

架線集材における路網計画に関する研究

大 川 畑 修⁽¹⁾Osamu OHKAWABATA : Studies on the Planning
of Forest Roads for Cable Logging

要 旨：林道建設には一般的に多額な資金投入を要することから、路網整備に当たっては、適正な密度の路網を効率的に配置する必要がある。本研究は、路網密度および路網配置に関係する因子について究明を行い、これらを通じて架線集材を対象とした路網計画法の確立に資することを目的としたものである。本論においては、路網の配置ができる限り均一になるように留意しつつ、一定の距離を尺度として、計画対象区域におけるあらかじめ設定した一定率の林地（通常は大部分の林地）が林道からこの距離の中にはいることを目途として路網の配置を行うことにし、この尺度となる距離を配置基準距離、林道からの距離が配置基準距離内にある林地の計画対象区域に対する面積率を基準距離内面積率と呼ぶことにした。また、この二つの要素と路網の量的尺度である林道密度を合わせて路網計画上の3要素と呼ぶことにした。本研究では、これらの要素に関し、その算定法および諸性質を明らかにした。林道密度については、経済性を基礎とした合理的林道密度の算定式として、林道の償却期間または償却対象に応じて、三つの式を導いた。配置基準距離に関しては、幾つかの観点に立って各々の算定法を示した。また、計画された路網に対し、林内各点から林道までの到達距離の分布状況、集材可否の判定が平面図上に打ち出されるプログラムの開発を行い、最後にこれを用いた路網計画の適用例を示した。

目 次

I	序 論	2
1.	林道を取り巻く諸情勢	2
2.	路網整備に対する考え方	4
(1)	路網整備に要する費用	4
(2)	路網整備の二つの段階	4
(3)	路網整備に対する考え方	5
3.	路網計画に関する既往の研究	5
(1)	路網の密度に関する研究	5
(2)	路網の配置に関する研究	7
4.	本論文の目的および構成	8
II	路網計画の概要	9
1.	路網配置計画と路網計画上の3要素	9
(1)	路網配置計画	9
(2)	路網計画上の3要素	9
2.	林内到達距離の分布関数および路線配置係数	10
(1)	林内到達距離の分布関数	10
(2)	路線配置係数	11
III	経済性を基礎とした路網密度	12
1.	林業経営における支出	12
2.	作業関係費の費用関数	12

(1) 生産目標、造林作業基準および集材作業方式の設定	12
(2) 主間伐費の積算に必要な因子および数値	13
(3) 主間伐費の費用関数	17
(4) 作業関係費の変動費の係数および固定費	22
3. 合理的な路網密度	27
(1) 複合林道網	27
(2) 路網関係費	27
(3) 合理的林道密度の算定式	29
(4) 考 察	37
IV 架線集材における路網計画	38
1. 路網計画上の3要素の関係	38
2. 配置基準距離	40
(1) 適正伐区長および適正伐区面積	40
(2) 適正施業区長および適正施業区面積	44
(3) 規制伐区長	45
(4) 有効スパン長	46
(5) 基準歩行距離	50
(6) 考 察	52
3. 基準距離内面積率	53
(1) 示準レベル	53
(2) 土地利用と基準距離内面積率	54
(3) 最低林道密度	55
4. 路網計画の適用	55
(1) 路網密度と配置基準距離の関係	55
(2) 費用関数の特性と路網計画の適用	56
(3) 路網計画の適用例	59
V 要 約	72
謝 辞	74
引用文献	74
Summary	78

I 序 論

1. 林道を取り巻く諸情勢

近年、わが国の林業においては、森林のもつ多面的機能の発揮に対する要請に対応して、伐区面積の縮小化、複層林施業の実施等、きめ細かな森林施業が推進されてきている。このような施業を今後一層進展させていくためには、施業上必要な路網を整備していく必要がある。また、例えばこれまで大面積にわたって一律に架線で集材されていた区域においても、路網が整備されればトラクタ集材の行えるような箇所もあり、地形等の条件に適合した森林施業を推進していくうえでも適切な路網の整備が必要である。しかしながら、地形が急な箇所においては林道建設費が一般に高額となり、また、自然環境等の面から、路網密度を高めると問題を生じうるような場合もある。このようなことから、今後は、森林施業の多様化が進んでいく中で、従来から行われてきている架線集材も引続き重要な役割を果たしていくものと考えられる。

一方、近年のわが国の林業を取り巻く情勢は、木材価格の下落・低迷、林業経営費の増嵩、外材の圧迫

等きわめて厳しい状況にあり、また、長期的な傾向からみて、今後の木材価格の大幅な上昇は期待し難いものと考えられる。したがって、林業経営における収益性の向上を図り、わが国の山間地域を健全な木材生産の場として活用していくためには、伐出、造林等林業における施業全般にわたって生産性の向上を図ることが必要である。そのためには、まず適正な路網の配備が不可欠である。

また、特用林産物の需要は、きのこ類を中心として拡大基調で推移しており、その生産は山村における林家の重要な収入源の一つとなっている。例えば、林家（所有山林面積 5～500 ha）一戸当たりの林業粗収益に占める特用林産物（きのこ生産）収入の割合は、48 年度には 2 割に満たなかったものが、58 年度には約 3 分の 1 を占めるまでになってきている¹⁾。しかしながら、近年、しいたけ原木の不足問題が顕在化しており、例えば特用林産振興協議会報告書²⁾には、「わが国のしいたけ原木の資源総量は……立木材積で 6 千万 m³ を超えるものと推定されている。したがって、総量としては原木の需要（年間消費量は約 200 万 m³）を十分満たす資源が存在しているが、……路網が未整備であるため利用の困難な林分が多い……」と記されていることなどからわかるように、路網の整備が不十分であることに起因する問題も生じている。この面からも林道、作業道等の路網の整備を早急に図ることが必要となっている。それにも拘わらず、林道整備の実態はきわめて低位にあり、近年開設量の著しく延びている作業道を加えても必要量に遠く及ばない地域が多い。

ここで、林内道路の現況についてみると、昭和 57 年度末の段階で、わが国の林道の開設延長は、105 千 km で、林道密度は 4.0 m/ha にすぎず、林内公道の 6.8 m/ha を加えても 10.8 m/ha ときわめて低い状況にある³⁾。わが国における林道の整備目標は、「森林資源に関する基本計画」⁴⁾（昭和 55 年 5 月 23 日閣議決定）に定められており、これによれば、目標とする林道延長は、昭和 100 年に 274 千 km となっている。これを林道密度で表すと 11.2 m/ha となり、これに林内公道を加えた林内道路の密度は 17.9 m/ha となる。以上の数値には作業道は含まれておらず、最低限必要な路網が必ずしも整備された状況ではない。

林道の整備については、上記のような事情から早急に行うことが必要であり、「森林資源における基本計画」においても、昭和 75 年度までに全開設量の 71% を実施することとしている。しかしながら、近年の林道の開設実績は、その大宗を占める国庫補助林道が公共事業の抑制等から伸び悩んでいることに加え、木材価格の低迷等による投資の減退等から自力開設も減少している状況にある。昭和 54～58 年の林道開設延長は、民有林、国有林合わせて、年間 3,100～3,600 km 程度で推移しており、58 年度の開設実績 3,156 km（民有林林道 2,281 km、国有林林道 875 km）は全国森林計画（計画期間、昭和 58～72 年度）の年平均開設計画延長の 53% にとどまっている状況にある¹⁾。

一方、林道と一体となって路網を形成する作業道についてみると、その開設量は、林業白書¹⁾によれば、国、都道府県の助成によるものだけで年間 2,000～3,000 km 程度とされている。さらに、自力施行や融資等非補助によるものも含めた作業道の開設実績（昭和 52～56 年度）についての調査結果⁵⁾によれば、民有林における作業道の年平均開設量は約 4,500 km で、これは民有林における林道開設量のほぼ 2 倍に達するものである。このほか、国有林における作業道の開設量を加えると、その延長はさらに大きな値となる。

作業道については、以前は仮設物として開設され、目的終了後には林地に復元されるものと一般的に位置づけられていたが、実際には目的達成後も林内の道として利用される場合も多く、作業道と林道の区別

を明確に行い難い場合も少なくなく、このため、両者の区分の問題がしばしば論議の対象とされてきたところである。

これまで作業道は、実態として林道と同様に利用されていても、国庫補助による災害復旧の対象とならないなどの問題があった。このような実態に対応して、昭和 59 年には林道規程に「簡易林道」の項が設けられ⁶⁷⁾、一定の範囲内で一定の基準を満たしている作業道については「簡易林道」として林道に編入できることとし、民有林においては国庫補助の対象となったところである。

また、簡易林道の対象とならない作業道においても、利用が間断的になるものを含めれば、相当量の作業道が林道に近い状態で存在しているものと考えられる。このように、路網体系のなかで作業道の占めるウェイトは大きくなってきており、今後路網計画を検討していく上で、作業道について全く無視することはできなくなるものと考えられ、本論においては、後述する（第三章）ように作業道も路網体系の一環として捉え、林道に含めて論を進めることにする。

2. 路網整備に対する考え方

(1) 路網整備に要する費用

路網整備には、多額の費用を要することは言うまでもない。例えば、ha 当たり 21.8 m（わが国の人工林施業地における目標林内道路密度、表 1 参照）の林道を建設することとして、m 当たりの建設費を 54,000 円（表 17 参照）とすると ha 当たりの林道建設費は 118 万円となる。またわが国全体の林道の建設計画についてみると、昭和 59 年度から 100 年度までの林道開設予定量は 166 千 km であり、林道開設単価を 54,000 円/m としてこれに乗ずると、今後林道開設に要する費用は 8 兆 9,600 億円の巨額に達する。

一方、林道網整備の効果についてみることにし、計算例として人工林施業地をとりあげ、路網密度については前述の 10.8 m/ha のときと 21.8 m/ha のときとの比較を行うことにする。前者の場合、林内各点から林道までの平均到達距離は 500 m（9 式において $\eta=0.5$ として算出）であるのに対し、後者では 248 m と半減し、これに伴って ha 当たりの各作業費の年平均支出は約 28,300 円減少することになる（表 16 に基づき、林地傾斜 30°、輪伐期 50 年として算出）。この値から ha 当たりの年間林道維持費の増加分約 1,400 円（m 当たりの年間林道維持費を 130 円とした。表 17 参照）を差し引くと、ha 当たりの年平均支出は約 27,000 円減少することになる。この値にわが国の目標とする人工林面積 1,190 万 ha⁴⁾ を乗ずると、わが国全体では年間約 3,200 億円の経費の削減が図れることになる。

(2) 路網整備の二つの段階

以上のように、路網の整備には多額の資金投入が必要となるが、目標とする路網が完備された後には、生産基盤の整った林業経営を永続的に行うことが可能になる。このような観点に立つと、路網整備の段階は次の二つに分けて考えることができる。

① 基盤整備段階

② 整備完了段階

健全な林業経営は、林道等の生産基盤が十分に整備されて可能となるものである。基盤整備段階においては路網整備費に多額の費用を要することから、高い収益をあげることは一般に期待できない。この期間を終了すると次の整備完了段階に移行し、完備した路網を利用した森林施業が行えることになる。

わが国の林家の中には、すでに高密度な路網を有している例もあるが、わが国全体としては、林道整備の

目標に対する達成率は、昭和57年度の段階で38%と低く、基盤整備段階の前半に位置していると言える。また、林道の整備が計画どおりに進められるとしても、今後約40年間は基盤整備段階が続くことになる。

この間、多大な支出が必要とされることになるが、わが国の林家は、山林所有規模がきわめて零細で、資金負担力が乏しい状況にある。このため、前記のような目標を達成するためには国による助成措置が必要で、現在助成がなされているところであるが、木材生産の生産性の向上、すなわち生産費の低減化および特用林産物の生産資材の安定的供給が強力かつ早急に要請されている状況からみて

① 路網の中で骨格となる林道について、最低限、全国森林計画における年平均開設計画延長程度の作設量の確保

② 緊急度の高い箇所を中心とした積極的な路網整備の推進

③ 建設費の安い作業道の積極的な開設による必要路網の確保

などについて、今後一層強力な対策を講じていく必要があると考えられる。

(3) 路網整備に対する考え方

目標とする路網密度は、集材方法や造林、保育における労働投入量等の施業条件によって異なってくるほか、林業経営者の林道投資に対する考え方によっても異なってくる。例えば、当面の主伐費用と林道建設費の合計を最小とすることに主眼をおくと、必要な路網密度は一般的に低い値となり、当面の収益よりも将来の収益性を高めることに主眼をおけば、目標路網密度は高くなる。また、実際には両者の中庸とする場合も多いものと考えられる。

当面の収益と将来の収益とのいずれを重視すべきかは、個々の経営者の立場や考え方によるべきもので、一義的に定めうる性格のものではないと考えられるが、筆者は

① 当面の収益を重視して、低い路網密度を目標林道密度とすると、永続的に割高な集材費のほか歩行費（林道から作業現場に到達するまでの歩行時間を費用に換算したもの）等非生産的な労力を多量に投入せざるを得なくなること

② 後述（第四章）するように、当面の経費を最小とする路網密度よりある程度高い密度の路網を作設しても、集材費を含めた総費用はそれほど大きくならないこと

などから、基盤整備段階においては、当面の収益にある程度減少があっても、現実的に可能な範囲で将来の収益性に十分配慮して路網計画を定めるべきであると考えられる。

3. 路網計画に関する既往の研究

林内道路の密度およびその配置は、森林作業の効率性を通じて林業経営に大きな影響を与えるが、その作設には高額な費用が必要となる。また、一度作設された林道は、原則的に路線の修正は不可能である。このようなことから、どの程度の密度の路網をどのように配置すべきかということは林業経営者にとって重大な関心事となってきた。以上のようなことを反映して、路網計画に関してこれまで多くの研究がなされてきた。ここではその概要を述べることにする。

(1) 路網の密度に関する研究

MATTHEWS⁹⁾に端を発した路網密度理論は、適正な路網間隔理論も含めて、欧米およびわが国において今日まで多くの研究がなされてきた。そのうち、ある時点までのものについては上飯坂⁹⁾、南方¹⁰⁾がその概要を簡明に紹介し、適宜論評を加えている。その後もいくつかの研究がなされており、以下これらの研究のうち主なものについて述べることにする。

表 1. 既往の研究における路網密度

提 示 者	文 献 番 号	集 材 法	適 用 対 象	路 網 密 度		
				内 容	数 値 (m/ha)	
ハフナー (オーストリア)	24	クレーン付トラック 架線集材	シュタイエルマルク, チロール等の中級山 岳林	施業林道密度	30~40	
フィブレル (オーストリア)	"	架線集材作業車 (クローラ型)	シュタイエルマルク の山岳林	施業林道密度	40	
ペスタル (オーストリア)	"	架線集材	チロール山岳林	施業林道密度	20	
シュタインリレ (西独)	"	クレーン付作業車 (タイヤ型)	シュワルツワルド	施業林道密度 作業道密度	60~80 100~150	* 1
ウエットシュタイ ン(西独)	"	架線集材	山岳林	施業林道密度	20~25	
サムセット (ノルウェー)	"	架線集材作業車 トラクタ	丘陵林	施業林道密度	20~25	
スンドベルク (スウェーデン)	"	クレーン付トラック クレーン付トラクタ	"	施業林道密度	"	
上飯坂 実	11 12			最適林道密度 最低路網密度	25 3	
大河原 昭二	16	トラクタ集材	平地林 丘陵林 山岳林	作業道密度	30.1 28.5 16.6	
加藤 誠平	19	トラック集材型 トラクタ集材型 中距離架線型 長距離架線型	平坦地 丘陵地 急斜地 急峻地	標準林道密度	30~50 20~30 10~20 5~15	
林業土木コンサル タツツ	24	トラクタ集材 集材機集材 "	地形区分, 中 " , 急 " , 急峻	標準林道密度	18.9~24.7 10.8~15.7 10.7~14.0	* 2
南方 康	10		人工林 天然林	限界林道密度	82~113 18~28	* 3
		集材機集材 トラクタ集材		必要最小林道 密度	2.5~9.0 9.1~15.0	* 4
青木 信三	20		皆 伐 択 伐	真の経営規模 最大の路網密 度	80~100 120~140	
森林計画研究会	4		人工林施業 天然林施業 皆伐天然下種 ぼう芽 漸伐及び択伐 禁伐等及び除地 計	目標林内道路 密度	21.8 18.0 17.9 17.9 18.1 5.9 17.9	* 5

表 1. (つづき)

提 示 者	文 献 番 号	集 材 法	適 用 対 象	路 網 密 度		備 考
				内 容	数 値 (m/ha)	
南方 康, 酒井 秀夫, 伊藤幸也	23	架線集材	急地形	複合路網密度	22.1~44.2	* 6

注) * 1: 間伐林の作業道密度は 2 倍

* 2: 地形の区分は、緩、中、急、急峻の 4 とおりである

* 3: 蓄積 300~400 m³/ha

* 4: 循環団地の施業面積 1,000~5,000 ha, 林道開設資金の償還年数 10~20 年, 蓄積 300~400 m³/ha, 林道の平均開設単価 [円/m]; 集材機集材 5,000~20,000, トラクタ集材 1,000~3,000

* 5: 民有林, 国有林込みの値である

* 6: 林道単価 100,000 円/m, 低規格の林道単価 10,000~30,000 円/m, 期待蓄積 300~400 m³/ha, 労働投入量 300~400 人/ha

林道開設単価は、報告書に記された値 (報告書作成時点における単価) である

上飯坂¹¹⁾¹²⁾ は、MATTHEWS 理論に基づいて、わが国における最適林道密度を求め、同時に、地域開発に必要な最低路網密度を求めた。

大河原^{13)~16)} は、矩形モデルにおける適正な奥土場の決定法、作業道密度の算定法を導き、実際の伐採対象区域に矩形区分論を適用してトラック作業道の適正路網密度を算定した。

南方¹⁰⁾¹⁷⁾¹⁸⁾ は、MATTHEWS 方式による路網密度算定法の問題点を指摘するとともに、これらの問題点の解消を図りつつ、必要最小林道密度と限界林道密度の算定式を導いた。

加藤¹⁹⁾ は、地形を考慮に入れた適正林道密度の基礎理論をたて、全国的調査を行った結果として、地形の区分および集材方式に応じた標準的林道密度を示した。

青木²⁰⁾ は、路網密度が 50 m/ha 以上は必要であることを説き、真の経営規模を最大にすることを目的として密度算定式を導いた。

さらに、南方²¹⁾ は、従来からの集材費に加えて、林木の生育期間をタイムスパンとした林内諸活動のために費やされる歩行費を計算因子として取り上げ、適正な路網密度の算定式を示した。林道は、単に素材生産ばかりでなく、林業経営全般あるいは森林の保全活動に及ぶ多方面に機能する施設であることはそれ以前から言われてきたが、このような因子を密度算定式のなかで初めて取り上げた点でこの式の意義は大きいと言えよう。また同時に、南方は、林木の生育期間の全歩行費を非生産的労務費として、この経費をもって建設しうる路網密度を求め、これを基礎路網密度と名づけた。

PETERS²²⁾ は、林道建設費と集材費と土場建設費の合計を最小とすることを目的として適正路網密度および土場間隔を決定する方法に関して、MATTHEWS が示した方法の問題点を指摘し、その精密な解法を示した。

南方ら²³⁾ は、近年、作業道等低規格の路網がかなり多量に作設、利用されている実態を捉え、作業道と呼ばれるものであっても永続的な利用に供し得るものについては路網体系のなかに含めることとし、複合路網の概念を打ち出した。さらに、その考えに基づいて複合路網密度の算定法を導いた。

ここで、以上の研究における路網密度の算定結果およびその他発表された路網密度の具体的数値を示すと表 1 のとおりである。

(2) 路網の配置に関する研究

路網の配置に関してもいくつかの研究がなされており、その概要は次のとおりである。

神崎²⁵⁾は、グラフ理論を用いた林道の路網配置法を示した。この方法は、前もって計画対象区域の中に林道の通過すべき土地地点を選び、それらのすべての点を総延長が最小となるように結んで林道網とするものである。これと同様な方法で CARSON ら²⁶⁾も研究を行っている。

平賀²⁷⁾は、一定の伐区における作業道開設費と集材費の合計を最小にすることを目的として、これを実現させる作業道の最適作設位置を、電算機に探索させて、自動的に決定する方法を示した。また、平賀²⁸⁾は、四つの伐区形状パターンと三つの路網パターンを示し、実際の伐区にこれらのパターンを適用して、電算機を用いて最適な路網パターン、平均集材距離等を算定する方法を示した。

小林²⁹⁾は、山岳林における路網配置に関して、地形的制約、施業条件等を考慮しつつ、費用便益的立場から林道投資効率を最大とする林道路線配置計画法を究明した。具体的には、まず計画対象区域における概略の適正路網配置を求め、次に大きな縮尺の数値地形モデルをもとに路線別の適正配置の決定を行う方法を示している。

4. 本論文の目的および構成

本研究は、これまでに行われてきた研究の成果を踏まえつつ、路網密度および路網配置に関係する因子について究明を行い、これらを通じて架線集材を対象とした路網計画法の確立に資することを目的とするものである。

わが国における集材法は、大別して架線集材とトラクタ集材に区分され、前者は急峻地を中心とした集材法で、後者は平坦地または緩斜地を中心とした集材法であることは周知のごとくである。この二つの集材体系において、路網密度等の算定法は両者とも同様な観点から行い得ると考えられるが、適正な路網密度等について具体的数値として論じていくためには、それぞれ計算因子の具体的数値の的確な把握も含めて、伐出費等に関する適正な費用関数の設定が必要となる。しかしながら、これらについての研究は、現在、必ずしも十分とは言えない状況にある。今後両集材法についての費用関数の確立を図っていく必要があるが、本論においては、このうち焦点を架線集材にし、費用関数の設定を試み、これに基づいて合理的路網密度等の算定を行っていくことにする。

また、わが国で行われている架線集材の索張り方式には数多くの種類があるが、エンドレスタイラーおよびタイラー式が中心になっているものと見られ、本論においてもこのような索張り方式を念頭において論を進めることにする。

以下、第Ⅱ章以降で扱っている内容を示すと次のとおりである。

第Ⅱ章では、まず本論で前提とする路網配置法について述べ、次に路網計画上の3要素について触れることにする。また、第Ⅲ章以降において論を進めていくうえで、林内到達距離の分布関数および路線配置係数が必要な因子となるが、これらについては既往の研究成果を用いることにし、その成果のうち本論に関係する部分について概略の説明を行うことにする。

第Ⅲ章では、主伐、間伐、造林、管理の各作業の費用関数を設定することにする。次に主伐林道密度、一施業期林道密度、最多林道密度の算定式をそれぞれの観点から導き、さらにこれらを含む式として合理的林道密度の一般算定式を導くことにする。

第Ⅳ章では、まず路網計画上の3要素の関係を明らかにし、配置基準距離の算定法を示す。次に基準距離内面積率および最低林道密度について述べ、最後に路網計画の適用に関する留意事項について述べた後、

実際の地形図を用いた適用例を示すことにする。

II 路網計画の概要

1. 路網配置計画と路網計画上の3要素

(1) 路網配置計画

路網計画は、密度計画と配置計画に大別することができる。このうち密度計画については第Ⅲ章を中心に述べることにし、本節では主として配置計画について述べることにする。路網配置計画の方法としては、今後の研究を含めて次の三つが考えられる。

- ① 電算機による完全自動設計
- ② 電算機と人間との対話方式による設計
- ③ 人間の経験と総合判断力に基づいて行う設計

このうち①は、我々の究極の目標とするところの設計法である。①に向けて現在までいくつかの研究が行われてきているところではあるが、まだ実用化されるまでには至っていない。①については、ある程度条件を単純化する場合には完全自動設計は可能で、実際にプログラムの開発は行われ、ある程度妥当と思われる結果を示す段階にまできてはいるが、さらに細部にわたる各種の問題を考えると、地形上の制約への対応を中心として、今後克服すべき課題も多い。路網配置に関する因子の数は多く、またその条件は複雑であるため、これらを適切に処理し、我々が完全に納得しうるプログラムの開発を行うことは容易ではないものと考えられる。②は、始めに人間が総合的見地に立って設計した配置計画案を原案とし、電算機との対話を通じて修正を加え、これを繰り返して配置計画を完成する方法である。この方法は、路網評価の方法が確立されればプログラムの開発は可能であると考えられる。③は、従来から行われてきた方法である。

今後、①および②の研究を一層推進していく必要があるが、現段階では路網配置における電算機の活用は実用化に至っていないことから、少なくとも当面の間は③による方法が中心になるものと考えられる。本論においても、以後③を念頭において路網配置について述べていくことにし、具体的には次の方法により路網の配置を行うことにする。すなわち、路網の配置ができる限り均一になるように配慮しつつ、一定の距離を尺度として、計画対象区域におけるあらかじめ設定した一定率の林地（通常は大部分の林地）が、林道からこの距離の中にはいることを目途として路網の配置を行うことにする。

ここで、この尺度となる距離を配置基準距離と呼び、林道からの距離が配置基準距離以内にある林地面積の計画対象区域の面積に対する比率を基準距離内面積率と呼ぶことにする。本論文において実際の路網配置作業を行っていく上では、配置基準距離と基準距離内面積率の二つが重要な要素である。

(2) 路網計画上の3要素

以上の二つの要素のほか、路網の量的尺度となる路網密度も路網計画上不可欠の要素であることは言うまでもなく、これら三つの要素を本論では路網計画上の3要素と呼ぶことにする。

この三つの要素の各々については第Ⅲ章以降で詳述するが、三つの要素の間には、任意の二つを定めると残りの一つは自動的に定まるという関係がある（詳述は第Ⅳ章）。したがって、路網計画の作成に当たっては、理論的には、二つの要素の値を何らかの方法により定めればよいことになる。しかし実際には、三つの要素の各値について検討し、総合的に判断して各数値を定めることが重要である。

2. 林内到達距離の分布関数および路線配置係数

第Ⅲ章以降、本論で路網計画に関する諸事項について述べていくに当たっては、まずその前段として、林内到達距離の分布関数、路線配置係数等を明らかにしておく必要がある。これらについては、すでにいくつかの研究がなされており、本稿ではその成果を用いることとし、ここでは本論に關係する事項についてその概要を述べることにする。

(1) 林内到達距離の分布関数

林内到達距離の分布関数については SEGBADEN³⁰⁾、堀ら³¹⁾の行った研究がある。本論では、このうち堀らの示した関数を用いることにする。

堀らは、林内の各点から最寄りの林道へ至る直線距離を到達距離と称し、到達距離の分布距離の分布状況は、到達距離 X_m に対する累加面積比 $g(X_m)$ を与える式

$$g(X_m) = \frac{F(X_m)}{A_m} \dots\dots\dots(1)$$

ただし、 $F(X_m)$: 到達距離が X_m より近い地域の面積

A_m : 対象地域の面積

によって表し得るとしている。さらに、これを到達距離の分布関数と呼び、具体的な式としては、(2)式を示し、この式が測定結果にきわめてよく適合するとしている。

$$g(t) = 1 - \left(1 - \frac{t}{3.6}\right)^{2.6} \dots\dots\dots(2)$$

$(0 \leq t \leq 3.6)$

ただし、 t は距離比と呼ばれ、対象地の平均到達距離を X とすると、 t は次式によって与えられる。

$$t = \frac{X_m}{X} \dots\dots\dots(3)$$

さらに、堀らは一般的な到達距離の分布関数として (4) 式を示した。

$$g(t, Z) = 1 - \left(1 - \frac{t}{Z}\right)^{Z-1} \dots\dots\dots(4)$$

$(0 \leq t \leq Z)$

この式のパラメータ Z は

$$Z = \frac{X_e}{X} \dots\dots\dots(5)$$

ただし、 X_e : 到達距離の最大値
によって与えられる。

ここで Z の具体的な値を示すと、矩形モデルでは $Z=2$ 、三角形モデルでは $Z=3$ となる。また、堀らは山岳地域における Z の値として

$$Z=3.6 \dots\dots\dots(6)$$

を測定結果から得ている。(2)式は、(4)式において $Z=3.6$ としたものである。以下本論では、山岳林モデルにおける Z の値として 3.6 を、到達距離の分布関数として (2)式を用いることにする。

また、到達距離の確率密度は、(4)式を t で微分した式

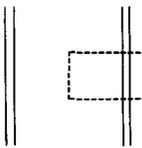
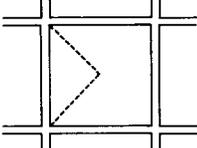
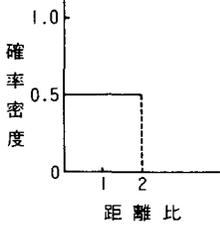
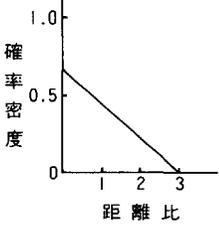
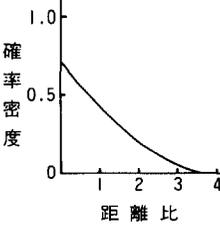
項 目	矩形モデル	三角形モデル	山岳林モデル
モデル図			
Zの値	Z=2	Z=3	Z=3.6
到達距離の確率密度関数	$f(t) = \frac{1}{2}$ ($0 \leq t \leq 2$)	$f(t) = \frac{2}{3} - \frac{2}{9}t$ ($0 \leq t \leq 3$)	$f(t) = \frac{13}{18} \left(1 - \frac{t}{3.6}\right)^{1.5}$ ($0 \leq t \leq 3$)
到達距離の確率密度分布図			

図 1. 路網配置モデルと到達距離の確率密度

$$f(t) = g'(t, Z) = \frac{Z-1}{Z} \left(1 - \frac{t}{Z}\right)^{Z-2} \dots\dots\dots(7)$$

によって与えられる。上記3モデルにおける到達距離の確率密度関数および確率密度分布図を示すと図1のとおりになる。

(2) 路線配置係数

路網密度 d [m/ha] と平均到達距離 X [m] との関係については、SAMSET³²⁾ の表した式があり、その式の単位系を m, ha 系に換算して示すと (8) 式のようなになる。

$$d = \frac{2500 f_0 (1+\eta)}{X} \dots\dots\dots(8)$$

ただし、 f_0 : 路線配置係数

η : 林道の迂回率

また、この式を X について表せば次式のようなになる。

$$X = \frac{2500 f_0 (1+\eta)}{d} \dots\dots\dots(9)$$

f_0 は、路線の配置状態によって定まる定数で、一般に路網配置が効率的なほど f_0 の値は小さくなる。 f_0 の値は、例えば矩形モデルの場合には1に、三角形モデルの場合には1.33 (4/3) になる。そのほか、幾何学的なモデルを中心として、各種の路網パターンにおける f_0 の算定結果の報告も行われている³⁰⁾³³⁾。

また、堀らは、 f_0 の値が理論的に (10) 式で表されることを示している。

$$f_0 \approx 2 \frac{Z-1}{Z} \dots\dots\dots(10)$$

この式に (6) 式を代入すると f_0 の値は

$$f_0 \approx 1.44 \dots\dots\dots(11)$$

となる。以下本論においては、この値を路線配置係数として用いることにする。

III 経済性を基礎とした路網密度

1. 林業経営における支出

林業経営を行っていく上で必要となる経費は、主伐費、間伐費、造林費（植栽および保育の費用）、管理費および林道に関する費用から成り立っている。このうち、主伐費、間伐費、造林費、管理費は、次のように、林内から林道までの平均到達距離 X [m] の一次関数として表すことができる⁸⁾¹¹⁾²¹⁾²⁴⁾。

まず、林地 1 ha 当たりの主伐費を E_S [円/ha] とすると、 E_S は次のように表すことができる。

$$E_S = A_S \cdot X + B_S \dots\dots\dots(12)$$

ただし、 A_S : 主伐費の変動費の係数 [円/m・ha]

B_S : 主伐費の固定費 [円/ha]

同様に、林地 1 ha 当たりの i 回目の間伐費を E_{Ki} [円/ha] とすると、

$$E_{Ki} = A_{Ki} \cdot X + B_{Ki} \dots\dots\dots(13)$$

ただし、 A_{Ki} : 間伐費の変動費の係数 [円/m・ha]

B_{Ki} : 間伐費の固定費 [円/ha]

となる。造林、管理費についても同様に次の式で表すことができる。

$$E_Z = A_Z \cdot X + B_Z \dots\dots\dots(14)$$

ただし、 E_Z : 林地 1 ha 当たりの造林費 [円/ha]

A_Z : 造林費の変動費の係数 [円/m・ha]

B_Z : 造林費の固定費 [円/ha]

$$E_C = A_C \cdot X + B_C \dots\dots\dots(15)$$

ただし、 E_C : 林地 1 ha 当たりの管理費 [円/ha]

A_C : 管理費の変動費の係数 [円/m・ha]

B_C : 管理費の固定費 [円/ha]

なお、 E_S が (12) 式のように X の一次関数として表されるのは、厳密には、伐区面積が路網密度に関係なく一定であるという条件がある場合に限られる。伐区面積が X の関数となるときには、 E_S は X の一次関数とならない場合もある。このことについては第四章で詳述することにし、第三章では、伐区面積を一定とすることにして論を進めることにする。

本論では、主伐費、間伐費、造林費、管理費を総称して作業関係費（対象面積を一定とする場合、 X の一次関数で表される経費）と呼び、これに対して、林道建設費、林道維持費、林地損失費（後述）を総称して路網関係費（林道密度に比例、すなわち X に反比例する経費）と呼ぶことにする。

2. 作業関係費の費用関数

(1) 生産目標、造林作業基準および集材作業方式の設定

合理的路網密度の算定因子は、後述するような各種の林道密度算定式によって異なってくるが、一般的には、林業経営全般にわたって収支に関連する事項が因子として必要になる。また、算定式で使用する数値は、集材方法、造林作業における労働力投入量など作業条件によって異なってくる。さらに、このような諸因子のうち、主間伐の収支計算を的確に行うためには、その前段として収穫材積、平均単木材積、平均胸高直径、利用率、丸太の市場価格等収入や工期に関する諸因子の数値を明らかにしておく必要がある。本節においては、路網密度の算定に必要な因子のうち、作業関係費について具体的に数値を定めていくことにする。

まず、収穫する材の生産目標と造林作業基準を設定することにし、設定した結果およびこれらに関連する諸数値を示すと表2、表3のようになる。その概要は、次のとおりである。なお、以下本論における価格、賃金等の諸数値には、原則として、昭和58年時点における値を用いることにする。

- ① 主伐は50年生、間伐は25年生と35年生時に合計2回行う。
- ② 主伐丸太材積は、 $270.9 \text{ m}^3/\text{ha}$ 、間伐材積は1回目 $23.0 \text{ m}^3/\text{ha}$ 、2回目 $36.5 \text{ m}^3/\text{ha}$ である。
- ③ 山元収入（スギ、ヒノキ込とした）は、主伐 $12,741,200 \text{ 円}/\text{ha}$ 、間伐1回目 $532,100 \text{ 円}/\text{ha}$ 、2回目 $1,110,900 \text{ 円}/\text{ha}$ である。
- ④ 造林の所要人工数は $190 \text{ 人}/\text{ha}$ 、造林費は $1,655,800 \text{ 円}/\text{ha}$ である。

以上の数値の決定に当たっては、各地方の収穫表（引用文献34その他）、既往の諸資料（引用文献4、35～40）、その他国有林関係の資料を参考にした。

また、集材作業方式については、わが国で広く行われている集材法として主伐は普通集材、間伐は人力（人肩）集材により行うものとし、本論ではこの前提に基づいて諸計算を行うことにする。

(2) 主間伐費の積算に必要な因子および数値

主間伐費は数多くの積算因子によって構成される。本項では、まずこれら経費の積算因子、工期等について述べ、次に、計算の手順および到達距離に関係しない定数的な数値を具体的に示すことを目的として一定の伐区を1例として設定し、主間伐の積算例を示すことにする。そこで、まずその前段として、主間伐等の経費および工期に関する幾つかの因子について述べておくことにする。

① 賃 金

伐木造材手、集材手、造林手については雇用労働賃金の調査結果⁴⁰⁾に基づき、管理人については想定により1人1日当たりの賃金を定めると表4に示すとおりになる。

② 歩 行 費

林内歩行を伴う作業の工期は、勤務時間を一定とすれば、厳密には、林道からの距離によって異なってくる。しかし、工期を林道からの距離の関数として表すことは、論を複雑にすることから、歩行を計算因子に含める場合には歩行費を計上して用いるのが一般的である。本論では、歩行速度を単位時間に往復し得る直線距離で表し、これに基づいて歩行費を計上することにし、まず、既往の資料（引用文献41～45）を参考にして傾斜ごとの歩行速度を定めると表5に示すとくになる。次に伐木造材手の歩行費を h_b [円/人・m]、集材手の歩行費を h_s [同上]、造林手の歩行費を h_e [同上]、管理人の歩行費を h_c [同上] とし、歩行速度および各作業員の賃金から1人1m当たりの歩行費を算出すると同表に示すとくになる。

③ 盤台作設撤去費

表 2. 生 産 目 標

項 目		10 年 生	15 年 生	20 年 生	25 年 生	30 年 生	35 年 生	40 年 生	45 年 生	50 年 生
林	主 本 数 (本/ha)	3,200	2,421		1,679		1,223			
	林 材 積 (m ³ /ha)	3,000	2,160	2,005	1,500	1,426	1,070	1,070	957	871
	木 平均胸高直径 (cm)	28.9	67.2		156.3		232.4			
	平 均 樹 高 (m)	27.1	60.0	111.8	140.9	196.7	207.7	264.3	294.1	321.4
況	副 本 数 (本/ha)		579		481		277			
	林 材 積 (m ³ /ha)		0	155	0	74	0	0	113	199
	木 平均胸高直径 (cm)		9.6		23.0		30.6			
	平 均 樹 高 (m)		0	5.1	0	6.3	0	0	23.0	44.7
計	本 数 (本/ha)	3,200	3,000	2,160	2,160	1,500	1,500	1,070	1,070	1,070
	材 積 (m ³ /ha)	3,000	2,160	2,160	1,500	1,500	1,070	1,070	1,070	1,070
主 間 除 伐	本 材 数 (本/ha)	(200)	(840)		660		430			1,070
	平 均 胸 高 直 径 (cm)	(1.8)	(16.8)		38.4		55.3			366.1
	平 均 樹 高 (m)	(6.4)	(7.5)		11.2		15.3			22.7
	平 均 単 木 材 積 (m ³)	(5.0)	((7.2)		10.1		12.8			16.3
	本 材 数 間 伐 率 (%)	(0.009)	(0.020)		0.058		0.129			0.342
	材 積 間 伐 率 (%)	(6.3)	(28.0)		30.6		28.7			
収 入 等	利 用 率 (%)	(6.3)	(21.9)		21.4		21.0			
	丸 太 材 積 (m ³ /ha)				60		66			74
	市 場 価 格 (円/m ³)				23.0		36.5			270.9
	市 場 販 売 額 (円/ha)				25,200		32,500			49,100
	ト ラ ッ ク 運 材 費 (円/ha)				579,600		1,186,300			13,301,200
	山 元 収 入 (円/ha)				47,500		75,400			560,000
				532,100		1,110,900			12,741,200	

注) 1: 二段書の上段は除間伐前, 下段はそれ以後の数値である

2: () 書きは収穫されない数値である (除伐, 保育間伐)

3: 市場単価はスギ, ヒノキ込みの価格である

表3. 造林作業基準および造林費

〔単位：人工数 人/ha, 造林費 円/ha〕

区分	種 別	功 程 (人/ha)	林 齢 [年生]													計	
			1	2	3	4	5	6	7	8	10	13	15	20	25		
所要 人工 数	地 植	20	20														20
	植 付	18	18														18
	補 植	4		4													4
	下刈：1回目	10	(50%) 5	(50%) 5	(50%) 5	10	10	10	(50%) 5								
	2回目	16		(50%) 8	(50%) 8												66
	つる切	8								(25%) 2		(25%) 2					4
	除 伐	12										12		12			24
	枝打：1回目	16															
	2回目	18															
	3回目	20										(50%) 8		(50%) 9	(50%) 10	(50%) 10	37
4回目	20																
保護その他		4	3	2	2	2	1	1	1	1	1					17	
計			47	20	15	12	12	11	6	3	21	2	21	10	10	190	
造 林 費	①人件費		314,900	134,000	100,500	80,400	80,400	73,700	40,200	20,100	140,700	13,400	140,700	67,000	67,000	1,273,000	
	物件費：苗木代		203,000	16,200												219,200	
	肥料・薬剤		4,000	4,000	4,000											12,000	
	機械損燃料		10,000	5,200	5,200	4,000	4,000	4,000	2,000		4,800		4,800			44,000	
	その他		9,400	4,000	3,000	2,400	2,400	2,200	1,200	600	4,200	400	4,200	2,000	2,000	38,000	
	②計		226,400	29,400	12,200	6,400	6,400	6,200	3,200	600	9,000	400	9,000	2,000	2,000	313,200	
	③直接事業費(①+②)		541,300	163,400	112,700	86,800	86,800	79,900	43,400	20,700	149,700	13,800	149,700	69,000	69,000	1,586,200	
④人員輸送費		8,100	2,500	1,700	1,300	1,300	1,200	700	300	2,200	200	2,300	1,000	1,000	23,800		
⑤労災保険		11,300	4,800	3,600	2,900	2,900	2,700	1,400	700	5,100	500	5,100	2,400	2,400	45,800		
合計(③+④+⑤)			560,700	170,700	118,000	91,000	91,000	83,800	45,500	21,700	157,000	14,500	157,100	72,400	72,400	1,655,800	

注)＜積算基礎＞

1. 人件費は6,700円とした(昭和58年度雇用労賃, 男女込み)
2. 苗木代は1本58円とし, 新植本数3,500本, 補植本数280本とした
3. 機械損燃料(機械損料と燃料費の合計)は地拵, 下刈, 除伐について見込んだ。機械(刈払機)1台当たりの損燃料は1日800円とし, 2人に1台を見込んだ
4. その他の物件費は1人につき200円を見込んだ
5. 人員輸送費は直接事業費の1.5%を見込んだ
6. 労災保険は, 造林手の保険料率3.6%を適用した

盤台は、木製を中心とする組立て盤台と平土や切盛土上に設置される土盤台に大別できる。前者は、後者に比べ作設撤去に多くの人工数を要するのが通常である。一般に、林地傾斜が増大するに従って組立盤台の比率は増加し、また1盤台当たりの作設撤去費は増大するものと考えられる⁴⁶⁾⁴⁷⁾⁴⁹⁾。このような考え方にに基づき、盤台に関する資料(引用文献46~50, 53, 54)を参考とし、盤台作設撤去費の人件費を b_a (円)、物件費を b_b (円) として傾斜ごとの盤台作設撤去費を定めると表6のとおりになる。

表4. 賃 金 (単位:円/日)

職 種	賃 金
伐 木 造 材 手	9,400
集 材 手	8,900
造 林 手	6,700
管 理 人	10,000

④ 間伐における人力(人肩)集材の工期

人肩による間伐の集材工期は、林地傾斜が急になるに従って低下してくる。人肩集材及び歩行速度に関する資料(引用文献41~45, 52, 54~56)を参考にして、人肩集材の工期 y_s [人/m³] を定めると次式のようにになる。

$$y_s = Z_s \cdot X + 0.0833 \dots\dots\dots(16)$$

表5. 歩行速度および歩行費

林地傾斜 [度]	歩行速度 [m/時]	歩 行 費 [円/人・m]			
		伐木造材手hb	集 材 手hs	造 林 手hz	管 理 人hc
10	1,035	1.14	1.08	0.81	1.21
15	883	1.33	1.26	0.95	1.42
20	752	1.56	1.48	1.11	1.66
25	640	1.84	1.74	1.31	1.95
30	544	2.16	2.05	1.54	2.30
35	462	2.54	2.41	1.81	2.71
40	392	3.00	2.84	2.14	3.19
45	333	3.53	3.34	2.52	3.75

表6. 盤 台 作 設 撤 去 費

林地傾斜 [度]	人 件 費		物 件 費		合計金額 [円]
	人 工 数 [人]	金 額 [円]	単 価 [円/㎡]	金 額 [円]	
10	6.4	57,000	1,050	84,000	141,000
15	7.4	65,900	1,084	86,700	152,600
20	8.6	76,500	1,120	89,600	166,100
25	9.8	87,200	1,158	92,600	179,800
30	11.1	98,800	1,200	96,000	194,800
35	12.6	112,100	1,246	99,700	211,800
40	14.2	126,400	1,298	103,800	230,200
45	16.1	143,300	1,358	108,600	251,900

注) 1. 人件費の単価は 8,900円/人とした
 2. 盤台の面積は 80㎡とした

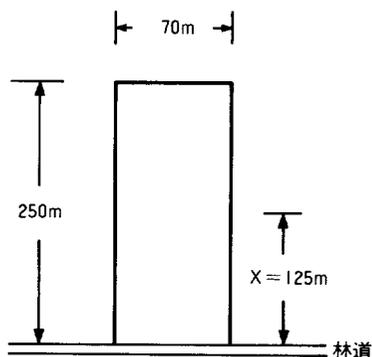


図 2. 伐区モデル

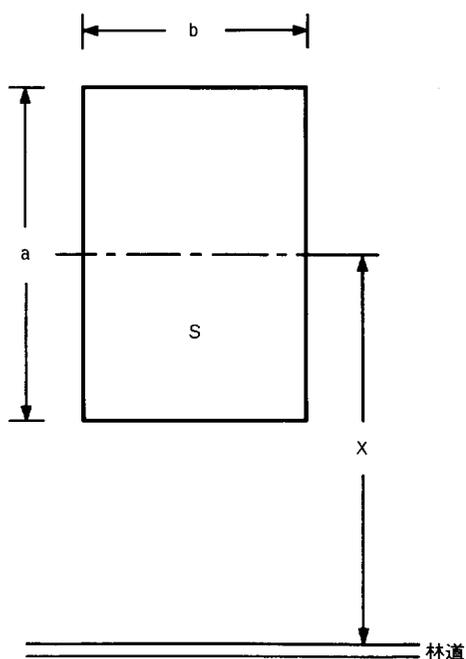


図 3. 林道と伐区的位置

表 7. Z_s の 値

林地傾斜 [度]	Z_s [人/㎡・m]
10	0.00221
15	0.00259
20	0.00304
25	0.00357
30	0.00420
35	0.00496
40	0.00583
45	0.00686

ただし, Z_s : m^3 当たり m 当たりの集材人工数
[人/ $m^3 \cdot m$]

この式における Z_s の値は, 表 7 に示すごとくになる。

つぎに, 図 2 に示した伐区をモデル例として集材費の積算を行うことにする。図において伐区幅を 70 m としたのは, この値がほぼ標準的な伐区幅と考えられる (第 IV 章で述べる) ことにより, また伐区長を 250 m としたのは, 適正施業区長 (同上, 244 m と算定される) にほぼ準じたものである。集材費, 造林費等の積算の方法は国有林で用いられている方法^{57)~59)} に準じることにし, 工期, 単価等の諸数値については, 上記のほか, 既往の資料 (引用文献 48, 51~56, 60, 61) に基づいて定めることにする。

主間伐費の具体的積算法, 工期等の諸数値および積算結果を示すと, 主伐については表 8, 間伐については表 9 のごとくなる。なお, 表の積算基礎のなかで用いられている計算式は, 既往の資料

(同上) に基づいて導き出したものである。

(3) 主間伐費の費用関数

以上, 一定の伐区を設定した場合を例として主間伐費の積算を行ったが, さらにここでは, 前述の計算法に準じ, 費用算出法の一般化を図ることを目的として, 主間伐費を林道からの平均到達距離 X の費用関数として表していくことにする。また, 伐区と林道的位置関係については, いくつかの場合がある⁶²⁾ が, 伐区が林道に接している場合および伐区が林道から離れている場合を含めて図 3 のように表すことにし, 本項においては, 両者がこのような位置関係にあることを前提として論を進めることにする。

1) 伐出経費の類型区分

表 8. 主

種 別	㎡ 当 た				
	人 件 費			物 件 費 額 金 額 〔円/㎡〕	
	人 工 数 〔人/㎡〕	単 価 〔円/人〕	金 額 〔円/㎡〕		
事 業 費	伐 木 造 林	0.1733	270	1,676	227
	集 材	0.1456	9,400	1,296	547
	ト ラ ッ ク 積 込 み	0.0361	8,900	321	
	小 計	0.3550		3,293	774
	雑 費 労 災 保 険				
	計	0.3550		3,293	774
施 設 費 ・ 共 通 費	架 線 架 設 撤 去	0.0404	8,900	360	
	集 材 機 据 付 撤 去	0.0165	8,900	147	
	盤 台 作 設 撤 去	0.0234	8,900	208	202
	雑 屋 作 設 撤 去	0.0032	8,900	28	35
	現 場 人 件 費 人 員 輸 送	0.0679	6,500	441	
	小 計	0.1514		1,184	237
雑 費 器 材 運 搬 労 災 保 険					
計	0.1514		1,184	237	
合 計	0.5064		4,477	1,011	

注) <積算基礎>

1. 単価欄の二段書きの上段は歩行費で、次により算出した
 $2.16 \text{ [円/人} \cdot \text{m]} \times 125 \text{ [m]} = 270 \text{ [円/人]}$
2. チェーンソーの損燃料は 227 [円/人]とした
3. 集材は 4 人 1 組で行うものとし、1 日当たりの生産量 $y \text{ [m}^3/4 \text{ 人]}$ は、次式において到達距離 X を 125 m, 集材迂回率を $\eta' = 0.2$ として算出した ($y = 27.478 \text{ m}^3/4 \text{ 人}$ となる)

$$y = \frac{1}{0.000006462 (1 + \eta') X + 0.0267}$$
 集材機損燃料は 9,600 円/日 とした
4. 架線の架設撤去の人工数 $y \text{ [人]}$ は、次式においてスパン長 L を 353 m として算出した ($y = 19.13 \text{ 人}$ となる)。 $y = 0.0399L + 5.76$
5. 集材機据付撤去の人工数は 7.8 人とした。費用は次のようになる。 $7.8 \text{ 人} \times 8,900 \text{ [円/人]} = 69,400 \text{ [円]}$
6. 盤台については、表 6 による

伐 費

り		ha 当 た り				
そ の 他 額 〔円/㎡〕	合 金 計 額 〔円/㎡〕	人 件 費		物 件 費 額 〔円/ha〕	そ の 他 額 〔円/ha〕	合 金 計 額 〔円/ha〕
		人 工 数 〔人/ha〕	金 額 〔円/ha〕			
	1,903	46.947	454,000	61,500		515,500
	1,843	39.435	351,000	148,200		499,200
	321	9.779	87,000			87,000
	4,067	96.161	892,000	209,700		1,101,700
407	407				110,200	110,200
442	422				114,200	114,200
829	4,896	96.161	892,000	209,700	224,400	1,326,100
	360	10.931	997,300			97,300
	147	4.457	39,700			39,700
	410	6.343	56,500	54,900		111,400
	63	0.857	7,500	9,400		17,000
	441	18.400	119,600			119,600
280	280				75,800	75,800
280	1,701	40.988	320,700	64,300	75,800	460,800
170	170				46,100	46,100
44	44				11,900	11,900
152	152				41,000	41,000
646	2,067	40.988	320,700	64,300	174,800	559,800
1,475	6,963	137.149	1,212,700	274,000	399,200	1,885,900

7. 雑屋（休憩所・倉庫）については、建設しない場合も多くあるので、小規模のもの（10㎡）については30%見込み、費用は次のように算定した
 人件費：5人×30%×8,900〔円/人〕=13,400〔円〕
 物件費：10㎡×30%×5,500〔円/㎡〕=16,500〔円〕
8. 現場人件費はha当たり18.4人を見込んだ
9. 人員輸送費は、伐木造材、集材、トラック積み込み、架線架設撤去、集材機据付撤去、盤台作設撤去、雑屋作設撤去、現場人件費の合計額の5.1%を見込んだ
10. 器材運搬は、4t車（1台10,400円、輸送距離20km以内）2台を見込んだ
11. 雑費は小計の10%とした
12. 労災保険料は、木材伐出業の保険料率12.8%を適用した

表 9. 間 伐 費

区 分	種 別	㎡ 当 た り						ha 当 た り						
		人 件 費			物 件 費 金 額 〔円/㎡〕	そ の 他 金 額 〔円/㎡〕	合 計 金 額 〔円/㎡〕	人 件 費		物 件 費 金 額 〔円/ha〕	そ の 他 金 額 〔円/ha〕	合 計 金 額 〔円/ha〕		
		人 工 数 〔人/㎡〕	単 価 〔円/人〕	金 額 〔円/㎡〕				人 工 数 〔人/ha〕	金 額 〔円/ha〕					
1 回 目	伐 木 造 林	0.8612	270 9,400	8,328	1,128		9,456	19.807	191,500	25,900		217,400		
	集 材	0.6083	8,900	5,414				5,414	13.991				124,500	124,500
	トラック積込み 人員輸送	0.0588	8,900	523					523				1.352	12,000
	小 計	1.5283		14,265	1,128	785	785	35.150	328,000	25,900	18,000	371,900		
	雑 費					1,618	1,618				37,200	37,200		
	労 災 保 険					1,826	1,826				42,000	42,000		
計	1.5283		14,265	1,128	4,229	19,622	35.150	328,000	25,900	97,200	451,100			
2 回 目	伐 木 造 材	0.4677	270 9,400	4,523	612		5,135	17.072	165,100	22,300		187,400		
	集 材	0.6083	8,900	5,414				5,414	22.203				197,600	197,600
	トラック積込み 人員輸送	0.0588	8,900	523					523				2.146	19,100
	小 計	1.1348		10,460	612	565	565	41.421	381,800	22,300	20,600	424,700		
	雑 費					1,164	1,164				42,500	42,500		
	労 災 保 険					1,339	1,339				48,900	48,900		
計	1.1348		10,460	612	3,068	14,140	41.421	381,800	22,300	112,000	516,100			

<積算基礎>

- チェーンソーの損燃料は1回目1,128円/㎡、2回目612円/㎡とした
- 人員輸送費は、伐木造材、集材、トラック積込みの合計額の5.1%を見込んだ
- 上記以外は主伐と同様にした

主間伐費の構成因子となる各費用のうち、人件費および物件費は、その内容を検討した結果、次の五つのタイプに区分することができる。

① $y = \alpha \cdot X + \beta$ 型

到達距離 x の一次関数となる経費で、集材作業費、歩行費 ($\beta=0$) が該当する。

② $y = \alpha \cdot L + \beta$ 型

ただし、 L : 主索のスパン長 [m]

主索のスパン長の一次関数となる経費で、集材機付属器具損料が該当する。

③ $y = (\alpha \cdot L + \beta) / S \cdot v$ 型

ただし、 S : 伐区面積 [ha]

v : ha 当たりの伐出材積 [m^3/ha]

スパン長の一次関数となり、かつ、伐出材積に反比例する経費で、架線の架設撤去費が該当する。

④ $y = \alpha / (S \cdot v)$ 型

伐出材積に反比例する経費で、集材機据付撤去費、雑屋作設撤去費、器材運搬費が該当する。

⑤ $y = \alpha$ 型

集材距離、伐出材積に関係せず、単位伐出材積当たり一定の経費で、伐木造材作業費、トラック積込費、現場人件費、チェーンソー損燃料が該当する。

2) 平均集材距離と主索のスパン長との関係

平均集材距離は、集材迂回率を η' とすると、 $(1 + \eta') X$ で表すことができる。これから、主索のスパン長と平均集材距離がほぼ比例関係にあると考えると、スパン長 L [m] は次のように表すことができる。

$$L = k_x (1 + \eta') X \dots\dots\dots(17)$$

ただし、 k_x : 比例定数

k_x の値は、奥田ら⁶³⁾のスパン長と平均集材距離に関する調査結果から求めると

$$k_x = 2.23 \dots\dots\dots(18)$$

となる。

3) 2次経費の負担率

表3および表8、9の中で、労災保険料、雑費、人員輸送費は、それぞれ一定の基礎となる経費に一定の比率を乗じて算出された経費である。これらの経費をここでは2次経費、これに対し基礎となる経費を1次経費と呼ぶことにする。2次経費は1次経費に案分することができ、1次経費が2次経費を負担すると思われることにより、計算上2次経費を取り除くことができる。各経費の2次経費負担率を示すと表10のとおりである。

4) 主伐費の費用関数

以上から、主伐の変動費の係数 A_s および固定費 B_s を求めると、次のようになる。

$$A_s = \left\{ (\alpha_s + k_x \cdot \beta_s) (1 + \eta') + r_s \cdot h_b \right\} V + \frac{k_x \cdot \delta_s (1 + \eta')}{S} \dots\dots\dots(19)$$

表 10. 2次経費の負担率 [単位：%]

区 分	主間伐費		造 林 費	
	人件費	物件費	人件費	物件費
労災保険費	12.8	—	3.6	—
雑 費	10.0	10.0	—	—
人員輸送費	5.61	5.61	1.5	1.5
計	28.41	15.61	5.1	1.5

$$B_s = \frac{\epsilon_s}{S} + \lambda_s \cdot V \quad \dots\dots\dots(20)$$

ただし、

α_s : m^3 当たり m 当たりの集材作業費, 同集材機損燃料 [円/ $m^3 \cdot m$]

β_s : m^3 当たり m 当たりの集材機付属器具損料 [円/ $m^3 \cdot m$]

γ_s : m^3 当たりの伐木造材人工数 [人/ m^3]

δ_s : m 当たりの架線架設撤去費 [円/ m]

ϵ_s : 架線架設撤去の固定費, 集材機据付撤去費, 盤台作設撤去費, 雑屋作設撤去費, 器材運搬費の合計 [円]

λ_s : m^3 当たりの以下の経費。伐木造材作業費, チェーンソー損燃料, 集材作業の固定費, 集材機損燃料の固定費, 集材機付属器具損料の固定費, トラック積込費, 現場人件費 [円/ m^3]

V : 主伐の伐出材積 [m^3/ha]

5) 間伐費の費用関数

間伐についても同様に A_{ki} , B_{ki} を求めると次のようになる。

$$A_{ki} = (\alpha_{ki} + \beta_{ki} \cdot h_b) V_{ki} \quad \dots\dots\dots(21)$$

$$B_{ki} = \gamma_{ki} \cdot V_{ki} \quad \dots\dots\dots(22)$$

ただし、

α_{ki} : m^3 当たり m 当たりの集材作業費 [円/ $m^3 \cdot m$]

β_{ki} : m^3 当たりの伐木造材人工数 [人/ m^3]

γ_{ki} : m^3 当たりの以下の経費。伐木造材作業費, チェーンソー損燃料, 集材作業の固定費, トラック積込費 [円/ m^3]

V_{ki} : 間伐の伐出材積 [m^3/ha]

(4) 作業関係費の変動費の係数および固定費

1) 主伐費

表 8 に掲げた数値, 積算基礎および表 10 に示した 2 次経費の負担率を用いて, 主伐の費用関数を求めると表 11 に示すごとくになる。この表より A_s および B_s は次のようになる。

$$A_s = \left\{ 4.45(1+\eta') + 0.223 h_b \right\} V + \frac{1017(1+\eta')}{S} \quad \dots\dots\dots(23)$$

$$B_s = \frac{1.2841 b_z + 1.1561 b_b + 212000}{S} + 4961 V \quad \dots\dots\dots(24)$$

2) 間伐費

主伐と同様に, 間伐の費用関数を求めると表 12 に示すごとくになる。この表から A_{ki} および B_{ki} は次のようになる。

(a) 1 回目

$$A_{k1} = (11428 Z_s + 1.106 h_b) V_{k1} \quad \dots\dots\dots(25)$$

$$B_{k1} = 13323 V_{k1} \quad \dots\dots\dots(26)$$

(b) 2 回目

表 11. 主 伐 の 費 用 関 数

種 別	費 目	摘 要	㎡ 当 たり 費 用 (円/㎡)	算 出 式
伐 木 造 材	人 件 費	作 業 費	$y = 2092$	$y = 9400(\text{円/人}) \times 0.1733(\text{人/㎡}) \times 1.2841$
	人 件 費	歩 行 費	$y = 0.223 h_b \cdot X$	$y = 0.1733(\text{人/㎡}) \times h_b \{(\text{円/人} \cdot \text{m}) \cdot X(\text{m}) \times 1.2841$
	物 件 費	チェンソー損燃料	$y = 262$	$y = 1310(\text{円/日}) \times 0.1733(\text{日/㎡}) \times 1.1561$
集 材	人 件 費	作 業 費	$y = 2.954(1 + \eta') X + 1221$	$y = 8900(\text{円/人}) \times 4\{0.00006462(1 + \eta') X + 0.0267\}(\text{人/㎡}) \times 1.2841$
	物 件 費	集材機損燃料	$y = 0.722(1 + \eta') X + 298$	$y = 9660(\text{円/日}) \times \{0.00006462(1 + \eta') X + 0.0267\}(\text{日/㎡}) \times 1.1561$
	物 件 費	集材機付属器具損料	$y = 0.347 L + 110$	$y = (0.3L + 95) (\text{円/㎡}) \times 1.1561$
トラック積込み	人 件 費		$y = 412$	$y = 8900(\text{円/人}) \times 0.0361(\text{人/㎡}) \times 1.2841$
架線架設撤去	人 件 費		$y = (456 L + 65800)/S \cdot V$	$y = 8900(\text{円/人}) \times (0.0399L + 5.76) (\text{人}/S \cdot V(\text{㎡})) \times 1.2841$
集材機据付撤去	人 件 費		$y = 89100/S \cdot V$	$y = 69400(\text{円})/S \cdot V(\text{㎡}) \times 1.2841$
盤台作設撤去	人 件 費		$y = 1.2841 b_z/S \cdot V$	$y = b_z(\text{円})/S \cdot V(\text{㎡}) \times 1.2841$
	物 件 費		$y = 1.1561 b_b/S \cdot V$	$y = b_b(\text{円})/S \cdot V(\text{㎡}) \times 1.1561$
雑屋作設撤去	人 件 費		$y = 17200/S \cdot V$	$y = 13400(\text{円})/S \cdot V(\text{㎡}) \times 1.2841$
	物 件 費		$y = 19100/S \cdot V$	$y = 16500(\text{円})/S \cdot V(\text{㎡}) \times 1.1561$
現場人件費	人 件 費		$y = 566$	$y = 441(\text{円/㎡}) \times 1.2841$
	器 材 運 搬	そ の 他	$y = 20800/S \cdot V$	$y = 10400(\text{円/台}) \times 2 (\text{台})/S \cdot V (\text{㎡})$
㎡ 当 たり 費 用 合 計 (円/㎡)	$\Sigma y = \{3.676(1 + \eta') + 0.223 h_b\} X + 0.347L + 456L/S \cdot V + (1.2841 b_z + 1.1561 b_b)/S \cdot V + 212000/S \cdot V + 4961$ $= \{4.45(1 + \eta') + 0.223 h_b + 1017(1 + \eta')/S \cdot V\} X + (1.2841 b_z + 1.1561 b_b)/S \cdot V + 212000/S \cdot V + 4961$			
ha 当 たり 費 用 (円/ha)	$E_s = [\{4.45 (1 + \eta') + 0.223 h_b\} V + 1017(1 + \eta')/S] X + (1.2841 b_z + 1.1561 b_b)/S + 212000/S + 4961 V$			

架線集材における路網計画に関する研究 (大川畑)

表 12. 間 伐 の 費 用 関 数

種 別	費 目	摘 要	㎡当たり費用 (円/㎡)	算 出 式
(a) 1 回 目	伐 木 造 材	人 件 費	$y=10395$	$y=9400(\text{円/人}) \times 0.8612(\text{人/㎡}) \times 1.2841$
	"	"	$y=1.106 h_b \cdot X$	$y=0.8612(\text{人/㎡}) \times h_b (\text{円/人} \cdot \text{m}) \cdot X(\text{m}) \times 1.2841$
	物 件 費	作 業 費 歩 行 費	$y=1304$	$y=1310(\text{円/日}) \times 0.8612(\text{日/㎡}) \times 1.1561$
	人 件 費	チェンソー損燃料	$y=11428 Z_s \cdot X + 952$	$y=8900(\text{円/人}) \times (Z_s \cdot X + 0.0833)(\text{人/㎡}) \times 1.2841$
ト ラ ッ ク 積 込 み	"	$y=672$	$y=523(\text{円/㎡}) \times 1.2841$	
㎡ 当 た り 費 用 合 計 (円/㎡)			$\Sigma y = (11428 Z_s + 1.106 h_b) X + 13323$	
ha 当 た り 費 用 (円/ha)			$E_{K1} = (11428 Z_s + 1.106 h_b) V_{K1} \cdot X + 13323 V_{K1}$	
(b) 2 回 目	伐 木 造 材	人 件 費	$y=5645$	$y=9400(\text{円/人}) \times 0.4677(\text{人/㎡}) \times 1.2841$
	"	"	$y=0.601 h_b \cdot X$	$y=0.4677(\text{人/㎡}) \times h_b (\text{円/人} \cdot \text{m}) \cdot X(\text{m}) \times 1.2841$
	物 件 費	作 業 費 歩 行 費	$y=708$	$y=1310(\text{円/日}) \times 0.4677(\text{日/㎡}) \times 1.1561$
	人 件 費	チェンソー損燃料	$y=11428 Z_s \cdot X + 952$	1回目と同じ
ト ラ ッ ク 積 込 み	"	$y=672$	"	
㎡ 当 た り 費 用 合 計 (円/㎡)			$\Sigma y = (11428 Z_s + 0.601 h_b) X + 7977$	
ha 当 た り 費 用 (円/ha)			$E_{K2} = (11428 Z_s + 0.601 h_b) V_{K2} \cdot X + 7977 V_{K2}$	

$$A_{K2} = (11428 Z_S + 0.601 b_h) V_{K2} \dots\dots\dots(27)$$

$$B_{K2} = 7977 V_{K2} \dots\dots\dots(28)$$

3) 造林費

表3を用い、主伐と同様にして造林の費用関数を求めると表13に示すごとくなる。この表より A_z および B_z は次のようになる。

$$A_z = 200 h_z \dots\dots\dots(29)$$

$$B_z = 1655800 \dots\dots\dots(30)$$

4) 管理費

管理業務は、一般的に、現場管理と一般管理に区分される。さらに現場管理は、林内歩行を伴う林内管理と歩行を伴わない林外管理に区分することができる。ここでは、一施業期間に要する ha 当たりの林内管理の人工数として 30 人 (表14参照) を見込むこととし、その他の管理については、通常の請負作業に用いられる管理費等の率⁵⁸⁾⁶⁴⁾を勘案して、表15のように定めた。この表より A_c および B_c は次のようになる。

$$A_c = 30 h_c \dots\dots\dots(31)$$

表 13. 造 林 の 費 用 関 数

費 目	摘 要	ha当たり費用 [円/ha]	算 出 式
人件費	造林作業費	$y = 1337900$	$y = 190 \text{ [人/ha]} \times 6700 \text{ [円/人]} \times 1.051$
"	歩 行 費	$y = 200 h_z \cdot X$	$y = 190 \text{ [人/ha]} \times h_z \text{ [円/人} \cdot \text{m]} \cdot X \text{ [m]} \times 1.051$
物件費		$y = 317900$	$y = 313200 \text{ [円/ha]} \times 1.015$
費用計 [円/ha]		$E_z = \sum y = 200 h_z \cdot X + 1655800$	

表 14. 所 要 管 理 人 工 数

[単位：人/ha]

種 別	細 別	人 工 数	積 算 基 礎
林 内 巡 視 造 林	計 画	5.0	2人, 1回/年, 1日 20ha, 50回
	現 地 指 示	2.6	2人, 1回/年, 1日 10ha, 13回
	跡 地 検 査	5.2	1人, 2回/年, 1日 5ha, 13回
	材 積 調 査・選 木	5.2	2人, 1回/年, 1日 5ha, 13回
間 伐	現 地 指 示	4.0	2人, 1日 1ha, 2回
	跡 地 検 査	0.8	1人, 1日 5ha, 2×2回
	計 画	0.8	2人, 1日 5ha, 2回
	周 囲 測 量	0.4	2人, 1日 5ha
主 伐	材 積 調 査	0.6	3人, 1日 5ha
	現 地 指 示	2.0	2人, 1日 1ha
	跡 地 検 査	0.6	1人, 1日 5ha, 3回
	計 画	0.4	2人, 1日 5ha
施 業 計 画 そ の 他		1.0	2人, 1日 20ha, 10回
		1.4	
計		30.0	

表 15. 管理の費用関数

種 別	費 目	摘 要	ha当たり費用 (円/ha)	算 出 式
現場管理	林内管理	人件費	$y = 300000$	$y = 30 \text{ [人/ha]} \times 10000 \text{ [円/人]}$
	"	歩 行 費	$y = 30 h_c \cdot X$	$y = 30 \text{ [人/ha]} \times h_c \text{ [円/人} \cdot \text{m]} \cdot X \text{ [m]}$
		物件費	$y = 60000$	$y = 30 \text{ [人/ha]} \times 2000 \text{ [円/人]}$
現場管理	林外管理	人件費	$y = 150000$	$y = 15 \text{ [人/ha]} \times 10000 \text{ [円/人]}$
	"	歩 行 費	$y = 30000$	$y = 15 \text{ [人/ha]} \times 2000 \text{ [円/人]}$
一 般 管 理			$y = 500000$	
費 用 計			$E_c = \sum y = 30 h_c \cdot X + 1040000$	

表 16. 変動費の係数, 固定費および収益

(単位: 収入, 固定費, 収益 円/ha, 変動費の係数 円/m・ha)

区 分	主 伐	間 伐		造 林	管 理	計		
		1 回 目	2 回 目					
収 入	12,741,200	532,100	1,110,900			14,384,200		
支	変動費の係数	傾斜 10°	2,213	610	947	162	36	3,968
		15	2,224	715	1,110	190	43	4,282
		20	2,238	839	1,302	222	50	4,651
		25	2,255	985	1,529	262	59	5,090
		30	2,274	1,159	1,799	308	69	5,609
		35	2,297	1,366	2,120	362	81	6,226
		40	2,325	1,609	2,498	428	96	6,956
		45	2,357	1,893	2,939	504	113	7,806
出	固定費	傾斜 10°	1,562,400	306,400	291,200	1,655,800	1,040,000	4,855,800
		15	1,570,700	"	"	"	"	4,864,100
		20	1,580,400	"	"	"	"	4,873,800
		25	1,590,200	"	"	"	"	4,883,600
		30	1,601,000	"	"	"	"	4,894,400
		35	1,613,200	"	"	"	"	4,906,600
		40	1,626,400	"	"	"	"	4,919,800
		45	1,642,000	"	"	"	"	4,935,400
収 益	傾 斜	10°	11,178,800	225,700	819,700	-1,655,800	-1,040,000	9,528,400
		15	11,170,500	"	"	"	"	9,520,100
		20	11,160,800	"	"	"	"	9,510,400
		25	11,151,000	"	"	"	"	9,500,600
		30	11,140,200	"	"	"	"	9,489,800
		35	11,128,000	"	"	"	"	9,477,600
		40	11,114,800	"	"	"	"	9,464,400
		45	11,099,200	"	"	"	"	9,448,800

注) 収益は, 林道にきわめて近い箇所 (X = 0) における値である。

$$B_c = 1040000 \dots\dots\dots(32)$$

5) 作業関係費の変動費の係数および固定費の算定

各作業関係費の傾斜ごとの変動費の係数および固定費は、(23)～(31)式に $\eta' = 0.2$, $V = 270.9$, $V_{K1} = 23.0$, $V_{K2} = 36.5$, $S = 1.75$ を, h_b , h_s , h_z , h_c には表5の値を, b_z , b_b には表6の値を, Z_s には表7の値を代入すると, 表16に示すとおりになる。

3. 合理的な路網密度

(1) 複合林道網

林道, 特に低規格の林道と作業道との間の区別は, 事務上の取扱いは別として, 構造や利用実態の上からは明確に区分し難い場合も多い⁴⁹⁾⁶⁵⁾。本論ではこのことについては深く言及しないが, 作業道が集材距離や林内への到達距離の短縮を図るうえで果たす役割は林道とほぼ同様であることから, ここでは作業道を路網体系の一環として捉え, 林道に含めることにする。また, 林道網は, 次のように2種類の林道から構成されていると考えることができる。

① 路網の中で主要な役割を果たす部分で, 比較的高い利用頻度に供し得る構造を有する。このような林道をここでは高規格林道と呼ぶことにする。

② 支線, 分線等補完的な路線に多く見られるような簡易な林道で, 高規格林道に比べ利用頻度および構造規格は低い。このような林道をここでは低規格林道と呼ぶことにする。

このように2種類の林道から構成される路網形態を南方ら²³⁾は複合林道網と呼んでいる。本論においても, この呼称によることにし, さらにここでは, 両種の林道の比率に応じて次のような複合路網形態を設定することにする。

複合林道網 I 型	……	高規格林道 80%	,	低規格林道 20%		
”	II	……	”	60% ”	”	40% ”
”	III	……	”	40% ”	”	60% ”
”	IV	……	”	20% ”	”	80% ”

ここで, 複合林道網 I 型等高規格の林道が中心となるのは, 例えば, 計画対象地域が広大で基幹的林道が必要とし, 地形等の条件から長距離の集材を主体とし, 補完的な路網をあまり必要としないような場合である。また, 複合林道網 IV 型等低規格の林道が中心となるのは, 例えば, 計画対象地域がそれほど広大でなく, 区域内に基幹的林道をあまり必要としない場合や, 地形等の条件から短距離集材が主体となるときや, 集約的施業を行うため到達距離の短縮化が必要な場合など, 高規格な林道をあまり必要としないまたは補完的な路網を多く必要とするような場合である。実際には, 1種類のみ林道により路網が構成されている場合も多いが, この場合にはいずれかの林道が100%の複合路網と考えることができる。

上記の類型区分は, 複合路網の状態を表すと同時に, 次のように林道の規格等を表すものとも考えることができる。すなわち, 構造, 寸法, 建設費等の諸数値が, 高規格林道と低規格林道との比率に応じた加重平均値となる林道を表していると考えられることもできる。

(2) 路網関係費

1) 林道建設費, 林道維持費および林道の迂回率

林道建設費については, 民有林道開設事業実施計画⁶⁶⁾, 国有林道事業の実績⁶⁷⁾, 林地傾斜と林道建設費との関係について調査および試算結果^{68)~70)}等を参考として, 高規格林道および低規格林道の建設費

表 17. 林道建設費および林道維持費

区 分	林地傾斜 〔度〕	高規格 林道	複合Ⅰ型	複合Ⅱ型	複合Ⅲ型	複合Ⅳ型	低規格 林道
林道建設費 〔円/m〕	10	15,000	12,600	10,200	7,800	5,400	3,000
	15	22,000	18,480	14,960	11,440	7,920	4,400
	20	30,500	25,620	20,740	15,860	10,980	6,100
	25	41,000	34,440	27,880	21,320	14,760	8,200
	30	54,000	45,360	36,720	28,080	19,440	10,800
	35	70,500	59,220	47,940	36,660	25,380	14,100
	40	91,500	76,860	62,220	47,580	32,940	18,300
	45	118,000	99,120	80,240	61,360	42,480	23,600
林道維持費 〔円/m・年〕	10	36.0	34.2	32.4	30.6	28.8	27.0
	15	52.8	50.2	47.5	44.9	42.2	39.6
	20	73.2	69.5	65.9	62.2	58.6	54.9
	25	98.4	93.5	88.6	83.6	78.7	73.8
	30	129.6	123.1	116.6	110.2	103.7	97.2
	35	169.2	160.7	152.3	143.8	135.4	126.9
	40	219.6	208.6	197.6	186.7	175.7	164.7
	45	283.2	269.0	254.9	240.7	226.6	212.4

表 18. 林道の迂回率

林地傾斜 〔度〕	迂回率
10	0.20
15	0.30
20	0.37
25	0.44
30	0.50
35	0.55
40	0.60
45	0.65

を表 17 のように定めた。さらに、この建設費に基づいて、各複合林道の建設費を算出すると同表に示すごとくになる。

林道維持費は、林道の開設後一定の期間は割高であるが、その後法面や路面の安定に伴って減少してくるのが一般的である。また、支線、分線等の路線や林道の末端部分等利用度の低い箇所においては伐出、造林等主要作業の終了後、林道の利用は間断的となり、維持を必ずしも毎年必要としない場合も出てくる。国有林では、現況延長に対する維持修繕を

行った距離の実績比率は 87% (昭和 55~57 年平均, 引用文献 67 により算出) となっている。これらを含めて、年間林道維持費と林道建設費の関係を国有林の実績から求めると (厳密には推定になる), 年間維持費は建設費の 0.24% となる (資料は同上)。この値を用いて, m 当たりの年間の林道維持費を定めると, 表 17 のようになる。

また、林道の迂回率については、既往の調査結果²⁴⁾⁷¹⁾⁷²⁾および実用例⁴⁵⁾を参考として表 18 に示すごとくに定めた。

2) 林道開設に伴う林地の損失

主伐、造林等の作業費は、林道密度が高くなるにしたがって低減していくが、逆に、林道建設費および林道維持費が増大するほか、林地面積の減少に伴い将来の収入は減少してくる。そこでここでは、林道開設に伴う林地の損失について述べることにする。林道の建設は、主伐対象区域を中心として行われること

表 19. 平均林道敷の幅

〔単位：m〕

林地傾斜 〔度〕	高規格 林道	複合Ⅰ型	複合Ⅱ型	複合Ⅲ型	複合Ⅳ型	低規格 林道
10	4.45	4.23	4.01	3.78	3.56	3.34
15	4.71	4.48	4.24	4.01	3.77	3.54
20	5.03	4.78	4.53	4.27	4.02	3.77
25	5.40	5.13	4.86	4.59	4.32	4.05
30	5.87	5.58	5.29	4.99	4.70	4.41
35	6.49	6.17	5.84	5.52	5.19	4.87
40	7.34	6.97	6.60	6.24	5.87	5.50
45	8.62	8.19	7.76	7.33	6.90	6.47

が多く、この場合、林道敷予定地上の立木は収獲、販売されるので、林道開設に伴う林地の損失が大きく影響するのは2回目以降の主伐とすることができる。したがって、林道の計算上の供用期間が一施業期間（輪伐期）以上の場合には林地の損失について考慮する必要性は大きく、また、一施業期間より短い場合には少ないと言えよう。このような観点から、本論においては、以下の主伐林道密度および一施業期林道密度の算定式の誘導に当たっては林地の損失については無視することにし、最多林道密度の場合には考慮することにする。

いま、林業経営の対象となる事業地が林地および林道敷により構成されるものとし、このときの平均林道敷の幅を e [m]、林道密度を d [m/ha] とすると、事業地 1 ha 当たりの林地面積 S_r [ha] は、次式により表すことができる。

$$S_r = 1 - \frac{e \cdot d}{10000} \quad \dots\dots\dots (33)$$

平均林道敷の幅は、林道幅員を最小として、山腹傾斜が増加するにしたがって増大していくものと考えられる。このような考え方にに基づき平均林道敷の幅を表 19 のように定めた。

(3) 合理的林道密度の算定式

本項では、経済性を基礎とした合理的林道密度の算定式を導くことにし、まず、主伐林道密度、一施業期林道密度、最多林道密度の三つの林道密度算定式をそれぞれの観点から導き、次に、これらを包括する式として合理的林道密度の一般算定式を導くことにする。

1) 主伐林道密度

主伐費と林道建設費の合計を最小にする路網密度を主伐林道密度と呼ぶことにし、この密度の算定式を以下に求めることにする。

m 当たりの林道建設費を r_k [円/m] とすると、ha 当たりの主伐費と林道建設費の合計費用 E_{S_r} [円/ha] は次式のように表せる。

$$E_{S_r} = A_S \cdot X + B_S + r_k \cdot d \quad \dots\dots\dots (34)$$

この式に (9) 式を代入すると、 E_{S_r} は次式のように d の関数として表され、

$$E_{S_r} = \frac{2500 f_0 \cdot A_S (1 + \eta)}{d} + B_S + r_k \cdot d \quad \dots\dots\dots (35)$$

表 20. 主伐林道密度

[単位: m/ha]

林地傾斜 (度)	高規格 林道	複合 I 型	複合 II 型	複合 III 型	複合 IV 型	低規格 林道
10	25.2	27.5	30.6	35.0	42.1	56.5
15	21.8	23.7	26.4	30.2	36.3	48.6
20	19.0	20.8	23.1	26.4	31.7	42.5
25	16.9	18.4	20.5	23.4	28.1	37.8
30	15.1	16.5	18.3	20.9	25.1	33.7
35	13.5	14.7	16.4	18.7	22.5	30.2
40	12.1	13.2	14.7	16.8	20.2	27.1
45	10.9	11.9	13.2	15.1	18.2	24.4

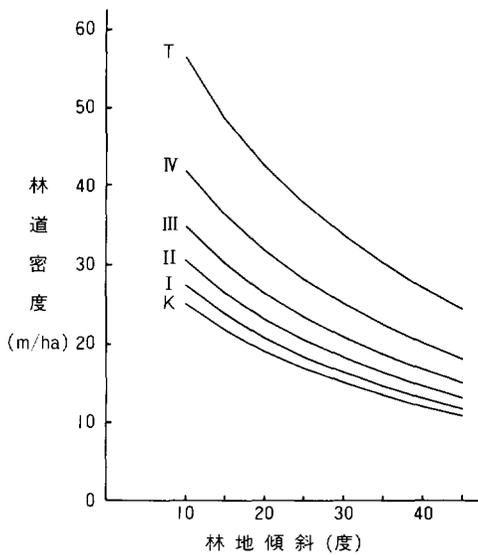


図 4. 主伐林道密度

各線は下から高規格林道, 複合林道 I ~ IV 型, 低規格林道を表す。以下同じ

この式から E_{Sr} を最小にする d を求めると次式を得る。

$$d = 50 \sqrt{\frac{f_0(1+\eta)A_s}{r_K}} \dots\dots\dots(36)$$

この式および表 16~18 の数値を用いて主伐林道密度を算出すると表 20 および図 4 に示すとおりになる。

ここで、林地傾斜 30 度を標準傾斜、複合林道 II 型を標準林道、さらに標準傾斜における標準林道の密度を標準林道密度と呼ぶことにする。これは、下記を勘案して定めたものである。

① わが国における傾斜別森林面積の状況⁷³⁾ や架線集材作業地における林地傾斜の調査結果⁷⁴⁾ 等から架線集材における標準的な林地傾斜は 30 度前後と推定しうる。

② 国有林においては、林道の全幅員が 3.6 m 程度の場合が多いと思われる (林野庁長官通達 58 林野道 391 号の適用により路肩を 30 cm 程度と

している場合が多いと思われる) ことや民有林においては、林道規程⁵⁾⁷⁵⁾ に定める 2 級程度の規格の林道のほか、それよりも規格の低い林道は、作業道を含めて相当に作設されているのが実態である⁵⁾⁶⁵⁾。

このようなことから 3.6 m 程度の数値が一つの基準になるものと考えられる。

表 20 から、標準林道密度は 18.3 m/ha となる。

2) 一施業期林道密度

一度建設された林道は、維持補修を続ける限り永続的に使用し得ると考えるのが一般的であるが、林道建設上多くの場合必要となる橋梁や防壁には耐用年数が存在するとも考えられ、これらの年数をもって林道の一応の耐用年数とみなすこともできる。大蔵省令 (昭和 56 年 3 月 31 日, 大蔵省令第 14 号)⁷⁶⁾ においては、橋梁の耐用年数は 60 年、防壁は 50 年とされており、この数値は、通常の用材林の伐期齢程度ま

たはこれをやや上回る値となっている。このようなことを勘案して、ここでは、林道の耐用年数を一施業期間とし、この場合の収益を最大(費用を最小)にする路網密度を一施業期林道密度と呼ぶことにし、この密度を以下に求めることにする。

いま、林地 1 ha 当たりの主伐収入を I_s [円/ha], i 回目の間伐収入を I_{ki} [円/ha], 輪伐期を u [年] とし、林地 1 ha 当たりの年間収益を P_r [円/ha・年] とすると、 P_r は次のように表すことができる。

$$P_r = \frac{1}{u} \left\{ I_i - (Aa \cdot X + B_b) \right\} \dots\dots\dots(37)$$

ただし、 $I_i = I_s + \sum I_{ki} \dots\dots\dots(38)$

$$Aa = A_s + A_z + \sum A_{ki} + A_c \dots\dots\dots(39)$$

$$B_b = B_s + B_z + \sum B_{ki} + B_c \dots\dots\dots(40)$$

ここで、定額法による場合、年間の減価償却費を D_g [円/年] で表すと D_g は一般に次の式で表される(例えば、引用文献 77)。

$$D_g = \frac{C_g - S_g}{N_g} \dots\dots\dots(41)$$

ただし、 C_g : 取得原価 [円]

S_g : 残存価額 [円]

N_g : 耐用年数 [年]

この式において林道の残存価額については具体的に定め難い面もあり、ここでは 0 とすると(国有林における経理規程⁷⁸⁾ においては林道の残存価額を 0 と定めている)、(41) 式は次のようになる。

$$D_g = \frac{C_g}{N_g} \dots\dots\dots(42)$$

この式から、密度 d の林道を作設する場合、ha 当たり年間の林道の減価償却費 R_s [円/ha・年] は次のようになる。

$$R_s = \frac{r_k \cdot d}{u} \dots\dots\dots(43)$$

次に、ha 当たりの年間林道維持費 R_i [円/ha・年] は、m 当たりの年間林道維持費を r_i [円/m・年] とすると

$$R_i = r_i \cdot d \dots\dots\dots(44)$$

となる。(37), (43), (44), および (9) 式より事業地 1 ha 当たりの年間収益 P_z [円/ha・年] は次のように表せる。

$$\begin{aligned} P_z &= P_r - R_s - R_i \\ &= \frac{1}{u} \left\{ I_i - (Aa \cdot X + B_b) \right\} - \frac{r_k}{u} \cdot d - r_i \cdot d \\ &= \frac{1}{u} \left\{ I_i - \frac{2500 f_0 (1 + \eta') Aa}{d} - B_b \right\} - \left(\frac{r_k}{u} + r_i \right) d \dots\dots\dots(45) \end{aligned}$$

この式から、 P_z を最大にする d を求めると次式のようになる。

$$d = 50 \sqrt{\frac{f_0 (1 + \eta) Aa}{r_k + u \cdot r_i}} \dots\dots\dots(46)$$

表 21. 一 施 業 期 林 道 密 度

(単位：m/ha)

林地傾斜 [度]	高 規 格 道 林	複 合 I 型	複 合 II 型	複 合 III 型	複 合 IV 型	低 規 格 道 林
10	31.9	34.6	38.1	42.9	50.1	62.8
15	28.5	30.9	34.0	38.3	44.7	56.0
20	25.9	28.1	30.9	34.8	40.6	50.9
25	24.0	26.0	28.6	32.2	37.6	47.1
30	22.4	24.2	26.7	30.0	35.1	44.0
35	21.0	22.7	25.0	28.1	32.9	41.2
40	19.8	21.4	23.6	26.5	31.0	38.9
45	18.7	20.3	22.3	25.1	29.4	36.8

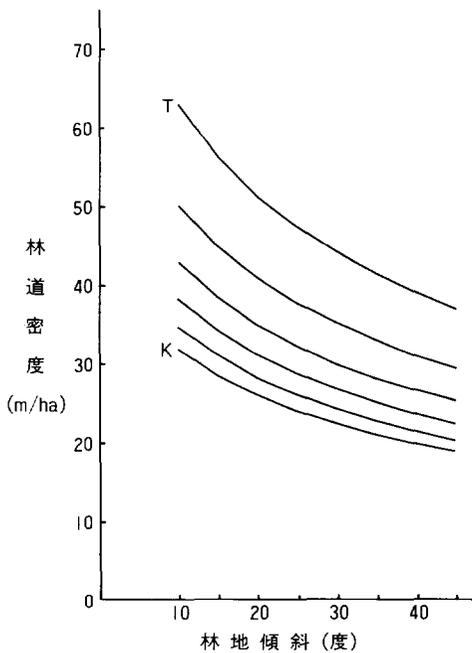


図 5. 一施業期林道密度

(46) 式および表 16~18 を用い、 $u=50$ 年 (以後 u にはこの値を用いる) として一施業期林道密度を算出すると、表 21、図 5 に示すとおりになる。この表から、標準林道密度は 26.7 m となる。

3) 最多林道密度

林道建設には多額の費用を要するが、計画林道網の完成後には、生産基盤の整備された林業生産活動を永続的に行うことが可能となる。そこでここでは、林道網が整備された後の状態に主眼をおき、林業経営の理想状態として、最大の収益を永続的にもたらし得る路網密度を最多林道密度と呼ぶことにし、以下この林道密度を求めることにする。

この場合、林道開設に伴う林地の損失についても考慮することになると、事業地 1 ha 当たりの年間収益 Pze (円/ha・年) は (33), (37), (44) および (9) 式を用いて次のように表すことができる。

$$Pze = S_r \cdot P_r - R_i$$

$$\begin{aligned}
 &= \left(1 - \frac{e \cdot d}{10000}\right) \left[\frac{1}{u} \left\{ I_i - (Aa \cdot X + B_b) \right\} \right] - r_i \cdot d \\
 &= \left(1 - \frac{e \cdot d}{10000}\right) \left[\frac{1}{u} \left\{ I_i - \frac{2500 f_0 (1 + \eta) Aa}{d} - B_b \right\} \right] - r_i \cdot d \\
 &= \frac{R_g}{u} + \frac{e \cdot f_0 (1 + \eta) Aa}{4u} - \frac{2500 f_0 (1 + \eta) Aa}{u} \cdot \frac{1}{d} \\
 &\quad - \left(r_i + \frac{e \cdot R_g}{10000 u} \right) d \dots \dots \dots (47)
 \end{aligned}$$

ただし、 $R_g = I_i - B_b$ (48)

表 22. 林道 1 m 当たりの林地損失費 (単位: 円/m)

林地傾斜 (度)	損失費単価 (円/㎡)	高規格 林道	複合Ⅰ型	複合Ⅱ型	複合Ⅲ型	複合Ⅳ型	低規格 林道
10	953	4,241	4,031	3,822	3,602	3,393	3,183
15	952	4,484	4,265	4,036	3,818	3,589	3,370
20	951	4,784	4,546	4,308	4,061	3,823	3,585
25	950	5,130	4,874	4,617	4,361	4,104	3,847
30	949	5,571	5,295	5,020	4,736	4,460	4,185
35	948	6,153	5,849	5,536	5,233	4,920	4,617
40	946	6,944	6,594	6,244	5,903	5,553	5,203
45	945	8,146	7,740	7,333	6,927	6,521	6,114

この式から Pze を最大にする d を求めると次のようになる。

$$d = 50 \sqrt{\frac{f_0(1+\eta)Aa}{u \cdot r_i + \frac{e}{10000} R_g}} \dots\dots\dots(49)$$

ここで, R_g (円/ha) は次式において $X=0$ とした場合と考えることができる。

$$Y = I_i - (Aa \cdot X + Bb) \dots\dots\dots(50)$$

すなわち, R_g は林道にきわめて近い箇所における林地 1 ha 当たりの一施業期間の収益を表している。 R_g は正確には収益の減少を表すものであるが, ここではこれを費用とみなして林地損失費と呼ぶことにする。表 16 および 19 を用いて林道 1 m 当たりの林地損失費 ($\frac{e}{10000} R_g$ の値) の算定を行うと, その結果は表 22 に示すとおりになる。

(49) 式および表 16~18, 22 を用いて最多林道密度を算出すると, 表 23, 図 6 に示すとおりになる。この表から標準林道密度は 52.8 m/ha となる。

また, 理想的な路網密度を検討するに当たって, 林地の損失を考慮しないこともありうる。例えば,

- ① 一般的に, 林道の作設に伴う林地の損失する比率はそれほど大きなものではないことから, 林地の損失自体をあまり問題としないような場合
- ② 林地の損失を考慮に入れるほど収益があまり高くないような場合
- ③ 収益の算定はかなり繁雑であり, 算定式および計算手順の簡略化を図るような場合

などの場合がある。このような場合, 林地の損失について無視することになると (49) 式は次のようになる。

$$d = 50 \sqrt{\frac{f_0(1+\eta)Aa}{u \cdot r_i}} \dots\dots\dots(51)$$

ここで, これまでに述べてきた 3 種の林道密度をまとめて, 標準林道の林道密度を示すと表 24, 図 7 のとおりになる。また, 標準傾斜における各複合路網の林道密度を示すと表 25, 図 8 のとおりになる。

4) 合理的林道密度の一般算定式

以上 3 種の林道密度算定式を求めてきたが, ここでは前記の考え方を一般化し, 合理的林道密度の一般算定式を求めることにする。

表 23. 最 多 林 道 密 度

[単位：m/ha]

林地傾斜 〔度〕	高規格道	複合Ⅰ型	複合Ⅱ型	複合Ⅲ型	複合Ⅳ型	低規格道
10	53.3	54.6	56.1	57.8	59.6	61.5
15	53.0	54.4	55.9	57.5	59.3	61.2
20	52.1	53.5	54.9	56.6	58.3	60.2
25	51.2	52.6	54.0	55.6	57.3	59.2
30	50.1	51.4	52.8	54.4	56.0	57.9
35	48.8	50.0	51.4	52.9	54.5	56.3
40	47.3	48.5	49.8	51.3	52.9	54.6
45	45.6	46.8	48.1	49.4	51.0	52.6

表 24. 標準林道の林道密度

[単位：m/ha]

種 類	林 地 傾 斜 〔度〕							
	10	15	20	25	30	35	40	45
主 伐 林道密度	30.6	26.4	23.1	20.5	18.3	16.4	14.7	13.2
一 施 業 期 〃	38.1	34.0	30.9	28.6	26.7	25.0	23.6	22.3
最 多 〃	56.1	55.9	54.9	54.0	52.8	51.4	49.8	48.1

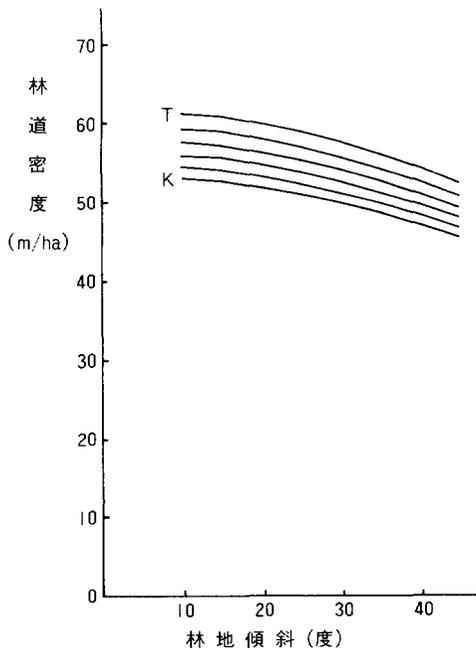


図 6. 最多林道密度

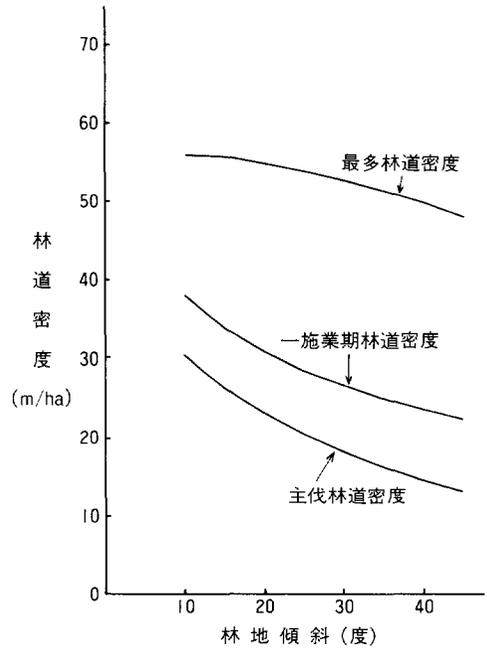


図 7. 標準林道の林道密度

表 25. 標準傾斜における林道密度 [単位: m/ha]

種 類	高規格道	複合Ⅰ型	複合Ⅱ型	複合Ⅲ型	複合Ⅳ型	低規格道
主 伐 林道密度	15.1	16.5	18.3	20.9	25.1	33.7
一施業期 “	22.4	24.2	26.7	30.0	35.1	44.0
最 多 “	50.1	51.4	52.8	54.4	56.0	57.9

いま、林道の償却期間を t_s [年] とし、この期間内に行われる作業を $N_1, N_2, \dots, N_i, \dots, N_n$ 、その作業関係費の変動費の係数を $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n$ [円/m・ha]、固定費を $B_1, B_2, \dots, B_i, \dots, B_n$ [円/ha] とする。この場合、林地 1 ha 当たりの年間作業関係費 ES [円/ha・年] は次のように表せる。

$$ES = \frac{AA \cdot X + BB}{t_s} \dots\dots\dots(52)$$

ただし、

$$AA = A_1 + A_2 + \dots + A_i + \dots + A_n \dots(53)$$

$$BB = B_1 + B_2 + \dots + B_i + \dots + B_n \dots(54)$$

また、 N_i の作業に伴って得られる林地 1 ha 当たりの収入を $I_1, I_2, \dots, I_i, \dots, I_n$ [円/ha] とする ($I_i = 0$ の場合を含む) と、林地 1 ha 当たりの年間収入 IN [円/ha・年] は次式のようになる。

$$IN = \frac{II}{t_s} \dots\dots\dots(55)$$

ただし、 $II = I_1 + I_2 + \dots + I_i + \dots + I_n \dots\dots\dots(56)$

次に、事業地 1 ha 当たりの年間の林道の減価償却費 RS [円/ha・年] は次式で表せる。

$$RS = \frac{r_k \cdot d}{t_s} \dots\dots\dots(57)$$

また、事業地 1 ha 当たりの年間林道維持費 R_i は (44) 式に示したごとくである。以上より、事業地 1 ha 当たりの年間収益 PZ [円/ha・年] は次式のようになる。

$$PZ = S_r (IN - ES) - RS - R_i \\ = \left(1 - \frac{e \cdot d}{10000}\right) \left(\frac{II}{t_s} - \frac{AA \cdot X + BB}{t_s}\right) - \frac{r_k \cdot d}{t_s} - r_i \cdot d \dots\dots\dots(58)$$

この式に (9) 式を代入すると次式を得る。

$$PZ = \left(1 - \frac{e \cdot d}{10000}\right) \left\{ \frac{II}{t_s} - \frac{2500 f_0 (1 + \eta) AA}{t_s} \cdot \frac{1}{d} - \frac{BB}{t_s} \right\}$$

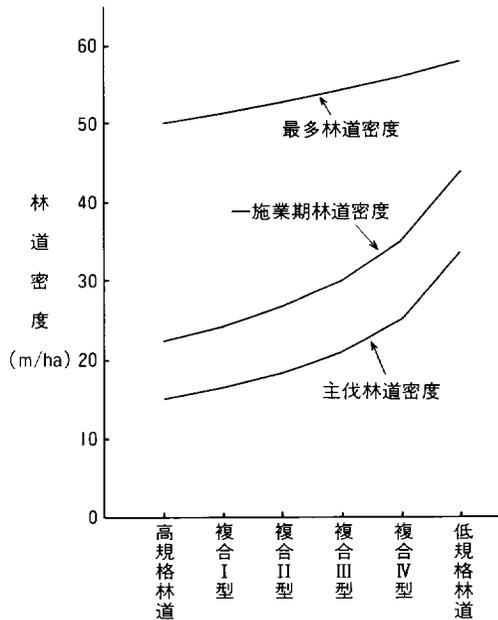


図 8. 標準傾斜における林道密度

$$\begin{aligned}
 & -\frac{r_K}{t_s} \cdot d - r_i \cdot d \\
 & = \frac{II - BB}{t_s} + \frac{e \cdot f_0(1+\eta)AA}{4t_s} - \frac{2500 f_0(1+\eta)AA}{t_s} \cdot \frac{1}{d} \\
 & - \left\{ \frac{r_K}{t_s} + r_i + \frac{e(II - BB)}{10000 t_s} \right\} d \quad \dots\dots\dots(59)
 \end{aligned}$$

この式から PZ を最大にする d を求めると次のようになる。

$$d = 50 \sqrt{\frac{f_0(1+\eta)AA}{r_K + t_s \cdot r_i + \frac{e}{10000}(II - BB)}} \quad \dots\dots\dots(60)$$

この式が合理的林道密度の一般算定式である。この式から、経済性を基礎とした合理的林道密度は、作業関係費の変動費の係数の 1/2 乗に比例し、路網関係費の 1/2 乗に反比例することがわかる。(60) 式において林地損失費を無視する場合には d は (61) 式のようになる。

$$d = 50 \sqrt{\frac{f_0(1+\eta)AA}{r_K + t_s \cdot r_i}} \quad \dots\dots\dots(61)$$

さらに、例えば主伐を林道の償却対象とする場合など、計算上の林道の供用期間がかなり短いようなときには、林道維持費については無視することができ、この場合 (61) 式は次のようになる。

$$d = 50 \sqrt{\frac{f_0(1+\eta)AA}{r_K}} \quad \dots\dots\dots(62)$$

また、林道の償却期間を、輪伐期 u 年の作業を m 回繰返す期間とすると、 t_s は次式で表され

$$t_s = u \cdot m \quad \dots\dots\dots(63)$$

この場合、 $AA = m \cdot Aa$ (64)

$$BB = m \cdot Bb \quad \dots\dots\dots(65)$$

$$II = m \cdot I_i \quad \dots\dots\dots(66)$$

となり、(63)~(66) 式を (60) 式に代入すると次式を得る。

$$\begin{aligned}
 d & = 50 \sqrt{\frac{f_0(1+\eta)m \cdot Aa}{r_K + u \cdot m \cdot r_i + \frac{e}{10000} \cdot m(I_i - Bb)}} \\
 & = 50 \sqrt{\frac{f_0(1+\eta)Aa}{\frac{r_K}{m} + u \cdot r_i + \frac{e}{10000} \cdot R_g}} \quad \dots\dots\dots(67)
 \end{aligned}$$

主伐林道密度の算定式 (36) 式は、(62) 式において $AA = A_s$ としたものであり、一施業期林道密度の算定式 (46) 式は、(61) 式において $AA = Aa$, $t_s = u$ としたものである。また、最多林道密度の算定式 (49) 式は、(67) 式において $m = \infty$ としたものである。

以上のように、合理的林道密度の一般算定式 (60) 式または一定の条件下にある式 (61), (62), (67) 式を用いて、林道の償却期間または償却対象に応じて各種の密度算定式を導くことが可能である。前記以外の例として、主伐およびその後に引き続いて行われる造林、保育作業を林道の償却対象とする場合と取りあげることにする。このときの合理的林道密度を主伐造林林道密度と呼ぶことにすると、この密度算定

式は次のように求めることができる。主伐から造林、保育の終了する期間を t_{sz} [年] とし、ここでは林地損失費については無視することにする。この場合、 N_1 は主伐、 N_2 は造林 (植栽および保育を含む) となり、(61) 式において

$$AA = A_s + A_z \quad \dots\dots\dots(68)$$

$$t_s = t_{sz} \quad \dots\dots\dots(69)$$

となり主伐造林林道密度の算定式は次式のようなになる。

$$d = 50 \sqrt{\frac{f_0(1+\eta)(A_s+A_z)}{r_K+t_{sz} \cdot r_i}} \quad \dots\dots\dots(70)$$

主伐林道密度は、林道建設費の償却対象を主伐作業としたもので、主伐費と林道建設費の合計を最小にすることを目的とする点で、MATTEWS⁸⁾以降多くの学者が提示してきた林道密度等の算定法と立脚点は同様なものである。しかし、従来のこの種の路網密度算定式は、矩形モデルを前提としたものが多く、密度算定式のなかに路線配置係数が含まれていない ($f_0=1$ としていると考えることができる) 点为本論における合理的路網密度算定式とは異なるものである。一施業期林道密度は、林道建設費の償却対象を一施業期間 (輪伐期) の間における全作業としたもので、この期間を計算の対象とする点で南方²¹⁾の示した考え方と同様である。最多林道密度は、計算因子のなかに林道建設費は含まれていない。これは、林道の償却期間を無限と考えることにより導かれるもので、林道の整備完了段階 (第1章) における路網整備の理想的な状態に視点を置いたものである。この路網密度は、それ以上に密度を増加させると、林道維持費、林地損失費の増大に伴って、収益の減少をきたすという意味で最多林道密度と言え、また、最大の収益を永続的にもたらしうる路網密度という意味では理想林道密度とも言うことができる。

(4) 考 察

1) 林道の減価償却と耐用年数

ここでは、林道の減価償却と耐用年数についての考察を行なうことにし、その前提として減価償却等について会計学大辞典⁷⁾の記述を引用することにする。まず減価償却については「……固定資産が使用に耐えうる期間または使用に耐えうる間に果たす用役の量を推定し、これを基礎として事業年度に固定資産の取得原価を割り振ることによってその消耗価格を決定する。この計算を減価償却という。……どのように割り振るかは固定資産の各事業年度の用役性、消耗性が省みられると同時に、財務会計の妥当性の観点によってたぶんに支配される。……減価償却の計算は必ずしも、消耗された費用をそのまま把握するものではなく、たぶんに財務会計上の妥当性または政策性に支配されるものとみることが正しい。……」と記されており、また耐用年数については「……ものの命数は修繕政策で著しく異なる。よって耐用年数を定める前にどの程度の修繕政策をとるかを決定する必要がある。極端なことをいえば修繕によってものの命数は永久にすらなりうる。……耐用年数は元来が各企業がその特殊事情を考慮に入れ、個別的に自己の耐用年数を算定して決定すべきものである……」と記されている。また残存価額については「耐用年数がつき固定資産が処分される時に持つと予想される回収可能価額をいい、……残存価額は、企業の各種の条件を考慮して独自に決定すべきものである。……」と記されている。以上の記述からわかるように、減価償却には「財務会計の妥当性、政策性」の色彩が多分に含まれており、特に林道の場合には物理的に耐用年数、残存価額を定め難い面があることから、この色彩がかなり強いものと考えられる。

林道の耐用年数については、例えば下記に示すように多様な捉え方が出来る。

- ① 林道を永久耐用財と考えると、林道の耐用年数は無限となる。
- ② 林道の耐用年数として、大蔵省令に定める構築物の耐用年数を基準とすると、50年または60年程度となる。
- ③ 農林漁業金融公庫の林道貸付資金の償還期間⁷⁹⁾を林道の耐用年数とすると、20年または25年となる。
- ④ 国有林における経理規程⁷⁸⁾では、幹線林道の耐用年数を15年としている。また、事業林道においては、耐用年数を使用予定年数として具体的数値は定めてないが、一般的には幹線林道より短くなるものと理解される。
- ⑤ 作業道等、主目的を単一作業とする林道においては、当面の使用年数は1~2年程度またはそれ以下と短い場合が多く、この期間を耐用年数とすると、期間はきわめて短いものとなる。

2) 林道投資に対する考え方と林道密度

林道投資に対する考え方は、森林の施業に対する考え方と同様に多様性があるのが実態で、すべての個別路網計画に適用しうる路網密度算定式を一律に定めることは困難であると考えられる。ここで、例として、林道投資に対するいくつかの考え方と、それに該当しうる林道密度算定式を示すことにする。

- ① 林道建設には多額の資金を要するが、将来の林業経営を理想状態とすることに主眼をおき、そのために必要となる路網を整備目標とすることは、路網計画上の理想といえる。このような考え方には最多林道密度が該当する。
- ② 主伐に主眼を置き、伐採後は天然更新によるかまたは更新については考慮しない場合など、当面の収益を最大にすることに重点をおき、これを実現する路網密度を当面の目標林道密度とすることも、現実的にはありうる考え方である。このような考え方には主伐林道密度が該当する。
- ③ 上記の①は現実的に不可能、②は林道の多様な利用面に考慮が不足していると判断しうる場合など、両者の中庸が適当と考えられることもある。このような場合、林道建設費の償却期間を一施業期間程度とすることも妥当な考え方である。このような考え方には一施業期林道密度が該当する。

IV 架線集材における路網計画

1. 路網計画上の3要素の関係

路網計画上の3要素の間には次のような関係がある。

- ① 3要素のうち二つを定めると残りの一つは自動的に定まり、逆に、三つの要素を独立して定めることはできない。すなわち、3要素の間の自由度は2である。
- ② 路網密度と配置基準距離の間には、満たすべき一定の条件が存在する。

このことを、以下数式で示す。

まず、配置基準距離を L_K (m) で表すと、距離比 t は (3) 式から

$$t = \frac{L_K}{X} \dots\dots\dots(71)$$

で表される。また、この式に (9) 式を代入すると

$$t = \frac{d \cdot L_K}{2500(1+\eta)f_0} \dots\dots\dots(72)$$

となる。次に、基準距離内面積率を P_m で表すと、(72) 式および (2) 式から P_m は次のように表すこ

とができる。

$$P_m = g(t) = 1 - \left(1 - \frac{d \cdot L_K}{9000(1+\eta)f_0} \right)^{2.6} \dots\dots\dots(73)$$

これが、路網密度および配置基準距離を定めたときに基準距離内面積率を算定する式である。ここで、 P_m が実数となるための条件として (73) 式の () 内は正または 0 になる必要があり、このためには、次の条件を満たす必要がある。

$$L_K \leq \frac{9000(1+\eta)f_0}{d} \dots\dots\dots(74)$$

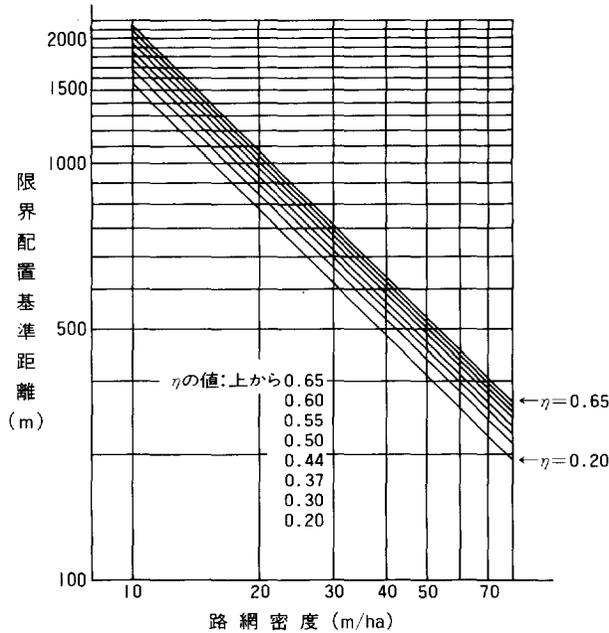


図 9. 限界配置基準距離

表 26. 限界配置基準距離

(単位: m)

林地傾斜 [度]	迂回率	路網密度 [m/ha]						
		10	20	30	40	50	60	70
10	0.20	1,555	778	518	389	311	259	222
15	0.30	1,685	842	562	421	337	281	241
20	0.37	1,776	888	592	444	355	296	254
25	0.44	1,866	933	622	467	373	311	267
30	0.50	1,944	972	648	486	389	324	278
35	0.55	2,009	1,004	670	502	402	335	287
40	0.60	2,074	1,037	691	518	415	346	296
45	0.65	2,138	1,069	713	535	428	356	305

これが路網密度と配置基準距離の間の満たすべき条件である。(74) 式において等号が成り立つときの L_K を限界配置基準距離と呼ぶことにすると、限界配置基準距離は、路網密度配置を定めたときの配置基準距離の上限を示すものであり、 L_K がこの値をとるときには基準距離内面積率は、その期待値が 100% となる。ここで、限界配置基準距離の計算例を示すと、表 26、図 9 に示すとおりである。

次に、(73) 式を変形して d および L_K について求めると以下のようなになる。

$$d = \frac{9000(1+\eta)f_0 \left\{ 1 - (1 - P_m)^{\frac{1}{2.6}} \right\}}{L_K} \dots\dots\dots(75)$$

$$L_K = \frac{9000(1+\eta)f_0 \left\{ 1 - (1 - P_m)^{\frac{1}{2.6}} \right\}}{d} \dots\dots\dots(76)$$

(75) 式が配置基準距離および基準距離内面積率を定めたときに路網密度を算定する式で、(76) 式が路網密度および基準距離内面積率を定めたときに配置基準距離を算定する式である。

ここで、標準傾斜における 3 要素の関係を求める。(75) 式において $\eta=0.5$, $f_0=1.44$ として P_m および d の各値に対する L_K の値を示すと図 10 のとおりになる。また、同条件のとき、(73), (75), (76) 式を用いて d, L_K からの P_m の算出結果を示すと、表 27 に、 P_m, L_K からの d の算出結果を示すと表 28 に、 P_m, d からの L_K の算出結果を示すと表 29 に掲げるとくになる。

2. 配置基準距離

配置基準距離の決定法については、いくつかの方法が考えられる。本論では配置基準距離の決定に関与する因子を総称して基準距離決定因子と呼ぶことにする。基準距離決定因子としては、後述するような適正伐区長、適正施業区長、規制伐区長、最大有効スパン長、適正有効スパン長、基準歩行距離などが考えられる。本節では、以下これらについて述べていくことにする。

(1) 適正伐区長および適正伐区面積

第 III 章では、伐区面積は一定であることを前提として論を進めてきたが、ここでは図 11 のように伐区の一辺が林道に接する矩形モデルを前提とし、伐区長が変化することとして、この場合の適正な伐区長お

表 27. 基準距離内面積率 (単位：%)

配置基準距離 [m]	路 網 密 度 [m/ha]						
	10	20	30	40	50	60	70
100	12.8	24.6	35.3	45.1	53.8	61.7	68.7
200	24.6	45.1	61.7	74.8	84.7	91.8	96.4
300	35.3	61.7	80.1	91.8	97.8	99.9	—
400	45.1	74.8	91.8	98.9	—	—	—
500	53.8	84.7	97.8	—	—	—	—
600	61.7	91.8	99.9	—	—	—	—
700	68.7	96.4	—	—	—	—	—
800	74.8	98.9	—	—	—	—	—
900	80.1	99.9	—	—	—	—	—
1,000	84.7	—	—	—	—	—	—

表 28. 路 網 密 度 [単位: m/ha]

基準距離内 面積率 〔%〕	配 置 基 準 距 離 (m)									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1,000
50	45.5	22.7	15.2	11.4	9.1	7.6	6.5	5.7	5.1	4.5
55	51.4	25.7	17.1	12.9	10.3	8.6	7.3	6.4	5.7	5.1
60	57.7	28.9	19.2	14.4	11.5	9.6	8.2	7.2	6.4	5.8
65	64.6	32.3	21.5	16.1	12.9	10.8	9.2	8.1	7.2	6.5
70	72.1	36.0	24.0	18.0	14.4	12.0	10.3	9.0	8.0	7.2
75	80.3	40.2	26.8	20.1	16.1	13.4	11.5	10.0	8.9	8.0
80	89.7	44.9	29.9	22.4	17.9	15.0	12.8	11.2	10.0	9.0
85	100.7	50.3	33.6	25.2	20.1	16.8	14.4	12.6	11.2	10.1
90	114.2	57.1	38.1	28.6	22.8	19.0	16.3	14.3	12.7	11.4
91	117.4	58.7	39.1	29.4	23.5	19.6	16.8	14.7	13.0	11.7
92	120.8	60.4	40.3	30.2	24.2	20.1	17.3	15.1	13.4	12.1
93	124.5	62.2	41.5	31.1	24.9	20.7	17.8	15.6	13.8	12.4
94	128.5	64.3	42.8	32.1	25.7	21.4	18.4	16.1	14.3	12.9
95	133.0	66.5	44.3	33.2	26.6	22.2	19.0	16.6	14.8	13.3
96	138.0	69.0	46.0	34.5	27.6	23.0	19.7	17.3	15.3	13.8
97	143.9	72.0	48.0	36.0	28.8	24.0	20.6	18.0	16.0	14.4
98	151.2	75.6	50.4	37.8	30.2	25.2	21.6	18.9	16.8	15.1
99	161.3	80.7	53.8	40.3	32.3	26.9	23.0	20.2	17.9	16.1
100	194.4	97.2	64.8	48.6	38.9	32.4	27.8	24.3	21.6	19.4

表 29. 配 置 基 準 距 離 [単位: m]

基準距離内 面積率 〔%〕	距離比	路 網 密 度 (m/ha)						
		10	20	30	40	50	60	70
50	0.842	455	227	152	114	91	76	65
55	0.952	514	257	171	129	103	86	73
60	1.069	577	289	192	144	115	96	82
65	1.196	646	323	215	161	129	108	92
70	1.334	721	360	240	180	144	120	103
75	1.488	803	402	268	201	161	134	115
80	1.661	897	449	299	224	179	150	128
85	1.865	1,007	503	336	252	201	168	144
90	2.115	1,142	571	381	286	228	190	163
91	2.174	1,174	587	391	294	235	196	168
92	2.237	1,208	604	403	302	242	201	173
93	2.305	1,245	622	415	311	249	207	178
94	2.380	1,285	643	428	321	257	214	184
95	2.463	1,330	665	443	332	266	222	190
96	2.556	1,380	690	460	345	276	230	197
97	2.666	1,439	720	480	360	288	240	206
98	2.800	1,512	756	504	378	302	252	216
99	2.988	1,613	807	538	403	323	269	230
100	3.600	1,944	972	648	486	389	324	278

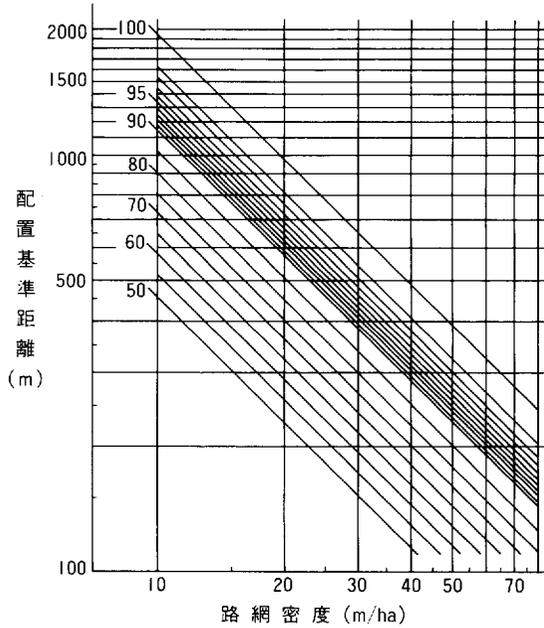


図 10. 路網密度, 配置基準距離および基準距離内面積率
グラフ内の数値は基準距離内面積率を表す

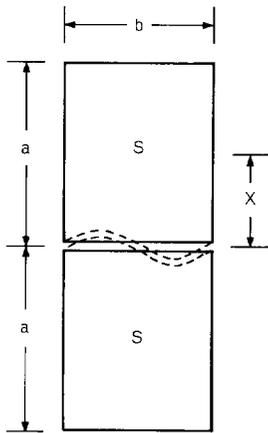


図 11. 伐区モデル

および伐区面積を求めることにする。

伐区の幅を一定とする場合, 伐区長が大きくなると, 平均集材距離は増大し, これに伴って, m^3 当たりの主伐費の変動費 (事業費) は増加する。逆に, 伐区長が小さくなると, 伐区面積は減少し, これに伴って, m^3 当たりの盤台作設撤去費等の固定費 (施設費) は増加する。そこで, ここでは両費用の合計を最小にすることを目的として, 適正な伐区長および伐区面積の算定を行うことにする。

まず, 図 11 において伐区長を a (m), 伐区幅を b (m) とすると

$$a = 2X \quad \dots\dots\dots(77)$$

$$S = \frac{b \cdot X}{5000} \quad \dots\dots\dots(78)$$

なる関係が成り立つ。この場合, 主伐費 E_s は, (12), (19), (20) および (78) 式から, 次のような X の関数で表せる。

$$E_s = AS \cdot X + \frac{BS}{X} + CS \quad \dots\dots\dots(79)$$

$$\text{ただし, } AS = \{(\alpha_s + k_x \cdot \beta_s)(1 + \eta') + \gamma_s \cdot h_b\} V \quad \dots\dots\dots(80)$$

$$BS = \frac{5000 \epsilon_s}{b} \quad \dots\dots\dots(81)$$

表 30. 適 正 伐 区 長

[単位：m]

林地傾斜 〔度〕	伐 区 幅 〔m〕									
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
10	355	318	290	268	251	237	225	214	205	197
15	360	322	294	273	255	240	228	217	208	200
20	366	328	299	277	259	244	232	221	212	203
25	372	333	304	281	263	248	235	224	215	206
30	378	338	308	285	267	252	239	228	218	209
35	384	343	313	290	271	256	243	231	222	213
40	390	349	318	295	276	260	246	235	225	216
45	396	355	324	300	280	264	251	239	229	220

$$CS = \text{定数} \dots\dots\dots(82)$$

(79) 式において E_s を最小にする X を求めると次のようになる。

$$X = \sqrt{\frac{BS}{AS}} \dots\dots\dots(83)$$

ここで E_s を最小にする伐区長を適正伐区長 a_m [m] とすると、 a_m は、(77) および (83) 式から次のようになる。

$$a_m = 2 \sqrt{\frac{BS}{AS}} \dots\dots\dots(84)$$

また、このときの伐区面積を適正伐区面積 S_m [ha] とすると、 S_m は (78) および (83) 式から次のようになる。

$$S_m = \frac{b}{5000} \sqrt{\frac{BS}{AS}} \dots\dots\dots(85)$$

さらに、 AS , BS は、(12), (23), (24) および (78) 式から次のように表すことができる。

$$AS = \left\{ 4.45(1+\eta') + 0.223 h_b \right\} V \dots\dots(86)$$

$$BS = \frac{6421 b_z + 5781 b_b + 1060 \times 10^6}{b} \dots\dots(87)$$

次に、 AS , BS に第三章 (4) (5) と同様に各数値を代入し、(84) 式を用いて a_m を算出すると、表 30, 図 12 に示すごとくになる。この算出結果からわかるように、適正伐区長の値は伐区幅によって大きく異なり、 b が 40~130 m のとき、 a_m は 200~400 m 程度となる。架線集材における伐区等に関する調査結果⁷⁴⁾ から標準的な伐区幅を求めると、普通集材では 70 m 程度となる。ここでは、この幅を標準伐区幅と呼ぶことにする。また、標準傾斜、標準伐区幅における適正伐区長を標準伐区長と呼ぶことにすると、

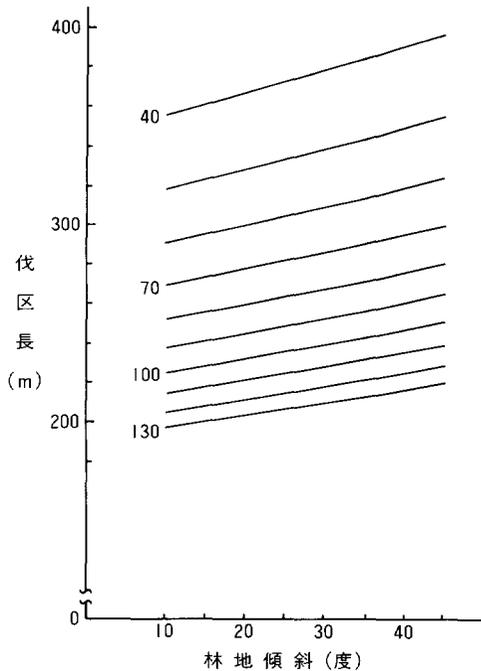


図 12. 適正伐区長
グラフ内の数値は伐区幅を表す。以下同じ

表 31. 適 正 伐 区 面 積 (単位：ha)

林地傾斜 〔度〕	伐 区 幅 (m)									
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
10	1.42	1.59	1.74	1.88	2.01	2.13	2.25	2.36	2.46	2.56
15	1.44	1.61	1.77	1.91	2.04	2.16	2.28	2.39	2.50	2.60
20	1.47	1.64	1.80	1.94	2.07	2.20	2.32	2.43	2.54	2.64
25	1.49	1.66	1.82	1.97	2.10	2.23	2.35	2.47	2.58	2.68
30	1.51	1.69	1.85	2.00	2.14	2.27	2.39	2.51	2.62	2.72
35	1.53	1.72	1.88	2.03	2.17	2.30	2.43	2.55	2.66	2.77
40	1.56	1.74	1.91	2.06	2.20	2.34	2.46	2.58	2.70	2.81
45	1.59	1.77	1.94	2.10	2.24	2.38	2.51	2.63	2.75	2.86

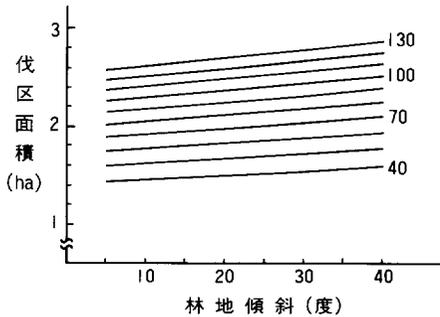


図 13. 適正伐区面積

標準伐区長は、表 30 から 285 m となる。

また、同様に S_m を (85) 式を用いて算出すると、表 31、図 13 に示すごとくになる。適正伐区面積の値も伐区幅によってかなり異なり、 b が 40~130 m のとき、 S_m は 1.4~2.9 ha 程度になる。標準傾斜、標準伐区幅における適正伐区面積を標準伐区面積と呼ぶことにすると、標準伐区面積は、表 31 から 2.00 ha となる。

(2) 適正施業区長および適正施業区面積

以上、主伐を対象として適正伐区長および適正伐区面積を求めたが、一度設定された伐区は、原則的にその後の造林等の各作業を行なっていく上での実行単位

となる。このことから、ここでは一施業期間をタイムスパンとし、この間における全作業関係費、すなわち主伐、間伐、造林、管理の費用合計を計算の対象とすることにする。また、伐区面積に反比例、すなわち X に反比例する経費には、伐出施設等の経費のほか、路網関係費として林道維持費、林地損失費を含めることにし、一施業期間における総費用を最小にすることを目的として適正施業区長および適正施業区面積を求めることにする。

1) 作業関係費の費用関数

本項では、 S は (78) 式に示されるように、 X の関数としている。したがって、第 III 章で示した費用関数の中に S が因子として含まれている作業関係費においては、前章と本節とでは費用関数が異なったものとなる。これには主伐費が該当する。これに対し、間伐費、造林費、管理費の中には S が因子として含まれていないため、本節で用いる費用関数は第 III 章で示したものと同一のものになる。

2) 各経費の算定

本項では、前項の主伐に引き続き、間伐、造林、管理および路網関係費の算出を行なうことにする。

2-1) 間伐費、造林費および管理費

間伐費の費用関数は (13) 式で表され、その係数および定数は、(25)~(28) 式で与えられる。同様に、

造林費および管理費の費用関数は (14) および (15) 式で表され、その係数および定数は (29)~(32) 式で与えられる。

2-2) 林道維持費および林地損失費

一施業期間における ha 当たりの林道維持費を E_{ri} [円/ha] とすると、 E_{ri} は次式によって表される。

$$E_{ri} = \frac{u \cdot r_i \cdot b(1+\eta)}{2S} \quad \dots\dots\dots(88)$$

この式に (78) 式を代入すると、(88) 式は次のようになる。

$$E_{ri} = \frac{B_{ri}}{X} \quad \dots\dots\dots(89)$$

ただし、 $B_{ri} = 2500 u \cdot r_i(1+\eta) \quad \dots\dots\dots(90)$

また、ha 当たりの林地損失費を Erg [円/ha] とすると、 Erg は次式のようにになる。

$$Erg = \frac{e \cdot Rg \cdot b(1+\eta)}{20000 S} = \frac{Brg}{X} \quad \dots\dots\dots(91)$$

ただし、 $Brg = \frac{e \cdot Rg(1+\eta)}{4} \quad \dots\dots\dots(92)$

3) 適正施業区長および適正施業区面積

一施業期間における総費用を ET [円/ha] とすると、 ET は (79), (13)~(15), (89), (91) 式から次のようになる。

$$ET = AT \cdot X + \frac{BT}{X} + CT \quad \dots\dots\dots(93)$$

ただし、 $AT = AS + \sum A_{K_i} + A_z + A_c \quad \dots\dots\dots(94)$

$$BT = BS + B_{ri} + Brg \quad \dots\dots\dots(95)$$

$$CT = \text{定数} \quad \dots\dots\dots(96)$$

(93) 式より、 ET を最小にする適正施業区長 a_n [m] および適正施業区面積 S_n [ha] を求めると次のようになる。

$$a_n = 2 \sqrt{\frac{BT}{AT}} \quad \dots\dots\dots(97)$$

$$S_n = \frac{b}{5000} \sqrt{\frac{BT}{AT}} \quad \dots\dots\dots(98)$$

以上の式に前記と同様に各数値を代入し、標準林道を計算の対象として a_n および S_n を算出すると、適正施業区長は表 32, 図 14 に、適正施業区面積は表 33, 図 15 に示すごとくになる。適正施業区長も適正伐区長と同様に伐区幅によって大きく異なり、 b が 40~130 m のとき、 a_n は 190~290 m 程度となる。また、適正施業区面積も同様で、 b が 40~130 m のとき、 S_n は 1.1~3.1 ha 程度となる。ここで、標準傾斜、標準伐区幅における適正施業区長および適正施業区面積を標準施業区長および標準施業区面積と呼ぶことにすると、表 32 より標準施業区長は 244 m となる。また、標準施業区面積は、表 33 より 1.70 ha となる。

(3) 規制伐区長

表 32. 適 正 施 業 区 長 (単位：m)

林地傾斜 (度)	伐 区 幅 (m)									
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
10	280	258	243	231	222	214	208	203	199	195
15	280	260	245	234	226	219	213	208	204	201
20	281	261	247	237	229	223	217	213	209	206
25	281	262	250	240	233	227	222	218	214	212
30	281	264	252	244	237	231	227	223	220	217
35	282	266	255	247	241	236	232	229	226	224
40	284	270	260	253	247	242	239	236	233	231
45	289	276	267	260	255	251	248	245	243	241

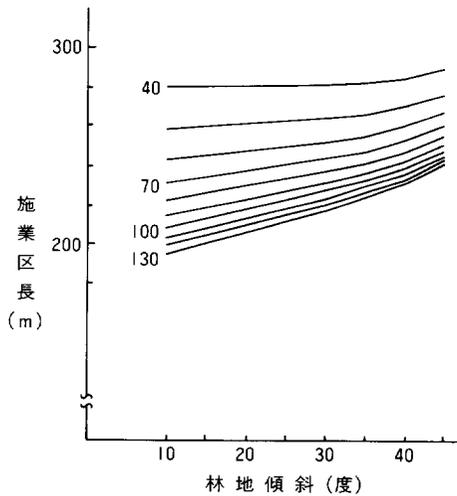


図 14. 適正施業区長

$$a = Kas \sqrt{S} \dots\dots\dots(99)$$

ただし, Kas: 比例定数

ここで, Kas の具体的な値を伐区等に関する調査結果⁷⁴⁾から求めると Kas=227 (r=0.86) となる。この値および (99) 式を用いて, 各伐区面積に対する伐区長を算出すると表 34 に示すとおりになる。この表に示したように, 規制伐区面積を 5 ha とする場合には, 規制伐区長は, 508 m となる。また, 民有林においては, 事業体を除いた平均林地所有面積は 2.7 ha⁸²⁾ となっており, この値を伐区面積とする場合には, 伐区長は 373 m となる。

(4) 有効スパン長

主索のスパン長は, 實際上, 最大集材距離よりもある程度長い距離が必要である。そこでまず, 両者の関係を求めることにし, スパン長 L [m] の架線により集材しうる最大の集材距離を有効スパン長 L₂ [m] と呼ぶことにすると, 両者の関係は (17) 式から

伐区の面積は, 施業等の条件から制約されることもある。例えば, 国有林においては皆伐の場合, 1 伐採箇所の面積は保安林にあってはおおむね 5 ha 以下に規制されている⁸⁰⁾。国有林は, 全面積の 41 % が水源かん養保安林に指定されており⁸¹⁾, 相当地に広い面積においてこの規制が行なわれていることになる。また, 寒風害防除, 景観保持のため伐区面積を規制しているようなところもある。このように, 伐区面積に規制条件のあるような場合, この伐区面積をここでは規制伐区面積と呼び, このときの伐区長を規制伐区長と呼ぶことにする。本項では, 規制伐区面積を与えた場合の標準的規制伐区長を求めることにする。

伐区の形状は伐区面積に関係しないものとする, 伐区長 a は次のように表すことができる。

表 33. 適正施業区面積 [単位: ha]

林地傾斜 [度]	伐 区 幅 [m]									
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
10	1.12	1.29	1.46	1.62	1.77	1.93	2.08	2.23	2.38	2.53
15	1.12	1.30	1.47	1.64	1.81	1.97	2.13	2.29	2.45	2.61
20	1.12	1.31	1.48	1.66	1.83	2.00	2.17	2.34	2.51	2.68
25	1.12	1.31	1.50	1.68	1.86	2.04	2.22	2.40	2.57	2.75
30	1.12	1.32	1.51	1.70	1.89	2.08	2.27	2.45	2.64	2.82
35	1.13	1.33	1.53	1.73	1.93	2.13	2.32	2.52	2.71	2.91
40	1.14	1.35	1.56	1.77	1.98	2.18	2.39	2.59	2.80	3.00
45	1.15	1.38	1.60	1.82	2.04	2.26	2.48	2.69	2.91	3.13

$$L_z = 2X = \frac{2L}{k_x(1+\eta')} \dots\dots\dots(100)$$

と表すことができる。この式に、 $K_x=2.23$, $\eta'=0.2$ を代入すると、 L_z は次のようになる。

$$L_z = 0.747L \dots\dots\dots(101)$$

次に、最大スパン長および適正スパン長を定め、これに対応した有効スパン長を求めることにする。

1) 最大有効スパン長

集材距離が一定以上に長くなると、一般的には、多段集材が行なわれるが、このような集材を行なうことは、集材のみならず、その後の造林、間伐、管理の面でも費用の上昇を招くことになる。このため、一段の架線により集材を行うことが望ましいことはいうまでもない。

集材架線のスパン長には、理論的な最大スパン長が存在するほか、苛酷な作業条件下にある山岳地域の集材現場においては、実際に取扱う限度として実用上の最大スパン長が存在する。スパン長には 1,300 m 以上におよぶ例もあるが⁶³⁾、一般的には実用上の最大スパン長は 1,000 m 程度と言われている。スパン長に関する調査結果⁵⁰⁾ によれば、スパン長は全体の 94% が 1,000 m 以下となっており、これによっても 1,000 m という数値が実用上の限界に近いことを裏付けていると言えよう。以後、本論においては最大スパン長の値には、特にことわりのない限り、1,000 m を用いることにする。また、

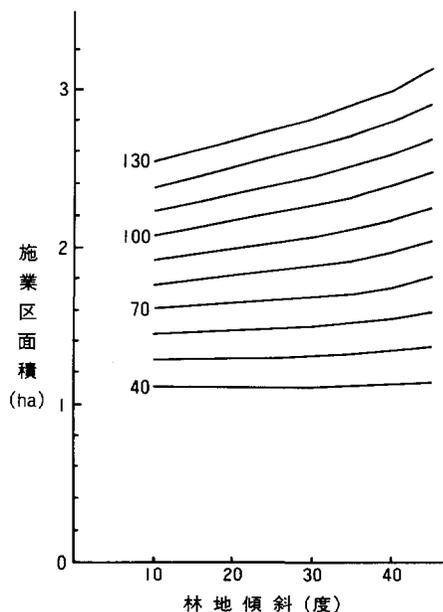


図 15. 適正施業区面積

表 34. 規制伐区長

伐区面積 [ha]	伐区長 [m]
1	227
2	321
3	393
4	454
5	508

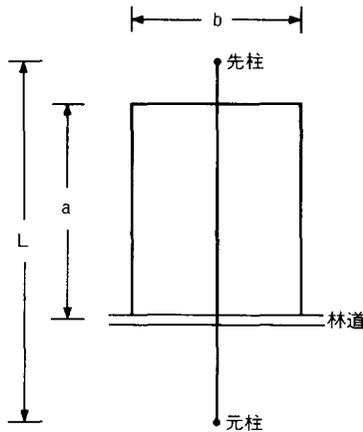


図 16. 伐区と架線の位置

このときの最大有効スパン長は、(101)式から 747 m となる。

2) 適正有効スパン長

一定の重量を吊り上げる場合、主索の直径は、スパン長が一定以上になると幾何級数的に大きくなり、単位面積当たりのワイヤロープの使用量は急激に増加する。逆に、伐区面積がかなり小さい場合でも、一定の重量を吊り上げるためには一定以上の直径は必要となる。そこでここでは、まず伐区の形状が伐区面積に関係しない、すなわち、伐区長と伐区幅の比率は一定であることを前提とし、単位面積当たりの主索の使用量を最小にすることを目的として、適正なスパン長を求めることにする。

図 16 において伐区長に対する伐区幅の比率を K_{ba} ($=b/a$) とし、また、スパン長に対する伐区長の比率を K_{aL} ($=a/L$) で表すことにする。この場合、伐区面積 S は次のように表せる。

$$S = \frac{a \cdot b}{10000} = \frac{K_m \cdot L^2}{10000} \dots\dots\dots(102)$$

ただし、 $K_m = K_{aL}^2 \cdot K_{ba}$ $\dots\dots\dots(103)$

また、スパン長 L の主索の重量を W_s [kg] とすると、ha 当たりの主索の重量 W_s' [kg/ha] は次のようになる。

$$W_s' = \frac{1}{K_m} \cdot P_s \dots\dots\dots(104)$$

ただし、 $P_s = \frac{10000 W_s}{L^2}$ $\dots\dots\dots(105)$

ここで、 P_s [kg/ha] は伐区形状等に関係なく物理的に定めうる値をとり、これを主索の基礎密度と呼ぶことにする。 P_s を最小にする L が単位面積当たりの主索の使用量を最小にするスパン長で、このときの L を適正スパン長と呼ぶことにする。

次に、 P_s およびこれに関連する諸数値の算出を行なうことにする。計算は、従来から行なわれている方法^{83)~85)}に基づいて行い、直接解を得ることが困難なものについては電算機を用いて逐次近似により解を得ることにする。計算の要領を示すと次のとおりである。

① ワイヤロープの直径と切断荷重および単位重量との関係は以下のように表せ、これを用いる。すなわち、ワイヤロープの直径ごとの切断荷重および単位重量は、JIS 規格に定められている。この規格に基づき、ワイヤロープの直径 d_r [mm] と主索 (6×7, A 種) および作業索 (6×19, A 種) の切断荷重および 1 m 当たりの重量との関係を求めると次のようになる。

$$B_1 = 60.61 d_r^2 \dots\dots\dots(106)$$

$$B_2 = 55.02 d_r^2 \dots\dots\dots(107)$$

$$W_1 = 0.00371 d_r^2 \dots\dots\dots(108)$$

$$W_2 = 0.00364 d_r^2 \quad \dots\dots\dots(109)$$

- ただし、
 B_1 : 主索の切断強度 [kg]
 B_2 : 作業索の切断強度 [kg]
 W_1 : 主索の m 当たりの重量 [kg/m]
 W_2 : 作業索の m 当たりの重量 [kg/m]

- ② 索張り方式はエンドレスタイラー式とする。
 ③ 木材の最大積載量は 1,500 kg, 搬器重量は 150 kg, ローディングブロックの降下距離は 50 m, 支間傾斜は 15° とする。
 ④ 重錘の重量は, 任意の点においてローディングブロックの自動降下が可能な重さとし, 森岡⁷⁴⁾の示した方法により算出する。
 ⑤ 荷上索の直径は, 安全率が $6.0^{80)}$ となるように定める。主索の安全率は 2.7 とする。
 ⑥ エンドレス索, 引戻索の直径は荷上索の 9 割とする。
 ⑦ 衝撃係数は安全率に含めることにし, 考慮しない。

以上の方法により算出した各作業索の直径, 重量および重錘の重量を示すと表 35 のとおりである。また, 主索の直径, 重量および主索の基礎密度は表 36 に示すとおりになる。なお, この表における中央垂下比 s は補正垂下比を表している。

主索の直径および重量は中央垂下比によってかなり異なるが, 各値とも 1,000 m 前後から急激に増加していくことがこの表からわかる。集材現場において実用上取り扱おうる主索の直径または重量の限界を経験等に基づいて定めれば, 最大スパン長をこの表から求めることができる。例えば, 取り扱おうる主索の直径を 34 mm 程度, 重量 (スパンの間のみの重量) を 4.5 t 程度とすると, 補正垂下比が 0.05 の場合には最大スパン長は約 1,000 m となる。

適正スパン長も中央垂下比の値によって異なるが, 700~800 m 程度となることが表 36 からわかる。中央垂下比に応じた適正スパン長の計算の結果を掲げると, 表 37 に示すとくになる。また, このときの適正有効スパン長を (101) 式を用いて求めると同表に示すとくになる。この表より, $s=0.05$ のときの適正スパン長は 757 m, 適正有効スパン長は 565 m となる。

表 37 の適正スパン長は, 木材積載量を 1,500 kg として算出したものであるが, 理論上, 搬器重量を無視する場合には, 積載量に関係なく一定の値となる。搬器重量が 150 kg 程度の場合には, 木材重量が 500 kg 程度であれば, 試算の結果適正スパン長におよぼす影響はきわめて少ないことが認められた。

以上は, 伐区形状が伐区面積に関係しないことを前提として, すなわち伐区面積は L の二乗に比例することを前提として適正スパン長を算定したが, ここで伐区幅を一定, すなわち, 伐区面積は L に比例するものとする W_s' は次のようになる。

$$W_s' = \frac{10000}{K_{sL} \cdot b} \cdot \frac{W_s}{L} \quad \dots\dots\dots(110)$$

表 36 より W_s' を算出すると W_s' は $L \rightarrow 0$ のときに最小となり, 単位面積当たりの主索の使用量はスパン長が短いほど少なくなる。このことから, 表 37 の数値は適当なスパン長の上限を示す値と理解するのが適当である。

3) その他

表 35. 作業索の直径, 重量および重錘の重量

スパン長 [m]	作業索の直径 [mm]		作業索の重量 [kg]			重錘の重量 [kg]	総重量 [kg]
	荷上索	エンドレス索・引戻索	荷上索	エンドレス索	引戻索		
0	9.13	8.22	0	0	0	0	1,650
100	9.30	8.37	33	26	13	55	1,741
200	9.48	8.53	68	55	27	115	1,840
300	9.66	8.70	106	86	43	179	1,946
400	9.86	8.88	147	119	59	248	2,060
500	10.07	9.06	191	155	77	323	2,185
600	10.30	9.27	240	194	97	406	2,321
700	10.54	9.48	293	237	119	496	2,470
800	10.79	9.71	351	285	142	595	2,634
900	11.07	9.96	416	337	168	704	2,814
1,000	11.37	10.24	488	395	197	825	3,015
1,100	11.70	10.53	567	460	230	960	3,239
1,200	12.05	10.85	657	532	266	1,112	3,490
1,300	12.45	11.20	759	615	307	1,284	3,775
1,400	12.88	11.59	875	709	354	1,480	4,099
1,500	13.36	12.02	1,009	817	408	1,707	4,474
1,600	13.89	12.50	1,164	943	471	1,970	4,909
1,700	14.50	13.05	1,347	1,091	546	2,280	5,422
1,800	15.20	13.68	1,567	1,269	635	2,651	6,036
1,900	16.00	14.40	1,834	1,485	743	3,103	6,784
2,000	16.95	15.26	2,166	1,755	877	3,665	7,714
2,100	18.09	16.28	2,591	2,099	1,049	4,384	8,904
2,200	19.50	17.55	3,153	2,554	1,277	5,336	10,478
2,300	21.30	19.17	3,933	3,185	1,593	6,654	12,659
2,400	23.71	21.34	5,084	4,118	2,059	8,603	15,883

注) 総重量は、搬器が中央にあるときに主索にかかる重量で、作業索の重量の 1/2 に重錘、搬器、木材の重量を加えたものである

以上、主として架空索の物理的特性に基づいて最大スパン長および適正スパン長を求めてきたが、そのほかスパン長を規制する因子としては地形的条件も考えられる。一般に、奥山地域では地形の周期（尾根一谷一尾根の平均的距離）が里山地域に比べ大きい場合が多い。このため、奥山地域では、架線のスパン長は里山地域に比べ長大なものを要求される場合が多くなる。逆に、里山地域では、地形の周期が小さく、また尾根と谷の標高差が小さい場合も多い。このようなところでは、長大な架線を設置することは困難でスパン長は短いものとなる。地形とスパン長の関係については資料が乏しいため、具体的な数量関係として示すことはできないが、各地域におけるスパン長の実績が一つの目安になることも考えられる。

(5) 基準歩行距離

山岳地の森林作業においては、作業現場への歩行による往復が作業者にとって大きな負担となる。同時に、経済的にみても、この非生産的労働に対する支出も多額のものとなる。従って、歩行時間については、現場作業員および経営者にとって大きな関心事となっている。このようなことから、路網計画を作成して

表 36. 主索の直径, 重量および主索の基礎密度

スパン長 (m)	主索の直径 [mm]			主索の重量 [kg]			主索の基礎密度 [kg/ha]		
	s= 0.04	0.05	0.06	0.04	0.05	0.06	0.04	0.05	0.06
0	20.56	18.46	16.92	0	0	0	—	—	—
100	21.69	19.37	17.70	181	145	121	181.29	144.98	121.28
200	22.93	20.37	18.54	405	320	266	101.32	80.11	66.53
300	24.31	21.45	19.45	683	533	439	75.92	59.25	48.81
400	25.85	22.65	20.44	1,030	792	647	64.40	49.52	40.42
500	27.59	23.96	21.51	1,467	1,109	896	58.69	44.35	35.84
600	29.57	25.42	22.70	2,022	1,498	1,197	56.18	41.61	33.24
700	31.85	27.06	24.00	2,737	1,980	1,561	55.86	40.40	31.86
800	34.51	28.90	25.44	3,671	2,581	2,005	57.36	40.32	31.32
900	37.65	30.99	27.05	4,916	3,338	2,549	60.69	41.21	31.47
1,000	41.44	33.39	28.84	6,618	4,305	3,221	66.18	43.05	32.21
1,100	46.13	36.17	30.88	9,020	5,557	4,060	74.55	45.93	33.56
1,200	52.12	39.43	33.19	12,563	7,207	5,118	87.25	50.05	35.54
1,300	60.14	43.34	35.85	18,124	9,429	6,469	107.25	55.80	38.28
1,400	71.67	48.09	38.94	27,716	12,507	8,221	141.41	63.81	41.94
1,500	90.32	54.04	42.58	47,159	16,920	10,532	209.59	75.20	46.81
1,600	129.16	61.74	46.94	102,876	23,556	13,650	401.86	92.02	53.32
1,700		72.19	52.25		34,216	17,967		118.39	62.17
1,800		87.43	58.86		53,137	24,147		164.00	74.53
1,900		112.57	67.36		92,984	33,379		257.57	92.46
2,000		166.79	78.71		214,890	47,972		537.22	119.93
2,100			94.72			72,948			165.42
2,200			119.27			121,172			250.35
2,300			162.81			236,059			446.24
2,400			271.61			685,521			1,190.14

いく上での一つの検討材料として, 歩行時間に考慮を払うことも重要であると考えられる。

いま, 平均到達距離の2倍の距離を一つの基準とし (これは, 矩形モデルにおける最大到達距離に該当するもので, 後述の示準レベルIになる), この距離を基準到達距離と呼び, 特に歩行を主題とするときの基準到達距離を基準歩行距離と呼ぶことにする。また, この距離の往復に要する歩行時間を基準歩行時間と呼ぶことにすると, 基準歩行時間は, 一般には傾斜が急になるに従って多くを費やさざるをえないと考えられる。地域ごとの歩行時間の実績を参考にするなど, 何らかの方法により基準歩行時間を定めれば, これに基づいて, 基準歩行距離を求め

表 37. 適正スパン長および適正有効スパン長

補正中央 垂下比	適正 スパン 長 [m]	適正有効 スパン 長 [m]
0.030	549	410
0.035	611	456
0.040	666	498
0.045	715	534
0.050	757	565
0.055	794	593
0.060	826	617
0.065	856	639
0.070	880	657

ることができる。例えば、標準傾斜において基準歩行時間を1時間とすると、表5の往復歩行速度から基準歩行距離は544 m、また40分とする場合には363 mとなる。

ある条件を設定する場合、適正な基準歩行距離を算定することは可能で、次にこれを求めることにする。一般に、路網密度が高くなれば歩行に要する費用は減少するが、逆に、前述のように密度の増加に伴う損失も大きくなっていく。そこでここでは、作業関係費の中から歩行費を、また路網関係費からは林道維持費を取り上げて、両費用の合計を最小とすることを目的として基準歩行距離を求めることにする。

いま、各作業ごとの歩行人工数および m 当たりの歩行費を n_i [人/ha]、 h_i [円/人・m] とすると、一施業期間における歩行費 E_h [円/ha] は

$$E_h = (\sum n_i \cdot h_i) X \dots\dots\dots(111)$$

となる。また、一施業期間における ha 当たりの林道維持費は (89)、(90) 式に示すとおりで、これより総費用 E_H [円/ha] は、

$$E_H = (\sum n_i \cdot h_i) X + \frac{2500 u \cdot r_i (1 + \eta)}{X} \dots\dots\dots(112)$$

となる。EH を最小にする X は次式により与えられる。

$$X = 50 \sqrt{\frac{u \cdot r_i (1 + \eta)}{\sum n_i \cdot h_i}} \dots\dots\dots(113)$$

これより基準歩行距離 L_H [m] は次のようになる。

$$L_H = 2X = 100 \sqrt{\frac{u \cdot r_i (1 + \eta)}{\sum n_i \cdot h_i}} \dots\dots\dots(114)$$

ここで、基準歩行距離の計算例を示すことにする。まず、主伐の歩行人工数については、条件の単純化を図るため、伐木造材に関する歩行人工数のみを取り上げ、それ以外の作業(集材)については除外することとして、各作業の歩行人工数を示すと表38のとおりになる(表3, 8, 9, 15による)。

ここで、集材に関する歩行を除外するのは、①集材作業の工程は距離の関数となり、これを式に含めると、歩行費の算定が複雑になること、②集材作業に伴う林内歩行は、一般的には集材工程の中に含まれるものである。また、集材作業における歩行部分の抽出は簡単には行い難い面があることによるものである。

次に林道維持費については表17に掲げた値を用い、(114)式により基準歩行距離を算出すると表39のとおりになる。また、この算出値および表5から基準歩行時間を求めると表39のとおりとなる。この表から、標準傾斜における基準歩行距離は401 mとなる。また、このときの基準歩行時間は44分となる。

(6) 考 察

1) 基準距離決定因子の特性

以上、いくつかの基準距離決定因子について述べてきたが、実際の配置基準距離の決定に当たっては、これらの因子のうちのいずれかに基づいて、またはいくつかの算出値を検討した上で総合的に判断して定めることになる。いずれを重視するかは計画対象地の状況や計画者の判断によるものであるが、その際、次の点に留意しておく必要がある。すなわち、上記のうち、適正伐区長、適正施業区長および基準歩行距離は、次のタイプの費用関数

表 38. 歩行人工数 [単位：人/ha]

種 別	摘 要	人 工 数	備 考
主 間	伐木造材	46.9	伐木造材手
	同 1 回目	19.8	〃
	同 2 回目	17.1	〃
造 管	林 理	190.0	造林手
		30.0	管理人
計		303.8	

表 39. 基準歩行距離および 基準歩行時間

林地傾斜 (度)	基準歩行距離 (m)	基準歩行時間
10	261	15 分
15	304	21 〃
20	340	27 〃
25	372	35 〃
30	401	44 〃
35	430	56 〃
40	458	1 時間 10 〃
45	487	〃 28 〃

$$f(X) = A \cdot X + \frac{B}{X} + C \quad \dots\dots\dots(115)$$

により算出されたが、このタイプの関数は、最小値を与える X を X₀ とすると、X が X₀ に近いときには、X の変化に対する f (X) の変化はきわめて小さいという特性がある（詳細は後述する）。また、適正スパン長についても、表 36 から同様の傾向があるといえる。従って、これらの算出値は、一応の目安であると言える。

2) 林地傾斜と配置基準距離、基準距離内面積率

路網密度は、第Ⅲ章で示したように、林地傾斜が大きくなるに従って、減少するのが一般的である。いま仮に、配置基準距離および基準距離内面積率が林地傾斜に関係なく一定であると、この場合の路網密度を算出すると、路網密度は、林地傾斜が増大するにしたがい、林道迂回率の増加に伴って（表 18 参照）大きくなる。この結果は、上記の一般的傾向に反するものである。このことからわかるように、林地傾斜と路網密度が合理的な関係を保つためには、配置基準距離および基準距離内面積率は、一般的に次のような傾向を有する必要がある。

- ① 配置基準距離は、林地傾斜が大きくなるに従って増大する（または不変である）。
- ② 基準距離内面積率は、林地傾斜が大きくなるに従って低下する（または不変である）。

3. 基準距離内面積率

(1) 示準レベル

林道からの距離が配置基準距離内にある林地は、良好な地利条件下にあると言うことができ、このような地帯をここでは主生産地帯と呼ぶことにする。これに対し、配置基準距離以遠の部分の土地を副生産地帯と呼ぶことにする。このように土地を区分すると、基準距離内面積率は、主生産地帯の面積比率を表すものであり、一般的には、基準距離内面積率は合理性または利便性を尺度とした土地利用の状況を表すものであると言うことができる。

基準距離内面積率の具体的な数値は、後に述べるような地味的な条件のほか、土地利用に対する経営方針、すなわち経営者の考え方が反映されて定められる性格のものである。このように、基準距離内面積率の決定には恣意性も関与すると言うことができる。ここで基準距離内面積率の基準的な尺度として、次の三つの状態を示準レベルとして設定し、各示準レベルにおける距離比および基準距離内面積率を定めることにする。

① 示準レベル I

図 17 は到達距離の確率密度分布図である。この図で $t=2$ のとき、すなわち配置基準距離を基準到達距離とするときを示準レベル I とすることにする。

② 示準レベル II

図 17 において t が ABC に囲まれた部分の面積を 2 等分するような値を取るときを示準レベル II とする。このとき t は

$$g(t) = \frac{1}{2} \{1 + g(2)\} \dots\dots\dots(116)$$

を満足する値として求まる。

③ 示準レベル III

t が 2 と 3.6 の中央の値、すなわち 2.8 のときを示準レベル III とする。

以上のように示準レベルが I ~ III のときの距離比を示準距離比 I ~ III とし、このときの基準距離内面積率を示準面積率 I ~ III と呼ぶことにする。この三つの示準レベルにおける示準距離比および示準面積率は表 40 のとおりになる。

ここで、計算例として、前節で求めた配置基準距離のうち主なものについて、各示準レベルにおける路網密度を求めることにする。標準傾斜における各路網密度は、(75) 式において $\eta=0.5$, $f_0=1.44$ とすると、表 41 に示すとくになる。次に、第三章で求めた 3 種類の標準林道密度について、各示準レベルに

における配置基準距離を求めることにし、(76) 式を用いて上記と同様に算出すると表 42 に示すとくになる。

(2) 土地利用と基準距離内面積率

事業対象地内のすべての林地を理想的な地利状態にするためには、相当に高い密度の路網が必要になる。例えば、配置基準距離を 500 m とする場合、基準距離内面積率を 100% にするためには、表 28 から 38.9 m/ha と高い密度の路網が必要となるが、95% のときには 26.6 m/ha、90% のときには 22.8 m/ha と、必要とされる密度は相当に低くなる。このようなことから、100% の林地を理想的な地利条件下にすることを目標とすることは、現実的には必ずしも得策とは言えない面もある。逆に、事業対象地内に地利条件の劣る区域がある程度存在するのは実際上やむを得ない面もあるものと考えられる。

また、事業対象地の中には、保護樹帯、風衝地、岩石地等地位的条件等から木材生産等積極的な林業生産に供し得ない土地が存在する場合も少なくない。

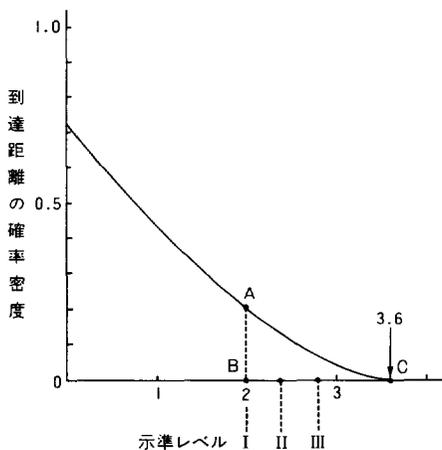


図 17. 示準レベル

表 40. 示準距離比および示準面積率

示準レベル	示準距離比	示準面積率 [%]
I	2.000	87.86
II	2.375	93.93
III	2.800	98.00

表 41. 主な配置基準距離と路網密度
〔単位：m/ha〕

種 類	配置基準距離 〔m〕	示準レベル		
		I	II	III
標準伐区長	285	37.9	45.0	53.1
標準施業区長	244	44.3	52.6	62.0
最大有効スパン長	747	14.5	17.2	20.2
適正有効スパン長	565	19.1	22.7	26.8

注) 適正有効スパン長は $s=0.05$ のときの値である

表 42. 主な標準林道密度と配置基準距離
〔単位：m〕

種 類	密 度 〔m/ha〕	示準レベル		
		I	II	III
主 伐 林道密度	18.3	590	701	826
一施業期 "	26.7	405	480	566
最 多 "	52.8	205	243	286

このような土地は、林道から最遠の地点となることの多い尾根筋を中心として存在している場合が多い。このような非生産的な土地が面積的に大きなまとまりを有している場合には、計画対象地から除外して路網計画を作成することになるが、点在または帯状に介在しているような場合など、計画の当初からは除外し難いときもあり、このような場合には、非生産的な土地も計画対象区域内に含まれることになる。このように副生産地帯の中には非生産的な土地がある程度含まれる場合もある。非生産的な土地は、奥山地域に多く見られ、一般的には地形が急になるほど、また標高が高くなるほど多くなる。

また、一般に、林地傾斜が大きくなるに従って、各作業費は増大し、林地からの収益性は低下してくる。同時に、林道建設費等の路網関係費は増大してくる。このようなことから、一般に、林地傾斜が大きくなるに従って、副生産地帯の面積比率は増加し、基準距離内面積率は低下すると言することができる。

(3) 最低林道密度

副生産地帯は地利条件の上で生産性の低い地帯であるが、特に、配置基準距離を最大有効スパン長とする場合には、副生産地帯の収益性は一段と低下する。このため、森林の取扱い上においても制約を受けることとなり、具体的には箇所ごとに次のような対応策の検討が必要となる。

- ① 収益性の低下があっても、多段集材等による集運材を行い、造林等は通常の施業を行う。
- ② 林業経営対象外、または当分の間施業を見合わせることにする。
- ③ 伐期齢を延長して、相対的な労働投入量の減少を図る。
- ④ 皆伐天然下種更新とする。

このようなことから、基準距離決定因子のうち、最大有効スパン長は、林業経営に与える影響の大きさから、重要な意味をもつものと言える。一段の架線集材で一定の面積率を主生産地帯とするような路網密度は、最大スパン長および基準距離内面積率を定めれば求めることができる。このような路網密度をここでは最低林道密度と呼ぶことにする。

ここで、計算例として最低林道密度の算定を行うことにする。前提条件の設定に当たっては、傾斜の増大に伴って最大スパン長は増加していき、基準距離内面積率は低下していくとの考えを取入れて、表 43 に示すごとくに定めた。この数値に基づいた計算結果を示すと同表のとおりとなる。この表より、標準傾斜における最低林道密度は 15.3 m/ha となる。また、標準傾斜において最大スパン長を 1,000 m とし、基準距離内面積率を変化させると、それに応じた最低林道密度の値は表 44 のとおりになる。

4. 路網計画の適用

(1) 路網密度と配置基準距離の関係

路網密度と配置基準距離の間には、基準距離内面積率を媒介として理論的に一定の条件を満たす必要があるほか、実際にもある程度の現実的な関係が必要となる。基準距離内面積率を一定の現実的な適用範囲で定めることにすると、路網密度と配置基準距離の実用上の組合せは限定されてくる。

ここでその例として、前記の算出値を取り上げ、両者の関係を具体的に示すことにする。まず、第Ⅲ章で求めた各路網密度の標準林道密度および主な配置基準距離を表45に掲げることにする。このときの基準距離内面積率は、(73)式を用いて算出すると、同表に示すとおりになる。基準距離内面積率は、こ

表 43. 最低林道密度 (I)

林地傾斜 [度]	最大 スパン長 [m]	最大有効 スパン長 [m]	基準距離 内面積率 [%]	最低 林道密度 [m/ha]
10	800	598	94	17.2
15	850	635	93	17.0
20	900	672	92	16.4
25	950	710	91	15.9
30	1,000	747	90	15.3
35	1,050	784	89	14.7
40	1,100	822	88	14.1
45	1,150	859	87	13.5

こでは示準面積率 I (87.86%) 以上を適正な範囲とすることにすると、表45において○印を付したものが路網密度と配置基準距離の適切な組合せとなる。この表から、例えば、主伐林道密度を目標林道密度とする場合には、最大有効スパン長が配置基準距離の対象となり、最多林道密度を目標林道密度とする場合には適正伐区長または適正施業区長が対象となることがわかる。

(2) 費用関数の特性と路網計画の適用

これまで、路網の密度については、収益を最大または費用を最小とする点として捉えてきたが、後述するように費用関数(収益を表す関数と費用関数とは一体のものであるので、ここでは前者を後者に含めることにする)は、最小値をとる点付近では値の変化がきわめて小さい。したがって、適正な路網密度は、最小値を与える点を中心として、一定の範囲として捉えていくことも実際には有効であり、このことについては ADAMOVICH⁸⁷⁾も指摘しているところである。

1) 費用関数の特性

いま、事業地 1 ha 当たりの収益を表す一般式(59)式における費用部分のうち、d に関係する部

表 44. 最低林道密度 (II)

基準距離内 面積率 [%]	最低林道 密度 [m/ha]	基準距離内 面積率 [%]	最低林道 密度 [m/ha]
85	13.5	93	16.7
86	13.8	94	17.2
87	14.1	95	17.8
88	14.5	96	18.5
89	14.9	97	19.3
90	15.3	98	20.2
91	15.7	99	21.6
92	16.2	100	26.0

表 45. 主な路網密度および配置基準距離における基準距離内面積率 [単位: %]

種 類	路 網 密 度 数 値 [m/ha]	配 置 基 準 距 離			
		標 準 伐 区 長 (285m)	標 準 施 業 区 長 (244m)	最大有効 スパン長 (747m)	適正有効 スパン長 (565m)
主 伐 林道密度	18.3	55.6	49.3	○ 95.7	86.1
一施業期	26.7	72.5	65.4	—	○ 98.0
最 多	52.8	○ 97.9	○ 94.1	—	—

注) 適正有効スパン長は s = 0.05 のときの値である。

分, すなわち変動費を E [円/ha] とし,

$$E = M \cdot d + \frac{N}{d} \dots\dots\dots(117)$$

ただし, M, N : 係数

で表すことにする。ここで E の最小値を E_{\min} とし, このときの d を d_{\min} とすると

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{N}{M}} \dots\dots\dots(118)$$

となり, これを (117) 式に代入すると,

$$E_{\min} = 2 \sqrt{M \cdot N} \dots\dots\dots(119)$$

となる。次に, d_{\min} に対する d の比率を t_d とし, これを路網密度比と呼ぶことにすると

$$\begin{aligned} d &= d_{\min} \cdot t_d \\ &= \sqrt{\frac{N}{M}} \cdot t_d \dots\dots\dots(120) \end{aligned}$$

と表すことができる。また, E_{\min} に対する E の比率を T で表し, これを経費比率と呼ぶことにすると

$$\begin{aligned} T &= \frac{E}{E_{\min}} \\ &= \frac{\sqrt{M \cdot N} \left(t_d + \frac{1}{t_d} \right)}{2 \sqrt{M \cdot N}} \\ &= \frac{1}{2} \left(t_d + \frac{1}{t_d} \right) \dots\dots\dots(121) \end{aligned}$$

となる。すなわち, 経費比率は各経費の値に関係なく, 路網密度比の関数として表すことができる。

ここで, 各路網密度比に対する経費比率の算出値を示すと表 46 のとおりになる。この表から, T の増加は, t が 1.0 から例えば, ± 0.1 変化するとき 0.5% 前後, ± 0.2 変化するとき, 2% 前後と, t が 1.0 近くではきわめて小さいことがわかる。特に, $t > 1$ のときに増加程度は小さい。さらに, E は総費用のうち変動費のみを抽出したものであるから, t の変化に対する総費用の変化率は一層小さなものとなる。総費用のうちの固定費は, 例えば, 156~164 万円/ha (表 16) で, 総費用に対する変動費の比率は標準傾斜で 46% ($10^\circ \sim 45^\circ$ で 29~56%) となる。

以上のことから, 計画路網密度を当面の支出を最小にする密度算定式から求めた値よりある程度高めても, 総支出におよぼす影響はそれほど大きくないことがわかる。例えば, 主伐林道密度の 1.5 倍の値を計画路網密度とする場合, 林道建設費は主伐林道密度によるときの 1.5 倍

表 46. 路網密度比と経費比率

路網密度比	経費比率 (%)
0.5	125.00
0.6	113.33
0.7	106.43
0.8	102.50
0.9	100.56
1.0	100.00
1.1	100.45
1.2	101.67
1.3	103.46
1.4	105.71
1.5	108.33
1.6	111.25
1.7	114.41
1.8	117.78
1.9	121.32
2.0	125.00

と大きくなるが、集材費の変動費は 67% に減少するため、費用 E の増加は 8.3% と低い率にとどまる。さらにこのような密度を高めた効果はその後の造林、間伐等の施業で発揮されることになる。

以上のことは、一時的には収益性の低下を来しても必要な路網整備を図るべきとの考え方の妥当性を裏付けていると言えよう。

2) 路網密度の適用範囲

次に、以上とは逆に路網密度比を経費比率の関数として表すことにする。(121) 式から t_d は

$$t_d = T \pm \sqrt{T^2 - 1} \dots\dots\dots(122)$$

と表され、この式から $T (\geq 1)$ に対する t_d を算出すると、表 47 のようになる。(122) 式において、経費比率の許容限界を設定すれば、路網密度の適用範囲を定めることができる。

ここで計算例として、主伐林道密度を基礎とし、 T の許容限界を 103% とするときの路網密度の適用限界を求めることにする。この場合、密度は増加させるものとする、路網密度比は表 47 から 1.277 となり、適用範囲の上限は次のようになる。

$$18.3(\text{m/ha}) \times 1.277 = 23.4(\text{m/ha})$$

最多林道密度等理想的な路網密度を基準とする場合、林道資金の調達が実際には困難な場合も少なくない。このような場合、準理想的な密度を設定してこれを目標とすることも実際上有効であると考えられる。このような林道密度を準理想林道密度と呼ぶことにする。

ここで、計算例として、準理想林道密度を求めることにする。最多林道密度を基礎とし、 T の許容限界を 103% とし、このときの路網密度の適用範囲の下限値を準理想林道密度とする。この場合、路網密度比は 0.783 (表 47) となり、これより準理想林道密度は次のようになる。

$$52.8(\text{m/ha}) \times 0.783 = 41.3(\text{m/ha})$$

3) 路網計画における予定値と測定値

図上における路網配置計画を作成した後、路網の総延長を測定すれば路網密度は算出されるが、この測定値と理論式等に基づいて定めた予定値との間にはある程度の相異があるのが普通である。これは主に、

計算式で用いる路線配置係数および林道の迂回率の値はあくまで標準的な想定値であり、個々の計画対象

地域においては、これらの数値を用いて算出した路網密度等の値はあくまで一つの期待値にすぎないことによるものである。個々の地域における路線配置係数および林道の迂回率の値は、正確には路網配置が行われた後に初めて明らかになるものである。箇所ごとのこれらの値の変動は、これまでの調査結果³¹⁾⁷²⁾ からみて、必ずしも小さくないのが実態である。また、路網計画の対象区域があまり広くない場合には、例えば図 18 に示すように、路線配置の状況がかなり片寄った場合も生じ、これに伴って、路線配置係数もかなり片寄った値となることもある。

以上のようなことから、路網の個別配置計画にお

表 47. 経費比率と路網密度比

経費比率 [%]	路網密度比	
	増 加	減 少
100	1.000	1.000
101	1.152	0.868
102	1.221	0.819
103	1.277	0.783
104	1.326	0.754
105	1.370	0.730
106	1.412	0.708
107	1.451	0.689
108	1.488	0.672
109	1.524	0.656
110	1.558	0.642

いては、予定値と測定値との間に、ある程度の差違が生じることは現場の条件によって十分ありうる。このようなことから、路網計画の現地への適用に当たっては、ある程度の幅をもって考える必要があると言える。

(3) 路網計画の適用例

本項では、実際の地形図を用いて、路網計画の適用例を示すことにする。

架線集材においては、距離的には林道に比較的近い位置にあっても、尾根の裏側など、一段の架線による集材が困難な場合もある。このようなことから、路網配置計画の作成に当たっては、林内各点から林道までの到達距離の状況のほか、配置された林道から一段の架線で集材しうる範囲を検定しつつ行うことも重要である。本論では、林内各点から林道までの到達距離の算定および集材可否の検定等を電算機を用いて行うことにし、まずそのプログラムの概要を述べることにする。

1) プログラムの概要

本プログラムの実行に当たっては、まずその準備段階として、図上に一定間隔のマトリックスをかけ(後述の適用例では間隔を 50 m とした)、各格子点の座標を定め、次のようなデータを入力する必要がある。

- ① 各格子点が路網計画対象区域内か否かを表す識別記号
- ② 各格子点の標高(ただし、計画対象区域外で、対象区域から一定の距離以上離れた格子点については必要としない)。
- ③ 林道(既存および計画路線)の線形を極力保持しうるように選定した代表点の座標

1-1) 格子点から林道までの距離

各格子点から林道までの距離は次のように求める。まず、林道路線に関する入力データから復元された林道上に一定間隔(適用例では 50 m とした)に IP 点を設定する(図 19 参照)。格子点 P (X_P, Y_P) から IP_i (X_i, Y_i) までの距離 D_{Pi} は

$$D_{Pi} = \sqrt{(X_P - X_i)^2 + (Y_P - Y_i)^2} \dots\dots\dots(123)$$

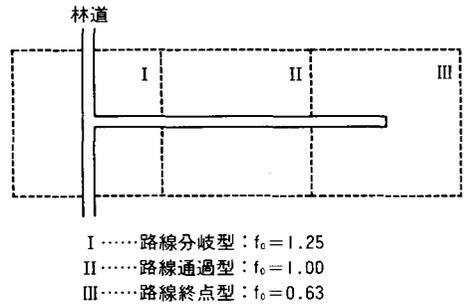


図 18. 路線配置パターンと路線配置係数

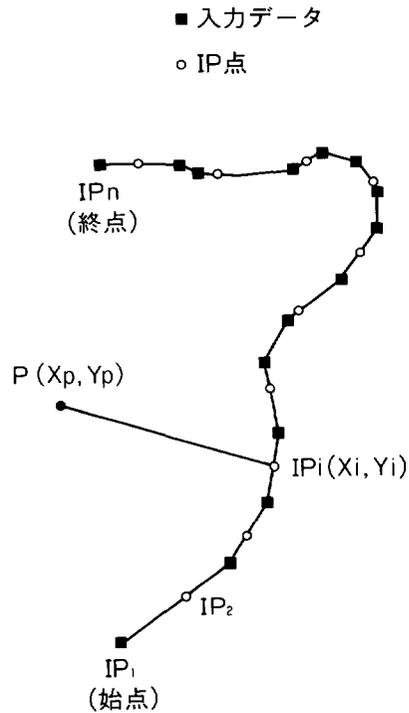


図 19. 林道の線形

により求まる。この計算を林道の始点から終点まで全ての IP 点について行うことによって、P から最短距離にある IP 点およびそのときの距離を定めることができる。

1-2) 格子点における集材可否の判定

電算機を用いて、林内各点から林道までの集材の可否を正確に判定することはかなり難しいものと考えられる。その理由は、集材の可否は架設された主索に対する横取りの可否で判定されると考えられるが、林道上を横切る主索の場合の数は無限と言っても過言ではなく、電算機をもっても処理しきれないことによるものである。そこで、本論では概略的な判定法として、以下の方法を用いることにした(図 20 参照)。

まず、林内の点 P から林道上の点 R への集材の可否を次により決定する。任意の点の標高は、格子点の標高値に基づいて 3 次曲面近似⁸⁹⁾により算出することにし、

- ① R 上の高さ H_S (後述) の点 S を P から見通せれば点 P の集材は可能である。
- ② P から S を見通せない場合、平面図の上で直線 RP 上の林道からの最大集材距離(適用例では 750 m とした)にある点を Q とすると、PQ 間に S を見通せる点が存在すれば集材は可能である。
- ③ 上記以外は集材不可能である。

以上の考え方は、搬器が盤台(ほぼ林道の位置と考える)上にあるとき、引戻索が地表に接触するかどうかを集材可否の判定の基準にしたものである。

H_S は、主索の林道上の高さの期待値で、次のように定めた。

- ① 図 21 に示すように、林道上の点 R を通る直線上に 2 点 T_1, H_1 を R に対して反対側にとり、これを先柱および元柱の位置とする。 T_1H_1 の距離は最大スパン長((適用例では 1,000 m とした)以下とし、この範囲で任意の距離を取りうるものとする。この 2 点間に主索を架設し(適用例では主索の線形は 2 次曲線とし、補正中央垂下比は 0.05 とした)、架設しうる林道からの最高高度を求め、この高さを H_{S1} とする。
- ② 次に、点 R を中心にして、 T_1H_1 を一定の角度 θ (適用例では 10° とした)だけ回転し、 T_2H_2 について同様の計算を行う。この計算を繰り返して、回転が 180° になるまで行う。
- ③ 以上により求めた H_{S1}, H_{S2}, \dots の平均高さを H_S とする。

以上の検定を、まず点 P から最も近い IP 点 R_1 (図 22 参照)について行い、 R_1 への集材が不可能な場合には、次に P に近い点 R_2 について検定を行う。この検定を P から最大集材距離内にあるすべて

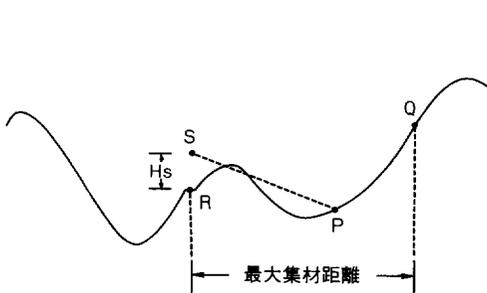


図 20. 集材可否の検定 (I)

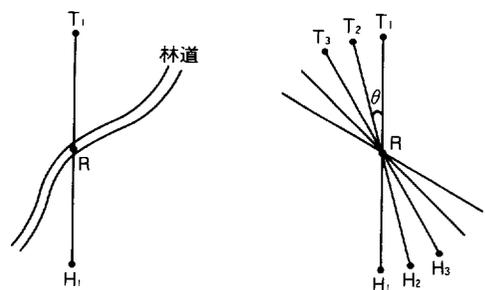


図 21. 主索の林道上の高さ

の IP 点について順次行い、集材可能な IP 点が全く存在しない場合には P からの集材は困難と判定する。一つでも集材可能な点が存在すれば P から林道への集材は可能と判定し、検定は終了する。

2) 路網計画の適用例

次に、図 23 に示す地形図を用いて、路網計画の適用例を示すことにする。図は 25,000 分の 1 の地形図である（実際には複写機により図を拡大して諸作業を行った）。図に示された計画対象地域は、愛知県北東部に位置しており、面積は 707 ha、標高は約 630~1,120 m である（図の②、③の林道の東南部は国有林（岡崎宮林署管内）、その他は民有林である。所有形態の相異はあるが、ここ

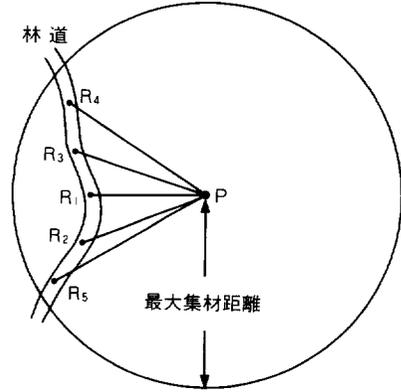


図 22. 集材可否の検定 (II)

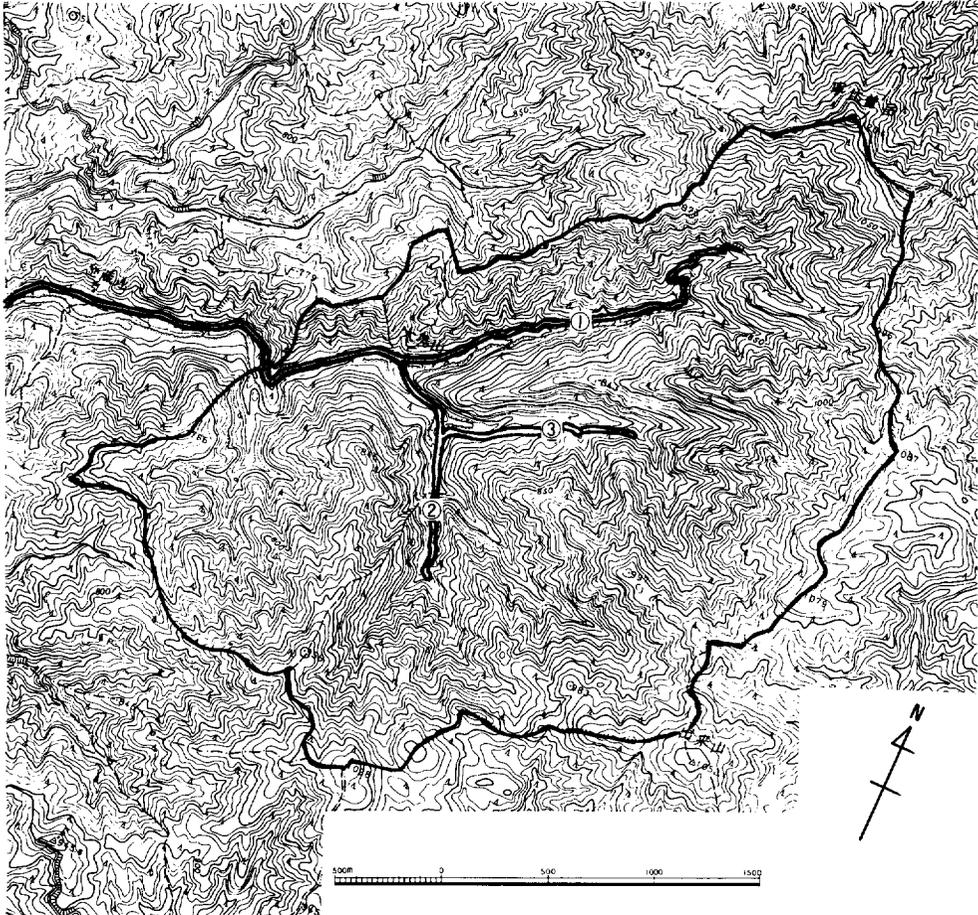


図 23. 路網計画対象区域

では 1 体の計画区域とみなすことにする)。

計画対象区域には、図に示すように、林道 1, 2, 3 が作設されている。本計画では、この既設林道に加えて路網の整備を行うことが主たる目的であるが、同時に、路網整備の進行状況とそれに対応した林道への到達距離、集材可能範囲の状況等の推移を明らかにするため、次の三つの段階を設定し、各段階ごとに諸状況を調べていくことにする。

- ① 段階Ⅰ……林道 1 だけが整備された段階
- ② 段階Ⅱ……林道 1, 2, 3 が整備された段階
- ③ 段階Ⅲ……以上に加えて、路網の整備を行う段階

まず、図 23 に 50 m 間隔のメッシュをかけ、各格子点の標高を概略的に表すと、図 24 に示すとおりになる。なお、この図のように、電算機のアウトプットは、ラインプリンタの関係で、上下方向（この場合はほぼ南北方向）に拡大（約 1.7 倍）されたものとなる。

2-1) 段階Ⅰ

林道 1 の延長は 2,758 m で、林道密度は 3.9 m/ha となる。このときの各点の林道 1 までの到達距離の算定結果を示すと図 25 のようになる。この図から、到達距離が 1,000 m 以上の箇所が、対象区域の南部に広く分布していることが確認できる。到達距離の分布状況については、表 48、図 26 に示すとおりで、平均到達距離は 768 m である。

次に、各点における集材可否の検定結果を示すと、図 27 のとおりである。集材の可否については、前述したように大略の目安であり、個々の箇所については厳密には個別に検定する必要があるが、集材が困難と判定される箇所がまとまって分布しているようなエリアについては、ほぼ集材が困難な区域と考えることができる。図 27 から、最大集材距離（750 m）の範囲内ではあるが、地形的な関係から集材の困難なエリアが分布していることが認められる。また、最大集材距離以遠の箇所も相当に大きな面積を占めていることが認められる。以上を数値として示したのが表 49 で、集材可能な箇所が 44%、最大集材距離内ではあるが地形的な関係から集材困難な箇所が 9%、最大集材面積距離以遠の箇所が 47% となっている。

2-2) 段階Ⅱ

林道 1～3 の合計延長は 4,856 m で、林道密度は 6.9 m/ha となる。このときの各点の林道までの到達距離は図 28 のようになる。また、到達距離の分布状況は表 48、図 26 に示すとおりで、平均到達距離は 468 m となる。

次に、各点における集材可否の検定結果を示すと図 29 のようになる。図において 1～3 の数字は、集材すべき林道の番号を表している（集材が可能な林道が二つ以上ある場合は、到達距離が小さい方の林道に集材することにする）。集材可否別面積率は表 49 に示すとおりで、集材可能な箇所は 69%、最大集材距離内ではあるが地形的な関係から集材困難な箇所は 10%、最大集材距離以遠の箇所が 21% となる。これらの数値および図 29 から、計画対象区域の東南～西南部を中心として路網配置の必要性の高い箇所のあることがわかる。

2-3) 段階Ⅲ

最後に、前述の諸数値を用いて、この区域の路網計画を作成することにする。まず、計画林道密度および配置基準距離については次のように定めることにする。

- ① 計画対象区域の平均傾斜は 28° で、標準傾斜に近いことから、ここでは、この区域を標準傾斜とみな

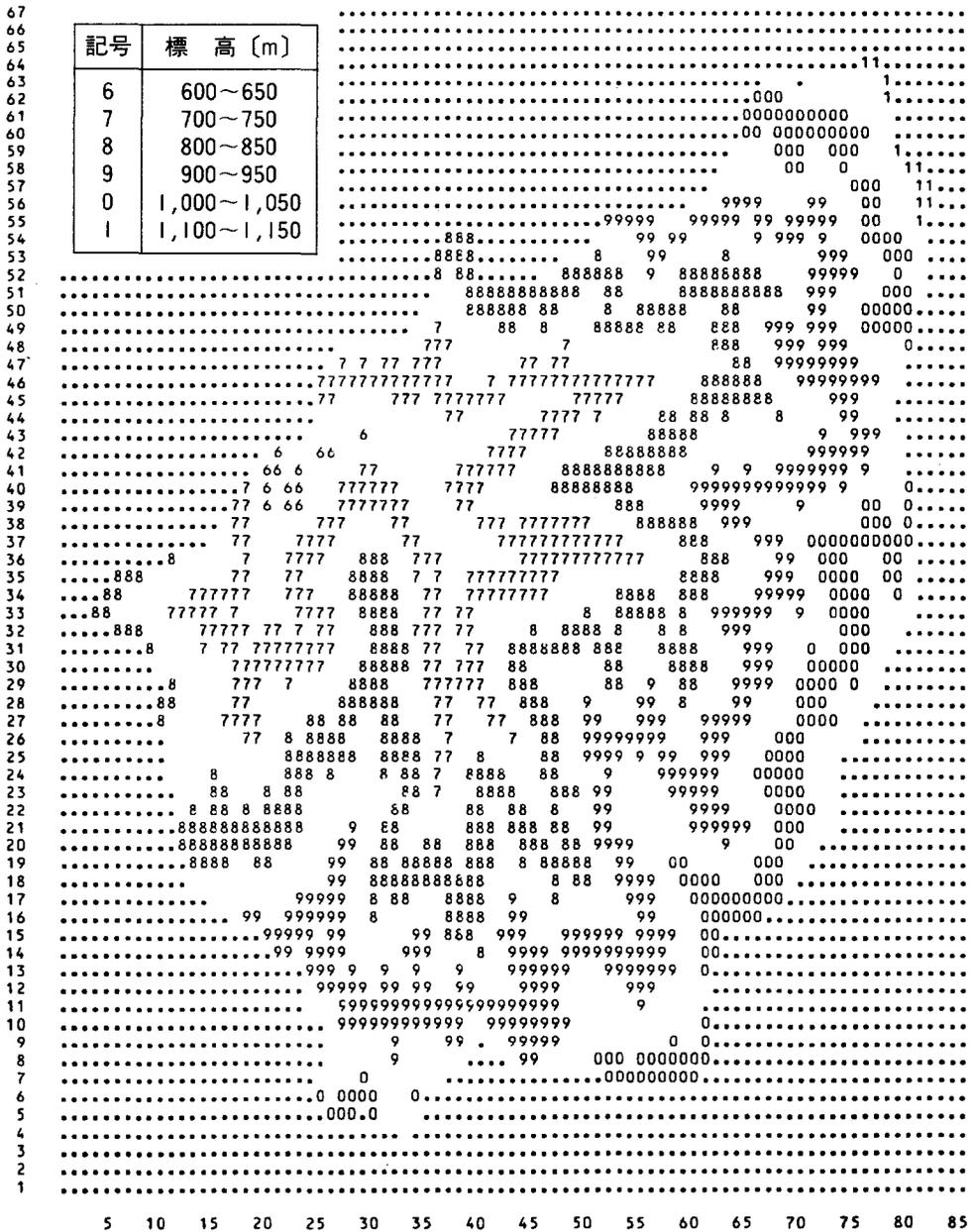


図 24. 標 高

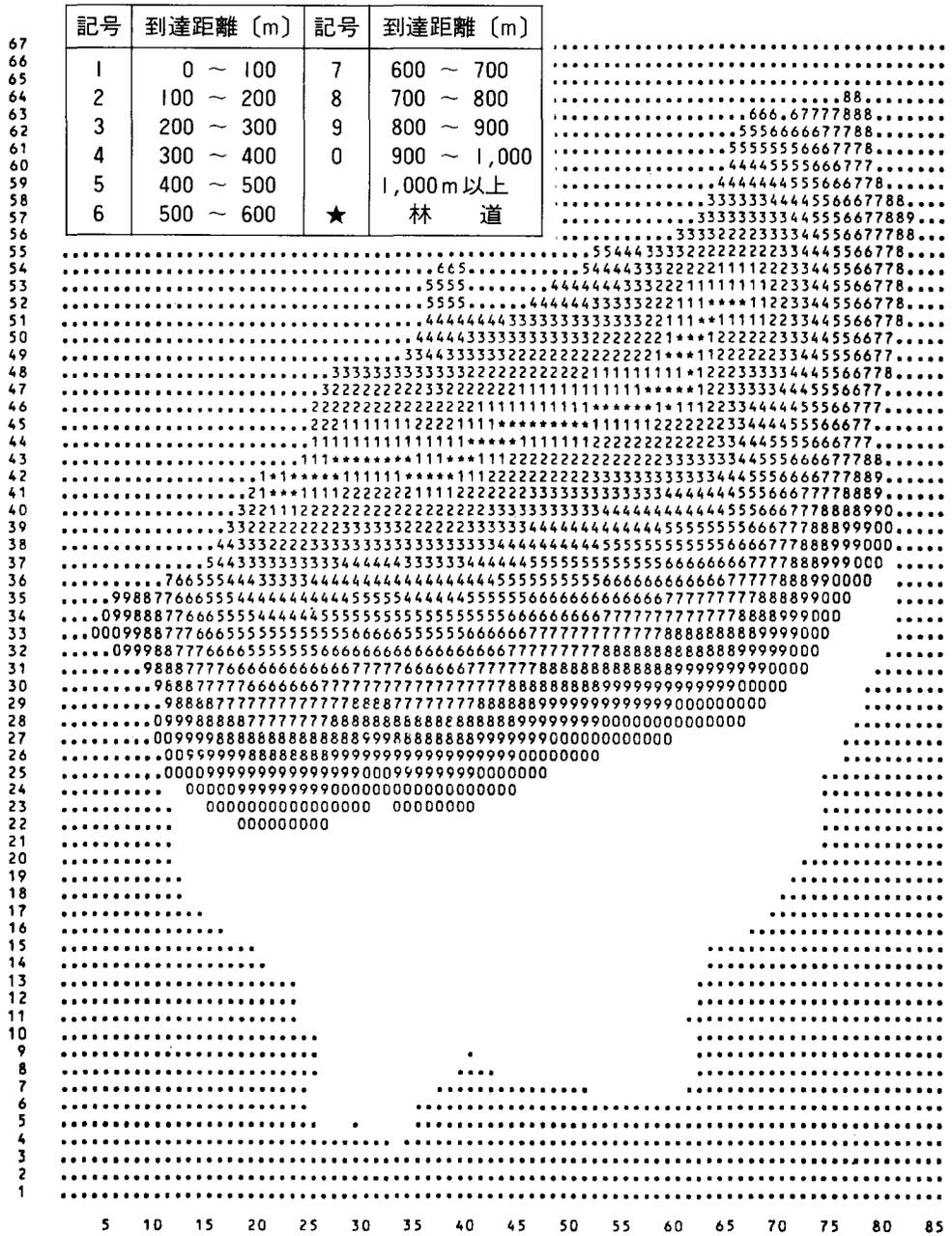


図 25. 各点の到達距離〔段階 I〕

表 48. 到達距離の分布 (単位: %)

距離区分 (m)	段階 I	段階 II	段階 III
0~100	7.2	12.7	37.8
100~200	7.9	13.2	30.1
200~300	7.5	11.4	19.0
300~400	6.7	9.4	7.1
400~500	6.6	8.9	3.0
500~600	6.8	9.3	1.8
600~700	7.1	9.2	0.8
700~800	6.3	8.5	0.4
800~900	5.6	6.5	
900~1,000	5.6	5.3	
1,000~1,100	5.4	3.4	
1,100~1,200	5.1	1.4	
1,200~1,300	4.6	0.5	
1,300~1,400	3.9	0.3	
1,400~1,500	3.6		
1,500~1,600	3.1		
1,600~1,700	2.7		
1,700~1,800	2.3		
1,800~1,900	1.4		
1,900~2,000	0.6		
計	100.0	100.0	100.0
平均到達距離	768	468	165

表 49. 集材可否別面積率 (単位: %)

区 分	段階 I	段階 II	段階 III
集材可能: 最大集材距離内	44.2	68.9	99.4
集材困難: 最大集材距離内	8.7	9.8	0.6
集材困難: 最大集材距離外	47.1	21.3	—
計	100.0	100.0	100.0

m とする。この場合、基準距離内面積率は (73) 式から 87% となる。

以上の配置基準距離および基準距離内面積率を尺度としつつ、極力効率的な配置効果が得られるように留意して作成された路網配置計画案を示すと図 30 のとおりである。計画された林道の延長は、林道 4 が 9,089 m、林道 5 が 1,764 m で、林道 1~5 の合計延長は 15,709 m となり、これより林道密度は 22.2 m/ha となった。

まず、この計画における各点の林道までの到達距離の状況を示すと図 31 のとおりとなる。この図から、大部分の林地が配置基準距離内にあることがわかる。また、到達距離の分布状況は表 48、図 26 に示すと

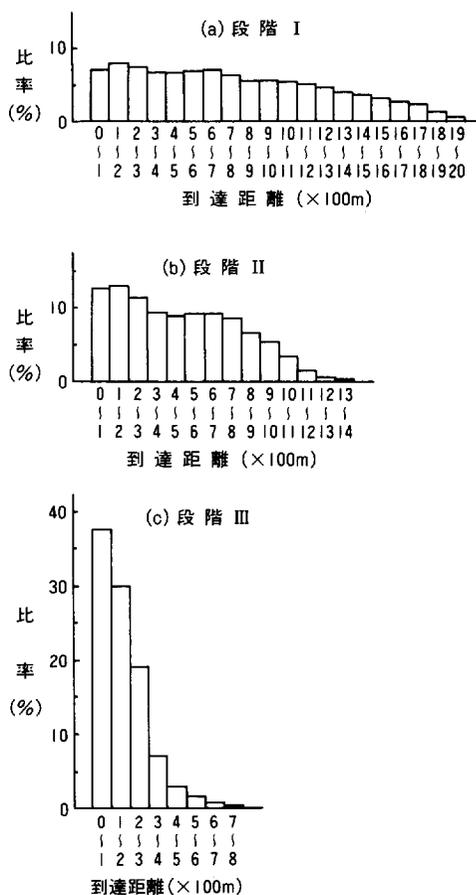


図 26. 到達距離の分布

すことにする。路網密度については一施業期林道密度を採用することにし、計画路網密度は 26.7 m/ha (表 21) とする。

② 配置基準距離については、適正施業区長 244 m と適正有効スパン長 565 m (補正中央垂下比が 0.05 の場合) との中間的な値を採用することとして、400

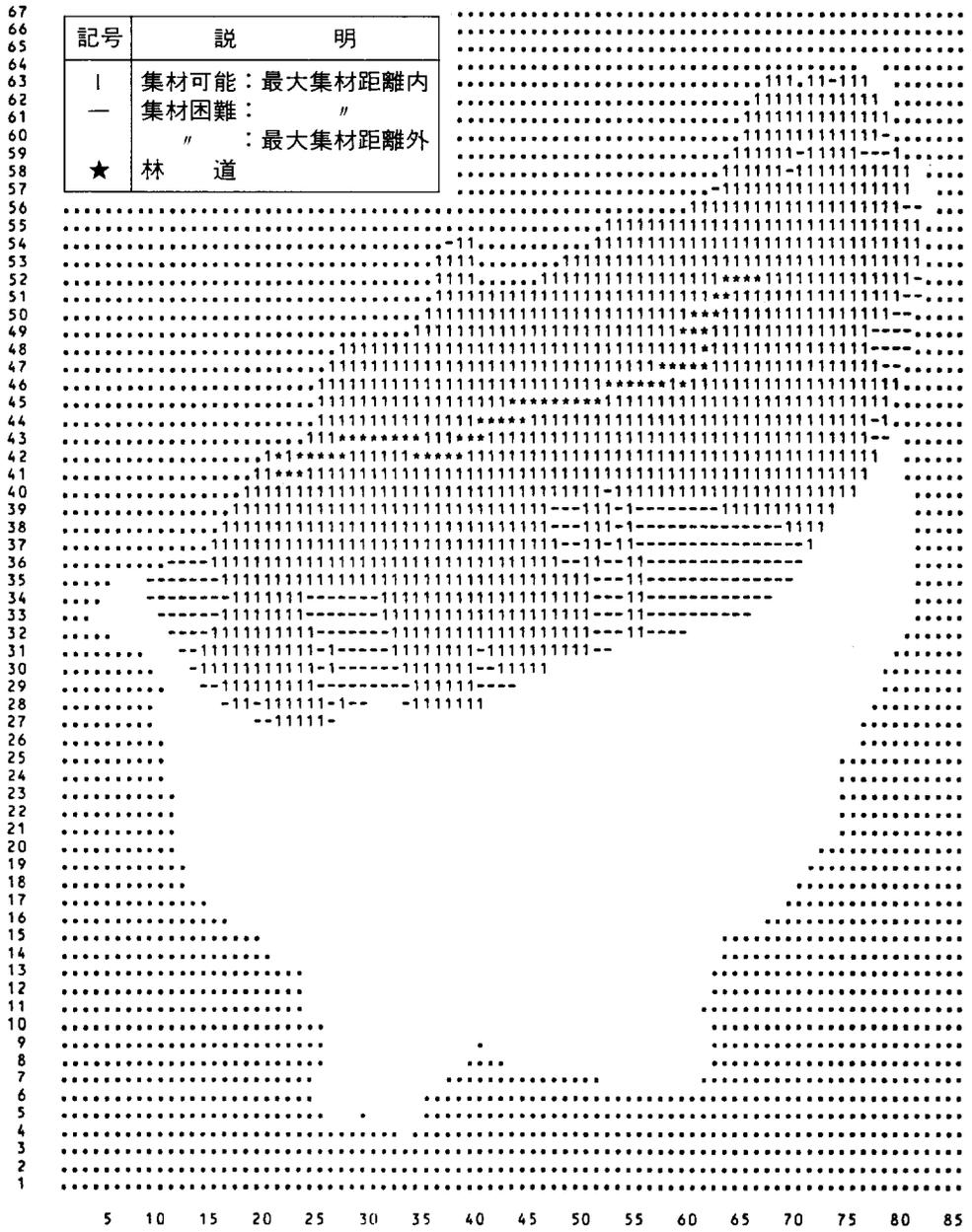


図 27. 集材の可否〔段階 I〕

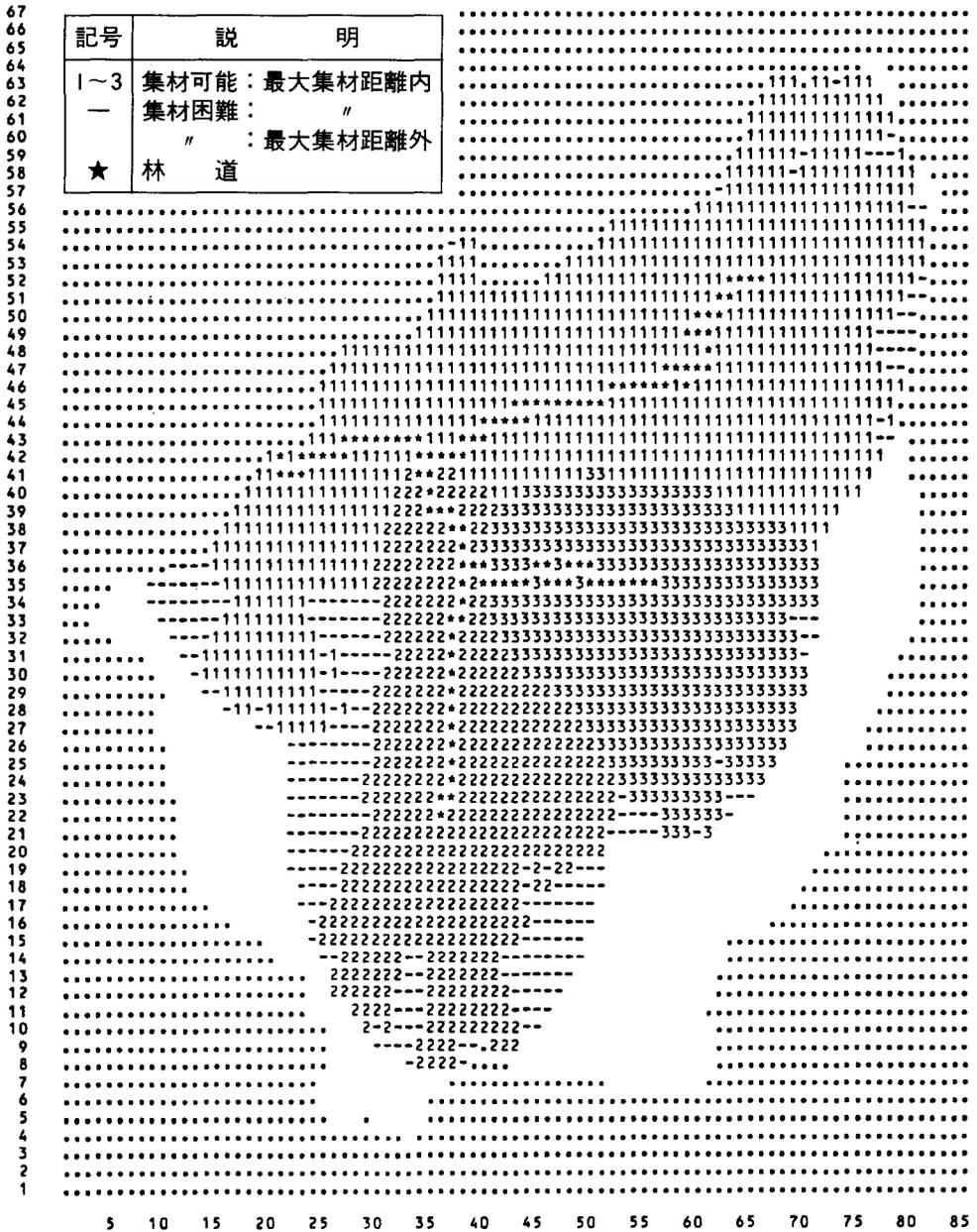


図 29. 集材の可否〔段階Ⅱ〕

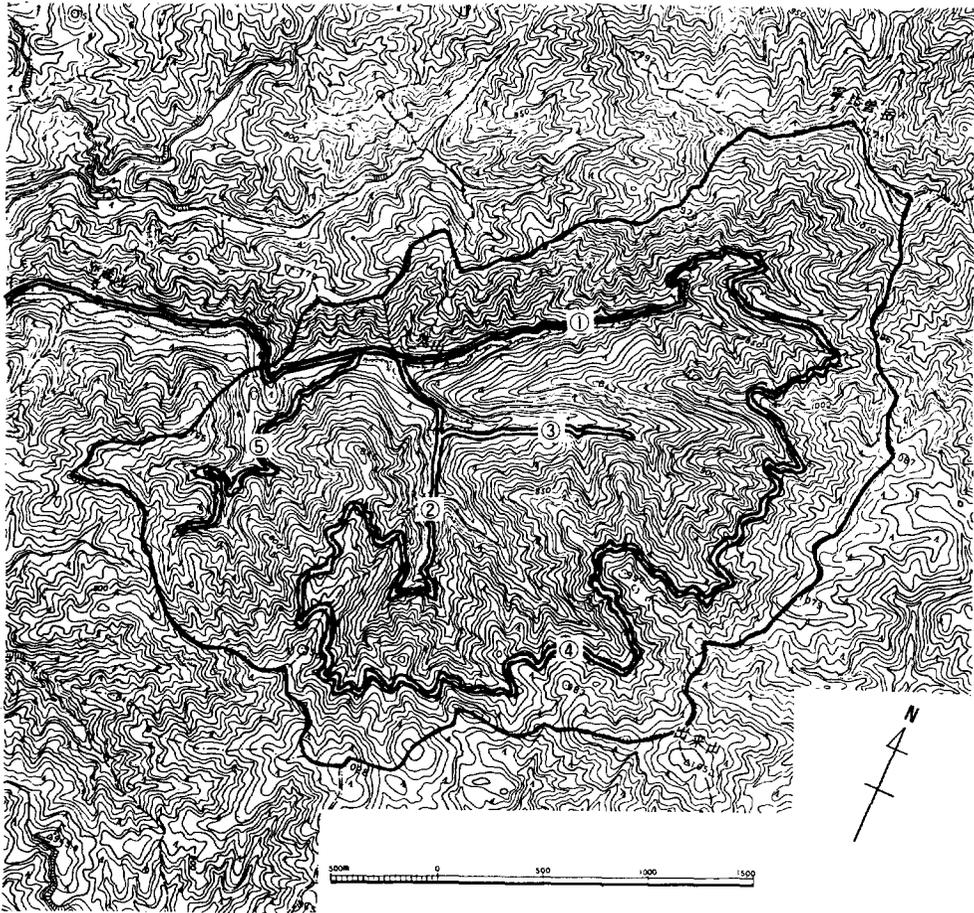


図 30. 路網整備計画

表 50. 路網計画に関する諸数値

項 目	段階 I	段階 II	段階 III
林道密度 [m/ha]	3.9	6.9	22.2
迂 回 率	0.15	0.11	0.54
路線配置係数	1.04	1.16	0.95

表 51. 林道の開発効率

路線名	延長距離 [m]	集材面積 [ha]	開発効率 [m ³ /m]
林道 1	2,758	128.00	464
” 2	1,141	41.50	364
” 3	957	60.25	630
” 4	9,089	394.00	433
” 5	1,764	79.00	448
計	15,709	702.75	447

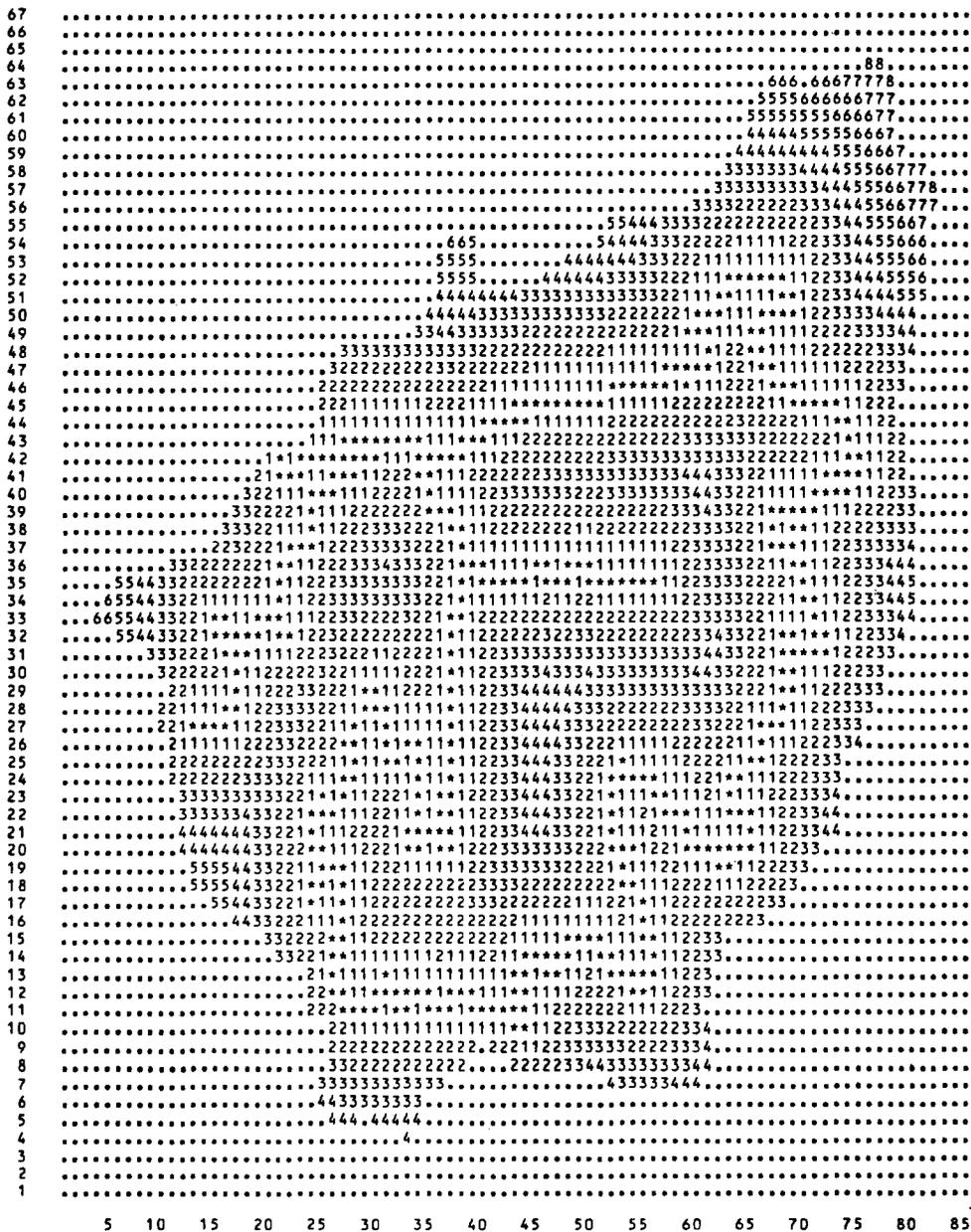


図 31. 各点の到達距離 (段階Ⅲ)

注) 記号は図 25 と同じである

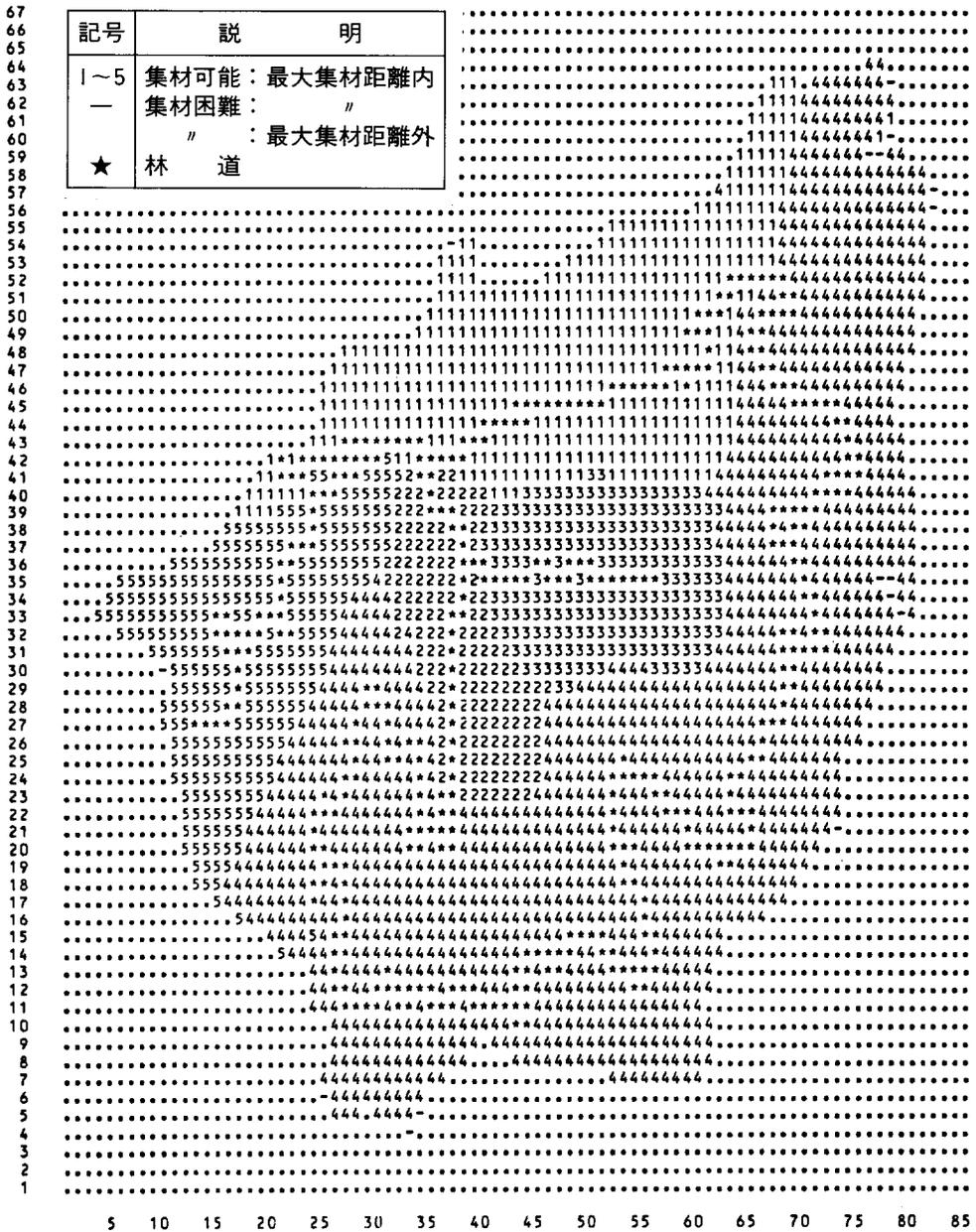


図 32. 集材の可否〔段階Ⅲ〕

おりで、平均到達距離は 165 m、基準距離内面積率は 94% となる。次に、集材の可否の算定結果を示すと、図 32、表 49 のとおりで、集材可能地の面積率は 99.4% ときわめて高い結果となった。路線配置係数の算定結果は表 50 のとおりで、段階Ⅰでは 1.04、段階Ⅱでは 1.16 で、この計画による場合の値は 0.95 であった。

さらに、各路線別の集材面積を掲げると表 51 に示すとおりになる。ここで、各路線の開発効率を、路線別集材可能面積/路線別延長 [m^2/m] で表すことにすると、その算出結果は同表に示すとおりで、林道 3 がかなり高いことがわかる。このような林道の評価法は、林道の開発効果の判定、開設順序の決定を行っていく上での判断材料の一つになるものと考えることができる。

以上の計算は、農林水産研究センターの大型電算機 ACOS-850 を用いて行った。計算時間は段階Ⅲの場合で 10 分 17 秒であった。以上の結果から、本電算機処理法は、林道までの到達距離の状況の把握、集材可否の検定が可能であり、路網計画を作成していく上での検討材料を与えるものとして、実用にある程度供しうるものと考えられる。

V 要 約

1. わが国においては、林業生産活動の基盤とも言える林道等路網の整備が十分でない地域は多く、今後、路網の整備を積極的に進めていく必要がある。しかしながら、林道建設には一般的に多額な資金投入を要することなどから、路網整備に当たっては、適正な密度の路網を効率的に配置するなど、合理的に行っていくことが必要である。このようなことを反映して、適正な路網密度および配置に関して、これまでに多くの研究がなされてきたところである。

本研究は、これまでに行われてきた研究の成果を踏まえつつ、路網密度および路網配置に関する因子について究明を行い、これらを通じて架線集材を対象とした路網計画法の確立に資することを目的としたものである。

以下、第Ⅰ章の序論に引き続き、第Ⅱ章以降本研究で述べた主な事項および明らかとなった事項について要約する。

2. 第Ⅱ章では、まず、本論で前提とする路網配置法について述べ、次に、林内到達距離の分布関数および路線配置係数に関して、本論で用いる既往の研究成果について概略の説明を行った。

本論においては次の路網配置法を前提とした。すなわち、路網の配置ができうる限り均一になるように留意しつつ、一定の距離を尺度として、あらかじめ設定した一定率の林地（通常は大部分の林地）が林道からこの距離の中にはいることを目途として路網の配置を行うことにし、この尺度となる距離を配置基準距離、林道からの距離が配置基準距離内にある林地の面積率を基準距離内面積率と呼ぶことにした。また、この二つの要素と路網の量的尺度である林道密度を合わせて路網計画上の 3 要素と呼ぶことにした。

3. 第Ⅲ章では、まず、適正な路網密度および配置基準距離の算定を行う上で必要となる伐出等各森林施業の費用関数を設定し、次に、経済性を基礎とした合理的林道密度の算定式を導いた。

(1) 本論では、主伐費、間伐費、造林費、管理費を総称して作業関係費（対象面積を一定とする場合、平均到達距離 X の一次関数で表される経費）と呼び、これに対して、林道建設費、林道維持費および林地損失費（林道開設に伴う林地の損失を費用とみなした）を総称して路網関係費（林道密度に比例、すなわち X に反比例する経費）と呼ぶことにした。これらの経費については、既往の資料を参考にして費用

関数を設定した。

(2) 合理的林道密度の算定式として、次の三つを導いた。

- ① 主伐林道密度……主伐費と林道建設費の合計を最小にする路網密度
- ② 一施業期林道密度……一施業期間（輪伐期）をタイムスパンとし、この間における各作業費、林道建設費および林道維持費の合計を最小にする路網密度
- ③ 最多林道密度……林道網が整備された後の状態に主眼をおき、林業経営の理想状態として、最大の収益を永続的にもたらし得る路網密度

さらに、これらを包括する式として合理的林道密度の一般算定式を導いた。この式から、主として、林道の償却期間または償却対象に応じて各種の密度算定式を導くことが可能であり、その例として、上記3種の林道密度算定式および主伐造林林道密度算定式を導いた。

4. 第IV章では、まず、路網計画上の3要素の関係を明らかにし、配置基準距離の算定法を示した。次に、基準距離内面積率および最低林道密度について述べた。さらに、路網計画の適用に関する留意事項について述べ、最後に現地の地形図を用いた適用例を示した。

(1) 路網計画上の3要素の間には次のような関係があり、その関係を数式を用いて示した。

- ① 3要素のうち二つを定めると残りの一つは自動的に定まり、逆に三つの要素を独立して定めることはできない。すなわち3要素の間の自由度は2である。
- ② 路網密度と配置基準距離の間には、満たすべき一定の条件が存在する。

(2) 配置基準距離の決定に関与する因子としては以下のようなものがあり、その算定法を示した。

- ① 適正伐区長……単位材積当たりの主伐費を最小にする伐区長
- ② 適正施業区長……一施業期間をタイムスパンとし、この間における作業関係費と林道維持費および林地損失費の合計を最小にする施業区域の長さ
- ③ 規制伐区長……伐区面積が施業条件等（例えば、保安林における伐採面積規制）により規制されるような場合の伐区長の期待値
- ④ 最大有効スパン長……主索の実用上のスパン長の上限値を与えた場合（本論文では1,000 mとした）、このスパン長において実際に集材可能な最大の距離
- ⑤ 適正有効スパン長……理論的に適正スパン長（単位面積当たりの主索の使用量を最小とするスパン長）を求め、このスパン長において実際に集材可能な距離

(3) 標準的な伐区幅を設定すれば適正な伐区面積および施業区面積は適正伐区長および適正施業区長に基づいて算出でき、この算定法を示した。

(4) 基準距離内面積率は、主生産地帯（地利条件の良好な地帯）の面積比率を表すものである。本論では、基準距離内面積率に関して三つの示準的なレベルを示した。

(5) 事業対象地内のすべての林地を理想的な地利状態とするためには、かなり高い密度の路網が必要となる。したがって、100%の林地を理想的な地利条件下にすることを目標とすることは、現実的には必ずしも得策とは言えない面もあり、逆に、地利条件の劣る区域がある程度存在するのはやむを得ない面もある。

(6) 最大有効スパン長は林業経営に与える影響の大きさから重要な意味をもつものと言える。一段の架線集材で一定の面積率を主生産地帯とするような路網密度は、最大スパン長および基準距離内面積率を定め

ば求めることができる。このような路網密度を最低林道密度と呼ぶことにした。

(7) 作業関係費と路網関係費の合計費用は、これを最小とする路網密度 d_{\min} 付近において d の変化に対してかなり鈍感である。したがって、各密度算定式によって算出される路網密度の値は、あくまで一つの目安と考えてよい。このことは配置基準距離についても同様に言える。

(8) 路網配置計画における路網密度の予定値と配置後の測定値との間にある程度の差異が生じることは現場の条件によって十分ありうる。このようなことから、路網計画の現地への適用に当たっては、ある程度の幅をもって考える必要があると言えよう。

(9) 計画された路網に対し、以下のような事項について算定しうる電算機プログラムの開発を行った。

① 林内の各点から林道までの到達距離を表示する平面図、各点から林道までの到達距離の分布状況および平均到達距離、② 林内の各点から林道まで一段の架線による集材可否の判定結果を示す平面図、集材可否別面積および面積率、③ 路線別延長距離、集材面積および各路線の開発効率（路線別集材可能面積/路線延長）

以上の計算は、農林水産研究センターの大型電算機 ACOS-850 を用い、計算時間は段階Ⅲで10分17秒であった（対象区域の面積は707 ha）。電算機処理によって、林内各点から林道までの到達距離の状況の把握、林内各点の集材可否の判定が短時間ででき、この処理法はある程度実用に供しうるものと考えられる。

謝 辞

この研究をまとめるにあたり、終始懇篤なるご指導を賜り、さらに校閲の労をとられた東京大学農学部上飯坂実教授に対して心からの謝意を捧げます。

また、林道に関する研究の手ほどきを受け、引き続きご指導を賜った東京大学農学部南方康助教授に対して深い感謝と敬意を捧げます。

さらに、有益な助言と励ましの言葉をいただいた林業試験場福田光正機械化部長をはじめ、ご教示とご援助をいただいた林業試験場の諸兄に対し心から御礼申し上げます。

引 用 文 献

- 1) 林野庁監修：図説林業白書（昭和59年度版）、日本林業協会、197 pp., (1985)
- 2) 特用林産振興協議会：特用林産振興協議会報告書—しいたけ原木対策—, 24 pp., (1982)
- 3) 日本林業協会編集：林道、林業ハンドブック、日本林業協会、16~17, (1984)
- 4) 森林計画研究会編：わが国森林・林業の長期ビジョン、地球社、310 pp., (1981)
- 5) 林野庁林道課：林道実務相談（簡易林道の制度発足）、林野時報、362, 48~49, (1984)
- 6) 林野庁長官通達：林道規程（48 林野道第107号）、国有林野関係通達集（経営編）昭和60年版、林野弘済会、722~730, (1985)
- 7) 林野庁長官通達：簡易林道に係る林道の構造等について（59 林野道第425号）、国有林野関係通達集（経営編）昭和60年版、林野弘済会、818~819., (1985)
- 8) MATTHEWS, D.M.: Cost Control in the Logging Industry. 374 pp., (1942)
- 9) 上飯坂実著：森林利用学序説、地球出版、180 pp., (1971)
- 10) 南方 康：林道網計画に関する研究、東大演報、64, 1~58, (1968)
- 11) KAMIIZAKA, M.: Studies on Optimum Density of Forest Roads (I) —Concerning

- standard models—, J. Jap. For. Soc., 45, (9), 289-292, (1963)
- 12) KAMIIZAKA, M.: Studies on Optimum Density of Forest Roads (II) —On Development Road Density—, J. Jap. For. Soc., 48, (2), 48~54, (1966)
 - 13) 大河原昭二: 帯広営林局管内におけるトラクタ集材距離とトラック作業道密度の合理的関連性に関する研究 (I) —数学モデルの前提条件—, 日林誌, 46, (7), 231~236, (1964)
 - 14) 大河原昭二: 同上 (II) —矩形平地林における数学モデル—, 日林誌, 46, (8), 269~273, (1964)
 - 15) 大河原昭二: 同上 (III) —地形上の制約を受ける場合の計画法—, 日林誌, 46, (9), 311~316, (1964)
 - 16) 大河原昭二: 同上 (IV) —本計画法の適用例—, 日林誌, 47, (6), 225~230, (1965)
 - 17) 南方 康: 素材生産地域における適正林道密度ならびに限界林道密度について, 東大演報, 61, 1~36, (1965)
 - 18) MINAMIKATA, Y.: Studies on the Planning of the Forest Road Network. J. Jap. For. Soc., 49, (2), 53~65, (1967)
 - 19) KATO, S.: Studies on the Forest Road System —Preliminary report on the road density—. Bulletin of the Tokyo U. Forests, 63, 215~233, (1967)
 - 20) 青木信三: 高密度林道網計画と施行, 創文, 280 pp., (1970)
 - 21) 南方 康: 林内における基礎路網密度, 日林誌, 59, (8), 298~300, (1977)
 - 22) PETERS, P.A.: Spacing of Roads and Landings to Minimize Timber Harvest Cost. Forest Sci., 24, (2), 209~217, (1978)
 - 23) 南方 康・酒井秀夫・伊藤幸也: 複合的路網の整備目標, 東大演報, 74, 81~96, (1985)
 - 24) 林業土木コンサルタンツ: 合理的林道網計画, 林業土木コンサルタンツ, 96 pp., (1967)
 - 25) KANZAKI, K.: A Planning of the Forest Road Network by the Theory of Graphs. J. Jap. For. Soc., 48, (10), 365~371, (1966)
 - 26) CARSON, W.W. and D.P. DYKSTRA: Programs for Road Network Planning. USDA Forest Service General Technical Report PNW-67, 21 pp., (1978)
 - 27) 平賀昌彦: 電算手法による林道網計画法に関する研究 (I) —作業道の最適選点と密度決定の一方法—, 林試研報, 238, 1~30, (1971)
 - 28) 平賀昌彦: 同上 (II) —簡単な伐区形状パターンによる集材作業道網決定の一方法—, 林試研報, 245, 99~158, (1972)
 - 29) 小林洋司: 山岳林における林道網計画法に関する研究, 宇大学術報告特集, 38, 1~101, (1983)
 - 30) SEGBADEN, G.: Studies of Cross-Country Transport Distances and Road Net Extension. Stud. For. Suec. 18, 69 pp., (1964)
 - 31) 堀 高夫・北川勝弘・長谷川好正: 林内到達距離の分布に関する研究, 日林誌, 53, (11), 355~358, (1971)
 - 32) SAMSET, I.: The Forest Terrain in Norway. Report on forest operations research (Vollebakk, Norway), 8, 51~52, (1969)
 - 33) 井上源基: トラクタ集材路網パターンの事例分析, 93 回日林論 533~536, (1982)
 - 34) 林野庁: 大井・天竜地方ひのき林分収穫表調整説明書 (収穫表調整業務研究資料第 3 号), 45 pp., (1953)
 - 35) 林野庁: 木材市況月報, 407, 77 pp., (1984)
 - 36) 運輸省: 一般区域貨物自動車運送事業運賃料金, 建設物価, 659, 633~639, (1984)
 - 37) 坂口勝美・伊藤清三監修: 造林ハンドブック, 養賢堂, 935 pp., (1969)
 - 38) 林野庁監修: 林業技術ハンドブック, 全国林業改良普及協会, 1118 pp., (1979)
 - 39) 農林水産省統計情報部編集: 林家経済調査—育林費調査報告 (昭和 56 年度)—, 農林統計協会, 193 pp., (1983)

- 40) 林野弘済会：農村における雇用労働賃金，林業統計要覧，112 p.，(1985)
- 41) 北川勝弘・上飯坂実：林業における作業時間におよぼす林道網の効果，79回日林講，265～266，(1968)
- 42) 小林洋司・村山茂明・松尾 毅：林業用ハンギングモノレールによる間伐材搬出路の路線選定，93回日林論，549～551，(1982)
- 43) 後藤純一・緒方裕明：山岳林施業に対する数値地形図の応用（Ⅱ）—林道の概略設計と林内到達時間に基づく林道配置の評価—，高大演報，10，59～76，(1983)
- 44) 林業科学技術振興所：山地の歩行，北方系大型ササ資源の収集・搬送に関する事前評価（農林水産省大型別枠研究—バイオマス変換計画—昭和60年度委託事業報告書），126～134，(1983)
- 45) 林政総合調査研究所：林道の整備効果の評価に関する調査報告書，林政総合調査研究所，102 pp.，(1984)
- 46) 山下信雄：国有林における製品生産事業の盤台の改善のために（上）—製品生産事業の盤台の調査結果から—，スリーエムマガジン，267，2～7，(1983)
- 47) 山下信雄：国有林における製品生産事業の盤台の改善のために（下）—製品生産事業の盤台の調査結果から—，スリーエムマガジン，270，1～5，(1983)
- 48) 梅田三樹男・辻 隆道・井上公基編著：標準功程表と立木評価，日本林業調査会，140 pp.，(1982)
- 49) 木立清英：伐木集運材系の最適化システムの研究，昭和44年度長期委託研修報告書，35 pp.，(1969)
- 50) 辻井辰雄：架線集材における副作業，32回日林関東支論，155～156，(1980)
- 51) 田畑 実：秋田県において使用している伐出作業経費積算の手引(1)，機械化林業，269，40～46，(1976)
- 52) 田畑 実：秋田県において使用している伐出作業経費積算の手引(2)，機械化林業，271，6～17，(1976)
- 53) 田畑 実：秋田県において使用している伐出作業経費積算の手引(3)，機械化林業，272，6～22，(1976)
- 54) 伐出の功程等に関する国有林の資料
- 55) 蜂屋欣二他著：間伐の仕方・出し方，全国林業改良普及協会，220 pp.，(1982)
- 56) 林野庁：間伐における伐出技術の体系化に関する研究，昭和54年度林業試験研究報告書，159～271，(1981)
- 57) 林野庁長官通達：立木販売予定価格評定公式の改訂について（34林野業第5328号），国有林野関係通達集（経営編）昭和60年版，林野弘済会，966～969，(1985)
- 58) 林野庁長官通達：素材生産を請負で行う場合の事務取扱について（52林野業第28号），国有林野関係通達集（経営編）昭和60年版，林野弘済会，1123～1133，(1985)
- 59) 森 好弘：素材生産請負契約の実務，日本林業調査会，239 pp.，(1977)
- 60) 三品忠男・有馬孝昌：伐木・運材の経営と技術，地球出版，215 pp.，(1966)
- 61) 奈良県林業指導所：伐出作業の手引，175 pp.，(1974)
- 62) 酒井秀夫・上飯坂実：架線集材作業と林道との関係，日林誌，63，(11)，400～404，(1981)
- 63) 奥田吉春・豊川勝生・辻井辰雄・井上源基：地域性を考慮した集材方法の最適化，昭和58年度研究業務報告要旨集，林業試験場機械化部，80～84，(1984)
- 64) 林野庁長官通達：造林請負事業予定価格算定要領の制定について（51林野業第62号），国有林野関係通達集（経営編）昭和53年版，林野弘済会，536～541 (1978)
- 65) 石山 進：森林施業，特に除間伐の計画的効率的な実施に資するための路網配置のありかたについて，昭和56年度林野庁長期委託研修報告書(1)，80 pp.，(1982)
- 66) 林野弘済会：林道事業（民有林業編），日本林業年鑑1984，林野弘済会，105～111，(1984)
- 67) 林野弘済会：林道事業（国有林業編），日本林業年鑑1984，林野弘済会，184～187，(1984)

- 68) 寺本 隆：林道設計上の問題点，13 回治山林道研論集，249～251，(1977)
- 69) 河合克彦：メッシュ法による林道計画，13 回林道研論集，15～20，(1979)
- 70) 石川博一：林道開設単価の分析，林道，140，3～10，(1983)
- 71) 杉原彦一・岩川 治：陸上路線の迂回率について，日林誌，42，(7)，269～275，(1960)
- 72) 藤原 登：林道周辺の地形の平均傾斜と林道路線の迂回率について，日林北海道支講，17，138～141，(1968)
- 73) 中央林業相談所編：日本林業の現状 1 資源，地球出版，280 pp.，(1964)
- 74) 森岡 昇：架線集材の集材区域と作業能率に関する研究，名大演報，5，1～87，(1970)
- 75) 日本林道協会：林道規程—解説とその運用—，日本林道協会，232 pp.，(1983)
- 76) 山下徳夫編著：減価償却資産の耐用年数表，税務研究会出版局，182 pp.，(1984)
- 77) 番場嘉一郎編集代表：会計学大辞典，中央経済社，1369 pp.，(1979)
- 78) 林野庁長官通達：国有林野事業特別会計経理規程の制定について（44 林野経第 727 号），国有林野関係通達集（経理編）昭和 60 年版，林野弘済会，14～52，(1985)
- 79) 日本林業協会編集：林業金融，林業ハンドブック，日本林業協会，92～107，(1984)
- 80) 林野庁長官通達：国有林野における新たな森林施業について（47 林野計第 432 号），国有林野関係通達集（経営編）昭和 60 年版，林野弘済会，66～74，(1985)
- 81) 日本林業協会編集：保安林の種類別面積，林業ハンドブック，日本林業協会，12 p.，(1984)
- 82) 林野庁監修：林家の保有山林面積，林業統計要覧，林野弘済会，102 p.，(1984)
- 83) 加藤誠平：林業用索道設計法，金原出版，223 pp.，(1959)
- 84) 上飯坂実・渋谷欣治・南方 康・佐々木功・岩川 治・堀 高夫・村山茂明共著：林業土木学，朝倉，251 pp.，(1974)
- 85) 丸山正和監修，堀 高夫・村山茂明共著：架空索の理論とその応用，地球社，194 pp.，(1974)
- 86) 林野庁監修：集材機作業基準・集材機作業要領解説，林業機械化協会，236 pp.，(1983)
- 87) 上飯坂実抄訳（ADAMOVICH, L.）林道網計画の手法，森林利用研究会資料 No. 88，11 pp.，(1976)
- 88) 大川畑修・南方 康・上飯坂実：集材架線の最適架設位置に関する研究，東大演報，67，135～157，(1975)

Studies on the Planning of Forest Roads for Cable Logging

Osamu OHKAWABATA⁽¹⁾

Summary

1. Forest roads which are essential to forest management are insufficient in the greater part of Japanese forests. Therefore, forest roads are continually being constructed. However, a rational forest road planning system has not been completely developed. The objective of this study is to develop a planning method of forest roads for collecting logs efficiently for the cable logging system.

2. The method of planning a forest road system used in this paper was explained. Then the results of previous studies used in this study were shown regarding the distribution function of the terrain distance in the forest and the road factor (a factor due to the difference between practical and ideal road network).

A planning method was developed under the following condition ; the roads are located as uniformly as possible, and a certain intended percentage of the area (usually the greater part of the area) could be involved within a certain distance from roads. Here, the distance was denoted as "the standard location distance" and the percentage "the standard percentage". The distance, the percentage and the road density were generically denoted "the three main factors in the road planning".

3. Cost functions of forest work were set up such as for final cutting, thinning, regeneration, tending and administration. These functions are essential for determining the optimum forest road density and the standard location distance.

In this study, three formulas regarding the rational forest road density based on economics were derived as follows. The first formula can minimize the sum of the final cutting cost and the road construction cost. The second formula can minimize the sum of working costs in a cycle (final cutting cost, thinning cost, and so on), the road construction cost and road maintenance cost in a cycle. The third formula can give the maximum profit to the forest manager forever. In the last formula, the road construction cost is overlooked assuming that the forest road network is already completed.

4. First of all, the relationships between the three main factors were numerically investigated. Next, some method to determine the standard location distance were presented. Then a discussion on the standard percentage and minimum road density was carried out. Finally, some notes to be taken into account in the planning of forest roads were presented and an example of road location applied to the topographic map was shown.

Following are factors which affect the standard location distance.

① The optimum cutting unit length. This is the length of the cutting unit that can minimize the final cutting cost per unit volume.

② The optimum working unit length. This is the length of the working unit that can

Received March 5, 1987

(1) Forest Mechanization Division

minimize the sum of all working costs, road maintenance costs and the cost of losing forest land by constructing the roads.

③ The regulated cutting unit length. In some places, the cutting areas are regulated by regulations or working conditions (for example, the cutting area regulation in protected forests). The length is the expected length of such a regulated cutting area.

④ The length of the maximum effective span. It may be safely said that a practical maximum length in the cable logging skyline exists (in this paper, 1000 m was employed). The length is the effective maximum length of the span of skyline and it is also the maximum yarding distance of direct yarding from the stump to the nearest road.

⑤ The length of the optimum effective span. An optimum span of skyline that will minimize the quantity of wire rope per unit area exists. The span can be determined using computer calculations.

The multi-skyline cable logging system (the long distance yarding system which uses a couple of skylines and where the logs are transferred on to them to be collected on the road) is not efficient forest work. Therefore, from the factors concerning the standard location distance, the length of the maximum effective span is a very important factor because it has great influence on the working cost. By determining the length of the maximum effective span and the standard percentage, the road density which makes a certain percentage of the forest land within the range of the single-skyline cable yarding can be calculated. The road density determined here was denoted "the minimum forest road density".

The value of the sum of working costs, forest road construction cost and road maintenance cost changes little when the forest road density is near the optimum road density. Therefore, the calculated results of the three optimum road density should be considered as only a criterion in the planning of a road system. Similarly, the standard location distance does not significantly affect the working cost.

It is natural that there should be a slight difference between the planned value of the forest road density and the measured one after the practical location on a map, because the values of road factor and winding factor are only expected one singly for each site. Therefore, it should be noted that the calculated value is only a criterion and is variable according to the condition of each area.

A computer program was developed which can judge the possibility of direct cable logging from the individual stump to the road using a digital map and other necessary factors. By using a computer many calculated results concerning the road location could be obtained quickly, such as the average terrain distance, the distribution of the distance from the individual stump to the nearest road and the possibility of direct yarding to the road. The computerized procedure developed here can be put to practical use in the planning of forest roads for cable logging.