

新 制
農
434
京大附図

林内道路の最適配置計画に関する研究

1985年

酒井 徹朗

林内道路の最適配置計画に関する研究

1985年

酒 井 徹 朗

## 目 次

第一章 序論	1
第一節 林業生産活動と林道	1
第二節 林道・作業道の計画	2
1. 林道・作業道の現況	
2. 従来計画手法および研究	
第三節 本論文の目的および構成	6
第二章 配置計画と地形因子	7
第一節 林分・地形条件	7
第二節 数値地図の作成と諸因子の計算	8
1. 作成方法	
2. 諸因子の算出	
第三節 林道計画と数値地図の利用	11
1. 地形区分	
2. 集材架線の設計	
3. 路線の概略設計	
第三章 林道・作業道の配置	16
第一節 造林作業道の事例分析	16
1. 資料及び計測方法	
2. 結果及び考察	
第二節 国有林における高密度路網の事例	29
1. 大代国有林における事例分析	
2. 黒河内国有林における事例分析	
第四章 林道の最適配置計画法	40
第一節 路線配置の評価方法	40
第二節 数値地形図による路線配置計画法	41
1. 端点除去法の考え方	
2. 評価・計算方法	
3. 適用例	
第三節 等高線データを用いた最適配置計画法	47
1. 計画単位と予定線	
2. D.P.による解法	
3. 適用例と考察	

4. 各種評価式による最適配置	
第五章 林道計画と個別開設計画	56
第一節 施業計画と林道開設計画	56
第二節 小流域・施業団地における開設順序決定法	57
1. 開設順決定の考え方	
2. 路網の状態の決定	
3. 計算例	
第三節 市町村等における開設順序決定法	63
1. 計算方法の考え方	
2. 計算例	
3. 多基準による評価方法	
4. 多基準による計算例	
第六章 応用上の問題点と今後の課題	71
第七章 要約	78
文献	79
付 表	81

# 第一章 序論

## 第一節 林業生産活動と林道

第二次大戦後、荒れた国土を緑化すべく営々と先人達が植林した林分は成長し、今や国土全面積の68%を占める森林面積の39%がスギ・ヒノキを主体とする人工林となった。しかし、人工林の88%が7齢級以下の若齢林分で、その齢級構成に大きな片寄りが生じている。これらの林分は保育・間伐期にあり、経営面から見ると費用の割に収入が少なく手間がかかる時期である。これに加え、木材需要は住宅建設戸数の伸び悩み、木造住宅の減少、非木質建材の増加等により低迷し、木材価格が下落している。また、輸入材の占める割合は全消費量の65%に及び、国産材を圧迫している。更に、最近では木材製品の関税撤廃の方針が打ち出され輸入の拡大が懸念される。このような情勢下で林業生産活動は停滞しており、手入れの必要な林分の多くが放置され、今後にも多くの問題を残している。一方、林業生産活動の重要な担手である山村では、昭和30年代後半から過疎化が進み多くの労働力が流出した。近年、過疎化には一応のはじめがかかったものの労働力は減少したままでその高齢化・婦女子化が顕著になってきた。このように林業生産活動を取巻く情勢には厳しいものがあり、潜在的な供給力をようやく持つに至った我が国の林業は重大な危機に直面している。

こうした事態を打開するためには、木材需要の喚起と生産費用の低減を行なうことがまず大事である。すなわち木材使用々途の拡大、高品質な木材生産、流通機構の整備、林道・作業道による生産基盤の整備が必要な施策である。なかでも林道・作業道の整備は良質な木材生産に必要な保育・間伐・枝打等の森林諸作業の効率向上、集運材費用の低減、森林作業の機械化、森林管理等にとって欠くことのできないものである。また、林業労働者の高齢化・後継者の不足等に積極的に対処し労働力を確保するためにも基盤整備は不可欠である。更に林業生産活動の中心である山村における生活基盤としての林道の役割を無視することはできない。一方、国民の大部分を占める都市住民の森林に対する関心は、水資源・治山治水・緑の資源としての森林の保健休養的利用と多面化し、いわゆる森林の公益的機能に重点があり、木材生産としての森林に対する関心は相対的に低下している。しかしこのような森林の公益的機能を発揮させるためにも、管理道やアプローチ道としての林道は必要であり、森林を管理・経営する山村と林業の再興なくしては不可能である。山村の崩壊・林業の危機が叫ばれている今日、このような多面的機能を有する林道を如何に合理的に整備していくかは、益々重要な課題となってきている。

## 第二節 林道・作業道の計画

### 1 林道・作業道の現況

林道の開設状況を1985年度の林業白書<sup>38)</sup>にみれば、昭和59年3月末現在の我が国の林道総延長は10万8千kmで整備目標に対する達成率は39%である。近年の公共投資の抑制に加えて、木材価格の低迷、開設単価の上昇により林道開設量は減少しており、58年度は前年を下回る3156kmとなっている。特に、最近3年間の開設量は『全国森林計画』の年平均計画量の約半分と整備の遅れが目立つ。一方、作業道は開設費が林道に比べ廉価であり、作業地までの歩行時間の短縮と労働負担の軽減が計れるため、造林・保育・間伐といった作業が必要な林地では積極的に開設されている。とりわけ、公社・公団造林地、大規模な森林所有者の林地、協業あるいは共同施業をする団地等において多く開設されている。国や都道府県の助成によるものだけでも年間2~3千km程度新設されており、その開設量は林道と同程度であり、今後は更に増加するものと予想される。

林道の経済的機能は林業生産面だけでなく、地域内及び地域間の輸送路として、あるいは保健休養・森林管理の道としての役割も併せもつ。ところで林道や作業道の区分けは、林道開設費の負担区分から、補助林道・融資林道・自力林道に区分され、補助林道はその補助主体により国庫・都道府県・市町村等と区分できる。その大部分を占める国庫補助林道は民有林林道関係事業による一般林道、農林漁業用揮発油税身替林道整備事業による農免林道、特定森林地域開発林道事業や大規模林業圏開発林道事業による公団林道、林業構造改善事業による林構林道、その外に山振林道・入会林道・奄美林道・失対策林道等があり、その各々の採択基準と補助率が決められている。また林道を林業生産面の機能から、森林と消費地間における生産物や資材の輸送のための到達林道と林業生産活動に直接利用される施業林道に区分できる。伐出等に一時的に開設される作業道と林道との違いを、その機能上から区分することは難しく、路体構造等の規格から区分する場合もあるが、施設の耐用期間で区分し、半永久的なものを林道、一時的なものを作業道と呼ぶ場合が多い。

林道の利用区域面積とその延長についてみると、図(1-1)のような関係がある。富山県の林道網整備計画(昭和58年度)の資料を用いて、補助林道の採択基準に基づく利用区域の森林面積階ごとに、その平均路線長(L)と平均利用面積(S)をプロットしたものである。路線長と利用面積には式(1-1)のような強い相関関係があることがわかる。

$$L = 1531.5 + 4.62 * S \quad (r = 0.989) \quad (1-1)$$

しかし、全路線483本について路線長(L)と利用面積(S)の関係をみると式(1-2)のようになり、面積階別の場合に比べ相関関係は弱い。

$$L = 1299.9 + 4.68 * S \quad (r = 0.668) \quad (1-2)$$

このことは全体としてみれば、利用面積が増加すれば路線長が増加する傾向があることを示し

ている。しかし各利用面積階ごとにみるとその路線長の変動係数は57~67と大きく、図(1-2)に50~200haの面積階の路線長と利用面積の関係をプロットしたようにほとんど相関関係はなく、他の面積階でも同様であった。これは谷沿いの突っ込み線形の路線では延長の割に利用面積が広く、連絡線形や登はん路線ではその逆の傾向があるように、路線の配置条件によりその関係が大きく異なるためである。また林道密度と利用面積の関係を面積階ごとについてみると図(1-3)となる。比較的小規模の利用面積における林道密度は大規模な利用面積におけるそれに比べ高いことがわかる。

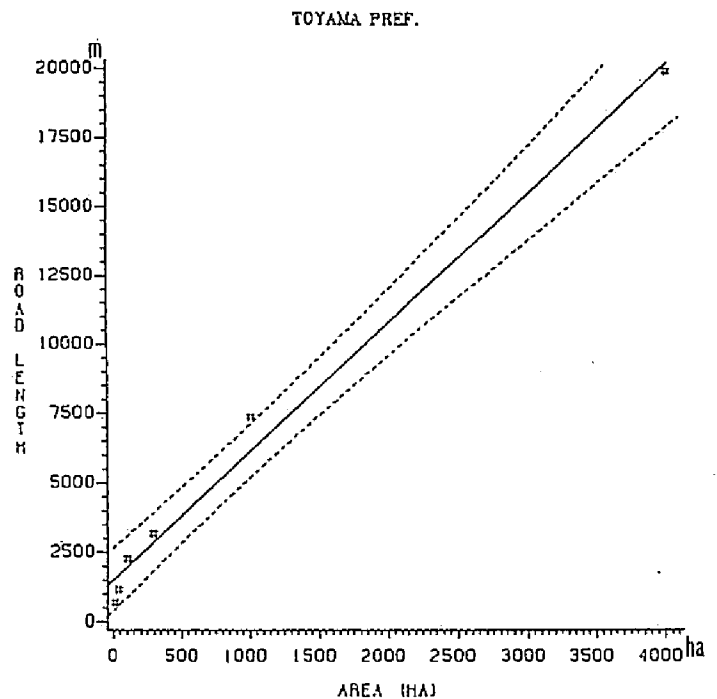


図1-1 平均林道利用区域面積と平均路線長 (富山県)

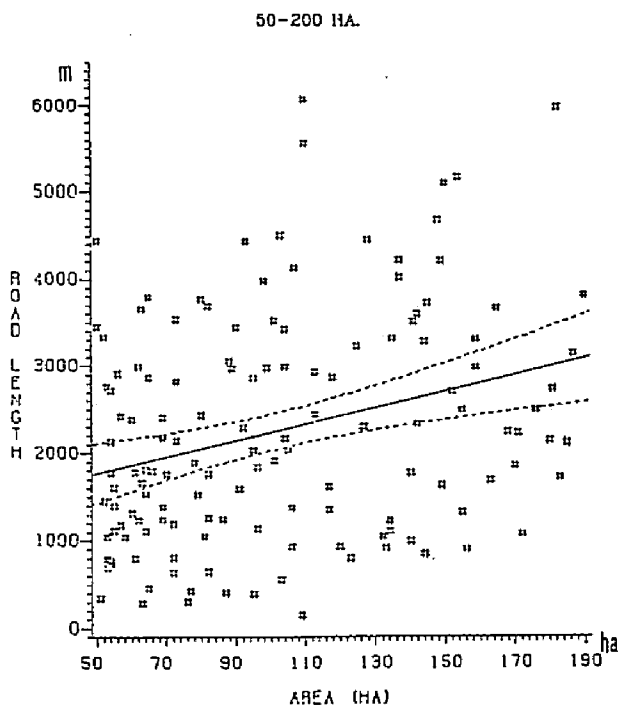


図1-2 林道利用区域面積と路線長 (利用区域面積50~200ha)

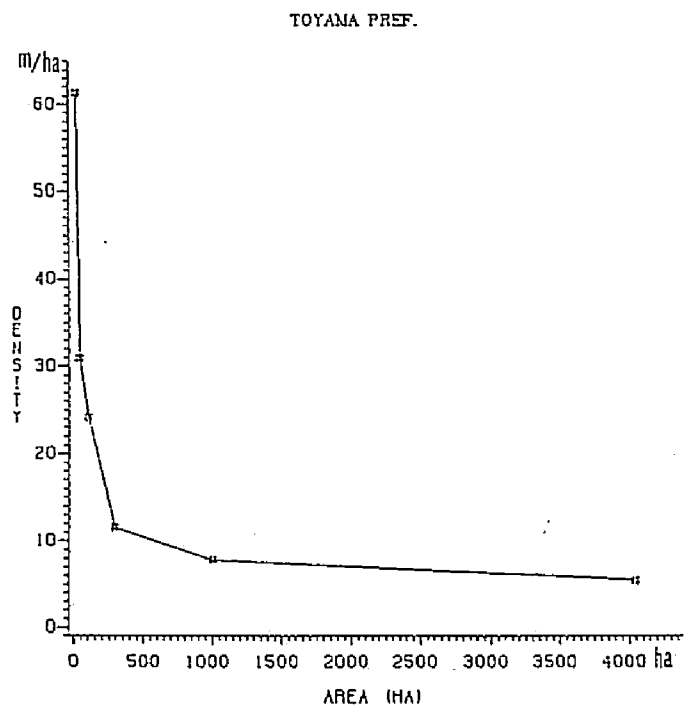


図1-3 平均林道密度と平均利用面積

## 2 従来の計画手法および研究

林道計画は開設に伴う経済的・社会的効果に基づく、対象林地の施業（経営）や管理に必要かつ適正な林道開設量の計画、その路線の効率的な配置計画、およびそれらの合理的な林道開設事業計画を主たる内容とし、これらの計画に適合した林道の規格・構造、開設後の維持管理計画をも含むものである。しかし多くの場合、林道計画は開設量を定める意味に用いられ、配置計画は林道路網計画と呼ばれている。我が国における民有林の林道計画は、森林資源基本計画に基づき都道府県毎に設定された林内目標道路密度をめぐり、地域森林計画編成の際に林道開設計画が立られる。開設のため公的補助を受ける林道は地域森林計画に網羅されているが、自力開設の林道・作業道にあつてはこの限りではない。開設計画は起点・終点・延長およびそのおよその路線位置といった概略的なもので、実施計画が採択になった時点で明細なルート設計が行なわれる。その際重要なことは、林道の開設により森林施業や林地等に与える効果・影響を把握し、適正な開設量と配置を求めることである。そのために従来、それらに関して数多くの研究・調査が行なわれてきた。

林業経済・森林経理の分野では、林道の経済効果について戦後多くの研究がなされた。<sup>2,3)</sup> 有水<sup>48)</sup> (1965, 1966) は林業の長期性とストックとを中心とした分析方法を提案し、玉城ら<sup>9,10)</sup> (1964) は林道の果す経済的機能を経済的距離の短縮と作業能率の向上としてとらえている。また半田<sup>49)</sup> (1966, 1967) は林道の経済機能を土地改良投資とし、育成林業における林道の意義づけをしている。鈴木<sup>49)</sup> (1973) は林道を生産基盤という点だけでなく、その多面的な機能に注目し、その公道化傾向を指摘している。

一方林業工学・森林利用学の分野では、林道の技術的問題とともにその適正な開設量や配置について研究がなされてきた。林道の開設量を求める研究はMatthews<sup>29)</sup> (1942) の集材費と林道開設費の合計が最も小さくなる林道間隔を求めるという生産原価管理の理論にその端を発している。我が国の森林は山岳林が主体で、その地形の複雑さから林道間隔をパラメータとするMatthewsの理論の適用は実状に合わない。そのため生産原価管理の考え方を基本としつつ、<sup>17)</sup> 当りの林道開設量すなわち林道密度をパラメータとする林道密度理論が展開されてきた。加藤<sup>30,31,32)</sup> (1967) は林道密度について定義し、地形区分に対応する密度算定公式を誘導した。南方<sup>33)</sup> (1965, 1967, 1968) は林道開設費・集材費の主要生産費に林道維持費を追加し、さらに林道開設費の利子分を含めた費用で必要最小林道密度を求める手法について述べている。また林道開設に現在の企業余力の許す範囲内で最大限の資金を投入した場合の限界林道密度にも言及している(南方, 1968)。更に森林諸作業全体の歩行等の非生産的労務経費を道路に転化し社会資本として蓄積するという考えで基礎路網密度を求め、それをもとに素材生産のための林道密度について考察している(南方, 1977)。このような生産費最小の林道密度の求め方に対し、青木<sup>1)</sup> (1970) は収入を最大とする林道密度の求め方を示している。年間当りの伐採立木の価格は、林道密度の大小に影響される年伐採量・集材費単価・収益係数を変動因子とする関数で表わされるとし、そ



れを用い収入が最大となる、すなわち真の経営規模を最大とする林道密度を求めている。これらの一連の研究は林道計画の量的な側面について論じたものである。

配置問題について神崎<sup>14,15)</sup>(1965,1966)は、対象地域をカバーする集材土場予定地の組合せを求め、それらをグラフの理論を用い最小評価で連結する路網を求める方法を提案している。この場合、土場の選定の仕方やその組合せにより路網配置が異なる。藤原<sup>6)</sup>(1970)は林道の配置の幾何構造的の良否を示す開発指数の概念について解説している。効率的な配置をすると平均集材距離・開設延長・対象林地面積を因子とする開発指数は1に近づく。また平賀<sup>11,12)</sup>(1971,1972)は伐区の形状をモデル化し、作業道の適切な配置計画を費用便益によって求めている。小林<sup>22)</sup>(1983)は投資効果が最大になる林道路線配置を数値地図を用い費用便益比によって開設延長の可否を判断している。これらの方法では投資効果が最大となる方向へ路網を順次延長してゆくため、ツリー状の路網配置となるが、必ずしも最適なものとは限らない。

諸外国においてもMatthewsの理論をきっかけに林道計画に関する研究が行なわれきたが、我が国とは異なった展開をしている。北米では、ハイリード集材が中心で地形が緩傾斜であることから林道間隔と土場の間隔<sup>4,8,37)</sup>や(Carter,1973、John,1983、Penn,1978)、集材地点と集積地・工場等を結ぶ運材道路に関する研究<sup>50)</sup>(Thomas,1984)が行なわれている。

一方、最適路線の選定に関しては小林<sup>21)</sup>(1977)、神崎<sup>21)</sup>(1974)らが多くの報告をしており、そのほとんどは電算処理により数値地図やメッシュデータから評価値を計算し最適化を行なうもので、評価因子として建設費等の経済効果だけでなく環境因子をも含んでいる。最適化の手法として、ネットワーク手法・最大原理等の数理計画手法を取り入れている。

開設事業計画についての研究は少なく、南雲<sup>35,36)</sup>(1983)は0-1線形計画法による林道開設順決定の方法について報告している。また北川<sup>19)</sup>(1983)は開設順位づけの基礎量として、対象地域の森林諸作業に必要な労働力と一定の到達距離内の林地面積率により林道開設必要度を算出している。

また林道の開設や集運材作業等に大きな影響を及ぼす地形条件を定量化するため、堀<sup>13)</sup>(1970)は傾斜・起伏量・谷密度を因子とした地形指数を定義している。これはその地域の集運材方式を想定するもので、林道計画における経済効果予測に適用できるとともに、開設事業の難易の判断にも役立つ。

### 第三節 本論文の目的および構成

林業生産活動が行なわれる地域を対象に生産性の向上と作業の合理化を目的に林道や作業道を計画するとき、どれだけの量をどこに配置するかが問題となってくる。すなわち適正な開設量と配置を施業方針、地形条件、林分条件、既設の道路網との関連において把握する林道配置計画法の確立が必要がある。そこで本論文では林地到達距離を指標とした林道配置計画法の確立を計ることを目的とし、その計画手法や関連する因子等について論じる。

第二章以降で論じている内容について要約すれば、つぎのようになる。

第二章では山岳林の林道配置計画において地形条件・林分条件を考慮する必要性について論じ、路網計画を電算処理する場合に、それらの条件をどのように考慮し取り入れるかについて検討する。また数値地形図や等高線図を用いた地形条件の数量化の手法や概略設計の手法<sup>41,42)</sup>について検討する。

第三章では実際の林道・作業道の配置<sup>45,46)</sup>について事例分析をふまえ、開設効果特に林地到達距離を因子とした作業工期の向上を中心に、現況と問題点を明らかにし、その整備指標について検討・考察する。

第四章では配置計画における林道開設効果の評価方法について検討し、数値地図を用いた端点除去法による路網配置計画<sup>43)</sup>と、等高線図を用いたD. P. の手法による路網配置計画法<sup>44)</sup>について適用例を提示しながら検討する。

第五章では林道全体計画と施業計画との関連において、合理的な個別路線の開設事業計画について検討する。対象とする林道・地域の規模に応じ、すなわち施業計画に基づいた森林諸作業の効率向上を主眼とする場合と、林道の開設効果の多様性を重視する場合にあった開設順位決定法について検討・考察する。

第六章では応用上の問題点と今後の課題について、具体例をひきながら総合的な考察を行なう。

以上が、「林内道路の最適配置計画に関する研究」と題する本論文の構成である。

## 第二章 配置計画と地形因子

山岳林における林道配置計画を行なうにあたっては、地形条件や林分条件を十分に考慮した手法を用いる必要がある。それは配置計画が林地と道路との位置関係をより合理的なものにすることを第一義としているからである。そのためには対象地域の林分条件・地形条件を効率的に処理するための手法が必要となる。そこでここでは配置計画に必要なデータの作成・計算処理方法について検討してみる。

### 第一節 林分・地形条件

林分の面積・位置・形状・樹令・樹種といった林分条件は林道計画にいろいろな影響を与える。林分条件はその森林の施業仕組一経営方針を決定する重要な要因である。どのような森林経営を行なうかにより、森林の生産基盤である林道の整備水準は大きく異なる。すなわち、投入労働力・集材方法等の違いや、生産される木材の差により林道開設の必要度は変化するし、その配置も異なる。また林分条件は作業単位あるいは伐区を区画する場合のひとつの要因である。多くの場合、その形状は尾根・沢・谷といった地形条件や、道路の位置等により更に細分割される。それらの区画は林道を配置する際、ひとつの評価基準である森林諸作業の効率向上の算定の基礎単位となり、特に集材作業等の工期に大きな影響を与える。小面積皆伐や非皆伐施業が主流になってきている今日、効率的な施業を行なうためにはそれらの区画の形状や位置は無視することのできない条件である。さらに、林分条件は施業計画をたてる際の重要な因子である。林道開設効果を一定期間に限ってみる場合、伐採・植付・下刈りといった一連の作業が集中し、多くの労働力が投入される期間までに林道整備が終了している程、林道開設の直接効果である作業費の減少は多い。そのため林道開設予定線の全体計画が樹立された後、その各々の路線の開設順序を決めるにあたっては、施業計画に基づいた計画を組む必要がある。

一方、地形条件は傾斜・標高・起伏量・谷密度等といった因子からなり、これらは林道開設の難易や集材方法に影響を与える。林道開設費と密接な関係がある土工量は、傾斜や谷密度に強く影響される。また我が国のような山岳林においては、林道の縦断勾配や最小半径等の技術的な制約と地形条件により、林道開設位置そのものが規制される場合が多い。すなわち、ある地点から開設可能な路線は制限勾配のため等高線方向の一定の範囲に限定されてしまう。また作業効率向上の主要な部分を占める集材方法は、傾斜によって架線集材と車両系の集材に大別される。特に架線集材の場合、その利用可能範囲が地形界により制約され、その架設の可否が地形条件により左右される場合が多い。そのため山岳林においては、地形条件を考慮せずして

林道計画はできないといっても過言ではない。

従来、このような地形条件を考慮するため、堀は森林利用学的地形指数（以下地形指数）により地形を分類し、それに応じた集材法や路網の形態について提案をしている（堀，1970）。これは1000ha程度の林地を対象とした地形区分で、式(2-1)のように傾斜に重みをおいたもので、その区分は表(2-1)のようになる。

$$I = (3 \cdot I_i + I_r) / 4 \quad (2-1)$$

ただし  $I_i$  : 平均傾斜(%)

$I_r$  : 谷密度 (ヶ/ 平方km)

表2-1 地形分類と作業方式

地形クラス	緩	中	急	急峻
地形指数 I	0~19	20~39	40~69	70~
集材方式	トラクタ	トラクタ	中距離架線	長距離架線

しかし本論においては、合理的な林道配置法について検討するため、よりきめ細かな地形・林分条件の把握が必要と考える。そこで施業単位となる林分区画の形状・大きさを不定形のポリゴンデータとして、地形条件は格子状に標高を記憶した数値地形モデルとして、路網配置計画に必要な諸因子はそれらを用いて後述のように算出し、地形・林分条件を把握する。これらのデータは位置の整合性を保ち相互に補完できるよう、共通座標で収集蓄積する。

## 第二節 数値地図の作成と諸因子の計算

### 1 作成方法

数値地形モデル(Digital Terrain Model 以下数値地図)は電算処理により地形因子を把握し、それにより林道配置等の計画・設計を行なうものである。これは対象地域の平面位置とその標高の3ヶの数値データからなり、そのデータの格納方法により様々な方式がある。ここでは通常用いられる計算処理のアルゴリズムが楽なグリッド方式を用いる。それは対象地を等間隔な格子点で覆い、その各点の標高を讀取り、平面座標を表わす二次元の配列にそれを規則的に格納するものである。格子点の標高の測定は直接地形図から讀取する方法と、等高線の平面座標をデジタイザで入力し、近似法によって格子点の標高を計算する方法とがある。前者は単純作業ではあるが多大な労力を要する。後者は後述のように格子点の標高を、その近傍の標高の既知な点までの距離を重みとして2次あるいは3次式の近似曲面を求め内挿して算出する。器械装置があれば、前者に比べ容易に数値地図を作成することができる。その他に空中写真等により直接測定する方法もある。格子点の間隔は使用目的の精度と基になる等高線図の縮尺に

よるが、5千分の1の森林基本図をもとにした林道配置計画においては25mか50mが適当である。等高線データから数値地図を作成する方法として、本論では二次曲面近似で格子点の標高等を求めた。格子点の標高(h)はその格子点を中心とする半径(r)以内の標高が既知の点の座標値(x,y,z)を用い、式(2-2)の関数を重み付き最小二乗法で導き求める。

$$h = \beta_1 + \beta_2 \cdot x^2 + \beta_3 \cdot y^2 + \beta_4 \cdot x \cdot y + \beta_5 \cdot x + \beta_6 \cdot y \quad (2-2)$$

すなわち、評価関数(Φ)が最小となる係数β<sub>i</sub>の推定値を求める。

$$\Phi = \sum w \cdot (z - \beta_1 + \beta_2 \cdot x^2 + \beta_3 \cdot y^2 + \beta_4 \cdot x \cdot y + \beta_5 \cdot x + \beta_6 \cdot y) \quad (2-3)$$

但し  $w = (r / (x^2 + y^2) - 1.0)^2$

その際全ての点を対象として半径r内の点を探索していたのでは、効率的でないので、それらの点をあらかじめいくつかのブロックに区域分けしておく。例えば、格子点間隔の方形ブロックに一連番号を付し、すべての点をそれが属するブロック番号順に並びかえ(ソート)、ブロックごとにその先頭順位を記憶しておけば、近似の際は必要となるブロックのデータだけ参照すればよく効率的である。

林区分データは林分(施業単位)の位置・大きさ・形状を表わすもので、その境界線の平面座標とそれに付随する面積・図心点・形状比(周囲長 / 同一面積の円の円周)等のデータからなる。これは林分の境界線の平面座標をデジタイザで読取ること容易に作成でき、林分面積等は後述する方法で計算される。

既設道路や任意の高さの等高線も同一の方法で点列として入力・格納される。その際座標原点は同一とし相互の位置関係の整合性を保つ。本論で用いるデータは林分データか、道路データか、等高線データかの識別をし、同一のベースで収集・蓄積し計算処理される。

## 2 諸因子の算出

対象地域の数値地図ができると、地域内の任意の地点の標高(H)・傾斜(S)・斜面方位(θ)は、その地点が含まれている格子面の4隅の格子点で形成される曲面(平面)を、その4隅の格子点に隣接する16ヶの格子点を用いて多項式近似して求められる<sup>5)</sup>。本論では式(2-4)で近似するものとし、係数a<sub>ij</sub>を16ヶの各格子点の標高(Z)を用い図(2-1)のようにX方向の勾配(R)・Y方向の勾配(S)・曲面のねじれ(T)を求め計算する。なお座標(x,y)は格子点間隔(D)を単位とする値で、図中の添字ijは該当する4隅の格子点のうち左下の格子点を(0,0)としたものである。

$$f(x, y) = \sum_i \sum_j a_{ij} \cdot x \cdot y \quad (2-4)$$

ただし  $0 \leq x, y \leq 1$

$$H = f(x, y) \quad (2-5)$$

$$S = \text{SQRT}\{(\delta z / \delta x)^2 - (\delta z / \delta y)^2\} \quad (2-6)$$

$$\theta = \arctan\{(\delta z / \delta x) / (\delta z / \delta y)\} \quad (2-7)$$

$$\begin{array}{l}
 \begin{array}{l} a_{11} \\ a_{12} \\ a_{13} \\ a_{14} \\ \\ a_{21} \\ a_{22} \\ a_{23} \\ a_{24} \\ \\ a_{31} \\ a_{32} \\ a_{33} \\ a_{34} \\ \\ a_{41} \\ a_{42} \\ a_{43} \\ a_{44} \end{array} \\
 \end{array} = \begin{array}{cccccccccccccccc}
 4 & -4 & -4 & 4 & 2 & 2 & -2 & -2 & 2 & -2 & 2 & -2 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 -6 & 6 & 6 & -6 & -4 & -2 & 4 & 2 & -3 & 3 & -3 & 3 & -2 & -1 & -2 & -1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\
 2 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \\ 
 -6 & 6 & 6 & -6 & -3 & -3 & 3 & 3 & -4 & 4 & -2 & 2 & -2 & -2 & -1 & -1 \\
 -9 & -9 & -9 & 9 & 6 & 3 & -6 & -3 & 6 & -6 & 3 & -3 & 4 & 2 & 2 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -3 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & -1 & 0 \\
 -3 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \\ 
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & -2 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -3 & 3 & 0 & 0 & -2 & -1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \\ 
 2 & -2 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -3 & 3 & 0 & 0 & -2 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \end{array} \begin{array}{l}
 Z_{10} \\ Z_{11} \\ \\ R_{10} \\ R_{11} \\ \\ S_{10} \\ S_{11} \\ \\ T_{10} \\ T_{11}
 \end{array}$$

ただし

$$\begin{aligned}
 R_{ij} &= (Z_{i+1,j} - Z_{i-1,j}) / 2D \\
 S_{ij} &= (Z_{i,j+1} - Z_{i,j-1}) / 2D \\
 T_{ij} &= ((Z_{i+1,j+1} + Z_{i-1,j-1}) - (Z_{i-1,j+1} + Z_{i+1,j-1})) / 4D
 \end{aligned}$$

図 2-1 係数の逆行列式

また、林分面積 (S)はその境界線の平面座標(X<sub>i</sub>,Y<sub>i</sub>) から式(2- 8)で、その図心点(X<sub>c</sub>,Y<sub>c</sub>) は式 (2- 9) で計算される<sup>27)</sup>(丸安,1970)。

$$S = | \sum_i Y_i \cdot (X_{i+1} - X_{i-1}) | / 2 \tag{2- 8}$$

$$X_c = M_x / W , Y_c = M_y / W \tag{2- 9}$$

ただし  $W = \sum_i (Y_{i+1} + Y_i) \cdot (X_{i+1} - X_i) / 2$

$$M_x = - \sum_i (Y_{i+1} - Y_i) \cdot (X_i^2 + (X_{i+1} - X_i)/3) \cdot (X_{i+1} + 2 \cdot X_i) / 2$$

$$M_y = \sum_i (X_{i+1} - X_i) \cdot (Y_i^2 + (Y_{i+1} - Y_i)/3) \cdot (Y_{i+1} + 2 \cdot Y_i) / 2$$

林道と林分の位置関係より、次のように林地到達距離が計算される。対象林分に一定間隔のメッシュをかけ、林分内の格子点でその林分を代表させる。一方その林分に関する林道や作業道上にも一定間隔で道路を代表さす点を設定する。各々の格子点ごとに、道路の点との最小距離を求め、それらの平均値をその林分の林地到達距離とする。この場合メッシュの間隔は五千分の一の森林基本図をもととする時、計算時間やその精度等から50m とした。

### 第三節 林道計画と数値地図の利用

#### 1 地形区分

等高線図を用いた従来の地形指数のような地形分類とは異なる手法で、対象地の地形的特色を数値地図により抽出する方法がある。より簡単なものとしては最大傾斜分布図である。これは林道開設の難易や開設単価に最も大きな影響を与える斜面傾斜を一定階層毎に図示したものである。図(2-2)はその例で、色が濃くなるほど傾斜は急になり、開設が困難になると考えられる。同様に、斜面方位図もでき、施業や土地利用等に利用できる。対象地域の地形的特徴を表現するため、従来は平均傾斜のように代表値を用いていたが、数値地図を用いるとその平均値はもとより最大値・最小値等も容易に算出され、それらの分布状態についても詳しくわかり、対象地域の地形条件をより明細に把握することができる。

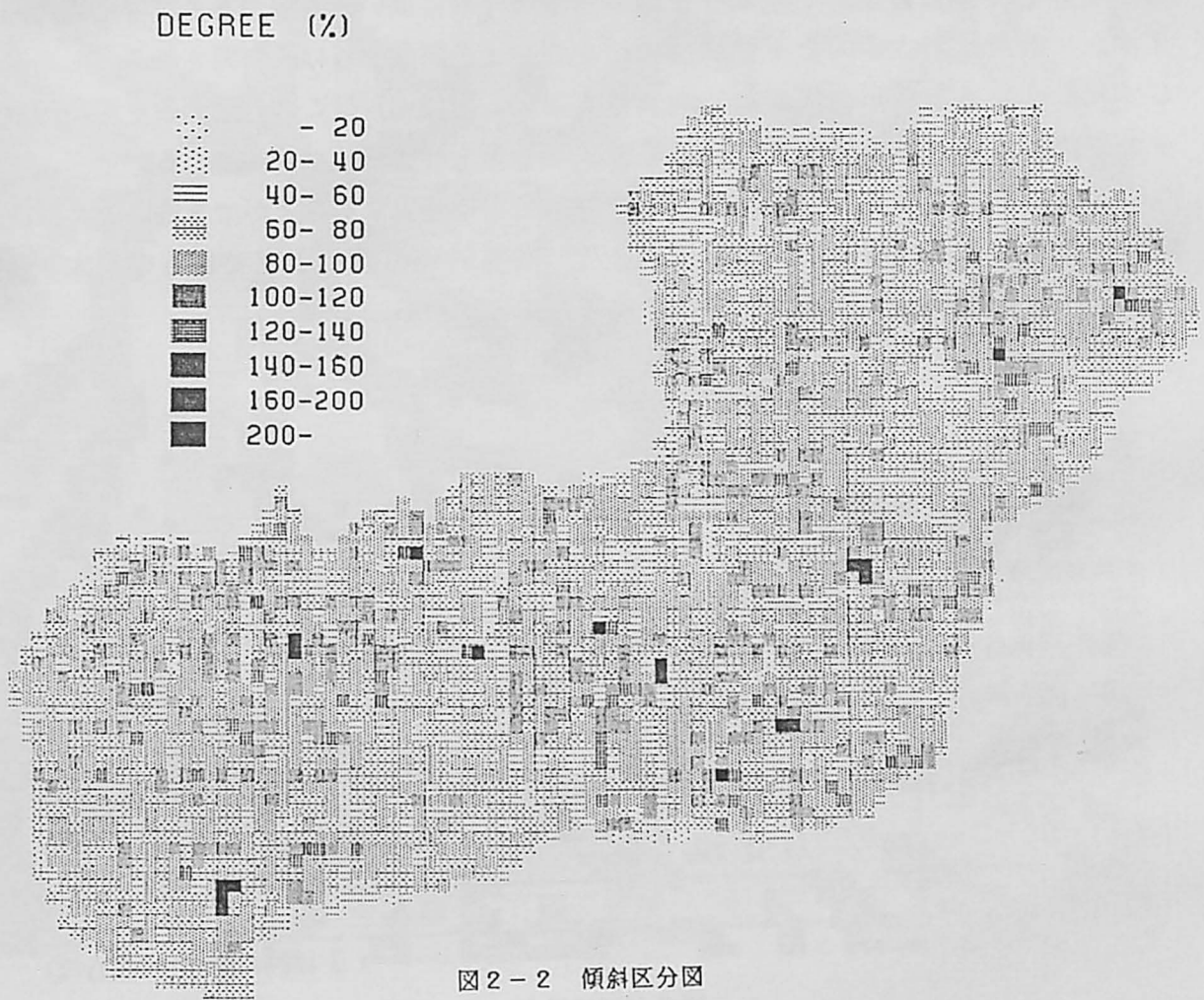


図2-2 傾斜区分図

また、代表的な地形形態 — 例えば谷・尾根・凸斜面等の場所にサンプルフィールドを設定し、その特徴を数値地図を用いて抽出し、それをもとに判別関数を求め、地形形態区分を行なう。これはサンプルフィールドでの林道の開設難易が既知であれば、他の地域での予測に用いることができる。この手法は判別変数にどのようなものを用いるかが問題である。ここにあげた例では、対象格子点とそれを中心とする半径rの円周上を8方位に等分した点との標高の差より、その平均・分散・最大値・範囲（レンジ）を算出し、それらの4変数(Vi)を判別変数に用い、地形形態を格子点毎に区分した。分類はまず最初に、地形形態が明確なサンプルフィールドを設定し、そこにおける判別変数の値を求め、その所属グループ(n)をもとに判別分析を行ない、式(2-10)で表わされる分類関数(Dn)の係数(Anj)を求める。次に対象地域の各々の格子点において、各グループの分類関数Dnの値を求め、それが最小の地形形態のグループへ分類する。

$$D_n = A_{n1} \cdot V_1 + A_{n2} \cdot V_2 + A_{n3} \cdot V_3 + A_{n4} \cdot V_4 + A_{n5} \quad (2-10)$$







表(2-2)は各半径毎に分類した結果の正答率を表わしている。( )内の数字は誤答先の形態番号とその百分率である。尾根や平地の分類は一般に高い正答率である。等高線の凹凸の多いグループは半径が大きいと平衡斜面に、小さいと凸斜面や谷に誤判断される。しかし、全体として半径による正答率の差はなく判別率もよい。図(2-3)はこの分類関数を用い地形分類を行った結果である。色の濃い部分は林道開設が地形上好ましくない所である。このように数値地図を用いて、地形の特徴を容易に抽出することができる。それは従来の等高線図での感覚的な地形特徴の把握と異なり、数量的に把握し表現できるのが大きな特色である。このことは林道配置計画において重要なことである。

表2-2 判別分析の正答率(%)

半径 地形区分	25 m	50 m	100 m	200 m
1. 尾根	94.4	100.0	100.0	100.0
2. 平衡斜面	68.5 (5,17.4)	79.3 (5,17.4)	60.9 (5,25.0)	69.6 (5,16.3) (4,14.1)
3. 凹凸斜面	49.7 (5,17.2) (6,26.8)	73.9 (2,10.2)	82.8 (2,10.2)	79.6 (2,14.0)
4. 平地	100.0	100.0	100.0	100.0
5. 凸斜面	72.7 (2,16.4) (3,10.9)	83.6 (2,12.7)	80.0 (2,12.7)	76.4 (2,23.6)
6. 谷	63.1 (2,16.9) (3,12.3)	78.5 (3,15.4)	83.1 (3,15.4)	81.5 (3,16.9)
計	74.2	85.9	85.5	85.5

( ) は誤答先とその割合(%)



-  ONE SUJI
-  HEIKOU SYAME
-  DEKO BOKO
-  HEI-CHI
-  OTU SYAMEN
-  TANI

R = 50M , N = 8



图 2 - 3 地形形态区分图

## 2 集材架線の設計

適切な集材計画は林道配置計画において重要なことである。とくに山岳林においては、集材は架線集材が主となり、その架設の可否や集材可能範囲が地形条件に制約される。数値地図を用い集材架線のシミュレーションを行なえば、それらを容易に検討することができる。先柱・元柱を任意の格子点に設定しその間に架線を張るとした場合、その架設の可否は最大荷重時の荷重点の軌跡と、その2支点間の地表断面の比較により決定される。荷重点の軌跡は支点の標高・柱の高さ・垂下比・最大荷重・使用索の種類関数として計算できる(丸山, 1964)。地表断面は2支点間を一定間隔で標高を式(2-5)で内挿し求める。また利用範囲は架線上に一定間隔で基準点を設定し、その垂直線に対して一定角度でみとおせる範囲とする。基準点において2支点間と直交する測線上にある間隔で測点をおき、それと基準点を結ぶ線分がその2点間の地表面と交差しないかチェックし求める。

図(2-4)は格子点間隔80mの数値地図において、各々の格子点から最小費用で架線集材する場合の架線位置図である。架設可能な架線は約6000本あり、そのなかから選択された。ある特定の格子点に架線が集中していることがわかる。これらの格子点は集材上重要であるので、林道配置計画の際、是非通過したいところである。

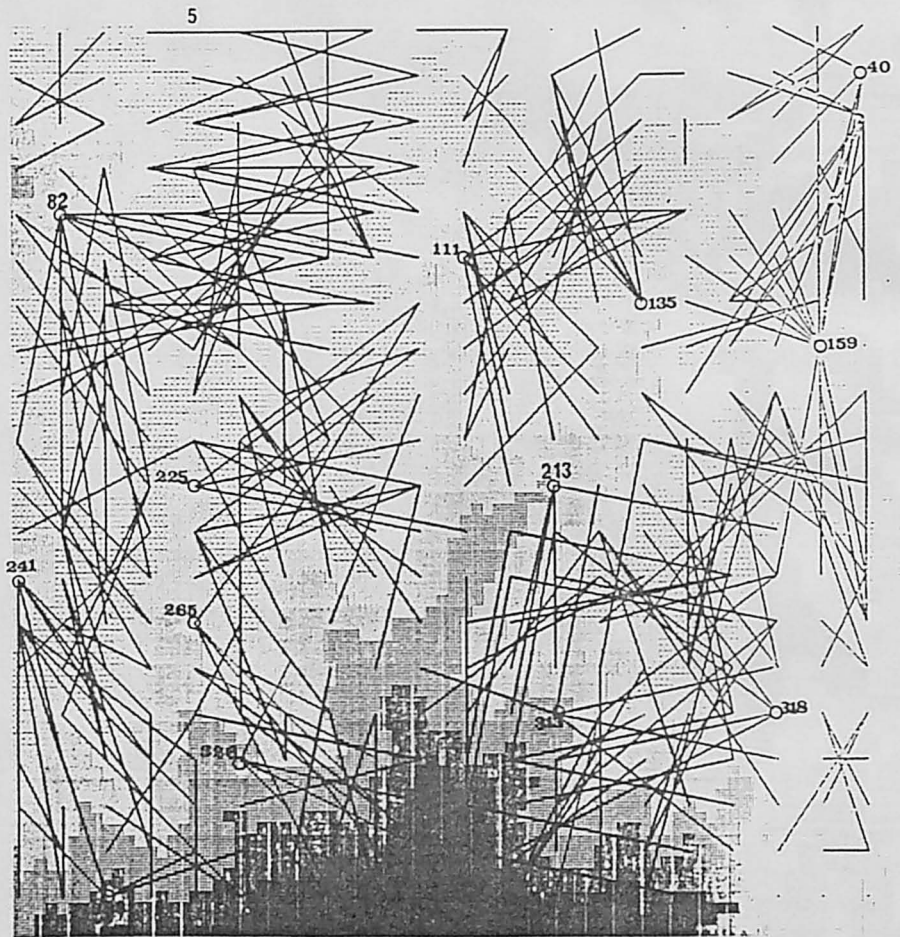


図2-4 架線配置図

### 3 路線の概略設計

路線計画においては、数多くの比較路線について検討することが望ましい。数値地図を用いると概略的な土工量や線形について容易に計算することができる<sup>28)</sup>(丸安, 1971)。ここでは林道予定路線を連続する点列の集合として表し、任意の点における高さ、横断方向の斜面形状等を内挿により計算し、土工量等を求めてみる。この方法は平面野帳や縦横断野帳から土工量等の計算を行なう本設計用のプログラムに、その計算に必要な平面及び縦横断のデータを数値地図より算出するステップを付加したものである<sup>41)</sup>(酒井, 1981)。

京都大学和歌山演習林の森林基本図をもとに作成した 25mメッシュの数値地図を用い実測との比較を行なった。実測延長 500m の測量野帳より IP の座標値を計算し、各測点の位置を数値地図上におとし、縦横断のデータを計算した。横断データの比較には、実測データは道路予定線の中心と左右各両端との傾斜(%)を、計算データは中心と10m離れた左右の点との傾斜を用いた。図(2-5)にその結果を示す。実測との差は平均で2.5%であり、実測のほうが急で、個々の断面ではバラツキがあったが、平均値の差に有意差は認められなかった。縦断データは起点を双方ともゼロとして比較した。図(2-6)にその結果を示す。平均で2.7mの差があり、検定の結果も有意差は認められた。これは磁北と地理座標での北との差を十分にチェックできなかったこと、地形図では小さな凹凸がならされてスムーズな等高線で表現される場合が多いこと、上下の等高線の凹凸形状が平行的にそろえすぎている傾向があること等に起因すると考えられる。土工量に大きな影響を与える傾斜がほぼ同じことから、概略的な設計には充分利用できる。

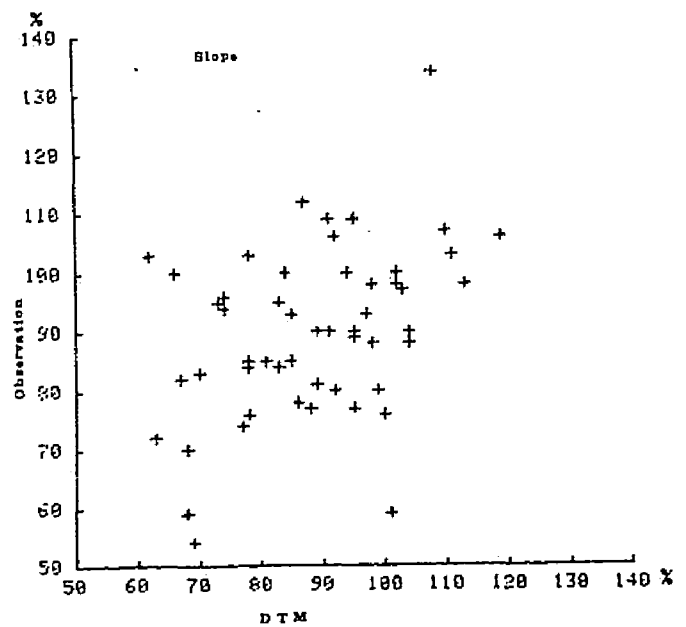


図2-5 実測値と計算値の比較 (傾斜)

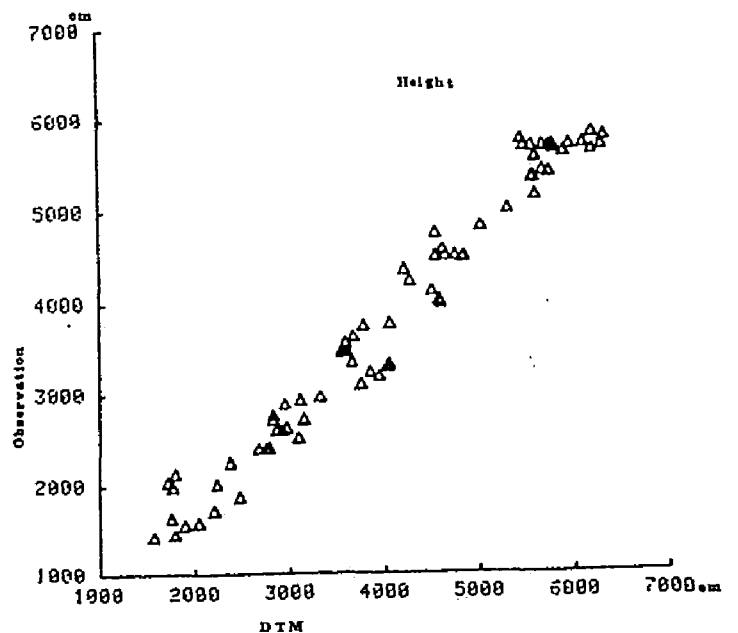


図2-6 実測値と計算値の比較 (高さ)

### 第三章 林道・作業道の配置

林道・作業道の配置は生産基盤としての整備目標である林地と道路との距離の短縮に大きな影響を与える。そこでここでは、林内道路の配置の類型化、開設前後の事業費等の比較、林地到達距離を因子とした作業効率等について事例分析を行ない、その合理的な整備基準について検討する。

#### 第一節 造林作業道の事例分析

##### 1. 資料及び計測方法

富山県造林公社の事業地を対象とし、施業位置図・造林作業道や林道等の道路位置図・施業実績簿として昭和42年～57年度までの事業報告書(総会議案書)の資料を収集した。県下209事業地のうち魚津市(19事業地以下略)、黒部市(2)、城端町(7)、平村(8)、八尾町(33)、小矢部市(12)、氷見市(22)の7市町村103事業地を分析の対象とした。これらの市町村の概要を表(3-1)に示す。林道現況調査表(昭和58年)の路線当りの利用区域面積を用い、市町村毎にその特色をみると、小矢部市・氷見市は路線当りの利用面積が小さく、大部分の路線が50ha未満の利用区域しかない。これは両市の地形が比較的穏やかで、農地と丘陵状の山地が入り組み、農道等の林道以外の道が利用できるためと考えられる。一方、平村では路線当りの利用面積は広く、50ha未満の路線はなく、全体の路線数も少ない。これは八尾町の一部とともに急峻な山岳地に位置するため、骨格的な林道整備が主体となっているためと考えられる。魚津市・城端町・八尾町等は利用面積別の路線比率でみると県平均に近く前二者の中間型とみなせる。これらの市町村は平野部から中部山岳地帯の急峻な山地への移行帯に位置し、里山的な面と山岳林的な両面をもつ。このように対象とした市町村は地形的にも林道整備の現況からも多岐にわたっている。

表3-1 市町村の概要

市町村	民有林 面積 ha	林道延長 m	作業道 延長 m	平均林道 利用区域 面積 ha	平均路線長 m	路線数	利用区域面積別路線比率					
							~ 30	~ 50	~ 200	~ 500	~ 1500	~ 1500
魚津市	10,159	91,348	29,061	207.6	3,281	25	36	8	40	4	8	4
黒部市	3,068	26,640	6,468	98.4	2,045	7	29	-	71	-	-	-
八尾町	15,420	74,935	56,863	201.8	2,522	28	24	11	47	12	6	-
氷見市	13,711	93,145	24,583	32.3	1,296	67	57	24	18	1	-	-
小矢部市	6,025	49,862	30,086	34.9	1,077	36	50	33	17	-	-	-
城端町	4,086	40,943	4,656	254.4	3,263	14	14	15	42	8	21	-
平村	8,724	48,918	8,105	355.7	3,078	13	-	-	38	31	31	-
県計	179,955	1,116,536	313,145	201.0	2,288	488	34	19	29	9	6	3

計測は事業地毎に収集した施業位置図等の図面を用いて行なった。森林基本図(5000分1)上に記載された施業地・作業道・林道等の既設道を、施業地は植栽年度毎の施業単位でその境界線のXY座標を、作業道は開設年度単位で、他の道路は事業地に関連する部分の線形を点列としてその座標をディジタイザにより読み取った。事業地は各々の施業地が団塊状になっているとは限らないし、また作業道の地形的条件からみた利用区域と一致するとも限らない。そこで実際の事業地とは別に、作業道毎あるいは施業地の塊毎に地形的にみた利用可能区域を独自に設定し施業地と同様に計測した。これを以下利用地と呼び、施業地と比較しながら分析する。また事業地によっては隣接する事業地と作業道が連結していたり、双方で共同利用できるようなところもある。そのような事業地は関連する事業地の全部あるいはその一部分をひとつのものとしてまとめた。そのため造林公社でいう事業地と区別するため、分析の単位とするまとまりを団地と呼ぶ。市町村によっては事業地数と団地数は一致しない。

林地到達距離は施業地に50m 間隔のメッシュをかけ、施業地内の格子点と、点列として入力した作業道や林道等の路線上に最低間隔50m で設定された点との最小距離とする。平均林地到達距離は各格子点毎に求めた最小距離の平均値とする。また団地の平均到達距離は施業地毎の値をその面積で加重平均したものとし、林地到達距離階別面積比率は100m毎に1,000mまでとそれ以上の11段階に分類し計算した。林地到達距離を算出する際用いる道路等のデータは、施業地や利用地内のみの部分を抽出するのではなく、当該団地に関連して入力されたすべてのデータを用いた。そのため、道路延長といった分析はせず、作業道の開設長といった点で分析する。

事業実績は植栽・下刈り・雪起し・作業道開設・作業道の維持管理・補植・つる切り・間伐等について、事業地毎にその事業量と事業費を昭和42年～57年分について集計した。事業費は直接事業費から雑費を除いた工事費と呼ばれる金額を、その年度の普通作業員の賃金と事業量で除し人工数で表現する。これは年度間の比較ができるよう物価上昇分を除去するためである。そのためここでいう人工数はha当りあるいはm 当りの労働投入量ではなく、物品代や賃金賃を含んだ工事費の換算値である。なお下刈り・雪起し等の事業は団地毎に一括して記載されているため、事業対象林地の林齢について考慮することはできなかった。分析には計測値を用いたため、施業地面積や作業道開設長等の数値は公社の台帳の値とは一致しない。

また団地ごとの地形条件として、平均傾斜・高低差を計測した。さらに路網の配置パターンを知るために開設された作業道の既設道からの分岐・連絡の状態、平均縦断勾配、配置の位置等について、路網位置図(5000分の1)より計測した。

## 2. 結果及び考察

1) 路網の状態：各団地の作業道を、路線勾配が5%以上の登り勾配のもの、中腹をほぼ等高線に沿って緩勾配で配置されたもの、尾根筋に配置されたもの、沢筋に沿ってあるものに区別し、それらの団地の概要を表(3-2)に示す。作業道が開設された64団地のうち10団地が重複しており分類不可能であった。登り型の路網が23ケースと一番多く、ついで中腹型が22ケースであった。面積・斜面傾斜では有意差はなく、中腹型が面積が広く、沢筋型が傾斜が急であった。高低差は沢筋型が大きく、登り型と尾根筋型では有意差があった。開設長では中腹型が一番長く、登り型・尾根筋型と有意差があった。沢筋型は開設長が極端に少ない。

表3-2 路網状態

路網状態	面積 ha	傾斜 %	高低差 m	到達距離前	到達距離後	開設長 m	データ数
登り	34	44	213	409	142	1878	23
中腹	44	44	178	347	118	2189	22
尾根	29	47	141	306	120	1248	7
沢筋	30	55	290	277	266	125	2

既設道との接続状態を図(3-1)のように分類し、それごとの概要を表(3-3)に示す。既設道の途中からの枝分れ、終点からの延長が多く、連絡線形は14ケースであった。枝分れする団地は傾斜が急で、延長となる団地は開設前の林地到達距離が長く、連絡線形となる団地は開設長が多く開設後の到達距離が短くなる。到達距離の減少では延長型の路線が効率的である。

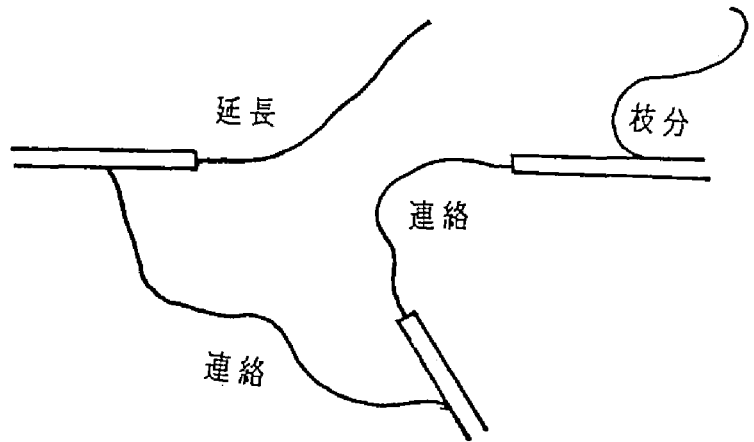


図3-1 林道の接続状態

表3-3 起点の状態

起点状態	面積 ha	傾斜 %	高低差 m	到達距離前	到達距離後	開設長 m	データ数
枝分	33	48	185	328	156	1319	25
延長	34	42	296	485	135	1664	25
連絡	41	43	163	254	108	2639	14



路網の各路線接合状態を  
 図(3-2)に示すように、既  
 設道との連絡点の数(起点  
 数)・端点数・合流点数に  
 よりそのパターンを表す。  
 表(3-4)は主要なパターン  
 の概要である。1-1-0型が  
 一番多くみられ、その平均  
 開設長は最も短く、他のパ  
 ターンとの間に有意差(10%  
 )が認められた。1-2-1型  
 は団地の面積・高低差が大  
 きく、開設前の到達距離も  
 長く、開設長も多い。高低  
 差・開設前の到達距離で他  
 のパターンとの間に有意差  
 (5%)がある。2-0-0型は高  
 低差が少なく、面積の割に  
 開設長が長い。

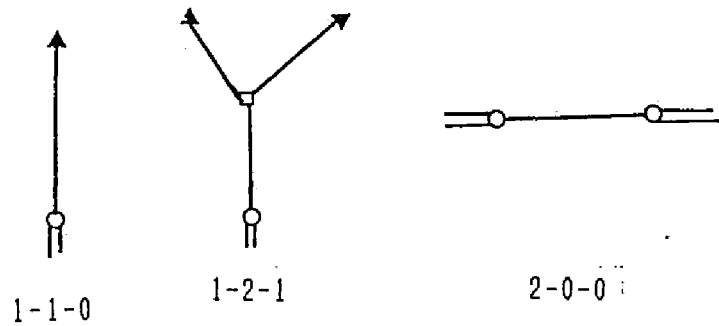


図3-2 開設路網の状態

表3-4 配置パターン

型	面積 ha	傾斜 %	高低差 m	到達距離 前	到達距離 後	開設長 m	データ数
1-1-0	30	45	189	369	149	1283	38
1-2-1	43	43	225	464	133	2052	12
2-0-0	31	43	124	235	123	1983	8

表(3-5)は以上の路網の状態の分類項目をクロス集計したものである。登り型の枝別れあるいは延長・中腹の連絡線形の3パターンが、また登り型で1-1-0型が最も多い。これは既設道が谷筋に多く発達している段階であることを意味している。

表3-5 路線の状態と配置

路網 状態	起点の状態			配置パターン			
	枝分	延長	連絡	1-1-0	1-2-1	2-0-0	他
登り	9	1	3	1	5	1	1
等高線	6	6	1	8	4	6	4
尾根	4	2	1	4	1	1	1
沿	2	0	0	2	0	0	0
その他	4	6	0	8	2	0	0
計	25	25	14	38	12	8	6

2) 林地到達距離による団地の類型化： 作業道開設前後の林地到達距離階別面積比率を用いて団地の類型化を行なった。林地到達距離階別面積比率は100m毎に1,000mまでとそれ以上の11段階に分類し、各団地ごとにその比率(%)を計算し判別変数とした。この時、作業道整備地は前後で2例、未整備値は1例のデータとした。11の距離階別比率を変数とし、主成分分析併用のクラスタ分析(三宅,1977)<sup>34)</sup>でタイプ分けを行ない、その判別関数を求めた。表(3-6)は主成分分析の結果を示している。因子1は到達距離の遠近を表わしている。因子負荷量でみるとすべての変数との相関が高く、因子得点でみると到達距離の短い面積比率の変数程その値は小さく、遠い面積比率の変数程大きい。そのため到達距離が遠くなる程高得点となる。因子2は200m以下の近距離の面積比率の多少を表わしている。因子負荷量でみると100~200mといった到達距離の短い面積比率の変数との相関が高く、因子得点でも短い面積比率の変数程大きく、遠い面積比率の変数程小さい。因子3は500m前後の到達距離の面積比率の多少を表わしている。因子負荷量でみると500m前後の中間距離の面積比率の変数との相関が高く、因子得点でも同様である。これらの3因子によりクラスタ分析を行った結果、大別して10ケのタイプに区分できた。図(3-3)は各タイプの因子間の散布図である。

表3-6 因子分析の結果

変数	因子負荷量			因子得点スコアの係数		
	因子1	因子2	因子3	因子1	因子2	因子3
~100m	0.718	0.448	-0.284	.09169	.53086	-.41387
~200m	0.744	0.535	-0.106	.09501	.63350	-.15464
~300m	0.842	0.277	0.082	.10752	.32176	.11957
~400m	0.848	0.147	0.322	.10834	.17332	.46882
~500m	0.817	0.009	0.464	.10435	.01036	.67594
~600m	0.849	-0.158	0.298	.10845	-.18665	.43322
~700m	0.888	-0.238	0.045	.11343	-.28123	.06585
~800m	0.897	-0.243	-0.130	.11463	-.28693	-.18958
~900m	0.899	-0.231	-0.217	.11486	-.27274	-.31521
~1000m	0.880	-0.209	-0.244	.11244	-.24754	-.35547
1000m-	0.876	-0.149	-0.234	.11183	-.17617	-.34058

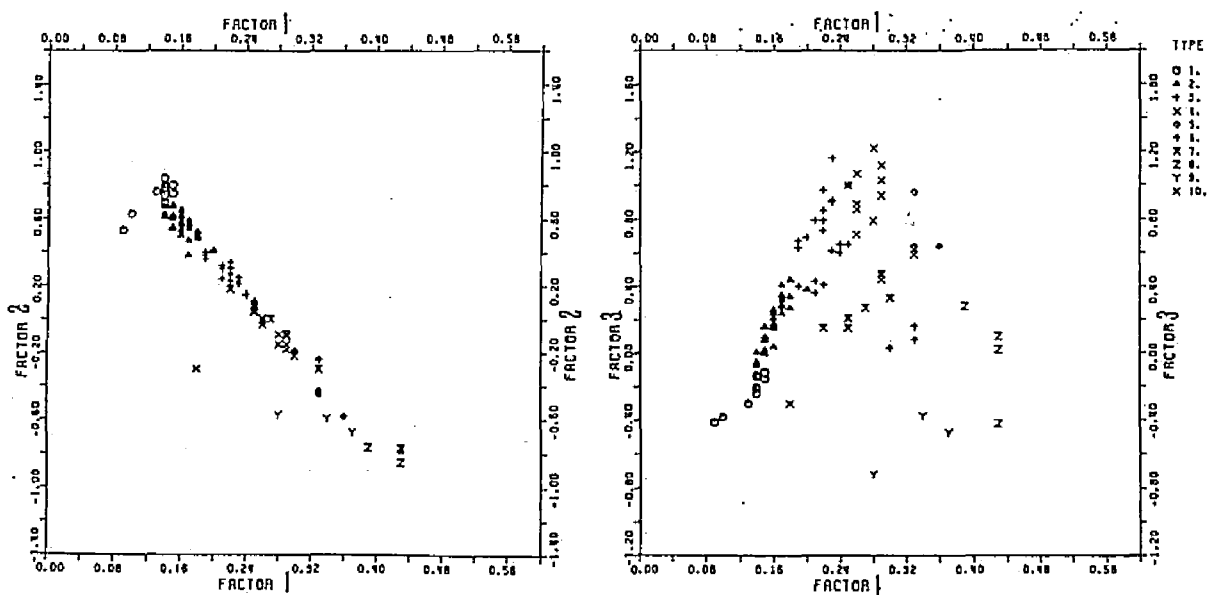


図3-3 因子得点の散布図



また図(3-4)は各タイプ毎に属する団地の平均面積比率を図示したものである。

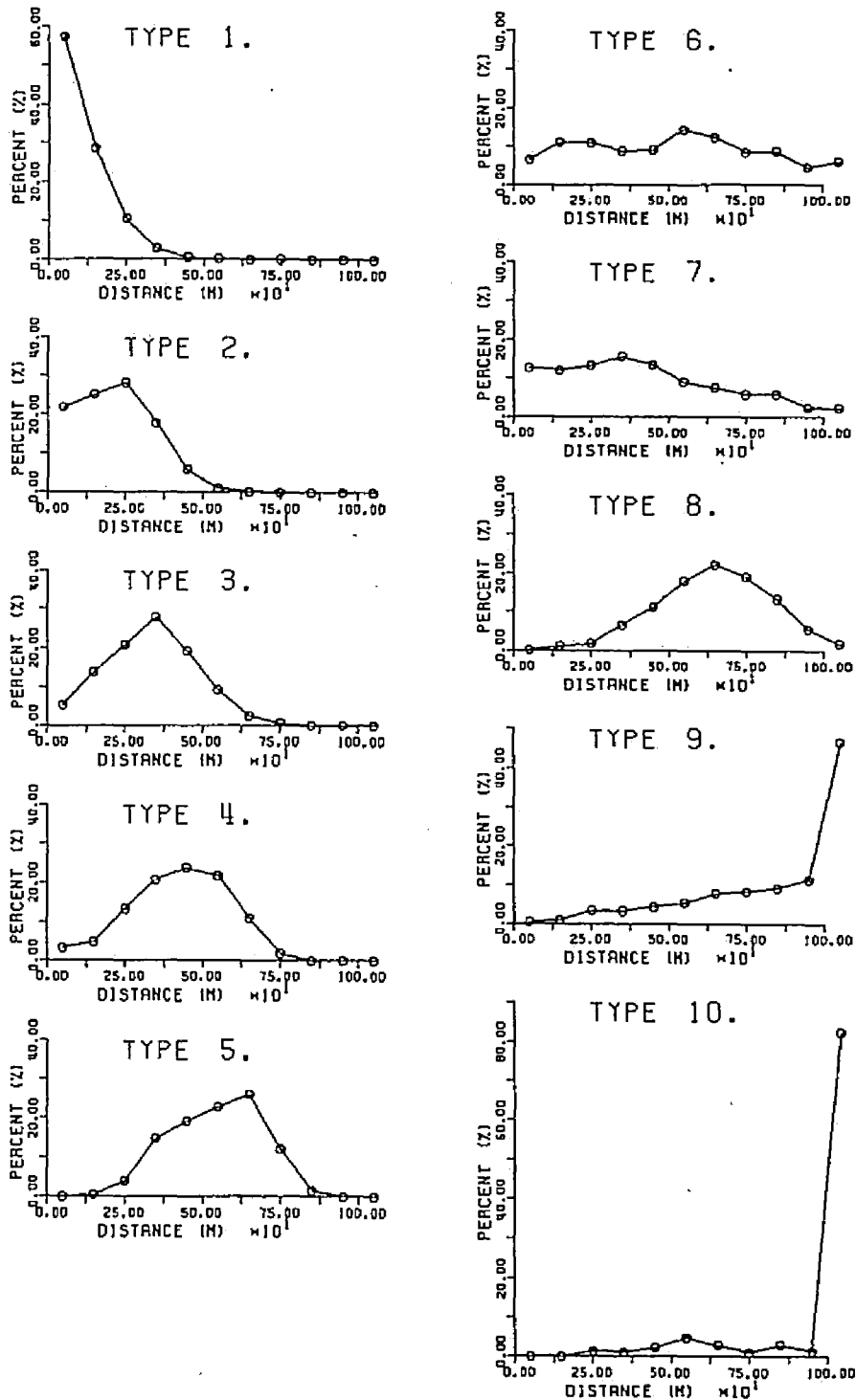


図3-4 各タイプの林地到達距離の分布

また表(3-7)にはそのタイプの概要を示す。タイプ1は道路整備が充分な団地で、面積の約6割が100m以内の到達距離である。タイプ2,3,4,5,8は平均到達距離をほぼピークとする山型の面積比率の分布をしている。タイプ6,7は高原状の分布をしており、タイプ9,10は平均到達距離も900m以上と遠く道路整備が遅れており、右端に極端に片寄った分布をしている。また、タイプ1~5及び8の到達距離の分散は17~40と小さく、平均到達距離のみでも充分分類できる。

表3-7 タイプの概要

タイプ	平均到達距離 m	到達距離の分散
1	104	40
2	213	37
3	337	35
4	424	31
5	544	17
6	520	70
7	413	90
8	645	27
9	928	145
10	1339	•

作業道整備地において、開設前後で団地のタイプがどのように変化したかをみたのが表(3-8)である。タイプ1への変化が当然のことながら一番多く、全体の84%を占める。到達距離の長いタイプ8~10は8ケース中7ケースが変化した。極端な右寄りの分布から高原状、高原状から山型、山型からより左ピークの山型(距離の短い)へと変化していることがわかる。

表3-8 開設によるタイプの変化

開設前のタイプ	面積 ha	傾斜 %	高低差 m	到達距離 m			開設長 m	データ 数	開設後のタイプ												
				前	後	差			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	14	48	153	127	99	28	513	11	11												
2	27	43	139	220	120	100	1436	28	22	6											
3	27	46	198	337	220	117	934	20	8	4	8										
4	24	47	202	428	289	139	611	9	2	3	-	4									
5	18	57	203	549	430	119	218	3	-	1	-	-	2								
6	42	50	340	520	115	405	3526	3	2	1	-	-	-	-							
7	63	47	256	434	182	252	2435	8	5	1	-	-	-	-	2						
8	24	46	213	650	376	274	830	4	2	1	-	-	-	-	-	1					
9	59	47	207	928	261	667	2624	3	-	2	-	-	-	-	-	1	-				
10	52	30	90	1339	141	1198	2834	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

図(3-5)は市町村別の作業道開設前後の林地到達距離階別の面積比率を示したもので、○印は開設前を+印は開設後を表わしている。

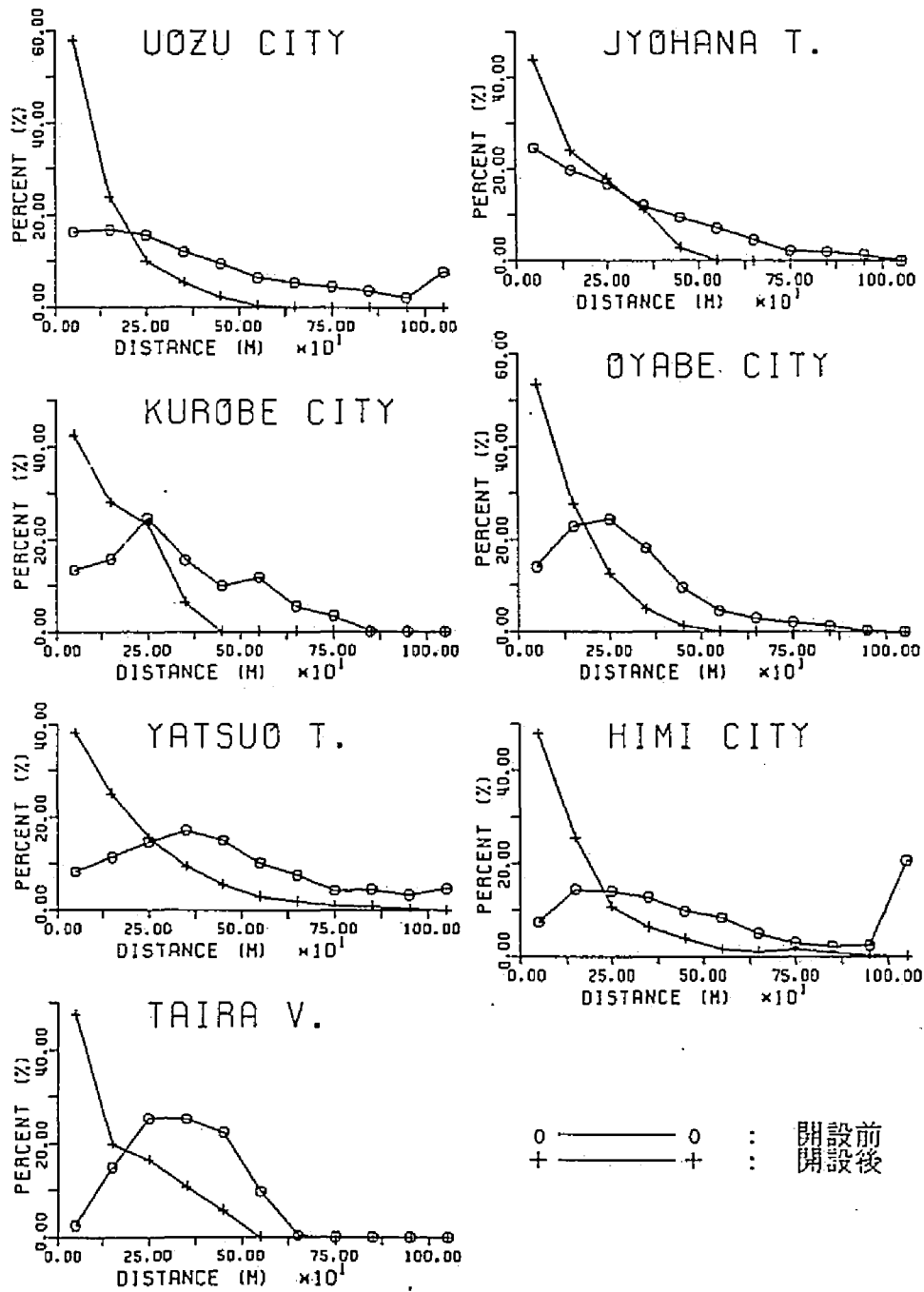


図 3 - 5 各市町村の林地到達距離の分布

表(3-9)は市町村別の平均到達距離の変化等を表わしている。データ数の多い八尾町と氷見市を比較してみると、開設前の平均到達距離はほぼ同じであるが、八尾町の方が開設長が多いにもかかわらず開設後の平均到達距離は60mも遠い。また整備後のタイプ1の団地数は八尾町では全体の42%、氷見市では74%と差がある。これは面積当りの開設量に差があるためと、緩傾斜地の多い里山型の氷見市と急傾斜地を多くかかえる八尾町の地形的な差によるものと考えられる。一方、八尾町と小矢部市を比較してみると、団地面積当りの開設量は共に43m/ha前後と同じである

が、平均到達距離の減少量で見ると、前者は229mと後者の159mより70m余り多い。これは八尾町では1-1-0型の路線が多く、小矢部市では2-0-0型の連絡線形が多いためである。このように林地到達距離の減少は開設量と線形の配置状態に影響されることがわかる。

表3-9-1 市町村別の団地の概要 その1

市町村	平均団地面積 ha	平均作業道延長 m	平均林地到達距離 m		団地数	
			開設前	開設後	整備	未整備
魚津市	41.1	2,199	328	104	12	3
黒部市	32.0	2,159	316	140	1	0
八尾町	41.2	1,782	412	183	19	7
平村	13.3	634	283	116	2	6
城端町	19.7	1,317	364	130	2	5
小矢部市	51.8	2,261	274	115	10	0
氷見市	23.2	1,334	427	120	18	5
平均	35.8	1,757	371	135	64	26

表3-9-2 市町村別の団地の概要 その2

市町村	整備後のタイプ										配置パターン			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1-1-0	1-2-1	2-0-0	他
魚津市	11	3	1	-	-	-	-	-	-	-	3	6	2	1
黒部市	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
八尾町	11	7	3	2	-	-	2	1	-	-	15	2	-	2
平村	3	1	2	1	1	-	-	-	-	-	2	-	-	-
城端町	2	2	1	1	1	-	-	-	-	-	2	-	-	-
小矢部市	8	2	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	4	2
氷見市	17	4	1	-	-	-	1	-	-	-	13	3	1	1

3) 事業費の比較 : 作業道を開設した64の団地について、開設前後の事業費の比較を行なった。造林・保育等の事業は作業道の開設と前後して行なう場合が多いので、ここでは作業道開設前と後の区別を、昭和57年度末の各団地の作業道総延長を基準とし、その50%以上を開設した年度以降を開設後とした。団地によっては作業道が先行し、その恩恵を常に受けて事業を行なったところもあるが、一応この基準で分けた。表(3-10)は市町村毎に開設前後の事業費の比較を行なったものである。植栽は地拵を含み、下刈りは資料の関係で植栽後の年数で区別せず事業地全体でまとめてある。雪起し作業も林令・積雪による被害度等で区別せず事業地全体で比較した。補植・つる切り等の作業はデータ数が少ないので省いた。

全体で見ると植栽ではha当り5.4人、下刈りでは2.0人、雪起しでは0.3人分の事業費が作

業道開設に伴い軽減された。開設前後の対のデータがとれた団地に限ってみると、植栽では35団地でデータがとれ、うち25団地で事業費の軽減が認められた。下刈りでは17団地でとれ16団地で、雪起しでは15団地でうち8団地で軽減が認められた。雪起し作業は年による事業費の変動が大きく、積雪地帯である魚津市や八尾町等では、その変動係数は60~80である。一方、植栽・下刈りの変動係数は12~15と小さい。

標準的な作業仕組<sup>51)</sup>(富山県造林公社,1980)として、下刈り7年間、雪起し5年間とすれば、植栽と合せてha当り20.9人分の事業費が軽減されることになる。作業道の平均開設単価が普通作業員の人工賃換算で0.7人/mであるから、植栽・下刈り・雪起し作業の軽減分だけで、施業地1ha当り30mの作業道が開設できる。

作業道整備地と未整備地との事業費の比較を行なったが有意な差はなかった。下刈りについてみると、魚津市や氷見市では整備地が、八尾町・城端町・平村では未整備地がha当り0.2-0.4人分多かった。

表3-10 開設前後の開設費の比較

単位: man/m man/ha

市町村	作業道開設費 man/m	植栽		下刈り		雪起し	
		前	後	前	後	前	後
魚津市	0.69	124.5	112.6	12.7	11.4	13.7	12.7
黒部市	0.47	112.8	109.7	12.2	11.3	16.4	15.3
八尾町	0.84	124.0	118.4	19.5	11.4	20.4	11.9
氷見市	0.74	151.0	139.4	10.8	11.5	9.0	20.1
小矢部市	1.13	108.0	119.2	12.0	10.8	-	18.6
城端町	0.55	122.1	114.0	14.5	11.7	17.8	10.6
平村	0.63	119.5	112.8	12.0	11.7	11.7	12.4
平均差	0.70	123.1	117.7	13.4	11.4	14.8	14.5
			5.4		2.0		0.3

4) 作業道整備地と未整備地 : 表(3-11)は作業道が整備された団地と未整備の団地の比較を行なったものである。施業地についてみると作業道開設前の平均到達距離は整備地の方が68m程遠いが、整備後は逆に168m近くなった。整備地の面積は36haで未整備地はその4割の14haと狭い。また平均傾斜は整備地が44%と未整備地より4%緩やかで、これらは共に有意差がある。このことは地形界で区切られた利用地についてもいえ、作業道整備のひとつの目安として施業地面積の大小があると考えられる。未整備地を林地到達距離のタイプ別でみるとタイプ1が7団地、タイプ2が3団地、タイプ3が8団地、タイプ4が4団地、タイプ5が2団地、タイプ6が1団地と、比較的到達距離の短いタイプ1~3が70%を占めている。市町村別にみると未整備地は地形の急峻な町村(八尾町・城端町・平村)に多く、緩傾斜地の市町村(小矢部市・氷見市)には少ない。

表3-11 作業道整備地区と未整備地区の比較

	平均林地到達距離 前 後 m		面積 ha	平均傾斜 %	高低差 m	データ数
整備地区	371**	135**	35.7*	44*	223	85
未整備地区	303	303	14.0	49	175	26

有意差 \* 5%, \*\*10%

整備地区と未整備地区にグループ分けをし、団地面積(S),傾斜(G),を変数として判別分析を行なったところ、75%の正当率でこの2変数だけで判別できた。その判別式を式(3-1)に示す。変数として開設前の林地到達距離や高低差を追加してもその正当率はほとんど変化しなかった。

$$H = 3.4 + 0.052 * S - 0.1 * G \quad H > 0 ; \text{整備地区} \quad (3-1)$$

$$H < 0 ; \text{未整備地区}$$

このことから対象地の傾斜・面積をもちいて、作業道整備のひとつの判断基準とすることができる。傾斜が50%であれば30ha, 60%であれば50ha以上の面積が団地として必要である。

5)整備指標：林道や作業道の整備指標としてしばしば林道密度が用いられる。しかし、造林公社の事業地のように施業地がひとつにまとまっていない場合や、地形的に利用不可能な施業地を含む場合等のように、利用区域の設定が明確にできないことが多く、また里山地帯のように林縁の農道や市町村道等を利用区域に含めるか否かで道路延長が大きく異なる等、整備指標として林道密度を用いることは必ずしも合理的でない。そこでここでは開設前後の平均到達距離(Db, Da)、団地面積(S)、開設長(L)を因子とする指標Kを次式のように定義した。

$$K = L \cdot 100 / \{S \cdot (Db - Da)\} \quad (3-2)$$

この式は道路開設費(Cr)とそれに伴う事業費の軽減分(Cs)比較から導びかれる。

$$Cr = Kr \cdot L$$

$$Cs = Ka \cdot (Db - Da) \cdot S / 100$$

ここでKrはm当りの道路開設費、Kaは平均到達距離が100m減少する時のha当りの事業費の軽減分とする。もし軽減分以内で道路開設を行なうとすれば、

$$Cr \leq Cs$$

よって

$$K = L \cdot 100 / \{S \cdot (Db - Da)\} \leq Ka / Kr = Ko \quad (3-3)$$

となる。つまり指標Kは対象地のm当りの道路開設費及び100m当りの平均到達距離減少に伴う事業費の軽減分によって決まる値Koを整備の目安とする。式(3-3)では開設前の平均到達距離と目標とする開設後の平均到達距離が決まれば、対象地面積から開設長の目安が決まり、その量で目標とする平均到達距離が実現できるか否かの配置の検討ができる。図(3-6)は作業道開設前の平均到達距離(Db)と指標Kとの関係を開設前のタイプの記号(以下同様)でプロットしたもので、両者の間には

$$\log K = 4.587 - 0.003 \cdot Db \quad (r = -0.7831) \quad (3-4)$$

の関係がある。前述の造林事業費の軽減分20.9(人/ha)と平均到達距離の減少値の平均値236m、および平均作業道開設単価0.7(人/m)より

$$Ka = 20.9 / 236 \cdot 100 = 8.86$$

$$Kr = 0.7$$

$$K_0 = 8.86 / 0.7 = 12.7$$

図(3-6)より明らかのように、タイプ1,2の指標Kは $K_0$ より大きく、造林事業費の軽減分だけでは作業道の開設は無理であるが、タイプ4~7を境に、タイプ8,9,10の指標Kは $K_0$ より小さく、ほぼ軽減分だけで開設できることがわかる。中間のタイプは、式(3-3)より明らかのように、開設長を短くし効率良く配置するか、施業対象地を増し効率的に道路を利用するか、開設単価を安くする等の工夫が必要となる。また $K_0$ の値と式(3-4)より開設前の平均到達距離 $Db=682m$ を得る。これは開設前の平均到達距離が700m前後以上であれば、造林や保育のためだけでも作業道の開設を行なうべきだということを示している。

図(3-7)は施業地について、作業道開設前後の平均到達距離の減少量( $Db-Da$ )と開設前の平均到達距離( $Db$ )との関係をプロットしたものである。両者間には式(3-5)のような強い相関関係がある。

$$(Db - Da) = -77.9 + 0.85 \cdot Db \quad (r = 0.9364) \quad (3-5)$$

同様のことは利用地についてもいえる(図(3-8))、その関係は次式となる。

$$(Db - Da) = 17.3 + 0.54 \cdot Db \quad (r = 0.8308) \quad (3-6)$$

また、作業道整備地の施業地面積( $S$ )と作業道開設長の関係についてみると、図(3-9)のようになり、その関係は式(3-7)となる。

$$L = 597.3 + 32.7 \cdot S \quad (r = 0.7147) \quad (3-7)$$

さて、式(3-3)と(3-5)より

$$L / S \leq K_0 \cdot (-77.9 + 0.85 \cdot Db) / 100 \quad (3-8)$$

を得る。これは施業地面積1ha当りの作業道開設量を表わしている。表(3-7)のタイプ別の平均到達距離の値を用いてそれを計算すると、タイプ2で13m、タイプ5で49m、タイプ8で60mとなる。また式(3-7)と(3-8)より $K_0=12.7$ として式(3-9)を得る。

$$S \geq 5533 / (Db - 395) \quad (3-9)$$

これは造林事業費の軽減分で作業道を開設しようとする際の最低限の団地面積と開設前の平均到達距離の関係を表わしている。開設前の平均到達距離は最低400m以上、団地面積が30haならば、その距離は580m、50haならば500m以上の団地でないと軽減分だけでは開設できない。丁度タイプ4~7の団地がこの境にあたり、合理的な道路整備のためには効率的な配置計画が必要である。

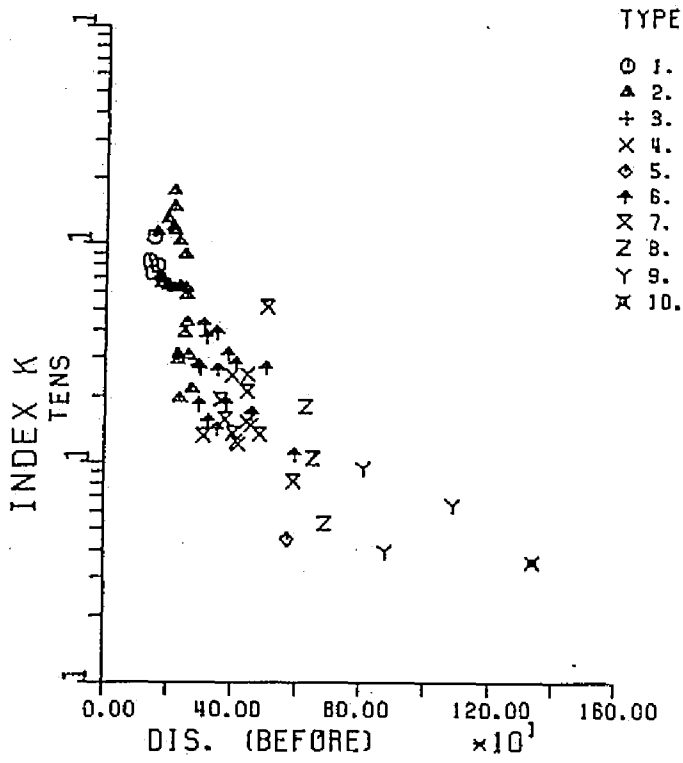


図3-6 開設前の平均林地到達距離と指標Kとの関係

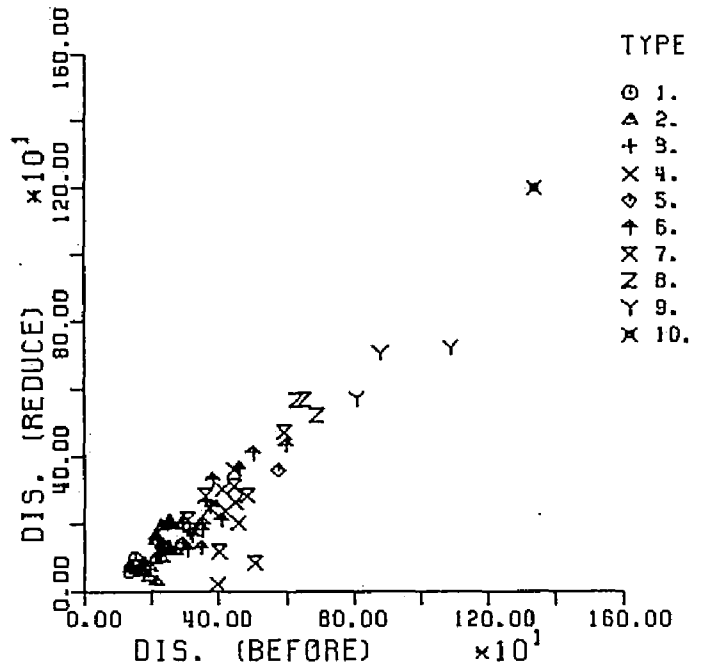


図3-7 開設前の平均林地到達距離とその減少量との関係 (施築地)

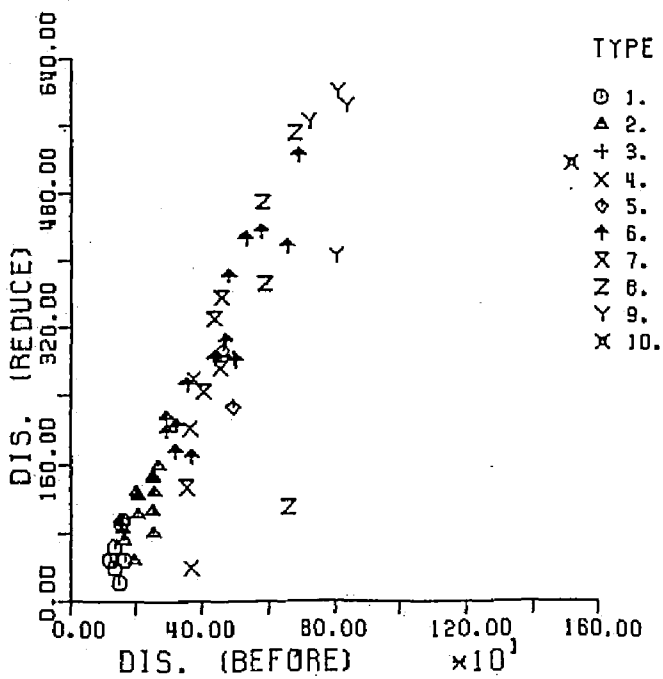


図3-8 開設前の平均林地到達距離とその減少量との関係 (利用地)

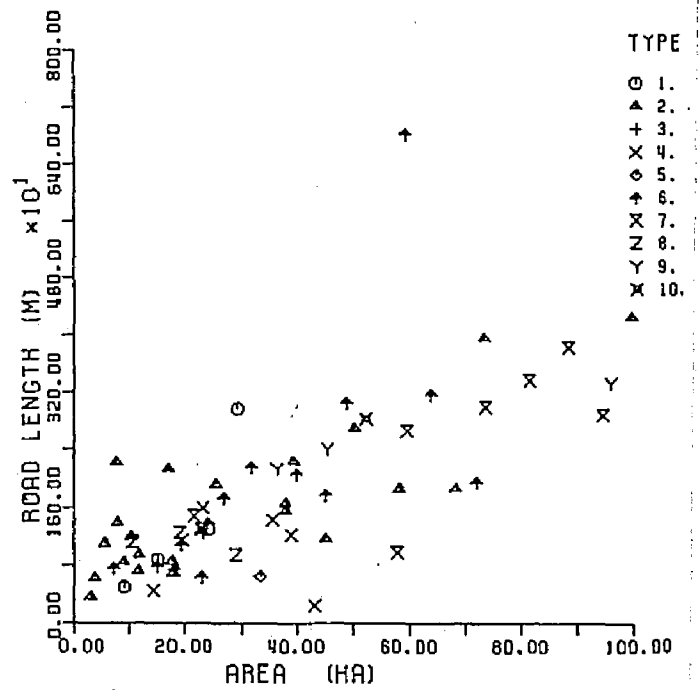


図3-9 施築地面積と開設量との関係



第二節 国有林における高密度路網の事例

昭和44年度から全国各地の国有林において高密度路網を基盤とする新たな森林施業が展開された。これは木材生産機能と国土保全機能の両立を旨とし、大面積皆伐施業から小面積皆伐・非皆伐への転換を行なうためのものであった。ここでは大代国有林（浜松営林署）と黒河内国有林（伊那営林署）の高密度路網による基盤整備の例を事例とし林地到達距離と施業効率の関係について考察する。

1 大代国有林における事例分析

1) 概要および資料： 大代国有林は静岡県掛川市周辺に位置し、その森林面積は約1000haあり、そのうち800haの林地を高密度路網地区とし、林道・作業道あわせて46,142m開設している。うち作業道は24,160mで52%を占めている。林地は標高250m～500mの山地に位置し、傾斜は中腹部が急で山頂は緩傾斜である。森林はヒノキを主体とする人工林が大部分である。林道・作業道の配置を図(3-10)にしめし、林班の概要を表(3-12)に掲げる。これらから明らかなように、道路が一番開設されている15林班ではその密度が111mもある。各林班の林地到達距離をみると34m～334mと幅があるものの、約半数の林班は100m以下で、その平均到達距離は120mである。

表3-12 高密度地域の林班の概要（大代国有林）

林班	面積 ha	林道・作業道延長 m	道路密度 m/ha	平均林地到達距離 m
6	68.40	2,600	38.0	182
7	31.09	831	20.3	145
8	32.74	2,292	70.0	87
9	42.05	0	0	263
10	41.44	2,685	64.8	107
11	43.10	3,650	84.7	58
12	34.97	3,546	101.4	46
13	52.81	4,449	84.2	76
14	42.25	2,535	60.0	59
15	28.44	3,160	111.1	34
16	58.92	4,813	89.3	69
17	34.90	3,589	102.8	41
18	33.87	2,058	60.7	85
19	20.03	749	37.4	161
20	29.03	1,678	57.8	156
21	36.68	460	12.5	334
22	38.90	1,472	37.8	188
23	35.14	1,400	39.8	94
24	36.56	2,200	57.4	80
25	38.31	1,236	32.2	110
26	27.77	939	38.8	123
計	802.40	46,142	57.5	120

各森林作業の工期に及ぼす林地到達距離の影響を把握するため、昭和52年～56年の施業実績簿より作業種・林小班・面積・人工数等のデータを拾い出した。作業種は地拵え・植栽・下刈り（手あるいは機械）・つる切り・除伐・枝打とした。また同営林署内の他の地域との比較のため、各担当区の作業工期の平均値についての資料も収集した。

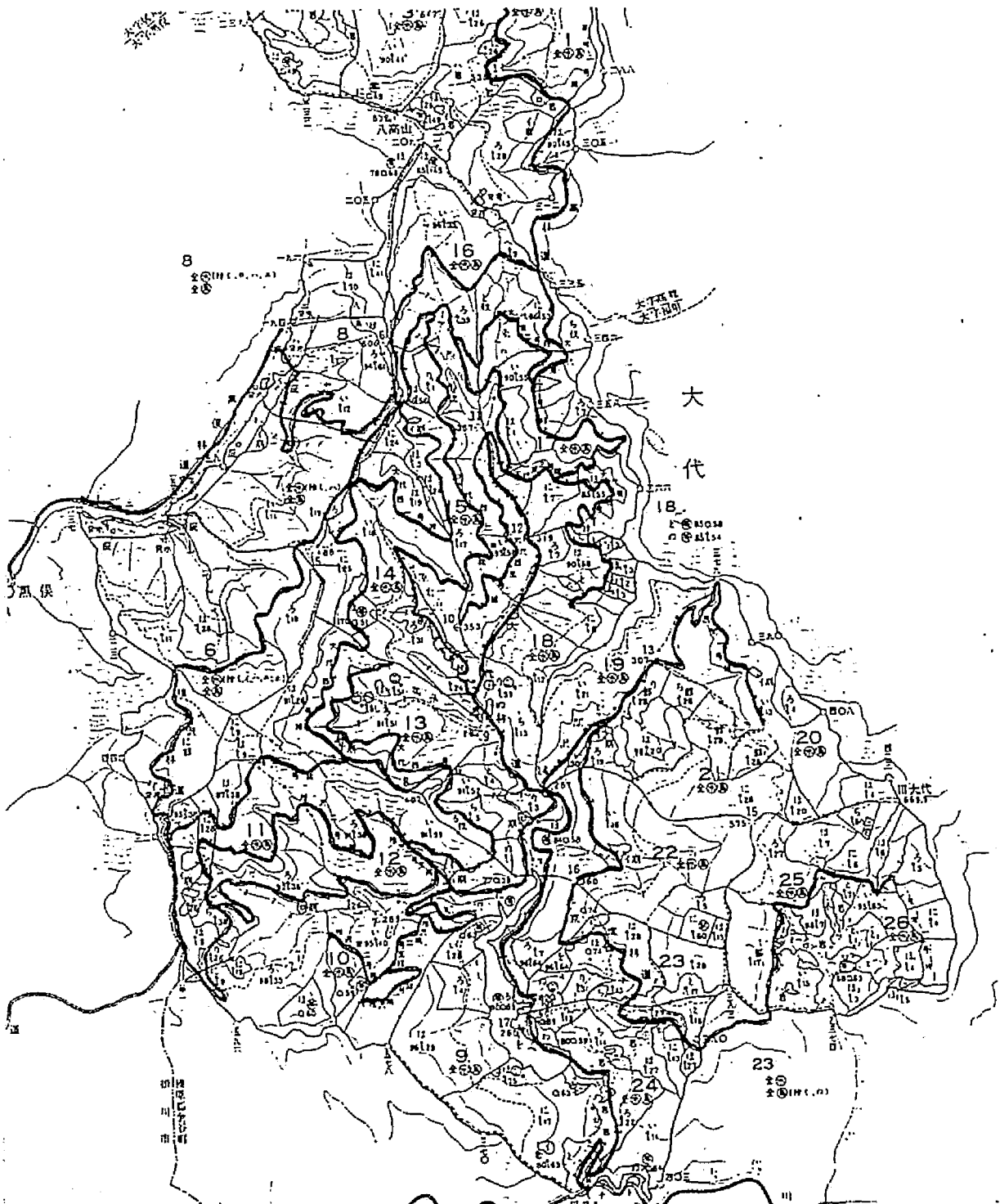


図3-10 林道・作業道の配置図 (大代国有林)

2) 作業工程と林地到達距離：各作業の作業面積とその人工数の関係を示したのが図(3-11)～(3-17)である。その直線回帰式の係数および相関係数は表(3-13)に示す。下刈り(手)および除伐作業で相関が弱いものの、他の作業では強い相関がある。下刈り作業は植栽後の年数によりその作業工程が異なるのに一括して処理したため相関関係が弱くなったと考えられる。

表3-13 単位面積当りの作業工程(大代国有林)

作業種	平均面積 (S) ha	平均人工数 (M) man/ha	M = a + b * S		r
			a	b	
地拵え	1.31	16.87	-0.003	17.216	0.963
植栽	1.39	19.94	0.498	19.494	0.945
下刈り(手)	1.32	6.33	1.552	4.706	0.462
下刈り(機)	1.44	6.95	0.388	6.428	0.831
ツル切り	2.11	3.45	0.354	3.538	0.904
除伐	4.52	8.13	10.306	5.248	0.660
枝打	2.99	9.56	-1.178	10.077	0.983

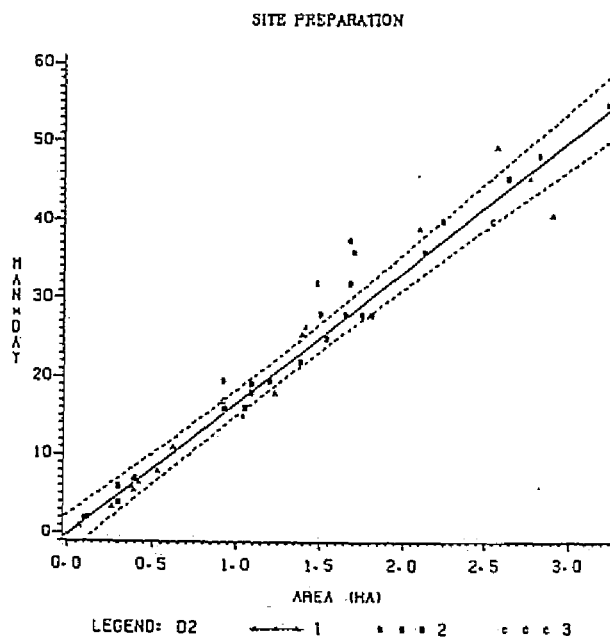


図3-11 地拵え作業面積と投入人工数

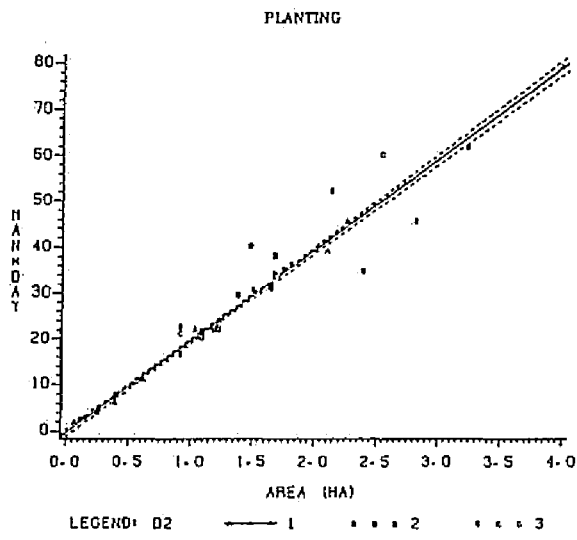


図 3-12 植栽作業面積と投入人工数

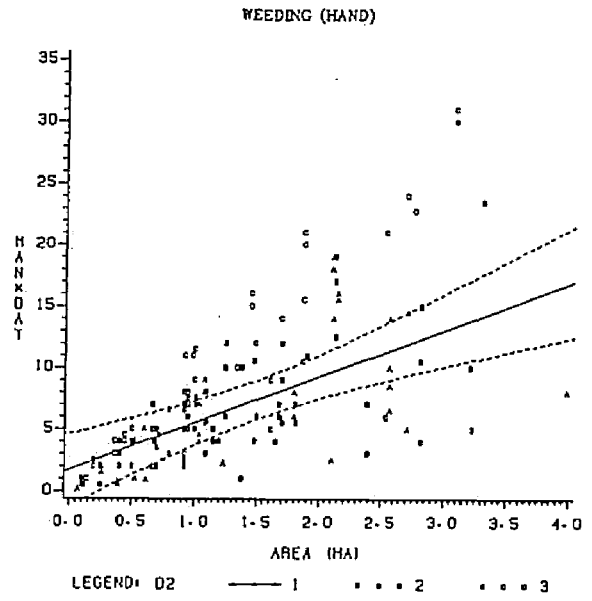


図 3-13 下刈り(手)作業面積と投入人工数

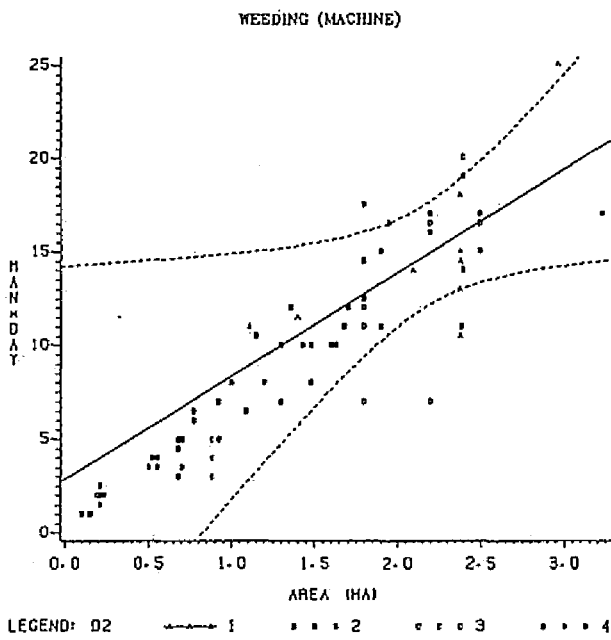


図 3-14 下刈り(機械)作業面積と投入人工数

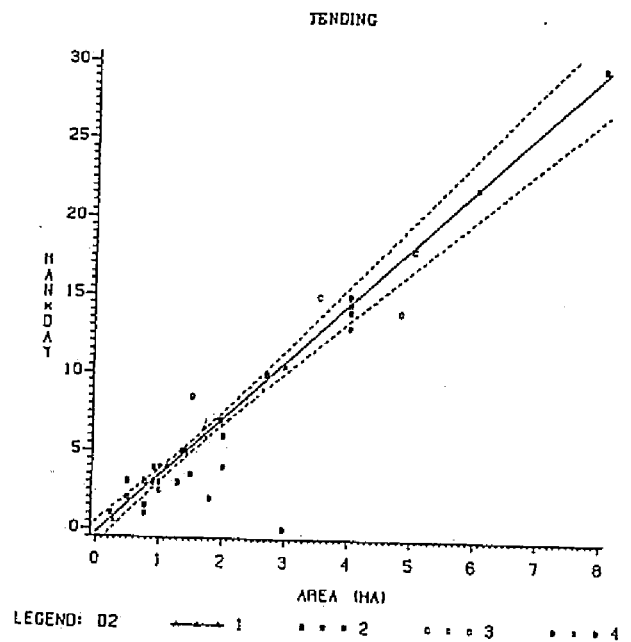


図 3-15 ツル切り作業面積と投入人工数

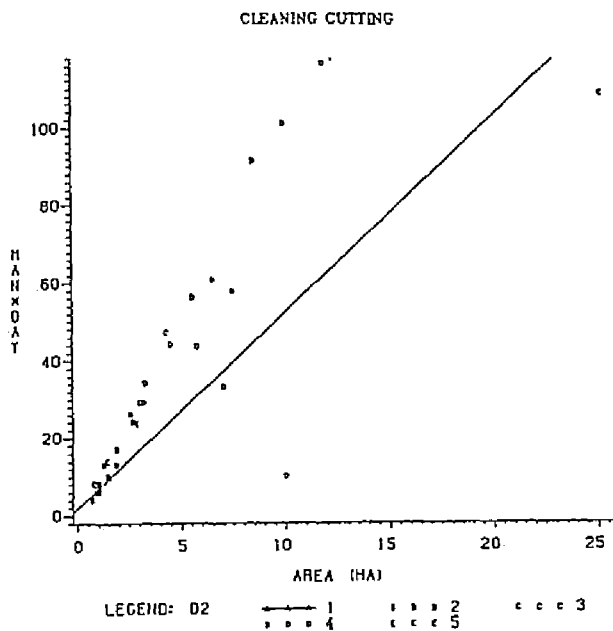


図3-16 除伐作業面積と投入人工数

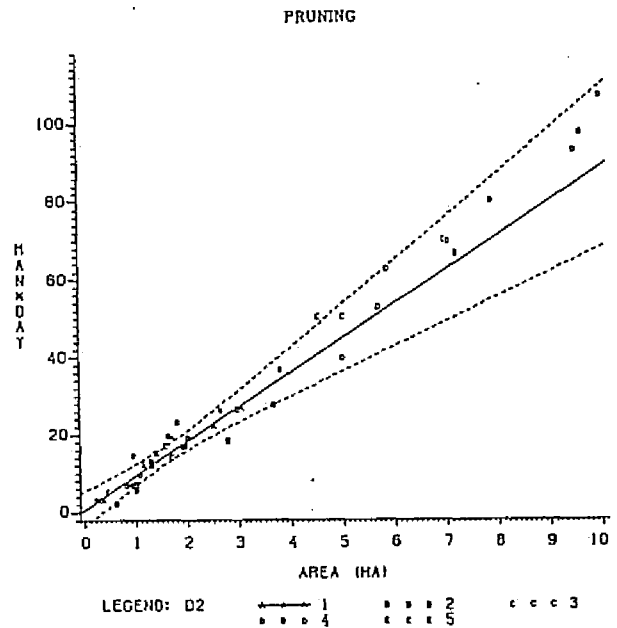


図3-17 枝打作業面積と投入人工数

表(3-12)の林班ごとの平均林地到達距離を用いて、各作業の距離階別の工期を求めそれを表(3-14)に示す。下刈り(機械)を除き距離が大きくなるにつれ作業工期がおち、多くの人工数を必要としていることがわかる。その差の検定をしてみると、地拵えでは50m以下と50~100m間で、植栽では100m以下とそれ以上で、下刈り(手)では100m以下とそれ以上で、除伐では50m以下と150m以上で、枝打では50m以下と200m以上でそれぞれ10%有意で差のあることがわかった。下刈り(機械)の場合、林地到達距離が100m以上の作業地の地形がたまたま緩傾斜地であったため、工期が良かったためと考えられる。

表3-14 各作業種の工程と林地到達距離

距離	作業種	人/ha						
		地拵え	植栽	下刈り(手)	下刈り(機械)	ツル切	除伐	枝打
~ 50m		16.3(17)	19.6(17)	5.1(33)	7.0(9)	3.3(6)	6.7(2)	9.3(6)
50 ~ 100m		17.7(27)	19.9(20)	5.6(74)	7.2(44)	3.3(24)	7.7(10)	9.1(20)
100 ~ 150m		17.1(2)	23.2(2)	8.7(42)	6.7(9)	3.7(7)	8.5(3)	9.9(6)
150 ~ 200m		•	•	•	6.2(11)	3.8(8)	8.4(13)	10.1(11)
200m~		•	•	•	•	•	9.2(2)	10.7(3)

註 ( )内はデータ数

また、各作業ごとにその工期と林地到達距離との関係についてみたのが、図(3-18)～(3-24)である。林地到達距離は林班の平均到達距離とし、各林班ごとにその作業実績をまとめ、その平均工期を算出して比較してある。表(3-15)はそのときの林地到達距離と作業工期の関係を直線回帰した結果である。下刈り(手)や枝打で比較的相関関係が強くでているが、他の作業では林地到達距離のみで作業工期を近似することは無理である。それは林地到達距離の差が数百mもないため、その影響が現われにくく、作業地の地形条件や林分・植生条件等の要因による影響が大きいためと考えられる。

表3-15 到達距離と作業工期 (大代国有林)

作業種	平均距離 (D) m	M = a + b * D		
		a	b	r
地拵え	66	16.14	0.014	0.075
植栽	64	19.02	0.013	0.465
下刈り(手)	82	2.48	0.045	0.705
下刈り(機)	91	7.71	-0.007	0.091
ツル切り	99	2.97	0.006	0.278
除伐	144	7.13	0.006	0.166
枝打	121	8.49	0.008	0.655

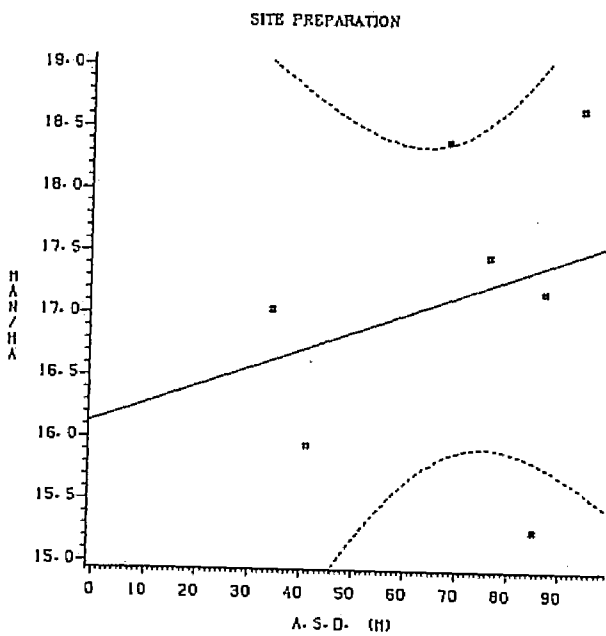


図3-18 林地到達距離と作業工期 (地拵え)

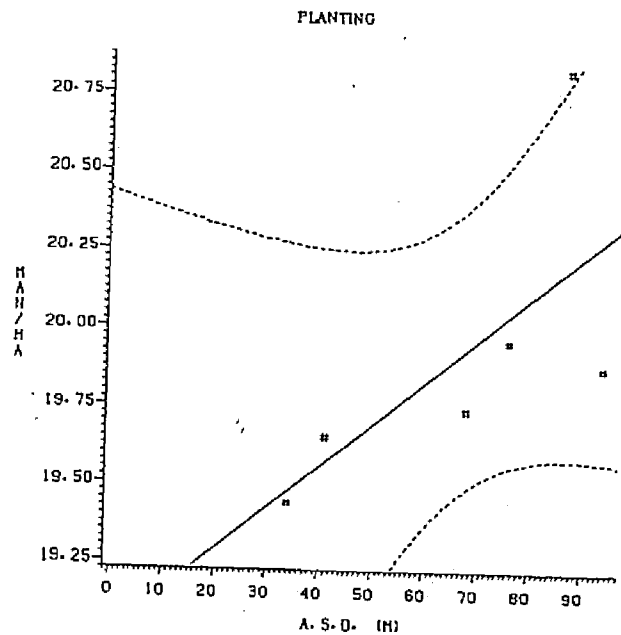


図3-19 林地到達距離と作業工期 (植栽)

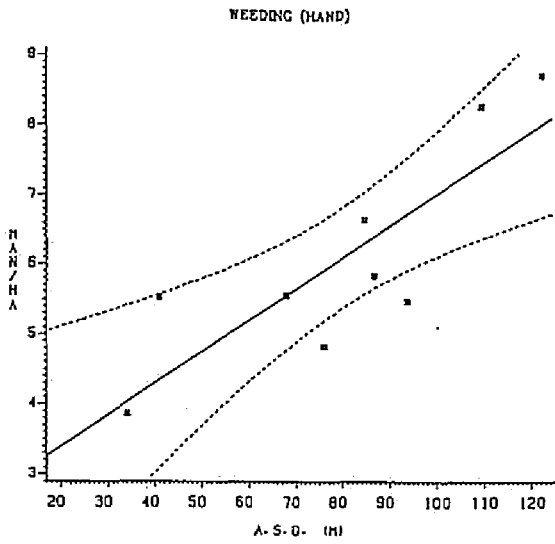


図 3-20 林地到達距離と作業工期 (下刈り(手))

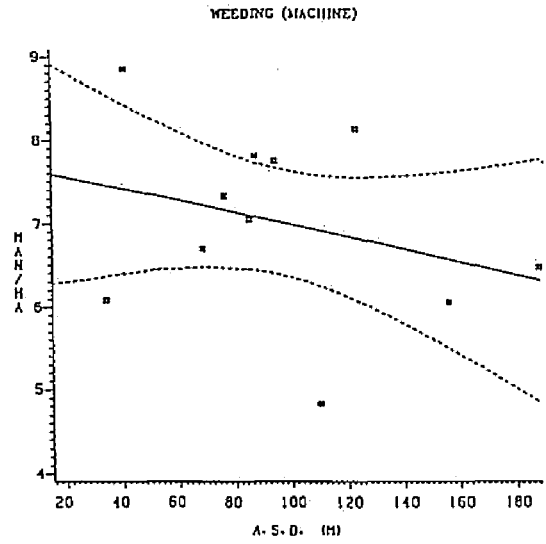


図 3-21 林地到達距離と作業工期 (下刈り(機械))

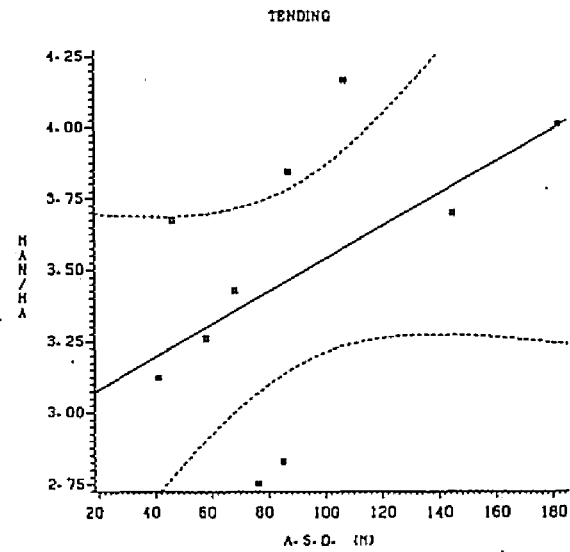


図 3-22 林地到達距離と作業工期 (ツル切り)

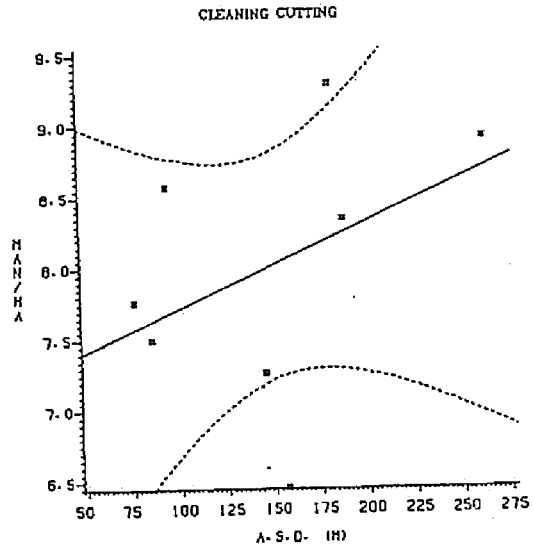


図 3-23 林地到達距離と作業工期 (除伐)

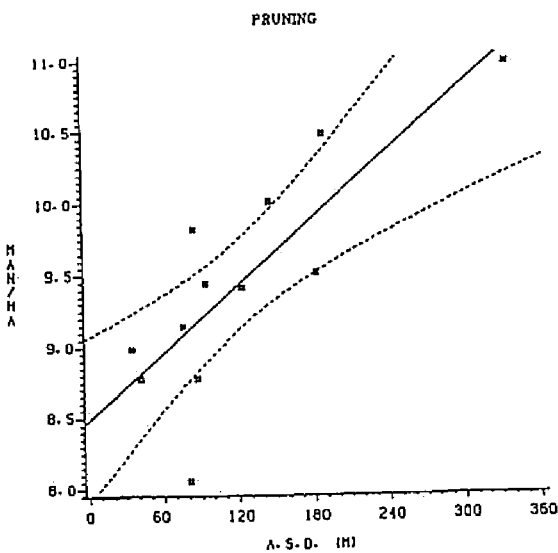


図 3-24 林地到達距離と作業工期 (枝打)

一方、同様な地形条件の大代担当区と小笠担当区との作業実績を比較したのが表(3-16)である。小笠担当区では林道・作業道が余り多く開設されておらず、その平均林地到達距離は、1万分の1の管内図により計測した結果330mであり、大代担当区より200m余り遠い。地拵え、下刈り、ツル切り、除伐作業で工期に差があり、大代担当区のほうが生産性が高いことがわかる。植栽作業については、大代担当区が3500本植え、小笠担当区が3000~3300本植えであるので、1日1人当りの労働生産性でみると180本と171本となりやはり大代担当区が高い。枝打作業は小笠担当区で55年まで行なわれておらず、56年だけのデータでみると大代担当区の実績が高い。このように高密度地区のほうが概して生産性が高いといえる。

以上の結果より、各作業での作業工期は大局的にみれば、林地到達距離により差があるものの、それを林地到達距離のみで数量的に表わすことは1,2の作業を除きできず、そのためには他の作業要件を含めた形で考える必要があるといえる。

表3-16 他の担当区との比較 単位：人/ha

担当区 作業種	大代	小笠
地拵え	14.92 (4)	21.17 (3)
植栽	19.50 (4)	19.26 (4)
下刈り	6.02 (4)	7.06 (4)
ツル切り	3.07 (4)	3.96 (4)
除伐	8.90 (4)	11.73 (4)
枝打	9.58 (4)	13.03 (1)

( ) はデータ数



## 2 黒河内国有林における事例分析

1) 概要および資料： 黒河内国有林は南アルプス山麓の長野県長谷村に位置し、高密度路網作設地域として約2000haの森林を対象におよそ20,000mの林道・作業道が開設され、既存の林道と合せ約39,000mの道路網が完成した。林地は標高1,200m~2,000mの比較的緩傾斜な斜面に位置し、その林相はカラマツを主体とする人工林である。林道・作業道の配置を図(3-25)に、その概要を表(3-17)にしめす。各林班の林地到達距離は70~700mと幅があり、その平均は229mである。全体的にみれば約3分の1の林分が到達距離100m以内に位置し、300m以上の林分は25%ある。

地拵え・植栽・下刈り・ツル切り・除伐の各森林作業について、昭和52~56年の作業実績を施業実績簿よりデータを収集した。また同期間内の間伐および主伐についての実績についてもデータを収集した。

2) 作業工程と林地到達距離： 造林・保育の各作業での作業工程と林地到達距離との関係は表(3-18)に示すように明確な相関関係は認められなかった。また、距離階別の作業工程の比較においても顕著な差はなく、むしろ到達距離が遠い程作業工程が良い場合もあった。

これはデータ数が124ケースと少なかったためと、その90%程が150m以内の林班に集中したためと考える。この

ことは図(3-26)に示すように林地到達距離階別の投入人工数に如実に表われている。林地到達距離が短いほど施業のための投入人工数が多い。

表3-17 各林班の平均林地到達距離

林班	面積 (ha)	林地到達距離 (m)
207	43.5	455
208	65.0	473
209	47.3	387
210	38.9	188
211	31.2	252
212	27.5	226
213	22.4	152
214	29.4	124
215	24.7	102
216	40.2	392
217	54.2	698
218	45.9	221
219	28.8	587
220	67.9	395
221	73.9	370
222	38.5	568
223	39.3	271
224	47.8	165
225	47.6	107
226	63.1	103
227	55.9	122
228	44.6	114
229	47.3	122
230	50.6	74
231	67.4	143
232	46.5	197
233	52.4	87
234	45.9	86
235	64.7	81
236	76.3	103
237	60.3	69
238	57.3	216
239	48.7	123
240	45.5	194
241	47.9	167
242	41.3	169
243	36.3	137
244	72.3	256
245	52.5	251
合計	1,881.9	229

表3-18 各作業種の工程と林地到達距離(黒河内国有林) 人/ha

距離	作業種	地拵え	植栽	下刈り	ツル切	除伐
50 ~ 100m		18.2(5)	7.3(6)	3.7(32)	3.1(5)	8.1(1)
100 ~ 150m		16.5(9)	8.3(9)	3.7(37)	4.1(2)	7.5(2)
200 ~ 250m		•	•	2.5(5)	•	•
250 ~ 300m		14.3(1)	7.6(1)	2.4(1)	4.2(1)	9.1(1)
350m ~ 500m		•	•	•	•	7.7(6)

註 ( ) 内はデータ数

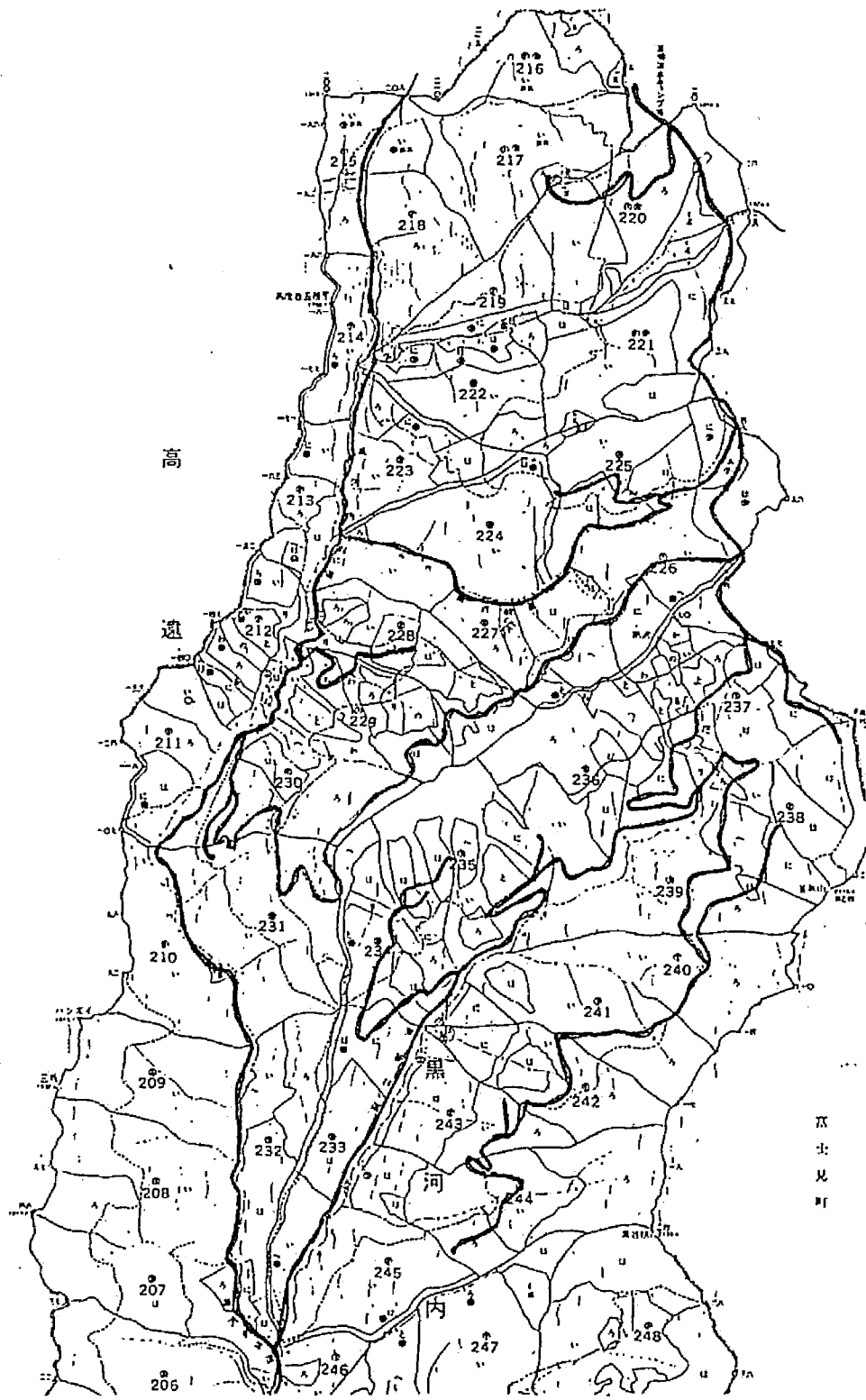


図 3 - 2 5 林道・作業道の配置図 (黒河内国有林)

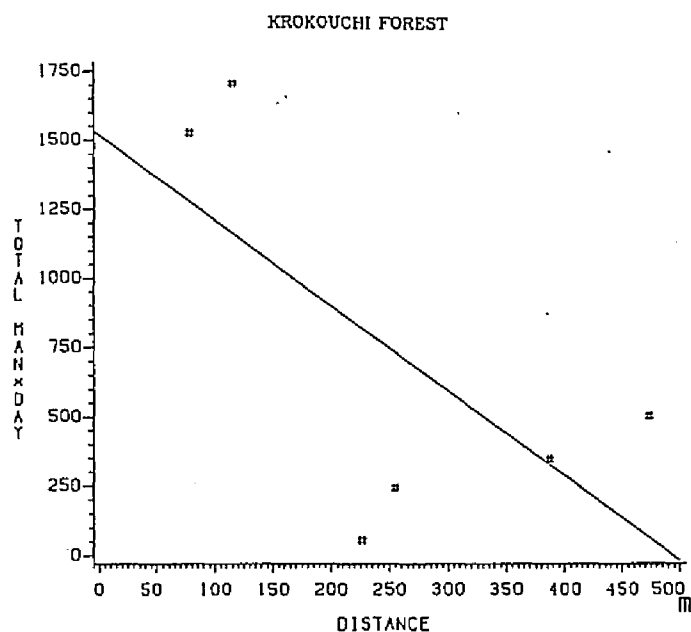


図3-26 林地到達距離階別の作業投入人工数

また、伐採作業についてみると、間伐や主伐が行なわれた林分は林地到達距離が300m以内であり、その面積は5ha前後が多い。昭和45年以前の一団地の植栽地の面積をみると10ha以上あり、大面積皆伐・大面積植栽が行なわれていた。しかし林道・作業道の整備により小面積皆伐に移行した。直営の皆伐作業（集材機作業データ数18）についてその単位面積当りの人工数( $N_v$ )、あるいは単位材積当りの人工数( $N_s$ )と林地到達距離( $D$ )との相関関係は認められなかった。伐採面積( $S$ )や単位伐採面積当りの材積( $V$ )を含めた多項回帰式は次式のようなになる。

$$N_v = -0.005 \cdot D + 0.0160 \cdot S - 0.0002 \cdot V + 0.5185 \quad (r=0.325) \quad (3-10)$$

$$N_s = -0.16 \cdot D + 5.93 \cdot S + 0.35 \cdot V + 24.50 \quad (r=0.611) \quad (3-11)$$

林地到達距離（集材距離）が300m以下であるため、距離が長いほど工期が良くなっている。これは集材機作業に伴う架設・撤去作業が短距離では距離に余り関係なく一定であるためである。単位面積当りの人工数( $N_s$ )の重相関係数が高いものの作業工期を推定するには不十分である。

## 第四章 林道の最適配置計画法

### 第一節 路線配置の評価方法

路線開設に対する評価方法は、その路線の開設目標により異なるが、一般的に費用便益分析により行なわれている。費用は従来の林道密度理論でも多く用いられており、集材費と林道開設費・維持費の和として、更に造林・保育・管理のための歩行経費を追加する場合もあり、平均集材距離・林道開設長・単位面積当りの伐採材積や投入労働力数等の関数として表わされる。便益は林道開設前後の費用の差で表わされる。投資（費用）と便益の比あるいはその差は事業の直接効果測定によく用いられ、投資の限界を知るのに便利である。このほかに、平均集材距離や開発指数<sup>6)</sup>（藤原<sup>44)</sup>，1970）により評価する方法もある（酒井<sup>44)</sup>，1983）。

このように評価方法として数多くの評価関数があるが、それらの関数の因子には共通性がある。すなわち、平均集材距離、林道開設長、林分面積を重要な評価因子としている点である。主要な評価関数では、これらの因子を単独にあるいは複数の組合せで用いられている。

さて、これらの重要な評価因子の値を従来の林道密度理論では、矩形等のモデルを設定し一意的に計算している。つまり、平均集材距離と林道開設長をある関数関係として近似することで、林道密度をパラメータとする評価式を導いている<sup>33)</sup>（例えば、南方<sup>33)</sup>，1977）。これは量的な問題として林道開設量を算出する場合には十分であるが、地形・林分条件の制約を強く受ける日本のような山岳林における林道配置の評価の場合には不十分である。質的な問題としての配置計画では、地形・林分条件をいかに把握し計画に取入れるかが重要であり、第二章で述べた数値地図等によりそれらを実際に近い形で計測し評価に用いる必要がある。

一方、路網配置計画は従来いくつかの路網計画案を作成しそれらを比較検討することで、よりベターな計画を選定する比較設計法で行なわれている。その時、林道開設費や集材費等の費用・便益の評価ばかりでなく、重要地点（鞍部・渡河地点・土場予定地・分岐点等）が路網上に位置しているか、通過困難な地域（崩壊地・地入り地・なだれ常襲地等）を回避しているか、地形に順応し、縦断勾配は制限勾配内か、道路間隔が適切であるかなどについても検討評価される<sup>47)</sup>（佐々木<sup>47)</sup>，1979）。このような比較設計法は人手で行なうと大変でその比較案にも限りがある。そのため第二章で述べた数値地形図を用いて、計算機により判断の基礎となる開設前後の平均集材距離や開設延長等を林分毎に計算し、計画案の選択を容易に迅速にする方法<sup>42)</sup>もある（酒井<sup>42)</sup>，1981）。

ここでは数値地図及び等高線データを用い、林内道路の最適計画法について検討する。それは平均集材距離・開設長等の重要な因子を具体的な路網配置から直接算出し、それをもとに評価を行ない、最適路網配置を求めるものである。

## 第二節 数値地形図による路線配置計画法

### 1. 端点除去法の考え方

一般に対象地域内の路網密度が増加するにつれ、平均集材距離や平均歩行時間は減少するが、密度が高いほどその減少率は小さい（図(4-1)）。これは延長部分から集材や歩行するようになる林分面積が地形的条件や他の路線との競合でそれ程増加しなくなるためである。そこで逆に全対象地域を集材可能に、あるいは一定時間で林地に到達するに十分な路網（以下原路網という）を与え、その各端点のうち集材（あるいは歩行以下略）可能林分の減少に関与しない端点を順に除去し集材に十分な路網を求めてみる。これを端点除去法と呼ぶ。端点の除去はたんに集材の可否や一定の歩行時間といった条件だけでなく、費用便益分析等による経済性の検討による場合もある。すなわち、ある小面積の林分の集材のため多くの開設長が必要なとき、それを費用便益分析により検討し除去することである。また開設総延長がなんらかの制約で規定されている場合、あるいはより効果的な投資をしたい場合など、端点除去法により求められた十分な路網から、一部分を除去し、必要かつ合理的な路網を求めなくてはならない。そのような時に評価として費用便益分析が用いられる。

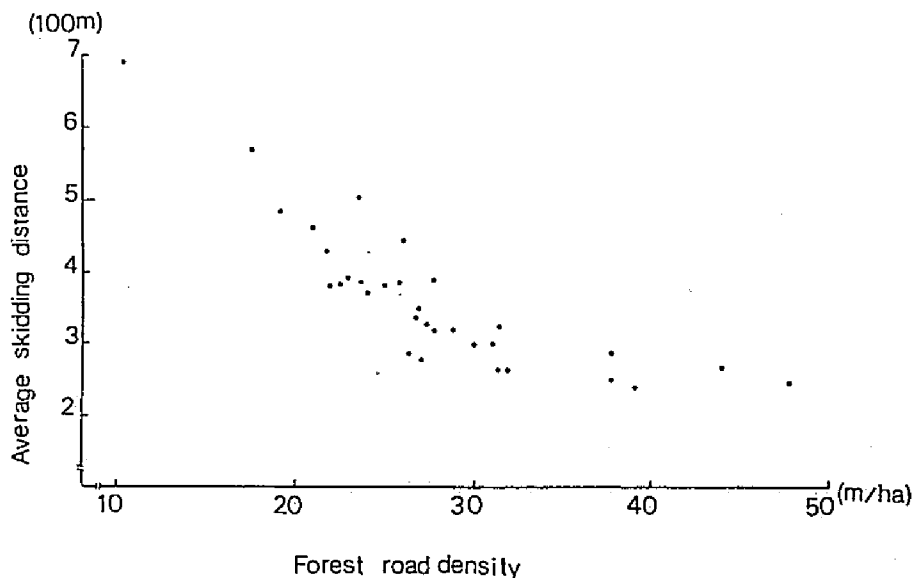


図4-1 平均集材距離と林道密度（京都市左京区久多）

路網は対象地域の森林基本図をもとに作成した数値地図を用い、隣接する格子点を結ぶ線分の集合で近似する。この方法で得られる路網は必ず原路網の一部であるので、原路網の設定の仕方によりその結果は異なる。作成した端点除去法によるプログラムでは、いくつかの原路網を自動的に設定できる。それらには各格子点から任意の起点（複数可）、すなわち既設道路との結合点に至る総評価値が最小となる路網、対象地域内の全ての格子点を総評価値が最小となるように結ぶ路網、任意の土場予定地や重要通過地点を指定し、それらを総評価値が最小となるように結ぶ路網等がある。同時にそれらの路網の組合せ、すなわち重要通過指定点により作成した路網を既設道との結合点とみなし、それに至る最小の路網を複合させるなどができる。また計画当事者が作成したいくつかの路網計画案も、当然原路網として検討することができる。

端点除去のアルゴリズムは次のとおりである。

- step 1 路網の  $n$  コの端点  $Q_i$  を識別する。
- step 2 端点  $Q_i$  に集材可能な  $m$  コの林分  $P_j$  を求める。もしなければ端点  $Q_i$  は除去対象とする。
- step 3  $m$  コの林分  $P_j$  各々について端点  $Q_i$  以外の林道通過点に集材可能かチェックする。端点  $Q_i$  にしか集材できない場合、その組合せ  $P_j Q_i$  を登録する。
- step 4 step 2 ~ step 3 を  $n$  コの端点すべてについて行う。
- step 5 登録された組合せ  $P_j Q_i$  に含まれない端点を除去する。
- step 6 組合せ  $P_j Q_i$  において林分  $P_k$  が端点  $Q_n$  のみとの組合せであれば端点  $Q_n$  は除去せず、端点  $Q_n$  を含む組合せ  $P_k Q_n$  を削除する。
- step 7 組合せ  $P_j Q_i$  において林分  $P_m$  が 2 ツ以上の端点に集材可能であれば、各々の端点における林道開設費の評価をそこに集材可能な林分数で除し、最小となる端点を求め、それ以外の端点を除去する。
- step 8 除去する端点がなくなるまで step 1 ~ step 7 を繰返す。
- step 9 開設総延長が規定されている場合は、既設道路との結合点を起点とし総延長が規定値以下になる路線の組合せを求め、それらを比較検討し路網配置を決定する。

## 2. 評価・計算方法

原路網の作成に必要な地形条件を考慮した林道開設費の評価 ( $H_{pi}$ ) は図(4-2)に示す様に、隣接する 8 方向の格子点に開設できるものとし式(4-1)で計算する。

$$H_{pi} = W_I \cdot W_G \cdot W_D \cdot L_{pi} \quad (4-1)$$

ここで  $W_I$ ,  $W_G$ ,  $W_D$ , はそれぞれ式(4-2)より求まる縦断勾配 ( $I$ ), 斜面傾斜 ( $G$ ), 斜面方

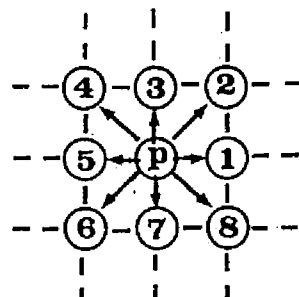


図 4-2 格子点からの林道開設方向

位(D) の変化量に関する重みで、 $L_{pi}$  は格子点間の距離である。これは林道開設困難な格子点間の評価を大きくするためである。

$$\begin{aligned}
 WI &= 1.0 && (I_{pi} \leq a) \\
 &= (I_{pi} - a)^2 && (I_{pi} > a) \\
 WG &= 1.0 && (G_p + G_i \leq b) \\
 &= (G_p + G_i) / 2 && (G_p + G_i > b) \\
 WD &= 1.0 && (|D_p - D_i| \leq c) \\
 &= |D_p - D_i| / c && (|D_p - D_i| > c)
 \end{aligned}
 \tag{4-2}$$

$I_{pi}$ : 縦断勾配(%)       $G_p, G_i$ : 斜面傾斜(%)       $D_p, D_i$ : 斜面方位(rad.)

$L_{pi}$ : 格子点間の距離(m)       $a, d, c$ : 定数(重み)

集材架線の架設の可否や林地までの歩行時間は数値地図を用い計算する。集材費の評価はエンドレスタイラー方式の架線集材で行うものとする。第二章のように架設可能な架線を求め、スパン長・平均集材距離・横取り範囲を計算する。元柱が路線通過格子点にある場合、その架線の横取り区域を集材可能区域とする。スパン長・平均集材距離・横取り範囲の集材材積より式(4-3)を用いて集材費の評価を行なう。<sup>40)</sup> なお隣接する格子点は無条件で集材可とした。

$$Y_c = 4.617 \cdot Asd / V + 21.967 / V + (6.841 - 0.379 \cdot Asd) \tag{4-3}$$

$Y_c$  : 集材費

$Asd$  : 平均集材距離 (m)

$V$  : 集材材積 (m<sup>3</sup>)

林分への歩行時間は林道通過格子点から一定距離内の格子点を対象とし、高低差(h)・水平距離(d)により計算する。林内歩行速度(v)は上り下りの平均で式(4-4)で表わす<sup>18)</sup> (北川, 1968)。歩行時間(t)は式(4-5)となり、 $h/d=0.42$ で極小値をとるから、最適歩行速度( $v_s$ )は式(4-6)となる。

$$v = 65.2 - 0.708 \cdot I \tag{4-4}$$

$$t = \text{SQRT}\{d^2 + h^2\} / (65.2 - 0.708 \cdot h / d) \tag{4-5}$$

$$\begin{aligned}
 v_s &= 65.2 - 0.708 \cdot I && (I \leq 42) \\
 &= 35.3 && (I > 42)
 \end{aligned}
 \tag{4-6}$$

$v$  : 歩行速度 (m/min)       $d$  : 水平距離 (m)

$t$  : 歩行時間 (min)       $h$  : 高低差 (m)

$v_s$ : 最適歩行速度 (m/min)       $I$  : 斜面傾斜 (%)

最小歩行時間は傾斜が42%以下の場合は式(4-5)で、他の場合は歩行速度35.3 m/minで傾斜が42%の歩道があるものとして計算する。

また、各林道通過点における集材費や林道開設費の評価値や、その先の予定線に集材される林分面積等から、その通過点の利用面積の増加面積当りの林道開設評価値を求め、その点の土場（集材点）・接合部（運材部分）といった路線機能を明確にすることができる。これは開設長の上限が規定されている場合等の部分除去に利用できる。また開設される林道の規格・構造を決定する際に、その予想利用度として用いられる。

### 3. 適用例

既に林道開設費の評価・集材架線の架設の可否・集材費・歩行時間等が計算されている格子点間隔80 mの数値地図を用い、様々な路網を与え比較検討してみた。

図(4-3)は点P5を起点とし他のすべての点とを最小評価で結ぶ路網を原路網(図(4-3-1))として与え、端点を除去した結果(図(4-3-2))で、総延長12,599m、集材可能面積250ha、それに対する林道密度(以下同様)50.4m/ha、平均集材スパン長280m、平均集材距離98mとなった。各通過点における最小費用の集材林分面積を求めてみると、端点P343と合流点P224間の路線では延長が740mありながら、最小費用で集材される面積は2.6haと非常に少なく、その間の開設効果が低い。これは端点P343に集材される林分が1つだけであるため、P343-P264まで最小費用で集材される林分の増加がないにもかかわらず除去できないためである。このような端点はP343のほかにP35、P62、P158、P260、P321、P348など7点ある。そこでこれらの端点に集材される7つの林分を集材域から除いて再度端点除去法により整理してみると、総延長9,889m、集材可能面積246ha、林道密度40.2m/haとなった。集材可能面積が4ha減であるが延長は2,710mも減少した。更にP245、P309を除外した結果が図(4-3-3)で総延長9,729m、集材可能面積244ha、林道密度39.8m/ha、平均集材架線スパン337m、平均集材距離114mとなった。これは当初の結果にくらべ集材可能面積で6ha、延長で2,870m減少し、平均集材距離が16m増加した。このように集材域確保のために莫大な開設を必要とする林分は場合によっては除外する必要もある。なお図中の路線の太さは、最小費用で集材される林分数に応じ太くなっている。つまり各格子点からP5に至る最小費用の集材にかかわる林道部分の利用度を示す。

図(4-4)はすべての点を、林道開設費の評価値の総計が最小となるように結んだ路網を原路網(図(4-4-1))として与え、端点を除去した結果(図(4-4-2))で林道総延長11,613m、集材可能面積248ha、林道密度46.9m/ha、平均集材スパン320m、平均集材距離118mとなった。先程と同様に、P11、P42、P40に集材される林分を除外した結果が図(4-4-3)である。林道総延長9,409m(2,204m減)、集材可能面積244ha(4ha減)、林道密度38.7m/ha、平均取材架線スパン長333m、平均集材距離113mとなった。



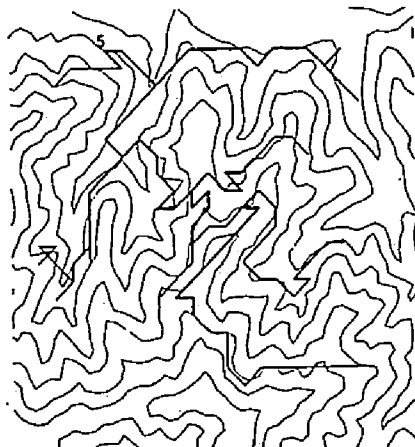
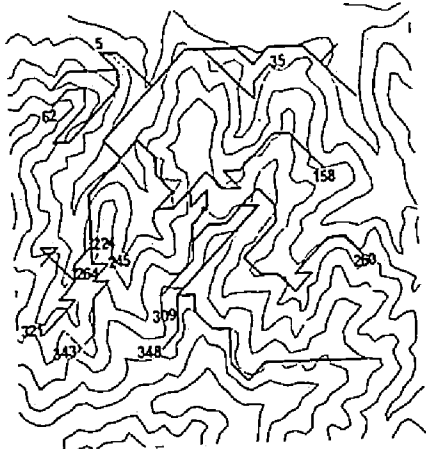
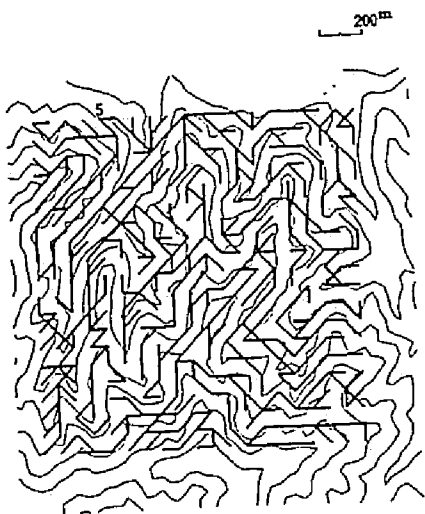


図4-3 点P5に至る最小評価の路網の例  
 上 : 4-3-1 路網除去の結果  
 中 : 4-3-2 路網除去の結果  
 下 : 4-3-3 路網除去の結果

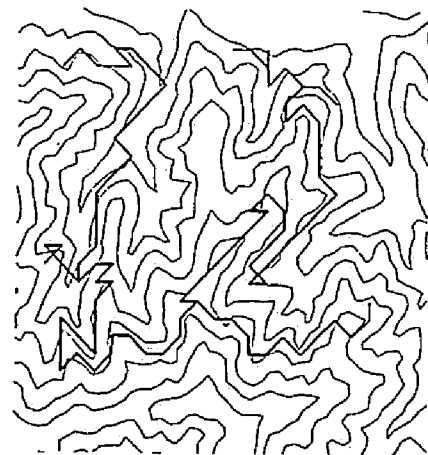
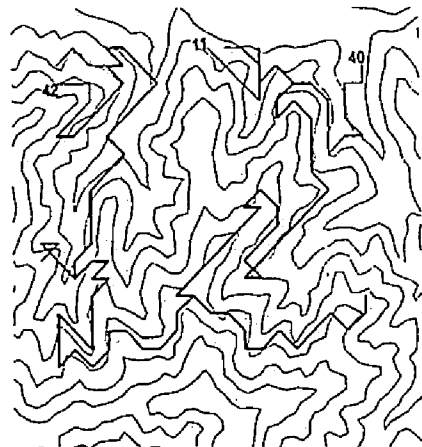
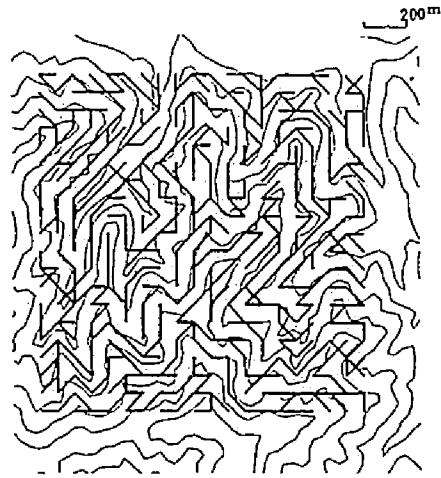


図4-4 開設評価総計が最小となる路網  
 (最短生成木)の例  
 上 : 4-4-1 路網除去の結果  
 中 : 4-4-2 路網除去の結果  
 下 : 4-4-3 路網除去の結果

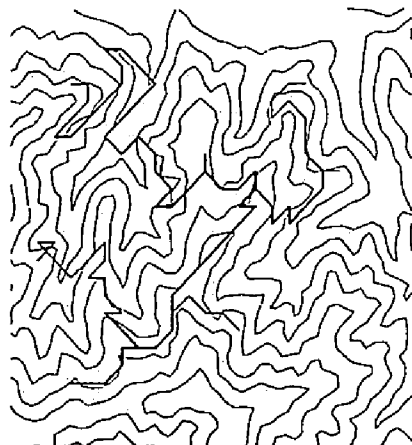
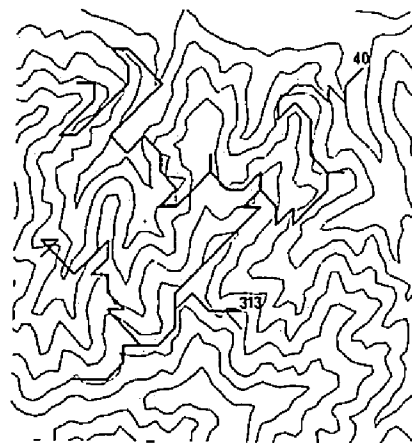
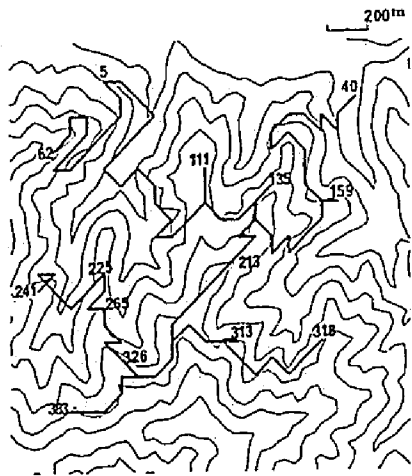


図4-5 指定点を閉鎖した上で、評価総計が最小となるように結ぶ路網の例  
 上：図4-5-1 原路網の結果  
 中：図4-5-1 端点除去の結果  
 下：図4-5-1 不要端点除去の結果

図(4-5)は集材架線が集中し山土場に  
 適していると思われる地点14箇所を選定  
 し、それらを林道開設費の総評価が最小  
 となるように結ぶ総延長9,023mの路網（  
 図(4-5-1)）を原路網として与え、端点  
 を除去した結果（図(4-5-2)）である。  
 林道総延長8,490m、集材可能面積232h  
 a、林道密度36.7m/ha、平均集材スパン  
 長304m、平均集材距離113mとなった。同  
 様にP40,P313にのみ集材される林分を除  
 外した結果が図(4-5-3)である。林道総  
 延長7,991m(1,032m減)、集材可能面積  
 230ha(2ha減)、林道密度34.8m/ha、平  
 均集材スパン長319m、平均集材距離119m  
 となった。林道通過点のうち最小費用で  
 集材される林分を持たない格子点—すな  
 わち土場と土場とを連絡する機能しかな  
 い部分がこの例では30%であった。先の  
 2例では38%前後であった。これは原路  
 網が選定された14点を最小評価で結んで  
 いるためである。

集材可能面積あたりの林道開設費の評  
 価値で、これらの結果を比較すれば、図  
 (4-4-3)が最も小さい。これを100とす  
 れば図(4-5-3)が103、図(4-5-1)が11  
 9、図(4-4-2)が125、図(4-3-3)が13  
 6、図(4-3-2)が174となる。総評価が  
 最小となる原路網を用いた端点除去によ  
 る配置計画がこの指数でみるかぎりベ  
 ターである。

### 第三節 等高線データを用いた最適配置計画法

端点除去法では数値地図の作成に多大な労力を要する。そこでより簡便な配置計画法として等高線データを用いた手法について検討してみる。この方法は、利用対象区域を林分・地形条件によりいくつかに分割し、それ毎に等高線により補間された予定線の最適な組合せを求めるものである。

#### 1. 計画単位と予定線

計画の基礎単位は対象地を主要な尾根・沢等の地形界や林小班の施業界で、地形・林分・施業等の条件がほぼ同一となるように分割した区域（以下これを林区と呼ぶ）とする。計画は林区毎に予定線を評価し、その評価値の合計あるいは加重平均で全体の評価を行ない最適な予定路線を求める。その際予定路線の利用区域はそれが属する林区とし、地形や林分等の条件によって変化する評価式のパラメータは林区単位で同値とする。林区を基礎単位として評価する方法は、予定線の利用区域や評価式が実際に即したかたちで対応できるため、対象地全体をひとつとして評価する方法に比べ合理的である。林区の大きさは林班程度からその数分の1程度が適当である。あまり小さいと同一斜面を幾つもの林区に分割することになり、利用区域が実際より狭く設定されてしまう。

林道予定線は山岳林の場合とくに縦断勾配の制限を受けるため等高線に沿った一定の幅のなかに配置せざるを得ない。そこで林区内では予定線の勾配は一定で、その線形はヘヤーピン等なく地形に沿ったものとするれば、間隔  $h$  m の等高線を用いて予定線を表わすことができる。つまり予定線は等高線と林区境界線との交点を始終点とし、その線形は始終点の高さが同一であればその高さの等高線に、異なる場合は該当する2本の等高線を用い補間法により求めた線形となる。予定線の本数は等高線の本数の自乗となるが、縦断勾配が制限値以上のものは開設不可能なので除外する。等高線の間隔は対象地の標高分布や既設林道との取付け位置等を考慮して決める。間隔を狭くして多くの等高線を用いると、より詳細な計画に近づくが、計算処理時間や記憶容量等が増大しその制約をうける。経験的にみると概略的な計画であれば50 m間隔の等高線で充分である。

さて、この計画法では林区内最大2本の予定線が計画できるものとした。そのために1組の予定線の始点あるいは終点は最大2ヶの高さの組合せで表わされる。いま対象地全体で  $m$  本の高さの等高線が用いられたとすれば、その高さの組合せは  $m(m+1)/2$  とおりある。全林区共通とするためその各々の組合せに一連番号を付すと、一組の予定線の始点（終点）は高さの組合せで表わされ計算処理上便利である。以後、単に予定線という場合は一組（最大2本）の予定線を指す。計画の評価を行なう際重要な因子である開設長と平均集材距離は従来の計画法では

矩形モデル等を用いその関数関係を求め、それを評価に用いていたが、本計画法では林区内の予定線の位置をもとに直接算出し評価に用いる。そのため、地形条件の影響により予定線の位置が変化しても、その影響を直接評価に反映させることができる。その意味でも配置に重点をおいた計画法だといえる。

## 2. D.P.による解法

林道計画の最適計画は予定線の評価値を林区毎に計算し、その総計ないしは加重平均が最小(最大)となる予定線の組合せを求めることである。最大とする場合も考え方は全く同じであるので、ここでは最小にする場合について述べる。対象地をNコの林区に分割し、i番目の林区の始点j終点kの予定線の評価値を  $G_i(j,k)$  とすると、最適計画は式(4-7)の総評価値Cを最小にする  $j_n, k_n$  の組合せを求めるダイナミック・プログラミング(DP)の問題とみなせる(坂口、1970)。

$$C = \sum_n G_n(j_n, k_n) \quad (4-7)$$

この問題は最適性の原理により次のように考えられる。いま i番目の林区の終点kまでの最適計画の評価値を  $F(i,k)$  で表わすと、

$$\begin{aligned} F(i,k) &= \min\{ \sum_n G_n(j_n, k_n) \} \\ &= \min\{ F(i-1, j) + G_i(j, k) \} \end{aligned} \quad (4-8)$$

1番目の林区では始点が起点  $j_s$  として1コ与えられているので

$$\begin{aligned} F(1,k) &= G_1(j_s, k) \\ F(2,k) &= \min\{ F(1, j) + G_2(j, k) \} \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \end{aligned} \quad (4-9)$$

$$F(n,k) = \min\{ F(n-1, j) + G_n(j, k) \}$$

と順次  $F(n,k)$  まで計算でき、最終林区Nに至る最小評価値  $C_{min}$  とその終点  $k_n$  は式(4-10)で求まる。

$$C_{min} = \min\{ F(n, k) \} \quad (4-10)$$

また最適予定線は起点  $j_s$  と各林区の終点  $k_n$  の組合せ  $(j_s, k_1, k_2, \dots, k_n)$  として  $F_{k_n}(n)$  より式(4-9)を逆にたどることにより求められる。このように林道の最適計画はDPの手法を用い容易に求めることができる。また同時にすべての林区のすべての終点に至る最小評価値も計算されるので、それらを記憶しておけば終点の位置の条件にあった最適計画が容易に求められる。つまり、終点を特定した場合、任意の林区を終点とした場合、すべての終点を対象とした場合などに対応できる。

この計算過程における制約条件は、隣接する林区の林道予定線が常に連結していることである。そのため各林区にあらかじめ任意の順番を与え、その順で予定線の選択を行なうものとし、L番目の林区における予定線の始点は、それ以前のL-1コの林区との境界上に終点として存在するか、起点として与えられているものとする。順番は起点側から目標とする終点に向い、同一斜面を塗り潰すように若い順番の林区と隣接させ決めてゆく。この計算では各林区最大2本の予定線まで選択できるが、始終点が2ケの高さの組合せで表わされるため、同一斜面を傾斜方向に2ケ以上の林区に分割した場合、予定線はそれらの林区全体で2本までしか計画されない。つまり同一斜面では1回の計算では最大2本の予定線しか計画されない。もしそれ以上の予定線を計画しようとする場合は、計画対象の高さの範囲を限定し、まずその中で計画をたてそれを既設道路に追加登録し、その条件下で次の高さの範囲の計算をし計画をたてる。この時、先の計画で求めた最適予定線を登録して2回目の計算をしても、その結果得られる計画は全体としてみた場合必ずしも最適とならない。最適計画を求めるには、先の計画でどの終点に至る予定線を登録すると全体として評価値が最小になるか試行し比較検討する必要がある。

### 3. 適用例と考察

この計画法を用いて京都大学和歌山演習林4～7林班(323ha)を対象地として林道計画をたててみた。計画手順の流れを図(4-6)に示す。

STEP 1では森林基本図より座標読み取り装置を用い、既設道路・林区界・等高線を点列として読み取る。同一高の等高線が何本もあつたり、長い等高線を分割した場合は、それぞれ枝番を付け識別する。図(4-7)は入力したデータを図化したものである。この例では50m間隔の等高線(550-1,200m)を14本用いた。

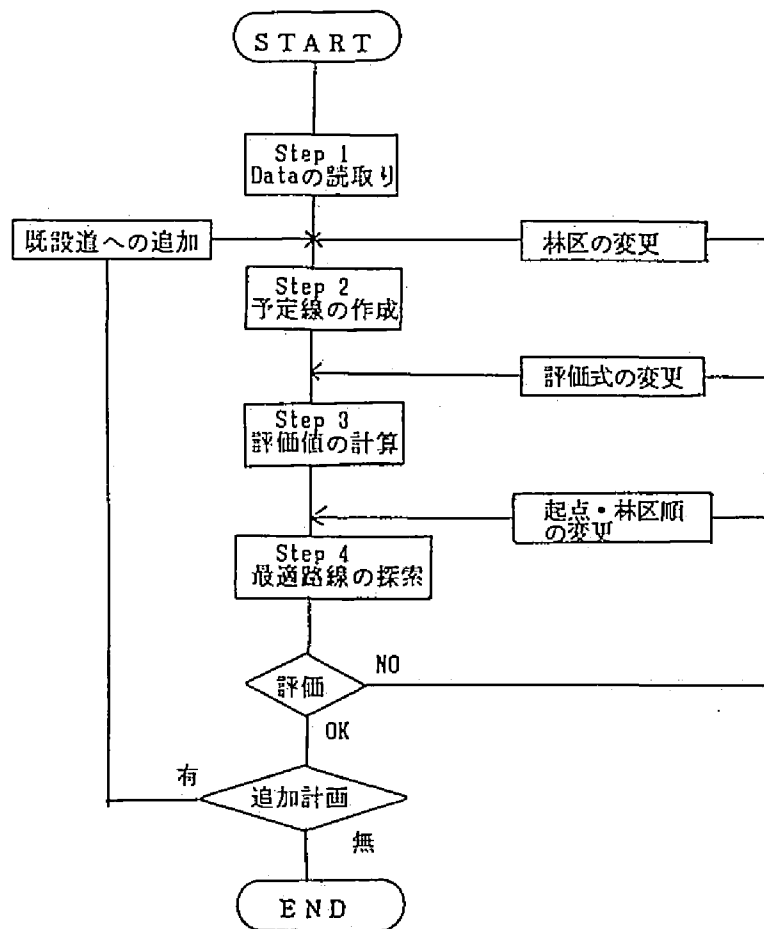


図4-6 D.P.による計画手順

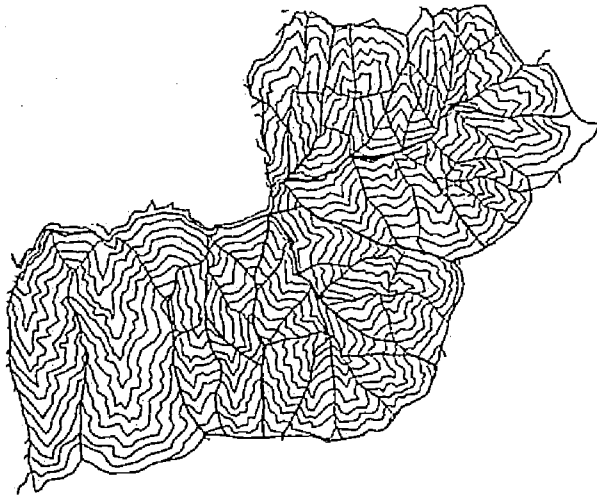


図4-7 等高線と林区データ



図4-8 予定線群

STEP 2では林区毎にその林区内を通過する等高線を用い予定線を補間法で求める。予定線のデータとして、林区番号・隣接林区番号・延長・勾配・通過位置の点列が出力される。この時、勾配が指定された値より大きい予定線は除外される。この例の場合、総予定線数555本で処理時間は7秒だった。図(4-8)は予定線群を図化したもので、等高線方向の幅が狭い林区では多くの予定線の勾配が制限値以上になるため除外され、予定線が等高線のみ林区もある。

STEP 3では、最大2本の予定線の組合せすべてについて林区毎に評価値の計算を行う。ここでは評価値は費用とし、 $i$ 林区の始点  $j$ 終点 $k$ の予定線における平均林地到達距離 ( $L_{jk}$ )、林地面積 ( $S_i$ )、予定線の延長 ( $R_{jk}$ ) を用い式(4-11)で算出した。

$$G_i(j,k) = a_i \cdot L_{jk} \cdot S_i + b_i \cdot R_{jk} + c_i \quad (4-11)$$

林分や地形条件によりパラメータ ( $a_i, b_i, c_i$ ) は変化するので、その値は林区毎に入力する。平均林地到達距離は林区を覆う一定間隔の格子点のうち林区内部の点について、予定線上に一定間隔以下で設定された点までの最小距離を求め、それらの平均値として算出した。ここでの計算は予定線の組合せの数や平均林地到達距離算出の計算量が多いため一番処理時間がかかる。この例の場合、予定線の組合せ4,421とおおり、格子点間隔50mで68秒かかった。

STEP 4では起点・予定線の高さの範囲・該当林区とその計算順序を入力し、D.P.の手法により最適計算を行う。計算結果の検討を容易にするため、図(4-9)のように予定線配置図を端末機の画面に表示するとともに、総評価値・総延長・平均林地到達距離等を出力する。各林区の各終点までの最適計画が計算結果としてファイル化されているため、任意の最適計画について何回でも図示させ検討することができる。

この例の場合、既設林道650m地点を起点とし24の林区について600-1,100mの高さの範囲で最適計画を求めた。図(4-9)は最終林区の700mおよび1,000m地点を終点とする最適計画の結果である。なお計算処理に要した時間は22秒だった。このようにして得られた結果を検討し不十分と考えるときは、林区の計算順序や起点の位置等を変更し再計算する。また評価式や林区界を変更し、異った観点から計算し直して比較検討する場合もある。

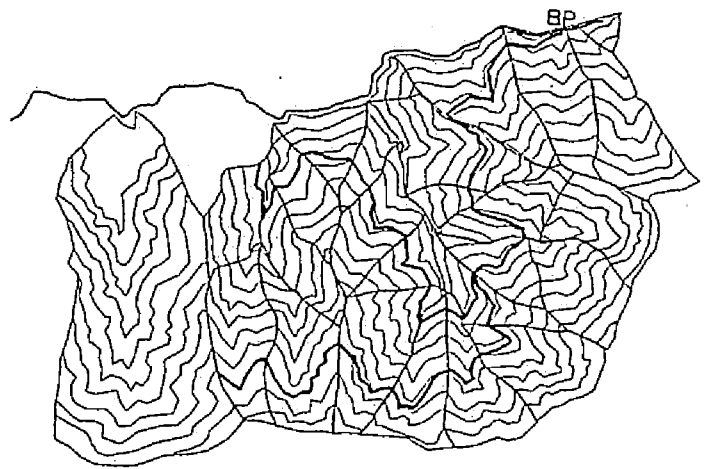


図4-9 費用による路網配置計画の結果(終点指定)

#### 4 各種評価式による最適配置

前述の例は評価式に費用(式(4-11))を用いた。ここでは、他にいくつかの評価関数による最適配置について検討してみる。評価関数は式(4-8)における $G_i(j,k)$ あるいは $F(i,k)$ として与えられる。これは $i$ 林区における評価関数が、たんにその林区の評価因子だけで構成されている場合は、 $G_i(j,k)$ で表現され、それ以前の林区の評価因子をも含む評価関数の場合は、 $F(i,k)$ で表現される。開発指数・費用・便益・開設長(開設費)・平均集材距離による評価式は $i$ 林区の始点 $j$ 終点 $k$ の予定線における平均林地到達距離( $L_{jk}$ )、林地面積( $S_i$ )、予定線の延長( $R_{jk}$ )を用いそれぞれつぎのとおりになる。

開発指数は路線配置の幾何構造的な良否を示す値で、効率的な配置を行なうとその値は1に近づく。開発指数による評価式は式(4-12)となる。

$$F(i,k) = \min \{ F(i-1,j) \cdot SS + L_{jk} \cdot R_{jk}/2500 \} / (SS + S_i) \quad (4-12)$$

$$\text{ただし} \quad SS = \sum_{n=1}^{i-1} S_n$$

$$F(1,k) = \min \{ L_{jk} \cdot R_{jk}/2500/S_i \}$$

便益は林道開設前後の費用の差として式(4-13)で表わされる。(式(4-11)参照)

$$G_i(j,k) = a_i \cdot d_i \cdot S_i - \{ \alpha_i \cdot L_{jk} \cdot S_i + \beta_i \cdot R_{jk} + \gamma_i \} \quad (4-13)$$

ここで $a_i, d_i$ は開設前の変動費の係数および平均集材距離である。 $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ は $i$ 番目の林区における単位集材距離・面積当りの変動費の係数、林道開設費、および固定費である。集材方法が変化しない時、つまり変動費の係数が同じ時、式(4-14)となる。

$$G_i(j,k) = \alpha_i \cdot (d_i - L_{jk}) \cdot S_i - \beta_i \cdot R_{jk} - \gamma_i \quad (4-14)$$

なお、費用は集材費と林道開設費の和とした。

開設長の評価式は式(4-15)で与えられる。開設費用の時は式(4-16)となる。

$$G_i(j,k) = R_{jk} \quad (4-15)$$

$$G_i(j,k) = c_i \cdot R_{jk} \quad (4-16)$$

平均集材距離の評価式は開発指数と同様にして、式(4-17)で表わされる。

$$F(i,k) = \min\{ F(i-1,j) \cdot SS + L_{jk} \cdot S_i \} / (SS + S_i) \quad (4-17)$$

ただし  $SS = \sum_{n=1}^{i-1} S_n$

前述の適用例と同じ区域を対象として、これらの評価式で林道配置を行なってみた。その結果の概略を表(4-1)に、またその配置図を図(4-10)~(4-13)に示す。

開発指数を用いた配置計画(図(4-10))

の場合、中腹一段の路線配置となった。終点の境界線E-Fの他の高さに終点を1点指定した場合、その最適評価値は1.40-1.42であった。2点指定したときその値は1.45-1.48と1点の場合と比べ余り差がなかった。これは2点の場合、開設長が3,000m、通過林区面積が20ha程度それぞれ増加したが、平均集材距離が40m程減少したためである。このように起点Sから境界E-Fに至る路線配置は、開設長に関係なく、開発指数でみると1.4-1.5が最適値となる。このことは対象地域の地形的特色を表わしているとおもわれる。

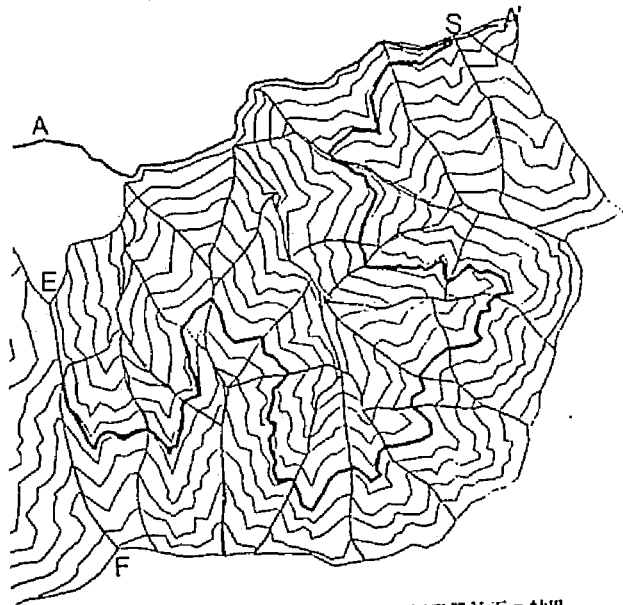


図4-10 開発指数による路線配置計画の結果

表4-1 最適配置の概要

評価方法	通過林区				対象地域全体			
	終点の 標高	通過 面積	平均集材 距離	評価値	林道 延長	平均集材 距離	林道 密度	開発 指数
原図	• m	19.8 ha	256 m	•	385 m	796 m	1.2m/ha	•
開発指数	950	271.4	146	1.4	6,709	183	20.7	1.52
便益	1,000	261.0	188	2,192	5,300	224	16.4	1.47
費用	900	191.6	194	12,515	4,342	359	13.4	1.93
開設長	900	191.6	194	4,342	4,342	359	13.4	1.93
集材距離	700	300.9	91	91.0	13,021	118	40.3	1.90
	900							
開発指数	1,100	271.4	151	1.42	6,532	172	20.2	1.39
費用	1,100	197.3	152	13,665	5,034	232	15.6	1.45
集材距離	1,100	230.9	107	106.7	10,212	166	31.6	2.11



図(4-11)は便益の評価式(4-13)を用いたときの最適配置を示す。ここでは $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ は各林区共通とし、それぞれ0.08(万円/m・ha)、2.5(万円/m)、0.0(万円)とした。評価値は便益の額を表わしている。終点の位置を種々指定し比較してみると、二段林道となる一部の例(終点900,1000m)を除き評価値は正であった。また、平均集材距離は終点の位置にかかわらず177m~194mとほぼ変わらず、他の評価方法に比べ大きい値であった。これは便益による評価は、林道開設前の平均集材距離との差により行なうため、通過林区の平均集材距離の長短より、むしろ既設林道から離れた林区を通過するか否か、つまり開設前と比較した平均集材距離の減少の大小の影響の方が相対的に強いためである。

図(4-12)は費用の評価式(4-11)を用い $\alpha=0.05$ (万円/m・ha)  $\beta=2.5$ (万円/m)とした場合の最適配置である。この結果は開設長の評価式(4-18)を用いた場合と同じである。 $\beta$ の $\alpha$ の値に比べ大きいので、開設長の影響のほうが強く、延長主体の評価になったためである。境界E-Fの各標高点に至る最短開設長は最小3,956m~最大4,649mであった。

図(4-13)は平均集材距離の評価式(4-17)を用いた最適配置である。式(4-17)には開設長に関するパラメータがなく、その長さには制限がない。そのため、多くの林区で二段の林道配置となり、開設長はいままでの評価法のなかで最大である。終点を一点だけ指定した場合でも、途中の林区では二段林道の配置となった。終点の位置にかかわらず、平均集材距離は90m-105m、林道密度は45m/ha前後であった。

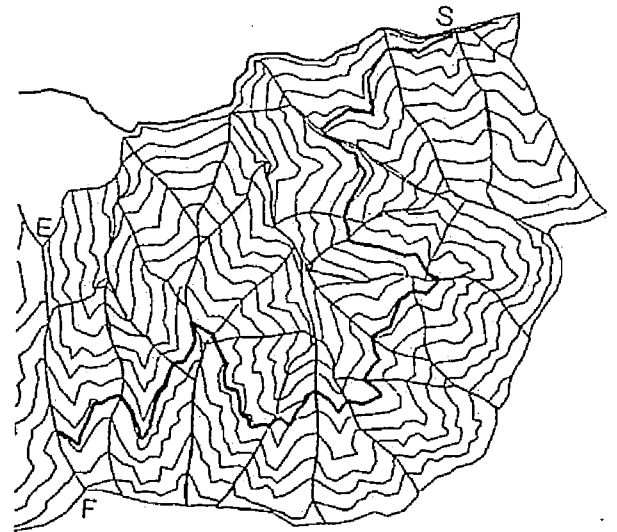


図4-11 便益による路網配置計画の結果

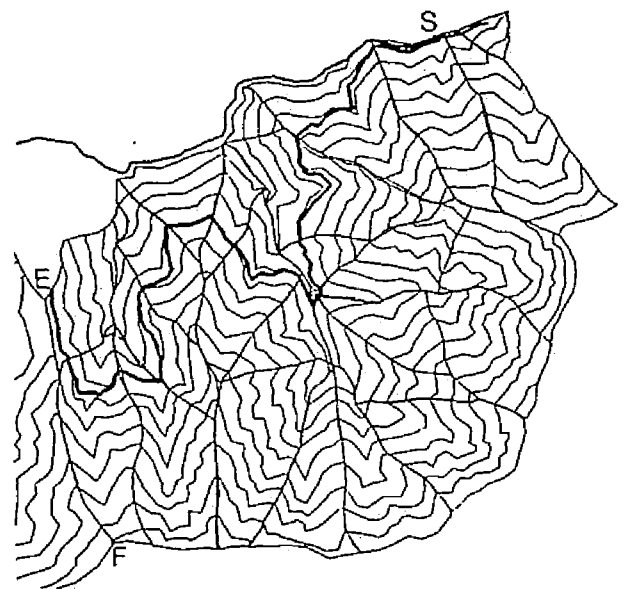


図4-12 費用による路網配置計画の結果



図4-13 平均集材距離による路網配置計画の結果

費用の評価式(4-11)において $\alpha$ 、 $\gamma$ を零とすれば開設長の評価式(4-15)に、 $\beta$ 、 $\gamma$ を零とすれば平均集材距離の評価式(4-17)になる。そこで費用の評価式(4-11)を用い、 $\gamma$ を零とし $\alpha/\beta$ の比を変化させ、最適配置がどのように変化するか検討してみた。図(4-12)の最適値を基準に指数をとってみると、開設長は $\alpha/\beta$ の比が0.2-0.7のとき127、0.8-1.0のとき169となり、平均集材距離はそれぞれ73、68となる。配置の形態は中腹一段林道から二段林道へ段階的に変化する。一方、境界E-Fへの最適配置は $\alpha/\beta$ の比が0.1の時900m地点、0.2-0.5の時950m地点、0.7-1.0では950mと1100mの2地点と、終点が高くなりかつ二段林道の配置になる。

$\alpha/\beta$ の比は集材法や開設単価により変化し、更に対象地域の施業方法や地形条件に左右される。急傾斜地における架線集材を主体とした施業の場合、 $\alpha/\beta$ の比は小さくなり、その路網は最短ルートに近い配置になる。簡易な作業道と $m$ 当りの集材変動費が比較的高いトラックやクレーン等の車両系の集材をする場合や、択伐等を中心とした集約的な施業をする場合、 $\alpha/\beta$ の比は大きくなり、路網は平均集材距離に重点をおいた配置となる。このように $\alpha/\beta$ の比により配置形態が大きく変化する。

便益の式(4-13)の $\alpha/\beta$ の値についても同様のことがいえる。しかし、便益は開設前の平均集材距離がパラメータとして含まれているため、 $\alpha$ 、 $\beta$ の値が費用と同じ場合、その最適路線は既設林道から離れて配置される。表(4-1)のように起点S、終点1100m地点としたとき、便益は費用より開設長で266m、平均集材距離で36m長い路線配置となった。

開発指数による評価は費用や便益の評価に比べ、林道開設長は長く、平均集材距離は短く、通過林区面積は多い。これは評価式(4-12)のなかに開設長が林道密度の形で、平均集材距離との積として用いられているためである。この地域の場合、開設長は数千メートル、平均集材距離は数百メートルのオーダーである。そのため、同じ変化量でも評価に与える影響は平均集材距離の方が大きい。一方、便益や費用の場合は和の形で用いられているため、変化量の大きい開設長が強い影響を与える。勿論 $\alpha$ 、 $\beta$ 等の係数による差もある。このように評価式の違いにより前者は平均集材距離を減ずるように林区の中央の予定線を選択する。そのため尾根ではさがり気味に、谷筋ではあがり気味の逆勾配を含む配置となる。後二者は開設長の短い予定線を選択し、ほぼ一様の順勾配となった。

図(4-14)は各評価式による最適配置の場合の林地到達距離階別の面積比率の累積分布を表わしている。林区内に林道がある場合はその部分と、ない場合はすべての林道との距離を到達距離とした。便益と開発指数はほぼ同一の分布をしている。それらは200m以下では開設長の分布に、600m以上では平均集材距離の分布に近づく。これは先に述べたような各評価式の特徴で、便益は開設前後の平均集材距離の減少が、開発指数では林区内での平均集材距離の減少率と開設長の増加の大小が、評価値に大きな影響を与えることによる。

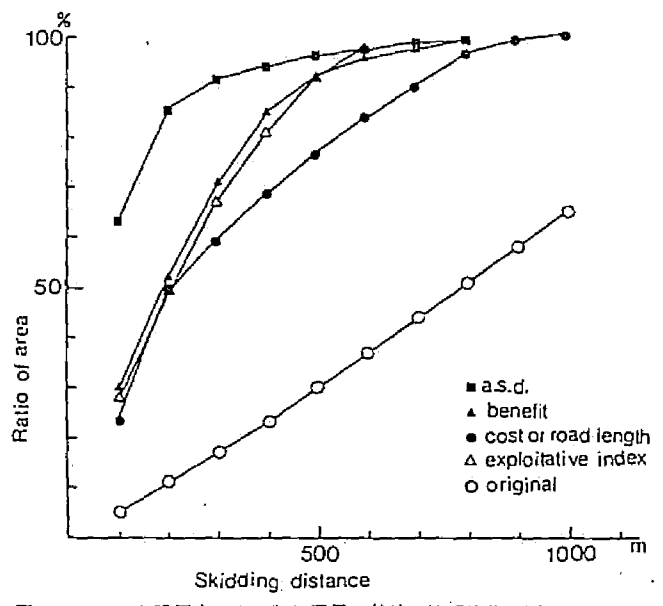


図4-14 各評価式による路網配置の林地到達距離階別の累積面積比率

## 第五章 林道計画と個別開設計画

### 第一節 施業計画と林道開設計画

林道開設計画と施業計画は相互に影響を及ぼし合う車の両輪である。特に収穫計画においては、伐出の可否や搬出方法に大きな影響を与える。そのため施業計画や林分の状況に応じた合理的な開設計画を樹立する必要がある。これに関する従来の研究は少なく、南雲<sup>35,36)</sup>(1974,1983)が開設区間とその利用区域が1対1の対応をし重複しないという前提で、0-1線形計画法による開設順決定法を提示している。この考え方は異った利用区域の路線間の開設順決定には使えませんが、団地のようにまとまった区域の路網開設計画にはふむきである。それはある林分が必ずしも特定の路線区間の開設としかその施業効率向上が対応してないとは限らないからである。とくに林内路網密度が高い集約的な団地においては、その関係は複雑・多岐におよび、現実には各々の林分は地形条件から規定される複数の路線区間と対応している。

そもそも林道開設順の決定法は、小流域・施業団地といった数百ha~千ha前後の比較的まとまった地域を対象とする場合と、市町村といった広域における異った路線間の開設順位を決定する場合とは本質的に異なる。前者は森林施業をより効率的に行なうための開設順を施業計画に基づいて決定すべきであり、後者は森林施業の効率化のみでなく、林道開設に伴う諸効果すなわち様々な開発効果を総合的に判断し決定すべきである。そこで林道の合理的な開設計画を樹立ために、対象となる路線や地域の規模に応じ、その計画手法を変え、計算方法を簡略化する方法について考察する。

さて前者は森林における諸作業を効率的に行うという観点から、施業単位である個々の林分ごとの施業計画にのっとり開設計画がなされる。その開設順の決定は、重要な因子である作業の可否・林分と林道との距離・作業量等を用いて、例えば総費用とか便益を評価基準として求められる。とりわけ林地到達距離は重要な因子であるので、施業対象林分が利用できる林道はその時点までに開設された路線のなかで、その地形的な位置関係からみて利用可能な部分すべてとし、複数の路線区間と対応さす必要がある。後者は路線がある区間まで開設されれば、それに対応し算定されるような開設効果、例えば可能伐採材積、施業可能面積や地域生活道としての役割等のような評価基準を用いて計画される。この際、前者のように利用区域の重複を前提とせず、評価値は開設区間とその開設時期に関与する因子で一意的に決定する。これは評価値算定の複雑さの解消と計算処理の簡略のためである。もし各路線あるいは団地ごとに開設開始時期と開設期間が既定のものとし前者の方法で最適化した評価値を用いれば、個々の開設計画から地域全体の開設計画へと同一基準で体系づけられた開設順がもとまる。本章では第二節で小流域や団地を対象とした施業計画に基づいた林道開設順序をDPの手法により求める方法について考察する。第三節では南雲<sup>36)</sup>(1983)と同様に0-1線形計画法の考え方にたち、計算を省略

・加速した列挙法により開設順位を求める方法について考察する。更に、複数の評価基準を設定し、各評価基準を最低水準以上にし、その理想とする目標水準により近づけるような開設順を求める方法についても考察する。

## 第二節 小流域・施業団地における開設順序決定法

### 1 開設順決定の考え方

路網の基本計画が決定すれば、その路網をどのような順序で開設するかが問題となる。勿論、伐採計画や施業計画は林道計画と相互に影響を及ぼし合うものではあるが、対象地域の施業計画や伐採計画を実行するために必要な路網が、必要な時期までに開設されるよう開設順を計画しなければならない。林道の効用は集材時のみでなく造林・保育といった全ての森林作業においてみられる。そこで、林分条件から規定される必要な施業に伴う各林分の単位面積当り森林作業量、その林分とその時までに開設された林道網との位置関係から計算される林地到達距離、伐採予定林分の単位面積当りの伐採材積、それに集材・搬出の可否等をもとに諸作業の労働生産性を向上させるという観点で、最適な開設順序を決める必要がある。その場合、施業費用や便益といったさまざまな評価方法があるが、ここでは計算手法について検討するのが主目的であるので、より明確な評価方法のひとつとして林道と林分との到達時間の総計、いかえれば林地到達距離と投入労働量の積を評価基準とし、それを最小とする開設順を求めることとする。この時、年間あるいは分期間の林道投資額、伐採量や労働投入量には、地域や森林経営体の事情によって一定の制限があり、その範囲内で計画されねばならない。以上の事をまとめてみると次のように定式化される。

林分*i*の面積を $A_i$ 、その林分の*k*分期末の施業に必要な単位面積当りの労働投入量を $W_{ik}$ 、伐採予定林分であれば*k*分期末の単位面積当りの伐採材積を $V_{ik}$ 、さらに、*k*分期末の路網状態*j*（以下路網*j*という）における林道と林分*i*との平均到達距離を $D_{ijk}$ とすれば、*k*分期末路網状態*j*での開設順の評価値 $H(j,k)$ は

$$H(j,k) = \sum A_i \cdot W_{ik} \cdot D_{ijk} \quad (5-1)$$

制約式として

$$V_{jk} \leq \sum A_i \cdot V_{ik} \cdot U_{ijk}$$

$$W_{jk} \leq \sum A_i \cdot W_{ik} \cdot U_{ijk} \leq W_{Xk} \quad (5-2)$$

$V_{jk}$  : *k*分期末の最低計画伐採量

$U_{ijk}$  : *k*分期末路網*j*での林分*i*の集材の可否  
 = 1 (集材作業可能・集材以外の作業)  
 = 0 (集材作業不可能)

$W_{jk}$  : *k*分期末の最低労働投入量

$W_{Xk}$  : *k*分期末の最大労働投入量

さて、一般に路網は図(5-1)のように起点・合流点・端点を両端とするいくつかの枝線に分割することができる。各枝線は起点あるいは起点側の合流点から開設される。いま、開設途中の路網A,B,C(図(5-1))を比較してみると、路網Aを路網Bの状態へ移行させることはできるが、路網Cの状態へは移行できない。これは路網の枝線のうちAの状態では開設されているのに、Cの状態では開設されていない部分があるためである。このように、k分期の路網jがその前のk-1分期の路網nの状態から路線を開設し移行できるか否かを判定する必要がある。これは各路網のmm本の枝線の状態を比較すれば容易に判定できる。k分期のj路網m番目の枝線の開設長をR<sub>jm</sub>とすれば、次式のような判定式となる。

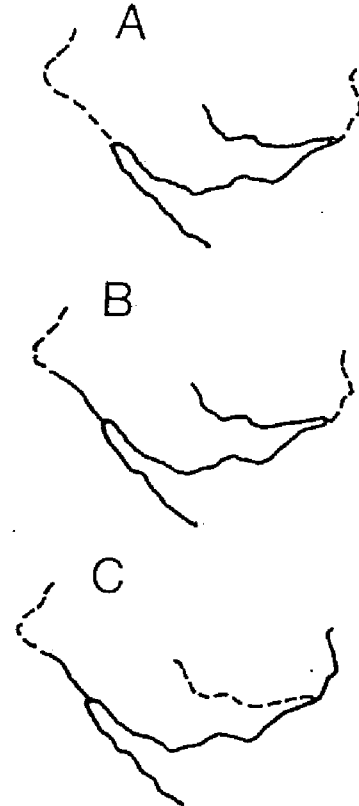


図5-1 路網の開設状態

$$T_k(j,n) = 1 \quad (R_{jm} \geq R_{nm} \quad m = 1, 2 \cdots mm) \\ = 0 \quad (R_{jm} < R_{nm}) \quad (5-3)$$

最適な開設順は、k分期での開設状態を路網j(k)とすれば、

$$C = \sum H(j(k), k) \quad (5-4)$$

なる評価値Cを最小とする路網状態j(k)の組合せを求める問題に帰す。これはk分期の路網jまでの最小評価値をC(j,k)とすれば、式(5-4)となる。

$$C(j,k) = \min \{ H(j,k) + C(n,k-1) \} \quad (n=1, 2 \cdots N_k) \quad (5-5)$$

ただし  $T_k(j,n) = 1$ ,  $N_k$ : k分期の路網状態の数

開設初期における路網は既知で唯一であるから

$$C(j,2) = \min \{ H(j,2) + C(1,1) \}$$

$$C(j,3) = \min \{ H(j,3) + C(n,2) \}$$

・  
・

と順に計算できる。ただし  $T_k(j,n)=1$  である。計画終了のkk分期の路網は基本計画と一致するので、

$$C(1,kk) = \min \{ H(1,kk) + C(n,kk-1) \}$$

となる。このように最小評価値はD.P.の解法として定式化でき、順次各分期の最適路網状態を探索することができる。最適な開設順はこれらの式を逆にたどることで、各分期の路網状態よ

り開設路線区間が得られる。

## 2 路網の状態の決定

開設順を決めるため、各分期における路網の開設状態を決定する必要がある。路網が開設されていない初期の状態から  $k$  分期の路網  $j$  の状態にするためには、一定量の路線を開設する必要がある。分期毎の路線開設量は林道投資額や開設の難易つまり開設単価により必ずしも一定とは限らない。しかし、各分期の開設量にある程度の幅をもたせて計画することはできる。その時、 $k$  分期期末の路網の総開設量はある一定の延長量の範囲内にあるので、路網の状態を決定できる。

先に述べたように、路網は起点・合流点・端点を両端とする枝線に分割することができる。そこで  $m$  本の枝線をそれぞれの長さや開設の難易に応じ、開設の基本単位となるいくつかの区間に分割し、各期間にそれらのいくつかを開設するとみなせば、 $k$  分期の路網の開設状態は開設済の区間総数（以下開設区間数）で決定できる。すなわち、路網  $j$  における開設区間数  $L_{Tj}$  が  $k$  分期の開設区間数の範囲内であれば  $k$  分期の予定路網とみなせる。これにより計算処理は大幅に簡略化される。

開設区間数  $L_{Tj}$  の算出に際しては、開設が起点側（複数可）から行なわれるので、各枝線間の連結状態を考慮する必要がある。すなわち枝線間には開設の優先順があるため、ある枝線を開設するには、他のいくつかの枝線の開設終了が前提となる。計画路網は樹枝状であるとするば（循環路を含む場合はループ部分の任意の箇所を切断することにより樹枝状とみなせる）、開設が前提となる枝線は鎖状に連なるので、直前の枝線の開設完了の有無により、その枝線が開設可能か否か容易に判断できる。そこで  $m$  番目の線分の区間数を  $L_m$ 、開設区間数を  $R_m$ 、 $m$  番目の枝線に先立ち開設完了をチェックする枝線番号を  $P_m$  とすれば、総開設区間数を  $L_{Tj}$  は、

$$L_{Tj} = \sum_m R_m \quad (5-6)$$

ただし  $R_m > 0$  かつ  $P_m \neq 0$  の時  $R_n = L_n$  ( $n = P_m$ )

と計算される。 $k$  分期の開設区間数の範囲が決まれば、式(5-6)を満足する開設区間数の組合せ全てを求め、予定路網が決定できる。

その計算アルゴリズムは未開設区間数  $Q_m$  を用いて次のとおりとなる。

step 1 最低未開設区間数  $Q_{min}$ 、最大未開設区間数  $Q_{max}$ 、 $m$  番目の枝線の区間数  $L_m$  の決定

step 2 枝線の連結状態より優先順  $P_m$  を計算、枝線を逆優先順に並び替える。

step 3 順番に枝線へ未開設区間数を割当る。（最大数はその区間数でその総数は  $Q_{min}$ ）

step 4 路網状態を各枝線毎に求め登録する。  $n = 1$  とする。

step 5  $n$  番目の枝線の未開設区間数に 1 を加える。

その数とその枝線の区間数を越えれば step 6 へ、他は step 8 へ。

step 6  $Q_n = 0$ ,  $n = n + 1$

- step 7 枝線数 $m$ より  $n$ が大きければ終了、他は step 5 へ  
 step 8 優先順のチェック  $j = 1, 2, \dots, m$  において  $Q_j = L_j$ 、  
 あるいは  $i = P_j$  で  $Q_i = 0$  ならば step 10へ  
 step 9 探索の加速  $j = 1, 2, \dots, m$  において  $i = P_j$  で  $Q_i > 0$  ならば  $Q_j = L_j$   
 step 10 総未開設区間数 $Q_t$ を計算し、 $Q_{min} \leq Q_t \leq Q_{max}$  ならば step 4へ  
 他は、 $n = 1$  として step 5 へ

### 3 計算例

和歌山県清水町にある楠部山林の事業地をモデルにこの手法の有用性を検討してみた。この山林は一団地で 344haの面積があり、現在約17kmの作業道が開設されている。ここではそのうち 256haを対象とする作業道を用い開設順について計画してみる。作業道は図(5- 2)の 5に示すような配置をしており、開設当初の既設道の状態は図(5- 2)の 0に示すとおりとする。この林分はスギ・ヒノキを主とした人工林がほとんどで、その資源状態・施業予定は表(5- 1)のとおりである。林分数は 4林班48個である。開設計画の期間は分期単位とし、5 分期間で開設は終了するとし、各齢級毎の伐採・保育のための必要労働量と伐採材積は表(5- 2)で、各分期毎の伐採計画量は表(5- 3)で与えられ、それを満足する最適開設順を求める。

表 5-1 齢級別資源構成表 単位 ha

齢級	スギ	ヒノキ	スギ ヒノキ	広葉樹	計
1	1.60	29.81	8.24	0.0	39.65
2	0.97	0.58	0.0	0.0	1.55
3	0.43	0.0	0.0	0.0	0.43
4	2.91	1.39	0.0	0.0	4.30
5	6.0	2.47	8.11	3.43	20.01
6	6.94	5.10	18.54	18.79	49.28
7	3.68	22.27	29.02	0.0	54.97
8	0.0	16.80	40.72	5.10	62.42
9	0.0	0.0	11.08	0.0	11.08
計	22.53	78.13	115.71	27.32	243.69

表 5-2 齢級別の投入労働量と伐採材積

齢級	1	2	3	4	5	6	9	12
保育労働量 人/ha	48	40	25	10	20	16	•	•
伐採労働量 人/ha	•	•	23	18	18	18	47	146
伐採材積 m <sup>3</sup> /ha	•	•	14	30	35	45	134	430

表 5-3 分期別伐採計画

分期	1	2	3	4	5
伐採可能面積 ha	62.88	80.18	100.90	83.20	115.10
伐採可能材積 m <sup>3</sup>	3,572	8,612	8,172	10,113	28,327
伐採計画材積 m <sup>3</sup>	2,500	5,000	5,500	8,500	28,000



評価関数は、林地到達距離と投入労働力の積とし、最適開設順はその総計が最小となる順序とした。また各林分の伐採の可否は、各期間の伐採予定林分と路網の状態により、林分毎に設定された集材可能区域の中に林道が開設されているか否かで判定した。すなわち林分は複数の路線区間と対応し、路網の開設状態によって林地到達距離・集材の可否は変化する。作業道の開設単位は1000m以下とし、各枝線を分割した。この場合枝線の本数は12本、開設総区間数は20であった。計算手順および必要なデータとその構成は図(5-3)に示す。

最適開設順は図(5-2)に示すとおりで、各図の左下の数はその分期を表わす。表(5-4)は最適な開設順と最悪な場合の、各分期毎の開設長・伐採面積・集材距離・保育や伐採のための林地到達距離等を表わしている。1,2分期での保育のための平均歩行距離に差があること、最適開設順の場合集材距離が100m前後であることがわかる。また、最悪の場合は適期に33haも伐採できなく、伐採計画の弾力性が乏しい。最適開設順の評価値は最悪な場合の85%で、その差は一日8時間労働、歩行速度3km/hで約77人工分となる。この場合、伐採不可能林分への歩行については評価されていないし、搬出経費の軽減等についても比較されていない。施業計画に基づいた最適な開設順をもとめることは、伐採のような林道整備を前提とする施業を確実に実行する条件を整えるばかりでなく、保育作業等の林地への歩行時間を短縮し労働生産性の向上をも計る。

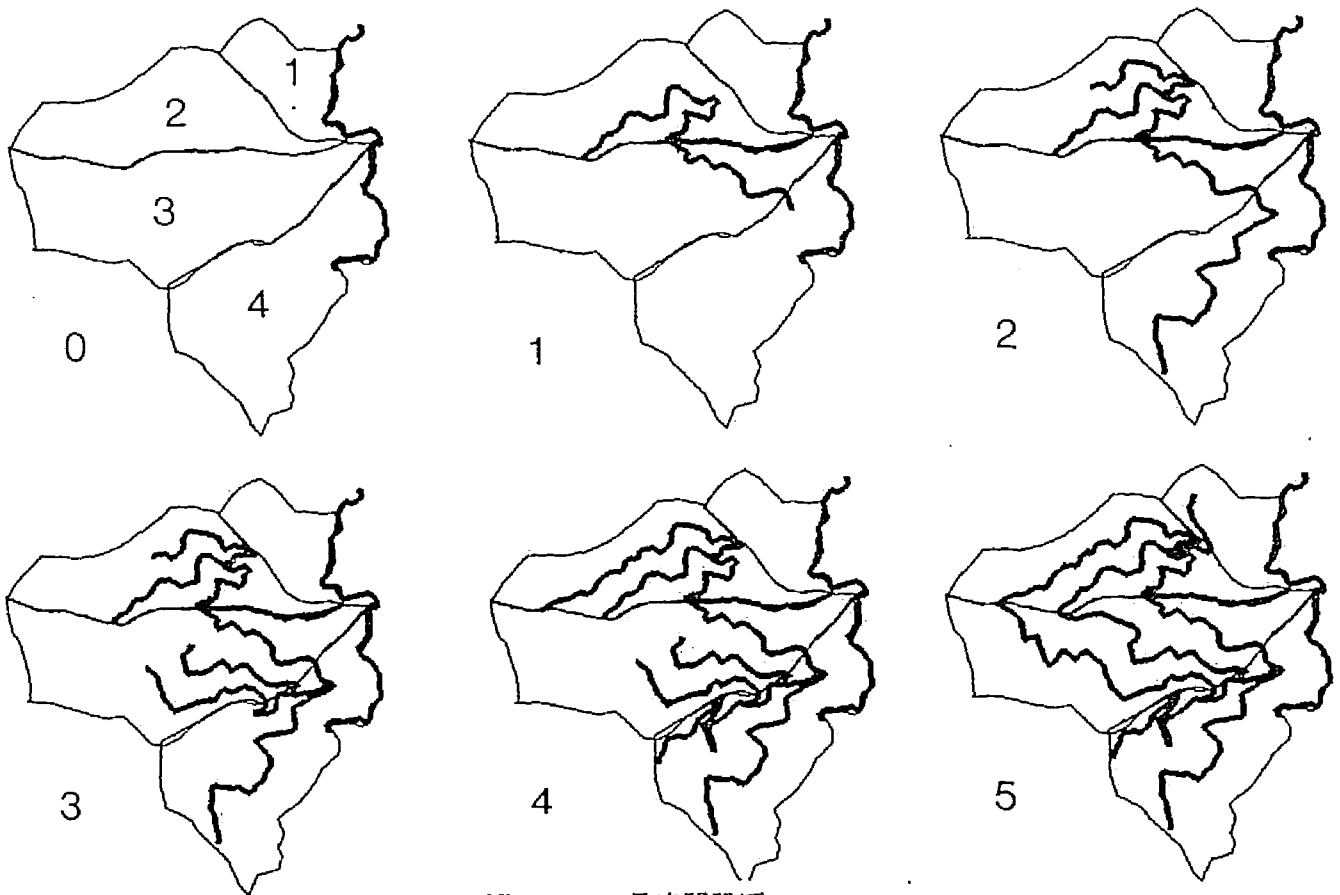


図5-2 最適開設順

表 5 - 4 開設順と平均作業条件

分期	開設延長	伐採面積	伐採材積	集材距離	林地到達距離	労働投入量	
最適開設順	1	3,411 m	42 ha	2,592m <sup>3</sup>	122 m	389 m	3,542 人
	2	2,484	58	5,960	92	143	3,847
	3	2,515	96	6,067	112	148	3,661
	4	1,936	95	9,897	94	94	4,039
	5	1,867	126	28,096	85	85	10,391
最重開設順	1	2,137 m	39 ha	2,504m <sup>3</sup>	201 m	485 m	3,489 人
	2	2,514	52	5,489	118	368	3,698
	3	2,787	85	5,821	112	198	3,420
	4	2,295	82	8,997	123	143	3,663
	5	2,480	126	28,096	85	85	10,391

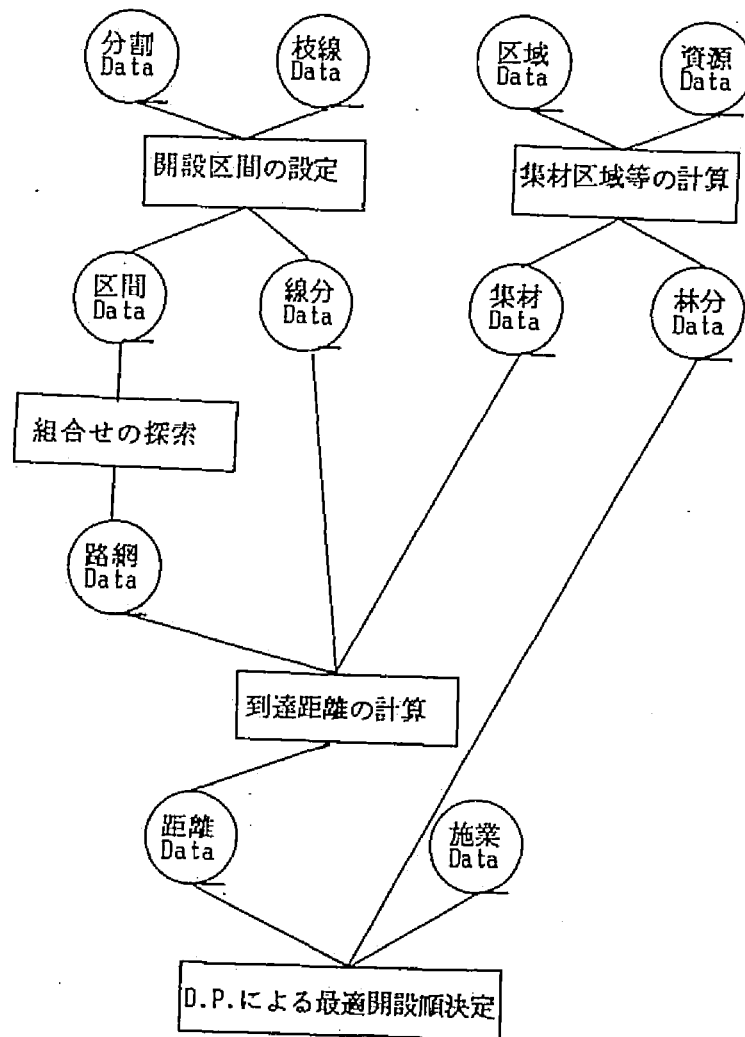


図 5 - 3 D.P.による開設順決定の計算手順

### 第三節 市町村等における開設順序決定法

さて前節では、個別の林道計画に対し合理的な開設順を求める方法について検討した。この手法は異なった地域の路線の開設順序を決定する際にも応用できる。しかし、路網状態の組合せ数が路線数の増加に伴ない指数的に増加し、計算時間や記憶容量の制約により事実上計算不可能となる。例えば、 $n$ 本の独立した路線を対象に各々 $m$ 区間に分割し開設順を計算する時、その路網状態の組合せ数は $m^n$ となる。ちなみに先の計算例の場合の総区間数と計算時間、路網状態数等との関係は表(5-5)となる。そこで、独立した林道網計画に対しその投資順、即ち各路線の開設順を合理的に決定する方法について検討してみる。

表5-5 分割数と計算時間

分割数	総データ数	計算時間 CPU (秒)	分期末の路網状態数				
			1	2	3	4	5
8	1,236	2	10	73	201	65	1
20	1,673	2	10	79	296	132	1
23	4,027	2	11	158	564	158	1
27	8,894	2	15	342	1,082	322	1
30	16,123	4	13	259	1,747	659	1
37	52,531	10	24	1,146	5,095	1,226	1
45	150,687	27	26	1,492	11,925	3,299	1

#### 1 計算方法の考え方

問題を定式化するため、各路線は開設の単位となるいくつかの区間に分割され、それらは連続した任意の期間で開設されるとする。つまり各路線の開設開始時期が決定されると、それ以降のその路線の各期間の開設量は決まる。また各期間の総開設量の上限及び下限は、経費的あるいは技術的要因で制限されている。いま開設対象路線総数を $I$ 、開設計画期間を $J$ 、路線 $i$ の総延長を $R_{i0}$ 、 $N_i$ 分岐で開設が終了するものとして、開設開始時を1とした時の $j$ 期の開設長、すなわち路線 $i$ を $N_i$ 区間に分割した場合の $j$ 番目の区間長を $R_{ij}$ 、路線 $i$ を $k$ 期に開設開始した場合の順位決定のための評価値を $D_{ik}$ とする。また計画期間内に路線 $i$ が開設に着手しない場合の評価値を $D_{i0}$ とする。路線の開設順は各路線の評価合計が最大となる開設時期 $C_i$ の組合せを、各分岐毎の総開設量がその上限及び下限の範囲内となる制約の下で決定する問題に帰着する。これを式で表すと次のようになる。

$$\text{目的関数: } D = \sum_i D_{ik} \quad \text{max} \quad (5-7)$$

$$\text{制約条件: } \sum_i R_{im} \leq R_{Xj} \quad (5-8)$$

$$\sum_i R_{im} \geq R_{Nj} \quad (5-9)$$

ただし  $R_{Xj}$ :  $j$ 期の最大開設量

$RN_j$ :  $j$  分期の最小開設量

$$k = C_i, m = j - k + 1, 0 < m < J + 1$$

また、各路線間に開設の優先順がある場合、つまり林道開設が既設（開設済）の路線を起点として行なわれるとした場合の分岐路線、あるいは政策上の優先順等について考慮する必要がある場合、それぞれの開設開始時期には次のような制約がある。路線  $i$  の開設に先立ち路線  $k$  の開設終了が前提となる場合、各々の開設開始時期  $C_i, C_k$  の関係は式(5-10)となる。

$$C_i > C_k + N_k - 1 \quad (5-10)$$

(5-7) 式を(5-8) ~ (5-10) 式の制約条件下で最大とする最適解は、整数線形計画として定式化でき、すべての解を列挙することで求められる。すなわち列挙法では、各路線の開設開始時期  $C_i$  の組合せ  $(C_1, C_2, \dots, C_I)$  について  $(0, 0, \dots, 0)$  から  $(J, J, \dots, J)$  の  $(J+1) \times I$  個のすべての解を残らず列挙して、その中から実現可能解を選び出し、目的関数  $D$  の値を最大とする最適解を求めることである。しかし、全ての解を列挙すると計算量が膨大になり、実際上不可能であるので、実現不可能解を省略し加速列挙する必要がある。ここでは木平<sup>23,24,25)</sup>の0-1線形計画の解法（木平、1981a, 1981b, 1982）と同様に問題の特殊性をいかし、開設の優先制約・最大開設量の制約・最小開設量の制約・目的関数の最大化の4条件を用いて加速列挙する。その考え方はつぎに述べるとおりで、計算手順は図(5-4)に示す。

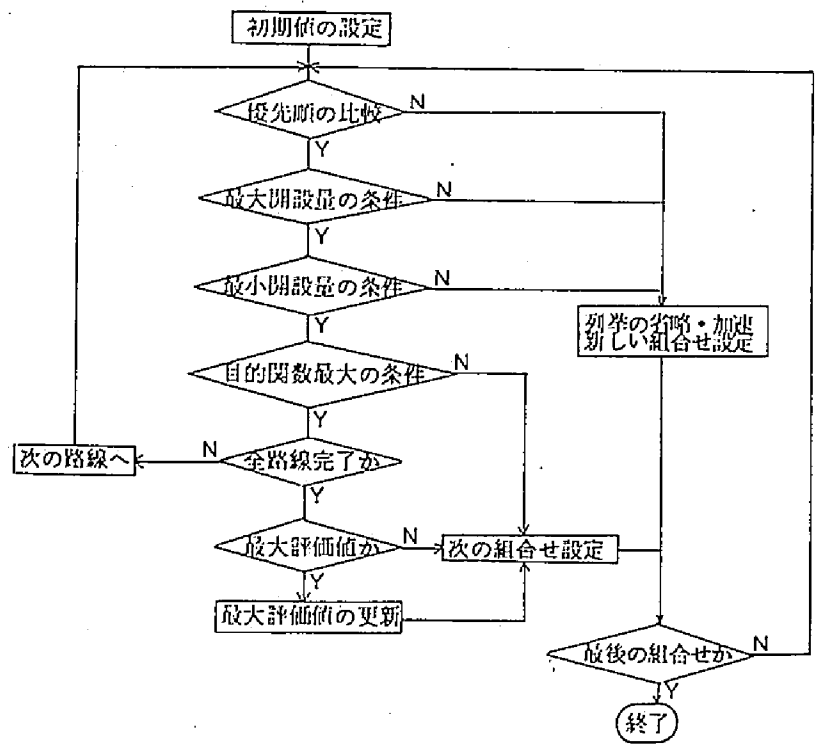


図5-4 計算処理のフローチャート

1) 開設の優先制約 : 式(5-10)を用いて路線相互間の開設優先順の条件を検討する。もし路線  $i$  で満足しない場合、 $C_k \neq 0$  ならば  $C_i = C_k + N_k + 1$  とし  $(\cdot, C_k, \cdot, \cdot, C_i, \cdot, \cdot, \cdot)$  から  $(\cdot, C_k, \cdot, \cdot, C_k + N_k - 1, 0, \cdot, 0)$  まで省略する。また、 $C_k = 0$  ならば  $C_i = 0$  とし路線  $i-1$  の開設時期をひとつ進める。つまり  $(\cdot, C_k, \cdot, C_{i-1} + 1, 0, \cdot, \cdot, 0)$  まで省略する。この条件を使用するため、路線は優先順の高い順に並べておく必要がある。なお  $C_{i-1} > J$  であれば  $C_{i-1} = 0$  とし  $C_{i-2} = C_{i-2} + 1$  とする。これは以下同じで添字  $i$  が1未満になれば列挙は終了する。

2) 最大開設量の制約 :  $i$  番目の路線の開設開始時期が  $C_i$  の時、式(5-11)を用いて最大開設量のチェックを行なう。

$$TX_j + R_{im} \leq RX_j \quad (j = C_i, \sim, C_i + N_i - 1 \text{ かつ } j \leq J) \quad (5-11)$$

ただし  $TX_j$ :  $j$  期の1番目から  $i-1$  番目の開設量

$$m = j - C_i + 1$$

もし満足しない場合、実現不可能解なので省略し、 $C_i = j + 1$  とする。つまり  $(\cdot, C_i, \cdot, \cdot, \cdot)$  から  $(\cdot, j + 1, 0, \cdot, 0)$  まで省略する。

3) 最小開設量の制約 :  $i$  番目の路線の開設開始時期が  $C_i$  の時、式(5-12)を用いて最小開設量のチェックを行なう。

$$TX_j - RL_i \geq RN_j \quad (j \neq C_i, \sim, C_i + N_i - 1 \text{ かつ } j \leq J) \quad (5-12)$$

ただし  $RL_i$  は  $i+1$  番目以降の路線の最大可能開設量

もし満足しない場合、 $C_i > j$  であれば  $C_i = 0$ 、 $C_{i-1} = C_{i-1} + 1$  として、 $(\cdot, \cdot, C_i, \cdot, \cdot, \cdot)$  から  $(\cdot, \cdot, C_{i-1} + 1, 0, \cdot, 0)$  まで省略する。また、 $j > C_i + N_i - 1$  であれば  $C_i = j - N_i + 1$  として、 $(\cdot, \cdot, C_i, \cdot, \cdot, \cdot)$  から  $(\cdot, \cdot, j - N_i + 1, 0, \cdot, 0)$  まで省略する。

4) 目的関数最大の条件 :  $i$  番目の路線において式(5-13)を用いて目的関数最大のチェックを行なう。  $D_{ik} + TD_{in} \geq D_{max}$  (5-13)

ただし  $D_{max}$  : 初期値  $-10E9$ , その時点までの最適解

$TD_{in}$  :  $i$  番目まで計画期間内に開設されない路線数が  $n$  の場合の  $i+1$  番目以降の最大可能評価値

もし路線  $i$  で満足しない場合、 $C_i = C_{i+1}$  として  $(\cdot, \cdot, C_i, \cdot, \cdot, \cdot)$  から  $(\cdot, \cdot, C_{i+1}, 0, \cdot, 0)$  まで省略する。 $TD_{in}$  はすべての路線が必ずしも計画期間内に開設が開始されるとは限らないという前提のもとに最適解を求めようとするためのものである。例えば10本の路線を10期間にわたり計画し、各期間の最大開設量を各々2000m, 最小開設量を各々1000m, 路線長を各々3000mで3期間で開設する場合、最大8本の路線しか開設に着手できない。つまり2本以上の路線は開設から除外されるという前提で最適解を求める必要がある。 $i$  番目以降の最大可能評価値はそれ以前に開設が見送られた路線数により変化するわけである。特に開設されない場合の評価値  $D_{i0}$  は一般に小さいため、それを考慮しないと最大可能評価値は大きくなり、目的関数最大の条件で加速列挙する能率が悪くなる。

## 2. 計算例

以上の加速列挙法による林道路線の開設順探索法の有用性を検討するため、次の2例について開設順を求めてみた。例1(表5-6)は南雲<sup>36)</sup>(1983)が東大千葉演習林を対象に開設順を求めたもので、0-1線形計画法のプログラムにより解いている。計算を簡単にするため、同一路線の区間は連続して開設するとしている。ここではそれと同様に5路線10期間の開設順を求める場合(ケースA、付表1)と、既設部から開設され、同一路線の区間は必ずしも連続して開設されるとは限らないとした場合、つまり各期間を独立した路線とみなし10路線10期間の場合(ケースB、表(5-6))について計算した。その結果は表(5-7)となり、両者を比較すると62年度と63年度の開設順が入れ代り、評価値は285増加した。計算時間はともに2秒(cpu, M-400)で単純に比較できないが南雲の例の600秒以上(cpu, H-200)より大幅に減少し、列挙が省略・加速されていることがわかる。また、この手法を一般的に利用できるようにするため、現在比較的普及している8ビットのパソコンで処理するベーシックプログラムを作成した(付表1)。これを用いてみると、ケースAの場合は約3分で、ケースBの場合は14分で処理された。これは路線数の差によるものと考えられる。付表1のDATA文はケースAのもので、その処理結果もあわせて示してある。少々処理時間はかかるが8路線5期間程度であれば、各路線が独立していて優先順による省略がなくとも、パソコンで数時間程度の処理時間があれば、処理できることがわかった。市町村や旧村(大字)単位での開設順決定に充分利用できると思われる。

表5-6 評価関数(Dik)の値(南雲の例)

区間	年度										優先 路線
	'56	'57	'58	'59	'60	'61	'62	'63	'64	'65	
1	-522	-52	419	908	-2649	-2142	-1603	-1069	-534	0	0
2	4362	5118	5930	6743	7555	8367	3647	-1100	-663	0	1
3	-387	75	887	1699	1998	-876	-172	640	-812	0	2
4	11504	12039	12563	13172	5696	3684	3629	-698	-478	0	1
5	-322	128	735	1298	1907	-380	229	450	1059	0	4
6	1269	1796	2323	2850	3377	3905	3979	4506	5034	0	0
7	-4744	-4217	-3680	-3163	-2636	-2108	-1581	-1054	-527	0	6
8	-4580	-4053	-3525	-3061	-2534	-2108	-1581	-1054	-527	0	7
9	-2334	-1906	-2217	-1939	-1827	-1550	-1283	-855	-428	0	0
10	-749	-322	106	430	858	1285	-1023	-780	-390	0	9

表5-7 計算結果(開設路線No.)

ケース	年度										評価 合計	計算時間 (秒)
	'56	'57	'58	'59	'60	'61	'62	'63	'64	'65		
南雲	9	10	1	4	5	2	3	6	7	8	25,016	600
A	9	10	1	4	5	2	3	6	7	8	25,016	2
B	9	10	1	4	5	2	6	3	7	8	25,301	2

表(5- 8)は青垣町の林業振興計画書を基に施業団地ごとに林道・作業道をまとめひとつの路線とみなした場合の開設順決定の例である。施業団地内での路線開設は林道・作業道の順で各計画線単位で開設するものと仮定し、1500m以上の延長の計画線については1 期間の開設長が1500m以下になるように分割した。施業団地1 を例にとると、林道1 路線(600m)と作業道3 路線(1200,250,300m) が計画されており、4 期間で開設されることを意味する。評価基準は路線開設前後の林地到達距離と主伐計画面積より計算される集材費の軽減分とした。各期間の最小・最大開設長を変化させ開設順を求めた結果を表(5- 9)に示す。開設量の制約を厳しくするに従い、評価値が減少し、計算時間が増加することがわかる。これは開設量の制約強化によりそれを満足する開設順の評価値計が小さくなるため、目的関数最大の条件で列挙が省略されにくくなったためと思われる。木平<sup>24)</sup>(1981)のFOAでも同様な傾向があり、より効率的に目的関数最大の条件で省略できるような工夫が更に必要である。この手法で処理できる路線数は制約条件によって左右されるが最大15路線5 期間程度(cpu 1~150sec,M-400) が限度と考える。

表5-8 主伐経費の軽減の評価値と区間長

団地 No. i	評価値 $D_{ik}$						区間数 $N_i$	区間長 ( $R_{ij}$ ) m					
	k=1	2	3	4	5	0		j=1	2	3	4	5	
1	1286	858	515	257	86	0	4	600	1200	250	300		
2	156	121	86	52	17	0	1	700					
3	285	222	158	95	32	0	1	900					
4	497	355	213	107	36	0	3	800	1000	1400			
5	266	207	148	89	30	0	1	400					
6	564	403	242	121	40	0	3	1000	1000	1000			
7	144	112	80	48	16	0	1	470					
8	431	308	185	92	31	0	3	800	700	300			
9	318	227	136	68	23	0	3	600	800	800			
10	121	94	67	40	13	0	1	1000					
11	1411	941	564	282	94	0	5	1400	600	1500	1500	1500	

表5-9 計算結果

開設量の制約		期間別開設量					評価値 合計	計算時間 cpu,秒
最小	最大	1	2	3	4	5		
1,500	6,000	5,970	6,000	5,850	3,200	1,500	5,220	0.5
2,500	6,000	5,900	5,800	5,720	2,600	2,500	5,181	1
3,500	6,000	5,800	4,570	4,650	3,800	3,900	4,964	1
1,500	5,000	4,800	4,770	4,650	5,000	3,300	4,854	2
2,500	5,000	4,800	4,770	4,650	5,000	3,300	4,854	2
3,500	5,000	4,970	5,000	4,850	4,200	3,500	4,844	2
4,000	4,500	4,470	4,400	4,450	4,100	4,300	4,632	4

### 3. 多基準による評価方法

以上の開設順決定に用いた評価基準は、各路線ごとの開設開始時期により一意的に決まる唯一の基準であった。それは費用、便益や伐採可能面積等であった。しかし現実の開設順決定に際しては、単一の評価だけで決定しきれない面が多々ある。それは林道の開設目的が多様化し、単に森林施業の効率化ばかりでなく、地域の生活道・森林の管理・保健休養的利用と多岐にわたるからである。この傾向は森林利用の多様化とともに今後更に強まるものと考えられる。そのため幾くつかの評価基準、なかには相反するものも含むこともあるが、その各々をある程度満足させる、調和のとれた開設順決定法がのぞまれる。この種の問題の解法には目標計画法(Goal Programing)と呼ばれる手法<sup>20)</sup>(例えば黒川、1981)がある。これは各目標に対する評価値をそれぞれ求め、その総計あるいは重みづけされた総計を目的関数とする線形計画の手法である。この手法を用いて開設順を決定する場合、多くの目標計画法をもちいた事例がそうであるように、目標ごとの重みづけが問題となる<sup>7)</sup>(伏見、1975)。そこでここでは単純に、 $n$ ヶの各目標に最低水準を設定し、それを満足するすべての開設順の組合せを選抜し、そのなかからよりベターなものを比較・検討し選択することとする。比較・検討は計画当事者の意志が中心となるものの、ひとつの比較基準として次のようなものを提示する。それは各目標の最大値を用い理想的な水準を設定し、最低水準を0 理想的な水準を100 とする $n$ 次元空間での、理想水準との単純距離(以下乖離という)である。これは目標計画法における重みづけされた目的関数ともみなせる。

この方法は先に述べた計算方法の目的関数最大化の制約を、多目標に対する最低評価水準の確保の制約として変更させることで容易にもとめられる。すなわち、 $m$ 番目の目標の最低評価を $H_m$ 、路線 $i$ の開設開始時期 $C_i$ が $K$ の時その評価を $H_{mik}$ 、とすれば、式(5-14)を満足させる開設順を選抜することになる。

$$H_{mik} + TH_{min} \geq H_m \quad (5-14)$$

ただし  $H_{min}$  :  $m$  番目の目標の最低水準

$H_{mik}$  :  $i$  路線開設開始時期 $K$ の $m$  番目の目標の評価値

$TH_{min}$  :  $TD_{in}$ と同様



#### 4. 多基準による計算例

前述の林業振興計画を用いて多基準による開設順を求める手法の有用性について検討してみた。ここでは3つの基準により各期間の開設長を2500-5000mとして計算する。第一目標は表(5-8)に示した集材費の軽減であり、第二目標は林地到達距離が200m以内となる間伐林分面積で表(5-10)に、第三目標は造林・保育のための費用の軽減(歩行時間相当)で表(5-11)に評価値を示す。ここでは3つの基準が共に森林施業に関するものであるが、森林管理や地域の生活基盤に関する基準であっても良い。各目標単一基準の最適開設順は表(5-12)の下段に示す。各目標の最低水準を各目標単一基準での総評価値の95%とし、それを満足する開設順を求めた。その結果、表(5-12)の上段に列挙するように24とおりの開設順を得た。このなかには、各目標単一基準での最適開設順は含まれなかった。個々の目標最大化により、それ以外の目標が無視されたためである。理想水準との乖離で判断すると、No.5が最も理想水準に近く、No.3,13,19の順となる。最低水準の設定により乖離は変化するが、ここではNo.5の開設順がよりベターと考えられる。この24とおりの開設順をみると、団地1,3,4,5,8,10,11ではどの開設順でも開設開始時期はほぼ一定している。その反面、団地2,9では一定していない。これは開設量の制約とその団地の各評価値の変化に起因していると思われる。

表5-10 間伐面積の評価値

団地 No.i	評価値 H2ik					
	k=1	2	3	4	5	0
1	56	51	47	44	42	41
2	105	103	101	99	97	96
3	235	227	220	213	205	201
4	93	81	68	58	53	49
5	133	126	119	112	105	102
6	41	36	31	27	24	23
7	76	74	72	70	68	67
8	119	110	101	94	90	88
9	50	43	37	32	28	27
10	75	72	70	68	66	65
11	100	85	73	65	59	56

表5-11 歩行経費軽減の評価値

団地 No.i	評価値 H3ik					
	k=1	2	3	4	5	0
1	3424	2283	1370	685	228	0
2	365	284	203	122	41	0
3	853	664	474	284	95	0
4	2562	1830	1098	549	183	0
5	518	403	288	173	58	0
6	1055	754	452	226	75	0
7	459	357	255	153	51	0
8	572	409	245	123	41	0
9	1277	912	547	274	91	0
10	357	278	198	119	40	0
11	1962	1308	785	392	131	0

この多基準による開設順決定プログラムは5 基準20路線10期間の大ききで作成されているが、實際上処理可能な計算時間5 分以内の能力は先の単一基準の場合と同じ5 基準15路線5 期間程度と考える。基準の増加は処理上、路線や期間の増加に比べ、問題とはならない。

表5-12 多基準による計算結果

解 No.	評価値合計			乖離	団地別開設開始時期											
	1-Goal	2-Goal	3-Goal		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	4,778	1,035	11,505	106.0	1	1	1	1	2	2	1	2	4	5	1	
2	4,767	1,028	11,439	124.1	1	1	1	2	1	1	2	4	2	5	1	
3	4,816	1,043	11,535	76.8	1	1	1	2	2	3	2	1	1	5	1	
4	4,752	1,039	11,331	139.1	1	1	1	2	2	3	4	1	1	5	1	
5	4,844	1,044	11,563	63.8	1	1	2	2	1	3	1	1	1	5	1	
6	4,777	1,044	11,495	103.9	1	1	2	2	1	4	1	1	1	3	1	
7	4,759	1,044	11,377	128.3	1	2	1	1	1	3	2	1	4	4	1	
8	4,765	1,049	11,687	95.9	1	2	1	1	1	4	3	1	2	4	1	
9	4,764	1,028	11,460	124.2	1	2	1	2	1	1	1	4	2	5	1	
10	4,781	1,043	11,308	122.8	1	2	1	2	1	3	1	1	2	5	1	
11	4,776	1,044	11,365	118.6	1	2	1	2	1	3	4	1	1	5	1	
12	4,762	1,049	11,708	97.2	1	3	1	1	1	4	2	1	2	4	1	
13	4,824	1,043	11,438	86.5	1	4	1	1	1	2	2	1	4	5	1	
14	4,792	1,041	11,336	114.0	1	4	1	1	1	2	3	1	4	5	1	
15	4,797	1,038	11,425	101.8	1	4	1	1	2	2	1	1	4	5	1	
16	4,754	1,029	11,561	122.2	1	4	1	2	1	1	2	4	1	5	1	
17	4,771	1,044	11,407	117.1	1	4	1	2	1	3	2	1	1	5	1	
18	4,776	1,040	11,317	125.2	1	5	1	1	1	2	2	1	4	0	1	
19	4,816	1,043	11,438	89.6	1	5	1	1	1	2	2	1	4	4	1	
20	4,789	1,041	11,357	112.9	1	5	1	1	1	2	2	1	4	5	1	
21	4,784	1,041	11,334	118.4	1	5	1	1	1	2	3	1	4	4	1	
22	4,789	1,038	11,423	106.4	1	5	1	1	2	2	1	1	4	4	1	
23	4,762	1,036	11,344	132.3	1	5	1	1	2	2	1	1	4	5	1	
24	4,838	1,042	11,365	93.8	1	5	1	2	1	2	1	1	2	5	1	
単基準	1-Goal	4,854	1,042	11,222		1	1	1	2	1	2	2	1	3	5	1
	2-Goal	4,077	1,051	9,737		4	2	1	1	1	2	4	1	1	4	1
	3-Goal	4,708	1,031	11,979		1	4	1	1	2	2	1	4	1	5	1
理想基準		4,854	1,051	11,979												
最低基準		4,750	1,000	11,303												

註：単基準は各目標基準ごとの最適開設順

## 第六章 応用上の問題点と今後の課題

端点除去法による林道配置計画では、一定の条件を満たす十分な路網が計画される。さらに、そのなかからある規定量の路網を求めることができた。それは明らかに不経済な端点を除外していく方法と、路網を構成する枝線をいくつかの開設区間に分割し、D.P.による開設順決定法のように（第五章第二節）、規定開設長になる開設区間の組合せすべてを求め、そのなかからある評価基準をもとに最適な組合せを選択する方法である。このとき評価基準として、林道開設費や維持管理費の費用と、集材費の軽減や保育等の森林諸作業に伴う歩行時間の短縮等の便益をもとにした費用便益率による場合が多い。しかし、林道開設目的が多様化していることから、市町村における開設順決定のように、多基準による評価をするほうがより実際的である。本計画法ではすべての開設区間の組合せを列挙し比較しているため、それに十分対応し多基準による評価も可能である。その際、評価基準相互における優先順あるいは重み付けをどのようにするかは計画主体の主観によらざるをえないのが現実である。それをより客観的にしてゆくには各種の事例調査等が必要であり、今後の課題である。

また、開設規定量が決っていない場合、十分な路網から適正な開設量を求める場合にも、前述の費用便益法や多基準による評価が利用できる。その場合、路網が循環路を含むときは、それらは必須のものとして扱い、それ以外の枝線を対象として計算処理する。また絶対に開設されなくてはならない枝線があれば、それらも必須のものとする。それにより計算処理が大幅に容易になる。

図(6-1)は京都大学和歌山演習林の路網計画図である。通過点としてA～Mの13点を指定し、それらを相互に最小評価値で結ぶ路線より構成されている。循環路部分は必ず開設されるとし、残りの枝線部分を式(6-1)のように、林道開設量(R)と平均林地到達距離(D)の関数として表される総費用(C)を、最小とする適正開設量を求めてみる。

$$C = C_r * R + C_s * D * A + C_w * D * A \quad (6-1)$$

ただし  $C_r$  : 林道開設単価 (円/m)       $A$  : 対象面積 (ha)

$C_s$  : 集材費の変動係数 (円/m・ha)

$C_w$  : 保育等の歩行経費 (円/m・ha)

$C_r=20000, C_s+C_w=3000, A=892$  とした場合、図(6-2)のようになった。枝線部分を10ヶの開設区間に分割し、その総計が1、3、5、7、10となる組合せを全て列挙して求めた。そのときの開設長(R)と平均林地到達距離(D)および総費用(C)の関係は図(6-3)、(6-4)に示すようになった。開設長がほぼ同じでも路網の配置により平均林地到達距離が大きく違うことがわかる。

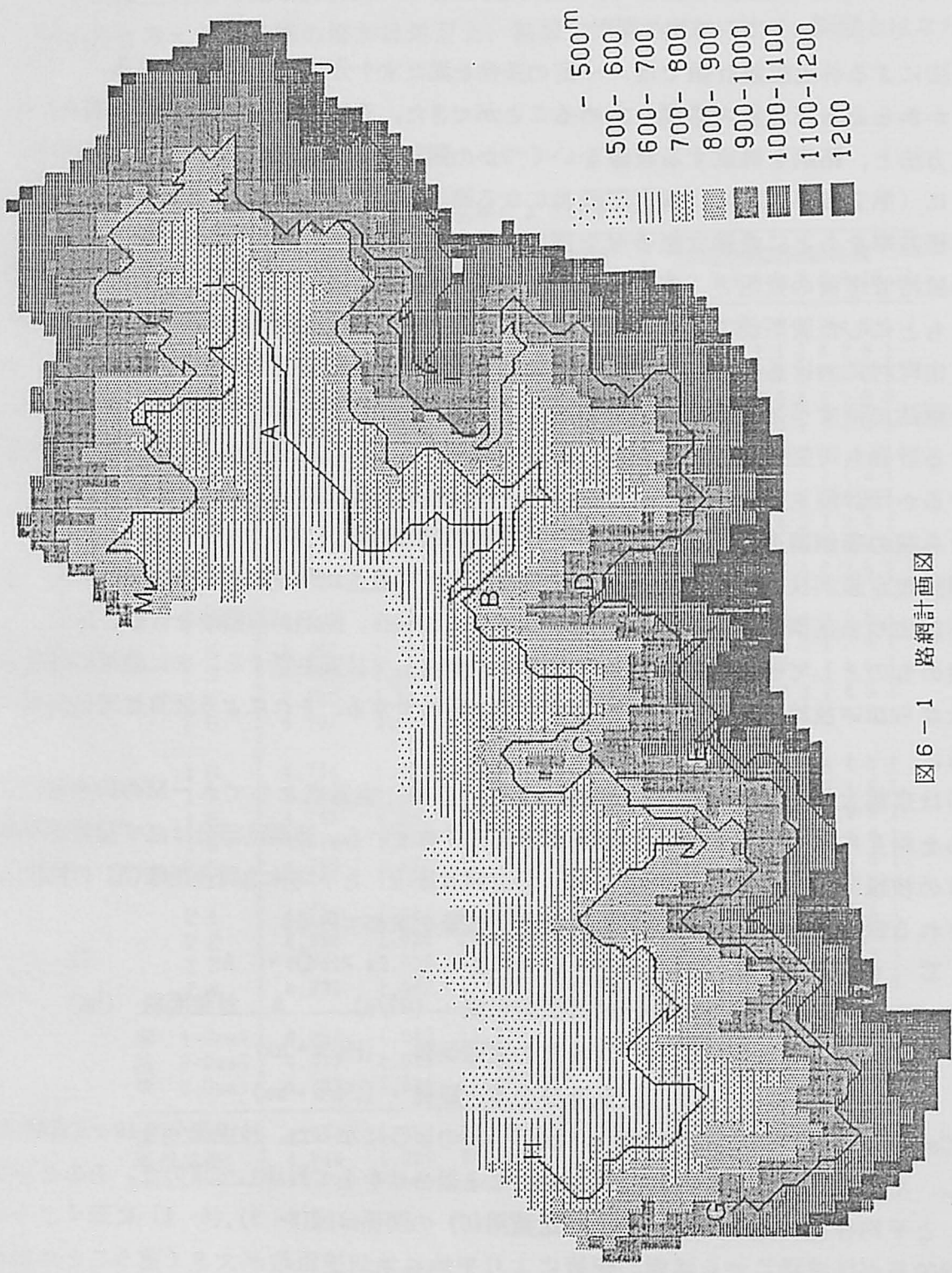


图 6-1 路網計画図

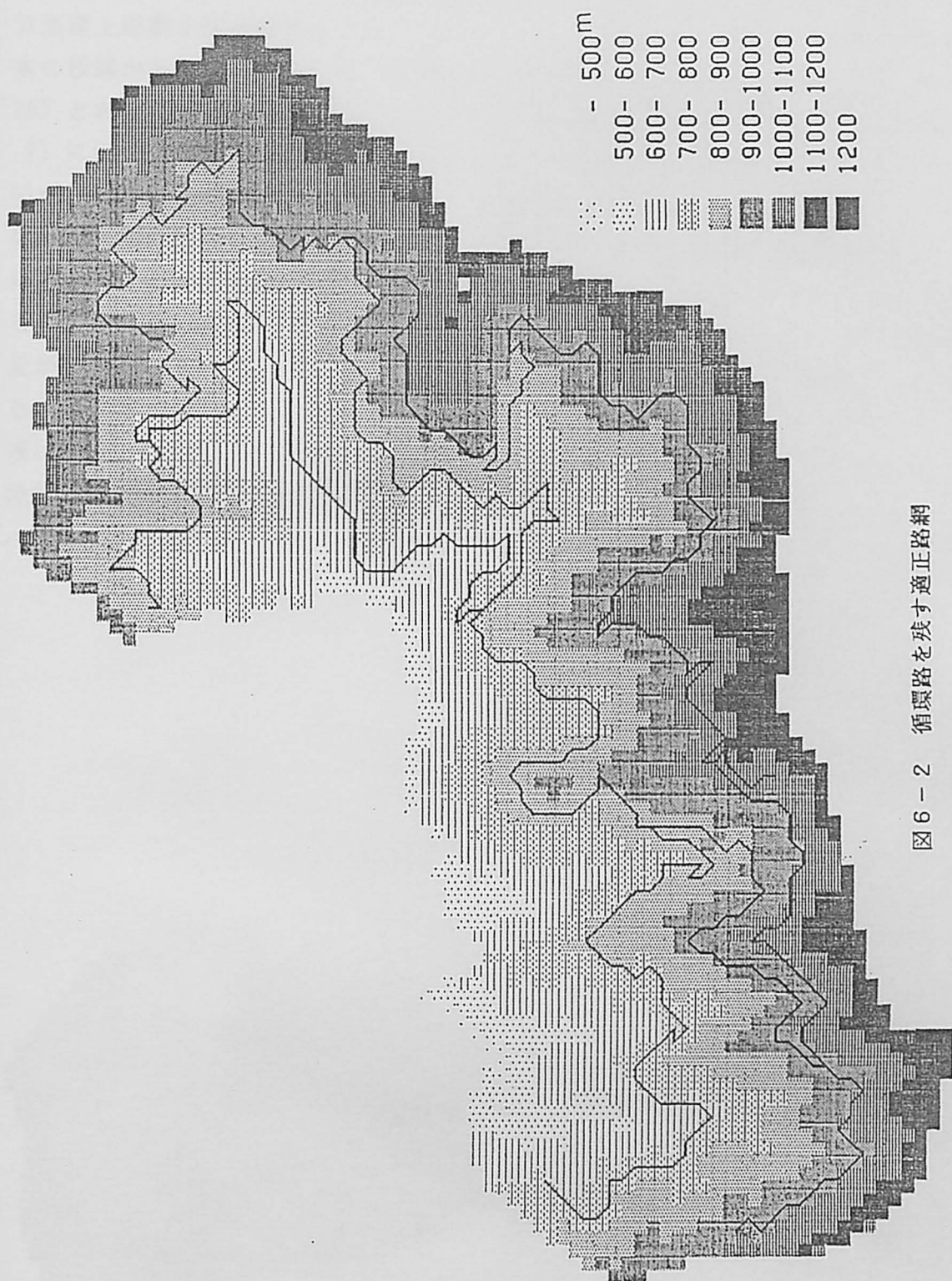


図6-2 循環路を残す適正路網

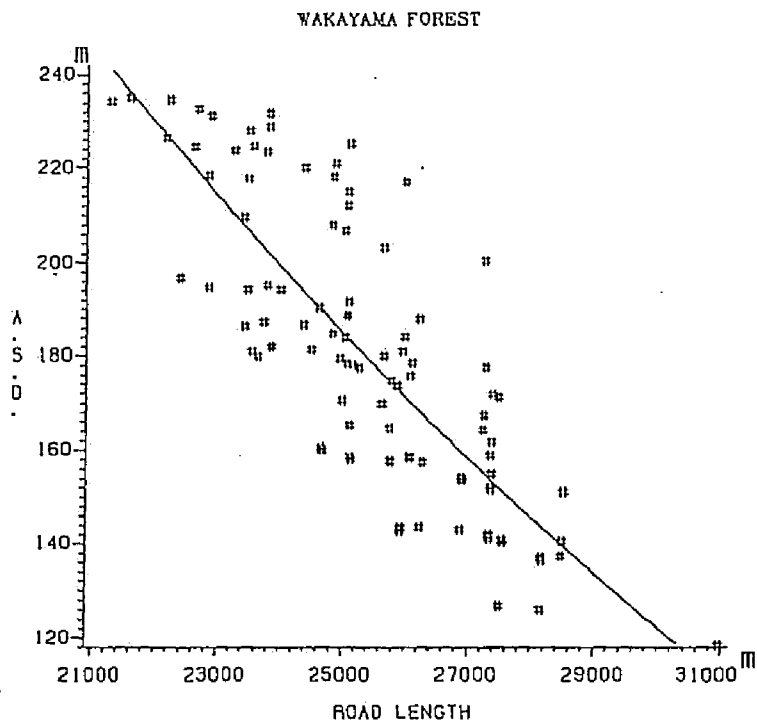


図 6 - 3 開設長と平均林地到達距離の関係

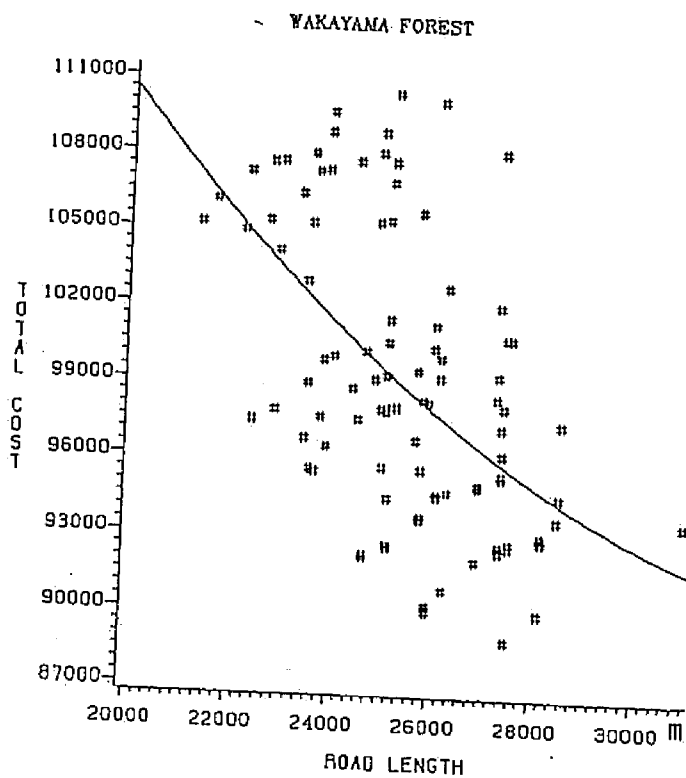


図 6 - 4 開設長と総費用の関係



また循環路を含めてすべての枝線を対象として適正開設量を求めたのが図(6-5)である。計算処理上路網を樹枝状にする必要があるため、図(6-1)のD-I,K-Lの循環路の部分で切断し15本の枝線からなる路網とした。開設区間は枝線単位とし、総数が1、5、10、15となる組合せ265とおりについて検討した。開設長と平均林地到達距離および総費用の関係は図(6-6),(6-7)に示すとおりである。12千 $\square$ 程度の開設量では配置により平均林地到達距離の変動が大きい。20千 $\square$ 程度開設すると小さくなり、総費用が最小となることがわかる。このように全ての開設区間の組合せを列挙せずとも、開設長と総費用の全体的な関係が類推でき、適正開設量にみあった合理的な路網配置が決定できる。このとき、各枝線をいくつかの開設区間に分割する必要がある。各格子点間毎に分割すれば非常に詳細な計画となるが、組合せ数が増加し計算量が膨大となり不可能である。そのため枝線の数にもよるが一本の枝線を1~3区間に分割するのが妥当である。一般に林道は地形界、特に尾根を越えるか越えないかにより、その利用区域は大きく変化する。合理的な配置計画のため枝線を分割する際は、特に末端の枝線の場合は地形界を充分考慮する必要がある。

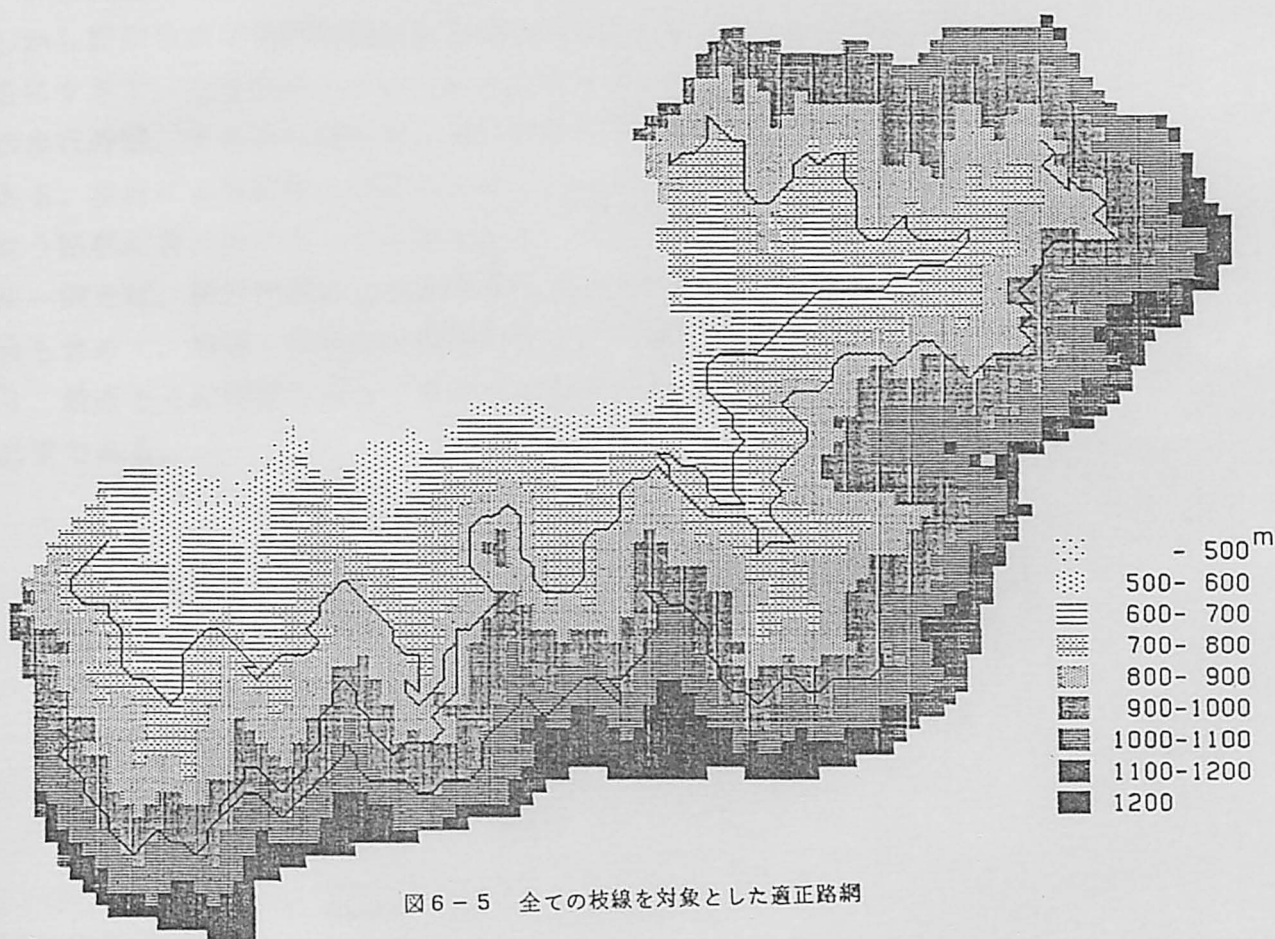


図6-5 全ての枝線を対象とした適正路網

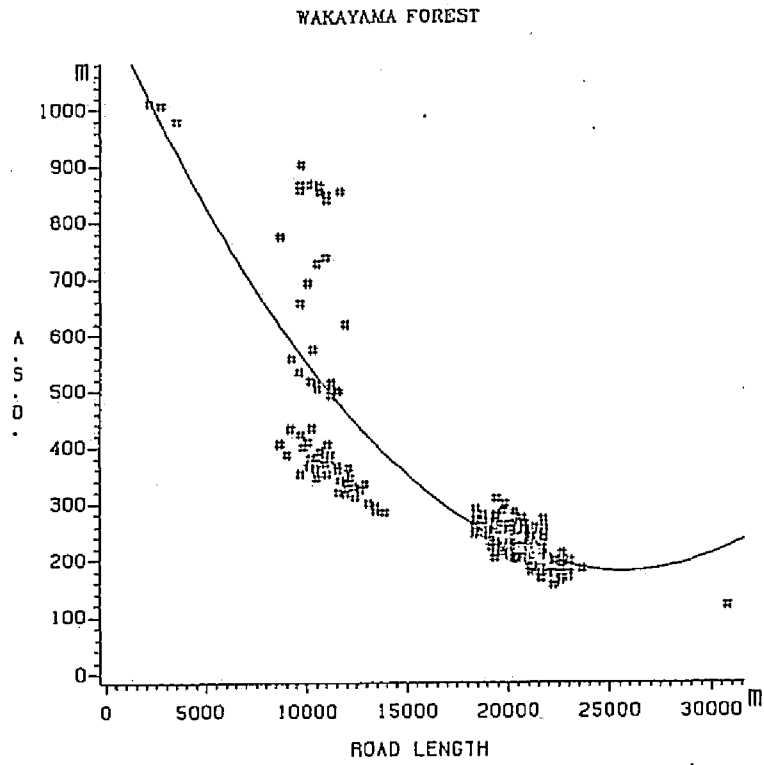


図 6 - 6 開設長と平均林地到達距離の関係 (全枝線対象)

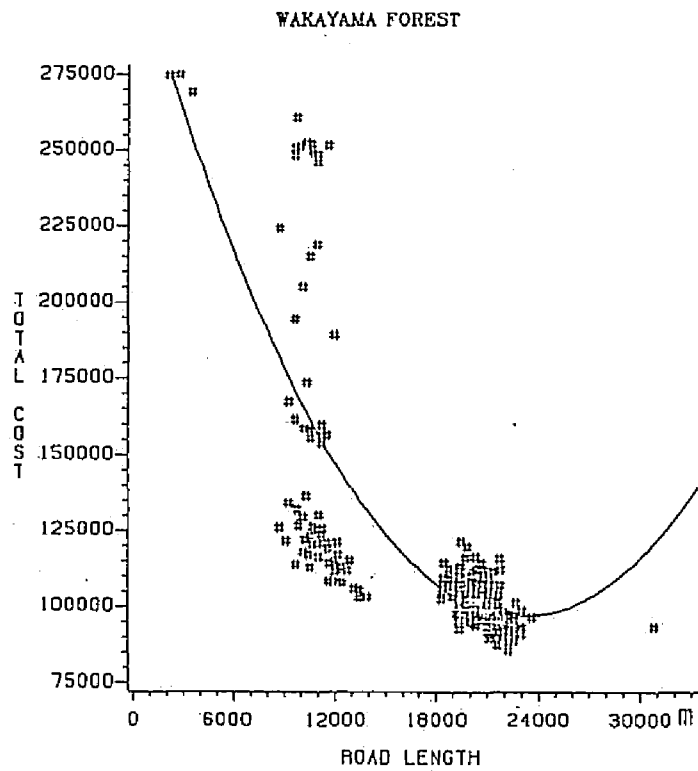


図 6 - 7 開設長と総費用の関係 (全枝線対象)



数値地図を用いる計画法では、その格子点間隔をどの程度にするかが問題である。間隔を狭くすれば、地形条件をより細かく反映させることができるが、処理容量と計算時間が増加する。本計算プログラムは100x100の格子点を基本的な処理対象としている。そのため広い地域を対象とする場合は格子点間隔を広げなくてはならない。しかしその場合、林道開設費の評価や集材の可否といった判断条件の計算が大雑把になってしまう。一方、計画対象地域の面積についてみると、それがひとつの施業団地となる大きさが適当とすれば、1000~2000ha前後である。それを対象とした配置計画では、計算プログラムの制約から格子点間隔は50~100mとなり、森林基本図(五千分一)をベースとした計画としては適切であると考えられる。しかし時には、市町村とか旧村(大字)単位での総合的な林道配置計画も必要となる。その場合、対象地をいくつかの施業団地の集合体としてとらえ、個別に計画しそれらを総合する方法と、格子点間隔を広げ一括して計画する方法がある。前者では団地相互間の関係・総合化が問題となり、後者では林道開設費の評価等の判断条件の算出方法が問題となる。どちらが良いかは相互に補完し計画されるものであるから一概に言えない。

林道開設に伴う森林施業に及ぼす効果として、森林諸作業の生産性の向上があげられる。しかし費用分析においては、林地到達距離の短縮による歩行時間の軽減のみが扱われているにすぎず、生産性の向上は考慮されていない。これは第三章で述べたように、生産性の向上が歩行時間、すなわち林地到達距離を因子として数量的に関係づけられていないことに原因がある。歩行による疲労と作業の生産性との定量化は適切な歩行可能範囲の決定と、それにとりまなう路網配置計画にとって必要であり、今後の課題である。また林道開設により新たな施業方法一例えば、枝打作業による優良木生産一が積極的に取入れられることがある。そのような場合も含めて、林道・作業道の開設効果をどの範囲で、どのように評価するかは重要な課題であり、最近とくに問題となってきた開設費用や維持管理の負担区分を明確にしていくうえで必要である。

## 第七章 要約

本論文で述べたことを要約すれば次のようになる。

1. 山岳林における林道配置計画では地形条件及び林分条件を十分考慮した計画法の確立が必要である。それには電算機を利用した計画法が有用で、ここでは地形条件は数値地形図によりメッシュデータとして、林分の形状・位置は不定形のポリゴンデータとして把握される。これらにより地形条件の数量化、地形形態の分類、集材架線の計画、路線の概略設計等が容易にでき、林道配置計画の基礎資料として活用できる。
2. 林道・作業道の事例に基き林地到達距離を主要因子とした配置の分析を行った。その結果、林地到達距離の分布による個々の地域の類型化ができた。また林道整備地域と未整備地域の比較により、地域面積・平均傾斜・開設前の平均林地到達距離に有意差があり、整備のひとつの判断基準としてそれらを用いた判別式が利用できることがわかった。
3. 林道・作業道開設に伴う森林諸作業の効率向上について分析した。その結果、富山県の造林公社の事例では、植栽・下刈り・雪起しで工期が向上した。また国有林の高密度林道網の事例では、林地到達距離の差により工期に差があることがわかった。しかしその数量化は林地到達距離だけではできず、作業地の地形条件や植生条件等の要因を考慮する必要がある。開設前後の作業経費の軽減から導かれる林道・作業道の整備基準は、平均林地到達距離が400m以上の施業団地である。
4. 端点除去法による林道配置計画では、集材の可否や一定歩行時間内での林地到達といった条件を満たす路網を計画することができた。この方法は主要通過点・起終点が決まっている場合や、特定地点間を循環する路網を含む場合にも対応できる。林道開設の総評価が最小となる原路網を用い端点除去したとき、集材可能面積当りの林道開設評価値が少ない路網が計画される。
5. 等高線図を用いたD.P.の手法による林道配置計画ではデータの収集・処理が容易であり、評価基準として平均林地到達距離・開設長・林区面積を因子とする様々な評価方法を用い最適配置を探索できる。特に費用や便益の評価方法を用いると、対象地域の施業方法とりわけ集材方法や造林・保育方針、林道開設単価等により、評価式の係数が変化し配置も異なる。この方法では林区単位にそれらの係数を指定できるため、より合理的な最適配置を探索できる。
6. 林道開設計画において個々の路線の開設順位を決定するふたつの方法について検討した。ひとつは施業計画に基き、D.P.の手法により、林道開設にともなう森林諸作業の効率向上を最大化するための方法である。他は市町村や流域といった広域の開設順決定のための方法で、線形計画法により、評価基準の最大化を行う。またこの方法は林道の開設目的の多様化に対応し、複数の評価基準を共に満足させる開設順も決定できる。

## 文 献

- 1) 青木信三：林業経営と作業道の生かし方，全国林業改良普及協会，1973
- 2) 有水 疆：林道密度に関する研究（Ⅰ），林試研報 173，p81-91，1965
- 3) 有水 疆：林道密度に関する研究（Ⅱ），林試研報 191，p139-156，1966
- 4) Carter, Michael R., R.B.Gardner,& David B.Brown: Optimum economic layout of forest harvesting work roads, USDA For. Serv. Res. Pap. INT-133,1973
- 5) 土木学会：土木工学ハンドブック（上），技報堂，p700~705,1975
- 6) 藤原登訳：開発指数、林道網評価のための指数およびその林道網計画への適用，機械化林業 205，p27-39，1970
- 7) 伏見多美雄，山口俊和：複数の目標をバランスよく達成するための数理計画的な方法，経営科学 VOL.19，p88-112，1975
- 8) John B.Bryer: The effects of geometric redefinition of classical road and landing spacing model through shifting, Forest Science Vol 29,p670-674,1983
- 9) 半田良一：施業林道小論，山林 994，1967
- 10) 半田良一：林業経営，地球出版株式会社，1972
- 11) 平賀昌彦：電算手法による林道網計画法に関する研究（Ⅰ），林試研報 238，p1-30,1971
- 12) 平賀昌彦：電算手法による林道網計画法に関する研究（Ⅱ），林試研報 245,p99-158,1972
- 13) 堀 高夫：森林利用学的地形分類に関する研究（予報），81 回日林講，p351-352，1970
- 14) 神崎康一：林道網問題に有用なグラフの理論概念と手法，日林誌 47，p84-87，1965
- 15) 神崎康一：グラフの理論による林道網設計法，日林誌 48 ，p365-371，1966
- 16) 神崎康一：林道路線選定の数学的方法について，日林誌 56 ，p415-424，1974
- 17) Kato Seihei : Studies on the Forest Road System,Tokyo Univ. Forestry No.63，p215-233，1967
- 18) 北川勝弘：林業における作業時間に及ぼす林道網の効果，79回日林講，P265-266，1968
- 19) 北川勝弘：森林作業の面からみた林道開設必要度の評価，94回日林講，p699-702，1983
- 20) 黒川泰亨：林業経営計画に対する目標計画法の利用について，日林誌 VOL.63，p144-149，1982
- 21) 小林洋司：電算機による林道路線選定の一方法，林試研報 No.294 ，p137~181,1977
- 22) 小林洋司：山岳林における林道網計画法に関する研究，宇大農学部学報 No.38，p1-101，1983
- 23) 木平勇吉：収穫予定のための0-1 線形計画の解法（Ⅰ），日林誌 VOL.63，p345-353,1981a
- 24) 木平勇吉：収穫予定のための0-1 線形計画の解法（Ⅱ），日林誌 VOL.63，p392-399,1981b

- 25) 木平勇吉：収穫予定のための0-1線形計画の解法(Ⅲ),日林誌 VOL.64, p27-31, 1982
- 26) 丸山正和他：架空索の理論とその応用,地球社,1974
- 27) 丸安隆和：測量学(上・下),コロナ社,1970
- 28) 丸安隆和他：比較路線選定の自動化に関する研究,生産研究 23, p127-137, 1971
- 29) Matthews,D.M.: Cost control in the logging industry,Mcgraw-Hill,N.Y.374pp,1942
- 30) 南方 康：素材生産地域における適正林道密度ならびに限界林道密度について,  
東大演報 No.61, p1-36, 1965
- 31) 南方 康：林道網計画に関する研究,東大演報 No.64, p1-58, 1968
- 32) Minamikata Yasushi: Studies on the Planning of the Forest Road Network  
Jap. Forest Soci. 49, p53-65, 1967
- 33) 南方 康：林内における基礎路網密度,日林誌 VOL.59(8), p298-300, 1977
- 34) 三宅一郎他：SPSS統計パッケージ(Ⅱ),東洋経済新報社,1977
- 35) 南雲秀次郎：線形モデルによる収穫予定法の研究(Ⅰ),日林誌 56, p128-135, 1974
- 36) 南雲秀次郎：線形モデルによる収穫予定法の研究(Ⅱ),日林誌 65, p172-178, 1983
- 37) Penn A Petter: Spacing of Road and Landings to Minimize Timber Harvest Cost,  
Forest Sci., Vol 24 No. 2, 1978
- 38) 林野庁：林業白書 昭和60年度,農林統計協会,1985
- 39) 坂口 実：動的計画法,至文堂, p207, 1970
- 40) 酒井徹朗：急傾斜地における搬出施設について(Ⅰ),京大演報 No.51, p197-206, 1979
- 41) 酒井徹朗：数値地形図を用いた林道の概略設計について,92回日林講,1981
- 42) 酒井徹朗：シミュレーションモデルを用いた林道計画に関する研究,京大演報 N053,  
p162-171, 1981
- 43) 酒井徹朗：林道の配置計画について(Ⅰ),京大演報 N0.54, p172-177, 1982
- 44) 酒井徹朗：林道の配置計画について(Ⅱ),京大演報 No.55, p222-229, 1983
- 45) 酒井徹朗：林道の配置計画について(Ⅲ),京大演報 No.56, p166-177, 1984a
- 46) 酒井徹朗：民有林における作業道の開設について,95回日林講,1984b
- 47) 佐々木功：林内道路に対する考え,林業同友 No.271, p14-18, 1979
- 48) 水利科学研究所：後進地域における林道投資,水利科学研究所,1984
- 49) 鈴木 喬：林道の公道化傾向に関する小論,林業技術 374, 1973
- 50) Thomas J. Corcoran: Computerized mapping and wood transportation,  
Proceedings IUFRO Symposium on forest management planning and  
managerial economics, p343-352, Tokyo, 1984
- 51) 富山県造林公社：富山県造林公社施業基準,1980

付表1 プログラムリスト及び計算結果

```

10 REM L.P. NO KEISAN
20 DIM AA(15,11),NI(15),RT(10),RL(10)
30 DIM HA(15,15),MP(15),TMP(10),RR(15,5)
40 DIM LP(15),NP(15),BX(10),BN(10)
50 REM ---- DATA READ ----
60 TIME$="00:00:00"
70 GOSUB 1410
80 REM ---- SYOKIKA ----
90 NCNT=0
100 HMAX=-1E+06
110 FOR I=1 TO IN
120 NP(I)=1
130 IF I>NZ-1 THEN 150
140 NP(I)=0
150 NEXT I
160 NZ=NZ
170 REM --- START 1 ----
180 IP=1
190 NZ=1
200 HH=0
210 FOR J=1 TO JN
220 RT(J)=0
230 NEXT J
240 REM ---- START 2 KEISAN ----
250 IH=0
260 IF NP(IP)<=0 THEN 620
270 IF LP(IP)<=0 THEN 390
280 L=LP(IP)
290 IF NP(L)>0 THEN 310
300 GOTO 340
310 IF NP(L)+NI(L)-NP(IP)<=0 THEN 390
320 NP(IP)=NP(L)+NI(L)
330 IF NP(IP)<=JN THEN 100
340 NP(IP)=0
350 IP=IP-1
360 IF IP<=0 THEN 1350
370 NP(IP)=NP(IP)+1
380 GOTO 320
390 NE=NP(IP)+NI(IP)-1
400 NS=NP(IP)
410 FOR J=1 TO JN
420 JP=J
430 IF J<NS THEN 470
440 IF J<= NE THEN 500
450 JJP=J+NS-NE
460 GOTO 480
470 JJP=JN+1
480 IF RT(J)+RL(IP)<BN(J) THEN 1000
490 GOTO 540
500 NI=J-NS+1

```

```

510 RT(J)=RT(J)+RR(IP,NI)
520 JJP=J+1
530 IF RT(J)>BX(J) THEN 1000
540 NEXT J
550 HH=HH+AA(IP,NP(IP))
560 IH=1
570 IF IP>=IN THEN 790
580 IF HMAX<=HH+HA(IP,NZ) THEN 760
590 JJP=NP(IP)+1
600 GOTO 1000
610 REM *** NP(IP)=0 ***
620 NS=11
630 NE=20
640 FOR J=1 TO JN
650 JP=J
660 JJP=J-NI(IP)+1
670 IF JJP>0 THEN 690
680 JJP=1
690 IF RT(J)+RL(IP)<BN(J) THEN 1000
700 NEXT J
710 HH=HH+AA(IP,11)
720 IH=2
730 NZ=NZ+1
740 GOTO 570
750 REM ** IP NO KOUSIN **
760 IP=IP+1
770 IF IP<=IN THEN 250
780 REM ---- HYOUKACHI NO HIKAKU ---
790 NCNT=NCNT+1
800 IF HMAX>HH THEN 890
810 HMAX=HH
820 GOSUB 1720
830 FOR I=1 TO IN
840 MP(I)=NP(I)
850 NEXT I
860 FOR J=1 TO JN
870 TMP(J)=RT(J)
880 NEXT J
890 IP=IN
900 JP=JN
910 IF IH<>0 THEN 930
920 IH=3
930 NS=NP(IN)
940 NE=NP(IN)+NI(IN)-1
950 JJP=NP(IN)+1
960 IF NS<>0 THEN 1040
970 NS=11
980 NE=25
990 GOTO 1040
1000 IF IP>= IN THEN 1040

```

```

1010 FOR I=IP+1 TO IN
1020 NP(I)=0
1030 NEXT I
1040 FOR J=1 TO JP
1050 IF J<NS THEN 1090
1060 IF J> NE THEN 1090
1070 NI=J-NS+1
1080 RT(J)=RT(J)-RR(IP,NI)
1090 NEXT J
1100 IF IH=0 THEN 1140
1110 HH=HH-AA(IP,NS)
1120 IF IH<2 THEN 1140
1130 NZ=NZ-1
1140 IF JJP<NP(IP) THEN 1200
1150 IF JJP>NP(IP) THEN 1180
1160 PRINT"JJP=NP(IP)";JJP;IP
1170 GOTO 1200
1180 NP(IP)=JJP
1190 IF NP(IP)<=JN THEN 250
1200 NP(IP)=0
1210 IP=IP-1
1220 IF IP<=0 THEN 1360
1230 JP=JN
1240 IH=4
1250 IF NP(IP)>0 THEN 1270
1260 NZ=NZ-1
1270 JJP=NP(IP)+1
1280 NS=NP(IP)
1290 NE=NP(IP)+NI(IP)-1
1300 IF NP(IP)>0 THEN 1040
1310 NS=11
1320 NE=21
1330 GOTO 1040
1340 REM LP CHECK
1350 PRINT "LP DATA NIYORI END "
1360 REM --- END OF RUN-----
1370 LPRINT "HMAX";HMAX;"MP";MP(1);MP(2);
MP(3);MP(4);MP(5);MP(6);MP(7);MP(8);MP(
9);MP(10)
1380 LPRINT "TMP";TMP(1);TMP(2);TMP(3);T
MP(4);TMP(5)
1390 LPRINT "TIME ";TIME$
1400 END
1410 REM ** DATA INPUT **
1420 READ IN,JN,NZ
1430 DATA 5,10,1
1440 READ NI(1),NI(2),NI(3),NI(4),NI(5)
1450 DATA 1,2,2,3,2
1460 READ LP(1),LP(2),LP(3),LP(4),LP(5)
1470 DATA 0,1,1,0,0
1480 READ BX(1),BX(2),BX(3),BX(4),BX(5),
BX(6),BX(7),BX(8),BX(9),BX(10)
1490 DATA 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
1500 READ BN(1),BN(2),BN(3),BN(4),BN(5),
BN(6),BN(7),BN(8),BN(9),BN(10)

```

```

1510 DATA 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
1520 READ RR(1,1),RR(2,1),RR(2,2),RR(3,1),RR(
3,2),RR(4,1),RR(4,2),RR(4,3),RR(5,1),RR(5,2)
1530 DATA 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
1540 READ RL(1),RL(2),RL(3),RL(4),RL(5)
1550 DATA 4,3,2,1,0
1560 FOR I=1 TO IN
1570 READ AA(I,1),AA(I,2),AA(I,3),AA(I,4),AA(
I,5),AA(I,6),AA(I,7),AA(I,8),AA(I,9),AA(I,10)
,AA(I,11)
1580 NEXT I
1590 DATA -522,-52,419,908,-2649,-2142,-1603,
-1069,-534,0,-100000
1600 DATA 4437,6005,7629,8741,6679,8195,3007,
-1912,-663,-10000,-100000
1610 DATA 11630,12774,13861,15079,5316,3913,4
079,361,-478,-10000,-1000000
1620 DATA -6473,-4955,-3374,-1894,-312,1270,3
452,3979,-10000,-10000,-100000
1630 DATA -2656,-1800,-1787,-1081,-542,-2573,
-2063,-1245,-428,-10000,-100000
1640 FOR I=1 TO IN-1
1650 READ HA(I,1)
1660 NEXT I
1670 DATA 27257
1680 DATA 18516
1690 DATA 3437
1700 DATA -542
1710 RETURN
1720 LPRINT "HYOUKA";HH;NCNT;"TIME";TIME$;
1730 LPRINT "NP";NP(1);NP(2);NP(3);NP(4);NP(5)
)
1740 RETURN

```

```

HYOUKA 21404 1 TIME00:00:09NP 1 2 4 6 9
HYOUKA 21968 2 TIME00:00:12NP 1 2 4 8 6
HYOUKA 22399 3 TIME00:00:34NP 1 4 2 8 6
HYOUKA 23345 4 TIME00:00:57NP 1 6 2 8 4
HYOUKA 24931 5 TIME00:01:08NP 1 6 4 8 2
HYOUKA 25016 6 TIME00:02:09NP 3 6 4 8 1
HMAX 25016 MP 3 6 4 8 1 0 0 0 0 0
THP 1 1 1 1 1
TIME 00:02:44

```