

林道網計画に関する研究

Studies on the Planning of the Forest Road Network

助 教 授 南 方 康

Yasushi MINAMIKATA

目	次
はじめに.....	1
I. 林道網計画に関する既往の研究.....	3
I-1. 既往の文献.....	3
I-2. 文献の概要.....	3
I-3. 考 察.....	7
II. 林道網計画に対する立場.....	8
II-1. 林道網と林道の機能的役割.....	8
II-2. 対象となる林道網および林道の種類.....	9
II-3. 林道網計画法とその手法.....	10
III. 必要最小林道密度.....	11
III-1. 要素費用.....	12
III-2. 必要最小林道密度の算定式.....	21
III-3. 算定式の一般的適用例.....	22
III-4. 主要因子の影響.....	34
IV. 限界林道密度.....	36
IV-1. 林道の拡充限度.....	36
IV-2. 限界生産費.....	37
IV-3. 限界林道密度の算定式.....	38
IV-4. 算定式の一般的適用例と主要因子 の影響.....	39
V. 林道網計画法に関する考察.....	44
V-1. 林道投資限度額算定方式の問題点.....	44
V-2. 林道網計画の構成.....	46
V-3. 林道密度の算定式と林道網計画.....	48
参考文献.....	49
Résumé	51

は じ め に

過去半世紀にわたる林道開設への努力によって、わが国においてもようやく林道網の形態がある程度整いつつある。この間における林道の開設意義について考えると、林道事業の黎明期から今日に至るまで、ある支配的な見方が一貫して存在していたこと^{35, 51)}、および低廉かつ豊富な労働力の確保が困難になり、これを克服するための生産性の向上、各種作業の機械化ならびにその効率化の実現に急を要する最近の経済発展期に至って、従来とは異なるあらたな意義がようやく現われはじめたことをわれわれは知ることができる。

林道の必要性に対するこの新旧二つの意義を、仮りに第一および第二の意義と呼ぶものとすれば、第一の意義は、林業における生産圏の拡大、つまり搬出手段の合理化をはかって生産費を軽減し、かつては不採算林分として放置され、資源の死蔵を余儀なくされた地域を経済圏へ引き入れ、素材生産の領域を拡大することに主たる意義が認められるものである。明治末期以来、国有林・御料林などで活発に行なわれた大規模な森林鉄道の敷設、民有林々道開設事業助成の開始、およびその後の林道事業に関する諸施策の背景を見ても、いずれも生産領域の拡大と未利用資源の活用をはかる点に林道開設の大きな目的があった。そして林道開設に対するこのような認識は

今日にまで及んでいるのである。

第二の意義は、林道の開設をより集約な林業生産に必要な基盤として評価しようとするものである。このような考え方は、過去の生産技術ならびに社会的環境を背景にしては、むしろ考え及ばなかったところであるが、いわゆる所得倍增計画の中で、“生産の拡大・生産技術の改善・経営の近代化による生産性向上のために推進すべき林道事業”とうたわれるにおよんでようやく認識されはじめ、林業基本法に基づく政府指針*においてはじめて明確に打出されるに至ったものである。この林道開設に対する新しい意義は、森林資源の開発、生産領域の拡大等に加えて、林業の生産性向上、拡大生産、木材生産負担度の均等化などを目途とした生産基盤の維持造成という面が強調されるところに、従来とは異った点がある。

すでに欧州における林業先進国の間では、戦後早くも単なる木材搬出施設としての林道評価から脱却し、経営の合理化と生産性向上に必要な施設としてこれを認め、作業道も含めた周密な林道網の形成を達成すると共に、これら林道網の与える経営管理上の効用についても計量的把握の試みがなされる段階にまで立ち至っているのであるが、わが国においてもようやく林道開設に対する第二の意義が認められるようになってきたことは、今日のわが国の林業が近代化へ向かって変貌しつつあることを示すものにほかならない。

しかして林道開設に対するこのような認識の相違は、対象となる森林の開発過程の相違によって、自から異なってくることはいうまでもない。木材の立木価格は、一般工業製品と異なり、いわゆる市場価逆算方式によってきまるから、奥地未開発林に開設される林道は、運材の合理化による生産圏の拡大、資源の利用促進などに総ての関心が向けられるのは当然である。しかし一旦開発されて再生産を意図する森林においては、今日更新を自然力に全面依存する場合よりも人工更新もしくは撫育作業を伴った天然更新によるのが普通であるから、そのための労働力、必要資材、作業合理化のための各種機械類の林内搬入等が必要になり、これらを有機的に結合させ機能せしめるために、経営管理上の必要性和あわせて林内交通施設を十分に完備することが要求されてくる。従ってそこに設定される林道は必然的に単なる運材路ではなく、林業経営活動全般に奉仕する交通路としての性格をより強く帯びようにならざるを得ない。

林道のもつ機能的特質に上述の如き変化が生じると、主として施工技術的諸問題を中心とする従来までの研究対象以外に、林道においても、個々の自然的、経営的条件あるいは森林の経営目標等に順応した林道網を如何にして効率的に実現するかという計画論的な問題を生じ、これに関して多方面からの検討が必要になってくる。

この小論は、林道網計画に対しおおよそ上述の如き認識の上に立って、林道の有する意義を林業経営の基盤造成という点に求め、かつ林業の生産活動に伴って発生する主要原価に着目しつつ、合理的な林道網の一つの在り方を理論的に究明しようと試みたものである。

* 昭和39年度林業の動向等に関する年次報告⁵⁶⁾

本稿の取り纏めにあたり、終始懇切なる御指導を賜った東京大学教授 加藤誠平博士、同助教授丸山正和氏、更に査閲をわずらわした東京大学教授 荻原貞夫博士、同教授 扇田正二氏、同八十島義之助博士に対し、甚深なる謝意を捧げる。また、資料の蒐集に際しては、東京大学農学部附属演習林、林野庁業務課、関係営林署、森林開発公団の当局者各位ならびに王子木材KKの方々に多大の御援助を受け、数値計算に際しては東京大学農学部林学科昭和39年卒 柳沢素夫氏、同繁野昌弘氏に多大の御協力をうけた。これらの各位に対しても衷心からお礼を申し上げる次第である。

I. 林道網計画に関する既往の研究

I-1. 既往の文献

林道は林業経営全般にわたって種々の便益をもたらすものであるから、ある程度までは林道は多いほどよい。けれどもその開設には一般に多額の経費を要するので、通常何等かの基準で林道の必要量を計画の対象となる森林全体について把握することが必要となる。

その方法には、大別して現在二つの方法があるものと考えられている。その第一は、森林経営全般におよぶ林道の有用性を経験的に認識し、これより適正な林道の開設基準を捉えようとする方法であり、第二は、林道への投資を左右する関連因子のうち、重要かつ計量可能な因子を用いて単位材積当りの経費関数を導き、客観的に林道の必要量を演繹しようとする方法で、これら林道網計画に関する従来の代表的な文献には次のようなものがある。

- 1) MATTHEWS, D.M.: Cost Control in the Logging Industry, New York, (1942)
- 2) HAFNER, F.: Forstlicher Strassen-und Wegebau, Wien, (1949)
- 3) SUNDBERG, U.: A Study of timber Transportation, SDA, Stockholm, (1960)*
- 4) HUGGERD, E.R.: Forester's Engineering Handbook, Cambridge, (1958)
- 5) LARSSON, G.: Studies on Forest Road Planning, Transac. of R.I.T., Stockholm, (1959)
- 6) KAMIZAKA, M.: Studies on Optimum Density of Forest Roads, Journ. of J.F.S., vol. 45, No. 9, (1963)
- 7) PESTAL, E.: Kardinal Punkt 500 m!—Rückungsmethode entscheiden Wegnetzdicke, Holz-Kurier, Nr. 51/52, Wien, (1963)
- 8) STEINLIN, H.: Aufgaben des Erschliessungsnetzes und seine Auswirkung auf die Führung eines Forstbetriebes, Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Nr. 9, (1963)
- 9) HAFNER, F.: Zur forstlichen Wegenetzlegung in steilem Gebirgsgelände, Allgemeine Forstzeitung, 75 Jahrgang folge 3/4, Wien, (1964)

I-2. 文献の概要

前記9篇の文献に記述された林道網決定法の中で、筆者の研究と方法論的に関係の深いものについて概要を述べると次のとおりである。

MATTHEWSの方法³⁰⁾ MATTHEWSは、ある区域内の林道間隔を短かくすればこれによって林

* この論文は1960年であるが、内容的にはすでに1952年に発表されたと考えられるのでききにあげた。

道までの集材費は減少するが、逆に林道開設費は林道間隔の縮小にともなって増大する点に着目し、林道の適正量として単位材積当りの集材費および林道費の合計額が最小になるような林道間隔を求めることを試みた。素材生産原価の主な要素には、伐木造材費、集材費、運材費、林道開設費など、かなり多数にのぼるが、彼はその中でもとくに集材費と林道開設費を取り上げ、これらを素材生産費決定の要素費用とみなしている。そしてそれぞれの要素費用を林道開設単価、単位距離・単位材積当りの集材費単価、および単位面積当りの蓄積等を用いて、素材生産費をあらわす次のような式を与えている。

$$X = C \cdot \frac{S}{4} + \frac{R/12.1}{V \cdot S}$$

ただし

C: 単位材積・単位距離 (100 フィート) 当りの集材単価

R: 単位距離 (1 マイル) 当りの林道開設単価 V: 単位面積 (1 エーカー) 当りの蓄積

S: 林道間隔 (100 フィート単位)

X: 単位材積当りの集材原価

上式は、中央に林道を配置する矩形林地モデルを用い、かつ集材費は林道間隔に正比例し、林道費は蓄積ならびに林道間隔に逆比例するものと仮定して導かれたものである。最適林道間隔は、上式の X の値を最小にする林道間隔であるから、 $C \cdot S/4 = R/12.1 \cdot V \cdot S$ において得られた S が求める解である。すなわち、

$$S = \sqrt{\frac{0.33R}{V \cdot C}}$$

MATTHEWS は、上記最適林道間隔の問題にとどまらず、土場配置の問題、山腹傾斜を考慮した林道間隔の問題、林道の規格の差に基づく運材効率の問題など多くの問題に論及しているが、ここではその考え方を示すのが目的であるから、最も原理的なものを取り上げるにとどめた。

SUNDBERG の方法⁵²⁾ SUNDBERG は MATTHEWS とほぼ同様の矩形モデルを用いて、林道の適正間隔を算定した。すなわち矩形の中央に林道をもつ林地において、林地から林道までの集材費 (直接費および間接費)、林道開設費 (利子・維持費を含む)、および運材費からなる単位材積当りの経費函数を導き、最適林道間隔はその値を最小にするものとして次のような算定式を誘導した。

$$B_{\min} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1.0st_2 \cdot k_2}{1.0st_1(duk_1 + iuk_1)V}}$$

ただし

B: 林道間隔

k_2 : 単位距離当りの林道費

duk_1 : 集材作業の直接費

iuk_1 : 集材作業の間接費

V: 単位面積当りの素材生産量

st_1 : 集材路の迂回係数

st_2 : 運材路の迂回係数

SUNDBERG が求めた最適林道間隔の算定式は、MATTHEWS の式と比較して集運材路の迂回係数が導入されているので、より正確な結果を与え得る点に多少の相違は認められるが、本質的には全く同一のものである。

HUGGARD の方法¹⁰⁾ HUGGARD は、“林道は単に 1, 2 の伐区を対象としてではなく、ある生産領域全般の利益になるように長期計画に基づいて決定されねばならない”との観点から、一種の循環団地的な概念を導入し、その団地から伐出される材の単位材積当り集材費および林道費の合計が最小となるような林道密度を、最適林道密度として計算した。

すなわち彼の方法によれば、(1). 矩形林地モデルを用いると林道密度は集材距離に逆比例するという関係があるから、まず任意の林道密度に対する最大集材距離を個々に計算する。(2). 次に単位面積の施業団地内に、ある特定の密度で林道を設定した場合に、単位材積の木材が負担しなければならない林道費（林道維持費および林道への投下資本利子を含む）を次式から算定する。

$$\text{林道費負担額} = \frac{d \cdot x + 9 \cdot d \cdot y + z}{640(8a + b)}$$

ただし作業の循環年数は 60 年とし、

$8a + b$: エーカー当りの生産量 (cu. feet) (間伐材が 20 年目から 5 年ごとに a 、主伐が b cu. feet 生産される)

x : 林道開設単価 (£/mile)

d : 想定した林道密度 (mile/sq. mile)

y : 林道維持費単価 (£/mile) (25 年目から 5 年ごとに修理する)

$d \cdot x$: 林道開設費総額 (£/sq. mile)

z : 林道投下資本および維持費の利子 (£)

(3). 次に先に算定した最大集材距離に対する単位材積当りの集材費を求める。ただしこの距離別集材単価は、いわゆる功程調査ならびに経費分析等によって、あらかじめ用意されているものとする。(4). 最初に類別した任意の林道密度に対する最大集材距離ごとに、(2), (3) で個々に求めた林道費および集材費を合計して総原価を算出し、その中から最少原価を与える林道密度を探して最適林道密度とする。

LARSSON の方法²⁸⁾ 先に MATTHEWS や SUNDBERG が林地モデルを規定する条件として想定したものは、(1). 矩形モデルの一辺は公道に面し、公道から分岐した林道は林地の中央を通して公道と相対する境界線まで開設される。(2). 集材費、林道費などを決定する各種条件因子は、林地モデル全域にわたって一定である。(3). 集材作業は林道に対して直角の方向に行なわれる。などであるが、このような前提に立てば、最適林道間隔を与える式はいずれも次式のような形となる。

$$a = \sqrt{\frac{y}{p \cdot t_r}}$$

ただし

a : 最適林道間隔 y : 林道費 p : 単位面積当りの木材生産量 t_r : 平均集材単価

しかし LARSSON は、このような集運材作業条件は現実にはあり得ないことを指摘し、以下に述べる点に関して条件修正を行なってより正確な林道間隔の算定式を誘導した。

すなわち、(a). 上式は単位距離当りの集材単価が一定、林道単価も全区域にわたって一定と仮定しているが、現実には単位距離当りの集材単価は集材距離に対して直線的に変化し、林道単価もそこを通過する木材の量によって場所ごとに変化する性質のものである。(b). 矩形モデル中央を通過する林道は、モデルの最外縁まで作設する必要はなく、その前のある適当な位置に終点を置くのが経済的に有利かつ現実的である。つまり林道の終点からモデル最外縁までの間にある林道のない区域の材は、林道に向って放射状に集材されるものとする。(c). 公道に隣接する地域からは、直接公道に集材するのが経済的見地から当然のことであるから、林道と公道の交角の2等分線、すなわち林道の起点から公道に対して45°の線より公道側にある部分の材は公道に直接集材する。

LARSSON は、上記のごとき現実的な仮定のもとに、まず(a)に関する条件修正の結果から、集材費、運材費、林道費、積卸費からなる単位材積当りの経費函数を導く。次に(b)から、先端の林道を短縮すると、林道費と運材費が減少する反面、集材費は集材距離が増大するために多少の増大をまねくが全体としては経費の節減が可能であること。さらに(c)からは、集材距離の短縮と公道へ直接搬出できる材は林道上の運材費が不要になることから、集運材費の軽減が見込まれることの2点に着目し、これらの経費軽減額の合計を先に誘導した単位材積当りの経費函数から減じて修正し、最終的に得られた経費函数から次のような最適林道間隔算定式を誘導した。

$$t_0 p a^2 - \frac{2}{3} \sqrt{k_0} 2 p a b - y_0 - 2 p a^2 \frac{dc}{da} = 0$$

ここに

$$\frac{dc}{da} = \frac{v_1}{b} \left[-\frac{y_0}{2 p a^2} - \frac{2}{3 a} \sqrt{\frac{k_0 v_1}{2 p a}} - t_0 \left(\frac{dF}{da} - \frac{1}{2} \right) \right] + \frac{a}{3 b} \left(t_0 + z_0 + \frac{3}{4} \sqrt{\frac{k_0}{2 p a b}} \right)$$

上式を a に関して解けば最適林道間隔を求めることができるが、同式を簡単に解くために、 p および a に種々の値を代入して b を算出する式を示している。すなわち

$$b = \left(\frac{3}{2} \right)^2 \frac{\{t_0 p a^2 - y_0 - 2 p a^2 [dc/da]\}^2}{2 k_0 p a}$$

ここに

p : 単位面積当りの平均生産量 a : 林道間隔の 1/2 の長さ

b : 林道の延長 t : 集材単価

y : モデル外縁から v なる距離にある点の林道単価

v_1 : モデルの外縁から林道終点までの距離

t_0, z_0, k_0, y_0 は、あらかじめ現場ごとに定まる定数であり、 F は林道終点からモデル外縁ま

での間にある部分の平均集材距離で a の函数として別にあらわされている。

上飯坂の方法^{1b)} 上飯坂は、わが国で最も一般的な集材法と考えられる架空線集材作業を例にとり、MATTHEWS や SUNDBERG と同様の理論的解析の結果、代表的な地域ごとの林道密度を算出した。

I-3. 考 察

林道網計画にともなう林道の量的把握を数理的に行なおうとする上記の文献は、いずれも集運材費および林道費の合計を最小にすること、換言すれば素材生産費を最小にする林道の量を最適とする考え方が理論の根底をなしている。しかも素材生産費を構成する数多い要素費用の中で、特に集運材費および林道費だけを取り上げているのは、その他の要素費用、たとえば伐木造材費、土場費などが、林道の開設延長の多少にあまり影響されず、ほぼ一定と考えられるからであるが、これらは要素費用の選定のしかたもしくは解析の方法など理論構成がほぼ同じであることから、これらを MATTHEWS 方式と総称して経験的に林道網の理想的な姿を把握しようとする方法と対比せしめることができる。なかんずく前記 1), 3), および 6), の各理論は、本質的に全く同一である。

しかしこれらを細部について比較すると、相互に多少の相違は存在するわけで、例えば、1), 3), 5) および 6) はいずれも林道の必要量を林道間隔であらわしているのに対し、4) では密度による量の把握がなされている点、また 1), 3), 4), 6) では単位材積当りの集材単価が集材距離に正比例するとみなされているのに反し、5) では集材距離に関する定数項をもつ一次式として取扱っている点等々である。

いずれにしてもこれらの理論は北米ないしは北欧における平地林もしくは丘陵林を対象にして導かれたもので、これを直ちに急峻山岳林を主体とするわが国の林地に適用することはいささか危険であり、欧州の山岳林国においても、この種の方式の山岳林への適用は現実性を欠くものとしてあまり高く評価されてはいない¹⁰⁾。その理由はまず第1に、MATTHEWS 方式の理論では、HUGGARD を除きすべて適正林道網を林道間隔というパラメーターでとらえようとしていること、そしてそのために、いずれも矩形モデルないしはその変形が用いられていることである。この矩形モデルは、現実の伐区形状を模式化したものであって、モデル形状はほぼ忠実に現地に設定し得ることを前提とする。換言すれば、林道の量的決定と路線配置とを同時に行なおうとする方法と解釈できよう。したがってこのような林道網決定法は、林地が地形的に変化の少い平地林あるいは丘陵林などでは、林道をまず設定することによってモデルとほぼ相似な集材区域を地形に制約されることなく従属的に設定し得るから、現実的な林道の必要量とその配置を比較的確に把握することができる。しかし地形が複雑な山岳林では、とくに林道網が貧弱な段階ほど路線配置は必ずしも任意になし得るものではなく、むしろ地形的条件によってあらかじめその配置が規制されてしまう傾向が強い。それ故、わが国の実情からみれば、林道網計画における林道の量的決

定と路線配置とを分離せしめることを前提に、林道の必要量を相対的な林道密度の形で求め、しかる後に現地の状況に適合するよう路線配置計画を行なうという方法を採用するのが現実的と考えられる。この場合、密度は均質な物性を表わす概念であるが、比較的広い地域を対象にする林道網計画では路線配置の段階で極部的なアンバランスが生じることも止むを得ないであろう。

第2に SUNDBERG を除く他の文献では、林地モデル内の林道を直線林道とみなし、迂回率等による修正がなされていない。しかし現実の山岳林などでは、山腹の褶曲もしくは溪床勾配あるいは連絡道路の要、不要によって、実際に開設する林道の延長とこれによって開発される区域の直線距離とは一致しないのが普通である。従って山岳林の林道は、平地に設けられる林道よりも開発に対する効率が低下するわけであり、このことも当然考慮に入れるべき問題である。

第3に HUGGARD を除けば、林道維持費が素材生産費を構成する独立した要素費用として取扱われていない。もっとも維持費を林道費の一部とみなしてこれに抱合せしめたものもあるが、この場合も林道開設費にくらべれば維持費は極めて軽微なものとの認識があり、十分な評価とはいえない。また維持費を開設費の一部とみなすこと自体に問題があるように思われる。すなわち林道が林業生産の基盤として必要なものであるならば、林道は常時使用に耐え得るよう保守されていなければならないから、そのためには当初の林道開設費の大小には直接関係なく、その地域の地質的条件、気象的条件あるいは林道の種類に応じた経費を年々林道に投入する必要がある。従って林道維持費は、これを軽視することの出来ない重要な因子であり、とくにわが国のような多雨地帯では、林道維持費が開設費に劣らぬ生産原価要素になり得ることも当然予想しなければならない。

第4に既往の文献では、いずれも伐出部門における考察がすべてであった。しかしすでに述べたように、林道は単に素材生産部門のみならず育林から収穫に至るまでのすべての作業に多大の便益をもたらすものであって、なかんずくその林道が今日における生産基盤整備のためのものであれば、その効用はますます多元化せざるを得なくなる。従って林道網は独り伐出作業の観点からばかりでなく、林業経営全般にわたる総合的見地から決定する試みもなされなければならない。

以上述べたように、林道網計画に関する既往の方法は、これを現実の山岳林に適用するにはまだいくつかの問題点が残されており、山岳林において適用可能な林道網計画理論の究明が必要なのが分かる。

II. 林道網計画に対する立場

II-1. 林道網と林道の機能的役割

今日わが国を含めた世界の主要林業国における林道網を、その発達過程の差異によって大別すると、1). 到達林道を主体とするもの、2). 林内の施業林道を主体とするものの二つに区分する

ことができる。すなわち、到達林道を主体とする林道網は、公道等から分岐して生産活動の対象となる森林に通じ、両者を連絡する比較的長距離の林道（到達林道）が主体を占め、施業林内の林道が著しく未発達な状態にあるものをさす。通常この形式は未開発林の開発初期にあらわれ、わが国ではその典型的な例を山梨県野呂川林道に見るのであるが、他の幹線林道もこれに属する場合が多い。海外では米国西部の林業地帯における **access road** がその例である。第2の施業林道を主体とする林道網は、到達林道の存在は勿論のこと、すでに林内にも相当量の林道が配置されていて、いわゆる路網を形成しているような型である。奥地林開発を例にとれば、すでに到達林道を有し林内における路網形成が逐次進められつつある開発中期以降の段階がこれに属し、またいわゆる里山ないしは公道の発達した地域における集約林業地に見られる形式である。わが国ではまだこの型に属するものは少いが、スイス、オーストリアではすでに一般的な形式として普及しつつある⁴⁾。

なお、第2の類型のさらに進んだ形態として、林内の施業林道が比較的高級な主林道と比較的簡単な副林道とから構成され、さらにその中に極めて簡易な作業道を配置する形式のものが現われ⁴⁹⁾、高度の機械化作業を前提とした西独の集約林業地で試みられつつある。そしてこれを第3の類型に区分しようとする見解がある。しかしこの両者は、そこで行なわれる作業法自体にはかなりの差があるにしても、林道そのものがもつ本質的な性格は変わらないと考えられるので、ここでは第2の類型に包含せしめることにする。

しかして、林道網を上記のごとく典型的な二つの類型に分けると、その中で果す林道の機能的な役割が明確になってくる。すなわち、第1の類型に属する林道（到達林道）の主たる機能的役割は、木材の搬出路としてのものであり、僅かに素材生産過程における運材工程の改善、効率化に影響力を持つに過ぎない。これに反して第2の類型では、林道は単に運材路として機能する以外に、より一般的な林内交通路として作用し、その結果、伐出、造林、撫育、保護、管理等林業経営に伴う総ての作業の改善、能率化および生産性の向上、作業費の経減などの諸合理化を促進するのに役立つのである。この点が施業林道と到達林道の間の最も異なった機能的差異と考えられる。

II-2. 対象となる林道網および林道の種類

しかるにわが国の林道網の現況を考えると、すでに施業林道網を形成しつつあるところも皆無ではないが、多くの場合まだ到達林道を主体にした段階にあるということができる。このことは到達林道を含めた林道密度の全国平均値が、僅かに **5m/ha** 強に過ぎない事実からも容易にうなづけるところであるが、このようなわが国林道網の現況、および林道網の拡充整備が叫ばれるようになった社会的背景などを考えれば、ここに取り上げようとする林道網が、森林内の諸作業の合理化に貢献し今後その充実に励まねばならぬ施業林道網であること、従ってまた森林内部に作設される施業林道が主たる対象となることは当然であろう。

また林道には構造的差異もしくはこれを利用する輸送手段の違いによって多くの種類がある。林道に対して一応基準的な概念を与える林道規程では、林道をかなり広義に解釈して、1). 森林鉄道、2). 索道、3). 自動車道、4). 車道、5). 木馬道、6). 牛馬道、7). 流送路の各種に分けているが、これらの中で今後の施業林道網の構成要素となり得る林道は自動車道以外にはない。何故ならば今日の自動車交通の有する機動性、任意性および経済性を考えれば、林業においても一般交通と同様、森林から市場へ至る間の中、短距離運材は、自動車輸送が大勢を占むであろうことはほぼ確実と考えられるからである。

従って本稿においては、対象となる林道の種類を自動車道に限定し、自動車道による施業林道網についてその在り方を究明することになる。ただしトラック作業道のように構造が極めて簡易で且つ一時的な作業道は、その使用目的から考えて極部的素材生産計画の中で取り扱われるべきものと思われるので施業林道には含めない。

II-3. 林道網計画法とその手法

すでに述べたように林道網の型が到達林道を主体にしたものから施業林道網型に移行するようになると、これが全体として有効に機能するためには、路網を構成する個々の路線を対象林地全体の経営目標に最も適するよう効果的に配置せねばならなくなる。それ故、今後林道を建設する場合には、単に個々の路線計画ばかりでなく、全体的な林道網としての計画検討がどうしても必要となる。しかるにわが国における従来の林道事業を顧ると、合理的な根拠に基づく林道網の全体計画なしに時どきの要請に応じて逐次開設が進められてきた感があるが、このような方法では大局的により効果的な路線配置が存在することを見逃したり、場合によってはすでに開設した林道の効用が新設線によって著しく低められたりする危険すら多分にある。

従って、総ての地域開発に十分検討された全体計画が必要であるように、林道網計画においても比較的長期にわたる経営目標を基礎にした全体計画が、無駄のない合理的林道網の設定にとって不可欠である。更にまた、林道の開設が通常林業経営の枠内で行なわれる以上、対象森林の自然的、経営的諸条件如何によって様々な制約を受けることも避けられない。例えば地味が豊かで本来の林地生産力は高い所でも、現状が低質天然林であるような場合、そこに投入し得る林道は現森林の負担し得る限度内に制約されるのが普通である。そしてわが国の現状では、このような事例に類する所がむしろ大半を占めるといっても過言ではない。それ故、林道網計画には一般に当面の諸条件に即した実施計画が全体計画と共に必要であり、そのいずれを欠いても完全な林道網計画にはなり得ない。しかしてこの実施計画は、あくまで全体計画の一部として実施されるものであることはいうまでもないことである。

次に林道網計画に対する方法論としては、すでに述べたように

(1) PESTALによって代表される方法^{32, 41)}

(2) MATTHEWSによって代表される方法^{10, 15, 28, 30, 52)}

の二つに類別することができる。第1の方法は、集運材工程をトラック運材と集材機による作業の組合せと考えた場合、次のような理論的根拠に立っている。すなわち集材作業費は集材距離が短縮されると次第に減少するが、ある距離以上に短縮されてももはや集材費は下がらない。そこには集材機作業として最も効率的な集材距離が存在するのであるから、このような集材距離を与え得る林道網を究極的林道網とする方法である。従ってこの種の方法はある意味では理想的な方法といえることができるが、わが国のように地形・林相が極めて複雑で林道開設単価にも地域によって大幅な差異がある所では、林道が本来その投下資金に対する経済的効果を強く要求されるものである以上、林道費や森林の条件を無視して、単に集材作業の有利性という観点からのみ林道の在り方を論ずることは適切なものとはいえない。

第2の MATTHEWS によって代表される方法は、林道への投資と集材距離の短縮による集材費の軽減額との間に適当な平衡点を求め、そのような林道網を計画林道網とする考え方である。この方法は、林道への投資を伐出工程における原価要素とみなしている点が前方式と異なる大きな点であり、森林の条件や作業条件等がある程度林道網の決定に反映せしめ得る方法と考えられる。

勿論、MATTHEWS 方式にも問題点が残されており、そのために山岳林には同方式が適用し難いとの批判があることもすでに述べたとおりであるが、しかしながら重要な生産原価と考えられる林道開設費や森林の生産力などを考慮しない PESTAL 方式に比べれば、より合理性のある方式といえることができる。従って本稿においても、基本的には MATTHEWS 方式とほぼ同様の観点から林道の必要量を決定するものとした。ただし従来は林道間隔という概念で林道網の在り方を捉えようとしていたこと、換言すれば、林道網計画を路線配置という面に重点を置いて解決しようとしているのに反し、筆者はパラメーターに“林道密度”を用いて従来の欠点を補いつつ、まず林道の量的決定を行なってしかる後に路線配置を現地に則して行なおうとするものである。すなわち、以下に述べる林道網計画法に関する考察は、林道網計画が林道の量的決定と路線配置の二つの作業によって構成されることを前提に進められるのである。

しかして林道密度そのものの概念規定は従来あまり明確なものがなかったが、筆者がすでに指摘したように⁸¹⁾、ここに必要となる施業林道に対する林道密度を次のように規定する。すなわちここにいう林道密度とは、ある特定の施業区域内に存在する施業林道総延長の、その対象施業林地面積に対する比である。ただし施業林道とは各種森林施業の改善のために必要な恒久的な林道(自動車道)であって施業林内にあるものをいい、公道といえどももしこれが林内を通過していれば、その部分も施業林道の一部とみなすことにする。

III. 必要最小林道密度

林道、特に施業林道は林業経営全般に奉仕するのであるから、森林内部の林道網を決定するには総合的見地から検討されねばならぬことはいうまでもない。しかし今日までの奥地林開発に代

表される林道への評価からも明らかなように、林道がもたらす各種の便益のうちで素材生産部門におけるものが最も基礎的かつ顕著であることも事実である。それ故にここではまず第一に、素材生産に伴う各種原価要素の中で特に林道網と関係の深い要素費用からなる経費函数を導き、伐出事業にとって必要最小限と考えられる林道を量的に求める方法を究明する。

III-1. 要素費用

伐出面から最小限必要となる林道密度を求める経費函数は、主として伐出費なканずく林道開設費、林道維持費、集材費の3要素費用によって構成される。その理由は、通常伐出費が他の林業生産活動に伴う費用、たとえば造林費、撫育費などよりも林道の影響を顕著に受けるからであり、同様に伐木費、造材費、林内運材費、土場費など上記要素費用以外の伐出費は、造林費などと同様、林道網の変化にそれ程影響されないと思料されるからである。

III-1-1. 林道開設費

a) 皆伐作業の場合

林道開設経費の中には、直接工事費の他に測量設計費、監督費、管理費等の間接経費があり、それらを合計したものを開設経費と考えるのが順当であるが、管理費は個々の企業体の運営状況如何によってまちまちであるから、ここでは林道開設費の中に含めないことにする（以下各要素費用についても同様である）。林道開設資金は借入を前提にし、林道への投入元金のみならず利子負担についても考慮する。林道を自己資金で開設する場合も当然資金効率を考えなければならないから、借入金の場合と同様の取扱いでよい。

林道の開設方法は、素材生産事業の開始される2年前に着手し、以後施業期間（ n 年）を通じて毎年逐一開設を進めていくものとする。また施業循環団地内*の単位面積当りの立木蓄積および毎年の素材生産量を一定と考え、毎年の作業対象面積および林道開設延長も一定と考える。

また毎年開設される林道の資金返済方法は、林道開設完了後2年を経過してから返済を開始し（2年据置）、所定の返済年限内に元利均等償還法によって返済するものとする。さらに循環作業末期における林道開設に対する償還は、一循環作業期（皆伐作業の場合は伐期令とする）の終了後においてもなお継続されるが、このような期間外の要返還額は原則として当期の林道開設費の中には含めないものとする。何故ならば、この部分の返済金は新たに生育した次循環期にある材が負担すべきものと思料されるからである。

おおむね上記のごとき前提のもとに、生産される素材 1m^3 当りが負担すべき林道開設費（ K_r ）を求めると次のとおりである。すなわち、単年度の林道開設資金（ C_y ）を m 年間にわたって元利均等償還するものとなれば、年償還額は

$$C_y \cdot \gamma_m$$

* 本稿において林道網計画の対象となる森林の計画単位で、一定の作業循環期で永久に木材生産を継続し得る規模と内容を有する施業団地を意味する。

ただし

γ_m : m 年償還に対する年償還係数 p : 金利 (年利率)

であらわされる (ただし期末払いの場合)。

従って、単年度の林道開設費 C_y 円の利息をも含む償還総額は $m C_y \gamma_m$ となるが、これを m 年間に生産される材が負担するとすれば、作業一循環期内に生産される材の単位材積当りの平均開設費負担額 (K_r) は次式であらわされることになる³¹⁾。

$$K_r = \frac{mnC_y\gamma_m}{Vq(1+s)} \left[\frac{2n-m+1}{2n} + \frac{2p}{m\gamma_m} \right] \quad (1)$$

ここに

V : 作業一循環期中に生産される主伐総材積 (立木) (m^3)

q : 均造材歩止り

s : 間伐収穫総材積の主伐総材積に対する比率

しかるに林道密度を $d_r(m/ha)$, 単位長当りの林道開設単価を $C_r(\text{円}/m)$, 施業循環団地の施業地面積を $A(ha)$, 単位面積当りの蓄積を $d_v(m^3/ha)$ とすれば, $C_y = A \cdot d_r \cdot C_r/n$, $d_v = V/A$ であるから, (1) 式は結局次のように表わされる。

$$K_r = \frac{mC_r\gamma_m}{q(1+s)d_v} \left[\frac{2n-m+1}{2n} + \frac{2p}{m\gamma_m} \right] d_r = c_1 d_r \quad (2)$$

ただし

$$c_1: \text{林道開設費に関する定数} = \frac{mC_r\gamma_m}{q(1+s)d_v} \left[\frac{2n-m+1}{2n} + \frac{2p}{m\gamma_m} \right]$$

b) 択伐作業の場合

択伐作業が行なわれる場合には, 1 回帰年内に対象森林の全面積の施業が一通り行なわれるので, 当然この期間内にほぼ均等な林道網を循環団地の全域にわたって設けねばならない。なぜならば, もし林道網を皆伐作業の場合と同じように一循環期を通じて形成するとすれば, 施業循環期内の各回帰ごとに全く異なった路網条件下で作業が行なわれることになるからである。

また 1 回帰年内に開設した林道の資金償還年数は, これを法定年数で行なうと, 循環初期に林道費の負担が集中するのに反し, 木材の生産量は毎年一定であるから, 林道費の償還がこの時期に過重負担となるのが普通である。従って択伐作業の場合には, できるだけ償還年数を延長するかあるいは法定年数で償還するにしても, 過重負担に基づく資金の不足分は順次別途に調達しなければならなくなる。いずれにしても択伐作業の場合は一種の先行投資の形になるから, 皆伐作業の場合よりもはるかに多い金利負担が必要になる。これをどの程度に見積るべきかは定かでないが, ここでは 1 回帰年内の最後に開設した林道費の最後の償還が, 一循環期の最終年と一致するよう, 回帰年と 1 施業循環年数 (択伐作業の場合, 回帰年/択伐率と考える) とから理論上の

償還年数を決定するものとする。

もちろん林道は初回の回帰中各年均等に開設され、工事の着手ならびに据置期間その他の条件は皆伐作業の場合と同様である。

以上の前提に立てば、(2) 式の c_1 の値は次式で与えられる。

$$K_r = c_1 d_r$$

ただし

$$c_1: \frac{m' C_r \gamma_m'}{q d_v} \left[1 + \frac{2p}{m' \gamma_m'} \right] \quad (3)$$

n' : 回帰年

m' : 理論上の償還年数 ($=n-n'+1$) ($n' \leq n-m+1$)

なお (3) 式は皆伐作業の場合でも、一定の整理期間を設けて現存林分の循環期より短い期間に全区域の伐採を行なう場合などにも適用することができる。

Table 1. γ_m 表
The values of γ_m (ratio of annual amortization to investment within m years)

利率 償還年数	4%	4.5%	5%	5.5%	6%	6.5%
5	0.225	0.228	0.231	0.234	0.237	0.241
10	0.123	0.126	0.129	0.133	0.136	0.139
15	0.090	0.093	0.096	0.100	0.103	0.106
20	0.074	0.077	0.080	0.084	0.087	0.091
25	0.064	0.067	0.071	0.075	0.078	0.082
30	0.058	0.061	0.065	0.069	0.073	0.077
35	0.054	0.057	0.061	0.065	0.069	0.073
40	0.051	0.054	0.058	0.062	0.066	0.071
45	0.048	0.052	0.056	0.060	0.065	0.069
50	0.047	0.051	0.055	0.059	0.063	0.068
55	0.045	0.049	0.054	0.058	0.063	0.067
60	0.044	0.048	0.053	0.057	0.062	0.067

III-1-2. 林道維持費

現在国有林では林道維持費を林道新設経費に対する比率で把握しており、また生産事業の事業量(費)に比例するとの考え方もあるが、本来、林道の維持費には既設路線の全線にわたって自動車道としての機能を常時保持せしめるに必要な基礎的なものと、運材車等の交通量に比例した補修費との双方が含まれていると考えられる。そしてこれらのうち、交通量と無関係な部分の単位延長当りの年間経費は、施業循環団地の置かれた地形的・地質的条件あるいは気象条件、林道の規格・種類等によって場所ごとに決まる定数であると考えられる。このことは、わが国の代表的な有料林道で路線ごとの補修費支出を把握しやすい公団林道の実態 (Table 2) からもある程度うかがうことができる。

Table 2. 公団林道における林道維持費⁴⁶⁾
Practical values of road maintenance cost in some forest roads

路線名	林 道		年 平 均 管 理 収 支			林道1m 当り	
	延 長 (m)	単 価 (円/m)	収 入 (A円)	支 出 (B円)	B/A	収 入	支 出
高ノ瀬	7,176	13,843	1,615,426	768,962	0.48	225	107
千本谷	2,843	13,387	76,246	208,516	2.73	27	73
久井谷	5,061	9,879	382,327	464,385	1.21	76	92
中 谷	5,154	6,597	228,012	399,928	1.75	66	78
南 川	21,768	11,283	2,305,543	1,723,424	0.75	106	79
出原谷	5,581	7,167	280,490	440,829	1.57	50	79
海川谷	15,838	7,548	1,108,006	1,215,496	1.10	70	77
槍 戸	12,204	9,098	800,338	894,199	1.12	66	73
釜ヶ谷	5,647	11,619	562,510	404,048	0.72	100	72
平 均			817,655	724,420	0.89	86	80

林道の改良もしくは大規模な災害復旧等に要する費用は、極めて一時的かつ突発的な経費であるから、これらはその必要性の発生の都度個別的に費用へ算入するものとして、ここでは維持補修費の中には含めないことにする。

しかし林道維持費は一種の作業費すなわち素材生産のための費用として処理すべき性質のものであるから、これに対して利息を考慮する必要はない。従って単位材積当りの平均林道維持費負担額は、施業循環期中に年々支出される維持費の支出総額を同一期間に生産される総材積に均等に配分した値とする。この場合、現実には伐出作業開始直後からこの平均維持費を生産原価に組み入れると、循環期前半には過大見積りとなるが、実際の維持費との差額は、後半における多額の支出に備えて留保するなど適当な処置が必要である。

以上のような前提のもとに素材 1m^3 当りの負担すべき林道維持費 (K_m) を求めると次のとおりである。すなわち林道は前項の仮定により年々均等に開設されるから施業一循環期内に支出を要する林道維持費合計は

$$\frac{AC_m(n+1)}{2} \cdot d_r$$

ただし

C_m : 林道単位延長当りの年間維持費 (円/m・年)

で表わされ、かつ同期間中に生産される総素材々積は間伐材も含めて $Vq(1+s) \text{ m}^3$ であるから、結局素材 1m^3 当りの林道維持費負担額 (K_m) は次式で表わされる。

$$K_m = \frac{C_m(n+1)}{2q(1+s)d_v} \cdot d_r = c_2 \cdot d_r \quad (4)$$

ただし

$$c_2: \text{林道維持費に関する定数} = \frac{C_m(n+1)}{2q(1+s)d_v}$$

択伐作業が行なわれる場合は、林道が初回の回帰中に全域にわたって整備されるので、林道開設費の場合と同様、皆伐作業を前提とした (4) 式とは異なった値となる。すなわちこの場合の林道維持費負担額は次式で示される。

$$K_m = \frac{C_m(1+2n-n')}{2qd_v} \cdot d_r = c_2 \cdot d_r \quad (5)$$

III-1-3. 集材費

林道網は、使用される機械をも含めた集材作業法が変われば、自からその在るべき姿を異にするのが普通である。従って林道網計画の前提ともなるべき集運材作業法について、まず規定しておく必要がある。

現在わが国で実施されている集運材法には、例えば集材機の 1 段作業とトラック運材の 2 工程からなる最も単純なものから、集運材作業だけでも 10 工程に及ぶ極めて複雑なものに至るまで多種多様である。もちろん現在では極端に複雑な生産工程はその後の改善によって存在しなくなったが、それでも全国にはまだ相当多くの工程を有する作業があることも事実である。集運材に関する工程系列の多様性は主として施業地の地形的条件、林道による開発程度の相違などによるものであるが、林道網計画を行なうには、これらの中から計画対象地域に最も適した集運材工程を想定する必要がある。すなわち林道が長期にわたる総合的な生産計画の一環として設けられるべきものである限り、その前提となる集運材法もまた比較的長期にわたって合理的かつ普遍性のある技術的方法が想定されなければならない。このような意味から今日行なわれている各種集運材作業法の中で、将来においても効果的かつ支配的と考えられる方法が何であるかを考えると、トラクタ集材および架空線 1 段集材とトラック運材を組合せた 2 工程からなる集運材法以外にはない。それ故にここでは上記 2 法を前提にして以下の考察を進めることにする。

しかして集材費はこれを直接費と間接費に分けることができる。直接費は主として機械の稼働に伴う経費で、賃金、機械運転費、機械修理費および附帯資器材費等であり、間接費は減価償却費、機械定期整備費、機械維持費などがその主なものである。このような構成をもつ集材費は、集材距離、使用機械の種類、作業仕組み、生産量、平均蓄積、平均立米回り等々、多くの作業条件の相違によってかなり大幅に変化する。しかし林道網の変化による集材費の変動は、主として林道密度の疎密に基づく集材距離の長短によるものであるから、両者の関係を求めるためには、まず集材距離以外の各因子の組合せを個々の与条件と考え、集材距離と集材費との関係を求める必要がある。

集材距離と集材費との関係：集材距離と集材費との関係は、理論的に Fig. 1 に示すような曲線的变化をなすものである。すなわち集材距離が次第に長くなると、距離とは無関係な要素作業

時間たとえば荷掛け荷おろし、作業打合せ時間などの集材作業1サイクル時間内に占むる比率が低下するから、距離の増加に伴う集材費の増加率は多少減少して幾分上に凸な曲線関係となり¹⁰⁾、また集材機作業の場合、集材距離が著しく長くなって2段集材、3段集材になるときは、両者の関係は1本の連続曲線ではなく段階的な変化をする不連続曲線となる。

しかしその曲線の勾配変化はあまり急激なものではなく、実用的には直線的变化とみなしてもさしつかえない程度である。それ故にここでは集材距離と総集材費との基本的な関係を集材機械の種類およびその他の作業条件が異なっても直線的变化をするものとみなし、

$$K_s = al + b \quad (6)$$

ただし

K_s : 素材 1m^3 当りの集材費 (円/ m^3)

a, b : 使用機械その他作業条件によって定まる定数

なる一般式を用いることにする。

林道密度と平均集材距離との関係: 林道密度を決定する経費函数を得るには、林道開設費などと同様、集材費を林道密度の函数としてあらわす必要があるが、それには上述の集材距離と総集材費との関係以外に、林道密度と平均集材距離との間の理論的な関係が明らかにされねばならない。

従来、一般に用いられている林道密度と平均集材距離との関係は、林地中央に林道を有する単位面積の矩形モデルにおいて、林道延長が林道密度 $d_r(\text{m})$ に等しく、平均集材距離を $l(\text{m})$ と仮定したとき、矩形の面積 $(4l \cdot d_r)$ が $10^4(\text{m}^2)(=1\text{ha})$ に等しいという関係から、ある林道密度に対する平均集材距離を求めるものであった。HUGGARD¹⁰⁾、上飯坂¹⁵⁾は林道間隔から林道密度を算出するに当たって、いずれもこの関係を用いている。

しかし、このようにして得られた林道密度と平均集材距離との関係には、一つの欠点がある。それは両者の関係に対象林地の面積が集材距離決定因子として含まれていないことである。つまり林道密度の値が同じであれば、面積の大小を問わず平均集材距離も同じになり、また仮りに密度が零であれば平均集材距離は無限大になるのであるが、これらは現実の林地を考えた場合に明らかに不合理である。

小川^{7,8)}は、ある区域内における最大集材距離をその区域面積と区域内の林道延長とであらわし、これらの値を用いて間接的に林道密度と最大集材距離との関係を図示したが、筆者は、ほぼこれと同じようにして平均集材距離を林道密度の函数として表わせば、対象区域の面積を平均集材距離の決定因子として導入し得ることに着目し、次に示すような仮想上のモデルを用いること

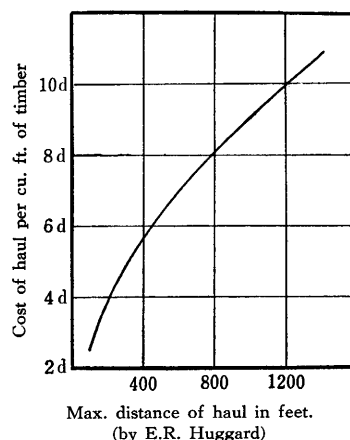


Fig. 1 集材距離と集材費との関係
The relation between the distance of timber prehauling and the cost of it.

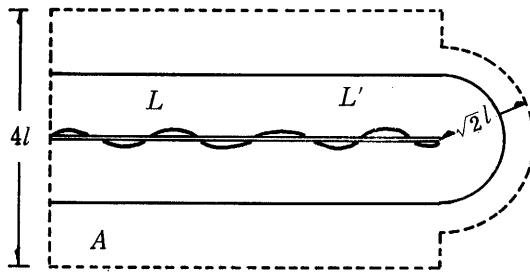


Fig. 2 林道密度と平均集材距離との関係を示すモデル
Theoretical pattern showing the relation between the average distance of timber prehauling and the density of the forest road.

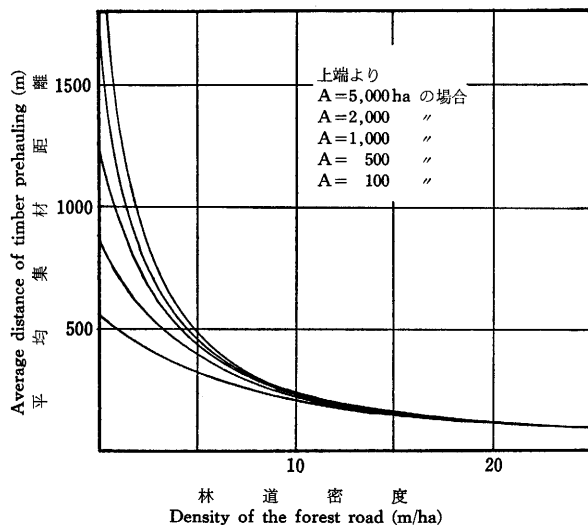


Fig. 3 林道密度と平均集材距離

Relation between the average distance of timber prehauling and the density of the forest road.

によって両者の関係を誘導した。

すなわち面積 $A(\text{ha})$ の循環団地内に $L'(\text{m})$ の直線的な林道があって、集材は林道まで最短コースを通って行なわれるものとすれば、1箇の施業団地としてすべての平均集材距離が等しくなるような仮想上のモデルは Fig. 2 に示すようなものとなり、これより林道密度と平均集材距離との一般的な函数関係を導くことができる。まずモデルの面積が施業団地面積に等しいとおけば、

$$4LL' + (\sqrt{2}l)^2\pi/2 = 10^4A$$

また、 $d_r = L/A$ 、 $L' = kL$ (k は後述の開発伸長効率) であるから、上式は次のように変形される。

$$l = \alpha(\sqrt{d_r^2 + \beta} - d_r) \quad (7)$$

ここに

$$\alpha: 2kA/\pi \quad \beta: 10^4\pi/4Ak^2$$

l : 平均集材距離 (m)

A : 循環団地の施業地面積 (ha)

d_r : 林道密度 (m/ha)

(7) 式が林道密度と平均集材距離との関係を表わす式であるが、これを用い

ば従来の矩形モデルの場合に生ずるいくつかの問題点をほぼ合理的に解決することができる。

すなわち Fig. 3 は (7) 式の森林面積に種々の値を与えて林道密度と平均集材距離との関係を具体的に例示したものであるが、同図によれば、林道密度がほぼ 10~15(m/ha) を越えれば循環団地の面積に大小があっても平均集材距離の差は殆どなくなり、林道密度がそれより低い場合は面積によってかなり大幅な変化を示す。また同一密度であれば面積が大きくなるに従ってその差は僅少になってくるが、いずれも現実的林道密度と平均集材距離との関係をかなり良く表わしているものと考えられる。

開発伸長効率: 道路はその開設に当って路線に沿った平面的もしくは縦断的な地表の変化をある程度克服し得るけれども、それには限度があって、大局的には山腹表層地形に順応しつつ開設されるのが通例である。しかし地形に対する修正が大きい路線程、大規模な工事と多額の経費

とを要することは明らかであるが、林道は一般公道に比べてはるかに交通量が少なく使用目的も限定される道路であるから、工事単価は自から制約を受け路線の線形は比較的忠実に地形に順応せざるを得なくなる。また同時に、林道は単に運材路としてばかりでなく、必要資器材、機械類の林内搬入路として利用し、かつ林道そのものを集材地点としても広範に活用し得るようにするために、大きな尾根、谷などはこれを迂回せしめ、長大な橋梁、隧道等の作設を避けるように路線選定するのが普通である。更に溪床勾配が急な場合や連絡道路では、高低差に対する延長の不足を補いつつ作設しなければならぬ場合がしばしば生ずる。

このように林道には地形の褶曲または勾配の影響による迂回、ヘアピンカーブ等、その林道の開発圏の伸長に直接奉仕しない、いわば効用的にロスになる部分が少なからず存在し、林道の開設延長とその林道によって開発可能となる森林の伸長距離とは一致しないのが普通である。この両者の比すなわち林道の開設延長に対する開発圏の伸長距離の比がここにいう開発伸長効率であるが、その値を具体的に如何なる方法で求めるかについては異論の生ずるところである。

杉原等⁵⁰⁾はヘリコプター運材の導入を前提として、ヘリコプターとトラック運材における空路と陸路の所要時間の差、ヘリコプター購入費と林道建設費との比較を行なう基礎因子として迂回率を取り上げ、陸路の迂回率（迂回距離×100/直線距離）を各種の道路について統計的に求めた。そして既設林道については大阪営林局および高知営林局管内の林道路線を例にとり、迂回率 $\eta=1.57$ という値を与えている。杉原等の示した迂回率は、開発伸長効率と類似した考えであるが、ヘリコプター運材を念頭に置いているためにその求め方が既設林道を対象にしていること、および1路線の全区間について求めるものであることなどにより、必ずしも対象地域全体の地形の複雑さ、溪床勾配の状態を表わすものとは考えられない。

元来ここにいう開発伸長効率は、路線の開設位置または密度によって変動するものと考えられ、これを簡単に求めることはなかなか困難である。しかしここでは開発伸長効率に低下をもたらす路線の屈曲が、主として山腹褶曲の度合と流域主流の溪床勾配の度合に応じて生ずるものと考え、開発伸長効率をこの2つの因子で表わすことにする。

まず山腹褶曲の度合はこれを褶曲率 (k_1) と呼称するが、これを実際に求める方法は、1). 1/25,000~1/50,000 地形図上の計画対象地域全域に1辺が1kmの方形グリットを設け、それぞれの方形に直径1kmの円を内接せしめる。2). この円の一つの直径の両端をほぼ通過する等高線を見出し、円に区切られた部分の等高線の長さを測定する*。3). それぞれのグリットについて山腹褶曲率を次式により算定する。

$$\text{褶曲率}(k_1) = \frac{\text{円の直径の長さ (km)}}{\text{等高線の長さ (km)}} = \frac{1}{\text{等高線の長さ (km)}} \quad (8)$$

4). 各グリットの褶曲率を全域にわたって平均したものを対象区域の平均褶曲率 (k_1) とする。次

* 等高線が途中で円外に出る場合にもこれを総て測定する。

に対象区域内の主たる溪床勾配の影響については、これを勾配係数 (k_2) と呼び、溪床勾配が林道の制限勾配以下であれば、林道延長を特に修正する必要がないのでこれを考慮せず $k_2=1$ とする。しかし制限勾配を越える場合は、林道を溪床と交叉せしめないために適宜へアピンカーブを設けて林道延長の増加をはかる必要があり、勾配に比例して開発伸長効率は低下して行く。従って勾配係数 (k_2) は、対象地域内の主たる流域の平均勾配を $\theta\%$ 、林道の最急勾配を $\theta_0\%$ としたとき次式で表わされることになる。

$$k_2 = \theta_0 / \theta \quad (9)$$

この場合溪床勾配 θ は、対象区域内の主たる谷の最低点と最高点*とを定め、两点間の標高差と谷の延長とから求める。しかしてこのようにして得られた褶曲率 k_1 勾配係数 k_2 の相乗積をもって開発伸長効率とする。すなわち

$$k = k_1 \cdot k_2 \quad (10)$$

である。

単位材積当りの集材費：以上、集材距離と集材費、林道密度と平均集材距離との関係が明らかになったが、(6)、(7) 式より単位材積当りの集材費 (K_s) を林道密度の函数として次のごとく表わすことができる。すなわち、

$$K_s = c_3 (\sqrt{d_r^2 + \beta} - d_r) + b \quad (11)$$

ただし

c_3 : 集材費に関する定数 $= a \cdot \alpha$

a, b : 集材法によって定まる定数

III-1-4. 林内運材費

一般に運材費はこれを区間的に明確に区分することは困難であるが、仮りに生産地点から市場へ至る一系統の運材を、公道ならびに到達林道上の運材と生産地点から到達林道に至るまでの運材とに区分するとすれば、公道ならびに到達林道上の運材費は、施業循環団地内の林道網の如何にかかわらず不変であるから林道密度を算定する経費函数の中に含める必要はない。しかし林内に林道が開設されることによって集材が運材に置換ええられる部分の運材費すなわち林内運材費は、当然経費函数を構成する要素費用として取扱わねばならない。

しかし筆者は先に平均集材距離の算定に用いたのと同じモデルを用い、素材 1m^3 当りの林内運材費を経費函数の中に含めることを試みたが³¹⁾、結果的には林内運材費の原価要素としての比重すなわち林道密度決定におよぼす影響度が、林道開設費など他の要素費用に比べて著しく低いにもかかわらず密度算定式はかなり複雑化することが明らかになったので、ここでは林内運材費を要素費用に加えないことにした。

* 流域の最上流においては通常いくつかの小沢に分岐し、しかもそこが溪床勾配の変化点となって、そこから上流は下流に比して著しく急勾配になるような点が存在する場合が多い。このような点をもって最高点とする。

III-2. 必要最小林道密度の算定式

素材 1(m³) 当りの経費函数(K)は, 林内運材費を除外することにしたので, 結局林道開設費, 林道維持費, および集材費の 3 要素費用から構成されることになる。すなわち,

$$K=K_r+K_m+K_s \quad (12)$$

したがって, (2), (4), (11) 式および (12) 式から

$$K=(c_1+c_2-c_3)d_r+c_3\sqrt{d_r^2+\beta}+b \quad (13)$$

もしも施業団地内に公道あるいは林道が $D(\text{m/ha})$ の密度ですでに開設されている場合, (2) 式の c_1d_r は $c_1(d_r-D)$ となり, 同様に林道維持費も, 林内に施業林道とみなされる公道が $D'(\text{m/ha})$ だけある場合は, 公道の維持費は生産原価に含める必要がないから, (4) 式の $c_2 \cdot d_r$ は $c_2(d_r-D')$ と改めて計算すればよい。しかし D, D' はともに d_r とは関係のない定数であるから必要最小林道密度の算定には無関係であり, 公道等の影響を考慮する必要はない。

しかして, 必要最小林道密度は, 上記経費函数の値を最小にする林道密度であるから次のような形で与えられる。

すなわち

$$\frac{dK}{dd_r}=(c_1+c_2-c_3)+\frac{c_3d_r}{\sqrt{d_r^2+\beta}}$$

故に

$$d_r=\left[\frac{(c_3-c_1-c_2)^2\beta}{(2c_3-c_1-c_2)(c_1+c_2)}\right]^{1/2} \quad (14)$$

ここに

$$c_1=\frac{mC_r\gamma_m}{q(1+s)d_v}\left[\frac{2n-m+1}{2n}+\frac{2p}{m\gamma_m}\right]^*, \quad c_2=\frac{C_m(n+1)^{**}}{2q(1+s)d_v}$$

$$c_3=a \cdot \alpha=\frac{2akA}{\pi}, \quad \alpha=\frac{2kA}{\pi}, \quad \beta=\frac{10^4\pi}{4k^2A}$$

a : 集材法によって定まる定数

[備考]

A : 循環団地の施業地面積 (ha)	L : 循環団地内に開設される林道の総延長 (m)
C_m : 林道単位延長当りの年間維持費 (円/m・年)	L' : 林道によって開発される区域の長さ (m)
C_r : 林道の平均開設単価 (円/m)	V : 施業循環期内に生産される主伐立木総材積 (m ³)
C_y : 一年当りの林道開設費総額 (円/年)	d_r : 循環団地内の平均林道密度 (m/ha)
K_m : 素材 1m ³ 当りの林道維持費負担額 (円/m ³)	d_v : 主伐時における単位面積当りの蓄積 (m ³ /ha)
K_r : 素材 1m ³ 当りの林道開設費負担額 (円/m ³)	k : 林道の迂回に基づく開発伸長効率
K_s : 素材 1m ³ 当りの集材費 (円/m ³)	
K_t : 素材 1m ³ 当りの林内運材費 (円/m ³)	

* 択伐作業の場合は (3) 式の c_1 を用いる。

** 択伐作業の場合は (5) 式の c_2 を用いる。

l : 平均集材距離(m)	q : 造材歩止り
m : 林道開設費償還年数(年)	s : 単位面積当りの間伐収穫総材積の主伐総材積に対する比率
n : 作業の一循環年数(年)	
p : 林道開設費に対する金利(年利)	γ_m : m 年償還における元利均等年償還係数

III-3. 算定式の一般的適用例

本節では、先に誘導した林道密度算定式を用い関連する因子の数値を具体的に想定しつつ、集材機作業およびトラクタ作業を前提とする双方の事例について、条件因子と算定結果についての考察を行なう。

III-3-1. 施業循環団地の規模

国有林における循環団地は、ここに規定した施業循環団地にほぼ類似するとみなし得ることは前述のとおりであるが、民有林の森林計画区においては、一般に国有林の如き循環団地を設定することは現実的に不可能に近い。しかしこの場合も、経営形態の改善を前提に林道網完成後の対象森林面積全体の作業費を最小ならしむという観点に立てば、国有林の循環団地に準じた施業団地を理論上想定することは可能である。従ってここでは、現存する国有林の循環団地を参考にしながら、林道網計画の対象となる施業循環団地の面積的規模を推定する。

国有林における循環団地の規模は、各事業地の施業法、森林の蓄積、林相等々、多くの条件に左右され、全国的には、1,000 ha 内外の規模のものから 10,000 ha を越えるものまで様々であって単純にその大きさを規定することは困難な状態にある。

わが国森林の地形ならびに集材方式の中で代表的と考えられる イ) 山岳林における集材機による1段集材作業、ロ) 緩斜地ないしは平坦地によるトラクタ集材作業の2形態を考えた場合、それぞれの型に属する東京営林局および帯広営林局管内の循環団地の現況は、Table 3 に示すとおりである。同表によれば集材機使用地区では約 2,000~6,000 ha、平均 3,500 ha、トラクタ使用地区では約 3,000~13,000 ha、平均 6,300 ha となっており、さらに集材機使用地区では概して天然林を主体とする静岡西部地区よりも人工林を主体とする伊豆、茨城地区の方が循環団地の規模は小さくなる傾向にあることがうかがえる。

また国有林の直営生産事業所の設置基準は、大型集材機やトラクタを保有し、比較的大規模な機械化作業を行なうために必要な年間作業量を確保し得ることが一つの条件になっているようであり、具体的には針葉樹では 10,000 m³ 以上、広葉樹では 15,000 m³ 以上永続的に生産し得る規模とされている。従って今仮りに針葉樹人工造林地の蓄積が 200~400 m³/ha、天然広葉樹林の蓄積が 100~150 m³/ha、循環年数を 40~60 年とすれば、循環団地の必要面積は針葉樹人工造林地が 1,000~2,500 ha、天然広葉樹林で 4,000~7,500 ha の範囲ということになる。

それ故ここでは循環団地の規模として 1,000 ha、5,000 ha という大小2種類を想定することにしたが、この程度の面積的基盤があれば、機械化作業ならびに永続的な素材生産事業を可能な

Table 3. 循環団地の規模
Examples for extent of the forest where the road net work should be planned

集材機作業地区(東京営林局)				トラクタ作業地区(帯広営林局)		
地域	営 林 署	循 環 団 地	面 積 (ha)	営 林 署	循 環 団 地	面 積 (ha)
静岡県西部地域区	千 頭	大 間 川	4,598	新 得	チカベツ	7,879
		本 谷	4,805		奥 十 勝	11,503
		逆 河 内	3,192		トムラウシ	8,516
		大 根 沢	6,288		ニベソツ	6,298
	気 田	門 桁	4,659	上 士 幌	三 股 本 流	12,934
		京 丸	2,281		幌加・糖平	13,627
		熊 切	2,116		糖 南	6,214
		白 倉	2,016		本 流	9,609
	水 窪	戸 中 山	3,309	足 寄	幌 加	7,242
					風 達	4,103
伊豆・茨城地域区	高 萩	上 君 田	2,838	陸 別	雌 阿 寒	7,277
		小 里	2,452		陸 別	5,435
		八 溝	1,985		北 斗 満	4,842
		持 越	2,110		新 斗 満	4,985
	天 城	本 谷	2,317	白 糖	斗 満 本 流	4,206
		筏 場	1,795		上 茶 路	6,506
		西 部	2,374		庶 路 越	4,735
		東 部	3,657		滝 ノ 上	6,437
	河 津			阿 寒	パンケトー	5,963
					飽 別	4,393
				弟 子 屈	鎧 別	3,150
					屈 斜 路	4,488
					川 湯	3,178

らしむる条件,あるいはその他林道網計画の対象地として具備すべき条件をほぼ満足するものと考えられる。

III-3-2. 林道開設費および林道維持費

林道開設費単価(C_r):すでに述べたように,林道開設費はその地域の地形条件,地質条件,賃金水準などによって定まると考えられるから,これを施業上の条件とは一応切りはなして任意に想定してもさしつかえない。ここでは過去の実績から判断して,集材作業類型に応じて次のように林道開設費単価を定める。

集材機使用地区 1,000, 5,000, 10,000, 20,000, 30,000 (円/m)

トラクタ使用地区 500, 1,000, 2,000, 3,000, 5,000 (円/m)

林道維持費(C_m):林道の単位延長当りの年間維持費がどの程度の額であるかを集材機使用地区(東京営林局静岡西部)ならびにトラクタ使用地区(帯広営林局)の双方について昭和37年度実績を調べると135~343円/mの範囲にあり,平均林道維持費は集材機使用地区が約140円/m,

トラクタ使用地区が 150円/m となっている。

この実績値は、既開設路線全体を維持修理するのではなく、生産に必要な箇所を重点的に補修したものを全路線的に均等化したものであるが、現実にも当面使用しない部分まで重車輛の通行に耐え得るよう補修する必要もないから、この実績値をここに規定する林道維持費 C_m とみなしてもさしつかえない。しかし林道維持補修の分野においても作業の機械化、合理化は今後ますます促進されるものと予想されるので、機械化による作業費の軽減を考慮してここでは維持費を次のように定める。すなわち、

集材機使用地区 $C_m = 120$ 円/m,

トラクタ使用地区 $C_m = 80$ 円/m

III-3-3. 集材距離と集材費との関係

集材距離と集材費との関係を求めるためには、集材作業における集材距離別功程を把握することがまず必要である。しかしこの両者の関係は現在資料が最も豊富とされている国有林の直営生産事業においてもこれを明確に把握し難い状態である。

例えば技術水準および作業条件等がある程度類似した地域の一例として、長野営林局木曾谷経営区における事業結果（昭和 37 年度）を見ても、Fig. 4 に示すとおり、いずれも偏差が大きいかつ集材距離の増大に対する 1 日当りの功程減はそれほど大きくはない。作業員の編成、年間作業日数および 1 日当りの直接作業費を同額と考えて単位材積当りの作業費を推定すれば、作業費は距離が長くなっても僅かな増加を示すだけであり機械償却費等の間接費についても同様である。つまり集材距離に対する作業費の増加率 (a) は零に近い値であり、場合によっては負の値をとることも予想されるが、森岡等⁸³⁾も直営生産事業実態調査の分析結果から同様のことを指摘している。

しかしながら、筆者はこのような実績値の生ずる所以は主として国有林における労務雇傭形態にあると考えざるを得ない。すなわち現在の国有林のように年間素材生産量が限定され、他方では多くの年間ないし定期作業員を擁する状況で

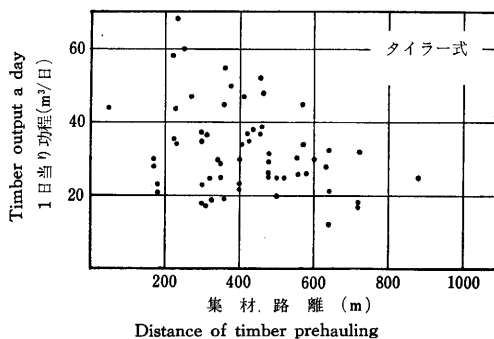


Fig. 4 集材距離と 1 日当りの功程 (長野営林局)
Timber output in cubic meter a day
in the case of skyline crane system.

は多くの年間ないし定期作業員を擁する状況では、時として集材機械の能力から期待し得る功程を意識的に抑制せざるを得ない事態も起り得る。例えば集材技術以外の理由から、ある集材距離に対する標準的な実働率が変動したり、機種によってほぼ等しい筈の積載量を増減しなければならなくなる。

従って、集材距離が集材費にあまり影響しないという実績は、国有林のもつ特殊事情がもたらす結果であって、これをそのまま集材作業に

対する林道の開設効果を論ずる基礎にすることはできないであろう。何故ならば、林道を林内に拡充する一つの主たる目的が集材距離を短縮して集材費の軽減をはかることにあるから、技術以外の不確定要素に基づく実績資料から集材距離と集材費との関係を導くことは、林道が有する正当な効用を見失なわせる危険性が多分にあるからである。

このような理由から、ここでは (6) 式を得るための集材功程を純然たる生産技術的見地から求めることにする。

(1) 集材機作業の場合

集材サイクルタイムと 1 日当りの理論功程：小山²⁷⁾は下げ荷集材作業（タイラー式）におけるサイクルタイムを求める式として次のような式を導いた。

$$T_0 = \frac{l_1(1+\cos \alpha_1)}{v} + \frac{l_2}{0.75} \left(\frac{1}{v_0} + \frac{1}{V_0} \right) + \frac{0.3nl_2}{0.75V_0} + 3.0 \quad (15)$$

ただし

T_0 : サイクルタイム (分)	l_1 : 横取り索の平均半径 (m)
l_2 : 集材距離 (m)	α_1 : 横取り索と地面とのなす角 (度)
v : 横取り速度 (m/min)	v_0 : 実搬器の降下制限速度 (m/min)
V_0 : 空搬器の返送速度 (m/min)	n : 空巻き係数

(15) 式の各因子に普通の作業条件と考えられる数値として $l_1=40\text{m}$, $l_2=100, 200, 300, \dots, 1,000\text{m}$, $\alpha_1=45^\circ$, $v=15\text{m/min}$, $v_0=500\text{m/min}$, $V_0=400\text{m/min}^*$, $n=5.5$ をそれぞれ代入すると、集材作業 1 回当りの所要時間 T_0 は

$$T_0 = 7.55 + 0.0115l_2$$

となり、これより集材距離別の所要時間（サイクルタイム）を算出すれば Table 4 に示すとおりとなる。

1 日当りの作業功程は、実働時間とサイクルタイムとから 1 日当りの集材回数を求め、これに平均積載量を乗ずればよい。しかして林野庁が示した余裕率暫定基準表によれば、1 日当りの要素作業時間の配分は、勤務時間を 480 分にとった場合、実働時間 385 分、準備後始末時間 20 分、作業余裕時間 20 分、職場余裕時間 20 分、用達余裕時間 5 分、疲労余裕時間 30 分、計 480 分と

* 小山は空搬器返送速度を $V_0 = 75\eta_m \text{IP} / (W_c + \omega)(\sin \theta + \mu_c \cos \theta)$ (ただし $W_c + \omega$: 空搬器および附加物の重量, θ : 支間傾斜角, μ_c : 搬器走行抵抗係数, η_m : 機械効率, IP : 集材機の馬力) なる式で与えているが、これは集材機の出力によって返送し得る最大速度であるから、現実の集材機作業に適用するときは不合理な値となる場合が多い。よってここでは普通の大型集材機の返送最大速度（4 速）として 400m/min を用いることにした。

Table 4. 集材機作業における
サイクルタイム

Average time spent for one cycle
operation in the skyline
crane logging

集材距離 (l_2)	サイクルタイム (T_0)
100m	8.70分
200	9.85
300	11.00
400	12.15
500	13.30
600	14.45
700	16.60
800	16.75
900	17.90
1,000	19.05

Table 5. 集材機作業における1日当りの作業工期
Average timber output a day in skyline crane logging

集材距離 (m)	実働時間 (min.)	サイクルタイム (min.)	1日当り回数	1荷の積載量 (m ³)	1日当り工期 (m ³)
100	378	8.70	43	1.2	51.6
200	372	9.85	38	〃	45.6
300	365	11.00	33	〃	39.6
400	358	12.15	29	〃	34.8
500	351	13.30	26	〃	31.2
600	345	14.45	24	〃	28.8
700	338	15.60	22	〃	26.4
800	331	16.75	20	〃	24.0
900	325	17.90	18	〃	21.6
1,000	318	19.05	17	〃	20.4

なっている。この基準は勤務時間内に必要とする作業員の移動時間（荷掛手が作業現場まで移動する時間）がないものとしたときの値であるが、実際には集材距離の長短によって実働時間は変わってくる。そこで作業開始後、荷掛手が荷掛場に向かう平均速度を1.5km/hとして、その往復に要する通勤時間を差引いて集材距離ごとの実働時間を求め（ただし帰路は往路の所要時間の2/3とする）、さらに1回当りの積載量を1.2(m³)*として1日当りの作業工期を算出すれば Table 5 のとおりである。

集材機作業1日当りの作業経費：1日当りの作業費を算定するのに必要な事項を次のように定める。

1日当り労務費

職 種	数 量	単 価	金 額	備 考
運 転 手	1人	3,000 円	3,000 円	ただし運転手は年間収入45万円、年150日稼働とする。
荷 掛 手	2人	1,700 円	3,400 円	
荷 卸 手	1人	1,700 円	1,700 円	
計	4人		8,100 円	

1日当り償却費

集材機原価	償 却 年数	年間稼働日数	稼働1日当り償却費
1,200,000円	5年	150日	1,600円/日

1日当り機械維持費⁴⁵⁾

年平均維持修理費	年間稼働日数	稼働1日当り維持修理費
61,000 円/台	150 日	407 円/台

* 小山は、1回当りの積載量を算出する式として

$$W_e = 75\eta_m IP / 1.3v_{\min}$$

を用いているが、これも返送速度と同様、出力に対する最大積載量をあらわすものである。現実の集材機作業では主として索径とスパンとによって積載荷重が規制されるのが普通であるから、ここでは1.2(m³)を用いる。

1 日当り燃料油脂費¹⁾

集材機作業実働 1 時間当りの燃料・油脂等の消費量を、軽油 2.78*l*、エンジンオイル 0.09*l*、ギアオイル 0.0267*l*、グリース 0.007 kg とし、それぞれの単価を 26 円/*l*、200 円/*l*、250 円/*l*、300 円/kg とすれば、実働 1 日当りの燃料消費量ならびに所要経費は各集材距離ごとに次のようになる。

集材距離 (m)	実働時間 (h)	軽油		エンジンオイル		ギアオイル		グリース		経費合計 (円)
		消費量 (<i>l</i>)	経費 (円)	消費量 (<i>l</i>)	経費 (円)	消費量 (<i>l</i>)	経費 (円)	消費量 (kg)	経費 (円)	
100	6.30	17.5140	455	0.567	113	0.168	42	0.0441	13	623
200	6.20	17.2360	448	0.558	112	0.166	42	0.0434	13	615
300	6.08	16.9024	439	0.547	109	0.162	41	0.0426	13	602
400	5.97	16.5966	432	0.537	107	0.159	40	0.0418	13	592
500	5.85	16.2630	423	0.527	105	0.156	39	0.0410	12	579
600	5.75	15.9850	416	0.518	104	0.154	39	0.0403	12	571
700	5.63	15.6514	407	0.507	101	0.150	38	0.0394	12	558
800	5.51	15.3178	398	0.496	99	0.147	37	0.0386	12	546
900	5.42	15.0676	392	0.488	98	0.145	36	0.0379	11	537
1,000	5.30	14.7340	383	0.477	95	0.142	36	0.0371	11	525

1 日当り用品費

ここにいう用品とは作業索類、キャレジ、ブロック類、その他諸器材をいうが、秋山²⁾は青森営林局の実績資料から各種用品の実働 1 時間当りの所要経費を集材距離別に求めた。この値に距離別稼働時間を乗じて 1 日当りの所要経費を求めると次のとおりである。

集材距離 (m)	1 時間当り 用品使用額 (円)	実働時間 (時)	稼働 1 日当り 用品使用経費 (円)	備考
100	152.10	6.30	958	
200	192.42	6.20	1,193	
300	232.74	6.08	1,415	
400	273.06	5.97	1,630	
500	313.38	5.85	1,833	
600	353.70	5.75	2,034	
700	394.02	5.63	2,218	
800	434.34	5.51	2,393	
900	474.66	5.42	2,573	
1,000	514.98	5.30	2,729	

以上の各種経費を集材距離ごとに集計して 1 日当りの作業経費を求め、更にこれを Table 5 に示す工程で除し、1 m³ 当りの集材費を求めると Table 6 のとおりとなる。

素材 1 m³ 当りの副作業費：集材機作業における必要経費は、Table 6 に示されたものの以外に架設、撤去、張り替えに要する経費、ならびに雑費と称する機械、器具、燃料などの搬入経費ま

Table 6. 集材機作業における1日当りの作業費と1m³当りの集材作業費
Logging cost per unit output of timber in skyline crane logging

集材距離 (m)	1日当り 総賃金 (円)	償却費 (円)	維持費 (円)	燃料費 (円)	用品費 (円)	1日当り 総経費 (円)	1日当り 功 程 (m ³)	1m ³ 当り 集材費 (円/m ³)
100	8,100	1,600	407	623	958	11,688	51.6	227
200	8,100	1,600	407	615	1,193	11,915	45.6	261
300	8,100	1,600	407	602	1,415	12,124	39.6	306
400	8,100	1,600	407	592	1,630	12,329	34.8	354
500	8,100	1,600	407	579	1,833	12,519	31.2	401
600	8,100	1,600	407	571	2,034	12,712	28.8	441
700	8,100	1,600	407	558	2,218	12,883	26.4	488
800	8,100	1,600	407	546	2,393	13,046	24.0	544
900	8,100	1,600	407	537	2,573	13,217	21.6	612
1,000	8,100	1,600	407	525	2,729	13,361	20.4	655

たは機械の据付け取りはずし、盤台の組立、撤去などに要する経費がある。ただし雑費はあまり明確ではないので、副作業費の10%程度を見込むものとする。

しかして架空線の索張り経費は索張り距離が長くなるに従って増大し、その表示には通常索張りに要する人工数が用いられる。架設人工数の具体的な数値は、架設作業員の技術水準、地形、索張り形式などによってかなりの差異があり、標準的な値を求めることは容易ではない。ここでは一例として作業工程表²⁵⁾から、索張り距離ごとの所要経費を求めるが、これによれば1架線の索張り経費は次式のようにあらわされる。

$$y = 51.2l' + 1,200 \quad (16)$$

ただし

$$y: \text{索張り経費 (円)} \quad l': \text{索張り距離 (m)}$$

賃金は日給800円とする。

次に素材1m³当りの索張り経費を求めるためには、集材地の一定面積当りの索張り経費が明らかでなければならないが、一定面積当りの索張り経費は、スパンが短いと架設撤去回数が多くなり、またスパンが長くなれば実際の集材区間の全体に占める割合が少なくなる傾向にあるから、1架線当りの架設経費のごとく距離に比例して単純に経費が増大するわけではない。従って一定面積当りの索張り経費がスパンによってどのような変化を示すかを従来の作業実績を参考にしながら若干の前提を設けて検討する。すなわち、a) 1線当りの索張り経費の算定には、(16)式のような直線式を適用し得る。b) 架空索径間に対する集材有効区間は距離ごとに変化し、集材有効区間が100mの時は径間が200m、1,000mの時は1,500mになり、その間は比例的に変化する。なお横取り幅はBmとする。c) 架線の撤去費は架設費の30%とみなす。d) 架線の張り替え(先柱の移動のみを行なうもの)に要する経費は、撤去費と同様架設費の30%とし、かつ1回の架設撤去に対して平均2回の張り替えが行なわれる。

これらの前提は、極く普通の集材作業にみられる状態であるが、上記の前提にたてば一定面積当りの副作業費は次表のごときものとなる。

集材有効区間 (m)	径間率 増加率	索張り間 径 (m)	架設費 (円)	撤去費 (円)	1線当り架設・ 撤去費計 (円)	架設回数	一定面積 当り架設・ 撤去費 (円)	平均索張り 経費 (円)*
100	1.20	120	7,340	2,203	9,547	10.00	95,470	50,599
200	1.23	246	13,795	4,138	17,933	5.00	89,665	47,522
300	1.27	381	20,707	6,212	26,919	3.33	89,640	47,509
400	1.30	520	27,824	8,347	36,261	2.50	90,652	48,045
500	1.33	665	35,284	10,574	45,822	2.00	91,644	48,571
600	1.37	822	43,286	12,985	56,271	1.67	93,972	49,805
700	1.40	980	51,376	15,412	66,788	1.43	95,506	50,618
800	1.43	1,144	59,772	17,931	77,703	1.25	97,128	51,477
900	1.47	1,323	68,937	20,679	89,616	1.11	99,473	52,720
1,000	1.50	1,500	78,000	23,400	101,400	1.00	101,400	53,742

上表の最終欄からも分かるように、一定面積（集材有効区間 1,000m を基準にして、横取り幅を Bm とすれば $0.1Bha$ ）当りの索張り経費は 2 次曲線的変化をなし、その最小値は索張り径間が 400m 附近にあることが知れる。このことはこれまでも集材作業には最も経済的な集材距離が存在し、その値が概略 400~500m 程度であることが経験的に認識されていたが、これをある程度立証するものといえよう。

しかしながら最も普通の集材距離と考えられる 300~800m の範囲では、単位面積当りの索張り経費は 4,000 円 ($0.1Bha$ 当り) 程度の差異しかなく、仮りに横取り幅を片側 50m, ha 当りの蓄積を $100\sim200m^3$ とすれば、 $1m^3$ 当りの索張り経費の差は 2~4 円となって総集材費に比べて極めて僅少額である。それ故に、ここでは一定面積当りの索張り経費を定額とみなし、 $0.1Bha$ 当り約 5 万円、これに 10% の雑費を加えて 55,000 円とする。

従って $1ha$ 当りの立木蓄積を $d_v(m^3/ha)$ 、造材歩止りを q とすれば、 $1m^3$ 当りの副作業費総額は次式のとおりととなる。

$$1m^3 \text{ 当りの副作業費} = \frac{55 \times 10^4}{B \cdot q \cdot d_v}$$

集材距離と集材費との関係: Table 6 の結の結果から、副作業費を除く集材距離と集材費との関係を求め、さらに上述の副作業費を追加することによって、最終的に素材 $1m^3$ 当りの集材費 K_s は次式で表わされる。

$$K_s = 0.48l + b \quad (17)$$

ただし

$$b = 164 + \frac{55 \times 10^4}{B \cdot q \cdot d_v}$$

* 平均索張り経費は、架設・撤去 1 回につき 2 回の張り替えがあるものとして、前欄の一定面積当り架設・撤去費を修正した値である。

(2) トラクタ作業の場合

集材サイクルタイムと1日当りの理論功程：集材機作業と同様，小山²⁷⁾の誘導した理論功程式を用いる。すなわちトラクタ集材作業のサイクルタイムは次式で与えられる。

$$T_0 = ml_1 \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v} \right) + \frac{l_2}{0.75} \left(\frac{1}{v_0} + \frac{1}{V_0} \right) + \frac{0.3l_2}{0.75V_0} + (2m+1) \quad (18)$$

ただし

T_0 ：サイクルタイム (分)

l_1 ：ウインチの延伸距離 (m)

l_2 ：トラクタの片道走行距離 (m)

m ：ウインチの延伸回数

v ：荷掛索の人力による延伸速度 (m/min)

v_0 ：トラクタの下り常用最高速度 (m/min)

V_0 ：トラクタの上り常用最高速度 (m/min)

v_1 ：ウインチが材を引寄せる速度 (m/min)

上記各因子の具体的数値として， $l_1=20\text{m}$ (平均)， $l_2=100, 200, \dots, 1,000\text{m}$ ， $m=2$ 回 (平均)， $v=12\text{ m/min}$ ， $v_0=2.5\text{ km/h}=42.5\text{ m/min}$ ， $v_1=12\text{ m/min}$ ， $V_0=6\text{ km/h}=100\text{ m/min}$ などを代入すれば，トラクタ集材作業1回当りの所要時間 T_0 は次式の如くなり，これより各集材距離別にサイクルタイムを算定すると Table 7 のとおりとなる。

$$T_0 = 11.67 + 0.06l_2$$

次にトラクタ集材作業の1日当り理論功程は，集材機作業の場合と異り，ある特定の作業員 (荷掛手) の行動が作業チーム全体に待時間を与えるようなことがなく，従って集材距離によって実働時間の差異はない。すなわち，荷掛手が荷掛場へ往復するときはトラクタに同行するのが普通であり，集材距離に長短があっても荷掛手が荷掛場に往復することに起因する損失時間は生じないから，トラクタの動きそのものを実働時間の決定要素と考えてさしつかえない。集材機作業と同様，林野庁の余裕率暫定基準によれば，1日当りの要素作業時間の配分は，実働時間 370 分，

Table 7. トラクタ集材作業にける
サイクルタイム

Average time spent for one cycle
operation in the tractor logging.

集材距離 (l_2)	サイクルタイム (T_0)
100m	17.67分
200	23.67
300	29.67
400	35.67
500	41.67
600	47.67
700	53.67
800	59.67
900	65.67
1,000	71.67

Table 8. トラクタ作業における1日当りの作業功程
Average timber output a day in tractor logging.

集材距離 (m)	実働時間 (min.)	サイクル タイム (min.)	1日当り 回数	1荷の 積載量 (m^3)	1日当り の功程 (m^3)
100	370	17.67	21.0	3.0	63.0
200	〃	23.67	15.6	〃	46.8
300	〃	29.67	12.9	〃	38.7
400	〃	35.67	10.4	〃	31.2
500	〃	41.67	8.9	〃	26.7
600	〃	47.67	7.8	〃	23.4
700	〃	53.67	6.9	〃	20.7
800	〃	59.67	6.2	〃	18.6
900	〃	65.67	5.6	〃	16.8
1,000	〃	71.67	5.2	〃	15.6

準備時間 20 分，作業余裕時間 25 分，職場余裕時間 20 分，用達余裕時間 5 分，疲労余裕時間 40 分，計 480 分となっている。この実働時間を用いて集材距離ごとの 1 日当り作業回数，作業量を算定すると Table 8 のようになる。

トラクタ作業 1 日当り作業経費：トラクタ作業に必要な各種日経費を次のごとく定める。

1 日当りの労務費

職 種	数 量	単 価	金 額	備 考
運 転 手 (常 備)	1 人	2,800円	2,800円	但し運転手は年間収入 45 万円，1 年 150 日稼働とする
荷 掛 手 (日 備)	2	1,700	3,400	
荷 卸 手 (")	1	1,700	1,700	
合 計	4		7,900	

1 日当り償却費

トラクター購入費	償 却 年 数	年間稼働日数	稼働 1 日当り償却費
3,550,000円	5 年	160日	4,438円

1 日当り燃料費，機械維持修理費³⁸⁾

種 別	燃 料 費 (円)	潤 滑 油 費 (円)	用 品 費 (円)	修 理 費 (円)	合 計 (円)
1 台 当 り 年 経 費	77,200	30,960	65,295	332,998	506,453
実働 1 日 当 り 所 要 経 費	480	190	410	2,080	3,160

副作業費：トラクタ作業における土場作設，道付け，道修理，土場整理などいわゆる副作業に要する費用は，素材の生産量に比例した数値と考えられるので，ここでは生産素材 1m³ 当り 150 円とする³⁸⁾。

集材距離と集材費との関係：上記の結果より集材距離別の集材単価を求めると Table 9 に示すようなものとなるが，同表よりトラクタ作業における集材距離と集材費との関係を求め，さらに副作業費 150 円/m³ をこれに加えて単位材積当りの集材費 K_s を求めると次式のようになる。

$$K_s = 0.85L + 312 \quad (19)$$

III-3-4. 開発伸長効率およびその他条件

開発伸長効率：すでに述べたように，林道の開発伸長効率は，林道網計画にお

Table 9. トラクター作業における 1 日当りの作業費と集材作業費

Logging cost per unit output of timber in tractor logging.

集 材 距 離 (m)	1 日 当 り 総 経 費 (円)	1 日 当 り 功 程 (m ³)	1 m ³ 当 り 集 材 費 (円/m ³)
100	15,498	63.0	246
200	"	46.8	331
300	"	38.7	400
400	"	31.2	496
500	"	26.7	580
600	"	23.4	662
700	"	20.7	749
800	"	18.6	833
900	"	16.8	922
1,000	"	15.6	993

Table 10. 集材機作業地区における必要最小林道密度の算定結果
 Calculated results for essential density of the forest road by the formula 14
 (in the case of skyline crane logging system).

(A=1,000ha)

m	C_r	d_v	50m ³ /ha	100m ³ /ha	200m ³ /ha	300m ³ /ha	400m ³ /ha	500m ³ /ha
10年	1,000円		3.4	6.0	9.2	11.6	13.5	15.3
	5,000		0.4	2.8	5.3	7.0	8.4	9.5
	10,000			1.0	3.4	4.8	5.9	6.9
	20,000				1.3	2.7	3.4	4.4
	30,000					1.6	2.4	3.0
20年	1,000円		3.3	5.9	9.1	11.4	13.4	15.1
	5,000		0.2	2.7	5.2	6.8	8.2	9.3
	10,000			0.8	3.2	4.6	5.7	6.7
	20,000				1.1	2.5	3.5	4.2
	30,000					1.2	2.2	2.8

(A=5,000ha)

m	C_r	d_v	50m ³ /ha	100m ³ /ha	200m ³ /ha	300m ³ /ha	400m ³ /ha	500m ³ /ha
10年	1,000円		4.7	6.8	9.8	12.0	13.9	15.6
	5,000		2.8	4.3	6.3	7.7	9.0	10.1
	10,000		1.7	2.8	4.6	5.8	6.8	7.6
	20,000		0.9	2.0	3.2	4.1	4.9	5.5
	30,000		0.3	1.4	2.5	3.3	3.9	4.5
20年	1,000円		4.6	6.7	9.7	11.9	13.8	15.4
	5,000		2.7	4.2	6.1	7.6	8.8	9.9
	10,000		1.6	2.7	4.5	5.7	6.6	7.5
	20,000		0.8	1.9	3.1	4.0	4.7	5.4
	30,000		0.2	1.3	2.4	3.2	3.8	4.3

いて対象地域の地形的特質をある程度林道の必要量の決定因子として算定式に導入するためのものであるから、個々の計画地域ごとに測定すべきものであることはいうまでもない。しかしここでは算定式に対する総括的な検討を行なうのが目的であるから、杉原ら⁵⁰⁾の示した迂回率の逆数を用いることにした。すなわち集材機作業地区は急峻山岳林を例とし高知営林局管内の林道から求めた迂回率から $k=0.64$ と仮定し、トラクタ作業地区は、その地域が東北、北海道を主体とする緩斜地であるところから、公道の迂回率を準用することとし、 $k=0.75$ なる数値を算式に適用する。

その他の条件:

作業循環年数 集材機使用地区 $n=40$ 年
 トラクタ使用地区 $n=60$ 年 (いずれも皆伐作業)
 借入金の利率 $p=0.05$

借入金の償還年数	$m=10, 20$ 年
償還方法	元利均等償還
造材歩止り	$q=0.75$
間伐材積の主伐材積に対する比*	$s=0.3$

III-3-5. 必要最小林道密度の算定結果

これまでに想定した各種条件因子の具体的な数値を (14) 式に代入し、林道開設単価 (C_r)、森林の蓄積 (d_v)、林道費の償還年数 (m) 等の種々な値に対する林道密度の算定値を集材法別に示すと Table 10, Table 11 に示すとおりである。

Table 11. トラクター作業地区における必要最小林道密度の算定結果
Calculated results for essential density of the forest road by the formula 14
(in the case of tractor logging system)

($A=1,000\text{ha}$)

m	C_r	d_v	50m ³ /ha	100m ³ /ha	200m ³ /ha	300m ³ /ha	400m ³ /ha	500m ³ /ha
10年	500円		4.9	7.7	11.3	14.0	16.3	18.3
	1,000		4.3	6.8	10.2	12.7	14.7	16.5
	2,000		3.4	5.7	8.6	10.8	12.6	14.2
	3,000		2.7	4.8	7.5	9.5	11.1	12.5
	5,000		1.7	3.7	6.1	7.8	9.2	10.4
20年	500円		4.8	7.5	11.1	13.8	16.1	18.0
	1,000		4.2	6.7	9.9	12.4	14.4	16.2
	2,000		3.2	5.4	8.3	10.4	12.2	13.8
	3,000		2.5	4.6	7.2	9.1	10.7	12.1
	5,000		1.5	3.5	5.8	7.4	8.8	10.0

($A=5,000\text{ha}$)

m	C_r	d_v	50m ³ /ha	100m ³ /ha	200m ³ /ha	300m ³ /ha	400m ³ /ha	500m ³ /ha
10年	500円		5.7	8.1	11.6	14.3	16.5	18.5
	1,000		5.1	7.4	10.6	13.0	15.0	16.8
	2,000		4.4	6.3	9.1	11.2	12.9	14.5
	3,000		3.8	5.6	8.1	9.9	11.5	12.9
	5,000		3.1	4.7	6.7	8.3	9.6	10.8
20年	500円		5.6	8.0	11.5	14.1	16.3	18.3
	1,000		5.0	7.2	10.4	12.7	14.7	16.5
	2,000		4.2	6.1	8.8	10.8	12.5	14.0
	3,000		3.7	5.4	7.8	9.5	11.1	12.4
	5,000		3.0	4.5	6.5	8.0	9.3	10.4

* 集材機作業地区は人工林皆伐作業、トラクタ作業地区は天然林皆伐作業とし、従って s は集材機作業地区のみに適用する。

III-4. 主要因子の影響

必要最小林道密度算定式の構成因子には、林道開設単価 C_r 、林道維持費単価 C_m 、作業循環年数 n 、林道開設資金の償還年数 m 、および利率 p 、単位面積当りの蓄積 d_v 、集材距離の増大に伴う集材費の増加係数 a 、その他 s, q, k, A など多数の因子が含まれるが、以下、算定式の適用結果から主要因子の密度算定に与える影響について考察する。

(1) 林道開設単価と平均蓄積

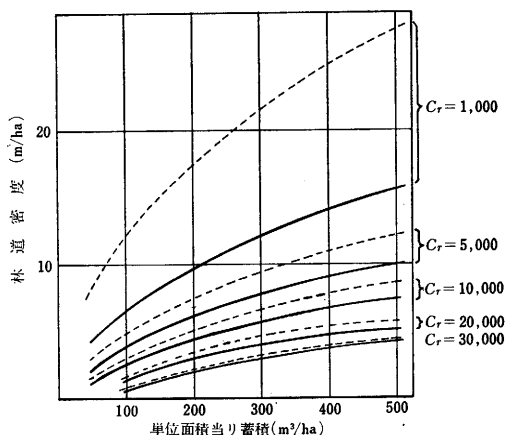
林道開設単価は、林道開設費に関する係数 c_1 、すなわち単位林道密度に対して生産素材 1m^3 当りが負担すべき林道開設費の決定因子として林道密度の決定に関与している。係数 c_1 の値は主として林道開設単価と対象森林の平均蓄積の大小に左右されるが、 C_r が大きく d_v が小になるほどその値は大となり算定密度の値は低下していく。そしてこれら二つの因子は、以下に示すその他の主要因子の影響と比較すれば明らかなように、如何なる場合においても林道密度の算定結果に殆ど決定的な影響を与える重要な因子である。従って林道開設費ならびに林地生産力の改善

が自然的条件等による制約のために技術的に困難な場合は、その林地に許される範囲の比較的低い林道密度に甘んじなければならなくなるが、このことは経済原則からみて当然のことである。

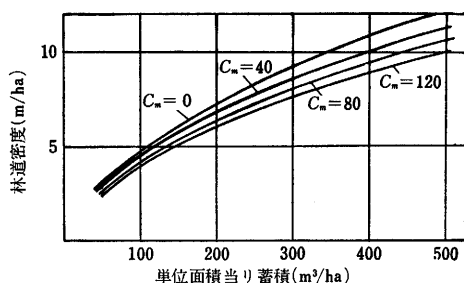
(2) 林道維持費単価と平均蓄積

林道維持費に関する係数 c_2 は、単位材積当りの素材生産費の中に含まれる単位林道密度当りの林道維持費負担額をあらわす数値である。当然その値が小さい程、林道密度は高くなる。しかし c_2 は、林道維持費単価 C_m 、作業循環年数 n 、平均蓄積 d_v などの5因子によって構成されているが、その中でも特に重要な因子は C_m と d_v とであって、 d_v を一定とすれば C_m が小さいほど、また C_m が一定ならば d_v が大きいほど密度は高く算出される。

Fig. 5-a はある条件 ($A=2,500\text{ha}$, $m=15\text{年}$, $C_m=120\text{円/m}$, $s=0.3$, $q=0.75$, $p=0.05$, $a=0.48$, $k=0.64$) の集材機作業地区を例にとり、林道密度の決定に及ぼす C_m の影響を示したものである。図中、実線で示された曲線は林道維



(a)



(b)

Fig. 5 林道維持費の影響

Influence of the cost of road maintenance on determination of the density (in the case of the skyline crane logging).

持費を考慮に入れた密度であり、点線は (14) 式において $c_2=0$ 、つまり $C_m=0$ において得られた式から求めた曲線である。さらに Fig. 5-b は同一条件 (ただし $C_r=5,000$ 円/m) で C_m の値を 0, 40, 80, 120 円/m³ の 4 事例を想定し、これに対する算定密度の変化を示したものである。

これらの結果から明らかなように、林道維持費は一般に林道開設費単価や平均蓄積に比べて密度決定に及ぼす影響は少ない。従来この影響が無視ないしは軽視されていた理由もこの辺にあるのであるが、しかし林道開設単価が低くなると無視できない影響を持つようになってくるのが分かる。つまり林道の維持補修は開設後の数年間これを行えばよいというものではなく、同一区間を繰返し補修しなければならないから、林道の開設が逐次進展し要補修区間が増大すればこれに比例して補修費も増加し、ために開設費単価が低く林道密度が高い場合には、維持補修費の負担額が林道開設費の負担額に匹敵し、もしくはこれを凌駕することもあり得るわけである。この点は従来あまり考慮されなかった注目すべき点と考えられる。

林道網の整備拡充に対する技術的観点から林道維持補修を考えると、 C_m の値を軽減せしめることは特に低単価林道の場合に有効な手段と考えられ、 C_m 軽減のために補修作業の機械化を促進すると共に、その合理的な運営管理に一段の努力と関心が払われるべきであろう。また、長期的視野に立てば、開設当初の経費が多少高くなっても、より高級な路床工法の採用もしくはさらに一歩進んで路面舗装の問題も経済的見地から十分検討に値するものであることが分かる。

(3) 集材距離に対する集材費の増加率

Fig. 6 は、ある条件下 ($A=2,500$ ha, $m=15$ 年, $n=40$ 年, $p=0.05$, $q=0.75$, $s=0.3$, $C_m=120$ 円/m, $k=0.64$) において、集材費に関する係数 c_3 の値を決定する生産技術的因子である a を、 $a=0.48$ を基準にして $0.5a$, a , $2a$, $3a$ と変えた場合の林道密度の変化を例示したものである。同図によれば a の値が大きくなれば密度も次第に高くなり、しかも密度の決定に比較的大きな影響をもつことが知れる。 a の増大は、集材距離の増加による素材 1m³ 当りの集材費の増加率が高くなることを意味し、従って、相対的に a の大きな伐出法 (例えば小型集材機による集材, トラクタ集材, クレーン集材など) を採用する場合には、増加率の比較的小さい伐出法 (例えば中・大型集材機による集材) を用いる場合よりも一層多くの林道が必要となることになる。

このことは林道網計画の立場から考えると、集材法についても将来の機械化の方向と睨み合せて、如何なる作業法を採用するかについて慎重な検討が必要であることを示しているとともに、 a

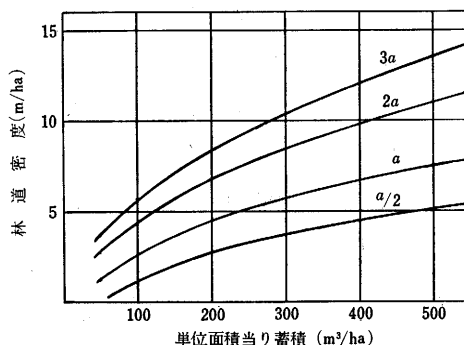


Fig. 6 集材距離に対する集材費増加係数 a の影響
Influence of the rate (a).

の評価に関しては、集材費が集材距離に正比例するとみなす MATTHEWS 式の評価法は、 a の過大評価によって算定密度も相当過大となるから適切でないことが分かる。

IV. 限界林道密度

IV-1. 林道の拡充限度

前章において求めた必要最小林道密度は、施業循環団地を単位にした素材生産費、なかんずく林道開設費、林道維持費および集材費の3要素費用の合計を最小にする密度であって、所定の集運材法を前提に素材生産を実行する場合、必要不可欠と考えられる林道密度であった。

しかし繰返し述べるように、林業経営の場において林道の果たす役割は、ひとり伐木集運材を主体とする素材生産面に対してだけでなく、育林から収穫、さらには保護、管理、保全に至る総ての経営活動の基盤として機能し、その結果、作業の合理化、生産性の向上などに見られる直接的便益はもちろんのこと、経営管理面においても間接的利便が幾多もたらされるものである。従ってこれからの林道網計画では、単に林業の一局面である素材生産部門に与える効果のみをもって林道の在り方を規定しようとするのは一般に不十分であり、林業経営に伴った各分野に与える林道の効用を総合的に検討した上で密度の決定を行なわねばならないことは当然である。そしてこのような観点から必要となる林道密度は、必要最小林道密度で示されたものよりもかなり多くなるであろうことは容易に推察し得るところである。

しかるに伐出部門以外の諸分野に与える林道の開設効果については、これまでその有用性に対する抽象的な認識あるいは個々の事例に対する較利的例証が認められるだけで、計量的かつ普遍的な把握が行なわれたことは殆どない。このような状態にとどまっていたのは、これまでわが国においても諸外国においても林道の効用を計量的かつ多元的に究明しようとする試みがなく、ために各種の間接的な効用を如何にして数値的に表現するかの方法論的究明、ならびにこれに使用し得る資料の把握・蓄積がなされていなかったところに主たる原因があるといえよう。

したがって今後この種の基礎的事項の究明は、林道のより適切な配置、ひいては合理的な林業経営の基盤実現にとって不可欠なものであるが、ここではとりあえず次のような前提に基づいて、林業経営上許容し得る林道の投入限界つまり林道の拡充限度を追求することにした。すなわち林道の拡充限度は、林業経営の近代化、合理化の基礎となる林道への投資が、現在仮りに素材生産費を最小にする値を超えるものであっても、他の造林・撫育・管理等の諸分野に与える幾多の便益を考慮して、現在の企業余力の許す限りの資金を林道に投入し、これをもって林道網の拡充限度とする。そしてそのときの林道密度を、限界林道密度と呼ぶことにする。

また限界林道密度を求める手法は、林業経営活動に伴う各種の費用を総て素材の生産原価とみなし、林道密度の函数として表わされたこれら多くの要素費用によって構成される経費函数から林道密度を算定するのでなければならないことは当然である。しかしながら、例えば単位面積当

りの素材生産費と造林事業費の所要額を比較した場合に、後者は前者の数十パーセント以下であるのが普通であり、他方林道の開設によって生ずる造林撫育費の軽減額は更にその数パーセントに過ぎないので、便益の絶対額は素材生産費全体から見ると僅少になること、管理費、保護費等についてもこれとほぼ同様であり、とくに保護費に至っては極めて不確定要素が強く林道の効用をあらかじめ予測することは殆んど不可能に近いこと、さらに森林の保全については、ひとり林業のみならず広く国民経済的視野から討議するべき性質のものであるから、これに関する林道のもたらす経済的効果を正確に把握することが容易でないこと等々を勘案すれば、素材生産以外の諸要素費用を個々に計量化することに意を用い過ぎることは、あまり得策ではない。したがってここでは、限界生産費という概念を用いて、“その他の便益”をある程度総括的に考慮しつつ、林業経営に必要な林道の在り方について考察することにした。

もちろん、造林・撫育・保護・管理等に関する要素費用について個々に検討することは今後必要であるが、その意味では、STEINLIN⁴⁹⁾ が森林の管理業務にもたらす林道の効用について行った林内交通量調査とその手法は、一つの新しい試みとして注目に値するものといえよう。

IV-2. 限界生産費

前述のごとき立場から限界林道密度を求めるには、林道密度の大小によってその値が著しく変化する費用、例えば集材費、林道開設費あるいは林道維持費など主要集運材費に関する限界生産費を考える必要がある。そしてここでは上記3要素費用を“主要生産費”とよび、林道密度の大小にあまり関係なくその値がほぼ一定かもしくは変動が少ないと考えられる経費を“その他生産費”として両者を区別することにする。

いま、造林・撫育はもちろんのこと、素材の生産から販売までを包含する林業企業体において、造林撫育費を再生産に要する費用とみなせば、企業活動の結果得られる利潤は次のようにあらわすことができる。

$$(\text{利潤}) = (\text{販売収入}) - (\text{総生産費}) - (\text{一般管理費})$$

ただし

$$\begin{aligned} (\text{総生産費}) = & (\text{伐木費}) + (\text{造材費}) + (\text{集材費}) + (\text{林道開設費}) + (\text{林道維持費}) \\ & + (\text{運材費}) + (\text{土場費}) + (\text{造林・撫育・保護費}) + (\text{その他}) \end{aligned}$$

利潤には租税を含み、一般管理費には販売費等を含む。

ここで造林撫育費を素材生産に伴う費用と見なすことについては種々問題があろう。何故ならば、従来から造林関係費用は一般に造林投資と考えられており、造林撫育費に対する収穫までの金利も附加して評価するものとされているからである。しかしながらこのような観点に立つときは、造林事業実施の度毎に投資選択の要に迫られる結果を招き、継続的な林業経営が常時停止の危機に曝される可能性が生じてくる。平田^{6, 67)}は、これまでのいわゆる“造林投資”の概念に対して、伐出経費と造林撫育費とを一体として林業経営における生産費用とみなすことの必要性を

指摘しているが、筆者もこの点に関してほぼ同様の観点に立つものである。すなわち、造林撫育費を投資とみなさねばならないのは、新たに無立木地から育成的林業を開始しようとする時の投資選択時に限られるもので、一旦林業を開始しこれを経営する立場に立てば、現在の法的規制や社会通念からみて多少の問題はあるにしても、あたかも林道における維持補修費のごとく、造林撫育費を経営継続のために資源保存上必要な費用とみなすのがより妥当であると考えられる。従ってここでは保続連年生産が可能であるような循環団地を対象とするのであるから、造林撫育費はこれを生産活動に伴う一つの費用とみなし、これに対する一切の附加利子を考慮しないという立場をとる。

そこで前式の（総生産費）を下線をほどこした“主要生産費”と“その他生産費”とに分ければ、（利潤）は次のようにあらわされる。

$$(\text{利潤}) = (\text{販売収入}) - (\text{主要生産費}) - (\text{その他生産費}) - (\text{一般管理費})$$

ここでさらに“その他生産費”を対象林地の地利、地形、作業条件に応じた定数とみなせば、主要生産費を最小にする林道密度は利益を最大にする密度、すなわち前章において求めた必要最小林道密度となる。しかしてこの場合、利潤を企業の正常な運営に必要な範囲にとどめ残余を“主要生産費”に当てるとすれば、この時の主要生産費は経済的に許容し得る最大値すなわち限界生産費となる。

$$(\text{限界生産費}) = (\text{販売収入}) - (\text{その他生産費}) - (\text{一般管理費}) - (\text{最小必要利潤})$$

林道の拡充限度すなわち限界林道密度は、上記限界生産費を与えるような林道密度であり、その値は (13) 式の K の値を限界生産費に置き換えた式の根として与えられる。

ただしここにいう造林・撫育費は、当該年度に植栽を要する地区の造林費および撫育費*の合計額を、その年度の年生産量で除した値、すなわち生産素材 1m^3 が負担すべき造林・撫育費等の合計額を意味し、管理費その他についても単位材積当りの経費負担額である。

以上述べた限界林道密度に対する考え方を模式的に示すと Fig. 7 のとおりとなる。

IV-3. 限界林道密度の算定式

本節において限界林道密度算定式の誘導に用いる記号のうち、前章に規定したもの以外のように定める。

P : 素材 1m^3 当りの販売価格 (円/ m^3)

I : 利潤 (円/ m^3)

I_{\min} : 最小必要利潤 (円/ m^3)

* 間伐は含めない。

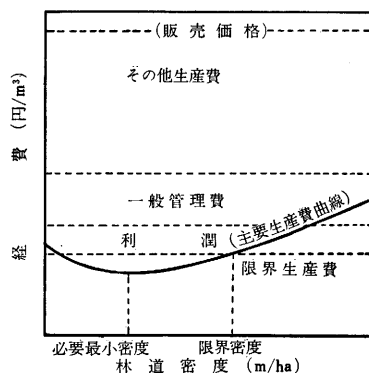


Fig. 7 限界生産費と限界林道密度
A figure showing how to find the values of the marginal density of the forest road.

M : 一般管理費および販売経費 (円/m³) K_{marg} : 主要生産費に関する限界生産費 (円/m³)

K : 主要生産費 (円/m³)

K' : その他生産費 (円/m³)

d_{rm} : 限界林道密度 (m/ha)

上記の記号を用いて前節に述べた (利潤) を表わせば

$$I = P - K' - K - M \quad (20)$$

となる。しかるに企業における利益計画では、利潤ならびに一般管理費をそれぞれ、

$$I = I_c \cdot P \quad (I_c: \text{売上利益率}), \quad M = M_c \cdot P \quad (M_c: \text{売上原価率})$$

とあらわすことができる⁵⁵⁾から、(20)式は次のように変形される。すなわち、

$$K = (1 - I_c - M_c)P - K'$$

限界生産費 K_{marg} は、利潤を必要限度にとどめたときの K の値であるから、このときの売上利益率を $I_{c \min}$ とすれば、限界生産費は、

$$K_{\text{marg}} = (1 - I_{c \min} - M_c)P - K' \quad (21)$$

とあらわすことができる。

一方、ある循環団地内に $D(\text{m/ha})$ の既設林道 (林道とみなされる林内公道をも含む) が開設されており、問題を簡単にするためにその資金の償還ないし償却は完了しているものとし、さらに $D(\text{m/ha})$ の既設林道のうち林業企業体からの維持費支出を要しない公道が $D'(\text{m/ha})$ ある場合には、主要生産費に対する経費函数は一般に次のような形で与えられる。

$$K = c_1(d_r - D) + c_2(d_r - D') + c_3(\sqrt{d_r^2 + \beta} - d_r) + b \quad (22)$$

前述のとおり、限界林道密度は (22) 式の K の値を (21) 式で求めた K_{marg} におきかえた式の d_r に関する根であるから、従って d_{rm} は次に示すような式となる。

$$d_{rm} = \frac{1}{2}[g + (g^2 - 4h)^{1/2}] \quad (23)$$

ただし

$$g = \frac{2(c_3 - c_1 - c_2)(c_1 D + c_2 D' + K_{\text{marg}} - b)}{(2c_3 - c_1 - c_2)(c_1 + c_2)}$$

$$h = \frac{c_3^2 \beta - (c_1 D + c_2 D' + K_{\text{marg}} - b)^2}{(2c_3 - c_1 - c_2)(c_1 + c_2)}$$

$g^2 - 4h \geq 0$ の場合のみ。 $g^2 - 4h < 0$ の場合はその森林が不採算林分であることを示す。

IV-4. 算定式の一般的適用例と主要因子の影響

本節においては、ある特定の条件下にある森林について具体的に限界林道密度の算定式を適用しつつ、限界林道密度が如何なる値となるか、また必要最小林道密度との差異はどうであるかを例示するのであるが、両者の比較に便ならしむために各種の条件は前章の算定例に用いたものとはほぼ同一のものをいい、あらたに要する条件は、前章で想定した森林とほぼ類似した森林をも

つ企業体の実態を参考にしつつ適宜その値を想定して用いる。

IV-4-1. 条件の設定

〔森林の条件〕

林種および作業種:

- a) 天然林皆伐作業 (要林転地域) 樹種はモミ・ツガ・広葉樹
- b) 人工林皆伐作業 樹種はスギ・ヒノキ・広葉樹

利用可能立木蓄積:

- a) 50, 100, ……500 m³/ha (N : 60%, L : 40%)
- b) 50, 100, ……500 m³/ha (スギ: 40%, ヒノキ: 30%, 広葉樹: 30%)

材種別予想比率:

- a) 針葉樹: モミ・ツガ用材 30%, モミ・ツガ製函材 50%, モミ・ツガパルプ材 20%
広葉樹: 用材 20%, 製函材 40%, パルプ材 40%
- b) 針葉樹: スギ用材 40%, ヒノキ用材 30%
広葉樹: パルプ材 30%

〔主要生産費に関する条件〕

林道開設費: $C_r=10,000$ (円/m)

林道開設費償還年数: $m=15$ (年)

林道維持費: $C_m=120$ (円/m)

集材法: 集材機による1段作業, 使用機械は中・大型とする。

集材費: $a=0.48$, $b=184$

林道の開発伸長効率: $k=0.64$

既設林道および公道の密度: $D=2.5$ m/ha, $D'=0.5$ (m/ha)

造材歩止り: 針葉樹 $q=0.7$, 広葉樹 $q=0.55$

平均造材歩止り:

- a) $0.6 \times 0.7 + 0.4 \times 0.55 = 0.64$
- b) $0.7 \times 0.7 + 0.3 \times 0.55 = 0.66$

間伐収穫材積の主伐収穫材積に対する比: $s=0.3$ (人工林のみ)

〔その他生産費に関する条件〕

伐木費(K_f)および造材費(K_c): $K_f + K_c = 400$ (円/m³)

運材費(K_t): $K_t = 1,250$ (円/m³)

積込費および土場作業費(K_y): $K_y = 570$ (円/m³)

山土場積込用架線費	60 (円/m ³),	積込作業費	140 (円/m ³)
燃料・油脂費	40 (円/m ³),	最終土場費	330 (円/m ³)

造林・撫育費(K_a): 1 ha 当りの造林・撫育に要する延べ経費を 150,000 円/ha とすれば, 森林の蓄積に応じて K_a の値は次のようになる。

a) 天然林の場合

蓄積 (m^3/ha)	平均造材歩止り	素材生産量 (m^3/ha)	造林・撫育延経費 (円/ha)	1 m^3 当り負担額 K_a (円/ m^3)
50	0.64	32	150,000	4,688
100	"	64	"	2,344
200	"	128	"	1,172
300	"	192	"	781
400	"	256	"	586
500	"	320	"	469

b) 人工林の場合

蓄積 (m^3/ha)	平均造材歩止り	素材生産量 (m^3/ha)	造林・撫育延経費 (円/ha)	1 m^3 当り負担額 K_a (円/ m^3)
50	0.66	33	150,000	4,545
100	"	66	"	2,273
200	"	132	"	1,137
300	"	198	"	758
400	"	264	"	569
500	"	330	"	455

その他経費(K_0): $K_0=880$ (円/ m^3)

林道の臨時補修費等	120 (円/ m^3)	木引税	120 (円/ m^3)
労災保険等	90 (円/ m^3)	予備金	200 (円/ m^3)
雑費(小屋がけその他)	350 (円/ m^3)		

〔販売条件〕

材種別素材販売価格:

ヒノキ用材	20,000 (円/ m^3)	スギ用材	15,000 (円/ m^3)
モミ・ツガ用材	10,500 (円/ m^3)	広葉樹用材	9,500 (円/ m^3)
製函材 (N, L 共)	8,000 (円/ m^3)	パルプ材 (N, L 共)	6,000 (円/ m^3)

単位素材の平均販売価格: 材種別販売価格および材積比率より次の値を得る。

a) $P=8,060$ (円/ m^3)

b) $P=12,810$ (円/ m^3)

〔経営条件〕

対象森林の面積: $A=2,500$ (ha)

売上利益率および売上原価率: $I_e=0.2, M_e=0.1$

IV-4-2. 限界林道密度の算定結果

限界林道密度を決定する関係諸因子の値を上述のごとく想定すれば、森林の種類および蓄積に応じた c_1 , c_2 , c_3 , β および K_{marg} 等の諸数値は Table 12 のとおりであり、これらの諸数値から限界林道密度を算定した結果は Table 13 のごとくなる。

IV-4-3. 主要因子の影響

限界林道密度の値が、林道開設費単価、林道維持費単価、単位面積当りの蓄積等々によって影響を受けるのは必要最小林道密度の場合と全く同様であるが、Fig. 7 を見ても明らかなごとく、原理的に限界生産費 (K_{marg}) の値如何によってもその値は大きく左右される。従って限界生産費の構成要素である素材の販売価格 (P)、その他生産費 (K')、一般管理費 (M)、および企業の運営に必要な利潤 (I) は、限界林道密度を決定する新たな影響因子である。

これらの因子のうち、“その他生産費”は、その値をできるだけ安くすれば d_{rm} の値を大にすることが可能となるから、その意味で技術的もしくは生産計画上の改善を行なうことは必要であ

Table 12. c_1 , c_2 , c_3 , β および K_{marg} の算定値
Calculated values of c_1 , c_2 , c_3 , β and K_{marg}

a) 天然林の場合						
d_v	50	100	200	300	400	500
c_1	368	184	92	61	46	37
c_2	114	57	29	19	14	11
c_3	487					
β	8					
K_{marg}	-2,146	198	1,370	1,761	1,956	2,073
b) 人工林の場合						
d_v	50	100	200	300	400	500
c_1	274	137	69	46	34	27
c_2	85	43	21	14	11	9
c_3	487					
β	8					
K_{marg}	1,322	3,594	4,730	5,109	5,298	5,412

Table 13. 限界林道密度の算定結果
Calculated results for marginal density of the forest
road in meter per hectare

d_v	50	100	200	300	400	500
a)	—	—	8	18	28	38
b)	—	17	50	82	113	145

り、かつ現場の生産管理を活発に行なう理由もそこにあるのであるが、伐木・造材・運材・土場作業あるいは造林撫育作業等、いずれをとっても今日の技術的水準下においてはこれ以上作業費を画期的に節減することは容易ではない。一般管理費についてもここでは一応売上原価率を用いて見積っているが、実際にはある与えられた施業団地の規模に応じて経営組織上の規模が制約されるので、これも任意かつ無制限に変動するものではない。従って“その他生産費”と“一般管理費”とは、共に多少対象によって変動はあるにしても、比較的固定的な値をとる因子である。

これに反して、総ての経営活動を支える原資となるべき販売価格(P)は樹種、材種によって非常な開きがあり、平均販売価格も対象森林の樹種別、材種別構成に応じて、生産作業合理化による生産費の軽減額などをはるかに上廻る大幅な変動を示すのが普通であるから、最も影響力の強い因子である。このことは限界林道密度算定結果において、樹種ならびに材種構成の優劣に基づいて平均販売価格に大差のみられる天然林および人工林の限界林道密度の差異をみれば自から明らかであろう。また利潤(I)も企業成績如何によってかなり変動するものであるから、販売価格同様、限界林道密度決定に対して強い影響力をもっているといえることができる。

Table 14 は、前記算定例における天然林と人工林の双方について、利潤 I の値を変化させた場合の限界林道密度を示したものである。これによると I の値が限界林道密度の決定にかなり影響していることが分かるが、それにもまして、天然林と人工林との間で限界林道密度の値に常に顕著な差異が認められる。すなわち天然林の場合は、殆ど最低限界と考えられる利潤を留保するにも森林の蓄積は約 $200 \text{ m}^3/\text{ha}$ 以上を必要とし、利益率を 1.25 倍、1.5 倍にとれば蓄積は $300 \sim 400 \text{ m}^3/\text{ha}$ 以上なくてはならない。これに反して人工林の場合には、天然林よりはるかに少ない蓄積すなわち $100 \text{ m}^3/\text{ha}$ 以下で一応の採算点に達し、利益率を 1.25、1.5 とあげてもいずれも $100 \text{ m}^3/\text{ha}$ 以下の蓄積で採算点に達する。天然林と人工林との間のこの大きな差異は、主として樹種、材種構成比率の差によって、平均販売価格が人工林の場合には天然林のそれよりも高くなることに原因があるが、このことはとりもなおさず、林道網計画が単に森林の現状やその量

Table 14. 利潤 (I) の差による限界林道密度の変化 (他の条件は IV-4-2 の場合と同じ) (m/ha)

Values of marginal density in accordance with the numerical variance
of the profit (I) in meter per hectare

a)				b)			
d_v	I	1.25 I	1.5 I	d_v	I	1.25 I	1.5 I
50 m^3/ha	— m/ha	— m/ha	— m/ha	50 m^3/ha	— m/ha	— m/ha	— m/ha
100	—	—	—	100	17	15	12
200	8	—	—	200	50	43	36
300	18	13	—	300	82	71	60
400	28	21	14	400	113	99	85
500	38	30	21	500	146	127	109

(in the case of natural forest)

(in the case of artificial forest)

的生産能力のみを基準にして行なわれるべきものではなく、その森林の有する本来の価値生産能力に対してなされなければならないことを示しているのである。同時にまた逆の解釈をすれば、生産基盤を有しかつ価値生産力の高い森林の収益性が如何に高いかをも示すものであって、わが国における用材生産を主目的とする人工林の蓄積が通常 40～60 年伐期で 200～300 m³/ha に達することを考えれば、林分改良さえ行なわれれば欧州諸国の林道密度にほぼ匹敵する林道網を整備し、なおかつ十分な企業の収益性を確保し得ることを知ることができる。

今日の林業は、収益性が極めて低く、かつ近年における生産構造の変化と高騰する賃金上昇に対処し得る諸準備がなされていないなかったために、第一次産業としての共通の弱点を有するといわれているが、林業生産における環境整備如何によっては、上述のごとく自立産業として存立し得ることを考えれば、経営規模の適正化、各種作業機械を含む生産手段の近代化ならびに林道網の整備拡充など、いわゆる生産基盤の充実が如何に必要かつ不可欠であるかを十分認識することができる。

V. 林道網計画法に関する考察

V-1. 林道投資限度額算定方式の問題点

限界林道密度は、林道網計画の対象森林を管理経営する企業体の規模、内容をはじめとし、自然的条件、土木技術的条件、あるいは生産技術的条件に応じて、経済的に許容し得る最大限の林道開設量を示すものであるが、従来、林道開設の可否と開設延長の決定を経済的に行なう方法として林道投資限度額算定方式があり、国有林においてはもっぱらこれを基準にしている。林道投資限度額算定方式も限界林道密度算定法も共に販売価格が出发点となり、市場価逆算方式を採用することによって林道の開設限界を求めようとする点では両者は類似している。しかし林道投資限度額算定方式は、後述する幾つかの理由により、合理的な林道網計画の限界を示す理論的根拠としては必ずしも適切なものとはいえない。新設林道に対する算定式には、幹線林道と事業林道に適用するものがあるが、以下、同算定方式の概要を述べ問題点を明らかにしよう。

幹線林道に対する投資限度額は、林道開設後、実際に収穫される各年度の立木資材価の前価合計額が限度であり、その算式は次式で示される。ただし林道を開設しなければその森林の管理経営ができない場合には、林道開設費が投資限度額となることがあり得る。

$$T = K \cdot X \cdot V = \frac{1.0p^n - 1}{1.0p^n \times 0.0p} \cdot X \cdot V$$

ただし、

T : 投資限度額

K : 開設係数

X : 林道施設がない場合の 1 m³ 当りの立木処分価格

V : 年平均伐採量

n : 収穫年数

$0.0p$: 利率

事業林道の投資限度額は、その林道を開設することによって生ずる各年度の事業費軽減額の前価合計を限度とするもので、算式は次式のとおりである。ただし林道を開設しなければその森林で事業を行なうことができない場合は、林道開設費が投資限度額となる。

$$T=1.05K(F \cdot V \cdot X + H \cdot Y - 0.03Q)$$

$$=1.05K \left\{ (1+\alpha_1) \cdot f \cdot V \left(B - \frac{B}{1+\alpha_2+\alpha_3} + c_1 - c_2 \right) + H \left(D - \frac{D}{1+\alpha_4+\alpha_5} \right) - 0.03Q \right\}$$

ここに、

F : 伐採係数

α_1 : 林道開設による生産歩合の向上率

f : 平均造材歩止り

V : 各年の平均伐採量

B : 林道施設のない場所の 1 m^3 当りの生産費

X : 素材 1 m^3 当りの事業費軽減額

α_2 : 通勤時間の短縮による生産費の軽減率

α_3 : 機械化促進による生産費の軽減率

$c_1 - c_2$: 林道開設前後における 1 m^3 当りの運材費の差額

H : 年平均造林面積

Y : 1 ha 当りの造林費軽減額

α_4 : 通勤時間の短縮による造林費の軽減率

α_5 : 機械化促進による造林費の軽減率

D : 林道施設のない場合の 1 ha 当りの造林費

Q : 計画線の開設延長に見合う開設費

上記のごとき幹線林道、事業林道の投資限度額算定式を見れば容易に分かるように、幹線林道では、それが開設される前の立木価格を基準にして、年々得られた立木代金の前価相当額だけ林道投資を成し得るとするものであり、事業林道の場合は、林道の開設によって通勤時間が短縮し実働時間が増大する結果生じる生産費ならびに造林費の減少、および機械化促進による工期上昇に基づく生産費・造林費の軽減額等の前価相当分だけ事業林道を投入し得るとする考え方である。いずれも現存資材を対象にして、これを伐出する場合に投入し得る林道開設費の限界値を個々の路線ごとに決定するものである。

この投資限度額算定式に、現存林分の年平均生産量ではなく将来の期待生産力から求めた生産量を適用し、あわせて幹線林道と事業林道の算定式を併用することによって、ある程度林道網の全体計画を樹てることも不可能ではない。しかし投資限度額算定方式には、次に述べるようないくつかの点に関して重大な問題点を擁していると考えられる。すなわち、(1) 幹線林道に関しては、まず現状における立木資材価の前価合計を基準としていること、つまり林道施設のない場合の立木価格から投資限度額を求めている点である。これは経済的に安全を見越しての処置とも考えられるが、林道が開設されることによって森林の地利的条件が向上し、立木価格が上昇する現象、換言すれば生産費が軽減する現象が全く無視されている。従って立木価格が低いところ、あるいは負の立木価格となる地域には、原則として絶対に林道を開設し得ず、逆に林相が良く地利的にも有利な場所へは益々多くの林道を投入し得る結果となる。もちろん一般の経済原則から考えて、生産力に乏しい森林に多額の林道投資をなし得ないのは当然であり、この意味においては

投資限度額算定方式も誤りではない。しかし仮りに現状の立木価格が負であっても、その絶対額が僅少でかつ資材量が十分多ければ、林道によってその森林を開発することが経済的に可能な場合も多い。つまりこの方法では、投資限度額が常に過小評価されるという点に第1の問題があり、より合理的な限度は、林道の投入量とこれによって生ずる立木価格上昇との相互関係から決定されるのでなければならない。(2) 投資限度額の算定には立木価格が算定の基礎となっているが、現在の立木価格算定法では、伐出費、造林費およびこれらに関する管理的経費は経費として見込まれているが、企業全体として経営に必要な一般管理費、利潤等は全く含まれていないことにも問題がある。(3) さらにまた、年々期末に得られる立木代金収入の前価相当額だけ林道を投入し得るとする考え方にも問題がある。何故ならば、林道開設費の償却ないしは償還年数が収穫期と同一であり、資金利率も立木代金収入の前価計算に用いたものと等しい場合以外は、単純に立木代金収入の前価合計額が投下林道費の最高額に等しいとみなすことは一般にできないからである。しかも前価合計＝林道開設費限度とおくことは、伐出事業開始前に林道を一時に開設し、収穫期を通じて償却ないしは償還を行なうことを前提にしているから、林道事業実行の現実に照らして極めて非現実的といわねばならない。

事業林道の投資限度額に関しては、林道の開設による事業費軽減額を投資限度額とするのであるから原則的には正しい。しかし事業費軽減額の算定法その他について、幹線林道におけると同様の問題点がなお存在する。

これを要するに、投資限度額算定方式は、おおよそ上記の如き諸問題点とあわせて、個々の路線ごとに限度額を算定しようとするところに総合的な林道網計画理論としての適性を欠く面があるわけである。

V-2. 林道網計画の構成

以上のごとく、従来の林道網計画における理論的基準にはいくつかの問題点があると考えられるので、筆者は限界林道密度の概念を新たに導入することにより、体系的な林道網計画の理論的一手法を究明してきた。従って次には、これらの手法を林道網計画の中でどのように位置づけるかが問題となるが、これを行う前に、林道網計画そのものの在り方、すなわちその構成を明確にしておかなければならない。

Table 15 は戦後たてられた林道網計画の目標値を示したものであるが、その目標値は計画のたびごとに減少している。その理由は、最初の計画では牛馬道、木馬道といったものまで林道に含めた計画であったが、このような林道が林業近代化のための基盤的施設としての資質を欠くがゆえに、計画の対象から次第に除外されていったからであり、現在では車道以上の林道を 13～14 m/ha 程度にまで整備することが一応の目標となっている。わずか十数年の間に 5 回も林道網計画がたてられ、しかもその目標値が度ごとに変わっていったということは、林道網整備に対する確固とした理念に欠け、林道の役割とか集運材技術等に対する将来の展望にいささか欠けてい

Table 15. 戦後における林道網計画
The standard of forest road network framed by the
Forestry Agency after the War.

年 度	内 容	目標密度	備 考
昭和 26 年	林道 10 カ年計画	25m/ha	既開発林の実態から得られた推定値
31 年	経済自立 5 カ年計画	20	//
33 年	新長期経済計画	16	幅員 2m 未満の牛馬道、木馬道を除外
36 年	所得倍增計画	//	//
38 年	全国森林計画	14	自動車道のみを対象とした

たからに外ならない。さらにまた整備目標も、従来の既開発林の状況を調査し、未開発林の林道密度を既開発林のそれに合致せしめたに過ぎないものであって、これを適当とする何等の理論的根拠を持たなかったのである。

すでに述べたように、林道に対する認識がこれまでの単なる生産圏の拡大を意図したものから根本的な変貌を見せているので、今後の林道網計画においては従来の経験的な目標値だけではもはや満足できなくなりつつあり、どうしても林道網の役割を明確に認識した上で、経営方針に合致するよう長期的かつ総合的視野から客観的に決定されたものでなければならなくなってくる。そしてこのような計画の実行の寄りどころとして次に述べる二つの計画が是非必要となってくる。

林道網の全体計画：林道網の整備には通常莫大な経費を要し、かつこれからの林業経営に必要とされるような比較的高い密度の林道網を比較的短期間に整備することは殆ど不可能である。一方、林道の路線配置は密度の大小によって相当様子が変わるものであり、一旦開設されたら容易にこれを変更し得るものではない。それゆえに、林道密度の目標値が途中で大幅に変更されるようなことがあると、すでに完成した林道網全体の効果が著しく弱められる可能性があるとともに経済的にも無駄が多くなる。したがってこのようなことを避けるには、かなり長期的な見通しに立ち、将来の森林を念頭に置きながらたてられた林道網の全体計画が個々の開設事業の寄るべき道標として大きく存在していなければならない。そしてそれは絶対的なものではないにしても、重大な状況の変化がない限り軽々に変更されるようなものであってはならないのである。

林道網の実施計画：しかるにわが国の現状では、全体計画に示されるような林道網を林業経済だけの立場から整備することはおろか、かろうじてごくその一部を開設し得るか、あるいは補助を仰がぬ限り林道を作設し得ないような森林が数多く存在する。従って林道網の計画には、どうしても当面する経営期間内に達成し得る、あるいは達成すべき林道網を、現実の森林の姿に立脚して決めることが必要になってくる。すなわち林道網の実施計画が必要となる。

実施計画はその名の示すとおり、それを現実に実行することが可能でなければならないから、森林を経営する経営体の実情に応じて、経営者が現状を総合的に判断して決定することになる。従って森林の状態その他が同一であっても、経営方針・内容によって大きな懸隔が生ずることも

許されるわけであって、一概に実施計画の基準を示すことは困難である。しかしいずれにしても実施計画決定の基礎資料として現存する森林の状況から開設を許される最大限の林道網と、素材生産を行なうために最小限必要となる林道網の双方が示されなければならない。林道網の実施計画は、この両者の中間的値の中から経営の実態に即したものが選定されることになる。そしてこのようにして決定された林道網の実施計画は、あくまで全体計画の中の一部として指定され実行されるのでなければならない。林道網の整備には、上述の如く長期的な全体計画と、当面する実施計画との双方を立案し、実施計画の繰り返しを体系的に行なうことによって徐々に全体の林道網を完成するという方法以外に適当な方法はないであろう。

V-3. 林道密度の算定式と林道網計画

上述のごとく、林道網計画には長期的な見通しに立った全体計画と、事業実行のための実施計画とがあり、この実施計画の決定には、その目安として現在の諸条件から許される最大限の林道密度と必要最小限度の林道密度の二つを求める必要があった。しかるに本稿において検討してきた限界林道密度および必要最小林道密度は、前者がある経営条件のもとで許される最大限の林道密度、後者が集運材費を最小にする林道密度であるから、限界林道密度の算定式は林道網の全体計画および実施計画での上限値を求める式として利用するのに適している。すなわち、長期的な経営目標にしたがって、将来期待される森林の生産量ならびに技術的見通しを基礎にして算出した限界林道密度が全体計画における林道密度となり、現在の諸数値を用いたものが実施計画の上限の林道密度となる。

これに対し、集運材費を最小にする必要最小林道密度の算定式は、実施計画の下限を示す林道密度を求めるのに適用されることはもちろんである。

Table 16. 林道網計画と林道密度算定式
How to apply the formulae to calculate the essential and marginal density for the planning of the forest road network.

計画の種類	適用算定式	
全体計画	限界林道密度算定式	将来の経営目標に従ってたてられた林道網
実施計画	限界林道密度算定式 必要最小林道密度算定式	現実の森林を基礎にして、許容しうる最大限の林道網と、必要最小限の林道網とから、経営の実情に即したものと判断決定されたもので、全体計画の一部として指定される。

これを要するに、林道網計画の構成およびこれに適用する計画理論を整理すれば Table 16 のごときのものであって、全体計画と実施計画とは車の両輪のごとく、そのいずれを欠いても一貫性のある林道網計画とはいえないであろう。

さらに上述の林道網計画では、その整備基準が林道密度であらわされるから、これをもとにして現地の状況に即した路線配置を行なう作業がこれに附随することはいうまでもない。

参 考 文 献

- 1) 秋山俊夫：林業の機械化に伴う林道密度について，林野庁委託研修報告，1962
- 2) 安藤愛次：中部山地の林地生産力に関する研究，1962
- 3) 有水 彊：林道密度に関する研究(第1報)，林業試験場報告，No. 173, 1965
- 4) HAFNER, F.: Zur forstlichen Wegenetzlegung in steilem Gebirgsgelände, Allgemeine Forstzeitung, 75 Jahrgang, folge 3/4, 1964
- 5) 平田種男：林業の収益性計算，林業技術，No. 265, 1964
- 6) 平田種男：林業生産力資本説，林業経済，No. 197, 1965
- 7) 北海道開発庁：奥地総合開発調査報告書，1961
- 8) 北海道開発庁：北海道の林道現況と問題点，1963
- 9) 堀 高夫：路網計画のための図上地形判定について，日本林学会誌，Vol. 47, No. 4, 1965
- 10) HUGGARD, E.R.: Forester's Engineering Handbook, 1958
- 11) 猪俣 昭：機械化促進と林道網の拡充，機械化林業，No. 101, 1962
- 12) 今井 勇：道路間隔に対する一考察，第3回道路会議論文集，1955
- 13) 石尾 登(訳)：林業の原価管理，1961
- 14) 伊丹康夫：ブルドーザ土工の設計および施工，1955
- 15) 上飯坂実：林道の最適密度に関する研究(1)一標準モデルについて一，日本林学会誌，Vol. 45, No. 9, 1963 (英文)
- 16) 上飯坂実：工学的評価に基づく林道の経済的効果について，1964
- 17) 片平信貴：道路工学，1956
- 18) 加藤誠平：西独における林道密度と林道交通の調査例について，第75回日本林学会大会講演集，1964
- 19) 加藤誠平：伐木運材経営法，1954
- 20) 加藤誠平(訳)：林道密度は集材法によってきまる -500m 間隔の林道網，1964
- 21) 加藤誠平：林業土木学，1951
- 22) 加藤誠平：The place of operational efficiency in university courses and the scope of suitable programmes of study in Japan, XII the IUFRO congress, section 32, paper 3, 1961
- 23) 春日井博：インダストリアル・エンジニアリング，1959
- 24) 河合五敏：近代化林業の歩み一石原林材の紹介一，機械化林業，No. 108, 1962
- 25) 北見営林局：集材機集搬出作業工程表，1963
- 26) 小島俊吉他4：森林資源一伐採一木材供給の関係について，森林計画研究会々報，No. 123, 1965
- 27) 小山 悌：林業機械の作業工程に関する理論的研究，1960
- 28) LARSSON, G.: Studies on Forest road Planning, transac of the Royal Inst. of Technol., 1959
- 29) 真鍋重雄：集運材部門における作業林道の効果，機械化林業，No. 138, 1965
- 30) MATTHEWS, D.M.: Cost Control in the Logging Industry, 1942
- 31) 南方 康：生産地域における適正林道密度ならびに限界林道密度について，東京大学演習林報告，No. 61, 1965
- 32) 水野遵一：機械化の発展によせて，3-Mマガゼン，No. 2, 1961
- 33) 森岡 昇他2：作業実態より見た機械集材の特徴について，第76回日本林学会大会講演集，1965
- 34) 南保 賀：都道府県道の再編成特に道路密度について，第3回日本道路会議論文集，1955
- 35) 日本林道協会：林道事業のあゆみ，1964
- 36) 野田信夫編：経営工学総論，1961
- 37) 農林中央金庫調査部：金利便覧，1960
- 38) 帯広営林局：昭和39年度製品生産事業執行方針書付表，1964
- 39) 荻原貞夫，福田次郎：改稿砂防工事及林道，1956

- 40) 荻原貞夫, 野口陽一: 森林測量学, 1960
- 41) PESTAL, E.: Kardinal Punkt 500 m! Rückugsmethode entscheiden Wegnetzdicke, Holz-Kurier, Nr. 51/52, 1963
- 42) 林業技術協会編: 林業百科辞典, 1961
- 43) 林 野 庁: 国有林経営規程の解説, 1959
- 44) 林 野 庁: 生産プロセスの実態調, 1963
- 45) 林 野 庁: 機械現況および使用実績, 1963
- 46) 佐賀 茂: 徳島県における公団林道の利用状況について, 森林開発公団資料, 1964
- 47) 森林資源総合対策協議会: 林業労働と機械化の現状, 1963
- 48) 篠田六郎: 林業経営計算, 1952
- 49) STEINLIN, H.: Aufgabe des Erschließungsnetzes und seine Auswirkung auf die Führung eines Forstbetriebes, Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Nr. 9, 1963
- 50) 杉原彦一, 岩川 治: 陸上路線の迂回率について, 日本林学会誌, Vol. 42, No. 7, 1960
- 51) 水理科学研究所: 後進地域における林道投資, 1964
- 52) SUNDBERG, U.: A Study of timbertransportation, SDA, 1960
- 53) 3-M研究会編: 林業機械化ハンドブック, 1964
- 54) 田杉 競, 森 俊治: 生産管理研究, 1956
- 55) 通産省産業合理化審議会編: 内部統制と利益計画, 1962
- 56) 若江則忠: 林業白書と林道政策, 林道, No. 2, 1965
- 57) 渡辺 進: 基準会計学辞典, 1962
- 58) 八巻渉吾, 長友 将: 十勝地方, 浦幌町における石井山林経営実態調査について, 1960

Résumé

I. Forest road system is an indispensable facility which enables the modern rationalized management of forest industry. In spite of the recent progress in the mechanization of the logging operations in the forest, development of forest roads has been left behind for many years in this country. Urgent need is the further construction of forest roads.

Recently the Government Forestry Agency has made a long-range plan to increase the forest road density up to 13-14 meters per hectare within the coming 30 years, but this plan is a conventional one without any theoretical basis. Therefore, the problem, how much the most adequate density should be in this country to fulfill the demand of modern mechanized logging operations and intensified forestry management, has arisen and become the focus of discussion recent years.

The author tried to find out one of the theoretical approaches to solve the problems from the view point of logging economy, and at the same time, to show how to make the rational plan of the forest road system.

II. *The planning of the forest road system*

If one observes the historical progress in the forest road system, it is obviously recognized that forest roads can be classified into two types of roads which are functionally quite different from each other. They are the access road and the primary road in the forest i.e. so-called forest road. The access road is not only constructed at the first stage of the forest exploitation for the purpose of expanding a logging area in the economical sense, but also an indispensable facility for the timber transportation in any situation, because it makes the cost of timber transportation lower. However, forestry of today in the second stage of the forest exploitation, in which the reforestation is carried out for sustaining timber production, requires forest road more and more in the forest not only from the necessity of logging operation but also for tending young stand and realizing more intensive forestry management. But it will be scarcely possible to complete such a high density of the road system in a short period without much subsidy of Government for the construction of forest roads. So the forest road system should be gradually built through a long period of time.

If one wishes to cover the forest area with the rational system of forest road in high density, therefore, it is required to make both of over-all and practical plans in the planning of the forest road network. The former is to be planned from the view point of a long term forecast for the forestry management and the latter must be planned so as to be realistic and practicable in any given situation.

As to the planning of secondary forest road i.e. temporary or operational low-grade roads which are also indispensable and essential for the modern forestry, it should be made as a partial planning of timber extraction. So the planning of secondary forest roads are not dealt with here.

III. *The density of the forest road and its meaning*

In order to make the plan of forest road system, one must confirm, to begin with, the total mileage of the road required for the modern forestry in accordance with the method of logging operation in the forest. Deciding the distance of road spacing or the density of the forest road is thought to be the first stage of the planning of the forest road system.

MATTHEWS tried to establish the forest road system reasonably and theoretically by means of finding the road spacing theory. This theory is based on the minimum cost idea that the distance of road spacing should be such one as it makes the total sum of prehauling cost, truck hauling cost, and road making cost minimum. Theories of SUNDBERG, KAMIIZAKA, and others, which are all issued thereafter, are almost similar to MATTHEWS' theory.

The road spacing theory is to be considered a reasonable method for logging operation on flat terrain, because in such terrain forest roads can be located and constructed without regard to topographical conditions. In other words the boundary of logging area could be determined voluntarily in accordance with the distance of road spacing.

On the other hand, in the mountaineous area with topographical complexity, it is usually quite difficult to establish the forest road network at the interval of the road spacing calculated theoretically. So the application of the road spacing theory to such terrain is rather inadequate and impractical, especially while the forest road system is in low level.

Hence the author tried to find the total mileage of forest roads by means of the conception of road density which showed the relationship between the road mileage and the area of the forest.

The density of the forest road means, in general, the length of the forest road per unit area of the forest. For instance, it is expressed by the unit of meter per hectare, and is often used for a measure by which the degree of intensity of a certain forestry management is estimated. If one wishes to estimate the intensity of the forestry management by road density, it is obviously incorrect that the access road which is functionally different from the so-called forest road (primary road) is taken into account for calculating the density of the forest road network.

IV. *The essential density of the forest road for logging projects*

The expansion of the forest road system enables not only to realize the mechanized logging operation and reduction of operational costs but to bring about much advance on the operations of reforestation and tending and on general activities of forestry management. The more forest roads are constructed in the forest, the better results would be expected to a certain extent. Then the most adequate planning of the forest road system should be finally decided from the all-over point of view in the forestry management.

However, judging from the fact that the most remarkable advantage caused by the construction of the forest road is the reducing effect on logging costs, it is quite natural at the first stage of the planning of forest road system to find out the essential density

(the lowest density) as the lowest limit which is indispensable for the logging operation and makes the total logging costs minimum. This is to be determined from the stand point of logging economy only.

Elemental costs in logging operations: Elemental costs which originate from the process of timber production include the cost of processing (felling and bucking), prehauling to truck roads, transportation on roads, loading and unloading, construction and maintenance of the forest road etc. Among these elemental costs, three elemental costs i.e. the cost of road making, road maintenance and prehauling are especially considered to be outstanding although all of these elemental costs will be more or less influenced by the forest road density. Fluctuation in these costs are obviously larger than that of the other elemental costs, and these latter are rather considered nearly constant in value regardless the circumstances of the forest road system if compared with the three elemental costs.

It is possible to say that, therefore, the cost function showing the tendency of the total cost of timber production might be deduced by use of these three costs only, and might be considered to show the tendency of fluctuation of total cost of timber production with considerable exactness.

The cost of road making:

a) In the case of clear cutting system, the average cost of road making which is to be charged on the unit volume of timber produced through the period for forest road construction is deduced as follows. Assuming that the borrowed capital is used for constructing the forest road in the deduction of the formula for elemental costs, and that the repayment method for borrowed capital is annually equal repayment system, and furthermore, that the repayment of the capital is deferrable for two years, the average cost of forest road construction (K_r) which should be imposed on the unit volume of timber produced within n years is given by the next formula (2).

$$K_r = \frac{mC_r\gamma_m}{q(1+s)d_v} \left[\frac{2n-m+1}{2n} + \frac{2p}{m\gamma_m} \right] d_r = c_1 \cdot d_r$$

b) In the case of selective cutting system, it is quite natural that the forest road system has to be all accomplished within the first cycle of cutting. So the average cost of road making (K_r) to be charged on the unit volume of produced timber is given by the formula (3). In this case n is assumed to be such a period as obtained by dividing the circulation period of selective cutting system by the rate of selective cutting.

The cost of road maintenance: Two kinds of expenses are generally included in the maintenance of earth roads. The one is what varies with the traffic volume on road, while the other is independent of the traffic volume and is nearly constant in value for the given geological and weather characteristics of the forest region. The cost of road maintenance mentioned in this paper, however, should be considered to be the latter only because the former could be rather regarded as a partial cost of timber transportation itself. Such a cost of road maintenance has a tendency to increase year after year in proportion to the increase of forest road mileage without regard to the traffic volume.

So the cost of road maintenance (K_m) which is to be charged on the unit volume of timber produced from the forest area should be expressed by the following formula.

$$K_m = \frac{C_m(n+1)}{2q(1+s)d_v} \cdot d_r = c_2 \cdot d_r$$

The cost of prehauling: The prehauling cost is subject to many conditions such as the distance of prehauling, the type of machines used for prehauling, annual yield of timber, the size of timber, the topographical complexity of logging sites and so on.

However, judging from the remarkable variation in the prehauling cost due to the difference of prehauling distance which varies with the density of the forest road and from the fact that the aim of establishing the forest road network in the forest lies in making the prehauling distance as short as possible, it should be said that the distance of prehauling is the most outstanding condition for determining the cost of prehauling. The cost of prehauling per unit volume of timber (K_s) is to be obtained as follows:

a) *The relation between prehauling distance and its cost.*

According to the statical studies, the cost of prehauling of the unit volume of timber is approximately or practically shown as a linear function with regard to the average distance of timber prehauling (cf. equation-6). In the cost of prehauling (K_s), both of direct costs and indirect costs are included. Labour costs, fuel costs, repairs costs of machines, and the costs of other materials needed for the logging operation belong to the former and depreciation and maintenance expenses of machines, expense for insurances, and taxes belong to the latter.

b) *The relation between the average distance of timber prehauling and the density of the forest road.*

This relation can be obtained by supposing the theoretical pattern of the forest area shown in Fig. 2. This pattern is not a realistic one to show the shape of the forest area, but is an ideal one in order to find out a general or typical relation between the average distance of timber prehauling and the density of the forest road without regard to the real shape of the forest area.

In assuming that the area of the pattern in Fig. 2 is equal to that of the real forest area, the equation (7) will be derived. A decreasing ratio of exploitation effect compared with the beeline roads is taken into account when the equation (7) is derived, and the author recommends the equation (10) to find the numerical value of the decreasing ratio.

c) *The relation between the density of the forest road and the timber prehauling cost.*

From the equation (6) and (7), the cost of timber prehauling per unit volume of timber is expressed by the following equation (11).

$$K_s = c_3(\sqrt{d_r^2 + \beta} - d_r) + b$$

The cost function and the essential density of the forest road in logging projects: The cost function (K) to determine the essential density of forest roads in logging projects is composed of three elemental costs of timber production—the cost of road making, the cost of road maintenance, and the cost of timber prehauling, and is expressed as equation

(12). If the equation (2) or (3), (4) or (5), and (11) are put into the equation (12), the next equation (13) is obtained.

$$K = (c_1 + c_2 - c_3)d_r + c_8 \sqrt{d_r^2 + \beta} + b$$

Putting the 1st derivative of the equation (13) with regard to d_r to zero, and solving this equation, the density of the forest road to minimize the total cost of logging operation is given as formula (14).

$$d_r = \left[\frac{(c_8 - c_1 - c_2)^2 \beta}{(2c_8 - c_1 - c_2)(c_1 + c_2)} \right]^{1/2}$$

Discussion: Observing the numerical results (shown in Table 9 or 10) of the application of the formula (14), it is obvious and matter-of-course that the unit cost of road making and the volume of timber yield per hectare act on the determination of the essential density of the forest road notably. In addition to these factors, the next two factors are also remarkable.

1) The unit cost of road maintenance. There is a tendency to underestimate the influence of the cost of road maintenance in determining the forest road density because the total sum of annual expenses for road maintenance is usually less than that of the road making. The cost of road maintenance, however, is continually required every year for all part of the rout. So it should be regarded as one of the important elements for the determination of the density. As shown in Fig. 5-a, especially, it would become as heavy as the cost of road making when the cost of road making is comparatively low.

2) Numerical values of (a). It is shown in Fig. 6 how the calculated values of road density vary with the values of the ratio (a) which means the increasing ratio of the timber prehauling cost in accordance with the distance of timber prehauling. From Fig. 6, the ratio (a) is also considered to be one of the important factors for determining the road density if one observes such a tendency that the calculated values of forest road density are remarkably influenced with the numerical values of (a).

Furthermore, the relation between (K_s) and (l) should be expressed as a linear function with constant term at least, i.e. $K_s = a \cdot l + b$. Up to now, the cost of timber prehauling (K_s) has been regarded not to be such a linear function with constant term but to be in direct proportion to the distance of prehauling (l). This relation has been often used for determining the distance of road spacing by MATTHEWS and others. If the density of the forest road is derived by use of the relation that K_s is in direct proportion to (l), correct values of forest road density would not be calculated because of the over-estimation of the value of (a) in most cases. This is the reason why (K_s) should be expressed as a linear function with regard to (l) with constant term.

V. Marginal density of the forest road

In this paper the marginal density of the forest road is investigated in order to find one of the practical methods showing how much forest road density is desirable for a forestry management. The marginal density means the maximum value of the forest road density in economical sense. Then the most suitable density of the forest road i.e.

optimum density should be decided between the values from the essential density to the marginal density of the forest road system.

Marginal cost of timber prehauling and transportation: Marginal cost of timber prehauling and transportation must be prescribed first in order to deduce the formula to find out the marginal road density.

The profit (I) per unit volume of timber brought by the activity of timber production could be generally expressed as follows:

$$I = P - (TK + M)$$

where I : profit per unit volume of timber, P : price per unit volume of timber, TK : total cost of timber production per unit volume of timber, M : general executive expenses per unit volume of timber. Total cost of timber production (TK) is composed of such elemental costs as the cost of felling and bucking (K_f), the cost of timber prehauling (K_s), the cost of forest road making (K_r), the cost of road maintenance (K_m), the cost of timber transportation (K_t), the cost of loading and unloading (K_y), and the cost of reforestation, tending and forest protection (K_a). Taxes are included in profits.

The reason why the cost of reforestation and tending and forest protection are included in the total cost of timber production (TK) is that the costs of reforestation and others should be considered rather a kind of outlay maintaining the forest resource than an investment put into the forest area in order to sustain the timber production in the forestry of sustained yield system. The fund for the reforestation and tending should be regarded as invested capital only when they are performed on unstocked lands or for the purpose of improving the timber stand from natural forest in low value to artificial forest.

If the total cost of timber production (TK) is divided into "the costs of timber prehauling and transportation (K)" and "the other production costs (K')", the equation above-expressed can be transformed as equation (20).

Generally speaking, "the cost of timber prehauling and transportation (K)" which are italicized in the above mentioned costs are much affected by the conditions of the forest road system and "the other production costs (K')" are thought to be nearly constant without regard to the conditions of road system, and are subject to the topographical or operational conditions and the geographical position of the forest area. So the costs of timber prehauling and transportation (K) could be expressed as K_{marg} when the profits are limited within the necessity for maintaining the forestry management. This K_{marg} is the allowable maximum costs of timber prehauling and transportation in the economical point of view and is named here marginal cost of timber prehauling and transportation.

Deduction of the marginal density of the forest road: In the profits planning, profits and general executive expenses are usually shown as next expression. $I = I_c \cdot P$, $M = M_c \cdot P$, where I_c : sales profits ratio, M_c : sales cost ratio. Then the equation (21) can be derived by transforming the equation (20).

$$K_{\text{marg}} = (1 - I_{c, \text{min}} - M_c)P - K'$$

On the other hand, the cost function of timber prehauling and transportation (K) is generally given by the equation (22).

$$K = c_1(d_r - D) + c_2(d_r - D') + c_3(\sqrt{d_r^2 + \beta} - d_r) + b$$

Then, putting the value of K_{marg} calculated by the formula (21) into K of the equation (22) and solving this equation with respect to d_r , the next formula (23) can be obtained by which the marginal density of the forest road (d_{rm}) should be calculated.

$$d_{rm} = \frac{1}{2} [g + (g^2 - 4h)^{1/2}]$$

$$g = \frac{2(c_3 - c_1 - c_2)(c_1 D + c_2 D' + K_{\text{marg}} - b)}{(2c_3 - c_1 - c_2)(c_1 + c_2)}$$

$$h = \frac{c_3^2 \beta - (c_1 D + c_2 D' + K_{\text{marg}} - b)^2}{(2c_3 - c_1 - c_2)(c_1 + c_2)}$$

General application of the formula and some discussion about its results:

a) It is obvious from the results shown in Table 12 and 13 that there are some important factors which affect the determination of the marginal density of the forest road as well as the cost of timber prehauling, the cost of road making, and the cost of road maintenance. They are "the average price of timber (P)", "other productional costs (K')", "the cost of general executive expenses (M)", and "profits (I)". In these factors, the average price of timber (P) is recognized to be the most critical one in determining the marginal density. It is because the cost difference of the average timber price in accordance with tree species of harvested timber is usually far beyond the cost reduction caused by the rationalization of logging operations. And the marginal cost of timber prehauling, road making and road maintenance is thought to be determined mainly by this average timber price. Hence it can be said that it is impossible to determine the adequate forest road system without considering the price of harvested timber.

b) Table 13 also shows that there occurs a remarkable difference of the calculated forest road density between the natural forest and artificial forest. This is nothing else but showing the tendency of high profitability in artificial forest.

Judging from the fact that the establishment of the high density forest road system is permitted in the artificial forests, the rationalized and mechanized forestry has some potentiality of profitability as an industry. Therefore, we must try to transform the forest from natural forest to artificial forest, and modernize our forestry by means of operating machines and completing the forest road network in the area of logging projects as first as we can. At the same time, it is thought to be quite effective and essential to improve the financial subsidy system for forest road making as a basis of the forestry management of today.

c) It is already mentioned that the all-over planning (long term planning) is indispensable as well as practical one in the forest road network project. This practical planning should be in suitable density between the marginal density, which is based on the present conditions, and the essential density for the purpose of forestry management.

And it should be performed as a part of the all-over project. The author recommends, as shown in Table 16, how to apply the formulae to calculate the forest road density (essential and marginal density) for the planning of the forest road network.