

# 素材生産地域における適正林道密度 ならびに限界林道密度について

文部教官 南 方 康

Yasushi MINAMIKATA

## Studies on the Determination of the Optimum and Marginal Road Density in the Economic Forest Area

### 目 次

I. 序 論	3	III-3-4 林内運材費	18
II. 林道密度の定義	4	III-4 適正林道密度の算定式	19
II-1 林道網の形式	4	III-5 理論式の適用例	21
II-2 各種林道の機能的役割および 密度の意義	6	III-5-1 条件の設定	21
II-2-1 公道および到達林道	6	III-5-2 適正密度算定例	26
II-2-2 施業林道・作業道及び管理林道	7	III-6 考 察	26
II-2-3 林道密度の定義	7	III-6-1 林道開設費の影響	26
III. 適正林道密度の算定	8	III-6-2 集材費の影響	28
III-1 概 説	8	III-6-3 林道維持費および林内運材費 の影響	28
III-2 条件の仮定	9	IV. 限界林道密度	30
III-3 素材生産における要素費用	10	IV-1 限界生産費	31
III-3-1 林道開設費	10	IV-2 限界林道密度の算定	31
III-3-2 林道維持費	14	参考文献	35
III-3-3 集材費	15	Résumé	35

わが国における林業の機械化は、明治中葉の架線導入および末期の森林鉄道敷設にその端を発するものと考えられるが、生産プロセスのほぼ全域に亘る機械化は、第二次大戦後に漸く本格化した。爾来今日に至るまでの 20 年間に、機械化の意義も、林業労働を重筋労働から開放し、あわせて製品の質的向上を計るという初期の段階から、国民経済の発展、社会情勢の変化に伴い、労働生産性の飛躍的向上と生産費の軽減を第一義とする機械化へと変転してきたのであった。

この間、機械化作業の普及と呼応して、生産プロセスの作業効率に関する諸研究が活発に実施され、これが基礎となってその後の機械化が次第に充実してきたことは極めて注目し値するところである。今後においても、効果的な機械化作業は、林業経営の合理化に対する一つの前提となるであろうが、そのためには機械化を促進せしめうる生産基盤の整備強化が必要となってくる。

かかる現況にあって、林道（自動車道）は、まさにこの基盤としての機能を徐々に発揮しつつあり、かつその重要性も広く一般に認識されるようになってきた。しかしながら従来林道に関し

ては、個々の工学的技術の開発に主力が注がれ、林道が経営の基盤であるという総合的な立場から、これが究明された事例は殆どなかったのである。

本研究はこのような観点から、まず合理的な林業経営にとって必要な林道の量を経営工学的見地から決定しようと試みたものである。この研究の取纏めに当って、東京大学農学部森林利用学研究室、加藤誠平教授ならびに丸山正和助教授に、終始厳格なる御指導を賜ったことに対し深甚の謝意を表すると共に、資料の作成に御協力を得た東京営林局ならびに帯広営林局の作業課・土木課の各位に対しても深謝する次第である。

## I. 序 論

近時、林業の生産機構における諸種の社会的背景の変化、ならびに作業機械化の進展に伴い、林道は合理的な林業経営にとって不可欠な重要施設となってきた。

すなわち、これを木材の生産技術的見地から見れば、林道は各種林産物の経済的搬出を可能とし、作業用機械・必要資材の林内搬入を容易ならしめ、さらに造林・撫育・保護・保全等に関しても、それぞれの作業を飛躍的に能率化せしめる。また、これを森林の経営的見地から見れば、林道の発達によって、木材の需給には市場性と弾力性が生じ、森林の管理面においても、業務の効率化ならびに容易化による各種間接経費の節減が達成される。従って現在、周到な管理を前提とする集約林業の実現には、林道は極めて重要かつ基礎的な施設と考えられるに至っている。

さらに山村住民の生活改善の面からも、従来、ややもすれば人間性が軽視され、山泊を強いられた林業労働が、林道網ならびに交通手段の発達に伴って次第に通勤形態に移行しつつあるごとく、林道は就労形態の改善・山村交通の発達・文化の導入等を通じて、労働者を含む農山村住民の福祉増進に直接間接の役割を演じ、その効用は極めて大きいといわねばならない。

林道の開設によって与えられるこれら数多くの効用は、今後わが国の一般国民生活の向上、ならびに機械文明の発達に伴って、ますます顕著になっていくであろう。

林道に対する重要性の認識は、わが国においてもかなり古くから見られ、今日に至るまで林道網の拡充に努力が払われてきたのであるが、特に昭和 26 年頃を契機として、自動車性能の向上と本格的な林業機械化の趨勢に従い、自動車道による森林の開発が主として進められてきた。その結果、過去数十年間に亘り、わが国の運材機械化の主役を演じてきた森林鉄道も、昭和 33 年頃から一部の歴史的な地域を除いて次々と自動車道に切換えられつつある現状である。

しかしながら、統計（林業統計要覧：1963）によれば、昭和 36 年度末における林道（自動車道）の施設現況は、総延長 49,253 km（国有林 15,602 km，民有林 33,651 km）であり、森林面積は 23,099,000 ha（国有林 6,966,000 ha，民有林 16,133,000 ha）となっている。従って森林面積 1 ha 当りの林道延長、すなわち一般に林道密度と呼ばれるものの値は、2.13 m/ha（国有林 2.24 m/ha，民有林 2.09 m/ha）に過ぎず、これらの数値を欧米諸国の主要林業国の密度（西独：30～80 m/ha，スイスおよびオーストリア：30～40 m/ha）と比較すれば、著しく低い値であることが分かる。その原因は、彼我の社会的・経済的ならびに歴史的背景の相違に起因するなど、種々存在するであろうが、林道建設に対するわが国の社会的ならびに自然的条件の困難性にも大きく起因するものと考えられる。その主なものをあげれば、1). わが国においては、従来一般公道の発達が著しくおかれており、このため本来は公道として作設すべき道路を森林開発の名のもとに林道として開設せねばならぬ事例が多かったこと、2). わが国、特に国有林においては、過去半世紀以上に亘って、森林鉄道が最も重要な運材施設として認識され、これが普及したため

に、莫大な延長にのぼるこれら森林鉄道のすべてを、短期間に自動車道に切換えることは極めて困難であったこと、3). 林道開設に対する法的ならびに予算的配慮が不十分であったために、長期計画に立案された計画量が、年々完全に実行されることが殆ど皆無であったこと、4). わが国は、年間降雨量が欧米諸国と比較して著しく多く、かつ台風による集中豪雨があり、地形も急峻であるから、開設後の災害発生をでき得る限り抑制するためには、路体構造を極度に簡易化することが困難であり、かつ従来の林道が殆ど幹線的性格をもつものであったことから、同様に路体構造の簡易化が困難であった。従ってわが国の林道の開設費単価は比較的高額となり、これが急速な林道網の拡充をはばむ重要な要因となっていたこと等々。

上記のごとき種々の理由により、わが国の森林地域においては、先進諸外国と匹敵し得るだけの林道網が、未だ拡充されるに至っていないが、わが国の林業が、外材との競合に直面して、生産費の軽減を一段と強く要求され、そのために経営の近代化を強力に推進する必要に迫られている今日、機械化作業を前提とした集約林業の生産基盤である林道網を、速かに造成していくことこそ火急の要務といわなければならない。そしてそのためには、合理的な林業経営をなし得る適正な林道密度が、いかなるものであるかを示すことがまず必要であろう。

## II. 林道密度の定義

適正林道密度に関する問題を解決するに先だって、我々は林道密度という言葉の基本的概念を明確にしておかなければならない。

林道密度という言葉は、現在、漠然と森林開発の度をあらわす一指標として、一般的に用いられる言葉である。その意味するところは、林道網を構成する林道（林道台帳記載の林道）の総延長を、対象森林面積で除した商、すなわち森林の単位面積当りの林道延長 (m/ha) で示され、概念的に森林開発の程度もしくは施業の集約度を表わす一つの尺度と考えられている。しかしながら林道網を構成する林道には、機能的に異なるいくつかの種類があるから、従来の如く単純に林道総延長を対象森林面積で除した値を林道密度と解釈し、これをもって施業の集約度を一律に比較することは極めて不合理といわなければならない。

### II-1 林道網の形式

林道密度の概念を規定するには、まず林道網の構成を明らかにする必要がある。

現在、世界の主要林業国における林道網形式の中で、典型的と考えられるものをあげれば、次の三形式に分けることができるであろう。いま仮りにそれぞれの形式をⅠ型、Ⅱ型、Ⅲ型と呼ぶものとすれば、

Ⅰ型：到達林道を主体とする林道網

Ⅱ型：林内の施業林道を主体とする林道網

Ⅲ型：林内の施業林道に簡易な作業道を加えた林道網

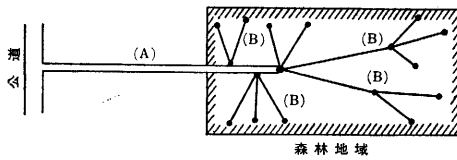


Fig. 1 わが国奥地林開発の林道網型  
Forest road system at the steep  
mountain area in Japan

- (A): 幹線林道 (20~40 km)  
(B): 架空線施設 (索道または集材機)  
【備考】 林内作業道は殆ど皆無で、架空線による集運材が行なわれる。

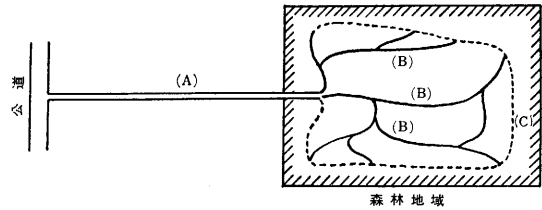


Fig. 2 米国西部の林道網型  
Forest road system in the West coast of U.S.A.

- (A): 到達林道 access road (20~100 mile)  
(B): 施業林道 logging road  
(C): 管理林道 fire lookout road  
【備考】 logging road の終点に大型積込機、トラクタ、または集材機が導入される。fire lookout road は防火用望楼を連結するもので、jeep 道程度のもも含まれる。

I型は公道または工場等の木材消費地と森林（施業地）とを連結する比較的長距離の幹線林道（到達林道）が主体であって、施業林内の林道網にくらべてその比重が著しく大きいものを指し、通常未開発林の開発初期においてあらわれる形式である。わが国においては最も多い形式で、その典型的な例を山梨県丹波川林道に見出すことができ、海外では米国西部林業地帯の林道がその例である。これらを模式図で示せば Fig. 1, Fig. 2 のとおりである。

II型は到達林道に相当する部分が殆どないか、有っても極めて短距離で、林内施業（集運材・造林・撫育・保護・砂防・巡視等）に使用する道路が主体をなすものである。いわゆる里山ないしは公道の発達した集約林業地に見られる形式で、奥地林においても、すでに到達林道を有する開発中期以降の段階にある地域の林道網はこの形式に該当する。わが国ではこの類型に属するものは比較的少ないが、スイス、オーストリアでは最も一般的な形式として普及している。その模式図を示せば Fig. 3 のとおりである。

III型は上記II型と同様の施業林道を比較的高級な主林道と比較的簡易な副林道とで構成し、さらにその中に極めて簡易な作業道を配置する方式で、高度の機械化作業を行なう集約林業地で採用されはじめた形式である。わが国では未だ殆どその例を見ないが、西独で行なわれている。この作業道は伐採地点から主副林道までの木材搬出にトラクタ（クレーン付装輪トラクタ）を導入し、この導入線を定常化して林地林木の保全を計る目的のものである。

ノルウェーでは、同様目的の作業機械に架線用鉄塔付装輪トラクタを使用し、作業道のかわり

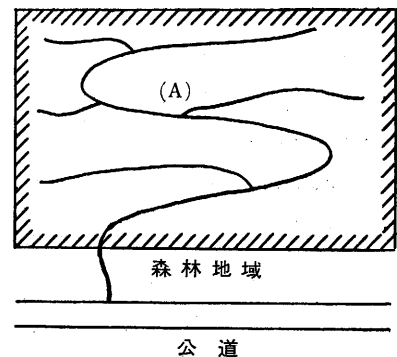


Fig. 3 スイス、オーストリアの林道網型  
Forest road system in Switzerland  
and Austria

- A: 施業林道 Waldstrasse, Waldweg  
【備考】 密度は 30~40 m/ha, 間隔は 300~400 m, 集材は小型集材機または小型装輪トラクタにて行なわれる。

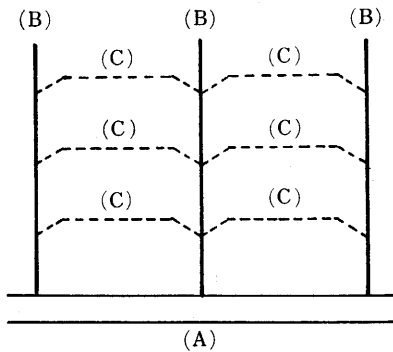


Fig. 4 西独の林道網型  
Forest road system in West Germany  
(A): 主林道 Haupt Weg 密度 30~80 m/ha  
(B): 副林道 Neben Weg 間隔 200~500 m  
(C): 作業道 Erschließungsgasse  
間隔 30~60 m

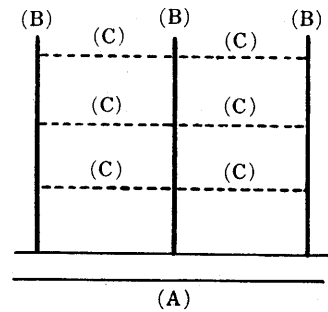


Fig. 5 ノールウェーの林道網型  
Forest road system in Norway  
(A): 主林道  
(B): 副林道, 間隔 200~300 m  
(C): 架線用伐開, 間隔 60~100 m

に定期的な伐開線を用いている。これを模式的に示せば Fig. 4, Fig. 5 のとおりである。

上記のごとく林道網の構成を類型化してみると、従来一律に林地の単位面積当りの林道延長で表現していた林道密度は、内容的にはそれぞれ全く意義を異にし、必ずしも施業の集約度を示す尺度としては適切ではないことが明らかであり、これをもって上記形式を異にする林道網を互に比較することは、むしろ無意味であることが分かる。

従って林道密度を定義するに先立って、公道および林道網を構成する到達林道・林内の施業林道・管理林道等がもつ機能的な役割を林業経営上の観点から明確にし、おのおのの道路の対象森林面積に対する密度のもつ意義を考察しておく必要がある。

## II-2 各種林道の機能的役割および密度の意義

### II-2-1 公道および到達林道

ここにいう公道とは、対象施業林地の外にあって一般道路交通の用に供せられ、かつ到達林道の起点と市場（消費地）とを連絡する主たる道路を意味する。到達林道は、このような公道から分岐して、対象森林内の最初の集材可能地点（常識的には対象森林区域への到達地点）に至るまでの林道であり、主として林産物搬出および森林施業のために必要な人員および物資輸送の用に供せられる林道を指すものとする。

公道および到達林道の林業上より見た機能的な役割は、主として林産物の“搬出”であり、それらの延長の長短は、木材の産出地から市場までの運材単価を決定的に左右する性質をもつ。公道および到達林道は、もしこれがなければ自動車輸送による木材搬出は不可能であるから、当該施業林を経営し生産を続行せしめるためには不可欠の重要施設ではあるが、施業林内における各種作業の所要経費を大幅に軽減するのに役立つ性質のものではない。従って、これらの道路延長の対象施業林面積に対する比率、すなわちそれぞれの密度は、林地内の施業の集約度をあら

わすというよりも、その施業林地からの運材に対する費用の大小をあらゆる一指標と考えられ、その必要量は、林内の作業法の如何を問わず個々の森林の地理的位置によって与えられる定数である。すなわち公道と到達林道との合計距離の施業林面積に対する密度からは、その密度に施業林地面積および単位距離・単位材積当りの輸送費を乗ずることによって、森林から市場までの運材コストが算出され、到達林道の密度からは、新たに森林を開発する場合に、搬出材単位材積当りの負担すべき到達林道開設経費負担額が算出される。

それゆえに、公道および到達林道の密度がもつ意義は、或る施業林での木材生産活動において、その林地の地理的位置づけに応じた固定的な生産費（運材費および到達林開設費）の大小をあらゆる要素と考えるのが適切である。

### II-2-2 施業林道・作業道および管理林道

施業林道は到達林道に続いて林内に伸び、林内において主要な林道網を構成し、林業経営のための必要な作業すなわち伐出・育林・撫育・保護・管理など、各業務の遂行に当って交通の動脈的役割を果す林道であって、その規格は従来の「林道規定」による1級、2級自動車道またはこれに相当するものとする。作業道は主として施業林道から分岐し、林内においてさらに周密な路網を形成し、局部的な伐出・造林・撫育・保護などの用に供される極めて簡単な林道である。管理林道は特にこの目的で作設されるものは稀で、現状では、施業林道および作業道がこれを兼ねる場合が多く、路網形成の発展過程からいっても、まず施業林道または作業道として作られたものが、その開設目的達成後に管理林道として使用されるのが一般的である。

施業林道および作業道の顕著な機能的特徴は、運搬路としての役割以外に、これを開設することによって林内の施業を容易かつ効率的ならしむることであろう。すなわちこれらの林道網の発達には、木材総生産費の中で主要な部分を占め、かつ単位距離当りのコストが非常に高価な集材工程を短縮し、能率のよい運材（トラック運材）に置換することを可能にする点にある。さらに造林、撫育、その他の面についても同様に効率的な作業が可能となるから、施業林道または作業道の拡充によって、林業各分野に亘る生産費の軽減、集約な機械化作業、労力生産性の向上等が期待されることになる。従ってこの種の林道に対する林道密度こそ、対象森林の開発程度または施業の集約度を端的に表示するものと考えざるをえない。また施業林道の機能的本質を考えれば、林道密度を構成する道路の中には、単に施業林地内に分布する林道のみならず公道も、これが施業林内を通過する場合には、通過部を林道とみなして林道密度の算定に加えなければならない。

### II-2-3 林道密度の定義

林道網の構成ならびに各種林道の機能的役割については、前述のとおりであるが、ひるがえって、わが国の現況を考えると、林道網の構成は殆どⅠ型、Ⅱ型またはその中間型が多く、Ⅲ型は1~2の例外的事例を除いては極めて稀であるところから、現在わが国は、集約施業を前提と

する林道網形成の発展過程にあるということができよう。しかし山岳林を主体とするわが国森林の自動車道による開発を考えると、Ⅲ型の林道網が一般化することは特殊な事例を除けばかなり遠い将来のことと考えられ、Ⅱ型すなわち林内における施業林道を主体とする林道網の形成が当面の目標となることはほぼ間違いない。

このような観点から、本稿においては林内における林道網すなわち施業林道の密度を上げるものとし、これを次のように定義する。すなわち“林道密度”とは、或る特定の林業施業対象地域内に存在する施業林道総延長の、その対象面積に対する比である。ここに施業林道とは、施業対象地域内にある林道（自動車道）であり、もし林内に公道が通じている場合には、公道の林内通過部分もこれを施業林道とみなすものとする。

### III. 適正林道密度の算定

#### III-1 概 説

施業林内の適正林道密度を、林業における経営工学的見地から決定するには、木材の生産活動に伴う各種費用の中で、特に林道の開設によって顕著に変化するであろうと予想されるいくつかの要素費用で構成される単位材積当りの費用関数を導き、これを用いて問題の解を求めればよい。

この費用関数は主として伐出費によって構成されるが、それは通常伐出費が他の林業生産活動に伴う要素費用、たとえば造林費、撫育費、保護管理費などよりも、生産プロセスの改善をもたらす林道の影響を顕著に受けるからであり、しかも木材生産費の大半を占める最も重要な要素費用と考えられるからである。

もちろん、造林撫育費や保護管理費なども、林内の道路施設の拡充によって好ましい影響を受けることは当然である。たとえば、労務者や管理職員の林内への輸送が機械化、能率化されることによって生ずる実労働時間の上昇、必要資材や間伐材の経済的な運搬、その他直接金額に換算しえない種々の便益等である。

しかしながら現段階では、伐出費を除く他の要素費用に与える林道開設の経済的な効用は、伐出費に対するほど直接的でもなく、また便益額も伐出費におけるほど大きくもない。さらにこれらの影響の度合を、数量的に適確に把握することもはなはだ困難な状態にある。

このような理由から本稿においては、伐出費以外の要素費用は適正林道密度を決定するための費用関数の中に加えなかった。

伐出費はこれをさらに細分すれば、伐木費・造材費・集材費・林内運材費・積込費・荷卸費・土場費・林道開設費・林道維持費等から成り立っているが、これらの費用の中でも集材費・林内運材費・林道開設費・林道維持費の四要素以外の費用は、造林費などと同様、林道網の変化によってそれほど顕著に影響されないから、ここでは費用関数の要素費用から一応除外した。



しかるにこの四要素費用，すなわち林道開設費・林道維持費・集材費・林内運材費は，すべて林道密度の函数として表現することができるから，適正林道密度を決定するための費用函数は，究極的には林道密度の函数としてあらわされ，適正林道密度の値は費用函数の値を最小にする密度として与えられることになる。

### III-2 条件の仮定

次に，上記の如き解析の基礎となるいくつかの施業条件を規定しておく必要がある。

**循環団地** 本稿における林道網計画は，永久に木材生産を継続し得るような規模をもつ施業団地，すなわち循環団地ごとに行なうものとする。

循環団地は，現在国有林野事業において使用されている言葉であり，おおむね次のように解釈されている。すなわち国有林野事業においては，国有林が直営で素材などを生産し，半恒久的に製品事業の対象とする森林を製品事業林と呼び，その設置基準は，1) その地域において国有林の占める割合が多く，特定の私企業による国有林の生産材の独占を排除する必要がある場合。2) 大規模事業地でその開発に多大の資本を長期に亘り投下する必要がある，かつその開発が地域経済に及ぼす影響が大きい場合。3) 収穫・造林・管理など，経営の総合成果を急速に推進する必要がある場合。4) 市場開発のための未利用林の伐採をする場合。5) 国土保安・風致の維持など特定地区の伐採を行なう場合などの諸点であり，これを林業経営の見地から総合的に検討して製品事業林を設定する。このようにして確定した製品事業林は，原則として一伐採事業所の形態でほぼ一定の適正規模で連年循環作業を可能ならしむべく，いくつかの団地に分割するが，この分割された団地を循環団地といている。

本稿においては，循環団地の設置基準は別として，形態上は前記国有林の場合とほぼ同様の考え方に立つものであり，これをさらに模式化し，連年の継続生産を可能ならしめる諸条件を具備した施業林を想定することにする。

すなわち循環団地は，一個の林業企業体が年々の経営を継続するに必要な規模の一斉林で構成される森林の集団であり，その令級配置は，零年生（伐採跡地）から伐期令に至る各令級が量的にも均等に揃っていて，法正林構成をなす森林を意味する。従って伐採は最高令級のものから毎年一令級ずつ進められ，伐跡地は直ちに再造林され，このような事業の連年継続が可能となるような森林を循環団地と規定する。仮に循環団地内の ha 当りの立木蓄積が均等であるならば，年々の伐採面積および造林面積は一定となり，年生長量も一定となる。このような構成をもつ森林をわれわれは法正林的思想のもとに育成された人工林にその典型的な姿を見出すことができるが，もし，木材を連年継続的に生産しようとする森林が現在天然林である場合も，将来，林種転換によって前記森林形態に移行せしめるに十分な面積と期待生産力を有する森林はこれに含めるものとする。さらに個々に所有する森林のみでは，面積的に保続連年施業を営みえない場合も，協業化その他の経営技術の解決を前提として，上記生産形態を将来期待し得る場合は，同一の観

点から適正林道密度を決定するものとする。

**集運材法** 現在わが国における集運材法の種類そのものはそれほど多くはないが、工程の組合せごとに類別すれば極めて多種多様となる。これは各地の地形的条件や育林作業方式、または林道による開発程度の相違に基づくものであるが、林道の適正密度を求めるためには、主として地形・林種の相違に応じたいくつかの代表的集運材法に限定する必要がある。このような典型的な集運材法は、全国的には恐らく十数種類或はそれ以上あるものと考えられるが、ここでは現在林道によってかなり開発された森林において最も普通に見られ、将来においてもまた最も一般的な方式と予想される基本的な集運材法を取り上げ、これらについて考察を進めることにする。すなわち集材工程は、集材機またはトラクタによる一段集材を原則とし、これとトラックによる最終運材とを組合わせたものとする。

### III-3 素材生産における要素費用

#### III-3-1 林道開設費

本稿において以下に用いられる記号を次の如く定める。

- A: 循環団地の施業地総面積 (ha)
- V: 作業一循環期中に生産される主伐立木総材積 ( $m^3$ )
- L: 循環団地内に作設さるべき林道総延長 (m), ( $= A \cdot d_r$ )
- $L_y$ : 1年の林道開設延長 (m), ( $= A \cdot d_r/n$ )
- n: 素材生産事業の一循環年数 (年), (=伐期令)
- $d_0$ : 主伐時における単位面積当りの蓄積 ( $m^3/ha$ ), ( $= V/A$ )
- $d_r$ : 循環団地内の平均林道密度 (m/ha)
- q: 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 (間伐収穫率)
- p: 林道建設費借入資金に対する利息 (年利率)
- m: 林道建設費借入資金の償還年数
- $C_r$ : 林道開設費平均単価 (円/m), (直接費+間接費)
- $C_y$ : 1年当りの林道開設総経費 (円/年), ( $= A \cdot d_r \cdot C_r/n$ )
- $K_r$ : 素材1立方メートル当りの林道開設費負担額 (円/ $m^3$ )

林道の開設経費は、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、われわれはそれらを合計したものを林道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如何によってまちまちであるから、ここではこれを林道開設費の中にも含めないものとする (以下各要素費用についても同様)。

従って素材1 $m^3$ 当りの林道費負担額は、管理費を除く直接費および間接費から構成されるわけであるが、ここでは林道開設資金を借入資金をもって充当するとの前提に立っているから、借

入金の利子負担を考慮して林道開設費負担額の修正を行なう必要が生じてくる。この場合、利率および借入資金の償還年数は任意の値とすることも理論上可能であるが、本稿においては代表的な具体的数値として、農林漁業金融公庫融資規定に定められた数値を採用するものとする。

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、素材生産事業開始前1年までに単年度の林道開設事業を完了せしめ、年々逐一開設を進めていくものとする。また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れば、毎年の作業対象面積および林道開設延長は一定となる。すなわち、年々の事業対象面積および蓄積をそれぞれ  $A_i$ ,  $V_i$  とし、林道開設延長を  $L_i$  とすれば、

$$V_1 = V_2 = \dots = V_n = V/n$$

$$A_1 = A_2 = \dots = A_n = A/n$$

$$L_1 = L_2 = \dots = L_n = Ad_r/n$$

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費の償還は、一循環作業期の終了後（すなわち当初に存在した全立木の生産が完了した後）においてもなお償還は継続されるが、このような期間外の償還金（Fig. 6において斜線で示された部分）の返済額は、原則として林道開設費の中に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の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。

#### 素材 1 m<sup>3</sup> 当りの林道開設費負担額 ( $K_r$ ) の誘導

以上のごとき仮定を設ければ、生産素材の単位材積が負担すべき平均林道開設費負担額は、次のように誘導される。

いま年々借入れる林道開設資金 ( $C_y$ ) を  $m$  年間に亘って均等償還すると仮定すれば、各年の償還額は次式で与えられる（ただし期末払）。

$$C_y \cdot \gamma_m \tag{1}$$

ここに  $\gamma_m$ :  $m$  年償還に対する年返済額係数

$$\{= p(1+p)^m / (1+p)^m - 1\}$$

$p$ : 借入金の年利率

償還金を搬出素材へ賦課する方法は、Fig. 6において、借入資金の未償還期間中にこの借入資金で建設した林道上を通過する材がその林道費を負担するものとするれば、第1年目に借入れた  $C_y$  円に対する第1回目の返済は  $F_1$  地区の材が負担し、第2年目は  $F_2$  地区の材、第  $m$  年目（最終回）の返済は  $F_m$  地区の材が負担することになる。同様に、第2回目に借入れた資金  $C_y$  円は、初年の返済を  $F_2$  地区、第  $m$  年目は  $F_{m+1}$  地区が負担することになる。従って各地区の主伐材が負担する林道開設費は次のようになる。



$$\frac{n\{(1+p)^2-1\}C_y}{V(1+s)q} \quad (\text{円/m}^3) \quad (3)$$

ゆえに (2), (3) 式より, 単位材積当りの林道開設費負担額 ( $K_r$ ) は次式であらわされることになる。

$$\begin{aligned} K_r (\text{円/m}^3) &= \frac{m(2n-m+1)}{2V(1+s)q} C_y \gamma_m + \frac{n\{(1+p)^2-1\}}{V(1+s)q} C_y \\ &= \frac{mnC_y \gamma_m}{(1+s)qV} \left[ \frac{2n-m+1}{2n} + \frac{(1+p)^2-1}{m\gamma_m} \right] \\ &= \frac{mC_r \gamma_m}{(1+s)qd_v} \left[ \frac{2n-m+1}{2n} + \frac{(1+p)^2-1}{m\gamma_m} \right] d_r = c_1 \cdot d_r \end{aligned} \quad (4)$$

ここに

$$c_1 = \frac{mC_r \gamma_m}{(1+s)qd_v} \left[ \frac{2n-m+1}{2n} + \frac{(1+p)^2-1}{m\gamma_m} \right]$$

Table 1  $\gamma_m$  表  
The values of  $\gamma_m$  (ratio of annual amortization to investment within  $m$  years)

利率 償還年数	3分	3分5厘	4分	4分5厘	5分	5分5厘	6分	6分5厘	7分
5年	0.218	0.221	0.225	0.228	0.231	0.234	0.237	0.241	0.244
10	0.117	0.120	0.123	0.126	0.129	0.133	0.136	0.139	0.142
15	0.084	0.087	0.090	0.093	0.096	0.100	0.103	0.106	0.110
20	0.067	0.070	0.074	0.077	0.080	0.084	0.087	0.091	0.094
25	0.057	0.061	0.064	0.067	0.071	0.075	0.078	0.082	0.086
30	0.051	0.054	0.058	0.061	0.065	0.069	0.073	0.077	0.081

[注] 一事業循環期間終了後に返済すべき償還金, すなわち Fig. 6 で斜線で示された部分も, 当初循環期間内の林道開設費に含め, これを年々積立てる引当金をもって充当するものとした場合には, 各年の積立金  $z$  円は次のようになる。

$$z(1+r)^{n-1} + z(1+r)^{n-2} + \dots + z(1+r) + z = C_y \cdot \gamma_m \{(m-1) + (m-2) + \dots + 2 + 1\}$$

故に

$$z = \frac{mr(m-1)C_y \gamma_m}{2\{(1+r)^n - 1\}}$$

ここに  $r$ : 預金利息 (年利率)

従って単位材積当りの積立金負担額は

$$\frac{mnr(m-1)C_y \gamma_m}{2V\{(1+r)^n - 1\}(1+s)q}$$

故にこの場合の  $c_1$  の値は

$$c_1 = \frac{mC_r \gamma_m}{(1+s)qd_v} \left[ \frac{2n-m+1}{2n} + \frac{(1+p)^2-1}{m\gamma_m} + \frac{r(m-1)}{2\{(1+r)^n - 1\}} \right]$$

となり, これを (4) 式に代入すればよい。

## III-3-2 林道維持費

[記号]

 $K_m$ : 素材  $1\text{ m}^3$  当りの林道維持費負担額 (円/ $\text{m}^3$ ) $C_m$ : 林道単位長当りの年間維持費 (円/ $\text{m}\cdot\text{年}$ )

その他の記号は III-3-1 に同じ。

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算定しており、また生産事業の事業量に比例するとの考え方もあるが、ここでは原則として既開設路線の全線に亘って、自動車道としての機能を常時保たしめるに必要な維持修理と、運材トラックの通行量に比例した部分的補修との双方を合わせたものを林道維持費と考える。そしてこれらのうち、事業量と無関係な部分の単位延長当りの年間経費は、当該循環団地の置かれた地形的条件・地質的条件或いは気象条件、林道の規格・種類・修理作業方式（人力作業か機械作業か）等によって地域ごとに決まる定数であるとする。その理由は、林道維持修理が事業実行上必要な林道に自動車道としての機能を永年に亘って常時持続せしめるためのものである以上、単に林道開設後数年に亘って修理すれば事足りるという性質のものではなく、同一の箇所を年々繰返し補修する必要がある、事業費の大小にかかわらず最小限度の経費は必要であるからである。従って林道の維持費を、単純に林道開設経費に対する比率もしくは素材生産事業量に対する比率としてのみこれを把握することは適当ではなく、上述のごとく各種条件によって規定される地域的な定修理費と、事業量に応じた修理費との合計であると理解するのが妥当であろう。

また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につど、個別的に費用へ算入するものとして、ここでは維持修理費の中には含めないことにした。

しかして林道維持費は、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さるべき性質のものであるから、投入資金の償還或は利息等は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は、一事業循環期間中に年々支出される維持費の支出総額を、同一期間中に生産される総材積に均等に配分した値とみなすことができる。

素材  $1\text{ m}^3$  当りの林道維持費負担額 ( $K_m$ ) の誘導

前述の仮定により、林道は年々均等に開設されるから、作業開始第一年目より第  $n$  年目までの各年に要する林道維持費は、それぞれ次のようになる。

年	生産量	年間維持費
第 1 年 目	$V/n$ ( $\text{m}^3$ )	$A \cdot C_m \cdot d_r/n$ (円)
第 2 年 目	〃	$2 \cdot A \cdot C_m \cdot d_r/n$ 〃
第 $n$ 年 目	$V/n$	$n \cdot A \cdot C_m \cdot d_r/n$ 〃

よって循環作業全期間中に要する林道維持費合計額は

$$\frac{AC_m d_r}{n} (1+2+3+\dots+n) = \frac{AC_m(n+1)}{2} \cdot d_r \quad (5)$$

ゆえに素材 1 m<sup>3</sup> 当りの林道維持費負担額 ( $K_m$ ) は,

$$K_m (\text{円/m}^3) = \frac{AC_m(n+1)}{2(1+s)qV} d_r = \frac{C_m(n+1)}{2(1+s)qd_v} d_r = c_2 \cdot d_r \quad (6)$$

ここに 
$$c_2 = \frac{C_m(n+1)}{2(1+s)qd_v}$$

### Ⅲ-3-3 集材費

[記号]

$L$ : 循環団地内の林道総延長 (m)

$L'$ : 開発延長 (m) (Fig. 8 参照)

$k$ : 林道の開発伸長効率 (Fig. 8 参照)

$l$ : 平均集材距離 (m)

$d_r$ : 平均林道密度 (m/ha)

$K_s$ : 素材 1 m<sup>3</sup> 当りの集材費 (円/m<sup>3</sup>)

集材費は大別して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、間接費は機械減価償却費・機械定期修理費・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・作業法および作業仕組み・生産量その他地形・ha 当り蓄積・平均立米回り等、種々の条件因子の相違によってかなり大幅に変化する。しかし林道密度の函数としての集材費の変動は、主として林道密度の疎密に基づく集材距離の変化によるものであるから、両者の函数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わせを、或る与えられた作業条件と考え、各々の条件ごとに集材距離と集材費の関係を実績について調査する必要がある。

#### 集材距離と集材費との関係

林野庁“生産プロセスの実態調”(昭和 38 年度)によれば、集材距離と集材費との関係は Fig. 7-a に例示したとおりである。Fig. 7-a は、皆伐・集材機による普通集材・立木立米回り 0.5~1.5 m<sup>3</sup>・ha 当りの立木蓄積 250~350 m<sup>3</sup> という作業条件下における一例であるが、同図によれば、集材距離と集材費との関係はおおむね直線的变化をすることが分かる。

理論的には或る特定の集材用機械を用いる場合に、この両者の関係は直線的ではなく曲線的变化をなすであろう。すなわち、集材距離が長くなれば、距離と無関係な要素作業時間(例えば荷

掛け・荷卸し・作業打合わせ時間等)の集材作業 1 cycle time 内における比率が低下するから、集材費は距離の増大に伴って上に凸の曲線状に変化するものと考えられ、Huggard の示すとおりである (Fig. 7-b 参照)。しかしその曲線の勾配変化は余り急激なものではなく、実用的にはこれを直線の変化もしくは部分的な直線的变化をなすものとみなしても差支えない程度である。特に集材機作業の場合は、適用条件の相異なる大型・中型・小型の集材機があり、距離的にもそれぞれ使用範囲が限定される場合が多いから、集材距離と集材経費との関係は、Fig. 7-b のとき一連の曲線ではなく、むしろ3本の曲線もしくは直線の組合わせと考えることができる。

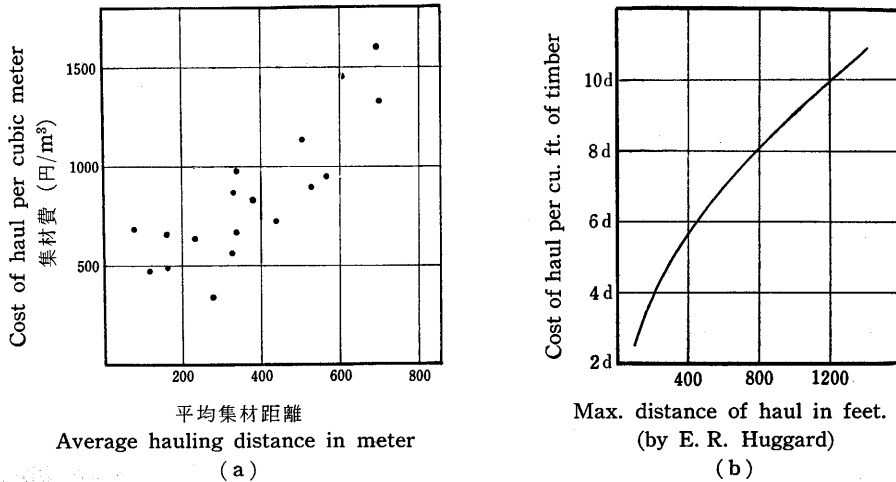


Fig. 7 集材距離と集材費との関係

Relations between the hauling distance and the unit cost of hauling.

このような理由から本稿においては、究極的に集材距離と集材費との関係を直線的变化をなすものとみなし、次式であらわすことにする。

$$K_s = al + b \quad (7)$$

ただし  $a, b$  は各種の作業条件によって定まる定数

#### 林道密度と平均集材距離との関係

適正林道密度を決定する費用函数の中で、集材費は極めて重要な因子であるが、集材費を林道密度の函数としてあらわすためには、上述の集材距離と集材費との関係のほかに、林道密度と平均集材距離との関係が明らかにされねばならない。

奥地林総合開発調査報告書(北海道開発庁)によれば、小川は特定区域内における平均最大集材距離を、その区域の面積と区域内の林道延長とで表わし、間接的に林道密度と平均最大集材距離との関係を求めているが、この理論を一步進めれば、平均集材距離を直接林道密度の函数としてあらわすことが可能であり、次のような仮想上のモデルを用いることにより両者の関係を求めることができる。



いま、面積  $A$  ha の循環団地内に  $L$  m の林道があって、集材は林道まで最短コースにより実施されるものと仮定し、現実の団地形状がいかなるものであっても、あらゆる場所の平均集材距離がすべて等しいような仮想のモデルは Fig. 8 に示すようなものとなる。

同図において

$$A \cdot 10^4 = 2\pi l^2 + 4lL'$$

なる関係があるから、 $d_r = L/A$ 、 $k = L'/L$  とおけば、

$$\frac{2\pi}{A} \cdot l^2 + 4kld_r - 10^4 = 0$$

ゆえに

$$l = \alpha(\sqrt{d_r^2 + \beta} - d_r) \quad (8)$$

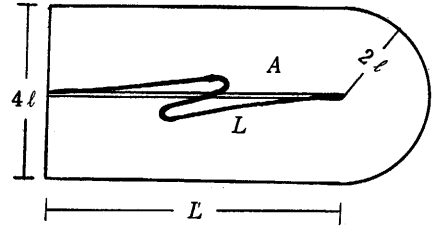


Fig. 8 林道密度と平均集材距離との関係を示す仮想上のモデル

Assumed model showing relations between the average distance of hauling and the density of forest road.

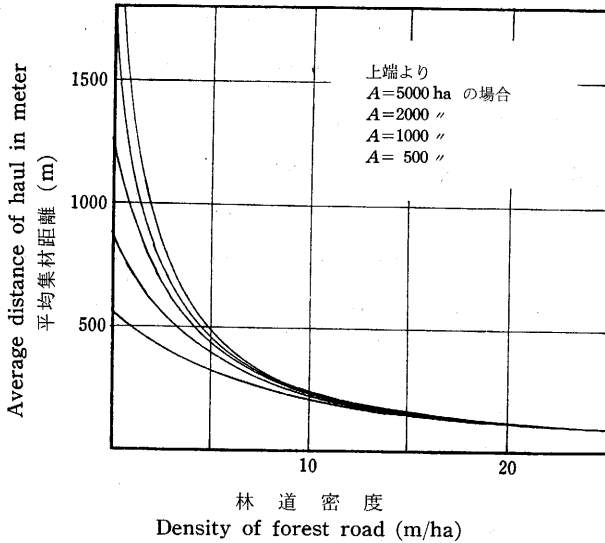


Fig. 9 林道密度と平均集材距離  
Average distance of haul varies with the density of forest road and the area of stand.

ただし  $\begin{cases} \alpha = k \cdot A / \pi \\ \beta = 10^4 \cdot \pi / 2A \cdot k^2 \end{cases}$

(8) 式が林道密度と平均集材距離との関係をあらわす式であるが、式中の団地面積に種々の値を代入して両者の関係を具体的に例示したものが Fig. 9 である。Fig. 9 を見れば、林道密度がほぼ 15 m/ha 以上の値となれば、循環団地の面積に大小があっても集材距離の差は殆ど認められなくなるが、林道密度が低い場合には、面積の大小によって平均集材距離はかなり大幅に変化することが分かる。

素材 1 m<sup>3</sup> 当りの集材費 (K<sub>s</sub>) の誘導

上述のごとく、集材距離と集材費ならびに林道密度と平均集材距離との関係が明らかとなれば、両者より素材 1 m<sup>3</sup> 当りの集材費を林道密度の関数としてあらわすことができる。すなわち (8) 式を (7) 式に代入すれば、

$$\begin{aligned} K_s (\text{円/m}^3) &= a \cdot \alpha (\sqrt{d_r^2 + \beta} - d_r) + b \\ &= c_3 (\sqrt{d_r^2 + \beta} - d_r) + b \end{aligned} \quad (9)$$

ただし

$$\left\{ \begin{array}{l} c_3 = a \cdot \alpha = \frac{akA}{\pi} \\ \alpha = \frac{kA}{\pi} \\ \beta = \frac{10^4 \pi}{2k^2 A} \\ a, b \text{ は作業条件によって定まる定数} \end{array} \right.$$

### III-3-4 林内運材費

#### 平均林内運材距離

運材費の中で、到達林道上の輸送費すなわち当該生産団地から市場に至る区間の輸送費は、循環団地内の林道密度の如何にかかわらず一定であるから、適正林道密度を算定する費用函数の中に含める必要はないが、林道の開設によって集材が運材に置換えられる部分の運材費すなわち林内運材費は、当然これを考慮に入れる必要がある。

一般に集材距離と運材距離との間には、集材距離が減少すれば運材距離は増大するという互に逆事象的な関係が存在するので、平均林内運材距離の算定には、平均集材距離の算定に用いた仮想モデルと同一のモデルを用いるのが適当であろう。

Fig. 8 に示したモデルにおいて、ha 当りの蓄積を一定と仮定すれば、平均林内運材距離は矩形部分にある材の平均運材距離と、半円部にある材の運材距離との面積（または蓄積）の加重平均としてあらわすことができる。すなわち、半円部  $2l^2\pi$  (m<sup>2</sup>) にある材の平均運材距離は  $kL$  (m)、矩形部分  $4klL$  (m<sup>2</sup>) にある材の平均運材距離は  $kL/2$  (m) であるから、平均林内運材距離は次式であらわされる。

$$\begin{aligned} \text{平均林内運材距離} &= \frac{2l^2\pi kL + 4klL(kL/2)}{2l^2\pi + 4klL} \quad (\text{m}) \\ &= \frac{2(l^2\pi kL + lk^2L^2)}{10^4 A} \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

しかるに  $d_r = L/A$ ,  $l = \alpha(\sqrt{d_r^2 + \beta} - d_r)$  であるから

$$\begin{aligned} \text{平均林内運材距離} &= \frac{kld_r}{5000}(\pi l + kAd_r) \\ &= \frac{\pi k\alpha^2}{5000}(d_r^3 + \beta d_r - d_r^2\sqrt{d_r^2 + \beta}) \quad (\text{m}) \quad (10) \end{aligned}$$

#### 素材 1 m<sup>3</sup> 当りの林内運材費 ( $K_i$ ) の誘導

木材のトラック輸送費は、総輸送距離の長短によって単位距離当りの運材費は変動するが、いま仮りに循環団地から市場に至る最終運材区間の 1 km・1 m<sup>3</sup> 当りの運材単価を  $U$  (円/m<sup>3</sup>・km) とすれば、材積 1 m<sup>3</sup> 当りの運材費  $K_i$  は次式で与えられる。

$$\begin{aligned}
K_t \text{ (円/m}^3\text{)} &= \frac{k\pi\alpha^2 U}{5 \times 10^6} (d_r^3 + \beta d_r - d_r^2 \sqrt{d_r^2 + \beta}) \\
&= c_4 (d_r^3 + \beta d_r - d_r^2 \sqrt{d_r^2 + \beta})
\end{aligned} \tag{11}$$

ただし

$$\begin{cases}
c_4 = \frac{k\pi\alpha^2 U}{5 \times 10^6} = \frac{k^3 A^2 U}{5 \times 10^6 \pi} \\
\alpha = \frac{kA}{\pi} \\
\beta = \frac{10^4 \pi}{2Ak^2}
\end{cases}$$

しかし上式を用いる場合に注意を要することは、現実の循環団地の形状が仮想モデルとほぼ同一の場合は問題ないが、通常後者は前者に比して細長い形状となることが多く、林道密度が密になるほどこの傾向が顕著になるから、このような場合には、計算上の林内運材距離が現実と比較して不当に過大となり、そのために適正林道密度の値も著るしく低く算出される結果となる。従って通常、林内運材距離に関する補正を後述のごとく行なう必要がある。

#### III-4 適正林道密度の算定式

適正林道密度を決定するための素材 1 m<sup>3</sup> 当りの費用関数  $K$  は、すでに III-1 において論じたように、林道開設費  $K_r$ ・林道維持費  $K_m$ ・集材費  $K_s$ 、および林内運材費  $K_t$  の四要素費用から構成される。すなわち

$$K \text{ (円/m}^3\text{)} = K_r + K_m + K_s + K_t \tag{12}$$

(4), (6), (9), (11) 式を (12) 式に代入すれば、

$$\begin{aligned}
K &= c_1 d_r + c_2 d_r + c_3 (\sqrt{d_r^2 + \beta} - d_r) + b + c_4 (d_r^3 + \beta d_r - d_r^2 \sqrt{d_r^2 + \beta}) \\
&= c_1 d_r^3 - c_4 d_r^2 \sqrt{d_r^2 + \beta} + (c_1 + c_2 - c_3 + c_4 \beta) d_r + c_3 \sqrt{d_r^2 + \beta} + b
\end{aligned} \tag{13}$$

ただし、当該循環団地内に公道もしくは既設林道が  $D$  (m/ha) なる密度で開設されている場合には、上記  $c_1 \cdot d_r$  は  $c_1(d_r - D)$  と改め、同様に維持費も、林内に公道が通じていれば公道の密度を  $D'$  (m/ha) とし、 $c_2 d_r$  を  $c_2(d_r - D')$  として計算すればよいのであるが、適正林道密度を求めると場合には (13) 式の結果と等しくなる。

次に適正林道密度は (13) 式の費用関数の値を最小とする林道密度であるから、(13) 式を  $d_r$  について微分し、その値を零ならしむる  $d_r$  の値を求めればこれが適正林道密度となる。すなわち、

$$\frac{dK}{dd_r} = 3c_4 d_r^2 - 2c_4 d_r \sqrt{d_r^2 + \beta} - \frac{c_4 d_r^3}{\sqrt{d_r^2 + \beta}} + \frac{c_3 d_r}{\sqrt{d_r^2 + \beta}} + (c_1 + c_2 - c_3 + c_4 \beta) \tag{14}$$

(14) 式の右边を零とおいて、 $d_r$  について整理すれば、

$$\begin{aligned}
3c_4(2c_1 + 2c_2 + c_4\beta)d_r^4 + [(c_1 + c_2 - c_3 + c_4\beta)(c_1 + c_2 - c_3 + 7c_4\beta) - (c_3 - 2c_4\beta)^2]d_r^2 \\
+ (c_1 + c_2 - c_3 + c_4\beta)^2\beta = 0
\end{aligned} \tag{15}$$

上式の定数部分を置換えれば

$$R_1 d_r^4 + R_2 d_r^2 + R_3 = 0 \quad (16)$$

ただし

$$\begin{cases} R_1 = 3c_4(2c_1 + 2c_2 + c_4\beta) \\ R_2 = (c_1 + c_2 - c_3 + c_4\beta)(c_1 + c_2 - c_3 + 7c_4\beta) - (c_3 - 2c_4\beta)^2 \\ R_3 = (c_1 + c_2 - c_3 + c_4\beta)^2\beta \end{cases}$$

$d_r$  の値は負の値は取りえないから  $d_r$  は結局次式で与えられる。

$$d_r \text{ (m/ha)} = \sqrt{-\frac{R_2}{2R_1} \pm \sqrt{\left(\frac{R_2}{2R_1}\right)^2 - \frac{R_3}{R_1}}} \quad (17)$$

ここに

$$\begin{cases} c_1 = \frac{m \cdot \gamma_m \cdot C_r}{q(1+s)d_v} \left[ \frac{2n-m+1}{2n} + \frac{(1+p)^2-1}{m\gamma_m} \right] \\ c_2 = \frac{(n+1)C_m}{2(1+s)qd_v} \\ c_3 = \frac{akA}{\pi} = \alpha a \\ c_4 = \frac{A^2U}{5 \times 10^6 \pi} = \frac{\pi \alpha^2 U}{5 \times 10^6} \\ \alpha = \frac{kA}{\pi} \\ \beta = \frac{10^4 \pi}{2Ak^2} \end{cases}$$

$n$ : 素材生産の一循環年数 (年),  $m$ : 林道借入金の償還年数 (年),  $p$ : 林道借入資金の借入利率 (年利),  $\gamma_m$ :  $m$  年均等償還する場合の年返済額係数,  $q$ : 造材歩止り,  $s$ : 間伐収穫率,  $C_r$ : 林道平均開設単価 (円/m),  $C_m$ : 林道の単位長当りの年平均維持費 (円/m・年),  $U$ : 運材単価 (円/m<sup>3</sup>・km),  $A$ : 循環団地面積 (ha),  $d_v$ : 主伐時の単位面積当りの蓄積 (m<sup>3</sup>/ha),  $a$ : 集材費係数

(17) 式の根号内にある  $\pm$  符号のいずれを採るべきかは、個々の計算ごとに (14) 式を用いて、極値検定を行なったのちに決定しなければならない。

(17) 式を用いれば一応適正林道密度の算定ができるわけであるが、前述せごとく (17) 式の演繹に用いられた林内運材距離のパターンでは、現実の運材距離に比して算定値が長くなり、過大に算出された林内運材費のために算定密度が不当に過小な値となることが多い。従って (17) 式から算出した結果を、直ちに適正林道密度とみなすことは不合理であって、これを林内運材費に関して補正する必要がある。

いま、林内運材費を考慮しない場合の林道密度は、(15) 式において  $c_4=0$  とおくことにより

$$d_r' \text{ (m/ha)} = \sqrt{\frac{(c_3 - c_1 - c_2)^2 \beta}{(c_1 + c_2)(2c_3 - c_1 - c_2)}} \quad (18)$$

とあらわすことができる。(18)式から得られた $d_r'$ の値は、単位距離当りの運材単価を零、換言すれば理論パターン上での運材距離を零とみなした場合の林道密度であるから、(17)・(18)両式から算定した林道密度の数値の差は、(10)式で与えられる平均林内運材距離に対する運材費の影響と考えられる。従ってこの密度の差を理論上の林内運材距離と、現実的林内運材距離の比に比例配分し、過大運材距離に対する分を修正することが必要である。すなわち適正林道密度の修正は次式のごとく行なわれる。

$$[d_r] = d_r' - (d_r' - d_r) \frac{4\alpha(\sqrt{d_r'^2 + \beta} - d_r)}{B} \quad (19)$$

ここに  $[d_r]$ : 修正林道密度

$d_r$ : (17)式より求めた林道密度

$d_r'$ : (18)式より求めた林道密度

$B$ : 循環団地の現実の幅 (m)

### III-5 理論式の適用例

本節においては、(17)式中に用いられる各因子の値を現実の具体例をもとにして想定し、特定の条件下における林道密度がいかなる値となるかを例示する。

#### III-5-1 条件の設定

##### 循環団地の規模

循環団地の定義は III-1 において規定したとおりであるが、このような施業団地は国有林の製品生産事業では現実の循環団地をもって一応あてはめることができる。民有林の森林計画区においては、このような統一的な循環団地は考えられないが、仮に林道網完成後における林内集運材費(含林道開設費および林道維持費)を最小ならしめるという観点に立てば、国有林の循環団地のごとき施業林地モデルを理論上想定することは可能であろう。

従って本稿においては、国有林の循環団地を規模決定の参考とするのであるが、循環団地の規模は各事業地の施業法・ha 当りの立木蓄積・林相など多くの条件に左右され、国有林においても区々たる様相を呈し、単純にこれを決めることは困難な状態にある。しかしわが国の地形および生産方式の中で、比較的代表的と考えられる a) 急峻山岳林における集材機集材作業、b) 緩斜地におけるトラクタ集材作業の二つの形態を考えた場合、それぞれの型に属する東京営林局西部、帯広営林局における循環団地の現況は、静岡地区では面積約 2,000 ha~6,000 ha (循環年数 40 年または 50 年) 平均 3,500 ha、帯広地区では 3,000 ha~13,000 ha、平均 6,300 ha となっている。

従来、直営製品生産事業所の設置基準は、事業所の年間生産量が針葉樹 10,000 m<sup>3</sup> 以上、広葉樹 15,000 m<sup>3</sup> 以上ある場合とされているから、仮に針葉樹人工林の平均蓄積が 200 m<sup>3</sup>/ha、天然広葉樹林 150 m<sup>3</sup>/ha、循環年数を 50 年とすれば、循環団地の必要面積は針葉樹林 2,500 ha、

広葉樹林 5,000 ha となる。以上の諸点を勘案して、本節においては、山岳林における集材機作業の場合 2,500 ha および 5,000 ha、緩斜地におけるトラクタ作業の場合 5,000 ha および 10,000 ha という循環団地面積を用いることにする。

#### 林道開設経費

一般に、林道事業費は工事費と設計監督費とに区分され、工事費はさらに本工事費・附帯工事費・機械器具費・用地費・補償費・工事雑費等に分けられる。細目は直営・請負の別によって多少の相異はあるが、これらの経費のすべてが事業遂行上不可欠なものであるから、ここにいう林道開設経費は、工事費と設計監督費との計、すなわち林道事業費総額を指すものとする。ここではこのような林道開設経費として、前記循環団地の類型ごとに次の数値を与えるものとする。

山岳林の循環団地：2,500, 5,000, 10,000, 20,000 円/m

緩斜林の循環団地：1,000, 2,000, 4,000, 6,000 円/m

#### 林道維持費

林道の維持修理費は、いわゆる路面の維持修理と災害による特別修理、あるいは改良工事等に分けることができるが、後者は極めて突発的かつ一時的と考えられるから、これらについては必要事態発生つど、別途に考慮して、これに要した経費を生産コストの中に算入するものとし、ここでは恒常的に必要な路面維持・小修理等を対象とする。

現在、林道の単位延長当りの維持修理費の実績が年間どの程度であるかを国有林の資料から概観すれば、Table 2 のとおりである。

Table 2 昭和 37 年度林道（自動車道）維持修理費実績調  
Annual cost of road maintenance in Tokyo and Obihiro National Forest.

地 区	種 別	補修延長 (m)	経 費 (円)				平均単価 (円)	1級, 2級 単価平均 (円)
			事 業 費	分 担 経 費	事業共通費	計		
東 京 局	1 級	15,827	3,110,611	1,974,577	338,986	5,424,174	343	140
	2 級	575,078	43,101,020	30,133,795	4,342,594	77,577,409	135	
帯 広 局	1 級	463,003	51,981,103	22,975,706	1,570,327	76,528,136	165	154
	2 級	723,791	75,740,685	28,615,798	2,288,050	106,644,533	147	

(特別維持修理費, 改良工事を除く, 補修延長は管内林道延長)

Table 2 によれば、林道（自動車道）の維持修理費は、年間 1 m 当り約 135~343 円/m となっているが、1・2 級の種別を区分せずに平均的数値をとれば、東京営林局ではほぼ 140 円/m、帯広営林局では 150 円/m となっている。本稿においては、林道維持修理の今後の機械化施行による能率化および工費の軽減を考慮して、上記の数値より多少低目の値をとり、両地区とも 120 円/m を用いることにする。

## 集材費と集材距離との関係

(7) 式に示す集材距離と集材経費との関係、すなわち同式の係数決定には、生産手段・作業仕組・工程編成および育林作業種・地況・林況・生産量など各種の作業条件に応じた実績資料が必要である。

元来この種の資料は、各種現場制約因子の組合わせによるいくつかの作業類型に応じた標準作業方式がほぼ確立され、作業速度（工程）もほぼ標準的なものであることが必要であるが、現段階では作業方式が極めて多様であるのみならず、作業速度も各生産現場ごとに大幅な変化を示しているため、いま直ちに或る特定の作業地の条件に厳密に合致するような集材距離と生産費との関係を求めることは、非常に困難である。従ってここでは現在わが国の代表的な生産手段と考えられる集材機ならびにトラクタによる作業の中から、比較的急峻な山岳林における集材機作業（皆伐）および緩斜地でのトラクタ作業（択伐）を抽出し、集材距離と集材コストとの間に概略どのような関係があるかを調べ、これを適正林道密度の算定式に使用するものとする。

平均集材距離と集材費との関係を、林野庁資料“生産プロセスの実態調”（昭和38年度）により求めれば、Table 3 のとおりである。

Table 3 平均集材距離と集材コスト  
The unit cost of hauling in accordance with average hauling distance.

集材機作業			トラクタ作業		
$l$ (m) 平均集材距離	( $m^3$ ) 生産数量	$y$ (円/ $m^3$ ) $1m^3$ 当り 集材原価	$l$ (m) 平均集運材距離	( $m^3$ ) 生産数量	$y$ (円/ $m^3$ ) $1m^3$ 当り 集運材原価
80	3,749	729	270	706	780
695	807	1,767	400	2,515	794
565	1,122	1,138	500	2,798	581
380	2,307	912	680	1,356	1,070
505	2,187	1,221	800	2,563	1,381
120	2,094	568	900	2,135	2,007
160	607	1,026	780	6,623	1,112
440	1,193	899	750	404	1,576
340	2,763	728	600	655	1,119
530	912	1,133	300	1,265	649
330	1,484	1,010	480	8,159	1,008
280	800	603	530	12,247	975
330	1,230	735	400	10,738	866
165	2,508	558	1 $m^3$ 当りの集材原価には、機械償却費が含まれる		
235	636	992			
345	1,906	1,085			
700	2,404	1,403			
605	1,170	1,630			
平均立米回り 立木蓄積 皆伐	0.5~1.5 $m^3$ /本 250~350 $m^3$ /ha	平均立米回り 収穫材積 択伐	1.5~2.5 $m^3$ /本 60~90 $m^3$ /ha (30%)		

Table 3 から直接集材距離と  $1\text{ m}^3$  当りの集材費との関係を最小自乗法で求めることもできるが、ここに示された集材費の中には機械の償却費が入っている。国有林では従来、集材機・トラクタ等の償却年限を5年と定め、年均等償却額を年生産量で除した値を  $1\text{ m}^3$  当りの償却額としているから、機械に休止期間が多く、年間生産量が極度に少ない場合には、 $1\text{ m}^3$  当りの償却額も極めて高くなる。従って Table 3 から直ちに集材距離と集材コストとの関係を求めることは適切ではない。そこで償却費の修正を必要とするわけであるが、いま仮に集材機の機種を大型集材機（購入価格 120 万）、トラクタを 3~4 ton 級（購入価格 230 万）、定額償却年限を従来どおりいずれも5年（ただし昭和 38 年度からは新たに“主要機械更新規準”が規定され、機械によって年限が異なる）とし、さらに年生産数量を集材機地区  $10,000\text{ m}^3$ 、トラクタ地区  $15,000\text{ m}^3$  とみなして Table 3 の値を修正すれば Table 4 のごとくなり、同表より集材距離と集材費との関係を求めれば次のとおりとなる。

集材機作業

$$K_s (\text{円}/\text{m}^3) = 1.47l + 288 \quad (a=1.47)$$

トラクタ作業

$$K_s (\text{円}/\text{m}^3) = 1.57l + 215 \quad (a=1.57)$$

Table 4 平均集材距離と集材費（償却費修正後）

The unit cost of haul in accordance with average hauling distance, corrected with respect to the cost of repayment of machines.

集材機作業			トラクタ作業		
$l$ (m) 平均集材距離	( $\text{m}^3$ ) 生産数量	$y$ (円/ $\text{m}^3$ ) $1\text{ m}^3$ 当り 集材原価	$l$ (m) 平均集運材距離	( $\text{m}^3$ ) 生産数量	$y$ (円/ $\text{m}^3$ ) $1\text{ m}^3$ 当り 集運材原価
80	10,000	689	270	15,000	159
695	〃	1,494	400	〃	642
565	〃	948	500	〃	448
380	〃	832	680	〃	762
505	〃	1,135	800	〃	1,233
120	〃	477	900	〃	1,823
160	〃	655	780	〃	1,074
440	〃	722	750	〃	468
340	〃	665	300	〃	316
530	〃	894	480	〃	983
330	〃	872	530	〃	968
280	〃	327	400	〃	854
330	〃	564	600	〃	448
165	〃	486			
235	〃	639			
345	〃	983			
700	〃	1,327			
605	〃	1,449			



### 素材 1 m<sup>3</sup> 当りの集材費と林道密度との関係

前項にて決定された係数を (9) 式に代入すれば、素材 1 m<sup>3</sup> 当りの材内集材費 ( $K_s$ ) が得られ、次式で示される。

#### 集材機作業

$$K_s (\text{円/m}^3) = \frac{1.47A}{\pi} (\sqrt{d_r^2 + \beta} - d_r) + 288$$

#### トラクタ作業

$$K_s (\text{円/m}^3) = \frac{1.57A}{\pi} (\sqrt{d_r^2 + \beta} - d_r) + 215$$

$$\text{ただし } \beta = \frac{10^4 \pi}{2A} \quad (\text{簡単にするため } k=1 \text{ とした})$$

### 林内運材費

素材 1 m<sup>3</sup> 当りの林内運材費は (11) 式より算定するのであるが、式中の運材単価  $U$  は、個々の循環団地ごとに団地から市場までの距離に応ずる値を用いることは前述のとおりである。最近の国有林における現実の運材距離は、事業地の奥地移行に伴ってかなり長くなっており、30~40 km におよぶ場合も稀ではない。よって本稿においては、運材距離を 40 km と想定し、これに対する 1 km・1 m<sup>3</sup> 当りの運材コスト 15 円を使用する。

#### その他の条件

循環年数	集材機地区	$n=50$ (年)
	トラクタ地区	$n=60$ (〃)
借入資金の年利率		$p=0.05$
借入資金の償還年数		$m=15$ (年)
造材歩止り		$q=0.75$
間伐収穫率 (集材機地区のみ)		$s=0.3$

Table 5 条件因子一覧  
Assumed conditions.

作業法	団地面積 $A$ (ha)	循環年数 $n$	利率 $p$	償還年数 $m$	造材歩止り $q$	間伐収穫率 $s$	林道開設費 $C_r$ (円)	維修費 (円) $C_m$	集材費		運材単価 $U$ 円	立木蓄積 $d_v$ (m <sup>3</sup> /ha)
									$a$	$b$		
集材機作業	2,500	50	0.05	15	0.75	0.3	2,500, 5,000, 10,000, 20,000	120	1.47	288	15	50, 150, 250, 350, 450
	5,000	50	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	15	〃
トラクタ作業	5,000	60	〃	〃	〃	—	1,000, 2,000, 4,000, 6,000	〃	1.57	215	〃	〃
	10,000	60	〃	〃	〃	—	〃	〃	〃	〃	〃	〃

(ただし集材機地区は皆伐、トラクタ地区は 30% 択伐とする)

## III-5-2 適正林道密度の算定例

上述のごとく想定した各因子の数値を (17), (19) 式に代入して, 或る条件下における適正林道密度を算定し, その結果を例示したものが Fig. 10~13 である。

Table 5 は, 各種の条件因子の組み合わせがかなり複雑であるからこれを整理して再掲したものであり, 同表から (17) 式に代入すべき,  $c_1, c_2, c_3, c_4, \beta$  等の各係数値を算出したものが Table 6 である。

Table 6 係数値算出表  
Calculated values of  $c_1, c_2, c_3, c_4$  and  $\beta$  in accordance with conditions.

$c_1$  表

$d_v$	$n$	50				60			
		$C_r$	2,500	5,000	10,000	20,000	1,000	2,000	4,000
50	68.77	137.54	275.08	550.16	36.53	73.05	146.10	219.16	
100	34.39	68.77	137.54	275.08	18.26	36.53	73.05	109.58	
150	22.93	45.85	91.69	183.38	12.18	24.35	48.70	73.05	
200	17.19	34.39	68.77	137.54	9.13	18.26	36.53	54.79	
250	13.75	27.51	55.02	110.03	7.31	14.61	29.22	43.83	
300	11.46	22.93	45.85	91.69	6.09	12.18	24.35	36.53	
350	9.82	19.65	39.30	78.59	5.22	10.44	20.87	31.31	
400	8.60	17.19	34.39	68.77	4.57	9.13	18.26	27.39	
450	7.64	15.28	30.56	61.13					

$c_2$  表 ( $C_m=120$ )

$d_v$	$n$	$C_m$	
		50	60
50	62.77	120	120
100	31.38	120	120
150	20.92	120	120
200	15.69	120	120
250	12.55	120	120
300	10.46	120	120
350	8.97	120	120
400	7.85	120	120
450	6.97	120	120

$c_3$  表

$A$	$c_3$	
	$a=1.47$	$a=1.57$
2,500	1170.38	
5,000	2340.76	2500.00
10,000		5000.00

$c_4$  表 ( $U=15$ )

$A$	$c_4$
2,500	5.97
5,000	23.88
10,000	95.54

$\beta, c_4\beta$  表

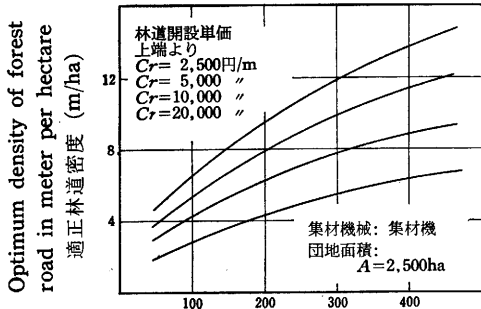
$A$	2,500	5,000	10,000
$\beta$	6.28	3.14	1.57
$c_4\beta$	37.49	74.98	150.00

## III-6 考 察

適正林道密度算定式に用いられた各種要素費用が, それぞれ密度の決定にいかなる影響をおよぼすかを考察すれば, おおむね次のとおりである。

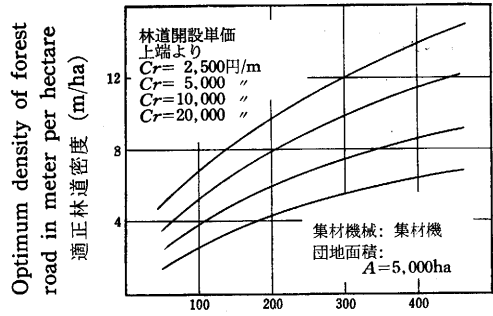
## III-6-1 林道開設費の影響

まず第一に, 適正林道密度を算定する場合に極めて重要な要素となる林道開設費に関する係



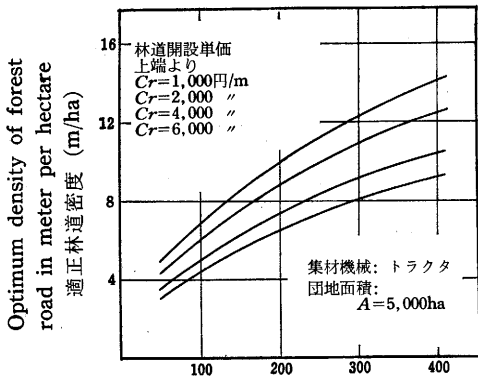
単位面積当り平均立木材積 ( $m^3/ha$ )  
Average volume of timber in cubic  
meter per hectare

Fig. 10



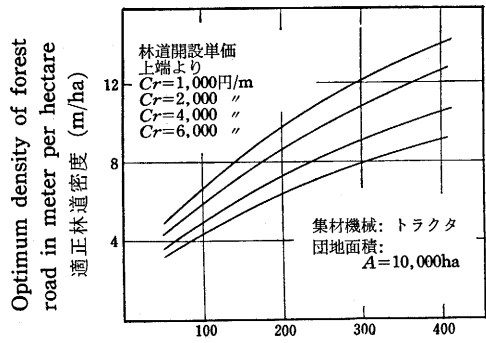
単位面積当り平均立木材積 ( $m^3/ha$ )  
Average volume of timber in cubic  
meter per hectare

Fig. 11



単位面積当り平均立木材積 ( $m^3/ha$ )  
Average volume of timber in cubic  
meter per hectare

Fig. 12



単位面積当り平均立木材積 ( $m^3/ha$ )  
Average volume of timber in cubic  
meter per hectare

Fig. 13

Fig. 10~13 適正林道密度の算定例

Calculated values of optimum density of forest road.

数, すなわち単位林道密度に対する林道開設費の材積  $1 m^3$  当りの負担額  $c_1$  は, 8 コの要素で構成されており, その殆どすべてのものが育林上の施業条件によって個々の循環団地ごとに定まる定数である。  $c_1$  を決定する要素の中で生産林地の地形・林況によって団地ごとに变化するものは, わずかに林道開設単価  $C_r$  および単位面積当りの立木蓄積  $d_0$  のみであって, 資金の借入利率も金融制度上の問題であるから, 任意の値をとることはできない数値である。

従って  $c_1$  の値は主として  $C_r$  および  $d_0$  の値によって左右され, その変化の状況は Table 6 に示されている通りである。同表によれば,  $C_r$  が高くなるほど, また  $d_0$  が少ないほど  $c_1$  の値は高くなる。一方, Fig. 10~13 を見れば容易に推察されるように,  $c_1$  の値が増加するほど林道密度は低下する。このことは, 林道開設単価が高いほど, さらに林道開設費を負担する立木材積が少ないほど (ha 当りの蓄積が少ないほど) 適正林道密度は低下するという結果になるが, これ

は当然の帰結であって、このことから、今後わが国の機械化林業の育成とその発展強化のための林道網を先進諸外国なみに拡充するには、林道開設単価をいかにして低廉ならしめ、林地の期待生産力の増大をどのようにして計るかということが、重要な課題となることが知れよう。

また逆に、林道開設単価ならびに期待生産力の改善が、わが国の自然的条件の制約により技術的に困難な場合は、その林地に適合した林道密度に当分の間甘んじなければならぬことも、経済原則からみて当然のことである。

本章において想定した諸条件下においては、通常 5~15 m/ha の密度が適当であるとの結果が得られたが、要するにわが国における期待可能な自然的或は技術的諸条件に応じた適正な林道密度を、個々の団地生産ごとに把握することが何よりも肝要である。

### III-6-2 集材費の影響

素材 1 m<sup>3</sup> 当りの集材経費に関する係数  $c_3$  は、前記林道開設費とは異なり、直接単位林道密度に対する集材費をあらわす数値ではない。それゆえに、この値の大小によって直ちに密度の大小を云々することはできないが、 $c_3$  の値を決定する集材距離別集材費の勾配係数  $a$  の大小は、密度の決定に大きな役割を果たし、試算によれば  $a$  の値が増加すれば高い密度が得られることが分かる。 $a$  の値が増大することは、集材距離の増大による材積 1 m<sup>3</sup> 当りの集材費の増加率が高くなることを意味するから、このような生産手段、たとえば小型集材機集材・トラッククレーン集材・トラクタ集材等を採用する場合には、集材費増加率の緩慢な集材法、たとえば中・大型集材機による集材法を採用する場合よりも高い密度の林道を導入しうることになり、このことは損益分岐点理論から推論してもうなづけることである。

### III-6-3 林道維持費および林内運材費の影響

単位林道密度に対する林道維持費の材積 1 m<sup>3</sup> 当りの負担額  $c_2$  は、(6) 式により与えられるが、同式より明らかなごとく、仮に循環団地の作業継続年数  $n$ 、間伐収穫率  $s$ 、造林歩止り  $q$  を一定と考えれば、 $c_2$  の値は林道の単位延長当りの年間維持費  $C_m$  に比例し、ha 当りの立木蓄積に逆比例する。Table 6 と Fig. 10~13 とを比較すれば、 $c_2$  の値が減少するほど適正林道密度の値は減少するから、 $C_m$  の値が少ないほど密度は高くなり、 $C_m$  を一定とすれば  $d_0$  の値が大きくなるほど密度は高くなる。

林内運材費は、(11) 式においては著るしく循環団地の面積の大小に左右される結果となる。これは同一の林道密度であれば、面積に比例して総運材距離も長くなるという仮想モデルを設定したからであって、現実の輸送距離よりもモデル上の運材距離が長く算定されるからである。従って (18), (19) 式によりこの算定林道密度を修正すれば、他の条件が一定ならば、循環団地の面積の大小にかかわらずほぼ同一の密度となる。

Fig. 14~17 は、林道維持費および林内運材費の個々の影響を図示したものであるが、同図において、曲線 ① は林道維持費・林内運材費の双方とも考慮しない場合の林道密度である。すな

わち, (15) 式において  $c_2=0$ ,  $c_4=0$  とおいて導いた式

$$d_r = \sqrt{\frac{c_1(2c_3 - c_1)}{(c_3 - c_1)^2 \beta}} \quad (20)$$

により求めた曲線であり, ② は林内運材費のみを無視した場合, すなわち (18) 式より求めた密度曲線, ④ は (17) 式より求めた原曲線, ③ は (19) 式を用いて林内運材距離を修正した適正林道密度をあらわす曲線である。

曲線 ①, ② 間の密度の差は林道維持費によってもたらされたものであり, ②, ③ の差は林内運材費の影響を示しているわけであるが, 総体的傾向として, 林道維持費および林内運材費の影響は, 林道開設単価が低い場合に特に顕著である。かつまた林内運材費は林道維持費に比べて影響ははるかに少なく, 決定的に重要な密度決定要素ではないことが分かる。従って概略的林道密

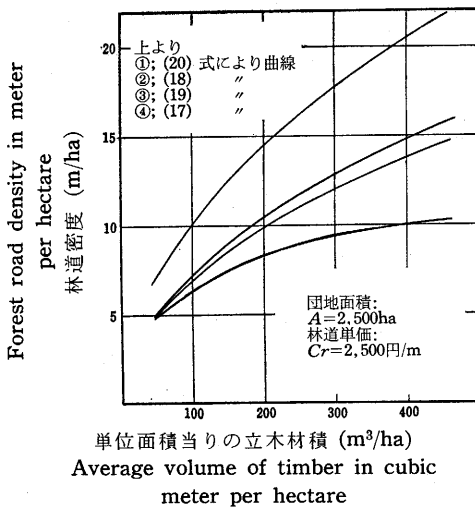


Fig. 14

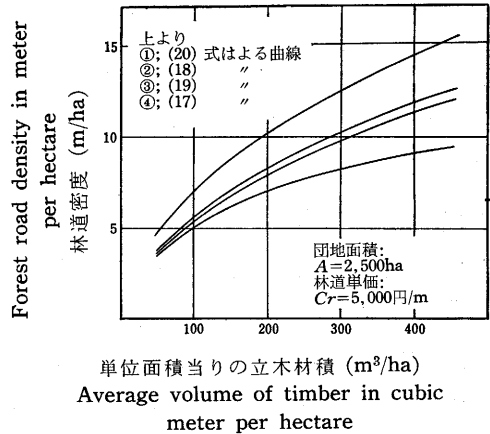


Fig. 15

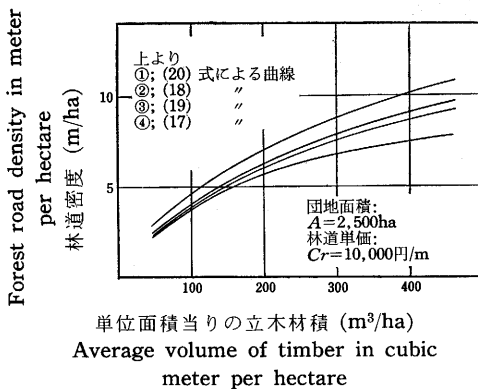


Fig. 16

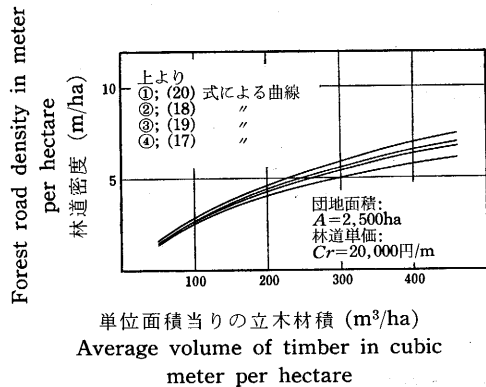


Fig. 17

Fig. 14~17 個々の因子の影響

Influences of each component such as  $c_2$ ,  $c_4$ .

度の算定には、(17)式～(19)式のかわりに(20)式を用いてもほぼ近似的な値が得られることが分かる。

林道の開設単価が低い場合に、林道維持費が極めて大きな影響力を持つのは、林道維持の対象となる区間が林道開設の進行に伴って年々累加される結果、 $C_r$ が安くかつ密度が高い場合には、林道維持費の負担額が林道開設費の負担額に匹敵もしくはこれを凌駕するようになるからであって、Ⅲ-4の条件下においては、 $C_r < 2287$ 円/mの範囲では $c_1 < c_2$ となるからである。

以上の解析の結果、 $c_1$ 、 $c_2$ の値を小さくすることは、林道密度の拡充にとって極めて効果的であり、今後、より集約な林業経営を営む生産基盤造成のためには、機械化施工もしくはロケーションの改善による林道開設費ならびに林道維持費の軽減につとめることが極めて重要となることはもちろん、単に機械化による施工能率の向上のみならず、 $c_2$ 軽減のために路面恒久舗装の経済性に関する問題、あるいは車輛速度の上昇による輸送費軽減、およびこれに附随した高級林道の経済性に関する問題等、多くの新しい問題の追求が必要となってくる事が分かる。

#### IV. 限界林道密度

(17)式或は(19)式から求めた適正林道密度は、循環団地を対象とした素材生産費、しかもその中の林内集運材費(含林道関係費用)のみを最小とする密度であった。しかし林業経営の場において、林道の果す役割は、独り伐木集運材を主体とする素材生産部門のみならず、造林・撫育・治山・森林管理など、木材生産の育成段階から採取段階および森林の保全に至るすべての分野に亘って合理化の基盤を与えるものであり、これによって各種の作業費の軽減・管理費の節減など、経営管理上多くの便益がもたらされることはいうまでもない。従って林業が木材の育成に始まり、素材の生産およびその販売をもって終りとするならば、前述のごとく林業の一局面に過ぎない素材生産部門に与える効果のみをもって、林道の適正密度を決定することは不十分であり、極部的な生産計画の樹立を目的とする場合のほかは、林業のあらゆる部門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なければならないことは当然であろう。

しかしながら現段階においては、伐出部門以外に与える林道開設の効用については、単にそれが有効であると観念的に認められているに過ぎず、計量的な把握は未だなされてはいない。たとえば造林事業における諸作業にあっては、林道の開設によって作業員の通勤は機動性を増し、通勤時間の短縮による実働時間の上昇、あるいは資材輸送の機械化とスピードアップによる輸送費の軽減など、もろもろの便益が期待される。さらに管理面においても、業務の能率化・労務者の通勤化に基づく宿泊施設費或は手当の節減等々、一般管理費の軽減も当然予期されるのであるが、これらはいずれも単なる観念的評価にとどまるのみであって、その計量化が試みられたことはなかった。それは従来わが国においても、また諸外国においても林道の効用をより多面的な観点から究明しようとする考え方が少なく、そのために各種の間接的な効用をいかに計量化するか

の方法論が確立されず、これに使用しうる資料の蓄積も行なわれなかったところに大きな原因がある。今後この分野における基礎的研究は、林道網の適確な配置、ひいては合理的な林業経営の実現にとって不可欠の要項と考へてしるべきであろう。

本稿ではこのような現況にかんがみ、現時点において、総合的見地から林道網拡充の限度を究明しうる一つの可能な考へ方として、林業経営の近代化および合理化の基礎となる林道への投資が、仮に素材生産費を最小にする値を超えるものであつても、将来、造林・撫育・管理・保護・保全等各分野に与える多大の便益を期待して、現在の企業余力の許す限りの投資を林道に対して行なうという前提に立ち、林道網拡充限度(限界林道密度)の算定を試みようとするものである。

#### IV-1 限界生産費

上記のごとき観点から、限界林道密度を求めるには、限界生産費(限界林内集運材費)を考慮しなければならない。

いま、造林・撫育はもちろん、素材の生産および販売までを包括する林業企業体において、造林費・撫育費を再生産に要する費用とみなせば、生産活動の結果から得られる企業利潤は、

$$\text{利潤} = (\text{販売収入}) - (\text{経営管理費}) - (\text{生産費})$$

ただし生産費 = (伐木費) + (造材費) + (林内集運材費) + (運材費) + (土場費) + (造林・撫育・保護費) であらわされる。

上式において、仮に経営管理費を林道密度に関係なく一定とみなし、生産費中の伐木・造材費・運材費・土場費および造林撫育保護費も施業林地の地利・地形および作業条件に応じた定数と考へれば、林内集運材費を最小にする林道密度は、利潤を最大にする密度、すなわち前章にて求めた適正林道密度となる。

しかしこの際、最大の利潤を追求することなく必要最小限の利潤にとどめ、余剰利潤は林内集運材費、なかんずく林道開設費および林道維持費に投入しうるものとすれば、その時の林内集運材費は、企業逐行上許容しうる最大の値であり、限界林内集運材費となる。すなわち

$$\text{限界林内集運材費 } (K_{\max}) = (\text{販売収入}) - (\text{経営管理費}) - (\text{林内集運材費以外の生産費}) \\ - (\text{必要最小限の利潤})$$

ただし限界林内集運材費の中には林道開設費および林道維持費が含まれる。

林道密度の拡充限度すなわち限界林道密度は、上記の限界林内集運材費を与えるような林道密度であり、その値は(13)式において  $K = K_{\max}$  とおいたときの  $d_r$  に関する方程式の根として与えられる。ただしここにいる造林・撫育・保護費は、当該年度に必要な地区の造林関係費用の合計額を、その年の素材年生産量で除した値、すなわち素材  $1 \text{ m}^3$  が負担すべき造林関係の年負担経費を意味し、管理費も同様に単位材積当りの年経費負担額とする。

#### IV-2 限界林道密度の算定

本節で用いる記号を次のごとく定める。

$I$ : 販売価格 (円/m<sup>3</sup>)

$I'$ : 必要最小限の利潤 (円/m<sup>3</sup>)

$K_f$ : 伐木費 (円/m<sup>3</sup>)

$K_c$ : 造材費 (円/m<sup>3</sup>)

$K_t$ : 運材費 (円/m<sup>3</sup>)

$K_y$ : 土場費 (円/m<sup>3</sup>)

$K_a$ : 造林撫育保護費 (円/m<sup>3</sup>)

$K_{\max}$ : 限界林内集運材費 (円/m<sup>3</sup>)

$K_M$ : 経営管理費 (円/m<sup>3</sup>)

$d_{rm}$ : 限界林道密度

一般に或る循環団地内に、すでに  $D$  (m/ha) なる既設林道 (含林内公道) が開設されているものとし、 $D$  (m/ha) の中で維持修理費を必要としない公道が  $D'$  (m/ha) あるものとすれば、林内集運材費  $K$  は (13) 式より次のごとく導かれる。

$$K \text{ (円/m}^3\text{)} = c_4 d_r^3 - c_4 d_r^3 \sqrt{d_r^2 + \beta} + c_3 \sqrt{d_r^2 + \beta} + (c_1 + c_2 - c_3 + c_4 \beta) d_r - c_1 D - c_2 D' + b \quad (21)$$

一方、前節によって限界林内集運材費は次式によって与えられる。

$$K_{\max} \text{ (円/m}^3\text{)} = I - I' - (K_f + K_c + K_t + K_y + K_a) - K_M \quad (22)$$

従って限界林道密度は、限界林内集運材費  $K_{\max}$  を与えるような林道密度であるから、(21) 式の  $K$  の値を  $K_{\max}$  とおいて得られた (23) 式を  $d_r (=d_{rm})$  に関して解くことにより、その解が得られる。

$$K_{\max} \text{ (円/m}^3\text{)} = c_4 d_{rm}^3 - c_4 d_{rm}^2 \sqrt{d_{rm}^2 + \beta} + c_3 \sqrt{d_{rm}^2 + \beta} + (c_1 + c_2 - c_3 + c_4 \beta) d_{rm} - c_1 D - c_2 D' + b \quad (23)$$

故に

$$c_4 d_{rm}^3 + (c_1 + c_2 - c_3 + c_4 \beta) d_{rm} - (c_1 D + c_2 D' + K_{\max} - b) = (c_4 d_r^2 - c_3) \sqrt{d_{rm}^2 + \beta}$$

両辺を自乗して整理すれば

$$d_{rm}^4 + g d_{rm}^3 + h d_{rm}^2 + i d_{rm} + j = 0 \quad (24)$$

ここに

$$g = \frac{2c_4(c_1 D + c_2 D' + K_{\max} - b)}{c_4(2c_1 + 2c_2 + c_4 \beta)}$$

$$h = \frac{(c_1 + c_2 + c_4 \beta)^2 - 2c_3(c_1 + c_2)}{c_4(2c_1 + 2c_2 + c_4 \beta)}$$

$$i = \frac{-2(c_1 + c_2 - c_3 + c_4 \beta)(c_1 D + c_2 D' + K_{\max} - b)}{c_4(2c_1 + 2c_2 + c_4 \beta)}$$

$$j = \frac{(c_1 D + c_2 D' + K_{\max} - b)^2 - c_3^2 \beta}{c_4(2c_1 + 2c_2 + c_4 \beta)}$$



(24) 式を変形して

$$\left(d_{rm}^2 + \frac{1}{2}gd_{rm}\right)^2 = \left(\frac{1}{4}g^2 - h\right)d_{rm}^2 - id_{rm} - j$$

両辺に  $\left(d_{rm}^2 + \frac{1}{2}gd_{rm}\right)x + \frac{1}{4}x^2$  を加えると

$$\left(d_{rm}^2 + \frac{1}{2}gd_{rm} + \frac{1}{2}x\right)^2 = \left(x + \frac{1}{4}g^2 - h\right)d_{rm}^2 + \left(\frac{1}{2}gx - i\right)d_{rm} + \frac{1}{4}x^2 - j \quad (25)$$

よって次式が成立しなければならない。

$$\left(\frac{1}{2}gx - i\right)^2 - 4\left(x - \frac{1}{4}g^2 - h\right)\left(\frac{1}{4}x^2 - j\right) = 0$$

故に 
$$x^3 - hx^2 + (gi - 4j)x + g^2j + 4hj - i^2 = 0 \quad (26)$$

ここで 
$$x = y + \frac{h}{3} \quad (27)$$

とおけば、

$$y^3 + \left(\frac{h^2}{3} - \frac{2h}{3} + gi - 4j\right)y + \left(-\frac{2h^3}{27} + \frac{gih}{3} - \frac{4jh}{3} - g^2j + 4jh - i^2\right) = 0$$

故に 
$$y^3 + uy + w = 0 \quad (28)$$

ただし 
$$\begin{cases} u = \frac{h^2}{3} - \frac{2h}{3} + gi - 4j \\ w = -\frac{2h^3}{27} + \frac{gih}{3} - \frac{4jh}{3} - g^2j + 4jh - i^2 \end{cases}$$

さらにここで 
$$y = z - \frac{u}{3z} \quad (29)$$

とおけば

$$z^3 - \frac{u^3}{27z^3} + w = 0$$

故に 
$$z^3 = -\frac{w}{2} \pm \sqrt{\frac{w^2}{4} + \frac{u^3}{27}}$$

$$z = \left(-\frac{w}{2} + \sqrt{\frac{w^2}{4} + \frac{u^3}{27}}\right)^{1/3} \text{ または } \left(-\frac{w}{2} - \sqrt{\frac{w^2}{4} + \frac{u^3}{27}}\right)^{1/3} \quad (30)$$

$z$  が求められたら、(29) 式より  $y$ 、さらに (27) 式より  $x$  の値が得られる。この  $x$  の値を用いれば、(25) 式の右辺は完全平方式となるはずであるから、(25) 式は次式のごとくになる。

$$\left(d_{rm}^2 + \frac{1}{2}gd_{rm} + \frac{1}{2}x\right)^2 = \left(d_{rm} \sqrt{x + \frac{1}{4}g^2 - h} \pm \sqrt{\frac{1}{4}x^2 - j}\right)^2$$

ただし右辺 ( ) 内の符号は、 $\left(\frac{1}{2}gx-i\right)$  の符号と一致する。故に (31) 式より

$$\begin{aligned} & \left[ d_{rm}^2 + \frac{1}{2}gd_{rm} + \frac{1}{2}x + \left( d_{rm} \sqrt{x + \frac{1}{4}g^2 - h} \pm \sqrt{\frac{1}{4}x^2 - j} \right) \right] \\ & \times \left[ d_{rm}^2 + \frac{1}{2}gd_{rm} + \frac{1}{2}x - \left( d_{rm} \sqrt{x + \frac{1}{4}g^2 - h} \pm \sqrt{\frac{1}{4}x^2 - j} \right) \right] = 0 \end{aligned} \quad (32)$$

(32) 式を解けば  $d_{rm}$  に関する 4 コの解が得られるが、このうち、正の実根で値の大なる方が限界林道密度となる。

要するに限界密度算定の手順は、まず  $c_1, c_2, c_3, c_4$  および  $\beta$  を求め、次に (24), (28) 式から  $g, h, i, j, u$  および  $w$  の値を算定する。次にこれらの数値を用いて (30) 式より  $z$  を算出し、さらに (29) 式から  $y$  が定まる。 $y$  が求められたら (27) 式より  $x$  が得られ、この  $x$  を (25) 式または (32) 式に代入して  $d_{rm}$  に関する 2 次方程式を解き、その四コ of 解の中から正の実根のうち大きな方をもって限界林道密度とすればよい。

しかし、限界林道密度の場合も III-1 で述べたと同様、上式の誘導に用いられた林内運材距離のパターンは現実の運材距離よりも著しく過大に算出されるような性質のものであるから、これを林内運材距離に関して修正する必要がある。

すなわち林内運材費を考慮に入れない場合の限界林道密度 ( $d_{rm}'$ ) は、(23) 式において  $c_4=0$  とおくことにより

$$\begin{aligned} d_{rm}' = & \frac{(c_1D + c_2D' + K_{\max} - b)(c_1 + c_2 - c_3) \pm c_3 \sqrt{(c_1D + c_2D' + K_{\max} - b)^2 + (c_1 + c_2)(c_1 + c_2 - 2c_3)\beta}}{(c_1 + c_2)(c_1 + c_2 - 2c_3)} \end{aligned} \quad (33)$$

となる。ただし  $d_{rm}'$  は上式の根のうち、正の実根とする。(33) 式から得られた  $d_{rm}'$  の値と、(25)~(32) 式から求めた  $d_{rm}$  との値の差を、理論上の林内運材距離と現実のそれとの比に比例配分して、限界林道密度の修正を行えばよいから、 $d_{rm}, d_{rm}'$  を (19) 式の  $d_r, d_r'$  にそれぞれ代入して得られた値が求める限界林道密度である。(39. 7 稿)

## 参 考 文 献

- 1) 北海道開発庁： 奥地林総合開発調査報告書（山岳森林開発の構想），（1960）
- 2) 上飯坂実： 林道の最適密度に関する研究（I）—標準モデルについて，日林誌，45，No. 9（1963）
- 3) MATTHEWS, D. M.: Cost Control in the Logging Industry, New York, (1942)
- 4) HUGGARD, E. R.: Foresters Engineering Handbook, London, (1958)
- 5) STEINLIN, H.: Aufgaben des Erschliessungnetzes und seine Auswirkungen auf die Führung eines Forstbetriebes, Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen, Nr. 9 (1963)
- 6) —: Die Feinerschliessung von Beständen mit Rückgassen, Forsttechnische Informationen, Mainz, Nr. 10 (1963)
- 7) HAFNER, F.: Zur forstlichen Wegenetzlegung in steilem Gebirgsgelände, Allgemeine Forstzeitung, Wien, 75 Jahrgang, Folge 3/4 (1964)
- 8) PESTAL, E.: Rückungsmethoden entscheiden Wegnetzdicke, Holz-Kurier, Wien, Nr. 51/52 vom 19. Dezember, (1963)
- 9) LARSSON, G.: Studies on Forest Road Planning, Stockholm, Trans. of the Royal Inst. Technol., 147 (1959)

## Résumé

Needless to say that a complete forest road system is the basic facility which enables the modern rationalized management of forest industry. In spite of the recent progress in mechanization of the logging operations in the forest, development of forest roads have been left behind for many years in this country. According to the official statistical report of 1962, the average density of forest road in Japan which is available for truck hauling, is only a little more than 2 meters per hectare of the economic forest area. This figure is obviously too small when compared with that of European countries.

Ardent need in the Japanese forestry is the further construction of more forest roads. Recently the Government Forestry Agency has made a long-range plan to increase the forest road density upto 13~14 meter per hectare within coming 30 years, but this plan is a conventional plan without any theoretical basis. The problem, how it should be the most adequate forest road density in this country to fulfill the demand of modern mechanized logging operations and intensified forest management, has been aroled and layed under the focus of discussions in recent few years.

The author tried to find out a theoretical approach to solve the problems from the view point of logging economics. In this paper, some results of such investigations are reported.

## I) Optimum density of forest road

This investigation is based on the principle of minimizing the total cost of prehauling of timber and transportation on road. To begin with, the mathematical expression of the formula for the production cost ( $K$ ) of timber has to be obtained. It is assumed to be composed of four components; cost of road construction ( $K_r$ ), cost

of road maintenance ( $K_m$ ), cost of prehauling ( $K_s$ ), and cost of timber transportation ( $K_t$ ) within the boundary of the forest area under construction. Each of the mvaries remarkably with the road system and can be expressed by the function of forest road density ( $d_r$ ). From the theoretical model of the forest shown in Fig. 8, we can assum;

$$K = K_r + K_m + K_s + K_m = [c_1 d_r] + [c_2 d_r] \\ + [c_3(\sqrt{d_r^2 + \beta} - d_r) + b] + [c_4(d_r^3 + \beta d_r - d_r^2 \sqrt{d_r^2 + \beta})]$$

In this expression,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_4$ , and  $\beta$  are coefficients which can be determined in accordance with the conditions of the forest area, operational system of logging, prehauling, transportation and other factors. The optimum density of forest road in the economical sence is obtaned by the 1st delivative of the above expression with respect to  $d_r$ , putting this delivative equal to zero, and solving this equation. Thus we obtain the formula:

$$d_r = \left[ -\frac{R_2}{2R_1} \pm \left\{ \left( \frac{R_2}{2R_1} \right)^2 - \frac{R_3}{R_1} \right\}^{1/2} \right]^{1/2}$$

where

$$\begin{cases} R_1 = 3c_4(2c_1 + 2c_2 + c_4\beta) \\ R_2 = (c_1 + c_2 - c_3 + c_4\beta)(c_1 + c_2 - c_3 + 7c_4\beta) - (c_3 - 2c_4\beta)^2 \\ R_3 = (c_1 + c_2 - c_3 + c_4\beta)^2\beta \end{cases}$$

The density calculated by this formula should be corrected when it is applied to the real forest, because the value of  $K_t$  is overestimated due to the use of the theoretical model. The corrected formula for the optimum density [ $d_r$ ] of forest road is finally given as follows:

$$[d_r] = d_r' - (d_r' - d_r) \frac{B'}{B}$$

where

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

$B$ ,  $B'$ : width of real forest area and that of the theoretical model respectively

The results of application of this formula to some case of different conditions are shown in Figs. 10~13. Furthermore, some general conclusions can be obtained from the analysis of these results; such as the influence of the component of road making, road maintenance, prehauling and timber transportation.

## II) Marginal density of forest road

The forest road system provides various merits for the management of forest industry. Therefore it is not sufficient to determine the density of forest road only from the view point of timber transportation. It is desirable to expand the road system to the higher limit, providing that a certain level of profit by the timber production could be maintained. In this article, the marginal density of forest road means the density at the higher limit in this sence. The author assumed that the surplus current profit of production is thrown into the road construction successively.

Finally, the author presents his best acknowledgment to Prof. Dr. S. KATO who gave adequate advices to him.