	
500	34	46		10.6	15.1	128	174	
300	47	93		12.7	20.0	191	284	
200	53	146		14.4	24.1	239	385	
150	60	206		16.5	27.7	274	480	
100	60	266		18.9	32.1	339	605	
70	55	321		22.6	35.5	375	696	
60	58	379		22.2	38.0	386	765	
50	55	434		30.1	40.0	374	808	
300	15	15		5.8	8.0	47	62	
400	30	45		7.8	10.3	77	122	
500	58	103		8.7	12.7	89	192	
300	59	162		10.8	16.3	125	287	
200	58	220		12.5	19.1	149	369	
150	57	277		14.2	21.2	161	438	
100	51	328		16.8	23.8	185	514	
70	43	371		17.5	25.2	192	563	
60	42	413		18.6	25.9	182	595	
50	38	451		19.4	26.3	163	614	
50	0	0		6.5	7.6	48	48	
50	1	1		8.3	9.7	90	91	
50	1	2		9.4	11.7	139	141	
50	2	4		11.3	13.8	219	223	
100	6	10		13.3	15.1	307	317	
100	9	19		15.3	17.5	410	429	
30	4	23		17.5	19.9	580	603	
20	3	26		18.1	21.2	675	701	
10	2	28		19.2	22.1	765	793	
10	2	30		20.1	22.6	838	868	

第3節 小 括

上層、全層、下層の各間伐方法別の収穫予測を行い、間伐方法の違いによる間伐効果を検討した。現実の間伐試験林の強度上層、下層、無間伐の各区と同様の本数管理を生長モデル上に適合させて検討した結果、予測システムの立木密度効果式のパラメーターを間伐方法別に示すことができた。このパラメーターを用いて、I等地における中庸仕立林分の上層、全層、下層、そして2,500本植栽の無間伐の収穫予想を行った。その結果、各種の間伐方法の中では全層間伐が60年までの総収穫量も多く、有利なことが確かめられた。一方無間伐区と比較しても、全層間伐区は有利であった。久保トドマツ間伐試験林でも55年時の総収穫量は間伐区の方が多く、これらからもモデルの妥当性を裏付けた。大径木本数の比較では、間伐効果が生じやすい壮齢期では全層間伐の方が多い。高齢級になると、上位木を残置している下層区の方が多くなり、その度合を示すことができた。

以上のように、各個体ごとに生長曲線を適合する本モデルでは、任意の間伐モデルに対応することが可能であり、総収穫量の観点から全層間伐が有利なことを示した。また、その推定結果も実際の間伐試験林と同様の傾向を示している。

第6章 林分生長モデルの利用による間伐指針

林分生長モデルを利用して、各種の間伐方法を検討した結果、全層間伐が有利なことが分かった。全層間伐では林分内に大小様々な個体が存在し、将来の木材需要にも弾力的に対応でき都合と考えられる。トドマツ人工林の施業目標は一般用材の生産とし、主伐の目標径級は36cmを目指した。収穫量は主伐木だけでなく間伐木も重要である。その観点からも全層間伐は安定した収穫量を望める。そこで林分生長モデルを利用して全層間伐による間伐指針を示し、トドマツ人工林施業への具体的な指針とした。第4章で述べたように、リチャード式のパラメーター間の相互作用を利用して間伐指針表を作成することができる。この場合の収穫予想の考え方は、まず初期林分の個体ごとにパラメーター k を与え、間伐方法に従って個体を除去しながら残存立木の林齢に応じた直径を生長曲線を用いて個体ごとに推定する方法である。従って、個体ごとの生長経過を追跡することができ、直径分布等の有効な情報を提供できる。さらに、トドマツ人工林では、一斉皆伐方式だけでなく、一斉林を複層林や混交林へ転換していく多様な経営方式が実行されつつある。個体ごとに生長曲線を適合する方法は、このような多様な方法に対しても生長予測が可能なことを示唆しており、様々な条件下における生長曲線の適合例の集積が望まれる。

本章では一斉林を対象とした間伐指針表の作成方法と予測結果について述べる。

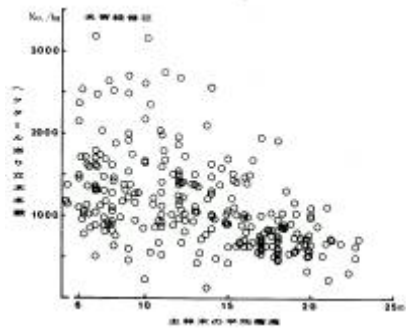
第1節 本数管理の考え方

1) 本数管理の実態

道有林、民有林におけるトドマツ人工林の本数管理の実態を調査してみた。道有林については既に「道有林におけるトドマツ高齢人工林の実態調査」および「第1回目の間伐に関する実態調査」(阿部, 1978, 阿部ら, 1979)により、道有林の収穫表の基準本数に満たない林分が多いことを報告している。今回は人工林基本調査の結果を基に、経営区別に上層高に対するha当たり立木本数を調べ、その結果

の一部を図-42に示した。一方、民有林については立地級の調査結果から、支庁別に同様の調査を行い、その一部を図-43に示した。トドマツ人工林は大部分が若齢級に属しており(図-1)、主伐期に達したものが少なく、人工林材の表かも定まっていない。従って、明確な生産目標を立てた施業方法はまだ確立していない。生育段階別に立木本数をみると、民有林では、その範囲が非常に広く、概して本数の多い傾向を示している。これに対して道有林では、名寄のように比較的本数の多い経営区もあるが、本数が減少している傾向を示す。

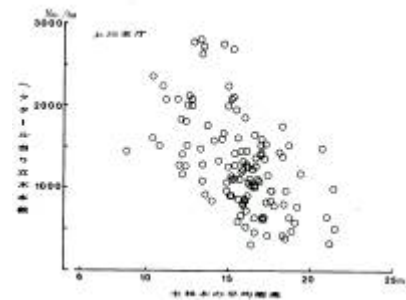
このように、道有林と民有林とでは本数管理に若干の違いは認められるが、いずれも本数の幅が大きく、特定の本数管理は存在していないことを裏付けている。上層高に対する ha 当たりの材積を調べ、図-44、45にその一部を示した。本数と同様に材積も広範囲に分布していることが分かる。



Mean height of main stand

図-42 道有林における主伐木の平均樹高に対する立木本数

Fig.42. Present state of reserved tree volume to average height of main stand in Hokkaido Prefectural forest in case of Nayoro district



Mean height of main stand

図-43 民有林における主伐木の平均樹高に対する立木本数

Fig.43. Present state of reserved tree numbers to average height of main stand in private forest in case of Kamikawa district

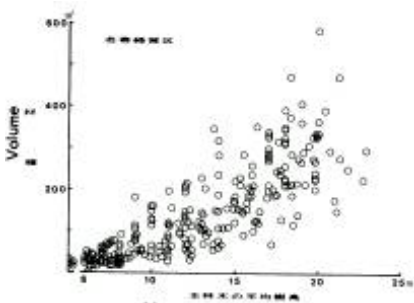


図-44 道有林における主林木の平均樹高に対する材積

Fig.44. Present state of reserved tree volume to average height of main stand in Hokkaido Prefectural forest in case of Nayoro district

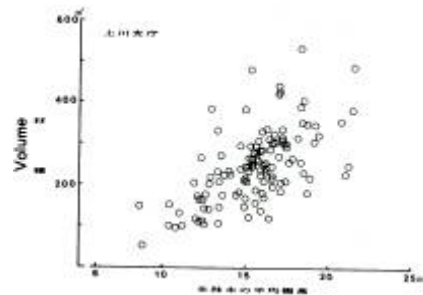
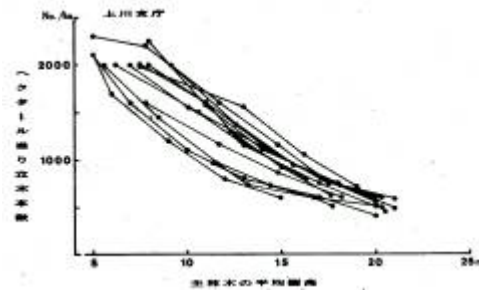


図-45 民有林における主林木の平均樹高に対する材積

Fig.45. Present state of reserved tree volume to average height of main stand in private forest in case of Hokkaido district

2) 本数の基準

北海道林務部では私有林を対象に、トドマツ人工林除間伐整備目標を町村単位で取りまとめている。この整備目標は町村の地位を考慮し、実態に合う形で除間伐の時期、本数管理の基準、そして主伐目標の林齢を示したものである。図-46は、町村単位の主林木平均樹高に対するha当たり立木本数を支庁ごとにまとめて示したものである。主林木平均樹高すなわち生育段階が同じでも、立木本数にかなりの開きがある。従って、本数管理には密、中庸仕立の区分が必要なことを示している。



mean height of main stand

図-46 主林木の平均樹高に対する整備目標の立木本数

Fig.46. Objective tree numbers to average height of main stand in private forests in case of Kamikawa district

今回新たに開発した予測方法は、個体ごとに生長曲線のパラメーターを与え任意の生育段階の直径を算出するものである。従って、このシステムでは初期立木密度が決まれば生長曲線のパラメーターのうち、 k を正規分布とする個体群を作りだして、それ以降は個体ごとにその後め生長を追跡することができる。そこで、本数管理の基準については生態的な裏付けのあるトドマツ密度管理図(真辺, 1974)を基に、トドマツ人工林除間伐整備目標の具体例を整理して実態に合うように間伐回数を減らし、間伐後の収量比数を0.6前後に保たせた中庸仕立、0.7前後に保たせた密仕立、並びに地位のよい林分を対象にトドマツの樹種特性に合うように早期にうっ閉を図かるために特別に密仕立した3通りとする。第1を中庸仕立林分、第2を密仕立林分、第3を特別密仕立林分と呼ぶことにする。間伐する上層高に達する各地位の林齢を表-17に示した。また、その上層高における各仕立林分分で2,500本、密仕立林分で3,000本、特別密仕立林分では特等地7,000本、I等地6,000本とした。

表-17 間伐基準上層高に達する林齢一覧表

Table 17. Ages which reached the thinning schedule based on upper mean height

上層高 Upper-tree height	林齢(年) Age(yrs)			
	特 I (Special)	I	II	III
m				
8	15	17	21	23
10	18	21	25	30
12	22	25	30	35
14	26	30	35	45
15				55
16	30	35	40	70
18	35	40	50	
20	40	50	65	
21			80	
22	48	60		
23				
24	55	70		
25		80		
26	65			
28	80			

第2節 地位区分

地位指数は樹高生長を基に決められるものであり、様々な樹高生長曲線式が提案されている。こうした中でトドマツには前述したようにリチャード式がよく適合することが確かめられている。そこでリチャード式を用いて地位指数曲線群を作成した。地位指数曲線の決定には本来、長期間にわたる林分の樹高生長の観察値が必要である。しかし、こうした資料は樹高測定の高齢樹の困難さもあり、ほとんど存在しない。

そこで通常の方法は便宜的に広い齢級にわたるプロット調査の資料を用いて、最小自乗法でガイドカーブを引き、このガイドカーブの形状を変えないように地位指数曲線群を作成するものである。この方法は実際の上層高とガイドカーブからの差を基に、各林齢の推定上層高の標準偏差 σ を計算する。そして地位指数を仮に林齢30年の時の上層高と決める。 x 年および30年の標準偏差をそれぞれ σ_x 、 σ_{30} とし、 x 年という林齢のガイドカーブの樹高を H_x とすれば、基準林齢で地位指数SIを通る曲線の x 年の上層高 H は次式で求めることができる。

$$H = H_x + (SI - H_{30}) \frac{\sigma_x}{\sigma_{30}}$$

しかし、この方法ではガイドカーブの形状を変えないため、地位の差異が曲線の形状に反映されることはなかった。そこで、現実の樹幹解析木の資料に基づいた地位指数曲線の作り方を検討した。樹高生長で最も重要なのは最終到達量を表す A の値である。生長のよい個体は最終到達量も大きいので、この A の値は地位指数と密接な関係にある。図-47は、道内各地から得られた樹幹解析木の樹高生長にリチャード式を適合させて、パラメーター k と A の関係を示したものである。図から、最終到達量 A の値が大きい個体ほど、 K の値が小さいことが分かる。両者の回帰式として次式を得た。

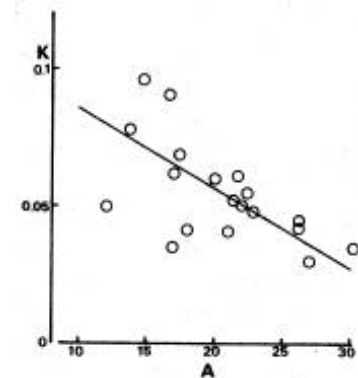


図-47 KとAの関係

Fig.47. Relation between K and A

$$K = 0.114 - 0.00283 A \quad (21)$$

従って、最終到達量 A を想定すれば、 k を推定することが可能となる。

一方、樹高生長の型を決める上で重要なのが、連年生長量が最大となる年齢 TI の値である。リチャード式において連年生長量が最大となる年齢を (TI) 、その時の総生長量を WI とすれば、次式が成立する(大隈ら, 1983)。

$$TI = \frac{1}{k} \log_e \frac{1}{1-m}$$

$$WI = Am^{\frac{1}{1-m}}$$

従って、 m は次式のように、 TI と k から求めることができる。

$$m = \frac{e^{TI \cdot k} - 1}{e^{TI \cdot k}}$$

図-48には樹幹解析木の資料から TI と A との関係を示した。図のように、 A が22m以下は TI の値を17年に統一し、 A が22mを超えると TI の値がやや低下し始めるので A が24mの時に TI は16年、26mで15年、28mで13年、30m以上は9年に統一した。また、 A が30m以上は A のみ変えることにした。

以上のように A から K を、 TI から m を推定することにより、リチャード式のパラメーターがすべて決まる。このように、地位に応じた最終到達量 A を基準にして、地位指数曲線群を作成することができた。

表-18には最終到達量 A の値別に k, m のパラメーターを示した。これらのパラメーターを用いて

求めた民有林のトドマツ人工林地位指数曲線群を表-19に示した。トドマツは全道に天然分布をする樹種であるが、気象や土壌等の立地的要因の影響や、さらに凍霜害、寒風害等の影響も比較的受けやすい樹種である。さらに霜害等では微地形の影響も受けると考えられる。道内には既に57万haのトドマツ人工林が集積しているので、トドマツ造林の適地の判定には既存の造林地そのものが有力な指標となる。

トドマツの地域的な地位区分については筆者（1981a）、山根（1983）が検討している。筆者は、行政区分としての支庁界や道有林経営区別のおおまかな傾向、あるいはカラマツ人工林の地帯別生長実態で区分されている、道東内陸部（Ⅰ等地）、内陸外側地帯（Ⅱ等地）、沿岸地帯（Ⅲ等地）の3地帯別の生長実態を、基準林齢30年時の地位指数で調べた。地位指数の平均値がよいのは、網走、上川、日高等であり、相対頻度をみると、地位指数16以上に属する割合は、上川、網走、日高等では32～48%に達するが、胆振、宗谷、根室等では6～15%にすぎず、地位指数12以下が38～65%を占める。同一支庁内でも生長にばらつきは認められるが、各支庁間の差は平均値にも認められ、地位による立地区分が示唆される。道有林の経営区別の生長もかなり違い、平均値で10～16と開きがある。同一地帯でも生長の

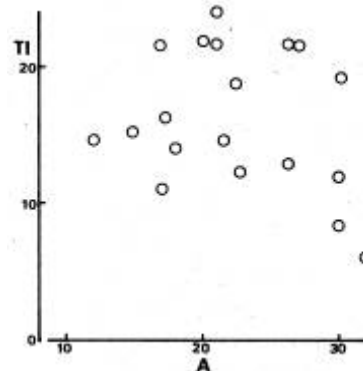


図-48 TIとAの関係

Fig.48. Relation between TI and A

表-18 地位指数曲線のパラメーター一覧表

Table 18. Parameters of site index curves

A	k	m	TI
34	0.0291	0.2304	9
32	0.0291	0.2304	9
30	0.0291	0.2304	9
28	0.0348	0.3639	13
26	0.040	0.4511	15
24	0.0461	0.5217	16
22	0.0517	0.5848	17
20	0.057	0.6205	17
18	0.0631	0.6579	17
16	0.0687	0.6890	17
14	0.074	0.7158	17
12	0.0800	0.7433	17

表-19 民有林トドマツ人工林地位指数曲線

Table 19. Site index curves of *Abies sachalinensis* in Hokkaido private forest

林 齢 Age(yrs)	(年)														
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
最終到達高 A Asymptotic value of height m															
34	5.7	8.8	11.7	14.4	16.8	19.0	20.9	22.6	24.1	25.4	26.5	27.5	28.4	29.1	29.8
32	5.4	8.3	11.1	13.6	15.8	17.9	19.7	21.3	22.7	23.9	24.9	25.9	26.7	27.4	28.0
30	5.0	7.8	10.4	12.7	14.9	16.8	18.4	19.9	21.2	22.4	23.4	24.3	25.0	25.7	26.3
28	4.1	6.8	9.5	11.9	14.2	16.1	17.9	19.4	20.7	21.8	22.7	23.6	24.2	24.8	25.3
26	3.4	6.1	8.8	11.3	13.5	15.5	17.2	18.7	19.9	21.0	21.9	22.6	23.2	23.7	24.1
24	3.0	5.6	8.3	10.9	13.1	15.1	16.7	18.1	19.3	20.2	21.0	21.6	22.1	22.4	22.8
22	2.5	5.0	7.6	10.2	12.4	14.3	15.9	17.2	18.2	19.0	19.7	20.2	20.6	20.9	21.2
20	2.2	4.6	7.2	9.6	11.8	13.6	15.0	16.2	17.1	17.8	18.3	18.7	19.0	19.3	19.5
18	2.0	4.3	6.8	9.2	11.1	12.8	14.1	15.1	15.8	16.4	16.8	17.1	17.4	17.5	17.7
16	1.7	3.9	6.3	8.5	10.3	11.8	12.9	13.8	14.4	14.9	15.2	15.4	15.6	15.8	15.8
14	1.4	3.4	5.6	7.6	9.3	10.6	11.6	12.3	12.8	13.2	13.4	13.6	13.7	13.8	13.9
12	1.2	3.0	5.0	6.8	8.3	9.4	10.2	10.8	11.2	11.4	11.6	11.7	11.8	11.9	11.9

変動幅は非常に大きく、実際に施業を検討する場合には、林齢に対する上層高を樹高生長曲線上にプロットしてみて、地位指数に応じた施業方法を選択する必要がある。全道的な地位区分を地位指数（基準林齢 30 年時の上層高）で表すと、特 I 等地が 15.8, I 等地が 14.2, II 等地 12.4, III 等地 10.3 と区分できる。この場合の最終到達高は特 I 等地が 32m, I 等地 28m, II 等地 22 m, III 等地 16m となる。今回の間伐指針もこの基準により特 I 等地～III 等地の 4 区分で作成したが、特 I 等地は道内の最上位にランクされ理想的な生長をしたと考えられるものであり、実際的には I～III 区分で十分である。

第 3 節 予測方法と選木方法

この予測システムは生長曲線のパラメーターのうち、相対生長速度に最も関係の深い k を個体ごとに割り当てて、他のパラメーターは k との関係から推定して個体ごとに直径を予測するものである。林分の地位に応じた k の平均値 E は表-20 に示した値を採用した。林分単位における k の平均値がどのような値をとるかは資料が少ないため、ここでは久保トドマツ間伐試験林の平均値 0.05 を基準に地位に応じて値を上下させた。この場合、同じ上層高に対しては地位にかかわらず、林分の平均直径がほぼ同一になるように E を動かした。その結果、 E は特 I 等地で 0.05, I 等地で 0.056, II 等地で 0.063, III 等地で 0.068 となった。一方、地位別の直径の偏差 (σ) は E の大きさに反比例 ($E \times \sigma = \text{const}$) するようにした。これは、地位が低下すると同じ樹高階に達するのに年数がかかり、直径分散がやや広がる傾向があったためである。

間伐によるパラメーターの変化は、 A と k との関係式

$$A = \alpha e^{\beta k}$$

において、立木密度が低下すると β の値が変化することから、その度合いを

$$\beta = -16.76 - 0.0044 \rho$$

として表した (式-19)。従って、立木密度が変化すると、個体の k に対応した A が変わることになる。すなわち、間伐本数が減少しても、個体の k には変化がないが、 A と k との回帰式を乗り換えることになり、 A が増加した分、期末直径は大きくなり、これが間伐効果となる。一方のパラメーター m に対する立木密度効果に関しては資料不足により不明である。

間伐実行における選木基準は、図-35 に示したように全層間伐とした。全層間伐を前提にした場合の間伐指針表中庸仕立を表-21 に、密仕立を表-22 に、特別密仕立を表-23 に掲げた。また、ある径級以上の本数構成比を表-24, 25, 26 に示した。

表-20 地位別の E と σ
Table 20. Value of E and σ
classified for site

	E	σ
特 I 等地 Special Site I	0.05	0.01
I 等地 Site I	0.056	0.0089
II 等地 Site II	0.063	0.0079
III 等地 Site III	0.068	0.0074

表-21 間伐指針表 —中庸仕立林分—
 Table 21. Thinning schedule for *Abies sachalinensis*
 —Medium stand density—

地位 Site	林齡 Age (yrs)	上層高 TOP— height	主 林 木 Remaining				
			平 均 Mean		ha 当 たり		
			樹 高 Height	胸高直径 D.b.h	立木本数 No.of trees	材 積 Volume	平均生長率 Mean annual Increment
	年	m	m	cm	本	m ³	m ³
(特 I)	15	8	7.0	8.5	2,100	56	4
	18	10	8.9	11.1	1,700	91	5
	22	12	10.4	14.8	1,200	124	6
	26	14	12.2	18.8	900	169	7
	30	16	14.1	22.6	700	214	7
	35	18	16.0	26.0	550	248	7
	40	20	18.1	28.6	450	273	7
	48	22	20.0	31.6	380	306	6
	55	24	21.7	33.8	320	317	6
	65	26	24.2	36.5	270	345	5
	80	28	26.2	37.4	230	348	4
(I)	17	8	7.0	8.5	2,100	54	3
	21	10	9.1	11.4	1,700	96	5
	25	12	10.4	14.6	1,200	124	5
	30	14	12.2	18.8	900	169	6
	35	16	14.1	22.6	700	212	6
	40	18	16.0	25.4	550	235	6
	50	20	18.3	28.8	450	272	6
	60	22	20.2	31.3	380	301	5
	70	24	21.6	32.5	320	291	4
	80	25	22.5	33.3	270	268	3
(II)	21	8	7.0	9.0	2,100	61	3
	25	10	9.1	11.5	1,700	98	4
	30	12	10.3	14.7	1,200	123	4
	35	14	12.3	18.8	900	171	5
	40	16	14.1	21.9	700	200	5
	50	18	16.0	25.0	550	228	5
	65	20	18.3	28.0	450	263	4
	80	21	19.5	29.8	380	264	3
(III)	23	8	7.1	8.7	2,100	58	3
	30	10	9.3	12.0	1,700	108	4
	35	12	10.3	14.7	1,200	123	4
	45	14	12.3	19.3	950	191	4
	55	15	13.1	22.2	800	224	4
	70	16	14.4	24.0	700	250	4

副 林 木			主 副 合 計				総 収 穫		
Removed			Before thinning				Total yield		
平 均 胸高直径	本 数	材 積	累計材積	材 積	連 年 生長量	平 均 生長量	材 積	平 均 生長量	
Mean d.b.h	No.of trees	Volume	Accum Thinned vol.	Volume	Current annual volume increment	Mean annual volume increment	Volume	Mean annual volume increment	
cm	本	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	
8.2	300	7	7	63	18	4	63	4	
10.7	400	20	27	111	21	6	118	7	
14.8	500	52	79	176	27	8	203	9	
19.5	300	63	149	232	30	9	311	12	
23.5	200	66	208	280	20	9	429	14	
26.9	150	73	281	321	20	9	529	15	
31.1	100	74	355	347	12	8	628	15	
33.2	70	64	419	370	10	7	725	14	
33.6	60	56	475	373	7	6	792	13	
34.8	50	46	521	391	3	5	866	11	
35.9	40	46	567	394			915		
7.1	300	8	8	62	16	4	62	4	
11.3	400	22	30	118	20	6	126	6	
15.1	500	55	85	176	23	7	206	8	
20.0	300	65	150	234	20	8	319	11	
22.2	200	58	208	270	18	8	420	12	
26.2	150	69	277	304	11	8	512	13	
29.2	100	68	345	343	8	7	620	12	
31.1	70	54	399	355	5	6	700	11	
34.5	60	62	461	353	4	5	752	10	
35.9	50	59	520	327			788		
9.2	300	9	9	70	16	3	70	3	
12.0	400	26	35	124	16	5	133	5	
15.3	500	56	91	179	21	6	214	7	
18.6	300	56	147	227	18	6	318	9	
22.0	200	59	206	259	10	6	406	10	
26.1	150	71	277	299	6	6	505	10	
26.4	100	48	325	311	3	6	588	9	
28.0	70	42	367	306		5	631	8	
						4			
8.3	300	7	7	65	11	3	65	3	
12.0	400	26	33	134	14	4	141	5	
15.4	500	57	90	180	12	5	213	6	
19.4	250	51	141	242	7	5	332	7	
21.2	150	37	178	261	4	5	402	7	
25.2	100	40	218	290		4	468	7	

表-22 間伐指針表 —密仕立林分—
 Table 22. Thinning schedule for *Abies sachalinensis*
 —High stand density—

地位 Site	林齡 Age (yrs)	上層高 TOP— height	主 林 木 Remaining				
			平 均 Mean		ha 当たり		
			樹 高 Height	胸高直径 D.b.h	立木本数 No.of trees	材 積 Volume	平均生長率 Mean annual Increment
	年	m	m	cm	本	m ³	m ³
(特 I)	15	8	6.5	7.6	2,700	56	4
	18	10	8.2	9.7	2,300	90	5
	22	12	10.0	12.8	1,700	132	6
	26	14	11.5	16.8	1,300	190	7
	30	16	13.5	20.1	1,000	236	8
	35	18	15.5	24.0	790	298	9
	40	20	17.5	27.2	640	341	9
	48	22	19.1	30.6	540	393	8
	55	24	20.9	32.7	450	405	7
	65	26	23.0	34.5	390	468	7
	80	28	25.5	36.2	340	516	6
(I)	17	8	6.4	7.5	2,700	53	2
	21	10	8.2	9.8	2,300	92	4
	25	12	9.9	12.5	1,700	126	5
	30	14	11.7	16.7	1,300	189	6
	35	16	13.6	20.6	1,000	247	7
	40	18	15.6	24.1	790	299	7
	50	20	18.1	27.6	640	361	7
	60	22	20.1	30.4	540	403	7
	70	24	21.0	32.2	450	415	6
	80	25	21.8	33.0	390	407	5
(II)	21	8	6.4	7.9	2,700	57	3
	25	10	8.3	9.9	2,300	93	4
	30	12	10.0	12.7	1,700	130	4
	35	14	11.5	16.5	1,300	182	5
	40	16	13.5	19.7	1,000	226	6
	50	18	15.6	23.5	790	286	6
	65	20	17.4	26.3	640	319	5
	80	21	18.5	27.8	540	315	4
(III)	23	8	6.5	7.4	2,700	51	2
	30	10	8.4	10.0	2,300	94	3
	35	12	9.8	12.4	1,700	121	3
	45	14	11.5	16.7	1,450	207	5
	55	15	12.2	19.1	1,300	253	5
	70	16	13.9	20.7	1,200	309	4

副 林 木 Removed				主 副 合 計 Before thinning			総 収 穫 Total yield	
平 均 胸高直径	本 数	材 積	累計材積	材 積	連 年 生長量	平 均 生長量	材 積	平 均 生長量
Mean d.b.h	No.of trees	Volume	Accum Thinned vol.	Volume	Current annual volume increment	Mean annual volume increment	Volume	Mean annual volume increment
cm	本	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
7.3	200	3	3	59	17	4	59	4
9.9	400	16	19	106	22	6	109	6
12.9	600	47	66	179	30	8	198	9
17.2	400	62	128	252	32	6	318	8
21.7	300	85	213	321	27	11	449	15
23.4	210	73	286	371	24	10	705	18
27.1	150	78	364	419	16	10	831	17
31.0	100	74	438	467	14	9	929	17
33.9	90	86	524	491	12	8	1,047	16
34.0	60	55	579	523	7	7	1,147	14
36.4	50	52	631	568				
7.9	200	4	4	57	14	3	57	3
10.3	400	18	22	110	21	5	114	5
13.0	600	50	72	176	25	7	198	8
17.2	400	63	135	252	25	8	324	11
19.9	300	68	203	315	24	9	450	13
23.0	210	70	273	368	16	9	572	14
28.2	150	96	369	457	11	8	838	14
29.0	100	66	435	469	6	7	901	13
31.9	90	51	486	466	5	6	950	12
35.5	60	57	543	464				
7.3	200	4	4	61	13	3	61	3
10.2	400	17	21	110	17	4	114	5
12.8	600	47	68	177	23	6	198	7
17.0	400	61	129	243	23	7	311	9
19.8	300	70	199	296	13	7	425	11
23.0	210	72	271	358	8	6	670	10
26.9	150	80	351	399	4	5	735	9
29.7	100	69	420	384				
7.8	200	4	4	55	9	2	55	2
10.2	400	17	21	111	14	4	115	4
12.4	600	43	64	164	13	5	185	5
17.5	250	40	104	247	7	5	311	7
18.7	150	28	132	281	6	5	385	7
21.0	100	27	159	336				

表-23 間伐指針表 —特別密仕立林分—
 Table 23. Thinning schedule for *Abies sachalinensis*
 —Special high stand density—

地位 Site	林齡 Age (yrs)	上層高 TOP- height	主 林 木 Remaining				
			平 均 Mean		ha 当たり		
			樹 高 Height	胸高直径 D.b.h	立木本数 No.of trees	材 積 Volume	平均生長率 Mean annual Increment
	年	m	m	cm	本	m ³	m ³
(特 I)	15	8.3	6.0	4.9	4,500	40	3
	17	10.0	7.7	6.2	3,500	59	3
	20	11.1	8.7	9.0	2,500	92	5
	23	12.6	10.0	12.9	2,000	158	7
	26	14.4	11.6	16.0	1,600	215	8
	30	15.8	13.5	19.5	1,300	292	10
	35	17.9	15.4	23.1	1,100	383	11
	40	19.9	17.1	26.1	900	437	11
	45	21.3	18.5	28.8	800	500	11
	50	22.7	19.9	31.0	710	549	11
	55	23.9	20.8	32.6	640	566	10
	60	24.9	22.1	34.4	600	622	10
	65	25.9	23.1	35.5	580	667	10
70	26.7	23.9	36.6	560	695	10	
80	28.0	25.2	37.4	550	759	9	
(I)	17	8.0	6.0	5.4	4,000	42	2
	20	9.5	7.8	6.7	3,000	59	3
	25	11.9	9.6	10.6	2,200	118	5
	30	14.2	11.3	14.9	1,700	198	7
	35	16.1	13.2	18.8	1,300	268	8
	40	17.9	15.2	22.4	1,100	357	9
	45	19.4	16.7	25.0	900	394	9
	50	20.7	18.0	27.1	800	433	9
	55	21.8	18.9	28.7	710	453	8
	60	22.7	20.0	30.3	650	485	8
	65	23.6	20.5	31.2	610	491	8
70	24.2	21.0	31.8	590	503	7	
80	25.3	21.4	32.6	580	546	7	

副 林 木 Removed				主 副 合 計 Before thinning			総 収 穫 Total yield	
平 均 胸高直径	本 数	材 積	累計材積	材 積	連 年 生長量	平 均 生長量	材 積	平 均 生長量
Mean d.b.h	No.of trees	Volume	Accum Thinned vol.	Volume	Current annual volume increment	Mean annual volume increment	Volume	Mean annual volume increment
cm	本	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
5.0	2,000	19	19	59	19	4	59	4
6.5	1,000	19	38	78	24	5	97	6
9.1	1,000	38	76	130	32	7	168	8
11.8	500	32	108	190	36	8	266	12
15.8	400	52	160	267	36	10	375	14
19.2	300	65	225	357	32	12	517	17
23.2	200	70	295	453	30	13	678	19
25.9	200	94	389	531	26	13	826	21
29.5	100	68	457	568	20	12	957	21
29.6	90	61	518	610	18	11	1,057	21
31.5	70	65	583	631	16	11	1,149	21
32.7	40	26	609	648	13	11	1,231	21
33.8	20	20	629	687	10	10	1,296	20
34.3	20	20	649	715	8	10	1,344	19
36.7	10	12	661	771		10	1,420	18
5.4	1,500	16	16	58	12	3	58	3
6.8	1,000	20	36	79	20	4	95	5
10.5	800	42	78	160	27	6	196	8
14.7	500	56	134	254	29	8	332	11
18.4	400	77	211	345	30	10	479	14
21.9	200	62	273	419	24	10	630	16
24.0	200	81	354	475	20	11	748	16
28.0	100	63	417	496	14	10	850	17
29.0	90	52	469	505	13	9	922	17
30.1	60	35	504	520	8	9	989	16
31.7	40	32	536	523	7	8	1,027	16
35.8	20	23	559	526	6	8	1,062	15
37.9	10	14	573	560		7	1,119	14

表-24 間伐指針表 中庸仕立林分の径級別本数
 Table 24. Tree numbers from the largest size in the thinning
 schedule for medium density stand

直径階 D.b.h class	本数 No.of trees	40cm	36	32	28	24	20	16	12	8	4
地位 Site	林齢 Age(yrs)	以上									
	年										
特 I	15								50	1,440	2,390
	18								740	1,960	2,100
	22							560	1,510	1,690	
	26						480	1,050	1,190	1,200	
	30					340	720	880	900		
	35				250	510	680	690	690		
	40			130	350	510	540	550			
	48		90	220	370	430	440	440			
	55	30	150	230	360	370	380				
	65	70	150	220	300	310	320				
80	120	140	230	250	260	270					
I	17								40	1,480	2,400
	21							30	800	2,060	
	25						20	460	1,540	1,700	
	30						460	1,070	1,200		
	35					300	730	900			
	40				160	460	690				
	50				340	510	550				
	60		50	190	330	440					
	70	20	100	210	320	380					
	80	30	110	220	280	320					
II	21								130	1,730	2,390
	25							20	880	2,020	2,100
	30							510	1,520	1,700	
	35						340	1,000	1,190		
	40				10	240	660	890	900		
	50				120	480	670				
	65		10	40	300	450	550				
	80	10	10	110	300	400					
III	23								80	1,510	2,380
	30								1,010	2,030	
	35							60	1,490	1,700	
	45					50	500	1,050	1,200		
	55			10	30	250	680	920			
	70			10	120	430	690	800			

※ II等地 80年で36cm以上と40cm以上の本数が同じなのは36cm, 38cmがなく40cmに10本あるためである。

表-25 間伐指針表 密仕立林分の径級別本数
 Table 25. Tree numbers from the largest size in the thinning
 schedule for high density stand

直径階 D.b.h class	本数 No.of trees	40cm	36	32	28	24	20	16	12	8	4
地位 Site	林齢 Age(yrs) 年	以上									
特 I	15								10	1,230	2,880
	18								380	2,090	2,690
	22							240	1,350	2,270	2,300
	26						220	1,070	1,630	1,700	
	30						450	1,020	1,290	1,300	
	35					480	910	990	1,000		
	40					630	780	790			
	48		70	280	470	610	630	640			
	55	30	170	310	440	530	530	540			
	65	50	210	370	440	470	480				
80	130	210	320	410	430						
I	17								50	1,130	2,850
	21								430	2,140	2,700
	25							250	1,360	2,250	2,300
	30						200	1,030	1,660		
	35					110	740	1,200			
	40			10	60	490	880	1,000			
	50		10	60	400	690	740				
	60	10	50	210	440	590	640				
	70	30	90	250	440	540					
	80	40	110	270	440	480					
II	21								20	1,280	2,900
	25								370	2,210	2,700
	30							200	1,430	2,290	
	35						160	980	1,680		
	40					110	560	1,190	1,300		
	50				70	440	830	1,000			
	65				270	560	780				
	80		10	90	420	530					
III	23								20	1,080	2,870
	30								330	2,330	2,700
	35							70	1,290	2,270	
	45						180	1,040	1,650		
	55						550	1,290	1,450		
	70						750	1,260			

表-26 間伐指針表 特別密仕立林分の径級別本数
 Table 26. Tree numbers from the largest size in the thinning
 schedule for special high density stand

直径階 D.b.h class	本数 No.of trees	40cm 以上	36	32	28	24	20	16	12	8	4
地位 Site	林齢 Age(yrs)										
特 I	15									200	4,540
	17									800	4,050
	20									2,270	3,490
	23							220	1,540	2,420	2,500
	26							1,060	1,830	2,000	
	30						730	1,380	1,600		
	35				30	600	1,080	1,270	1,300		
	40				390	750	1,000	1,100			
	45				560	790	880	900			
	50			350	580	720	800				
	55		190	510	600	680	710				
	60	60	290	430	550	630	640				
	65	100	300	460	550	590	600				
	70	150	300	460	530	580					
80	220	340	460	510	560						
I	17									390	4,500
	20									920	3,830
	25							30	730	2,600	3,000
	30						90	680	1,900	2,190	2,200
	35					90	540	1,380	1,690	1,700	
	40				80	390	940	1,280	1,300		
	45			30	200	650	970	1,100			
	50			100	400	740	870	900			
	55		40	170	450	680	780	800			
	60		80	230	470	620	710				
	65	10	100	290	500	630	650				
	70	40	130	280	470	590	610				
80	80	160	320	490	570	590					

第4節 材積計算

1) 平均樹高と上層高との関係

地位の判定には上層高を使用するが、樹高曲線のパラメーターを求める際、平均樹高を必要とするので道有林の人工林基本調査結果の資料を用い上層高から平均樹高を次式で推定した。

$$H = 1.3501 + 0.9909HT - 0.7533 \frac{HT\sqrt{\rho}}{100} \quad (23)$$

HT : 上層高 ρ : ha 当たり本数

2) 樹高分布の推定

直径分布から樹高分布を推定するために、ネスランド (Näslund) 樹高曲線を利用した。

$$H = \frac{D^2}{(\alpha + \beta D)^2} + 1.3$$

表-27 樹高曲線のパラメーター 一覧表

Table 27. Parameters of height curves

上層高 Upper tree height	α	β
	m	
8	0.2627	1.3026
10	0.2427	1.3076
11	0.2332	1.3081
12	0.2247	1.3094
14	0.1937	2.0261
16	0.1732	2.3876
18	0.1520	2.5876
20	0.1457	2.7837
21	0.1435	2.8103
22	0.1427	2.8587
24	0.1406	2.8987
25	0.1205	2.9150
26	0.1150	3.1800
28	0.1120	3.2500

まず各林齢別に直径分布を推定し、ha 当たり 250本に相当する上層木の平均直径をDT、平均直径をD、また下層木として直径の大きい順に並べ変えた時の上位から80%に相当する直径をDSとし、それに対応する樹高として上層高をHT、(23)式より求めた林分の平均樹高をHとし、下層木の樹高は上層木の樹高と平均樹高との差の分、平均樹高より下回るとした。これら3組の樹高と直径の組み合わせを最小自乗法を用いてパラメーターを決定した。上層高階別に求めたパラメーター一覧表を表-27に示した。

3) 材積計算

道有林におけるトドマツの材積計算には中島(1943)の「北海道立木幹材積表」が広く使われている。そこで、材積計算には材積表と同様に樹高階別樹高樹幹形数の実験式

$$FH = 0.61 - 0.0055H + 5.48e^{-1.025H}$$

並びに直径階別胸高樹幹形数の実験式

$$FD = 0.5 - 0.0008D + 0.421e^{-0.12D}$$

を用いた。胸高断面積をGとすれば、材積は次式で求めることができる。

$$V = \frac{1}{2}(FH + FD) \cdot G \cdot H$$

従って、個体ごとに予測された直径を基に、樹高曲線式から樹高を推定して固体の材積を求め、これを積算して林分の材積とした。

第5節 収穫予測の結果と考察

1) 直径生長

図-49(1)~(10)に各々の林分の間伐時における直径分布を示した。全層間伐を想定して一様乱数を用いて選木したが、図に示したように各直径階から選木されており全層間伐とみなすことができ、間伐前後の平均直径もほぼ同一となっている。各林齢における直径分布は、中庸仕立の特等地の一部を除いて、いずれもほぼ正規性を保持しながら推移していることが分かる。このことは、生長曲線のパラメーターkに対応して直径分布が規定されることを意味している。間伐が実行されて立木本数が減少すると、立木密度に応じたkとAとの関係式に乗り換えるが、この場合、例えば最も間伐効果の期待できる初回間伐後一定年数経過した2回目の間伐直前の直径分布をみてみると、地位のよい林分ほど大きな直径階の占める割合が大きくなっていることが分かる。間伐効果は地位のよい林分ほど大きいので、この点からもkとAとの関係式の乗り換えによる間伐効果は妥当な結果といえる。

林 齢	15年	18	22	26	30	35	40	48年	55	65	80
平均直径	8.5*	11.1	14.8	19.0	22.8	26.2	29.1	31.9	33.8	35.9	37.4
	8.5**	11.1	14.8	18.8	22.6	26.0	28.6	31.6	33.8	36.5	38.7
分 散	3.11*	4.46	5.66	7.46	8.88	11.25	15.25	20.08	21.73	35.85	46.40
	3.31**	4.42	4.96	6.81	9.75	12.12	15.87	19.26	25.53	38.71	40.26
歪 度	-1.22*	-1.22	-1.30	-1.47	-1.38	-1.28	-1.29	-1.11	-0.94	-0.81	-0.60
	-1.24**	-1.22	-1.15	-1.18	-1.34	-1.30	-1.21	-1.10	-0.89	-1.04	-0.20
尖 度	-0.21*	-0.20	0.32	1.16	0.76	0.97	0.87	0.54	0.52	0.05	0.08
	-0.14**	-0.12	-0.28	-0.01	0.61	1.00	0.70	0.90	0.13	0.41	-1.07

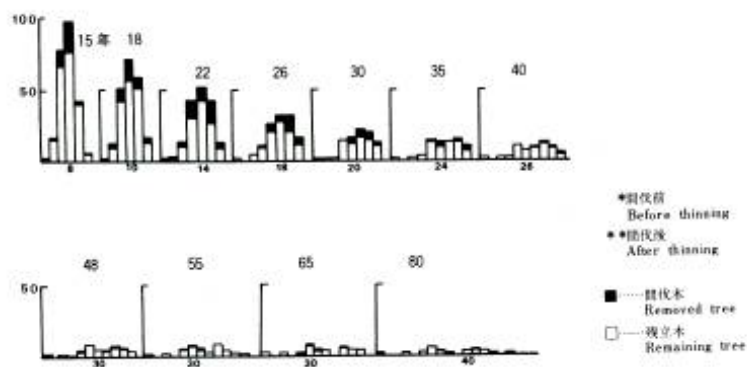


図-49 (1) 間伐指針表の直径分布 —中庸仕立 (特I等地) —
Fig.49-(1).Diameter distributions in the model thinned stand at
the thinning times

—Medium stand density(site special I)—

林 齡	17年	21	25	30	35	40	50	60	70	80+
平均直径	8.5	11.4	14.8	19.1	22.5	25.6	29.0	31.3	32.8	33.7
	8.5	11.4	14.6	18.8	22.6	24.4	28.8	31.3	32.5	33.3
分 散	2.97	3.97	5.02	6.95	7.18	9.00	12.14	16.40	18.76	21.93
	2.96	4.17	5.33	6.28	7.45	8.75	11.42	16.60	21.09	22.95
歪 度	-1.21	-0.98	-1.00	-0.82	-0.78	-0.83	-0.89	-0.68	-0.60	-0.36
	-1.19	-0.92	-0.84	-0.93	-0.90	-0.83	-1.01	-0.76	-0.41	-0.25
尖 度	-0.36	-0.55	-0.17	-0.67	-0.98	-0.76	-0.41	-0.66	-0.98	-0.67
	-0.37	-0.61	-0.53	-0.65	-0.87	-0.64	-0.06	-0.72	-1.20	-0.72

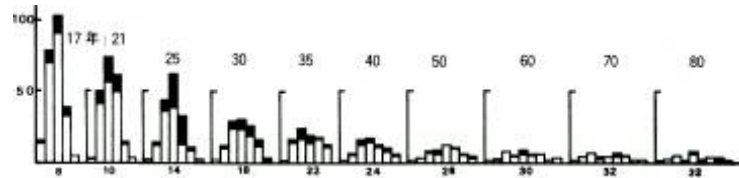


图-49 (2) —中庸仕立 (I等地) —

Fig.49-(2).—Medium stand density(site I)—

林 齡	21年	25	30	35	40	50	65	80
平均直径	9.1	11.6	14.9	18.7	21.9	25.3	27.7	29.5
	9.0	11.5	14.7	18.8	21.9	25.0	28.0	29.8
分 散	3.55	4.81	5.39	7.28	8.91	9.81	11.88	14.87
	3.57	4.63	5.57	7.03	7.97	9.77	12.11	14.20
歪 度	-1.17	-1.14	-0.99	-1.01	-1.09	-1.02	-0.88	-0.53
	-1.13	-1.20	-0.95	-1.24	-1.04	-0.93	-0.92	-0.43
尖 度	-0.10	-0.23	-0.42	0.02	0.25	-0.19	-0.03	0.31
	0.00	-0.09	-0.38	0.24	-0.16	-0.18	0.09	0.50

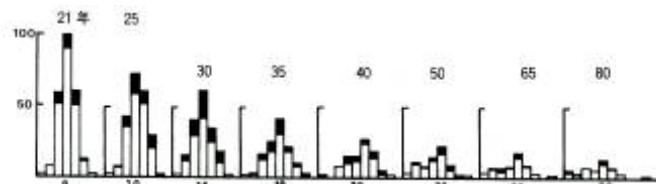


图-49 (3) —中庸仕立 (II等地) —

Fig.49-(3).—Medium stand density(site II)—

林 齡	23年	30	35	45	55	70
平均直径	8.6	12.0	14.9	19.3	22.1	24.2
	8.7	12.0	14.7	19.3	22.2	24.0
分 散	3.64	5.18	6.59	8.64	11.63	12.63
	3.58	5.35	6.44	8.79	11.77	12.95
歪 度	-1.22	-1.05	-0.90	-0.72	-0.59	-0.66
	-1.29	-1.06	-0.82	-0.82	-0.57	-0.57
尖 度	-0.02	-0.28	-0.12	0.10	-0.06	-0.28
	0.07	-0.34	-0.04	0.16	-0.10	-0.21

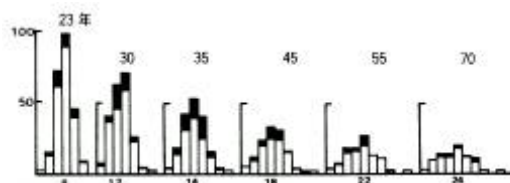


图-49 (4) —中庸仕立 (III等地) —

Fig.49-(4).—Medium stand density(site III)—

林 齡	15年	18	22	26	30	35	40	48	55	65	80
平均直径	7.6	9.7	12.9	16.9	20.5	23.9	27.2	30.7	32.9	34.4	36.2
	7.6	9.7	12.8	16.8	20.1	24.0	27.2	30.6	32.7	34.5	36.2
分 散	3.48	4.58	5.98	7.40	8.49	10.78	12.94	18.65	24.14	28.97	32.54
	3.50	4.66	6.08	7.39	8.56	11.35	13.90	19.42	26.71	26.96	34.65
歪 度	- 1.10	- 1.12	- 1.09	- 1.19	- 1.11	- 1.12	- 1.17	- 1.07	- 0.91	- 0.59	- 0.14
	- 1.08	- 1.14	- 1.08	- 1.13	- 1.02	- 1.20	- 1.15	- 1.14	- 0.79	- 0.30	- 0.12
尖 度	- 0.57	- 0.28	- 0.15	0.03	0.02	0.53	0.83	0.69	0.19	0.02	- 0.56
	- 0.55	- 0.28	- 0.11	- 0.00	0.08	0.78	0.94	0.77	- 0.04	- 0.56	- 0.66

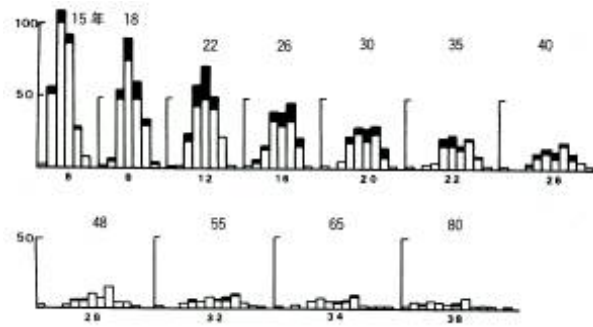


图-49 (5) —密仕立 (特 I 等地) —

Fig.49-(5).—High stand density(site special I)—

林 齡	17年	21	25	30	35	40	50	60	70	80
平均直径	7.5	9.9	12.7	16.8	20.4	23.9	27.9	30.2	32.1	33.2
	7.5	9.8	12.5	16.7	20.6	24.1	27.6	30.4	32.2	33.0
分 数	3.86	4.93	6.46	6.99	8.44	9.26	12.17	18.02	19.39	21.44
	3.95	5.03	5.39	6.24	8.22	9.01	13.26	17.35	18.18	21.14
歪 度	- 1.01	- 0.99	- 0.92	- 0.79	- 0.89	- 0.95	- 0.94	- 0.44	- 0.13	- 0.00
	- 0.98	- 0.95	- 0.86	- 0.79	- 1.03	- 0.92	- 0.78	- 0.24	- 0.17	- 0.02
尖 度	- 0.48	- 0.50	- 0.23	- 0.34	- 0.25	- 0.20	0.24	- 0.00	- 0.14	0.01
	- 0.53	- 0.48	- 0.47	- 0.25	0.03	- 0.12	0.06	- 0.06	0.01	0.10

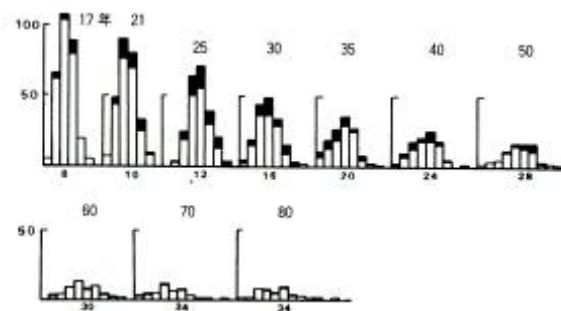
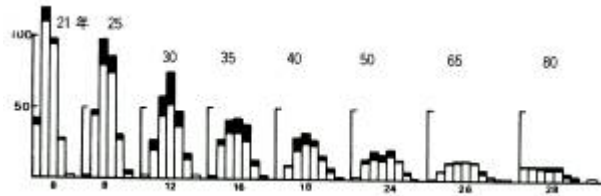


图-49 (6) —密仕立 (I 等地) —

Fig.49-(6). —High stand density (site I) —

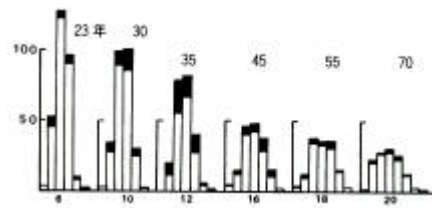
林 齡	21 年	25	30	35	40	50	65	80
平均直径	7.9	9.9	12.7	16.6	19.7	23.4	26.4	28.1
	7.9	9.9	12.7	16.5	19.7	23.5	26.3	27.8
分 散	3.07	3.95	5.48	6.73	8.46	10.02	13.17	14.09
	3.06	3.98	5.73	6.53	8.24	9.94	12.36	13.78
歪 度	- 1.15	- 0.99	- 0.91	- 0.83	- 0.68	- 0.80	- 0.50	- 0.38
	- 1.13	- 1.11	- 0.85	- 0.82	- 0.85	- 0.82	- 0.37	- 0.23
尖 度	- 0.61	- 0.66	- 0.53	- 0.67	- 0.68	- 0.77	- 0.51	- 0.66
	- 0.57	- 0.66	- 0.54	- 0.76	- 0.51	- 0.78	- 0.40	- 0.48



图—49 (7) —密仕立 (II等地) —

Fig.49—(7) —High stand density(site II)—

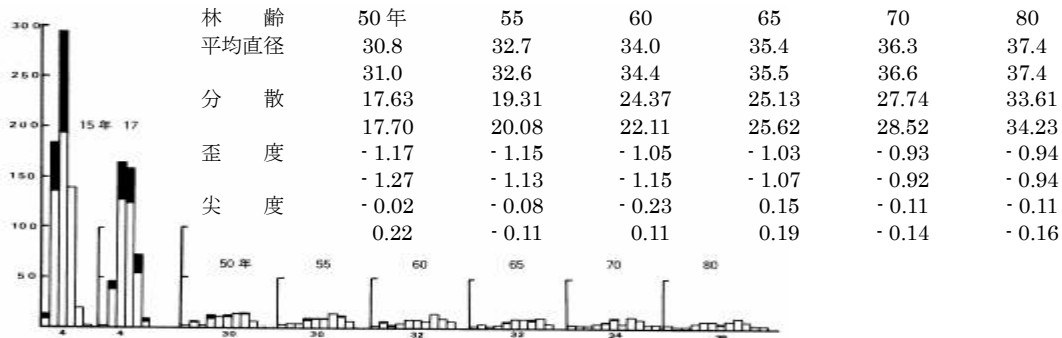
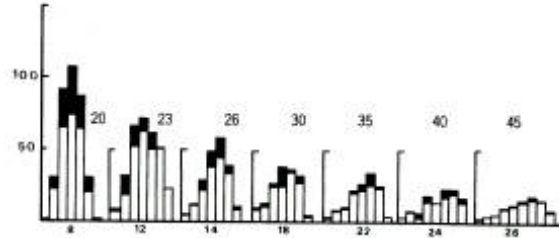
林 齡	23 年	30	35	45	55	70
平均直径	7.5	10.0	12.4	16.8	19.1	20.8
	7.4	10.0	12.4	16.7	19.1	20.7
分 散	2.82	3.44	4.11	6.38	6.91	8.24
	2.63	3.37	3.86	6.18	6.81	8.28
歪 度	- 1.24	- 1.24	- 1.10	- 1.02	- 1.06	- 0.71
	- 1.29	- 1.28	- 1.24	- 0.95	- 0.98	- 0.62
尖 度	- 0.16	- 0.16	- 0.12	- 0.24	- 0.29	- 0.69
	- 0.08	- 0.11	+0.17	- 0.24	- 0.36	- 0.68



图—49 (8) —密仕立 (III等地) —

Fig.49—(8). —High stand density(site III)—

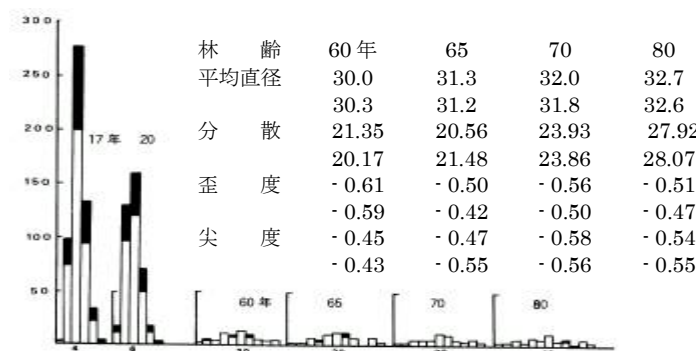
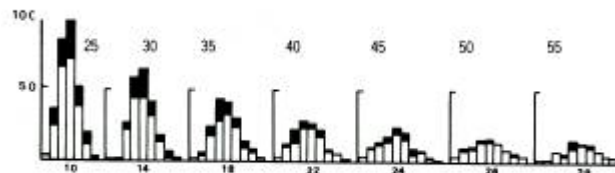
林 齡	15 年	17	20	23	26	30	35	40	45
平均直径	4.9	6.3	9.0	12.7	16.0	19.5	23.1	26.1	28.9
	4.9	6.2	9.0	12.9	16.0	19.5	23.1	26.1	28.8
分 散	2.55	3.47	5.00	6.40	7.59	8.93	10.74	13.92	16.39
	2.53	3.42	4.86	6.08	7.74	8.88	10.98	14.04	15.67
歪 度	- 1.11	- 1.14	- 1.09	- 1.18	- 1.28	- 1.25	- 1.29	- 1.26	- 1.13
	- 1.17	- 1.15	- 1.14	- 1.25	- 1.31	- 1.26	- 1.20	- 1.29	- 1.07
尖 度	- 0.50	- 0.51	- 0.50	- 0.25	0.22	- 0.00	0.25	- 0.00	0.03
	- 0.62	- 0.47	- 0.56	0.04	0.22	+0.02	0.01	0.15	- 0.13



图—49 (9) —特别密仕立 (特 I 等地) —

Fig.49—(9). —Special high stand density (site special I)—

林 齡	17 年	20	25	30	35	40	45	50	55
平均直径	5.4	6.7	10.6	14.9	18.7	22.3	24.8	27.3	28.6
	5.4	6.7	10.6	14.9	18.8	22.4	25.0	27.1	28.7
分 散	2.80	3.63	5.37	7.43	9.32	11.93	14.55	15.24	16.25
	2.84	3.59	5.46	7.87	9.77	12.00	13.16	16.03	19.44
歪 度	-0.93	-0.82	-0.97	-0.69	-0.62	-0.63	-0.63	-0.80	-0.67
	-0.95	-0.87	-0.91	-0.56	-0.67	-0.75	-0.96	-0.71	-0.70
尖 度	-0.65	-0.53	-0.38	-0.32	-0.45	-0.56	-0.40	-0.29	-0.23
	-0.66	-0.52	-0.41	-0.60	-0.34	-0.49	-0.15	-0.43	-0.34



表—49 (10) —特别密仕立 (I 等地) —

Fig.49—(10). —Special high stand density(site I)—

生長モデルによる直径推定の精度は、既に述べたように道有林トドマツ人工林収穫表と比較し妥当な値を得ている。収穫表の場合には本数管理が一通りであり、基準本数も比較的少ない。ここでは任意の本数管理に応じた予測値が得られるトドマツ密度管理図（真辺，1974）から、間伐指針表と同じ生育段階と密度における直径生長を比較してみた。中庸仕立の本数管理の場合を図-50に示した。間伐指針表は全層間伐を、密度管理図は下層間伐を前提にしているため、図上には生長モデルによる下層間伐の予測例も示した。密度管理図では間伐後、平均直径が大きくなる。間伐前の平均直径では上層高18mまでは間伐指針表の全層間伐の値が密度管理図のそれを上るが、それ以降は密度管理図の値が住回る。一方、下層間伐モデルは密度管理図とほぼ同様の動きを示すが、間伐後のみかけ上の間伐効果では密度管理図の方が大きいことが分かる。生長モデルでは直径分布を推定して選木するので、間伐方法による平均直径の動きを容易に分析できることが利点といえる。このように、間伐指針表の直径生長は、立木本数を比較的多く想定した場合でも、密度管理図の直径生長とは間伐方法の違いによる差は生じるが、下層間伐モデルによる予測結果を考慮すれば、大きな誤差はないと考えられる。各仕立方法別のある径級以上の本数構成比を表-24~26からみてみると、目標径級36cm以上の本数はI等地中庸仕立70年で100本、密仕立で90本、II等地中庸仕立80年で10本、密仕立で10本、III等地70年では中庸、密仕立ともに本である。従って、大径木本数は地位の影響を大きく受けることになる。早期にうっ閉を図るための特別密仕立区は中庸、密仕立よりも間伐回数を多く設定してある。I等地70年で36cm以上の本数は1卯木となり、間伐回数を多くすることで大径木本数を30%程度は増加させることが可能なことを示している。

白石（1986）は、生長モデルによる収穫表が従来の方で調整された法正収穫表の一般性質を備えているか否かの判定の一つに、間伐直前の立木本数 ρ と平均胸高直径 \bar{d} のあいだには、壮齡以降

$$\log \rho + \log \bar{d} = \text{const} \quad (23)$$

が成立しているかどうかを指摘している。この式はREINEKE（1933）式と呼ばれるもので、十分な密度（full density）をもつ林分の平均木直径と単位面積当たりの本数をプロットすると、林齡や地位に関係なく、同一の傾きをもった直線で表せることを示したものである。

$$\log \rho = -1.605 \log \bar{d} + ks \quad (24)$$

ksは機種によって定まる定数である。

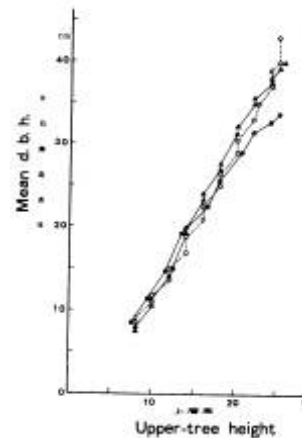


図-50 間伐指針表と密度管理図による平均直径の比較
○密度管理図 ▲下層間伐指針 ●全層間伐指針

Fig.50. Comparison of the mean diameter increment in the model thinned stand with the stand density control diagram

- Stand density control diagram
- ▲Low thinning schedule
- Mechanical schedule

図-51(1)~(4)に、立木本数と間伐前の平均直径との関係を各地位別に中庸、密仕立別に示した。これによって、生育の初期段階を除いて両者（本数と平均直径）にはほぼ直線関係が成立していることが分かる。このことも間伐指針表の値が妥当なことを示す一つの証左と考えられる。

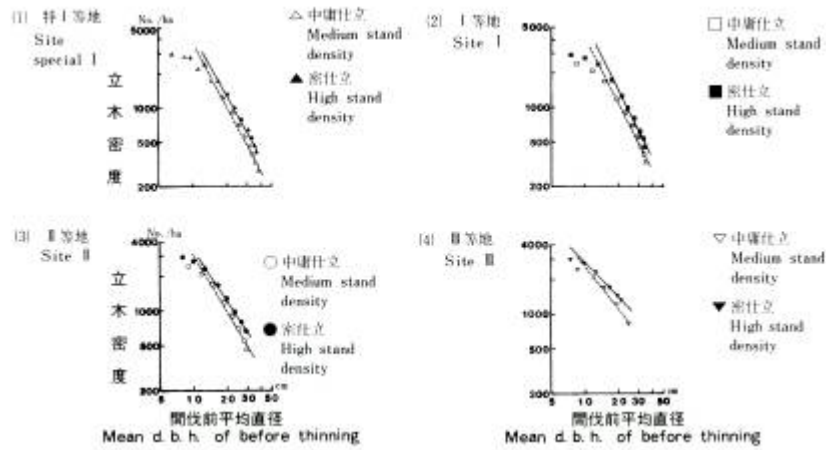


図-51 (1) ~ (4) 立木密度 (ρ) と間伐前平均直径 (\bar{d}) との関係

Fig.51-(1)-(4). Relationship between stand density (ρ) and average diameter (d) before thinning

2) 材積生長

生長モデルで予測した中庸、密、特別密仕立における林齢ごとの材積生長を図-52(1)~(3)にそれぞれ

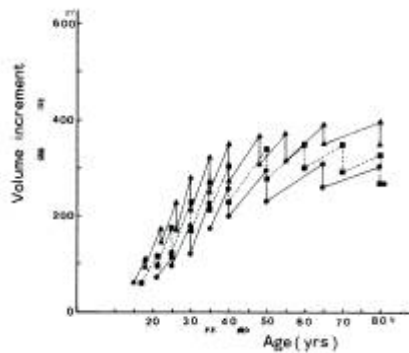


図-52 (1) 間伐指針表の材積生長
—中庸仕立林分—

▲特I等地 ■I等地 ●II等地

Fig.52-(1). Volume increment of the model thinned stand

—Medium stand density—

▲Site special I ■Site I ●Site II

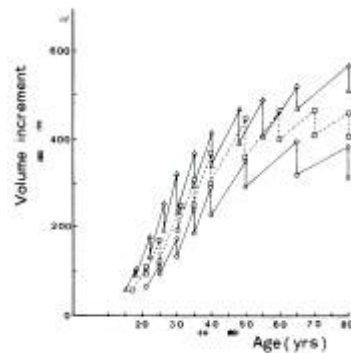


図-52 (2) 間伐指針表の材積生長
—密仕立林分—

△特I等地 □I等地 ○II等地

Fig.52-(2). Volume increment of the model thinned stand

—High stand density—

△Site special I □Site I ○Site II

示した。各仕立方法ともに地位に応じた生長を示しているが、特別密仕立以外は間伐本数が若干多いこともあり、70年以降の高齢級になると、特等地を除いて主副合計材積がそれ以前の材積に回復しない場合が生じてくる。一方、中庸仕立と密仕立を比較すると特I等地で18年、I等地21年、II等地30年、III等地で35年まではいずれも中庸仕立林分の材積が多いが、それ以降は立木本数の多い密仕立の材積が多くなる。幼齢のうちには単木材積が小さく、本数が少なくても平均直径の大きい方が材積が多くなる。それが生育段階が進んで単木材積が大きくなると、平均直径の差が小さい場合、本数の多い方が材積は多くなる。今回採用した全層間伐は間伐効果も高いと考えられ、間伐効果が最も大きい2~3回までの間伐期間で中庸仕立林分の材積が多きのは妥当な結果と考えられる。早期にうっ閉を図るための特別密仕立と密仕立を比較すると、同一林齢の26年生では特別密仕立の材積が最多となり、その傾向は伐期まで続く。また、特別密仕立区では、間伐回数を多く設定し、間伐本数を少なくしたために、I等地でも主副合計材積がそれ以前の材積を下回ることにはないが、本生長モデルでは個体識別をしているので、林齢ごとの生長量の動きをみながらの間伐設計が必要である。

本数管理による総収穫量の違いをみるために、各仕立本数別の総収穫量を示したのが図-53(1)~(2)である。特別密仕立では、特等地で26年から、I等地で35年から他の区との差が付き始め、総収穫量が常に大きい傾向を示した。密植でうっ閉を早め、間伐を多く実行することにより、総収穫量をやや増加させうることを示している。このような傾向は、地位のよい林分の方が生じやすい。

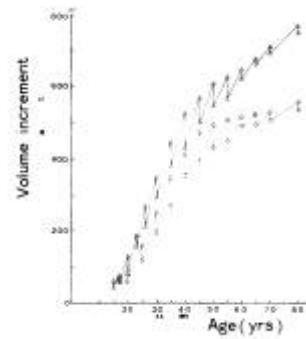


図-52 (3) 間伐指針表の材積生長
—特別密仕立林分—
△特I等地 ○I等地

Fig.52-(3).Volume increment of the model thinned stand
—Special high stand density—
△Site special I ○Site I

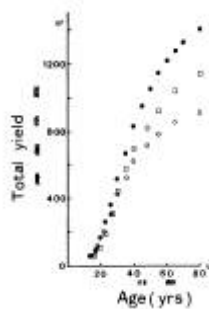


図-53 (1) 生長モデルによる各仕立方法別の総収穫量の比較—特等地—
○中庸仕立 ●特別密仕立 □密仕立

Fig.53-(1).Comparison of the total yield in the various thinned model — site special I
○Medium stand density
●Special high stand density
□High stand density

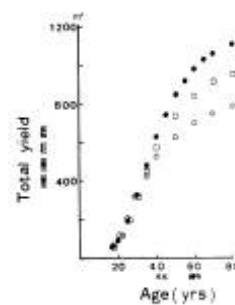


図-53 (2) 生長モデルによる各仕立方法別の総収穫量の比較—I等地—
○中庸仕立 ●特別密仕立 □密仕立

Fig.53-(2).Comparison of the total yield in the various thinned model — site I
○Medium stand density
●Special high stand density
□High stand density

立木本数が比較的多い場合の予測精度例として、直径と同様にトドマツ密度管理図（真辺，1974）をとりあげ、間伐指針表と同じ生育段階と密度における材積生長を比較してみた（図-54）。全層間伐は間伐効果が大きいので壮齢期までは密度管理図とほぼ同様の生長量を示す。しかし、間伐量が大きいために、50年生以降には期首の材積量が低下し、密度管理図を下回るようになる。図-54には下層間伐モデルも示している。下層間伐モデルでは密度管理図よりやや過大推定で推移していくが、ほぼ同じ動きを示す。ただし、最終伐期では密度管理図に対して過小推定となっている。これは、下層間伐を繰り返すと下位の直径階が消滅し、累計間伐材積が大きくなるためである。既に下層間伐を前提とした久保トドマツ間伐試験林の本数管理に生長モデルをあてはめてみた結果、推定精度がよいことを確かめている。従って、密度管理図の高齢級における間伐材積の評価方法はやや過小推定ぎみであると考えられる。

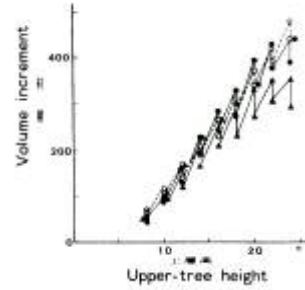


図-54 同じ生育段階における間伐指針表と密度管理図の材積生長の比較

○密度管理 ●下層間伐指針 ▲全層間伐指針

Fig.54. Comparison of the volume increment in the model thinned stand with the stand density control diagram in case of same tree number control on same grown stage

○Stand density control diagram

●Low thinning shedule

▲Mechanical schedule

第6節 小 括

林分内の個体ごとに生長曲線をあてはめ、そのパラメーター間の相互関係を利用して間伐指針表を作成した。間伐指針表はトドマツの施業実態を解析した上で、4地位階の中庸、密仕立および2地位階の特別密仕立の間伐基準を組み合わせ、10種の林分を対象にした実行例を示し、間伐指針表の予測結果をトドマツ密度管理図と比較検討した。

直径生長については、トドマツ密度管理図と比較して、間伐方法の違いによる生長差をよく表現していた。また、密度効果についても、間伐直前の立木本数 ρ と平均胸高直径 d の間には両対数軸上で直線関係となる巾乗式が成立することが確かめられた。一方、本数管理の異なる中庸、密仕立では、密度管理図と比較しても立木密度に対応した予測値が得られた。材積生長については、生育段階の若いうちは中庸仕立林分の方が多いが、高齢級になると密仕立林分の材積が多くなることを示した。うっ閉を早めるために植栽本数を多くした特別密仕立区では、間伐回数を多くすることにより、地位のよい林分ほど総収穫量がやや増加した。

第7章 間伐の体系化に関する総括的考察

本章では、間伐を取獲の手段とし、有利な間伐方法を探るために生長モデルによる予測結果について検討し、トドマツの間伐の体系化について考察する。

間伐を取獲の手段とすれば、経営方針に基づいて様々な間伐方法が考えられる。実際、初回間伐から収穫量を確保するための上層間伐が実行される事例も増加してきている。しかし、林業における間伐は、短期間に収穫が終わる農業における間引きとは異なり、長期間にわたって数回の間伐収穫を経た後に主

伐収穫があるという特色があり、間伐後の林分生長に影響を与える。従って、間伐方法によりその後の林分生長がどのように変化するかを見極める必要がある。施業指針としての収穫表や密度管理図は既に作成されているが、多くは間伐方法が一通りであり、各種の間伐方法を比較して、それらが林分の推移にどのような影響を与えるかについては明らかにされていない。

この研究では、各種の間伐方法別の生長予測に対応できるように生長モデルを作成して、個体別の生長予測を可能にした。経営方針に基づく間伐方法を検討する場合に、最も基本的な要因として直径の大きさがあげられる。収穫量を検討する場合も、どれくらいの径級が何本あるかの情報が重要である。早期に間伐収入をあげるための間伐や伐期近くの択伐の間伐においても、すべて直径の要因のウェイトが最も大きい。従ってこの研究においても直径の大きさに基づく選木方法を想定した。

従来のトドマツ林施業における収穫予想表や密度管理図は、間伐本数のみを間伐基準として示す、いわば定量間伐の見方のままであった。これでは各種の経営方針に対応できず、また、間伐技術の向上にも結びつかない。本州のスギ、ヒノキ林業には樹型級区分に基づく定性間伐が行われてきた背景があるが、造林の歴史が浅いトドマツでは定性的な見方がないまま、拡大造林以降、間伐本数のみを問題とした定量間伐が行われるようになった。しかし、拡大造林の反省後、小面積皆伐や非皆伐施業に対してはそれぞれに対応した選木すなわち定性間伐の見方も積極的に取り入れるべき時期にきているといえよう。

寺崎式樹型級区分の基本的な考え方は、まず優勢木と劣勢木とを区分し、優勢木は1級木と2級木に、劣勢木は3,4級木に、枯死木は5級木に区分するものである。優勢木か劣勢木かの区分は梢頭部が上層林冠に位置するか、下層に位置するかで決められる。相対生長の理論からも、一般に直径の大きい個体は樹高も高い。実際の林分で樹型級区分を実行してみると、1級木と3級木以下とは直径の大きさの点で非常によく対応していた。本数が最も多い2級木はかなり広い直径階に分布している。これらの事実から、優勢木(1級木)から選木する方法、すなわち直径の大きい個体から選木する場合を上層間伐、劣勢木(3,4級木)から選木する方法、すなわち直径の小さい個体から選木する場合を下層間伐、本数が最も多い2級木を中心に広い直径階から選木する方法、すなわち大多数の直径階から選木する場合を全層間伐として定義したのである。各林齢階ともに、同じ選木基準とした。従って、各林齢ごとに直径の大きさにより14級木に分類されるとした。上層間伐はD種、下層間伐はA種、全層間伐はB種間伐に対応すると考えることができる。

このように、直径の大きさを基準に定性的な見方を導入し、各間伐方法別に生長予測を実行した。各間伐方法別の比較に際しては、選木方法の違いによる差をはっきりさせるために、直径の大きさ以外の要因、例えば、被害木の発生をランダムで予想するなどを想定しなかった。また、同じ地位、同じ本数管理による生長量の比較を行った。本数管理を同じにしたことは、定量間伐の考え方を導入したことによる。従って、この間伐方法別の分析は定性間伐に定量間伐を包含している。

各種間伐方法別の総収穫量を検討したところ、60年生までは全層間伐の総収穫量が多かった。全層間伐では、上層林冠を開放し、林分を構成している個体のうちで本数が最も多い2級木が中心に選木される。従って、個体間の競争も緩和される度合いが大きい。また、間伐後に大小様々な個体が残置され、木材需要にも弾力的に対応できるとともに生態的に安定している。大径木本数の比較においても、生長が旺盛な時期ほど間伐効果が大きく、30年生までは有利な間伐となっている。

これに対し、上層間伐も土層林冠を開放し間伐効果が大きいのが、優勢木から順次選木していくために、高齢級になるに従い林分生長量が低下していく。同時に、大径木本数の生産も高齢級になると急激に減少する。従って、生育段階の早いうちに特定の収穫を必要とする場合にのみ有効と考えられる。

一方、下層間伐は優勢木を残しているにもかかわらず、間伐効果が小さいために総収穫量が全層間伐

を上回るのは70年生になってからである。大径木本数の比較では、優勢木を残しているために35年以降には大径木が最多となる。下層間伐では、間伐効果が小さいために間伐収穫は期待できないが、残存している優勢木を十分太くする時間があれば主伐期における大径材の生産本数は多い。

無間伐区では、生長の旺盛な時期には立木本数が多くても、全層間伐区よりも総収穫量が少ない。総収穫量が全層間伐区のそれに近づくのは50年になってからである。総収穫量がほぼ等しい値を示しても、無間伐区と間伐区とでは林分構造が大きく異なる。例えば60年時における28cm以上の大径木のha当たり本数は、無間伐区の100本に対して全層間伐区では330本となる。このように、無間伐のまま推移させると、総収穫量は見込めても直径の細い劣勢木が多くなる。

以上、間伐方法別に林分の推移を検討し、総収穫量や、壮齢期における間伐効果の大きさなどから、全層間伐の有利性を示した。そして、トドマツの間伐方法として全層間伐、すなわち林分を構成している個体の中で最も本数が多い2級木を中心とし、しかも大多数の直径階にわたるように選木する方法を基に、トドマツ人工林間伐の体系化を図った。

間伐体系はトドマツ人工林の実態調査を基に地位別、仕立本数別に示した。その体系化に用いた各因子について検討を加える。

1 地位

間伐を取獲の手段として規定した場合に、最も影響を及ぼすのが地位である。例えば、地位指数曲線により林齢に対応した樹高生長を予測してみると、80年時の上層高はI等地で25mに達するが、III等地ではわずか16mにしか達せず、間伐の時期、間伐回数等は樹高生長により大きく影響を受ける。一方、表-21に示した間伐指針表から、林齢70年のI等地とIII等地における総収穫量を調べてみると、III等地ではI等地の62%にしかならない。このように、地位が間伐体系におよぼす影響は大きく、トドマツ適地の判定は極めて重要である。

2 本数管理と間伐回数

トドマツは樹種特性からも植栽密度を高め、早期にうっ閉を図る必要がある。生長モデルで予測した結果では、特別密仕立区の本数管理のように、弱度の間伐を繰り返して実行する方が総収穫量をやや増大させることができた。間伐材の価格が低迷しているため、現状では間伐回数を減らさざるを得ない状況にあるが、トドマツ林分の取り扱い上、間伐回数を多くすることが生長量増加の観点からは重要である。一方、中庸、密、特別密仕立と本数管理する場合、生育段階が40年までは間伐効果の影響を受けて立木本数の少ない区ほど、大径木生産が促進されるが、それ以上経過すると立木本数の多い区の方が大径木が多くなる。I等地60年の間伐前の立木本数は中庸仕立でha当たり450本、密仕立で640本、特別密仕立で710本であり、この程度の差であれば長伐期になるほど、立木本数が多い区の大径材本数が多くなる。しかし、既に述べたように無間伐区では大径材の生産は大幅に減少し、形質も不良になる。

以上みてきたように、間伐の体系化に用いた地位、本数管理、間伐回数の各因子を総括して考察すると、地位が高い林分では間伐回数を多くすることで総収穫量をやや増大できる。すなわち、I等地の場合、80年伐期までに上層高が2m増すごとに9回間伐を実行する密仕立に比較して、12回間伐を実行する特別密仕立では、総収穫量を約15%増加しうるのである。したがって、地位がI等地以上を対象とした理想的な間伐としては、初回間伐を10~20年の間に1回行い、それ以降70年前後までは5~6年間隔で間伐を実行するように体系化を図ることが望ましい。

今回の検討では、1級木を主体に選木する、2級木を主体に各直径階にわたるように選木する、そし

て3,4級木を主体に選木するという定性的な見方を導入した場合の各間伐方法の得失を比較検討した。比較の便から、選木の方針は初回間伐から最終間伐まで同じとしたが、経営方針により選木基準は自由に変わってよいはずである。すなわち、生長の旺盛な時期は、間伐効果の大きい全層間伐を行い、その後は優勢木を積極的に残して伐期時に収穫を行うなどである。このように、経営目的に応じて様々な選木方針を生育段階ごとに組み合わせた弾力的な間伐指針表を示すことが今後の課題である。

第8章 結 言

トドマツ人工林の大多数は昭和30年代以降に植栽されたVI齢級以下で占められており、今後要間伐林分が急激に増加する情勢である。

本研究では有利な間伐方法を検討するために、まず間伐方法別の生長量を記述できる生長モデルを作成した。この生長モデルはトドマツ人工林の各生長要素に最も適合するリチャード生長曲線式を用い、林分内の個体の動向を明らかにするため、生長曲線のパラメーターを各個体に割り当て、個体ごとに直径生長量を推定するものである。本生長モデルを過去の本数管理が記録されている久保トドマツ間伐試験林と同一の本数管理を行って予測してみると、ほぼ妥当性のある予測値が得られた。そこで、この生長モデルを用いて各種間伐方法別の生長量を予測した。各種間伐方法における選木方法は定性的な見方を考慮し、優勢木(1級木)から選木する、劣勢木(3,4級木)から選木する、2級木を主体に大部分の直径階から選木する方法を採用した。これらの間伐方法を上層、下層、全層間伐と定義した。各間伐方法別の間伐効果は実際のトドマツ間伐試験林の強度上層間伐区、下層間伐区、無間伐区を対象に密度効果式をあてはめて最適のパラメーターを求めた。そうしてI等地中庸仕立を対象に無間伐も含めて各間伐方法別の直径、材積生長の比較を行った。

その結果、全層間伐が60年までの総収穫最も多く、また、定性的な見方を導入しても標準的な伐期範囲内では有利なことが分かった。全層間伐では、無間伐区と比較しても50年までは総収穫量がやや多く、また、大径木生産も無間伐区に比較して多いなど、間伐の有利性を示している。これらは久保トドマツ間伐試験林と同じ傾向を示し、生長モデルの妥当性を裏付けていると考える。

以上により、定性と定量の統一された全層間伐の有利性が示されたことから、トドマツ人工林間伐の体系化の例として地位別、仕立本数別に全層間伐による間伐指針表を示した。生長モデルによる予測値と本数密度を同じにした密度管理図上の数値と比較したところ、間伐方法の違いによる生長差が認められ、妥当性のある結果となった。仕立本数別の材積生長では、若齢級のうちは中庸仕立林分の方が有利である。しかし、高齢級になると密仕立林分の材積が多くなる。一方、総収穫量の比較では、うっ閉を早めるために植栽本数を多くした特別密仕立区は間伐回数を多くすることにより、地位のよい林分ほど、総収穫量をやや増大させることができる。

これまでの分析に基づき、トドマツ人工林の間伐のあり方と課題を述べると以下のとおりである。間伐方法では、土層林冠を開放し、しかも各直径階から選木する全層間伐法が通常の間伐範囲内では有利である。さらに植栽本数を多くし、間伐回数を多く設定する方が有利である。しかし、トドマツ間伐材の価格が低迷している現状では、間伐回数も少なく設定せざるを得ない。このような場合、材積生長だけでなく高価値打生産の面から、枝打を併用した間伐技術の確立を検討することが今後の課題である。さらに、今回の選木は直径の大きさを基準に選木したが、通常の施業林分では立木本数が最も多い2級木の具体的な選木方法を明らかにするために、2級木の生長傾向をモデル化する必要がある。

摘 要

1：本研究はトドマツ人工林を対象に生長モデルにより各種間伐方法の生長量の動向を分析したものである。トドマツ人工林のかかえる問題点として、昭和 30 年代の林増計画以降に造林されたVI齢級以下の要間伐林分が多いことがあげられる。これに対する具体的な間伐方法を提示して間伐問題の解決を目指した。

2：トドマツ人工林施業の沿革を調べ、それぞれの時代の特徴や間伐方法を考慮し、第 1 期として大正末期から昭和 10 年代末までの技術の定着時代、第 2 期を終戦後から昭和 45 年末までの質より量の時代に対応した定量間伐による大面積一斉皆伐時代、そして第 3 期を昭和 46 年以降の更新方法を考慮し定量間伐を反省した大面積非皆伐施業時代と新しく 3 区分した。それぞれの区分ごとに、収穫表作成の沿革を述べた。

1) 第 1 期の施業

この時期はそれ以前の数々の天然更新補助作業を通して観察されてきたトドマツの樹種特性が基に養苗技術が確立した時代である。天然林の資料からトドマツ収穫表が初めて作成された。一方、トドマツの育苗から間伐までの撫育方法が体系化されたが、人工林の成績を基にした収穫表の作成までには至らなかった。昭和初期の一時期に植栽された林分の現存率が高く、これを支えた技術の解明が報告されている。

2) 第 2 期の施業

この期の特色は終戦後の復興を経過した後、道有林では昭和 32 年から、国有林では 33 年から林増計画が実施されたことである。この計画に基づいて実行された大面積の潔癖皆伐跡地に植栽された林分には様々な気象害、病虫害が発生するようになる。この時期に人工林の資料を用いた収穫表がやっと作成されたが、まだ十分に活用される段階に至らなかった。

3) 第 3 期の施業

大々的に実行されていた拡大造林は、実施 5 年目には見直しが必要との観点からのシンポジウムが行われた。トドマツは気象害に弱いことから、側方林分や上木による保護効果の必要性が指摘された。気象害だけでなく、昭和 45 年にトドマツ枝枯病が発見され、その後、猛威を振るうようになる。枝枯病に対しても、上木や混交林の効果が確かめられ、単純林の見直しが図られた。さらに、収穫を保続するためにも非皆伐施業が実行されるようになり、ようやく主伐期に達した高齢林分に対して慎重に更新方法が検討されだした。人工林の資料で作成された収穫表や密度管理図が広く使われるようになった。しかし、これらは選木方法との関連が不十分である。例えば、密度管理図は本数管理に重点をおく定量間伐方法であり、選木も下層間伐のみを前提としているので、間伐効果の点や径級別の予測ができない等の点で限界がある。

3：各種の間伐方法別の生長予測を実行するために林分生長モデルを作成した。生長モデルは個体ごとに生長を予測する方法を採用したが、隣接木との競争要因を基にモデルを作成する方法ではなく、生長曲線の一つのパラメーターを個体に割り当てて、パラメーター間の相互作用を利用して、個体の大きさを予測する方法を開発した。

1) リチャード式の適合度

トドマツ人工林から得られた樹幹解析木の樹高、間伐試験林の胸高直径、胸高断面積、材積にリチャード式を適合させて、平均誤差率を求めたところ、他の生長曲線式（ゴンペルツ、ミッチャリッヒ）よりも推定精度がよいことが確かめられた。

2) 林分内個体における生長曲線のパラメーターの変異

久保トドマツ間伐試験林の無間伐区 160 本，間伐区 74 本を対象にリチャード式を適合させてパラメーターの分布を調べた。その結果，生長速度に密接な働きを示すパラメーター k はいずれの区でも正規分布型を示していると考えられた。

3) パラメーター間の相互関係

直径生長にリチャード式を適合させて個体別にパラメーター A, k, m を求め，それらの関係を調べた。その結果， A と k の間には k の値が増加するに従い， A は指数的に減少していく。また， m の値は k の増加に伴い直線的に増加していくことが分かり，両者の回帰式を求めた。

4) パラメーター間の相互関係を利用した直径分布の推定

k の分布を正規分布と仮定し，個々の k は林分の平均値 E ，偏差 σ による正規乱数で割り当てた。他のパラメーターは k との回帰式により推定した。

5) パラメーター k に及ぼす立木密度の影響

k の平均値 E は林分の地位に応じて固有な値としたが，地位が同一でも立木密度が異なればその影響を受ける。その影響度は A と k との関係式の勾配 β が立木密度 ρ の影響を受けるとした。

4：林分生長モデルの適合性を調べるために，過去 35 年間の本数管理が記録されている久保トドマツ間伐試験林の無間伐区，2 回間伐区を対象にモデル上で同じ本数管理を行って，胸高直径，材積を推定してみた。その結果，よく適合することが確かめられた。さらに，道有林トドマツ人工林収穫予想表は現実林分の調査結果を基に，全層間伐方法を前提に作成されている。そこで収穫表と同じ本数管理をモデル上で行い，その適合度を調べてみると現実林分と同様によく適合し，生長モデルの妥当性を得ることができた。

5：生長モデルを用いて間伐方法別の林分生長量を分析した。各間伐方法における選木は，寺崎式樹型級区分のうち優勢木（1 級木）から選木，劣勢木（3，4 級木）から選木，2 級木を主体に大部分の直径階から選木する各方法を採用し，それぞれの間伐方法を上層，下層，全層と定義した。生長モデル上では生長速度に関係の深い k に注目し， k の小さい順，大きい順， k が一様分布するように選木する場合の方法を示し，I 等地中庸仕立を対象に無間伐区も含めて各間伐方法の直径，材積生長の比較を行った。間伐方法別の間伐効果は上層林冠を開放する上層，全層間伐が大きく，それら比較して下層間伐は小さいと考えられた。その度合を実際のトドマツ間伐試験の強度上層区，下層区，無間伐区を対象に密度効果式をあてはめて最適のパラメーターを求めた。そのパラメーターを用いて予測した結果，全層間伐が 60 年までの総収穫量も多く，有利な間伐方法であることが確かめられた。一方，無間伐林分と比較しても 50 年までは総収穫量が多く，間伐実行の有利性を説明できた。

6：林分生長モデルを用いて要間伐林分を対象に具体的な間伐指針表を作成した。

1) 地位指数曲線の作成

リチャード式を用いて地位指数曲線群を作成した。地位指数曲線は従来のガイドカーブの形状を変えない作成方法ではなく，最終到達量 A と連年生長量が最大となる年齢 TI とから作成した。実態調査から，道内トドマツの地位を 4 区分した。地位区分はトドマツが理想的な生長を示す最上位の特 I 等地，平均値より上位の I 等地，平均値の II 等地，そして平均値以下の III 等地である。地位別の最終到達高は特 I 等地，I，II，III 等地の順に 32，28，22，16m となり，基準林齢 30 年の時の地位指数は特 I 等地から順に 15.8m，14.2m，12.4m，10.3m となる。

2) 樹高分布の推定

直径分布から樹高分布を推定するために， ha 当たり 250 本（イギリスにおけるエーカー当たり 100 本に相当）の上層木の平均直径，林分の平均直径，上位から 80% に相当する下層木の平均直径に対し，上

層高，上層高から推定した平均樹高そして下層木の平均樹高(上層木の樹高と平均樹高との差の分，平均樹高より下回ると仮定)の 3 組の樹高と直径の組み合わせを最小自乗法を用いて樹高曲線のパラメータを上層高階別に求めた。

3) 本数管理

実態調査によれば，民有林，道有林ともに本数管理に一定の傾向が認められず，各生育段階には様々な立木密度が存在する。従ってトドマツ密度管理図を基に，間伐後の収量比数を 0.6 前後に保たせた中庸仕立，0.7 前後に保たせた密仕立，並びにうっ閉を早めるために植栽本数を多くし，間伐回数も多くした特別密仕立ての 3 通りとした。

4) 予測方法と選木方法

林分の地位に応じた E は特 I 等地で 0.05，I 等地で 0.056，II 等地で 0.063，III 等地で 0.068 となった。これらを平均値としてコンピューター内で，正規乱数を発生させて個々の k とした。全層間伐の場合は，間伐木本数を指定すると立木番号に対応した一様乱数を本数分発生させて，その立木番号に対応する個体を間伐木とした。

7: 間伐指針は間伐方法別の予測結果から最も有利な全層間伐を前提に作成した。選木結果をみると，各直径階から選木されており全層間伐とみなすことができ，トドマツ密度管理図と比較して，全層と下層間伐の違いが表れている。下層間伐モデルと密度管理図との比較では，密度管理図よりやや過大推定となるがほぼ同じ傾向を示す。また，密度効果についても，間伐直前の立木本数 ρ と平均胸高直径 d との間には両対数軸上で直線関係となる巾乗式が成立することが確かめられた。材積生長については，はじめのうち中庸仕立林分の方が大きい，高齢級になると密仕立林分の材積が多くなる。一方，総収獲量の比数ではうっ閉を早めるために植栽本数を多くした特別密仕立区は，間伐回数を多くすることで地位のよい林分ほど総収獲量を増大させることができた。

8: 過去 35 年間にわたって継続して調査されてきた久保トドマツ間伐試験林の資料を整理し，林分生長量を取りまとめた。無間伐区と 2 回間伐区を対象に，試験区と同じ本数管理を生長モデルで再現し，それぞれ生育段階ごとに予測したところ，十分な精度を得ることができた。このことから，本生長モデルの妥当性を得ることができた。また，無間伐区と間伐区の総収獲量の比較でも，生長モデルと試験区との間に共通した結果が得られた。

9: 総収獲量や生育段階ごとの大径木本数を比較して，有利と考えられた全層間伐法を基に，トドマツ人工間伐の体系化を試みた。体系は地位別，仕立本数別に間伐指針表として示した。仕立本数別の比較では，高齢級になるほど，中庸仕立程度の密度では立木本数の多い方が林分生長量，大径木生産に有利となる。

10: 各間伐方法を比較した結果，生長量や大径木生産で有利な間伐方法は全層間伐である。全層間伐は平均直径付近，すなわち 2 級木から最も多く選木されるので，2 級木の定性的要因別の生長傾向をモデル化する必要がある。間伐指針表における仕立本数別の分析では間伐回数の多い方が有利な結果となったが，間伐材の価格が低迷しているので材積生長だけでなく，枝打を併用した間伐技術を定着させることが今後の課題である。

文 献

- 安部信行・1976a トドマツ人工林の施業法に関する研究（Ⅰ）疎開木の相対生長.北林試報 14: 27~36
- ・1976b トドマツ人工林の資源状況とその問題点.北方林業 28 (5) : 123~126
- ・1978 道有林におけるトドマツ高齢人工林の施業に関する実態調査, 北方林業 30 (9) : 267~271
- ・佐々木信悦・1979 道有林に於けるトドマツ人工林の第1回目の間伐に関する実態調査.道林研論 53年度 : 44~47
- ・1980a トドマツ人工林の施業法に関する研究(Ⅱ)道有林におけるトドマツ人工林の収穫予想表の作成.北林試報 18 : 71~93
- ・1980b トドマツ高齢人工林の帯状更新.日林北支講 29 : 21~23
- ・1981a トドマツ人工林の地帯別生長実態.光珠内季報 47 : 19~25
- ・1981b トドマツ人工林の施業法に関する研究（Ⅲ）—53年生林分の現存量—.北林試報 19 : 115~128
- ・1982 久保トドマツ間伐林における間伐効果の比較. 光珠内季報 52 : 8~13
- ・菊沢喜八朗・1983a 間伐効果に関する定量的研究（Ⅱ）ベータ型Y-N曲線による間伐試験林分の解析.日林誌 65 (6) : 207~214
- ・1983b トドマツ人工林の施業法に関する研究（Ⅳ）—久保トドマツ間伐試験林の成長解析—.北林試報 21 : 9~28
- ・浅井達弘・新村義昭・1983c トドマツ枝枯病被害林分の取り扱い方法の検討（Ⅰ）被害木の発生とその後の推移.日林北支講 32 : 97~100
- 安藤 貴・1968・同齡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
- 青柳正英・妹尾建三・1984 道有林におけるトドマツ枝枯病の現状とその対策.北方林業 36 : 133~138
- 麻生 誠・1943 アカマツ林取り扱いに就て.赤松林施業法研究論文集 日本林学会 301~325
- BERTALANFFY, L.V. : 1968 General system theory. George Braziller, New York (長野 敬 ・ 太田邦昌訳 : 一般システム理論, みすず書房, 東京, 1973)
- 地方林課造林係・1932 人工植栽にかかるトドマツの成長について.北林会報 30 : (10) 505~516 (11) 553~564
- 道有林管理室・1980 更新事業並びに路網整備計画のすすめ方.4p
- 林 常夫・1954 北海林話.北海道興林株式会社
- 北海道林木育種場・1982 精英樹の樹幹解析.101p
- 北海道林務部・1970 道有林におけるトドマツ, スギ人工林収穫予想表.34p
- ・1974 林業経営試験 道有林における実践例 第Ⅱ報.330p
- ・1979 林業経営試験 道有林における実践例 第Ⅲ報.436p
- ・1982 久保トドマツ人工林間伐試験地の資料整理に関する報告書.経営試験業務資料 No.36 112p
- ・1984 林業経営試験 道有林における実践例. 第Ⅳ報 456p
- ・1986a 昭和60年度造林事業実績.259p
- ・1986b 北海道林業統計 時系列版.185p
- 猪瀬光雄・1982 単木間の競争関係にもとづくトドマツの成長モデル（Ⅰ）樹冠の発達と材積成長量. 林試研報 318 : 103~127

- 井上由扶・1938 小樽内川事業区トドマツ林収穫表調製について.御料林 120
- 石原供三・高橋健三・1937 トドマツ幼苗の斜植について.北林試集報 9
- ITO,T.and OSUMI ,S.:1984 An analysis of the basal area grown in even-aged pure stands based on the RICHARDS growth function.J.Jap. For. Soc. 66:99-108
- ・————— : 1985・Growth models for total and average basal area in even-aged pure stands based on the RICHARDS growth function(I)Derivation of the models.J.Jap. For.Soc.67 : 434-441
- 伊藤達夫・1985 SSFITR/86 Version 1.0 for MS-DOS RICHARDS 生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
- 岩水 豊・1970 吉野林業の育林技術の成立と展開.林試研報 231 : 99~170
- 柿原道喜・木梨謙吉・1982 人工林の直径分布について (VIII) —直径階別本数間伐率とワイブルのパラメーターCの関係—. 93 回日林論 121~122
- 菊沢喜八郎・1981 間伐効果に関する定量的研究 (I) 収量—密度図を用いた分析.日林誌 63 : 51~59
- KIKUZAWA,K : 1981 Yield-density diagram for tobo-fir plantations(I) A new Y-N curve based on the Beta-type distribution.J.Jap For.Soc.63:442-450
- 小林正吾・1978 カラマツ人工林の林分生長モデルに関する研究.北林試報 : 15 別刊 1~164
- 木幡靖夫・近藤和男・清和研二・1982 トドマツ高齢人工林の生長 —道有林函館経営区での調査事例—.日林北支講 31 : 14~16
- 小出房吉・中島広吉・1921 北海道野幌地方トドマツ林収穫表 北大演報 1 (8)
- 金野真邦・1971 北見林務署トドマツ人工林の間伐 間伐の実際 : 135~148 北方林業叢書 49
- 小関隆祺・1962 北海道林業の発展過程.北大演報 : 22 (1) 25~94
- 真辺 昭・1974 トドマツ密度管理図.北方林業叢書 53 69 p
- ・1982 トドマツ人工林の収穫量と収益の予測システムに関する研究.林試研報 317 : 1~65
- 馬淵冬樹・山根玄一・1966 久保のトドマツ人工林間伐試験地の測定資料について.15 回林務部研究発表 29~32
- 松井善喜・1962 トドマツ人工林の構造と成長について.農林省林試北海道支場年報 37~45
- ・1965 北海道における造林の事業と推移 北海道の森林の取扱いに関する研究 I .林試研報 175 : 1~143
- 松井弘之・平川 清・松浦一衛・1984 トドマツ人工林の施業方法—主伐について—.道林研論 58 年度 : 70~72
- 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整.収穫表調整業務研究資料 12 : 201p
- 箕輪光博・1982 林木の生長に関する理論的考察 (I) Log-MITSCHERLICH 式の理論. 日林誌 64 : 461~467
- ・1983a 林木の生長に関する理論的考察 (II) 自己間引きモデルの検討. 日林誌 65 : 135~142
- ・1983b 林木の生長に関する理論的考察 (III) 三次元 Log-MITSCHERLICH 式系. 日林誌 65 : 417~426
- MITCHELL,K.J. : 1969 Simulation of growth of even-aged stands of white spruce. Yale Univ.

Sch. For. Bull. 75, 48p

MUNRO, D.D. : 1973 Forest growth models-a prognosis. Report I.U.F.R.O. Joint meeting of S4.01 and S6.02 Vancouver. B.C., Canada. 15p

中西信行・1971 雄武林務署管内トドマツ人工林（峠造林地）の間伐：間伐の実際：105~128 北方林業叢書 49

内藤健司・白石則彦 1983a RICHARDS function の分類と林分生長曲線への応用（Ⅰ）増加型関数について. 日林誌 65 : 248~252

—————・—————1983b RICHARDS function の分類と林分生長曲線への応用（Ⅱ）減少型関数について. 日林誌 65 : 294~298

—————・1983 RICHARDS function に基づいた林分生長解析（Ⅰ）w-n trajectory. 日林誌 65 : 399~407

—————・1984 RICHARDS function に基づいた林分生長解析（Ⅱ）最多密度曲線. 日林誌 66 : 10~16

南雲秀次郎・白石則彦・田中万里子 1981 スギ林収穫表調製法のシステム化に関する研究—東京大学千葉演習林スギ林を対象として—. 東大演報 71 : 269~330

中島広吉 1943 北海道立木幹材積表 興林会北海道支部叢書 1 : 46p

生井郁郎・1973 育林技術の展開. 北海道林業技術発達史論 163~229 北大図書刊行会

NEWNHAM, R.M. : 1964 The development of a stand model for Douglas-fir. Ph. D. Thesis. Univ. British Columbia, Vancouver. 201p

日本林学会北海道支部・1957 シンポジウム「北海道の林力増強計画と林産利用」日林北支講 6 : 67~80

—————・1963 シンポジウム要旨「北海道の拡大造林の反省と天然林のとりあつかいについて」. 日林北支講 12 別冊 : 33~77

新島善直・1915 トドマツの人工林に関する研究. 北林会報 13 (8) 1~26

西沢正久・1976 林分シミュレーションに対する生長モデルの研究(Ⅲ) ワイブルのパラメータの推定による直径確立分布の予測. 87 回日林論 87~88

—————・木梨謙吉・長 正道 1976 林分シミュレーションに対する生長モデルの研究（Ⅱ）—ワイブル分布のあてはめについて—. 日林九支論 29 : 47~48

野田敏彦・1971 函館営林局管内トドマツ人工林の間伐例：間伐の実際：1~22 北方林業叢書 49 織

田昭男・松井弘之・1981 トドマツ人工林の上層間伐について. 道林研論 56 年度 48~50

大橋英一・1949 大子営林署に於ける間伐の実証的検討. 東京林友 (2 巻, 2 号) 1~11

大金永治・1968 北海道林業における経営展開の構造—北海道林業の諸問題—. 117~153 日本林業調査会

—————・1970 林業経営論 299p 日本林業調査階

—————・1973 林業における経営方式の展開と技術. 北海道林業技術発達史論 : 13~102 北大図書刊行会

—————・1982 吉野地方における森林施業の経営的考察. 93 回日林論 : 75~76

—————・菱沼勇之助・駒木貴彰・1982 吉野地方における間伐の経営的考察. 93 回日林論 : 77~78

長内 力・1968 間伐の手引き 北方林業 20 (8) : 1~6

大隈真一・1976 RICHARDS 生長関数とその林木生長への応用. 87 回日林論 111~112

—————・石川善朗・1983 林木の生長解析に対する RICHARDS 生長関数の適用性について. 京府大学

報・農学, 35 : 49~76

———・1985 リチャーズ生長関数による, 人工同齡林の生長法則に対する解析的研究.昭和 59 年度科学研究補助金一般研究 (B) 研究成果報告書 112p

PIENAAR, L.V. and TURNBULL, K.J. : 1973 The CHAPMAN-RICHARDS generalization of von BERTALANFFY'S growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. For. Sci. 19 : 2-22

REINEKE, L.H. : 1933 Perfecting a stand-density index for even-aged forests. Jour. Agric. Res., 46 : 627-638

RICHARDS, F.J. : 1959 A flexible growth function for empirical use. J. Exp. Bot 10 : 290-300

林業試験場北海道支場・北海道営林局・1984 森林の構造と生長の関係解析に関する研究—北海道における収穫試験の 20 年の経過—. 収穫試験報告 18 号 384p

坂口勝美・1961 間伐の本質に関する研究. 林試験報 : 131 1~95

清和研二・1982 トドマツ人工林における大きな個体の分布様式について. 日林北支講 31 : 12~13

篠原久夫・1973 収穫試験の成績からみたトドマツ人工林の生長. 北方林業 25 (10) : 262~265

白石則彦・1986 同齡単純木の生長予測に関する研究. 東大演報 75 : 199~256

鈴木太七・1979 森林経理学 朝倉書房 197p

只木良也・1963 競争密度効果を基にした幹材積収穫予測. 林試研報 154 : 1~19

———・1976 森林の現存量—とくにわが国の森林の葉量について—. 日林誌 58 (11) : 416~423

高田和彦・1961 受光量に基づく成長過程の擬態分析. 13 回 日林関東支部講演集

TAKATA, K. : 1979 On the relation of the diameter growth of a single tree to the arrangement of its neighbour trees in the Fichte stand of West Germany. Bull. Niigata Univ. For. 12 1-17

田中和博・1983 生長曲線へのあてはめ (測受学実習プログラム No.4). J.O.F.P.C-For.vol 1(4) : 7~14

田中 潔・1984 北海道におけるトドマツ枝枯病の最近の被害状況. 森林防疫 33 : 78~83

谷口信一・大金永治・1975 雄武林務署管内峠造林地の経営に関する調査報告 44p

寺崎 渡・1928 実験間伐法要綱 大日本山林会 239p

梅井敏則・1981 トドマツ人工林間伐試験. 道林研論 55 年度 : 34~35

脇元裕嗣・1969a 北海道の天然林施業 前編 北方林業叢書 42 150p

———・1969b 北海道の天然林施業 後編 北方林業叢書 44 149p

早稲田 収・1981a 間伐について. 森林施業 3 (6) 1~4

———・1981b 優勢木を伐る—材質管理を主眼とした間伐事例—. 林業技術 464 : 10~14

渡辺啓吾・1971 トドマツの間伐は上層で. 林 230 : 59~61

渡辺定元・1971 機械化による新間伐の作業体系 : 間伐の実際 : 北方林業叢書 49 45~79

WEINER, J. : Neighbourhood interference amongst *Pinus rigida* individuals. J. Ecol. 72 : 183-195 1984

山本博一・佐々木和男・大村和也・1986 樹種と本数密度の異なる間伐試験地における間伐効果の比較. 97 回日林論 711~714

山根玄一・1966 トドマツ間伐試験地の 15 年の推移. 北方林業 18 (8) : 228~231

- 山根玄一・1983 立地条件からみたトドマツ人工林の生長の地域性.光珠内季報 55 : 1~6
- 山内俊枝・1940 エゾマツ・トドマツの実用造林学. 林野会 271p
- 横田俊一・1970 トドマツ新病害ミクロペラ枝枯苗 (仮称) の発生について. 森林防疫 19 : 300~302

Summary

The thinning operation is one of the most important treatments in the growth process of an planted forest. Therefore, the best choice of a thinning method for the quality and the quantity of total yield is necessary in the management of an *Abies sachalinensis* planted forest. The purpose of this paper is to analyze the thinning effect on different thinning methods and to establish a thinning schedule based on the stand growth model for *Abies sachalinensis*. The stand growth model reported here is constructed by RICHARDS growth function on the diameter growth of individual trees in the stand. RICHARDS growth function is given by the following equation

$$W=A(1-e^{-K(t-t_0)})^{\frac{1}{1-m}} \quad (14)$$

were A,k,m are constant.

Individual tree from thinning experimental plots of *Abies sachalinensis* were used in fitting RICHARDS growth function on the diameter growth. As a result, the parameter k in the RICHARDS growth function was approximated to normal distribution. And, the author proposed to evaluate parameters A and m from k as follows;

$$A= \alpha e^{\beta k} \quad (15)$$

$$m=a' + b'k \quad (16)$$

Stand density has an effect on the value of parameter β as shown in eq. (15). That is to say, the value of β is given by the following relationship

$$\beta = a + b \rho \quad (18)$$

where β is the parameter evaluated from the relation between k and A, and ρ is the number of trees per hectar. Value of parameter a is changed by each thinning method. Parameter a was decided from thinning experiments of *Abies sachalinensis* stand (heavy crown thinning, low thinning and unthinning).

This paper deals with each thinning method as follows :

Low thinning : Removed suppressed individuals in the lower story classes. Kind of TERASAKI' s tree classification thinning is A–thinning.

Crown thinning : Removed dominant individuals in the upper crown classes.

Kind of TERASAKI' s tree classification thinning is D–thinning.

Mechanical thinning : Removed the decided number of individuals mechanically.

Kind of TERASAKI'S tree classification thinning is B–thinng.

The crown and mechanical thinnings differ basically from the low thinning. The crown and mechanical thinnings frequently remove dominant trees were result in open space the main canopy, and do not close for several years. Therefore, more effective ways are expected for the crown and mechanical thinnings. Parameter a of equation (18) represents the thinning effect.

Value of a is -16.76 in the case of the crown and mechanical thinnings, and -18.76 in the unthinning.

The efficiency of the growth model was examined for thinning experiment plot of *Abies sachalinensis*. In this case, the author supposed that the distribution of k was normal distribution. Satisfactory results were obtained by comparing the observed results of the diameter and volume increment with the calculated results by growth model. How to take out the thinning trees in the growth model is as follows :

The growth model of this paper is constructed using the apportioned parameter of RICHARDS function for individual tree in the stand. Parameter k has a great influence on estimation of diameter increment. Therefore, method of thinning is as follows :

Low thinning : Removed individuals in order of k value, they are the third or the fourth-class tree of TERASAKI'S tree classification

Crown thinning : Removed individuals in order of small k value, they are the first-class tree of TERASAKI'S tree classification

Mechanical thinning : Removed individuals using normal random numbers, they are mainly the second-class tree of TERASAKI'S tree classification.

The computer program was written by the author (see Fig. 40–41). The individual diameter increment of each thinning method and unthinning was estimated by the program.

Individual volume increment was estimated with D–H curve. The results (Table 19) obtained were as follows :

(1) Comparison in these types of thinnings was quantified by comparing the total yield. As a result, the total yield of stem was larger in mechanical thinning than the other thinning method until 60 years.

(2) Mechanical thinning has the advantage of existing various size trees after thinning and ecological stability.

From the above–mentioned results, the author embodies the three kind of thinning schedules on the four site classes using mechanical thinning method in chapter 6 (Table 27–28). The thinning schedules are constructed for three kinds of density control. The first is the standard yield table. This satisfies the common characteristics which can be seen in existing yield tables. The second is a figure which shows diameter distribution at the every thinning times. The third is the table which summation of individual number from the maximum diametered tree to a certain boundary diametered one. This schedule shows that when density is higher, volume becomes larger after 30 years in case of site I. And, the best total yield was obtained from specially high stand density with higher initial density.

The efficiency of the thinning schedule was examined for density control diagram in Hokkaido district of *Abies sachalinensis* (MANABE 1974). Simulated results proved that the thinning schedule could explain the effect of different density control. The author's growth model is available for predicting various thinning method and production of thinning schedule.