

トドマツ人工林の最適間伐計画に関する研究

真 辺 昭⁽¹⁾

Akira MANABE : Studies on the Optimal
Thinning Schedules for Todomatsu
(*Abies sachalinensis*) Plantations.

要 旨：将来の収益の現在価を最大にする間伐方法の時間的な系列—最適間伐計画—を、林分条件ごとに決定する問題を考えた。まず、LEHR の土地期望価式から動的計画法の考えに従って必要な繰り返しの関数方程式を導き、多段階最適化問題として定式化した。この繰り返しの関係式に、さきに提示したトドマツの収穫予測、収益評価システムを組み入れ、標準的な間伐の繰り返し期間、林業利率、立木価格の評価要素を仮定して、(1)間伐方法の選択に制約をおかない保育の間伐、(2)間伐収益が正になる間伐方法のなかだけで総収益の最大化をはかる利用の間伐、の二つの場合について最適解を求めた。この結果は、地位、生育段階、林分密度および立木度のクラスごとに、最も適切な間伐率と間伐種を指示する間伐指針表として与えられる。これに再び収穫予測、収益評価システムを適用すると、任意の初期林分条件に対する最適間伐計画とそれに従うときの生育過程および予想される収益が収穫表形式で得られる。これらの結果によって、保育の間伐と利用の間伐の特徴点を述べ、トドマツ人工林の間伐のあり方について考察した。さらに、間伐の繰り返し期間、生産費、林業利率などを変更したときの最適解の変化を吟味し、また経営事情を考慮しながら、標準条件の間伐指針をもとにして、実行可能な間伐計画を求める会話型の計算システムを作成して、それによる計算例を示した。

目 次

緒 言	44
I 間伐方法の最適選択	45
1. 最適化の方法	45
2. 動的計画法による定式化	48
3. 数 値 解 法	49
4. 摘 要	53
II トドマツ人工林の最適間伐計画	53
1. 計 算 条 件	53
(1) 計 画 期 間	53
(2) 地 位	53
(3) 林分状態の範囲	54
(4) 間伐方法の種類	54
(5) 林業利率および費用条件	56
2. 間 伐 指 針 表	56
(1) 保 育 的 間 伐	56
(2) 利 用 的 間 伐	60
3. 最 適 間 伐 計 画 と 収 穫 予 想	64
(1) 間伐前の林分状態	64
(2) 間 伐 木	65

(3) 残 存 木	65
(4) 次分期の状態	66
(5) 保育的間伐の場合	68
(6) 利用的間伐の場合	73
4. 期 待 収 益	75
5. 摘 要	83
Ⅲ 感 度 分 析	84
1. 計算条件の変更	84
2. 間伐の繰り返し期間の延長	84
3. 生産費の変化	86
4. 林業利率の変更	88
5. 実行可能な間伐計画	90
6. 摘 要	99
結 言	100
引 用 文 献	102
Summary	103

結 言

収量密度効果式によれば、上層木平均樹高の等しい林分の間では、ha 当たり幹材積は林分密度とともに増加して最多密度曲線の上で最大になる。しかし、材積の多い高密度の林分が必ずしも望ましい状態であるとはいえない。諸被害に対する抵抗性の低下が懸念され、また平均直径が相対的に小さくなるために、利用率や単位材積 ha 当たり市場価が低下して、幹材積の増加ほどには売上高が増加せず、逆に収穫費用が割高になるため収益が少なくなる場合も考えられるからである。このことは、経営としてみた場合、生育段階に応じて平均直径と ha 当たり材積の最良の組み合わせがありそうだとことを示している。

ここに述べる間伐方法の最適選択のねらいは、経営的あるいは生物学的に必要とされる制限のなかで、そのような最良の林分状態をつくり出すための間伐方法の系列を組織的かつ効率的に見出すことである。

これには、いろいろな間伐方法の優劣を順位づける尺度が必要である。この順位づけは、間伐収穫のみでなく伐期収穫を含む生産期間全体の成果を総合評価できるものでなければならない。ここでは、そのような要求を満たす尺度として絶対的経済効果を用いる。

この理由は次のようである。経営成果の評価において、比較しなければならないのは生産される材の使用価値であって、幹材積よりは利用材積に意味があり、さらに、材の大きさ、品質および収穫の時期を含めた比較でなければ十分とはいえない。すなわち、径級差、品質差、収穫時期の違いによる利用効率の差によってウエイトづけられた利用材積の量が問題である。このウエイトは、現時点で考えれば市場価格の上にも最も公平に表示されている。将来価格の不確実性については、現在の知識で判断しようとする限り他の基準を用いる場合でも事情は同じである。もし、経営者が将来のウエイトの変化について確信をもつなら、その予想を織りこんだ技術選択もここに述べる方法と同様に処理できる。

なお、絶対的経済効果による比較は一種の現価法であって、林業利率の選び方で解が異なってくるという非難もある。しかし、ここで取りあげた技術選択への適用では、利率の高低は目前の収益を重視するか将来の主伐収益に期待するか経営者の態度の現れであって、経営の内部事情によって解が変化するのは

むしろ当然と思われる。

本報告で考察しようとする課題は次のように要約される。

第Ⅰ章では、動的計画法の考えに従って間伐方法の最適選択の方法を定式化し最適解の導びき方を示す。これには、前報⁹⁾に述べた収穫量と収益の予測システムが主要な構成要素となっている。

第Ⅱ章では、標準的な計算条件をもとにして、次の二通りの場合についてトドマツ人工林の最適間伐の指針表を求める。その一つは個々の間伐の収益性を考えずに総収益の最大化のみを追求する場合で、間伐を保育作業の一部とみる伝統的な立場に対応している。

一方、間伐の実行に当たって、間伐収益が負にならない範囲で最善の方法を選びたいという要請も少なくない。そこで、これを上述の保育の間伐と区別して利用の間伐と呼び、与えられた制約をみたすような間伐指針を求める。

間伐指針表には、将来も引き続いて最適解に従うとしたときの当面とるべき最善の間伐方法が示され、これによって、望ましい間伐のあり方が地位、生育段階、林分状態別に明らかにされる。続いて、最適間伐指針に従う場合の収穫予測の結果をもとにして、保育の間伐および利用の間伐の相違を検討する。一般に、方法の選択に対する制約が強くなるほど、目的とする収益は低下する。この分析では、収益の著しい損失なしに利用の間伐が実行できるのは、地位と初期林分状態が良好な比較的狭い範囲に限られることが示される。

第Ⅲ章では、感度分析として間伐の繰り返し期間、生産費または林業利率を変更したときの最適解の変化を考察する。これらの前提条件は、経営の実情に応じて種々の場合が想定されるので、網羅的な議論は困難である。したがって、ここでは代表的な例で特徴点のみを示し、その代わりに現実の個々の条件に合致した実行可能な間伐計画を求めるための計算システムを与える。

すなわち、いく通りかの間伐繰り返し期間と間伐方法を入力して、間伐、主伐収穫の内容と収益を予測し、これを第Ⅱ章で述べた保育の間伐の場合の予測値と比較して得失を調べ、与えられた初期条件に対して最も好ましい間伐計画を試行錯誤的に求めようとするものである。その結果は、選ばれた間伐系列および保育の間伐に対する収穫表の形で示され、最適解に従わなかったことによる収益の損失が一目でわかるようになっている。

この報告の作成に当たり、各種の計算にはすべて農林水産研究計算センターを利用させていただいた。便宜を与えられた担当係官に厚くお礼申し上げる。

I 間伐方法の最適選択

1. 最適化の方法

絶対的経済効果への寄与が全体として最大になるように間伐方法の系列を選択する問題を考える。絶対的経済効果は土地期望価と地価の差額であるが、ここでは同一林分で間伐方法の優劣を比較するので地価の影響は相殺され、土地期望価の最大化を考えればよい。

土地期望価を L_{BHR} の変形式¹⁾で表すと、

$$B_u = \left(\frac{A_u}{1.0p^u} + \frac{D_a}{1.0p^a} + \frac{D_b}{1.0p^b} + \dots + \frac{D_q}{1.0p^q} - C \right) \left(1 + \frac{1}{1.0p^u - 1} \right) - V \quad \dots\dots\dots(1)$$

となる。

ここで、 A_u : 主伐収益、 p : 林業利率、 u : 伐期、 D_a, D_b, \dots, D_q : a 年、 b 年、 \dots 、 q 年における間伐収益、 c : 造林費、 V : 管理費の前価合計、また $u > a > b > \dots > q$ である。

さらに、毎年の管理費が取扱いの方法と無関係だと仮定すると V の項が省略できるので、比較しなければならない値は、

$$\left(\frac{A_u}{1.0p^u} + \frac{D_a}{1.0p^a} + \frac{D_b}{1.0p^b} + \dots + \frac{D_q}{1.0p^q} - C \right) \left(1 + \frac{1}{1.0p^u - 1} \right) \dots\dots\dots(2)$$

となる。

ところで、ある時点で採用される間伐方法が変われば当然その後の林分状態や生育経過が変化する。このため、 q 年から a 年までの各時点における間伐方法の最適化は相互に関連をもつことになり、最適解は(2)式を全体として最大にするような間伐方法の組として定めなければならないことになる。しかし、可能なすべての間伐方法の組合せについて、列挙法で(2)式の比較計算を行うことはほとんど不可能である。

例えば、間伐方法が30種類で主伐までに5回の間伐を実行すると仮定すると、どの回の間伐においても30種の方法のなかから一つを選ぶので、全体を通じた間伐方法の組合せの数は、 $30^5 = 2.43 \times 10^7$ 通りである。一方、第1回間伐のときの林分の状態は、植栽本数や保育方法が同じでも相当の幅をもつので、これを本数で10段階、立木度*で5段階に区分し、さらに地位の上、中、下の区分ごとに解を得ようとする、(2)式の計算回数は 10^9 のオーダーになり計算機の実用的な処理能力を超えたものになる。

この種の最大化の問題は多段階の最適決定問題と呼ばれ、BELLMAN²⁾によって巧妙な解法—動的計画法—が与えられている。それによると、上の場合は(2)式の一部を $5 \times 30 \times 10 \times 5 \times 3 = 2.25 \times 10^4$ 回計算するだけで解くことができる。

簡単な例でこの方法の概要を述べてみよう。Fig. 1で、現況が③の状態にある林分に、伐期 u 年までに c 年、 b 年、 a 年の3回にわたって間伐を行い、全期間の収益の前価合計を最大化したいものとする。Fig. 1では、採用しうる間伐方法が各回とも3種類で、林分状態もそれぞれ五つに区分されている。したがって、この林分で3回の間伐を通じて伐期までに採用できる間伐コースの数は、 $3 \times 3 \times 3 = 27$ 通りになる。ただし、間伐後の林分が斜線で示した制約領域**に入るようであれば、その方法は無条件で棄てることにする。

間伐見送りも間伐方法に含めて考えれば、間伐木および間伐後の林分状態は、間伐前の状態と間伐方法の関数とみることができる。そこで、この関数関係がわかっている、特定の間伐方法を適用したときの林分の動きと間伐木の売払い価格がすべて計算でき、さらにいろいろな状態にある主伐林分の価格評定も可能だと仮定しておく。

さて、解法であるが、動的計画法では u 年の主伐時点から考えていく。Fig. 1で伐期の林分状態は⑥から⑩までの5種類で、上の27のコースは途中で制約領域に入るものを除くと、結局はこの五つの状態のどれかに落ちつく。まず、⑥~⑩のそれぞれについて主伐収益を計算して記録する。次に a 年移って、⑩の状態を考える。3種の間伐方法のうち、 i は次期の状態が制約領域に入る、収益性の比較は j と k の間で行うことになる。これは、

* 収量密度効果の逆数式から求められる理論材積に対する現実材積の比
 ** 過疎、過密などの理由で望ましくない林分状態を示している。

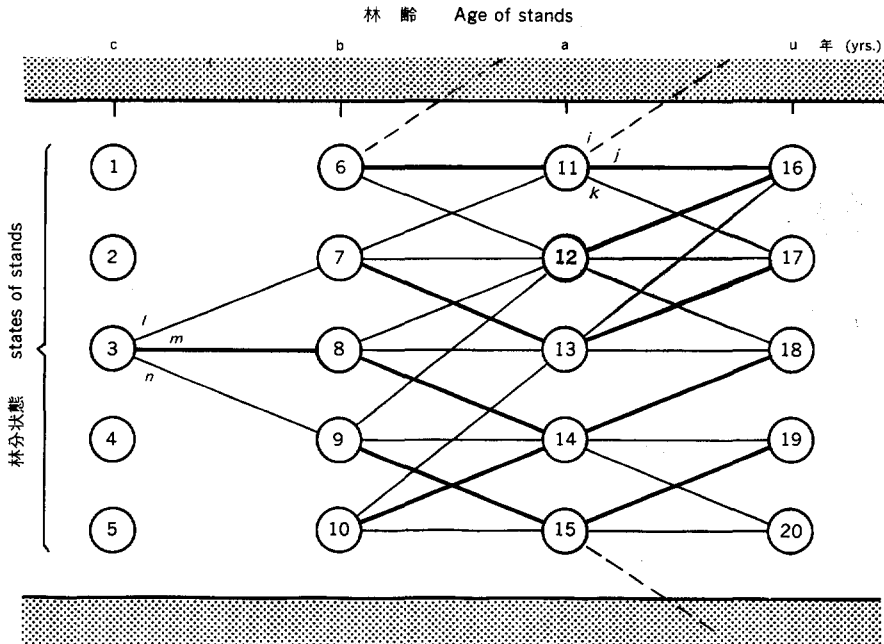


Fig. 1. 動的計画法による最適化 (模式図)
 Optimization procedure by the dynamic programming method.
 陰影の部分は制約領域を示す
 Shaded portion indicates the states excluded by the constraints.

(a 年における収益の前価合計)

$$= (a \text{ 年の間伐収益}) + (\text{対応する主伐収益の前価})$$

で与えられ、Fig. 1 では ⑯ に向かう太線のコース j が大きいことになっている。ここで、間伐の仕方がきまれば、 u 年の林分状態が予測できるので、主伐収益の前価は記録されている主伐収益と期間年数から計算される。⑪の状態に対する方法の比較はこれで終わりであるが、次の⑫に移る前に、方法 j と計算された収益の前価合計を状態⑫に対応させて記録しておく。

⑫以下の最適間伐方法の選定も同じ手順で進められ、計算が⑮まで進むと、林齢 a 年で現れるすべての林分状態について最良の間伐方法と対応する収益の前価合計 (期待収益) がきまる。

林齢 b 年では、間伐方法ごとの期待収益が、

$$(b \text{ 年の期待収益}) = (b \text{ 年の間伐収益}) + (a \text{ 年の期待収益})$$

となつて、主伐収益が a 年の期待収益におきかわるだけで、同じやり方で計算が進められる。こうして、⑥→⑪、⑦→⑫、⑧→⑬、⑨→⑭、⑩→⑮のように、林分の状態ごとに最適経路が決定される。

最初の問題の c 年生の状態③に対する最適経路は、同じ計算を c 年で繰り返して、③→⑧→⑬→⑯となり、当面の最良の選択が方法 m であることがわかる。

ここまでの計算回数は、たまたま $1 \times 3 + 5 \times 3 + 5 \times 3 = 33$ となって列挙法より多くなったが、間伐方法や間伐回数が多くなると、さきに示したように、動的計画法の有利性は加速度的に大きくなる。

これまで述べてきた計算方法が妥当なものであることは、(2)式が次のように変形できることから明ら

かである。

$$\begin{aligned} & \{ (K_f \cdot A_u \cdot 1.0 p^{a-u} + K_f \cdot D_a) 1.0 p^{b-a} + K_f \cdot D_b \} 1.0 p^{c-b} \\ & + K_f \cdot D_c \} 1.0 p^c \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

ただし、

$$K_f = \left(1 + \frac{1}{1.0 p^u - 1} \right)$$

すなわち、 a 年の間伐方法の選択では、 b 年以下の項を無視して、

$$K_f \cdot A_u \cdot 1.0 p^{a-u} + K_f \cdot D_a \quad (=r_a) \quad \dots \dots \dots (4)$$

の大きさを比較すればよい。ここで、方法のなかに皆伐を含めておけば、伐期を a 年にすべきか u 年まで温存すべきかの判断も同時に下せる。

同様に b 年では、林分状態別に計算されている a 年の最適決定に対応する前価合計 r_a を利用して、

$$r_a \cdot 1.0 p^{b-a} + K_f \cdot D_b$$

の大きさを優劣の判定ができる。

特定の年齢、任意の林分状態から出発する間伐方法の最適系列と最適伐採齢は、この計算の結果を林齢の増加する方向に逆にたどって求めることができる。これによって得られた間伐方法の系列を、以下においては最適間伐計画と呼ぶことにする。

なお、将来にわたる取扱いの効果が正しく評価できるなら、除伐や枝打ちなどその期の収益に直接寄与しない取扱いでも、この方法で採択の可否が決定できる。その場合は、不採算になる間伐と同様に負の収益が計上されるが、それでも土地期望価にプラスに作用する限り、それは最善のものとして取り入れられる。下刈回数や植栽本数の決定についても同じである。

2. 動的計画法による定式化

前節ではLHERの公式をもとにして最適化の方法を述べてきたが、具体的な計算に関しては、それぞれの間伐方法に対応する純収益 A_u, D_a, D_b, \dots などが、どのようにして導かれるかが明らかでない。そこで、この点を動的計画法の用語に従って整理してみよう。

最初に計画期間の長さをきめる。これは一般には、植栽してから主伐されるまでの期間であるが、間伐だけの最適化を考えるとすれはう閉後の期間だけで十分である。

この計画期間を適当な長さの N 個の分期にわけ、間伐などの取扱いは細分した各分期の終わりに実行するものとする。

さきの説明と関連をもたせるために、(1)式以降の u, a, b, \dots, q 年を、それぞれ $N, N-1, N-2, \dots, 1$ 分期の終わりの林齢とし、次の記号を導入する。

P_t : t 分期の終わりの林分状態を表すベクトルで、この場合の要素は上層木平均樹高と本数 および 立木度である。

$g_t(P_t, d_t)$: t 期の林分状態が P_t であるとき、間伐方法 d_t に従うことによって、その期にもたらされる収益を表す。関数 g_t は、前報³⁾に述べた収益評価システムに相当する。また、 d_t は本数間伐率 P_{TN} と間伐種 D_T/D 比*を要素とする間伐方法のベクトルである。

$T(P_t, d_t)$: 林分状態 P_t に対して d_t という間伐方法を適用したとき、次分期に繰り越される林分状態

* 間伐前の平均直径に対する間伐木の平均直径の比で、間伐の種類を表す。

を表す。具体的には、上層木平均樹高、本数、立木度のある組合わせをもった林に、本数間伐率 P_{TN} 、間伐種 D_T/D の間伐を実行したとき、次の $t+1$ 分期にどのような林分状態が出現するかを示す関数が T である。すなわち、 T は収穫予測システム³⁾ に相当する。

P_t, d_t はそれぞれ状態変数、決定変数と呼ばれ、 g_t と T は収益関数および状態変換関数と呼ばれる。

なお T は、変換によって得られる t 分期の林分状態が、 $t-1$ 分期の状態とそこで適用される間伐方法のみに依存するという、いわゆる、マルコフ性の条件をみたすことが必要とされる。実は、前報³⁾ に述べた収穫予測システムはこの条件に適合するように組み立てられている。そうすると、初期状態 P_1 から出発して間伐方法の選択 d_1, d_2, \dots, d_N に従うとき、各分期の終わりの林分状態は、

$$P_1, P_2=T(P_1, d_1), P_3=T(P_2, d_2), \dots, P_N=T(P_{N-1}, d_{N-1}) \text{ のように変化し、これに対応して収益} \\ g_t(P_t, d_t) \quad (t=1, 2, \dots, N)$$

が得られる。

一般化のために植栽時点までを含めて考えると、植栽は第 1 分期の初めに行われるので、

$$P_1=T(d_0), g_0(d_0)=-C \cdot K_f$$

とすればよい。ここで d_0 は植栽方法の選択を表し、 C は植栽の費用である。

このような記号を用いると、 d_0, d_1, \dots, d_N を決定するために最大化しなければならない値は、(2)式から、

$$f_{0,N}(P) = \max_{d_0, d_1, \dots, d_N} [1.0 p^{-u} \cdot g_N(P_N, d_N) + 1.0 p^{-a} \cdot g_{N-1}(P_{N-1}, d_{N-1}) \\ \dots + g_0(d_0)] \dots \dots \dots (6)$$

である。ここで \max は [] の中を d_0, d_1, \dots, d_N のすべての組合せについて計算したときの最大値で、 f の添字の 0 と N は、 $N+1$ 段階の最適化問題を出発点のところから考えていることを表している。

任意の k 分期から始まる最大化計算では、最適性原理³⁾ によって次の繰り返しの関係式が成り立つ。

$$f_{k,N}(P) = \max_{d_k} [g_k(P_k, d_k) + \alpha_k f_{k+1,N}(T(P_k, d_k))] \dots \dots \dots (7)$$

ここで P_k は k 分期で与えられた林分状態で、 α_k は k 分期から $k+1$ 分期までの年数によってきまる前価係数、また \max_{d_k} は k 分期で取り得るすべての間伐方法についての最大値を意味している。

$f_{N,N}(P_N)$ は主伐収益で、林分状態 P_N に応じて一義的に決定されるから、計画期間の終わりから出発点に向かって、 k を $N-1, N-2, \dots$ の順に動かして (7) 式を評価していけば、どの k についても $\alpha_k f_{k+1,N}(T(P_k, d_k))$ が定まる。すなわち、(7)式は内容的には(4)または(5)式と全く同じである。

動的計画法の特色は、 d_N, d_{N-1}, \dots, d_0 の同時最適決定という網羅的な比較方法では解決できない問題を、(7)式によってこれと同等な N 個の最適化問題に分解し、逐次的に解を与えることにある。

また、この解法は選択される取扱い方法に制約が課せられているときにも適用できる。例えば、間伐収益がある限度以上になる間伐方法のみについて、期待収益の最大になるものを選ぶといった場合などである。このときには、収益が定められた限度額に達しない間伐方法を除いて収益の現在価を比較し、もし条件をみたす方法がなければ、無間伐を最適決定とすればよい。制約付きの最適化では、比較の数が少なくなって、計算がかえって容易になる場合もある。

3. 数 値 解 法

ここで、最適化の具体的な計算方法を示しておく。

関数 T および g は収穫予測システムと収益評価システムである。状態変数 P は林分の上層木平均樹高、

ha 当たり本数, 立木度の3成分, また決定変数 d は本数間伐率と D_T/D 比の二つの成分で与えられる。最適化を地位ごとに考えるとすれば, 上層木平均樹高は林齢におきかえてもよい。

一方, g は三つの部分から構成される。すなわち, T によって推定された林分状態に間伐方法 d を適用したとき, 幹材積の収穫量を計算する部分と, これを利用材積に変換して市場価格を求める部分および生産費を計算して収益を求める部分である。(7)式にみられるように, 最適解に実際に役立つ情報が含まれるかどうかは, T と g が林分取扱いの差異に基づく収益性の差をいかに忠実に反映してくれるかにかかっている。

計算は次の二つの段階にわかれる。まず, 各分期においてカバーしなければならない林分状態の全範囲にわたって, 最適な選択 d とこれに対応する収益の前価合計の最大値 f を計算して記録する部分と, この結果を使って任意の k 分期の林分状態から出発する間伐方法の最適系列——最適間伐計画を求める後半の部分である。

P および d の成分はいずれも連続量であるが, すべての値について $f_{k,N}$ を計算することはできないので, 次に述べる格子点法によって近似解を求める。

各期の ha 当たり本数と立木度の範囲が, $[\rho_s, \rho_E]$, $[\gamma_s, \gamma_E]$ で与えられるとき, そのなかから,

$$\begin{aligned} \rho_s, \rho_s + \Delta, \rho_s + 2\Delta, \dots, \rho_s + l\Delta = \rho_E \\ \gamma_s, \gamma_s + \Delta', \gamma_s + 2\Delta', \dots, \gamma_s + l'\Delta' = \gamma_E \end{aligned}$$

のような $(l+1)(l'+1)$ 個の格子点を選んで, この格子点の位置で計算を進める。 k 分期の最適化で必要になる $k+1$ 分期の f は, T によって k 分期から移された林分状態がちょうど格子点に一致するとは限らないので, 適当な補間法で近似値を求めなければならない。しかし, (3) 式の k_f に含まれる伐期 u は, 一般にテストする間伐方法ごとに異なる。これは整数値でなければならない, 補間は意味をなさないもので, ここでは最も近い格子点における f と u を使用する。

決定変数 d の方は, 計画期間を通じて一定で, 皆伐と無間伐を含めた 32 通りの本数間伐率と D_T/D 比の組合わせとする。計算の手順は Fig. 2 の流れ図のようになる。

step 1

地位指数 S , 分期数 N , 立木度の下限と上限 γ_s, γ_E , 間伐方法の種類 L , 本数と立木度のきざみ (格子点間隔) Δ と Δ' をデータで指定する。 γ_s と γ_E は各分期とも同じとする。

step 2

分期の番号 t を N とおき, t における上層木平均樹高, 立木本数の下限と上限 $\rho_{t,s}$ と $\rho_{t,E}$ を計算する。そうして, 本数の初期値を $\rho_{t,s}$ とおく。

step 3

本数 ρ が上限値 $\rho_{t,E}$ 以下であれば, step 4 に進む。上限値より大きければ, 分期の番号を 1 だけ減じて step 2 にもどる。このとき, もし $t=0$ であれば計算の前半部分が終わったことになるので, step 13 に進む。

step 4

立木度 γ の初期値を γ_s とおく。

step 5

γ が上限値 γ_E より大きければ, ρ を Δ だけ増して, step 3 にもどる。それ以外は, step 6 に進む。

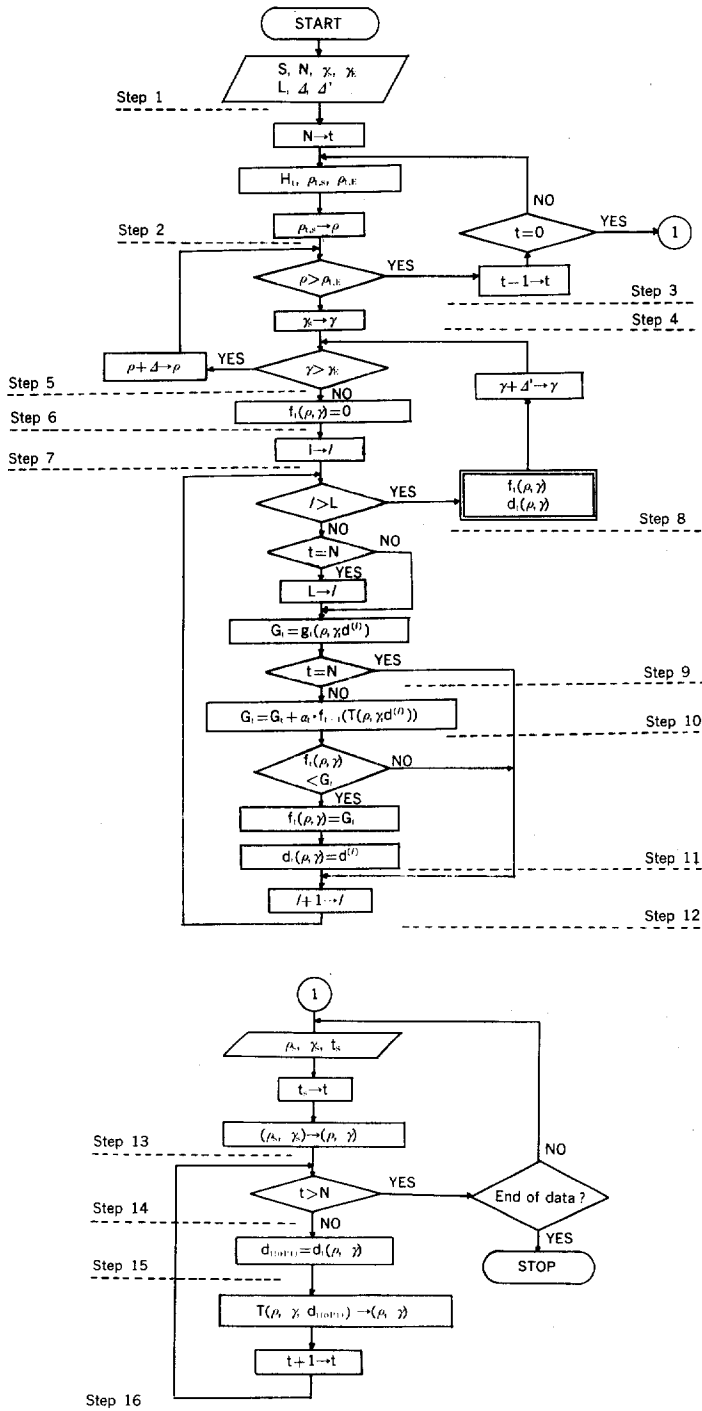


Fig. 2. 最適化計算の方法
Flow chart of the optimization procedure.

step 6

林分状態が ρ, γ のとき、 t 時点において期待される前価合計の最大値を記録するための変数 $f_t(\rho, \gamma)$ の初期値を 0 とする。この内容は計算の進行とともに、新しい最大値と次々に入れかわる。

step 7

ρ と γ の一つの組合わせに対し、 L 通り ($l=1, 2, \dots, L$) の間伐方法の優劣を比較するので、まず $l=1$ から始める。

step 8

L 通りの比較が終了したら、それまでに得られた収益の前価合計の最大値 $f_t(\rho, \gamma)$ と、対応する t 分期の最適選択 $\mathbf{d}_t(\rho, \gamma)$ を記録してから、立木度 γ を Δ' だけ増して step 5 にもどる。 $l < L$ なら、step 9 に進む。

step 9

l 番目の間伐方法を採用するという決定 $\mathbf{d}^{(l)}$ のもとでの t 分期の収益 G_t を計算する。 $t=N$ のときは、取り得る方法は皆伐だけであるから、step 11 にとぶ。

step 10

$\mathbf{d}^{(l)}$ を採用したとき、 $t+1$ 分期に移される林分状態 $T(\rho, \gamma, \mathbf{d}^{(l)})$ を求め、その林分状態に対して記録されている $t+1$ 期以降の収益の前価合計の最大値 $f_{t+1}(T(\rho, \gamma, \mathbf{d}^{(l)}))$ を呼び出す。このとき、 $T(\rho, \gamma, \mathbf{d}^{(l)})$ の示す林分状態が、 $\rho_{t+1,s}, \rho_{t+1,E}$ および γ_s, γ_E の範囲外に出るなら、 $f_{t+1}(T(\rho, \gamma, \mathbf{d}^{(l)}))$ をゼロとおく。次に、 t と $t+1$ 分期間の年数で前価係数 α_t をきめ、これによって割引いた $f_{t+1}(T(\rho, \gamma, \mathbf{d}^{(l)}))$ の値を G_t に加えて、 $\mathbf{d}^{(l)}$ に対する収益の前価合計を求める。これを改めて G_t とおく。

step 11

それまでに得られた最大の $f_t(\rho, \gamma)$ と G_t を比較し、もし G_t が大きければ、 G_t を $f_t(\rho, \gamma)$ とする。

step 12

l を 1 だけ進めて、step 8 にもどる。

step 13

これからが計算の後半部で、任意の分期 t_s とそのときの林分状態 ρ_s と γ_s をデータで指定する。これらを t, ρ および γ の初期値とする。

step 14

$t > N$ なら、与えられたデータに対する計算は終わりであり、新しいデータの読み込みのために、step 13 にもどる。もしデータがなければ計算終了である。

step 15

ρ と γ に対応して記録されている $\mathbf{d}_t(\rho, \gamma)$ を呼び出し、これを与えられたデータに対する t 分期の最適選択 $\mathbf{d}_{t(opt)}$ とする。このとき、 ρ と γ が格子点の上になければ、最も近い格子点の値をとる。

step 16

最適選択 $\mathbf{d}_{t(opt)}$ を実行することによって、 $t+1$ 分期に生ずる ρ と γ の値を $T(\rho, \gamma, \mathbf{d}_{t(opt)})$ として求め、 t を 1 期進めて、step 14 にもどる。

この計算を N_E 分期まで続けると、最適間伐計画とそれに対応する収穫表が、 $\mathbf{d}_{t(opt)}, T(\rho, \gamma, \mathbf{d}_{t(opt)}), (t=t_s, t_{s+1}, \dots, N_E)$ として得られる。

4. 摘 要

- (1) L_{EHR} の土地期望価式をもとにして、絶対的経済効果を最大にする間伐方法の選び方を考えた。
 (2) 解を逐次的に求めるため、動的計画法の考え方に沿って、問題を次の漸化式として定式化した。

$$f_{k,N}(\mathbf{P}) = \max_{\mathbf{d}_k} [g_k(\mathbf{P}_k, \mathbf{d}_k) + \alpha_k f_{k+1,N}(T(\mathbf{P}_k, \mathbf{d}_k))]$$

ここで、 N は計画期間の長さ、 k は植栽時の 0 分期から主伐時の N 分期まで動く。間伐はこれらの各分期の終わりに実行する。他の記号の意味は次のとおりである。

\mathbf{d}_k : 間伐方法を示すベクトルで、成分は本数間伐率と D_T/D 比から成る。

\mathbf{P}_k : 林分状態を表すベクトル。成分は上層木平均樹高、ha 当たり本数および立木度。

$g_k(\mathbf{P}_k, \mathbf{d}_k)$: k 分期における林分状態 \mathbf{P}_k に対し、間伐方法 \mathbf{d}_k を適用してその期にもたらされる収益で、関数 g_k は収益評価システムである。

$T(\mathbf{P}_k, \mathbf{d}_k)$: k 分期の林分状態に対し、間伐方法 \mathbf{d}_k を適用したとき、次の $k+1$ 分期に繰り越される林分状態を示す。関数 T は収穫予測システムである。

α_k : $k+1$ 分期と k 分期の間の年数によってきまる前価係数。

$f_{k,N}(\mathbf{P})$: 初期状態 \mathbf{P} から始まる k 分期から N 分期までの最適化計算で、 k 分期以降最適間伐計画に従うときの収益の k 分期における前価合計。

$\max_{\mathbf{d}_k} []$: 可能なすべての間伐方法 \mathbf{d}_k に対して $[]$ 内を計算したときの最大値、 $k=N$ のとき、採用できるのは皆伐だけであり、 $[]$ 内の第 2 項は不要になって、 $f_{N,N}$ は主伐収益となる。

- (3) 具体的な解法として、格子点法による計算手順をフローチャートによって示した。

II トドマツ人工林の最適間伐計画

1. 計算条件

これまで述べてきた方法に従って、トドマツ人工林の最適間伐計画を求める。計算の前提は次のとおりである。

(1) 計画期間

計画期間は上層木平均樹高が 12 m に達する林齢から 28 m になるまでの間とする。ただし、地位が不良で、60 年になっても上層木平均樹高が 28 m に到達しない場合には、60 年を終期とする。この理由は、通常の植栽本数で正常に生育してきた林が閉鎖し始めるのが、上層木平均樹高が 12 m になる頃であり、また 60 年はそれがトドマツの主伐時期の一応の目安になると考えたからである。

最適化の計算は、計画期間を適当な数の分期にわけて、伐期から順に若い年代に向かって進められる。間伐はこれらの分期の終わりに実行する。分期の長さは、ここでは上層木平均樹高が 2 m 伸長するのに必要な年数としておく。したがって、地位が不良なほど、また林齢が高くなって生長が衰えるほど、間伐の繰り返し期間は長くなる。

(2) 地 位

3 段階の地位指数^{*}、12、14、16 について最適解を求める。他の地位指数についても、データの差しかえて同様な計算ができる。

* 地位指数は林齢 30 年の上層木平均樹高で定義している。文献 4) 参照

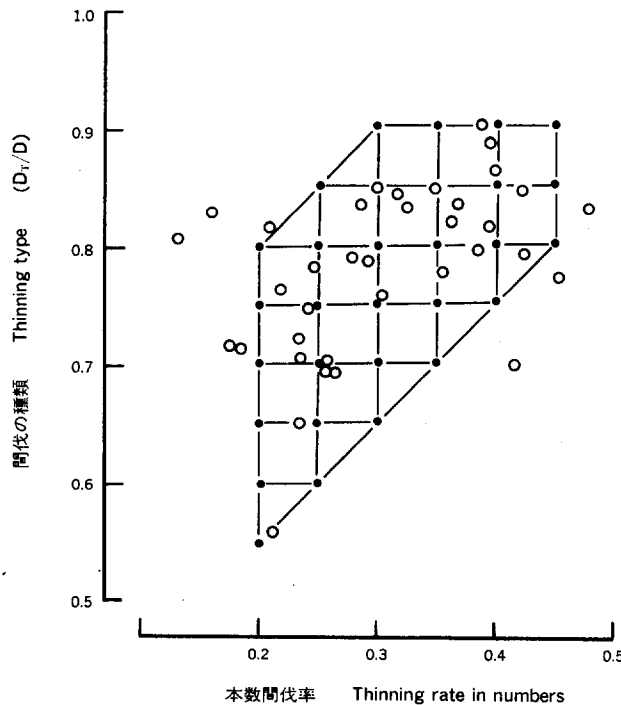


Fig. 3. 最適化計算に用いた間伐方法の種類
 Sort of thinning treatments used in the optimization.
 ○ 収穫試験で実行された間伐方法
 Thinning methods employed in the yield experiment plots
 ● 最適化に用いた格子点
 Lattice points selected for optimization

(3) 林分状態

林分状態を表す変数は、上層木平均樹高、ha 当たり本数および立木度である。これらの変数の範囲は、トドマツ人工林の密度管理で、収量比数 0.6 が疎仕立て、0.8 が密仕立ての標準とされている⁴⁾ので、本数の下限を、収量比数 0.6 に対する本数と、植栽本数 1,100 本/ha に対する自然間引き線上の本数の少ない方とする。また上限は、収量比数 0.9 に対する本数と、植栽本数 3,500 本/ha のときの自然間引き線上の本数の少ない方をとる。これらの本数限界は上層木平均樹高によって変化する。

立木度は、林分密度管理図の作成資料における最小値と、5 年期間の変化の予測式⁸⁾

$$R_{VY} = 2.2845e^{-0.7813/RVX} \dots\dots\dots(8)$$

において、期首の値 R_{VX} と期末の値が一致する値 1.1748 を参考にして、0.6~1.2 の範囲とする。すなわち、林分密度管理図に示される理論材積の 60~120% の蓄積をもつ林分が対象である。この範囲は計画期間を通じて一定とする。

格子点の間隔は、本数で 50 本、立木度は 0.1 とする。計算のなかで、ある間伐方法の採用によって予想される次分期の状態がこれらの制限範囲を超えるときは、その間伐方法は無条件で棄てる。

(4) 間伐方法の種類

間伐方法は、本数間伐率と間伐種を示す D_T/D 比で与える。収穫試験における間伐の実行結果による

Table 1. 間伐方法の種類
List of thinning treatments.

番号 Ser. No.	本数間伐率 Thinning rate in numbers (%)	D_T/D 比 Thinning type (%)	材積間伐率 Thinning rate in volume (%)
1	無間伐	Non-thinning	
2	20	55	4.8
3	20	60	6.0
4	20	65	7.4
5	20	70	9.0
6	20	75	10.8
7	20	80	12.8
8	25	60	7.4
9	25	65	9.4
10	25	70	11.1
11	25	75	13.3
12	25	80	15.8
13	25	85	18.6
14	30	65	10.9
15	30	70	13.2
16	30	75	15.8
17	30	80	18.8
18	30	85	22.0
19	30	90	25.6
20	35	70	15.3
21	35	75	18.3
22	35	80	21.7
23	35	85	25.5
24	35	90	29.6
25	40	75	21.1
26	40	80	25.0
27	40	85	29.3
28	40	90	34.1
29	45	80	27.5
30	45	85	32.3
31	45	90	37.5
32	皆伐	Clear felling	

と、この二つは Fig. 3 の白ぬきの点のように分布する。このことから、本数間伐率 0.20~0.45, D_T/D 比 0.55~0.90 の範囲を対象に、それぞれ 0.05 間隔の格子網を考え、格子点で示される 30 種の間伐方法 (Fig. 3 の黒点) に無間伐と皆伐を加えて 32 種類の方法を比較する。ただし、林冠の急激な疎開を避けるため、ここでは 1 回の間伐による収量比数の低下を 0.12 以内に制限する。これは計画期間の後半で、本数が少なくなるほどきびしい制約になる。

間伐方法の詳細は Table 1 のとおりである。

(5) 林業利率および費用条件

利率は年 3.5% を標準とする。費用条件は、前報⁹⁾ の生産費の算定要素の項で述べたとおりである。

若齢林分の間伐、特に下層間伐の場合には、現在の材価と生産費の条件のもとでは正の収益はほとんど望めない。そのような場合の対処としては、次の二通りのものが考えられる。まず、間伐を、下刈りや蔓切り、除伐などと同じように、最終生産物の価値を高めるための保育手段だとして、例え不採算であっても総収益にプラスになる限り間伐を実行するという考え方である。しかし一方では、将来の収益が多少減少することになっても、不採算にならない範囲で最善の間伐方法を選びたいという希望もあり得る。

ここでは、前者を保育の間伐、後者を利用の間伐として区別し、それぞれの場合の最適解を求めることにする。

保育の間伐では、林分状態と収量比数以外の制約は設けず、Table 1 のすべての方法を比較に含める。もし間伐材が負価になれば、実際上売払いができないので、捨伐りを仮定して必要な伐採費と林内整理費を計上する。

利用の間伐では、不採算になる方法を除外して比較を進める。実行可能な方法のなかに収益が正になるものがなければ、無間伐がそのときの最良の選択になる。

2. 間伐指針表

(1) 保育の間伐

保育の間伐の場合の最適解を地位指数 14 について示すと、Fig. 4 のようになる。この内容は Fig. 2 の step 8 で得られる d_i そのものである。横方向の立木度と縦方向の ha 当たり本数に対応させて示した数値は、斜線の左側が Table 1 の間伐方法の通し番号で、斜線の右側は整数部分が本数間伐率 (%), 小数点以下の 2 桁が D_T/D 比 (%) を表している。また 0 と *** 印は、それぞれ無間伐、皆伐が最適選択となる場合である。

これらの値は、例えば Fig. 4 の最初の表では、地位指数 14 で林齢 26 年の林分を、当面どのように取り扱うのが最善かを林分状態別に示してくれる。すなわち、与えられた林分の現況に対応する最適間伐系列の第 1 回の内容が、本数間伐率と D_T/D で具体的に指示される。この意味で Fig. 4 は最適間伐計画の間伐指針表になっている。なお、見出しの上層木平均樹高は、林齢に端数を生じないように調整しているので、正確な 2 m 間隔とはなっていない。

Fig. 4 の各表は、主伐までに実行し得るいろいろな間伐方法のなかから、収益性に関与する多くの因子を考慮して選ばれた最適系列の一断面である。このため、林分状態と選択される間伐方法との一般的関係を、指針表の数値だけで説明するのは困難である。しかし以下に述べる傾向は読みとることができる。

まず、同一の間伐方法が小集団となって林分状態に応じてモザイク状に現れる。このように間伐率と D_T/D 比が林分の本数と立木度に関して必ずしも連続的に変化しないのは、格子点で近似計算を行っていること、価格評定に使用した標準表が指数の階段関数になっていることによるとと思われる。しかし、隣り合った本数、立木度区分の間伐方法の指定にギャップがあるときでも、引き続いて指針表どおりの間伐を実行していけば、それぞれの生育コースが類似の最適状態* に向かって動いて行くことは計算過程から明らかである。

ここでは、地位指数 14 の間伐指針表のみを示したが、上層木平均樹高が 12~14 m の間では、どの地

* 収益の前価合計が似通った値になる林分状態であって、必ずしも直径、材積の類似を意味しない。例えば小さい直径と高い林分密度、あるいは大きい直径と低い林分密度といった組み合わせもあり得る。

RHO	RV	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20
1050	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1100	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	1/0
1150	8/25.60	2/20.55	8/25.60	8/25.60	2/20.55	2/20.55	1/0	0
1200	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	1/0	0
1250	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	1/0	0
1300	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	1/0	0
1350	2/20.55	8/25.60	2/20.55	8/25.60	2/20.55	2/20.55	1/0	0
1400	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	1/0	0
1450	2/20.55	14/30.65	8/25.60	2/20.55	2/20.55	2/20.55	1/0	0
1500	8/25.60	8/25.60	8/25.60	2/20.55	2/20.55	2/20.55	5/20.70	0
1550	8/25.60	14/30.65	14/30.65	2/20.55	2/20.55	2/20.55	5/20.70	0
1600	8/25.60	2/20.55	14/30.65	2/20.55	2/20.55	2/20.55	5/20.70	0
1650	8/25.60	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	1/0	0
1700	2/20.55	8/25.60	2/20.55	2/20.55	2/20.55	8/25.60	1/0	0
1750	8/25.60	2/20.55	2/20.55	2/20.55	8/25.60	8/25.60	1/0	0
1800	8/25.60	2/20.55	2/20.55	2/20.55	8/25.60	8/25.60	1/0	0
1850	8/25.60	8/25.60	8/25.60	8/25.60	8/25.60	8/25.60	1/0	0
1900	14/30.65	8/25.60	8/25.60	8/25.60	14/30.65	14/30.65	1/0	0
1950	14/30.65	14/30.65	8/25.60	8/25.60	14/30.65	14/30.65	1/0	0
2000	20/35.70	14/30.65	2/20.55	8/25.60	8/25.60	20/35.70	15/30.70	0
2050	20/35.70	2/20.55	14/30.65	8/25.60	14/30.65	20/35.70	15/30.70	0
2100	20/35.70	2/20.55	14/30.65	14/30.65	14/30.65	20/35.70	4/20.65	0
2150	8/25.60	8/25.60	2/20.55	14/30.65	14/30.65	14/30.65	9/25.65	0
2200	8/25.60	8/25.60	2/20.55	14/30.65	14/30.65	14/30.65	4/20.65	0
2250	8/25.60	8/25.60	2/20.55	14/30.65	14/30.65	2/20.55	4/20.65	0
2300	14/30.65	2/20.55	2/20.55	14/30.65	14/30.65	14/30.65	4/20.65	0
2350	14/30.65	8/25.60	2/20.55	8/25.60	14/30.65	14/30.65	9/25.65	0
2400	14/30.65	8/25.60	8/25.60	8/25.60	20/35.70	8/25.60	9/25.65	0
2450	2/20.55	2/20.55	8/25.60	2/20.55	20/35.70	20/35.70	9/25.65	0
2500	8/25.60	2/20.55	8/25.60	2/20.55	20/35.70	20/35.70	3/20.60	0
2550	14/30.65	2/20.55	8/25.60	2/20.55	2/20.55	14/30.65	14/30.65	0
2600	8/25.60	2/20.55	8/25.60	8/25.60	8/25.60	20/35.70	14/30.65	0
2650	14/30.65	2/20.55	8/25.60	2/20.55	8/25.60	20/35.70	14/30.65	0
2700	14/30.65	2/20.55	8/25.60	8/25.60	8/25.60	20/35.70	8/25.60	0
2750	14/30.65	8/25.60	8/25.60	8/25.60	8/25.60	20/35.70	8/25.60	0
2800	14/30.65	8/25.60	8/25.60	8/25.60	8/25.60	8/25.60	8/25.60	0
2850	14/30.65	2/20.55	8/25.60	8/25.60	8/25.60	8/25.60	8/25.60	0
2900	14/30.65	14/30.65	8/25.60	14/30.65	8/25.60	8/25.60	8/25.60	0
2950	14/30.65	14/30.65	2/20.55	14/30.65	14/30.65	14/30.65	14/30.65	0
3000	14/30.65	8/25.60	2/20.55	14/30.65	14/30.65	14/30.65	14/30.65	0
3050	14/30.65	14/30.65	2/20.55	14/30.65	14/30.65	14/30.65	14/30.65	0
3100	14/30.65	14/30.65	2/20.55	14/30.65	14/30.65	14/30.65	14/30.65	0

上層木平均樹高 Top height 12.2 m, 林齢 Stand age 26 yrs.

RHO	RV	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	
850	2/20.55	2/20.55	1/0	1/0	1/0	2/20.55	1/0	0	
900	8/25.60	8/25.60	2/20.55	1/0	1/0	2/20.55	1/0	0	
950	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	1/0	0	
1000	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	13/25.85	2/20.55	1/0	0	
1050	2/20.55	2/20.55	8/25.60	2/20.55	2/20.55	2/20.55	1/0	0	
1100	2/20.55	2/20.55	8/25.60	2/20.55	2/20.55	2/20.55	1/0	0	
1150	8/25.60	2/20.55	14/30.65	8/25.60	2/20.55	2/20.55	1/0	0	
1200	2/20.55	8/25.60	2/20.55	14/30.65	2/20.55	2/20.55	1/0	0	
1250	2/20.55	14/30.65	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	1/0	0	
1300	8/25.60	2/20.55	1/0	2/20.55	2/20.55	2/20.55	1/0	0	
1350	2/20.55	2/20.55	8/25.60	2/20.55	2/20.55	2/20.55	1/0	0	
1400	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	1/0	0	
1450	8/25.60	2/20.55	8/25.60	2/20.55	8/25.60	8/25.60	1/0	0	
1500	2/20.55	8/25.60	8/25.60	8/25.60	8/25.60	8/25.60	4/20.65	0	
1550	2/20.55	8/25.60	2/20.55	8/25.60	2/20.55	14/30.65	14/30.65	1/0	0
1600	8/25.60	2/20.55	2/20.55	2/20.55	14/30.65	14/30.65	4/20.65	0	
1650	8/25.60	2/20.55	2/20.55	2/20.55	14/30.65	8/25.60	20/35.70	4/20.65	0
1700	14/30.65	8/25.60	8/25.60	2/20.55	8/25.60	2/20.55	9/25.65	0	
1750	14/30.65	8/25.60	8/25.60	8/25.60	2/20.55	8/25.60	3/20.60	0	
1800	20/35.70	2/20.55	2/20.55	2/20.55	8/25.60	14/30.65	3/20.60	0	
1850	20/35.70	2/20.55	8/25.60	2/20.55	8/25.60	14/30.65	14/30.65	0	
1900	20/35.70	8/25.60	14/30.65	8/25.60	2/20.55	2/20.55	14/30.65	0	
1950	14/30.65	8/25.60	14/30.65	8/25.60	2/20.55	2/20.55	14/30.65	0	
2000	14/30.65	8/25.60	14/30.65	8/25.60	2/20.55	2/20.55	14/30.65	0	
2050	14/30.65	2/20.55	8/25.60	8/25.60	8/25.60	8/25.60	14/30.65	0	
2100	14/30.65	8/25.60	14/30.65	14/30.65	8/25.60	8/25.60	8/25.60	0	
2150	14/30.65	8/25.60	14/30.65	14/30.65	14/30.65	14/30.65	20/35.70	0	
2200	14/30.65	8/25.60	8/25.60	8/25.60	8/25.60	2/20.55	14/30.65	0	
2250	14/30.65	8/25.60	8/25.60	8/25.60	8/25.60	14/30.65	14/30.65	0	
2300	14/30.65	8/25.60	8/25.60	8/25.60	8/25.60	14/30.65	14/30.65	0	
2350	14/30.65	8/25.60	8/25.60	8/25.60	8/25.60	14/30.65	14/30.65	0	
2400	8/25.60	2/20.55	8/25.60	8/25.60	8/25.60	20/35.70	2/20.55	0	
2450	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	8/25.60	20/35.70	2/20.55	0	
2500	14/30.65	2/20.55	8/25.60	8/25.60	8/25.60	20/35.70	20/35.70	0	
2550	14/30.65	2/20.55	8/25.60	8/25.60	8/25.60	14/30.65	14/30.65	0	
2600	8/25.60	2/20.55	8/25.60	8/25.60	8/25.60	14/30.65	8/25.60	0	
2650	14/30.65	2/20.55	8/25.60	8/25.60	8/25.60	20/35.70	20/35.70	0	
2700	14/30.65	2/20.55	8/25.60	8/25.60	8/25.60	20/35.70	2/20.55	0	
2750	8/25.60	2/20.55	8/25.60	8/25.60	8/25.60	20/35.70	2/20.55	0	
2800	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	2/20.55	20/35.70	2/20.55	0	
2850	8/25.60	20/35.70	8/25.60	2/20.55	2/20.55	20/35.70	14/30.65	0	
2900	8/25.60	14/30.65	2/20.55	2/20.55	2/20.55	20/35.70	8/25.60	0	
2950	8/25.60	14/30.65	8/25.60	2/20.55	2/20.55	20/35.70	8/25.60	0	
3000	8/25.60	20/35.70	2/20.55	2/20.55	2/20.55	20/35.70	2/20.55	0	

上層木平均樹高 Top height 14.0 m, 林齢 Stand age 30 yrs.

Fig. 4. 保育的間伐の指針表

Optimal thinning guides for non-commercial thinning.

林業利率 Annual rate of interest 3.5%, 地位指数 Site index 14, RV: 立木度 Relative volume, RHO: 林分密度 Stand density No./ha 数字は最初の2桁が間伐方法の通し番号, 次の2桁は間伐率(%), 小数点以下の2桁は D_T/D 比

Entries indicate the best combination of thinning rate and D_T/D ratio for given stand conditions. First two digits: Serial no. of thinning method listed in the Table 1. Second two digits after the slash: thinning rate in number of stems(%). Two places of decimals: D_T/D ratio

実線は定められた計画期間内に最適状態に到達できない林分状態の範囲を示す。 The solid line shows the region of initial stand conditions in which the optimal state is not attainable within the assumed rotation.

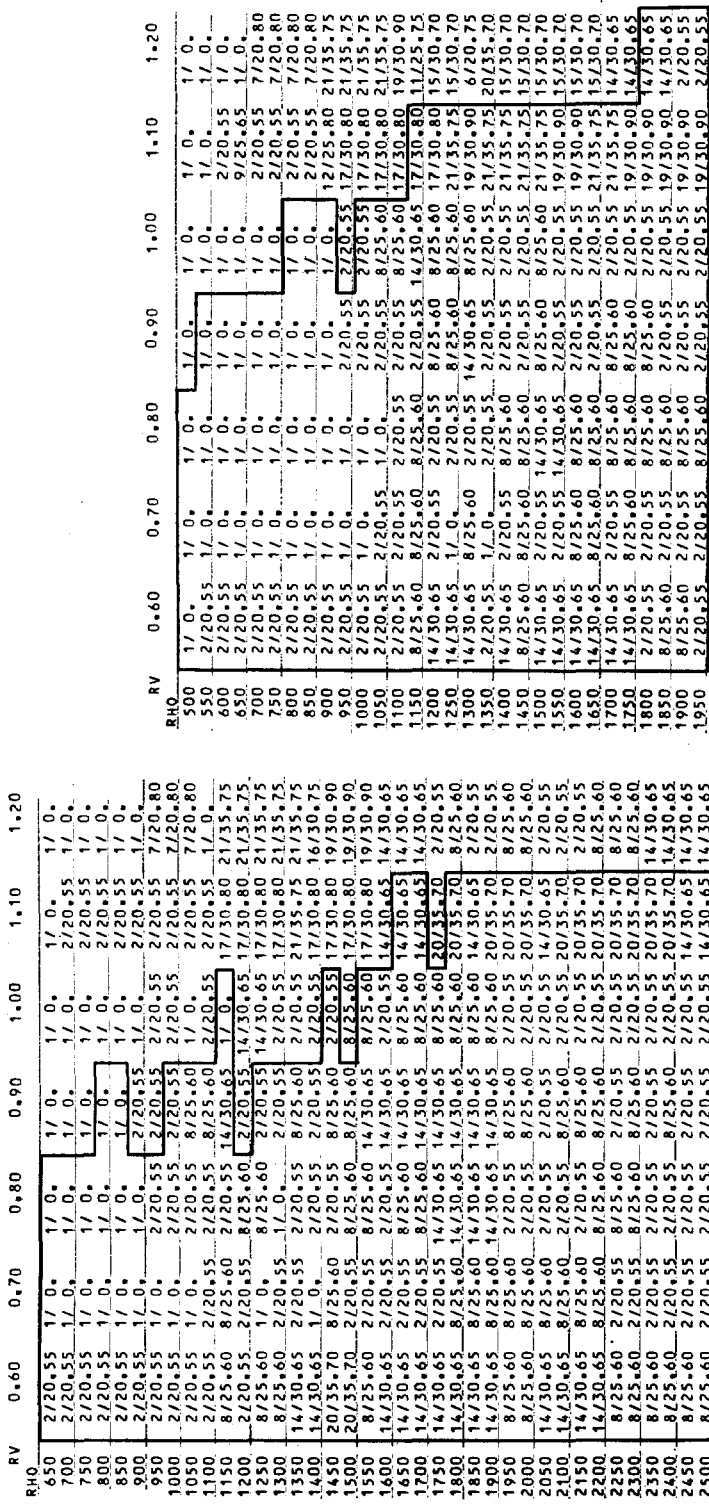


Fig. 4. つづき (Continued)

RHO	上層木平均樹高 Top height 20.0 m, 林齢 Stand age 47 yrs.									
	RV 0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20			
400	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.
450	2/20.55	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	4/20.65	7/20.80			
500	2/20.55	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	3/20.60	7/20.80			
550	2/20.55	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	3/20.60	17/30.80			
600	2/20.55	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	2/20.55	7/20.80			
650	2/20.55	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	18/30.85	12/25.80			
700	2/20.55	1/0.	1/0.	6/20.75	1/0.	2/20.55	7/20.80			
750	2/20.55	1/0.	1/0.	6/20.75	4/20.65	2/20.55	7/20.80			
800	2/20.55	1/0.	1/0.	5/20.70	9/25.65	13/25.85	6/20.75			
850	2/20.55	2/20.55	1/0.	10/25.70	14/30.65	17/30.80	11/25.75			
900	2/20.55	2/20.55	1/0.	10/25.70	14/30.65	17/30.80	11/25.75			
950	14/30.65	2/20.55	1/0.	15/30.70	18/30.85	21/35.75	6/20.75			
1000	20/35.70	2/20.55	20/35.70	20/35.70	2/20.55	17/30.80	11/25.75			
1050	20/35.70	8/25.60	2/20.55	20/35.70	18/30.85	12/25.80	20/35.70			
1100	8/25.60	8/25.60	2/20.55	8/25.60	2/20.55	12/25.80	15/30.70			
1150	14/30.65	14/30.65	2/20.55	2/20.55	2/20.55	17/30.80	20/35.70			
1200	14/30.65	8/25.60	2/20.55	2/20.55	1/0.	12/25.80	20/35.70			
1250	14/30.65	8/25.60	8/25.60	2/20.55	1/0.	21/35.75	20/35.70			
1300	2/20.55	8/25.60	8/25.60	2/20.55	2/20.55	21/35.75	20/35.70			
1350	2/20.55	8/25.60	14/30.65	8/25.60	8/25.60	21/35.75	20/35.70			
1400	2/20.55	2/20.55	14/30.65	14/30.65	2/20.55	21/35.75	10/25.70			
1450	8/25.60	8/25.60	8/25.60	14/30.65	2/20.55	12/25.80	10/25.70			
1500	8/25.60	8/25.60	14/30.65	8/25.60	2/20.55	25/40.75	10/25.70			
1550	8/25.60	8/25.60	14/30.65	14/30.65	2/20.55	21/35.75	10/25.70			
1600	8/25.60	8/25.60	8/25.60	14/30.65	2/20.55	21/35.75	10/25.70			

RHO	上層木平均樹高 Top height 21.9 m, 林齢 Stand age 54 yrs.									
	RV 0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20			
350	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.
400	2/20.55	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	32/*****
450	9/25.65	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	32/*****
500	2/20.55	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	32/*****
550	2/20.55	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	32/*****
600	8/25.60	10/25.70	5/20.70	5/20.70	5/20.70	1/0.	2/20.55	32/*****		
650	2/20.55	20/35.70	10/25.70	1/0.	1/0.	17/30.80	32/*****			
700	8/25.60	8/25.60	15/30.70	5/20.70	1/0.	17/30.80	32/*****			
750	8/25.60	8/25.60	20/35.70	20/35.70	1/0.	17/30.80	32/*****			
800	14/30.65	14/30.65	20/35.70	14/30.65	14/30.65	17/30.80	19/30.90			
850	20/35.70	2/20.55	2/20.55	9/25.65	2/20.55	17/30.80	6/20.75			
900	2/20.55	8/25.60	8/25.60	9/25.65	8/25.60	12/25.80	6/20.75			
950	2/20.55	2/20.55	14/30.65	14/30.65	2/20.55	12/25.80	6/20.75			
1000	2/20.55	2/20.55	8/25.60	14/30.65	8/25.60	12/25.80	20/35.70			
1050	8/25.60	8/25.60	14/30.65	14/30.65	8/25.60	21/35.75	20/35.70			
1100	8/25.60	8/25.60	14/30.65	2/20.55	2/20.55	21/35.75	20/35.70			
1150	14/30.65	8/25.60	2/20.55	2/20.55	2/20.55	21/35.75	10/25.70			
1200	14/30.65	8/25.60	8/25.60	8/25.60	8/25.60	21/35.75	14/30.65			
1250	8/25.60	2/20.55	8/25.60	2/20.55	2/20.55	20/35.70	14/30.65			
1300	8/25.60	2/20.55	8/25.60	2/20.55	2/20.55	21/35.75	14/30.65			
1350	2/20.55	2/20.55	8/25.60	2/20.55	2/20.55	21/35.75	14/30.65			

Fig. 4. つづき (Continued)

位でも、比較的弱度の下層木を主な対象とする間伐が指示されている。本数の少ないところでは、No. 2 および No. 8、本数が多く立木度の高い林分では、伐採率を高めた No. 14、No. 20 などの方法である。これらの本数間伐率はそれぞれ 20、25、30 および 35% であるが、 D_T/D 比は指定された本数間伐率に対する最低の値になっている。つまり、うっ閉後しばらくの間は、林分密度と立木度が増加するに従って伐採率を高めなければならないが、選木については下層木を主体にすべきだということになる。

上層木平均樹高が 16 m になると、立木度 1.1 と 1.2 でそれまでと違った選択が行われる。例えば立木度 1.1 では、本数 1,050~1,100 本から 1,600~1,900 本の間で、No. 17、No. 18、No. 19 または No. 13 など、 D_T/D 比が 80% 以上の伐採方法が採用される。同様に、立木度 1.2 でも、ha 当たり本数が 950 本以上になると、No. 7、No. 19、No. 21 など D_T/D 比が 75% 以上の方法が指示されている。ただ、立木度 1.2 では、本数が 1,600 本/ha 以上になると、再び下層間伐が採択される。

一方、立木度が 1.0 以下の林分では、地位と生育段階によって組合せのパターンは異なるが、計画期間の全体を通じて下層間伐を中心にした選択が行われる。

立木度 1.1 または 1.2 で D_T/D 比が高くなる理由は、立木度がすでに十分な水準に達して飽和状態にあるため、上層木を含む間伐で立木度を一度低下させる方がその後の生長に有利になるためと考えられる。それと同時に、間伐収益の寄与も大きい要素である。生育段階が進んで立木度が高く、本数が少ないというのは、利用径級に達した木が多く含まれることであるから、上層木に重点をおいた選木によってプラスの間伐収益をあげることができる。したがって、上層間伐の実行は二重の利益を生み出すことになる。

同じ傾向は生育がさらに進んでも続くが、地位指数 14 と 16 では、上層木平均樹高が 22 m になると皆伐を是とする場合が現れる。そのような林分は、直径が大きくかつ大きさのそろった林で、 m^3 あたりの材価も期待できる上限に近いため温存はかえって不利になる。ただ、その後の総収益の低下は急激なものではないから、現実問題としてはこの結果は主伐を強制するものでなく、伐期決定の参考とするのが適当と思われる。主伐を有利とする林分状態が初めて現れるのは、地位指数 14 で 54 年、16 で 46 年であるが、地位指数 12 では 60 年の計画期間内にこのような状態は出現しない。

皆伐が最良の選択となる本数と立木度の組合せは、最適間伐計画の目標領域である。それは、皆伐以外の方法では、もはや総収益を増加させ得ないことで明らかである。Fig. 4 の間伐方法の指示は、この目標に最も効率的に到達する道筋を示している。しかし、林分の出発点の状態によっては、例えば地位指数 12 のように、計画期間内にこの状態に達し得ない場合もある。

Fig. 4 の各表で実線で区画した部分は、計画期間内にそのような最適状態に到達できない林分の範囲を示している。この範囲は、生育初期ほど、地位の良好な林分ほど狭くなっている。これは、地位が低く生長が遅い場合、また計画期間の終期においては、林分内容の悪い林を最適状態に誘導するだけの時間的余裕がないことを示している。

(2) 利用的間伐

地位指数 14 に対する利用的間伐の指針表を Fig. 5 に示す。この場合は収益が負になる方法を除くため、若い生育段階で間伐を実行できる場合はほとんどない。特に上層木平均樹高の 12 m と 14 m では、地位指数 12 で例外的な間伐指定が出てくるだけで、他はすべて無間伐が最良の選択になっている。

上層木平均樹高が 16 m になると、各地位とも立木度 1.0 またはそれ以上のところで間伐を有利とする場合が出てくる。しかし、出材量と平均径級がある水準に達しないと収益は正にならないから、選ばれる

RHO	RV	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20
1050	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1100	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1150	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1200	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1250	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1300	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1350	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1400	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1450	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1500	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1550	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1600	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1650	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1700	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1750	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1800	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1850	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1900	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1950	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2000	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2050	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2100	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2150	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2200	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2250	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2300	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2350	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2400	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2450	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2500	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2550	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2600	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2650	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2700	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2750	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2800	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2850	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2900	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2950	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
3000	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
3050	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
3100	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0

上層木平均樹高 Top height 12.2 m, 林齢 Stand age 26 yrs.

RHO	RV	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20
850	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
900	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
950	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1000	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1050	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1100	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1150	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1200	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1250	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1300	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1350	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1400	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1450	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1500	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1550	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1600	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1650	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1700	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1750	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1800	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1850	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1900	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
1950	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2000	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2050	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2100	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2150	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2200	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2250	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2300	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2350	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2400	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2450	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2500	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2550	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
2600	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****
2650	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****
2700	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****
2750	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****
2800	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****
2850	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****
2900	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****
2950	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****
3000	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****	32/*****

上層木平均樹高 Top height 14.0 m, 林齢 Stand age 30 yrs.

Fig. 5. 利用的間伐の指針
Optimal thinning guides for the commercial thinning.

林業利率 Annual rate of interest 3.5%, 地位指数 Site index 14,

点線は利用的間伐が計画期間の終わりまで継続して実行できない林分状態の範囲を示す

The dotted line indicates the region of initial stand conditions in which the commercial thinning is not practicable before the end of planning period. Others are same as Fig. 4.

RH0	RV	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20
650	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
700	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
750	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
800	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
850	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
900	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	13/25.85	1/0
950	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	18/30.85	7/20.80
1000	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	13/25.85	7/20.80
1050	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	13/25.85	7/20.80
1100	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	13/25.85	16/30.75
1150	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	12/25.80	21/35.75
1200	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	17/30.80	21/35.75
1250	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	17/30.80	21/35.75
1300	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	17/30.80	21/35.75
1350	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	21/35.75	21/35.75
1400	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	17/30.80	16/30.75
1450	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	17/30.80	19/30.90
1500	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	17/30.80	1/0
1550	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	17/30.80	19/30.90
1600	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	19/30.90	1/0
1650	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	19/30.90	1/0
1700	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	19/30.90	1/0
1750	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	19/30.90	18/30.85
1800	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	19/30.90	22/35.80
1850	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	19/30.90	18/30.85
1900	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	19/30.90	18/30.85
1950	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	19/30.90	18/30.85
2000	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	19/30.90	18/30.85
2050	32/****	32/****	32/****	32/****	32/****	19/30.90	23/35.85	
2100	32/****	32/****	32/****	32/****	32/****	19/30.90	23/35.85	
2150	32/****	32/****	32/****	32/****	32/****	19/30.90	23/35.85	
2200	32/****	32/****	32/****	32/****	32/****	19/30.90	23/35.85	
2250	32/****	32/****	32/****	32/****	32/****	19/30.90		
2300	32/****	32/****	32/****	32/****	32/****	19/30.90		
2350	32/****	32/****	32/****	32/****	32/****	19/30.90		
2400	32/****	32/****	32/****	32/****	32/****	19/30.90		
2450	32/****	32/****	32/****	32/****	32/****	19/30.90		
2500	32/****	32/****	32/****	32/****	32/****	19/30.90		

上層木平均樹高 Top height 16.0 m, 林齡 Stand age 35 yrs.

RH0	RV	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20
500	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
550	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
600	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
650	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	9/25.65	1/0
700	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	18/30.85	7/20.80
750	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	18/30.85	7/20.80
800	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	13/25.85	7/20.80
850	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	13/25.85	7/20.80
900	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	12/25.80	21/35.75
950	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	17/30.80	21/35.75
1000	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	13/25.85	17/30.80
1050	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	18/30.85	12/25.80
1100	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	13/25.85	12/25.80
1150	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	17/30.80	11/25.75
1200	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	13/25.85	17/30.80
1250	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	13/25.85	21/35.75
1300	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	19/30.90	6/20.75
1350	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	21/35.75	20/35.70
1400	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	22/35.80	21/35.75
1450	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	13/25.85	1/0
1500	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	21/35.75	15/30.70
1550	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	19/30.90	15/30.70
1600	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	21/35.75	15/30.70
1650	32/****	32/****	19/30.90	19/30.90	17/30.80	21/35.75	15/30.70	
1700	32/****	32/****	19/30.90	19/30.90	19/30.90	21/35.75	18/30.85	
1750	32/****	32/****	32/****	19/30.90	19/30.90	19/30.90	18/30.85	
1800	32/****	32/****	32/****	19/30.90	19/30.90	19/30.90	18/30.85	
1850	32/****	32/****	32/****	19/30.90	19/30.90	19/30.90	18/30.85	
1900	32/****	32/****	32/****	19/30.90	19/30.90	23/35.85	18/30.85	
1950	32/****	32/****	32/****	32/****	23/35.85	23/35.85	18/30.85	

上層木平均樹高 Top height 18.1 m, 林齡 Stand age 41 yrs.

Fig. 5. つづき (Continued)

RV	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20
RHO							
400	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.
450	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	4/20.65	7/20.80
500	7/20.80	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	3/20.60	7/20.80
550	6/20.75	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	3/20.60	17/30.80
600	6/20.75	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	13/25.85	7/20.80
650	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	18/30.85	12/25.80
700	1/0.	1/0.	1/0.	6/20.75	1/0.	8/25.60	7/20.80
750	1/0.	1/0.	1/0.	6/20.75	4/20.65	7/20.80	7/20.80
800	1/0.	1/0.	1/0.	5/20.70	9/25.65	13/25.85	6/20.75
850	1/0.	1/0.	1/0.	10/25.70	14/30.65	17/30.80	11/25.75
900	1/0.	1/0.	1/0.	10/25.70	14/30.65	17/30.80	11/25.75
950	1/0.	1/0.	1/0.	15/30.70	18/30.85	21/35.75	6/20.75
1000	1/0.	1/0.	20/35.70	20/35.70	1/0.	17/30.80	11/25.75
1050	1/0.	1/0.	1/0.	20/35.70	18/30.85	12/25.80	20/35.70
1100	1/0.	1/0.	18/30.85	18/30.85	1/0.	12/25.80	15/30.70
1150	1/0.	1/0.	18/30.85	18/30.85	22/35.80	17/30.80	20/35.70
1200	1/0.	1/0.	1/0.	18/30.85	1/0.	12/25.80	20/35.70
1250	1/0.	1/0.	1/0.	18/30.85	1/0.	21/35.75	20/35.70
1300	1/0.	1/0.	1/0.	18/30.85	22/35.80	21/35.75	20/35.70
1350	1/0.	1/0.	1/0.	17/30.80	22/35.80	21/35.75	20/35.70
1400	32/*****	32/*****	22/35.80	17/30.80	22/35.80	21/35.75	10/25.70
1450	32/*****	32/*****	22/35.80	22/35.80	22/35.80	12/25.80	10/25.70
1500	32/*****	32/*****	22/35.80	22/35.80	22/35.80	25/40.75	10/25.70
1550	32/*****	32/*****	13/25.85	22/35.80	17/30.80	21/35.75	10/25.70
1600	32/*****	32/*****	13/25.85	22/35.80	21/35.75	21/35.75	10/25.70

上層木平均樹高 Top height 20.0 m, 林齢 Stand age 47 yrs.

RV	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20
RHO							
350	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	32/*****	32/*****
400	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	32/*****	32/*****
450	9/25.65	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	32/*****	32/*****
500	6/20.75	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	32/*****	32/*****
550	16/30.75	1/0.	1/0.	1/0.	1/0.	2/20.55	32/*****
600	20/35.70	10/25.70	5/20.70	5/20.70	1/0.	2/20.55	32/*****
650	20/35.70	20/35.70	10/25.70	1/0.	1/0.	17/30.80	32/*****
700	1/0.	1/0.	15/30.70	5/20.70	1/0.	17/30.80	32/*****
750	1/0.	1/0.	20/35.70	20/35.70	1/0.	17/30.80	32/*****
800	1/0.	1/0.	20/35.70	14/30.65	14/30.65	17/30.80	19/30.90
850	1/0.	1/0.	18/30.85	9/25.65	1/0.	17/30.80	6/20.75
900	1/0.	13/25.85	18/30.85	9/25.65	13/25.85	12/25.80	6/20.75
950	1/0.	17/30.80	17/30.80	14/30.65	1/0.	12/25.80	6/20.75
1000	1/0.	21/35.75	21/35.75	14/30.65	22/35.80	12/25.80	20/35.70
1050	1/0.	21/35.75	13/25.85	14/30.65	22/35.80	21/35.75	20/35.70
1100	1/0.	21/35.75	13/25.85	22/35.80	17/30.80	21/35.75	20/35.70
1150	1/0.	1/0.	17/30.80	22/35.80	21/35.75	21/35.75	10/25.70
1200	1/0.	1/0.	22/35.80	22/35.80	21/35.75	21/35.75	14/30.65
1250	32/*****	17/30.80	22/35.80	22/35.80	17/30.80	16/30.75	14/30.65
1300	32/*****	7/20.80	21/35.75	17/30.80	17/30.80	20/35.70	14/30.65
1350	32/*****	32/*****	21/35.75	21/35.75	21/35.75	20/35.70	14/30.65

上層木平均樹高 Top height 21.9 m, 林齢 Stand age 54 yrs.

Fig. 5. つづき (Continued)

方法は間伐率の高い上層木を主とする間伐になる。上層木平均樹高が 18 m では、立木度 0.8, 0.9 の本数の多いところでも間伐指定が現れ、さらに上層木平均樹高が 20, 22 m になると、この傾向は、本数が少なく立木度の低い林分状態にも波及してくる。そうして、No. 2~No. 5, No. 8, No. 9, No. 14 および No. 15 などの下層間伐の方法は、計画期間の終わりになって、立木度が高く本数の少ないところで例外的に選ばれるだけで、その他はほとんどが無間伐の指定である。

林齢 60 年までに最適状態に到達できない初期林分状態の範囲は、Fig. 5 に実線で示してある。

利用的間伐の特徴は、早い時期から指針表の左下隅に皆伐指定が現れることである。これは、保育的間伐で計画期間の終わりに指針表の右上隅に出てくる皆伐指定とは意味が違っている。すなわち、最適伐期に到達したのでなく、採算性を重視する利用的間伐の考え方では、収量比数、立木度、間伐率、 D_T/D 比などの制約を満足する林分管理がそれ以上継続できないことを示している。無間伐で放置すれば、次分期の収量比数が上限の 0.9 以上になり、一方林分内容が貧弱なため、どの間伐方法を採用しても間伐収益がプラスにならないのである。

また、とりあえずは利用的間伐が実行できても、数分期ののちに同じ理由で間伐ができなくなることもある。この両方の場合を含めて、利用的間伐を継続的に実行できない初期状態の範囲を Fig. 5 に点線で囲んで示した。そのような林分は、保育的間伐の指針に従うか、また早目に除伐を実行するなどして、利用的間伐が最後まで実行できる林分内容に誘導しておく必要がある。

3. 最適間伐計画と収穫予想

Fig. 4 または Fig. 5 の間伐指針に従うとき、種々の初期状態に対して、どのような林分生長と収穫量が期待できるであろうか。これは Fig. 2 の step 13 以降で求められる収穫表によって知ることができる。ここでは、まず計算例を示し、次にいくつかの初期林分状態から出発する最適間伐計画の収穫表を求めて、保育的間伐と利用的間伐の特徴を角度をかえて検討する。

(1) 間伐前の林分状態*

地位指数 14, 林齢 26 年, 立木度 1.0, ha 当たり本数 1,700 本の林分に保育的間伐を適用する場合を考える。

上層木平均樹高を H_T , 地位指数を S また林齢を t とおくと、トドマツの地位指数曲線

$$H_T = h_1(t) + (S - h_1(30))h_2(t)/h_2(30) \dots\dots\dots(9)$$

$$h_1(t) = 36.73 - 39.5879(0.9853)^t \dots\dots\dots(10)$$

$$\log h_2(t) = 0.7293 - 2.8155(0.8767)^t \dots\dots\dots(11)$$

から、この林分の現在の上層木平均樹高は 12.23 m である。これから、収量密度効果式による理論材積は、ha 当たり本数を ρ として、

$$\begin{aligned} V_E &= (0.23177H_T^{-1.667816} + 28839.5 H_T^{-3.597888}/\rho)^{-1} \\ &= 174.4 \text{ m}^3 \dots\dots\dots(12) \end{aligned}$$

となる。 V_E は林分密度管理⁽⁴⁾⁽⁵⁾の上で上層木平均樹高 12.2 m, 本数 1,700 本に対応する材積としても求められる。実材積はこれに立木度 R_V を乗じて、

$$V = V_E \times R_V = 174.4 \text{ m}^3$$

となる。また、林分形状高は推定式

* 計算式と計算方法については、文献 3) II-7 参照

$$HF = 0.1314 + 0.4595 H_T + 0.4541 R_V$$

により 6.1914 である。したがって、断面積平均直径は、

$$D_g = 200 \sqrt{V / (\pi \cdot HF \cdot \rho)} \quad \dots\dots\dots (13)$$

によって 14.52 cm と計算される。これを、

$$D = 0.13 + 0.9841 D_g - 0.5125 / R_V \quad \dots\dots\dots (14)$$

によって算術平均直径に換算すると 13.9 cm になる。平均樹高は、上層木平均樹高、本数および立木度から、

$$\begin{aligned} H_M &= -0.84 + 1.0341 H_T - 0.3578 H_T \sqrt{\rho} / (100 R_V) \\ &= 10.0 \text{ m} \quad \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

と推定される。

(2) 間伐木

立木度 1.0、本数 1,700 木のときの最適な間伐方法は、Fig. 4 から、本数間伐率 20%、 D_T/D 比 55% の下層間伐である。

材積間伐率は本数間伐率 P_{TN} と D_T/D 比から、

$$\begin{aligned} \log P_{TV} &= 0.0213 + 0.9422 \log P_{TN} + 2.6329 (D_T/D) \\ &= -1.3209 \quad \dots\dots\dots (16) \end{aligned}$$

すなわち、 $P_{TV} = 4.8\%$ である。したがって、間伐木は、

$$\text{本数 } \rho_T = 1,700 \times P_{TN} = 340 \text{ 本/ha}$$

$$\text{材積 } V_T = 174.4 \times P_{TV} = 8.34 \text{ m}^3$$

$$\text{平均直径 } D_T = 13.9 \times (D_T/D) = 7.6 \text{ cm}$$

また、平均樹高は次式により、

$$\begin{aligned} \log P_{TH} &= 0.0267 + 1.0252 \log P_{TN} + 0.5230 \log (D_T/D) \\ &= -0.8257 \quad \dots\dots\dots (17) \end{aligned}$$

として、 $P_{TH} = 0.1494$ を求め、

$$H_{MT} = P_{TH} \cdot H_M / P_{TN} = 7.5 \text{ m}$$

となる。

(3) 残存木

残存木は、上の結果を使って、

$$\text{本数 } \rho_R = 1,700 - 340 = 1,360 \text{ 本}$$

$$\text{材積 } V_R = 174.4 - 8.3 = 166.1 \text{ m}^3$$

また、平均直径と平均樹高はそれぞれ、

$$D_R = \frac{D - P_{TN} \cdot D_T}{1 - P_{TN}} = 15.5 \text{ cm} \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$H_{MR} = \frac{(1 - P_{TH}) \cdot H_M}{1 - P_{TN}} = 10.6 \text{ m} \quad \dots\dots\dots (20)$$

となる。立木度については、(12)式で残存木に対する理論材積 $V_E = 159.9 \text{ m}^3$ を求め、これから、

$$R_V = 166.1 / 159.9 = 1.039$$

のように計算される。

(4) 次分期の状態

間伐は上層木平均樹高が 2 m 伸長するごとに実行するので、次期の上層木平均樹高は 14 m である。そのときの立木度は、(8)式に上で求めた R_V を代入して $R_{VY}=1.077$ となる。ただし、この値は 5 年間の変化であるから、期間年数が違うときには補正が必要である。これは次のようにする。

期間年数が 5 年未満のときは、立木度の 5 年間の変化量の $\frac{n}{5}$ を期首の値に加える。また $n > 5$ のときは、(8)式で必要な回数だけ予測を繰り返し、最後の 5 年未満の年数について、 $n < 5$ と同じ扱いをする。

いまの場合、 $n=4$ であるから、

$$R_{VY}=1.039+(1.077-1.039)\times\frac{4}{5}=1.069$$

となる。

本数の変化は、手計算のときは林分密度管理図の自然間引き線を補間して読みとる。すなわち、この場合には 1,341 本である。

以上の結果から、本数 1,350 本、立木度 1.1 として、Fig. 4 の上層木平均樹高 14 m の指針表をひくと、2 回目の間伐でも本数間伐率 20%、 D_T/D 比 55% の下層間伐が指示されている。

このあと同様な計算を繰り返して、最終的には Fig. 6 の収穫表が完成する。なお、Fig. 6 には、林齢

*** OPTIMUM THINNING SCHEDULE ***

AGE		HT	HM	DM	DT/DA	RHO	PTN	VOL	PTV	RV	SVALL	VMAI	RY
26	WHOLE	12.2	10.0	13.9		1700.		174.4		1.000	174.4	6.7	0.71
	REMOV		7.5	7.6	55.0	340.	20.0	8.3	4.8				
	RESID		10.6	15.5		1360.		166.1		1.039			0.66
30	WHOLE	14.0	11.9	17.2		1341.		235.4		1.069	243.7	8.1	0.73
	REMOV		8.9	9.4	55.0	268.	20.0	11.2	4.8				
	RESID		12.7	19.1		1073.		224.1		1.109			0.68
35	WHOLE	16.0	14.0	21.0		1057.		311.5		1.129	331.1	9.5	0.74
	REMOV		10.5	11.6	55.0	211.	20.0	14.9	4.8				
	RESID		14.9	23.4		846.		296.7		1.170			0.69
40	WHOLE	17.7	15.9	24.9		837.		380.7		1.171	415.1	10.4	0.74
41	WHOLE	18.1	16.3	25.3		835.		397.4		1.172	431.9	10.5	0.75
	REMOV		14.8	20.2	80.0	167.	20.0	50.9	12.8				
	RESID		16.6	26.5		668.		346.5		1.111			0.68
45	WHOLE	19.4	17.6	28.1		663.		413.1		1.127	498.5	11.1	0.72
47	WHOLE	20.0	18.2	28.8		661.		446.4		1.134	531.8	11.3	0.73
	REMOV		17.2	24.5	85.0	198.	30.0	98.3	22.0				
	RESID		18.6	30.7		462.		348.1		1.021			0.62
50	WHOLE	20.8	19.2	31.9		461.		396.3		1.046	580.0	11.6	0.64
54	WHOLE	21.9	20.3	33.7		459.		461.6		1.076	645.3	11.9	0.68
55	WHOLE	22.2	20.5	34.1		458.		477.6		1.081	661.3	12.0	0.68
60	WHOLE	23.5	21.8	36.1		456.		558.1		1.109	741.8	12.4	0.71
	REMOV		21.8	36.1	100.0	456.	100.0	558.1	100.0				

*** OPT. FELL. AGE = 54 ***

Fig. 6. 最適間伐計画に対する収穫予測

An example of yield forecasting based on the optimal thinning schedule.

地位指数 14, 林齢 26 年, 本数 1,700 本, 立木度 1.0 から出発する場合

Initial stand condition: Age 26 yrs., number of stems per ha 1700, relative volume 1.0.

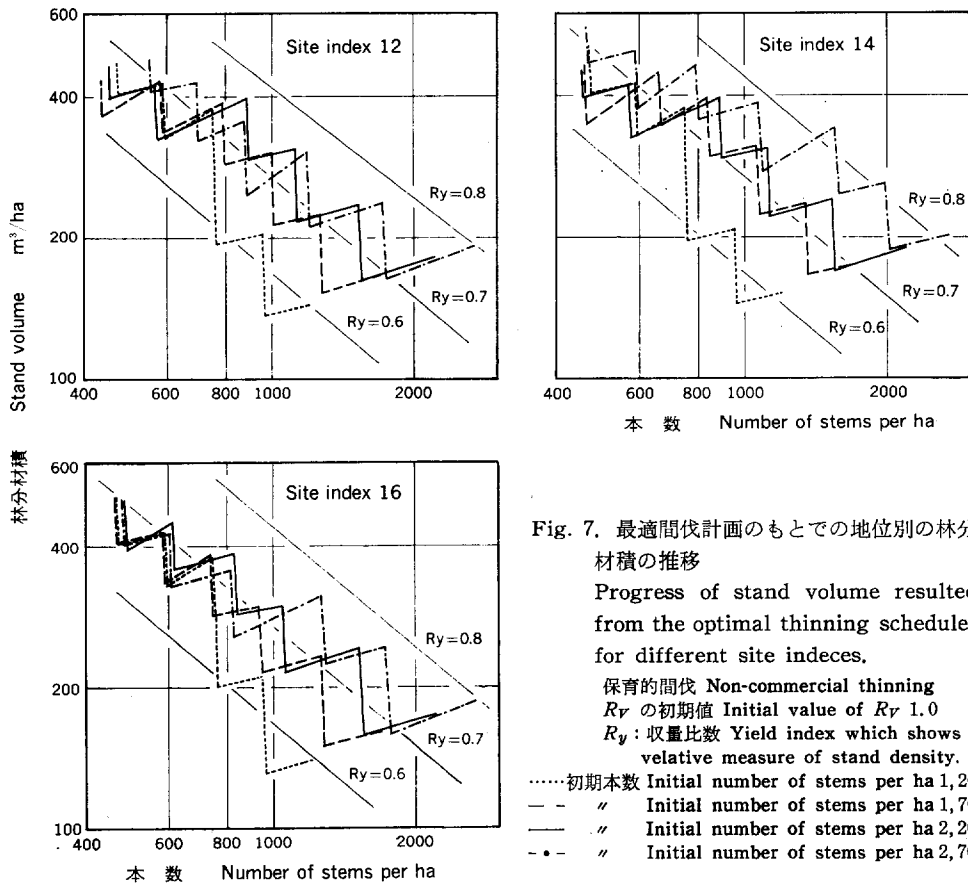


Fig. 7. 最適間伐計画のもとでの地位別の林分材積の推移

Progress of stand volume resulted from the optimal thinning schedules for different site indices.

保育的間伐 Non-commercial thinning

R_v の初期値 Initial value of R_v 1.0

R_y : 収量比数 Yield index which shows the relative measure of stand density.

- 初期本数 Initial number of stems per ha 1,200
- " Initial number of stems per ha 1,700
- " Initial number of stems per ha 2,200
- · - · " Initial number of stems per ha 2,700

Table 2. 初期本数と最終の林分状態の関係 (保育の間伐)
Relation between initial density and final stand condition resulted from the optimal thinning schedule (Non-commercial thinning)
立木度の初期値 Starting relative volume 1.0

地位指数 Site index	初期本数 Initial No. of stems	最適伐期 Optimal felling age (yrs.)	最終林分 Final stand				
			平均直径 Ave. d.b.h. (cm)	本数 No. of stems	材積 Volume (m³)	立木度 Relative volume	収量比数 Yield index
12	1,200	60	34.2	469	472	1.19	0.68
	1,700	60	34.1	435	434	1.14	0.69
	2,200	60	34.5	452	463	1.18	0.67
	2,700	60	31.9	551	482	1.14	0.72
14	1,200	54	35.1	468	510	1.18	0.70
	1,700	54	33.7	459	462	1.08	0.68
	2,200	54	35.4	451	500	1.17	0.69
	2,700	60	36.0	465	568	1.12	0.72
16	1,200	46	35.0	467	507	1.18	0.70
	1,700	46	35.2	462	508	1.19	0.70
	2,200	46	34.1	485	500	1.15	0.70
	2,700	46	34.7	478	509	1.17	0.70

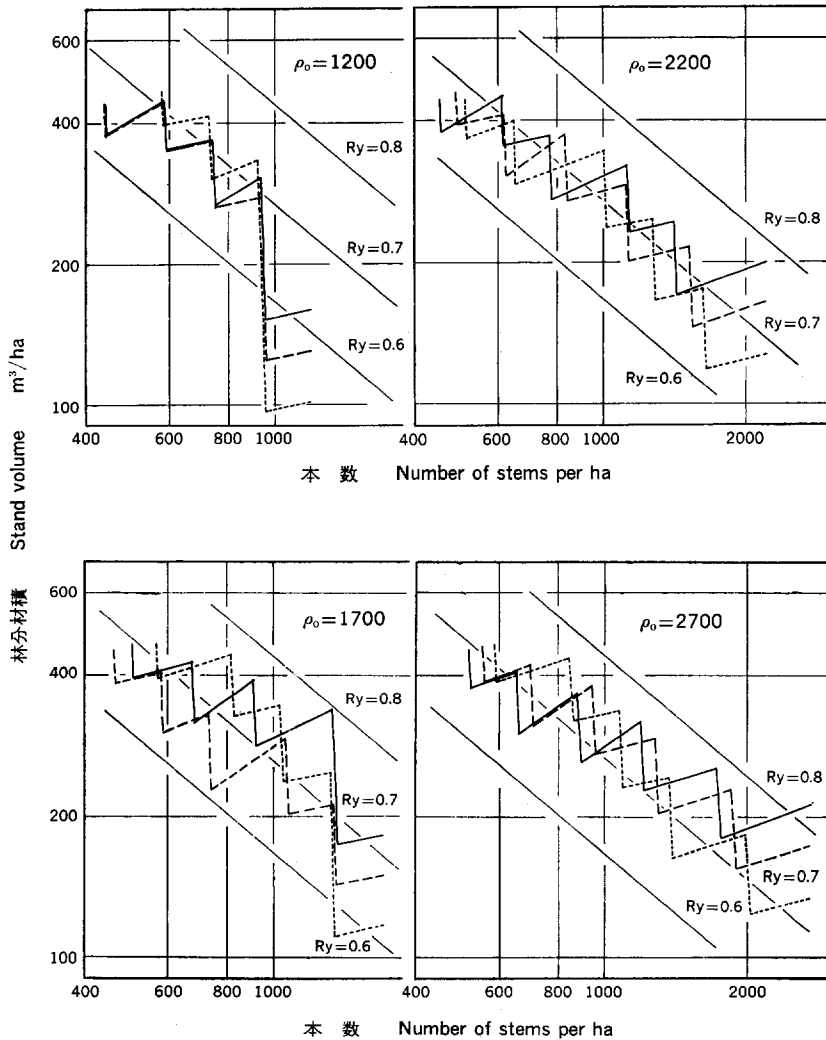


Fig. 8. 種々の初期林分状態から出発する最適間伐計画
Progress of stand volume resulted from the optimal thinning.
schedules for different intitial stand condition

保育的間伐 Non-commercial thinning, 地位指数 Site index 12
 — R_V の初期値 Initial relative volume 1.1
 - - - R_V " Initial relative volume 0.9
 R_V " Initial relative volume 0.7

54年以最適伐期に達したあと、60年まで生育させた場合の数値が示してある。

(5) 保育的間伐の場合

地位指数 12, 14 および 16 について, 上層木平均樹高 12 m から始まる最適間伐計画の収穫表を作成し, ha 当たり本数と林分材積の推移を示すと Fig. 7~10 のようになる。

Fig. 7 は地位間の傾向を比較したもので, 初めの立木度を 1.0 にそろえ, 本数をそれぞれ 1,200, 1,700, 2,200 および 2,700 本から出発させた場合である。

林分の密度管理は, 全体として収量比数を 0.7 の水準に収束させるように進行し, 初期本数の多少によ

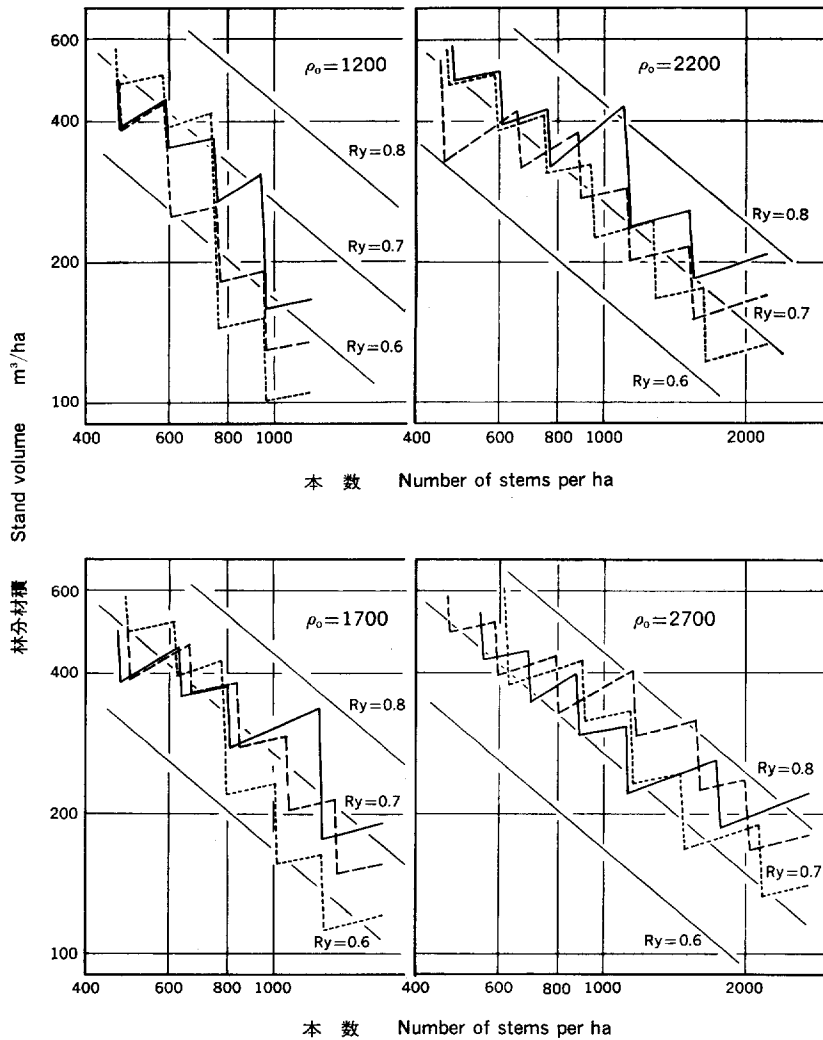


Fig. 9. 種々の初期林分状態から出発する最適間伐計画
Progress of stand volume resulted from the optimal thinning
schedules for different initial stand condition.

保育的間伐 Non-commercial thinning, 地位指数 Site index 14
説明は Fig. 8 と同じ Instructions are same as Fig. 8

って当初 0.6~0.8 の間にあった収量比数が、最終的には 0.65~0.70 の比較的狭い範囲に落ちついている。

前節で述べたように、地位指数 12 では 60 年より前に皆伐が指示されることはないが、地位指数 14 では初期本数 1,200, 1,700, 2,200 本/ha のときに林齢 54 年で皆伐指定となる。この場合の林分状態は Table 2 に示すように、ha 当たり本数は 450~470 本、林分平均直径は 34~35 cm である。また地位指数 12 では、初めの本数が ha 当たり 2,200 本以下のとき、林齢 60 年で本数 440~470 本、平均直径は 34 cm の水準に達する。しかし、2,700 本から出発する場合には林齢 60 年でも平均直径は 32 cm である。

同様に、初めの立木度を 0.7, 0.9, 1.1 とし、地位と初期本数別に本数と材積の変化を示すと、Fig.

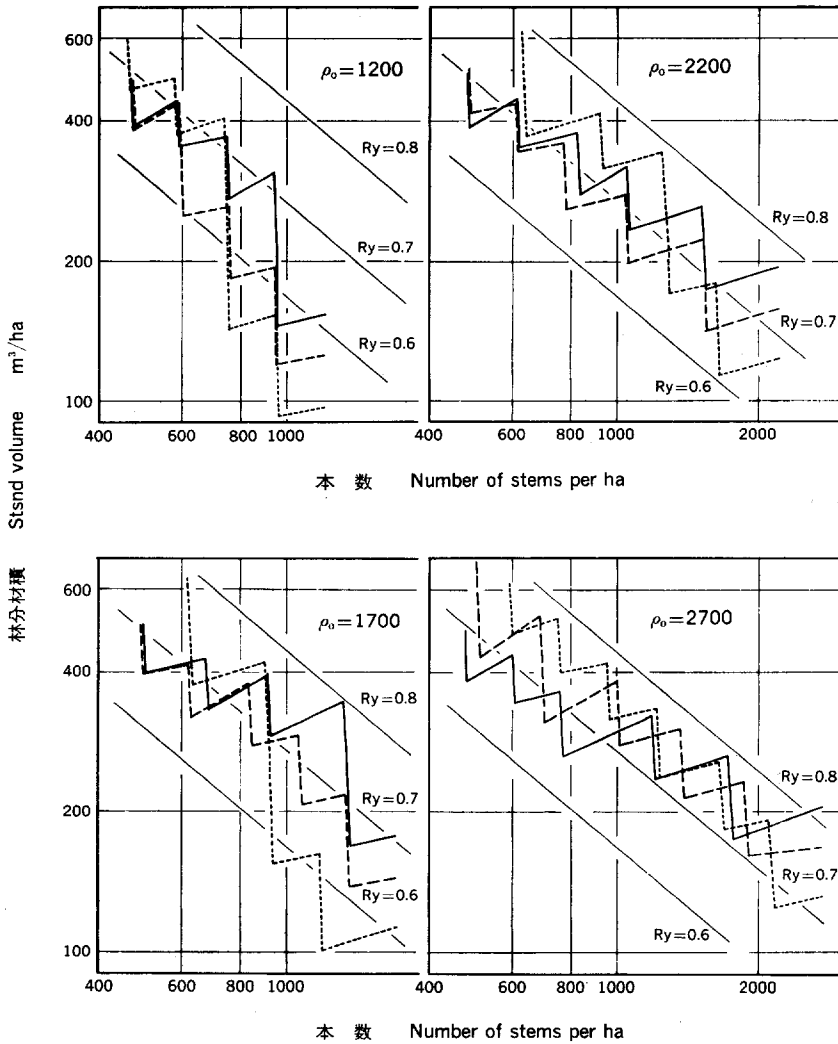


Fig. 10. 種々の初期林分状態から出発する最適間伐計画
Progress of stand volume resulted from the optimal thinning
schedules for different initial stand condition.

保育的間伐 Non-commercial thinning, 地位指数 Site index 16
説明は Fig. 8 と同じ Instructions are same as Fig. 8

8~Fig. 10 のようになる。

このときにも、最初に下層間伐が行われるのが共通している。同じ傾向は ha 当たり 1,200 本, 1,700 本など、比較的低い初期密度で次分期に間伐が見送られている場合にもみられる。上層木平均樹高が 12m というのは、林分が閉鎖して間もなくであり、そのときの伐採指定は、処理費用の少なくて済む小径木のうちに下層木を中心に不良木を整理し、林分の一様性を高めておくことがその後の取扱いに有利なることを示している。

Fig. 8~Fig. 10 においても、初期状態の違いにもかかわらず、林分の密度管理が収量比数 0.7 を中心としたものに次第に移っている。ただし、地位が良好で初期本数が多いときは、初めの立木度が高いほど

Table 3. 初期本数, 立木度と最終林分状態の関係 (保育の間伐)
 Relation between initial and final stand condition resulted from
 the optimal thinning schedules (Non-commercial thinning).

地位指数 Site index	初期林分状態 Initial stand condition		最適伐期 Optimal felling age (yrs.)	最終林分 Final stand				
	本数 No. of stems	立木度 Relative volume		平均直径 Ave. d.b.h. (cm)	本数 No. of stems	材積 Volume (m ³)	立木度 Relative volume	収量比数 Yield index
12	1,200	0.7	60	30.6	581	468	1.08	0.72
		0.9	60	34.2	439	440	1.14	0.66
		1.1	60	34.2	439	442	1.14	0.66
	1,700	0.7	60	31.0	568	468	1.09	0.72
		0.9	60	33.8	461	453	1.15	0.67
		1.1	60	32.8	502	465	1.14	0.69
	2,200	0.7	60	31.8	512	444	1.08	0.69
		0.9	60	33.1	489	460	1.14	0.69
		1.1	60	33.9	453	447	1.14	0.67
	2,700	0.7	60	30.4	586	464	1.07	0.72
		0.9	60	31.2	554	463	1.09	0.71
		1.1	60	31.9	517	451	1.09	0.69
14	1,200	0.7	60	36.3	463	576	1.14	0.72
		0.9	54	34.4	469	493	1.14	0.69
		1.1	54	34.6	467	496	1.15	0.69
	1,700	0.7	60	35.7	487	585	1.14	0.73
		0.9	54	33.8	491	498	1.13	0.70
		1.1	54	34.4	468	492	1.14	0.69
	2,200	0.7	60	36.1	468	576	1.13	0.72
		0.9	60	35.7	452	543	1.08	0.71
		1.1	60	36.0	477	584	1.14	0.73
	2,700	0.7	60	32.3	613	605	1.09	0.78
		0.9	60	36.4	464	581	1.15	0.73
		1.1	54	33.3	545	535	1.17	0.74
16	1,200	0.7	53	36.7	461	594	1.12	0.73
		0.9	46	34.3	469	488	1.13	0.69
		1.1	46	34.6	466	493	1.15	0.69
	1,700	0.7	53	32.7	614	630	1.08	0.79
		0.9	46	34.1	490	503	1.15	0.71
		1.1	46	33.8	499	506	1.14	0.71
	2,200	0.7	53	32.3	627	628	1.07	0.79
		0.9	46	34.7	485	518	1.19	0.71
		1.1	46	34.0	485	496	1.13	0.70
	2,700	0.7	53	33.0	591	619	1.08	0.78
		0.9	60	36.8	503	699	1.09	0.78
		1.1	46	34.1	477	491	1.13	0.70

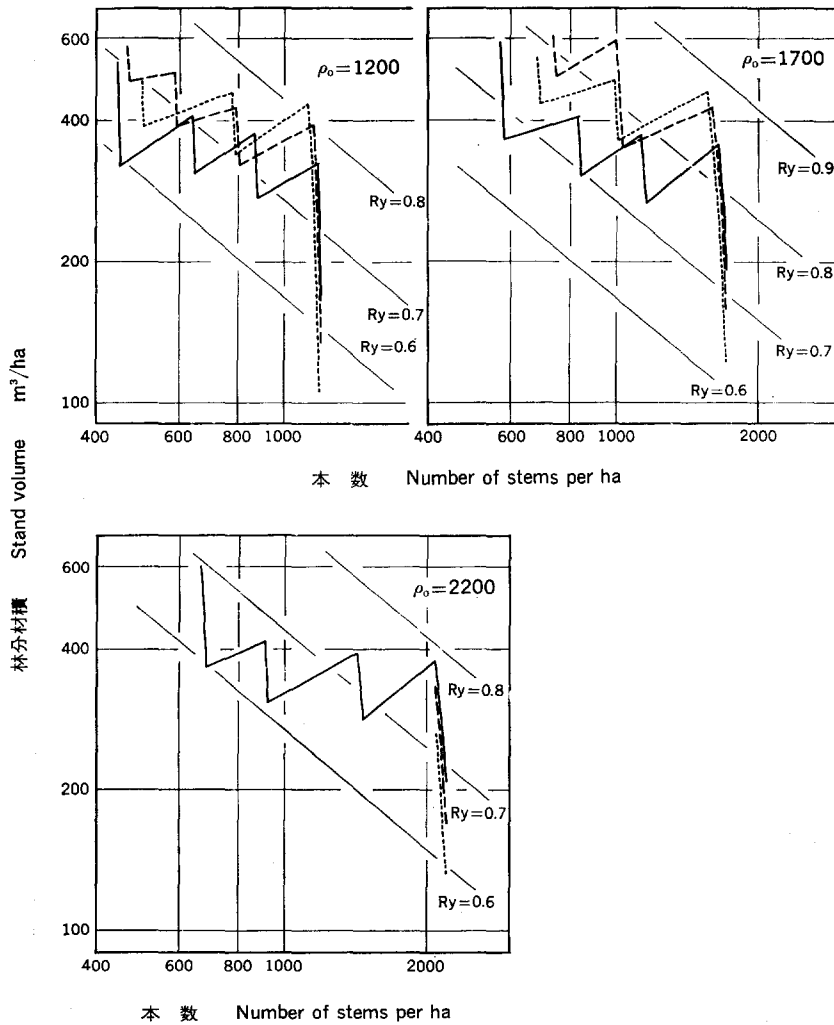


Fig. 11. 種々の初期林分状態から出発する最適間伐計画
Progress of stand volume resulted from the optimal thinning
schedules for different initial stand condition.

利用的間伐 Commercial thinning, 地位指数 Site index 12
説明は Fig. 8 と同じ Instructions are same as Fig. 8.

低目の収量比数に向かって管理が進められる傾向がある。

これらの図にみられるように、出発点の立木度が違えば、初期本数が等しくても生育経過、したがって、計画期間の終わりの林分状態にかなりの差異が生ずる (Table 3)。その理由の一つは、林分材積と林分平均直径に直接的な関係をもつ立木度が、出発点の値が低い場合には緩慢にしか増加せず、正常な立木度に容易に接近できないためと思われる。

これに比べると、立木度が正常であれば、Fig. 7 に示されるように、若い生育段階の林分密度の高低は望ましい林分状態への誘導の妨げにならない。伐期および伐期の林分状態により大きく影響するのは林分密度より立木度である。

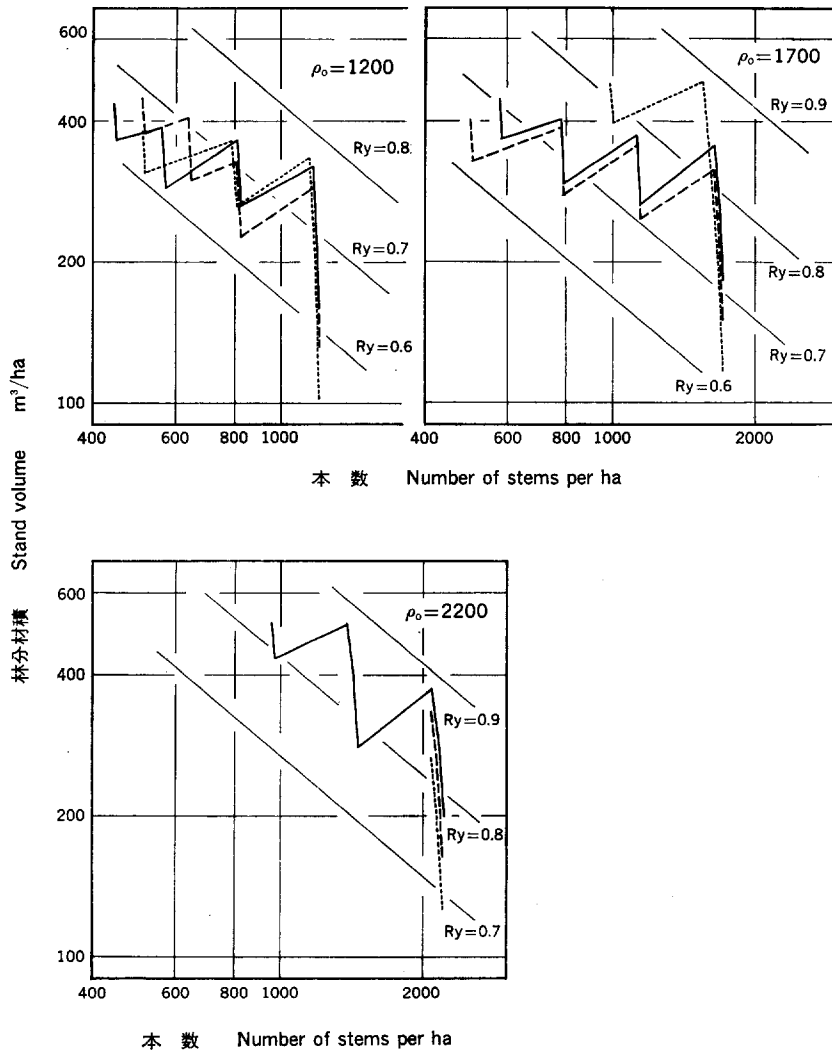


Fig. 12. 種々の初期林分状態から出発する最適間伐計画
Progress of stand volume resulted from the optimal thinning
schedules for different intitial stand condition.

利用的間伐 Commercial thinning, 地位指数 Site index 14
説明は Fig. 8 と同じ Instructions are same as Fig. 8.

(6) 利用的間伐の場合

利用的間伐における林分状態の推移を, Fig. 11~Fig. 13 に示す。不採算になる間伐方法を除外するため, 最初の数分期はすべて無間伐が指示される。このため間伐の実行回数が少なくなり, 計画期間内に最適状態に近づけるのが難しくなる。この影響は, 当初の立木度が低く本数が多いほど著しいので, 初期状態の違いによる計画期間の終わりの林分状態の差は保育的間伐の場合より大きくなる。

また, 間伐収益をあげながら限られた期間内に最適状態に接近しなければならないので, 保育的間伐のときより強度の, 上層木に重点をおいた選木方法がとられる。

計画期間内に3回の間伐が実行できるときには, 等収量比数曲線に交叉するように管理が行われ, 収量

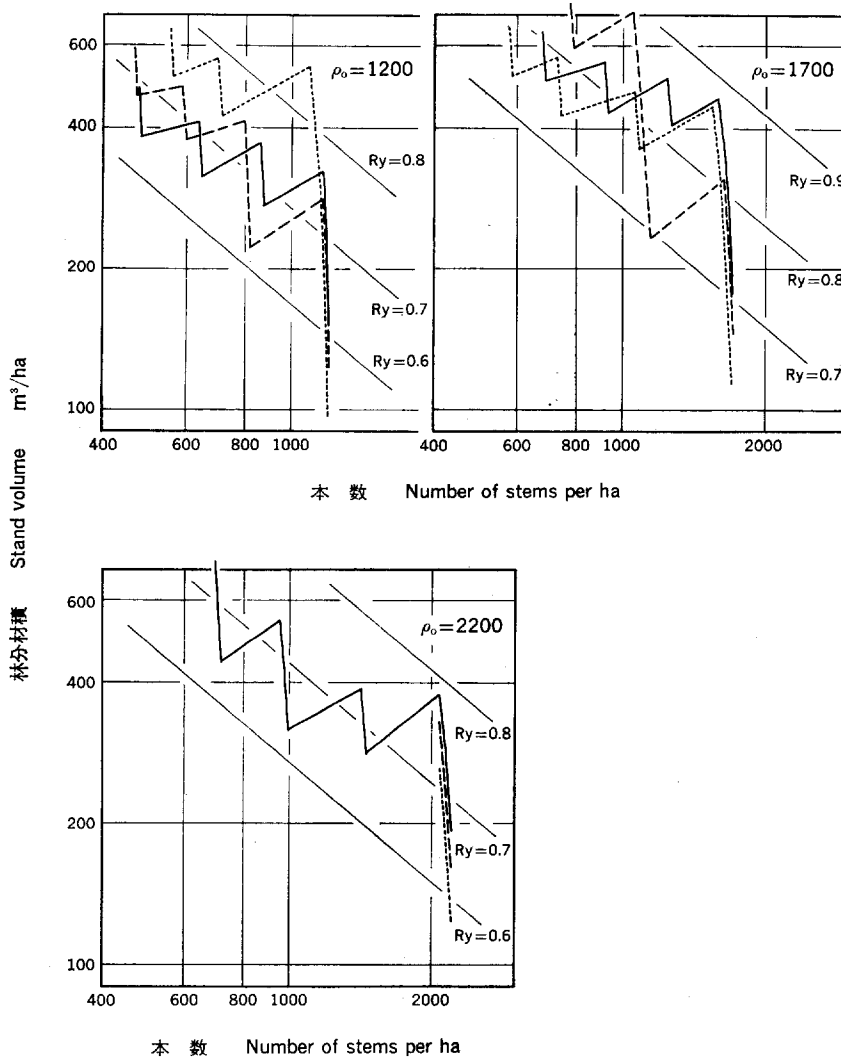


Fig. 13. 種々の初期林分状態から出発する最適間伐計画
Progress of stand volume resulted from the optimal thinning
schedules for different intial stand condition.

利用的間伐 Commercial thinning, 地位指数 Site index 16
説明は Fig. 8 と同じ Instructions are same as Fig. 8.

比数は第 1 回間伐前の値を最大として次第に低下していく。例えば、初めの立木度が 1.1 のとき、地位指数 12 で ha 当たり 1,200 本から出発する場合には、収量比数はほぼ 0.75 から 0.65 に、地位指数 14 で初期本数が 2,200 本/ha の場合は 0.9 に近い値から 0.8 へと変化している。

一方、間伐が 1 回または 2 回しか実行できないときは、1 回の間伐量に制限があるため、径級よりは量の生産に重点をおいた収量比数を高めに維持する管理になる。

初めの本数が ha 当たり 2,200 本以上になると、2,200 本で立木度 1.1 から出発する場合のほかは、どの地位においても、計画期間の途中で利用的間伐が継続できなくなる。利用的間伐の収益は、保育的間伐とのこのようなコース選択の違いのために、著しく低下する。

4. 期待収益

最適間伐計画に従うときの収益の前価合計(期待収益)は、最適化計算の中で分期と林分状態ごとに $f_t(p, \gamma)$ として記録されている。この値から、林分の初期状態の違いによって収益がどのように変化するかを検討してみよう。

計画期間が60年であるから、林齢60年の収益の前価は主伐収益で、これは Fig. 14 のようになる。各地位とも主伐収益は立木度の低下とともに急速に減少する。例えば、地位指数16では、立木度0.6のときの最大収益は立木度1.2の最大収益の約37%である。地位指数12では、これはさらに26%に低下する。

林分密度との関係では、どの立木度についても収益が最大になる本数範囲のあることが認められる。本数に対する期待収益曲線は、一般に地位が良く立木度が高い場合は放物線的な傾向となり、本数の少ない側での収益の低下が目立っている。これは、林分平均直径がすでに m^3 あたり材価を最大にする大きさに達していて、本数を減少させて平均直径をそれ以上大きくしても、収益に対する寄与は少なく、逆に ha 当たり材積の減少による損失の方が大きくなるためである。

一方、地位と立木度が低くなると、本数に対する収益曲線は扁平化して、本数の多い側での収益の低下が大きくなる。この場合は、本数増によって ha 当たり材積は増加するものの、立木度が高い場合に比べて過小な平均直径がさらに小さくなるため、材価の低下、生産費が割高になることによる損失を補てんできない。こうした理由で、主伐収益が最大になる点は立木度が低くなるに従って本数の少ない側に移動する。

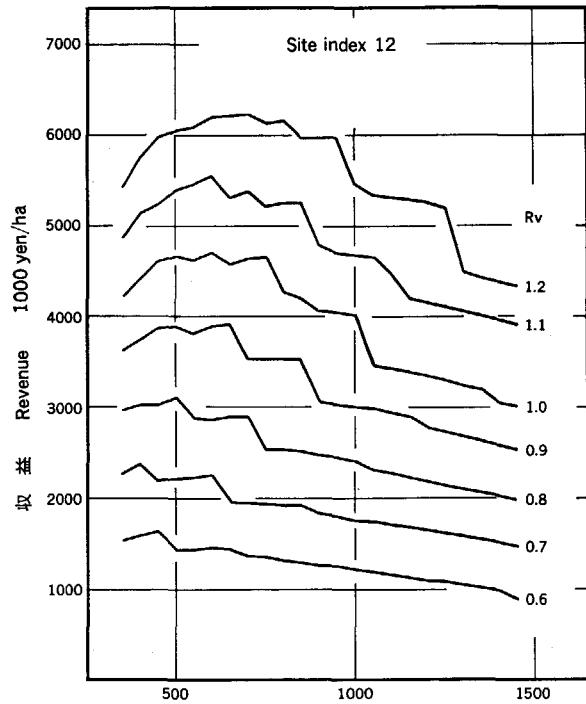
以上の収益に関する最適林分状態は、限界分析^{9),10)} で求められる最適蓄積水準 (Optimum stocking level) に相当する。ただし、そのような林分状態がいつでも最適間伐計画の目標点になるとは限らない。地位や林分状態が不良で、主伐収益を最大にする状態に導くのに時間や費用がかかり過ぎるときには、主伐収益は少なくともより接近しやすい目標を選ぶ方が全体として有利になるからである。また過大な目標を選んでも、それに到達できないという場合もある。動的計画法の最適化計算では、これらの場合を含めて、林分の現況に応じた最良の目標設定とそれへの効率的な接近方法の探索の二つが同時に行われる。

計画期間内のいくつかの生育段階について、地位指数14の保育的間伐の期待収益曲線を示すと、Fig. 15 が得られる。

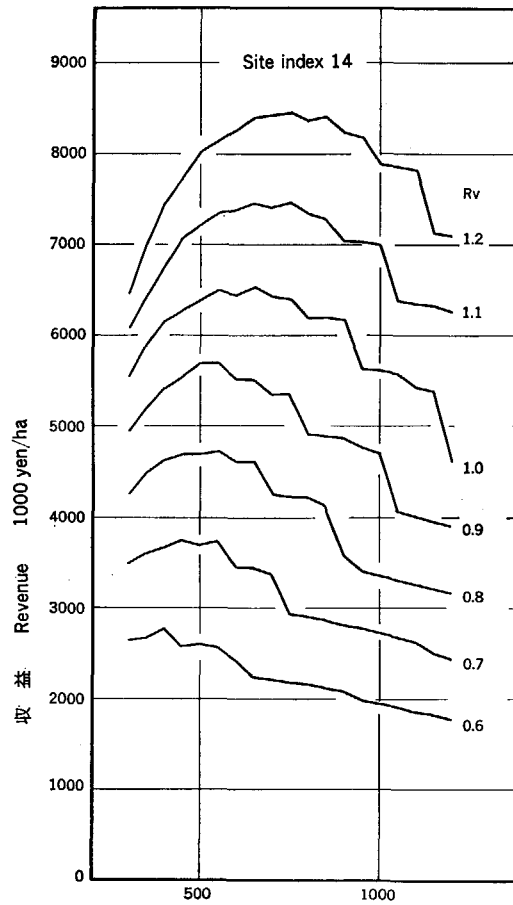
上層木平均樹高が12mの段階では、立木度の高い林分ほど期待収益が大きいが、立木度が0.9以上になると、その差はわずかである。本数の多少による収益の違いも、この範囲の立木度では、そう著しいものではない。すなわち、正常な立木度をもつ林分の期待収益は、最適間伐計画に従う限り大差なく、立木度および林分密度の影響は少ないといえる。

しかし、立木度が0.8以下になると、期待収益は立木度の低下とともに減少し、特に立木度0.6では、 ha 当たり本数が1,700~1,800本を超えるあたりからの低落在著しい。

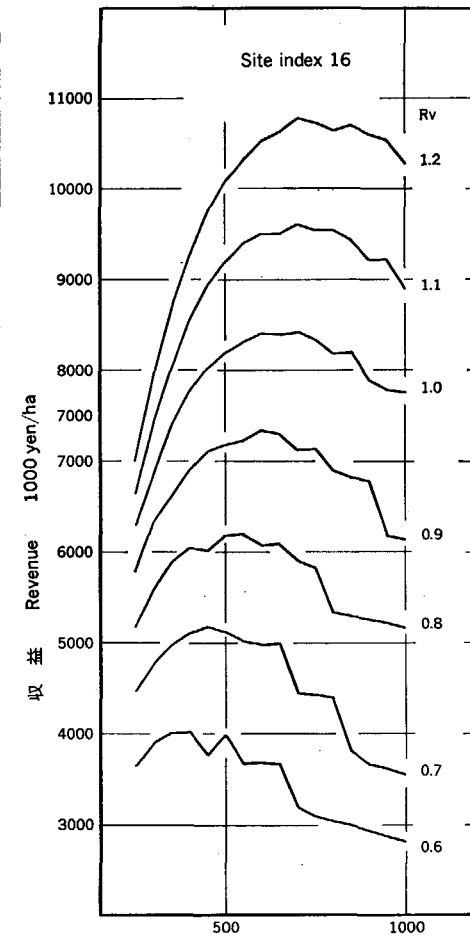
生育が進むと、立木度の違いによる期待収益の格差が次第に大きくなり、計画期間の初めの差のなかった上位の立木度の間にも収益差が現れるようになる。また、過疎、過密林分の収益性の低下も徐々に明らかになり、適正な本数範囲がきまってくる。これは、立木度の低い林分、もしくは過密な林分では、あとになるほど最適状態への誘導が難しくなり、費用の追加投入あるいは目標水準の切り下げが必要になることを意味している。そのような林分では、早期に間伐を始めて立木度を高めるとともに、本数を適正な範囲に導くような密度管理が必要である。ただ、本数に対する期待収益曲線が明瞭な最大値をもつようになるのは、上層木平均樹高が21m以上になってからで、それ以前は高原状の傾向であるから、本数の適正



本 数 Number of stems per ha



本 数 Number of stems per ha



本 数 Number of stems per ha

Fig. 14. 種々の伐期林分状態に対する主伐収益
Final cut revenue for different stand condition,
林齢 Stand age 60 yrs.

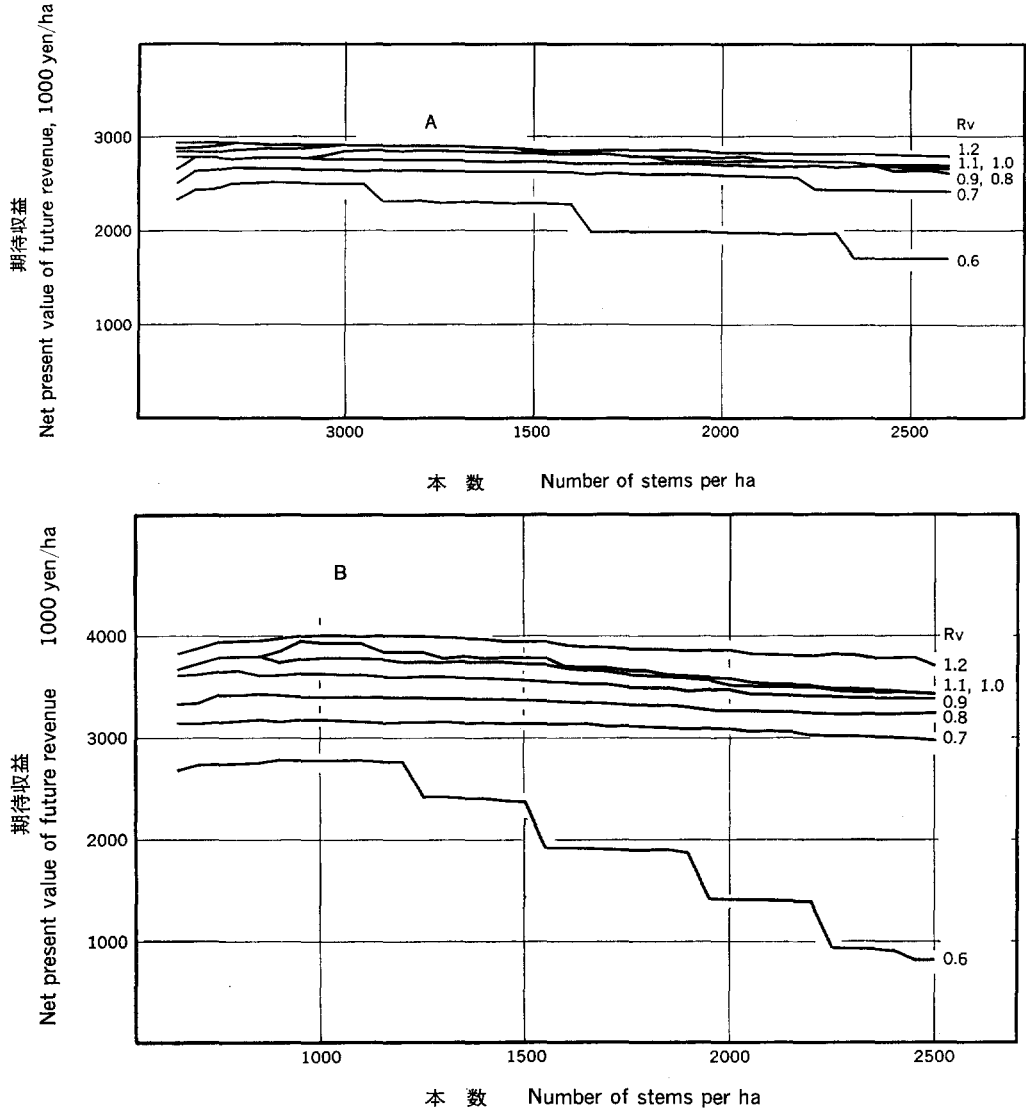


Fig. 15. 種々の初期林分状態から出発する最適間伐計画の期待収益
Net present value of future revenue expected from the optimal thinning schedules for different initial stand condition.

保育的間伐 Non-commercial thinning, 地位指数 Site index 14
 A : 上層木平均樹高 Top height 12.2 m, 林齢 Age 26 yrs.
 B : " Top height 16.0 m, " Age 35 yrs.
 C : " Top height 20.0 m, " Age 47 yrs.

範囲はかなりの幅をもっている。

以上の結果は、Table 4 のようにまとめられる。これは立木度ごとの収益曲線の最大値を立木度 1.2 の場合の最大値の 100 分率で表し、さらに期待収益がこの収益曲線の最大値の 95% 以上になる本数の範囲を示したものである。立木度 1.2 の場合は計算された前価合計を実数で示してある。

これによると、例えば地位指数 12 の 41 年生林分 (上層木平均樹高 15.9 m) で、立木度が 0.8 のとき、

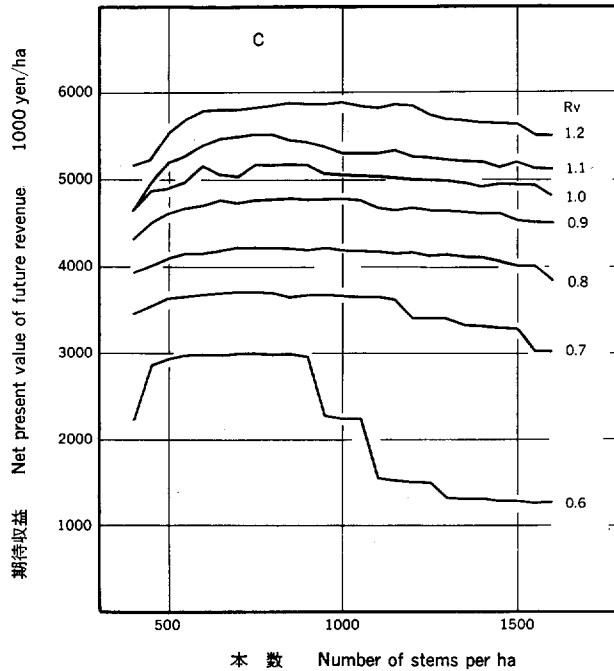


Fig. 15. つづき (Continued)

保育的間伐の収益の前価合計は、最大でも立木度 1.2 のときの 82%、2,910 千円/ha であり、ha 当たり本数 650~1,850 本の範囲の林分では、少なくともこの値の 95%、2,765 千円/ha 以上の収益が見込めることがわかる。

利用的間伐の収益曲線は、地位指数 14 を例にとると Fig. 16 のようになる。ここで主伐収益は最終林分の状態だけできまるので、Fig. 14 は保育的間伐、利用的間伐に共通である。

利用的間伐においては、ほとんどの場合に第 1 回間伐が繰り延べられ、望ましい林分状態への接近が遅れる。さらに、計画期間内に最適状態に達し得る初期状態の範囲も保育的間伐より狭まり、極端な場合は林分の管理が続けられなくなる。こうした理由で、利用的間伐の期待収益は保育的間伐より著しく低下する。

Table 5 は、利用的間伐について、立木度別の期待収益の最大値とその 95% 以上の収益が見込める本数範囲を示したものである。ただし、期待収益は、保育的間伐の立木度 1.2 に対する 100 分率になっている。これによると、保育的間伐と利用的間伐の収益差は、計画期間の初めで最も大きく、生育の進行とともに減少して、林齢 60 年では差がなくなる。これは、計画期間の終わりに近づくほど間伐の採算性がよくなるので、同一の林分状態について選ばれる間伐方法が類似してくること、主伐までの期間の短縮によって異なる方法を採用したときの期待収益への影響が少ないことなどによる。

出発点の林分状態との関係では、地位が不良で立木度が低く本数の多い林分ほど、保育的間伐との収益差が大きい。例えば、立木度 1.2 のときの最大収益は、どの場合でも保育的間伐と変わりがなく、立木度 1.0 までの間なら両者の差はわずかである。

しかし、立木度が 0.7 以下になると、保育的間伐との収益の格差は著しく拡大する。特に保育的間伐で

Table 4. 期待収益の最大値と最大値の95%以上の収益が見込める本数の範囲 (保育の間伐)

Relation between maximum net present value of future revenue and initial relative volume of stands, and the range of stand density leading to 95% value and over of the maximum under the optimum thinning schedules. (Non-commercial thinning)

地位指数 Site index 12

林齢 Stand age (yrs.)		30	41	55	60	
上層木平均樹高 Top height (m)		12.0	15.9	19.9	21.2	
立木度 Relative volume	1.2	A 1,000 yen/ha C No./ha	2,420 1,050~3,000	3,550 700~1,700	5,490 550~1,250	6,220 450~950
	1.1	B % C No./ha	100 1,050~2,300	98 750~1,350	93 500~950	87 500~700
	1.0	B % C No./ha	99 1,050~2,700	94 650~1,450	86 600~900	76 450~750
	0.9	B % C No./ha	99 1,050~2,500	89 650~1,600	73 450~1,050	63 400~650
	0.8	B % C No./ha	94 1,050~2,700	82 650~1,850	60 400~950	50 350~500
	0.7	B % C No./ha	89 1,150~3,050	70 650~1,700	47 450~750	36 350~600
	0.6	B % C No./ha	81 1,150~1,800	57 650~1,450	36 450~600	26 400~450

地位指数 Site index 14

林齢 Stand age (yrs.)		26	35	41	47	60	
上層木平均樹高 Top height (m)		12.2	16.0	18.1	20.0	23.5	
立木度 Relative volume	1.2	A 1,000 yen/ha C No./ha	2,940 1,050~3,100	4,010 650~2,300	4,894 600~1,700	5,900 550~1,500	8,460 500~950
	1.1	B % C No./ha	100 1,050~2,350	98 700~1,550	96 600~1,400	93 550~1,350	87 450~1,000
	1.0	B % C No./ha	99 1,050~2,500	95 650~1,700	92 550~1,450	88 550~1,550	77 450~900
	0.9	B % C No./ha	97 1,050~2,850	91 650~1,850	86 550~1,700	81 500~1,450	68 450~650
	0.8	B % C No./ha	95 1,050~2,900	86 650~2,000	80 500~1,850	72 450~1,550	56 350~650
	0.7	B % C No./ha	91 1,100~2,700	79 650~2,350	70 500~1,850	63 450~1,150	44 350~550
	0.6	B % C No./ha	85 1,050~2,100	69 650~1,200	61 550~950	51 450~900	33 300~500

A: 林齢ごとの期待収益の最大値 Maximum net present value for given stand ages.

B: Aに対する比で表した林分状態ごとの期待収益の最大値

Maximum net present value of future revenue expressed in a ratio to the A values

C: AまたはBの95%以上の収益が期待できる本数範囲

The range of stand density in which the net present value of 95% and over of A or B value is attainable.

Table 4. つづき (Continued)

地位指数 Site index 16

林齡 Stand age (yrs.)		22	30	40	53	60	
上層木平均樹高 Top height (m)		11.8	16.0	19.9	23.9	25.7	
立木度 Relative volume	1.2 A C	1,000 yen/ha No./ha	3,550 1,050~3,150	4,670 650~2,300	6,430 550~1,500	9,320 550~1,000	10,780 550~1,000
	1.1 B C	% No./ha	99 1,050~2,450	98 700~1,350	93 500~1,400	88 500~1,150	89 500~ 950
	1.0 B C	% No./ha	99 1,050~2,350	95 750~1,850	88 550~1,600	82 500~1,100	78 480~ 850
	0.9 B C	% No./ha	97 1,150~2,450	90 650~2,150	82 500~1,600	72 500~1,100	68 450~ 750
	0.8 B C	% No./ha	94 1,050~3,150	86 650~2,350	76 550~1,600	63 450~1,000	57 350~ 700
	0.7 B C	% No./ha	89 1,050~2,900	80 650~2,150	67 500~1,600	53 400~ 900	48 350~ 650
	0.6 B C	% No./ha	85 1,100~1,650	72 750~1,050	58 550~ 800	43 450~ 650	37 300~ 500

Table 5. 期待収益の最大値と最大値の 95% 以上の収益が見込める
本数の範囲 (利用的間伐)

Relation between maximum net present value of future revenue and initial relative volume of stands, and the range of stand density leading to 95% value and over of the maximum.
(Commercial thinning)

地位指数 Site index 12

林齡 Stand age (yrs.)		30	41	55	60	
上層木平均樹高 Top height (m)		12.0	15.9	19.9	21.2	
立木度 Relative volume	1.2 B C	% No./ha	100 1,050~1,700	100 700~1,450	100 550~1,250	100 450~ 950
	1.1 B C	% No./ha	97 1,050~1,550	96 750~1,450	93 500~ 950	87 500~ 700
	1.0 B C	% No./ha	97 1,050~1,550	94 650~1,450	86 600~ 850	76 450~ 750
	0.9 B C	% No./ha	97 1,050~1,550	89 650~1,000	73 450~ 800	63 400~ 650
	0.8 B C	% No./ha	90 1,050~1,650	82 650~ 900	60 400~ 800	50 350~ 500
	0.7 B C	% No./ha	73 1,050~1,350	70 650~ 800	47 450~ 600	36 350~ 600
	0.6 B C	% No./ha	18 1,050~1,150	21 650	25 400~ 550	26 400~ 450

B : Table 4 の A に対する比で示した林分状態ごとの期待収益の最大値

Maximum net present value of future revenue expressed in a ratio to A value in Table 4

C : B の 95% 以上の収益が期待できる本数範囲

The range of stand density in which the net present value of 95% and over of B is attainable.

Table 5. つづき (Continued)
地位指数 Site index 14

林齢		Stand age (yrs.)	26	35	47	60	
上層木平均樹高		Top height (m)	12.2	16.0	20.0	23.5	
立木度 Relative volume	1.2	B C	% No./ha	100 1,050~3,100	100 650~2,300	100 550~1,500	100 500~950
	1.1	B C	% No./ha	96 1,050~1,650	96 650~1,550	94 550~1,250	87 450~1,000
	1.0	B C	% No./ha	94 1,050~1,650	95 650~1,450	88 550~1,250	77 450~900
	0.9	B C	% No./ha	94 1,050~1,650	91 650~1,350	81 500~1,050	68 450~650
	0.8	B C	% No./ha	89 1,050~1,650	86 650~1,350	72 450~1,050	56 350~650
	0.7	B C	% No./ha	73 1,050~1,700	79 650~1,050	63 450~800	44 350~550
	0.6	B C	% No./ha	20 1,050~1,300	29 650	40 450~550	33 300~500

地位指数 Site index 16

林齢		Stand age (yrs.)	22	30	40	53	60	
上層木平均樹高		Top height (m)	11.8	16.0	19.9	23.9	25.7	
立木度 Relative volume	1.2	B C	% No./ha	100 1,050~1,750	100 650~1,650	100 550~1,500	100 550~1,000	100 550~1,000
	1.1	B C	% No./ha	94 1,050~1,750	94 650~1,700	93 500~1,450	88 500~1,150	89 500~950
	1.0	B C	% No./ha	90 1,050~1,550	90 650~1,450	88 550~1,350	82 500~1,050	78 480~850
	0.9	B C	% No./ha	88 1,050~1,700	89 650~1,450	82 500~1,350	72 500~1,100	68 450~750
	0.8	B C	% No./ha	84 1,050~1,600	86 650~1,450	76 550~1,150	63 450~1,000	57 350~700
	0.7	B C	% No./ha	65 1,050~1,300	65 650~1,300	67 500~1,200	53 400~800	48 350~650
	0.6	B C	% No./ha	21 1,050~1,300	38 650	46 450~600	42 350~500	37 300~500

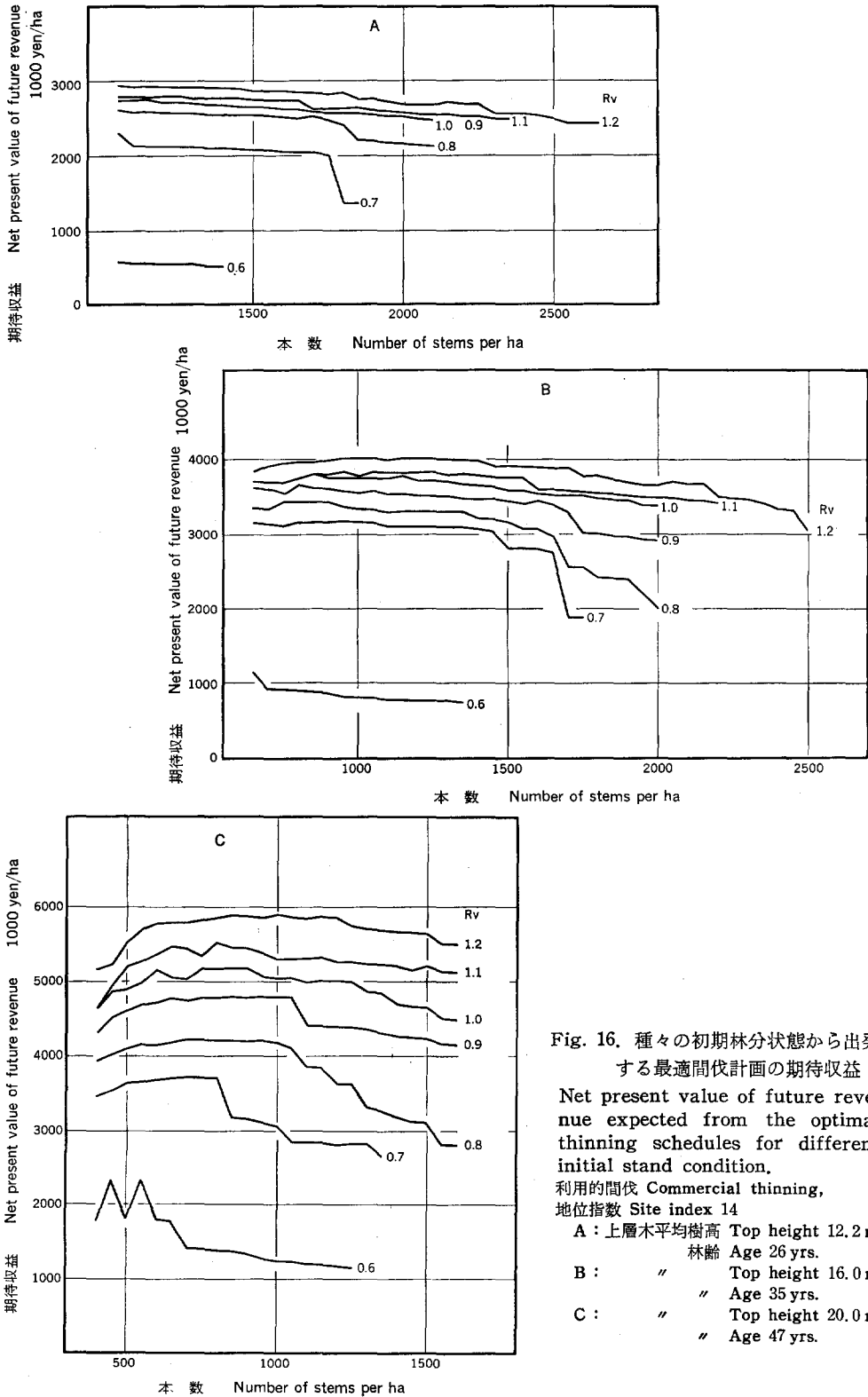


Fig. 16. 種々の初期林分状態から出発する最適間伐計画の期待収益

Net present value of future revenue expected from the optimal thinning schedules for different initial stand condition.

利用的間伐 Commercial thinning, 地位指数 Site index 14

- A : 上層木平均樹高 Top height 12.2 m, 林齡 Age 26 yrs.
- B : " " Top height 16.0 m, " Age 35 yrs.
- C : " " Top height 20.0 m, " Age 47 yrs.

間伐を繰り返し実行できる地位の良好なところでのこの傾向が顕著である。また、期待収益の最大値にそれほど違いがない場合でも、最大値の95%以上の収益が見込める本数範囲が極端に狭くなる。例えば、地位指数16で林齢22年、立木度0.6の林分は、保育的間伐によれば立木度1.2のときの85%、3,020千円/haの収益が期待されるのに対し、利用的間伐ではわずかに21%、750千円/haの期待収益である。本数との関係でも、保育的間伐ではha当たり1,650本までの範囲で2,670千円/haの期待収益であるが、利用的間伐では1,050~1,300本の範囲で約710千円/haの収益が見込めるに過ぎない。

これまでの結果から、収益を大幅に低下させずに利用的間伐を実行できるのは、立木度が少なくとも1.0以上で、本数は計画期間の初期では1,600~1,700本以下の林分と考えられる。また、立木度が0.7以下のときには、利用的間伐の採用による収益の低下はあまりにも大きく、植栽以来の努力を無にする結果にもなりかねない。

5. 摘 要

(1) トドマツ人工林の最適間伐計画を求めるための計算条件を、次のように設定した。

計画期間：上層木平均樹高が12mに達したときから林齢60年まで。

地位：地位指数12, 14および16。

間伐の繰り返し期間：上層木平均樹高が2m伸長するごと。

間伐方法：無間伐と皆伐を含む本数間伐率と D_T/D 比の32種類の組合わせ。

(2) 間伐収益が負になれば、捨伐りをして収益の前価合計の最大化をはかる保育的間伐と、収益が正になるときのみ間伐するという条件つきで同様な最適化を行う利用的間伐とを区別し、それぞれ生育段階、林分状態別に最適間伐指針を求めた。

(3) 保育的間伐では、うっ閉後しばらくは弱度の下層木を主とする間伐方法が適当である。ただし、立木度が高く本数の多い林分では、伐採率をいくぶん高めにする必要がある。

(4) 上層木平均樹高が16m以上になると、立木度の高い林分では、 D_T/D 比75%以上の上層間伐が適当であり、立木度1.0以下では、引き続き下層間伐に従うのがよい。

(5) 上層木平均樹高が22mになると、地位指数14と16の本数が少なく立木度の高い林分で、皆伐が最良の選択となる場合がでてくる。このときの林齢は地位指数14で54年、地位指数16では46年である。

(6) 最適間伐指針に基づく林分の密度管理は、出発点の本数と立木度によって途中の経過は異なるが、ほぼ収量比数0.7に収束するように進められる。ただし、地位が良く当初の立木度が高い林分では、これよりやや低目の収量比数が目標になる。

(7) 最適間伐指針に従うときの収益の前価合計は、計画期間の初めでは、立木度が0.9以上であれば、立木度による差はほとんどない。しかし、立木度が0.8以下になると、期待収益は立木度の低下とともに急速に減少し、特に本数の多い側での落ちこみが大きい。また、本数の多少は若い生育段階では期待収益にあまり影響しない。

(8) 立木度の違いによる期待収益の差は、生育の進行とともに拡大し、初めに差のなかった高い立木度の間でも収益の違いがでてくる。これとともに、過疎、過密林分の収益の低下が次第に顕著になり、収益性からみた立木本数の適正範囲がきまってくる。

(9) 本数に対する期待収益曲線は、計画期間の終わりで地位と立木度が高いときは放物線状である

が、地位と立木度が低くなるに従って、また林齢が若くなるにつれて扁平となり、本数の過密な側の収益の減少が著しくなる。

(10) 利用的間伐では、第 1 回間伐の時期が大幅に遅れる。利用的間伐が最初に実行できるのは、上層木平均樹高が 16 m、立木度 1.0 以上の林分である。

(11) 利用的間伐で採用されるのは、ほとんどが上層間伐で、下層間伐は計画期間の終わりに例外的に選ばれるだけである。

(12) 立木度の低い過密林分では、利用的間伐を継続的に実行できない場合がでてくる。すなわち、林分内容が貧弱で、与えられた間伐方法のなかでは、間伐収益を正にすることができず、一方、間伐を見送れば、林分密度が制限を超えることになる。

(13) 利用的間伐では、第 1 回間伐が遅れ間伐の回数が少なくなるので、期待収益は保育的間伐より低くなる。収益性の低下は、地位が不良で立木度が低く、また過密な林分ほど大きい。

(14) 期待収益を大幅に低下させずに利用的間伐を実行できるのは、立木度が少なくとも 1.0 以上で、本数は計画期間の初めでは ha 当たり 1,700 本以下の疎な林分に限られる。

III 感 度 分 析

1. 計算条件の変更

前章では生産期間の総収益にのみ注目する保育的間伐と、間伐収益の非負を条件として総収益の最大化を求める利用的間伐の二つの場合について、選択される間伐方法と期待収益の大きさを比較してきた。

この比較では、間伐の繰り返し期間を上層木平均樹高の 2 m の伸長ごとに、また林業利率を 3.5% にきめて、生産費の年次的変化なども無視した。これらは最適化の基本になる計算要素であって、その変更は当然最適解の内容を変化させる。このため、実用的な結果を得るためには、経営の実情に即した適切な計算条件を採用する必要がある。

ここでは、地位指数 14 を例にして、計算条件の変化が最適解にどのように影響するかをみることにする。ただし、条件のとり方には多くの可能性があって、すべてを尽くした議論はできないので、前章の保育的間伐を標準として間伐の繰り返し期間、生産費および林業利率の変更を考える。

2. 間伐の繰り返し期間の延長

最近の木材市況の趨勢をみると、ここ当分は若い年代の間伐で、正の収益が期待できる場合は少ないように思われる。こうした状況下で、間伐を収支相償う形で実行するために、まず考えられるのは、初回間伐の繰り延べと間伐の繰り返し期間の延長である。このうち初回間伐の延期については、その最も極端な場合を利用的間伐としてすでに検討した。そのため、ここでは間伐の繰り返し期間を上層木平均樹高の伸長量で 3 m ごとに延長した場合の影響をみることにする。

繰り返し期間が長くなると、一定の計画期間内に間伐を実行できる機会は少なくなる。したがって、同一の伐期林分状態を実現するためには、繰り返し期間の短い場合より 1 回の間伐量を多くしなければならぬわけである。最適化計算では目標とする林分状態も収益最大化の観点から調整されるので、このとおりの単純な関係で最適解が変化するのではないが、最適化によって得られた間伐指針をみると、繰り返し期間の延長によって、やはり本数間伐率および D_T/D 比の高い間伐方法への移行が生じている。

すなわち、上層木平均樹高が 12.2 m のときは、ha 当たり本数が 1,900 本以上になると、ごく一部の

林分状態を除いて、本数間伐率 30~35%, D_T/D 比 65~70% の No. 14 と No. 20 の間伐方法が採択され、Fig. 4 の場合よりも No. 2, 8 などの除伐的な取扱いの指示が少なくなる。

同じ年齢で比較するため、上層木平均樹高が 18.1 m の場合をみると、Fig. 4 で立木度 0.7~1.2 にわたって本数の少ないところに現れていた無間伐の指定は、立木度 0.7~1.0 の間のごく一部の林分状態に限られるようになる。また、立木度 0.7~1.2 で選ばれていた No. 2, 8 などの方法は、そのほとんどが本数間伐率または D_T/D 比を高めた No. 7, 14, 17, 20 の方法におきかえられる。さらに、立木度 1.1 と 1.2 の一部にみられた D_T/D 比 75% 以上の上層間伐の指定もその範囲が拡大される。

この間伐指針をもとにして収穫予想を行い、間伐繰り返し期間を延長したときの管理コースを求めると、Fig. 17 のようになる。

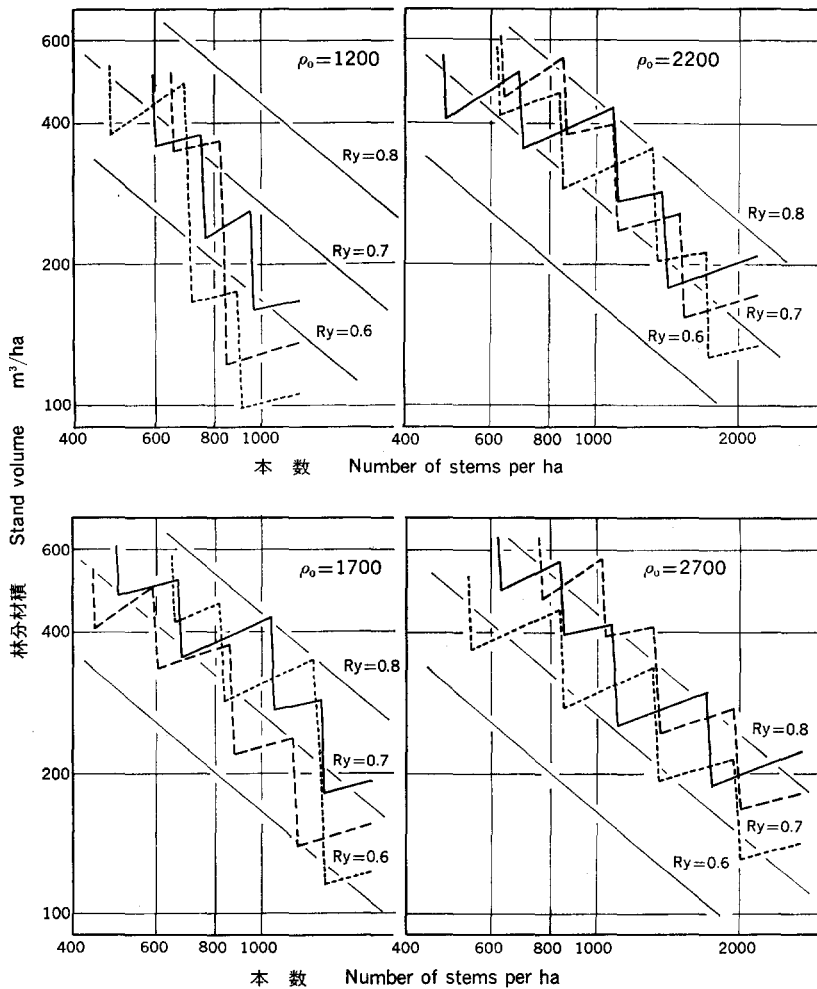


Fig. 17. 間伐繰り返し期間を延長したときの最適計画
Lengthening of thinning intervals

上層木平均樹高が 3m 伸長することの間伐 Thinning at every 3 metre growth of top height
保育の間伐 Non-commercial thinning, 地位指数 Site index 14
Others are same as Fig. 8

Table 6. 期待収益の最大値と最大値の 95% 以上の収益が見込める本数の範囲 (間伐繰り返し期間を延長)

Table 5 参照

Relation between maximum net present value of future revenue and initial relative volume, the range of stand density leading to 95% value and over of the maximum (Lengthening of thinning interval). Instructins are same as Table 5

地位指数 Site index 14

林齢		Stand age (yrs.)	26	41
上層木平均樹高		Top height (m)	12.2	18.1
立木度	1.2	B	98	98
		C	No./ha 1,050~2,450	550~1,650
	1.1	B	97	93
		C	No./ha 1,050~2,400	550~1,300
	1.0	B	96	88
		C	No./ha 1,050~2,000	600~1,600
	0.9	B	93	81
C		No./ha 1,050~2,600	550~1,650	
0.8	B	88	79	
	C	No./ha 1,050~2,750	650~ 800	
0.7	B	86	68	
	C	No./ha 1,150~1,500	500~ 650	
0.6	B	78	51	
	C	No./ha 1,050~1,700	500~1,150	

6の立木度別の期待収益の最大値に示されている。これらの値は、標準条件の立木度 1.2 の最大期待収益を 100 とした比率で、下段はその 95% の収益を与える本数範囲である。

これを Table 4 の標準条件の場合と比較すると、間伐の繰り返し期間の延長によって収益が減少することがわかる。この減少は、立木度が低くなるほど、生育段階が進むほど、大きくなる。例えば、上層木平均樹高が 12.2 m のとき、立木度 1.2 における期待収益の低下は 2% であるが、立木度 0.6 では 7% になる。さらに、上層木平均樹高が 18.1 m になると、立木度 0.6 での期待収益の低下は 10% に達する。これとともに、各立木度の最大値に対して、その 95% の収益が期待される本数範囲も、標準条件のときより狭くなる。

この結果は、間伐繰り返し期間の延長によって最適林分状態への到達が遅れることを示しているが、それでも、第 1 回間伐を強制的に延期する利用的間伐に比べれば、収益性への影響は少ない。

3. 生産費の変化

これまで、材種別の m³ 当たり市場価格や生産費は時間に関して一定だと仮定してきた。しかし、このような仮定は、ごく短い期間でも成立しそうにない。このために、材価と費用条件が変化したときの最適解の安定性や解の変化の方向性を検討しておく必要がある。

ここでは、そのような分析の最も単純な例として、生産費の算定要素のうち、労賃のみが年率 2% で上

まず、初期本数が ha 当たり 1,200 本と 1,700 本のときは、収量比数が 0.7 に近い管理水準である。しかし、当初の立木度による違いが大きく、Fig. 13 のときのように特定の密度水準に収束する傾向はみられない。ha 当たり本数が 2,200 本と 2,700 本では、管理水準が密度の高い方に移り、収量比数は 0.7~0.8 の間で動いていく。また、初期立木度の違いによる管理コースの差もさらに拡大する。すなわち、間伐回数が減ってより強度の、あるいは上層木を含めた間伐方法が選択されるのであるが、一方では 1 回の間伐量が収量比数の変化で 0.12 以内とされている。このため、急激に本数を減少させることができず、結局過密な林分は引き続き高い密度水準で推移することになる。

収益性に対する影響は、Table

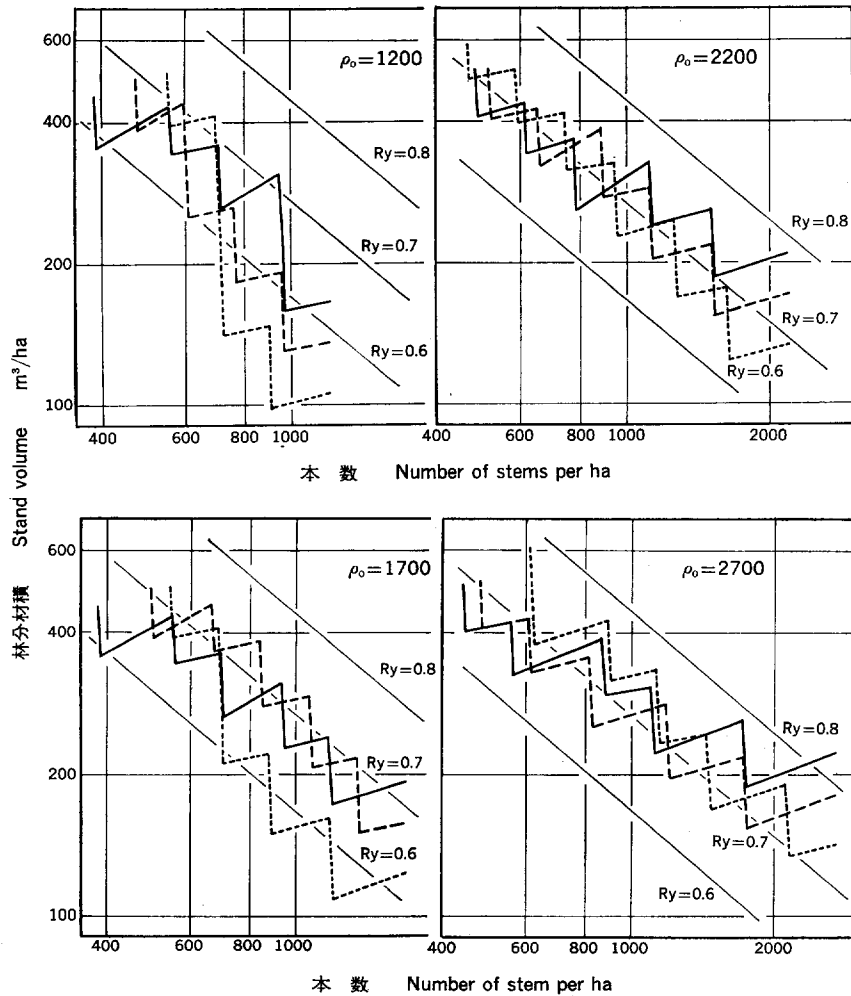


Fig. 18. 労務費の上昇を考慮した最適計画
Rising in labor costs.
年当たり上昇率 Annual rising rate 2%

異なる場合を検討する。

このときの最適間伐計画は Fig. 18 のようになる。図では、初期林分状態が違っても、選ばれる管理コースは、標準条件のときと同じように、収量比数 0.7 を中心としたものになっている。ただ、立木度 1.1 から出発する場合だけは、伐期近くなると収量比数 0.6 と 0.7 の中間まで密度が低下している。逆に立木度が 0.7 で ha 当り本数が 2,200~2,700 本といった高密度の状態から出発したときは、収量比数を高い水準に保って、直径の増大よりは幹材積収穫を大きくするようにコース選択が行われている。

この理由は次のように考えられる。低い立木度、高い林分密度というのは、どちらも平均直径が相対的に小さい林分である。したがって、このような林分では、立木度を一層低くするような上層間伐は実行しにくい。一方、労賃の上昇によって小径木を多く含む下層間伐の採算性は年ごとに低下するから、下層間伐で正の収穫をあげ、かつ総収益を増加させることも難しい。結局、わずかの伐採費の投入で足りる弱度

Table 7. 期待収益の最大値と最大値の 95% 以上の収益が見込める
本数の範囲 (労務費の上昇) Table 5 参照

Relation between maximum net present value of future revenue
and initial relative volume, the range of stand density leading to
95% value and over of the maximum (Rising in labor costs)
Instructions are same as Table 5.

地位指数 Site index 14

林齢 Stand age (yss.)			26	35	47	60	
上層木平均樹高 Top height (m)			12.2	16.0	20.0	23.5	
立木度 Relative volume	1.2	B C	% No./ha	85 1,050~2,300	86 650~1,500	86 500~ 950	85 500~ 850
	1.1	B C	% No./ha	85 1,050~2,200	84 650~1,150	81 500~ 800	74 450~ 750
	1.0	B C	% No./ha	84 1,050~2,600	82 650~1,350	75 450~ 900	65 400~ 650
	0.9	B C	% No./ha	83 1,050~2,300	80 650~1,400	68 450~1,150	56 400~ 550
	0.8	B C	% No./ha	82 1,050~2,350	73 650~1,500	59 400~ 950	46 350~ 550
	0.7	B C	% No./ha	79 1,100~2,450	66 650~1,600	52 400~ 900	35 300~ 450
	0.6	B C	% No./ha	72 1,100~1,550	57 650~1,200	41 450~ 800	25 300

の捨伐り間伐で立木度の上昇ははかられることになる。

これに対して、当初の立木度の高い林分では、上層間伐で正の間伐収益が見込める段階になれば、立木度をいったん低下させる方が有利である。これによって、主伐収穫の一部を労賃の安い時期に収穫して収益に加えることができ、同時に立木度を増加率の最も高いレベルにまで引き下げることができる。

なお、生産費の継続的な上昇を仮定すると、一般に最適伐期への到達が早くなる。Fig. 4 で上層木平均樹高が 12.2 m のとき、60 年まで皆伐指定にならない林分状態の範囲は、立木度 0.6~0.7 の大部分と立木度 0.8, 0.9 の本数の多いところを包含している。これに対して、労賃の上昇を仮定した場合には、この範囲は大幅に縮小して、立木度 0.6 の ha 当たり 1,200 本以上と、立木度 0.7 の 2,750 本以上に限られるようになり、他はすべて林齢 54 年が最適伐期になる。

収益性の変化は Table 7 のようになる。このときの期待収益の減少は間伐の繰り返し期間を延長したときよりも大きい。すなわち、どの生育段階においても、立木度 1.2 の期待収益は標準より 14~15% の減少である。これを立木度別にみると、上層木平均樹高が 12.2 m のとき、立木度 1.2 の期待収益は標準の 85% であるが、立木度が 0.6 になると 72% に低下する。立木度の低下に伴う期待収益の減少の程度は Table 6 の場合よりゆるやかで、収益性に対する労賃上昇の影響は立木度の高い林分の方が大きくなっている。

4. 林業利率の変更

収益性の比較で林業利率をどのように選ぶかは、論議の分かれるところである^{8),9)}が、これまでは年利率 3.5% を一応の標準として検討を進めてきた。初めに述べたように、計算利率の高低は短期および長

期のいずれの収益を重視するか経営者の判断にかかっている。したがって、多くの可能性があるわけであるが、ここでは感度分析の一例として、年利率を2%に引き下げたときの最適解を示すことにする。

まず、どの生育段階でも、立木度が低いときの最適解は標準の場合とほとんど変わらない。例えば、上層木平均樹高が12.2 mのとき、立木度0.6と0.7で標準条件と異なる選択が行われるのは、この範囲の84の林分状態のうち12例のみで、その内容もNo.2とNo.8, No.8とNo.14あるいはNo.14とNo.20のように、間伐率と D_T/D 比が5%ずつ異なった方法の間の入れかえに過ぎない。

生育が進むと、Fig. 4 との類似は立木度の高い方でもみられるようになる。すなわち、上層木平均樹高が16 mのとき、立木度0.6~0.9の間で最適解が変化するのは、わずかに3例で、18.1 mの立木度0.6~1.0の範囲では6例だけである。

標準条件のときと異なった選択が行われるのは、上層木平均樹高が12.2 mの段階では、立木度0.9~1.2の比較的本数密度の高い(2,000~2,700本/ha)ところである。上層木平均樹高が14 m以上になる

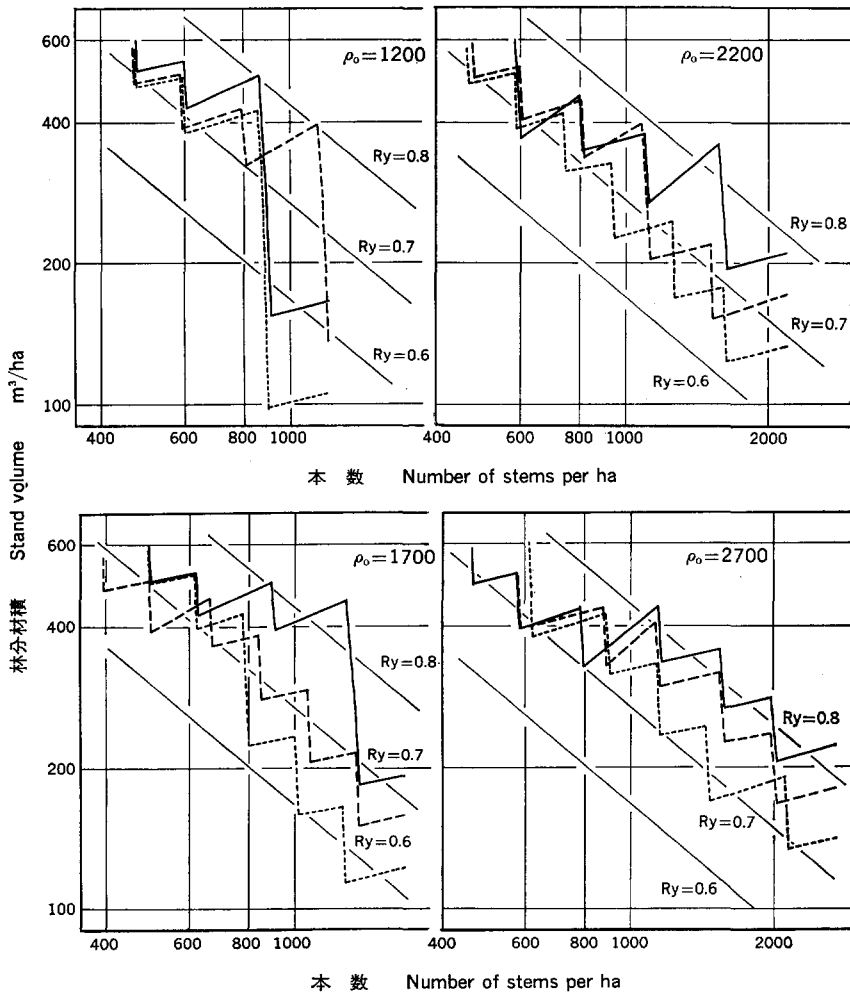


Fig. 19. 林業利率を3.5%から2%に変更したときの最適計画
Annual interest rate lowered from 3.5% to 2.0%.

と、これは立木度 1.1 と 1.2 に限られるようになり、本数の範囲も次第に低密度の方に移行する。この場合、最適解の変化は本数間伐率、 D_T/D 比を低下させるような方向に生じている。

もう一つの変化は、立木度 0.8 および 1.2 の密度の低いところで無間伐指定が多くなることである。これらは、No. 2, 8 など弱度の下層間伐の方法に代わって選ばれることが多いが、立木度 1.1 または 1.2 の一部では、No. 5, 7, 17, 21 などの上層間伐の代替えとして現れることもある。

このような間伐指針に従うときの本数と材積の推移は Fig. 19 のようになる。これによると、立木度 0.7 から出発するときの密度管理は、初期本数 1,200 本/ha の場合を除いて、Fig. 9 の標準条件のものと同じである。それ以外では、立木度が 1.0~1.1 に達したあとは、比較的弱度の、あるいは、無間伐の方法が指示されるという間伐指針の特徴によって、収量比数 0.7~0.8 の比較的高い密度水準で推移している。ただ、計画期間の終わりに近づくと、この密度水準はいく分低くなる傾向がある。

利率の引き下げは、最適伐採齢にも影響する。Fig. 9 の標準条件においては、立木度 0.7 の 1,700~2,700 本/ha から出発するときのほかは、林齢 54 年の主伐が最善である。これに対し、Fig. 19 ではどの場合にも林齢 60 年またはそれ以上が最適伐期になっている。期待収益については、計算基礎が異なるため、標準条件との比較は無意味であり、検討は省略する。

5. 実行可能な間伐計画

保育の間伐と利用の間伐は、いわば間伐の理想と現実の両端のモデル化である。収益の前価合計にプラスになる限り、上層木平均樹高の 2 m の伸長ごとに、捨伐りをして間伐を繰り返すというのは、間伐を保育手段とみる古くからある考え方である。これに対して、利用の間伐は現在のきびしい経営環境のなかで、少なくとも収支相償な形で間伐を進めたいとする森林所有者の希望を代表している。

さきに述べた集約な保育の間伐を実行できるのは、確かに現状では特殊な場合に限られるかもしれない。しかし一方では、利用の間伐を機械的に適用した場合の損失も見過ごすことはできない。したがって、現実の選択は両者の中間に求めなければならないと考えられる。

もし最適解より多少期待収益が低下しても、実行上考慮しなければならない収益性以外の要素、例えば間伐の単年度収支や間伐の繰り返し期間、あるいは主伐時に予想される平均直径や材積について満足度の高い計画があれば、それは経営者にとってより好ましいものとなる。このような点を考えずに、極端に言えば収益が 1 円でも多くなる方法を選び出すのが最適化計算である。したがって、計画立案者の判断を随時取り入れながら、経営的に最も妥当な間伐計画を選び出すことのできる柔軟な計算システムが必要と思われる。

以下においては、そのような要求にこたえる一つの方法として、総収益以外の要素を考慮しながら、電子計算機との対話的処理を通じて、実行可能な間伐計画を試行錯誤的に求める方法を考える。ただし、このときにも最適間伐計画と比較した収益性がやはり重要な判断の基準となるので、さきに示した保育の間伐の指針表が基礎になる。この計算の流れを Fig. 20 に示す。

最初に、出現の可能性のあるすべての地位指数について、保育の間伐の指針表を計算してファイルに記録する。この指針表は、さきに述べたもののほかに、上層木平均樹高の 1 m おきの林分状態が処理できるように、上層木平均樹高が 13 m から出発するもう 1 系列のものを用意する。

step 1

ファイルから最適間伐指針表を読み出す。

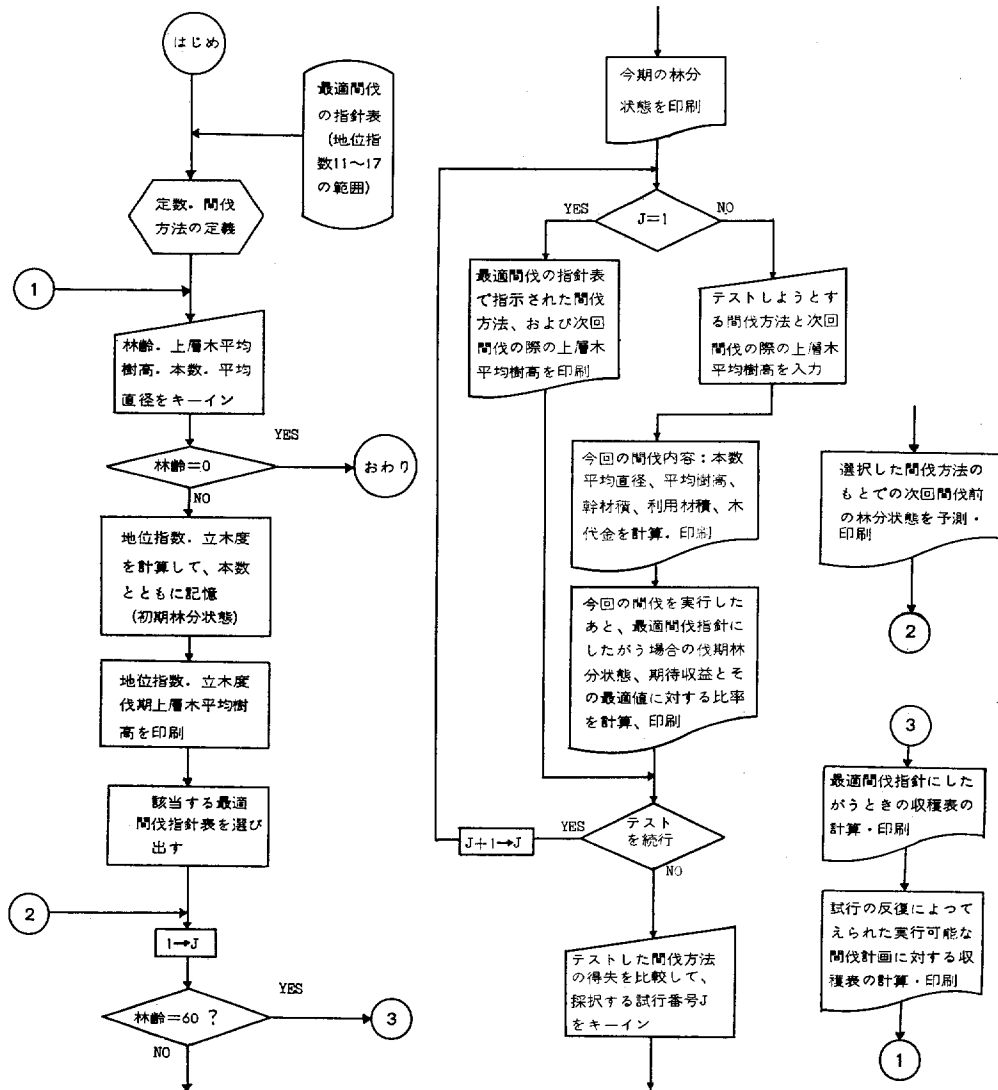


Fig. 20. 実行可能な間伐計画の計算手順
Selecting procedure of practicable thinning schedules.

step 2

予測式の定数、価格評定のための標準表、間伐方法などを定義し、計算の準備をする。

step 3

対象となる林分の林齢、上層木平均樹高、立木度（または平均直径）をキーボードから入力する。計算打ち切りのときは林齢を0とする。

step 4

キーインされたデータから地位指数を計算する。立木度の代わりに平均直径が与えられたときは、その値から立木度を推定する。

これらの出発点の林況、および伐期を60年としたときの最終の上層木平均樹高を印刷する。

step 5

計算された地位指数に該当する最適間伐の指針表をさがし出す。

step 6

試行番号Jを1とおく。②から来ているときは、現在林齢を調べて、60年になっていれば、最終の林分状態を印刷して③に進む。

step 7

今回の試行における期首の林分状態を印刷する。

step 8

試行番号が1のときは、最適間伐指針に従って間伐する。このため、指針表から本数間伐率、 D_T/D 比および次回間伐時の上層木平均樹高を読みとって印刷する。番号Jが2またはそれ以上なら、テストしようとする間伐方法（本数間伐率、 D_T/D 比）と、予定している次回間伐時の上層木平均樹高（予測期間）をキーボードから入力する。この値はJ=1のときと同じ様式で印刷される。

step 9

与えられた間伐方法に対して、間伐木の本数、平均直径、平均樹高、材積、利用材積、間伐収益を計算して印刷する。

step 10

step 9の間伐を実行したあと、次期の間伐時点（step 8で間伐方法とともに印刷されている）以降、最適間伐計画に従うと仮定したときの伐期林分状態と予想される収益の前価合計を計算する。さらにJ=1のときの期待収益（今期から直ちに最適間伐指針に従うときの収益の前価合計）に対する収益の%を印刷する。

step 11

テストしたい間伐方法が他にあれば、0を入力する。このときはJを1だけ増してstep 8にもどり、新しい試行に入る。

step 12

そうでなければ、この生育段階のテストは終了だから、それまでの1～J番までの方法のなかから最も適切と思われるものを選んでその試行番号を入力する。この指示で採用された間伐方法に従って、次期の林分状態が予測され、その結果が印刷される。ついでstep 6にもどり、いま予測した林分状態を初期値にして、次の生育段階に対する計算を続ける。

step 13

必要な試行がすべて終了したので、最適間伐計画と試行錯誤的に求められた間伐計画の両方について収穫表を印刷し、さらに総合的な比較に便利のように、幹材積と利用材積の総収穫量および収益の前価合計を表示する。

Fig. 2の最適化計算のときと同じく、この計算システムの主要な部分は、前報⁹⁾に示した収穫予測および収益の評価システムである。

なお、実行可能な間伐計画の基準になる最適間伐指針は、最適化計算のなかでFig. 4の内容をファイルに出力させれば、簡単に準備できる。

```

1  SELECTING PRACTICAL THINNING SCHEDULE
2  BY TRIAL AND ERROR METHOD

3  INPUT INITIAL STAND CONDITION

4  *AGE*TOP.H*STEM NO.*REL.V.*AVE.D.*
5  = 26,12.2,2000.,0.8

6          SITE INDEX ----- 14.0
7          REL. VOL. ----- 0.80
8          FINAL TOPH. ---- 23.4

-----
9  1 ST THINNING
-----
10  PRESENT STAND
11  AGE ----- 26          TOP H. ---- 12.2
12  AVE.H. ---- 9.3        AVE.D. ---- 11.7
13  STEM NO. --- 2000.     VOLUME ---- 146.7

14  REL.V. ---- 0.80      RY ----- 0.699

15  TRIAL (1) OPTIMUM
16  THIN.R.(N) ---- 0.200  THIN.R.(V) ---- 0.048
17  DT/DA ----- 0.550  NEXT TOPH ----- 14.0
18  NEXT AGE ----- 30

19  CONTINUE OR NONE (CONT.=D OR
20  INPUT A RELEVANT TRIAL NO.)
21  =D ,

22  TRIAL (2)
23  INPUT THINNING METHOD
24  *FEL.RATE(N)*DTDA*NEXT TOPH.*
25  =0.,0.,14.

26  THIN.R.(N) ---- 0.      THIN.R.(V) ---- 0.
27  DT/DA ----- 0.      ADJ.NEXT TOPH. - 14.0
28  ADJ.NEXT AGE ----- 30

29  THINNINGS
30  AVE. H. ---- 0.        AVE. D. ---- 0.
31  STEM NO. --- 0.        VOL. ----- 0.
32  MERCH.V. --- 0.        REVENUE ---- 0.

33  EXPECTED FINAL STAND
34  OPT.FELL AGE 60        TOP H. ----- 23.4
35  AVE.D. ----- 32.9   STEM NO. --- 576.
36  VOLUME ----- 586.0  ACCM.VOL. - 727.8
37  ACC.MERCH.V. 572.4    SDR (%) --- 2318. (100.)

38  CONTINUE OR NONE (CONT.=D OR
39  INPUT A RELEVANT TRIAL NO.)
40  =2,

```

Fig. 21. 計 算 例
Worked example.

```

-----
41  2 ND THINNING
-----
42  PRESENT STAND
43  AGE ----- 30          TOP H. ---- 14.0
44  AVE.H. ---- 11.0       AVE.D. ---- 13.3
45  STEM NO. --- 1957.     VOLUME ---- 209.3
46  REL.V. ---- 0.85      RY ----- 0.767

47  TRIAL (1) OPTIMUM
48  THIN.R.(N) ---- 0.300  THIN.R.(V) ---- 0.109
49  DT/DA ----- 0.650  NEXT TOPH ---- 15.9
50  NEXT AGE ----- 35

51  CONTINUE OR NONE (CONT.=0 OR
52  INPUT A RELEVANT TRIAL NO.)
53  =0,

54  TRIAL (2)
55  INPUT THINNING METHOD
56  *FEL.RATE(N)*DTDA*NEXT TOPH.+
57  =0.35;0.75;17.

58  THIN.R.(N) ---- 0.350  THIN.R.(V) ---- 0.183
59  DT/DA ----- 0.750  ADJ.NEXT TOPH. - 17.0
60  ADJ.NEXT AGE ---- 38

61  THINNINGS
62  AVE. H. ---- 9.8       AVE. D. ---- 10.0
63  STEM NO. --- 685.     VOL. ----- 38.3
64  MERCH.V. --- 23.6     REVENUE ---- -67.

65  EXPECTED FINAL STAND
66  OPT.FELL AGE 60        TOP H. ----- 23.4
67  AVE.D. ----- 33.1   STEM NO. --- 605.
68  VOLUME ----- 624.1  ACCM.VOL. - 680.9
69  ACC.MERCH.V. 544.0    NDR (%) --- 2591. ( 97.)

70  CONTINUE OR NONE (CONT.=0 OR
71  INPUT A RELEVANT TRIAL NO.)
72  =2,

-----
73  3 RD THINNING
-----
74  PRESENT STAND
75  AGE ----- 38          TOP H. ---- 17.0
76  AVE.H. ---- 14.4       AVE.D. ---- 18.4
77  STEM NO. --- 1237.     VOLUME ---- 299.5
78  REL.V. ---- 0.89      RY ----- 0.761

79  TRIAL (1) OPTIMUM
80  THIN.R.(N) ---- 0.200  THIN.R.(V) ---- 0.048
81  DT/DA ----- 0.550  NEXT TOPH ---- 19.0
82  NEXT AGE ----- 44

83  CONTINUE OR NONE (CONT.=0 OR
84  INPUT A RELEVANT TRIAL NO.)
85  =0,

```

Fig. 21. つづき (Continued)

```

86 TRIAL (2)
87 INPUT THINNING METHOD
88 *FEL.RATE(N)*DTDA*NEXT TOPH.*
89 =0.35,0.7,20.

90 THIN.R.(N) ---- 0.350 THIN.R.(V) ---- 0.153
91 DT/DA ----- 0.700 ADJ.NEXT TOPH. - 19.9
92 ADJ.NEXT AGE ---- 47

93 THINNINGS
94 AVE. H. ---- 12.3 AVE. D. ---- 12.9
95 STEM NO. --- 433. VOL. ----- 45.7
96 MERCH.V. --- 30.4 REVENUE ---- -84.

97 EXPECTED FINAL STAND
98 OPT.FELL AGE 60 TOP H. ----- 23.4
99 AVE.D. ----- 33.0 STEM NO. --- 580.
100 VOLUME ----- 594.5 ACCM.VOL. - 631.9
101 ACC.MERCH.V. 507.9 NDR (%) --- 3335. ( 95.)

102 CONTINUE OR NONE (CONT.=0 OR
103 INPUT A RELEVANT TRIAL NO.)
104 =2,

-----
105 4 TH THINNING
-----

106 PRESENT STAND
107 AGE ----- 47 TOP H. ---- 19.9
108 AVE.H. ---- 17.7 AVE.D. ---- 25.2
109 STEM NO.--- 789. VOLUME ---- 408.1

110 REL.V. ---- 0.98 RY ----- 0.746

111 TRIAL (1) OPTIMUM
112 THIN.R.(N) ---- 0.250 THIN.R.(V) ---- 0.092
113 DT/DA ----- 0.650 NEXT TOPH ---- 21.9
114 NEXT AGE ----- 54

115 CONTINUE OR NONE (CONT.=0 OR
116 INPUT A RELEVANT TRIAL NO.)
117 =0,

118 TRIAL (2)
119 INPUT THINNING METHOD
120 *FEL.RATE(N)*DTDA*NEXT TOPH.*
121 =0.30,0.7,23.4

122 THIN.R.(N) ---- 0.300 THIN.R.(V) ---- 0.132
123 DT/DA ----- 0.700 ADJ.NEXT TOPH. - 23.4
124 ADJ.NEXT AGE ---- 60

125 THINNINGS
126 AVE. H. ---- 15.2 AVE. D. ---- 17.6
127 STEM NO. --- 237. VOL. ----- 53.9
128 MERCH.V. --- 38.5 REVENUE ---- 85.

129 EXPECTED FINAL STAND
130 OPT.FELL AGE 60 TOP H. ----- 23.4
131 AVE.D. ----- 33.6 STEM NO. --- 542.
132 VOLUME ----- 576.3 ACCM.VOL. - 576.3
133 ACC.MERCH.V. 466.8 NDR (%) --- 4650. ( 99.)

134 CONTINUE OR NONE (CONT.=0 OR
135 INPUT A RELEVANT TRIAL NO.)
136 =2,

```

137 FINAL CUT YIELD

138 AGE ----- 60
 139 TOP H. --- 23.4
 140 AVE.H. --- 21.6
 141 AVE.D. --- 33.6
 142 STEM NO. - 542.
 143 VOLUME --- 576.3
 144 MERCH.V. - 466.8
 145 REVENUE -- 6217.
 146 REL.V. --- 1.081
 147 RY ----- 0.750

148 *** THINNING SCHEDULE AND YIELD ***

149 (1) OPTIMUM

150 SITE INDEX = 14.0

151	AGE	HT		HM	DM	N	V	VU	RV	RY	REVE.	PTN	DTDA
152	26	12.2	ALL	9.3	11.7	2000.	146.7		0.80	0.70			
153			THIN.	7.0	6.4	400.	7.0	3.9			-11.	0.20	0.55
154			RES.	9.9	13.0	1600.	139.7		0.82	0.65			
155	30	14.0	ALL	11.3	14.6	1573.	201.8		0.87	0.72			
156			THIN.	8.9	8.8	393.	15.0	9.0			-25.	0.25	0.60
157			RES.	12.1	16.6	1180.	186.9		0.89	0.65			
158	35	15.9	ALL	13.6	18.7	1161.	270.5		0.95	0.73			
159	40	17.7	ALL	15.4	20.7	1143.	360.6		1.01	0.78			
160	41	18.0	ALL	15.7	21.1	1139.	378.8		1.02	0.79			
161			THIN.	12.9	13.7	342.	41.2	27.9			-76.	0.30	0.65
162			RES.	16.9	24.3	797.	337.6		1.02	0.71			
163	45	19.3	ALL	17.3	25.5	791.	408.0		1.05	0.75			
164	47	19.9	ALL	17.9	26.3	787.	443.7		1.07	0.76			
165			THIN.	16.9	22.4	197.	82.3	60.4			308.	0.25	0.85
166			RES.	18.2	27.6	590.	361.4		0.96	0.67			
167	50	20.8	ALL	18.9	28.8	588.	412.6		0.99	0.70			
168	54	21.9	ALL	20.0	30.5	584.	482.5		1.03	0.73			
169	55	22.2	ALL	20.2	30.9	583.	499.7		1.04	0.73			
170	60	23.4	ALL	21.5	32.8	579.	586.6		1.08	0.77			
171			THIN.	21.5	32.8	579.	586.6	475.2			6294.	1.00	1.00
172			TOTAL VOL. YIELD -----						732.0				
173			TOTAL MERCH. V. YIELD ---						576.2				
174			NET DISCOUNT REVENUE ----						2320.	(100. %)			

Fig. 21. つづき (Continued)

175	(2) ADOPTED													
176	SITE INDEX = 14.0													
177	AGE	HT		HM	DM	N	V	VU	RV	RY	REVE.	PTN	DTDA	
178	26	12.2	ALL	9.3	11.7	2000.	146.7			0.80	0.70			
179	30	14.0	ALL	11.0	13.3	1957.	209.3			0.85	0.77			
180			THIN.	9.8	10.0	685.	38.3	23.6				-67.	0.35 0.75	
181			RES.	11.6	15.1	1272.	171.0			0.80	0.65			
182	35	15.9	ALL	13.3	17.2	1250.	248.5			0.86	0.72			
183	38	17.0	ALL	14.4	18.4	1237.	299.5			0.89	0.76			
184			THIN.	12.3	12.9	433.	45.7	30.4				-84.	0.35 0.70	
185			RES.	15.5	21.4	804.	253.7			0.87	0.65			
186	40	17.7	ALL	15.5	22.1	801.	286.2			0.90	0.67			
187	45	19.3	ALL	17.1	24.4	792.	372.1			0.96	0.73			
188	47	19.9	ALL	17.7	25.2	789.	408.1			0.98	0.75			
189			THIN.	15.2	17.6	237.	53.9	38.5				85.	0.30 0.70	
190			RES.	18.8	28.4	552.	354.2			0.97	0.65			
191	50	20.8	ALL	18.9	29.5	550.	404.6			1.00	0.68			
192	55	22.2	ALL	20.3	31.7	546.	490.7			1.04	0.72			
193	60	23.4	ALL	21.6	33.6	542.	576.3			1.08	0.75			
194			THIN.	21.6	33.6	542.	576.3	466.8				6217.	1.00 1.00	
195			TOTAL VOL. YIELD	-----				714.3						
196			TOTAL MERCH. V. YIELD	---				559.3						
197			NET DISCOUNT REVENUE	----				2128.						(92. %)

Fig. 21. つづき (Continued)

この方法によると、計画立案者がより適切と考える代案を次々に入力して、最適間伐と比較したときの収益低下の程度、物量的な収穫量の相違を直ちに知ることができ、計算が伐期に達した段階では、全期間を通じた実行可能な間伐計画が収穫表形式で与えられる。もちろん、その結果に不満が残れば、希望する結果が得られるまで何回でも計算をやり直せばよい。

このシステムの使用例を Fig. 21 に示す*。

1～2行

標題の印刷

3～5行

続いて INPUT……以下の入力促進メッセージが打ち出され、5行目の= (イコール) を印字して停止する。そこで、4行目で指示された AGE (現在林齢=26)、TOPH (上層木平均樹高=12.2)、STEMNO. (本数=2,000)、REL. V. (立木度=0.8) を入力する。このとき、立木度の代わりに平均直径を与えてもよい。その場合は REL. V. を0としておく。

6～8行

地位指数 (SITE INDEX) と REL. VOL. (立木度) および伐期60年と地位指数から計算される最終

* ここでは NEAC ACOS-6 システム (農林水産研究計算センター) のポータブル端末を利用している。

の上層木平均樹高 (FINAL TOPH.) を印刷している。

9~14 行

直ちに間伐するとして、間伐前の林分状態を印刷する (林齢, 平均樹高, 本数, 立木度, 上層木平均樹高, 平均直径, 幹材積, 収量比数)。

15~18 行

TRIAL (1) は最適間伐指針に従う場合である。16 行以降に指針表に示された本数間伐率 (0.200), D_T/D 比 (0.550), 次回間伐時の林齢 (=30 年), 材積間伐率 (0.048), 次回間伐時の上層木 (14 m) が印刷される。

19~21 行

この生育段階で引き続いて試行を行うかどうかの問い合わせである。21 行のイコールのあとに、継続なら 0, 打ち切りならそれまでの TRIAL 番号のどれかを入力する。

22~25 行

上で 0 を入力したので、テストする間伐方法の問い合わせである。ここでは、上層木平均樹高が 14 m になるまで間伐を延期することにして、本数間伐率 (FEL. RATE(N)), D_T/D 比 (DTDA) をそれぞれ 0.0 として、次回間伐予定の上層木平均樹高を 14.0 m としている。

26~37 行

入力した間伐方法に対する間伐木の明細を印刷してくる。ここでは無間伐であるから、これらはすべてゼロである。

33~37 行

上層木平均樹高が 14 m になるまで間伐を見合わせ、その後最適間伐計画に従うときの伐期林分状態と期待収益、また現在時点から直ちに最適間伐計画に従う場合の期待収益に対するその比 (%) を印刷する。この例では、いまずぐ間伐をしなくても、総収益の前価合計 (NDR) は最適間伐のものとはほとんど差がないことがわかる。

38~40 行

テストを続けるかどうかの問い合わせに対して、試行 2 の無間伐を採用する旨応答している。

41~46 行

上層木平均樹高が 14 m になるまで無間伐で推移させたときの林分状態を印刷する。これが第 2 回間伐* 前の林分状態である。

47~50 行

試行 1 の最適間伐の内容

51~57 行

最適間伐に対する代案として、本数間伐率 35%, D_T/D 比 75%, 次回間伐の予定時点の上層木平均樹高 17 m を入力している。

58~60 行

入力した間伐方法と材積間伐率の計算値 (THIN. R. (V)) および次回間伐の際の林齢 (ADJ. NEXT AGE) と、そのときのの上層木平均樹高 (ADJ. NEXT TOPH.) を印刷する。

* 1 回目を無間伐としたから、実際にはこれが第 1 回間伐である。

61~64行

間伐木の明細, すなわち平均樹高 (AVE. H.), 本数 (STEM NO.), 利用材積 (MERCH. V.), 平均直径 (AVE. D.), 幹材積 (VOL.), 間伐収益 (REVENUE) である。この場合, 間伐収益は負で, 捨伐り費用 67 千円が掲上されている。

65~69行

さきの 33~37 行と同じで, 記号は最適伐採齢 (OPT. FELL AGE), 主伐時の平均直径 (AVE. D.), 幹材積 (VOLUME), 利用材積総収穫量 (ACC. MERCH. V.), 上層木平均樹高 (TOPH.), 本数 (STEM NO.), 幹材積総収穫量 (ACCM. VOL.), 収益の前価合計 (NDR) となっている。最後の括弧のなからは, 最適間伐の 97% の収益が期待できることを示している。

70~104行

第 3 回間伐についての 2 回の試行。ここでも最適間伐の代わりに, 本数間伐率 35%, D_T/D 比 70% の間伐方法を採用している。

105~136行

第 4 回間伐, 本数間伐率, D_T/D 比を最適間伐より 5% ずつ高くしている。

137~147行

第 4 回間伐において, 林齢 60 年のときの上層木平均樹高を入力したので, ここで最終の林分状態を印刷する。最後の 3 行は, 主伐収益 (REVENUE=621.7 万円), 立木度 (REL. V.=1.081), 収量比数 (RY=0.750) を示している。

このあと, 計算機は林齢 26 年から引き続いて最適間伐指針に従う場合の収穫表と幹材積, 利用材積の総収穫量 (TOTAL VOL., YIELD TOTAL MERCH. V., YIELD) および林齢 26 年に引きもどした収益の前価合計 (NET DISCOUNT REVENUE) を 148~174 行のように印刷する。

続いて, 175 行以降では, 計算者が選んだ間伐方法に対する収穫表と総収穫量, 収益の前価合計が印刷される。

この計算結果でみると, 期待収益の減少には, 林齢 38 年のときに代案を採用したことの影響が大きいようである。しかし, 全期間を通じてみれば収益の低下は 8% であり, どちらの計画案を採用するかは, 伐期平均直径や収穫量, あるいは途中の間伐の収支を総合した経営者の判断によることになる。

6. 摘 要

(1) 間伐の繰り返し期間, 生産費および林業利率を変更して最適間伐指針を求め, 採択される間伐方法, 密度管理の傾向および収益性を標準とした第 II 章の保育的間伐の場合と比較した。

(2) 間伐の繰り返し期間を延長すると, 間伐の実行回数が少なくなるため, 本数間伐率, D_T/D 比の高い間伐方法が選ばれる。それとともに, 出発点の立木度, 本数の違いによる密度管理コースの差異が大きくなり, 標準条件のときのように特定の収量比数に収束する傾向はみられなくなる。また, 期待収益も標準条件のときより低下する。この収益の格差は, 初期立木度が低いほど, 高齢になるほど大きい。

(3) 労務費の年率 2% の上昇を仮定したときの間伐指針は, 標準条件のものと類似の傾向を示す。この場合の特徴的な変化は, 全体的に最適伐期に早期に到達することである。収益性の低下は, 間伐繰り返し期間を延長したときよりも大きい。

(4) 林業利率を 2% に引き下げると, 間伐方法は本数間伐率, D_T/D 比が低くなる方向に変化する。

ただし、この傾向は、比較的若い林齢で立木度が高く、本数の多い林分に限られ、全体としては標準条件の場合とあまり変わりがない。

(5) 経営上考慮しなければならない収益性以外の因子を、標準条件の場合との得失比較によって取捨しながら、実行可能な間伐計画を試行錯誤的に求める計算システムを与え、計算例を示した。

結 言

この報告では、前報⁹⁾に述べたトドマツ人工林の収穫量および収益の予測システムを利用して、現在の丸太市場価格および生産費の条件のもとで、どのような間伐方法・間伐計画が最善であり、その実行によって、どのような伐期林分状態と収益が期待されるかを明らかにしようとした。

第I章では、望ましきの基準として、主伐までの収益の前価合計をとり、動的計画法の最適化手法でこの値を最大にする間伐方法の選択の手順を示した。

これまで、間伐方法や保育形式の選択が論じられるときは、最初に目標とする林分状態を想定し、しかる後に、その実現のための方法を考えるというのが順序とされてきた¹⁰⁾¹¹⁾。しかし、条件の類似した他の経営の実績から類推できる場合は別として、戦後の拡大造林から出発した新しい林業地では、生産目標を決定すること自体が困難な作業である。それは、なんらかの方法で目標をきめたとしても、地位や林分の現況次第では、それが技術的に到達できない過大な目標であるかもしれず、また費用や労力がかかり過ぎて、他の目標を選ぶ方が得策だと判断される場合もあるからである。したがって、実現性のある望ましい目標を見付けることと、それに効率的に接近しうる技術的手段を求めることは、少なくともトドマツ人工林では同時に解決しなければならない問題である。

動的計画法は、こうした複雑な同時決定問題を解くための組織的な解法を与えてくれる。この方法では、事業を実行する上で考慮しなければならない制約条件も必要に応じて取り入れることができ、また最適解が林分状態ごとに得られるという特徴も有している。ここでは、最適化の目的関数としての絶対的経済効果——収益の前価合計——を採用したが、これによって間伐収支と生産期間全体の収益性を同一の尺度で評価し、経営としての総合的な立場から両者を調整できることになった。

間伐の経済性分析に動的計画法を適用しようと考えた著者は何人かいる^{12)~15)}。そのなかで実用的な解を最初に示したのは、おそらくKILKKIらであるが、そこでは状態変数と決定変数をともに幹材積で表示しているので、最適解をそのまま現地の間伐指針に用いることができない。

この報告では、状態変数を上層木平均樹高、 ha 当たり本数および立木度を要素とするベクトルで定義し、決定変数も本数間伐率と D_T/D を要素とするベクトルとして、林分状態と間伐処理の内容を具体的に示した。このため、最適解は林分状態ごとに適用すべき本数間伐率と D_T/D 比を指示する間伐指針表として与えられる。

指針表は、地位と生育段階ごとに求められるので、指定された間伐の繰り返し期間ごとに、そのときの林分状態によって指針表を引けば、最適間伐計画に沿った林分管理が伐期まで継続できる。

第II章では、トドマツ人工林の最適間伐の指針表を求め、その指示に従う場合の期待収益といくつかの初期林分状態に対する最適間伐計画を示した。

第III章では、感度分析として計算条件を変更したときの最適解および期待収益の変化を検討した。また、第II章の標準条件の場合の最適解を基準として、経営的な判断を織り込みながら、電算機との対話に

よって、より実行しやすい間伐計画を導くための計算システムを与えた。

この分析によって得られたトドマツ人工林の取扱いに関する知見は、次のようである。

1. 生産期間の総収益を大きくするためには、例え捨伐りになっても下層間伐をしばしば繰り返すべきである。ただし、生育段階が進むと、径級の大きい大きさのそろった林分では上層間伐が有利になる。これは、直径が利用径級に達し立木度が飽和状態にある林分では、上層間伐で立木度を下げるとともに中間収益をあげることで、総収益が増加するからである。

一方、出発点の立木度が低く本数が多い場合には、立木度の増加が緩慢なため、下層間伐を繰り返して、立木度をできるだけ高めるような取扱いが必要である。

2. 最適間伐指針に基づく密度管理は、出発点の本数が少なければ収量比数が0.7よりやや低目に、中間的な本数では0.7を中心に、また過密な林では0.7より高目の水準で動いていく。しかし、最終的にはいずれも収量比数0.7前後の密度水準に近づく。

トドマツでは、収量比数0.7のときの上層木平均樹高と本数の関係が、相対幹距20%の線とほとんど一致する⁹⁾。この値は、英国では、針葉樹の標準の間伐方法 C/D 度に対応するものとされており¹⁰⁾、他の本州産樹種でも収量比数0.7は中庸仕立ての基準密度である。収益性の最大化の方針から導かれたトドマツの密度管理がこれらの基準と符合することは興味深い。

3. 若い林分で立木度が0.9以上のときは、立木度と ha 当たり本数の違いによる期待収益の差は少ないが、立木度が0.8以下になると立木度の低下とともに期待収益は著しく減少する。また、過密林分での収益の減少も目立ってくる。

林齢が増すと、立木度の違いによる収益差は次第に大きくなり、初期には差のなかった0.9以上の立木度の間にも違いが現れる。同時に過疎、過密林分の収益の減少も著しくなり、生育段階ごとに ha 当たり本数の適正範囲がきまってくる。

立木度は、林分密度のむらが大きく、樹高および直径の不ぞろいな林分で低くなる。このため、低い立木度から出発するときの期待収益が、間伐方法をどのように選んでも正常な林分のものに及ばないとすると、うっ閉前の取扱いのなかで、できるだけ一様な構造の林を仕立てることが収益性向上のために必要だということになる。また、生育段階の進行とともに、立木度の低い過密な林分の収益性は一層低下するので、そのような林分ではできるだけ早期に間伐を始めるべきである。

4. 収益が正になる場合にだけ間伐するという条件を加えると、初回の間伐が遅れ、主伐までに間伐できる回数が少なくなる。このため、期待収益は著しく減少する。間伐収益の正負のみで間伐方法の選択を考えたのでは、全体の収益性を高めるという間伐本来の役割を果たすことはできない。

5. 間伐の繰り返し期間を延長した場合にも必要な間伐の実行が制限され、間伐は本数間伐率、 D_T/D 比のより高い方法に移行して期待収益も低下する。しかし、初回間伐を強制的に延期する利用的間伐に比べると収益減少の程度は少ない。

6. 労務費の経年的な上昇を仮定すると、期待収益は低下するが、ここに用いた2%の上昇率では間伐指針は標準条件のときとあまり変わらない。また、林業利率の変更は、年率3.5%を2%に引き下げる程度では、最適解に大きい変化は生じない。

これらの結果によって、トドマツ人工林の当面の取扱いについて方向づけができたと考える。ただ、これらの指針が実用的な意味をもつためには、もともなる収益評価システムが材の取引の実態を正しく表し

ていなければならない。トドマツ人工林では間伐・主伐の事例が乏しく、ここに用いた価格評定の要素はほとんどが天然林の実績の準用である。その意味では上述の結論は暫定的なものであり、必要な資料の集積をまっぴいずれ再検討を要することになる。

同時に考えておかなければならないのは、木材市況や生産費の時間的変化への対応である。動的計画法では、収益評価システムのさしかえやパラメータの変更は容易であるが、実用的には間伐指針の頻繁すぎる改訂も考えものである。したがって、市況、費用条件の過去何年かの変化の傾向をもとにして、可能な限り安定的な間伐指針を求め、これを適当な期間をおいて見直すという手続きが適当と思われる。その際、経営の実態に即した指針を直接求めようとするよりも、第 II 章の保育の間伐で示される最も集約な場合の間伐指針を求め、種々の可能性を実行可能計画の計算システムでテストしながら、現実の条件に合わせて修正すべきだと考える。

引用文献

- 1) 吉田正男：林価算法及林業校利学改訂版，地球出版，176 pp.(1968)
- 2) BELLMAN, R. : Dynamic Programming, Princeton Univ. Press, 342 pp.,(1957)
- 3) 真辺 昭：林試研報，317, 1~65, (1982)
- 4) ————：トドマツの密度管理図，北方林業会，69 pp., (1974)
- 5) 林 野 庁：北海道地方国有林トドマツ林分密度管理図，林野庁，5 pp. (1978)
- 6) CHAPPELLE, D.E. and T.C. NELSON : Estimation of optimum stocking levels and rotation ages of loblolly pine, For. Science, 10, 4, 471-502, (1964)
- 7) 木梨謙吉：限界理論による最適輪伐期，76 回 日林講，43~45, (1965)
- 8) JOHNSTON, D.R., A.J. GRAYSON and R.T. BRADLEY : Forest planning, Faber and Faber, 541 pp., (1967)
- 9) 栗村哲象：林業経営計算学，養賢堂，393 pp., (1974)
- 10) 坂口勝美：林試研報，131, 1~95, (1961)
- 11) ————・安藤 貴・蜂屋欣二・土井恭次・加藤善忠：間伐とその考え方，わかりやすい林業研究解説シリーズ，林業科学技術振興所，48 pp., (1964)
- 12) 小田中敏男：ダイナミック・プログラミング，丸善，210 pp., (1963)
- 13) SCHREUDER, G.F. : The simultaneous determination of optimal thinning schedule and rotation for an even-aged forest, For. Science, 17, 3, 333-340, (1971)
- 14) AMIDON, E. C. and G. S. AKIN : Dynamic programming to determine optimum levels of growing stock, For. Science, 14, 3, 287-291, (1968)
- 15) KILKKI, P. and U. VÄISÄNEN : Determination of optimum cutting policy for the forest stand by means of dynamic programming, Acta Forestalia Fenica, 102, (1967)
- 16) HUMMEL, F.C. : The definition of thinning treatments, Proceedings of 11 th I. U. F. R. O. Congress, 582-588, (1954).

林業試験場研究報告第 317 号に掲載された「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」真辺 昭著に、下記の誤りがありましたので、訂正します。

ページ	行	誤	正
4	3	I 既往の研究の概要	I 既往の研究の概要
9	7	NEWTON-PAPHSON	NEWTON-RAPHSON
17	20	実測側と計算値	実測値と計算値
46	4	末口に二乗法	末口二乗法
61	24	$1/\rho = \frac{1}{\rho_0} - \frac{v}{k_0 \rho_0^{1+K_1}} \dots\dots(28)$	$1/\rho = 1/\rho_0 - \frac{v}{k_0 \rho_0^{1+K_1}} \dots\dots(28)$

**Studies on the Optimal Thinning Schedule for Todomatsu
(*Abies sachalinensis*) Plantations**

Akira MANABE⁽¹⁾

Summary

In a previous report, the author proposed both the yield forecast and stumpage appraisal systems concerning the thinnings and final cut yields for Todomatsu plantations. Here, the author discusses consecutively, the determination of optimal thinning schedules, which maximize the net present worth of future revenue from a stand using these systems.

In chapter 1, the recurrence relationship was formulated in order to solve the problem along lines of dynamic programming, and its computational scheme was illustrated.

1. Functional recurrence equation

Assuming the thinning operations are successively performed at N stages of a stand growth, the following functional equation can be derived from the principle of optimality, because the yield forecasting system used in this study depends only upon the existing state of a stand, and the thinning operation that was performed.

$$f_{k,n}(P) = \max_{\mathbf{d}_k} [g_k(P_k, \mathbf{d}_k) + \alpha_k f_{k+1,N}(T(P_k, \mathbf{d}_k))] \dots\dots\dots (7)$$

The left hand side of the equation describes the maximum of discounted future revenue obtained starting with P_k , state of a stand at stage k and ending at stage N , employing an optimal thinning policy. Also the symbol max on the right hand side implies maximizing the quantity in brackets over a set of possible thinning methods \mathbf{d}_k .

Meanings of the other symbols are :

\mathbf{d}_k = The vector of thinning method which consists of the elements, felling rate and ratio D_T/D , where D_T is an average d. b. h. of the thinning and D , the average d. b. h. before thinning.

P_k = The state of a stand specified by two elements, number of stems per hectare and the degree of stocking.

$g_k(P_k, \mathbf{d}_k)$ = The revenue from thinnings at stage k , yielded from the thinning method \mathbf{d}_k and state P_k , where the function g_k is the stumpage appraisal system. In the calculation of Eq. (7), an additional factor was allowed in order to capitalize the permanent periodic income.

$T(P_k, \mathbf{d}_k)$ = The stage at the next stage resulting from the performing of thinning method \mathbf{d}_k to the present state P_k , where the function T signifies the yield forecasting system.

α_k = The discount rate corresponding to the number of years between adjacent stages.

Now, it is supposed that clear felling is a special case of a thinning treatment in which the thinning rate is a unity, and that the only clear felling is possible at stage N . Therefore, the desired solution can be obtained by solving the equation for the stages starting from $k = N$ to 1 in turn.

The most interesting feature of this process is that the solutions are given to a large family

Received August 31, 1983

(1) Hokkaido Branch Station

of optimization problems which include the original one as a part. Therefore, optimal thinning methods can be obtained not only for a given state but also for all other states and stages which belong to a certain region prescribed by some constraints.

2. Computational method

Because the function g_k or T in Eq. (7) is defined in a continuous region of variables, it is impossible to tabulate all the values of the functions. Thus, some approximation scheme must be employed in order to calculate the solution, which uses function values evaluated at a selected grid of variables.

Such an optimization procedure was shown in Fig. 2. The meanings of notations in the flow chart were as follows :

S = Site index,

N = Number of stages,

γ_S, γ_E = Lower and upper bounds about the degree of stocking,

H_T = Top height,

$\rho_{t, s}, \rho_{t, E}$ = Lower and upper bounds about the number of stems per hectare at stage t ,

Δ, Δ' = The grid interval concerning the number of stems and the degree of stocking,

L = The number of thinning methods,

$d^{(l)}$ = l -th thinning method.

The calculation comprises two phases. The former half aimed at selecting the most profitable thinning methods for all possible states and stages. The latter, on the other hand, on and after step 13 dealt with the derivation of an optimal thinning schedule starting with specified stand stages, using the results from phase 1.

In chapter 2, the author calculated the optimal thinning schedules, together with the stand growth expected under the optimal policy for various states of Todomatsu stands, and described the implication of their results.

1. Preliminary assumptions

Optimization was performed according to the following assumptions :

Site index : 12, 14, 16, top height in meters at the reference age of 30 years.

Thinning interval : at every 2 meters of growth of the top height.

Thinning method : 32 combinations of the felling rate and ratio D_T/D , including non-thinning and clear felling (see Table 1, Fig. 3).

Range of states : starting with 12 meters of top height and ending at the age of 60 years.

Annual interest rate : of 3.5 per cent, and the price and cost standards in 1977 were used in the valuation.

Stand density : from 0.6 to 0.9 in Ando's yield index, so that the actual density limits in the number of stems varied with the progress of the stages.

Further, it was supposed that the problem to be solved was optimization in the following two situations distinguished by the difference in constraints imposed for the selection of thinning methods.

Non-commercial thinning : irrespective of present payability, in which all the given thinning method were included in the comparison.

Commercial thinning : any thinning methods in which the value of removed trees did not pay the direct cost of harvesting was excluded from the calculation.

2. Optimal thinning guides

In the above mentioned procedure, a type of thinning guides were obtained at first. Ex-

amples of such guides concerning non-commercial and commercial thinning, in the case of site index 14, was shown in Fig. 4 and Fig. 5 respectively. Their entries indicated the most favorable thinning method with respect to any combination of stand density, and degree of stocking at various growth stages. Thus, the author examined these results and found the following relationship between the selected thinning method and stand conditions.

(1) In non-commercial thinning, light low thinning is preferred for a short time after canopy closure. However, the felling rate must be increased somewhat in a dense stand with a high degree of stocking.

(2) If a stand has a high degree of stocking, crown thinning bearing a ratio D_T/D greater than 0.75 should be adopted after the top height attains 16 meters. However, if the degree of stocking is lower than unity, low thinning is still best as before.

(3) When the top height reaches 22 meters, clear felling is occasionally desirable for a stand of low density and a high degree of stocking in site indexes 14 or 16. At that time, the stand age was 54 years in site index 14, and 46 years in site index 16.

(4) A heavy delay in first thinning occurs in commercial thinning, because any thinning methods which do not yield immediate profit are rejected without reserve. Thus, the first thinning can be carried out only when the top height reaches at least 16 meters, and the degree of stocking exceeds unity.

(5) The methods adopted in commercial thinning are mainly crown thinning, although a type of low thinning is favored in some cases at the end of rotation.

(6) Commercial thinning is often not possible in a stand which bears an extremely low degree of stocking and high density. The reason is that, in such cases, any of the assumed thinning methods do not yield immediate profit; but the delay of thinning according to lines of commercial thinning results in the increase of stand density beyond the prescribed limit.

3. The optimal thinning schedule and total discounted revenue

In the second phase procedure in Fig. 2, a new state of stand at the next growth stage was given by the yield forecasting system for any initial state, and the adopted thinning method. Furthermore, the optimal thinning method appropriate to this new state can be referred to in the optimal thinning guides. Thus, the optimal thinning schedule which indicated the thinning interval, and thinning method in a series was obtained, continuing this process towards the rotation end. The results were summarized in a sort of yield table which was exemplified in Fig. 6.

The author constructed such yield tables for different site indexes and initial stand conditions, basing them on the assumption of non-commercial and commercial thinning respectively.

Fig. 7~13 show the stand density control, and progress of growing stock that resulted from these calculations.

In addition, the author obtained the total discounted revenue expected from the adoption of the optimal thinning schedules as in Fig. 14~16, and recognized the following tendency in these results :

(1) In non-commercial thinning, the stand density approached approximately, the level of 0.7 in the yield index, irrespective of initial stand density and degree of stocking. However, the goal of stand density somewhat declined where the site quality was good and the degree of stocking was high.

(2) The total discounted revenue in non-commercial thinning was not affected by the initial degree of stocking, and stand density provided that the degree of stocking exceeded

0.9 and the stage was early.

(3) The total discounted revenue in non-commercial thinning markedly decreased in sparse or over dense stands in later growth stages. Furthermore, the deficit caused by the initial stocking level became more conspicuous. Therefore, the most profitable range of stand density became visible for every starting stage and initial degree of stocking.

(4) The total discounted revenue in commercial thinning was not as high as in non-commercial thinning, because the most favorable thinning method was not adopted in general. This reduction in future returns, as compared with non-commercial thinning, increased considerably with a higher site quality and a lower degree of stocking.

In chapter 3, the author examined the alternation of the optimal solution caused by the change of basic assumptions concerning the thinning interval, the logging costs and the rate of interest, in the case of non-commercial thinning.

1. Sensivity analysis

The modification of basic assumptions yielded the following results :

(1) Prolongation of the thinning interval altered optimal thinning towards a higher intensity and crown thinning. And the stand density control differed considerably according to the variation of the initial stand condition. In addition, the total return decreased as compared with the standard of non-commercial thinning. The reduction of total return increased the lower the degree of stocking was and the higher the stand age.

(2) Assuming that the labor costs rose continuously at 2 percent per year, the optimal guides bore a close resemblance to that of the standard condition. In this case, the special feature of alternation was that the optimal rotation period was shortened without exception. Furthermore, the reduction of total return was large as compared with the case when the thinning interval was altered.

(3) Both the thinning rate and ratio D_T/D decreased when the rate of interest was lowered to 2 per cent per year. However, this tendency was confined to relatively young stands of which the degree of stocking was high, and as a whole, the thinning guides did not differ so much from that of the standard condition.

2. Derivation of a practicable thinning schedule

Finally, the author presented a calculation system which brought forth a practicable thinning schedule, utilizing the optimal thinning guides concerning standard non-commercial thinning. In this system, such factors could be taken into account as the payability of individual thinning, and the amount and quality of the final cut yield, in addition to the total return. Fig. 21 shows an example of this calculation.