

電算法による林道網計画法に関する研究 (I) 作業道の最適選点と密度決定の一方法

平 賀 昌 彦⁽¹⁾

Masahiko HIRAGA : Studies on the Forest Road Network with the
Use of Electronic Computer (I)

A method of determining the optimum passing points and the
density on the logging road

要 旨：わが国で一般的に用いられている路網理論として、いわゆる MATTHEWS の理論がある。この方法は理論展開が簡明なため、路網の全体計画策定等には有効なものといえよう。しかし、本法を作業道まで適用した場合、地形条件や蓄積分布といったマイクロ因子のとりえ方にややラフな面があることが指摘されている。

したがって、本報告のねらいとするところは、前述の条件をふまえて、わが国のような山岳地形あるいは作業体系における作業道の作設手法について、検討をこころみたことにある。ここでは、ひとまず林道のもつ間接的便益は保留し、集材作業を中心として対象林分の〈どこに〉、〈どれだけ〉の作業道を開設すれば、集材総費用が最も安くなるかといった観点から路網配置を決定する理論を、繰り返し演算に威力を発揮する電算計算を前提に展開したものである。

なお、本報告の段階においては、計算理論の大綱を示すものであり、計算式に用いた各因子のはあくについてはさらに検討の余地を残すものである。

I 序 論

最近、労働生産性の向上と、よりいっそうの経営合理化推進のために、高密路網システムによる林業経営が目ざされはじめています。これは、わが国経済の著しい発展の結果、農業を含めた第1次産業が“成長のひずみ”としてうけとめていかねばならない宿命的な命題であるとみなすこともできよう。

Rostow, W. W. の経済発展段階説¹⁾を引用するまでもなく、わが国経済はいわゆる“離陸期”から“成熟期”をへて“高度大衆消費期”へ移行したといわれている。この発展過程において林業を含めた第1次産業は、高次産業に原料を提供し、関連産業の育成をおこない、かつ、第1次産業の剰余所得の多くの部分をそれら産業の投資、振興へと供給を続けてきたのである。しかし、高度経済成長期の現在に至り、それら産業はその存続要件をきびしく問われようとしている。

この点に関して、わが国林業の実態を産業構造のなかでパースペクティブに描くならば、生産構造および経営組織面で多くのたち遅れを認識せざるをえない。

「林業白書」の数値からそれを概略的に眺めてみよう。たとえば、わが国の森林鉄道を含めた車道以上の林道総延長は、昭和43年度末現在79,240kmである。これは前年比で4.9%、自動車道のみについてみれば18.8%の増加率を示すとはいいいながら、森林総面積(25,224千ha)で除した値はわずかに3.14

1970年12月7日受理

(1) 林野庁業務部業務課兼機械化部

m/ha であって、施業対象林地だけを考えた場合、国有林で 8.49m/ha^{*1}、民有林で 6.3m/ha 程度と推定されるものである。しかも、森林生産構造は人工林率 33.4%（蓄積比率 29.5%）と低く、かつ、最近の人工林増加率は、昭和 36 年をピークとして毎年 4～5% 程度の減少傾向を続けている。この結果、わが国の木材総生産と国内総需要との較差は広がる一方であって、昭和 44 年度における総需要に対する国内産材シェアは 49% まで低下し、ついに輸入材に対する依存度は 5 割の大台を越えたのである。

一方、経済成長による産業構造の変ぼうが、林業に対する国民意識（National consensus）をしいだいに変化させていく傾向もまた事実である。すなわち、原料供給、未利用資源開発、潜在失業吸収といった従来林業が主目的としていた要求は大きく後退し、観光開発、レクリエーション、水資源確保といった従属目的であった要求がしいだいに重視されるようになってきている。

こういった社会的要請をうけて、産業としての林業がどう対処していくかという命題は、基本的には“行政”の範ちゅうに属するものと考えてよいであろう。しかし、現実の問題として林業経営者たちは企業における経営条件の変化を経営それ自身の問題として解決していかなければならないものである。これは、企業的な運営を原則^{*2}とする国有林野経営においてはもちろん、小規模山林経営においても全く共通した問題であるとみてよいであろう。

高密度路網システムに代表される最近の林道問題の主題は、まさにそういった林業の本質的な課題を原点として論ぜられなければならないものであろう。すなわち、林道の林業経営における意義は、伐採搬出だけを考えた従来の概念を脱脚して、技術革新に対するアプローチとして認識すべきだといえよう。確かに、林道そのものは林地と市場を結ぶ輸送手段であり、林内の作業条件を改善する一手法にすぎない。しかし、現時点の技術水準と体系の中において、林業の機械化および合理化の名実ともに旗手となりうるのは、林道が最も期待されるものの一つであることは論をまたないところである。

さて、こういった前提的条件のもとに、本論の主題である林道網計画の問題に関して、既往の研究、文献を概括的に眺めてみることにしよう。

周知のごとく、林道が自動車道によって代表され、モータリゼーションの発達にしたがって伐木運材体系に組み込まれるようになったのは、ごく最近のことである。したがって、自動車道を中心とした路網理論やロケーションの問題が研究対象としてとりあげられたのも、さほど年月をさかのぼる必要がない。わが国ではじめて系統的に集材法と林道配置に関する論述をおこなったものに、加藤²⁾の「伐木運材経営法」がある。本書の上梓が昭和 27 年であり、わが国林道の基本理念として「林道規程」が制定をみたのが昭和 30 年である。なお、加藤の主旨は MATTHEWS³⁾ の理論、すなわち集材費と路線開設費の総合計を最小にすべき路線間隔を求める手法を解説したものであり、理論構成が簡潔明瞭なためにこれに関して多くの研究論文が発表されている。たとえばそれは、わが国でこの理論をはじめて集材機作業に適用して具体的林道密度を算定した上飯坂⁴⁾の研究、帯広営林局におけるトラクタ集材とトラック作業道密度に関して集材総しごと量の概念と分岐点理論を展開した大河原⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾の研究、理論モデル、林道開設費の償還問題をはじめとし、限界林道密度理論を展開した南方⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾の研究などがある。

加藤¹²⁾¹³⁾の分類法にしたがえば、林道密度に関する研究系列は、おおむね a) 中岐方式 (Road spacing determined by the method of prehauling), b) MATTHEWS 方式 (Minimum cost idea), および c)

*1 昭和 43 年度末現在、国有林林道総延長 26,980km を、第 2 種林地面積 3,176千ha で除してえた数値。

*2 国有林野事業特別会計法第 1 条（設置）ならびに国有林野経営規程第 1 章第 3 条（経営の目的）参照。

限界林道密度方式 (Allowable maximum density idea) の3区分ができるとしている。これによると、中歌式とは集材方法を中心として林道間隔、あるいは配置を考える理論であるとみなし、PESTAL¹⁴⁾をその代表にあげ、HAFNER、STEINLIN などの所論はその範ちゅうに属するものとしている。また、MATTHEWS方式としては、先に述べたわが国の当該理論に関する研究をはじめとして、モデルの決定法や迂回率概念の導入の差はあるとしながらも HUGGARD、LARSSON、および SUNDBERG などその研究系列にはいるものとみなしている。そして、最後の限界林道密度方式については、林業総収益から造林費、保護費、一般管理費、企業利潤、租税公課といった必要経費を差し引いた残金額を全部林道費に振りむけたとき、林道密度をどこまで高められるかという問題を論じたもので、これは先にも述べた南方によって理論体系がなされたものであるが、加藤は、集約施業団地における林業経営にこういった考えが必要だとはしながらも、現状の林道密度があまりにも低位であることにかんがみ、現実問題解決のためには中歌方式を考慮に入れながら MATTHEWS の手法を適用したいいわゆる適正密度の考えを定着させ、将来にむかって限界林道まで押し進めるべきであると指摘している。

なお、路網理論の研究としてこのほか、実践的な側面からとらえようとする研究をみることができる。たとえば、青木¹⁶⁾らを中心とする研究グループによる高密路網営林法は、山地保全を第一義とし、自然治癒力に応じた軟工法技術の開発と林地表流水の拡散処理を傾斜階段造林法と結びつけて体系化し、また、経営の指標として経営規模の概念を国有林立木価格算定式から誘導展開している。同様に、諸戸¹⁷⁾は IUFRO において高密路網と作業方法に関する実践的な報告をおこなっている。

国有林においては、すでに昭和30年代前半において森林鉄道中心の技術体系から、自動車道大型集材機中心体系へと技術転換を完了したが、最近のいちじるしい経済成長にともない再度技術体系の転換期をむかえようとしている。なかでも、高密路網による技術体系の確立は特に解決が急がれる課題といえよう。

このほか、本論文の参考として神崎¹⁸⁾のグラフ理論、経済効果の評価に関する有水¹⁹⁾²⁰⁾の研究、林道の経済機能を論じた玉城²¹⁾の論文があげられる。

なお、ここで本報告の手法とこれら既往研究等との関連について述べてみたい。

本法は、さきに述べた加藤の分類に従えば、最小費用のアイデア、すなわち b) のパターンに属するものである。ただし、MATTHEWS 理論と本法との相違点は、前者が理論モデルを想定し、その平均作業距離を変数として集材作業費と路線開設費合計の最小値を算出しているのに対し、後者は林地モデルを定めず、一般的な林地そのままのパターンから直接法によってそれら最小値を算出することにある。これは、試行錯誤法の積みあげであって、電子計算機の利用によってのみ可能な手法だといえよう。

また、わが国のような地形条件が複雑なフィールドにおいては、欧米の林内作業システムにみられるような単純一列を採用することは費用の面で不利と考え、長距離、短距離両集材法の組合せを考えたことも本法の特徴を示すものといえよう。すなわち、将来高密路網による車両集材法が著しく発達した場合でも、わが国のような急峻地形では、集材機のような長距離集材作業部分が相当残されるであろうという技術体系への予測にたつものである。

なお、表題に示すように、当手法の対象を“作業道”に限定したのは、MATTHEWS の“副林道”に対応させたもので、路線決定のための費用関数を集材作業のみから算出しているためである。したがって、将来この部門の研究が進み、林内各通過点における総合価値を決定する手法が確立されたならば、一般林道への適用も可能となるはずである。また、現段階であっても、たとえば国有林における直営生産事業のよ

うに作業道開設の目的が集材作業に限定しうる場合であれば、本法の利用が十分可能であるといえよう。

II 電算手法による作業道網計画法

1. 作業道網計画手法へのアプローチ

集材作業方式の選択について考えるとき、距離因子の影響の大小から次の2つの型に区分することができよう。そのひとつは“長距離集材方式”とよぶるもので、作業距離の増減割合に比べて集材コストの増減割合が小さいといった特徴をもつものであり、索道、大型集材機などの集材法がこれに相当する。他のひとつは“短距離集材方式”とよぶるもので、前者とは対象的に距離因子の影響を敏感にうけ、ある集材距離の範囲でのみ当該作業が可能であるといった作業法であり、トラクタ、ウインチ集材、クレーン集材等、いわゆる車両集材系統のものがこれに相当するといえよう。

一方、作業道の開設目的とは、これを端的に表現すれば作業距離条件の改善にあるということができよう。これによって集材システムを長距離型から短距離型へ改善をおこない、集材総費用の軽減をはかり、ひいては作業体系の合理化、ないしは省力化に指向しようというものである。しかし、前にもふれたように、わが国のような山岳地形においては、作業道ないしは林道の開設単価は著しく割高であることに加え、立地条件の制約から林業経営の面でも弾力的な施業別区分、ないしは混成作業種を採用している実態を考慮し、さきに述べた長距離、短距離両集材方式の均衡のうちに最適組合せを見い出すことがより合理的であると考えられよう。これらを具体的数式で示せば次のとおりである。

いま、長距離集材方式として大型集材機を、短距離集材方式として車両集材（クレーン、あるいはウインチ集材）を想定し、それぞれの集材作業距離に関する費用関数が次のような近似式でもって表わされると仮定しよう。

$$y_1 = Ax + B \dots\dots\dots (1)$$

$$y_2 = Cx + D \dots\dots\dots (2)$$

ただし、

y_1 : 長距離集材方式による集材費用関数 (円/m³)

y_2 : 短距離集材方式 “ “ (“)

x : 集材距離 (m)

A, C : 集材距離に比例する集材費用係数 (円/m³・m)

B, D : 集材距離に比例しない “ (円/m³)

一般に、集材距離 x と費用 y との関係は Fig. 1 に示すように $y_1 = ax^b$ ($a > 0, 0 < b \leq 1$)、あるいは $y_2 = cx^d$ ($c > 0, d \geq 1$) といった形で表わす方法が適確であるとされている。しかし、長距離集材の費用関数は、かなりゆるやかな曲線を呈することから、(1) 式のような直線1次回帰としてはあくしても数値解析上支障は少ないものである。一方、短距離集材の場合には、集材距離に対して費用関数の線形は大きく変化するが、その適用範囲が限定的なために、実際的な費用決定法としては、一定距離を限度とした平均コストとしてはあくすることが可能である。すなわち、短距離費用関数 y_1 は、Fig. 1 において C といったコンスタントとみなすことができるのである。したがって、(1)、(2) 式の具体的関数値は、たとえば次のように示すことができる。

$$y_1 = 1x + 100 \dots \dots \dots (1.1)$$

$$y_2 = 400 \dots \dots \dots (2.1)$$

ここで、車両集材における限界作業距離を 100m とすれば、上式の関係は Fig. 2 のようになる。

いま、かりにこのような費用関数が与えられたとき、従来の損益分岐点的観点からこれを見るならば、関数 y_1 , y_2 の間には分岐点が存在しないといえよう。しかし、集材総費用的観点から分析するとき、これをもって長距離集材方式が、総費用を最小にする唯一の方法であるとは必ずしも判断できないものである。これらの関係を、いま静的損益分岐点法と呼ぶことにしよう。そして、この分岐点法の検討から小論のアプローチをはじめたいと思う。

では、前者に対し動的損益分岐点とはどのような考えかといえ、"作業道を開設することによって、集材総費用を構成する各費用の変量を、動的に比較計算をおこなうことから分岐点を求める方法" であるということができよう。

いま、これを簡単な模式図と数値をもって示すならば Fig. 3 のようになる。

図において、1 区画の辺長が 200m 林地が 10 個、並列した状態を想定する。各区画の中心位置にはおのおの 1 m^3 の丸太が生産される立木があって、ここではその材積の集材総費用を問題とするのである。1 区画の辺長が 200m としたのは、前述の車両集材における距離限界が 100m であることに対応させたもので、この区画内に作業道を開設した場合、区画全体が車両集材対象林分になることを意味するものである。したがって、集材地点をいずれか一方の林縁部に P と定めれば、 P 点と各区画の中心位置にある集材対象材までの距離は、おのおの 100m, 300m, 500m, \dots 1,900m とみなすことができる。ここで、1 区画を通過するために必

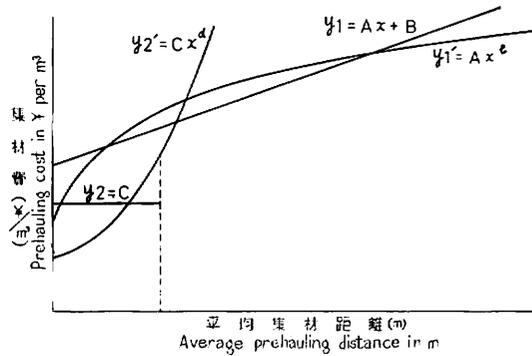


Fig. 1 集材距離と費用の関係 (I)
Relations between prehauling distance and unit cost of prehauling.

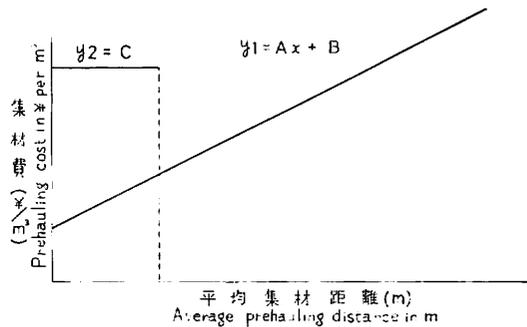


Fig. 2 集材距離と費用の関係 (II)
Relations between prehauling distance and unit cost of prehauling.

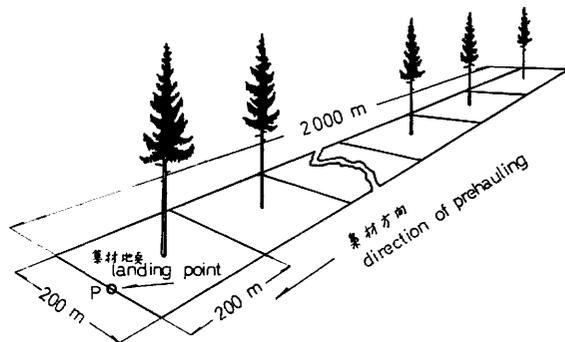


Fig. 3. 簡単な林地モデル
A simple model of operation area.

要な作業道開設費を 1,000 円と仮定し、集材費用関数は (1.1), (2.1) 式を準用するものとしよう。

以上の条件から、作業道を順次開設していく場合の長距離集材費 y_1 , 短距離集材費 y_2 , 作業道開設費 TR , および集材総費用 TC の値は一般に (3)~(6) 式のように示すことができる。

$$y1_i = A \sum X_i + B \sum v_i \dots\dots\dots (3)$$

$$y2_i = C(V - \sum v_i) \dots\dots\dots (4)$$

$$TR_i = \sum R_i \dots\dots\dots (5)$$

$$TC_i = y1_i + y2_i + TR_i \dots\dots\dots (6)$$

ただし、

R : 単位区画あたり作業道開設費 (円)

V : 集材材積総量 (m³)

v_i : 任意の区画 i における集材材積 (m³)

(3)~(6) 式に各条件を代入して費用を計算したものが Table 1 および Fig.4 である。

図で傾向が明らかのように、計算例における集材総費用は、作業道を 3 ないしは 4 区画開設した場合に最小となる。作業道はこれ以上多く開設しても、あるいは少ない場合においても総費用を上昇させる。したがって、費用最小の観点からみた適正延長は 3 ないし 4 区画前後と判断することができよう。

いわゆる静的損益分岐点の考察からは、以上のような判断は決して与えられないといつてよいであろう。このように、作業道開発の真の効果は、“路線を開設することによって集材地点を林地内へ移動し、集材対象各点の作業距離を短縮させる総合効果”にあるといえよう。しかも、この例は単なる帯状に並列した

Table 1. 集材費計算結果の比較
Comparison of cost for long distance type with cost for short distance type

作業道延長 Total length of logging road in number	長距離集材費 (円) Sum of cost for long distance type in ¥	短距離集材費 (円) Sum of cost for short distance type in ¥	作業道開設費 (円) Sum of cost for road construction in ¥	総費用 (円) Total cost	較差 (円) Difference
0	$Y1_0 = 1(100 + 300 + \dots + 900) + 100(10) = 11000$	$Y2_0 = 0$	$R_0 = 0$	11000	-
1	$Y1_1 = 1(10000 - 1900) + 100(9) = 9000$	$Y2_1 = 400(1) = 400$	$R_1 = 1000$	10400	- 600
2	$Y1_2 = 1(8100 - 1700) + 100(8) = 7200$	$Y2_2 = 400(2) = 800$	$R_2 = 2000$	10000	- 400
3	$Y1_3 = 1(6400 - 1500) + 100(7) = 5600$	$Y2_3 = 400(3) = 1200$	$R_3 = 3000$	9800	- 200
4	$Y1_4 = 1(4900 - 1300) + 100(6) = 4200$	$Y2_4 = 400(4) = 1600$	$R_4 = 4000$	9800	0
5	$Y1_5 = 1(3600 - 1100) + 100(5) = 3000$	$Y2_5 = 400(5) = 2000$	$R_5 = 5000$	10000	+ 200
6	$Y1_6 = 1(2500 - 900) + 100(4) = 2000$	$Y2_6 = 400(6) = 2400$	$R_6 = 6000$	10400	+ 400
7	$Y1_7 = 1(1600 - 700) + 100(3) = 1200$	$Y2_7 = 400(7) = 2800$	$R_7 = 7000$	11000	+ 600
8	$Y1_8 = 1(900 - 500) + 100(2) = 600$	$Y2_8 = 400(8) = 3200$	$R_8 = 8000$	11800	+ 800
9	$Y1_9 = 1(400 - 300) + 100(1) = 200$	$Y2_9 = 400(9) = 3600$	$R_9 = 9000$	12800	+ 1000
10	$Y1_{10} = 1(100 - 100) + 100(0) = 0$	$Y2_{10} = 400(10) = 4000$	$R_{10} = 10000$	14000	+ 1200

林地における線上の効果を試算したものであったが、当然これは“面への広がり”に考えを広げることが可能である。本論のねらいとする作業道開発効果もそこにあるということができよう。

さて、計量の対象を“線”から“面”へ拡張することによって新しく生ずるものに“選点問題”がある。線の場合、選点は順次内部へ平行移動していくことでよかったものが、面の場合には選点が任意方向にできうという自由さと複雑さがともなってくる。この、面としての林地のどこに選点を進めるかという問題は、既往の研究報告によれば観念的定義を与えるだけにとどまり、具体的手法として定量化された例は少ないようであるが、本論において筆者はひとつの解法を提示するものである。なお、Table 1 ないし Fig. 4 でみたように、道路の集材距離に対する効果は通減則が適用されるから、開設されるべき作業道は集材総費用最小の観点から、選点前後の費用を比較する必要がある。このくり返し演算の結果えられる最小値をもって、適正延長の作業配置とみなすわけであるが、これら詳細については次節以下で順次検討していきたい。

2. 距離マトリックス

1) 基本的考え方

まず、作業道の開設対象林地全体に対し、それを十分おおうだけの直交格子線を引くものとする。この格子線間隔の決定には2つの方法が考えられる。そのひとつは、作業道を開設することによって採用される短距離集材方式が、長距離集材方式と比較していずれの距離においても集材コストが高い場合に有効な方法である。すなわち、前節の計算例に相当するもので、短距離集材の可能距離範囲において、つねに $y_1 \leq y_2$ なる費用関係が成立する場合である。このときは、当該短距離集材法が最も効率的な距離を現地調査などからはあくし、この距離の倍の値をもって格子線間隔とするものである。他のひとつは、両集材費用関数間に $y_1 > y_2$ の関係が成立するもので、この場合、両費用関数には費用の分岐点が存在するから $y_1 = y_2$ において作業距離 x に関して解を求め、その2倍をもって格子線間隔とするものである。

なお、格子線で区切られた林地における集材地点 P と、集材対象地点 Q のある部分面積（以下、これを単位面積という）の中心までの距離は、格子線で区画された林地全体を一種のマトリックスと考え、その位置を行と列で示すならば、ピタゴラスの定理で簡単に計算できる。すなわち、 P 点、 Q 点の行および列の値をおのおの (I, J) 、 (K, L) とし、格子線間隔（以下、これをマトリックス間隔という）を B と定めるならば、 PQ 間の直線距離 X_{PQ} は (7) 式のように示すことができる。

$$X_{PQ} = \sqrt{(I-K)^2 + (J-L)^2} \cdot B \quad \dots \dots \dots (7)$$

一般に、林分全体をおおう格子網の大きさを M 行 N 列とすれば、集材地点 $P(I-J)$ における各単位面積の距離合計は (8) 式のように示されよう。

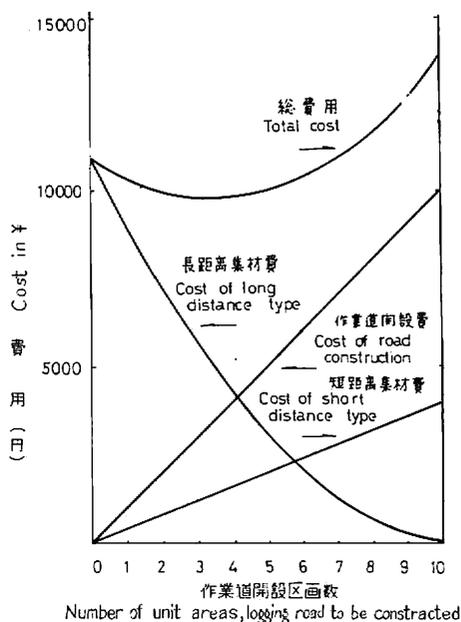


Fig. 4 各費用の比較
Comparison of each cost.

$$\sum X = \sum_{K=1}^M \cdot \sum_{L=1}^N \sqrt{(I-K)^2 + (J-L)^2} \cdot B \dots\dots\dots (8)$$

以下これを距離マトリックス〔X〕と呼ぶことにしよう。

2) 既設林道と距離マトリックス

ある単位面積に対し作業道を開設するという事は、その単位面積を長距離集材方式から短距離集材方式に振り替えることを意味するから、その部分の距離マトリックス値を“ゼロ”であらわすことができる。すなわち、作業道が開設された単位面積においては長距離集材方式による集材量は“ゼロ”である。

また、長距離集材作業とは、作業道が開設されたマトリックス“ゼロ”の地点への最短距離でもっておこなわれると仮定すれば、任意の単位面積における作業距離は、その単位面積と最も近い距離マトリックス“ゼロ”の単位面積との距離と定義される。

これを簡単な数値で模式的に示すと Fig. 5 のようにあらわすことができる。

図において、集材地点 P は 3 行 1 列目であることを示し、実際の距離はそれぞれのマトリックス数値に、図の外側に示したマトリックス間隔 B を乗じた数値となる。

ついで、作業道が (3, 2) 点まで開設された状態を考えてみる。距離マトリックスは、Fig. 6 のように変形する。図で注意すべき点は、集材地点 (3, 1), (3, 2) のいずれにおいても有効であって、各単位面積からの距離は、いずれか近い方へ集材されると考えるものである。

つぎに、Fig. 5 と Fig. 6 の距離マトリックス合計を求めてみよう。計算の簡略化のため B = 1 とすれば [X₀] = 49.016, [X₁] = 36.298 と求められる。これは、作業道が (3, 1) の点から (3, 2) の点まで延長したことによって、距離因子の合計が、[X₁] - [X₀]、すなわち ΔX = 12.718 だけ減少したことを意味しており、これが作業道開設による作業距離改善効果の基本的はあく方法を示すものである。

既設林道は、この手法を応用すれば路線計画をたてようとする対象林地にあらかじめ位置の記入が可能である。すなわち、路線通過の単位面積に相当する距離マトリックス値をゼロと記入することで表示がなされるものである。しかし、マトリックスが十分に大きくなった場合、既設点の表示は比較的簡単ではあるが、それ以外の任意な単位面積における距離マトリックス値の判断が大変に煩雑となってくる。

いま Fig. 7 のような距離マトリックスを考えてみよう。

これは、Fig. 6 の状態からさらに (3, 3), (2, 2) の点まで作業道が延長した結果作成される距離マトリックスである。いま、X1(1, 4), X2(1, 5) のマトリックス値について考えた場合、(2, 2) の点を基準にして考えると X1 は √5, X2 は √10 であるが、(3, 3) の点を基準に考えると X1 は同じく √5, X3 は √8 と求めることができる。しかも、(2, 2) 点を基準としたときの X1 の値は √(1² + (√2)²)、すなわち √3 と考えられぬでもない。また、集材の基準点を視察により決めているが、

2	√5	√8	√13	√20
1	√2	√5	√10	√17
P=0	1	2	3	4
1	√2	√5	√10	√17

Fig. 5 距離マトリックス(1)
Matrix of distance factor(1).

2	2	√5	√8	√13
1	1	√2	√5	√10
0	0	1	2	3
1	1	√2	√5	√10

Fig. 6 距離マトリックス(2)
Matrix of distance factor(2).

√2	1	√2	X1	X2
1	0	1	√2	√5
0	0	0	1	2
1	1	1	√2	√5

Fig. 7 距離マトリックス(3)
Matrix of distance factor(3).

このことについても開設点が多くなればどの程度まで可能か疑問となるであろう。

3) 比較マトリックス法

こういった混乱をさげ、系統的にマトリックスの数値を確定する手法に比較マトリックス法のアイデアがある。その要領は次のようなものである。

一般に、新しく開設点を1単位採用するという事は、すでにある距離マトリックスに対して (イ) ある部分のマトリックス値を減少させるか、あるいは (ロ) ある部分に対して全く開設効果がないか、のいずれかであって、決して (ハ) ある部分のマトリックス値を増加させるといったデメリットはないと考えられる。すなわち、ある部分における距離マトリックス値が、新しく開設された点に対してはむしろ大きな値となる場合、その点に関しては新しい開設点は有効でなかったのであって、その単位面積の集材方向は、すでに開設されたいずれか最短路へむけられることになり、開設効果のデメリットは存在しないものである。このことを利用し、次のような手順で距離マトリックスを調整する。

(i) 新しく開設点として選ばれた単位面積を基準とした距離マトリックス $[X_A]$ を作成する。

(ii) 既開設点 (既開設点ゼロを含む) による距離マトリックスを $[X_C]$ とすれば、 $[X_A]$ と $[X_C]$ に関し各行列の対応する値を比較していく。この場合、 $[X_C] \leq [X_A]$ であれば値はそのままとし、 $[X_C] > [X_A]$ であれば $[X_A]$ の値を採用したマトリックスを作成していく。

(iii) その結果、 $[X_C]$ は新しい形の $[X_B]$ というマトリックスに修正される。この $[X_B]$ が、開設点に関して修正をおこなった新しい距離マトリックスである。

(iv) 選点をさらに進めた場合は (i) ~ (iii) の手順を繰り返すとよい。

この手法を比較マトリックス法と名付けることにしよう。なお、これは筆算の便法というよりは、後述する電算計算のための有力な手法となるものである。

前掲の距離マトリックスを、比較マトリックス法を用いて展開すれば次のようになる。なお、以下図の簡略のため [] の符号*をもって距離マトリックスをあらわすことにする。

(i) 新しい開設点 (2, 2) に関する距離マトリックス $[X_A]$ を作成する。

$$[X_A] = \begin{pmatrix} \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & \sqrt{10} \\ 1 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & \sqrt{10} \\ \sqrt{5} & 2 & \sqrt{5} & \sqrt{8} & \sqrt{13} \end{pmatrix}$$

(ii) 既設点の距離マトリックス $[X_C]$ を確定しておく。

$$[X_C] = \begin{pmatrix} 2 & 2 & 2 & \sqrt{8} & \sqrt{13} \\ 1 & 1 & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} \end{pmatrix}$$

* ここでいうマトリックスとは、数値の配列状態を便宜的に呼称したもので、数学の行列式 (Matrix) とは、意味および性格を異にするものである。

(iii) $[X_B]$ と $[X_C]$ を各対応する項について比較し、小さい方の値を採用した新しいマトリックス $[X_B]$ を作成する。

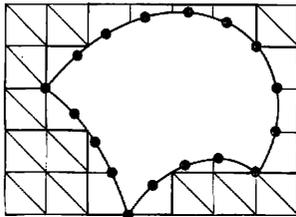
$$[X_B] = \begin{pmatrix} \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & \sqrt{10} \\ 1 & 0 & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} \end{pmatrix}$$

$[X_B]$ が $[X_C]$ を新しい選点に関して (2, 2) 修正した距離マトリックスである。

3. 材積マトリックス

集材対象林地は距離マトリックスの決定のさい、全体がいくつかの単位面積に区画されたが、この単位面積を利用して出材材積の量と位置をあらわしたものが Fig. 8 に示す材積マトリックス $[V]$ である。

いま、マトリックス間隔を $B(m)$ とすれば、1 区画の面積は $10^{-4} \cdot B^2$ であり、林分の ha あたり蓄積がわかれば 1 区画の出材量は確定する。このマトリックス値は出材量で作成されるが、蓄積と伐採率、および造材歩止りの係数を乗じて最終的に出材材積に換算することもできる。



0	0	50	50	50	50	0
0	50	100	100	100	100	50
0	50	100	100	100	100	50
0	0	50	100	50	50	50
0	0	50	50	0	0	0

伐区 : 100 (m²/単位面積)
Operation area : 100 (m²/Unit area)

Fig. 8 材積マトリックス
Matrix of volume factor.

4. 地形マトリックス

集材作業において、どのような因子が作業工程に影響するかがここでは問題となる。

堀ら²²⁾²³⁾の研究によれば、それらは イ) 平均傾斜度、ロ) 起伏量、ハ) 谷密度といった因子に影響をうけるとして、地形指数 (Terrain-index) の概念を提唱している。これによると、地形指数は集運材作業仕組、標道開設の難易度に関し Table 2¹²⁾¹³⁾ のような関係が示されている。また、最近集運材業類型と地形、および林道開設の難易度に関し次のような関係式²⁴⁾を発表しているので引用した。

$$Y1 = 3.43I + 3.34R - 0.02F - 0.02S - 2.35 \dots \dots (9)$$

Table 2. 地形区分と作業仕組の類型
Terrain class and type of logging operation

地形区分 Terrain class	I	II	III	IV
	緩 Even	中 Hilly	急 Steep	急 Very steep
地形指数 Value of terrain-index	0~19	20~39	40~64	65
集材作業仕組 Type of logging operation	トラック型 Truck hauling	トラクタ型 Tractor hauling	中距高架線型 Medium distance skyline	長距高架線型 Long distance skyline
林道作設の難易 Difficulty in road construction	容 易 Easy	普 通 Moderate	稍 困 難 Difficult	困 難 Very difficult

(引用文献 12) 加藤 参照。cf. Reference 12) KATO's.)

Table 3. 傾斜度による地形マトリックス係数
Terrain-coefficient on gradient

係数 Coefficient	傾斜度の範囲 Range of degrees	係数 Coefficient	傾斜度の範囲 Range of degrees
1.0	~ 17°	1.75	51° ~ 58°
1.1	18° ~ 29°	2.0	59° ~ 64°
1.2	30° ~ 37°	2.5	65° ~ 69°
1.3	38° ~ 42°	3.0	70° ~ 73°
1.4	43° ~ 46°	4.0	74° ~ 77°
1.5	47° ~ 50°		

$$Y2 = -0.35I + 8.97R - 0.04Fs - 3.35 \dots \dots (10)$$

ただし、Y1: 作業型指数 I: 傾斜 (tan α)

R: 起伏量 (km) F: 谷頻度 (個/km²)

S: 林内到達距離 (km)

Y2: 林道の開設難易度指数

Fs: 路線が谷筋と遭遇する頻度 (個/km)

なお、小論においては資料などの不足もあり、暫定的な手法として次のような簡便法を採用している。すなわち、作業工程の難易度は主として林地傾斜度に大きく左右されることから、作業の難易度は林地平面に対する斜面の増加割合に比例するという仮説をたて、Table 3 のような sec θ の補正表を作成したものである。これによって、対象林地の傾斜区分が確定すれば、地形マトリックス [T] が Fig. 9 のように作成される。

5. 集材費用関数の変形

章のはじめに触れたように、長距離集材および短距離集材の費用関数は一般に次式のように示されるものであった。

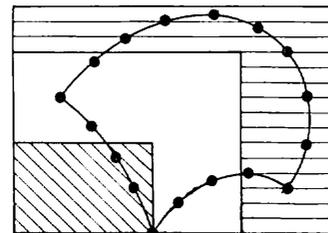
$$y1 = Ax + B \dots \dots \dots (11)$$

$$y2 = C \dots \dots \dots (12)$$

ここで C は、短距離集材における平均作業距離に対する集材費用係数 (円/m³) であり、最適限界距離、あるいは長距離、短距離両集材費用関数の分岐点などを基準に算定されるものである。

この (11) 式における係数 "A" については、林業土木コンサルタンツの実態調査報告¹³⁾ があり、たとえば従来の大型集材機方式では 1 円/m³・m 程度という値が知られており、短距離集材、トラクタなどでは 3~6 円/m³・m といった数値が予想されているところである。しかし、B, C 因子に関する調査報告は現在、あまり例をみないものである。これら因子は、路網効果をはあくするためには前提的条件であるだけに、ことに高密度路網における各種短距離集材方式の費用関数の調査などは、総合的におこなう必要がある。

なお、(11), (12) 式は、単位材積 (m³) あたりの費用関数であるため、対象林地全体の費用算出に適



1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3
1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3
1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.3	1.3
1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.3	1.3

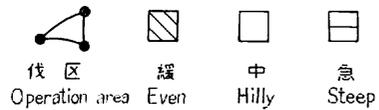


Fig. 9 地形マトリックス
Matrix of terrain-coefficient.

した式に変形する必要がある。

いま、

- TV : 対象林分総出材量 (m³)
- V1 : 長距離集材対象出材量 (m³)
- V2 : 短距離 " " (m³)
- x_i : 任意な単位面積と開設作業道の最短中心線距離 (m)
- V_i : 任意な単位面積における出材量 (m³)
- n : 単位面積総個数 (個)
- m : 長距離集材対象単位面積個数 (個)

とおけば、長距離集材および短距離集材おのおのの合計費用関数 Y1, Y2 は次のように示される。

$$Y1 = A(V_1x_1 + V_2x_2 + \dots + V_mx_m) + B(v_1 + v_2 + \dots + v_m)$$

$$= A \sum_{i=1}^m v_i x_i + B \sum_{i=1}^m v_i \dots \dots \dots (13)$$

$$Y2 = C(v_{m+1} + v_{m+2} + \dots + v_n)$$

$$= C \sum_{j=m+1}^n v_j \dots \dots \dots (14)$$

ここで、

$$(v_1 + v_2 + \dots + v_m) = V1$$

$$(v_{m+1} + v_{m+2} + \dots + v_n) = V2$$

であり、かつ

$$(v_1x_1 + v_2x_2 + \dots + v_mx_m) = W$$

とにおいて (13), (14) 式に代入すれば、(15), (16) 式が得られる。これが、長距離集材および短距離集材の各費用合計を求める関数である。

$$Y1 = A \cdot W + B \cdot V1 \dots \dots \dots (15)$$

$$Y2 = C \cdot V2 \dots \dots \dots (16)$$

なお、W 因子は、各単位面積における出材量に作業距離を乗じた数値の合計であって、長距離集材における“集材仕事量”といった概念を示すものである。

6. 集材仕事量の計算

集材作業における実質仕事量は、地形因子、すなわち作業難易度といった係数を負荷させて修正する必要がある。これらを、いままで述べてきたマトリックスを利用して総括的にあらわすと次のように示される。

$$[W_i] = [V_i] \times [X_i] \times [T] \times B \dots \dots \dots (17)$$

ただし、[W_i] : 集材条件が i 状態の集材仕事量マトリックス (m³・m)

[V_i] : " " 材積 " (m³)

[X_i] : " " 距離 " (m)

[T] : 地形マトリックス

B : マトリックス間隔

なお、林地の大きさを M 行 N 列のマトリックスであらわし、これを一般式で示すと次のようになる。

$$W = \sum_{I=1}^M \sum_{J=1}^N V(I, J) \cdot X(I, J) \cdot T(I, J) \cdot B \dots\dots\dots (18)$$

7. 選 点 法

いま、簡単な距離マトリックスが Fig. 10 のように示されるものとする。

ここで (3, 1), (3, 2) の点が作業道開設点であって、マトリックス値はゼロと示されており、その他の点はこれら2点のいずれか近い方までの集材距離を示すものであった。

2	2	$\sqrt{5}$	$\sqrt{8}$	$\sqrt{13}$	x (B)
1	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{10}$	
(0)	(0)	1	2	3	
1	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{10}$	

Fig. 10 距離マトリックス (2)
Matrix of distance factor.

次の選点を考える場合、仮に開設順序が (3, 1), (3, 2) であっても、(3, 2) 点を中心に選点方向を考えることは合理的ではない。

すなわち、路線はいずれの点からも分岐が可能だからである。ここでは、既設点の前後左右、いずれの方向へも選点が可能であるという考えを採用する。図でも明らかなように、マトリックス間隔 B を外側へだした場合、既設点の前後左右に接する単位面積の値はすべて1であることがわかる。したがって、選点すべき候補はマトリックス値が1であるとするのである。なおここで、(2, 3), (4, 3) 地点への斜め方向の延長は選点理論の簡便化のため採用しないことにする。しかし、もしこれらの点が開設効果が大きい場合には、1ステップおいて選点候補となるであろうから、理論的には問題が解消されるはずである。結局、この例では (2, 1), (2, 2), (3, 3), (4, 1), (4, 2) の5点が選点候補と考えられる。

次の問題は、選点候補のうち、どれを最適点として選ぶかということである。これは、路線を開設したことによって、長距離集材作業における仕事量を最も小さくする点をもって開設効果最大の点と考えることができよう。

いま、具体的な数値から集材仕事量 $[W]$ を計算してみよう。ここで、距離マトリックス、材積マトリックス、地形マトリックスがそれぞれ次のように与えられたとすれば、集材仕事量は次のような手順で求められる。

$$\begin{aligned}
 [X] &= \begin{bmatrix} 2 & 2 & \sqrt{5} & \sqrt{8} & \sqrt{13} \\ 1 & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & \sqrt{10} \\ 0 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & \sqrt{10} \end{bmatrix} \\
 [V] &= \begin{bmatrix} 100 & 100 & 200 & 200 & 200 \\ 100 & 100 & 200 & 200 & 300 \\ 200 & 200 & 200 & 300 & 300 \\ 200 & 200 & 200 & 300 & 300 \end{bmatrix} \\
 [T] &= \begin{bmatrix} 1.0 & 1.0 & 1.1 & 1.1 & 1.2 \\ 1.0 & 1.0 & 1.1 & 1.1 & 1.2 \\ 1.0 & 1.0 & 1.1 & 1.1 & 1.2 \\ 1.0 & 1.0 & 1.1 & 1.1 & 1.2 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$B=100,$

(i) 前 準 備

あらかじめ値が一定な $[V] \times [T]$ のマトリックス表を作成しておく。

$$[V] \cdot [T] = \begin{pmatrix} 100 & 100 & 220 & 220 & 240 \\ 100 & 100 & 220 & 220 & 360 \\ 200 & 200 & 220 & 330 & 360 \\ 200 & 200 & 220 & 330 & 360 \end{pmatrix}$$

(ii) 比 較 計 算

(2, 1) 点の場合

$$[X_A] = \begin{pmatrix} 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & \sqrt{10} & \sqrt{17} \\ 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & \sqrt{10} & \sqrt{17} \\ 2 & \sqrt{5} & \sqrt{8} & \sqrt{13} & \sqrt{20} \end{pmatrix}$$

$[X]$ と比較し、小さいマトリックスを採用した新しい距離マトリックス $[X_B]$ を作成する。

$$[X_B] = \begin{pmatrix} 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & \sqrt{8} & \sqrt{13} \\ 0 & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & \sqrt{10} \\ 0 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & \sqrt{10} \end{pmatrix}$$

あらかじめ準備した $[V] \cdot [T]$ の値を $[X_B]$ に乗じて $[W]$ を作成する。

$$[W] = \begin{pmatrix} 100 & 141.42 & 491.94 & 622.25 & 856.33 \\ 0 & 100 & 311.12 & 491.94 & 1138.42 \\ 0 & 0 & 220 & 660 & 1080 \\ 200 & 200 & 311.12 & 737.91 & 1138.42 \end{pmatrix} \times 100 = 880,986$$

以下、同様にして (2, 2), (3, 3), (4, 1), (4, 2) を計算すれば、各集材仕事量は次のような値となる。

点 の 位 置	集 材 仕 事 量	点 の 位 置	集 材 仕 事 量
(2, 1)	880,986	(4, 1)	886,844
(2, 2)	819,087	(4, 2)	864,099
(3, 3)	648,857		

したがって、(3, 3) 点が集材仕事量を最も小さくする点であるので、次の作業道開設点にはこの点を選ばれることになる。また、選点位置が決定したならば、比較距離マトリックス $[X_A]$ は、選点位置に関する距離マトリックスに書き換える必要があることを付記しておく。

8. 集材総費用の計算と比較

これまでによって、選点候補の中から最も効果的な点が決定されたのであるが、その地点へ路線を延長

することが集材総費用の観点にたつとき、はたして有効なものであるか否かを検討する必要がある。この方法は、次のような手順でおこなわれる。

いま、選点前の状態における費用を CTC 、新しく選点された状態における集材総費用を TC とすれば、

$$CTC - TC > 0 \quad \text{路線開設の効果あり}$$

$$CTC - TC \leq 0 \quad \text{路線開設の効果なし}$$

と、いった判定をおこなえばよい。すなわち、選点結果、前の集材総費用より安くなっていれば、その選点は有効であり、高くなっていけば無効だと判断するわけである。

これを繰り返していくと、Table 1 または Fig. 4 の例に示したように、有効較差はしだいに減少し、ついにはその差がゼロまたはマイナスとなる。したがって、このひとつ前の選点状態が最も集材総費用を小さくする選点数、および配置を示すものと考えることができる。

具体的な CTC 、および TC は次のような因子から計算される。

TV : 対象林分総出材量 (m^3)

$BV1$: 長距離集材対象出材量 [選点前] (m^3)

$V1$: " " [選点后] (m^3)

$BV2$: 短距離集材対象出材量 [選点前] (m^3)

$V2$: " " [選点后] (m^3)

B_x : マトリックス間隔 (m)

RC : 作業道開設単価 (円/m)

DR : 作業道うかい率

DS : 作業うかい率

CW : しご之量 [選点前] ($m^3 \cdot m$)

W : " [選点后]

$Y1$: 短距離集材合計費用 [cf (15) 式]

$Y2$: 長距離集材 " [cf (16) 式]

TRC : 作業道開設費 [選点前] (円)

以上の因子から、

$$CTC = A \cdot CW \cdot (1 + DS) + B \cdot BV1 + C \cdot BV2 + TRC \dots\dots\dots (19)$$

$$TC = A \cdot W \cdot (1 + DS) + B \cdot V1 + C \cdot V2 + TRC + RC \cdot B_x \cdot (1 + DR) \dots\dots\dots (20)$$

いま、前例に示した資料から (19)、(20) 式を適用した計算例を示せば次のとおりである。ここで、選点前とは、作業道が (3, 1)、(3, 2) 点に開設された状態、選点后とは、最適選点として決定した (3, 3) 点へ作業道が延長された状態を意味するものである。

計算条件は Table 4、計算結果は Table 5 に示すとおりである。

計算結果、 $CTC - TC > 0$ であれば、(3, 3) 点へ作業道を延長することは有効であり、その効果は集材総費用の較差 306,986 円相当と考えることができる。

これによって、選点の 1 サイクルが完了したことになる。したがって、これ以降はふたたび 7. 選点法の操作にもどり、以下この手順が繰り返されるのである。

Table 4. 計 算 因 子
Assumed conditions

因 子 Factor	選 点 前 Value of former selection		選 点 後 Value of new selection	
	記 号 Mark	数 値 Value	記 号 Mark	数 値 Value
総 出 材 量 (m ³) Total volume of timber output	<i>TV</i>	4100	<i>TV</i>	4100
長距離集材対象出材量(m ³) Timber volume to be prehauling by long distance type	<i>BV1</i>	3700	<i>V1</i>	3600
短距離集材対象出材量(m ³) Timber volume to be prehauling by short distance type	<i>BV2</i>	400	<i>V2</i>	500
作業道開設単価(円/m) Cost of logging road construction	<i>RC</i>	見込まず	<i>RC</i>	500
マトリックス間隔(m) Width of matrix	<i>B</i>	100	<i>B</i>	100
しごと量 (m ² ·m) Amount of work	<i>BW(1+0.5)</i>	1360272	<i>W(1+0.5)</i>	973286
集材費関数 Formulas of prehauling cost	$Y_1 = 1 \cdot W(1+0.5) + 100 \cdot V_1$ $Y_2 = 300 \cdot V_2$			

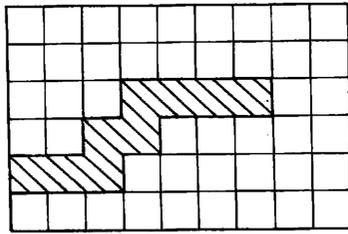
Table 5. 計 算 結 果 表
Calculated values

結 果 Result	選 点 前 Value for former selection	選 点 後 Value for new selection
長距離集材費小計(円) Sum of prehauling cost for long distance type in ¥	$1 \times 906848(1+0.5) + 100 \times 3700 = 1730272$	$1 \times 648857(1+0.5) + 100 \times 3600 = 1333286$
短距離集材費小計 Sum of prehauling cost for short distance type in ¥	$300 \times 400 = 120000$	$300 \times 500 = 150000$
作業道開設費小計 Sum of cost for logging road construction in ¥	既設林道は見込まず Excluding cost of existing road construction	$500(1+0.2) \times 100 = 60000$
費用合計 Total cost	$CTC = 1850272$	$TC = 1543286$

9. 総括, ロケーションとの関連

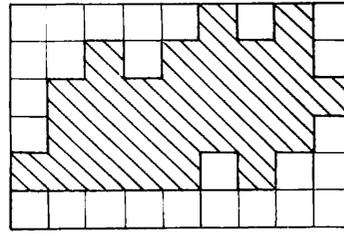
前述の繰り返し演算が $CTC - TC \leq 0$ になった状態で終了すると, その計算結果は電算機の印字装置でもって一覧表となってアウトプットされる。残されたしごとは, 選点の対象となったマトリックスの位置を, まず順次塗りつぶしていくことである。その結果, おおよそ Fig. 11 または Fig. 12 のような状態に塗り分けられることが予想される。

Fig. 11 の場合は, 選点数が比較的少ない場合であって, ロケーションも簡単な例である。このようなときは, 地形的には多少無理をしても, 基本的にはこの選点範囲内に路線選定をおこなうべきである。



選点された単位面積
Unit areas to be selected

Fig. 11 選点モデル (1)
A model of selection (1).



選点された単位面積
Unit areas to be selected

Fig. 12 選点モデル (2)
A model of selection (2).

一方、Fig. 12 の場合とは、かなり高密の路線が選定された例であって、しかも選点個所がかたまって示される場合である。このようなときには路線をどう結んでいくか問題となるところである。ここで注意すべきことは、選点結果は全体をもって集材総費用を最小にする効果をもつものであって、計算時の選点された順序には直接関係するものではないと判断されるから、このような型の場合には、地形条件、分岐点位置など十分考慮し、たとえ選点個所以外の単位面積を多少通過するようなロケーションになっても、路網の全体構成がよければそのような方法を採用すべきであろう。

いずれの場合においても、この計算結果は標準値であるため、残された多くの部分は現場責任者の総合判断にゆだねられるものである。

III 電算プログラム

1. プログラムに使用された記号と意味

電算プログラムに使用された記号と意味は Table 6 のとおりである。

Table 6. プログラムに使用された記号とその意味
Symbols and their meanings used for program

記号 Symbol	意味 Meaning	記号 Symbol	意味 Meaning
M. N	対象林地をおおむ配列の大きさを示す記号、Mは行数、Nは列数をあらわす。	CW	比較しごと量を示す配列。
I.J.K.L.H.JJ	計算のための添字。	AA. BB	長距離集材方式における集材費用関数係数値。
IR	既開設林道点数。	CC	短距離集材方式における集材費用関数係数値。
IRM. IRN	既開設林道の位置を示す配列。それぞれ IRM は行、IRN は列配列をあらわす。	Y1	長距離集材方式における集材費。
NN	新設作業道選点数。	Y2	短距離集材方式における集材費
MX NX	新設作業道の選点位置を示す配列。それぞれ MX は行、NX は列の配列をあらわす。	TC	集材費合計。
MI. MJ	しごと量の最小値を示す行と列の値。	CTC	比較集材費合計。
XA	距離マトリックスを示す配列。	TV	集材対象材積合計。
CX	比較距離マトリックスを示す配列。	V1	長距離集材方式対象材積。
T	地形マトリックスを示す配列	V2	短距離集材方式対象材積。
V	材積マトリックスを示す配列。	TV2	短距離集材方式対象材積合計。
W	しごと量を示す配列。	B	マトリックス間隔。
MW	しごと量の最小値。	RC	作業道開設単価。
		TRC	作業道開設費合計。
		DR	作業道うかい率。
		DS	作業うかい率
		XX	距離マトリックス計算時に実数化に用いる変数。

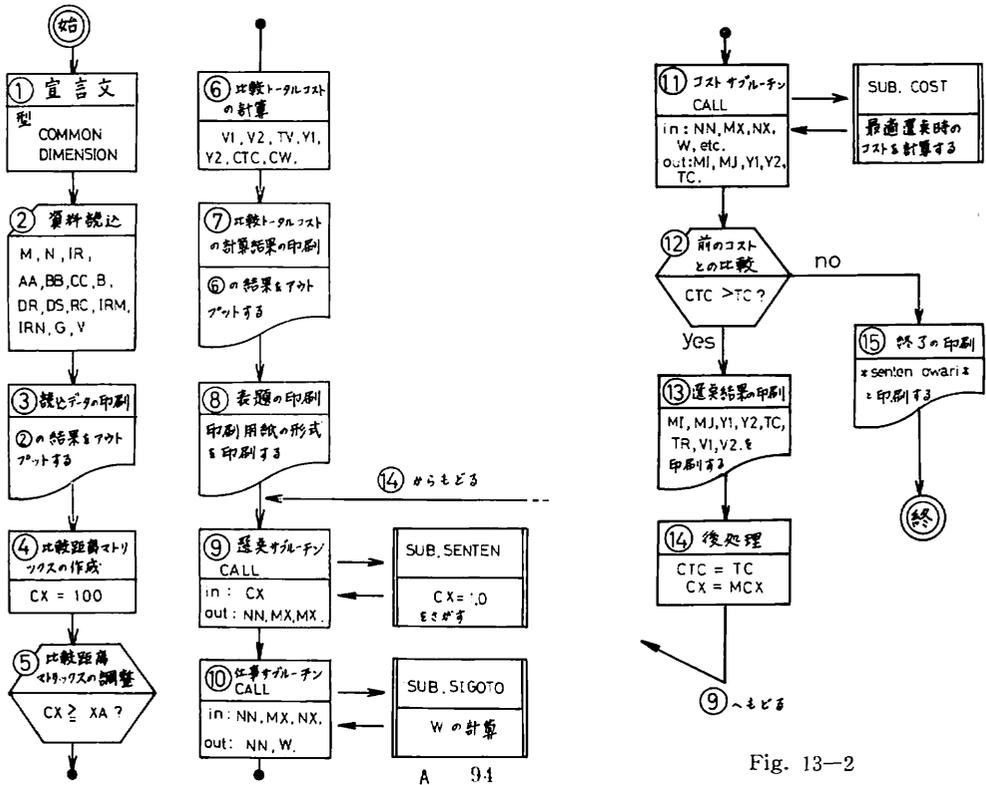


Fig. 13-1

Fig. 13-2

Fig. 13 流 れ 図
Flow chart.

2. 流 れ 図

計算手順を示す流れ図は Fig. 13 に示すとおりである。

3. 電算プログラム

1) 電算プログラム

電算プログラムは Fig. 14 に示すとおりである。

2) 電算プログラムの説明

① 宣 言 文

使用機種：TOSBAC-3400, プロジェクト : P-ROAD, 番号：ANO=×3285, プログラム
作成者：HIRAGA. 以下, 整数, 実数, デイメンション宣言, 使用言語は FORTRAN である。

② 資料の読込み

資料は何組でも連続計算ができる。資料の最後はM=0でステートメント・ナンバー999へ回し計算を完了させる。

③ データの印刷

読み込んだデータを全部印刷させる。

④ 比較距離マトリックス

マトリックスの最大値は, 電算機の許容限度から30行30列を採用した。したがって, マトリックス間

```

TOSBAC-3400 TOPS-14 RELEASE 3 GENERATED 70/04/10
YJOB      P-ROAD ANO=A5061T05,ID=HIRAGA          RINGYO SHIKENJO
VEXC      FTC
①
1          C  RINDOUMDU SAITEKIKEIKAKU NO PROGRAM
2          INTEGER M, N, I, J, K, L, II, JJ, IR, IRM, IRN, NN, MX, NX, MI,
3          + MJ
4          REAL XA, CX, G, V, W, MW, CW, AA, BB, CC, Y1, Y2, TC, CTC, TV, V1,
5          + V2, TV2, B, RC, TRC, DR, DS, XX
6          DIMENSION IRM(900), IRN(900),HX(900),NX(900),XA(30,30),
7          + CX(30, 30), G(30,30),V(30,30),W(900)
8          C  DATA NO YONIKOMI
9          11 READ(5, 111) M, N, IR
10         111 FORMAT(3I10)
11         IF(M.EQ.0) GO TO 999
12         13 READ(5, 113) AA, BB, CC, B, DR, DS, RC
13         113 FORMAT(7F10.0)
14         DO 15 I= 1, IR
15         READ(5, 115) IRM(I), IRN(I)
16         115 FORMAT(2I10)
17         15 CONTINUE
18         DO 17 I= 1, M
19         READ(5, 117) ( G(I, J), J=1, N )
20         117 FORMAT(8F10.0)
21         17 CONTINUE
22         DO 19 I= 1, M
23         READ(5, 119) ( V(I, J), J=1, N )
24         119 FORMAT(8F10.0)
25         19 CONTINUE
26         TV = 0.0
27         DO 21 I= 1, M
28         DO 23 J= 1, N
29         TV = TV + V(I, J)
30         23 CONTINUE
31         21 CONTINUE
32
33         C  DATA NO INSATU
34         WRITE(6, 125)
35         125 FORMAT(1H1,14HYONIKOMI DATA )
36         WRITE(6, 127) M, N, IR
37         127 FORMAT(1H0, 3I10)
38         WRITE(6, 129) AA, BB, CC, B, DR, DS, RC
39         129 FORMAT(1H0, 7F14.4)
40         DO 31 I= 1, IR
41         WRITE(6, 131) IRM(I), IRN(I)
42         131 FORMAT(1H0, 2I10)
43         31 CONTINUE
44         DO 33 I= 1, M
45         WRITE(6, 133) ( G(I, J), J=1, N )
46         133 FORMAT(1H0, 5X, 8F10.5 )
47         33 CONTINUE
48         DO 35 I= 1, M
49         WRITE(6, 135) ( V(I, J), J=1, N )
50         135 FORMAT(1H0, 5X, 8F10.2 )
51         35 CONTINUE
52         WRITE(6, 137) TV
53         137 FORMAT(1H0, 5X, 3HTV=, F15.2 )
54
55         C  HIKAKUKYORI MATRIX NO SAKUSEI
56         DO 39 I= 1, M
57         DO 41 J= 1, N
58         CX(I, J) = 100.0
59         41 CONTINUE
60         39 CONTINUE
61
62         C  KISETUTEN TO HIKAKUKYORI MATRIX NO CHOUSEI
63         DO 43 I= 1, IR
64         K = IRM(I)
65         L = IRN(I)
66         DO 45 II= 1, M
67         DO 47 JJ= 1, N
68         XX = (II - K)*(II - K) + (JJ - L)*(JJ - L)
69         XA(II, JJ) = SQRT( XX)
70         47 CONTINUE
71         45 CONTINUE
72         DO 49 II= 1, M
73         DO 51 JJ= 1, N
74         IF ( XA( II, JJ) .GE. CX( II, JJ) ) GO TO 51
75         CX( II, JJ) = XA( II, JJ)
76         51 CONTINUE

```

Fig. 14 電算プログラム
Program for computer calculation.

6

```

66      49 CONTINUE
67      43 CONTINUE
C      HIKAKU COST NO KEISAN
68      TV2 = 0.0
69      DO 61 I = 1, IR
70      K = IRN(I)
71      L = IRN(I)
72      TV2 = TV2 + V( K, L)
73      61 CONTINUE
74      CW = 0.0
75      DO 63 I = 1, M
76      DO 65 J = 1, N
77      CW = CW + CX(I, J) * G(I, J) * V(I, J) * B * (1.0 + DS)
78      65 CONTINUE
79      63 CONTINUE
80      V1 = TV - TV2
81      V2 = TV2
82      Y1 = AA* CW + BB* V1
83      Y2 = CC * V2
84      TC = Y1 + Y2
85      CTC = TC
86      TRC = 0.0
87      WRITE(6, 167) V1, V2, TV, Y1, Y2, CTC, CW
88      167 FORMAT(1H0,10X,3F20.1 /1H , 10X, 3F20.1, F20.2 )
C      HYOUDAI NO INSATU
89      WRITE(6, 169)
90      169 FORMAT(1H1, 7X, 6HSENTEN, 26X, 12HSYUZAI-HIYOU, 21X, 11HRINDO-HIYO
+U, 10X, 14HSYUZAI-ZAISEKI, 8X, //1H , 4X, 3HGYO, 6X, 4HRETU, 11X,
+2HY1, 13X, 2HY2, 18X, 2HTC, 12X, 3HTRC, 13X, 2-V1, 13X, 2HV2,5X )
C      SENTEN KEISAN
91      71 CALL SENTEN( M, N, CX, NN, MX, NX )
C      SIGOTORYO NO KEISAN
92      CALL SIGOTO(M, N, NN, MX, NX, CX, G, V, B, DS, W )
C      COST KEISAN
93      CALL COST(M, N, NN, MX, NX, MI, MJ, MW, A, AA, BB, CC, B, DR, RC,
+ TRC, TV, TV2, V1, V2, Y1, Y2, TC, V )
C      MAE NO COST TONO HIKAKU
94      IF ( CTC .LT. TC ) GO TO 99
C      SENTENKEKKA NO INSATU
95      WRITE(6, 181) MI, MJ, Y1, Y2, TC, TRC, V1, V2
96      181 FORMAT(1H0, 2I10, 2F15.0, F20.0, F15.0, 2F15.2 )
C      ATOSYORI

```

7

8

9

10

11

12

13

14

```

97      CTC = TC
98      K = MI
99      L = MJ
100     DO 91 I = 1, M
101     DO 93 J = 1, N
102     XX = (I - K)*(I - K) + (J - L)*(J - L)
103     XA( I, J ) = SQRT( XX )
104     93 CONTINUE
105     91 CONTINUE
106     DO 95 I = 1, M
107     DO 97 J = 1, N
108     IF( XA(I, J) .GE. CX( I, J) ) GO TO 97
109     CX(I, J) = XA( I, J)
110     97 CONTINUE
111     95 CONTINUE
112     GO TO 71
113     99 WRITE(6, 199)
114     199 FORMAT(1H0, 10X, 3H***, 2X, 12HSENTEN OWARI, 2X, 3H*** )
115     GO TO 11
116     999 STOP
117     END

```

15

9

```

1      SUBROUTINE SENTEN( M, N, CX, NN, MX, NX )
2      INTEGER M, N, I, J, K, NN, MX, NX
3      REAL CX, AC, ACX
4      DIMENSION MX(900), NX(900), CX(30,30)
5      NN = 0
6      DO 10 I = 1, M
7      DO 20 J = 1, N
8      AC = CX( I, J ) - 1.0
9      ACX = ABS( AC )
10     IF( ACX .GT. 1.0E-5 ) GO TO 20
11     NN = NN + 1
12     K = NN
13     MX(K) = I
14     NX(K) = J
15     20 CONTINUE
16     10 CONTINUE
17     RETURN
18     END

```

```

***
1      SUBROUTINE SIGOTO( M, N, NN, MX, NX, CX, G, V, B, DS, W )
2      INTEGER M, N, NN, I, K, L, II, JJ, MX, NX
3      REAL CX, G, V, B, DS, W, XX, XA, CCX
4      DIMENSION MX(900),NX(900),CX(30,30),G(30,30),V(30,30),
5      + W(900),CCX(30,30),XA(30,30)
6      DO 10 I = 1, NN
7      K = MX(I)
8      L = NX(I)
9      DO 20 II = 1, M
10     DO 30 JJ = 1, N
11     XX = (II - K) * (II - K) + (JJ - L) * (JJ - L)
12     XA(II, JJ) = SQRT( XX )
13   30 CONTINUE
14   20 CONTINUE
15     DO 40 II = 1, M
16     DO 50 JJ = 1, N
17     CCX(II, JJ) = CX(II, JJ)
18   40 CONTINUE
19     DO 60 II = 1, M
20     DO 70 JJ = 1, N
21     IF ( XA(II, JJ) .GE. CX(II, JJ) ) GO TO 70
22     CX(II, JJ) = XA(II, JJ)
23   70 CONTINUE
24   60 CONTINUE
25     W(I) = 0.0
26     DO 80 II = 1, M
27     DO 90 JJ = 1, N
28     W(I) = W(I) + G(II, JJ) * V(II, JJ) * CX(II, JJ) * B * (1.0 + DS)
29   90 CONTINUE
30   80 CONTINUE
31     DO 100 II = 1, M
32     DO 110 JJ = 1, N
33     CX(II, JJ) = CCX(II, JJ)
34   100 CONTINUE
35   100 CONTINUE
36   10 CONTINUE
37   RETURN
38   END
***

1      SUBROUTINE COST( M, N, NN, MX, NX, MI, MJ, MW, W, AA, BB, CC, B,
2      + DR, RC, TRC, TV, TV2, V1, V2, Y1, Y2, TC, V )
3      INTEGER M, N, NN, MX, NX, MI, MJ, I
4      REAL MW, W, AA, BB, CC, B, DR, RC, TRC, TV, TV2, V1, V2, Y1, Y2,
5      + TC, V
6      DIMENSION MX(900),NX(900),W(900),V(30,30)
7      MW = W(1)
8      MI = MX(1)
9      MJ = NX(1)
10     DO 10 I = 2, NN
11     IF( MW .LT. W(I) ) GO TO 10
12     MW = W(I)
13     MI = MX(I)
14     MJ = NX(I)
15   10 CONTINUE
16     TV2 = TV2 + V( MI, MJ )
17     V1 = TV - TV2
18     V2 = TV2
19     TRC = TRC + B * RC * (1.0 + UR)
20     Y1 = AA + MW - BB * V1
21     Y2 = CC * V2 - TRC
22     TC = Y1 + Y2
23   RETURN
24   END
*** END OF JOB STEP   FTC   000003800 MSEC ***

```

幅 B を外側に出すとその最大値は $30 \times \sqrt{2}$ である。ここでは100を読み込ませてある。

⑤ 比較距離マトリックスの調整

既設路線がある場合、林分全体の距離マトリックスはそれだけすでに改善されているので既設路線各点に関して比較マトリックス法を用いて距離マトリックスの修正値を作成する。これにより $CX(I, J)$ が決定する。

⑥ 比較トータルコストの計算

既設点のみによる集材総費用を計算し、比較トータルコストとする。ここで、既設林道開設費はゼロとしている。

⑦ 比較トータルコストの印刷

上記⑥段階の計算結果, $V1$, $V2$, $Y1$, $Y2$, CTC , CW を印刷する。

⑧ 表題の印刷

計算結果を印刷する表の各欄の名称を H タイプで印刷する。

⑨ 選点のサブルーチン CALL

$CX(I, J) = 1.0$ の点を距離マトリックス全体からさがし出し, 選点個数: NN , およびその配列: $MX(K)$, $NX(K)$ を作成するサブルーチン。

⑩ 仕事のサブルーチン CALL

選点候補全部に対してしごと量: $W(I)$ を計算するサブルーチン。

⑪ コストサブルーチン CALL

しごと量の最小なる点を選び, その位置の行, および列を MI , MJ とする。ついで (MI, MJ) 点に関する集材総費用を計算するサブルーチンである。

⑫ 前のコストとの比較

選点前における集材総費用: CTC と, 選点後の集材総費用: TC を比較し, $CTC < TC$ ならステートメント・ナンバー 99 へ回り, それ以外であれば次の作業へ進む。

⑬ 選点結果の印刷

選点結果が有効であれば計算結果を印刷する。それら因子は選点位置を示す行: MI と列: MJ , およびその状態における $Y1$, $Y2$, TC , TRC , $V1$, $V2$ といった因子である。

⑭ 後 処 理

比較マトリックスを MI , MJ 点に関して修正するものである。書き換え要領は⑤の比較マトリックスと同じである。新しく CX が作成され, ステップがひとつ進み, この状態でステートメント・ナンバー 71 へもどり次の選点に移る。

⑮ 終了の印刷

⑩段階で $CTC < TC$ となった時, 集材総費用は最小値を 1 ステップ過ぎたことを意味するのでこの段階の計算結果は棄て, *** SENTEN OWARI *** と印刷して計算を完了する。

3) データ・シート記載例

データ・シートの記載例は Fig. 15 に示すとおりである。

IV 具体的計算例

計算例として帯広営林局の資料²⁹⁾ から, 長距離集材方式として (a) トラクタ集材, (b) 変形エンドレス集材, 短距離集材方式として (c) クレーン集材を選び, (a) と (c), あるいは (b) と (c) といった作業方式の組合せによる作業道網の最適値を計算したものである。

計算の条件となる因子は Table 7 に示すとおりである。

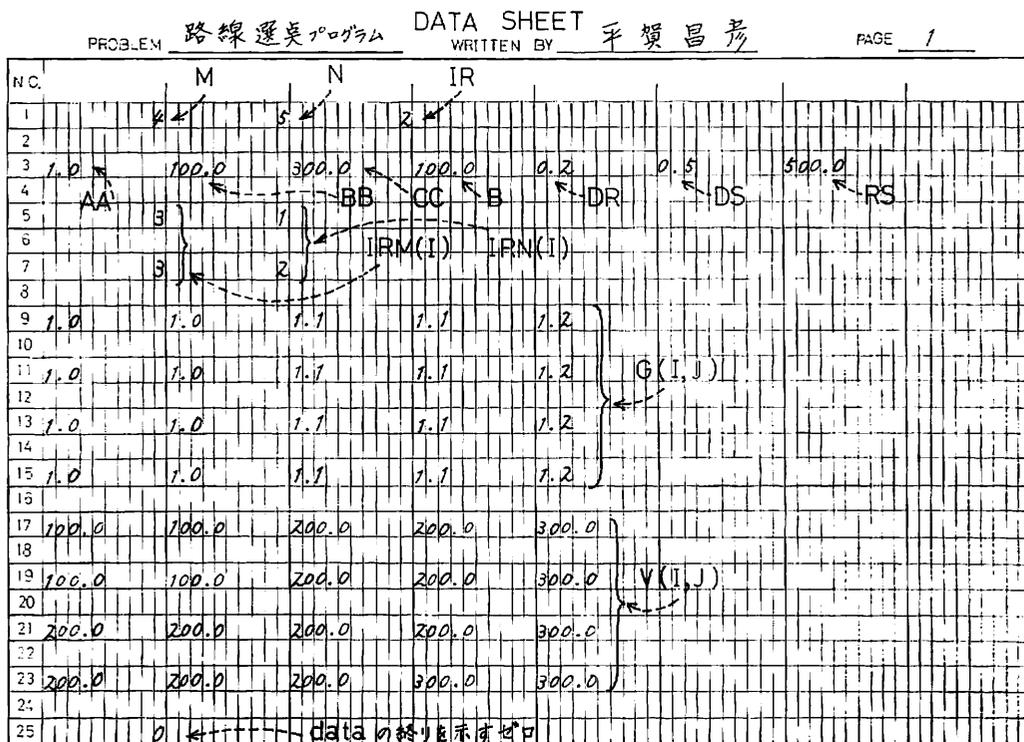


Fig. 15 データ・シートの記載例
An example of mention for data sheet.

Table 7. 集材費計算因子
Assumed conditions

作業系 Prehauling type	費用関数 Formula of prehauling cost	迂回率 Ratio of increment in prehauling
クレーン集材 Crane type	$Y_c = 18.8x + 128$ (¥/m ³)	0.1
トラクタ集材 Tractor type	$Y_t = 1.03x + 654$ (")	0.4
集材機集材 Yarder type	$Y_y = 1.78x + 372$ (")	0.3
作業道開設単価 Unit cost of logging road construction	540 (¥/m)	0.2

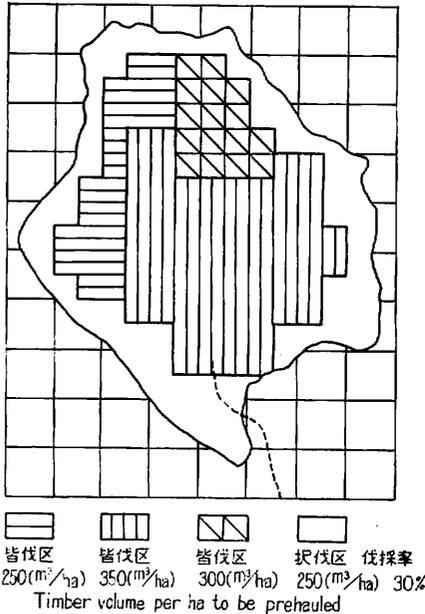


Fig. 16 材積分布図
Distributed map of timber volume.

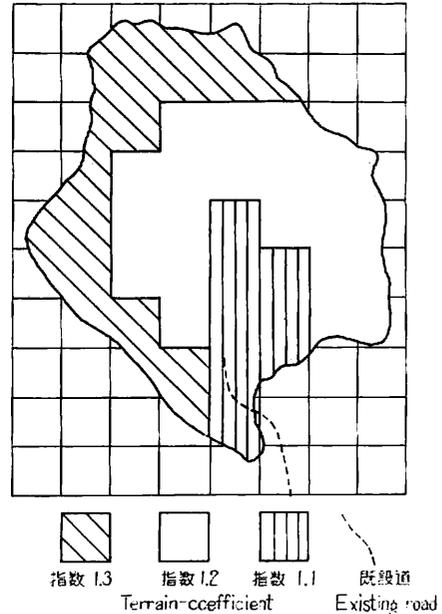


Fig. 17 地形指数分布図
Distributed map terrain-coefficient.

また、5 万分の 1 の地形図から、伐区とし一般的と思われる 10~15 ha の範囲の広がりをもつ林分を任意に抽出し、そこにおける材積区分図、地形区分図を作成したものが Fig. 16, 17 である。

なお、ここでマトリックス間隔は、(a) と (c)、あるいは (b) と (c) の集材費用関数の分岐点を計算し、各値を 2 倍した間隔でもって林地を区画したもので、それぞれの値は 60m および 30m と求められている。

2 組のデータの計算結果、アウトプットは Fig. 18 に示すとおりである。

計算内容は、表の右上から左へ、選点の位置を行と列で示し、その時の長距離集材費：Y1、短距離集材費：Y2、集材総費用：TC、短距離集材費のうち作業道開設費：TRC、長距離集材対象出材量：V1、短距離集材対象出材量：V2 といった順序に印刷していく。選点が進むにつれて Y1 は減少、Y2 は増加、そして、その合計値である TC は漸次減少する傾向を示している。その結果、最後の選点計算が集材総費用最小の値を示すことになる。計算結果の総括表は、Table 8 に示すとおりである。

(Tractor & crane)

SENTEN		SYUZAI-HIYOU		RINDO-HIYOU		SYUZAI-ZAISEKI	
GYO	RETU	Y1	Y2	TC	TRC	V1	V2
7	5	2348520.	166183.	2514703.	38880.	2462.31	170.10
6	5	2121508.	280502.	2402010.	77760.	2361.51	270.90
5	5	1941855.	394820.	2336675.	116640.	2260.71	371.70
4	5	1808991.	503751.	2312741.	155520.	2167.11	465.30
4	4	1691711.	615375.	2307086.	194400.	2069.91	562.50

*** SENTEN OWARI ***

(Yarder & crane)

SENTEN		SYUZAI-HIYOU		RINDO-HIYOU		SYUZAI-ZAISEKI	
GYO	RETU	Y1	Y2	TC	TRC	V1	V2
14	9	2228248.	38354.	2266602.	19440.	2574.92	57.49
13	9	2067165.	66085.	2133250.	38880.	2549.72	82.69
12	9	1925849.	93816.	2019665.	58320.	2524.52	107.89
11	9	1804472.	121547.	1926019.	77760.	2499.32	133.09
10	9	1702367.	149277.	1851644.	97200.	2474.12	158.29
9	9	1618218.	177008.	1795226.	116640.	2448.92	183.49
8	9	1550537.	204739.	1755276.	136080.	2423.72	208.69
7	9	1499000.	231285.	1730285.	155520.	2402.12	230.29
7	8	1456592.	257832.	1714424.	174960.	2380.52	251.89
7	7	1414153.	285563.	1699715.	194400.	2355.32	277.09
10	10	1378370.	313293.	1691663.	213840.	2330.12	302.29
10	11	1337734.	341024.	1678758.	233280.	2304.92	327.49
7	6	1304468.	368755.	1673223.	252720.	2279.72	352.69
10	12	1271785.	396486.	1668271.	272160.	2254.52	377.89
8	6	1241729.	424217.	1665946.	291600.	2229.32	403.09
9	6	1212289.	351947.	1664237.	311040.	2204.12	428.29
6	9	1184826.	478494.	1663320.	330480.	2182.52	449.89

*** SENTEN OWARI ***

Fig. 18 計算結果のアウトプット
Output

Table 8. 計 算 結 果
Calculated values

因子 Factor	組合せ Combination	トラクタ&クレーン Tractor & crane	集材機&クレーン Yarder & crane
クレーン集材費 (Y) Cost of crane prehauling		615,375	478,494
(作業道開設費) (Y) Cost of road construction		(194,400)	(330,480)
トラクタ集材費 (Y) Cost of tractor prehauling		1,691,711	—
帯広式エンドレス集材費 (Y) Cost of yarder prehauling		—	1,184,826
集材費合計 (Y) Total cost		2,307,086	1,663,320
作業道開設延長 (m) Length of road constructed		360	621
対象林地総面積 (ha) Operation area in ha		14.58	14.58
路網密度 (m/ha) Density of road in m per ha		24.69	41.98

また、選点された位置を林地内にプロットすれば、Fig. 19, 20 のように示される。この計算例においては、作業道開設単価が比較的低いこと、長距離集材法であるトラクタ集材が変形エンドレス集材に比較して、より作業距離の因子に強いこともあり、作業道密度の大きさ、および集材総費用の両面で帯広式エン

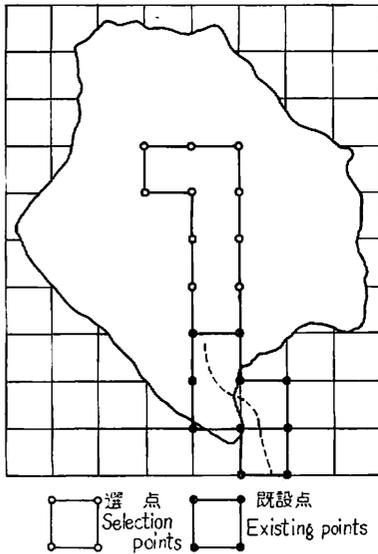


Fig. 19 選点結果 (トラクタ&クレーン)
Result of selection (tractor & crane).

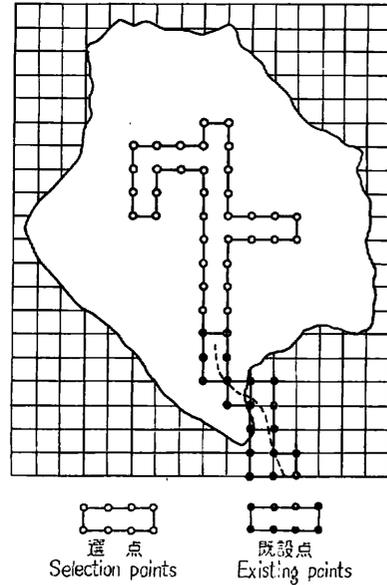


Fig. 20 選点結果 (集材機&クレーン)
Result of selection (yarder & crane).

ドレス集材が有利と算定されている。したがって、当該地域において両方の作業組合せが採用可能であるならば、変形エンドレスとクレーン集材の組合せを選択すべきであろう。

あ と が き

従来、林地のどこに、どれだけの道をつけるかということの決定は、事業責任者のたいせつなしごととされ、このためには綿密な踏査と測量、あるいは永年の経験的知識を総合しておこなわれたものであった。しかし、こういった電算手法の活用によって、その大部分の問題は、たとえば材積、地形マトリックスの作成といった事務ベースに置きかえが可能となり、与えられた標準解答を現地修正することだけが現場責任者のしごとであるということも、実現が可能となろう。そのためには、各集材システムにおける費用関数の決定、地形指数の検討といった具体的問題の検討のほか、機械化林業における功程管理、作業体系の確立などが前提的条件となるものである。その意味で当手法はまだ完成されたものではなく、今後検討しなければならない多くの部分を残しているといえよう。

摘 要

この方法は、MATTHEWSの最適道路理論と同じく、最小費用のアイデアによるもので、作業道における最適密度は、集材費および路線開設費の合計を最小にすることによって得られるものである。

しかしながら、MATTHEWSと筆者との相違は、前者が計算式を理論モデルから誘導しているのに対し、後者は電算計算による試行錯誤の方法によって結果をえようとするところにある。

他方、わが国において用いられている集材タイプはいろいろなものがある。そのなかで、機械作業と平均集材距離との観点から次のような2つのタイプに分けることが適当かと思われる。ひとつは長距離型

で、これは、たとえば集材機、トラクタ、索道といった機械を用いる集材である。他のひとつは短距離型で、これは、たとえばトラック&クレーンやトラクタ&ウインチなどの機械を使用する集材である。

ここで、この研究で得られた結果は次のとおりである。

1. 集材費用関数

$$Y1 = A \cdot W + B \cdot V1 \dots\dots\dots(1)$$

$$Y2 = C \cdot V2 + R \dots\dots\dots(2)$$

$$TC = Y1 + Y2 \dots\dots\dots(3)$$

ここで、

Y1: 長距離型集材コストの合計 (円)

Y2: 短距離型集材コストの合計 (円)

TC: 総費用 (円)

A: 集材の単位コスト (円/m・m³)

B, C: 集材の単位コスト (円/m³)

W: しごとの合計; [V]・[X]・[T]

V1: 長距離型集材で集材される材積 (m³)

V2: 短距離型集材で集材される材積 (m³)

R: 道路開設費合計 (円)

2. マトリックスの説明

この場合、マトリックスは林地における単位面積(群)の因子配列を示すもので、数学的意味からのいわゆる“マトリックス”とは多少意味の差があるものである。

a) 距離マトリックス

これは、単位面積(群)から作業道までの集材される長さ因子の配列を *m* 単位で示すものである。

b) 材積マトリックス

これは、単位面積(群)から作業道までの集材される材積因子の配列を *m*³ 単位で示すものである。

c) 地形指数マトリックス

これは、集材と道路開設の難易性を示す指数の配列を示すものである。

3. 通過点の選定

作業道が開設されるべき最適通過点の選定は、各単位面積におけるしごと量合計を比較し、そのなかで最小値をもつ単位面積を選ぶことである。ここで、われわれはこの単位面積を最適通過点とみなすことができるのである。また、W1, V1, V2 といった計算値も決定することができる。

4. 総費用の計算

上述の値の決定によって、総費用は W1, V1, V2 の値を式(1)と式(2)に代入することで計算される。

5. 新しい総費用と前の総費用との比較

ここで、TC: 新しい選点状態における総費用

CTC: 前の選点状態における比較総費用

$$TC < CTC \dots\dots\dots(4)$$

または, $TC \geq CTC$ (5)

もし, TC と CTC との関係が (4) 式で示されるならば, われわれは新しい選点は有効なもののみならずことができる。そして, もしその関係が (5) 式で示されるなら, それは無効なもののみならずことができる。

6. 最小コストと最適通過点の決定

選点された点が有効とみなされたならば, $Y1, Y2, V1, V2, R$ といった計算結果はライン・プリンタで印刷されることになる。そして, 選点の過程にふたたびもどり, TC と CTC が (5) 式の状態になるまで同じ計算をくり返すのである。

ここで, すでに選ばれた点を適宜結ぶならば, この林地における作業道の最適ネットワークがえられるのである。

文 献

- 1) 木村健康訳 (Rostow, W.W.): 経済成長の諸段階, ダイヤモンド社, 234pp., (昭.36, 1961)
- 2) 加藤誠平: 伐木運材経営法, 朝倉, 300 pp., (昭.27, 1952)
- 3) MATTEWS, D. M.: Cost Control in the Logging Industry. McGraw-Hill, New York, 374 pp., (1942)
- 4) 上飯坂 実: 林道の最適密度に関する研究 (I) ——標準モデルについて——, 日林誌, 45, 9, 289~292, (1963)
- 5) 大河原昭二: 帯広営林局管内におけるトラクタ集材距離とトラック作業道密度の合理的関連性に関する研究 (I) ——数学モデルの前提条件——, 日林誌, 46, 7, 231~236, (1964)
- 6) ————: " " " " (II) ——矩形平地林における数学モデル——, 日林誌, 46, 8, 269~273, (1964)
- 7) ————: " " " " (III) ——地形上の制約をうける場合の計画法——, 日林誌, 46, 9, 311~316, (1964)
- 8) ————: " " " " (IV) ——本計画法の適用例——, 日林誌, 47, 6, 225~230, (1965)
- 9) 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, 61, 1~31, (1965)
- 10) ————: 林道網計画に関する研究, 日林誌, 49, 2, 53~65, (1967)
- 11) ————: 林道網計画に関する研究, 東大演報, 64, 1~58, (1968)
- 12) KATO, S.: Studies on the Forest Road System ——Preliminary report on the road density ——, 東大演報, 63, 215~232, (1967)
- 13) 林業土木コンサルタンツ: 合理的林道網計画, 96 pp., (昭.42, 1967)
- 14) 加藤誠平訳 (PESTAL, E.): 林道密度は集材法によってきまる, 森林利用研究会資料 No. 58, 9 pp., (1963)
- 15) LARSSON, G.: Studies on Forest Road Planning. 8~40, (1959)
- 16) 青木信三: 高密度路網営林法, 日本林道協会, 143 pp., (昭.45, 1970)
- 17) MOROTO, T.: Operational Problems in Steep Mountain Regions., IUFRO, 21pp., (1967)
- 18) 神崎康一: グラフ理論による林道網計画法, 日林誌, 48, 10, 369~371, (1966)
- 19) 有水 強: 林道密度に関する研究 (I) ——序説——, 林試研報, 173, 81~91, (1965)
- 20) ————: " " (II) ——林道の経済効果とキャパシティ・コスト——, 林試研報, 191, 135~156, (1966)

- 21) 玉城 哲：後進地域における林道投資，水利科学研究所，55～69，(1964)
- 22) 堀 高夫ほか1：集運材地域の平均傾斜判定法，日林誌，47，10，337～341，(1965)
- 23) ————： “ ” “ ” (II) ——等高線長の測定により判定する方法——，日林誌，50，8，231～237，(1968)
- 24) 堀 高夫ほか2：森林利用学的地形分類に関する研究(予報)，日林大講要旨，416～417，(1970)
- 25) 帯広営林局：製品生産事業研究発表論文集，9，(1966)
- 26) 農林水産技術会議編：農学・生物学のための FORTRAN 入門，日科技連，227 pp.，(昭.44，1969)
- 27) 帯広営林局：林業機械化推進に伴う林道路網の配置ならびに作設に関する研究，64 pp.，(昭.45，1970)
- 28) 佐々木恒一：道路の経済効果と投資基準，技術書院，117 pp.，(昭.40，1965)

Studies on the Forest Road Network with the Use of
Electronic Computer (1)

A method of determining the optimum passing
points and the density on the logging road

Masahiko HIRAGA⁽¹⁾

This method, as well as MATTHEWS' optimum road theory, is based on the minimum cost idea, that the optimum density of the logging road should keep the total of prehauling cost and road construction cost down to the minimum.

But the difference between MATTHEWS' theory and the author's is that the former is the calculation formula derived from the theoretical model, while the latter is the results obtained from the method of trial and error by electronic computer calculation.

On the other hand, there are various types of prehauling practiced in our country. Among them, the following two types are considered to be suitable from the view points of mechanized operation and average prehauling distance. One is the long-distance type; it is the prehauling with the use of machines, such as yarder, tractor, and cable-way. The other is the short-distance type; it is the prehauling with the use of machines, for example truck-crane, tractor-winch and so on.

The results obtained from this study are as follows:

1. The formulas of prehauling costs

$$Y1 = A \cdot W + B \cdot V1 \dots\dots\dots (1)$$

$$Y2 = C \cdot V2 + R \dots\dots\dots (2)$$

$$TC = Y1 + Y2 \dots\dots\dots (3)$$

where

Y1: The sum of prehauling cost for the long-distance type in ¥.

Y2: The sum of prehauling cost for the short-distance type in ¥.

TC: Total cost in ¥.

A: Unit cost of prehauling in ¥ per m and per m³.

Received December 7, 1970

(1) Forest Mechanization Division

B, C : Unit cost of prehauling in Y per m^3 .

W : Amount of the work ; $\{V\} \cdot \{X\} \cdot \{T\}$

$V1$: Volume of timber to be prehauded by the long-distance in m^3 .

$V2$: Volume of timber to be prehauded by the short-distance type in m^3 .

R : The sum of road construction cost in Y .

2. Explanation of matrices

In this case, the matrix shows the factor of arrangement at the unit areas in the operation area so that there is a certain difference from the so-called "matrix" in the mathematical meaning.

a) Matrix of distance factor

It shows the arrangement of the length factor to be prehauded from the unit areas to the logging roadside in m .

b) Matrix of volume factor

It shows the arrangement of the volume factor to be prehauded from the unit areas to the logging roadside in m^3 .

c) Matrix of terrain-coefficient

It shows the arrangement of coefficient of difficulty of prehauling and of road construction at each unit area.

3. Selection of passing points

Selection of the optimum passing point on which the logging road is to be constructed is done by comparing each amount of work at the unit areas, and by selecting the unit area with the smallest value among them. In this way, we can locate this unit area as the optimum passing point, and then we can determine the calculated values ; $W, V1, V2$.

4. Calculation of the total cost

After the determination of the above values, the total cost be calculated by putting the values ; $W, V1, V2$, into eq. (1) and eq. (2).

5. Comparison of the new total cost with the former total cost

Where

TC : The total cost for new selection point.

CTC : The comparative total cost for the former selection point.

$$TC < CTC \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{or } TC \geq CTC \dots\dots\dots(5)$$

If the relation between TC and CTC is shown by eq.(4), we could estimate the new selection point as effective, and if the relation is shown by eq.(5), we could estimate it as ineffective.

6. Determination of the minimum cost and of the optimum passing points

When the selection point is estimated as effective, the results of the calculation. $Y1, Y2, V1, V2, R$ are printed by the line-printer. Then we must return to the process of selection points, and repeat the same calculation until the relation between TC and CTC becomes as eq.(5).

Hence, connecting the points which are already selected appropriately, we could obtain the optimum network on the logging road in this operation area.