

電算手法による林道網計画法に関する研究 (Ⅱ)

簡単な伐区形状パターンによる集材作業
道網決定の一方法平 賀 昌 彦⁽¹⁾Masahiko HIRAGA : Studies on the Forest Road Network
with the Use of Electronic Computer (Ⅱ)
A method of determining the logging road network
adapting the simple form patterns

要 旨：筆者は第1報において、林分に材積が不規則に分布するとき、それを最小費用で集材するための路網配置は一般にツリー (Tree) の形状となる旨を報告した。しかし一方、最近の高密度路網を中心とした機械化作業の観点にたつとき、路網は循環系に配置すべきであるという技術予測が存在する。したがって、本報告においては、循環系を前提とした路網配置において、その合理的なあり方と、定量化の方法を検討してみた。

計算手法については、電算処理を前提として、伐区形状をイ) 三角形、ロ) 方形、ハ) 菱形、ニ) 台形の4パターンに、また、路網配置をイ) 突込み型、ロ) 単循環型、ハ) 複循環型の3パターンに各々分類し、それらをシステムチェックに展開しながら、各ステップにおける集材総費用を算定し、その最小値をもって目的とする適正路網配置の決定をおこなうものである。

なお、この結果得られる“解”は、パターンによる標準モデル値であって、現地適用にさいしては、現場技術者の判断と修正によって最終的なネットワークが決定されることになる。

目 次

まえがき	100
I 計画手法	101
1. 伐区形状パターン	101
2. 路網パターン	102
3. 平均作業距離	107
4. 集材費用関数	112
5. 最適解	118
6. 電算プログラム	120
II 帯広営林局管内における調査例	123
1. 集材費用関数の決定	123
2. 足寄営林署風達製品事業地における計算例	123
3. 陸別営林署敷根別製品事業地における計算例	134
あとがき	143
摘 要	143
文 献	145
Summary	146
Reference table	149

ま え が き

われわれが、いま、ある目標達成のために一つの技術（技術系）を“選択”するとき、そこには、それと対照的に“棄てられる”技術が存在することを認識する必要がある。

この技術のスクラップ・アンド・ビルド、あるいは不連続性とよばれるものは技術発展にダイナミズムを与えるもので、技術革新のいわば原理原則といえるものであろう。

車両集材法を中心とした高密路網システムの考え方が、林業のなかに技術体系として注目されるようになった経緯は、まさにこういった期待のなかからであった。しかし、この両三年にわたる高密路網技術の発展経過をみると、一部の着実な成功実績をみながらも、その大勢は必ずしも順調とはいえず、手法模索の状態が続き、あるいは技術的インパクトに陥っている例すらうかがえる。この理由は、林野行政および技術研究の各担当者から、各様に指摘されており、いわば周知のことがらといえるが、それを概括すれば次のような諸点にあらうかと思われる。

イ）わが国の山岳地形が車両集材システムの導入を技術的に困難なものにしていること。

ロ）前提条件となる林業の機械化が、当面の課題である労働強度の高い部分の解決や、人間工学的問題に忙殺され、林業全体のシステ化の完成までに至っていないこと。

ハ）路網の開設効果測定手法の分野についていえば、直接便益はもとより、間接便益を含めた総合把握の手法解明がたちおけていること。

ニ）森林の土地利用区分が未整理のため、経営方針の具現策としての施業体系一路網計画に普遍性、客観性を欠いていること。

ホ）技術選択に対する地域慣行、あるいは労使間協約の存在が、合理化に対して消極的態度をとっていること。等々……。

これらの問題は、どれ一つとりあげても重要かつ解決の困難なものばかりである。しかし、これらの問題を回避して本当の技術革新がありえないことも、また事実であらう。

かつては森林に対する技術観が伝統的に形式を整え、研究者は自明の主題にむかって事実のみを詳細に追求すればよいという時代があった。しかし、現代では前述のように新しい技術の一つを選択するにつけても、多くの解明しなければならない問題が派生し、しかも、それをとりまく環境自身きわめて可塑的であって、そのすうせいは時には気まぐれでさえあるというのが実態である。加うるに、価値観の変化、および組織、人間関係の変ぼうのテンポはまさに激烈であり、それを反映した社会の技術革新への要請は日を重ねるにつれ強まりつつあるといえる。したがって、今日の技術者に期待される技術選択への責任はきわめて大きく、その可否が産業自体の盛衰を左右するといっても過言ではないと思われる。“何を選択して何を棄てるか——”，現代の技術者はこういった課題と常に呼応しながら研究方向を軌道修正し、社会要請にこたえていく責務を負わされているもので、このことは、技術の重みを自覚している技術者自身が、むしろよりよく認識するところであらう。

さて、本報告で解決を試みようとするテーマは前述した問題点のハ）に関するものである。このなかで、最も狭義かつ基本的な課題である集材作業道の直接便益に関して、電算手法を用いた評価法から適正配置を決定しようとするもので、本報告の第 1 報は「作業道の最適選点と密度決定の一方法」としてすでに報告をおこなっている³⁾。この主旨は、“伐区における仕事量最小の路網配置は一般にツリーの形状

となる”というものである。すなわち、集運材作業だけを考えた場合、伐区の“面”を作業道という“線”で区画していく方法は、木の幹と枝との関係のように、幹を中心として放射状に分岐していく形が費用的に最も効果的な配置であるというもので、このことについては理論的な証明を含めた発展的研究報告¹⁶⁾がすでにおこなわれている。

しかし一方では、高密路網を中心とした機械化作業の観点から、路網は“循環系”に配置すべきだとする技術予測が存在し、実践的な路線計画においてもこういう観点にたって設計された事例を多くみだすことができる。したがってここに、“経費最小としてのツリー系か、作業機能重視としての循環系か”という技術選択の問題が存在する。ここで、伐木集材事業を請負うといった限定的作業の場合をのぞくと、伐採対象の林地を将来とも育成し、再生産の基盤として経営していくためには循環系路網がのぞましいというばくぜんとした技術予測をもつことも可能であろう。しかし、現時点では“循環”そのものに対する経費ロスを理論的に補填できる研究はきわめて少ないように思われる。

したがって、本報告においては、“伐木集材経費の面ではツリー系配置が有利である”という前提をふまえながら、次の段階として“作業機能を重視した循環系路網を採用した場合、どのような配置展開が最も有利であるか”という過程でこのテーマを検討していくものとする。そのため、前回と同様に林内作業として伐木集材作業のみを選び、その費用を尺度とした評価方式をとることとする。このことは、将来“循環”に対する便益評価の解明がなされた時はもとより、育林、管理、観光等、各部門の便益評価手法が解明された時、そのような評価関数値を包括した計算式に本法のプログラムを改善する必要があるといえよう。

また、計算理論についていえば、本法はマチュース (MATTHEWS, D. M.)¹⁷⁾の最小費用理論 (Minimum cost idea) を採用しており、たとえば経営基盤の改善を優先した南方⁸⁾の限界林道密度方式 (Marginal cost idea) や、集材法によって道路網間隔を定めるペスタル (PESTAL, E.) の中欧方式 (Road spacing idea)⁶⁾とは計算手法の観点を異にするものである。

本報告に使用した計算資料については、主として帯広営林局の実績値を利用させてもらった。また、現地調査にさいしては有馬孝昌作業課長、大谷明己補佐、川原富雄技官をはじめ足寄、陸別、上士幌各営林署の担当官各位に懇篤なる協力を賜わり、貴重な資料の提供をうけた。ここに深く謝意を表わすものである。さらに本報告の電算プログラムの作成ならびに演算は、すべて農林計算センターを利用しておこなったものである。お世話になった指導員、事務担当の各位に対し、あわせて謝意を表わすものである。

I 計 画 手 法

1. 伐区形状パタン

わが国のような山岳地形においては、施業対象の林地は尾根あるいは沢といった地形条件の制約によって強制的に分断され、集運材をはじめとする林内作業は、そのような限定的ひろがりのなかにおこなわれるのが普通のかたちである^{*1)}。そのため、路網配置を考えるには、まず地形条件で区画された対象林地の形をできるだけ簡単なパタン (Pattern) にまとめることが、後で述べる電算計算のためにものぞましいことである。

既往の路網計画モデルは、いわゆる理論モデル (Theoretical model) を採用していることから Fig. 1 に示すような単純な形が多い。しかもそれは、長方形ないしは長方形プラス半円のパタンに総括されると

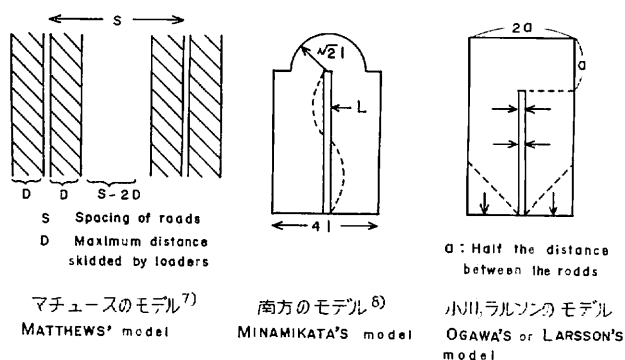


Fig. 1 理論モデル
Theoretical models.

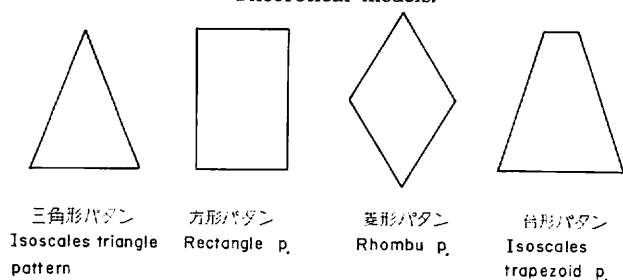


Fig. 2 伐区形状パターン
Form patterns.

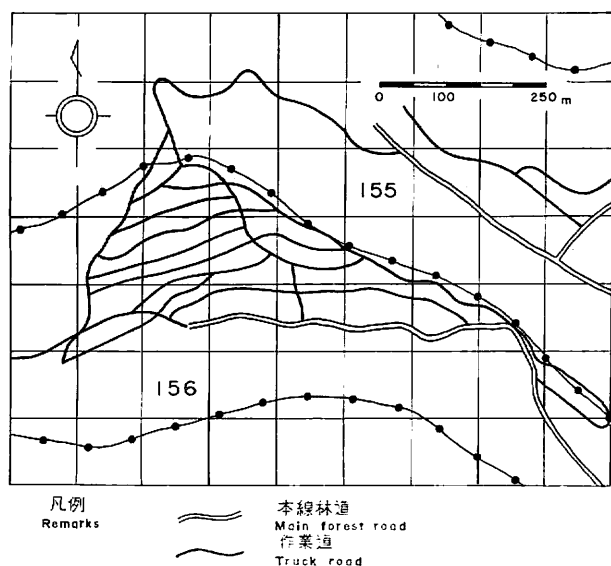


Fig. 3-1 陸別営林署林道配置図
Forest road map of RIKUBETSU District
Forest Office in HOKKAIDO.

由は、イ) 路網規模が比較的まとまっていること、ロ) 路線計画があらかじめ車両集材体系の導入を意図にたてられていること、ハ) 地形、立地条件が両者対照的であることなどにある。

これらの路線計画は、いずれも現地踏査に重点をおいた簡易設計法と、機械施工による路線開設がその

いうことができよう。

本法においては、電算手法を用いることにより、計算対象の伐区を直接的に処理できる利点から従来採用されていたモデルよりも、より現実の伐区形状に接近することを検討してみた。その結果、Fig. 2 に示すようなイ) 二等辺三角形（以下三角形という）、ロ) 方形（正方形を含む）、ハ) 菱形、およびニ) 等脚台形（以下合形という）の 4 パターンを選定した。このことにより、現実の伐区形状を比較的無理のない状態で把握することが可能になり、計算結果についてもより具体性が与えられることになった。

*1 たとえば「国有林野営規程の運用について」（昭和 44 年 8 月、44 林野計第 368 号、林野庁長官通達）の第 10 条（森林区画）に、林班にかかわる区分の具体的方法が示されているが、その最初の項に「林班は、原則として、天然界または固定的な道路、防火線等の界線により区画して設けるものとする」とある。

2. 路網パターン

路網を循環系に配置することは、具体的にどのような形をとるものであろうか。この点について、はじめに高密度路網の実例をあげてその特質を考えてみる¹⁰⁾¹¹⁾。

Fig. 3-1 および Fig. 3-2 は、それぞれ帯広営林局管内陸別営林署斗嵩 156 林班と、三重県尾鷲に所在する諸戸林産株式会社社有林の路網図を示したものである。

高密度路網の実例は、このほかにも多く知られているが、両者を選択した理

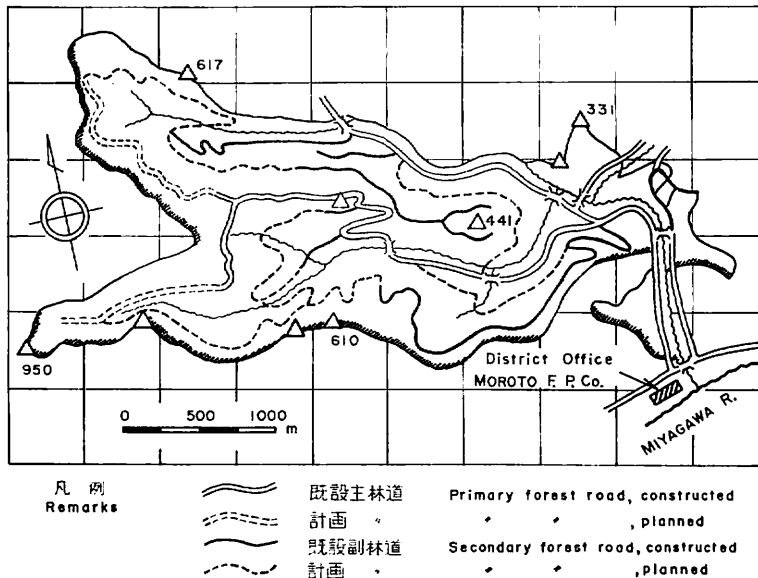


Fig. 3-2 諸戸林産 Co. 林道配置図 (文献10) 参照)

Forest road map of MOROTO Forest Product Co.,
Ltd. in MIE Pref. (cf. Reference 10) Moroto's).

特徴といえる。ただし、前者は大型機械を使用した施工法をとり、一部砂利敷費用を含めてmあたり開設費が500円程度であるのに対し、後者は地形条件の悪さから比較的小型機械を使用した施工法を採用し、mあたり約0.3kgの火薬を使用した結果、mあたり開設単価約1,800円のトラック道を完成したことが報告されている。

また、Fig. 3-1とFig. 3-2の線形および路線配置については、前者が比較的に整然と配置されているのに対し、後者は不規則で複雑な線形を示している。このように、両者の比較から、実際の路網配置は伐区の立地条件、経営規模、あるいは採用される作業体系によって、各様の形態を示すことが予想される。

さらに具体的に述べるならば、前者のような丘陵地形では、土砂崩壊の危険性がないことや、路網開設の困難箇所が少ないことから、作業能率を重視した路線間隔の適正配置が路網決定の要点になり、しかも、路線開設のさいは路線敷を思いきって伐開し、路面の乾燥をはかることが敷砂利量を節約し、ひいては路線維持管理の面からも有利だとされている。これに対して後者では、地形条件の制約からまず施工機械の選択からはじめなくてはならない。また、林地保全と低コスト施工を確保するためには、路線線形やうかいの問題は二義的なものとし、開設の容易な部位を選択しながら、しかも路線敷はできるだけ狭くとして林地崩壊を防がなければならない。これらが後者における路線計画の要点だといえよう。

また、同じ丘陵地形でも、経営規模の大小によって採用されるべき作業体系に差違を生じ、ひいては路網のあり方にも影響をあたえることが考えられる。すなわち、経営規模が小さい場合には、資本装備の関係からいって作業体系は簡易なものとなり、そのためいきおい高い路網密度が要求されることになる。反面、規模が大きくなれば、労働生産性向上のためのトラクタ、トラック・クレーンといった大型機械の導入が可能となり、その作業能力が発揮される結果路網密度は前者よりも低い範囲におさまるのが通例とされている。

このように、路網配置の問題はその林分（伐区）に適用される作業体系、あるいはその高次にある施業方針を反映して決定されるべき性格をもつものと考えられる。したがって、路網密度そのものの数値だけを取り出してその多少を論ずることは、路網計画のあり方からいってあまり意味のないことだといえよう。

ついで、循環系に指向しながら路網配置を展開していくうえで留意しなければならない“効率”の問題について考えてみる。それにはルンツマン (LÜNZMANN, K.)¹⁾の“開発指数”の考え方が参考になる。

いま、路網密度をしだいに増加させ、路線間隔を狭めていくとき、その間隔を常時平行に維持しながら配置を考えることは現実問題として不可能であって、どうしても連絡、あるいは循環のための路線が必要となってくる。

その関係は、Fig. 4 における M 1、または M 2 のような路線配置にロスのない状態から、M 3 以下、M 8 に至るまで種々の形で表わされ、路線配置機能（あるいは作業距離短縮効果）に重複による無駄が生ずることを示している。ルンツマンは、これを開発指数 (Ke) と名付け、(1) 式のように定義し、路線配置の効果を表わす指数にしている。

$$Ke = \frac{\text{林道密度(m/ha)} \times \text{平均作業距離(m)}}{2500 \text{ (m}^2\text{/ha)}} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、ルンツマンは一つの理想的な路網配置として M 9 モデルをあげているが、このモデルは本報第 1 報で論じている“林分材積が均等な場合におけるツリー系路網配置”と結果がきわめて類似している。

この例でも明らかなように、路網配置における“循環”そのものは重複要素を意味するため、理論的にはなるべくそれをさけ、どうしてもさけられない分岐点部分では、できるだけ直角に近い状態で連絡するのがのぞましい。

また、前節でも述べたように、路網配置を電算処理するためには、その展開方式が見た目はもちろん、手法上もシステマチックなものでなければいけない。以上の要件について検討した結果、本法においては Fig. 5 に示す“路網パタンの基本展開”を採用することにした。

図示するように、路網配置はまず路線が全くない状態 (0-0) から出発し、3つの型、すなわちイ) 突込み型 (0-1)、ロ) 単循環型 (0-2)、そして複循環型 (0-3) という順序に路網配置を変化させていくが、この展開方式は、各伐区形状、すなわち三角形から台形まで、すべて共通に適用されることができる。

なお、路網配置をさらに高次元化する過程は Fig. 6 に示すとおりである。同図と基本展開との相違は、

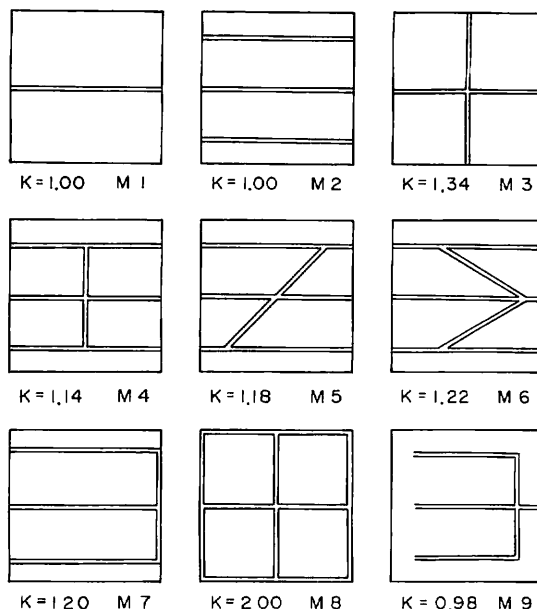


Fig. 4 ルンツマンの路網パターン (文献 1) 参照)
LÜNZMANN's network patterns (cf. Reference
1) FUJIWARA's).

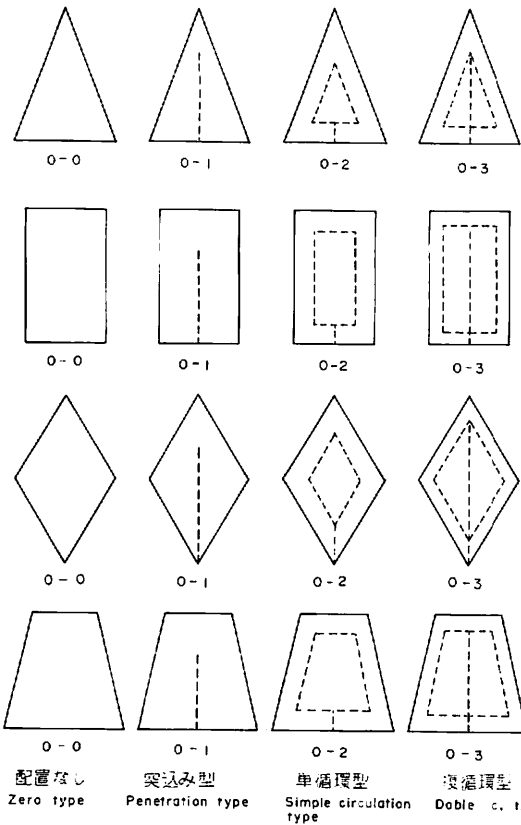


Fig. 5 路網パタンの基本展開
Fundamental development of
network patterns.

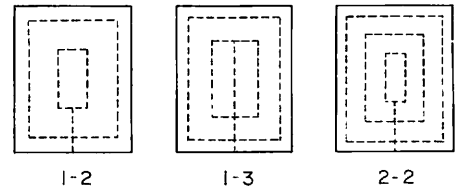


Fig. 6 路網パタンの高次展開
High degree development of
network patterns.

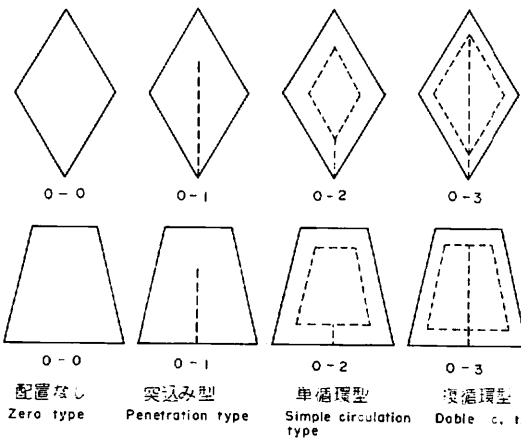


Fig. 7 基線位置と路線配置との関係
Relation between position of base
and network.

外周に路線配置が何重にあるかということだけであり、内部における突込み、単循環、複循環のかたちは前図とまったく共通のものである。また、この路網配置の状態を記号で表わす場合、一般に $m-n$ という形式をとるのが便利である。最初の m は外周路線の本数(回数)を示し、後の n は基本展開のパターンを示すものと約束する。したがって、たとえば $1-3$ は、外周路線が一周で中心部の基本展開パターンが複循環であることを意味する。

つぎに、路線展開のための“基線”をどこに定めるかについて考えてみる。

Fig. 5でもあきらかなように、路網を展開するためには各伐区形状における基線長を定め、その長さを 2, 4, 6, …… $2n$ と、偶数倍で除した値をもって路線間隔としている。この場合、方形および菱形モデルについては、集材方向を考えて、伐区の幅に相当する長さを基線としてさしつかえないが、三角形および台形については、底辺に平行で、しかもその伐区面積を 2 等分する線分 $\overline{MN}$ をもって基線長にあてることとする。これは路網配置におけるバランスを考慮したもので、たとえば三角形でそれを示すと、Fig. 7 のように底辺を基線長とした場合(同図上段の展開)路網の配置が内部に収斂する傾向が著しい。したがって、それを修正する意図で伐区面積を 2 等分する線分を選んだものである(同図下段の展開)。

このほか、路網配置の高次化によって、特に台形モデルの場合は内部路線形状に変形が生じたり²⁾、路

網パタンの展開順序に乱れが生じたり*3することがある。しかし、これらは電算プログラムの各ステップでチェックされ、正しい結果が誘導されるよう調整されている。

*2 台形モデルを例にとり、底辺に平行でしかもその伏区面積を2等分する線分 $\overline{MN}$ の決定法と、それを基線にして、各周辺から林道間隔相当分だけ内側に路網を配置したとき、路網に“変形”が生ずる条件、およびそのときの“路線延長”の算定方法について説明する。

基線長 y およびその高さ x の算定法

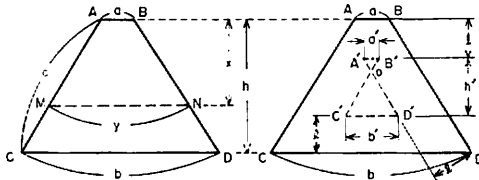


Fig. C1 参考図
Reference figure.

いま、参考図 Fig. C1 の左側図において台形面積を S とすれば、 x と y とには次の関係式が成立する。

$$\begin{cases} (a+y)x = S & \dots\dots\dots (1) \\ (b+y)(h-x) = S & \dots\dots\dots (2) \end{cases}$$

(1) 式より $x = \frac{S}{a+y}$ $\dots\dots\dots (3)$

(2) 式に (3) 式を代入して、 y について降べきの順にならべると下式を与える。

$$hy^2 + (ah + bh - 2S)y + abh - aS - bS = 0 \dots\dots\dots (4)$$

さらに、面積を求める一般式 $S = \frac{1}{2}(a+b)h$ を (4) 式に代入すれば

$$2y^2 = a^2 + b^2 \dots\dots\dots (5)$$

したがって

$$y = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}} \dots\dots\dots (6)$$

また、(6) 式を (3) 式に代入して下式を与える。

$$x = \frac{(a+b)h}{2\left(a + \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}}\right)} \dots\dots\dots (7)$$

路網配置が内側で交叉する場合の条件とその時の路線延長算定方法

同様に Fig. C1 の右側図を使って説明する。いま、路線間隔を l とすれば、各周辺から l のくい込みが大きいと、内側の路網配置は四辺形 $A'B'C'D'$ となって交叉した台形をかたちづくる。この場合の判定条件は $\overline{A'B'} = a'$ の値が正か負かによっておこなえばよい。また、路線延長については、交叉点 O から D' および C' の長さプラス $\overline{C'D'} = b'$ の長さとなることが図上からも推察できる。

いま、交叉した台形の高さを h' とおくと、

$$h' = h - 2l \dots\dots\dots (8)$$

同じく上底を a' とおくと、 a' 、 b' は

$$a' = a - \frac{2l}{h} \left\{ c - \frac{(b-a)}{2} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

$$b' = b - \frac{2l}{h} \left\{ c + \frac{(b-a)}{2} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

と示することができる。ここで、内側の台形 $A'B'C'D'$ の交叉する条件は (9) 式の値が $a' < 0$ の時である。また、 $\overline{B'C'} = \overline{A'D'} = c'$ とおくと、

$$c' = (h - 2l) \frac{C}{h} \dots\dots\dots (11)$$

一方、交叉した場合の路線延長は $\overline{OC'} + \overline{OD'} + b'$ であり、 $\overline{OC'} = \overline{OD'}$ ゆえこれを C' と置くと、 C' は下式のような関係式で示される。

$$a' : b' = (C' - c') : C'$$

したがって、 C' についてこれを解くと

$$C' = \frac{Cb'(h-2l)}{h(a' + b')} \dots\dots\dots (12)$$

台形の内側が交叉する場合の路線延長 L は、(10) 式と (12) 式から次式のように示される。

$$L = 2C' + b' \dots\dots\dots (13)$$

*3 Fig. C.2 の三角形において、底辺を b 、高さを h とするとき、 $b < h$ なる条件が成立するものとする。ここで、路網間隔 l で区画した三角形の内側に路網 $A'B'C'$ が配置される条件について考えてみる。

いま、もとの三角形 ABC の各辺から、路網間隔の3倍 ($3l$) で区画される三角形を $A''B''C''$ とする。この三角形の底辺長を bbb とすれば、 $bbb > 0$ の時は ($b < h$ の条件から、 $hhh > 0$ でもある) 路網 $A'B'C'$ が無

条件に成立する。もし、 $bbb \leq 0$ であっても $bb > 0$ であれば、 bb と l の関係から $bb < 2l$ の時は突込み型、 $2l \leq bb < 4l$ の時は単循環型、 $4l \leq bb$ の時は複循環型となることについては Fig. 5 で示した路網パタンの基本展開で論じたとおりである。なお、 $bbb > 0$ の条件が成立した時、路網 $A'B'C'$ によって集材される領域は三角形 ABC と三角形 $A''B''C''$ で囲まれた部分である。したがって、次の路網配置を考える場合は、三角形 $A'B'C'$ より内側に対してこれと同様な過程を繰返すことになる。

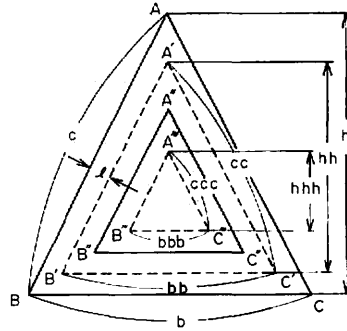


Fig. C.2 参考図
Reference
figure.

3. 平均作業距離

平均作業距離とは、本報の場合“伐木集材作業”のみを考えているため平均集材距離と同意義である。すなわち、伐区内に均等に分布する立木を伐倒し、すでに開設された作業道沿いか、あるいはあらかじめ定められた集材地点に最短距離で運ぶための総集材平均距離と定義しうるもので、これは、いわゆる“仕事量”の概念で把握できる因子である。

この考えの基礎的な研究として大河原¹⁵⁾の報告があるが、筆者は本報第1報においてこの考え方を拡張し集材対象立木が伐区内に不均等に散在する場合における仕事量の定量化手法について、検討をおこなっている³⁾。しかし、ここでは、主として計算の簡便化のため既往路網モデルの例にならって、区画された伐区における立木は均等分布するという仮定のもとに作業をすすめることにする。

ところで、“仕事量”の考え方を利用して平均作業距離を求める一般的な手法は次のように示すことができる。

いま、伐区の全体面積を S 、任意の部分面積を S_i 、それに対応する平均作業距離（この場合、部分面積の重心位置から集材地点までの距離と考える）を x_i とすれば、総平均作業距離 $\bar{x}$ は下式によって示される。

$$\bar{x} = \frac{\sum S_i \cdot x_i}{S} \dots\dots\dots (2)$$

この場合、 S_i と x_i との積は仕事量（あるいは仕事）に相当するものである。

なお、部分面積は伐区が配置された路線で区画された結果考えられるものであり、大別して a) 路線沿いに、路線に垂直方向に集材される部分面積群と、b) 路線先端部、あるいは点として存在する集材地点に、集中的に集材される部分面積群に分類することができる。本計算法において採用した伐区形状および路網パターンは、ある程度限定されており、しかもシステマチックなかたちをとるため、検討を必要とする部分面積と作業距離との関係はさほど多いものではない。以下、それについて説明する。

a. 路線沿いに垂直的に集材される場合の伐区形状と平均作業距離について (Fig. 8 参照)

イ) 長方形モデル

長方形の高さを h とすれば、平均作業距離 $\bar{x}$ (以下同じ) はその $1/2$ とみなせるから次式がえられる。

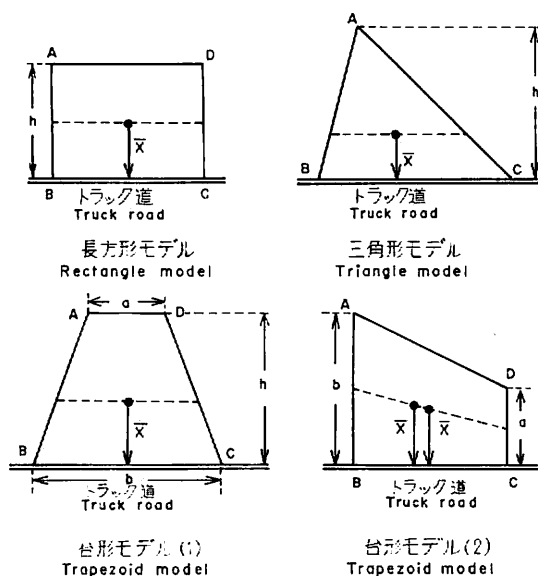


Fig. 8 路線沿いに垂直的に集材される場合の各形状モデルと平均作業距離の関係

Relation between average distance skidded vertically to truck road side and each form models.

$$\bar{x} = \frac{1}{2}h \quad \dots\dots\dots (3)$$

ロ) 三角形モデル

路線に平行で、かつ三角形の面積を2等分する線分までの距離を $\bar{x}$ と考えて次式がえられる。

$$\bar{x} = \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2}\right)h \quad \dots\dots\dots (4)$$

ハ) 台形モデル

モデル(1): 左図においては、三角形モデルと同じく、 $\bar{x}$ を面積の2等分線までの距離と考えて次式がえられる。

$$\bar{x} = h - \frac{(a+b)h}{2\left(a + \sqrt{\frac{a^2+b^2}{2}}\right)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

モデル(2): 簡便計算には、平均の高さ相当を求め、その1/2の値を $\bar{x}$ と考える。

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{2}(a+b) \quad \dots\dots\dots (6)$$

より正確には、面積を2等分する路線に垂直なる線分を求め、その1/2として次式がえられる。

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{a^2+b^2}{2}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

b. 路線先端部、あるいは点として存在する集材地点に集中的に集材される場合の伐区形状と平均作業距離について (Fig. 9 参照)

イ) 長方形モデル

いま、Fig. 9-1において、図の右下端 P 点を集材地点とするときの平均作業距離を考えてみる。長方形の高さを H、幅を B とし、それぞれの長さを任意の整数 n で除した値を h、および b とする。これによって長方形全体は $n \times n$ 個の部分面積集合体とみなすことができる。また、この部分面積の位置は、それぞれの重心位置によって代表されるものとする。

ところで、平均作業距離を表わす一般式は(2)式によって定義したが、整数 n が十分大きい場合は、これを次式のように書きかえても大きな誤差がないと思われる。

$$\begin{aligned} & \text{(各部分面積位置と P 点との平均距離)} = \text{(各部分面積の重心位置と仮の集材地点 (1, 1点) までの距離合計)} / \text{(部分面積の個数)} + \text{(P 点と Q 点との距離)} \\ & \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

これを一般数式であらわすと次式のようになる。

$$\bar{x} = \left\{ \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \sqrt{b^2(i-1)^2 + h^2(j-1)^2} \right\} / n^2 + \sqrt{\frac{b^2 + h^2}{2}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

ただし、 $\bar{x}$: 長方形における P 点までの平均作業距離、

b : 長方形の幅員 B を整数 n で除した値

h : " 高さ H を " "

n : 任意の整数

n^2 : 部分面積の個数

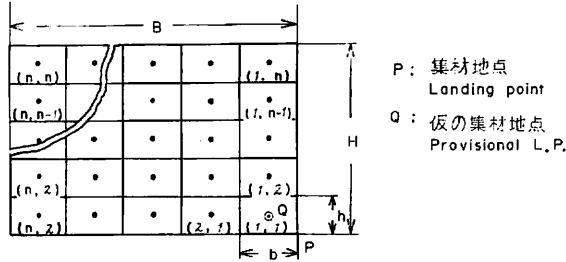


Fig. 9-1 長方形モデル
Rectangle model

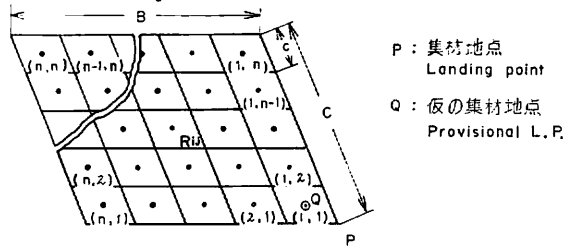


Fig. 9-2 平行四辺形モデル
Parallelogram model

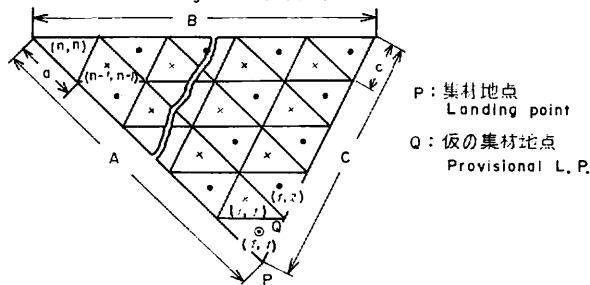


Fig. 9-3 三角形モデル
Triangle model

Fig. 9 路線先端に集中的に集材される場合の各形状モデルと平均作業距離の関係

Relation between each form models and average distance skidded concentrically to point of truck road.

上式において、右辺第2項は整数 n を十分大きくとれば、第1項の値と比較してきわめて小さな値となり無視することができる。またその結果は積分解に限りなく近づくことになる。

なお、(9)式の値は n が小さな場合には筆算が可能であるが、 n の増加につれて部分面積の数が自乗倍に増加するので計算は著しく煩雑になってくる。したがって(9)式は、電算計算用の公式であるということができよう。これは、以下述べる(10)~(14)式についても同様である。

いま、正方形モデルを例にとって、整数 n を変化させた場合に平均作業距離 $\bar{x}$ がどのような値に収敛していくかを実際に電算演算した結果は Table 1 のとおりである。

ロ) 平行四辺形モデル

ついで、Fig. 9-2 における平行四辺形モデルの平均作業距離を考えてみる。計算手法の基本的考え方は

Table 1. 正方形モデルの平均作業距離
Calculation of average skidding distance for square models

底 辺×高 さ Base×Height	n の 値 Value of n	部 分 面 積 の 数 No. of partial area	平 均 作 業 距 離 Average distance
10 × 10	5	25	77.6145
"	10	100	77.1015
"	15	225	76.9118
"	20	400	76.8148
"	30	900	76.7169

長方形モデルとまったく同じである。すなわち、下辺長を B 、斜辺長を C 、任意の整数を n とし、 B 、 C の値を n で除した値をそれぞれ b 、 c とする。ここで、任意の部分面積の重心位置を R_{ij} とすれば、 R_{ij} と Q 点間の距離を求めるためには“三角形における二辺と夾角から他の一辺の長さを求める公式”を利用して

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A \dots \dots \dots (公式)$$

ただし、 a 、 b 、 c は三角形の各辺長、 A は辺 b 、 c の夾角である。

上式を利用すれば、任意の部分面積の重心 R_{ij} と仮の集材地点 Q 間の距離は次式によって示される。

$$\overline{QR_{ij}} = \sqrt{\{b(i-1)\}^2 + \{c(j-1)\}^2 - 2bc(i-1)(j-1) \cos \theta} \dots \dots \dots (10)$$

ここで θ とは、図において辺 C と辺 B ではさまれる右上隅の角度であり、各部分面積に対して共通する値である。したがって、平行四辺形全体の平均作業距離を求める一般式は次のように示される。

$$\bar{x} = \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\sqrt{\{b(i-1)\}^2 + \{c(j-1)\}^2 - 2bc(i-1)(j-1) \cos \theta}}{n^2} \right\} + \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{c}{2}\right)^2 - \frac{1}{2}bc \cos \theta} \dots \dots \dots (11)$$

いま、(11)式を用いて簡単な平行四辺形モデルの平均作業距離を計算した例は Fig. 10 に示すとおりである。

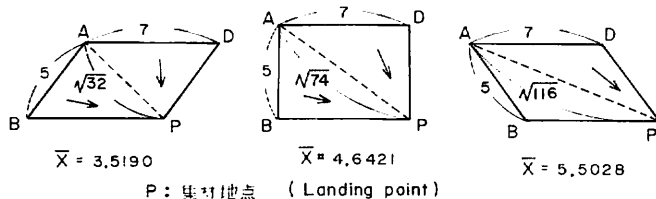


Fig. 10 平行四辺形モデルの平均作業距離
Average skidding distances for parallelogram models.

ハ) 三角形モデル

同じく Fig. 9-3 の三角形モデルを使って平均作業距離を考えてみる。この場合、底辺長を B 、斜辺長を C とし、整数 n で除した部分面積の底辺および斜辺長をそれぞれ b 、 c とする。なお、ここでも平行四辺形モデルに応用した三角形の二辺と夾角から残る一辺の長さを求める公式を応用することができる。ただし、区画された三角形の部分面積配列状態をみると、三角形の正立と倒立したものが交互に配列されていることから、これを2つの群に分けて集計した方が整理しやすい。そこで、集材地点を P 、仮の集材

地点を Q とし、図において正立三角形群(重心位置×印)の Q 点までの距離総和を α 、倒立三角形群(重心位置・印)の Q 点までの距離総和を β 、 Q 点と P 点の距離を γ とすれば、三角形全体の平均作業距離 $\bar{x}$ は次のように求められる。

$$\alpha = \sum_{I=1}^n \sum_{J=1}^I \sqrt{\{b(I-1)\}^2 + \{c(J-1)\}^2 - 2bc(I-1)(J-1)\cos A} \cdots (12)$$

$$\beta = \sum_{I=1}^{n-1} \sum_{J=1}^I \sqrt{\left\{b\left(I-\frac{1}{3}\right)\right\}^2 + \left\{c\left(J-\frac{2}{3}\right)\right\}^2 - 2bc\left(I-\frac{1}{3}\right)\left(J-\frac{2}{3}\right)\cos A} \cdots (13)$$

$$\gamma = \frac{2}{3} \sqrt{b^2 + \left(\frac{c}{2}\right)^2 - bc \cos A} \cdots (14)$$

$$\therefore \bar{x} = \frac{\alpha + \beta}{n^2} + \gamma \cdots (15)$$

いま、(15)式を利用して簡単な三角形モデルの平均作業距離を計算した例は Fig. 11 に示すとおりである。

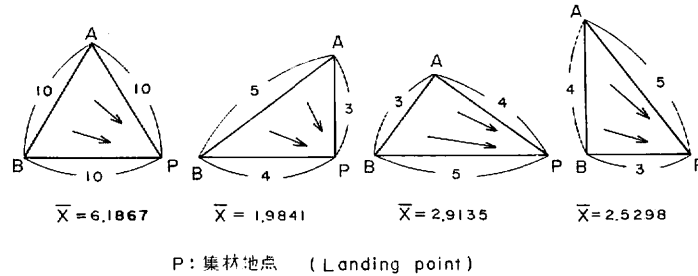


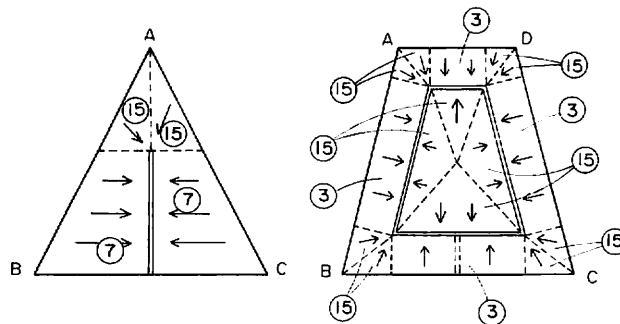
Fig. 11 三角形モデルの平均作業距離

Average skidding distances for triangle models.

c. 伐区全体に対する平均作業距離について

伐区全体の平均作業距離を求めるには、今まで述べてきた(3)～(15)式を利用して、伐区を平均作業距離が計算できる基本形に分割することが要点になる。その具体的な例は、Fig. 12 のとおりである。

同図は路網配置のきわめて簡単なケースであり、路網配置が高次化すれば分割される部分面積は急激に



(注) 丸印の番号は適用される公式番号を示す
Number in circle shows adaptable formula number

Fig. 12 伐区の分割と適用される公式番号

Dividing of operation areas and their adaptable formula number.

増加することが予想される。しかし、このことは処理手をあらかじめ電算プログラムに組み込むことで、迅速かつ正確に結果をうる事が可能である。

4. 集材費用関数

路網計画は2節でも触れたように、その林地で採用される作業体系、あるいは上部計画としての施業方針によって各様のあり方が存在するものである。わが国の林業経営の実態をみると、所有形態、経営規模、立地条件、経営意欲など、きわめて多岐にわたる様相を呈しており、しかも、それら前提条件が林業経営の成立要件を規定していることも事実である。本報告においては、それら問題についてはひとまず捨象し、大規模経営がおこなわれている国有林の場合を例に手法を展開していくものとする。

ところで、いま、路網計画が作業体系との関連なしにはそのあり方が論ぜられないことを指摘したが、たとえば、ある林地に対して施業計画が策定され、事業計画にもとづく作業体系が明らかになっている場合、そこに至るまでにはその林地に対する経営目標と、それに到達するための技術選択の検討が十分になされたものと考えてよいと思われる。したがって、本報告のように、計画の対象となる林地が比較的限定された面積であり、その範囲において費用最小に指向した作業道網計画をたてる場合には、作業体系はあらかじめ与えられる“絶対的な要件”とみなしてさしつかえないであろう。

ついで、本報告に採用した作業体系について説明する。すでに述べてきたように、本報告における手法の要点が路網の配置とその展開方式にあるので、その説明のためには、より路網が配置される作業体系、すなわちトラクタ、およびトラック・クレーン集材方式を選び、作業方式のなかでは最近もっともおこなわれている全幹集材法における集材費用と路網配置の適正なあり方を検討してみた。

わが国の一般的な集材法には、このほか集材機集材法があり、平均作業距離によって集材費用を算定する手法そのものが適用される限り、この集材法に対しても同様の考え方を適用することが可能である。しかし、集材機集材法においては、作業距離の短縮効果がそれほど顕著にあらわれないこと、また集材地点（盤台位置）の制約から路網効果を数量化する点で未整理の問題があることなどを考えて、今回の調査対象から除外することにした。ただし、作業距離の短縮効果が低いことでは、トラクタ集材についてもいえることで、一般的傾向は両者ともほぼ同様の結果が得られることが知られている²⁾。

つぎに、路網計画をたてる場合の評価尺度について考えてみる。このことには、つぎのような原則的説明が存在する。すなわち、“路網の開設効果とは、林内に路線を適正に配置させることにより林内作業距離を短縮させ、その結果路線開設費を含めた林内作業にかかわる総費用を最小にするよう指向すること”である。換言すれば、“路網理論は作業距離を変数とした費用関数として存在する”ことを示唆するものである。ちなみに、既往の路網理論の多くは、このことを原点として出発しているということができよう。

一方、これら路網理論の原則は、現場技術者には評判が悪く、むしろそれゆえに路網理論の定着が遅れているともいわれている。このことに関して、結論を先に述べるならば、既往の路網理論は費用関数の把握法があまりにも観念的であったため、実績工程を重視する現場要請に十分こたえることができなかったのが実情で、以下、具体的な資料から現場技術者の指摘する諸点を検討してみよう。

Fig. 13-1 および Fig. 13-2 は、帯広営林局内足寄営林署雌阿寒製品事業所におけるトラクタ全幹作業の実績を、同局監査課で調査した結果について示したものである¹³⁾。調査地の作業条件の概要は、次に述べるトラック・クレーン（モリクレーン）の調査地のそれとあわせて Table 2 に示すとおりである。

トラクタやトラック・クレーンに代表される車両集材法は、従来の集材機集材法と比較して付帯作業時

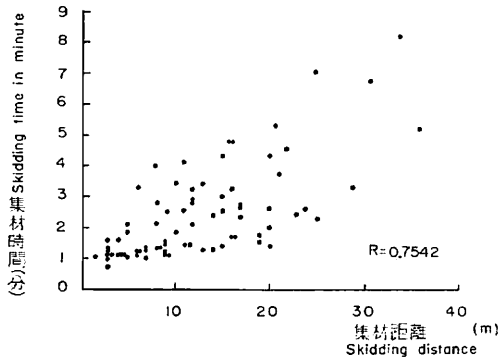


Fig. 13-1 トラクタ全幹作業における集材距離と時間の関係 (文献12)参照)
Relation between distance and time for stem-length skidding with tractor (cf. Reference 12) OBIHIRO R.F.O.'s).

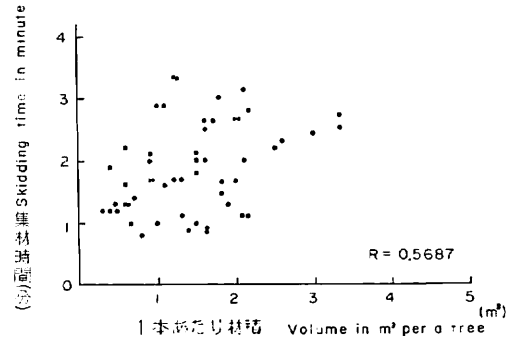


Fig. 13-2 トラクタ全幹作業における1本あたり材積と時間の関係¹²⁾
Relation between volume per a tree and time for stem-length skidding with tractor¹²⁾.

Table 2. 作業条件一覧表
Operational conditions

集材方法 Skidding type	トラクタ集材 Tractor skidding	トラック・クレーン集材 Truck-clane skid.
伐採方法 Cutting method	択伐 Selection cutting	皆伐 Clear cutting
主要樹種 Species	エゾマツ・トドマツ・アカエゾマツ <i>Picea, Abies</i>	エゾマツ・トドマツ・アカエゾマツ・シナ・ニレ <i>Picea, Abies, Tilia, Ulmus,</i>
ha 当たり資材量 Stand volume per ha	N: 90.7 m ³	N: 175.7 m ³ L: 87.7
資材 m ³ 当たり Volume per a tree	N: 2.3 m ³	N: 1.5 m ³ L: 1.8
ha 当たり出材量 Log volume per ha	66.6 m ³	200.6 m ³
林地傾斜度 Inclination	4°	5° ~ 15°
地床植生と疎密度 Ground flora and its density	小低木・疎 Bushes・Open	ササ・中 <i>Sasa</i> ・Med.

間/主体作業時間の比がきわめて小さいとされている。これは、集材機作業において避けることができない索の架設撤去、盤台作設といった作業がないためで、作業工程は主体作業時間に対しより密接な関係で表わされることが予想される。

本例におけるトラクタ全幹作業は、大別して回送—集材—曳行—荷おろしの4工程から構成されているが、このなかで工程に最も関係があると思われる集材距離について、集材時間(所要時間)との相関を求めたのが Fig. 13-1 である。

また、現場では作業距離が一定だとした場合に、作業能率を規制する幾つかの因子のあることが経験的

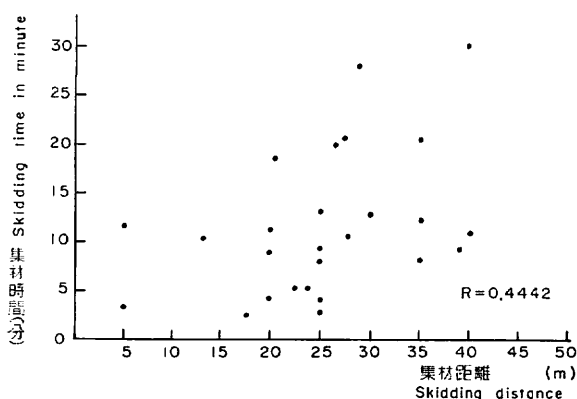


Fig. 14-1 トラック・クレーン全幹作業における集材距離と時間の関係 (文献13)参照)

Relation between distance and time for stem-length skidding with truck-clane (cf. Reference 13) OBIHIRO R. F. O.'s).

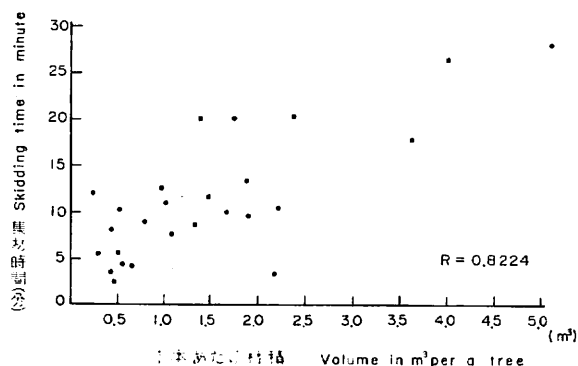


Fig. 14-2 トラック・クレーン全幹作業における1本あたり材積と時間の関係¹³⁾

Relation between volume per a tree and time for stem-length skidding with truck-clane¹³⁾.

に知られている。そのなかで、特に功程との関連が高いと思われる1本あたり材積の因子をとりあげ、集材時間との相関を求めたのが Fig. 13-2 である。

このトラクタ全幹作業においては、集材ウインチが変速できない (使用機種 NTK-4 型, ウインチ定速回転 1500rpm の時における巻込速度 28 m/min.) こともあって、集材距離と集材時間との間にはきわめて高い相関性が示されている (相関係数: 0.7542)。

つぎに、トラック・クレーン (モリクレーン) について同局作業課が同様の調査をおこなった結果¹³⁾を示すと Fig. 14-1 および Fig. 14-2 のとおりである。

この作業は、いずれも TWD-20 キャブ付シャシーに搭載された特殊集材用トーイングウインチ MCW-300—60 型によって集材された全幹材を造材し、MC-100 型クレーン装置のグラブによって林道沿いに簡単な巻立てをおこなうもので、作業員構成は運転手 1 名、集材手 1 名、造材手兼集材手 1 名の計 3 名編成である。

これを前図のトラクタ作業の相関係数と比較してみると、因子の比重が完全に

逆転していることがわかる。すなわち、集材距離と集材時間との相関係数は 0.4442 と低下し、反対に 1 本あたり材積との相関係数は 0.8224 と上昇していることが認められる。この理由は、トラック・クレーン作業の場合、トラクタ作業では人力に依存していた巻立作業を、グラブによって自らおこなうため集材距離に関係がない作業時間が付加されたこと、およびグラブ作業においても長大径材は処理時間 (造材時間も含めて) を要するため、1 本あたり材積の作業時間に占める比重が増したものと推定されている。したがって、特にトラック・クレーンの功程を考えると、“集材距離よりはむしろ 1 本あたり材積の大小を考慮すべきである”とする現場技術者の指摘は無視できないものがある。

また、帯広営林局が林業機械化協会に委託した報告書「天然林施業と高生産性施業のための新しい施業仕組の調査研究」¹⁴⁾においても、トラクタ作業の功程を平均作業距離との関連で論ずることのむずかしさを次のように指摘している (以下述べる所説は、結論に相当する部分を筆者が要約したもので、詳細は本報告書を参考のこと)。

全木トラクタ作業のネックとその対策に関する考察

イ) トラクタにおける1サイクルの作業時間は、各要素作業中、最も所要時間の長いものによって決まる。

ロ) この調査例(全木トラクタ作業、2路線2台方式、平均積載量 3 m^3)では、土場作業(2台分の玉切り)の処理時間が25.6分で、他の作業すなわち枝払い、荷造作業時間等と比較して最も時間が長いことがわかった。また、この時間に相当するトラクタ作業距離は532 mであった。

ハ) この結果、トラクタ作業距離が532 m以上の場合には、集材距離によって全体の工期が左右されるが、532 m以下の場合にはトラクタ作業に手待ち時間(余裕)が生じるだけで、工期は最も所要時間の長い土場処理能力によって決まることになる。

ニ) したがって、集材距離が532 m以下であれば集材距離短縮の効果がなくなり、ネック作業の解消が能率向上の要点になる。

以上の例でも明らかなように、現場工期の把握という視点にたつとき、“作業距離”の比重は意外に低く、多くの作業条件因子のなかに埋没してしまっているのが実態である。では、作業距離の因子は費用関数を定めるスケールとしてどのような位置づけがあたえられるべきであろうか。

このことは、冒頭でも触れたように、理論式としての費用関数が、いまだ実用段階に至っていないために起因する問題であって、実践的な研究が進むにつれて現場技術者をなっとくさせる結果が得られるものと思われる。そのためには、まず工期に影響を与える因子の整理をする必要がある。これまでの例からも明らかなように、現場工期は多くの作業条件因子が複雑に関連しながら決定されるものである。だが、それらは大別して次に示す3グループに分類することが可能である。

イ) 第1グループ：伐区林分の林業立地要件——たとえばhaあたり蓄積、樹種林齢構成、1本あたり材積回り、林地傾斜、谷密度、地床植生といった因子がこれに相当する。すなわち、その林分が本来、あるいは現況においてもつ作業条件因子群。

ロ) 第2グループ：作業体系における人間と機械との構成要件——たとえば使用機種、組人員、労働条件からくる作業規制といった主として技術選択が関連する作業条件因子群。

ハ) 第3グループ：路網——作業距離を決定する可変因子。

上記の分類によると、現場工期は第1グループの作業因子群によって大きく左右されることが確認されてきた。しかし、これらの因子は、その林分がもつ本来的(または現況的)属性による固定的な性質であって、人為的に何ら変更を加えることができないものである。すなわち、これらの因子はいかに工期に大きな影響をあたえるものであっても、集材の費用決定のためには、あくまでも定数的性格のものであり、変数として採用できない因子である。したがって、費用関数との関連においてこれら因子を取り扱う場合はa) 層化、あるいはb) 修正係数として考慮するのが適当である。

a) 層化の場合

いま、第1グループに属する条件Aの分類 $A_1, A_2, \dots, A_i$ が工期に有意差をあたえることが知られている場合、集材費用関数 $Y(X)$ を、Aの分類ごとに $Y_{A1}(X), Y_{A2}(X), \dots, Y_{Ai}(X)$ というようにおのおの独立的に決定する。

b) 修正係数の場合

同様に、第1グループに属する条件Bの分類 $B_1, B_2, \dots, B_j$ が工期に有意差をあたえる場合であっ

て、しかもその傾向が集材費用関数 $Y(X)$ 全体に適当な修正値を乗ずることで正しく把握されるときは、修正係数 C_{B1} , C_{B2} , …… C_{Bj} を決定することから標準集材費用関数の修正をおこなう。

汎用的な費用関数の決定には、こういった因子の整理が前提条件となるが、既往の路網理論ではこれら因子を捨象しているものが多く、前述したように工期把握に関心をもつ現場技術者の評価が得られない原因となっている。

第2グループは、いわゆる技術選択に関連する因子である。このことについて、本報告では“作業体系はあらかじめ与えられる絶対的要件”とみなすことにしているが、この因子をどの程度“可変的な要件”とみるかによって、費用関数ひいては路網体系のあり方が左右されることになる。たとえばいま、極端な現状固定主義をとり、現状の機械設備、作業員構成はもとより、作業員の熟練度、人間関係、慣習といったものまでも絶対的要件と考えた場合、現状の作業体系が最良であって技術革新はあり得ないという結果に陥るであろう。これは端的な例であるが、現場技術者はややもすれば第2グループ因子を固定的なものともみる傾向が強いようである。しかし、これら第2グループ因子を積極的に可変的な要因とみなし、路網配置の状態に応じた技術選択をダイナミックにおこなわないかぎり、有効な路網理論の展開は不可能であろう。

第3グループは、原則的には施工技術の制約以外には、人為的に自由に決定しうる因子である。しかし、これまで検討してきたように、路網は集材費用との均衡において決定されるものであり、しかも集材費用は、第1および第2グループの制約によって決められるものであるから、結局第3グループの路網因子は相対的なかたちで“解”が与えられる因子だといえることができる。

以上のことから、集材費用を決定する方法は、多く未解決の問題を残してはいるが、原則的意味において“路網開設効果を作業距離因子による費用関数として把握する”ことについては肯定しうるものと考えられよう。その整理手順を要約すれば次のとおりである。

イ) 作業距離因子以外に作業工期に影響を与える第1グループ因子を把握し、その因子の関数組込み方法を検討する。——このために因子の層化、あるいは修正係数化が有効である。

ロ) 作業体系を路網配置の展開に対応できるように機械設備、人員配置を検討する。——このためには現場技術者の技術予測と創意工夫が期待される。

ハ) 費用関数、あるいは作業体系の適用範囲を明確化しておく。——費用関数で計算された結果を実際の作業体系として実行できる範囲はおのずと限界がある。そのあい路となる因子は何か、その因子が改善された場合全体計画はどう修正されるべきか、このためには各作業因子の構成中、可変的要素と固定的要素を明確にしておき、将来の修正にそなえる必要があろう。

次は、実際の費用関数がどのようなかたちになるかを考えてみる。それには集材工期表を検討することでおよその傾向を把握することが可能である。

いま、帯広営林局における全幹集材作業工期表をグラフで示すと Fig. 15 および Fig. 16 のようになる¹³⁾¹⁴⁾。

同図によると、トラクタおよびトラック・クレーンともに1回あたり積載量(トラック・クレーンの場合1本あたり材積に同じ)が工期に大きな影響をあたえる因子となっており、これによって工期表が層化されている。したがって、この因子を一定とした場合、図に示すように工期と作業距離の間には負の相関が認められる。また、工期と費用は逆数的な関係があるから、結局費用関数は放物線の傾向を示すことになる。

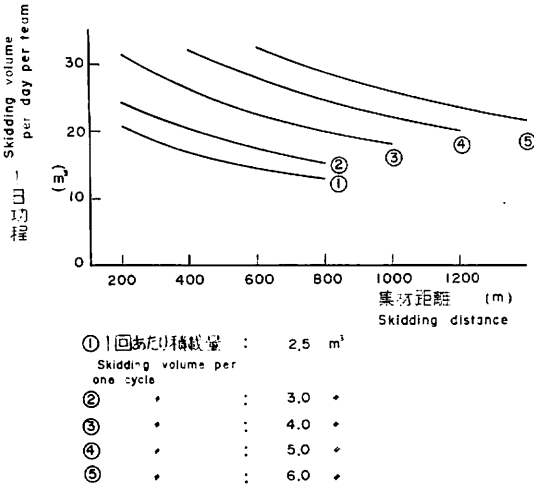


Fig. 15 トラクタ全幹集材効率
Efficiency for stem-length skidding with tractor.

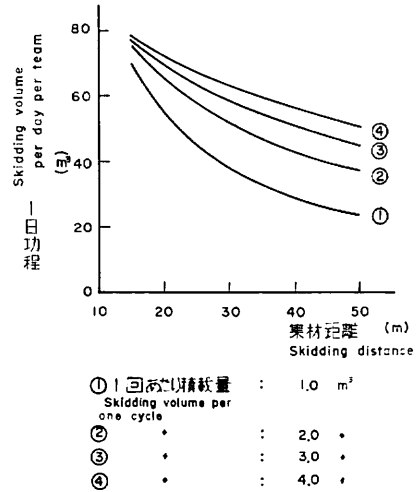


Fig. 16 トラック・クレーン全幹集材効率
Efficiency for stem-length skidding with truck & crane.

なお、路網理論における集材費用関数の一般的なかたちは、たとえばマチュースの手法に代表されるように、集材距離に比例する因子（集材費）と反比例する因子（道路開設費）の合計関数の最小値を微分法によって解くため、集材費用関数は集材距離 x の一次式として求める必要があった。それに対して本法は、微分法を用いず電算演算による直接比較法によって最小値を決定するため、費用関数のかたちは集材距離 x のいかなるかたちでもよいという特徴をもつ。しかし、ために複雑なかたちを採用する必要はない。したがって、前掲図の効率表から費用傾向を考慮して、集材距離 x の二次回帰曲線を採用することにした。

最後に集材距離の制限について考えてみる。いま、車両集材法のうちトラック・クレーン集材の場合、集材距離には制約があり、たとえば距離が 100m になると、ウインチ能力から効率が急激に低下し、さらに距離がのびると、いかなる方法をもってしても集材不可能な状態に達する。このように、集材距離因子の増加に弱い作業法を“短距離集材型”と呼ぶことにする³⁾。これとは反対に、トラクタ集材の場合は、機械本体が林内を移動し、集材距離の増減はさほど効率に影響をあたえない。このような作業法を“長距離集材型”と呼ぶことにする。ちなみに、従来の大型集材機集材や索道による作業法は後者に属するものと考えられる。

この両タイプの集材費用関数は、集材距離 x に関して対照的な制限が存在する。すなわち、Fig. 17 に示すように、短距離集材型の関数には最大集材距離： X_{max} 、が、長距離集材型の関数には最小集材距離： X_{min} 、が制限因子として作用するもので、仮

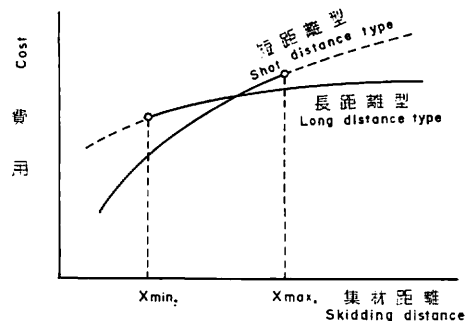


Fig. 17 費用関数における最大、最小集材距離の関係
Relation between Max. and Min. distance for cost functions.

に集材費合計がすでに最小値に達しない場合でも、その制限範囲で最小値を求めるというのが理論的にも、作業の実態からも妥当なことであろう。なお、このことについては後段の計算例において再度検討する。

5. 最適解

本法における路網配置の最適解とは、集材費合計が最小になる状態をいい、その時の路網パターンをもって最適路網配置と定義づける。ここで、集材費合計とは a) 集材費、b) 作業道開設費、および c) その他経費をさし、これら経費は次の費用を包括するものとする。

a) 集材費：伐区内においてすでに伐倒された全幹、全木、あるいは標準材を、トラック道ぞい、または所定の集材地点まで集材し、簡単な巻立てをおこなう費用。トラクタ作業においてはトラクタ道付け費を含む。

b) 作業道開設費：いわゆるトラック道開設費をいう。この規格構造はトラックが所定の積載量のもとに、安全に低速走行が可能な範囲においてできるだけ簡易なものとする。原則として伐区内開設延長を対象とするが、伐区内に利用できる既設道路がある場合はこの費用を含まず、反対に伐区到達までに要する伐区外延長はこれを費用に含むものとする。

c) その他経費：直接伐木集材作業に必要な a), b) 以外の経費、プラスその事業所が負担すべき間接費の合計をいう。この計算では伐木造材費、土場開設費、分担経費を見込んだ。

いま、上記各費用をそれぞれ $f_a(x)$, $f_b(x)$, $f_c(x)$ とし、その合計値を $F(x)$ とすれば、集材費合計は (16) 式によって表わされる。

$$F(x) = f_a(x) + f_b(x) + f_c(x) \dots\dots\dots (16)$$

この関数を縦軸に費用、横軸に集材距離をとった座標に表わすと Fig. 18 のようになる。

ここで集材費合計 $F(x)$ の最小値を求めるには、集材距離を短縮しながら、すなわち図の横軸を右側から左側へ移動しながら最小値 C_2 になる集材距離 X_2 をさがせばよい。この手順は次のとおりである。

i) 与えられた伐区（形状および面積）において、最初作業道が全く開設されていない状態における集材費合計を算定し、これを比較集材費合計 $CF(x)$ とする。

ii) あらかじめシステムチックに定めた路網展開パターンを 1 ステップ進める。この状態における平均作業距離から新しい集材費用関数 $F(x)$ を算定する。

iii) $CF(x)$ と $F(x)$ の比較をおこなう。もし $CF(x) > F(x)$ の関係が成立すれば、路網展開パターンを 1 ステップ進めたことが集材費合計の観点から有効なものと判断される。この場合、 $F(x)$ の値を $CF(x)$ に代入してふたたび ii) の段階へもどり、この計算を繰り返す。

もし $CF(x) \leq F(x)$ の関係が成立すれば、新しいステップは集材費合計をまえよりも高い（あるいは等しい）結果に導くことになり、その選択は不適当なものと判断される。この状態に達したときに計算を停止する。

iv) 集材費合計の最小状態は、 $CF(x) \leq F(x)$ の

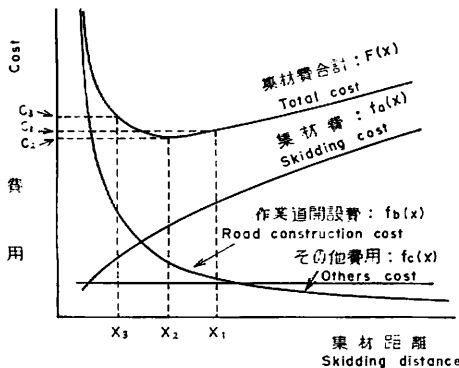


Fig. 18 各費用の構成
Construction of each cost.

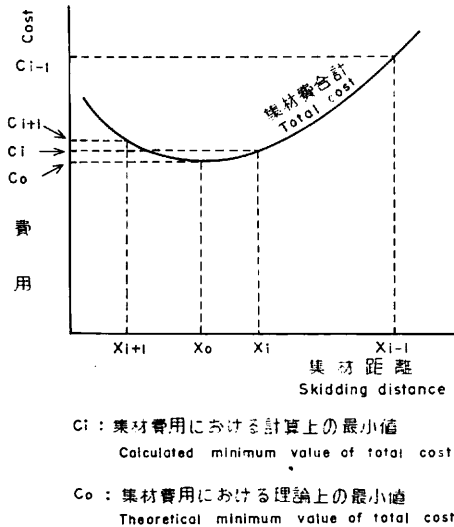


Fig. 19 計算上と理論上の最小値の関係
Relation between calculated minimum cost and theoretical minimum cost.

関係が成立する1ステップ前であると考えられるから、その時の集材費合計、すなわち計算停止時の $CF(x)$ の値を“解”とし、そのときの路網パターン、平均作業距離、各費用を確定すればよい。

以上の i)~iv) 過程によって集材費合計最小値が直接的に計算されるが、ある路網配置状態における集材費合計 $F(x_i)$ とは、その伐区形状に配置された路網から逆算される平均作業距離 x_i によって確定されるものである。しかし、この x_i は路網パタンの展開過程でかなり変動的の値をとり、少なくとも等間隔の短縮ステップをとらないことが予想される。その場合に、Fig. 19 に示すようにステップ i からステップ $i+1$ へ進むことによって、理論上の最小値を飛び越えてしまう可能性が出てくる。しかし、このことは“路網を循環系に配置しそれをシステムチックに展開する”という手法をとる限り、避け得ない誤差と考えざるをえない。実際の計算における集材費合計の最小値は、図にみられるように最適集材距離 x_0 ではなく、 $CF(x_{i+1}) \leq F(x_{i+1})$ において判定された集材距離 x_i に対する集材費用 C_i があてられることになる。しかし、実際のロケーション段階では、 x_0 のかわりに x_i が採用されることによる誤差はさほど問題にならないと思われる。それは、次のような理由による。

いま、Fig. 20 は三角形および台形における最適路網パターンと、その結果から実際に決定される路網を模式的にあらわしたものである。図でも明らかなように、計算結果は左側に示すような幾何学的配置としてあらわされる。それに対して、実際のロケーションは一般的に右側に示すような不定形配置となる。

計算結果必要となる因子は、イ) 最適集材距離(あるいは最適作業道間隔)とロ) 路網パタンの形状の2つであり、現地ロケーションにあたってはこの2因子を基準に、できるだけこれら条件を確保されるよう路網配置および路線通過点が決められることになる。この場合、計算結果の正確な再現の意味は、それ自体が目的ではなく、目標はあくまでも林内作業(この場合は狭義な集材作業)の合理的遂行にあると考えられる。したがって、伐区の傾斜方向、開設困難箇所、分岐点位置といった路線開設に関する直接条

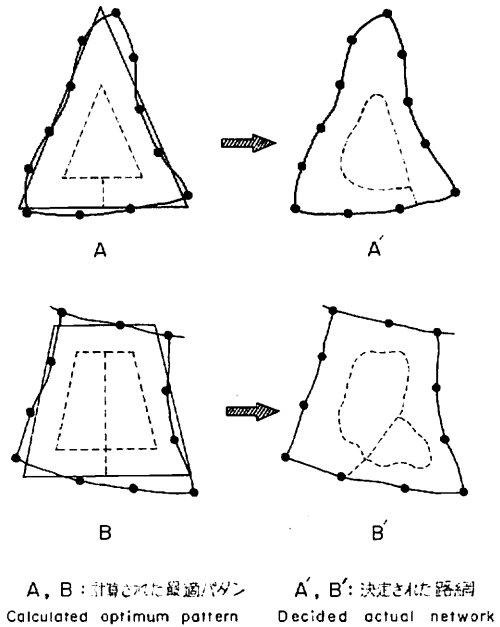


Fig. 20 計算値と実際の路網との関係
Relation between calculated optimum pattern and decided actual network.

件の考慮はもとより、伐区内立木度の大小、土場位置、休憩所といった事業実行に関する総合的条件を配慮して、最も合理的な路網が決定されるべきである。この意味から、最適集材距離が x_0 ではなく、 x_i であるための誤差は、実際の路線決定にはさほど支障にならないものと考えられる。

しかし、計算によって得られる上記 2 因子が、現地踏査あるいは路線選定時にあることの意義はきわめて大きく、これによって検討すべき項目の焦点が絞られ、従来費されていた多くの試行錯誤を大幅に削減することが可能になると思われる。

6. 電算プログラム

これまで各節を通じて路網計画のための基本的考え方およびその手法を部分的に説明してきたが、ここではそれらを総括し、自動的に分類、判断、および演算をおこなうための電算プログラムについて説明する。

電算演算用のプログラムの組立てのためには、まず“流れ図”(Flow chart)を準備しなければならない。この計算のための流れ図は Fig. 21 のとおりである。

a. 流れ図

図は計算のおおまかな処理手順を示したものである。実際のプログラムを書く場合は各段階における手順を詳細に示した流れ図が必要であるが、プログラム全体の構成をみる上では同図が便利である。

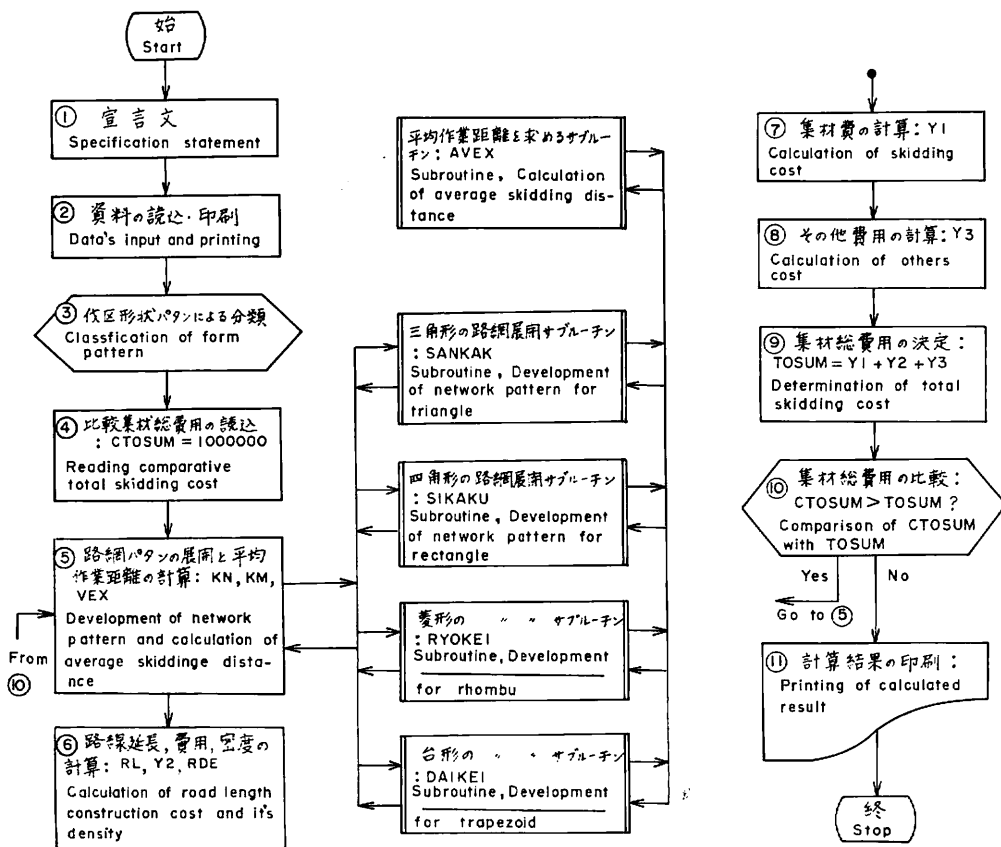


Fig. 21 流れ図
Flow chart.

プログラム (本文末尾付表 1 参照) は、比較的短い主プログラム (Mainprogram) と、それに接続する 5 組の副プログラム (Subprogram) から構成されている。

主プログラムの主要な手順は、流れ図に示すように、資料の読み込み→伐区パタンの分類→路網の展開と平均作業距離の計算→各費用および総費用の計算→総費用の大小比較→(繰り返し)→結果印刷というかたちをとるが、これら一連の手順のうちで最も肝要なのは同図⑥のステップ、すなわち“平均作業距離”と“路網パタンの展開”部分である。これら因子 AVEX, KN, KM は、それぞれ 5 組のサブルーチン AVEX, SANKAK, SIKAKU, RYOKEI, DAIKEI によって演算され、主プログラムへ解を送ることになっている。この場合平均作業距離を求めるサブルーチン AVEX は、路網展開に関係する他の 4 組の共通サブルーチンである。

b. データ・シート

資料をインプットするためのデータ・シートの書き方は Fig. 22 に示すとおりである。

PROBLEM		DATA SHEET					WRITTEN BY		平賀 昌彦		PAGE 1 OF 1								
路網パタン・プログラム																			
No.	NF	NRC	NLA	NN	MIL(I)	MAL(I)	FC(I)	FX(I)	FXx(I)	RC(J)	LC(J)	FP(I)	KK(I)	A(I)	B(I)	C(I)	IF(I)	IRC(I)	ILA(I)
1	3	5	3	8															
2																			
3	196.0	20.21	0.0	0.0	100.0														
4																			
5	435.0	1.03	0.0	100.0	0.0														
6																			
7	372.0	1.78	0.0	150.0	0.0														
8																			
9																			
10	320.0	430.0	540.0	650.0	760.0														
11																			
12	1040.0	1300.0	1740.0																
13																			
14																			
15																			
16																			
17	6764.0	588.4	0.70	0.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0										
18																			
19	0.0	0.0	1183.0	0.40	0.25	300.0													
20	NV1(I)	LV1(I)	NPI(I)	LFI(I)	NV2(I)	LV2(I)	NP2(I)	LP2(I)											
21	LA(I)	ERL(I)	IDC(I)	HI(I)	RI(I)	ARL(I)													
22																			
23																			
24																			
25																			

Fig. 22 データ・シートの記載例

An example of mention for data sheet.

なお、データ・シートの説明に使用した記号の意味は以下のとおりである。ここで、() の値は数値の単位をあらわし、[] の中の記号はフォーマット・タイプをあらわすもので、いずれも有効数値は 10 桁である。

記 号
Symbol

説 明
Explanation

NF : 集材費用関数の個数 No. of skidding cost function [I]

NRC : トラック道開設単価の個数 No. of truck road construction cost [I]

- NLA : 土場開設単価の個数 No. of landing construction cost [I]
 NN : 資料数 No. of input data [I]
 FC(I), FX(I), FXX(I) : 集材費用関数における係数 Coefficients of skidding function [F]
 FC(I) : 集材距離に無関係な定数 Coefficient of constant (¥), [F]
 FX(I) : 集材距離に比例する係数 Coefficient proportional to skidding distance (¥/m), [F]
 FXX(I) : 集材距離の自乗に比例する係数 Coefficient proportional to square of skidding distance (¥/m²), [F]
 MIL(I) : 最小集材距離 Minimum skidding distance (m), [F]
 MAL(I) : 最大集材距離 Maximum skidding distance (m), [F]
 RC(J) : トラック道開設単価 Cost of truck road construction in unit length (¥/m), [F]
 LC(J) : 土場開設単価 Cost of landing construction in unit area (¥/m²), [F]
 FP(I) : 林地形状パターン Form pattern [I]
 KK(I) : 正, 倒立区分 Classify between normal figure and inverted figure [I]
 A(I) : 上辺長または高さ Length of upside or height (m), [F]
 B(I) : 底辺長または幅員 Length of base or width (m), [F]
 C(I) : 斜辺長 Length of oblique side (m), [F]
 IF(I) : 集材費用関数番号 Skidding cost function number [I]
 IRC(I) : トラック道単価番号 Truck road cost number [I]
 ILA(I) : 土場単価番号 Landing cost number [I]
 NV1(I) : N1 樹種材積 Stand volume of N1 (m³), [F]
 LV1(I) : L1 樹種材積 Stand volume of L1 (m³), [F]
 NP1(I) : N1 樹種造材歩止り Bucking percentage of N1 [F]
 LP1(I) : L1 樹種造材歩止り Bucking percentage of L1 [F]
 NV2(I) : N2 樹種材積 Stand volume of N2 (m³), [F]
 LV2 : L2 樹種材積 Stand volume of L2 (m³), [F]
 NP2 : N2 樹種造材歩止り Bucking percentage of N2 [F]
 LP2 : L2 樹種造材歩止り Bucking percentage of L2 [F]
 LA(I) : 土場面積 Area of landing (m²), [F]
 ERL(I) : 既設トラック道延長 Length of existing truck road (m), [F]
 IDC(I) : その他経費 Others cost (¥/m³), [F]
 HI(I) : 作業迂回率 Ratio of increment in skidding (F)
 RI(I) : トラック道開設迂回率 Ratio of increment in truck road construction [F]
 ARL(I) : 到達トラック道延長 Length of access truck road (m), [F]
 NF' : プログラム終了番号 Program-end number
-

Ⅱ 帯広営林局管内における調査例

いま、この手法を適用して具体的な計算を帯広営林局管内足寄営林署、および陸別営林署でおこなった例を示すと次のとおりである。

1. 集材費用関数の決定

計算にさきだち、トラクタ全幹集材、およびトラック・クレーン(モリクレーン)全幹集材の費用関数を決定する必要がある。

帯広営林局管内で使用している全幹トラクタ、および全幹モリクレーンの作業功程表から集材費および処理共通費等を推定計算した値は Table 3, Table 4 のように示される。

なお、集材費用等決定のための主なる条件因子の値は次のとおりである。

(トラクタ作業関係因子)

組人員(含運転手、除伐倒作業手): 4名

1日平均労賃: 2,800円

トラクタ道付労賃: 39.25円/m

〃 mあたり機械損料、燃料費: 41.88円/m

〃 mあたり修理費: 28.0円/m

〃 1日あたり修理費(6~10t級): 2767.0円/日

〃 消耗品代(本機購入額の年4%): 976.0円/日

〃 運転経費(燃料・潤滑油): 991.0円/日

1日あたりサルキー使用料: 27.50円/m³

トラクタ償却費: 5612.0円/日

(モリクレーン作業関係因子)

組人員(含運転手): 3名

物件役務費: 2515.0円/m³

モリクレーン償却費: 4551.0円/日

上記条件から算定した集材費用関数は Table 5 に示すとおりである。これら関数は、1サイクル当たり集材材種ごとに区分されている実際の功程表の構成にしたがい、おのおの集材作業距離 x の2次関数として求めたものである。

2. 足寄営林署風達製品事業地における計算例

足寄営林署管内風達製品事業地 136い、137い 林小班において、昭和45年度に実行されたトラクタ全幹集材、およびモリクレーン全幹集材の作業実績数値は次のとおりである。

いま、調査対象地における作業条件、および実行経費内訳の概要を示すと Table 6~8 のようにあらわされる。

また、この箇所において実際に採用された集材作業方法別の伐区図は Fig. 23 に示すとおりであり、このため開設された作業道(トラック道)およびトラクタ道の路線配置図は Fig. 24 に示すとおりである。

したがって、これら実績資料から本手法を適用するための計算条件因子群は、Table 9 のようにまとめることができる。

Table 3. 全幹トラクタ作業

Table of operational cost and efficiency

集材距離 (m) Skidding distance	1 サイクルあたり集材量 $\sim 2.5\text{m}^3$ Average volume in m^3 per one cycle				1 サイクルあ Average volume in	
	功 程 m^3/day	集 材 費 Direct skid. cost ($\text{¥}/\text{m}^3$)	処理共通費 Indirect skid. cost ($\text{¥}/\text{m}^3$)	計 Total cost ($\text{¥}/\text{m}^3$)	功 程 m^3/day	集 材 費 Direct skid. cost ($\text{¥}/\text{m}^3$)
200	20.75	1193	955	2148	24.60	1031
400	17.25	1404	1123	2527	20.40	1211
600	14.75	1616	1292	2908	17.40	1393
800	13.00	1812	1450	3262	15.30	1563
1000						

集材距離 (m) Skidding distance	1 サイクルあたり集材量 4.0m^3 Average volume in m^3 per one cycle				1 サイクルあ Average volume	
	功 程 m^3/day	集 材 費 Direct skid. cost ($\text{¥}/\text{m}^3$)	処理共通費 Indirect skid. cost ($\text{¥}/\text{m}^3$)	計 Total cost ($\text{¥}/\text{m}^3$)	功 程 m^3/day	集 材 費 Direct skid. cost ($\text{¥}/\text{m}^3$)
200	31.60	837	669	1506	34.65	777
400	26.40	971	777	1748	29.25	891
600	22.80	1100	880	1980	25.20	1010
800	20.00	1232	986	2218	22.50	1112
1000	18.00	1352	1081	2433	19.80	1243
1200					18.00	1352
1400						

Table 4. 全幹トラック・クレーン

Table of operational cost and efficiency for

集材距離 (m) Skidding distance	1 サイクルあたり集材量 1.0m^3 Average volume in m^3 per one cycle				1 サイクルあ Average volume	
	功 程 m^3/day	集 材 費 Direct skid. cost ($\text{¥}/\text{m}^3$)	処理共通費 Indirect skid. cost ($\text{¥}/\text{m}^3$)	計 Total cost ($\text{¥}/\text{m}^3$)	功 程 m^3/day	集 材 費 Direct skid. cost ($\text{¥}/\text{m}^3$)
15	70.4	220	176	396	73.8	210
20	54.9	282	225	507	61.7	251
25	45.0	344	275	619	53.0	292
30	38.1	406	325	731	46.4	333
35	33.1	467	374	841	41.3	374
40	29.2	530	424	954	37.2	416
45	26.1	593	474	1067	33.8	458
50	23.7	653	522	1175	31.1	497

集材距離 (m) Skidding distance	1 サイクルあたり集材量 2.5m^3 Average volume in m^3 per one cycle				1 サイクルあ Average volume	
	功 程 m^3/day	集 材 費 Direct skid. cost ($\text{¥}/\text{m}^3$)	処理共通費 Indirect skid. cost ($\text{¥}/\text{m}^3$)	計 Total cost ($\text{¥}/\text{m}^3$)	功 程 m^3/day	集 材 費 Direct skid. cost ($\text{¥}/\text{m}^3$)
15	76.8	201	161	362	73.8	210
20	68.3	226	181	407	61.7	251
25	61.5	251	201	452	53.0	292
30	56.0	276	221	497	46.4	333
35	51.3	301	241	542	41.3	374
40	47.5	326	260	586	37.2	416
45	44.0	352	281	633	33.8	458
50	41.3	374	300	674	31.1	497

功 程 お よ び 集 材 費 一 覧 表
for stem-length skidding with tractor

たり集材量 3.0m ³ m ³ per one cycle		1 サイクルあたり集材量 3.5m ³ Average volume in m ³ per one cycle			
処理共通費 Indirect skid. cost (¥/m ³)	計 Total cost (¥/m ³)	功 程 m ³ /day	集 材 費 Direct skid. cost (¥/m ³)	処理共通費 Indirect skid. cost (¥/m ³)	計 Total cost (¥/m ³)
825	1856	28.00	924	739	1663
969	2180	23.45	1074	859	1933
1114	2507	20.30	1216	973	2189
1250	2813	17.85	1362	1090	2452
		15.75	1523	1218	2741

たり集材量 4.5m ³ in m ³ per one cycle		1 サイクルあたり集材量 5.0m ³ Average volume in m ³ per one cycle			
処理共通費 Indirect skid. cost (¥/m ³)	計 Total cost (¥/m ³)	功 程 m ³ /day	集 材 費 Direct skid. cost (¥/m ³)	処理共通費 Indirect skid. cost (¥/m ³)	計 Total cost (¥/m ³)
621	1398				
713	1604	32.00	828	663	1491
808	1818	28.00	924	739	1663
890	2002	24.50	1034	827	1861
994	2237	22.00	1134	907	2041
1081	2433	20.00	1232	986	2218
		18.00	1352	1081	2433

作 業 功 程 お よ び 集 材 費 一 覧 表
stem-length skidding with truck・crane

たり集材量 1.5m ³ in m ³ per one cycle		1 サイクルあたり集材量 2.0m ³ Average volume in m ³ per one cycle			
処理共通費 Indirect skid. cost (¥/m ³)	計 Total cost (¥/m ³)	功 程 m ³ /day	集 材 費 Direct skid. cost (¥/m ³)	処理共通費 Indirect skid. cost (¥/m ³)	計 Total cost (¥/m ³)
168	378	75.6	205	164	369
201	452	65.6	236	189	425
233	525	58.0	267	213	480
267	600	52.0	297	238	535
300	674	47.0	329	263	592
333	749	43.0	360	288	648
366	824	39.6	391	312	703
398	895	36.6	423	338	761

1 サイクルあたり集材量 3.0m ³ Average volume in m ³ per one cycle			
功 程 m ³ /day	集 材 費 Direct skid. cost (¥/m ³)	処 理 共 通 費 Indirect skid. cost (¥/m ³)	計 Total cost (¥/m ³)
77.4	200	160	360
70.2	220	176	396
64.2	241	193	434
59.1	262	209	471
54.6	283	227	510
51.0	303	243	546
47.7	324	259	583
45.0	344	275	619

Table 5. 集材費用関数における係数
Coefficients of skidding cost function

トラクタ集材費用関数 Cost function of tractor skidding				トラック・クレーン費用関数 Cost function of truck・crane skidding			
1 サイクルあたり集材量 Average volume in m ³ per one cycle	$y=ax^2+bx+c$ (¥/m ³)			1 サイクルあたり集材量 Average volume in m ³ per one cycle	$y=ax^2+bx+c$ (¥/m ³)		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
~2.5	-0.156×10 ⁻⁸	2.0178	1749.24	1.0	+1.818×10 ⁻⁸	22.2727	60.23
3.0	-0.113×10 ⁻⁸	1.7115	1517.00	1.5	+1.818×10 ⁻⁸	14.7273	156.33
3.5	+0.080×10 ⁻⁸	1.2411	1415.63	2.0	+6.364×10 ⁻⁸	10.8162	204.98
4.0	-0.086×10 ⁻⁸	1.2649	1255.80	2.5	-2.727×10 ⁻⁸	9.0909	226.91
4.5	+0.015×10 ⁻⁸	1.0156	1195.25	3.0	-1.818×10 ⁻⁸	7.5455	246.81
5.0	+0.058×10 ⁻⁸	0.8312	1149.01	—	—	—	—

Table 6. トラクタ・モリクレーン調査表

Tractor, Truck・crane survey note

昭和45年度実行 (1970)

足寄営林署 ASYORO District forest office		風達製品事業所 FUTATSU Logging camp		136い, 137に林小班 Sub-compartment		伐区面積 88.25 Operation area (ha)							
工 程 Process		伐 倒→ Felling→		枝 払 い→ Limbing→		トラクタ集材→ Skidding with tractor→		造 材 Bucking					
立 木 材 積 Yield volume				生産材積 Log voume									
林 相 区 分 Forest type		樹 種 Species		立 木 材 積 (m³) Stand volume		予定歩止り Estimated bucking percentage		生 産 材 積 (m³) Log volume		実行歩止り Actual bucking percentage			
天 然・混 交 林 Natural stand		エゾマツ, トドマツ <i>Picea</i> , <i>Abies</i>		13,299		0.835		11,064		0.832			
Natural stand		シ ナ <i>Tilia</i>		2,691		0.569		1,549		0.576			
Mixed forest		ヤチダモ <i>Fraxinus</i>		1,231		0.569		692		0.562			
		その他 L Others L		5,237		0.569		2,959		0.562			
計 Total				22,458				16,264					
林 地 傾 斜 Inclination				5°~25° (平 均 16°) Ave.				林地のしゅう曲度 Density of fold				中 Med.	
地床植生と疎密度 Ground flora and density				ササ ・ 中 <i>Sasa</i> Med.				作 業 の 難 易 度 Operational condition				中 Med.	
使 用 機 械 Skidding machine				NTK-4 7(t)		1 回あたり平均集材量 Average volume in m³ per one cycle				2.66 (m³)			
平均作業距離 (集材距離) Average skidding distance in m (per-skidding)				160(m) (30m)		償 却 費 単 価 Cost of depreciation in ¥ per m³				217 (¥/m³)			
集材作業 1 日 功 程 Efficiency for skidding in m³ per day				61.0 (m³/日)		分 担 経 費 単 価 Cost of partial charge in ¥ per m³				185 (¥/m³)			

集材単価(含巻立コスト) Cost of skidding in ¥ per m ³ (Including cost of piling)	455 (¥/m ³)	トラック道開設延長 Length of truck road construction in m	4,298 (m)
全幹伐倒1日功程 Efficiency for stem-length felling in m ³ per man day	24.2 (m ³ /人・日)	トラック道開設単価(含敷砂利) Cost of truck road construction in ¥ per m (Including ballast cost)	123 (789) (¥/m)
全幹造材1日功程 Efficiency for stem-length bucking in m ³ per man day	48.1 (m ³ /人・日)	トラクタ道開設延長 Length of tractor road construction in m	2,653 (m)
土場作設費 Cost of landing construction in ¥	77,000 (¥)	砂利使用量 Volume of ballast in m ³	2,357 (m ³)
土場面積 Landing area in m ²	22,200 (m ²)	請負工事 Constructed work	286,378 (¥)
土場作設単価 Cost of landing construction in ¥ per m ³	4.73 (¥/m ³)	利用可能既設トラック道延長 Length of existed truck road for available in m	0 (m)
組入員(含運転手) No. of team (Including operator)	10 (人)	到達トラック道延長 Length of access truck road in m	0 (m)

Table 7. トラクタ・モリクレーン調査表

Tractor・Truck-clane survey note

昭和45年度実行(1970)

足寄営林署 ASYORO District forest office	風達製品事業所 FUTATSU Logging camp	136い, 137に林小班 Sub-compartment	伐区面積 28.50 Operation area (ha)		
工 程 Process	伐 倒→ Felling→	枝 払 い→ Limbing→	クレーン集材→ Skidding with truck・clane→	造 材 Bucking	
立 木 材 積 Yield volume			生産材積 Log volume		
林 相 区 分 Forest type	樹 種 Species	立 木 材 積 (m) Stand volume	予定歩止り Estimated bucking percentage	生 産 材 積 (m³) Log volume	実行歩止り Actual bucking percentage
天 然・混 交 林 Natural stand	エゾマツ, トドマツ Picea, Abies	3252	0.835	2761.51	0.849
Mixed forest	シ ナ Tilia	832	0.569	464.88	0.559
	ヤチダモ Fraxinus	408	0.569	241.29	0.592
	その他 L Others L	1598	0.569	909.07	0.569
計 Total		6090		4376.75	
林 地 傾 斜 Inclination	5°~16° (平 均 10°) Ave.	林地のしゅう曲度 Density of fold		少 Rare	
地床植生と疎密度 Ground flora and density	ササ Sasa	中 Med.	作 業 の 難 易 度 Operational condition		中 Med.
使 用 機 械 Skidding machine		森藤 MC-100 9(t)	1回あたり平均集材量 Average volume in m³ per one cycle		2.02 (m³)

平均作業距離 (集材距離) Average skidding distance in m (pre-skidding)	50(m) (50m)	償却単価 Cost of depreciation in ¥ per m ³	251 (¥/m ³)
集材作業 1 日 功程 Efficiency for skidding in m ³ per day	33.2 (m ³ /日)	分担経費単価 Cost of partial charge in ¥ per m ³	105 (¥/m ³)
集材単価 (含巻立コスト) Cost of skidding in per m ³ (Including cost of piling)	266 (¥/m ³)	トラック道開設延長 Length of truck road const- ruction in m	1,061 (m)
全幹伐倒 1 日 功程 Efficiency for stem-length felling in m ³ per man day	24.4 (m ³ /人・日)	トラック道開設単価 (含敷砂利) Cost of truck road construc- tion in ¥ per m (Including ballast cost)	123 (570) (¥/m)
全幹造材 1 日 功程 Efficiency for stem-length bucking in m ³ per man day	32.8 (m ³ /人・日)	トラクタ道開設延長 Length of tractor road con- struction in m	— (m)
土場作設費 Cost of landing construction in ¥	— (¥)	砂利使用量 Volume of ballast in m ³	390 (m ³)
土場面積 Landing area in m ²	— (m ²)	請負工事 Constructed work	473,854 (¥)
土場作設単価 Cost of landing construction in ¥ per m ³	— (¥/m ³)	利用可能既設トラック道延長 Length of existed truck road for available in m	2,125 (m)
組人員 (含運転手) No. of team (including ope- rator)	4 (人)	到達トラック道延長 Length of access truck road in m	0 (m)

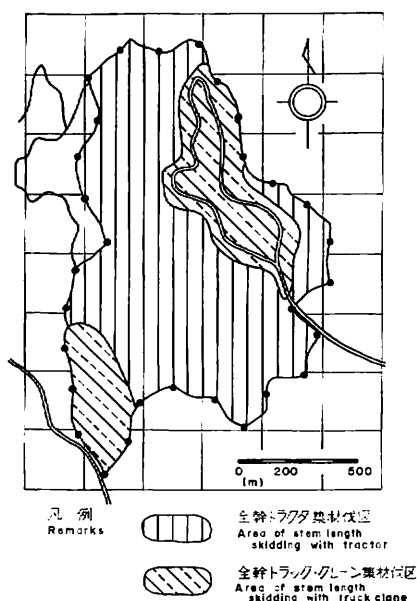


Fig. 23 伐区図
Operation area.

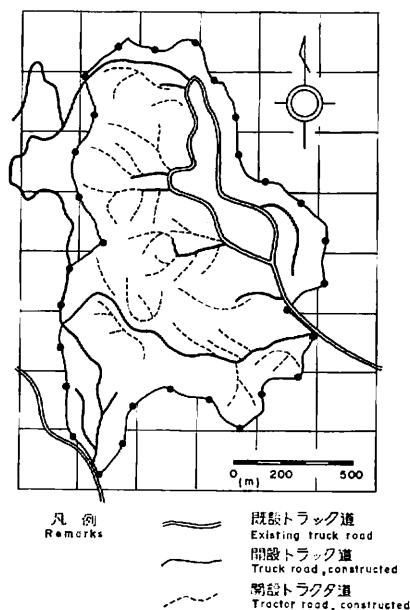


Fig. 24 路線配置図
Road network.

Table 8. 経費調査表
Cost survey note足寄
ASYORO

	全幹トラクタ集材 Stem-length skidding with tractor					トラック・クレーン集材 Stem-length skidding with truck-clane				
	労 賃 Personal expense			物役費 Over-head ex.	計	労 賃 Personal expense			物役費 Over-head ex.	計
	延人員 Man·day	功 程 Efficiency	単 価 (¥/m³) Unit cost	単 価 (¥/m³) Unit cost	(¥/m³) Total	延人員 Man·day	功 程 Efficiency	単 価 (¥/m³) Unit cost	単 価 (¥/m³) Unit cost	(¥/m³) Total
全幹伐倒 Stem-length felling	667	24.4	140	76	216	179	24.4	140	76	216
全幹造材 Stem-length bucking	338	48.1	64	42	106	134	32.8	91	17	108
全幹トラクタ Tractor skidding	954	17.1	82	283	465					
クレーン集材 Truck-clane skid.						132	33.2	96	170	266
運転手給 Operator's wages	846		185		185	192		105		105
道 付 費 Cost of road construction	285		41	229	270	25		15	158	173
(作業道) Truck road cost	(100)		(15)	(229)	(244)	(25)		(15)	(158)	(173)
(トラクタ道) Tractor road cost	(185)		(26)		(26)					
償 却 費 Cost of depreciation				217	217				251	251
合 計 Sum total	3,090		612	847	1,459	662		447	672	1,119

同表の数値は原則として上記実績値を採用しているが、トラック道開設費については、実績では敷砂利作業を請負工事でおこなっているため、実行単価が割高になっている。そのため、この計算例では直営実行を想定して単価修正をおこなった。

つぎに、伐区形状パタンのあてはめの検討をした結果を Fig. 25 に示す。ここでは、まず伐区全体を台形パターンで覆い、全伐区が全幹トラクタ作業でおこなわれた場合における全体路網の骨格を把握し、ついで伐区の左右に部分的なひろがりをもつモリクレーン伐区について、それぞれ方形、および菱形パターンをあてはめ、最適路網配置を検討するという手順で作業をすすめた。

ここで、Table 9 の計算条件を、Table 5 の集材費用関数のあてはめをおこなって、路網決定の電算プログラム演算をおこなった結果について示すと Fig. 26 のアウトプットとなる。また、これらを総括した表が Table 10 である。

Table 9. 計 算 条 件 因 子 表

足 寄

Assumed condition

ASYORO

集 材 の 種 類 Skidding type		ト ラ ク タ Tractor	トラック・クレーン Truck・clane	トラック・クレーン Truck・clane
伐 区 面 積 Operation area (ha)		116.75	17.87	10.63
立木材積および(歩止り) Stand volume in m ³ and (bucking per- centage) (m ³)	N V 1	16,551.0 (0.832)	2,039.15 (0.835)	1,212.85 (0.835)
	L V 1	3,523.0 (0.576)	521.63 (0.569)	310.37 (0.569)
	N V 2	1,639.0 (0.565)	255.90 (0.569)	152.10 (0.569)
	L V 2	6,835.0 (0.724)	1,001.97 (0.569)	596.03 (0.569)
	計 Total	28,548.0	3,818.65	2,271.35
伐 区 形 状 Form pattern		台 形 Trapezoid	菱 形 Rhombu	方 形 Rectangle
1回あたり平均集材量 (m ³) Average volume in m ³ per one cycle		3.0	2.0	2.0
トラック道開設単価 (¥/m) Cost of truck road construc- tion in unit length		532	391	391
土 場 開 設 単 価 (¥/m ²) Cost of landing construction in unit area		4.37	—	—
土 場 面 積 (m ²) Area of landing in m ²		22,200	—	—
その他経費 (伐倒, 造材, 分担経 費) (¥/m ³) Others cost in ¥ per m ³		507	429	429
う かい 率 作 業 Operation Ratio of increment 道路 Road		0.3	0.2	0.2
利用可能トラック道延長 (m) Length of existed truck road for available in m		1,400	0	0
到達トラック道延長 (m) Length of access truck road in m		0	0	0

(実績と計算結果の比較検討)

まず、伐区全体を台形パタンと考え、伐区内資材をすべて全幹トラクタ作業で集材するという仮定のもとにおこなった計算結果について述べる。

この最適路網の解は0—20である。すなわち、外周の路線配置がなく、伐区内に単循環路網が配置されたとき集材費合計が最小になることを示している。Table 10により、このときの平均作業距離は約110m、路網密度32 m/ha、集材費合計は47988千円になることがわかる。

一方、実際の全体路網配置をみると (Fig. 23 参照) 伐区右側のモリクレーン集材伐区を中心に単循環路網が形づくられていることが認められるが、その配置は右に偏り、しかも環状サイクルは小さ過ぎるようである。その代わりに、伐区の上段と下段を、ほぼ平行に他伐区への連絡線が配置されている。また、このほかにも伐区の中央位置に150—250 m 程度の突込み路線や、モリクレーン伐区に対する開設延長を

含めると、総数で約 3,200 m のトラック 走行可能路線が開設されていることが確認される。この伐区全体面積は 116.75 ha であるから、総平均 ha あたり 27.4 m の路網密度が配置されたことになる。これに、計算結果の最適密度 32.30 m/ha と比較して約 15% の不足率となる。実際には、3,200 m の延長のうち、部分的な箇所のみにはしかはたらきのない延長部分があるから、不足割合はさらに大きな値になることが予想される。そのためには、たとえば上段と下段に平行に配置された連絡線を、伐区の上下方向とも結んで環状を形成するといった延長増の検討余地が残されているように思われる。

次に、モリクレーン伐区について考えてみる。計算結果によれば、最適解は左側の方形伐区が 0-3 パタン、すなわち外周なしの複循環型、右側の菱形伐区が 1-2 パタン、すなわち外周 1 回の単循環型配置のとき、集材費合計が最小になることを示している。

ところで、実際の路網配置は左側の方形伐区は、いわゆる“ツリー配置”，右側の菱形伐区は単循環型配置となっており、いずれも集材費合計の最小値を確保するための平均作業距離 14.0 m、および 21.17 m と比較してやや密度が低いように思われる。

以上を総括し、伐区外既設林道の位置を考慮しながら、計算結果からきわめて概括的に最適路網配置例を示すと、それは Fig. 27 のようにあらわすことができる。すなわち、集材費用的観点にたつて図示するような路網配置を計画すれば、Table 10 に掲げる集材費合計の最小結果が得られることを意味している。

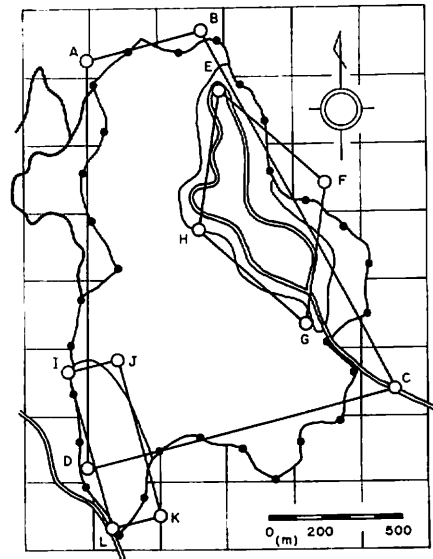


Fig. 25 伐区形状パタンのあてはめ
Adaptation of form patterns.

NF = 11	NRC = 4	NLA = 2	NN = 6
FC(I)	FX(I)	FXX(I)	
1749.2400	2.0178	-0.0002	80.00 0.00
1517.0000	1.7115	-0.0001	80.00 0.00
1415.6299	1.2411	0.0001	80.00 0.00
1255.7998	1.2649	-0.0001	80.00 0.00
1195.2500	1.0156	0.0000	80.00 0.00
1149.0098	0.8312	0.0001	80.00 0.00
60.2300	22.2727	0.0018	0.00 120.00
156.3300	14.7273	0.0018	0.00 120.00
204.9800	10.8182	0.0064	0.00 120.00
226.9100	9.0909	-0.0027	0.00 120.00
246.8100	7.5455	-0.0018	0.00 120.00
RC(J)			
523.00	391.00	416.00	386.00
LC(I)			
6.00	3.50		

Fig. 26 電算アウトプット(足寄)
Output (ASYORO)

FP	KK	A	B	C	IF	IRC	ILA
NV1	LV1	NP1	LP1	NV2	LV2	NP2	LP2
LA	ERL	IDC	HI	RI	ARL		
4	0	425.00	1171.60	1509.39	2	1	2
16551.00	3523.00	0.83	0.58	1639.00	6835.00	0.56	0.56
22200.00	1400.00	507.00	0.30	0.25	0.00		
3	0	900.00	397.10	0.00	9	2	2
2039.15	521.63	0.83	0.57	255.90	1001.97	0.57	0.57
0.00	0.00	429.00	0.20	0.25	0.00		
2	0	607.00	175.10	0.00	9	2	2
1212.85	310.37	0.83	0.57	152.10	596.03	0.57	0.57
0.00	0.00	429.00	0.20	0.25	0.00		
1	0	0.00	406.25	657.18	2	3	1
748.28	45.21	0.82	0.62	111.39	149.10	0.62	0.62
193.00	0.00	666.00	0.30	0.25	0.00		
1	1	0.00	484.38	527.62	2	3	1
666.74	40.41	0.82	0.62	99.54	133.25	0.62	0.62
172.00	0.00	666.00	0.30	0.25	0.00		
4	0	406.25	1460.94	886.47	7	4	1
5078.98	129.11	0.83	0.67	653.80	1520.30	0.67	0.67
0.00	0.00	575.00	0.20	0.25	0.00		

FP	KK(I)	KN	KM	VEX	RL	Y1	Y2	SUM	Y3	TOSUM	RDE	HI(I)	RI(I)
4	0	0	0	701.	0.	61387440.	0.	61387440.	10513890.	71901328.	11.99	0.30	0.25
4	0	0	1	236.	0.	41822800.	0.	41822800.	10513890.	52356688.	11.99	0.30	0.25
4	0	0	20	110.	2371.	36234672.	1239932.	37474592.	10513890.	47988480.	32.30	0.30	0.25
** STOP **													

SHIRYO-NO	FORM-PAT	A OR H	B	C	MENSEKI	ZAISEKI	KANSU-NO	UR-COST	UL-COST	UID-COST	
1	DAI-KEI	425.00	1171.60	1509.39	116.75	20584.20	2	523.00	3.50	507.00	
NET-PAT											
0	20	110.40	2370.81	36234672	1239932	37474592	10513890	47988480	32.30	0.30	0.25

FP	KK(I)	KN	KM	VEX	RL	Y1	Y2	SUM	Y3	TOSUM	RDE	HI(I)	RI(I)
3	0	0	1	66.	877.	2079657.	342834.	3322490.	1164831.	4487321.	49.07	0.20	0.25
3	0	0	2	59.	1423.	2728917.	556267.	3285183.	1164831.	4450014.	79.61	0.20	0.25
3	0	0	3	31.	2483.	1682256.	970983.	2653238.	1164831.	3818069.	138.97	0.20	0.25
3	0	1	1	24.	2793.	1502069.	1092078.	2594167.	1164831.	3758078.	156.30	0.20	0.25
3	0	1	2	21.	3137.	1313911.	1226579.	2540490.	1164831.	3705321.	175.55	0.20	0.25
** STOP **													

SHIRYO-NO	FORM-PAT	A OR H	B	C	MENSEKI	ZAISEKI	KANSU-NO	UR-COST	UL-COST	UID-COST
2	RYO-KEI	900.00	397.10	491.86	17.87	2715.23	9	391.00	3.50	429.00

Fig. 26

NET-PAT	AV-SAGYO	R-LENGTH	P-COST	R-COST	SUM	OTH-COST	TO-SUM	R-DENS	HI	RI
1 2	21.17	3137.03	1313911.	1226579.	2540490.	1164831.	3705321.	175.55	0.20	0.25
FPI KK(1) KN KM VEX	RL	Y1	Y2	SUM	Y3	TOSUM	RDE	HI(1)	RI(1)	
2 0 0 1	47.	649.	1353007.	253881.	1606888.	692842.	2299729.	61.09	0.20	0.25
2 0 0 3	14.	2386.	627217.	932804.	1560020.	692842.	2252861.	224.46	0.20	0.25
※ STOP ※										
SHIRYO-NO	FORM-PAT	A OR H	B	C	MENSEKI	ZAISEKI	KANSU-NO	UR-COST	UL-COST	UID-COST
3	SHI-KAKU	607.00	175.10	0.00	10.63	1615.02	9	391.00	3.50	429.00
NET-PAT	AV-SAGYO	R-LENGTH	P-COST	R-COST	SUM	OTH-COST	TO-SUM	R-DENS	HI	RI
0 3	14.0	2386.0	627217.	932804.	1560020.	692842.	2252861.	224.46	0.20	0.25

Fig. 26

Table 10. 計 算 結 果 表

足 寄

Calculated values

ASYORO

集材法の種類 Skidding type	トラクタ Tractor	トラック・クレーン Truck・crane	トラック・クレーン Truck・crane
計算された伐区面積 Calculated op. area	116.75 (ha)	17.87 (ha)	10.63 (ha)
生産材積 Log volume	20,584.20 (m³)	2,715.23 (m³)	1,615.02 (m³)
最適路網パターン Optimum network pattern	台 0 - 20 形 外 周 な し 車 循 環 型	菱 1 - 2 形 外 周 1 回 型	方 0 - 3 形 外 周 な し 複 循 環 型
平均作業距離 Average skid. distance	110.40 (m)	21.17 (m)	14.00 (m)
路網密度 Road density	32.30 (m/ha)	175.55 (m/ha)	224.46 (m/ha)
集材最小費用 Minimum skid. cost (¥)	Y 1	36,234,672	1,313,911
	Y 2	1,239,932	1,226,579
	Y 3	10,513,876	1,164,831
	Total	47,988,480	3,705,321
			2,252,861

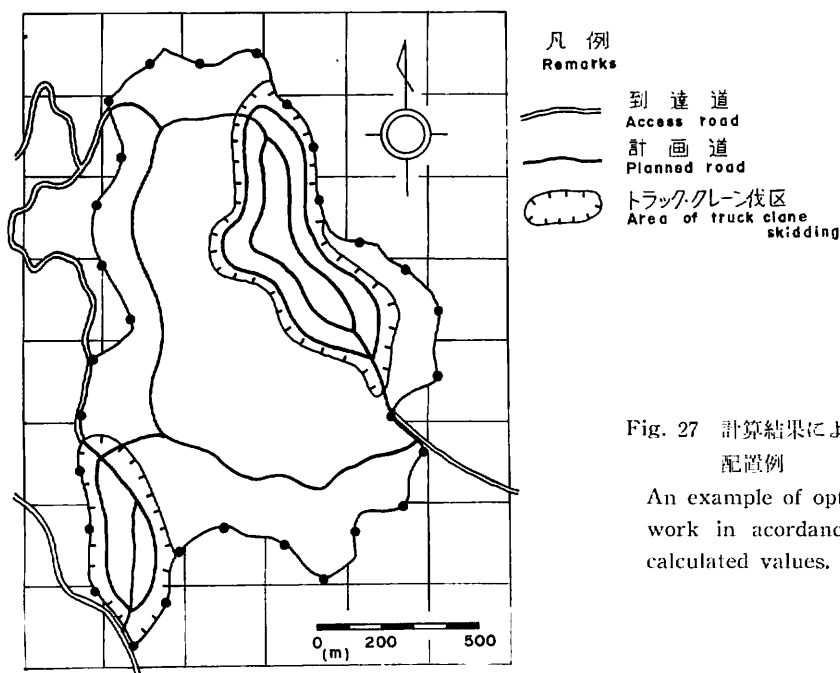


Fig. 27 計算結果による最適路網配置例

An example of optimum network in accordance with the calculated values.

3. 陸別営林署勸業別製品事業地における計算例

陸別営林署管内勸業別製品事業地 142, 143, 155, 156 各林班を対象に、昭和 45 年度に実行されたトラクタ全幹集材、およびモリクレーン全幹集材の作業実績数値は次のとおりである。

いま、調査対象地における作業条件、および実行経費内訳の概要を示すと Table 11~13 のようにあらわされる。

次に、この計算のための対象伐区は Fig. 28 に示すとおりである。実際に昭和45年度において当製品生産事業の対象となった伐区は、東西方向に約 4,000 m、南北方向に約 2,000 m にもおよぶ L 字形のもので、約 350 ha の択伐施業団地である。ここでは主として計算のつごうから、モリクレーン伐区を中心に、一部年度外伐区を含めてまとまりのあるモデル伐区を設定し分析をおこなったものである。

調査対象伐区において、事業実行のために実際開設された作業道、およびトラクタ道の路線配置は Fig. 29 に示すとおりである。

これら実績資料から本手法を適用するための計算条件因子は、Table 14 のようにとりまとめることができる。

同表数値についても前計算例と同様、原則として実績数値を採用したが、作業実績によると、冬季の土壤凍結期を利用して作業道の敷砂利をおこなわずに搬出をおこなった事業量が相当あることがわかった。したがって、トラクタ道開設単価については、足寄営林署の例と反対に、敷砂利追加相当量を想定し、単価修正をおこなった。

つぎに、伐区形状パタンのあてはめ検討をした結果を Fig. 30 に示す。すなわち、モデルとして選定した伐区の大部分は、高密度路網に指向したモリクレーン作業対象伐区であるため、その部分を最初に台形パタンで区画し、残る左端、および右下端のトラクタ作業対象伐区は、いずれも三角形パタンを適用して計

Table 11. トラクタ・モリクレーン調査表

Tractor, Truck-clane survey note

昭和45年度実行 (1970)

陸 別 営 林 署 RIKUBETSU District forest office	勲 福 別 製 品 事 業 所 KUNNEBETSU Logging camp	155 い, り, は, に, 156 い, ろ, 142 い, 143 い 林小班 Sub-compartment	伐 区 面 積 237.74 Operation area (ha)
工 程 伐 倒→枝 払 い→ト ラ ク タ 集 材→造 材 Process Felling→Limbing→Skidding with tractor→Bucking			

立 木 材 積 Yield volume				生 産 材 積 Log volume	
林 相 区 分 Forest type	樹 種 Species	立 木 材 積 (m³) Stand volume	予 定 歩 止 り Estimated bucking per- centage	生 産 材 積 (m³) Log volume	実 行 歩 止 り Actual bucking per- centage
天然・混交林 Natural stand Mixed forest 計 Total	エゾマツ, トドマツ <i>Picea Abies</i>	14,008	0.82	11,488	0.82
	カンバ <i>Betula</i>	847	0.59	522	0.62
	シナ, セン <i>Tilia, Kalopanax</i>	2,085	0.59	1,286	0.62
	その他L OthersL	2,792	0.59	1,721	0.62
		19,732		15,017	

林 地 傾 斜 Inclination	5°~20° (平 均 15°) (Ave. 15°)	林 地 の し ゅ う 曲 度 Density of fold	中 Med.
地 床 植 生 と 疎 密 度 Ground flora and density	サ サ・中 Sasa・Med.	作 業 の 難 易 度 Operational condition	中 Med.

使 用 機 械 Skidding machine	NTK-4 7(t)	1 回 あ た り 平 均 集 材 量 Average volume in m³ per one cycle	0.3 (m³)
平 均 作 業 距 離 (集 材 距 離) Average skidding distance in m (pre-skidding)	250(m) (25m)	償 却 費 単 価 Cost of depreciation in ¥ per m³	133 (¥/m³)
集 材 作 業 1 日 功 程 Efficiency for skidding in m³ per day	48.0 (m³/日)	分 担 経 費 単 価 Cost of partial charge in ¥ per m³	283 (¥/m³)
集 材 単 価 (含 登 立 コ ス ト) Cost of skidding in ¥ per m³ (Including cost of piling)	416 (¥/m³)	ト ラ ッ ク 道 開 設 延 長 Length of truck road construction in m	6,160 (m)
全 幹 伐 倒 1 日 功 程 Efficiency for stem-length felling in m³ per man day	15.4 (m³/ 人・日)	ト ラ ッ ク 道 開 設 単 価 Cost of truck road construction in ¥ per m	196 (¥/m)
全 幹 造 材 1 日 功 程 Efficiency for stem length bucking in m³ per man day	40.0 (m³/ 人・日)	ト ラ ク タ 道 開 設 延 長 Length of tractor road construction in m	21,800 (m)
土 場 作 設 費 Cost of landing construction in ¥	216,000 (¥)	砂 利 使 用 量 Volume of ballast in m³ (採 取 Production)	— (m³)
土 場 面 積 Landing area in m²	36,000 (m²)	(購 入 Purchase) (請 負 Constructed work)	— (m³)

土 場 作 設 単 価 Cost of landing construction in ¥ per m ³	14.38 (¥/m ³)	利用可能既設トラック道延長 Length of existed truck road for available in m	6,200 (m)
組 人 員 (含運転手) No. of team (Including operator)	11 (人)	到達トラック道延長 Length of access truck road in m	0 (m)

Table 12. トラクタ・モリクレーン調査表 昭和45年度実行(1970)
Tractor, Truck-clane survey note

陸 別 営 林 署 RIKUBETSU District forest office	勲 補 別 製 品 事 業 所 KUNNEBETSU Logging camp	154 い, 155 ろ, に 142 い 林小班 Sud-compartment	伐 区 面 積 119.49 Operation area (ha)		
工 程 伐 倒→枝 払 い→ク レ ー ン 集 材→造 材 Process Felling→Limbing→Skidding with truck・clane→Bucking					
立 木 材 積 Yield volume			生 産 材 積 Log volume		
林 相 区 分 Forest type	樹 種 Species	立 木 材 積 (m³) Stand volume	予 定 歩 止 り Estimated bucking per- centage	生 産 材 積 (m³) Log volume	実 行 歩 止 り Actual bucking per- centage
天然・混交林 Natural stand Mixed forest 計 Total	エゾマツ, トドマツ Picea Abies	7,333	0.82	6,121	0.83
	カンバ Betula	167	0.59	126	0.67
	シ ナ, セ ン Tilia, Kalopanax	944	0.59	635	0.67
	その他L Others L	2,195	0.59	1,477	0.67
		10,659		8,359	
林 地 傾 斜 Inclination		5°~10° (平 均 7°) Ave.	林 地 の し ゅ う 曲 度 Density of fold		少 Rare
地 床 植 生 と 疎 密 度 Ground flora and density		サ サ・中 Sasa・Med.	作 業 の 難 易 度 Operational condition		中 Med.
使 用 機 械 Skidding machine		森 藤 MC-120 9(t)	1 回 あ た り 平 均 集 材 量 Average volume in m³ per one cycle		1.01 (m³)
平均作業距離 (集材距離) Average skidding distance in m (pre-skidding)		35(m) (35m)	償 却 費 単 価 Cost of depreciation in ¥ per m³		439 (¥/m³)
集材作業1日功程 Efficiency for skidding in m³ per day		22.4 (m³/日)	分 担 経 費 単 価 Cost of partial charge in ¥ per m³		166 (¥/m³)
集材単価 (含巻立コスト) Cost of skidding in ¥ per m³ (Including cost of piling)		791 (¥/m³)	トラック道開設延長 Length of truck road construction in m		14,280 (m)
全幹伐倒1日功程 Efficiency for stem-length felling in m³ per man day		15.4 (m³/ 人・日)	トラック道開設単価 Cost of truck road construction in ¥ per m		341 (¥/m)
全幹造材1日功程 Efficiency for stem-length bucking in m³ per man day		28.4 (m³/ 人・日)	トラクタ道開設延長 Length of tractor road construction in m		— (m)

土 場 作 設 費 Cost of landing construction in ¥	— (¥)	砂 利 使 用 量 Volume of ballast in m ³ (採 取 Production) (購 入 Purchase) (請 負 Constructed work)	2,380 (m)
土 場 面 積 Landing area in m ²	— (m ²)		
土 場 作 設 単 価 Cost of landing construction in ¥ per m ³	— (¥/m ³)	利用可能既設トラック道延長 Length of existed truck road for available in m	4,200 (m)
組 人 員 (含運転手) No. of team (Including operator)	5 (人)	到達トラック道延長 Length of access truck road in m	0 (m)

Table 13. 経 費 調 査 表

陸 別

Cost survey note

RIKUBETSU

	全 幹 ト ラ ク タ 集 材 Stem-length skidding with tractor					ト ラ ッ ク ・ ク レ ー ン 集 材 Stem-length skidding with truck-clane				
	労 賃 Personal expense			物 役 費 Overhead ex.	計 Total (¥/m ³)	労 賃 Personal expense			物 役 費 Overhead ex.	計 Total (¥/m ³)
	延人員 man· day	功 程 Efficiency	単 価 (¥/m ³) Unit cost	単 価 (¥/m ³) Unit cost		延人員 man· day	功 程 Efficiency	単 価 (¥/m ³) Unit cost	単 価 (¥/m ³) Unit cost	
全 幹 伐 倒 Stem-length felling	986	13.8	217	60	277	481	13.8	217	60	277
全 幹 造 材 Stem-length bucking	375	40.0	76	30	106	258	28.4	107	25	132
全 幹 ト ラ ク タ Tractor skidding	2,792	5.4	504	287	791					
ク レ ー ン 集 材 Truck-clane skid.						746	11.2	270	146	416
運 転 手 給 Operator's wages	(738)		241		241	(286)		166		166
道 付 費 Cost of road construction	707		140	173	313			184	182	366
(作 業 道) Truck road cost	(286)		(44)	(158)	(202)	664		(184)	(182)	(366)
(ト ラ ク タ 道) Tractor road cost	(421)		(96)	(15)	(111)	(664)				
償 却 費 Cost of depreciation				133	133				439	439
合 計 Sum total	4,860		1,178	683	1,861	2,149		944	852	1,796

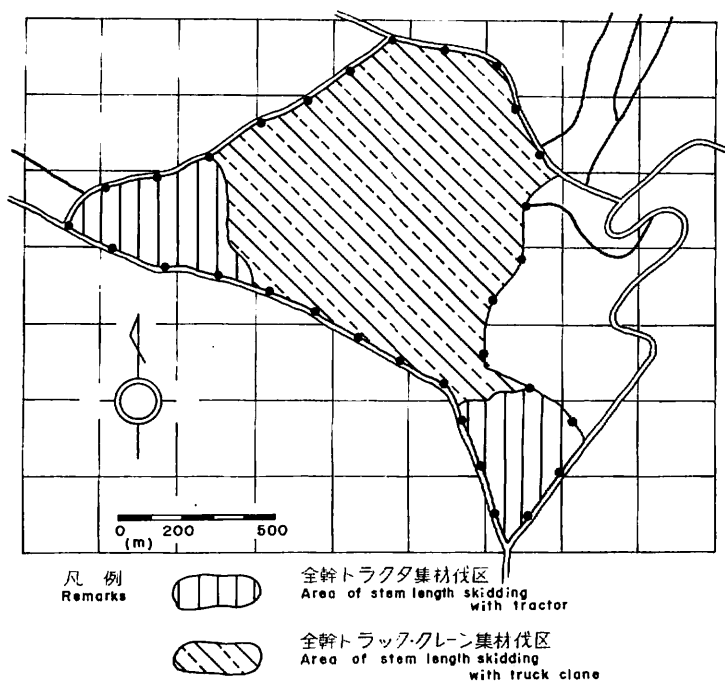


Fig. 28 伐 区 図
Operation area.

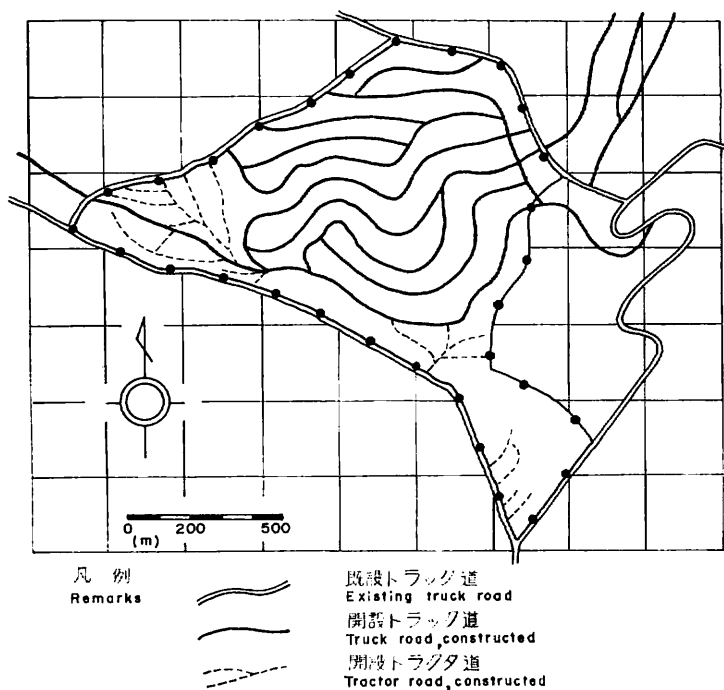


Fig. 29 路線配置図
Road network.

Table 14. 計算条件因子表

陸 別
RIKUBETSU

集材の種類 Skidding type		トラクタ Tractor	トラクタ Tractor	トラック・クレーン Truck・crane
伐区面積 Operation area	(ha)	(A) 12.70	(B) 11.35	82.76
立木材積および(歩止り) Stand volume in m ³ and (bucking per- centage) (m ³)	N V 1	748.28 (0.82)	668.74 (0.82)	5,076.98 (0.83)
	L V 1	45.21 (0.62)	40.41 (0.62)	129.11 (0.67)
	N V 2	111.38 (0.62)	99.54 (0.62)	653.80 (0.67)
	L V 2	149.10 (0.62)	133.25 (0.62)	1,520.30 (0.67)
	計 Total	1,053.97	941.94	7,382.19
伐区形状 Form pattern		三角形 Triangle	三角形 Triangle	台形 Trapezoid
1回あたり平均集材量 (m ³) Average volume in m ³ per one cycle		3.0	3.0	1.0
トラック道開設単価 (¥/m) Cost of truck road construction in unit length		416	416	416
土場開設単価 (¥/m ²) Cost of landing construction in unit area		6	6	—
土場面積 (m ²) Area of landing in m ²		193	172	—
その他経費 (伐倒, 造材, 分担経費) (¥/m ³) Others cost in ¥ per m ³		666	666	575
うかい率 作業 Operation Ratio of 道路 Road increment		0.3 0.25	0.3 0.25	0.2 0.25
利用可能トラック道延長 (m) Length of existed truck road for available in m		0	0	0
到達トラック道延長 (m) Length of access truck road in m		0	0	0

算をおこなう手順とした。

以上の計算条件を Table 5 の集材費用関数に適用して電算プログラム演算をおこなった結果, Fig. 31 のアウトプットおよび Table 15 の総括表が得られた。

(実績と計算結果の比較検討)

まず, モリクレーン伐区の計算結果から検討する。最適解は Table 15 に示すように, 路網パターンが 3-23 のときである。すなわち, 外周を 3 回まわって, ながが単循環路網の配置のときに集材費合計の最小値が得られることを意味している。このときにおける平均作業距離は約 27 m, 路線延長 10,114 m (Fig. 31 アウトプット参照), 路網密度 122 m/ha, 集材費合計 11,800 千円である。

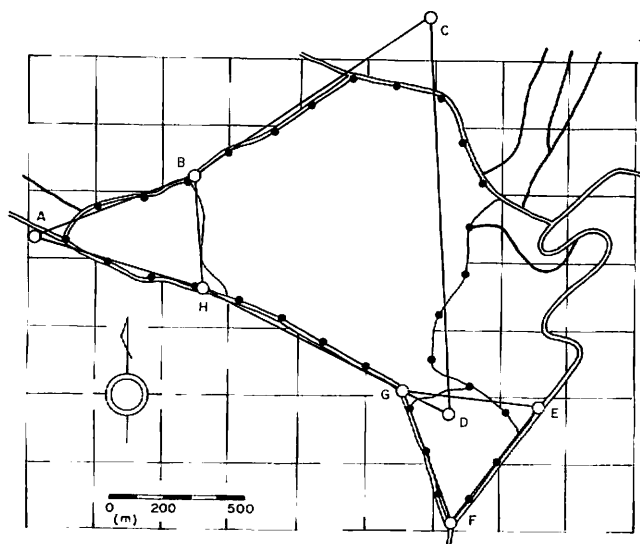


Fig. 30 伐区形状パタンのあてはめ
Adaptation of form pattern.

Table 15. 計 算 結 果 表
Calculated values

陸 別
RIKUBETSU

集材法の種類 Skidding type	トラック・クレーン Truck-clane	トラクタ Tractor	トラクタ Tractor
計算された伐区面積 Calculated op. area	82.76 (ha)	12.70 (ha)	11.35 (ha)
生産材積 Log volume	5,758.69(m ³)	803.12(m ³)	717.75(m ³)
最適路網パターン Optimum network pattern	台形 3-23 外周3回 単循環型	三角形 0-0 路線なし	三角形 0-1 外周なし 突込み型
平均作業距離 Average skid-distane	27.46 (m)	237.35 (m)	105.13 (m)
路網密度 Road density	122.21(m/ha)	0.0 (m/ha)	32.76(m/ha)
集材最小費用 Minimum skid. cost (¥)	Y 1	4,585,122	1,633,813
	Y 2	3,904,080	0
	Y 3	3,311,245	536,033
	Total	11,800,447	2,169,846
			1,255,203
			154,698
			479,052
			1,888,953

なお、路網パターンが3-23で示されることは、中央の単循環路網パターンが台形ではなく三角形に変形していることを意味する (Fig. C1 参照)。もし、台形のかたちのままであれば3-20と表示される。

ついで、敷設別製品事業として実際に配置された路網 (Fig. 29 参照) をみると、作業道は伐区に対してほぼ東西方向に平行に配列され、その平行配列路線を上から順に数えると、多い部分で10段、少ない部分で7段になっている。また、これら作業道を図上測定した結果延長が約8,900 m あることがわかった。これをモリクレーン伐区面積82.72 ha で除すと路網密度は108 m/ha に相当する。なお、実際の伐区については上記作業道延長のほか、上下伐区沿い (台形パタンの両斜辺相当部) に既設林道が約2,200

FPI	KK(I)	KN	KM	VEX	RL	Y1	Y2	SUM	Y3	TOSUM	RDE	HI(I)	RI(I)
1	0	0	0	237.	0.	1633813.	0.	1633813.	536034.	2169846.	0.00	0.30	0.25
** STOP **													
SHIRYO-NO	FORM-PAT	A	OR	H	B	C	MENSEKI	ZAISEKI	KANSU-NO	UR-COST	UL-COST	UID-COST	
4	SAN-KAKU	625.00	406.25	657.18	12.70	803.12	2	416.00	6.00	666.00			
NET-PAT	AV-SAGYO	R-LENGTH	P-COST	R-COST	SUM	OTH-COST	TD-SUM	R-DENS	HI	RI			
0	0	237.35	0.00	1633813.	0.	1633813.	536034.	2169846.	0.00	0.30	0.25		
FPI	KK(I)	KN	KM	VEX	RL	Y1	Y2	SUM	Y3	TOSUM	RDE	HI(I)	RI(I)
1	1	0	0	327.	0.	1595902.	0.	1595902.	479054.	2074955.	0.00	0.30	0.25
1	1	0	1	105.	372.	1255203.	154698.	1409900.	479054.	1888953.	32.76	0.30	0.25
** STOP **													
SHIRYO-NO	FORM-PAT	A	OR	H	B	C	MENSEKI	ZAISEKI	KANSU-NO	UR-COST	UL-COST	UID-COST	
5	SAN-KAKU	468.75	484.38	527.62	11.35	717.75	2	416.00	6.00	666.00			
NET-PAT	AV-SAGYO	R-LENGTH	P-COST	R-COST	SUM	OTH-COST	TD-SUM	R-DENS	HI	RI			
0	1	105.13	371.87	1255203.	154698.	1409900.	479054.	1888953.	32.76	0.30	0.25		
FPI	KK(I)	KN	KM	VEX	RL	Y1	Y2	SUM	Y3	TOSUM	RDE	HI(I)	RI(I)
4	0	0	30	90.	3718.	14387436.	1435153.	15822589.	3311245.	19133824.	44.92	0.20	0.25
4	0	1	1	73.	3959.	11640497.	1528028.	13168525.	3311245.	16479770.	47.83	0.20	0.25
4	0	1	20	57.	5237.	9221113.	2021459.	11242572.	3311245.	14553817.	63.28	0.20	0.25
4	0	1	30	46.	6440.	7416985.	2485690.	9902675.	3311245.	13213920.	77.81	0.20	0.25
4	0	2	23	40.	7161.	6528882.	2764244.	9293126.	3311245.	12604371.	86.53	0.20	0.25
4	0	2	30	34.	8409.	5628795.	3246021.	8874816.	3311245.	12186061.	101.61	0.20	0.25
4	0	2	30	31.	9236.	5070417.	3564970.	8635387.	3311245.	11946632.	111.59	0.20	0.25
4	0	3	23	27.	10114.	4585122.	3904080.	8489202.	3311245.	11800447.	122.21	0.20	0.25
** STOP **													
SHIRYO-NO	FORM-PAT	A	OR	H	B	C	MENSEKI	ZAISEKI	KANSU-NO	UR-COST	UL-COST	UID-COST	
6	DAI-KEI	406.25	1460.94	1031.47	82.76	5758.69	7	386.00	6.00	575.00			
NET-PAT	AV-SAGYO	R-LENGTH	P-COST	R-COST	SUM	OTH-COST	TD-SUM	R-DENS	HI	RI			
3	23	27.46	10114.20	4585122.	3904080.	8489202.	3311245.	11800447.	122.21	0.20	0.25		
** CALCULATION OF ABOVE DATA IS FINISHED **													
*** ALL CALCULATION IS ENDED ***													

Fig. 31 電算アウトプット (陸別)
Output (RIKUBETSU).

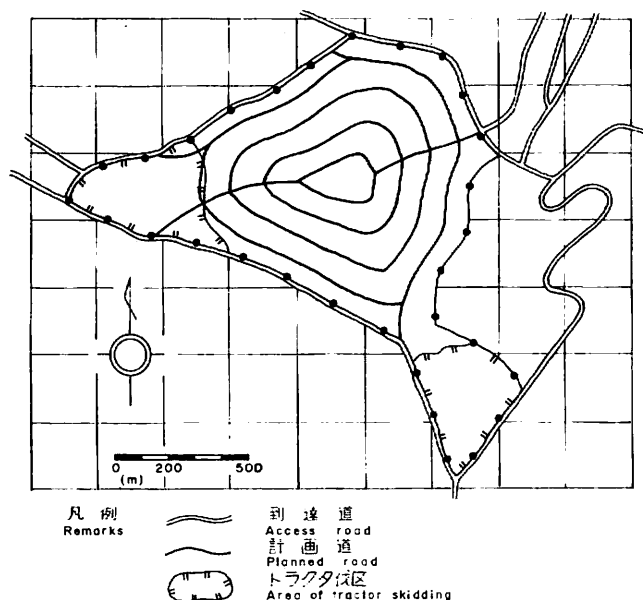


Fig. 32 計算結果による最適
路網配置例

An example of optimum
network in accordance
with the calculated val-
ues.

m 存在する。この既設延長を含めると総延長は 11,100 m、路網密度は 134 m/ha という結果が得られる。したがって、計算結果示された最適解は、いわば両者の中間的な値となり、実行結果ときわめて近い値になっていることがわかる。路線配置についても、計算結果の外周 3 回プラス単循環パターンは、平行路線として 8 段に相当することから、この点についても実行結果と類似した状態であるといえよう。このように、実際の路線配置が計算結果に近いかたちで存在したことは、この手法を検討する上できわめて意義深いものといえよう。

ついで、残された左右のトラクタ作業伐区について計算結果を検討してみる。両伐区はいずれも三角形パターンが適用され、面積もそれぞれ 12.71 ha、11.35 ha とほぼ同程度であるが、計算結果は左側のやや広い伐区的最適値が“零”、右側の狭い伐区が 0-1 の突込み路網配置という解が得られた。これは、一見矛盾した解に思われるが、その相違点は前者が三角形正立モデルであるのに対して後者が同形倒立モデルによって平均作業距離が算定されたためである。すなわち、正立モデルでは三角形の底辺中央位置から集材地点がスタートするのに対して、倒立モデルは三角形の頂点位置から集材地点がスタートすることにある。この結果、三角形の形状、面積が同じであれば、前者よりも後者の平均作業距離が大きくなり、集材費がかさむことになる。すなわち、路線開設の必要度が高くなるものである。しかし、実際の伐区をみると、いずれの伐区においても三角形両斜辺部分が既設林道に接しており、新たに路線を開設しなくても計算による最適作業距離 237 m、および 105 m が確保されそうである。したがって、両トラクタ伐区は作業道の開設は不要と推定される。なお、Fig. 29 によると、左側の 12.70 ha のトラクタ伐区については作業道が縦断するよう配置されていることが確認されるが、これは、集材作業のためというより、この伐区の左側に連続する伐区への到達機能を考慮した路線と考えるならば、さほど重複した路線配置ではない。

最後に、この計算結果に基づく最適路網配置例を図示する。すでにみてきたように、当伐区については実行結果が計算値と類似しているため、あらためて路網配置図を示す必要はないと思われるが、前計算

例との対比の意味からも、当手法の特徴である“循環系”を強調した路網配置例を示すならば Fig. 32 のように表わすことができる。

あ と が き

新しい技術分野の開拓には、正しい技術予測（仮定）とそれを解決するための技術集約（証明）が必要である。その場合、技術予測は最初から明確なたちで把握されることはまれであって、はじめはごく定性的な方向づけがおこなわれ、それに基づく技術的試行錯誤によりしだいに定量的な目標へ定着するという過程をとるようである。

高密路網による林業技術体系も、まさにこのような経過をたどっており、その意味では本手法も定量化のための一試行にすぎない。

本手法は伐木集材作業の最小費用的観点にたち、電算機による繰返し演算を利用して、直接的に循環系指向の最適路網配置を決定する一つの方法を試みたものであり、路網計算の傾向については、“路網密度は集材法によって決まる”という、いわゆるペスタル（PESTAL, E.）あるいは加藤⁹⁾の所説に近いかたちに落ち着いたように思われる。また、これによって従来多々益々便ず的に論ぜられていた路網密度に関しても、今後はどのような技術体系の選択のもとに、どれだけの密度を要するかという、いわば作業体系と路網配置との対応において論ぜられるべき必要性が実証されたことになろう。

なお、当計算で対象とした作業体系は狭義な伐木集材作業に關してのみであるが、今後は林業経営全体に対する技術目標が設定され、総合的観点から路網配置のあり方が検討される必要があると思われる。

摘 要

最近、急速なモータリゼーションの発達と苦しい林業労働者の減少にともない、高密路網システムによる林業経営が注目されるようになった。特に、林内作業の機械化という観点からは、林地全体が循環系による路網で覆われるべきであるという要請がある。

したがって、この研究の目的は、集材作業に対する理論的かつ経済的な路網をみいだす方法を検討することにある。

筆者は最小費用のアイデアに基づく最適路網につき、電算機による試行錯誤法を用いて解くことを試みた。

手法の主なる構成および結果は以下のとおりである。

1. 伐区形状パタンの区分

まず、伐区の形状パターンを決定する。伐区についての形状は多くの形が考えられる。しかし、電算計算の観点から、次の4パターンに区分すれば有効かつ十分なものと思われる。

- (a) 三角形パターン
- (b) 方形パターン
- (c) 菱形パターン
- (d) 台形パターン

2. 路網パタンの展開

ついで、循環系システムによる路網決定のために基本的な路網パターンとその展開を決定する。なお、路

網の構成はできるだけ簡単で、しかも整然と展開されることが望ましい。この場合、路網パターンは次のように表わすことにした。

- (a) 突っ込み型
- (b) 単循環型
- (c) 複循環型

3. 費用関数の決定

林道における費用関数は、一般的にいて伐木集材のみではなく、他の林内作業も含めて求められることが知られている。しかし、それらの作業に関する費用推定はきわめて困難なものがある。したがって、費用関数は伐木集材作業のみとして次のように仮定した。

$$F(x) = f_a(x) + f_b(x) + f_c(x) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $F(x)$: 伐木集材費合計 (円),

$f_a(x)$: 集材費 (円),

$f_b(x)$: 道路開設費 (円),

$f_c(x)$: その他経費 (円)

4. 計算のための条件

上記の費用関数を計算するために、次の条件が準備される。

$f_a(x)$ に関して

- (a) 集材費用係数
- (b) 伐区立木材積
- (c) 造材歩止り
- (d) 集材作業うかい率
- (e) 伐区面積
- (f) 伐区形状パターン

$f_b(x)$ に関して

- (g) トラック道単位延長あたり単価
- (h) " 開設うかい率
- (i) 既設トラック道延長
- (j) 到達林道延長

$f_c(x)$ に関して

- (k) 単位材積あたり伐倒費
- (l) " 造材費
- (m) 土場面積
- (n) 単位面積あたり土場作設費
- (o) 単位材積あたり分担経費

5. 総費用の計算

上記の数値を決定したのち、値を(1)式に代入することによって総費用が計算できる。

6. 新しい総費用と前総費用との比較

作業道の最適化方法は、平均作業距離を総費用最小に調整することによって決定される。そして、上記の状態における路網パターンをこの伐区における最適路網配置とみなす。

計算は、道路が全くない状態から開始するが、この状態における総費用を比較総費用とよぶ。次に、電算プログラムによって伐区形状パターンが1ステップ展開され、計算は新しいパターンの状態でくり返される。このような総費用値を新しい総費用とよぶ。

$$F(x) < CF(x) \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{または } F(x) \geq CF(x) \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $F(x)$ ：新しい選択パターンによる総費用

$CF(x)$ ：前の選択パターンによる比較総費用

計算は、 $F(x)$ と $CF(x)$ との関係が(3)式の状態になるまでくり返される。

もし、 $F(x)$ と $CF(x)$ との関係が(2)式で示される場合は、新しい選択パターンが有効であると判断され、(3)式のように示される場合は有効でないと判断する。

7. 最小費用と最適路網の決定

選択パターンが有効なときには、計算値すなわち $f_a(x)$, $f_b(x)$, $f_c(x)$, FP, S, PV, RC, LC, IDC, NETP, AVEX, RDE がラインプリンターで印刷される。

ここで、FP：伐区形状パターン、S：伐区面積、PV：生産丸太材積、RC：作業道開設費、LC：土場作設費、IDC：その他経費、NETP：路網パターン、AVEX：平均作業距離、RDE：路網密度。

路網に関していえば、この計算結果はたんに基本的なパターンを示すにすぎない。したがって、実際の路網決定においては、地形条件および作業条件を十分考慮しなければならない。

実際の路網決定例としては、帯広営林局管内足寄営林署および陸別営林署においておこなってみた。その計算結果は本文 Table 10, Fig. 27, Table 12, および Fig. 32 に示すとおりである。

文 献

- 1) 藤原登抄訳 (LÜNZMANN, K.)：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，(Der Erschliessungskoeffizient, eine Kennzahl zur Beurteilung von Waldwegenezen und seine Anwendung bei Neuplanungen)，機械化林業，205，29～39，(1970)
- 2) 平賀昌彦ほか1：林地形状パターンによる作業道網計画法，日林大講要旨，159 P., (1971)
- 3) 平賀昌彦：電算手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，林試研報，238，1～30，(1971)
- 4) 上飯坂 実：ブルドーザによる林道施工計画法，林業機械化協会，117pp., (1962)
- 5) 上飯坂 実：森林利用学序説，地球出版，180pp., (1971)
- 6) 加藤誠平訳(PESTAL, E.)：林道網密度は集材法によってきまる，(Rückungsmethade entscheiden Wegnetzdichte)，森林利用研究会資料58，9 pp., (1963)
- 7) MATTHEWS, D. M.：Cost control in the logging industry. McGraw-hill, New York, 374 pp., (1942)
- 8) 南方 康：林道網計画に関する研究，東大演報，64，58 pp., (1968)

- 9) 三品忠男ほか 1 : 伐木・運材の経営と技術, 地球出版, 215 pp., (1966)
- 10) MOROTO, T. : The latest developments in private Japanese forestry. XIVth IUFRO Congress report, 21 pp., (1967)
- 11) 西川植三 : 二年目を迎えた愛林施業, 樹氷 (帯広営林局), 20, 7, 78~81, (1970)
- 12) 帯広営林局監査課 : 全幹トラクタ作業 (搬器サルキー) 功程調査報告書, 54 pp., (1964)
- 13) 帯広営林局作業課 : 帯広型モリクレーンの作業実績について, 生産通信, 19, 1, 9 pp., (1969)
- 14) 帯広営林局 : 天然林施業と高生産性施業のための新しい作業仕組の調査研究, 218 pp., (1971)
- 15) 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)
- 16) 林野庁業務課 : 作業道を中心とした集材システムの最適化に関する研究, 林野庁, 144 pp., (1971)
- 17) スリーエム研究会 : 高密路網の考え方と実際, スリーエム研究会, 133 pp., (1971)

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

A method of determining the logging road network adapting the simple form patterns

Masahiko HIRAGA⁽¹⁾

Summary

Recently, consequent upon the rapid progress of motorization, and the remarkable decrease of forest workers, forest management by the intensive road system has been watched with special interest. Especially at the new mechanization of forestry operations, there is the widespread belief that whole forest land could be covered by the network with the circulating system.

Therefore, the author's main purpose in this study is to find out the most reasonable and economical network for the logging operations. Hence, we tried to determine the optimum network which is based on the minimum cost idea, by the method of trial and error with the use of electronic computer.

The main method and the results are as follows:

1. Classification for the form patterns

At first, we must decide the form patterns of operation area. There are various forms depending on the operation areas. Nevertheless, at the new point of computer calculation, it is effective and sufficient to classify into the following four form patterns; (cf. Fig. 2)

- (a) Triangular pattern
- (b) Rectangular pattern
- (c) Rhomboid pattern
- (d) Trapezoid pattern

Received December 1, 1971

(1) Forest Mechanization Division

2. Development of the network patterns

Then, in order to decide on the network with circulating system, we determine the fundamental network patterns and their developments. Of course, it is advisable that the construction of network be as plain as possible, and to be developed systematically. In this case, the network patterns are represented as follows: (cf. Fig. 5)

- (a) Penetration type
- (b) Simple circulation type
- (c) Double circulation type
- (Circulation in many folds type)

3. Definition of cost function

It is widely recognized that the cost functions of forest road are required not only for the logging operation but also for the other forest operations. However, monetary estimations of such operations are very difficult to compile. Therefore, we must decide the cost function in logging operation as follows: (cf. Fig. 18)

$$F(x) = f_a(x) + f_b(x) + f_c(x) \dots\dots\dots (1)$$

where,

$F(x)$: Total cost of logging operation in Y .

$f_a(x)$: Skidding cost in Y .

$f_b(x)$: Road construction cost in Y .

$f_c(x)$: Others cost in Y .

4. Assumed conditions of the calculation

So as to calculate the above cost function, the following conditions must be prepared;

Relating to $f_a(x)$

- (a) Coefficients of skidding cost function.
- (b) Stand volume of operation area.
- (c) Bucking percentage.
- (d) Ratio of increment in skidding operation.
- (e) Operation area.
- (f) Form pattern.

Relating to $f_b(x)$

- (g) Cost of truck road construction in unit length.
- (h) Ratio of increment in truck road construction.
- (i) Length of existing truck road.
- (j) Length of access truck road.

Relating to $f_c(x)$

- (k) Cost of felling in unit volume.
- (l) Cost of bucking in unit volume.
- (m) Area of landing.
- (n) Cost of landing construction in unit area.
- (o) Cost of partial charge in unit volume.

5. Calculation of total cost

After the determination of the above values, the total cost is calculated by putting the values into eq. (1).

6. Comparison between new total cost and the former total cost

The optimum method on the logging road density necessitates that the average skidding distance should keep the total logging cost to the minimum. And then, we can estimate the network pattern of the above state to the optimum network in this operation area.

To begin with, calculation is started at the state of non road. Such value of total cost is named comparative total cost. The form patterns are developed one step on the electronic computer program. This calculation is repeated at the state of new pattern. Such value of total cost is named "new total cost".

$$F(x) < CF(x) \cdots \cdots (2)$$

$$\text{or } F(x) \geq CF(x) \cdots \cdots (3)$$

where

$F(x)$: The total cost for new pattern.

$CF(x)$: The comparative total cost for the former pattern.

The calculation is repeated until the relation between $F(x)$ and $CF(x)$ becomes as eq (3).

If the relation is expressed as in eq. (2), we could estimate the new pattern as effective, and if the relation is shown as in eq. (3), we could estimate it as ineffective.

7. Determination of the minimum cost and the optimum network

When the selective pattern is estimated as effective, the values of calculation: $f_a(x)$, $f_b(x)$, $f_c(x)$, FP, S, PV, RC, LC, IDC, NETP, AVEX, RDE are printed by the line-printer.

Where, FP: Form pattern, S: Operation area, PV: Produced log volume, RC: Road construction cost, LC: Landing construction cost, IDC: Others cost, NETP: Network pattern, AVEX: Average skidding distance, RDE: Road density.

With regard to the network, the results of this calculation is shown simply as the fundamental pattern.

Therefore, at the determining of actual network, we must take account of the topographic conditions and the operational conditions.

The examples of actual network were investigated in the national forest under the jurisdiction of ASYORO District Forestry Office, and RIKUBETSU D.F.O., OBIHIRO Regional Forestry Office. The results of calculation are shown in Table 10, Fig. 27, Table 12, and Fig. 32.

Reference table 1. 電算プログラム

Program for computer calculation

```

1  PROGRAM H6592
2  ** CALCULATION PROGRAM OF THE FOREST ROAD NETWORK
3  ** WITH THE USE OF FORMAL PATTERN **
4  ** CODED BY M. HIRAGA
5  INTEGER NF, NRC, NLA, NN, I, J, FP, KK, IF, IRC, ILA,
6  + FPI, I1, K, KKI, KI, KN, KM, BKN, BKM, IFI
7  REAL FC, FX, FXX, RC, LC, A, B, C, NV1, LV1, NP1, LP1, NV2, LV2,
8  + NP2, LP2, LA, ERL, IDC, HI, RI, MINL, MIL, MAXL, MAL,
9  + A1, B1, C1, HH, TV, RC1, LC1, VEX, RL, TOSUM, CTOSUM, SUM, RUE,
10 + Y1, Y2, Y3, ST, ARL, BVEX, SRL, BY1, BY2, BY3, BTUSUM
11 DIMENSION FC(20), FX(20), FXX(20), RC(20), LC(20), FP(100), KK(
12 + 100), A(100), B(100), C(100), IF(100), IRC(100), ILA(100),
13 + NV1(100), LV1(100), NP1(100), LP1(100), NV2(100), LV2(100), NP2(
14 + 100), LP2(100), LA(100), ERL(100), IDC(100), HI(100), RI(100),
15 + ARL(100), MIL(20), MAL(20)
16 C DATA NO YOMIKOMI
17 100 READ( 5, 100 ) NF, NRC, NLA, NN
18 100 FURMAT( 4F10.0 )
19 IF( NF.EQ. 0 ) GO TO 9999
20 DO 12 I = 1, NF
21 READ( 5, 120 ) FC(I), FX(I), FXX(I), MIL(I), MAL(I)
22 120 FURMAT( 5F10.0 )
23 12 CONTINUE
24 READ( 5, 140 ) ( RC(J), J = 1, NRC )
25 140 FURMAT( 8F10.0 )
26 READ( 5, 160 ) ( LC(J), J = 1, NLA )
27 160 FURMAT( 8F10.0 )
28 DO 14 I = 1, NN
29 READ( 5, 180 ) FPI(I), KKI(I), A(I), B(I), C(I), IF(I), IRC(I), ILA
30 + (I), NV1(I), LV1(I), NP1(I), LP1(I), NV2(I), LV2(I), NP2(I), LP2(
31 + (I), LA(I), ERL(I), IDC(I), HI(I), RI(I), ARL(I)
32 180 FURMAT( 2I10, 3F10.0, 3I10, 6F10.0 / 6F10.0 )
33 14 CONTINUE
34 C YOMIKOMI-DATA NO INSATU
35 WRITE( 6, 200 ) NF, NRC, NLA, NN
36 200 FURMAT( 1H1, 4HNF =, 15, 10X, 5HNRC =, 15, 10X, 5HNLA =, 15, 10X,
37 + 4HNN =, 15 )
38 WRITE( 6, 220 )
39 220 FURMAT( 1H0, 4X, 5HFC(I), 10X, 5HFX(I), 10X, 6HFXX(I) )
40 DO 16 I = 1, NF
41 WRITE( 6, 240 ) FC(I), FX(I), FXX(I), MIL(I), MAL(I)
42 240 FURMAT( 1H0, 3(5X, F10.4), 2(5X, F10.2) )
43 16 CONTINUE
44 WRITE( 6, 260 )
45 260 FURMAT( 1H0, 5HRC(J) )
46 WRITE( 6, 280 ) ( RC(J), J = 1, NRC )
47 280 FURMAT( 1H0, 8F10.2 )
48 WRITE( 6, 300 )
49 300 FURMAT( 1H0, 5HLC(I) )
50 WRITE( 6, 320 ) ( LC(I), I = 1, NLA )
51 320 FURMAT( 1H0, 8F10.2 )
52 WRITE( 6, 340 )
53 340 FURMAT( 1H0, 5X, 2HFPI, 8X, 2HKK, 7X, 1HA, 9X, 1HB, 9X, 1HC, 10X,
54 + 2HIF, 7X, 3HIRC, 7X, 3HILA, 1H0, 2X, 3HNV1, 7X, 3HLV1, 7X, 3HNP1,
55 + 7X, 3HLP1, 7X, 3HNV2, 7X, 3HLV2, 7X, 3-NP2, 7X, 3HLP2, 1H0, 2X,
56 + 2HLA, 8X, 3HERL, 7X, 3HIDC, 7X, 2HHI, 8X, 2HRI, 8X, 3HARL )
57 DO 18 I = 1, NN
58 WRITE( 6, 360 ) FPI(I), KKI(I), A(I), B(I), C(I), IF(I), IRC(I), ILA
59 + (I), NV1(I), LV1(I), NP1(I), LP1(I), NV2(I), LV2(I), NP2(I), LP2(I)
60 +, LA(I), ERL(I), IDC(I), HI(I), RI(I), ARL(I)
61 360 FURMAT( 1H0, 2I10, 3F10.2, 3I10, 1H0, 6F10.2 / 1H0, 6F10.2 )
62 18 CONTINUE
63 C KEISAN
64 DO 20 I = 1, NN
65 WRITE( 6, 400 )
66 400 FURMAT( //1H0, 3X, 3HFPI, 1X, 5HKK(I), 2X, 2HKN, 3X, 2HKM, 4X,
67 + 3HVEX, 8X, 2HRL, 8X, 2HY1, 8X, 2HY2, 7X, 5HSUM, 8X, 2HY3, 5X,
68 + 5HTOSUM, 7X, 3HQDE, 3X, 5HHI(I), 1X, 5-HI(I) )
69 FPI = FPI(I)
70 TV = NV1(I) * NV1(I) + LV1(I) * LP1(I) + NV2(I) * NP2(I) + LV2(I)
71 + * LP2(I)
72 A1 = A(I)
73 B1 = B(I)
74 C1 = C(I)
75 HH = A(I)
76 I1 = IF(I)
77 J = IRC(I)
78 RC1 = RC(J)
79 K = ILA(I)
80 LC1 = LC(K)
81 KKI = KK(I)
82 IF1 = IF(I)
83 MINL = MIL(IF1)
84 MAXL = MAL(IF1)
85 KI = 0
86 CTOSUM = 1000000000.0
87 IF( FPI - 2 ) 22, 26, 30
88 22 CONTINUE
89 C ** SANKAKU PATTERN **
90 HH = SORT( C1 * C1 - 0.25 * B1 * B1 )
91 ST = 0.5 * B1 * HH / 10000.0
92 A1 = HH
93 24 CALL SANKAK( B1, C1, HH, KI, KKI, KN, KM, VEX, RL )
94 Y1 = TV * ( FC(I1) + FX(I1) * VEX * (1.0 + HI(I1)) + FXX(I1) * VEX
95 + * VEX * (1.0 + HI(I1)) * (1.0 + HI(I1)) )
96 RL = RL * (1.0 + HI(I1))
97 RL = RL - ERL(I)
98 IF( RL.GE. 0.0 ) GO TO 25
99 RL = 0.0
100 25 RL = RL + ARL(I)
101 Y2 = RL * RC1
102 Y3 = LA(I) * LC1 + TV * IDC(I)
103 TOSUM = Y1 + Y2 + Y3
104 IF( MINL.NE. 0.0 ) GO TO 710
105 IF( MAXL.NE. 0.0 ) GO TO 720
106 IF( TOSUM.GE. CTOSUM ) GO TO 38
107 GO TO 725
108 710 IF( VEX.LE. MINL ) GO TO 38
109 IF( TOSUM.GE. CTOSUM ) GO TO 34
110 GO TO 725
111 720 IF( VEX.GT. (0.5 * MAXL) ) GO TO 725
112 IF( TOSUM.LT. CTOSUM ) GO TO 725
113 GO TO 38
114 725 CONTINUE

```

```

115 BKN = KN
116 BKM = KM
117 BVEX = VEX
118 BNL = RL
119 BY1 = Y1
120 BY2 = Y2
121 BY3 = Y3
122 BTOSUM = TOSUM
123 SUM = Y1 + Y2
124 RDE = (RL + ERL(I))/ST
125 IF(MAXL.EQ.0.0) GO TO 726
126 IF(VEX.GT. MAXL) GO TO 727
127 726 CONTINUE
128 WRITE(6,440) FPI, KKI, KN, KM, VEX, RL, Y1, Y2, SUM, Y3, TOSUM,
129 + RDE, HI(I), RI(I)
130 440 FORMAT(1H0,4I5,7F10.0, F10.2, 2F5.2)
131 727 CONTINUE
132 KI = KI + 2
133 CTOSUM = TOSUM
134 GO TO 24
135 26 CONTINUE
136 C H SHIKAKU PATTERN #
137 ST = BI * AI / 10000.0
138 28 CALL SHIKAKU(AI, BI, KI, KN, KM, VEX, RL)
139 Y1 = TV * (FC(I) + FX(I)) * VEX * (1.0 + HI(I)) + FXX(I) * VEX
140 + * VEX * (1.0 + HI(I)) * (1.0 + HI(I))
141 RL = RL * (1.0 + RI(I))
142 RL = RL - ERL(I)
143 IF(RL.GE.0.0) GO TO 29
144 RL = 0.0
145 29 RL = RL + ARL(I)
146 Y2 = RL * RCI
147 Y3 = LA(I) * LCI + TV * IDC(I)
148 TOSUM = Y1 + Y2 + Y3
149 IF(MINL.NE.0.0) GO TO 730
150 IF(MAXL.NE.0.0) GO TO 740
151 IF(TOSUM.GE. CTOSUM) GO TO 38
152 GO TO 745
153 730 IF(VEX.LE. MINL) GO TO 38
154 IF(TOSUM.GE. CTOSUM) GO TO 38
155 GO TO 745
156 740 IF(VEX.GT. (0.5 * MAXL)) GO TO 745
157 IF(TOSUM.LT. CTOSUM) GO TO 745
158 GO TO 38
159 745 CONTINUE
160 BKN = KN
161 BKM = KM
162 BVEX = VEX
163 BNL = RL
164 BY1 = Y1
165 BY2 = Y2
166 BY3 = Y3
167 BTOSUM = TOSUM
168 SUM = Y1 + Y2
169 RDE = (RL + ERL(I))/ST
170 IF(MAXL.EQ.0.0) GO TO 746
171 IF(VEX.GT. MAXL) GO TO 747
172 746 CONTINUE
173 WRITE(6,440) FPI, KKI, KN, KM, VEX, RL, Y1, Y2, SUM, Y3, TOSUM,
174 + RDE, HI(I), RI(I)
175 747 CONTINUE
176 KI = KI + 2

```

```

177 CTOSUM = TOSUM
178 GO TO 2A
179 30 CONTINUE
180 C H HYOKET PATTERN #
181 IF(FPI.EQ.4) GO TO 34
182 CI = SQRT(0.25 * BI * BI + 0.25 * HH * HH)
183 ST = 0.5 * BI * HH / 10000.0
184 32 CALL HYOKET(BI, HH, KI, KN, KM, VEX, RL)
185 Y1 = TV * (FC(I) + FX(I)) * VEX * (1.0 + HI(I)) + FXX(I) * VEX
186 + * VEX * (1.0 + HI(I)) * (1.0 + HI(I))
187 RL = RL * (1.0 + RI(I))
188 RL = RL - ERL(I)
189 IF(RL.GE.0.0) GO TO 33
190 RL = 0.0
191 33 RL = RL + ARL(I)
192 Y2 = RL * RCI
193 Y3 = LA(I) * LCI + TV * IDC(I)
194 TOSUM = Y1 + Y2 + Y3
195 IF(MINL.NE.0.0) GO TO 750
196 IF(MAXL.NE.0.0) GO TO 760
197 IF(TOSUM.GE. CTOSUM) GO TO 3A
198 GO TO 765
199 750 IF(VEX.LE. MINL) GO TO 38
200 IF(TOSUM.GE. CTOSUM) GO TO 38
201 GO TO 765
202 760 IF(VEX.GT. (0.5 * MAXL)) GO TO 765
203 IF(TOSUM.LT. CTOSUM) GO TO 765
204 GO TO 38
205 765 CONTINUE
206 BKN = KN
207 BKM = KM
208 BVEX = VEX
209 BNL = RL
210 BY1 = Y1
211 BY2 = Y2
212 BY3 = Y3
213 BTOSUM = TOSUM
214 SUM = Y1 + Y2
215 RDE = (RL + ERL(I))/ST
216 IF(MAXL.EQ.0.0) GO TO 766
217 IF(VEX.GT. MAXL) GO TO 767
218 766 CONTINUE
219 WRITE(6,440) FPI, KKI, KN, KM, VEX, RL, Y1, Y2, SUM, Y3, TOSUM,
220 + RDE, HI(I), RI(I)
221 767 CONTINUE
222 KI = KI + 2
223 CTOSUM = TOSUM
224 GO TO 32
225 34 CONTINUE
226 C H DAIKEI PATTERN #
227 HH = SQRT(CI * CI - 0.25 * (BI - AI) * (BI - AI))
228 ST = 0.5 * (AI + BI) * HH / 10000.0
229 36 CALL DAIKEI(AI, BI, CI, HH, KI, KKI, KN, KM, VEX, RL)
230 Y1 = TV * (FC(I) + FX(I)) * VEX * (1.0 + HI(I)) + FXX(I) * VEX
231 + * VEX * (1.0 + HI(I)) * (1.0 + HI(I))
232 RL = RL * (1.0 + RI(I))
233 RL = RL - ERL(I)
234 IF(RL.GE.0.0) GO TO 37
235 RL = 0.0
236 37 RL = RL + ARL(I)
237 Y2 = RL * RCI
238 Y3 = LA(I) * LCI + TV * IDC(I)

```

```

239 TOSUM = Y1 + Y2 + Y3
240 IF(MIN(.NE.0.0) GO TO 770
241 IF(MAX(.NE.0.0) GO TO 780
242 IF(TOSUM.GE.CTOSUM) GO TO 38
243 GU TO 785
244 770 IF(VE.X(.LE.MIN)) GO TO 38
245 IF(TOSUM.GE.CTOSUM) GO TO 38
246 GU TO 785
247 780 IF(VE.X(.GT.(0.5 * MAXL))) GO TO 785
248 IF(TOSUM.LT.CTOSUM) GO TO 785
249 GU TO 38
250 785 CONTINUE
251 BKN = KN
252 BKM = KM
253 BRL = RL
254 BVEX = VEX
255 BY1 = Y1
256 BY2 = Y2
257 BY3 = Y3
258 HTOSUM = TOSUM
259 SUM = Y1 + Y2
260 RDE = (RL + ERL(1))/ST
261 IF(MAXL.EQ.0.0) GO TO 786
262 IF(VE.X(.GT.MAXL) GO TO 787
263 786 CONTINUE
264 WRITE(6,440) FPI, KKI, KN, KM, VEX, RL, Y1, Y2, SUM, Y3, TOSUM,
265 + KDE, HJ(1), RI(1)
266 787 CONTINUE
267 KI = KI + 2
268 CTOSUM = TOSUM
269 GU TO 36
270 36 CONTINUE
271 WRITE(6,460)
272 460 FORMAT(1H0, 5X, 10H** STOP ** )
273 KN = BKN
274 KM = BKM
275 VEX = BVEX
276 RL = BRL
277 Y1 = BY1
278 Y2 = BY2
279 Y3 = BY3
280 TOSUM = HTOSUM
281 WRITE(6,480)
282 480 FORMAT(//1H0, 9HSHIRYO-NU, 1X, 8HFORM-PAT, 5X, 6H4 UR H, 6X, 1HB,
283 + 9X, 1HC, 6X, 7HMENSEKI, 3X, 7HZAISEKI, 3X, 8HKANSU-NU, 2X,
284 + 7HUR-COST, 3X, 7HUL-COST, 3X, 8HUID-COST)
285 WRITE(6,500) I
286 500 FORMAT(1H0, 15, 4X)
287 IF(FPI - 2) 40, 42, 44
288 40 WRITE(6,520)
289 520 FORMAT(1H+, 10X, 8HSAN-KAKU)
290 GU TO 48
291 42 WRITE(6,540)
292 540 FORMAT(1H+, 10X, 8HSHI-KAKU)
293 GU TO 48
294 44 IF(FPI.EQ.4) GO TO 46
295 WRITE(6,560)
296 560 FORMAT(1H+, 11X, 7HRYO-KEI)
297 GU TO 48
298 46 WRITE(6,580)
299 580 FORMAT(1H+, 10X, 7HDAI-KEI)

```

```

300 48 WRITE(6,600) AI, BI, CI, ST, TV, II, HCI, LCI, IDC(1)
301 600 FORMAT(1H+, 19X, 5F10.2, 15, 5X, 5F10.2)
302 WRITE(6,620)
303 620 FORMAT(1H0, 11X, 7HNET-PAT, 4X, 8HAV-SAGYO, 2X, 8HM-LENGTH, 5X,
304 + 6MP-COST, 4X, 6HR-COST, 5X, 3HSUM, 5X, 8H01H-COST, 3X, 6HIO-SUM,
305 + 4X, 6HR-DENS, 2X, 2HMI, 3X, 2HRI)
306 WRITE(6,640) KN, KM, VEX, RL, Y1, Y2, SUM, Y3, TOSUM, RDE,
307 + MI(1), RI(1)
308 640 FORMAT(1H0, 9X, 2I4, 2X, 2F10.2, 5F10.0, 1F10.2, 2F5.2)
309 20 CONTINUE
310 WRITE(6,660)
311 660 FORMAT(//1H0, 10X, 45H ** CALCULATION OF ABOVE DATA IS FINISHED **
312 + )
313 GU TO 10
314 9999 WRITE(6,680)
315 680 FORMAT(//1H0, 10X, 33H *** ALL CALCULATION IS ENDED *** )
316 STOP
317 END
318 SUBROUTINE SANKAK( B, C, H, K, KK, KN, KM, VEX, RL )
319 INTEGER K, KK, KN, KM, N, NN
320 REAL B, C, H, VEX, RL, AX, *T, ST, SA1, SA2, SA3, SA4, SA5, SA6,
321 + X1, X2, X3, X4, X5, X6, X, Y, HH, AA, BB, CC, RBB, BOB, COC, MOH
322 + , AO, BO, EO, ED, MAT, MB1, RLA, MLB, SB1, SB2, SB3, SB, SH
323 N = 3
324 NN = 15
325 RL = 0.0
326 VEX = 0.0
327 KN = 0
328 MAT = 0.0
329 MBT = 0.0
330 RLA = 0.0
331 MLB = 0.0
332 BI = B
333 CI = C
334 HI = H
335 ST = 3.5 * B * H
336 IF(K.EQ.0) GO TO 1
337 Y = B/STRT(2.0)
338 X = Y/FLGAT(K)
339 IF(K - 7) 1000, 2000, 3000
340 1000 CONTINUE
341 C = 0 PATTERN
342 IF(KK.EQ.1) GO TO 1500
343 SA1 = 0.25 * B * H
344 BB = 0.5 * B
345 CALL AVEX( BB, H, C, N, NN, AX )
346 X1 = AX
347 MAT = 2.0 * SA1 * H * X1
348 KM = 0
349 GU TO 5000
350 1500 CONTINUE
351 C = 0 PATTERN
352 SA1 = 0.5 * B * H
353 CALL AVEX( C, B, N, NN, AX )
354 X1 = AX
355 MAT = SA1 * H * X1
356 KM = 0
357 GU TO 5000
358 2000 CONTINUE
359 C = 1 PATTERN
360 HH = H - X

```

361	IF (H - X .LE. 0.0) GO TO 1000	
362	CC = C + 0.5 * B	
363	CC = C + (HH/H)	
364	IF (KK.EQ. 1) GO TO 2500	
365	AA = BB * (X/H)	
366	AO = SORT (AA * AA + X * X)	
367	SAL = 0.5 * AA * X	
368	CALL AVEEX (AA, X, AU, N, NN, AX)	
369	X1 = AX	
370	SA2 = 0.5 * (AA + BB) * HH	
371	X2 = 0.25 * (AA + BB)	
372	MAT = 2.0 * (SAL * X1 + SA2 * X2)	
373	RLA = HH	
374	KM = 1	
375	GO TO 3000	
376	2500 CONTINUE	
377	1 - 1 PATTERN	
378	AA = BB * (HH/H)	
379	AU = C * (X/H)	
380	BU = SORT (BB * BB + X * X)	
381	SAL = 0.5 * BB * X	
382	CALL AVEEX (BU, X1, BB, N, NN, AX)	
383	X1 = AX	
384	SA2 = 0.5 * AA * X	
385	CALL AVEEX (AA, BU, AO, N, NN, AX)	
386	X2 = AX	
387	SA3 = 0.5 * AA * HH	
388	X3 = AA * (1.0 - 1.0/SORT(2.0))	
389	MAT = 2.0 * (SAL * X1 + SA2 * X2 + SA3 * X3)	
390	RLA = HH	
391	KM = 1	
392	GO TO 5000	
393	3000 CONTINUE	
394	2 - 0 PATTERN	
395	BUB = B - 2.0 * H * X / H * 2.0 * (C + B / 2.0)	
396	HUB = H - (2.0 * X + 4.0 * H * C / B)	
397	HB = B - (2.0 * X) / H * (C - B / 2.0)	
398	SH = 2.0 * H * H * (C + H / 2.0)	
399	SH = 2.0 * X + 4.0 * H * C * X / B	
400	GO TO 3050	
401	3050 RUB = B - 2.0 * SB	
402	HUB = H - SH	
403	BB = B - SB	
404	3050 IF (BB .LE. X) GO TO 2000	
405	ED = 0.5 * (B - BB)	
406	FU = SORT (GO * ED + X * X)	
407	BU = 2.0 * H * C / B	
408	HM = H - (X + BU)	
409	IF (HM .LE. X) GO TO 2000	
410	CC = HM * (C/H)	
411	AU = SORT (BU * BU - X * X)	
412	CALL AVEEX (X, BU, AO, N, NN, AX)	
413	X1 = AU	
414	SAL = 0.5 * AO * X	
415	SA2 = 0.5 * ED * X	
416	CALL AVEEX (X, ED, N, NN, AX)	
417	X2 = X * (2.0 * ED + X)	
418	SA3 = X * (2.0 * CC + BB)	
419	X3 = 0.5 * X	
420	IF (BUB .LE. X) GO TO 3100	
421	IF (HUB .LE. X) GO TO 3100	
422	IF (BB .GE. 4.0 * X) GO TO 3500	
423	3100 SA4 = (1.0/8.0) * BB * HH	
424	X4 = (1.0/8.0) * BB * (C/H) * (1.0 - 1.0/SORT(2.0))	
425	SA5 = (1.0/4.0) * BB * HH	
426	X5 = 0.5 * HH * (1.0 - 1.0/SORT(2.0))	
427	MAT = 2.0 * (SAL * X1 + 2.0 * SA2 * X2) + SA3 * X3 + 2.0 * SA4	
428	+ X4 + SA5 * X5	
429	RLA = 2.0 * CC + BB	
430	KM = 2	
431	GO TO 5000	
432	3500 CONTINUE	
433	2 - 1 PATTERN	
434	SA4 = (1.0/12.0) * HH * BB	
435	X4 = (1.0/3.0) * HH * (1.0 - SORT(2.0))	
436	SA5 = SA4	
437	X5 = (1.0/6.0) * BB * (1.0 - SORT(2.0))	
438	SA6 = (1.0/12.0) * BB * HH	
439	X6 = (1.0/6.0) * BB * (H/C) * (1.0 - SORT(2.0))	
440	MAT = 2.0 * (SAL * X1 + 2.0 * SA2 * X2) + SA3 * X3 + 2.0 * (SA4	
441	+ X4 + SA5 * X5 + SA6 * X6)	
442	RLA = 2.0 * CC + BB + HH	
443	KM = 3	
444	GO TO 5000	
445	4000 CONTINUE	
446	3 - 0 PATTERN	
447	SB1 = 0.5 * AO * X	
448	CALL AVEEX (X, BU, AO, N, NN, AX)	
449	X1 = AU	
450	SA2 = 0.5 * ED * X	
451	CALL AVEEX (ED, X1, ED, N, NN, AX)	
452	X2 = AX	
453	SA3 = X * (4.0 * CC + 2.0 * BB - 2.0 * AO - 4.0 * ED)	
454	SA4 = 0.5 * X	
455	X6 = X * (1.0 - 1.0 / SORT(2.0))	
456	SA5 = SB2	
457	SA6 = X * SB2	
458	MAT = MAT + SB1 + 2.0 * (SB1 * X1 + SB4 * X4) + SB3 * X3 + 4.0 * (SB2	
459	+ X2 + SB5 * X5)	
460	RLB = RB + 2.0 * CC + BB	
461	CC = SORT(0.25 * BUB * BUB + HUB * HUB)	
462	H = BUB	
463	CC = CC	
464	CN = CN + 1	
465	GO TO 3030	
466	5000 HT = MAT + HBT	
467	RL = RLA + RLB	
468	IF (CN .LT. 1) GO TO 5200	
469	IF (KK.EQ. 1) GO TO 5100	
470	RL = RL + 2.0 * X * FLOAT(KN)	
471	GO TO 5200	
472	5100 RL = RL + 2.0 * BO * FLOAT(KN)	
473	5200 IF (KM .LE. 1) GO TO 5400	
474	IF (KK.EQ. 1) GO TO 5300	
475	RL = RL + X	
476	GO TO 5400	
477	5300 RL = RL + BO	
478	GO TO 5400	
479	5400 RL = RL + BO	

481	5400	VEX = MT / ST	
482	B = B1		
483	C = C1		
484	H = H1		
485	RETURN		
486	END		
487	SUBROUTINE SIKAKU(A, B, K, KN, KM, VEX, HL)		
488	INTEGER N, NN, K, KN, KM		
489	REAL A, B, C, AA, BB, CC, AX, AAA, BBB, VEX, RL, RLA, RLB, MT,		
490	+ MAT, MBT, SA1, SA2, SA3, SA4, X1, X2, X3, X4, SH1, SH2, SH3, ST,		
491	+ X1, A1, B1		
492	A1 = A		
493	B1 = B		
494	ST = A * B		
495	NN = 15		
496	RL = 0.0		
497	VEX = 0.0		
498	KN = 0		
499	MAT = 0.0		
500	MBT = 0.0		
501	RLA = 0.0		
502	RLB = 0.0		
503	IF (K - 2) 1000, 2000, 3000		
504	1000 AA = SORT(A * A + 0.25 * B * B)		
505	BB = 0.5 * B		
506	SA1 = 0.5 * A * BB		
507	N = 3		
508	CALL AVEK(AA, BB, A, N, NN, AX)		
509	X1 = AX		
510	SA2 = 0.5 * A * B		
511	CALL AVEK(AA, AA, B, N, NN, AX)		
512	X2 = AX		
513	MAT = 2.0 * SA1 * X1 + SA2 * X2		
514	RLA = 0.0		
515	KM = 0		
516	GO TO 6000		
517	2000 X = B / 2.0		
518	2200 AA = A - 0.5 * B		
519	IF (AA .LE. 0.0) GO TO 1000		
520	KM = 1		
521	SA1 = 0.25 * B * B		
522	N = 4		
523	C = 0.0		
524	X = 0.5 * B		
525	CALL AVEK(X, X, C, N, NN, AX)		
526	X1 = AX		
527	SA2 = 0.5 * B * AA		
528	X2 = 0.25 * B		
529	MAT = 2.0 * (SA1 * X1 + SA2 * X2)		
530	RLA = AA		
531	GO TO 6000		
532	3000 IF (K - 5) 3300, 4000, 5000		
533	3300 X = B / 4.0		
534	3333 IF (A - GE, 4.0 * X) GO TO 3310		
535	IF (A - GE, 3.0 * X) GO TO 3320		
536	IF (A - GE, Y) GO TO 3330		
537	GO TO 1000		
538	3310 AA = A - 2.0 * X		
539	BB = B - 2.0 * X		
540	SA1 = X * X		
541	N = 4		
542	C = 0.0		
543	CALL AVEK(X, X, C, N, NN, AX)		
544	X1 = AX		
545	SA2 = (0.5 * BB + AA) * X		
546	X2 = 0.5 * X		
547	IF (AA - GE, BB) GO TO 3311		
548	X3 = 0.5 * BB * (1.0 - 1.0 / SORT(2.0))		
549	IF (AA - GE, BB) GO TO 3311		
550	SA3 = 0.125 * BB * AA		
551	X3 = 0.25 * (AA + BB) * (1.0 - 1.0 / SORT(2.0))		
552	3311 SA4 = 0.5 * BB * (AA - BB)		
553	IF (SA4 - GE, 0.0) GO TO 3312		
554	SA4 = 0.0		
555	3312 X4 = 0.25 * BB		
556	MAT = 2.0 * (2.0 * SA1 * X1 + SA2 * X2 + 4.0 * SA3 * X3 + SA4		
557	+ X4)		
558	RLA = 2.0 * (AA + BB)		
559	KM = 2		
560	GO TO 6000		
561	3320 AA = A - 2.0 * X		
562	BB = B - 2.0 * X		
563	SA1 = X * X		
564	N = 4		
565	C = 0.0		
566	CALL AVEK(X, X, C, N, NN, AX)		
567	X1 = AX		
568	SA2 = (AA + 0.5 * BB) * X		
569	X2 = 0.5 * X		
570	SA3 = 0.125 * AA * BB		
571	X3 = 0.5 * AA * (1.0 - 1.0 / SORT(2.0))		
572	SA4 = 0.25 * AA * BB		
573	X4 = 0.5 * BB * (1.0 - 1.0 / SORT(2.0))		
574	MAT = 2.0 * (2.0 * SA1 * X1 + SA2 * X2 - 2.0 * SA3 * X3 + SA4 * X4)		
575	RLA = 2.0 * (AA + BB)		
576	KM = 2		
577	GO TO 6000		
578	3330 AA = A - X		
579	SA1 = 0.5 * X * X		
580	N = 4		
581	C = 0.0		
582	CALL AVEK(X, X, C, N, NN, AX)		
583	X1 = AX		
584	SA2 = 0.5 * AA * X		
585	X2 = 0.25 * X		
586	MAT = 2.0 * (SA1 * X1 + SA2 * X2)		
587	RLA = AA		
588	KM = 1		
589	GO TO 6000		
590	4000 X = B / 6.0		
591	4000 IF (A - GE, 4.0 * X) GO TO 4410		
592	4400 IF (A - GE, 3.0 * X) GO TO 4420		
593	IF (A - GE, X) GO TO 4430		
594	IF (A - GE, X) GO TO 4430		
595	GO TO 1000		
596	4410 AA = A - 2.0 * X		
597	BB = B - 2.0 * X		
598	SA1 = X * X		
599	N = 4		
600	C = 0.0		
601	CALL AVEK(X, X, C, N, NN, AX)		
602	X1 = AX		
603	SA2 = (0.5 * BB + AA) * X		
604	X2 = 0.5 * X		

```

605 SA3 = 1.0 / 32.0 * BB * BB
606 X3 = 0.25 * BB * ( 1.0 - 1.0 / SQRT( 2.0 ) )
607 IF( AA .GE. BB ) GO TO 4411
608 SA3 = 1.0 / 32.0 * BB * AA
609 X3 = 0.125 * ( AA + BB ) * ( 1.0 - 1.0 / SQRT( 2.0 ) )
610 4411 SA4 = ( AA - 0.5 * BB ) * 0.5 * BB
611 IF( SA4 .GE. 0.0 ) GO TO 4412
612 SA4 = 0.0
613 4412 X4 = 1.0 / 8.0 * BB
614 MAT = 2.0 * ( 2.0 * SA1 * X1 + SA2 * X2 + 8.0 * SA3 * X3 + SA4 *
615 + X4 )
616 RLA = 3.0 * AA + 2.0 * BB
617 KM = 3
618 GO TO 6000
619 4420 AA = A - 2.0 * X
620 BB = B - 2.0 * X
621 SA1 = X * X
622 N = 4
623 C = 0.0
624 CALL AVEX( X, X, C, N, NN, AX )
625 X1 = AX
626 SA2 = ( 0.5 * BB + AA ) * X
627 X2 = 0.5 * X
628 SA3 = 1.0 / 8.0 * AA * BB
629 X5 = 0.5 * AA * ( 1.0 - 1.0 / SQRT( 2.0 ) )
630 SA4 = 1.0 / 8.0 * AA * BB
631 X4 = 0.25 * BB * ( 1.0 - 1.0 / SQRT( 2.0 ) )
632 MAT = 2.0 * ( 2.0 * SA1 * X1 + SA2 * X2 + 2.0 * SA3 * X3 + 2.0 *
633 + SA4 * X4 )
634 RLA = 3.0 * AA + 2.0 * BB
635 KM = 3
636 GO TO 6000
637 4430 AA = A - X
638 SA1 = 0.5 * B * X
639 N = 4
640 C = 0.0
641 CC = 0.5 * X
642 CALL AVEX( X, CC, C, N, NN, AX )
643 X1 = AX
644 SA2 = 0.5 * BB * AA
645 X2 = 0.25 * B
646 MAT = 2.0 * ( SA1 * X1 + SA2 * X2 )
647 RLA = AA
648 KM = 1
649 GO TO 6000
650 5000 M = B / FLOAT( K )
651 5050 AAA = A - 6.0 * X
652 BBB = B - 6.0 * X
653 IF( AAA .GT. 0.0 ) GO TO 5100
654 GO TO 5200
655 5100 IF( BBB .GT. 0.0 ) GO TO 5500
656 5200 C = B / X
657 IF( C .GE. 6.0 ) GO TO 4400
658 IF( C .GE. 4.0 ) GO TO 3333
659 GO TO 2200
660 5500 AA = A - 2.0 * X
661 BB = B - 2.0 * X
662 SB1 = X * X
663 C = 0.0
664 N = 4
665 CALL AVEX( X, X, C, N, NN, AX )

```

```

666 X1 = AX
667 SB2 = 2.0 * X * ( AA + BB / 2.0 - 2.0 * X )
668 X2 = 0.5 * X
669 SB3 = 0.5 * X * X
670 X3 = X * ( 1.0 - 1.0 / SQRT( 2.0 ) )
671 MBT = MBT + 2.0 * ( 2.0 * SB1 * X1 + SB2 * X2 + 4.0 * SB3 * X3 )
672 RLB = RLB + 2.0 * ( AA + BB )
673 A = A - 4.0 * X
674 B = B - 4.0 * X
675 KN = KN + 1
676 GO TO 5050
677 6000 MT = MAT + MBT
678 RL = RLA + RLB
679 IF( KN .GE. 1 ) GO TO 6100
680 GO TO 6200
681 6100 RL = RL + 2.0 * X * FLOAT( KN )
682 6200 IF( KM .LE. 1 ) GO TO 6300
683 RL = RL + 1.0 * X
684 6300 VEX = MT / ST
685 A = A1
686 B = B1
687 RETURN
688 END
689 SUBROUTINE RYOKEI( B, M, K, KN, KM, VEX, RL )
690 INTEGER K, KN, KM, N, NN
691 REAL AA, AU, AX, B, BB, BD, BBB, C, CC, H, HH, HHH, ST, RL,
692 + RLA, RLB, MT, MAT, MBT, ED, ED, SA1, SA2, SA3, SA4, SA5, X1, X2,
693 + X3, X4, X5, SB1, SB2, SB3, SB4, SB5, X, VEX, CCC
694 N = 5
695 NN = 15
696 C = SQRT( 0.25 * H * H - 0.25 * B * B )
697 B1 = B
698 H1 = H
699 C1 = C
700 ST = 0.5 * B * H
701 XT = 0.0
702 KN = 0
703 MAT = 0.0
704 MBT = 0.0
705 RLA = 0.0
706 RLB = 0.0
707 IF( K .NE. 0 ) GO TO 1000
708 500 BB = 0.5 * B
709 HH = 0.5 * H
710 CC = SQRT( BB * BB + HH * HH )
711 SA1 = 0.5 * BB * H
712 CALL AVEX( CC, H, CC, N, NN, AX )
713 X1 = AX
714 MAT = 2.0 * SA1 * X1
715 RLA = 0.0
716 KM = 0
717 GO TO 6000
718 1000 IF( K - 4 ) 2000, 3000, 4000
719 2000 X = B / 2.0
720 2100 IF( B - H ) 2200, 2300, 2400
721 2200 BB = 0.5 * B
722 HH = H - X
723 IF( H - X .LE. 0.0 ) GO TO 500
724 IF( H - X .EQ. 0.5 * H ) GO TO 2300
725 IF( H - X .LT. 0.5 * H ) GO TO 2400
726 EU = 0.5 * H - X

```



```

727 BU = SQRT( 0.25 * B * B + 0.25 * H * H )
728 CC = BU * X / ( 0.5 * H )
729 FU = BU - CC
730 AA = SQRT( CC * CC - X * X )
731 SA1 = 0.5 * AA * X
732 CALL AVEX( AA, X, CC, N, NN, AX )
733 X1 = AX
734 SA2 = 0.5 * ( AA + BB ) * EU
735 X2 = 0.25 * ( AA + BB )
736 SA3 = 0.125 * B * H
737 X3 = BB * ( 1.0 - 1.0 / SQRT( 2.0 ) )
738 MAT = 2.0 * ( SA1 * X1 + SA2 * X2 + SA3 * X3 )
739 RLA = HH
740 KM = 1
741 GU TO 6000
742 2300 BB = 0.5 * B
743 HH = H - X
744 IF( H - X .LE. 0.0 ) GO TO 500
745 IF( H - X .GT. 0.5 * H ) GO TO 2200
746 IF( H - X .LT. 0.5 * H ) GO TO 2400
747 SA1 = 0.5 * BB * X
748 CC = SQRT( BB * BB + X * X )
749 CALL AVEX( BB, X, CC, N, NN, AX )
750 X1 = AX
751 SA2 = 0.5 * BB * HH
752 X2 = BB * ( 1.0 - 1.0 / SQRT( 2.0 ) )
753 MAT = 2.0 * ( SA1 * X1 + SA2 * X2 )
754 RLA = HH
755 KM = 1
756 GU TO 6000
757 2400 BB = 0.5 * B
758 HH = H - X
759 IF( H - X .LE. 0.0 ) GO TO 500
760 IF( H - X .GT. 0.5 * H ) GO TO 2200
761 IF( H - X .EQ. 0.5 * H ) GO TO 2300
762 BU = SQRT( 0.25 * H * H + 0.25 * B * B )
763 CC = BU * HH / ( 0.5 * H )
764 EU = BU - CC
765 ED = SQRT( BB * BB + ( 0.5 * H - HH ) * ( 0.5 * H - HH ) )
766 SA1 = 0.5 * BB * X
767 CALL AVEX( ED, X, BU, N, NN, AX )
768 X1 = AX
769 AA = SQRT( CC * CC - HH * HH )
770 SA2 = 0.5 * AA * ( 0.5 * H - HH )
771 CALL AVEX( AA, ED, EU, N, NN, AX )
772 X2 = AX
773 SA3 = 0.5 * AA * HH
774 X3 = AA * ( 1.0 - 1.0 / SQRT( 2.0 ) )
775 MAT = 2.0 * ( SA1 * X1 + SA2 * X2 + SA3 * X3 )
776 RLA = HH
777 KM = 1
778 GU TO 6000
779 3000 X = B / 4.0
780 3100 BB = 0.5 * B
781 BU = C * X / BB
782 IF( H - 2.0 * BU .LE. X ) GO TO 2100
783 AU = SQRT( BU * BU - X * X )
784 EU = C * X / ( 0.5 * H )
785 IF( B - 2.0 * EU .LE. X ) GO TO 2100
786 EU = SQRT( EU * EU - X * X )
787 CC = C - ( AU + EU )
788 HH = H - 2.0 * BU

```

```

799 SA1 = 0.5 * X * AU
790 CALL AVEX( X, BU, AU, N, NN, AX )
791 X1 = AX
792 SA2 = 0.5 * EU * X
793 CALL AVEX( EU, X, ED, N, NN, AX )
794 X2 = AX
795 SA3 = X * CC
796 X3 = 0.5 * X
797 SA4 = 0.25 * HH * ( BB - EU )
798 X4 = 0.5 * HH * ( BB - EU ) / CC * ( 1.0 - 1.0 / SQRT( 2.0 ) )
799 MAT = 4.0 * ( SA1 * X1 + SA2 * X2 + SA3 * X3 + SA4 * X4 )
800 RLA = 4.0 * CC
801 KM = 2
802 GU TO 6000
803 4000 IF( K .GT. 6 ) GO TO 5000
804 X = B / 6.0
805 4100 BB = 0.5 * H
806 BU = C * X / BB
807 IF( H - 2.0 * BU .LE. X ) GO TO 2100
808 AU = SQRT( BU * BU - X * X )
809 EU = C * X / ( 0.5 * H )
810 IF( B - 2.0 * EU .LE. X ) GO TO 2100
811 IF( B - 2.0 * EU .LE. 2.0 * X ) GO TO 3100
812 EU = SQRT( EU * EU - X * X )
813 CC = C - ( EU + AU )
814 HH = H - 2.0 * BU
815 SA1 = 0.5 * X * AU
816 CALL AVEX( X, BU, AU, N, NN, AX )
817 X1 = AX
818 SA2 = 0.5 * X * EU
819 CALL AVEX( EU, X, ED, N, NN, AX )
820 X2 = AX
821 SA3 = X * CC
822 X3 = 0.5 * X
823 SA4 = 0.125 * ( BB - EU ) * HH
824 X4 = 0.25 * ( BB - EU ) * HH / CC * ( 1.0 - 1.0 / SQRT( 2.0 ) )
825 SA5 = SA4
826 X5 = 0.5 * ( BB - EU ) * ( 1.0 - 1.0 / SQRT( 2.0 ) )
827 MAT = 4.0 * ( SA1 * X1 + SA2 * X2 + SA3 * X3 + SA4 * X4 + SA5 * X5 )
828 RLA = 4.0 * CC + HH
829 KM = 3
830 GU TO 6000
831 5000 X = B / FLOAT( K )
832 5100 EU = X * C / ( 0.5 * H )
833 BBB = B - 6.0 * EU
834 AU = X * 0.5 * H / ( 0.5 * B )
835 EU = SQRT( EU * EU - X * X )
836 BU = SQRT( AU * AU + X * X )
837 CC = C - ( AU + EU )
838 HH = H - 6.0 * BU
839 IF( BBB .GT. 0.0 ) GO TO 5200
840 GU TO 5300
841 5200 IF( HH .GT. 0.0 ) GO TO 5500
842 5300 CCC = B / X
843 IF( CCC .GE. 6.0 ) GO TO 4100
844 IF( CCC .GE. 4.0 ) GO TO 3100
845 GU TO 2100
846 5500 SB1 = 0.5 * AU * X
847 CALL AVEX( X, BU, AU, N, NN, AX )
848 X1 = AX
849 SB2 = 0.5 * EU * X
850

```

```

851 CALL AVEX( ED, X, ED, N, NN, AX )
852 X2 = AX
853 SB3 = X * ( CC + CC - ( AD + ED ) )
854 X3 = 0.5 * X
855 SB4 = SB1
856 X4 = X * ( 1.0 - 1.0 / SQRT( 2.0 ) )
857 SB5 = SB2
858 X5 = X4
859 MBT = MAT + 4.0 * ( SB1 * X1 + SB2 * X2 + SB3 * X3 + SB4 * X4 +
860 SB5 * X5 )
861 RLB = RLB + 4.0 * CC
862 B = B - 4.0 * ED
863 H = H - 4.0 * RD
864 C = SQRT( 0.25 * B * B + 0.25 * H * H )
865 KN = KN + 1
866 GO TO 5100
867 6000 MT = MAT + MBT
868 RL = RLA + RLB
869 IF( KN .GE. 1 ) GO TO 6100
870 GO TO 6200
871 6100 RL = RL + 2.0 * BD * FLOA( KN )
872 6200 IF( KN .LE. 1 ) GO TO 6300
873 RL = RL + 1.0 * BU
874 6300 VEX = MT / ST
875 I = R1
876 H = H1
877 C = C1
878 RETURN
879 END
880 SUBROUTINE DAI( F( A, B, C, H, K, KK, KN, KM, VEX, RL )
881 INTEGER K, KK, KN, KM, N, NN
882 REAL A, B, C, H, VEX, RL, AX, AA, BB, CC, BA, S1, S2, S3, S4, S5,
883 S6, S7, SA1, SA2, SA3, SA4, SA5, SA6, SA7, X1, X2, X3, X4, X5,
884 X6, X7, SAT, SBT, SI, MA1, MBT, MT, RLA, RLB, CA, CB, AD, BU,
885 ED, EO, ADA, BDB, QDH, HH, X, Y, A1, R1, C1, H1, XH
886 N = 3
887 NN = 15
888 RL = 0.0
889 SBT = 0.0
890 SAT = 0.0
891 MAT = 0.0
892 MBT = 0.0
893 RLA = 0.0
894 RLB = 0.0
895 A1 = A
896 H1 = B
897 C1 = C
898 H1 = H
899 KN = 0
900 ST = 0.5 * ( A + B ) * H
901 IF( K - 2 ) 1000, 2000, 3000
902 1000 IF( KK .EQ. 1 ) GO TO 1500
903 BB = 0.5 * B
904 BA = 0.5 * A
905 CC = SQRT( BA * BA + H * H )
906 S1 = 0.5 * ( CC + C + BB )
907 SA1 = SQRT( S1 * ( S1 - CC ) * ( S1 - C ) * ( S1 - BB ) )
908 S2 = 0.5 * ( 2.0 * CC + A )
909 SA2 = SQRT( S2 * ( S2 - CC ) * ( S2 - C ) * ( S2 - A ) )
910 CALL AVEX( BB, CC, C, N, NN, AX )
911 X1 = AX
912 CALL AVEX( CC, CC, A, N, NN, AX )

```

```

913 X2 = AX
914 MA1 = 2.0 * SA1 * X1 + SA2 * X2
915 RLA = 0.0
916 KM = 0
917 GO TO 8000
918 1500 AA = 0.5 * A
919 BB = 0.5 * B
920 CC = SQRT( BB * BB + H * H )
921 S1 = 0.5 * ( C + CC + AA )
922 SA1 = SQRT( S1 * ( S1 - C ) * ( S1 - CC ) * ( S1 - AA ) )
923 S2 = 0.5 * ( B + 2.0 * CC )
924 SA2 = SQRT( S2 * ( S2 - B ) * ( S2 - CC ) * ( S2 - C ) )
925 CALL AVEX( AA, CC, C, N, NN, AX )
926 X1 = AX
927 CALL AVEX( CC, CC, B, N, NN, AX )
928 X2 = AX
929 MAT = 2.0 * SA1 * X1 + SA2 * X2
930 RLA = 0.0
931 KM = 0
932 GO TO 8000
933 2000 CONTINUE
934 Y = SQRT( ( AHA + BHB ) / 2.0 )
935 X = Y / FLOA( K )
936 2100 IF( H - X .LE. 0.0 ) GO TO 1000
937 IF( KK .EQ. 1 ) GO TO 2500
938 AA = 0.5 * A
939 BB = 0.5 * B
940 BA = 0.5 * ( A + ( B - A ) * ( X / H ) )
941 CA = C * X / H
942 CB = SQRT( AA * AA + X * X )
943 S1 = 0.5 * ( CA + BA + C )
944 SA1 = SQRT( S1 * ( S1 - CA ) * ( S1 - BA ) * ( S1 - C ) )
945 S2 = 0.5 * ( 2.0 * CB + A )
946 SA2 = SQRT( S2 * ( S2 - CB ) * ( S2 - C ) * ( S2 - A ) )
947 SA3 = ( BA + BB ) * ( H - X ) * 0.5
948 CALL AVEX( BA, CB, CA, N, NN, AX )
949 X1 = AX
950 CALL AVEX( CB, CB, A, N, NN, AX )
951 X2 = AX
952 X3 = 0.25 * ( BA + BB )
953 MAT = ( 2.0 * SA1 * X1 ) + ( SA2 * X2 ) + ( 2.0 * SA3 * X3 )
954 RLA = H - X
955 KM = 1
956 GO TO 8000
957 2500 AA = 0.5 * A
958 BB = 0.5 * B
959 CA = ( C * X ) / H
960 BA = 0.5 * ( A + ( B - A ) * ( H - X ) / H )
961 CB = SQRT( BB * BB + X * X )
962 S1 = 0.5 * ( CA + BA + C )
963 SA1 = SQRT( S1 * ( S1 - CA ) * ( S1 - BA ) * ( S1 - C ) )
964 S2 = 0.5 * ( 2.0 * CB + B )
965 SA2 = SQRT( S2 * ( S2 - CB ) * ( S2 - C ) * ( S2 - B ) )
966 SA3 = 0.5 * ( BA + AA ) * ( H - X )
967 CALL AVEX( BA, CB, CA, N, NN, AX )
968 X1 = AX
969 CALL AVEX( CB, CB, B, N, NN, AX )
970 X2 = AX
971 X3 = 0.25 * ( BA + AA )
972 MAT = 2.0 * SA1 * X1 + SA2 * X2 + 2.0 * SA3 * X3
973 RLA = H - X
974 KM = 1

```

```

975 3000 Y = SORT((A * H + B * H) / 2.0)
976 X = Y / FLOOR(X)
977 3300 AA = A - (2.0 * H * X) / H * (C - (B - A) / 2.0)
978 HH = B - (2.0 * H * X) / H * (C - (B - A) / 2.0)
979 BB = H - 2.0 * H * X
980 AUA = A - (2.0 * H * X) / H * (C - (B - A) / 2.0)
981 BUB = B - (2.0 * H * X) / H * (C - (B - A) / 2.0)
982 HUH = H - 4.0 * H * X
983 CU = (H - 2.0 * H * X) / H * (C - (B - A) / 2.0)
984 SAT = (2.0 * H * X) / H * (C - (B - A) / 2.0)
985 SBT = (2.0 * H * X) / H * (C - (B - A) / 2.0)
986 GU TO 3000
987 3300 AA = A - SAT
988 BB = B - SBT
989 HH = H - 2.0 * H * X
990 CU = HH * C / H
991 AUA = A - 2.0 * H * SAT
992 BUB = B - 2.0 * H * SBT
993 HH = H - 4.0 * H * X
994 CUH = H - 4.0 * H * X
995 3400 FFC(BB, LE, X) GO TO 2100
996 FFC(HH, LE, X) GO TO 2100
997 4000 FFC(AA, LE, 0.0) GO TO 5000
998 FFC(ADA, LE, 0.0) GO TO 6000
999 FFC(HOH, LE, X) GO TO 6000
1000 FFC(BOB, LE, X) GO TO 6000
1001 GU TO 7000
1002 5000 CONTINUE
1003 C
1004 AA = ABS(AA)
1005 CC = (BB * C) / (H - 2.0 * H * X) / (H * (AA + BB))
1006 HH = CC * H / C
1007 XH = (H - 2.0 * H * X) - HH * X
1008 AU = SORT(0.25 * H * A * A + XH * XH)
1009 BU = SORT(AU * H * AD - XH * X)
1010 SA1 = 0.5 * H * A * XH
1011 SA2 = 0.5 * H * BB * X
1012 EU = 0.5 * (B - BB)
1013 EU = SORT(EU * ED + X * X)
1014 SA5 = 0.5 * H * ED * X
1015 SA4 = X * H * (BB + 2.0 * H * CC)
1016 CALL AVE(X, AD, A, N, NN, AX)
1017 X1 = AX
1018 CALL AVE(X, A, Q, R, N, NN, AX)
1019 X2 = AX
1020 CALL AVE(X, ED, X, ED, N, NN, AX)
1021 X3 = AX
1022 X4 = 0.5 * H * X
1023 IF (BB * GE, 4.0 * H * X) GO TO 3500
1024 HH = CC * H / C
1025 SA5 = 0.5 * H * BB * H * (HH / 2.0)
1026 X5 = (HH / 2.0) * (1.0 - 1.0 / SORT(2.0))
1027 SA6 = 0.5 * H * C * H * (BB * 4.0) * (H / C)
1028 X6 = (BB / 4.0) * (H / C) * (1.0 - 1.0 / SORT(2.0))
1029 MAT = (SA1 * X1 + 2.0 * H * SA2 * X2 + 4.0 * H * SA3 * X3 + SA4 * X4 +
1030 + SA5 * X5 + 2.0 * H * SA6 * X6)
1031 HLA = 2.0 * H * CC + HH
1032 KM = 23
1033 GU TO 8000
1034 5500 CONTINUE
1035 C
1036 -- = CC * H / C

```

```

1037 SA5 = (1.0 / 12.0) * H * H * H
1038 X5 = (BB * H) / (16.0 * H * C) * (1.0 - 1.0 / SORT(2.0))
1039 SA6 = SA5
1040 X6 = (99 / 6.0) * (1.0 - 1.0 / SORT(2.0))
1041 SA7 = SA5
1042 X7 = (1.0 / 3.0) * H * H * (1.0 - 1.0 / SORT(2.0))
1043 MAT = (SA1 * X1 + 2.0 * H * SA2 * X2 + 4.0 * H * SA3 * X3 + SA4 * X4 + 2.0
1044 + SA5 * X5 + 2.0 * H * SA6 * X6 + 2.0 * H * SA7 * X7)
1045 RLA = 2.0 * H * CC + BB * HH
1046 KM = 33
1047 GU TO 8000
1048 6000 CONTINUE
1049 C
1050 6000 CONTINUE
1051 AU = SORT(80 * H * H * X * X)
1052 S1 = 0.5 * H * (AD + BC + X)
1053 SA1 = SORT(S1 * H * (S1 - AU) * H * (S1 - X))
1054 EU = 0.5 * H * (B - BB)
1055 EU = SORT(EU * ED + X * H * X)
1056 S2 = 0.5 * H * (ED + X * ED)
1057 SA2 = SORT(S2 * H * (S2 - EU) * H * (S2 - X)) * (S2 - EU)
1058 SA3 = X * H * (AA + BB + 2.0 * H * CC)
1059 CALL AVE(X, AD, X, R, N, NN, AX)
1060 X1 = AX
1061 CALL AVE(X, ED, X, ED, N, NN, AX)
1062 X2 = AX
1063 X3 = 0.5 * H * X
1064 IF (BB * GE, 4.0 * H * X) GO TO 6500
1065 HH = CC * H / C
1066 SA4 = 0.5 * H * AA * H * (H - 2.0 * H * X) / 2.0
1067 X4 = 0.5 * H * (H - 2.0 * H * X) * H * (1.0 - 1.0 / SORT(2.0))
1068 SA5 = 0.5 * H * BB * H * (H - 2.0 * H * X) / 2.0
1069 X5 = X4
1070 X6 = ((AA + BB) * H) / (4.0 * H * C) * H * (1.0 - 1.0 / SORT(2.0))
1071 XAB = (1.0 / 8.0) * H * (AA + BB) * H * H
1072 MAT = (4.0 * H * SA1 * X1 + 4.0 * H * SA2 * X2 + SA3 * X3 + SA4 * X4
1073 + SA5 * X5 + 2.0 * H * SA6 * X6)
1074 HLA = AA + BB + 2.0 * H * CC
1075 KM = 20
1076 GU TO 8000
1077 6500 CONTINUE
1078 C
1079 6500 CONTINUE
1080 SA4 = (1.0 / 8.0) * H * AA * H * H
1081 X4 = 0.5 * H * H * H * (1.0 - 1.0 / SORT(2.0))
1082 X5 = X4
1083 SA6 = (1.0 / 16.0) * H * (AA + BB) * H * H
1084 X6 = (AA + BB) * H * H * (8.0 * H * CC) * H * (1.0 - 1.0 / SORT(2.0))
1085 SA7 = SA6
1086 X7 = (1.0 / 8.0) * H * (AA + BB) * H * (1.0 - 1.0 / SORT(2.0))
1087 MAT = (4.0 * H * SA1 * X1 + 4.0 * H * SA2 * X2 + SA3 * X3 + 2.0 * H *
1088 + SA4 * X4 + SA5 * X5 + SA6 * X6 + SA7 * X7)
1089 HLA = AA + BB + 2.0 * H * CC + HH
1090 KM = 30
1091 GU TO 8000
1092 7000 CONTINUE
1093 C
1094 7000 CONTINUE
1095 AU = SORT(80 * H * H * X * X)
1096 S1 = 0.5 * H * (AD + BC + X)
1097 SA1 = SORT(S1 * H * (S1 - AU) * H * (S1 - X))
1098 EU = 0.5 * H * (B - BB)

```

```

1099 EU = SQRT (ED * ED + X * X)
1100 S2 = 0.5 * (ED + EU * X)
1101 SA2 = SQRT ( S2 * (S2 - ED) * (S2 - EU) * (S2 - X) )
1102 SA3 = X * ( 4.0 * (C - A - B) + 6.0 * (AA + BB) )
1103 X3 = 0.5 * X
1104 SA4 = SA1
1105 SA5 = SA2
1106 CALL AVEX( X, AD, BD, N, NN, AX )
1107 X1 = AX
1108 CALL AVEX( X, ED, ED, N, NN, AX )
1109 X2 = AX
1110 X4 = X * (1.0 - 1.0/SQRT( 2.0 ))
1111 X5 = X4
1112 MBT = MBT + 4.0 * ( SA1 * X1 + SA2 * X2 + SA4 * X4 + SA5 * X5 ) +
1113 * SA3 * X3
1114 RLH = RLH + AA + BB + 2.0 * CC
1115 A = A0A
1116 B = B0B
1117 H = H0H
1118 C = SQRT( H * H + ((B - A) / 2.0) * ((B - A) / 2.0) )
1119 KN = KN + 1
1120 GU TO 8330
1121 8000 MT = MAT + MBT
1122 RL = RLA + RLH
1123 IF( KN .GE. 1 ) GO TO 8100
1124 GU TO 8200
1125 8100 RL = RL + 2.0 * X * FLOAT( KN )
1126 8200 IF( KM .LE. 1 ) GO TO 8400
1127 IF( AA .LE. 0.0 ) GO TO 8300
1128 8250 RL = RL + X
1129 GU TO 8400
1130 8300 IF( KK .EQ. 0 ) GO TO 8250
1131 RL = RL + SQRT( AD * AD - 0.25 * A * A )
1132 8400 VEX = MT / ST
1133 A = A1
1134 B = B1
1135 C = C1
1136 H = H1
1137 RETURN
1138 END
1139 SUBROUTINE AVEX( A, B, C, N, NN, AX )
1140 INTEGER N, NN, I, J, II, JJ, M, MM
1141 REAL A, B, C, AX, AA, XA, XB, XX, YY, ZZ, XZ, COSA, COSC, BB, CC
1142 IF( C .NE. 0.0 ) GO TO 30
1143 AA = A / FLOAT( NN )
1144 MM = IFIX( B / AA )
1145 XB = 0.0
1146 DU 10 I = 1, NN
1147 DU 20 J = 1, MM
1148 XX = ( I - 1 ) * ( I - 1 ) + ( J - 1 ) * ( J - 1 )
1149 XA = SQRT( XX )
1150 XB = XB + XA
1151 20 CONTINUE
1152 10 CONTINUE
1153 AX = ( XB * AA ) / FLOAT( NN * MM ) + ( AA * SQRT( 2.0 ) ) / 2.0
1154 GU TO 90
1155 30 CONTINUE
1156 IF( N .NE. 4 ) GO TO 60
1157 AA = A / FLOAT( NN )
1158 MM = IFIX( B / AA )
1159 CUSC = ( AH2 + BH2 - CH2 ) / ( 2.0 * A * B )

```

```

1160 XB = 0.0
1161 DU 40 I = 1, MM
1162 DU 50 J = 1, NN
1163 XX = ( I - 1 ) * ( I - 1 ) + ( J - 1 ) * ( J - 1 )
1164 YY = 2 * ( I - 1 ) * ( J - 1 )
1165 ZZ = YY * COSC
1166 XZ = XX - ZZ
1167 XA = SQRT( XZ )
1168 XB = XB + XA
1169 50 CONTINUE
1170 40 CONTINUE
1171 AX = ( XB * AA ) / FLOAT( NN * MM ) + AA * SQRT( ( 1.0 - COSC ) /
1172 * 2.0 )
1173 GU TO 90
1174 60 CONTINUE
1175 BB = B / FLOAT( NN )
1176 CC = C / FLOAT( NN )
1177 COSA = ( BH2 + CH2 - AH2 ) / ( 2.0 * B * C )
1178 XB = 0.0
1179 DU 70 I = 1, NN
1180 DU 80 J = 1, MM
1181 II = I
1182 JJ = J
1183 FI = FLOAT( II )
1184 FJ = FLOAT( JJ )
1185 XX = (( BB * ( FI - 1.0 ) ) ** 2 + ( CC * ( FJ - 1.0 ) ) ** 2 - 2.0 * (
1186 * BB * ( FI - 1.0 ) ) * ( CC * ( FJ - 1.0 ) ) * COSA )
1187 XA = SQRT( XX )
1188 XB = XB + XA
1189 80 CONTINUE
1190 70 CONTINUE
1191 M = NN - 1
1192 DU 75 I = 1, M
1193 DU 85 J = 1, M
1194 II = I
1195 JJ = J
1196 FI = FLOAT( II )
1197 FJ = FLOAT( JJ )
1198 XX = ( BB * ( FI - (1.0/3.0) ) ** 2 + ( CC * ( FJ - (2.0/3.0) ) ** 2 - 2.0
1199 * BB * CC * ( FI - (1.0/3.0) ) * ( FJ - (2.0/3.0) ) * COSA )
1200 XA = SQRT( XX )
1201 XB = XB + XA
1202 85 CONTINUE
1203 75 CONTINUE
1204 AX = ( XB / FLOAT( NN ** 2 ) + (2.0/3.0) * SQRT( BB ** 2 + (0.5 * CC) ** 2
1205 + - BB * CC * COSA ) )
1206 90 CONTINUE
1207 RETURN
1208 END

```