

天然林施業計画作成手法のシステム化(2)

伐採経路ネットワーク図を利用した伐区・伐採順序の決定手法

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者名	今関,達治 石橋,整司 芝野,伸策 犬飼,浩
発行元	日本林學會
巻/号	76巻3号
巻号補足	
掲載ページ	p. 199-206
発行年月	1994年5月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



論 文

天然林施業計画作成手法のシステム化 (II)

伐採経路ネットワーク図を利用した

伐区・伐採順序の決定手法^{*1}今 関 達 治^{*2,*3}・石 橋 整 司^{*2}・芝 野 伸 策^{*4}・犬 飼 浩^{*4}

今関達治・石橋整司・芝野伸策・犬飼 浩：天然林施業計画作成手法のシステム化 (II) 伐採経路ネットワーク図を利用した伐区・伐採順序の決定手法 日林誌 76：199~206, 1994 天然林施業を行うためには森林の持つさまざまな機能を保ちながら最適な保続収穫を得られる施業計画を作成することが必要である。そこで、本研究では、容易かつ信頼性の高い天然林施業計画作成手法の開発を目標としている。本報告では、林道、地形条件より同一年次に伐採可能な林分のネットワーク図を作成し、この伐採経路ネットワーク図を機械的にたどることによって伐区・伐採順序を決定する手法について検討した。本手法の実行例として東京大学北海道演習林内の天然林の一部を対象に伐区・伐採順序案を作成したところ、現行施業の伐区案に近い結果が得られた。今後、GIS (地理情報システム) 等の導入を進めることにより、伐区・伐採順序決定のシステム化、施業計画作成システムの開発が可能と考えられる。

IMAZEKI, T., ISHIBASHI, S., SHIBANO, S. and INUKAI, H.: Construction of systematic planning method on natural forest management (II) A cutting course planning method using a cutting course network. J. Jpn. For. Soc. 76:199~206, 1994 In natural forest management it is important to make management plans which allow for maximum sustained yield while at the same time preserving the original characteristics of the forest. The purpose of this study was to develop a management planning method for use in large scale natural forests which is both safe and easy to use. In this paper, we propose a cutting course planning method which is developed for use on large scale natural forests with varied structures based on "cutting course networks." To test the applicability of our planning method, we made a trial cutting course plan for a part of the Tokyo University Forest in Hokkaido. Then we developed trial plans that were quite close to plans actually being used presently at the site. It is hoped that, with the incorporation of GIS (Geographic Information System) and other techniques, this planning system will prove to be of use in the management of natural forests.

I. は じ め に

天然林施業を行う場合、森林の持つさまざまな機能を保ちながら最適な保続収穫を得られる施業計画を作成することが必要である。保続収穫を確保するためには、個々の林分レベルで林分構造を的確にコントロールすることが必要であり、成長量の把握と選木という二つの技術が重要となる。また計画対象となる森林レベルでも個々の林分の成長を把握した結果に基づいて伐採列区などの秩序づけを行う技術が必要となる。

本研究では、さまざまな構造を持つ林分を含んだ大

面積の天然林における択伐施業を対象として、施業計画を容易にかつ信頼性を損なわずに作成する手法の開発を目標としている。図-1は、本研究で想定している施業計画作成システムのフローチャートである。第I報 (今関ら, 1994) では、天然林の林型区分と林分成長シミュレーションモデルを利用した択伐率・択伐方法の決定手法について検討した。本報告では第II報として、図-1の破線の中に示す「伐採経路ネットワーク図を利用した伐区・伐採順序の決定手法」について検討する。

^{*1} 本研究の一部は第102回日本林学会大会で口頭発表した。

^{*2} 東京農工大学農学部 Fac. of Agric., Tokyo Univ. of Agric. and Technol., Fuchu 183

^{*3} 現勤務先：千葉県農林部林務課南部林業事務所 Southern For. Administr. Off., Chiba Pref. Off., Kamogawa 296

^{*4} 東京大学北海道演習林 Tokyo Univ. Forest in Hokkaido, Furano 079-15

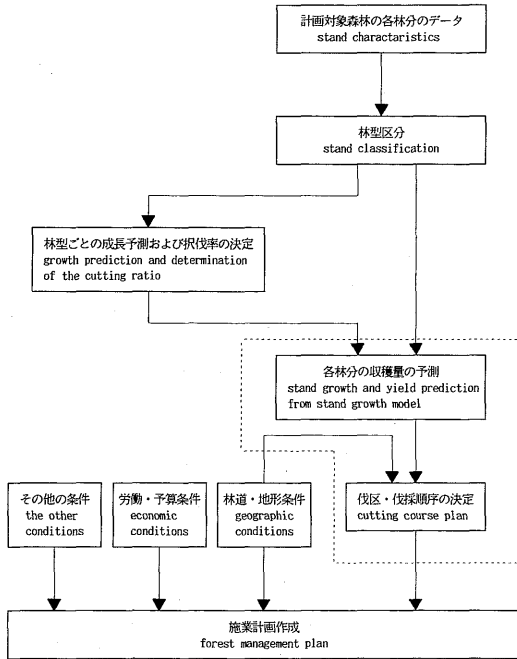


図-1. 施業計画作成システムのフローチャート
Forest management planning system on natural forests

II. 伐区・伐採順序の決定手法

本章では、モデル森林を例にして伐区・伐採順序の決定手法の説明を行う。まず、伐区・伐採順序の決定に先立ち、各林分の林型区分を行い、林型ごとに択伐率・択伐方法を決定する必要がある。この手法については第I報で説明したが、モデル林分について択伐率・択伐方法を決定した結果を模式的に示したのが図-2である。図-2では18個の林分を三つの林型に区分し、各林型ごとに択伐率を決定している。今後は、以上で決めた条件に基づいて伐区・伐採順序を決めていくことになる。なお、本報告の議論においては回帰年を10年として説明していく。

1. 伐採経路ネットワーク図の作成

伐採計画を立てるうえで林道や地形の条件は伐出作業に関わる重要な要因と考えられる。いま、図-2で示した森林の林道および地形が図-3のようになっていたとする。このとき、1年目の伐区として林分Aが確定されており、伐採量の関係から他に1林分選ぶ必要があるとすると林分Bと林分Rのどちらを選ぶべきであろうか。林分Bと林分Rがほぼ同じ伐採量の得られる林分であれば、林分Aと同じ流域にあって隣接

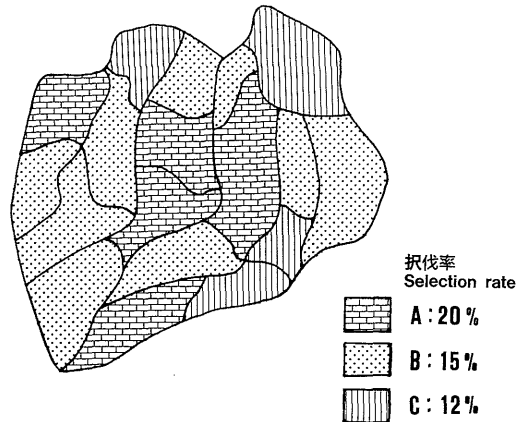


図-2. 林型区分および択伐率の決定
Stand classification and setting the selection rate

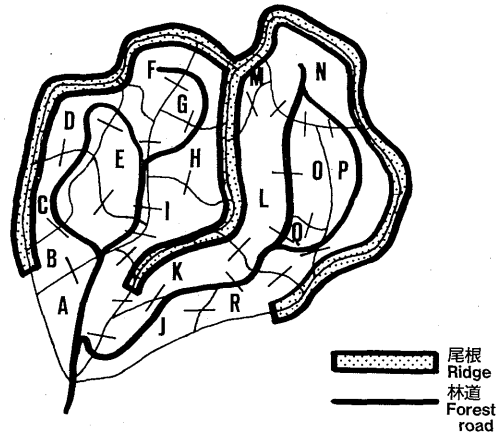


図-3. 地形条件および林道条件
Topography and forest roads

し、同じ林道を利用できる林分Bは林分Rよりも作業効率の面で有力な候補といえる。また、林分Hと林分Lは隣接しているものの両者の間に尾根があり、伐出過程を考えたとき同時期に伐採することは難しい。つまり、一つの伐区は作業効率上同一の林道で集材が可能な同一流域内の隣接した林分の組み合わせによって作られていることが望ましい。そこで、ある林分とその周囲の林分との関係の一つずつ検討し、林道、地形などの条件より二つの林分を同一伐区として取り扱うことが可能であれば、すなわち、同一年次に伐採することが可能であれば線で結び、各林分間のネットワーク図を作成する。図-3において林分間に引かれている短い線は、その線で結ばれる2林分が林道および地形条件からみて同一伐区となりうることを示してい

る。ここで、各林分を「丸 (Node)」, 同一伐区とないうことを「線 (Line)」で表すと、図-3の森林は図-4に示す伐採経路ネットワーク図で表される。

2. 年次別収穫量の予測

施業計画においては計画期間内の収穫量最大や、持続収穫の実現 (収穫量の均等化) など収穫量に関わる制約、目標があり、これら収穫量に関わる条件は伐区・伐採順序の決定にも影響を及ぼす。そこで、各林分について計画期間中に択伐を行った場合の予測収穫量を択伐年次 (1年目から10年目) ごとに計算しておく必要がある。

3. 伐区・伐採順序の決定

ネットワーク図と収穫量の予測が完了すると伐区・伐採順序の決定を行う。まず、林道その他の条件より、施業を始めることが可能でありかつ作業能率や林相などの条件により早めに施業を行うことが望ましい林分を1カ所決める。施業を開始する林分の候補は必ずしも一つに絞られないであろうが、その際は計画担当者の判断で適宜決めて支障はないと考えられる。施業を開始する林分が決まったら、その林分から始めて隣接した林分へと順次ネットワーク図をたどっていく。ネットワーク図をたどる途中、通過した林分の1年目の予測収穫量を合計しながら進み、1伐区分に十分な収穫量に達したらそれまでの通過林分を1年目に伐採する伐区とする。1伐区分に十分な収穫量とは、対象森林より1回帰年を通して得られる総収穫量の予測値を回帰年数で割って求めた各年次の平均収穫量にある程度の許容範囲を持たせた値であり、許容範囲の中に各年次の予測収穫量が入るようにする。

いま、図-4の伐採経路ネットワーク図において、林

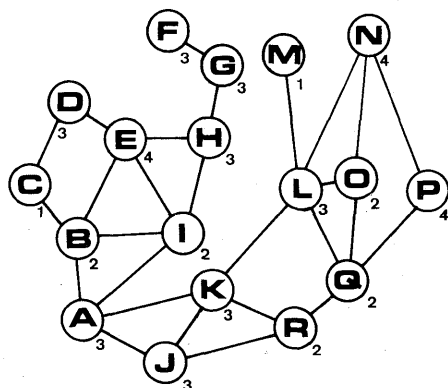


図-4. 伐採経路ネットワーク
Cutting course network

分 A をスタートの林分としてネットワークをたどる例を示したのが表-1である。A+B は林分 A と林分 B を1年目の伐区として検討することを意味し、(A+B) は伐区として収穫量の条件を満たすこと、すなわち伐区案として認められることを、/A+B/ は逆に認められないことを意味する。ただし、伐区案の収穫量は、図-4の各丸の右下に示した「各林分を1年目に伐採した場合の収穫量 (単位: 100 m³)」を合計して求める。収穫量の許容範囲は、下限が 400 m³ 単位、上限が 600 m³ とする。表-1にあげた伐区案として検討する組み合わせは、スタート林分である A に隣接する林分 B, I, J, K を順次2個目の林分として選び、さらに、B, I, J, K に隣接する林分を3個目の林分として選ぶというように順次ネットワーク図をたどっていく順番に並んでいる。結果的に、1年目の伐区案として、(A+B), (A+B+C), (A+I), (A+K), (A+J) の五つの組み合わせが伐区案として認められたことになる。

2年目以降の伐区についても残った林分を対象に同様の手順で決定していく。1回帰年間ですべての林分を回帰年数分の伐区に区分したところで伐区・伐採順

表-1. 伐区案作成手順の一例 (伐採経路ネットワークのたどり方)

Example of making a cutting area plan

1年目の伐区案 Cutting area plans of 1st year	1年目の収穫量 Yields of 1st year	収穫量に関する制約 Constraints on yields
/A/	300 m ³	収穫量の下限を満たさない*3
(A+B)	500 m ³	許容範囲内*1
(A+B+C)	600 m ³	許容範囲内*1
/A+B+C+D/	900 m ³	収穫量の上限を超える*2
/A+B+E/	1000 m ³	収穫量の上限を超える*2
/A+B+I/	700 m ³	収穫量の上限を超える*2
/A+B+K/	800 m ³	収穫量の上限を超える*2
/A+B+J/	800 m ³	収穫量の上限を超える*2
(A+I)	500 m ³	許容範囲内*1
/A+I+E/	900 m ³	収穫量の上限を超える*2
/A+I+H/	800 m ³	収穫量の上限を超える*2
/A+I+K/	800 m ³	収穫量の上限を超える*2
/A+I+J/	800 m ³	収穫量の上限を超える*2
(A+K)	600 m ³	許容範囲内*1
/A+K+L/	900 m ³	収穫量の上限を超える*2
/A+K+R/	800 m ³	収穫量の上限を超える*2
/A+K+J/	900 m ³	収穫量の上限を超える*2
(A+J)	600 m ³	許容範囲内*1
/A+J+R/	800 m ³	収穫量の上限を超える*2

*1 Between the lower and upper limits of each years' yield. *2 Over the upper limit of each years' yield. *3 Under the lower limit of each years' yield.

年次の伐区にも入らず孤立してしまう。いいかえれば、図-7(b)や(c)の太線のような伐区を含む伐区案は存在しない。そこで、図-7(d)のようにあらかじめB, E間の線を取り去っておけば林分C, Dの孤立を防ぐことができ、F, GやHのような「枝」の部分の予測収穫量を、 $H(f+g+h)$ や $L(l+m)$ にまとめ、林分Hを伐採するときはF, Gを、林分Lを伐採するときはMを自動的に伐採するようにしておくことで「枝」の孤立を防ぐことができると同時に計算量を減らすことができる。

III. 0-1 線形計画法と伐採経路ネットワーク

林分ごとの予測収穫量に他のさまざまな条件を加味して伐区・伐採順序の案を理論的に決定しようとする試みに、南雲(1974)をはじめとする0-1線形計画を用いた収穫予定に関する研究がある。

0-1計画法を収穫予定に利用する基本的な方法は、伐採の最小単位(小班の場合が多い)一つ一つに関して、いつ(何分期目、何年目)伐採するかを i 小班の j 分期目の状態を表す変数 $x_{i,j}$ (ただし、伐採するときは $x_{i,j}=1$ 、しないときは $x_{i,j}=0$)を用いて定式化し、最適解としての $x_{i,j}$ の値を求めるというものである。ここで、小班数や分期数が大きくなると0-1計画問題として扱う変数の数が幾何級数的に増加し、事実上計算不可能となってしまう、という問題が起きる。この計算時間を短縮する手法として、木平(1981a, b, 1982b)は収穫予定法特有の条件を利用して計算時間を飛躍的に短くするアルゴリズムFOAを開発し、小班別収穫予定への0-1計画法の応用を試みた。また、鈴木・田中(1981)は人工林の場合、伐採予定の対象となる分期はきわめて限られることを利用し、計画対象分期の数を減らす方法を提案した。さらに、後藤ら(1981)は小班をいくつかのグループ(伐採列区)に分けてグループ内部での伐採順序を決めておき、各グループの最初に伐採する小班の伐採分期を決めるという方法を提案した。以上のような報告に加え、林道条件を制約条件として取り入れた収穫予定問題への0-1計画法の適用に関する研究も成されている(木平, 1982a; 後藤, 1983)。

本報告に示す「伐採経路ネットワーク」は、伐採の最小単位一つ一つについて伐採時期を決定するという点で0-1計画法による収穫予定問題と共通している。しかし、従来行われてきた収穫予定に関する研究は人工林の皆伐作業を中心に進められているものが多く、

本研究の対象である天然林の択伐施業に適用しづらい面が多い。天然林の択伐施業では明確な適正伐期というものを決定しにくいと、伐採時期を厳密に限定することが難しい。また、広く浅く伐採することが必要であり、かつ作業実行上あまり離れたところでは伐採を行うことは現実的とはいえない。このような条件下での伐採計画作成のための手法としては、地形、林道、労働力の配分などさまざまな条件をバランス良く満たす案を得られる必要がある。「伐採経路ネットワーク」を利用する方法は、以上のような特徴を持つ施業を対象とした伐区・伐採順序の決定手法として考え出されたもので、従来の0-1計画法の手法に比べて地形、林道、林分の隣接条件などのより部分的な条件を中心に機械的に伐区案を作成していく手法といえる。

IV. 実 行 例

以上で説明した伐区・伐採順序決定手法の実行例として、東京大学北海道演習林の67, 68, 69, 71, 78, 79, 80林班内の一般天然林と山火再生林806.10haを対象として計画作成を行った。図-8の黒塗りの部分が対象森林である。図の白い部分は各林班内に存在する風害地、皆伐林分など、従来より択伐施業対象地となっていない地域なので、本例でも計画対象森林から除いた。

現在、本演習林で用いている林分区分図をもとに、対象森林を69個の林分に区分し、伐採のための林況調査が最近行われている50林分については当該の資料を、最近の資料がない19林分については0.0625haの円形プロットを1林分に1カ所ずつ設け、樹種、直径の調査を行った結果を解析に用いた。なお、資料



図-8. 計画対象森林(東京大学北海道演習林)
Model forest (Tokyo University Forest in Hokkaido)

の詳細については第 I 報を参照されたい。

成長予測は、林分成長モデル FSD(石橋, 1989 a, b, 1990) を用いた和田ら (1990) の方法によることとし、各林分の林型のデータと各林型の択伐率のデータから各林分の年次別の収穫量を予測して算出した。

本例では、本演習林の現行施業にならい、回帰年を 10 年としたうえで対象森林全域を一つの伐採列区とし、10 年間、10 伐区からなる施業計画を立案することを前提とした。ただし、今回伐区案を作成した森林は、現行施業下では隣接する森林を加えた伐採列区の一部であるため 8 個の伐区に区分されている。

計画対象森林の伐採経路ネットワーク図は図-9 のようになった。ここで地形条件などにより当初の 69 林分のうち 10 林分をさらに細分する必要が生じたため、計画対象林分数は 80 となっている。図-9 のネットワーク図の特徴は、中央の尾根をはさんで左右二つの流域に分割されていることである。また、第 I 報で示

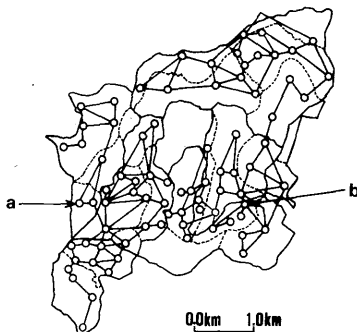


図-9. 計画対象森林の伐採経路ネットワーク図
Cutting course network of model forest

表-2. 各林型の択伐率の決定結果
Selection rates for each forest type

林型 Forest types	択伐率 Selection rates
A	25 % (20 年以降 15 %) after 20 years
D	12 %
E	15 % (30 年以降 13.5 %, 60 年以降 11.5 %) after 30 years after 60 years
G	15 % (40 年以降 12 %) after 40 years
H	15 % (30 年以降 14 %, 60 年以降 12 %) after 30 years after 60 years
I	15 % (30 年以降 14.5 %, 60 年以降 14 %) after 30 years after 60 years

したように、計画対象森林内の林分は田中ら (1987) の 9 林型のうち六つの林型に区分され、残る 3 林型に該当する林分はなかった。各林型の択伐方法は表-2 に示すように決定した(今関ら, 1994)。毎年の収穫量の変動の許容範囲は約 2 割とした。

まず、左右の 2 流域の面積、蓄積をもとに、左側の流域は 1 年目から 4 年目に、右側の流域は 5 年目以降に伐採することとし、伐区・伐採順序案を作成した。対象地域の林道がすべて既設であるため、流域の下流から上流へ向かって施業を進めることを基本とし、林分 38 番 (左側流域、図-9 の a) と林分 59 番 (右側流域、図-9 の b) を伐区作成のスタート林分と設定した。また、各年次のスタート林分についても同様の基準で決定した。伐区案を作成した結果、左側流域の 1 年目の伐区を決める際はパーソナルコンピュータを利用して 20 時間あまりを要し、作成された 1 年目の伐区案は 199 個に及んだ。しかし、2 年目以降は、1 年目の伐区を除いた残りのネットワークがさほど複雑でないため、手作業でわずかの時間で組み合わせを作っていくことができた。また、1 年目の伐区案の中には、1 年目の伐区によって分離された部分が 1 年分の収穫量をあげるには多く 2 年分の収穫量をあげるには少ないといったように、残りの林分を使って 2 年目以降の伐区をうまく作ることのできないものも多く含まれており、最終的に 1 年目から 4 年目の左側流域における伐区案は 43 とおりとなった。右側流域についても、5 年目の伐区を求める際はパーソナルコンピュータを利用して 9 時間を要し 49 個の案を得たが、その後は 6, 7, 8 年目の分は手作業で、9, 10 年目の分はパーソナルコンピュータを利用して、いずれも数十分で終了し、右側流域全体で 104 とおりの伐区案が得られた。したがって、左右の流域を合わせた 10 年間の伐区案は $43 \times 104 = 4,472$ とおり得られたことになる。

今回の結果をみると、各年次の伐区案の数や、最終的な全林分の伐区案の数は、単純に林分の数だけによるのではなく、ネットワークの形状や各林分の面積(予想収穫量)によって変化する。しかし、一つにつながったネットワークについては、最終的にはそれほど多くの案が残るわけではないようである。この点に関しては今後の検討が必要であろう。

各年次の伐区をみると、どの案でも大きく傾向が異なることはなく、熟練した技術者によって決定されている北海道演習林の現行施業の伐区(図-10; 8 伐区)に近い形となっていた。このことは本手法の有効性を



図-10. 計画対象森林の現行施業の伐区 (8 区画)
Actual cutting area of model forest that is being
used presently (8 areas)



図-12. 計画対象森林の伐区および伐採順序案
(その 2)
Cutting area and cutting course plan (Example 2)



図-11. 計画対象森林の伐区および伐採順序案
(その 1)
Cutting area and cutting course plan (Example 1)



図-13. 計画対象森林の伐区および伐採順序案
(その 3)
Cutting area and cutting course plan (Example 3)

示しているといえよう。

図-11～13 は、作成された伐区案の例、表-3 は、各伐区案に基づく各年および 10 年間 (1 回帰年) の総収穫量の予測結果である。図-11 は、予測総収穫量が $38,141.60\text{m}^3$ と最大になる伐区・伐採順序案である。この案では各年の収穫量の最大値と最小値との差は 874.68m^3 あり、保続収穫をより厳密に求める場合はこの差がさらに小さい案が望ましいであろう。図-12, 13 は、いずれも各年の予測収穫量の最大値 (5 年目の伐区: $4,074.81\text{m}^3$) と最小値 (2 年目の伐区: $3,376.87\text{m}^3$) との差がもっとも小さい伐区・伐採順序案である。図-12, 13 はもっとも保続収穫に近い計画を可能にすると予想される伐区・伐採順序案といえ、その中でも、図-13 は予測総収穫量が最大となる案である。いずれの計画にしても、ネットワーク図の作成やネットワーク図をたどる段階で考慮した林道、地形、収穫量の変動の許容範囲など最低条件は満たした案であり、前述

のように計画担当者は、労働力、予算、その他の条件をも考慮して最も望ましい案を選ぶことができる。今回の計画例では、表-3 からわかるように、どの案をとるにしても予測総収穫量に大きな差はみられず、予測収穫量の保続性や増減のパターンといった点についても差があるとはいいがたい。このような場合には収穫量以外の条件をより重視して案を採用すべきであろう。機械的に最適案を計算する方法に比べて、計画担当者へ選択の余地を残すことで計画作成手法としての柔軟性を有するとともに、計画担当者に有効な情報を提供しうることも本手法の特徴である。

V. お わ り に

大面積の天然林において択伐施業を対象とした施業計画を作成するうえでは、成長パターンを適切に表す林型区分と林分成長モデルを利用した信頼性の高い択伐率決定手法が重要な要素となる。そして、これら二

表-3. 各伐採順序案における年次ごとの収穫量
Yield of each year for several cutting course plans

	(m ³ /ha)		
年次 Year	図-11 の案 Plan in Fig. 11	図-12 の案 Plan in Fig. 12	図-13 の案 Plan in Fig. 13
1	3461.77	3962.20	3461.77
2	3376.87*	3376.87*	3376.87*
3	3985.67	4027.06	3985.67
4	4057.76	3487.03	4057.76
5	4074.81	4074.81**	4074.81**
6	3996.18	3996.18	3996.18
7	3508.61	3508.61	3508.61
8	3545.77	3545.77	3545.77
9	4251.55**	4061.54	4074.46
10	3882.61	4031.31	4037.56
合計 Totals	38141.60	38071.38	38119.46
最大値と最小値の差 Difference between maximum values and minimum values	874.68	697.94	697.94

* 計画内の収穫量が最小の年次, ** 計画内の収穫量が最大の年次。

* Year of minimum yield of the plan, ** Year of maximum yield of the plan.

つの技術を基礎において、本報告で示したような伐区・伐採順序の決定手法を開発する必要がある。本法を発展させるうえではネットワーク図を用いて伐区をたどる際の効率のよいアルゴリズムの開発が必要となる。伐採の方針として、本報告のように1伐区を隣接して選ぶ場合もあれば、逆に隣接した林分は同一年次には伐採しないというルールを用いる場合もあり、ネットワーク図のたどり方もいろいろな方法が考えられる。GIS(地理情報システム)などの導入、利用も不可欠であろう。

いずれにせよ、いかに効率よく、客観的に、信頼性のある計画を立てられるかが施業計画作成過程のシステム化のポイントとなる。今後、各々の手法の検討を進めながら、実用的なシステムとして作り上げていくことが必要である。

引用文献

- 後藤元規(1983)林道条件を考慮した0-1計画法. 94回日林論: 119~120.
 後藤元規・田中和博・鈴木太七(1981)0-1計画法として収穫予定(II)小班群のグループ化. 92回日林論: 141~142.
 今関達治・石橋整司・芝野伸策・犬飼 浩(1994)天然林施業計画作成手法のシステム化(I)林型区分と成長予測

- に基づく択伐率の決定. 日林誌 76: 99~107.
 石橋整司(1989a)天然林の成長予測(I)シミュレーションモデルの作成. 日林誌 71: 309~316.
 石橋整司(1989b)天然林の成長予測(II)シミュレーションモデルによる長期予測. 日林誌 71: 356~362.
 石橋整司(1990)シミュレーションモデルに基づく天然林の林分構造の動態に関する研究. 東大農演報 82: 11~101.
 木平勇吉(1981a)収穫予定のための0-1線形計画の解法(I)加速列挙法の開発. 日林誌 63: 345~353.
 木平勇吉(1981b)収穫予定のための0-1線形計画の解法(II)適用方法と処理能力. 日林誌 63: 392~399.
 木平勇吉(1982a)収穫予定のための0-1線形計画の解法(III)林道計画を取り入れた収穫予定法と適用事例. 日林誌 64: 27~31.
 木平勇吉(1982b)小班別収穫予定法—Computer mappingの適用事例. 93回日林論: 117~118.
 南雲秀次郎(1974)線形モデルによる収穫予定法の研究(I)0-1計画法の適用. 日林誌 56: 128~135.
 鈴木太七・田中和博(1981)0-1計画法としての収穫予定. 日林誌 63: 94~96.
 田中和博・石橋整司・高田功一・柴田 前・南雲秀次郎(1987)多変量解析法による天然林の林型区分(I)択伐林分の場合. 日林誌 69: 127~135.
 和田仁志・石橋整司・河原 漢・南雲秀次郎(1990)天然林における択伐施業を対象とした収穫予想表の作成. 101回日林論: 53~54.

(1992年6月24日受理)