

山岳林における林道路線評価と林道規格に関する研究(第1報)

— 林道路線評価パラメータの特性 —

澤口勇雄⁽¹⁾

SAWAGUCHI, Isao

Studies on Forest-Road Evaluation and Forest-Road Standards in Mountain Forests (I)

— Characteristics of Parameters for Forest-Road Evaluation —

要 旨：タワヤーダやフォワーダ等の新たな機械作業システムに対応した林道網を早急に構築することが焦眉の課題である。新たな情勢に即応した林道網を構築するに際しては、経済合理性を徹底させた理論に立脚した林道網計画法による必要があるので、本研究はその手法開発を最終目標に、林道網の実態分析と理論的考察を行った。高密度の林道網整備を効率的に推進するには、機能に応じた規格・構造で林道網形成を図る必要があり、このための林道規格の決定法を明らかにすることが重要になる。このため第1報では、林道規格の決定に関与する林道路線評価パラメータを中心に検討し、その特性を解明した。すなわち、林道機能を整理し林道網の分類法を提示し、林道網は林道と作業林道で形成されるとした。次に、林道における木材流量と林業的交通量を計測することで林道機能を数値化するとともに、林道延長と利用区域森林面積の關係に HACK の法則と類似の關係が成り立つこと等、林道における林業的交通需要の特性を解明した。林道規格決定のための生産費関数に必要な、林道開設費、林道用地費、運材費、人員輸送費、集材費、歩行費の各費用を取りまとめ、林道規格と各費用の關係特性を解明した。林道配置の評価に密接なかわりを持つ林道密度修正係数や林道線形と林道規格の關係を解析し、林道規格決定や適正林道密度算定のための生産費の推定精度を向上させた。

目 次

1 序 論	4
1.1 はじめに	4
1.2 林道網計画に関する既往の研究	4
1.3 本研究の範囲及び構成	6
1.4 用語の定義	6
2 林道機能と林道規格	7
2.1 概説	7
2.2 林道機能と林業用道路の区分	7
2.2.1 林道機能	7
2.2.2 林業用道路の区分と路網分類	9
2.3 林道網形成の現状と林道規格の決定法の実状	11
2.3.1 林道網形成の現状	11
2.3.2 林道規格の決定法の実状	12

3 林道の林業的交通需要の特性	14
3.1 概説	14
3.2 林道延長と利用区域森林面積の関係	14
3.2.1 林道における木材流の特性	15
(1) 資料及び方法	15
(2) 林道延長と利用区域森林面積の関係	15
(3) ベキ乗式の定数 k , n の特性	16
(4) ベキ乗式の指数の解析	18
(5) 利用区域森林の形状と林道の迂回	19
3.2.2 作業林道における木材流の特性	21
(1) 資料及び方法	21
(2) 作業林道延長と利用区域森林面積の関係	22
(3) ベキ乗式の定数等の林道との比較	22
3.2.3 利用区域森林と流域の比較	25
3.3 木材流量と林業的交通量の推定	26
3.3.1 HACK の法則の類似式の適用による木材流量の推定	26
3.3.2 林道網計画区域における木材流量と林業的交通量の推定	27
(1) 林道網計画の作成	28
(2) 木材流量の計測方法	31
(3) 開発森林面積と木材流量, 林業的交通量の推定	33
(4) 運材・人員輸送距離	36
4 林道路線評価パラメータの特性	37
4.1 概説	37
4.2 開設費と維持管理費	37
4.2.1 林道開設費の特性	38
(1) 資料及び方法	38
(2) 林道開設費に影響を与える因子	39
(3) 林道開設費の特性	40
4.2.2 作業林道開設費の特性	49
(1) 資料及び方法	49
(2) 作業林道開設費の特性	50
4.2.3 開設費関数と維持管理費関数の設定	56
(1) 開設費関数	56
(2) 維持管理費関数	57
4.3 潰れ地と用地費	58

4.3.1 林道用地の構成と用地幅の予測	58
(1) 林道用地の構成	58
(2) 林道用地幅の予測	60
4.3.2 作業林道用地の構成と用地幅の予測	63
4.3.3 用地費関数の設定	65
4.4 運材費，人員輸送費及び歩行費	65
4.4.1 機械経費と労務経費	65
(1) 機械経費	65
(2) 労務経費	70
4.4.2 運材費	71
(1) 運材変動費	71
(2) 運材固定費	72
4.4.3 人員輸送費	72
4.4.4 歩行費	73
4.5 集材システムと集材費	74
4.5.1 架線系集材システムの集材費関数の設定	75
(1) タワーヤード集材の集材費関数	75
(2) 集材機集材の集材費関数	76
(3) 架線系集材費関数に用いた数値	77
4.5.2 車両系集材システムの集材費関数の設定	78
(1) 車両系集材システムの集材費関数の設定	78
(2) 車両系集材費関数に用いた数値	79
4.5.3 最適集材システムの選択	80
4.6 その他の路線評価因子	82
4.6.1 林道密度と到達距離の関係	82
(1) 資料及び方法	83
(2) 林道密度修正係数	86
(3) 開発率及び林道密度と平均到達距離	92
4.6.2 林道規格と線形の関係	95
(1) 林道線形の評価	95
(2) 作業林道線形の評価	100
5 結 論	102
引用文献	104
Summary	108

1 序 論

1.1 はじめに

21世紀を目前に、我が国の森林・林業は、持続可能な林業経営の実現による、環境創造産業への脱皮に向けて、苦渋に満ちた未曾有の困難な状況にある。このような中であって、戦後、営々として整備を重ねた1000万haを超える人工林は成熟過程に入り、来世紀初頭には順次伐期を迎える。一方、地球環境問題の深刻化や、熱帯林問題が顕在化する中で、世界最大の木材輸入大国としての我が国の姿勢が問われ始めている。

森林・林業を取り巻く厳しい情勢の下で、世界に誇る人工林資源を経済財として生かしつつ、地球に優しい環境産業として林業を創造するためには、山村の維持発展を図り、林業を再構築する必要がある。このためには、多岐に及ぶ川上、川下に対する施策を講じなければならない。川上対策の主要な柱は、生産対策であるのはいうまでもない。

林道網は、林業の中心的な生産基盤なので、生産対策の要として位置付けられている。急峻複雑な山岳林地帯を背景に成立する我が国林業を、タワーヤードやプロセッサ等の新たな機械作業システムを導入し、高能率、安全で低コストの魅力ある産業として実現するには、高密度に整備された林道網が前提となる。

我が国の公道と林道を併せた道路密度は、目標とする林内道路密度18m/ha（林道密度12m/ha）に対し、平成3年度末現在12m/ha（このうち林道密度は4.7m/ha）に過ぎず、昭和62年に閣議決定された「森林資源に関する基本計画」の林道整備目標に対する達成状況は、4割を多少上回る水準にとどまっている（林道研究会、1993a）。最近、5年間（昭和62～平成3年度）の年平均の林道開設延長は、2664kmと停滞しており（林道研究会、1993a）、このペースで単純に推移すると、林道整備目標を達成するためには、今後、60年に及ぶ歳月が必要となる。「森林資源に関する基本計画」では、林道に加えて、基幹作業道を標準的な林業経営で、30m/ha程度を目安に整備するとしているが、基幹作業道の開設実績は、100km/yにも及ばない現状にある（林道研究会、1993a）。

現行の「森林資源に関する基本計画」は、濃密に整備された林道網を基盤とする、最新の機械作業システムに対応した計画でないで、今後、実際に必要な林道整備量は、現行の計画水準をかなり上回ると予測される。このような状況にあることから、路線の機能に応じた林道規格で、タワーヤードを始めとする、最新の機械作業システムに対応した林道網を早急に実現させることが、重要な林道政策課題になっている。

本研究は、以上のような森林・林道を取り巻く環境を背景に、経済合理性に基づいて、複数の林道規格の組み合わせによる林道網形成を図るための、林道規格の決定法の提示を最終目標に、林道網の実態分析と理論的な考察を行ったものである。

1.2 林道網計画に関する既往の研究

ここでは、本論文に関係が深い主要な研究を取り上げ、林道網計画における本論文の位置付けを行う。林道密度の研究は、MATTHEWS(1942)の集材費と林道開設費の合計を最小とする林道間隔を最適と

する理論に端を発し、KAMIZAKA (1963, 1966), KATO (1967) が我が国の急峻な山岳林での適用の精度を上げ、南方 (1965, 1967, 1968) が限界林道密度まで発展させた。大河原 (1964 a, 1964 b, 1964 c, 1965) は、総出材量の考えを導入して、トラック作業道密度をトラクタ集材距離との関連で論じ、実際の配置モデルを示した。南方 (1977) は、歩行費を林道密度理論式に加え、さらに、複合的路網を提唱し、林道密度研究に新たな方向を与えた (南方ら, 1985)。大川畑 (1988) は、架線集材に関し適正な費用関数の設定により、合理的林道密度の算定式を導いた。酒井秀夫 (1987), 酒井秀夫ら (1988) は、林道の輸送に着目し林道規格の階層化や循環路網について言及し、総合集材費と飽和路網密度を提起した。YAMADA (1989) は、通勤歩行経費から最適路網密度を考察した。

林道配置に関する研究は、PESTAL (1963) や HAFNER (1964) に代表される、いわゆる中欧方式と呼ばれる、最適な集材法に適する林道配置が適正林道密度であるとする考えから発達した。ここでは、集材距離が重要なことから、SEGEBADEN (1964), BACKMUND (1966), LÜNZMANN (1968), SAMSET (1969, 1975), FAO (1974), ABEGG (1978) らによって、林道密度から平均集材距離を推定するための修正係数が求められ、路線配置の良否が検討された。我が国では、堀ら (1971) によって到達距離分布関数が明らかにされたものの、MATTHEWS 方式による密度理論に関心が深かったこともあり、迂回率に対する関心が持たれた (藤原, 1968)。最近、路線配置への関心が高まるとともに、修正係数の測定値の報告が見られるようになり (神崎・三宅, 1990; 酒井徹朗, 1990; 小林・仁多見, 1991; 芝・LÖFFLER, 1992), 井上 (1989) は集材路の修正係数を理論的に考察した。我が国では、コンピュータを用いた路線配置の自動化に関する関心が深く、平賀 (1971, 1972), 酒井徹朗 (1982, 1983), 小林 (1983, 1984), 小林・仁多見 (1991) らによって行われ、小林は路線配置から路線選定に至る林道計画法を体系的に示した。芝・LÖFFLER (1992) は利用価値分析で路線配置の評価を行っている。

以上が、本研究周辺の林道密度や路線配置に関する主要な研究の流れである。異なる林道規格の組み合わせによる計画法に関しても、MATTHEWS (1942) によって研究の端緒が開かれ開設費、運材量、運材費などの関係から、損益分岐方式で改修位置が決定できることが示された。ADAMOVICH (1975) は、MATTHEWS と同様な立場に立って、規格の分岐点を求め、路網パターンを示した。南方ら (1985) は、林道密度が低い段階では高規格林道に対応する生産システム、密度が高くなると低規格林道を中心とする生産システムに移行するとして、複合路網密度の算定式を誘導し、小林・仁多見 (1991) はこの理論で実際の路線配置を行っている。この考えは、規格を規定するのは集材システムであるとする立場から、林道の輸送機能を評価せずに規格化したことが特徴といえる。酒井秀夫 (1987) は、林道の輸送機能に着目し、運材費を維持管理費に加算することで、運材量から林道規格化を可能とし、規格の異なる林道の配置を行った。この酒井の研究は、本論文の開発森林による林道規格の決定に関する論議に大きな示唆を与えた。その他には、小林 (1986) の格子点法を応用し施業機能による林道規格区分、井上のシミュレーションによる集材路の規格化 (1989), 市原の林道と集材路からなる複合路網の成立条件の考察 (1992) がみられる。これ以外の林道規格に関連する研究には、林道の幾何構造の評価に関連して、上飯坂ら (1968), 山本 (1977), 山崎 (1987) の研究がある。

1.3 本研究の範囲及び構成

本研究は、路線の機能に応じた林道規格で林道網整備を進めることが、重要かつ不可欠であるとの認識に立っている。林道網の役割は、林業だけでなく、特に、連絡型で規模の大きい路線の効用は、地域の交通環境の改善や産業開発などにも及んでいる。従って、林業的評価のみによる林道機能評価では、過小評価の危険性がある。しかしながら、本研究は、林業と林道網の関係を理論的に考察したので、一般交通を含む立場にはない。この意味では、本論文の最終目標とする林道網計画法は、厳密には林業範疇における林道網が論議の対象といえる。第2章以下の本論の構成は次の通りである。

第2章では、林道機能について整理し、林業用道路の区分を行った。また、林道網形成の現状と路線の林道規格の決定法を照会し、現状の問題点を指摘した。

第3章では、林道延長と利用区域森林面積の関係と、林道網計画区域での開発森林の解析から、木材流量と林業的交通量を推定して、林道の林業的交通需要を数量化した。

第4章では、林道路線評価を行う際に必要なパラメータである、開設費、維持管理費、用地費、運材費、人員輸送費、集材費、歩行費を検討し、費用関数を設定した。これ以外の路線評価因子では、林道密度と到達距離の関係や林道規格と林道線形のことを論議した。

最後に、第5章で本論文を要約、総括し結論とした。

1.4 用語の定義

山岳林には、林業の生産基盤としての役割の発揮を主目的とする林業用道路が網の目のように張り巡らされ、路網を形成している。路網を構成する道路には、多くの呼称が付与されている。林業用道路を全て含めて林道と称する場合もあるが、本論では、このうち長期的使用のトラック走行を前提とする道路を林道と呼称し、臨時的使用やトラクタやフォワードなどの走行を目的とする作業路と区分する。従って、路網は林道網と作業路網に大分類されるとし、林道網には作業路を含まない。林道は、林道規程に準拠して開設される林道1級、林道2級、林道3級と、それ以外の低規格構造の作業林道の4種類の林道規格からなる。なお、第3章と第4章の林道の実態解析では、便宜的に林道1～3級を林道、行政的に作業道などと呼称される、林道規程に準拠しない林業用道路を、作業林道と呼称して分析を行う場合がある。

利用区域森林は、当該林道によって林業経営を依存することになる区域であり、路線全体の対象森林として区域決定される(林道研究会, 1993c)。具体的な区域決定は、山間部は集水区域、平坦部は地形・地物で区画される。開発森林は、路線区間の上流域の森林と定義され、利用区域森林とは異なる。具体的な区域の決定は、利用区域森林の場合と同様に山間部は集水区域、平坦部は地形・地物で行われる。利用区域森林面積は、対象とする路線に対応し一定であるが、開発森林面積は路線区間に対応して変化する。突込型の路線では、起点の開発森林面積と利用区域森林面積は一致する。連絡型の林道では、起点と終点の開発森林面積の合計と利用区域森林面積が一致する。

林道規格を決定するための生産費関数は、林道網を利用する木材が負担する林道費と、運材や人員輸送による林業的交通量から算定される輸送費を路線全体、あるいは路線区間で評価することで導いた。従って、生産費関数には林道を利用する木材の量の多寡が決定的に重要になる。林道での木材の流れは、

対象の森林面積に応じて、終点から起点に向けて増加し、あたかも河川の水流に擬することができる。このため、本論では林道上での木材の流れを木材流とし、その量的呼称に木材流量を用いた。木材流や木材流量を用いることで、運材や運材量では表現できない、林道での木材の流れの特徴を端的に表現できる。

2 林道機能と林道規格

2.1 概説

山岳林の路網は、多様な道路によって形成されている。本章では、林道機能を整理して林業用道路の区分を行うとともに、林道網形成の現状と路線の林道規格決定の実状を明らかにすることを目的とした。

2.2 では、林道機能について述べ、定性的根拠による林業用道路の区分法を提示した。林業用道路は耐用期間、設計車両、公道網との整合性を区分の根拠に用いて林道、作業林道、作業道、基幹作業路、作業路に小区分した。この道路区分を基に、本論では路網をトラック交通を前提にする林道と作業林道による林道網と、トラクタやフォワーダの利用を主体にする作業道、基幹作業路、作業路による作業路網に大分類した。

2.3 では、林道網形成の現状を統計資料から分析し、現段階での林道網の整備水準を述べた。民有林林道事業における路線の林道規格の決定法の実状を紹介し、林道網計画の研究分野では、特に、林道路線の評価による合理的な林道規格の決定方法に関する研究が望まれていることを指摘した。

2.2 林道機能と林業用道路の区分

2.2.1 林道機能

山岳林では、主として林業の生産基盤としての役割を期待されて林道、作業道などと呼称される林業用道路の整備が進められ、路網を形成している。林道網はこの路網の中心である。林道網を形成する林道機能については多数の報告があるが(水利科学研究所編, 1964; 上飯坂, 1975; 上飯坂・小林ら, 1988; 上飯坂編, 1990)、本論文は、路線評価によって林道規格を決定し、合理的な林道網計画を作成することを最終目標にしているので、最初に、林道機能に定性的な検討を加え、林業用道路を区分する。

林道機能は、Table 1に整理したように、林業の生産基盤としての林業的機能と、公道に準じた一般交

Table 1. 林道機能の分類
Classifications of forest-road function

大分類 Classifications of functions	小分類 Functions	内 容 Explanations
林業的機能 Forestry	施業機能 Management	森林施業の適正化, 多様化 Diversity of silviculture
		森林作業の機械化, 能率化, 安全化, 軽労働化 Mechanization of forest operation
	輸送機能 Transportation	林産物, 機材, 人員の搬送の合理化, 能率化 Efficient transportation for forest products, machinery, materials and workers
公道的機能 Public	到達機能 Accessibility	森林への接近性, 到達性の改善 Improvement of accessibility to forests
		一般公道の利用 Public utilization

通利用を目的とする公道的機能に大分類できる（上飯坂・小林ら，1988）。

林業的機能は，さらに輸送機能，施業機能及び到達機能に小分類できる。輸送機能は森林と市場や集落等を結び，林産物や人員等を輸送する機能である。施業機能は伐採，育林等の森林施業を効率的に実行するための機能で，林業経営や森林作業の能率の向上に重要な役割を果たす。広大な森林空間を生産対象にする林業にとって，空間の克服が宿命の課題であるが，道路という線を効果的に活用することで，森林空間を距離的・時間的に縮小させ，林道自体が直接生産の場にもなる。施業機能を有していることが，林道を公道から特色付ける。ここでは到達機能は狭義に解釈して，公道から森林を結ぶ機能と捉えたが，この意味では，我が国の到達林道の整備はほぼ完了したと考えられる。個々の路線での林道機能の発現は，路線位置によって異なり，相対的關係すなわち二重の性格を持つ場合が多い（水利科学研究所編，1964；上飯坂，1975）。

Fig. 1は，林業用道路の対象となる森林面積の規模，延長と道路に期待される交通特性の関係を交通量，交通速度，交通手段によって示し，この特性から林業的機能，道路構造，道路区分を作業路を含めて整理したものである。林業用道路の区分は次項で説明する。

狭い森林面積を対象とする施業機能が高い道路は，交通量は少なく，延長も短いことから要求される交通速度も遅くてよいので，低規格の道路構造で差し支えない。このグループの最末端の路網は，トラクタやフォワーダ等のトラック以外の車両を交通手段として，ある程度長期的に使用される基幹作業路，

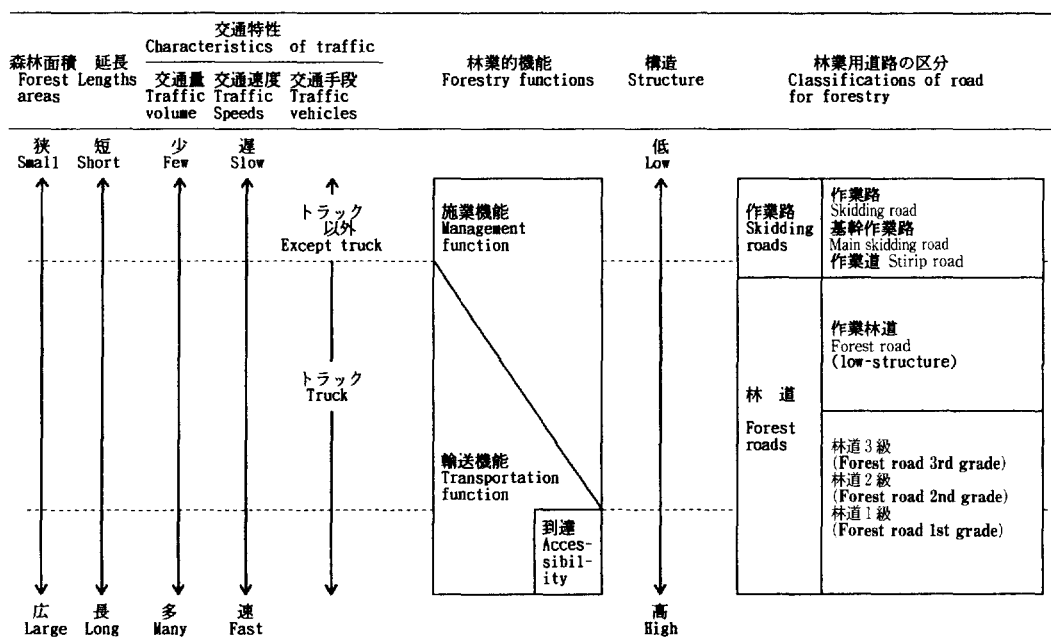


Fig. 1 林道の交通特性と林業用道路の区分
Characteristics of traffic of forest roads and classifications of road for forestry

臨時的な作業路とトラックの走行が可能であるが、集材のための取り付け道等のように、臨時的に作設される作業道で形成される。

対象とする森林面積が次第に広くなると、交通量が増大して路線延長も長くなるので、交通速度の速い大型車両の走行が要求され、輸送機能の高い高規格の道路が必要になる。作業路網から施業機能と輸送機能の二重の性格を有する林道網に移行する。本論では、林道網を形成する林道として作業林道、林道3級、林道2級、林道1級の4規格を想定しており、この順で高規格化する。林道規格に対応する対象森林の規模は、路線配置の状態などで異なるが、この問題は第2報の主要な論点になる。

2.2.2 林業用道路の区分と路網分類

山岳林では、国道等いわゆる公道から林道、作業道に至るまで、多種多様な道路で路網が形成されている。公道は、機能面から輸送機能と到達機能を発揮しているとみられるが、各種法令等の制約や交通量等の利用実態等から考えて、施業機能の発揮が期待できない路線も多い。このため、林業経営と密着する路網を考える場合、施業機能を発揮できない公道の扱いは重要な問題になるが、本論ではそのことを指摘するに止める（森林利用研究会，1982）。

林道と作業道の関係は、理論、実態、行政の扱いが交錯する中で、各人のイメージを基に論ぜられることが多い。そこで認識の統一を図るために、林業用道路を整理した（Fig. 2, Fig. 3）。

Fig. 2は、行政で用いられている林業用道路の一般的区分である（森林計画研究会編，1987）。多少説明を加えると、林道と作業道に大別し、さらに作業道を使用期間の違いから基幹作業道と作業道に細分している。構造の面では、林道は林道規程に基づき、一般車両の通行可能なものとし、基幹作業道は、長期間の継続使用に耐える簡易な構造物を有し、林内作業車が通行可能としている。作業道の構造は、原則として切り取りのみで構造物を有しない、林内作業車が通行可能なものとしている。

以上の行政の区分に対し、本論では、定性的な根拠を用いて、林業用道路の区分法を提示する（Fig. 3）。本論と行政上の区分は概括的にはほぼ似ているが、本法では、設計（利用）車両にトラックを用い、トラックの走行が可能か否かを重視した区分を行うとともに、道路に名称を与えるに際しても、トラックの走行が可能なものには「道」を、それ以外は「路」を付し整理した（酒井秀夫，1987）。この結果、行政の区分では明確に位置付けられなかった、作業林道の範疇の道路が位置付けられた。以下、本論の区分法を説明する。

林業用道路の区分を行うために、道路の特性、性格を端的に表す耐用（使用）期間、設計（利用）車両及び公道網との整合性の3因子を根拠基準に用いた。耐用期間は、一度限りの短期的・臨時的な使用

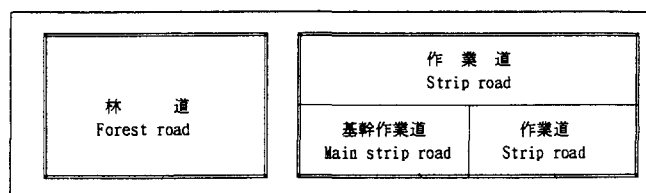


Fig. 2 行政的林業用道路の区分
Classifications of roads for forestry by Forest Agency

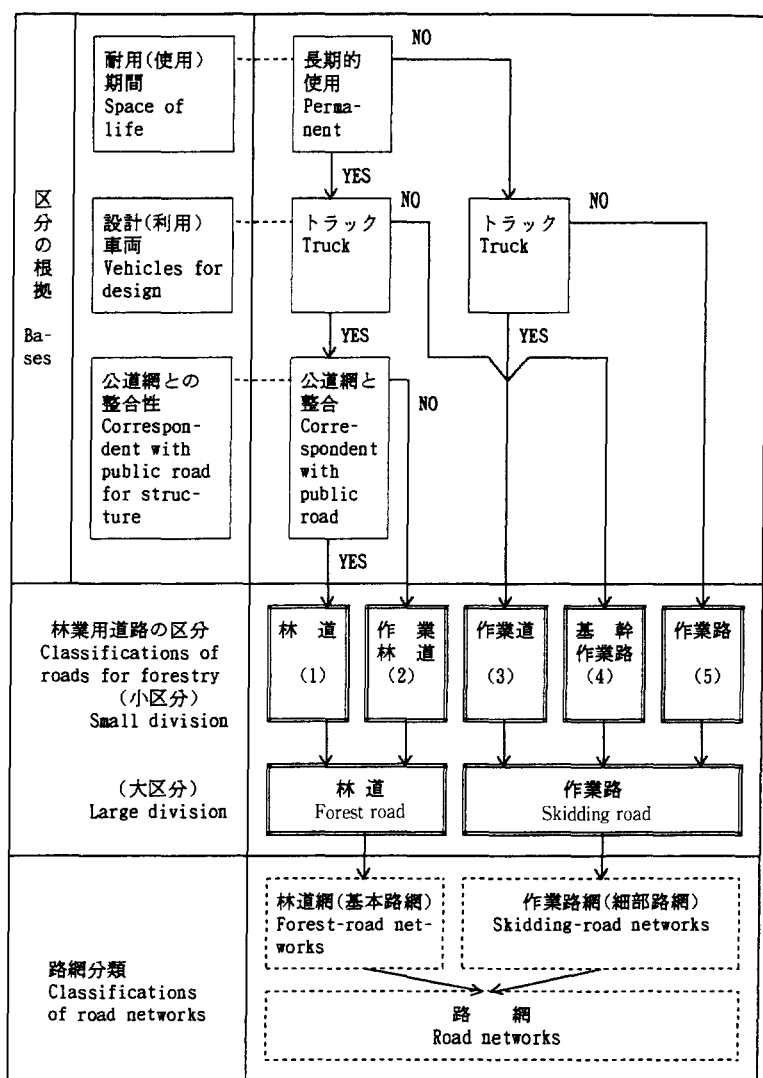


Fig. 3 定性的方法による林業用道路の区分と路網分類
Classifications of road networks by qualitative method

Notes: (1), Forest road (regular); (2), Forest road (low-structure);
(3), Strip road for truck; (4), Main skidding road for tractor or forwarder;
(5), Skidding road for tractor or forwarder.

か、ある程度長期的使用を前提にするかである。耐用期間の差は、道路の構造、維持管理、林業経営での種々の経理上の扱いに違いを生む。設計車両は、設計機種を小型自動車(2tトラック)以上とするか、それ以外を対象にするかである。設計車両を根拠に用いるのは、トラック通行が可能か否かで林業経営全般、とりわけ伐出法等の森林作業に質的な相違をもたらし、適正林道密度と適正作業路密度の算定法も異なることによる。公道網との整合性は、一般交通に配慮した規格、構造の道路、即ち「林道規程」に基づくか否かである(日本道路協会, 1983; 林道研究会, 1993 b)。林業の活性化には、地域振興が不

可欠であり、社会資本としての公道の整備が必ずしも十分とはいえない山岳林地域では、地域住民の生活環境の改善や、地域産業の振興にも考慮する道路も必要である。この道路は、林業経営のみに寄与する道路とはおのずと違った規格、構造が要求される。

以上のように考えると、林業用道路は林道と作業路に大区分され、前者は林道、作業林道、後者は作業道、基幹作業路、作業路に小区分できる。これを路網分類で言い換えると林道網（基本路網）と作業路網（細部路網）に大分類される。林道網は、一般交通にも配慮する林道と、林業経営に密着して整備される作業林道から成り立つ。林道と作業林道の間には機能的に大差はなく、前者は後者に比べて相対的に、迅速性、快適性、安全性に富む道路と位置付けられる。林道規格の観点からは、林道規程の林道1級、林道2級、林道3級及び作業林道の4規格で形成される。路網は到達林道、施業林道、作業道に発達して形成されるという考え方と比較すると（南方，1965；林業土木コンサルタンツ，1967；上飯坂，1975），本論で論議の対象とする林道網は、ほぼ施業林道網に対応すると考えてよい。

林業経営全般にわたり多様な役割を担う林道網に対し、森林作業に密着し、伐出等の特定部門の作業能率の飛躍的な向上、作業仕組みの抜本的改善などを目的に、林道網を補完して林業経営の合理化を担うのが作業路網である。作業路網は、臨時的なトラック道である作業道及びトラクタ、フォワーダ等の自走車両の通行を対象とし、長期的使用を前提とする基幹作業路、臨時的に設けられる作業路に区別される。トラクタ集材で、集材路が用いられるが、基幹作業路と作業路を合わせたものと考えてよい。本論は、林道網を主要な論議の対象とするので、作業路網に関しては多くを論じない。

2.3 林道網形成の現状と林道規格の決定法の実状

2.3.1 林道網形成の現状

山岳林には、林道といわゆる作業道以外にも多くの公道があり、これを無視して路網を論じるのは現実的ではない。機能的には、既述のように公道は到達機能、林道は輸送機能と施業機能、作業道は施業機能の発揮を期待されている。路網を構成する道路の規格、構造は、Fig.1で整理したように、概念的には公道、林道、作業道と末端になるにつれて、交通量は減少し、要求される交通速度も低下することから、低規格、構造で廉価に作設できると考えてよい。

Table 2は、民有林の路網の整備状況を全国レベルで概観したものである。これによると、平成3年度末現在の民有林林道（自動車道）の総延長は76 000 km近くに及び、林道密度は4.4 m/haである。林内公道は9.6 m/haとされるので、林内道路密度は14.0 m/haになる。この他に行政上の定義での作業道が3.1 m/haあり、さらに軽車道の0.3 m/haを加えると、合計17.4 m/haになるので、マクロ的には充実した路網が形成されたとみることでもできる（林道研究会，1993 a）。

しかしながら、路網の核は、施業機能と輸送機能を兼ね備えた林道網であると考え、林道の4.4 m/haに作業道3.1 m/haの一部（ α m/ha）を加えた、 $(4.4 + \alpha)$ m/haが整備水準になる。既述のように、公道は施業機能に関して問題があり、公道の取扱い如何によっては、林道計画延長に大きな誤差を生じることから、このことに関して真剣な検討が必要である。

林道規格別には、林道2級が大半を占め71%に達している（Table 2）。林道1級は9%、林道3級は20%である。昭和55年度末には林道1級が7%、2級72%、3級21%だったので、この十数年間に若干

Table 2. 路網の整備状況
Road networks situation

区 分 Classifications	林 道 Forest roads		林道+公道 Forest roads + Public road		林道+公道+作業道 Forest roads + Public road + Strip road	
	林道延長 Lengths (km)	林道密度 Densities (m/ha)	路網延長 Lengths (km)	路網密度 Densities (m/ha)	路網延長 Lengths (km)	路網密度 Densities (m/ha)
林 道 Forest roads						
1 級 1 st glade	6 762	0.4	6 762	0.4	6 762	0.4
2 級 2 nd glade	54 066	3.1	54 066	3.1	54 066	3.1
3 級 3 rd glade	15 050	0.9	15 050	0.9	15 050	0.9
公 道 Public road			167 573	9.6	167 573	9.6
林道軽車道 Forest road for small-sized vehicle					5 366	0.3
作業道 Strip road					53 132	3.1
合 計 Totals	75 878	4.4	243 451	14.0	301 949	17.4

注) 平成3年度末現在の民有林の現況である(林道研究会, 1993a)。

Note: The figures of this table show in private forest in 1991 and quoted from the literature cited (F. R. R. S., 1993a)

ながら林道1級が伸び、林道3級は停滞傾向にある。これは、林道の公道的機能に対する要請の高まりに対応して、ネットワーク化を図るなど、輸送機能の強化を進めた結果、林道1級が増加したのに対し、林道3級は機能と開設費のアンバランスから敬遠され、作業道へ代替化が進んだと考えられる。作業林道に該当する道路は、統計的な資料が見当たらず不明である。

旧来、臨時的な仮設工作物として位置付けられた作業道は、すでに、林道(1級~3級)延長の7割に及ぶ量がストックされている。ここの作業道は、行政上の定義なので、本論の作業林道、作業道、基幹作業路、作業路の4区分を併せた概念であるが、最近5年間(昭和62~平成3年度)の作業道の開設延長は17 955 kmで、現況延長は43 634 kmから53 132 kmに9 498 km増加したとされるので(林道研究会, 1993 a)、開設した作業道の半分位の延長がストックして、ある程度長期的に使用されてると推定される。

2.3.2 林道規格の決定法の実状

路線の林道機能に応じた規格、構造で林道網整備を進めるために、現在、行政では次の仕組みで実行している。林道網の概念や林道の規格、構造は林道規程で定めている。林道網の概念は、林道規程の第3条で「幹線」、「支線」、「分線」に区分して、

①「幹線」とは、森林の管理経営からみて利用区域の根幹となる路線をいう。

②「支線」とは、幹線から分かれる路線をいい、「分線」とは、支線から分かれる路線をいう。

と定義し、さらに、第4条で具体的に林道の種類を自動車道と軽車道の2種類とし自動車道を、

①自動車道1級、国道、都道府県道と連絡する幹線

②自動車道2級、自動車道1級及び3級以外のもの

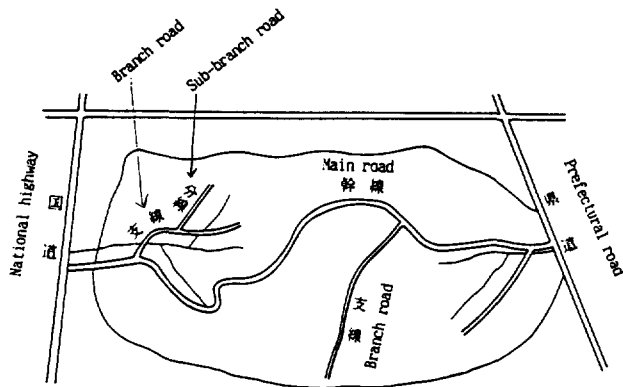


Fig. 4 林道規格の林道網の概念図
(林道研究会, 1993 b)
Concept of forest-road networks by Forest
Road Regulations (F.R.R.S., 1993b)

③自動車道3級, 小利用区域にかかる支線及び分線

の3種類に区分して林道の規格, 構造と機能をリンク付けしている。(本論では, 自動車道1級を林道1級と呼称している。)

Fig. 4に林道規格の解説書で示されている, 幹線, 支線, 分線の概念図を示す(林道研究会, 1993 b)。

林道規格には, 林道規格の路線への割り付けに関して, 前記以外の記述はなく, 解説書で「林道における自動車道の区分の決定にあたって

も, 基本的には, 自動車の種類と交通量によるべきであろうが, 林道の交通量を予測することは極めて困難であることから, 交通量に代替して, 交通量の多い国道, 都道府県道等との連絡の有無, 森林レクリエーション等利用の状況及び利用区域の広狭の状態により, 林道を1級, 2級, 3級の三つに区分することとしている。」と述べるにとどまり, 具体的な林道規格の配置基準などは示されていない(林道研究会, 1993 b)。

林道計画の分野では, 全国森林計画に林道規模別の計画延長が定められている。この計画では, おおむね1000 ha以上の広域の利用区域面積を対象とする「基幹林道」と「その他の林道」に区分し, 計画期間における開設延長が計画されている。全国森林計画の林道区分と林道規格の関係は定かではないが, 対象となる利用区域森林面積の規模からみて, 基幹林道は林道1級, その他の林道は林道2級及び3級と考えるのが筋であろう。現行の全国森林計画(平成3年閣議決定)では基幹林道32%, その他の林道68%をそれぞれの開設計画延長としている。前計画では基幹林道17%, その他の林道83%だったことからすると, 基幹林道の比率が一挙に倍増した(林道研究会, 1993 a)。林道網のネットワーク化に対する要請などに対応したと推察されるが, 比率決定の理論的根拠は明らかではない。

個別路線の林道規格は, 補助事業では, 補助要領等で定められた方針に基づいて, 路線ごとに審査決定される。民有林林道の開設量の大半を占める国庫補助の公共林道の採択基準では, 広域基幹林道は起終点を国県道に連絡する骨格林道で, 利用区域森林面積が1000 ha以上, 普通林道は50 ha以上の路線とされ, 例外的にそれ以下での採択を認めている(林道研究会, 1993 c)。利用区域森林面積は, 補助林道の重要な採択基準であるが, 基準は単に歴史的経緯を踏襲したに過ぎず, 今日, 経済合理性を有するか否かについては不明である。補助林道の種類と林道規格の関係は, 公共林道474路線を分析したTable 3から明らかなように, 広域基幹林道は林道1級, 普通林道は林道2級, 間伐林道は林道3級にほぼ対応しているようであるが, 一概にはいえない。補助事業の林道の種類と林道規格を合理的に関係付ける方法は見当たらない。

作業道は、林道とは異なり、マスタープランに基づいた体系的な整備は行われていない。従って、作業道の規格、構造はそれぞれの補助事業で、設計上の最低限の事項を定めるに過ぎず、目標とする計画量などは全くないのが実情である。

以上のことから明らかなように、林道網は、路線に求められる機能に応じた林道規格で形成されるべきであるにもかかわらず、林道規格を巡

る研究面の遅れもあって、林道規程、長期路線計画、個別路線計画の相互間の整合性が十分ではなく、合理的な林道整備方式になっていないのが実情といえる。従って、林道網計画に関する研究分野では、特に、林道路線の評価による合理的な林道規格の決定法に関する研究が望まれている。

3 林道の林業的交通需要の特性

3.1 概説

林道の交通需要に関しては報告例があり（山本，1977；澤口，1980），交通量に影響を及ぼす因子は、沿線の人家戸数が最も深いとされ、次いで利用区域森林面積があげられた（澤口，1980）。従って、林道の利用を林業的範囲に限定して、林業的交通需要を推定する場合、路線が対象とする森林の規模に応じると考えるのは、経験的常識だけではなく、調査例からも問題ない。本章では、木材の林道上の流れである木材流量と、木材搬出のための運材車両や人員輸送車両で発生する林業的交通量を計測して、林道の林業的交通需要の特性を明らかにすることを目的とする。ここでは、利用区域森林に対応する方法と開発森林による方法の2通りの方法が試みられる。各節の概略は以下のとおりである。

3.2 では、林道延長と利用区域森林面積の関係を解析することによって、我が国における木材流の特性の解明を試みた。この結果、「HACKの法則」と類似の関係式が成り立つことが解明され、互いに換算できる林道延長と利用区域森林面積の関係から、利用区域森林の規模に応じた、林道における木材流量の計測を可能にした。

3.3 では、林道網計画区域を対象に開発森林を用いて、路線区間の木材流量と林業的交通量を推定した。ここでは、格子点法を応用して分析が進められ、林道整備の奥地化と開発森林面積の関係や林道密度と輸送距離の関係などが説明される。

3.2 林道延長と利用区域森林面積の関係

林道の利用区域森林は、第1章の用語の定義でも述べたように、当該林道によって林業経営を依存することとなる地域とされ、その決定は原則として山間部は集水区域、平坦部は地形・地物によって区画された地域である。この利用区域森林は林道の採択基準、受益者負担の決定等に用いられる林道行政上

Table 3. 林道規格と公共林道の種類の関係
Relationships between forest-road standards and kinds of subsidized forest roads

林道規格 Forest-road standards	広域基幹林道 Forest roads -wide area- (above 1 000ha)	普通林道 Forest roads -common area- (50-1 000ha)	間伐林道 Forest roads -thinning- (above 30ha)	合計 Totals
林道1級 1st grade	109	18	0	127
林道2級 2nd grade	46	167	7	220
林道3級 3rd grade	0	61	66	127
合 計 Totals	155	246	73	474

の重要概念であり、路線の対象森林である。本節では、我が国の林道網の木材流の特性の解明を、実際に作設されている路線の利用区域森林面積と林道延長の関係を中心に解析することから試みた。本節では、林道と作業林道は、開設の考え方が全く別体系で実施されていることや、作業林道の実態に関する調査研究は少ないことから（岩川・柘植, 1986；岩川, 1993；酒井徹朗・佐々木, 1986）、それぞれ区分して分析した。従って、本節では、以下、林道1級～3級を林道、それ以外を作業林道と呼称している。

3.2.1 林道における木材流の特性

(1) 資料及び方法

資料は、全国の都道府県に依頼して得た、路線計画実態調書（国庫補助事業の調書）及び林道計画路線の位置、利用区域森林等を図示している付属の地形図（1/50 000）である。調査路線は、林道1級～3級ごとに、5路線程度の選定を都道府県に依頼して得た、436路線である。林道延長、利用区域森林面積は路線計画実態調書の数値を用い、林道直線距離、利用区域森林周長は付属の地形図を計測した。利用区域森林周長の計測は、デジタルプランメータによった。利用区域森林面積は、利用区域を決定したのち農地等の森林以外の地目面積を減じ得られるものである。利用区域森林は、必ずしもすべて集水区域のみによって決定されるものではないので、このような利用区域の決定法の違いが利用区域森林の形状等に及ぼす影響を明らかにするため、利用区域森林を図示した地形図から、明確に稜線等の集水区域で区画される周長を読み取り、全周長に対するその割合から、次のように利用区域の決定法を区分した。1はその割合が75%以上、2は50～75%、3は25～50%、4は25%未満である。

利用区域森林の決定は、定性的な定義を基に、熟練の技術者が行うものなので、恣意的な面があることを否定できないが、本研究では、多くの資料を用いることで、その難点を解消した。

(2) 林道延長と利用区域森林面積の関係

河川における主流長と流域面積の関係は、HACKによって経験的に見出しされ「HACKの法則」として知られ、(1)式のべき乗式で示されている（HACK, 1957；GRAY, 1961；樫根, 1973；高山, 1974）。このHACKの法則は、HORTONの水流長の法則と流域面積の法則から、理論的に導かれることも明らかにされている（HORTON, 1945；樫根, 1972）。

$$L = kA^n \quad (1)$$

ただし、 L ：主流長、 A ：流域面積、 k , n ：定数

利用区域森林は、その定義からも明らかなように集水区域とのかかわりが深く、林道は沢沿に開設されることも多いことから、主流長を林道延長(L)に、流域面積を利用区域森林面積(A)に置換すると、林道延長と利用区域森林面積の間にもHACKの法則と類似の関係が成り立つものと推測される。そこで調査436路線について、縦軸に林道延長(m)、横軸に利用区域森林面積(ha)を取り、両対数グラフ上にプロットした(Fig. 5)。この結果、両者には直線関係が認められた。最小二乗法によって回帰させた結果、(2)式が得られ、相関係数(r)は0.94と高い値を示した。

$$L = 115.35 A^{0.677} \quad (r = 0.94^{**}) \quad (2)$$

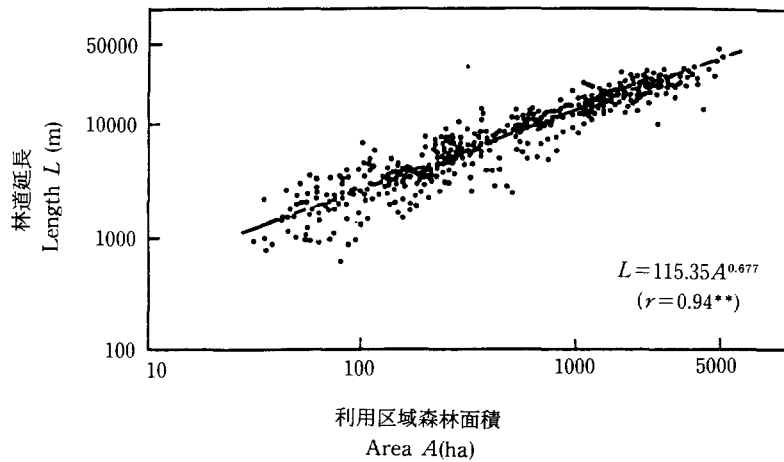


Fig. 5 林道延長と利用区域森林面積の関係
Relationships between forest road (regular) lengths and forest areas being exploited

ただし, **は相関係数の有意水準 0.01

参考までに, (3), (4)式に 1 次式による回帰式を示す。

$$L = 7.65 A + 3449 \quad (r = 0.91^{**}) \quad (3)$$

$$L = 9.43 A \quad (r = 0.85^{**}) \quad (4)$$

以上の結果は, 林道延長と利用区域森林面積の係に, HACK の法則と類似のベキ乗式が成り立つことを示すが, 河川との比較は 3.2.3 で考察する。

(3) ベキ乗式の定数 k , n の特性

HACK の法則の研究の論議の主体は, 主流長と流域面積の関係で成り立つ, ベキ乗式の比例定数 k と指数 n の値とその解釈にあった。本節では, 林道を接続形態, 林道規格, 利用区域森林面積, 利用区域の決定法によって Table 4 のように分類し, それぞれの定数の値を比較することで, 林道延長と利用区域森林面積の関係を分析する。

林道の迂回をとりあえず考えないとすると, n が 0.5 ならば, 森林の形状はその面積の大きさにかかわらず相似であることを意味する。しかし, (2) 式からも明らかなように, n は 0.677 と 0.5 よりも大きいことから, 林道延長はその面積の増加よりも急激に増加することが示されている。この理由は, 当該森林の形状は, 面積が増大するに従って相似ではなく細長い形状になること, もしくは林道延長が長くなるとともに, より大きな迂回を生じることが考えられる。

分析結果を示した Table 4 によると, 規格が上位の級ほど k は大きく, n は小さくなった。同様に, 利用区域森林面積が大きくなると k は大きく, n は小さくなった。利用区域の決定法区分では, 集水区域によって区画される割合が小さくなるとともに同様の傾向がみられた。連絡型と突込型を比較すると k , n

Table 4. 林道の分類とベキ乗式の定数 k , n
 Classifications of forest roads and constants k and n of the power equation

林道の分類 Classifications		k	n	r	標本数 Samples
林道の接続形態 Forest-road types					
連絡型 Connection type	1 級 1st grade	216.77	0.593	0.88**	109
	2 級 2nd grade	182.39	0.619	0.93**	169
	3 級 3rd grade	165.20	0.649	0.84**	39
	平均 Averages	197.24	0.606	0.95**	317
突込型 Go-back type	2 級 2nd grade	192.75	0.539	0.72**	37
	3 級 3rd grade	144.21	0.581	0.77**	82
	平均 Averages	142.89	0.587	0.80**	119
利用区域森林面積 (ha) Forest areas being exploited	～ 100	115.61	0.671	0.42*	71
	～ 500	114.82	0.678	0.64**	170
	～1 000	136.77	0.650	0.34*	53
	1 000～	315.50	0.543	0.71**	142
利用区域森林の決定法 Methods of exploiting forests	1	91.83	0.692	0.93**	161
	2	149.28	0.648	0.95**	142
	3	172.98	0.623	0.94**	105
	4	119.67	0.684	0.97**	28
平 均 Averages		115.35	0.677	0.94**	436

注) 1. 相関係数(r)の有意水準は, **0.01, *0.05である。

2. 利用区域森林の決定法の区分は, 集水区域周長の利用区域森林周長に占める, 1～4に掲げる割合である。

1, 100～75%; 2, 75～50%; 3, 50～25%; 4, 25～0%。

Notes: r , Correlation coefficient. Significant at the **0.01 level. Significant at the *0.05 level. Methods of exploiting forests are classified as the next ratio of the periphery length of a basin to the total periphery length of exploited forest.

1, 100～75%; 2, 75～50%; 3, 50～25%; 4, 25～0%。

とも連絡型の方が大きくなる傾向を示した。突込型の n が小さくなる原因は明確ではないが, 利用区域森林の形状の違い, 林道の迂回の差などが影響していると推測される。以上の結果から, 定数 k , n は, 林道の規格・構造, 接続形態等によって一定の傾向が認められ, n は, 0.539～0.692 といずれの区分でも 0.5 以上の値を示すことが明らかになった。

ベキ乗式の相関係数(r)は, 林道の分類ごとにかなりの違いがみられる。すなわち, 利用区域の決定法による場合は 0.93～0.97 と最も高く, 範囲も小さい。次いで, 連絡型の区分が続き, 利用区域森林面積による区分は 0.34～0.71 と最も低く, 範囲も大きい。利用区域の決定法の区分の r が他のものに比べかなり高く, しかも道路等の集水区域以外による利用区域の決定割合が高くなるに従って, n が小さくなる傾向からみて, 道路等による区画が林道延長と利用区域森林面積の関係に, 影響を及ぼしていること

は明らかである。

次に、林道延長 (L) の代わりに、林道の起終点間の直線距離 (L_0) を従属変数に用いたものを (5) 式に示す。

$$L_0 = 82.26 A^{0.604} \quad (r = 0.91^{**}) \quad (5)$$

この式は、林道の迂回がないと仮定されるものなので、定数は利用区域森林の形状の変化のみによる値とみなせる。従属変数として迂回を含まない林道直線距離を用いたことから、(2) 式に比べて k が小さくなるのは当然として、 n も小さくなった。しかし、その値は 0.5 を超えていることから、この結果も、利用区域森林は面積が大きくなるとともに、より細長い形状になることを示している。なお、(5) 式の相関係数 (r) は、0.91 と高いことから、林道延長と林道直線距離は強い関係にあることも間接的にうかがえる。

(4) ベキ乗式の指数の解析

林道延長と利用区域森林面積の間には、密接なベキ乗関係が成り立っていた。そこでは、先に、 n が 0.5 を超える原因を林道の迂回と利用区域森林の形状の変化の 2 因子によるものと仮定したが、さらに次のように論議を進める。

林道延長 (L)、林道直線距離 (L_0)、利用区域森林面積 (A) と林道の迂回係数 (H) 及び L_0 と A によって表された、利用区域森林の形状の評価値を利用区域森林形状係数 (f_s) とすると、SMART・SURKAN (1967) が HACK の法則の研究で明らかにしたように、それぞれの関係は、(6)、(7) 式で示すことができるので、(8) 式が成り立つ。

$$H = L/L_0 \quad (6)$$

$$f_s = L_0 / (A^{0.5}) \quad (7)$$

$$L = H * f_s * (A^{0.5}) \quad (8)$$

ここで H 、 f_s は式 (9)、(10) で表すことができるなら、

$$H = c_1 A^p \quad (9)$$

$$f_s = c_2 A^q \quad (10)$$

(8) 式に (9)、(10) 式を代入すると (11) 式が成り立つ (SMART・SURKAN, 1967; 島野, 1975)。

$$L = c_1 \cdot c_2 A^{(p+q+0.5)} \quad (11)$$

(11) 式の p は林道の迂回、 q は利用区域森林の形状の変化が、それぞれベキ乗式に及ぼす影響の程度を示していると考えることができる。そこで p 、 q の値をそれぞれ (9)、(10) 式から求め検討した。結果を示した Table 5 によると、全体としては q が p を上回ることから、形状が迂回以上に延長と面積の関係に影響を及ぼしていることが分かる。また、Table 5 からは利用区域の決定法の違いが p 、 q に影響を及ぼしているとは認められない。 p 、 q を比較すると決定法 2 の区分で p が q をかなり上回っているものの、他の区分で

は q と p の値には大きな差はない。ここで決定法2の区分で q が p を上回っている原因は明確でない。なお、Table 5の相関係数(r)はあまり高くはないものの、多くの区分で有意水準0.01で相関がありとされることから、(9)、(10)式の仮定が正しいとみなすことができる。

以上の結果から、林道延長と利用区域森林面積の関係に影響を及ぼす因子を、林道の迂回と利用区域森林の形状とする場合、全体的には後者の影響が前者をやや上回っているとみることができるものの、路線による違いが大きいたことが明らかになった。

(5) 利用区域森林の形状と林道の迂回

利用区域森林の形状を表現する評価法は種々考えられるが、ここでは、(12)式に示す利用区域森林面積と利用区域森林周長の関係によって評価した。

$$Sh = a/s^2 \quad (12)$$

ただし、 Sh :利用区域森林の形状、 a :利用区域森林面積 (m^2)、 s :利用区域森林周長 (m)

(12)式は、面積と周長の関係で得られるので、すでに伐区の形状に関する研究などにも用いられている(酒井秀夫・上飯坂, 1979; 井上, 1989)。この評価値は、円の場合が最も大きく $1/(4\pi)$ 、矩形の場合には、短辺と長辺の比が $1:x$ の場合 $x/(4(1+x)^2)$ となる。利用区域森林面積と形状の関係をFig. 6に示す。これによると、面積が増大するに従って形状は細長くなる傾向を示しているが、相関係数が -0.47 であることから明らかなように、バラツキも大きい。

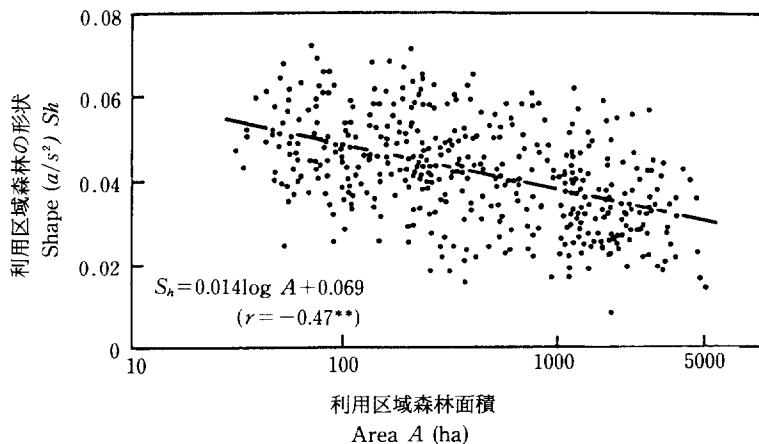


Fig. 6 利用区域森林面積と形状の関係
Relationships between forest areas being exploited and their shapes

Table 5. 利用区域森林の決定法と指数 p , q
Methods of exploiting forests and their exponents p and q

利用区域森林 の決定法 Classifications	p	(r)	q	(r)
1	0.095(0.36**)		0.097(0.32**)	
2	0.041(0.15)		0.107(0.38**)	
3	0.066(0.27**)		0.057(0.23*)	
4	0.096(0.52**)		0.088(0.40**)	
全体 Totals	0.073(0.28**)		0.104(0.36**)	

注) 相関係数(r)の有意水準は、**0.01, *0.05である。
Notes: Significant at the **0.01 level. Significant at the *0.05 level.

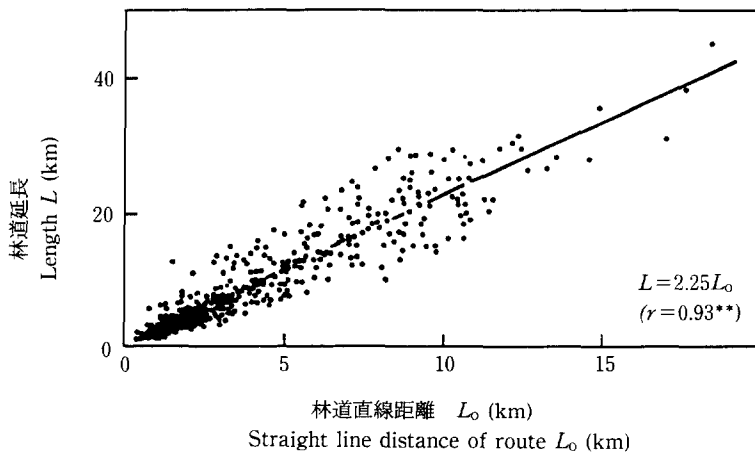


Fig. 7 林道の迂回
Winding of forest road (regular)

(13)式に林道延長と林道直線距離の関係による迂回係数 (L/L_0) を示す (Fig. 7)。

$$L = 2.25 L_0 \quad (r = 0.93^{**}) \quad (13)$$

迂回係数は2.25であったことから、昭和30年代に報告された文献(杉原・岩川, 1960)に比べ、かなり大きい値となっている。この原因としては、路線延長の長大化や路線の連絡型化などが影響しているようである(澤口, 1989; 澤口・大川畑, 1992)。

次に、林道延長と利用区域森林幅 ($W = A/L$) の関係及び利用区域森林面積と林道密度 ($D = L/A$) の関係をFig. 8, Fig. 9に示す。Fig. 8, Fig. 9の回帰式はそれぞれ(1)式を(14), (15)式に示すように展開し、(2)式の定数を与えることによって得た。

$$\begin{aligned} W &= A * 10^4 / L = (L/k)^{1/n} * 10^4 / L \\ &= (1/k)^{1/n} * 10^4 * L^{1/n-1} \end{aligned} \quad (14)$$

$$D = L/A = kA^n/A = kA^{n-1} \quad (15)$$

$$W = 8.998 L^{0.477} \quad (r = 0.67^{**}) \quad (16)$$

$$D = 115.35 A^{-0.323} \quad (r = -0.78^{**}) \quad (17)$$

Fig. 8の利用区域森林幅は、利用区域森林面積を林道延長で除して得られることから、利用区域森林の平均幅を示すとともに、単位林道延長(m)当たりの利用森林面積(m^2)とみることもでき、多くの路線が1000 m^2/m 以下になるのが分かる。Fig. 9からは、利用区域森林面積が大きくなると密度が低くなること、林道密度の整備目標を現行の20 m/ha とすると、我が国の一般的な林道延長と利用区域森林面積の関係の下では、実態として約200 ha 以下の面積では、支線計画は困難な場合が多いことを読み取ることができる。

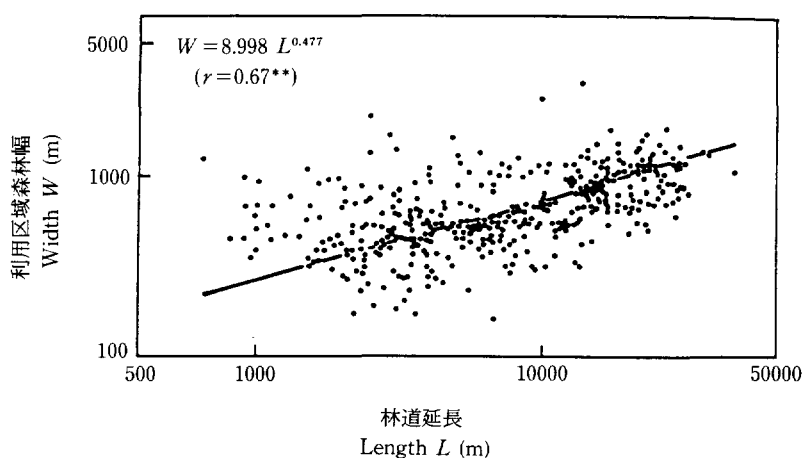


Fig. 8 林道延長と利用区域森林幅の関係
Relationships between forest road (regular) lengths and exploited forests' widths

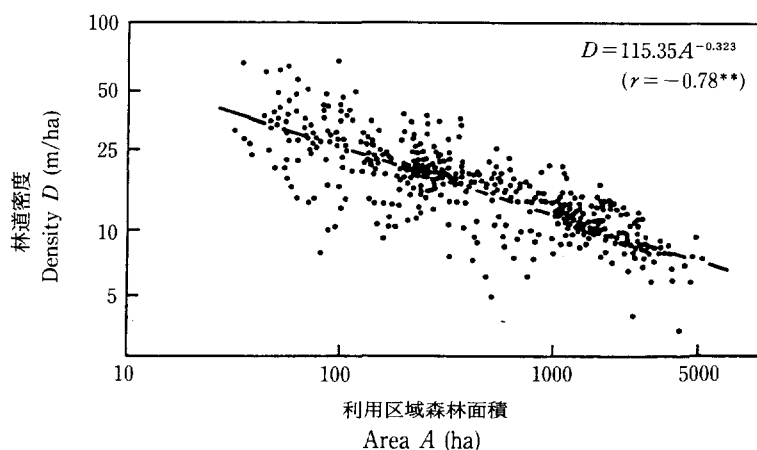


Fig. 9 利用区域森林面積と林道密度の関係
Relationships between forest areas being exploited and forest road (regular) densities

3.2.2 作業林道における木材流の特性

(1) 資料及び方法

資料は、道府県に依頼して得た路線の位置、利用区域森林を図示した基本図（等高線が挿入された縮尺 1/5 000 の図面）である。道府県では、本論で作業林道として定義した路線には作業道、作業路等種々の名称が付与された区々なので、資料収集に際して錯誤がないようにした。分析資料数は、北海道他 11 府県の 83 路線である。作業林道延長、利用区域森林面積等の計測はデジタル・プランメータによった。資料は、1 路線当たりの延長 196～3 466 m、利用区域森林面積 4～100 ha の範囲にあり、幅員は 3 m 以下

57, 4.0 m以下 26, 接続形態では突込型の路線が 70 路線と大部分を占めている。

(2) 作業林道延長と利用区域森林面積の関係

作業林道延長と利用区域森林面積の関係を、ベキ乗式の最小二乗法で回帰させた結果を、(18)式に示す (Fig. 10)。

$$L = 100.25 A^{0.687} \quad (r = 0.85^{**}) \quad (18)$$

ただし、 L ：作業林道延長 (m)、 A ：利用区域森林面積 (ha)、 ** ：相関係数 (r) の有意水準 0.01

この結果は、 r は林道の(2)式に比較してやや低いものの、林道 1～3 級に比べて、対象となる利用区域森林や延長が小規模な作業林道でも、HACK の法則と類似の関係式が成り立つことを裏付けている。参考までに、(19)、(20)式に 1 次式による回帰式を示すが、林道と同様にやはりベキ乗式の方が r が高い。

$$L = 22.28 A + 358 \quad (r = 0.79^{**}) \quad (19)$$

$$L = 29.89 A \quad (r = 0.72^{**}) \quad (20)$$

(3) ベキ乗式の定数等の林道との比較

作業林道のベキ乗式の比例定数 (k) は 100.3, 指数 (n) は 0.687 であった。この結果を林道の場合と比較すると、3.2.1(3)で述べた林道の分類とベキ乗式の定数の分析結果とよく合致する。すなわち、林道では上位規格ほど k は大きく、 n は小さかったことを (Table 4)、例えば、突込型の林道 3 級の k (144.21), n (0.581) と作業林道の定数を比べると、林道での傾向がそのまま当てはまる。利用区域森林の規模で比較しても、100 ha以下の林道の k は 115.61, n は 0.671 だったので、面積が増大すると k は大きく、 n は小さくなる林道の傾向は、やはりそのまま当てはまる。以上の分析結果は、HACKの法則に対する作業林道と林道の関係は、同質なことを示し、林道と作業林道のベキ乗式の定数の違いは、それぞれの延

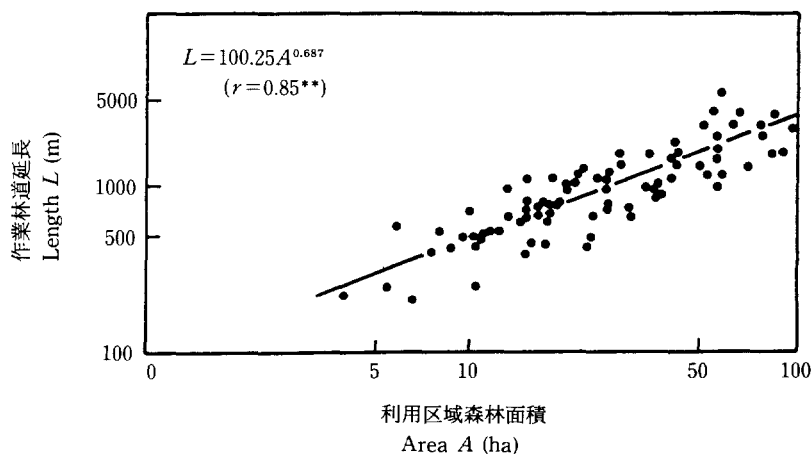


Fig. 10 作業林道延長と利用区域森林面積の関係
Relationships between forest road (low-structure) lengths and forest areas being exploited

長や利用区域森林の規模の違いによるものと結論される。

(11)式で、ベキ乗式の指数に及ぼす作業林道の迂回、(p)と利用区域森林の形状の変化(q)の影響を調べた。この結果は、(21)、(22)式に示すように、相関係数が低いことから信頼性は低い、林道とは逆に p が q をやや上回った。相関係数の値から判断して、林道の p 、 q と同様に、路線による違いが大きいことは明らかである。

$$p=0.113 \quad (r=0.27^*) \quad (21)$$

$$q=0.073 \quad (r=0.18) \quad (22)$$

ただし、*は相関係数(r)の有意水準0.05

(12)式で利用区域森林面積と形状の関係を分析し、回帰式の相関係数を求めたところ $r=-0.01$ となり、面積が増大しても形状が細長くなる傾向は認められなかった。この結果は、100 ha程度までの小さな利用区域森林面積では、形状の変化は問題にならないことを示すものであろう。

作業林道の迂回係数は(23)式のように、林道の2.25に比べて低い1.60となった(Fig. 11)。これは、作業林道は突込型の路線が主体であることや、路線延長が最長でも3500 mと短いことが原因と考えられる(澤口・大川畑, 1992)。

$$L=1.60 L_0 \quad (r=0.82^{**}) \quad (23)$$

ただし、 L :作業林道延長(m)、 L_0 :作業林道の起終点間の直線距離(m)

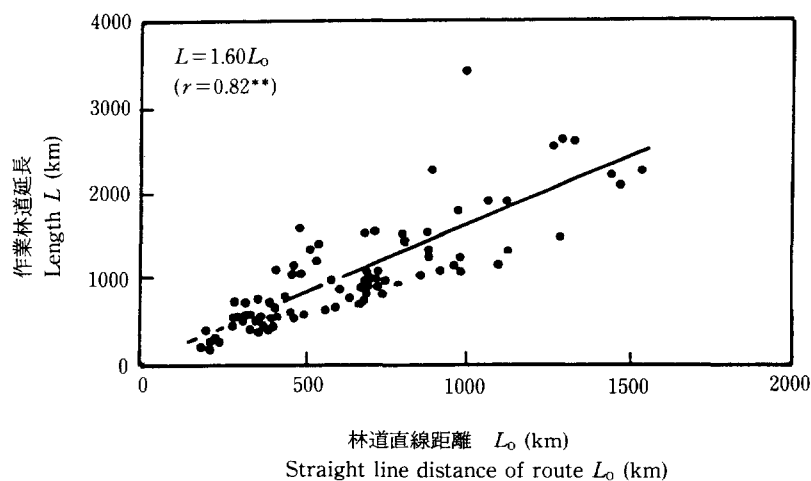


Fig. 11 作業林道の迂回
Winding of forest roads (low-structure)

次に、作業林道延長と利用区域森林幅の関係及び利用区域森林面積と作業林道密度の関係をFig. 12, 及び13に示し、それぞれの回帰式を、(24), (25)式に示す。

$$W = 12.224 L^{0.456} \quad (r = 0.52^{**}) \quad (24)$$

$$D = 100.25 A^{-0.313} \quad (r = -0.60^{**}) \quad (25)$$

(24)式によると、 L が500mの路線では W は208mとなる。林道の(16)式で、より路線規模の大きい

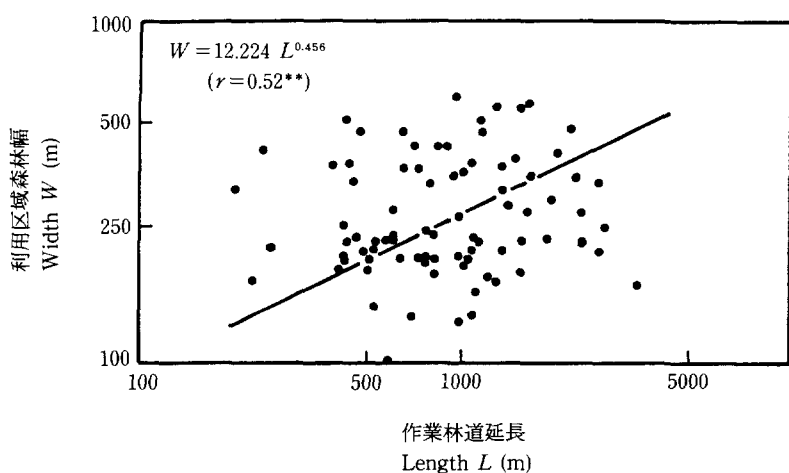


Fig. 12 作業林道延長と利用区域森林幅の関係
Relationships between forest road (low-structure) lengths and exploited forests' widths

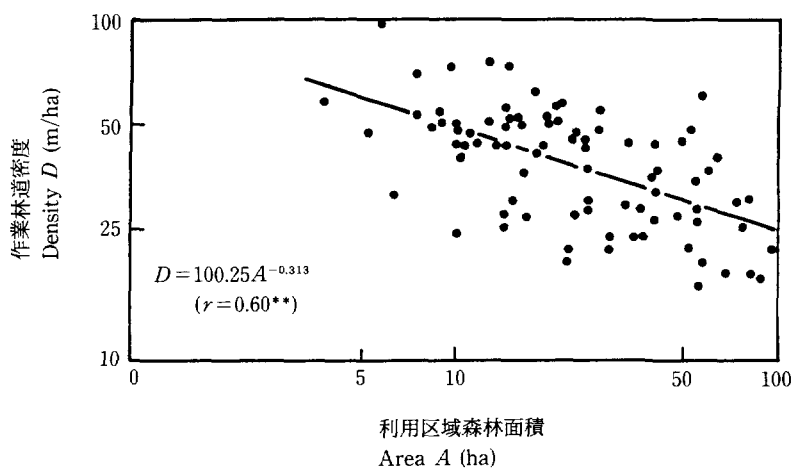


Fig. 13 利用区域森林面積と作業林道密度の関係
Relationships between forest areas being exploited and forest road (low-structure) densities

5 000mの W を推定すると523mとなり、この路線規模の違いが、 W に2倍以上の差を与えている。この裏返しなのが D に関していえる。例えば、(25)式で A が10 haの路線の D を推定すると49 m/haとなるのに対し、 A が500 haの D を(17)式で推定すると15 m/haとなり、1/3以下になるのが分かる。この結果は、路線規模の違いが木材流に大きな影響を与えることを明らかに裏付けている。

3.2.3 利用区域森林と流域の比較

HACKは、その研究において L をmile、 A をmile²で表すと k は1.4、 n は0.6であるとした（HACK, 1957）。この定数は、多くの研究者によって検討され、種々の値が得られているが（高山, 1974）、ここでは、我が国の流域研究と本研究によって得られた定数を比較することで、利用区域森林と流域の類似性を考察する。

Table 6は、我が国の流域研究における主要成果の一つである、島野の研究（島野, 1975）で得られた、HORTONの水流次数1次～4次、1次～7次の平均の k 、 n と利用区域森林を1～4次のおおのの次数におおむね対応すると考えられる面積で区分して得た k 、 n を示したものである。本表の L 、 A の単位は、我が国のHACKの法則の研究で一般的に用いられるkm、km²である。また、Fig. 14に主流長と流域面積の関係と林道延長と利用区域森林面積の関係をm、ha単位に比較する。

Table 6、Fig. 14から利用区域森林面積と水流次数、 k 、 n のおおのの関係等が分かる。すなわち、利用区域森林と流域の定数は、前者の k は後者の2倍程度を示し、一方、 n は利用区域森林の方が多少大きな値を示しているが、余り違いのないこと、また、流域におけるべき乗式の相関係数(r)は0.967であったとされているが（島野, 1975）、本研究でも0.94と高い値を示したことが特記されよう。

利用区域森林の k が大きい原因は、林道や作業林道の迂回が河川の場合に比べて、より大きいことのほか、集水区域内には森林以外の農地等が存在していることや、他道路との森林の取り合いによって集水区域が分断されるなどにより、利用区域森林の形状が流域の形状以上に細長いことによると推測される。また、規模が大きくなるとともに両者の k 及び流域の n は大きくなる傾向を示したが、利用区域森林の n は逆に小さくなったことが指摘されよう。

Table 6. 水流次数と利用区域森林面積別の定数 k 、 n の比較
Comparisons of constants k and n of basin orders and exploited forest areas

水流次数 Basin orders	k	n	利用区域森林面積 Exploited forest areas (km ²)	k	n
			(～1	2.366	0.678)
1	1.260	0.526	～1	2.541	0.671
2	1.431	0.536	～5	2.606	0.678
3	1.514	0.527	～10	2.735	0.650
4	1.531	0.554	10～	3.846	0.543
1～7次 1st～7th	1.464	0.604	全 体 Totals	2.600	0.677

注) 1. ()書は、作業林道である。

2. 流域の k 、 n は島野（1975）による。

Notes: Parenthesis shows forest road (low-structure).

Constants k and n of basin quoted from Shimano (1975).

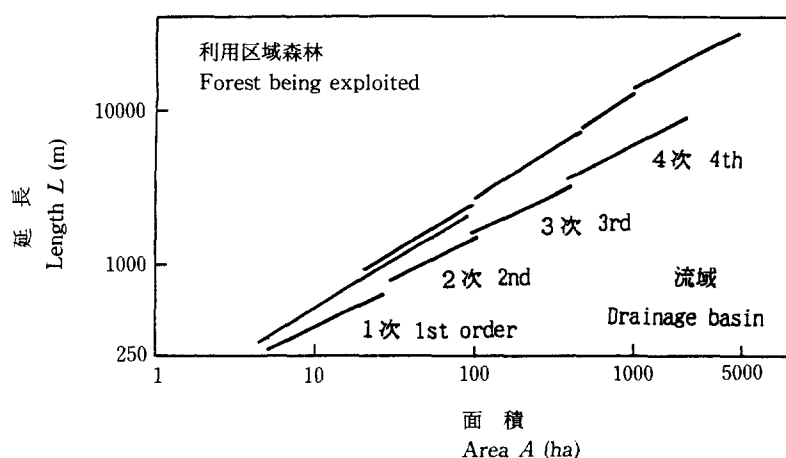


Fig. 14 利用区域森林と流域の比較
Comparisons between forests being exploited and drainage basins

3.3 木材流量と林業的交通量の推定

前節では、林道網における路線延長と利用区域森林面積の関係を解析した結果、HACKの法則と類似の関係式が成り立つことが判明した。本節では、前段ではこの関係式を用いて、我が国の林道網における木材流量の特徴を概括的に明らかにし、後段では林道網計画区域を対象に路線区間まで掘り下げて、開発森林によって木材流量と林業的交通量の推定を行う。

3.3.1 HACKの法則の類似式の適用による木材流量の推定

前節で解明されたように、我が国の林道網では林道1級から作業林道まで、林道の規模や規格にかかわらず、河川の主流長と流域面積の間で成立したHACKの法則と類似の関係式が、林道延長と利用区域森林面積の間で成立した。この互いに換算できる関係式を用いることによって、林道網の路線を流れる木材流量を、対象森林の規模に応じて推定するのが可能になる。(2), (18)式の相関係数は0.94, 0.85だったことから、類似式の路線によるバラツキは認めざるを得ない。従って、この関係式の定数を用いて、実際の林道網計画区域での木材流量の推定を行う場合には、推定精度の問題を残す。しかしながら、我が国の林道網の概括的な木材流量を推定する上では、精度的には支障がないことから、ここで推定された木材流量は、実際の路線での木材流量の評価基準に利用できる。

林道への総出材量は利用区域森林面積 (A (ha)) と出材量 (V (m^3/ha)) で決まる。路線の単位林道延長あたりに示される、単位木材流量 (Uwf (m^3/m)) は、総出材量を林道延長 (L (m)) で除した、(26)式で得ることができる。

$$Uwf = (A * V) / L = V / D \quad (26)$$

(26)式は、林道密度 (D) の逆数で算定できるが、我が国山岳林のように集水区域が存在し、HACKの法則が成立する場合には、 L と A の関係を吟味して D を与えないと、路線や利用区域森林の規模を無視した結果になる。(26)式は、互いに換算できる L と A の関係を導入して、(27)式で表せるので、この問題は

解決できる。

$$Uwf = (A \cdot V)/L = (A \cdot V)/kA^n \quad (27)$$

(27)式にTable 4と(18)式の定数を k , n に代入して、林道規格別に試算した結果をFig. 15示す。試算では V を $250 \text{ m}^3/\text{ha}$ とした。試算によると、単位木材流量は、同規模の A は連絡型が突込型に比べて少ないが、これは3.2で解明した k , n の特性から理解できよう。林道規格別には、わずかではあるが上位規格ほど少ないことも k , n の特性から納得できる。林道1～3級の平均的な単位木材流量は、 A が50 haで $7.7 \text{ m}^3/\text{m}$ が、100 haで $9.6 \text{ m}^3/\text{m}$ 、1000 haでは3倍近い $20 \text{ m}^3/\text{m}$ に増大する。作業林道も同様に10 haで $5.1 \text{ m}^3/\text{m}$ が、100 haでは2倍を超える $10.5 \text{ m}^3/\text{m}$ となる。作業林道は林道1～3級と比べて、やや多めの単位木材流量で推移するがその差は小さいことなどが木材流の特色として上げられる。

3.3.2 林道網計画区域における木材流量と林業的交通量の推定

前項では、HACKの法則と類似の関係式を用いて、我が国の林道網の木材流の特徴を考察した。ここでは、実際に林道網計画を作成し、これから木材流量と林業的交通量を推定する。本項では、路線全体を平均化した論議ではなく、路線区間にまで掘り下げて分析を進める。従って、路線区間を対象に木材流量を推定する場合には、路線全体の対象森林である利用区域森林では対応できないので、当該路線区間の上流域の森林面積である、開発森林面積の概念が用いられる。

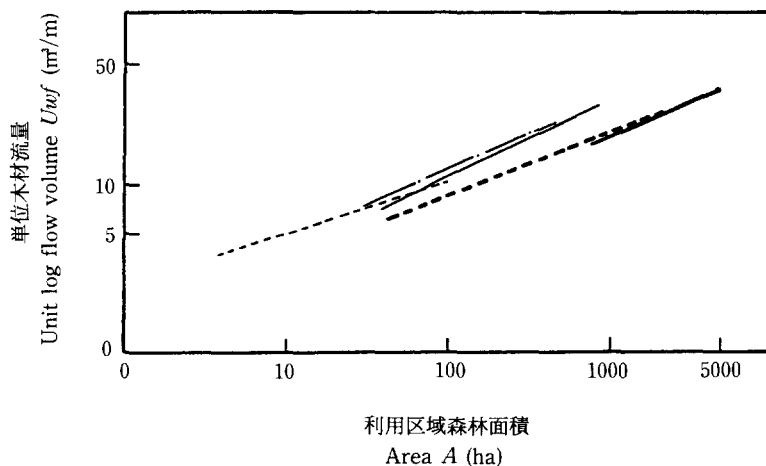


Fig. 15 林道規格と単位木材流量
Forest-road standards and unit log flow volume

- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| —— 林道1級（連絡） | ----- 林道2級（連絡） |
| Forest road 1st grade (connection) | Forest road 2nd grade (connection) |
| —— 林道2級（突込） | —— 林道3級（突込） |
| Forest road 2nd grade (go-back) | Forest road 3rd grade (go-back) |
| ----- 作業林道 | |
| Forest road (low-structure) | |

Table. 7 林道網計画の概要
Outlines of forest-road networks planning

区 分 Classifications	高萩 Takahagi	浜松 Hamamatsu	大栃 Oodochi
計画区域 Planning areas			
区域面積 (ha) Areas	619	307	339
地形傾斜 (%) Terrain slopes	21.0	29.6	76.0
起伏量 (m) Relief energies	103	203	599
林道網計画 Forest-road networks planning			
総延長 (m) Total lengths	26 885	16 834	12 918
路線本数 Number of routes	15	13	5
路線延長 (m) Lengths	5 418~867	6 444~197	5 046~627
林道密度 (m/ha) Densities	43.4	54.8	38.1

(1) 林道網計画の作成

高萩, 浜松, 大栃営林署管内の国有林野を対象に林道網計画を作成した (Table 7)。計画区域の面積は, 浜松と大栃はほぼ同規模の 300 ha 台, 高萩は約 2 倍の 619 ha である。大栃の地形傾斜は, 76%と急峻で起伏量も 600 m 近く, 長い山腹を有する急斜面である。高萩, 浜松は緩～中傾斜の 20% 台で, 起伏量も 100~200 m と比較的小さい。高萩と浜松を比較すると, 高萩が地形的に多少恵まれている。

この区域を対象に, 林道密度 38.1~54.8 m/ha, 路線本数 5~15 本からなる林道網計画を立てた。計画路線の配置に当たっては, 既設林道は

そのまま生かし, 新設計画は均等配置に心がけて, 等高線に沿う中腹路線を主体に行った。林道密度が高くなると循環路網の形成にも配慮が必要になるが, 経済的なアルゴリズムは見当たらないので, ここでは樹枝状路網を採用した。林道計画表を Table 8, 林道網計画図を Fig. 16~18 に示す。本項では, 林

Table 8. 林道計画表
Forest roads planning

高 萩 Takahagi						浜 松 Hamamatsu						大 栃 Oodochi					
路線 番号 Route nos.	路線位置 番 号 Route location nos.	関連ノード 番 号 Node nos.	計画延長 (m) Lengths	備 考 Notes.		路線 番号 Route Nos.	路線位置 番 号 Route location nos.	関連ノード 番 号 Node nos.	計画延長 (m) Lengths	備 考 Notes.		路線 番号 Route nos.	路線位置 番 号 Route location nos.	関連ノード 番 号 Node nos.	計画延長 (m) Lengths	備 考 Notes.	
1	1 97	1, 2, 10, 11, 12, 13, 14	5 418	本線*		1	1-139	1, 2, 3, 4, 7, 10, 11	6 444	本線*		1	1- 80	1, 2, 3	5 046	本線*	
2	98-132	1	1 762	支線**		2	140-156	1	875	支線**		2	81- 94	1	627	支線**	
3	133-192	2, 3, 7, 8	3 184	"		3	157-191	2	1 761	"		3	95-145	2	2 648	"	
4	193-238	3, 4, 5, 6	2 305	分線***		4	192-206	3	636	"		4	146-213	3, 4	3 479	"	
5	239-265	4	1 287	"		5	207-226	4, 5, 6	926	"		5	214-236	4	1 118	分線***	
6	266-285	5	1 072	"		6	227-234	5	380	分線***							
7	286-303	6	867	"		7	235-251	6	738	"							
8	304-350	7	2 369	支線**		8	252-284	7, 8, 9	1 592	支線**							
9	351-375	8, 9	1 197	"		9	285-299	8	715	分線***							
10	376-397	9	1 143	分線***		10	300-324	9	1 201	"							
11	398-415	10	991	支線**		11	325-344	10	773	支線**							
12	416-432	11	936	"		12	345-357	11, 12	576	"							
13	433-470	12	1 745	"		13	358-362	13	197	分線***							
14	471-493	13	1 133	"													
15	494-523	14	1 476	"													
小 計			26 885			小 計			16 834			小 計			12 918		

Note: *, Main road, **, Branch road, ***, Sub-branch road.

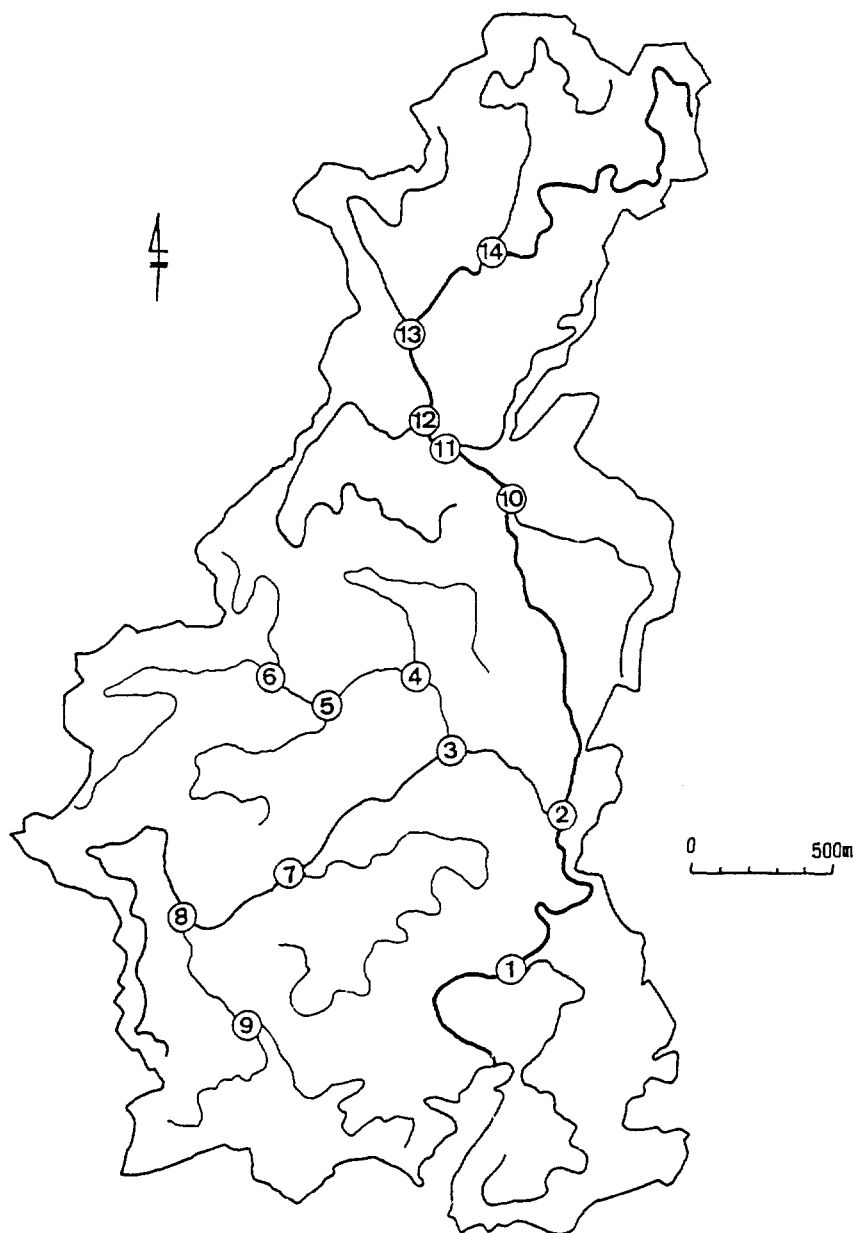


Fig. 16 林道網計画図（高萩）
Design of forest-road networks planning
(Takahagi)

——, 本線: ——, 支線: ——, 分線:
Main road Branch road Sub-branch road
○, ノード番号
Node no.



Fig. 17 林道網計画図 (浜松)
Design of forest-road networks planning(Hamamatsu)

——, 本線: ——, 支線: ——, 分線: ○, ノード番号
Main road Branch road Sub-branch road Node no.

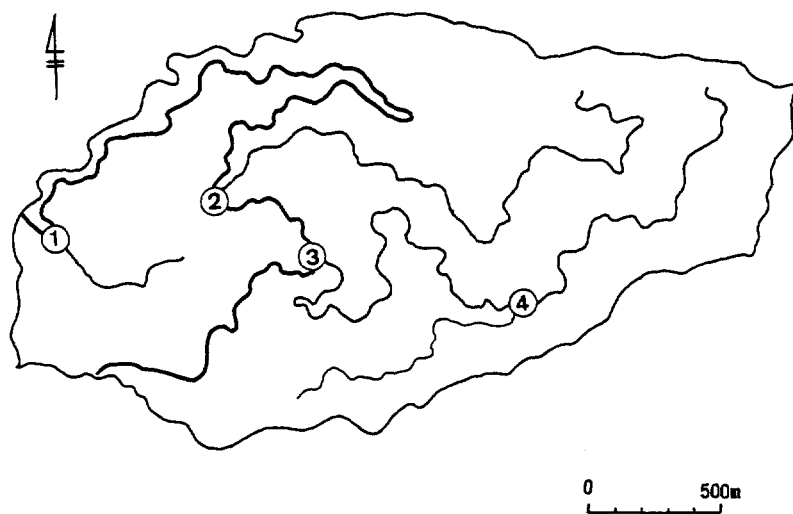


Fig. 18 林道網計画図 (大栃)
Design of forest-road networks planning(Oodochi)

——, 本線: ——, 支線: ——, 分線: ○, ノード番号
Main road Branch road Sub-branch road Node no.

道網の背骨的な役割を果たし、本流となる路線を本線、本線から分岐するものを支線、支線からさらに分岐するものを分線に便宜上路線区分した（林道研究会，1993 b）。路線番号は、Table 8の関連ノード番号とFig. 16～18の林道網計画図から知ることができる。

（2）木材流量の計測方法

木材流量の計測に用いた地形図は、国有林野で使用している事業図（縮尺 1/20 000）である。解析は、格子点法を応用して行った（SEGEBADEN, 1964；小林, 1983）。格子間隔は、100 m * 100 m（図上 5 mm * 5 mm）で正方形の格子とした。格子間隔を図上で 5 mm としたのは、読み取りの精度等から実際的と考えたことや、格子間隔をこれ以上狭くすると格子点数が多くなり、パソコン処理が困難になること（高萩の格子数は 28 * 45。）、50 m/ha 程度の密度では 100 m 間隔で問題ないと考えられるためである（仁多見・小林, 1991）。路線位置は、50 m（図上 2.5 mm）を目安に位置座標を入力した。計測は計画区域、路線位置をデジタイザで入力し、出材量は森林施業方法別に事業図から読み取り格子点に与えて、パソコンで自動処理した。以下、プログラム作成上の留意点を述べる。

ア．計画区域の判別

計画区域の判別は、デジタイザで入力した区域座標から自動的に行う。判別は、区域座標による境界直線 (B_L) と、格子点から出した任意の直線 (G_L) の交点数を検索することで行う。つまり、区域座標を (X_k, Y_k) , (X_{k+1}, Y_{k+1}) とする区域境界は(28)式、任意の格子点 G (G_X, G_Y) を通過する直線は(29)式から、

$$B_L = ((Y_{k+1} - Y_k) / (X_{k+1} - X_k)) * (X - X_k) + Y_k \quad (28)$$

$$G_L = m (X - G_X) + G_Y \quad (29)$$

(28)式と(29)式の交点数が偶数個であれば区域外、奇数個であれば区域内と判別できる。

イ．数値地形モデルの構築

数値地形モデルは、対象区域に画かれている 20 m 間隔の等高線をデジタイザで入力し構築した。各格子点の標高は、等高線から入力して得たコンターマップから算定した（塩野ら, 1988 a, 1988 b）。地形傾斜は、各測点の最急傾斜を格子点の標高から算定した（中島, 1968；小林, 1983）。各格子点には、標高と地形傾斜の地形因子と出材量、労働投入量が与えられる。数値地形モデルは、第2報 2.3 で生産費関数を試算するための、林道開設費、集材費、歩行費の算出に用いられる。Table 7の地形傾斜と起伏量は、数値地形モデルから算出した。

ウ．木材流出構造の解析

木材流量の解析は、水系の流出解析（丸安・村井, 1970, 1972；高俣・椎葉, 1976；北川, 1991）に用いられる手法を応用した。林道網をネットワークとし、グラフ理論のノードとリンクから路線番号、路線位置番号、ノード番号を○印に示す手順で付与した（Table 8, Fig. 16～18）。木材流、人員輸送流は「終点から起点方向に向かい逆流しない」と仮定した。樹枝状路網を想定したが、循環路網が形成される場合でも、その中間点で分断することで本手法は対応できる（酒井秀夫, 1987；酒井秀夫ら 1988）。

○路線番号は本線、支線、分線の順に本線起点から順に与える。分線は上流の支線に優先する。

○路線位置番号は、路線番号順に本線起点から与える。

○ノード番号は、路線の分岐点ごとに、本線、支線、分線の順に本線起点から順に与える。

○ノード番号には木材流、人員輸送流を逆流させないための本支分線を認識させるフラグを付ける。

Fig. 19に模式図、Table 9にその処理例を示す。この例は路線数5本、ノード数4個、路線位置番号数18個の場合で、ノード処理の数値はフラグで、0は本流、1は支流を意味する。

エ. 積込み土場位置の確定

木材流量の測定は、運材トラックの積込み土場位置を確定することで可能になる。しかしながら、稜線や河川、人家等の地形地物の遮蔽から、最近接の路線位置が積込み土場になるとは限らず、土場位置の確定は難しい。森林に広範に分布する木材の集材土場や積込み土場の正確な予測には、詳細な数値地形モデルから地形傾斜、方位、稜線位置等の地形情報を得、さらに森林資源の配置状況を十分把握し、集材法の技術的経済的特性を十分検討して初めて可能になる。これは最適集材システムの選択法の開発とも関連する興味深い課題であるが(小林, 1983)、本論文の主要課題である林道規格の決定に必要な木材流量の推定は、そこまで高い精度を要求されないので、格子点 $G(GX_i, GY_j)$ を代表点とする区域の木材は、最近接の路線位置 $R_k(RX_k, RY_k)$ に出材し、その位置を積込み土場位置とした。格子点から林道

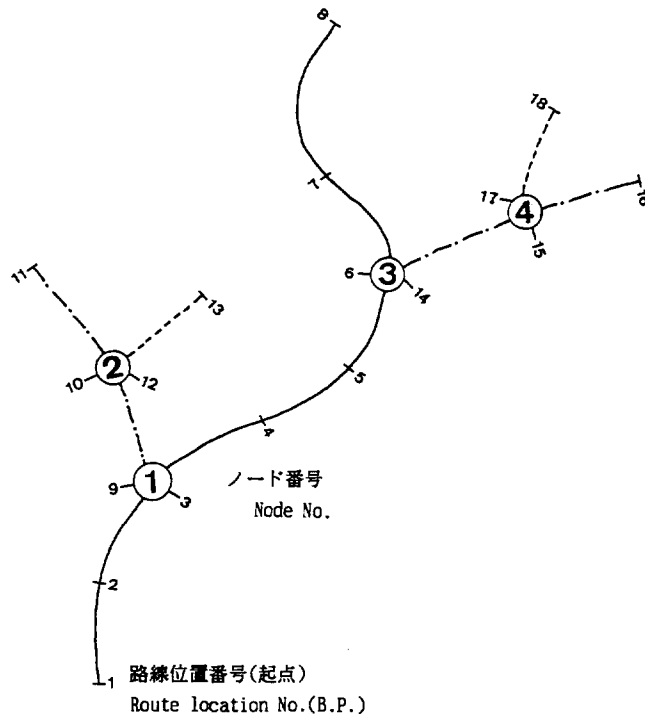


Fig. 19 路線番号、ノード番号の決定方法を説明するための模式図
Design for explanation of route nos. and node nos..

——, 本線: ——, 支線: ·····, 分線: ○, ノード番号
Main road Branch road Sub-branch road Node no.

Table 9. 路線番号, ノード番号の処理例
Processing example of forest-road route
nos. and node nos.

路線 位置 番号 (1)	路線 番号 (2)	ノ ー ド 番 号 (3)	ノ ー ド 処 理 (4)
1	1	0	0
2	1	0	0
3	1	1	0
4	1	0	0
5	1	0	0
6	1	3	0
7	1	0	0
8	1	0	0
9	2	1	1
10	2	2	0
11	2	0	0
12	3	2	1
13	3	0	0
14	4	3	1
15	4	4	0
16	4	0	0
17	5	4	1
18	5	0	0

Notes: (1), Route location nos.. (2), Route nos..
(3), Node nos.. (4), Flags about node.

までの最短距離 (d_{min}) は(30)式で, 区間長 (ℓ_k) は(31)式で求めることができる。また, 格子点の人員輸送の最終目的地は, 積込み土場位置に一致するとした。

$$d_{min} = ((GX_i - RX_k)^2 + (GY_j - RY_k)^2)^{0.5} \quad (30)$$

$$\ell_k = ((RX_{k+1} - RX_k)^2 + (RY_{k+1} - RY_k)^2)^{0.5} \quad (31)$$

(3) 開発森林面積と木材流量, 林業的交通量の推定

計画区域で下流から上流に林道整備が進展すると, 当該路線区間の上流域の森林面積の開発森林面積は次第に減少する。酒井は, これと同様の視点で木材通行量の成長過程を報告している(酒井秀夫, 1987)。Fig. 20は, 各計画区域の本線を例に, 終点からの距離と開発森林面積の関係を図示したものである。図中の破線は, (2)式のHACKの法則と類似の関係式によるものである。この図からも明らかなように, 起点で開発森林面積は最も大きく, 終点に向け破線のモデルとは異なり不連続に減少する。これは, 下流から上流に

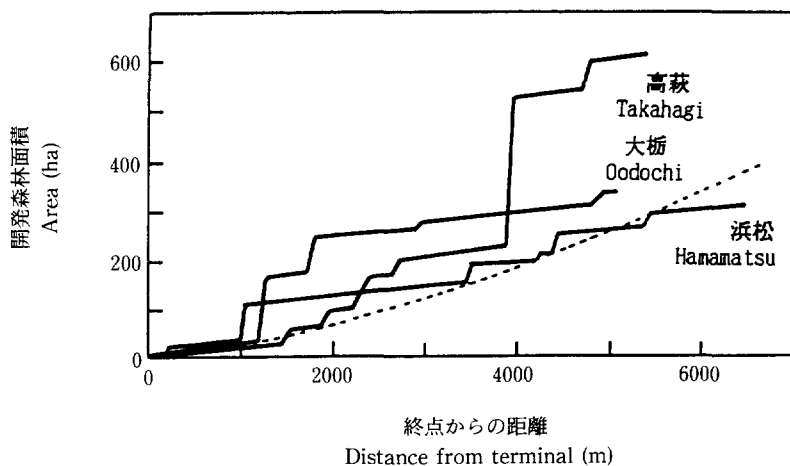


Fig. 20 本線の開発森林面積の変化
Change of forest areas being developed of main road

林道整備が進展するにつれて、分岐した支線、あるいは分線のそれぞれの路線起点での開発森林面積に相当する面積が減ぜられるために起きる。分岐しない場合には、開発森林面積の減少の傾きに極端な変化はなく、終点に向けてほぼ一定の傾きになる。起点の開発森林面積を同延長の破線のモデルと比較すると、高萩は2倍を多少越え、大栃は多め、浜松は少なめの面積となっている。高萩では、起点から1548 mの地点で、296 haの開発森林面積を有する路線番号3の路線が分岐した影響が大きく表れている。Fig. 21は、高萩における全路線の開発森林面積の変化を示したものである。本線と同様に、分岐路線のある路線番号3, 4, 9 は不連続な変化となり、それ以外の路線は減少傾向が一定で漸減する。

格子点に出材量 (V (m³/ha)) と労働投入量 (P (人/ha)) を与えて (Table 10), 路線区間を通過する木材流量や人員輸送流量を求めた。Fig. 22に高萩の結果を示す。この例は、単層林施業 (皆伐) が計画区域面積の95%を占めている例であるが、森林資源構成や森林施業方法に極端な片寄りが無い限り、開発森林面積の変化は木材流量や人員輸送流量に直接投影し、林業的交通量に反映する。

木材流量と人員輸送流量から、路線区間の林業的交通量 T_k (台/日) を (32) 式で推定することができる。

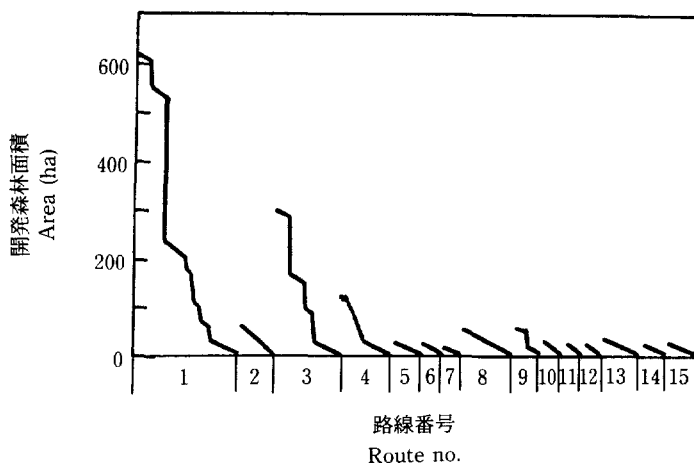


Fig. 21 各路線の開発森林面積の変化 (高萩)
Change of forest areas being developed of each route (Takahagi)

Table 10. 林業経営因子と林業的交通量因子
Factors of forestry management and forestry traffic volume

森林施業方法 Methods of management	出材量 Log volume (m ³ /ha)	労働投入量 Labor volume (person/ha)
単層林施業 (皆伐) Clear cutting	300	500
天然生林施業 (択伐) Selective cutting	120	350
林業経営期間 Forestry management cycle (year)		60
林業生産活動日数 Number of days engaged in forestry (days/year)		240
運材車積載量 Loading capacity (m ³ /truck)		8
人員輸送車乗車人数 Number of labor getting in vehicle (person/vehicle)		3

$$T_k = (2 * (wt_k / v_v + pn_k / v_p)) / (n_y * d_y) \quad (32)$$

ただし、 wt_k 、木材流量（ m^3 ）； pn_k 、人員輸送流量（人）； v_v 、運材車積載量（ m^3 /台）； v_p 、人員輸送車乗車人数（人/台）； n_y 、1 林業経営期間（y）； d_y 、林業生産活動日数（d/y）

Fig. 23は、(32)式を用いて試算した、路線番号1, 3, 8の路線起点からの距離ごとの林業的交通量である。運材車積載量や乗車人員等の林業的交通量試算因子には、Table 10の数値を用いた。森林施業方

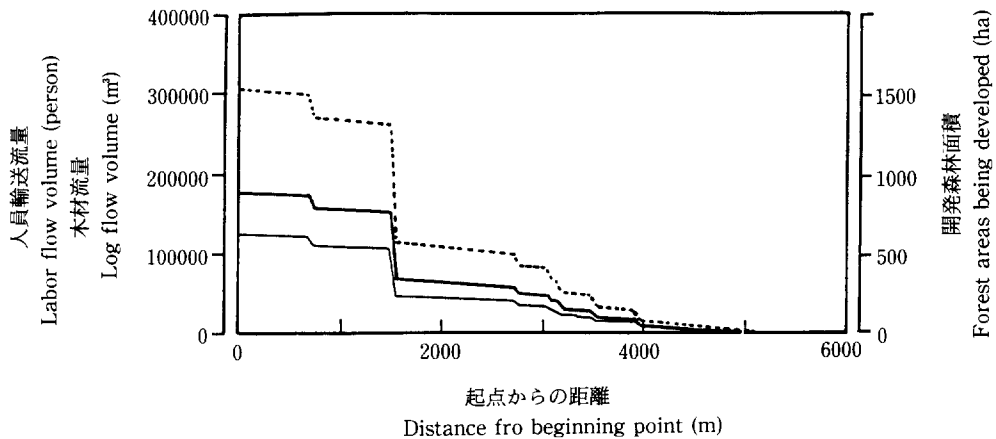


Fig. 22 本線の開発森林面積、木材流量、人員輸送流量（高萩）
Forest areas being developed, log flow volume and labor flow volume of main road (Takahagi)

——, 開発森林面積: Forest areas being developed
——, 木材流量: Log flow volume
-----, 人員輸送流量: Labor flow volume

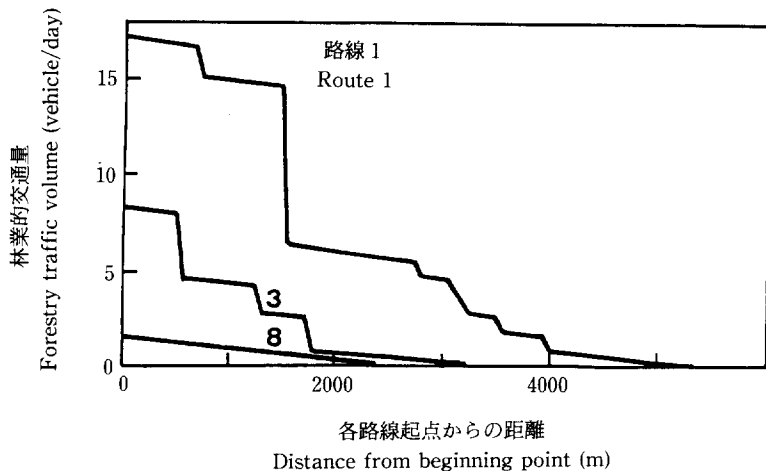


Fig. 23 路線の林業的交通量の推定（高萩）
Estimate of forestry traffic volume of each route (Takahagi)

法別の出材量や労働投入量は、「森林資源に関する基本計画」(森林計画研究会編, 1987)や林分収穫表(本多, 1990)等を参考にし, 1 林業経営期間は, 単層林施業の伐期とし, 最近の長伐期傾向を加味して 60 年を採用した。

試算結果によると, 開発森林面積が 619 ha の本線起点の林業的交通量は 17.2 台/d で, その内訳は運材車両 3.1 台/d, 人員輸送車両 14.1 台/d となり, 人員輸送車両が交通量の 8 割を占めた。開発森林面積が本線の約半分の 296 ha の路線番号 3 は 8.2 台/d, 54 ha の路線番号 8 は, 1.5 台/d がそれぞれの路線起点での林業的交通量と推定され, 終点に向けて分岐の都度, 不連続的に減少している。林業的交通量は, この例のように森林施業方法等に極端な違いがない場合, 開発森林面積とほぼ比例関係にあり, 路線終点に向けて減少するので, 林業的交通量には多くを期待できないことが再認識される(山本, 1977; 澤口, 1980)。

(4) 運材・人員輸送距離

林道網計画区域が拡大すると, 一般的に本線起点から最深部が遠隔になるので運材距離や人員輸送距離も当然長くなる。輸送距離の増加は, 高規格で輸送効率の良い林道網に対しては, 輸送費用でみる限り経済的に有利に働き, 逆に低規格の林道網では不利に働く。Fig. 24 は, 運材, 人員輸送距離の分布状況をみるために, 本線起点から各路線起点までの距離に各路線延長を加えた図である。

この例では, 本線延長が約 5 400 m であるのに対し, 運材・人員輸送距離の単純平均は, 本線延長の約 6 割に当たる約 3 300 m で, 3 000 m 程度の路線が多く分布している。平均運材・人員輸送距離は, 林道網が高密かつ均一に配置されている場合には, 森林作業の重心位置と本線起点からの距離に一致するはずであることからすると(酒井秀夫, 1987), 本例は, 本線延長の約 6 割が平均運材, 人員輸送距離であることからして, 区域形状は極端な偏平がない, 本線を中心に比較的均等配置された林道網であることを裏付けている。

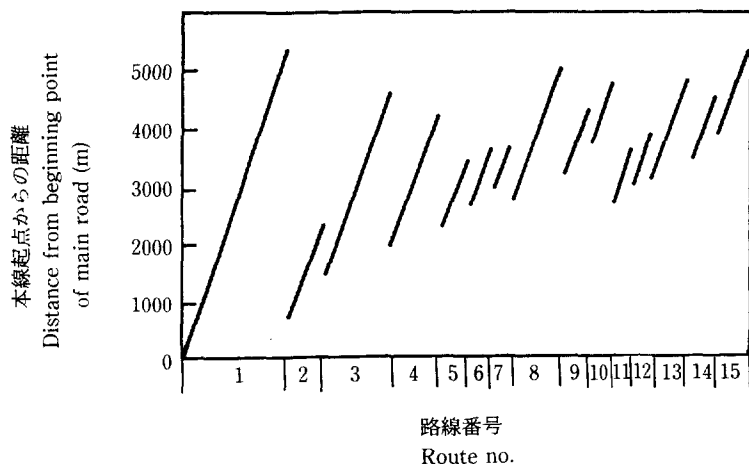


Fig. 24 各路線の運材, 人員輸送距離 (高萩)
Wood and labor transport distances of each route (Takahagi)

4 林道路線評価パラメータの特性

4.1 概説

我が国山岳林の地形は、造山帯としての数多くの特徴を備え、主要地域でそれぞれ特色を醸し出し、山地地形を表現する言葉として、“急峻で谷が深い”と形容されることが多い（中野，1967）。主として山岳林に分布する森林での、地形傾斜 30° 以上の急傾斜地は 28%， 15° 以上では 70% に達し、地域的には、北海道・東北地方には緩傾斜地が広く分布し、東山・近畿・四国の西日本には急傾斜地が多い（中央林業相談所編，1964）。我が国の林業地の地形傾斜分布曲線を測定した例（堀・李，1989）や、北海道、本州、四国の代表的な林業地の地形を測定した、4.6.1 の結果を中部欧州地域（DIETZ ら，1984）と比較しても、地形の困難さが裏付けられる。

急峻複雑な山岳林を対象にする林道網計画では、路線評価に必要な費用関数のパラメータである開設費、維持管理費、用地費の林道費用や集材費、歩行費に及ぼす地形の影響は大きい。また、山岳林地形は、林道網の路線配置に制約を与えるのは明らかであり、集材費や歩行費を適切に推定するためにも、路線配置の偏りの度合いを解明することが欠かせない。本章は、林道路線評価の費用関数の設定に必要な、パラメータの特性を論議するものであり、各節の概略は以下の通りである。

4.2 では、地形図から開設費を簡易に予測する手法を示し、開設費は、林道規格と地形傾斜の因子で説明できることを述べた。工種選択や地形の関係から開設の特性を論じ、林道規格による開設費の特徴を比較した。路線評価に必要な開設費関数と維持管理費関数を、林道規格と地形傾斜で設定した。

4.3 では、林道開設による潰れ地を林道規格ごとの用地構成の実態から明らかにして、用地幅を予測し、用地費関数を設定した。

4.4 では、運材費、人員輸送費及び歩行費の単位費用を試算した。運材費、人員輸送費は林道規格別に算定し、各費用と規格の関係を説明した。歩行費は、林道密度との関係が深く、生産費を得る上で必要な費用であることを述べた。

4.5 では、集材システムと集材費の関係をとりまとめた。架線系集材システムと車両系集材システムで設定された集材費関数を基に、集材距離と地形傾斜と林道規格の関係から、最適集材システムを構築して、林道密度整備水準の検討を可能にした。

4.6 では、林道密度との関係で集材費や歩行費を正確に予測するために必要な、林道密度修正係数の概略値を解明した。また、設計要素による幾何構造評価と迂回率を指標に林道規格と線形の間接関係を検討し、路線評価に際して路線配置を行う場合の線形の扱いを論じた。

4.2 開設費と維持管理費

開設費は、林道網計画に欠くことのできない重要な計画因子である。本節の主要な目的は、開設費に影響を及ぼす因子を特定し、開設費の予測を合理的に行うために必要な予測式を、地形解析による実験的方法で統計的に得、開設費関数を設定することにある。この種の研究には、藤原(1969)、小林(1983)、山本・益子(1988)等があり、地形と開設費の関係を一様に認めている。ここではさらに、林道規格と開設費の関係を地形まで含めて明らかにするのを目的とした。本節では、林道規格で開設される林道

1～3級と、それ以外の作業林道に区分して分析を進めた。

4.2.1 林道開設費の特性

(1) 資料及び方法

資料は、都道府県に依頼して得た昭和60年度から昭和62年度に開設された民有林公共林道79路線(35府県)の設計書、計画路線実態調査及び地形図である。経済変動の影響を受けるものを分析対象とする場合、資料の時間的変動が問題となるが、当該期間の開設単価の上昇は、行政の資料等からみて1%程度とみられ(林野庁, 1991)、また、トンネル等の特殊で規模の大きい構造物は含んでいないので、資料の均一性に問題はない。

林道の開設費用には、開設に要するすべての経費を対象とする事業費を始めとし、工事費、本工事費、工事原価、純工事費あるいは直接工事費などの区分がある。開設に要する経費の主要な区分である事業費、本工事費、直接工事費の関係をFig. 25に示す。各費用の間には、次式の関係が成り立つことから、分析の目的によってそれらを使い分けても差し支えない。

$$y_1 = 0.91x + 0.15 \quad (r = 0.998^{**}) \quad (33)$$

$$y_2 = 0.67x - 1.96 \quad (r = 0.997^{**}) \quad (34)$$

ただし、 y_1 ：本工事費(千円/m)、 y_2 ：直接工事費(千円/m)、 x ：事業費(千円/m)、 ** ：相関係数(r)の有意味水準0.01

林道網計画に用いる費用は、林道整備に要するすべての経費とすべきなので、開設費の予測は事業費をベースとした。

資料の概要をTable 11に示す。資料数は、林道1級(幅員5.0m)が22路線、同様に林道2級(4.0m)29路線、林道3級(3.0m)28路線の合計79路線で、調査総延長は55.9kmである。土質は、砂から軟岩(I)の占める割合である。林道規格のそれぞれのグループの地形傾斜、谷密度、土質等は類似の値なので、規格間の自然的な開設条件はほぼ同じとみなすことができる。

路線周囲の地形傾斜及び谷密度は、1/50 000の地形図上で、林道の起点から、100mおきに同心基円による方法で測定し(堀, 1965)、その平均値を当該路線の値とした。谷密度は、同心基円半径(R)=500mの範囲に含まれるすべての谷の数を測定し、 km^2 あたりに換算した値である(西村, 1971)。その他の調査項目は、設計書及び計画路線実態調査から得た。本章の民有林公共林道79路線

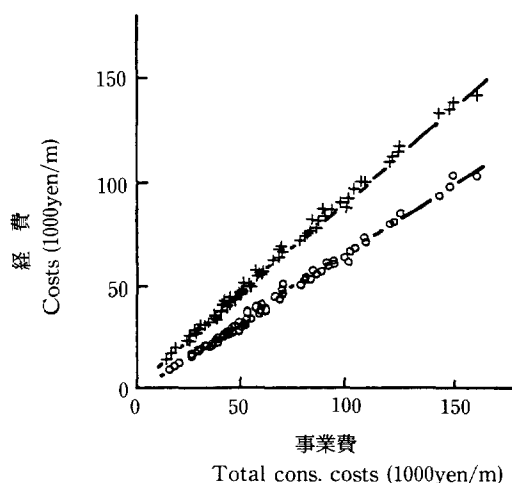


Fig. 25 事業費と他の開設費用区分との関係
Relationships between total construction costs and itemized costs

+, 本工事費;
Direct plus indirect
cons. costs o, 直接工事費
Direct cons. costs

Table 11. 林道の資料概要
Outlines of materials of forest roads (regular)

林道規格 Forest- road stan- dards	標本数 Samples	工事延長 Annual cons. lengths (m/route)	地形傾斜 Terrain slopes (%)	土質 Soil (%)	谷密度 Valley den- sities (piece/km ²)	開設費 Cons. conts (1 000yen/m)
林道 1 級 1st grade	22	700	45	88	22	88.0
林道 2 級 2nd grade	29	740	42	91	20	62.2
林道 3 級 3rd grade	28	679	48	94	20	44.0

を資料とするデータは、すべて本節の方法で得た。

(2) 林道開設費に影響を与える因子

ア. 開設費を予測するための地形の測定範囲

同心基円を用いて地形傾斜を測定する場合、測定範囲は同心基円半径(R)が小さくなる程、測定誤差も大きいことから、一応 $R=250$ m が精度上の限界とされている(藤原, 1968)。しかし、大きな R を用いると、路線周辺から離れた場所の地形傾斜を測定することになる。つまり、路線周囲の地形傾斜を測定するための R は、測定誤差による精度と、異なる地形傾斜を測定することによる正確度の兼ね合いになる。そこで、異なる R (100, 250, 500 m) で得た地形傾斜と開設費の相関関係から、開設費を予測するための適当な R を検討した。

Fig. 26 は、 R ごとの地形傾斜と林道規格別の開設費の相関係数(r)である。図中の { } は、左から $R=100$ と 250 m, 100 と 250 と 500 m, 250 と 500 m の測定値の加重平均から計算した r である。この結果から、 R が大きいほど r は低く、 $R=100$ m では測定誤差を伴う可能性があるものの、他の R による測定に比べて、林道周辺の開設費を最もよく予測できることが分かった。上位規格の林道ほど、開設費と地形傾斜の r が高いことは、高規格の林道ほど地形傾斜の影響が大きいことを示している(山本・益子, 1988)。

イ. 開設費に影響を与える因子

開設費に影響を与える主要な因子を特定するため、数量化1類を用いて分析した。分析は、開設費を外的基準に、開設費に影響を与えると考えられる、11 因子をアイテムに選定して行った。アイテムは、自然条件を地形傾斜、谷密度、土質、工事内容を幅員、工事延長、路線の位置、路線の高低差、社会的背景を地域指定、財政力、人家、林業効果指数でそれぞれ代表させた。結果を Table 12~15 に示す。数量化1類のためのカテゴリー分類は、11 アイテムで29のカテゴリーとした(Table 12)。Table 13 は、アイテムの内部相関表であるが、相関係数に極端に高いものがないので、アイテムの選定は妥当といえる。Table 14 にスコアと偏相関係数、Table 15 にアイテムを変えた場合の重相関係数の変化を示す。

この結果、開設費を説明するアイテムとして、11 因子を用いた場合の重相関係数は 0.872 なので、開

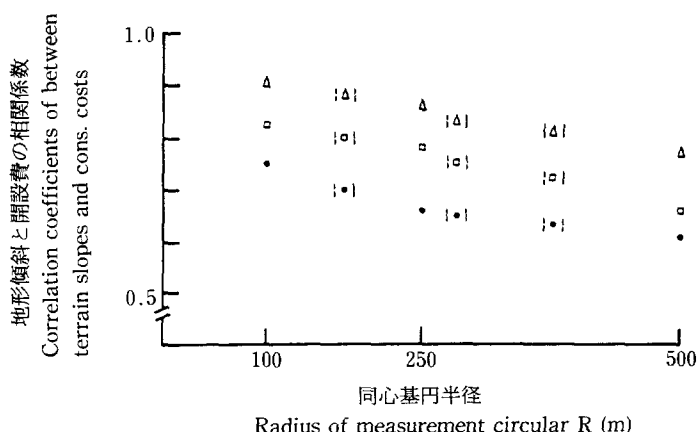


Fig. 26 同心基円半径別の地形傾斜と林道開設費の相関係数
Correlation coefficients of between terrain slopes and cons. costs by every radius of circular

△, 林道1級: 1st grade □, 林道2級: 2nd grade ●, 林道3級: 3rd grade

設費の8割近くはこの11因子で説明できた。レンジ、偏相関係数及びアイテム数を変えた場合の重相関係数を検討すると、開設費に影響を与える主要な因子は地形傾斜、林道規格(幅員)、土質、工事延長であるのが分かる。この4因子を、地形傾斜と林道規格の2因子に絞った時の重相関係数は0.829であり、4因子の場合の0.861と開設費の予測の精度に差がなく、この2因子で開設費の7割程度が説明できた。地形傾斜と林道規格の開設費に対する偏相関係数は、それぞれ0.63と0.64で他のアイテムに比べて高さが際立ち、土質は意外に低く0.28、谷密度は0.01にすぎない。以上の結果は、開設費を支配する主因子は、自然的条件を代表する地形傾斜と工事内容を代表する林道規格であることを示し、土質、路線の位置、あるいは路線を取り巻く社会的条件等は、開設費にあまり影響を及ぼさない因子であることを裏付けた。

(3) 林道開設費の特性

ア. 林道規格と工種選択

林道規格間の開設費の差は、工事に影響を与えると考えられる地形条件がほぼ同一であるにもかかわらず (Table 11), 林道3級の44 000 円/mに対して、林道1級は88 000 円/mと大きな開きがある。開設費比では、林道3級: 林道2級: 林道1級=1:1.4:2.0となる。ここでは、最初に林道規格間の開設費比の意味を考察する。開設費比1:1.4:2.0は、Fig. 27に図示した、実際の切取土量比1:1.5:1.9と盛土量比1:1.5:2.1にほぼ一致する。この土量比は、林道の横断面形として、全幅員を3, 4, 5 mとし、擁壁のない、地山勾配と切取(盛土)勾配の二つの角度が等しい、相似横断面モデル (Fig. 28)を想定した場合の断面積比1:1.8:2.8に比べて、小さな値である。相似横断面モデルの土量比に比べ、現実の土量比が小さい原因には、①工事延長がある程度以上長くなると、土工を必要としない箇所がで

Table 12. 数量化1類による林道開設費の予測のためのカテゴリー分類
 Classifications of categories for estimate of forest-road construction costs by the quantification theory (I)

ア イ テ ム			カ テ ゴ リ					備 考
Items			Categories					Notes
			1	2	3	4	5	
地形傾斜 Terrain slopes (%)	(%)	x_1	～30	～40	～50	～60	61～	同心基円による測定値 (R=100m) Measurement value by using circular plastic plate
幅員 Widths (m)	(m)	x_2	3	4	5			全幅員 Width of forest roads with shoulder
土質 Soil (%)	(%)	x_3	0	～20	21～			軟岩II～硬岩の占める割合 Ratio of rock to soil
工事延長 Annual cons. lengths (m/year)	(m/年)	x_4	～500	～1 000	1 001～			当該年度の開設延長 Length of being constructed during one year
地域指定 Sorts of regions		x_5	有 Yes	無 No				振興山村、過疎地域の指定 Designation of mountainous village or depopulation region
路線の位置 Locations		x_6	沢沿 Valley	中腹 Mid-slope	尾根 Ridge			林道の作設位置 Forest roads location
路線の高低差 Height differences (m)	(m)	x_7	7 未満	7 以上				水平距離100m当たりの高低差 Height difference of route per 100m at horizontal plane
財政力 Finance of prefecture		x_8	無 Rich	有 Poor				開発指定事業の補助率の引き上げ Financial condition of prefecture
人家 Houses		x_9	無 No	有 Yes				利用区域内の人家 House existence within forest area being exploited
林業効果指数 Indices of road effectiveness		x_{10}	2 未満	2以上				補助事業の採択基準 Adoption standard of subsidized business
谷密度 Valley densities (number/km ²)	(個/km ²)	x_{11}	20未満	20以上				路線周囲の谷の個数 Number of valley along route
林道開設費 (千円) y Construction costs of forest roads								事業費 (千円/m) Construction costs (1 000yen/m)

Table 13. 林道開設費を予測するアイテムの内部相関表
Correlation table between items for estimation of construction costs of forest roads

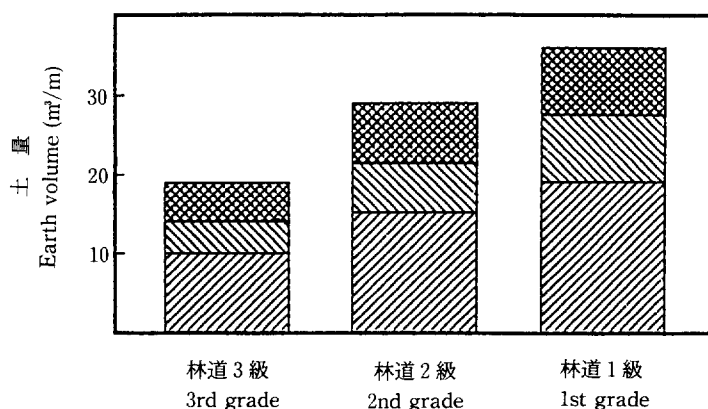
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
x_1	1.00										
x_2	-0.11	1.00									
x_3	0.50	0.17	1.00								
x_4	0.35	-0.05	0.23	1.00							
x_5	-0.14	0.14	-0.06	-0.11	1.00						
x_6	-0.16	-0.15	-0.02	-0.08	-0.06	1.00					
x_7	-0.04	-0.24	-0.15	0.22	0.24	-0.01	1.00				
x_8	-0.06	-0.03	0.20	0.08	-0.10	-0.03	-0.03	1.00			
x_9	0.11	0.52	0.26	-0.09	0.06	-0.19	-0.13	0.07	1.00		
x_{10}	-0.20	0.08	-0.41	-0.16	-0.04	0.10	-0.16	-0.04	-0.03	1.00	
x_{11}	0.25	0.10	0.25	0.21	0.01	0.09	-0.17	0.08	0.08	0.21	1.00
y	0.60	0.51	0.59	0.35	0.08	-0.12	-0.07	0.03	0.39	-0.17	0.28

Table 14. スコア及び偏相関係数
Scores and partial correlation coefficients

	カテゴリー Categories	標本数 Samples	スコア Scores	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficients
x_1	1	16	15.98	55.37	0.62
	2	15	34.29		
	3	21	44.24		
	4	15	55.25		
	5	12	71.35		
x_2	1	28	0	45.08	0.64
	2	29	25.41		
	3	22	45.08		
x_3	1	39	0	18.66	0.28
	2	26	9.40		
	3	14	18.66		
x_4	1	12	0	16.78	0.24
	2	57	-3.58		
	3	10	-16.78		
x_5	1	62	0	7.54	0.17
	2	17	-7.54		
x_6	1	20	0	5.68	0.14
	2	48	-5.68		
	3	11	-4.32		
x_7	1	33	0	4.45	0.11
	2	46	4.45		
x_8	1	44	0	2.52	0.07
	2	35	-2.52		
x_9	1	42	0	1.69	0.04
	2	37	1.69		
x_{10}	1	48	0	0.63	0.02
	2	31	-0.63		
x_{11}	1	46	0	0.46	0.01
	2	33	0.46		

Table 15. アイテム数と重相関係数
Items and multiple correlation coefficients

ア イ テ ム Items											
x_1	x_1	x_1	x_1	x_1	x_1	x_1	x_1	x_1	x_1	x_1	x_1
x_2	x_2	x_2	x_2	x_2	x_2	x_2	x_2	x_2	x_2	x_2	
x_3	x_3	x_3	x_3	x_3	x_3	x_3	x_3	x_3	x_3		
x_4	x_4	x_4	x_4	x_4	x_4	x_4	x_4	x_4			
x_5	x_5	x_5	x_5	x_5	x_5	x_5	x_5				
x_6	x_6	x_6	x_6	x_6	x_6						
x_7	x_7	x_7	x_7	x_7							
x_8	x_8	x_8	x_8								
x_9	x_9	x_9									
x_{10}	x_{10}										
x_{11}											
重相関係数 Multiple correlation coefficients	0.872	0.872	0.871	0.871	0.871	0.869	0.867	0.861	0.851	0.829	0.613

Fig. 27 林道規格と土量
Earth work volume of every forest road standard

切土量； Cutting
 盛土量； Banking
 捨土量； Waste

る。②側溝，拡幅等が組み合った，現実的林道数の規格間比は，相似横断面モデルの全幅員の比より小さいと推測される。例えば，側溝等を1mと仮定した場合，土量比は1:1.6:2.3となる。ことなどとともに，③上位規格の幅員の広い林道ほど，潰れ地の増大を避けるため，擁壁の設置で土量を押さえようとするのも一因と思われる。しかしながら，③は実際の土量比と開設費比がほぼ同じ値なので，影響は小さいとみられる。

直接工事費の金額の工種別内訳と構成割合を示した Fig. 29 及び 30 から，林道規格による工事内容の特徴を拾うと，①各工種の金額は，規格の高い林道ほど大きい。②経費の構成割合は，上位規格の林道

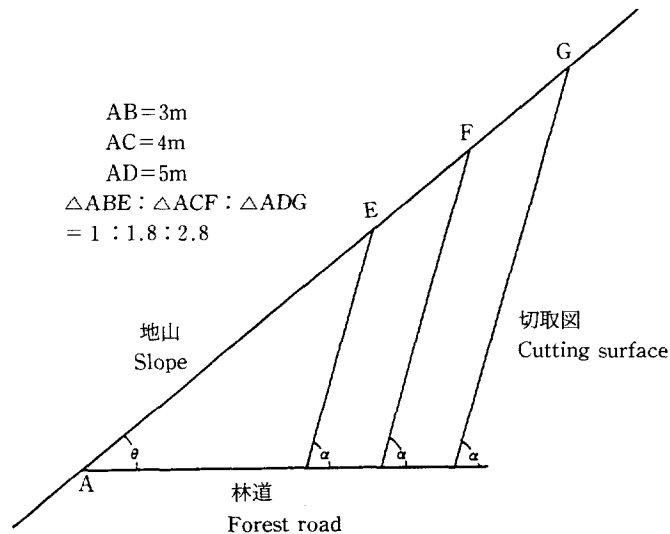


Fig. 28 林道の相似横断面図 (全切)
Design of similar cross section of forest road (all cutting)

ほど擁壁費割合が大きい傾向にあるが、構成割合に極端な違いはない。③土工費割合の差はほとんどなく、全体に占める割合も35%と少ない。④路盤工費、排水工費の差は、他の工種に比べて小さい。ことなどが上げられる。

この結果は、林道規格による開設費の差は、工種選択ではなく、主として幅員の違いから生じる土量に起因することを意味し、規格に関係なく画一的な工事が行われているのを表す。林道は恒久的な施設なので、規格にかかわらず同様の工事内容でしかるべきとの考えもあろうが、急速な林道整備を進めなければならない現状では、規格に見合った工事方法のあり方、就中擁壁工、排水工等のあり方の技術的検討が迫られているといえよう。

イ. 林道開設費と工種選択

4.2.1(2)では、数量化1類を用いて開設費の予測手法を示した。ここでは、そこで用いた資料から得た、林道開設費を予測する重回帰方程式として(35)式を示す。

$$y = -67.525 + 1.241 x_1 + 23.252 x_2 + 0.299 x_3 - 0.027 x_4 \quad (r = 0.87^{**}) \quad (35)$$

ただし、 y : 開設費 (千円/m), x_1 : 地形傾斜 (%), x_2 : 幅員 (3 m, 4 m, 5 m), x_3 : 土質 (軟岩IIから硬岩の占める割合), x_4 : 工事延長 (m), **: 重相関係数 (r) の有意水準 0.01

(35)式の r は0.87であり、開設費の8割近くがこの式で説明できる。(35)式からも、説明変数として地形傾斜と林道規格(幅員)が開設費に敏感であるのが分かる。 r が0.87にとどまる原因は、①地形傾

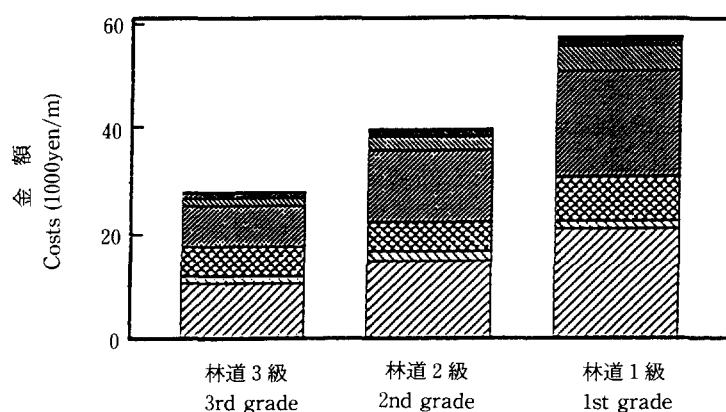


Fig. 29 直接工事費の工種別金額内訳
Itemized costs of direct construction costs

土工; Earth work
 擁壁工; Retaining wall
 路盤工; Ballasting
 法面保護工; Slope protection
 排水工; Drainage
 安全施設等; Others

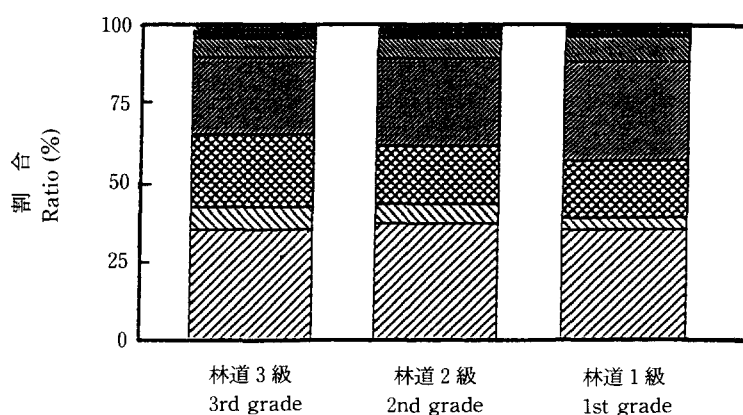


Fig. 30 直接工事費の工種別構成割合
Composition ratios of direct construction costs

土工; Earth work
 擁壁工; Retaining wall
 路盤工; Ballasting
 法面保護工; Slope protection
 排水工; Drainage
 安全施設等; Others

斜等の測定精度等に起因する説明変数の問題、②個々の路線設計に起因する問題、の2要因が考えられる。①は、多少の測定誤差は開設費に大きな影響を与えないことが、(35)式の説明変数の係数の大きさから分かるので問題ない。以下、同一規格で地形傾斜がほぼ同じであっても、開設費に大きな差が生じ

る原因を、直接工事費の分析から明らかにする。

(35)式で得た予測値は、説明変数の条件での工事に要する経費の標準的な値である。従って、予測値と観測値の残差を利用し、工種別の費用を分析すると、工事の難易性を近似した条件で、経費の掛かり増し工事、低廉に済む工事の特性を知ることができるはずである。このような観点から、調査路線を標準的な工事に比べて経費の掛かり増しの多い、予測値に比べ観測値が大きい15路線(Aグループ)、残差の小さい標準的な49路線(Bグループ)、低廉な15路線(Cグループ)にグルーピングし分析を進めた。Table 16 及び 17 は、グループの平均の切盛捨土量と直接工事費の工種別構成割合である。この結果によると、Aグループの特色としては、土量が多いこととともに、擁壁費の割合の高さが際だち、それは

は土工費割合をも上回っていることが上げられる。一方、Cグループは、土量に比べ土工費割合の多さが目立ち、土工を主体とした工事であるのが分かる。

次に、路線ごとに土工費と擁壁費の関係を示した Fig. 31 によると、Aグループはどちらかという、土工費または擁壁費の両者、またはいずれかが多い路線で構成されているのに対し、Cグループは土工費が多い割に、擁壁費の少ない路線

Table 16. グループ別の土量
Earth work volume of each group

区 分 Classifications	切土量 Cuttings (m ³ /m)	盛土量 Banking (m ³ /m)	捨土量 Wastes (m ³ /m)
Aグループ A-group	18.2	6.6	9.6
Bグループ B-group	13.1	6.1	5.8
Cグループ C-group	15.1	5.1	7.9

Table 17. 直接工事費の構成割合
Composition ratios of direct construction costs

区 分 Classifications	土 工 Earth works	路 盤 Ballast- ing	排 水 Drain age	擁 壁 Retaining walls	法面保護 Slope protection	その他 Others	計 Totals (%)	(金額) (costs) (1 000yen/m)
Aグループ A-group	30.5	2.7	15.6	37.8	8.7	4.7	100.0	(67.9)
Bグループ B-group	35.1	7.6	22.4	25.0	6.6	3.3	100.0	(32.6)
Cグループ C-group	43.5	3.5	16.9	27.4	4.9	3.8	100.0	(37.7)

で構成されているのが表れている。土工費、擁壁費以外の経費は、グループ間で大きな違いはみられず、ほぼ同内容の工事が行われている。

開設費を決定する主要因である、地形傾斜と擁壁費、土工費の関係をプロットしたのが Fig. 32 及び 33 である。これによると、Aグループは、地形傾斜の割に擁壁費が多い路線で構成されているのに対し、逆に、Cグループは擁壁費が少ない路線で構成されることが明瞭に表れている。地形傾斜と土工費の関係は、擁壁費で見られたほどグループ間に明瞭な関係はなく、かなりバラツク結果となった。以上の結果は、開設費の掛かり増しに及ぼす擁壁費の影響の大きさを裏付け、地形傾斜に対する土工費、擁壁費のバラツキの大きさは、設計技術の改善によって、開設単価の低減を期待させる。

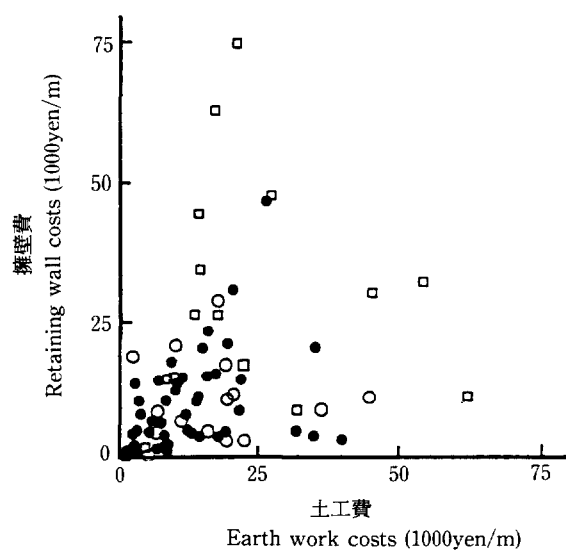


Fig. 31 土工費と擁壁費の関係
Relationships between earth work costs and retaining wall costs

□, Aグループ; ●, Bグループ; ○, Cグループ
A-group B-group C-group

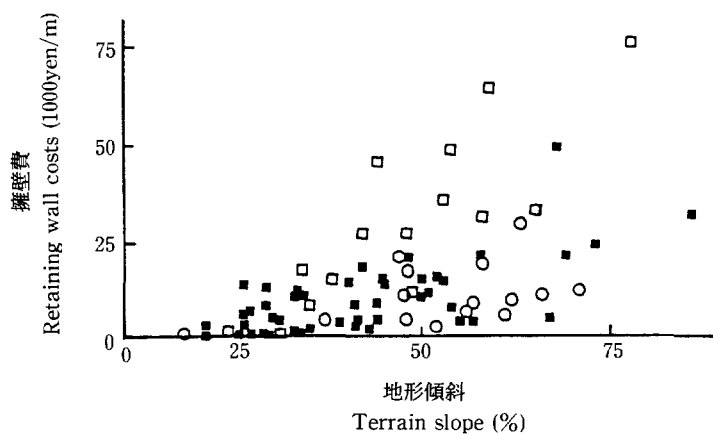


Fig. 32 地形傾斜と擁壁費の関係
Relationships between terrain slopes and retaining wall costs

□, Aグループ; ●, Bグループ; ○, Cグループ
A-group B-group C-group

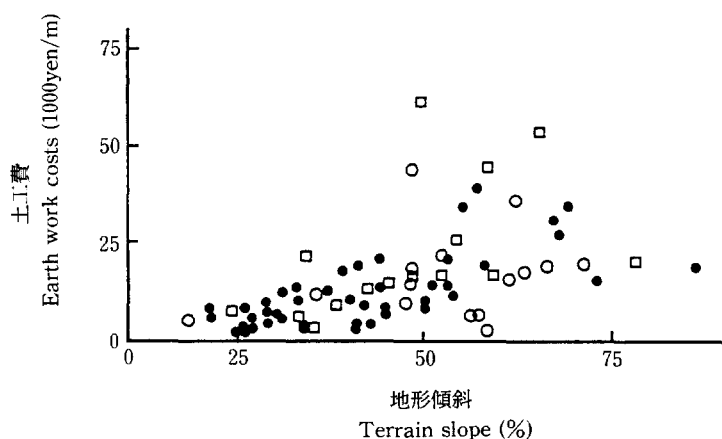


Fig. 33 地形傾斜と土工費の関係
Relationships between terrain slopes and earth work costs

□, Aグループ; ●, Bグループ; ○, Cグループ
A-group B-group C-group

ウ. 地形傾斜と工種選択

開設費を支配する主因は、林道規格と地形傾斜であることは4.2.1(2)イで述べた。そこでは、上位規格の林道ほど開設費は地形傾斜に敏感に反応する傾向があったが、地形傾斜と工種別経費の相関関係を分析することで、原因を明らかにする。分析結果を Table 18 及び 19 に示す。この結果から、地形傾斜とかなり高い相関関係にある工種経費としては、土工費と擁壁費が上げられ、最も関係が深いのは土工費であることが分かる。しかし、両経費と林道規格間に一定の傾向は認められない。土工費と擁壁費を併せた場合の、経費と地形傾斜との相関係数(r)は0.8を越える強い相関関係になり、種々の経費を加えると、規格の高い林道ほど r は高くなる。高規格の林道ほど、各工種が地形傾斜に敏感に反応する傾向があるため、工事全体として r が高くなったと思われる。土工費と擁壁費の地形傾斜との r は、それぞれ0.65~0.76, 0.55~0.63であるのに対し、土工費と擁壁費を加算した経費と地形傾斜の r は

Table 18. 地形傾斜と工種別経費の相関係数
Correlation coefficients between terrain slopes and costs of construction methods

林道規格 Forest-road standards	土 工 費 Earth works	路 盤 Ballast- ing	排 水 Drainage	擁 壁 Retaining walls	法面保護 Slope protection	安全施設 Safety facilities	そ の 他 Others
林道 1 級 1st grade	0.76**	0.37	0.01	0.63**	0.14	0.50*	0.41
林道 2 級 2nd grade	0.65**	0.30	0.10	0.55**	0.10	0.26	0.10
林道 3 級 3rd grade	0.72**	0.67**	0.12	0.60**	0.08	0.25	0.25

注) 相関係数(r)の有意水準は、**0.01, *0.05である。
Note: **, Significant at the 0.01 level; *, Significant at the 0.05 level.

Table 19. 地形傾斜と開設費各区分の相関係数
Correlation coefficients between terrain slopes and sorts of construction costs

林道規格 Forest-road standards	土工費と擁壁費 Earth work costs + Retaining wall costs	直接工事費 Direct cons. costs	事業費 Total cons. costs
林道1級 1st grade	0.89**	0.89**	0.90**
林道2級 2nd grade	0.86**	0.83**	0.83**
林道3級 3rd grade	0.81**	0.77**	0.75**

注) 相関係数(r)の有意水準は、**0.01, *0.05である。

Note: **, Significant at the 0.01 level; *, Significant at the 0.05 level.

0.81～0.89 と高いことから、長い工事区間でも土工費と擁壁費の関係は、負の関係が成り立つのが分かる。土工費と擁壁費を併せた経費は、直接工事費のほぼ7割を占めており、両工種を併せた経費と開設費の間に強い相関関係($r=0.95$)が存在することから、両工種で開設費が決定されるといえる。

4.2.2 作業林道開設費の特性

(1) 資料及び方法

資料は、道府県に依頼して得た、平成2年度から平成5年度に開設された路線(北海道他12府県)の設計書と路線の位置を図示した基本図(縮尺1/5 000)である。対象路線は国庫補助、地方単独補助の各事業で開設されたものである。3.2.2でも述べたように、資料の収集に際しては、特に、作業林道の定義に該当する路線であるかに留意した。

資料の概要をTable 20に示す。資料数は64路線で、全幅員は2.5～4.0 mの範囲にある。内訳は2.5 mが2路線、同様に3.0, 3.5, 3.6, 4.0 mがそれぞれ48, 1, 4, 9路線で3.0 mの路線が7割を超えて、多数を占めている。路線周囲の地形傾斜の測定は、林道と同様に同心基円で行った。同心基円半径は50 mとし、路線起点から100 m間隔で測定した。地形傾斜以外の数値は設計書から得た。

開設費は、事業費ベースで3.0 m以下が15 109 円/m、3.0 m以上が17 835 円/mである。林道は、作業道の9倍の開設費を要するとした静岡県を対象にした報告があるが(岩川・柘植, 1986; 岩川, 1993),

本資料の作業林道の開設費は、林道

3級に比べて1/3程度の水準である

(Table 11)。路線作設位置周辺の地

形傾斜は、測定の結果平均49%であった。林道の資料は45%だったので(Table 11)、地形的な峻しさは同程度とみなすことができる。路線の年間の工事延長は626 mで、林道と同規模であった。

Table 20. 作業林道の資料概要
Outlines of forest roads (low-structure)

全幅員 Widths with shoulder (m)	標本数 Samples	工事延長 Annual cons. lengths (m/route)	地形傾斜 Terrain slopes (%)	開設費 Cons. costs (yen/m)
2.5～3.0	50	583	51	$\frac{15\ 109}{1\ 486 \sim 76\ 280}$
3.0～4.0	14	780	42	$\frac{17\ 835}{1\ 402 \sim 82\ 606}$

(2) 作業林道開設費の特性

路線別の開設費は、1 402～82 606 円/m の範囲にある (Table 20)。最高と最低の開設費の差は 55 倍に及び、路線による格差が大きい。ここでは、まず、55 倍にも及ぶ格差の原因を分析する。Fig. 34 は、開設費の分布曲線である。これによると、10 000 円/m 以下の路線がほぼ 50% を占め、90% の路線は 30 000 円/m 以下に収まる。大部分の作業林道は、林道 3 級に比較して安価に作設されているが、開設費のかかり増す特殊な路線の存在が、格差を増幅させる 1 原因なのが見える。

林道開設費に影響を及ぼす主因子は、4.2.1 で説明したように、林道規格 (幅員) と地形傾斜であった。

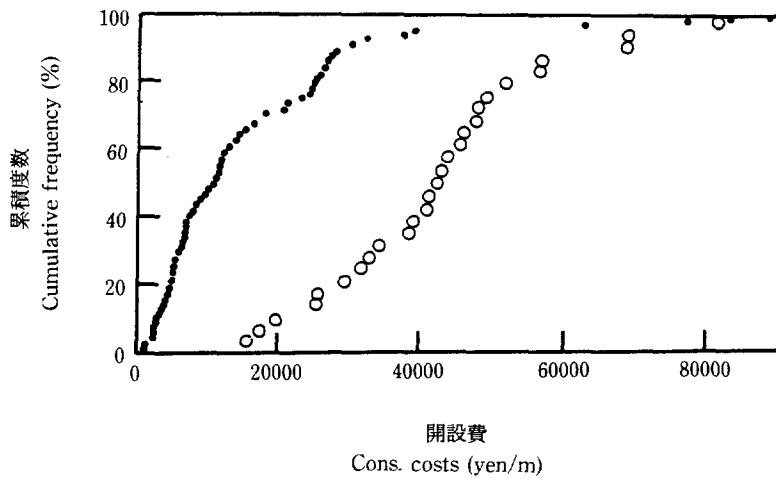


Fig. 34 作業林道開設費の累加分布
Distribution of construction costs of forest roads (low-structure)

●, 作業林道: Low-structure ○, 林道 3 級: 3rd grade

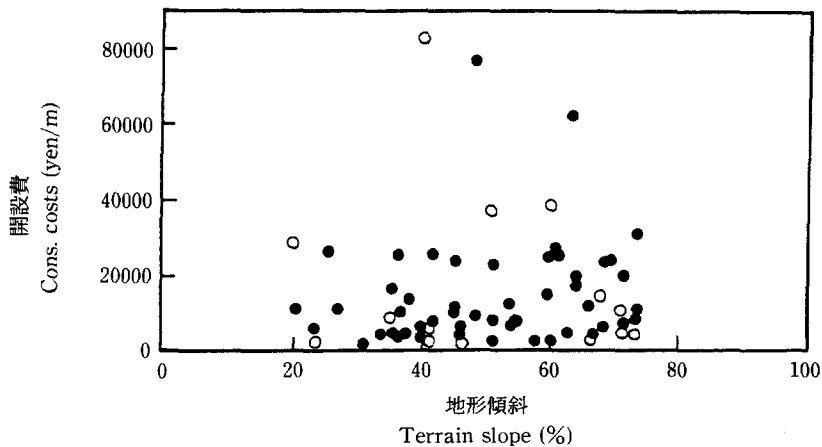


Fig. 35 作業林道開設費と地形傾斜の関係
Relationships between construction costs of forest roads (low-structure) and terrain slopes

●, 2.5~3.0m 以下: ○, 3.0~4.0m

そこで、作業林道開設費と地形傾斜の関係を幅員別に示す (Fig. 35)。開設費の平均は、3.1 m 以上の路線が 3.0 m 以下を 2 726 円/m 上回ったが (Table 20)、この図からは開設費と地形傾斜または幅員の間に、林道でみられた密接な関係は読み取れない。

作業林道の設計に関する基準は、林道とは異なり都道府県に任されている。このため、作業林道の設計に関する基本的な考え方が、都道府県で全く異なることが想像され、これが開設費に何らかの影響を及ぼしていると考えられる。開設に対する基本的な考え方の違いは、設計書様式に表れていると考えられるので、様式で路線を分類して再整理した (Table 21, Table 22)。設計書様式の“同一”は、林道設計書と全く同じ様式 (A グループ)、“類似”は林道設計書をやや簡易にした類似様式 (B グループ)、“独自”は標準断面から土工量を推定するなど、簡易な方法による独自様式 (C グループ) で設計した路線である。開設費を道府県別に示した Table 21 によると、北海道の 2 313 円/m から鹿児島県の 36 458 円/m まで開きは大きく、幅員や地形傾斜からは一概に説明できない。Table 22 は、設計書様式別の集計結果

Table 21. 作業林道の道府県別の開設費
Construction costs of forest roads (low-structure) of each prefecture

道府県名 Prefectures	幅 員 Widths with shoulder (m)	地形傾斜 Terrain slopes (%)	開 設 費 Cons. costs (yen/m)	設計書様式 Sorts of design document
北海道 Hokkaido	3.6	38	2 313	C
群 馬 Gunma	3.0	61	23 916	A, C
新 潟 Niigata	3.3	40	6 260	B
長 野 Nagano	3.0	54	20 386	A
静 岡 Shizuoka	3.0	64	20 074	A
滋 賀 Shiga	3.3	31	12 444	A
京 都 Kyoto	3.0	53	11 601	A
和歌山 Wakayama	2.8	60	14 097	A
山 口 Yamaguchi	3.0	48	4 228	B
高 知 Kochi	3.2	58	25 367	A
熊 本 Kumamoto	3.5	48	8 504	B
宮 崎 Miyazaki	3.0	62	5 896	C
鹿児島 Kagoshima	3.3	42	36 458	A

注) 1. 幅員は全幅員の単純平均値である。

2. 設計書様式は、A, 同一; B, 類似; C, 独自である。

Notes: Values of widths with shoulder are arithmetic means.

Sorts of design document are as follows: A, same as forest road (regular); B, similar; C, independent.

Table 22. 作業林道の設計書様式と開設費
Construction costs of forest roads (low-structure) of every sort of design document

設計書様式 Sorts of design document	標本数 Samples	工事延長 Annual cons. lengths (m/route)	地形傾斜 Terrain slopes (%)	開設費 Cons. costs (yen/m)
A	35	524	50	$\frac{24\,206}{6\,267 \sim 82\,606}$
B	17	584	45	$\frac{6\,322}{2\,625 \sim 11\,453}$
C	12	982	52	$\frac{4\,204}{1\,402 \sim 7\,830}$

であるが、同一、類似、独自と林道設計書様式から独自性を増すにつれて、開設費は 24 206 円/m, 6 322 円/m, 4 204 円/m と減少し、違いが著しい。A グループの開設費は、B, C グループの 4~6 倍で、林道 3 級の 1/2 である。この結果は、A グループは B, C グループに比較して、林道に近い考えで設計していることを推察させるが、このことは、次に工事内容を分析して明らかにする。いずれにしろ、作業林道に相当する路線の作設に対する考え方が、都道府県で相当違うことを裏付ける結果になった。

(36)式に、A グループの開設費を予測する重回帰方程式を示す。(36)式と林道の(35)式は説明変数が違うが、(35)式の重相関係数 (r) が 0.87 だったことからすると、 r は著しく低い。

$$y = -46.952 + 0.255 x_1 + 21.8666 x_2 - 0.018 x_3 \quad (r = 0.52^{**}) \quad (36)$$

ただし、 y : 開設費 (千円/m), x_1 : 地形傾斜 (%), x_2 : 全幅員 (m), x_3 : 工事延長 (m), **: 重相関係数 (r) の有意水準 0.01

(36)式では開設費の 3 割も説明できない。説明変数では幅員の影響が大きく、地形傾斜や工事延長はほとんど影響を及ぼさない。この結果から、作業林道の工事内容は、路線間で林道以上に違いがあるのが示されたといえる。

地形傾斜と切土量と盛土量を合計した、切盛土量の関係を Fig. 36 に示す。この図は、設計書に土量が記載されている 57 路線の散布図である。A グループを地形傾斜と切盛土量の関係で一次回帰させたところ、回帰式の相関係数 (r) は 0.45 となり、有意水準 1% で正の相関関係が認められた。同様に B, C グループの r を求めたところ 0.19 で相関関係は認められなかった。また、地形傾斜と幅員を説明変数、切盛土量を従属変数とする A グループの重回帰式を求めたところ、重相関係数は 0.61 と余り高くはないが、地形傾斜に応じて切盛土量が発生しているのが示された。作業林道 (Fig. 37) と林道 3 級 (Fig. 27) の土量を比較すると、林道 3 級は切土 10.0 m³/m, 盛土 4.0 m³/m, 合計 14.0 m³/m であるのに対し、A グループは切土 5.0 m³/m, 盛土 2.7 m³/m, 合計 7.7 m³/m とほぼ 1/2 に抑えられている。B, C グループはさらに少なく、合計の切盛土量でも 5.0 m³/m にも及ばず、作業林道の土量の少なさがうかがわれる。

A グループでは切盛土量と地形傾斜に相関関係が認められたのに、開設費と地形傾斜に相関関係が認

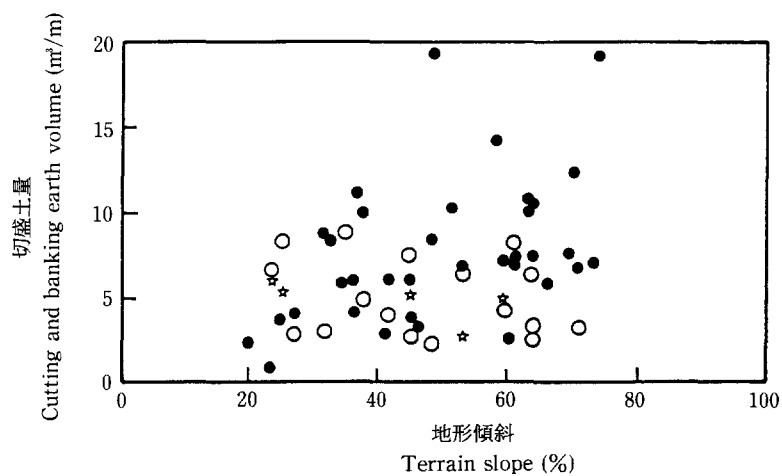


Fig. 36 作業林道の土量と地形傾斜の関係
Relationships between cutting and banking earth volume of forest roads (low-structure) and terrain slopes

●, Aグループ; ○, Bグループ; ☆, Cグループ
A-group; B-group; C-group

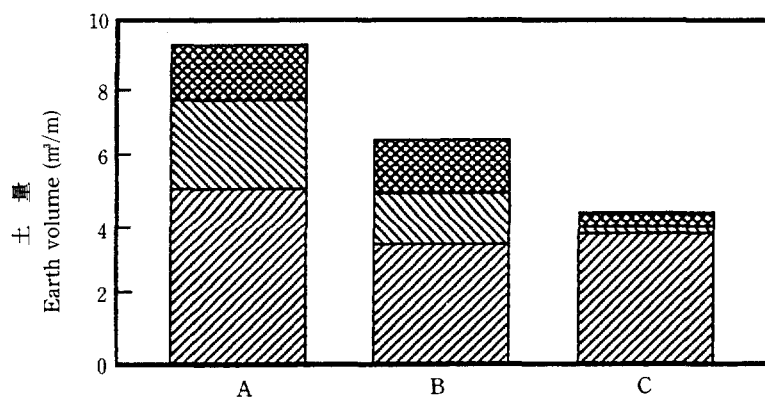


Fig. 37 設計書様式別の作業林道の土量
Cutting and banking earth volume of forest roads (low-structure) by every design document

▨, 切土量; ▩, 盛土量; ▤, 捨土量
Cutting; Banking; Waste

められないのは、路線で工種選択が異なるためと考えられる。Fig. 38 は、開設費の高い上位 10 路線の直接工事費の工種別金額内訳であるが、路線でのバラツキが大きく、土工費の多寡で開設費が決定されな
いことを示している。一方、下位 10 路線では、Fig. 39 から分かるように、土工費と路盤工費で 76% を
占め、両工種を合わせた金額も 1 500 円/m に満たず、土工中心で工種選択の余地がないのを表している。

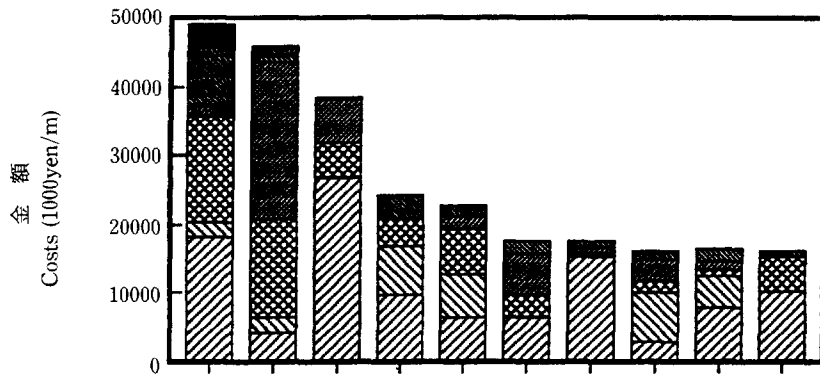


Fig. 38 開設費上位 10 路線の直接工事費の工種別金額内訳
Itemized costs of direct construction costs

土工; Earth work
 擁壁工; Retaining wall
 路盤工; Ballasting
 法面保護工; Slope protection
 排水工; Drainage
 安全施設等; Others

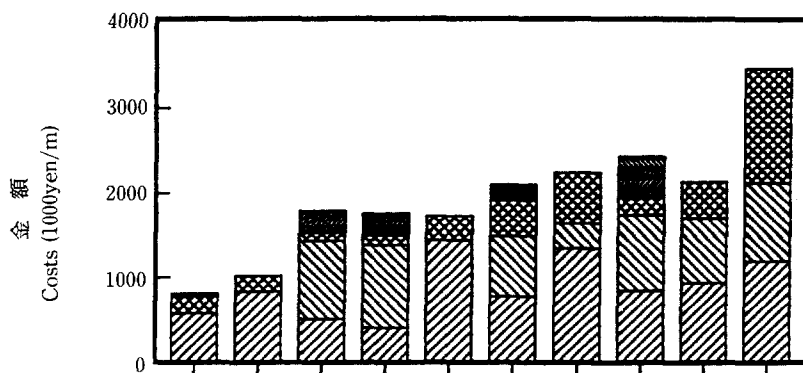


Fig. 39 開設費下位 10 路線の直接工事費の工種別金額内訳
Itemized costs of direct construction costs

土工; Earth work
 擁壁工; Retaining wall
 路盤工; Ballasting
 法面保護工; Slope protection
 排水工; Drainage
 安全施設等; Others

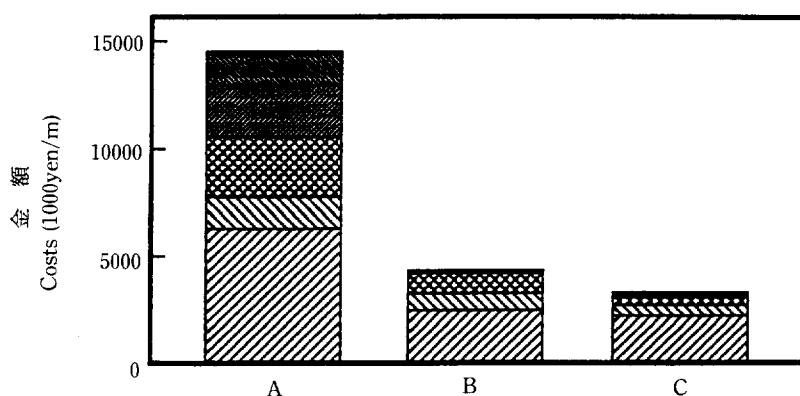


Fig. 40 直接工事費の工種別金額内訳
Itemized costs of direct construction costs

土工： Earth work
 擁壁工： Retaining wall
 路盤工： Ballasting
 法面保護工： Slope protection
 排水工： Drainage
 安全施設等 Others

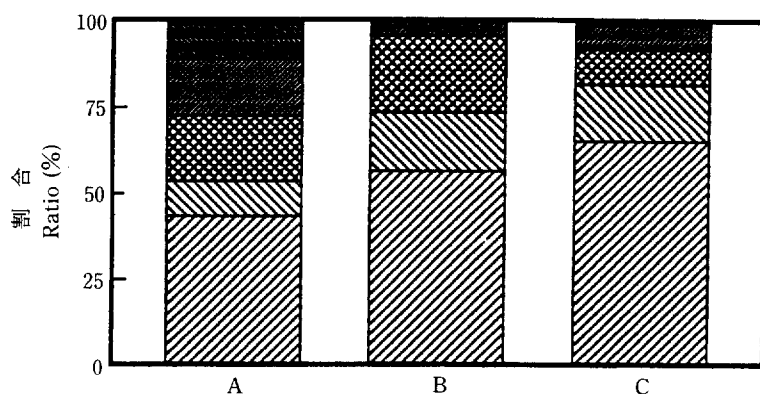


Fig. 41 直接工事費の工種別構成割合
Composition ratios of direct construction costs

土工： Earth work
 擁壁工： Retaining wall
 路盤工： Ballasting
 法面保護工： Slope protection
 排水工： Drainage
 安全施設等 Others

直接工事費の工種別金額と割合を図示した Fig. 40 及び 41 から、作業林道の工事の特徴を林道との比較を含めると、次のことがいえる。①直接工事費は、A グループでは 14 442 円/m で、林道 3 級の半分、B、C グループは 5 000 円/m に満たない。②直接工事費の構成割合は、A グループと林道 3 級が類似し、B と C グループとは異なる。土工費は 43%～65% を占め、30% 台の林道に比べて多い。特に B、C グループは土工中心で、擁壁工費の少なさが目立つ。③ A グループと林道 3 級の、法面保護工費と路

盤工費はほぼ同額である。擁壁工費の差は5 642 円/m で、土工費の差4 049 円/m なので、構造物の抑制効果が明らかにでている。

以上の分析結果から明らかなように、作業林道の位置付けや設計の基準は都道府県で異なり、工事実態は林道以上に複雑であるのが裏付けられた。

4.2.3 開設費関数と維持管理費関数の設定

(1) 開設費関数

4.2.1 で林道開設費に影響を及ぼす因子を分析した結果、林道規格(幅員)と地形傾斜の2要因が抽出された。林道規格別に、地形傾斜と開設費の関係をプロットしたのがFig. 42である。回帰式は、指数回帰による場合に適合性が高く、次式で示される。

$$y_1 = 18\,778 e^{0.032\theta} \quad (r=0.90^{**}) \quad (37)$$

$$y_2 = 17\,400 e^{0.027\theta} \quad (r=0.83^{**}) \quad (38)$$

$$y_3 = 15\,135 e^{0.021\theta} \quad (r=0.75^{**}) \quad (39)$$

ただし、 y_1 ：林道1級の開設費(円/m)、 y_2 ：林道2級、 y_3 ：林道3級、 θ ：地形傾斜(%), **:相関係数(r)の有意水準0.01

Fig. 42及び(37)～(39)式から、開設費の特色として地形傾斜が大きくなると指数的に大きくなること、林道規格の違いによる開設費の差は、地形傾斜が大きくなるとともに次第に大きくなることが上げられる。(37)～(39)式の林道1～3級の実験式は、 r の大きさから判断して、開設費の予測に用いることが可能と考えられる。従って、林道路線評価を行うための林道1～3級の開設費関数には、(37)～(39)式

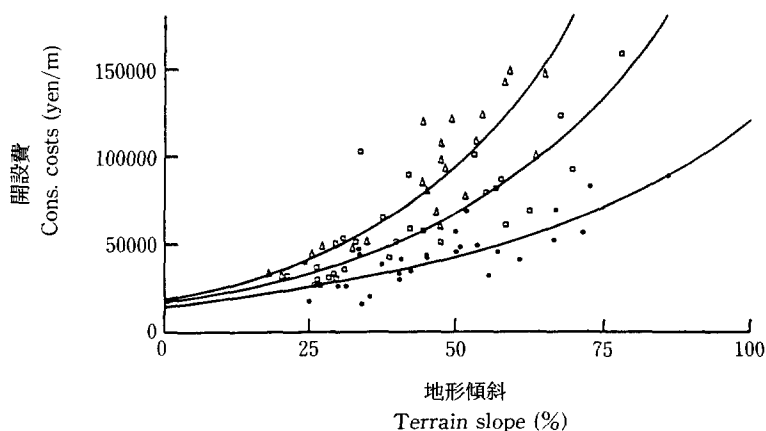


Fig. 42 地形傾斜と林道開設費の関係
Relationships between terrain slopes and construction costs of forest roads

△, 林道1級: 1st grade □, 林道2級: 2nd grade ●, 林道3級: 3rd grade

に開設単価の上昇分として、民有林林道事業のデフレータ5%（林野庁，1991）を見込んで修正した，

Table 23を用いることとする。

作業林道の開設費は4.2.2で分析したように，都道府県によって開設に対する考えが異なり，路線による違いも大きいことから，作業林道の資料を用いた実験式で，開設費を予測するのは困難と考える。このため，次に示す作業林道モデルを林道の開設費関数に適用して設定した。作業林道の主要な規格，構造は，第2報Table 1に本論で想定した林道規格と道路の構造の一覧表を掲げているが，設計車両は普通自動車，計画速度10 km/h，全幅員3.5 mとした。曲線半径は，計画速度からして林道3級をやや下回

る程度とし，縦断勾配は林道3級に準じるものを想定した。開設工事は，土工と路盤工を主体とする工事とし，擁壁等の構造物は原則として認めず，側溝は素堀，横断排水工は現場丸太等の利用とし，簡易工作物のみを想定した。従って，作業林道開設費関数の比例定数は，作業林道の全幅員として3.5 mを想定しているので，林道2級と林道3級の平均値に林道3級の直接工事費に占める土工費と路盤工費の割合を乗じた値とし，指数は，林道2級と林道3級の平均としてTable 23のとおり設定した。この結果，作業林道開設費関数は，林道3級の1/3を多少上回る水準で設定されたが，この数値は作業林道(Table 20)の調査結果にほぼ一致した。

(2) 維持管理費関数

酒井秀夫(1987)は，国有林林道等の資料をもとに開設費の1.7%を年維持管理費として見込んでいる。災害復旧費は民有林林道は金額で130 円/m・y程度であり(林野庁，1991)，この金額は開設費に対する割合では約0.2%となる(酒井秀夫，1987)。一方，国有林林道は金額で48 円/m・y程度(林野弘済会，1987～1991)で民有林林道に比較し少ないが，開設費に対する割合では，やはり約0.2%と同率となる。災害復旧以外の維持管理費は，民有林林道には全国的な実績は見当たらないが，国有林林道の修繕費は，金額で33 円/m・y程度とされ(林野弘済会，1987～1991)，開設費に対する割合では約0.1%になる。静岡県下の市町村を対象にした報告によると，修繕費と災害復旧費の合計で43～482 円/m・yとされ，行政単位で維持管理費に大きな差があると述べられている(岩川，1981)。以上のことから，維持管理費は路線，地域によってかなりの差があり，一概に決定するのは困難であるが，最近の全国的な資料を参考に，開設費に対する災害復旧費の割合は民有林林道，国有林林道とも約0.2%であること，国有林林道の修繕費が約0.1%であること，民有林林道の維持管理が国有林林道に比べて掛かり増しが予想されることなどを見込み，開設費の0.4%を林道及び作業林道の年維持管理費として費用関数を設定した(Table 23)。これは地形傾斜(θ)を10～30°とすると，35～500 円/m・yとなり文献(岩川，1981)と適合する。

Table 23. 開設費関数と維持管理費関数
Functions of construction costs, and repairs
and maintenance costs

林道規格 Forest- road standards	開設費関数 Cons. costs functions (yen/m)	維持管理費関数 Repairs and maintenance costs functions (yen/m・year)
林道1級 1st grade	$r_1 = 19\,717e^{0.032\theta}$	$m_1 = 0.004r_1$
林道2級 2nd grade	$r_2 = 18\,270e^{0.027\theta}$	$m_2 = 0.004r_2$
林道3級 3rd grade	$r_3 = 15\,892e^{0.021\theta}$	$m_3 = 0.004r_3$
作業林道 Low-structure	$r_4 = 5\,790e^{0.024\theta}$	$m_4 = 0.004r_4$

注) θ は地形傾斜(%)である。
Note: θ , Terrain slope (%).

4.3 潰れ地と用地費

林道網の整備によるマイナス効果として、潰れ地の増大による生産林地の減少が上げられる。従って、林道路線評価を行うためには、この問題にも注意を払う必要がある。林道開設に必要な用地敷は、地形の複雑さなどから標準的な横断面のみで論じきれない側面が多い。しかしながら、最近、林道用地の実態分析を行った例は見当たらない。本節では、前節と同様に林道と作業林道に区分して、用地敷の実態分析を行い、林道路線評価に必要な用地費関数を設定した。分析に用いた資料は、前節と同様である。

4.3.1 林道用地の構成と用地幅の予測

(1) 林道用地の構成

林道用地の構成をFig. 43に示す。この図は、林道設計書横断面図から各部の幅の水平距離を読み取り、これを土積計算でよく用いられる、両端断面積平均法の考えで、区間距離で加重平均して各路線の平均値を算出したものである。Fig. 43の断面と異なる場合には、例えば、両側切土、盛土及び側溝などのように同種の場合は単純に加算し、擁壁などの構造物は構築部位で切土または盛土として扱った。拡幅には退避所、車回し、盛土には土捨場、側溝には切土のステップをそれぞれ含み、切土、盛土に余幅はみない。この結果、切土のり頭から盛土のり尻までの用地幅は林道1、2及び3級それぞれ平均13.6 m(最大路線19.2～最小路線9.2 m)、以下12.2 m (21.8～7.7 m) 及び9.4 m (15.6～5.5 m) となった。この用地幅は、林道1、2及び3級の車道幅員に対し、それぞれ3.4、4.1、4.7倍、全幅員に対し、それぞ

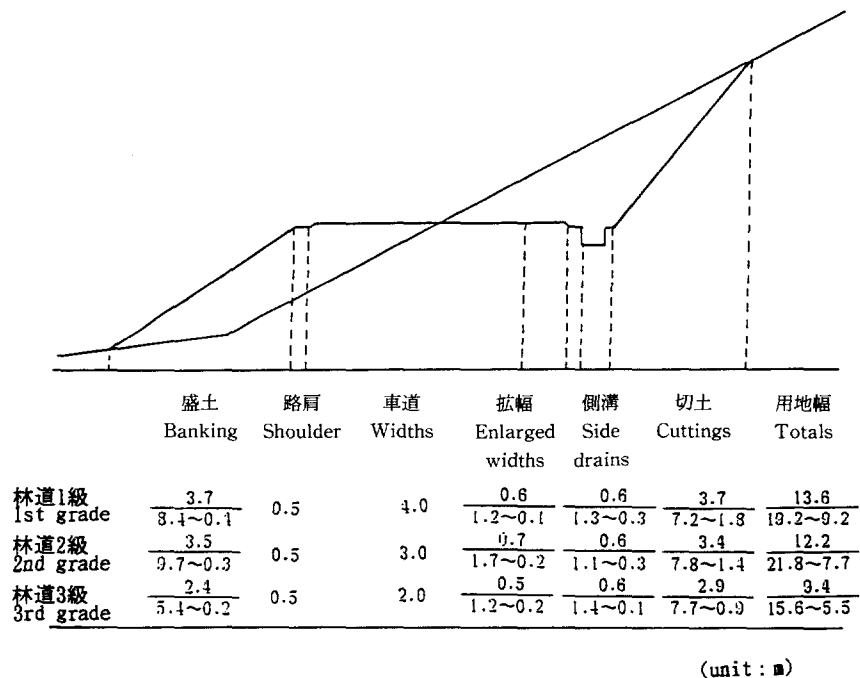


Fig. 43 林道用地の構成
Cross section of forest road

れ2.7, 3.1, 3.1倍となり、下位規格ほど幅員に対する倍率が高い。車道幅員と全幅員で倍率が異なるのは、各規格とも路肩幅員を1mとして計算したためである。拡幅は0.5~0.7m, 側溝は0.6mで拡幅、側溝ともに規格で違いがないことが示された。切土、盛土は上位規格ほど広く、それぞれ3.7m~2.9m, 3.7m~2.4mの範囲にあったが、全幅員が違うので当然である。

Fig. 44は、林道2級を例に、路線別の用地構成を地形傾斜順に並べた図である。この図から、盛土幅の変動が大きく、これが路線の用地幅を大きく左右する原因であるのが知れる。地形傾斜別に林道用地の構成例を示したTable 24によると、用地幅は地形傾斜が急勾配になると広くなり、用地各部では、切土や盛土と地形傾斜に関係がみられ、拡幅、側溝は地形傾斜にあまり関係しないのが分かる。

Fig. 45には、平均的な用地構成の路線を追加距離を追って図示した。縦軸は用地幅、折れ線は下から全幅員、拡幅、側溝、切土、盛土の各幅を累加している。盛土幅の変動が大きいことが特色として上げ

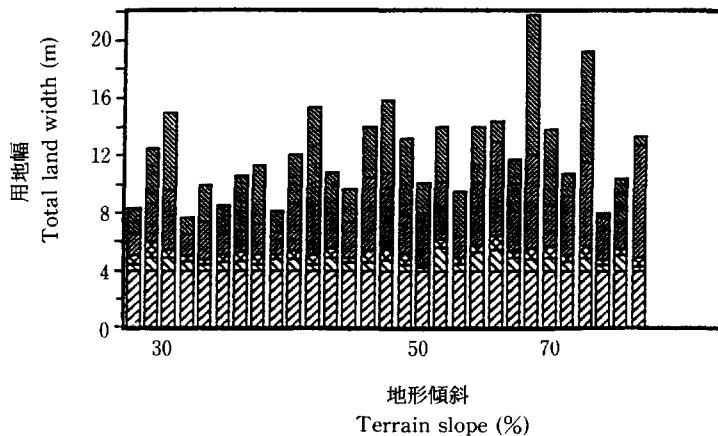


Fig. 44 路線別の用地構成の例（林道2級）
Example of land widths of every route (2nd grade)

▨, 全幅員; Width with shoulder
 ■, 切土; Cutting
 ▩, 盛土; Banking
 ▤, 拡幅; Enlarged width
 ▦, 側溝; Side drain

Table 24. 地形傾斜別の林道用地の構成例（林道2級）
Example of land widths for forest roads of every terrain slope (2nd grade)

地形傾斜 Terrain slopes (%)	車道 Widths (m)	路肩 Shoulder (m)	拡幅 Enlarged widths (m)	側溝 Side drains (m)	切土 Cuttings (m)	盛土 Banking (m)	用地幅 Totals (m)
~40	3.0	1.0	0.6	0.6	2.2	3.0	10.4
40~60	3.0	1.0	0.8	0.6	3.5	3.8	12.7
60~	3.0	1.0	0.8	0.6	4.6	3.7	13.7

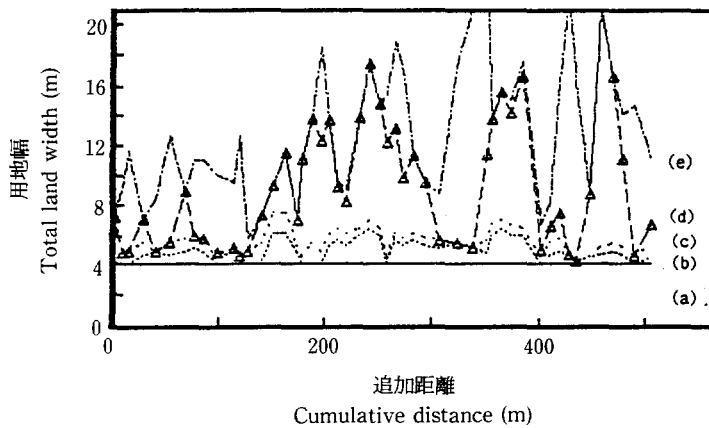


Fig. 45 追加距離別の用地構成の例 (林道2級:w線)
Example of land widths of cumulative distances (2nd grade: route w)

(a), 全幅員; Width with shoulder (b), 拡幅; Enlarged width (c), 側溝; Side drain (d), 切土; Cutting (e), 盛土; Banking

れるが、このことから既述の、用地幅を広くする原因が盛土にあることが裏付けられる。この路線は、用地幅の変化に周期性が見受けられるが、これは地形の褶曲の影響が現れたと推察される。

(2) 林道用地幅の予測

ア. 用地幅に影響を与える因子

用地幅は、林道規格等の工事因子と地形傾斜等の路線周囲の地形因子で概略決定されと考えられる。用地幅の考察に際し、まず、用地幅に影響を与える因子の重みを、用地幅と各因子の相関係数から分析した。工事因子は、林道規格（全幅員）、開設経費の掛かり増し指標として単価指数（開設単価/地形傾斜）、擁壁設置の影響指標として擁壁費率（擁壁費単価/開設単価）の3因子、地形因子は、地形傾斜、谷密度及び土質（工事土量に占める軟岩IIから硬岩の割合）の3因子とした。

結果をFig. 46に示す。相関係数(r)から、用地幅と0.05の有意水準で関係がある因子は林道規格(全幅員)、単価指数及び地形傾斜であり、土質、谷密度との関係は認められなかった。全幅員に拡幅と側溝幅を加えた全幅員等は、林道規格と強い相関関係があるのは当然である。切土幅は、地形傾斜と単価指数に関係が深く、盛土幅は全幅員と擁壁費率との相関が比較的高かったが、地形傾斜との r は0.1を下回った。擁壁費率は、盛土幅との関係で唯一、負の相関関係が成り立ち、擁壁の設置は盛土幅の減少をもたらすことを示した。しかし r は-0.3に達せず、この程度の擁壁の設置は、全体の用地幅の減少に余り影響を及ぼさないことが分かる。単価指数との関係で r が正なのは、この程度の単価の掛かり増しは、やはり用地幅に影響を及ぼさないことを示している。以上の結果から、用地幅を予測する因子は、林道規格と地形傾斜の2因子でよいことになる。

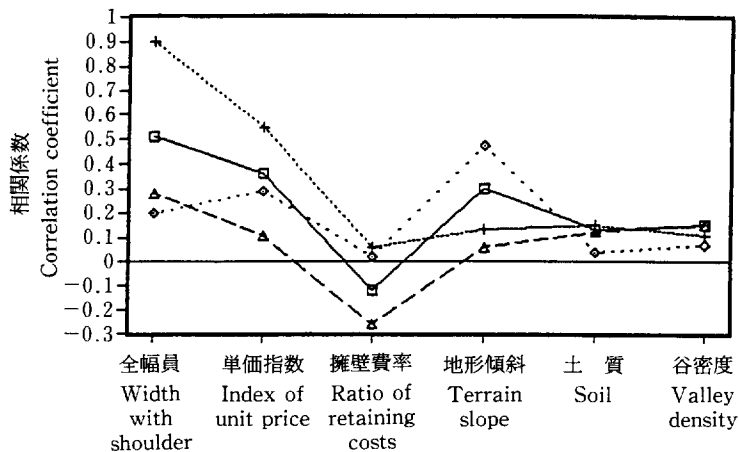


Fig. 46 林道用地幅に影響を与える因子の相関係数
Correlation coefficients of factors of effect on forest road land width

---+---, 全幅員等; —□—, 用地幅; —△—, 盛土幅; ...◇..., 切土幅;
Width, shoulder side Land width Banking width Cutting width
drain and enlarged
width

イ. 用地幅の予測

用地幅を予測するための実験式として、地形傾斜と林道規格の関係からTable 25を得た。これによると、ベキ乗回帰による回帰式のあてはめが相対的によいが、決定係数(r^2)はいずれも低いことから、林道規格が同じで類似の地形傾斜であっても、路線ごとに用地幅の変化が大きいことが分かる。

Fig. 47は、実際に開設されている林道の用地幅を評価するため、林道2級を対象に、ベキ乗式による実験式と用地幅を予測する簡易土工モデルによる予測式を比較したものである。簡易土工モデルは、Fig. 48, Fig. 49に想定した起伏のない平行斜面で、擁壁等の構造物を設置しない土構造物モデルである。全切土モデルは、すべての横断面を切土とし、その切土面積が最小となるモデルであり、切盛土量均衡モデルは、すべての横断面で切土面積と盛土面積が等しくなるモデルである。モデルの定数は、車道、路肩、拡幅、側溝の幅はFig. 43の値とし、切土のり勾配は8分、盛土のり勾配は1割5分、小段は考慮しない。全切土モデルの残土は、すべて区間外に捨土されるとした。以上のモデルの前提条件から明らかに、全切土モデルは地形傾斜に対して十分狭い用地幅を、切盛土量均衡モデルは十分広い用地幅を理論的に与えるものといえ、土構造物モデルのため地形傾斜が大きくなると、指数的に用地幅も大きくなる特色を持っている。実験式と簡易土工モデルを比較したFig. 47によると、実験式は地形傾斜38%まで切盛土量均衡モデルを上回り、全切土モデルと75%で交差する。この傾向は、林道1級及び3級ともに同様であった。このことから、現実開設される林道の用地幅は、擁壁等の構造物の設置などにもかかわらず、地形条件の複雑さなどによる余分の切盛土工の発生や、縦断勾配等の設計技術上の困難などもあって、結果として、標準的な横断面より広い用地幅になっている。

Table 25. 林道用地幅の実験式の回帰式
Regression eqs. of land widths for forest roads (regular)

林道規格 Forest road standards	1次回帰式 Linear regression eqs.	べき乗回帰式 Power regression eqs.	指数回帰式 Exponent regression eqs.
林道一級 1st grade	$W = 0.022\theta + 12.408$ ($r^2 = 0.01$)	$W = 8.171\theta^{0.123}$ ($r^2 = 0.03$)	$W = 12.073e^{0.0018\theta}$ ($r^2 = 0.02$)
林道2級 2nd grade	$W = 0.061\theta + 9.073$ ($r^2 = 0.10$)	$W = 4.353\theta^{0.257}$ ($r^2 = 0.11$)	$W = 9.300e^{0.0047\theta}$ ($r^2 = 0.09$)
林道3級 3rd grade	$W = 0.050\theta + 6.880$ ($r^2 = 0.18$)	$W = 2.600\theta^{0.330}$ ($r^2 = 0.26$)	$W = 6.896e^{0.0056\theta}$ ($r^2 = 0.20$)

注) W は用地幅(m), θ は地形傾斜(%), r^2 は決定係数である。
Note: W , Land width for forest road (m); θ , Terrain slope (%); r^2 , Coefficient of determination.

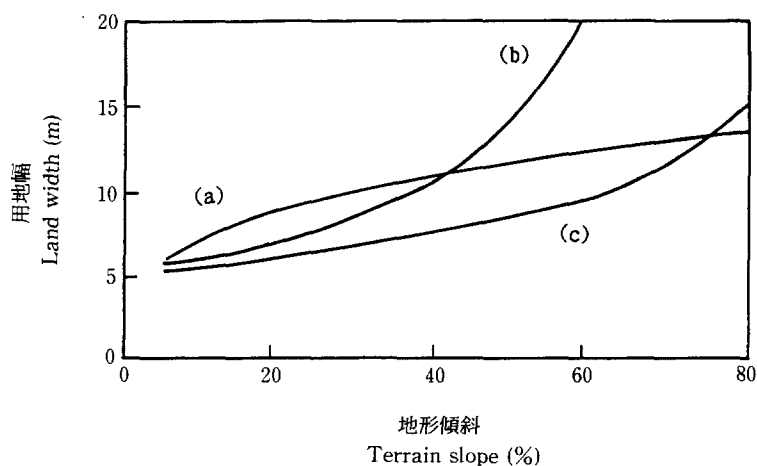


Fig. 47 実験式と簡易土工モデルによる林道用地幅の比較 (林道2級)
Comparison of land widths of forest roads between experimental eq. and simple earth work model eqs. (2nd grade)

(a), 実験式; Experimental eq.
(b), 切盛土量均衡モデル; Cutting and banking earth volume balanced model
(c), 全切土モデル; All cutting model

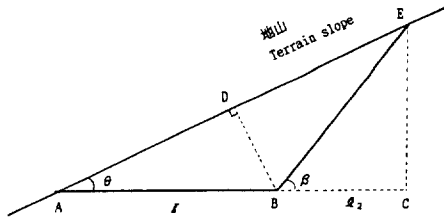


Fig. 48 林道用地幅を予測する簡易土工モデル
(1)全切土モデル
Simple earth work model for estimate of land width of forest roads (1) all cutting model

θ, 地形傾斜 (地山勾配); Terrain slope (deg.)
β, 切取勾配; Cutting angle (deg.)
ℓ₂, 切土幅; Cutting width (m)
K; 車道, 路肩, 拡幅, 側溝の合計幅; Total width of width of road, shoulder, enlarged width and side drain
全切土モデルの用地幅 (W)
 $W = K + \ell_2$
 $= K (1 + \sin \theta \cos \beta / \sin (\beta - \theta))$

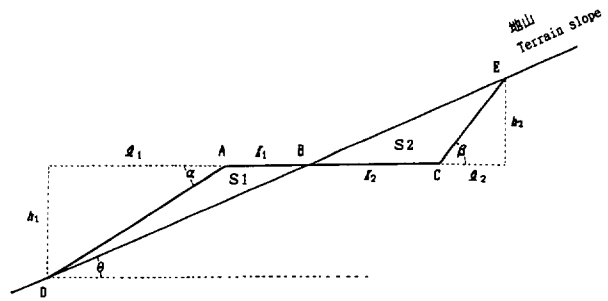


Fig. 49 林道用地幅を予測する簡易土工モデル
(2)切盛土量均衡モデル
Simple earth work model for estimate of land width of forest road (2) Cutting and banking earth volume balanced model

θ, 地形傾斜 (地山勾配); Terrain slope (deg.)
α, 盛土勾配; Banking angle (deg.)
β, 切土勾配; Cutting angle (deg.)
ℓ₁, 盛土幅; Banking width (m)
ℓ₂, 切土幅; Cutting width (m)
h₁, 盛土高; Banking height (m)
h₂, 切土高; Cutting height (m)
k₁, 盛土路体幅; Banking width (m)
k₂, 切土路体幅; Cutting width (m)
K; 車道, 路肩, 拡幅, 側溝の合計幅; Total width of width of road, shoulder, enlarged width and side drain
切盛土量均衡モデルの用地幅 (W)
 $W = K + \ell_1 + \ell_2$
 $= K + K_1 \sin \theta \cos \alpha / \sin (\alpha - \theta) + K_2 \sin \theta \cos \beta / \sin (\beta - \theta)$

4.3.2 作業林道用地の構成と用地幅の予測

作業林道用地の構成をTable 26に示す。測定方法は林道と同様とし、全幅員が3.0 mの路線を対象に行った。Aグループ (林道設計書と同じ様式) の用地幅は6.9 m, Bグループ (林道設計書との類似様式) は6.0 mであった。AグループとBグループの用地幅の差の内訳は盛土0.7 m, 拡幅0.2 mである。林道3級 (Fig. 43) とAグループの作業林道の用地構成を比較すると、全幅員が同じにもかかわらず、林道3級の用地幅は9.4 mで作業林道を幅2.5 m, 比率で36%上回り、用地各部では切土1.4 m, 盛土0.7 m, 側溝0.3 m, 拡幅0.1 mそれぞれ上回った。林道3級と作業林道の用地幅の差は、切土と盛土の法面勾配の違いから生じる切土幅と盛土幅の差が大きく原因し、作業林道の側溝は素堀で、延長の半分程度しか作設されていないのも影響していた。林道3級の切盛土量が14.0 m³/mで、作業林道が7.7 m³/mであることと、用地幅がそれぞれ9.4 mと6.9 mなのは、Fig. 28の相似横断面から切土高を推定すると、林道3級の切土高は作業林道を33%上回ると成り立つことから、妥当といえる。

Table 27に、作業林道用地幅を予測する実験式の回帰式を示す。この回帰式は、全幅員3.0 mのAグループの路線による結果である。Table 25の林道1～3級の回帰式に比較して回帰式のあてはめの精度はやや高く、ベキ乗式の決定係数が最も高かった。Fig. 50には、林道1～3級と作業林道の用地幅と地形傾斜の関係をベキ乗式の実験式をもとに図示した。林道規格と用地幅の関係が理解できよう。

Table 26. 作業林道用地の構成
Land widths for forest roads (low-structure)

設計書様式 Sorts of design document	盛土 Banking (m)	全幅員 Widths with shoulder (m)	拡幅 Enlarged widths (m)	側溝 Side drains (m)	切土 Cuttings (m)	用土幅 Totals (m)	標本数 Samples
A	1.7	3.0	0.4	0.3	1.5	6.9	28
	4.0~0.1		2.3~0	0.8~0	3.8~0.2	11.5~3.7	
B	1.1	3.0	0.2	0.3	1.4	6.0	12
	2.6~0.2		0.9~0	0.9~0	2.6~0.6	8.7~4.3	

Table 27. 作業林道用地幅の実験式の回帰式
Regression eqs. of land widths for forest roads (low-structure)

林道規格 Forest-road standards	1 次回帰式 Linear regression eqs.	べき乗回帰式 Power regression eqs.	指数回帰式 Exponent regression eqs.
作業林道 (Law-structure)	$W = 0.063\theta + 3.836$ ($r^2 = 0.27$)	$W = 1.219\theta^{0.443}$ ($r^2 = 0.34$)	$W = 4.170e^{0.010\theta}$ ($r^2 = 0.30$)

注) 1. W は、Aグループの全幅員 3 mの用地幅(m)である。

2. θ は地形傾斜(%), r^2 は決定係数である。

Note: W , Land width for forest road (A-group; Width with shoulder is at 3.0 m) (m). θ , Terrain slope (%); r^2 , coefficient of determination.

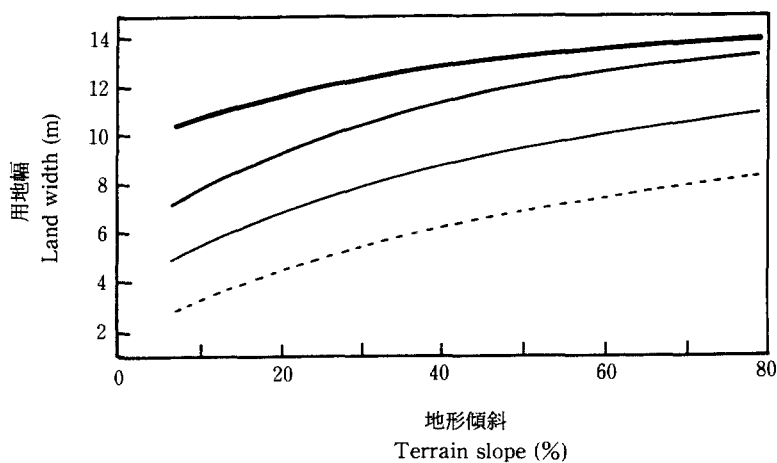


Fig. 50 林道用地幅と地形傾斜との関係

Relationships between land widths of forest roads and terrain slopes

—, 林道1級; —, 林道2級; —, 林道3級; ----, 作業林道
1st grade 2nd grade 3rd grade Low-structur

4.3.3 用地費関数の設定

林道網の整備による林地の損失は、将来の収穫に影響を与えることや、用地に対する補償が一般化していることなどから、林道路線評価を行うに際し何らかの評価が必要と考えられる。このことは、自己の森林に自らが林道網を整備する際も、林地の損失を生じるという視点で考える限り、同様のことがいえる。この場合、林地の損失は、林道敷設による潰れ地面積の評価で行うのが最も理解しやすいと考えられる（大川畑, 1988）。

林道に必要な用地面積は、地形傾斜 (θ) を変数とする関数として設定できるのは、前項までの説明で明らかにした。従って、用地費関数の設定のための、林道1～3級の用地幅の予測には、Table 25のベキ乗回帰式を用いる。第2報の林道網計画における作業林道の主要な規格、構造は、4.2.3で説明したように、車道幅員3.0 m, 路肩0.5 mを想定したので、前項の実験式を作業林道の用地幅の予測に直接用いることはできない。このため、ここでは作業林道の全幅員は、林道2級と林道3級の中間の3.5 mなので、用地費関数に用いる用地幅も林道2級と林道3級の

中間になるように設定した。作業林道の用地幅は、4.3.2の作業林道の実態分析によると、同じ全幅員を有する林道3級と作業林道では、作業林道の用地幅が狭いことからして、多少大きめの値になるのが予測されるが、誤差は小さいと考えられる。この用地幅に現在の林内道路密度での林地の時価を林地評価額として乗じて用地費関数とした(Table 28)。林地評価額は、日本不動産研究所の「山林素地および山元立木価格調」の用材林地を用い、Table 28は全国平均の83 円/m²の場合で設定した結果である（林野庁監修, 1986～1990）。

Table 28. 用地費関数
Functions of land costs

林道規格 Forest-road standards	用地費関数 Land costs func- tions (yen/m)
林道1級 1st grade	$678\theta^{0.123}$
林道2級 2nd grade	$361\theta^{0.257}$
林道3級 3rd grade	$216\theta^{0.330}$
作業林道 Low-structure	$289\theta^{0.294}$

注) θ は地形傾斜(%)である。
Note: θ , Terrain slope (%).

4.4 運材費、人員輸送費及び歩行費

本節では、林道路線評価に必要な経費である運材費、人員輸送費、歩行費について論じる。最初に、これらの経費算定の基となる機械経費と労務経費を述べる。機械経費はトラックに限らず、本論全体の論議に必要な他機種も説明する。運材費と人員輸送費は林道規格で算定し、運材能力と運材費の関係、人員輸送費と歩行費の特性等が論議される。

4.4.1 機械経費と労務経費

(1) 機械経費

機械経費算定の対象とする機種は、トラック(3種類)、マイクロバス、ライトバン、フォワーダ(2種類)、タワーヤード(2種類)、集材機、トラクタ、ブルドーザとする。想定機種の諸元をTable 29に示す。

Table 29の機械損料の算定は、トラック等の道路走行車両類は民有林林道事業で用いられている建設機械損料算定表(林道研究会, 1991)、集運材機種は国有林野事業の素材生産事業で使用されている機械損料標準表(森, 1977; 梅田ら, 1982)に準じた。損料率でフォワーダはトラクタ、タワーヤードは集

Table 29. 機械損料の算定
Calculation of equipment rental costs

種類 Machines	トラック Trucks			マイクロバス Microbuses	ライトバン Station wagons
重量 (t) Weights (t)	8	4	2		
出力 (ps) Outputs (ps)	227	180	110	79	94
機械価格 (千円) Machine prices (1 000yen)	10 180	7 380	2 540	1 390	1 070
耐用年数 (年) Useful life (years)	5	5	5	6	6
年間運転時間 (h/年) Service length (h/year)	1 100	1 100	1 100	640	820
残存価格 (%) Residual value (%)	10	10	10	10	10
維持修理費率 (%) Rate of repairs and maintenance costs (%)	40	40	40	55	60
年間管理費率 (%) Rate of annual administration costs (%)	10	10	10	10	10

種類 Machines	フォワーダ Forwarders		タワーヤーダ Mobile yarders		集材機 Yarders	トラクタ Tractors	ブルドーザ Bulldozers
	中型 medium -size	小型 small -size	中型 medium -size	小型 small -size			
重量 (t) Weights (t)	1.5	0.5	7.5	3.2		10	3
出力 (ps) Outputs (ps)	68	7	100	60	75	91	38
機械価格 (千円) Machine prices (1 000yen)	2 910	660	36 000	6 880	5 890	9 600	3 700
耐用年数 (年) Useful life (years)	5	5	6	6	7	6	6
年間運転時間 (h/年) Service length (h/year)	1 080	1 080	900	900	900	1 080	570
残存価格 (%) Residual value (%)	10	10	10	10	10	10	10
維持修理費率 (%) Rate of maintenance and repairs costs (%)	96	96	96	96	96	108	45
年間管理費率 (%) Rate of annual administration costs (%)	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	7

材機を準用し、ブルドーザは建設機械損料算定表によった。機械損料は、運転1時間当たりの損料率と供用1日当たりの損料率に分けて算定する必要があるが、ここでは、単位時間当たりの機械経費を求める必要があることから、耐用年数と年間運転時間による換算値とした。トラックのうち8t車及び4t車はグラブブルロード装置付、2t車はクレーン装置付を想定した。

トラック、マイクロバス、ライトバンの単位時間燃料消費量は、出力(PS)に時間当たりの燃料消費率を乗じる方法に準じ(林道研究会, 1991)、これに燃料消費量に影響を与えると考えられる速度、路面、勾配について補正係数を乗じた(酒井秀夫, 1987)。燃料消費率は、速度30 km/hの値なので、計画速度

によって補正を必要とする。平均速度と平均的燃料消費量の間には関係があるのは知られており（道路ハンドブック編集委員会編，1980），これから時間当たりの燃料消費量を算出し，林道規格によって1.0～0.5の速度補正係数を得た。路面補正係数は，砂利道は舗装道に比べて1.1～1.25倍の燃料を消費するとされているので（道路ハンドブック編集委員会編，1980），管理の行き届いている林道を1.1，作業林道は一般的に林道に比べ管理が不十分と考えて1.25とした。勾配は，自動車の単位当たりの燃料消費量に大きな影響を及ぼすので（道路ハンドブック編集委員会編，1980；遠藤，1986；南方ら，1986），ここでは林道の平均勾配を1級6%，2級7%，3級8%（Table 44），作業林道は10%とし，南方らの林道を往復走行した際の勾配と燃料消費率の関係（南方ら，1986）から燃料増加量を求め，1.1～1.4の勾配補正係数を得た。トラクタ等の集運材機種の燃料消費量は，機械損料標準表及び既存の調査報告（林業機械化協会，1990；林野庁，1988）やカタログ類を参考に得た。消耗品費は，主にタイヤ経費であり，路面の状況を勘案して，時間当たり損料率から算定した（林道研究会，1991）。以上の考え方で算出した，単位時間燃料・油脂費，単位時間機械経費がTable 30，Table 31である。

Table 30. 単位時間燃料・油脂費(1)
Fuel and oil costs per hour (1)

区 分 Classifications	林道1級 Forest road (1st grade)					林道2級 Forest road (2nd grade)				
	トラック Trucks			マイクロバス Microbuses	ライトバン Station wagons	トラック Trucks			マイクロバス Microbuses	ライトバン Station wagons
	8 t	4 t	2 t			8 t	4 t	2 t		
燃料費 Fuel costs	791	627	383	336	318	777	616	376	330	313
燃料消費率(ℓ/ps/h) Rate of fuel consumption (ℓ/ps/h)	0.036	0.036	0.036	0.044	0.035	0.036	0.036	0.036	0.044	0.035
出力(PS) Outputs (PS)	227	180	110	79	94	227	180	110	79	94
速度補正係数 Speed adjustment	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
路面補正係数 Road surface adjustment	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
勾配補正係数 Longitudinal slope adjustment	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
燃料単価(円/ℓ) Fuel unit costs (yen/h)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
油脂費 Oil costs	158	125	77	67	64	155	123	75	66	63
燃料費に対する割合(%) Rate to fuel costs	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
消耗品費 Consumption costs	267	122	115	51	45	267	122	115	51	45
基礎価格(千円) Basic prices (1 000yen)	279	131	130	57	51	279	131	130	57	51
時間当たり損料率(%/h) Rate of rental costs (%/h)	0.0956	0.0930	0.0887	0.0887	0.0887	0.0956	0.0930	0.0887	0.0887	0.0887
合 計(円/h) Totals (yen/h)	1 216	874	575	454	427	1 199	861	566	447	421

Table 30. 単位時間燃料・油脂費(2)
Fuel and oil costs per hour (2)

区 分 Classifications	林道 3 級 Forest road (3rd grade)			作業林道 Forest road (low-structure)			
	トラック Trucks	マイクロバス Microbuses	ライトバン Station wagons	トラック Trucks	マイクロバス Microbuses	ライトバン Station wagons	
	2 t			4 t	2 t		
燃料費 Fuel costs	362	318	301	454	277	243	230
燃料消費率(ℓ/ps/h) Rate of fuel consumption (ℓ/ps/h)	0.036	0.044	0.035	0.036	0.036	0.044	0.035
出力(PS) Outputs (PS)	110	79	94	180	110	79	94
速度補正係数 Speed adjustment	0.8	0.8	0.8	0.5	0.5	0.5	0.5
路面補正係数 Road surface adjustment	1.1	1.1	1.1	1.25	1.25	1.25	1.25
勾配補正係数 Longitudinal slope adjustment	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4
燃料単価(円/ℓ) Fuel unit costs (yen/ℓ)	80	80	80	80	80	80	80
油脂費 Oil costs	72	64	60	91	55	49	46
燃料費に対する割合(%) Rate to fuel costs (%)	20	20	20	20	20	20	20
消耗品費 Consumption costs	115	51	45	270	263	115	103
基礎価格(千円) Basic prices (1 000yen)	130	57	51	131	130	57	51
時間当たり損料率(%/h) Rate of rental costs (%/h)	0.0887	0.0887	0.0887	0.2064	0.2020	0.2020	0.2020
合 計(円/h) Totals (yen/h)	549	433	406	815	595	407	379

区 分 Classifications	フォワーダ Forwarders		タワーヤード Mobile yaders		集材機 Yarders	トラクタ Tractors	ブルドーザ Bulldozers
	中型 medium-size	小型 small-size	中型 medium-size	小型 small-size			
燃料費 Fuel costs	183	66	240	120	224	344	368
燃料消費率(ℓ/h) Rate of fuel consumption (ℓ/h)	1.4	0.5	3.0	1.5	2.8	4.3	4.6
燃料単価(円/ℓ) Fuel unit costs (yen/ℓ)	131	131	80	80	80	80	80
油脂費 Oil costs	37	13	48	24	45	69	74
燃料費に対する割合(%) Rate to fuel costs (%)	20	20	20	20	20	20	20
合 計(円/h) Totals (yen/h)	220	79	288	144	269	413	442

Table 31. 単位時間機械経費(1)
Machine costs per hour (1)

区 分 Classifications	林道 1 級 Forest road (1st grade)					林道 2 級 Forest road (2nd grade)				
	トラック Trucks			マイクロバス Microbuses	ライトバン Station wagons	トラック Trucks			マイクロバス Microbuses	ライトバン Station wagons
	8 t	4 t	2 t			8 t	4 t	2 t		
機械経費(円/h) Machine costs (yen/h)	4 547	3 436	1 407	1 196	883	4 530	3 423	1 398	1 189	877
減価償却費 Depreciation costs	1 666	1 281	416	326	196	1 666	1 281	416	326	196
維持修理費 Maintenance and repairs costs	740	569	185	199	130	740	569	185	199	130
管理費 Charge costs	925	712	231	217	130	925	712	231	217	130
小計 Subtotals	3 331	2 562	832	742	456	3 331	2 562	832	742	456
燃料費 Fuel costs	791	627	383	336	318	777	616	376	330	313
油脂費 Oil costs	158	125	77	67	64	155	123	75	66	63
消耗品費 Consumption costs	267	122	115	51	45	267	122	115	51	45
小計 Totals	1 216	874	575	454	427	1 199	861	566	447	421

Table 31. 単位時間機械経費(2)
Machine costs per hour (2)

区 分 Classifications	林道 3 級 Forest road (3rd grade)			作業林道 Forest road (low-structure)		
	トラック Trucks	マイクロバス Microbuses	ライトバン Station wagons	トラック Trucks	マイクロバス Microbuses	ライトバン Station wagons
	2 t			4 t	2 t	
機械経費(円/h) Machine costs (yen/h)	1 381	1 175	862	3 377	1 427	835
減価償却費(円/h) Depreciation costs	416	326	196	1 281	416	196
維持修理費 Maintenance and repairs costs	185	199	130	569	185	130
管理費 Charge costs	231	217	130	712	231	130
小計 Subtotals	832	742	456	2 562	832	456
燃料費 Fuel costs	362	318	301	454	277	230
油脂費 Oil costs	72	64	60	91	55	46
消耗品費 Consumption costs	115	51	45	270	115	103
小計 Subtotals	549	433	406	815	595	379

Table 31. 単位時間機械経費(3)
Machine costs per hour (3)

区 分 Classifications	フォアワダー Forwarders		タワーヤーダ Mobile yaders		集材機 Yarders	トラクタ Tractors	ブルドーザ Bulldozers
	中型 medium -size	小型 small-size	中型 medium -size	小型 small-size			
機械経費(円/h) Machine costs (yen/h)	1 397	346	15 288	3 011	2 433	3 924	2 357
減価償却費 Depreciation costs	485	110	6 000	1 147	841	1 333	974
維持修理費 Maintenance and repairs costs	517	117	6 400	1 223	898	1 600	487
管理費 Charge costs	175	40	2 600	497	425	578	454
小計 Subtotals	1 177	267	15 000	2 867	2 164	3 511	1 915
燃料費 Fuel costs	183	66	240	120	224	344	368
油脂費 Oil costs	37	13	48	24	45	69	74
小計 Subtotals	220	79	288	144	269	413	442

(2) 労務経費

労務経費は、トラック運材は建設省、農林水産省、運輸省の3省で実施している「公共事業労務費調査」の運転手一般の賃金（建設物価調査会，1991），伐出作業は「林業労働者職種別賃金調査報告」の機械集運材作業者の賃金（林野庁監修，1986～1990），造林作業は「農村物価賃金統計」の農業雇用労働賃金（農林水産省統計情報部，1991），一般部門は「毎月勤労統計調査年報」の産業別常用労働者賃金（農林水産省統計情報部，1991）をそれぞれ参考に定めた。保険料は労災保険料率とし、木材伐出業 138/1 000，その他の林業 40/1 000，交通運輸事

業 7/1 000，その他 6/1 000 である。

なお、労務経費計算の基礎となる作業時間は、直接工の直接作業時間とされていることから（日本生産性本部編，1972），単位時間労務経費の直接作業時間は6時間とした。この結果得られた単位時間労務経費は、Table 32に示す通りである。

Table 32. 単位時間労務経費
Labor costs per hour

区 分 Classifications	(yen/h)				
	伐 出 Logging	運 材 Hauling	造 林 Silviculture	一 般 General	平 均 Averages
労 賃 Wages	1 683	2 400	967	2 483	1 883
保険料 Insurance	232	17	38	15	76
小 計 Subtotals	1 915	2 417	1 005	2 498	1 959

4.4.2 運材費

(1) 運材変動費

林道網の林道規格別の運材能力及び運材費をTable 33に示す。林道規格別の走行速度、積載量は本論の林道網計画で想定している、道路の規格、構造による(第2報Table 1)。参考にしたトラクタ、フォワーダの走行速度、積載量はクローラトラクタは今富(1988)、それ以外は林野庁(1988)を参考に定めた。運材能力は、走行速度に積載量を乗じ、単位時間当たりの仕事量($\text{m}^3 \cdot \text{km/h}$)で表し、帰路は空とし往復で示した。運材費のうち、単位運材変動費(円/ $\text{m}^3 \cdot \text{km}$)は、単位時間経費(円/h)を運材能力($\text{m}^3 \cdot \text{km/h}$)で除して得られる。トラックは1t、 1 m^3 の積載量とした。

すでに指摘されているように、トラックの単位運材変動費(Tv_s)は、大型の機種ほど単位時間経費も大きくなるが、それ以上に運材能力が大きいため、大型の機種ほど安価になる(酒井秀夫, 1987)。林道規格が Tv_s に及ぼす影響を同機種の比較でみると、規格間ではそれほど大きな差は生じないものの、上位規格ほど Tv_s は安価になる。

運材能力と Tv_s の関係を両対数でFig. 51に示す。記号の塗りつぶしは、SUNDBERG・SILVERSIDES(1988)によるものである。運材能力と Tv_s の関係は、両対数で直線回帰性がよいことから、運材能力が低下するにつれて、指数的に Tv_s が増加するのが明確に示されている。機種別には、トラックの運材能力は $10 \sim 120 \text{ m}^3 \cdot \text{km/h}$ 、 Tv_s は $58 \sim 384 \text{ 円/m}^3 \cdot \text{km}$ 、同様にトラクタ $5.44 \text{ m}^3 \cdot \text{km/h}$ 、 $1073 \text{ 円/m}^3 \cdot \text{km}$ 、フォ

Table 33. 運材能力及び運材費
Capacities of wood transportation and wood transportation costs

林道規格 Forest-road standrds	機 種 Machines	走行速度 Speeds	積載量 Payloads	運材能力 Capacities (往復) Round-trip	運材費 Transportation costs				
					単位時間経費 Costs per hour			単位運材変動費 Variable costs	固定費 Fixed costs
					機械経費 Machines and fuel	労務経費 Labor	計 Totals		
		(km/h)	(m^3)	($\text{m}^3 \cdot \text{km/h}$)	(yen/h)	(yen/h)	(yen/h)	(yen/ $\text{m}^3 \cdot \text{km}$)	(yen/ m^3)
林道 1級 1st grade	トラック 8(t)	30	8	120	4 547	2 417	6 964	58	778
	Trucks 4	30	4	60	3 436	2 417	5 853	98	810
	2	30	2	30	1 407	2 417	3 824	127	1 000
林道 2級 2nd grade	8	25	8	100	4 530	2 417	6 947	69	778
	4	25	4	50	3 423	2 417	5 840	117	810
	2	25	2	25	1 398	2 417	3 815	153	1 000
林道 3級 3rd grade	2	20	2	20	1 381	2 417	3 798	190	1 000
作業林道 Low-structure	4	10	4	20	3 377	2 417	5 794	290	810
	2	10	2	10	1 427	2 417	3 844	384	1 000
(参考) Notes									
作業路 1	トラクタ(クローラ)	3.4	3.2	5.44	3 924	1 915	5 839	1 073	454
Skidding road 1	Tractor								
作業路 2	フォワーダ(ホイール)	7.9	1.7	6.72	1 397	1 915	3 312	493	1 615
Skidding road 2	Forwarder								
作業路 3	フォワーダ(クローラ)	1.8	0.7	0.63	346	1 915	2 261	3 589	985
Saidding road 3	Forwarder								
人肩 Man, shoulder		1.7	0.06	0.05		1 915	1 915	38 300	

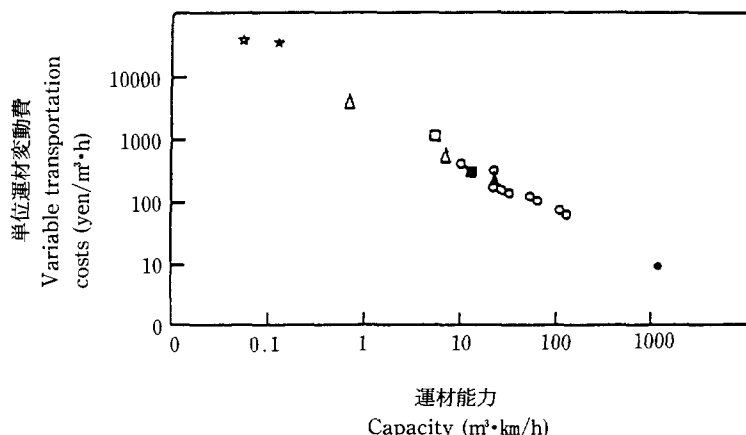


Fig. 51 運材能力と単位運材変動費の関係
Relationships between capacities of wood transportation and variable transportation costs

☆★, 人肩; △▲, フォワーダ; □■, トラクタ; ○●, トラック
Man, shoulder Forwarder Tractor Truck

注) 黒マークはSUNDBERGら (1988) によるもので、運材能力はton・km/h、為替レートは1\$ = 120 円で試算した。
Notes: Black marks are quoted from SUNDBERG and SILVERSIDES (1988), and capacities of them are showed by t·km/h, the exchange rate is 1\$ = 120 yen.

ワダ 0.63~6.72 m³·km/h, 493~3 589 円/m³·kmである。これを比率 (トラック (林道1級, 8t) : トラック (作業林道, 4t) : トラクタ : フォワーダ (クローラ)) で表すと、運材能力では 1 : 1/6 : 1/22 : 1/190, T_v では 1 : 5 : 19 : 62 となり、大型トラックの優位性が明らかにうかがわれる。SUNDBERGらのものは、運材能力が高く T_v が低くなっているが、これは大型トレーラトラックで高速輸送を行っていることや、スキッド、フォワーダの能力にかなりの差があることによると思われる。

(2) 運材固定費

Table 33に示した運材固定費 (T_f) は、積み込み・荷卸しに要する経費とし、次により算定した。グラップルロードによるトラック積み込み・荷卸しは1人作業とし、聞き取り調査による功程を参考に、8t車は積み込み時間を40分、荷卸しはその約2/3の功程とし25分を見込んだ。4t車の功程も同様に聞き取り調査の結果から、8t車の20%低い功程とした。クレーン付トラックによる機械積み込みの2t車は、2人作業とし梅田ら (1982) による功程を用いた。フォワーダ及びトラクタの功程は、林野庁 (1988) を再計算し、単位材積当たりの積み込み荷卸し時間を求めた。この結果、トラクタが454 円/m³、トラックが778~1 000 円/m³、ホイール型のフォワーダが1 615 円/m³となった。

4.4.3 人員輸送費

人員輸送費は、林道規格で幅員や縦断勾配が異なり、維持管理状態に差があることから、運材費と同様、Table 34に示すように規格間で大きな差がある。単位人員輸送費の算出は、単位時間機械経費にTable 31, 単位時間労務経費にTable 32を用いて、次の方法で行った。機種はマイクロバスとライトバ

Table 34. 単位人員輸送費
Unit labor transportation costs

区 分 Classifications	林道1級 1st grade	林道2級 2nd grade	林道3級 3rd grade	作業林道 Low-structure
機械経費（円/h） Machines costs (yen/h)				
マイクロバス Micro-buses	1 196	1 189	1 175	1 149
ライトバン Station wagons	883	877	862	835
乗車人員（人） Numbers of labor per vehicle				
マイクロバス Micro-buses	6	6	6	6
ライドバン Station-wagons	3	3	3	3
単位時間機械経費（円/h・人） Unit machines costs (yen/h・people)	247	245	242	235
労務経費（円/h・人） Unit labor costs (yen/h・people)	1 959	1 959	1 959	1 959
単位時間輸送経費（円/h・人） Unit transportation costs (yen/h・people)	2 206	2 204	2 201	2 194
単位人員輸送費（円/人・m） Unit labor transportation costs (yen/people・meter)	0.1471	0.1763	0.2201	0.4388

ンで、利用比率は50:50とした。乗車人員は、森林作業班のセット人員構成や一般的な利用実態から、マイクロバス6人、ライトバン3人とした。走行速度は、運材車よりは多少高速走行が期待できるが、ここでは第2報Table 1の設計速度を用い、往路と帰路は同一速度で算定した。1人1m往復するために要する費用の単位人員輸送費（円/人・m）は、単位時間機械経費（円/h・人）に単位時間労務経費（円/h・人）を加えた単位時間輸送経費（円/h・人）を走行速度で除した額である。

この結果、単位人員輸送費は運材費と同様に、より高速走行を期待できる高規格林道ほど低廉で、林道1級は0.1471（円/人・m）、作業林道は林道1級のほぼ3倍の0.4388（円/人・m）となり、その9割程度を労務費が占めた。従来、車両利用による移動は、比較的安価に済むという認識から林道密度の算定因子として酒井秀夫（1987）を除き、注意が払われてこなかったが、規模の大きな路線や低規格の林道の増大、森林作業における集解散場所の取り扱いの変化で林道走行時間も勤務時間となっている実態、人件費の急騰等を考え併せると、人員輸送の問題に対し認識を深める必要がある。

4.4.4 歩行費

林内を歩行する費用に関しては、南方（1977）の基礎路網密度を始めとして、林道密度の算定式にしばしば用いられている（南方ら、1985；森林計画研究会編、1987；YAMADA, 1989）。歩行費は、路線の林道規格の決定に直接的には関与しないが、最低規格の林道による整備水準を決定する因子として、集材費と同様の役割を果たす。

歩行費は、歩行距離を歩行速度で除して労務経費を乗じて得ることができる。Fig. 52に往復歩行距離と歩行費の関係を歩行速度別に示した。労務経費はTable 32を用い、ha当たりの歩行費は、労働投入量

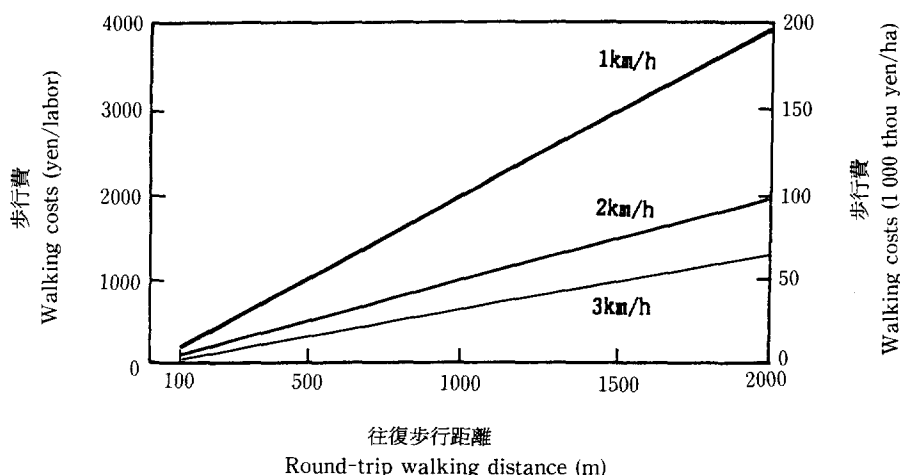


Fig. 52 歩行距離と歩行費
Walking distances and walking costs

を 500 人/ha の場合である。この図は、歩行距離係数が 1.0 の場合であるが、地形状態によっては 1.0～2.0 の係数を乗じる必要がある（南方，1977；南方ら，1985；森林計画研究会編，1987）。この図から、歩行速度 2 km/h で片道歩行距離が 100 m の場合の歩行費用は、わずか 196 円/人（9.8 万円/ha）が、500 m では 980 円/人（49.0 万円/ha）、1000 m では 1959 円/人（98.0 万円/ha）と歩行距離に正比例して、大きな額に達するのが示されてることからも、歩行費は適正林道密度の算定に大きく関与することが容易に想像できよう。

4.5 集材システムと集材費

集材システムの選択に対しては伐採方法、伐区面積、出材量や環境保全なども影響を及ぼすものの、経済林では、主として地形傾斜と集材距離の 2 要因によって技術的、経済的理由から決定されることが多い。地形傾斜と林道密度から集材システムを選択する考えは後藤（1988）、猪内（1991）によって示され、酒井秀夫（1987）も総合集材費を誘導している。ここでは、地形傾斜と集材距離から集材費関数を設定し、林道網と集材システムを関係付ける。

集材システムの種類は多岐に渡るが、大別して架線系と車両系に区分される。本論では各区分 3 種類、都合 6 種類を集材システムとして想定した。架線系システムは、集材距離の長さで小型と中型のタワーヤード集材と従来式の定置式の大型集材機によるエンドレスタイラー集材とし、車両系システムは、クローラタイプによるトラクタ集材と中型（ホイール）と小型（クローラ）の 2 種類の載荷式フォワード集材とした。想定した機械の種類、重量等の概要は Table 29、機械経費及び労務経費は Table 31 及び 32 を用いた。集材費関数は、Table 35 に示すように架線系は集材距離、車両系は集材距離と地形傾斜を変数として設定した。なお、集材費関数は、伐採の方法を皆伐として設定した。これは、民有林で搬出利用された間伐材積の木材生産量に占める割合は、10%程度であるとされることから（林野庁，1994）、計

Table 35. 集材システムと集材費関数
Skidding systems and skidding costs functions

番号 Nos.	集材システム Skidding systems	集材費関数 (円/m³) Skidding costs functions (yen/m)
1	小型タワーヤード Mobile yarder (small-size)	$Y_{c1} = 16.215S + 9\,575/S + 669$
2	中型タワーヤード Mobile yarder (medium-size)	$Y_{c2} = 8.656S + 14\,636/S + 1\,143$
3	大型集材機 Yarder (large-size)	$Y_{c3} = 836.425/S^{-0.2142} + 12\,409/S + 590$
4	トラクタ (クローラ) Tractor (crawler)	$Y_{c4} = 1.073/S + 91.7e^{0.117\theta} + 1\,746$
5	中型フォワーダ Forwarder (medium-size)	$Y_{c5} = 0.493S + 45e^{0.117\theta} + 2\,666$
6	小型フォワーダ Forwarder (small-size)	$Y_{c6} = 3.589S + 27.9e^{0.116\theta} + 2\,772$

注) Sは集材距離 (m)、 θ は地形傾斜 (度) である。
Note: S, Skidding distance (m); θ , Terrain slope (degree).

画区域の集材費を算定するに際して、間伐による経費の掛かり増しは、一応無視できると判断したことによる。

4.5.1 架線系集材システムの集材費関数の設定

(1) タワーヤード集材の集材費関数

タワーヤードによる集材方式は、集材の要素作業のサイクルタイムから集材作業能率を算出し、集材費関数を設定した (酒井秀夫, 1987)。集材距離が S (m) の場合のタワーヤード集材の平均サイクルタイム (T_c (s)) は、搬器の往復の平均搬器走行速度 (vc (m/s)), 平均横取り速度 (vy (m/s)), 平均横取り距離 (ℓy (m)), 荷掛・荷卸時間 (sdt (s/回)) によって決まり、

$$T_c = 2S/vc + 2\ell y/vy + sdt \quad (40)$$

で表される。1組の作業班が、1日に実行する集材量である集材作業能率 (Evd (m³/d・組)) は、平均サイクルタイムと1回の積載量 (ℓv (m³/回)) の関係から算出され、直接作業時間を tw (h) とすると集材作業能率は、

$$Evd = 3\,600\, tw \cdot \ell v / T_c \quad (41)$$

となる。単位材積当たりの集材費 (Y_c (円/m³)) は荷掛け、木寄せ、集材、荷卸しの直接集材に要する直接集材費 (Y_{cr} (円/m³)), 架線の架設・撤去費 (Y_{cs} (円/m³)) 及び消耗品費 (Y_{co} (円/m³)) によって構成さ、次式で表される。

$$Y_c = Y_{cr} + Y_{cs} + Y_{co} \quad (42)$$

直接集材費は、(41)式で得た集材作業能率と機械経費及び労務経費の関係から求まる。ここで単位時間機械経費を muc (円/h), 単位時間労務経費を ℓuc (円/h), 組人員を sp (人) とすると、直接集材費は、

$$Y_{CY} = ((muc * tw + luc * tw * sp) / (3600 * tw * lv)) * (2S/vc + 2\ell y/vy + sdt) \quad (43)$$

となる。一方、架設・撤去費 (Y_{CS} (円/ m^3)) は、タワーヤードの設置間隔、集材区間の出材量 ($vt(m^3)$)、架設・撤去時間 (sw (min/回)) と労務経費の関係で決まる。平均横取り距離の4倍をタワーヤードの設置間隔、単位面積当たりの出材量を $V(m^3/ha)$ とし、縦方向を集材距離、横方向を設置間隔とする矩形の伐区モデルを採用すると、架設・撤去費は、

$$Y_{CS} = (125 * luc * sp * sw / (3lv * V)) * S \quad (44)$$

となる。消耗品費は、ロープ類の消耗を対象とする。

(2) 集材機集材の集材費関数

従来型の集材機による集材法の集材能率には多くの調査があり、集材能率の算定法も確立されてるとみることができる(梅田ら, 1982; 酒井秀夫, 1987; 上飯坂編, 1990)。ここでは、既存の資料を参考に集材作業能率を算出し、直接集材費、架設・撤去費、消耗品費を算定した。集材作業能率は、大型集材機による普通集材工程(エンドレスタイラー方式)の工程表を基に(梅田ら, 1982)、回帰式のあてはめの精度が最も高かった、ベキ乗式の関数として設定した。

$$Evd = aS^b \quad (45)$$

ただし、 a , b は定数

架線の架設・撤去費は、タワーヤード集材と同様、架設・撤去に要する労務経費を対象とした。架設・撤去の所要人工数 (ℓsp (人)) は、集材距離と関係が深いことが知られているので(梅田ら, 1982)、集材距離の1次式として求めた。

$$\ell sp = mS + n \quad (46)$$

ただし、 m , n は定数

集材機集材の集材費を構成する各費用は、タワーヤード集材と同様の(42)式で表すことができる。直接集材費は、タワーヤード集材と同様に集材作業能率、機械経費及び労務経費で決まり、

$$Y_{CY} = (muc * tw + luc * tw * sp) / aS^b \quad (47)$$

となる。架設・撤去費は、架設・撤去所要人工数による労務経費と、1集材箇所の出材量との関係で決まる。ここで、伐区モデルとして、張り替えがなく、縦方向に集材距離、横方向に平均横取り距離の4倍の矩形モデルを採用すると、架設・撤去費は、

$$\begin{aligned} Y_{CS} &= ((mS + n) * luc * tw) / vt \\ &= (2500 * \ell sp * luc * tw / (\ell y * V)) * S \end{aligned} \quad (48)$$

となる。土場は土盤台とし、特に、経費は見込まず、消耗品費はロープ類と付属品類を積算した。

(3) 架線系集材費関数に用いた数値

架線系集材の費用関数の設定に用いた数値をTable 36に示す。数値には、他表との重複もあるが整理のため掲載した。タワーヤーダは主索の有無、移動方式の相違によって、種々の区分が考えられるが、ここでは、小型タワーヤーダにはスパン長 200 m で主索を用いない自走式、中型タワーヤーダにはスパン長 400 m で主索を有するトラック搭載型を想定した。

小型タワーヤーダのサイクルタイムは主に文献(酒井秀夫ら, 1990, 1991), 中型タワーヤーダは主に文献(古谷ら, 1991, 1992; 林業機械化協会, 1990) の調査結果を参考に設定した。中型タワーヤーダの平均搬器走行速度 (vc) は実車速度 (vc_1), 空車速度 (vc_2) とすると,

$$vc = 2(vc_1 * vc_2) / (vc_1 + vc_2) \quad (49)$$

なので(MATTHEWS, 1942), 空車速度を最大速度の 8 割, 実車速度は空車速度の半分とみなして, (49) 式で算定した。架設・撤去時間は, 観察と資料により小型 60 分, 中型 180 分を見込んだ。消耗品費は, ワイヤロープ類の消耗を対象に積算し, また, 損料率は文献(梅田ら, 1982)を用いた。大型集材機の集材作業能率は, 文献(梅田ら, 1982)の功程表を適用し, 直接作業時間を 6 時間として作成した。

Table 36. 架線系集材の集材費関数に用いた数値
Values for calculation about skidding costs functions of cable yarding

区 分 Classifications	タワーヤーダ Mobile yaders		集材機 Yarder
	小型 Small-size	中型 Medium-size	大型 Large-size
集材法 Yarding methods	全幹 Tree length	全幹 Tree length	普通 Short wood
索張り法 Cable systems	ランニングスカイライン Running skyline	スタンディングスカイライン Standing skyline	エンドレスタイラー Endless Tyler
組人員 (人) Numbers of labor per set	3	3	4
平均搬器走行速度 (m/s) Avg. traveling speeds of carriage (m/s)	1	2.7	
平均横取速度 (m/s) Avg. lateral yarding speeds (m/s)	0.2	0.5	
荷掛・荷卸時間 (s) Loading and landing cycle (s)	30	50	
平均横取距離 (m) Avg. lateral yarding distances (m)	5	10	25
積載量 (m³) Loading capacities (m³)	0.3	0.5	
仮設撤去時間 (分) Temporariness and removal cyce (min)	60	180	
出材量 (m³/ha) Log volume (m³/ha)	300	300	300
作業能率 (m³/日・組) Operational efficiency (m³/d・set)	6 480/(2S+80)	29 160/(2S+243)	72.401S ^{-0.2142}
直接集材費 (円/m³) Direct skidding costs (yen/m³)	16.215S+649	8.656S+1 052	836.425/S ^{-0.2142}
仮設撤去費 (円/m³) Temporariness and removal costs (yen/m³)	9 575/S	14 363/S	12 409/S+394
消耗品費 (円/m³) Consumption articles costs (yen/m³)	20	91	196

架設・撤去所要人工数とスパン長 (S_x) には 1 次式の比例関係があることが知られており、これと撤収は架設の 35% を見込み (梅田ら, 1982), 張り替えはないとして (50) 式を得た。

$$\ell sp = 0.093 S_x + 3.24 \quad (50)$$

スパン長と平均集材距離 (S_m) の間には, (51) 式の関係があるのが知られている (大川畑, 1988)。

$$S_x = 2.23 S_m \quad (51)$$

従って, 平均集材距離の 2 倍をスパン長に対する最大集材距離とすると, (50) 式は (52) 式に書き換えられ集材距離の関数になる。

$$\ell sp = 0.103 S + 3.24 \quad (52)$$

その他の組人員, 平均横取り距離, 積載量等の諸数値は Table 36 に示すとおりである。

4.5.2 車両系集材システムの集材費関数の設定

(1) 車両系集材の集材費関数

車両系の集材作業は, 伐倒・造材を除くと, 一般的に, トラクタ集材は荷掛け, 木寄せ (引き込み), 運搬, 荷外し, フォワーダ集材は, 荷掛け, 木寄せ (引き込み), 積み込み, 運搬, 荷卸しの順で行われる。作業工程上, 車両の違いによる本質的な差はないことから, トラクタとフォワーダの集材費関数は同じ方法で設定でき, 集材距離と地形傾斜を変数とする関数になる。

集材費 (Y_c (円/ m^3)) は, 集材距離を変数とする直接集材変動費 (Y_{cv} (円/ m^3)), 木寄せ, 荷掛け, 荷卸しなどに要する直接集材固定費 (Y_{cf} (円/ m^3)), 作業路開設費 (Y_{cc} (円/ m^3)) から構成される。

$$Y_c = Y_{cv} + Y_{cf} + Y_{cc} \quad (53)$$

直接集材変動費は, 往復の費用である単位運材変動費 (T_v (円/ $m^3 \cdot m$)) と集材距離 (S (m)) で決まり,

$$Y_{cv} = T_v \cdot S \quad (54)$$

となる。

直接集材固定費は, 荷掛け, 積み込み・荷卸しの工程は運材と同一なので運材固定費を用い, これに次に述べる木寄せ工程を加えて算出する。木寄せ距離は, 実際の作業で一般的な距離とし, この距離の木寄せに要する時間から費用を積算する。平均木寄せ距離 ($p\ell$ (m)), 平均木寄せ速度 (vp (m/s)), 積載量 (pv (m^3 /回)) とすると, $1 m^3$ の木寄せを行うための木寄せ時間 (pt (s/ m^3)) は,

$$pt = (2 p\ell / vp) \cdot (1 / pv) \quad (55)$$

となる。ここで木寄せ費 (cp (円/ m^3)) は, 作業人員 (np (人)) とすると機械経費と労務経費から次により求められる。

$$cp = pt * (\elluc * np + muc) / 3600 \quad (56)$$

直接集材固定費は、この木寄せ費に運材固定費の積込み・荷卸し費（ Tf (円/ m^3))を加えて、

$$Y_{CF} = cp + Tf \quad (57)$$

によって得る。

作業路開設費（ Y_{CC} (円/ m^3))は、作業路開設で集材される材積で、作業路の開設経費を負担するように設定した。すなわち、作業路開設費を cr (円/m)、単位面積の出材量を V (m^3 /ha)とすると、作業路開設費は木寄せ距離と集材区間の出材量の関係から、次式で求めることができる。

$$Y_{CC} = cr / (4 p\ell * V / 10000) \quad (58)$$

(2) 車両系集材費関数に用いた数値

車両系集材の集材費関数の設定に用いた数値をTable 37に示す。数値には、他表との重複もあるが整理のため掲載した。直接集材変動費は、既述のTable 33の単位運材変動費を用いる。木寄せ費は、各集材法の木寄せ速度を求め(林野庁, 1988)、これと木寄せ距離から算定した。積み込み・荷卸し費は、Table 33の運材固定費を用い、これに木寄せ費を加えて直接集材固定費とした。その他の組人員等の数値は

Table 37. 車両系集材の集材費関数に用いた数値
Values for calculation about skidding costs functions of vehicle skidding

区 分 Classifications	トラクタ Tractor	フォワーダ Forwarders	
		中型 Medium-size	小型 Small-size
組人員 (人) Numbers of labor per set	3	3	3
平均走行速度 (km/h) Avg. traveling speeds (km/h)	3.4	7.9	1.8
積載量 (m^3) Loading capacities (m^3)	3.2	1.7	0.7
木寄せ組人数 (人) Numbers of labor for bunching	2	2	2
平均木寄せ距離 (m) Avg. bunching distances (m)	20	20	20
平均木寄せ速度 ($s/m^3 \cdot m$) Avg. bunching speed ($s/m^3 \cdot m$)	15.0	18.1	38.5
出材量 (m^3 /ha) Log volume (m^3 /ha)	300	300	300
直接集材変動費 (円/ m^3) Direct skidding variable costs (yen/ m^3)	1.073S	0.493S	3.589S
直接集材固定費 (円/ m^3) Direct fixed costs (yen/ m^3)	1746	2666	2772
作業路開設費 (円/ m^3) Skidding-roads construction costs (yen/ m^3)	$91.7e^{0.117\theta}$	$45e^{0.117\theta}$	$27.9e^{0.116\theta}$

Table 37のとおりである。作業路の全幅員は第2報Table 1を想定し、土量は、Fig. 48で説明した簡易土工モデルから推定し、それを3t級のブルドーザで掘削押土敷きならしをするとして開設費を算定した(林道研究会, 1991)。法面勾配は切取高1mまでは垂直、切取高が1mを超える場合は6分、ブルドーザ作業の要員は運転手を含んで3名として、機械経費、労務経費はTable 31及び32を用いて算出した。

4.5.3 最適集材システムの選択

Fig. 53は、Table 35の集材費関数から、代表例として、地形傾斜 20° の場合の集材費と集材距離の関係を図示したものである。この図によると、架線系集材は、集材距離が長くなるにつれて、小型タワーヤード、中型タワーヤード、大型集材機の順で有利になるのが分かる。架線系集材には、架設・撤去の固定費があるため、極端に短い集材距離では、集材費が増加するが、集材距離が数十m以上では、集材距離に比例的な費用となる。具体的には、小型タワーヤードは、集材距離24mで集材費1460円/m³を最小集材費に、集材距離72m、1970円/m³まで最も有利な集材システムである。その後、集材距離が増大すると中型タワーヤードに移行し250m、3370円/m³まで選択される。さらに、集材距離が増加すると架設・撤去の機動性は劣るが、集材能力自体は優れている集材機集材が有利となる。集材機集材は、集材距離が長くなっても、集材費がタワーヤード集材のように急激に増大しない特色を持つ。

車両系集材は、作業路開設費が地形傾斜で異なるので、集材距離のみで集材法の選択ができない。しかしながら、一般的には、集材距離が短ければ、直接集材固定費の低廉なトラクタが、中型フォワーダ

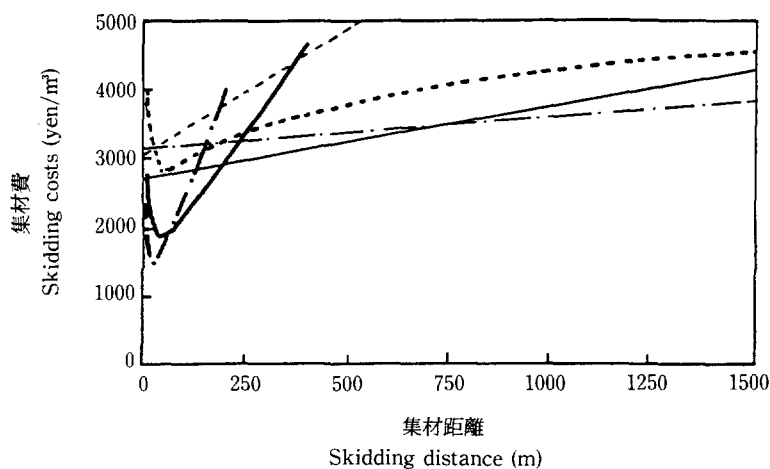


Fig. 53 集材システムと集材費 (地形傾斜 20°)
Skidding systems and skidding costs (Terrain slope: 20°)

- | | |
|---|---|
| — · — ·, 小型タワーヤード;
Mobile yarder
(small-size) | ——, 中型タワーヤード;
Mobile yarder
(medium-size) |
| -----, 大型集材機
Yarder (large-size) | ——, トラクタ(クローラ);
Tractor (crawler) |
| — · — ·, 中型フォワーダ;
Forwarder
(medium-size) | -----, 小型フォワーダ
Forwarder
(small-size) |

に比べ有利な集材法といえる。地形傾斜が急峻になると、トラクタはフォワーダより広い作業路幅員が必要のため、有利な集材距離は短縮されるが、Fig. 53 の地形傾斜 20° では、750 m まで有利になる。それより長い集材距離では、直接集材変動費や作業路開設費の低廉な、中型フォワーダが有利になる。小型フォワーダは、集材作業能率が低いため集材費が高く、 20° までは車両系集材の中では選択されない。 20° を超える険しい地形になると、次第に作業路開設費が相対的に低廉なことで有効性を発揮し、小型フォワーダが選択される機会が生まれる。

最適集材システムの選択は、林道規格と各集材法の集材費の関係で決定される。林道規格が集材システムに制約的に働く原因は、車道幅員の狭い林道3級が導入された場合に起きる。林道3級は、車道幅員を2 m とし、2 t トラックの小型自動車を計画車両として想定していることから、中型タワーヤード、大型集材機、トラクタの搬入は困難となり、集材システムは小型タワーヤード、中型フォワーダ、小型フォワーダの組み合わせに集材システムが限定される。

Fig. 54 は林道1, 2級及び作業林道の林道網を想定する場合の集材システムの選択図であり、Fig. 55

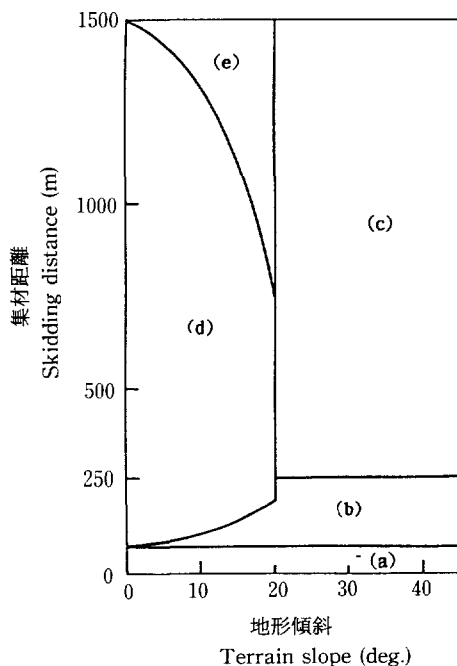


Fig. 54 集材システムの選択(1)
林道1級, 林道2級, 作業林道
Selection of skidding systems(1)
Forest-road standards: 1st 2nd grade and
low-structure

- | | |
|---|--|
| (a), 小型タワーヤード;
Mobile yarder
(small-size) | (b), 中型タワーヤード;
Mobile yarder
(medium-size) |
| (c), 大型集材機;
Yarder (large-size) | (d), トラクタ(クローラ);
Tractor (crawler) |
| (e), 中型フォワーダ;
Forwarder (medium-size) | |

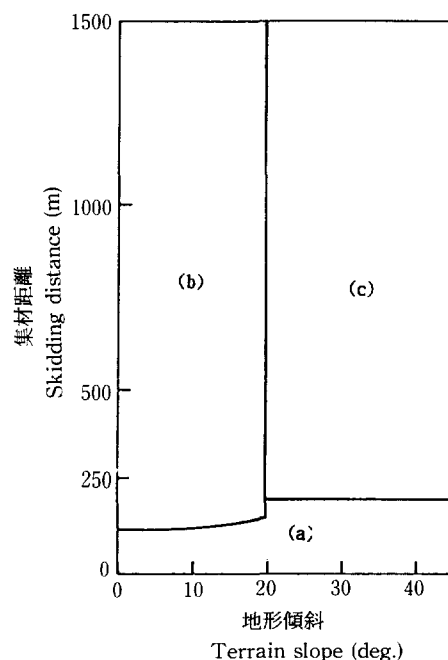


Fig. 55 集材システムの選択(2)
林道3級
Selection of skidding systems (2)
Forest-road standard: 3rd grade

- | | |
|---|---|
| (a), 小型タワーヤード;
Mobile yarder
(small-size) | (b), 中型フォワーダ;
Forwarder
(medium-size) |
| (c), 小型フォワーダ;
Forwarder (small-size) | |

は林道3級に対応する図である。ここで、林道網と最適集材システムの選択の關係に触れる。林道1, 2級及び作業林道による林道網の最適集材システムは、経済的にいずれの集材法より不利であった小型フォワードを除く5種類の集材法からなる。Table 35の集材費関数で分析した結果、車両系集材と架線系集材の分岐点は、地形傾斜 20° を少し超えた付近にある。しかしながら、急傾斜地で比較的用地幅が広い作業路を開設することは、土砂流出や崩壊等の森林環境に及ぼす影響などから好ましくないことを考慮して、一応、 20° をトラクタ集材と中型フォワード集材の限界的な地形傾斜とした。Fig. 55から明らかに、72 m未満の短距離集材では、小型タワーヤードが地形傾斜にかかわらず、常に有利な集材法となった。トラクタと中型タワーヤードの關係は地形傾斜が険しくなると、作業路の経費のかかり増しで中型タワーヤードの領域が拡張し、 20° では200 mまで中型タワーヤードが有利な集材となる。エンドレスタイラー方式の大型集材機と中型タワーヤードの分岐点は、既述のように集材距離250 mの地点にある。トラクタと中型フォワードの關係は集材距離が長くなり、地形傾斜が険しくなるにつれて中型フォワードが有利となる。地形傾斜が平坦の場合には1500 mまでトラクタが有利だったが、 20° では750 mが両者の分岐点となることは既述した。

林道3級に対応する最適集材システムは、短距離集材ではやはり小型タワーヤードが有利で、地形傾斜によって多少異なるが集材距離125~200 mまでを範囲にする。小型フォワードと中型フォワードの關係は、集材費でみる限り 20° までは、集材距離の長短にかかわらず中型フォワードが有利である。小型フォワードは、経済的には 30° を超える急傾斜地で、150 m付近までの短距離集材で有利と試算されたが、急傾斜地に幅員の広い作業路を作設することは前述のように好ましくないため、 20° 以上で小型タワーヤードで集材できない200 m以上の集材距離の箇所は、小型フォワードの領域とした。

集材費は、最適集材システムの選択によって、集材距離の1次関数的な経費ではなく、林道密度を高めて、集材距離を短縮させることで、急激な経費の低下が期待でき、高密度の林道網の整備を経済的に可能にする。しかしながら、本論で想定した集材システムでは、集材費には常に固定費的な経費があるので、仮に、集材距離25 mまで林道密度を高めたとしても、1500 円/m³程度の集材費を要し、それ以上密度を高めても集材費は低減しない。密度効果は次第に薄れることが理解できよう。

4.6 その他の路線評価因子

本節では、林道網の路線配置の状況が到達距離に及ぼす影響を説明するため、林道密度と到達距離の關係から算出される林道密度修正係数($V\text{-corr}$)や開発率(E)を検討した。これらの係数は、集材費や歩行費を林道密度から算定するために必要であり、第2報の2.2の方法で林道規格を決定し、適正林道密度を算出するために欠くことのできない因子である。また、林道規格で線形が異なるならば、林道路線評価因子に線形を加える必要があり、路線配置の際も規格に対する配慮が必要になる。このため、林道規格と線形の關係を、設計要素による幾何構造評価と迂回率によって検証する。

4.6.1 林道密度と到達距離の關係

到達距離は、林道計画に極めて重要な指標であるが、その算出には時間のかかる、煩雑な図上作業を要する。このため、林道密度と到達距離を關係付ける修正係数に対する関心は深く、SEGEBADEN(1964)を始めとし、理論的研究や実際の概略値を求めるための実験的研究が盛んに行われてきた(BACK-

MUND, 1966; LÜNZMANN, 1968; SAMSET, 1969, 1975; FAO, 1974; ABEGG, 1978)。

我が国では、堀ら (1971) の到達距離分布関数に関する研究によって、林道網定数 (f) と呼称された修正係数の概略値が見い出された。この修正係数は、林道網の路線配置の良否を評価する指標に用いることができることなどから、コンピュータ支援による林道路線配置法の研究の進展とともに、最近、再度関心が払われている (神崎・三宅, 1990; 酒井徹朗, 1990; 小林・仁多見, 1991; 芝・LÖFFLER, 1992)。

我が国では、林道がなるべく均一となるように配置した、林道密度が 13.9~28.4 m/ha の範囲にある林道網計画から得た、 $f=1.4$ 程度が修正係数の概略値とされている (堀ら, 1971)。しかしながら、実際に整備されている林道網の修正係数の概略値は十分検討されているとはいえず、地形、林道密度、 β 指数等が修正係数に及ぼす影響、さらには路線の迂回との関係が未解明であることから、修正係数の概略値とその特性を、実験的に確かめておく必要があると考えた。修正係数に関する用語は、多くの研究者から提案されているが、本報告では SEGEBADEN (1964) に準じ、 V -corr (林道密度修正係数) とした。

(1) 資料及び方法

分析は、北海道、本州、四国の3地域から各6地区、合計18地区の国有林野の林道網を対象に行った。資料は、各地域で比較的林道網の整備が進み、路線配置に極端な偏りがないものを選定した。区域森林は、路線の直接的な利用区域森林と考えられる区域を稜線、河川で区分して設定した。用いた林道網図は、国有林野で使用している縮尺 1/20 000 の事業図である。

測定地区の森林と林道網の概要を Table 38 に示す。測定地区の区域森林面積は、235~2 024 ha である。北海道、本州、四国の各地域の地形傾斜の平均は、23.1, 34.3 及び 64.9%, 同様に起伏量は、212, 230 及び 464 m である。このことから、北海道は緩傾斜地、四国は急傾斜地でかつ起伏量も大きいことから、長い山腹斜面を有する地形、本州は北海道と四国の中間的な地形傾斜の地区が、測定地区に選定されたことが読み取れる。ここで、Fig. 56 に横軸に地形傾斜、縦軸に累積度数を用いた地形傾斜分布曲線を図示する。これは、各地域から地形の険しさが相対的に、厳しい、中庸、簡易と判断される地区をそれぞれ選定し、各地区の地形傾斜分布曲線を太線で描き、DIETZ, P. ら (1984) による地形区分を細線で画いたものである。この図からも、我が国の林道網整備の対象地域の地形は、中央欧州地域に比較して、北海道の一部を除いて極めて困難な状況にあることが理解できよう。

林道密度 (D) は、北海道は 33.1~62.5 m/ha と最も高く、本州は四国と中間の 18.0~50.0 m/ha、四国は 9.6~39.1 m/ha となっている。林道規格別の D は、地区ごとに異なり、 D の範囲は林道 (林道 1~3 級) が 7.6~39.1 m/ha、作業林道は 2.8~52.6 m/ha となり、地域で特色がみられた。本節で分析対象とした作業林道は、臨時的な性格を持つ路線として作設されたが、その後、比較的長期間に渡って使用されているトラック道なので、第2章で説明した作業林道と同概念と考えてよい。測定地区として選定された地区の林道網整備の特徴を述べると、北海道は道路の作設が他の地域に比べて、比較的容易なことから、林道規程の林道の機能を代替する作業林道を含めて、林道網が比較的良好に発達している。一方、四国は、急傾斜地形で多雨なことなどから、作業林道の作設・維持管理が技術的に困難とされ、林道規程の林道のみで林道網が形成されているのが特色となってる。本州は、 D の高さや林道と作業林道の密度割合からみて、北海道と四国の中間的な地区が選定されたといえる。

Table 38. 測定地区の森林及び林道網の概要
Aspects of measured forest areas and their forest-road networks

地区名 Districts	番号 Nos.	区域森林 面積 Forest areas (ha)	形状値 Shape values of areas	地形傾斜 Terrain slopes (%)	起伏量 Relief energies (m)	林道密度 Densities			迂回率 Windings		β 指標 β -indices	外部との連 絡点数 Numbers of nodes from outside per 100ha
						林 道 Regulars (m/ha)	作業林道 Low- structure (m/ha)	合 計 Totals (m/ha)	500m	1 000m		
定山溪 Jozankei	I-①	2 024	0.038	22.1	192	20.5	17.7	38.2	0.46	0.76	1.25	0.54
留辺蘂 Rubeshibe	I-②	235	0.036	11.6	179	20.1	42.4	62.5	0.41	0.37	1.05	3.83
置戸 Oketo	I-③	718	0.048	16.4	196	16.2	41.2	57.4	0.20	0.34	1.24	2.09
津別 Tsubetsu	I-④	370	0.036	24.5	238	11.7	21.4	33.1	0.32	0.76	1.21	1.08
日高 Hidaka	I-⑤	772	0.039	31.1	303	17.0	17.1	34.1	0.24	0.43	1.17	0.91
夕張 Yubari	I-⑥	501	0.026	32.6	165	7.6	52.6	60.2	0.71	0.85	1.03	2.59
北海道 Hokkaido averages		770	0.037	23.1	212	15.5	32.1	47.6	0.39	0.59	1.16	1.84
掛川 Kakegawa	II-①	802	0.038	47.1	288	26.0	24.0	50.0	0.73	0.68	1.15	1.12
新城A Shinshiro A	II-②	435	0.040	31.0	207	21.6	6.8	28.4	0.28	0.39	1.07	1.15
新城B Shinshiro B	II-③	1 345	0.025	35.7	228	17.8	5.8	23.6	0.34	0.36	0.97	0.97
小坂 Kosaka	II-④	1 802	0.041	38.3	303	18.0	0	18.0	0.39	0.56	1.06	0.44
浜松 Hamamatsu	II-⑤	307	0.024	29.6	203	22.9	15.4	38.3	0.71	1.38	1.08	1.63
高萩 Takahagi	II-⑥	1 068	0.017	24.0	149	17.0	2.8	19.8	0.37	0.46	0.88	1.40
本 州 Honshu averages		960	0.031	34.3	230	20.6	9.1	29.7	0.47	0.64	1.04	1.12
魚梁瀬A Yanase A	III-①	571	0.054	67.7	539	9.6	0	9.6	0.72	0.38	0.75	0.53
魚梁瀬B Yanase B	III-②	264	0.040	57.5	274	13.0	0	13.0	0.37	0.59	0.50	0.76
中村 Nakamura	III-③	634	0.034	65.5	576	21.4	0	21.4	0.74	1.24	1.00	0.47
高知 Kochi	III-④	259	0.052	61.8	354	39.1	0	39.1	0.66	0.85	0.83	1.54
奈半利 Nahari	III-⑤	1 201	0.039	60.7	444	18.2	0	18.2	0.48	0.96	0.90	0.50
大柵 Oodochi	III-⑥	339	0.050	76.0	599	21.2	0	21.2	0.48	0.99	0.75	0.88
四 国 Shikoku averages		545	0.045	64.9	464	20.4	0	20.4	0.58	0.84	0.79	0.78
平 均 Averages		758	0.038	40.7	302	18.8	13.8	32.6	0.48	0.69	0.99	1.25

地形及び林道網の測定は以下の方法で行った。等高線と路線データは、デジタイザで座標位置を入力し、格子点法をパソコン処理した。格子間隔は、地形図の縮尺と求める成果の精度の関係から決定されるが、ここでは図上で5 mm・5 mm間隔で格子を掛けたことになる、100 m・100 mを格子間隔とした。座標位置データのサンプリング間隔は、20～30 m程度(図上では1～1.5 mm)になるように設定した。

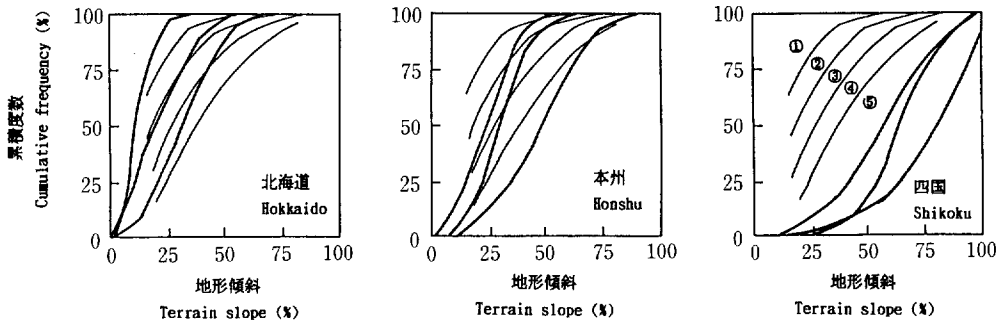


Fig. 56 地形傾斜の分布曲線
Distribution curves of terrain slopes

注) 1. 細線は文献 (DIETZ *et al.*, 1984) による①～⑤の地形分類の区分線である。

①, 平坦; ②, 丘陵; ③, 中山; ④, 急; ⑤, 非常に急。
2. 太線は, 代表的な地区の地形傾斜の分布曲線である。地形が困難な順序に, 北海道, I—⑥, I—①, I—②; 本州, II—①, II—⑤, II—⑥; 四国, III—⑥, III—③, III—②の地区である。

Notes: Thin lines are classifications of terrain (DIETZ *et al.*, 1984):

①, Flat; ②, Hill; ③, Middle; ④, Steep; ⑤, Very steep

Thick lines are typical cumulative frequencies in each region. From difficult order: Hokkaido, I—⑥, I—①, I—②; Honshu, II—①, II—⑤, II—⑥; Shikoku, III—⑥, III—③, III—②.

測定地区の地形傾斜や, 起伏量の算出に用いる数値地形モデル (D. T. M.) は, 対象区域に画かれている 20 m 間隔の等高線をデジタイザですべて入力し構築した。各格子点の標高は, 等高線を入力して得たコンターマップから算定した (塩野ら, 1988 a, 1988 b)。地形傾斜は, 各測点の最急傾斜を格子点の標高から算出し (中島, 1968; 小林, 1983), すべての地点の傾斜の中央値を地区の地形傾斜とした。起伏量は, 1 000 m * 1 000 m の格子間隔における, 標高の最高点と最低点から高度差を算出し, 各測点の平均とした。

到達距離の測定は, SEGEBADEN の点格子法に準じた (SEGEBADEN, 1964; 酒井徹朗, 1990; 小林・仁多見, 1991; 芝・LÖFFLER, 1992)。平均最短到達距離 (S_m (m)) は, 区域森林内のすべての格子点 (N) から路線までの最短直線距離 (S_i (m)) を格子点ごとに求め, その平均値とした。

$$S_m = \sum S_i / N \quad (59)$$

最大到達距離 (S_l) は, N 個の格子点から路線までの S_i を求め, その最大値とした。

$$S_l = \text{Max}(S_i) \quad (60)$$

開発率 (E (%)) は, 路線から一定距離 (ℓ_e (m)) の開発地帯内にある森林面積 (A_e (ha)) を区域森林面積 (A (ha)) で除した値で, (61) 式で算定される。 E_{sm} (%) は, $\ell_e = S_m$ の場合の開発率である。 E は, 路線から最短 100 m, 最大 500 m で 100 m 間隔に ℓ_e を設定し, その開発地帯の内側にある格子点数を N で除して得た。

$$E = (A_e / A) * 100 \quad (61)$$

BACKMUND の開発率 (E_B) は、(62)式で得た ℓ_B の距離の内側にある森林面積 (A_B) の A に対する割合であり、 $\ell_e = \ell_B$ として E と同様の方法で求めた (BACKMUND, 1966; 堀, 1988)。

$$\ell_B = 5\,000/D \quad (62)$$

$$E_B = (A_B/A) \cdot 100 \quad (63)$$

D (m/ha) は、林道延長 (L (m)) を A で除した値である。

$$D = L/A \quad (64)$$

平均到達距離には次の3種類がある。すなわち、幾何学的な理想林道網モデルで(65)式から数学的に得られる平均理論到達距離 (S_t)、現実的林道網の各森林地点から路線までの最短距離で(59)式による平均最短到達距離 (S_m)、現実的林道網の現実の到達距離の平均実到達距離 (S_r) である。これらの各平均到達距離と D の関係は、 V -corr と T -corr を導入して、(65)～(69)式のように展開される (SEGEBADEN, 1964; DIETZ ら, 1984; 上飯坂・神崎編, 1990)。

$$S_t = 2\,500/D \quad (65)$$

$$S_m = S_t \cdot (V\text{-corr}) \quad (66)$$

$$V\text{-corr} = S_m \cdot D/2\,500 \quad (67)$$

$$S_r = S_m \cdot (T\text{-corr}) \quad (68)$$

$$S_r = (V\text{-corr}) \cdot (T\text{-corr}) \cdot 2\,500/D \quad (69)$$

V -corr は、林道網が理想的な路線配置モデルから隔る程度、すなわち幾何構図の良否を主として表し、 T -corr は集材の場合には集材迂回率、歩行では歩行距離係数に相当する。林道密度理論でしばしば用いられる林道の迂回率は、性格的には V -corr に含まれると考えてよい。林道網の測定結果の概要を Table 39 に示す。

(2) 林道密度修正係数

ア. 林道密度修正係数の概略値

林道網の発達が林道密度修正係数 (V -corr) に及ぼす影響を明らかにするため、路線の整備順序を想定して、最終的な林道密度 (D) の $1/10$ を目安とする V -corr を、(59)式と(67)式から求めた。各地区の路線の整備順序は不明なので、幹線的な路線から次第に支線、分線へ進んだと仮定した。ただし、夕張は路線配置の状況から幹線、支線、分線の区分が困難な林道が多かったので、林道網の起点側から次第に整備が進んだと仮定した。

Fig. 57に D と V -corr の関係を示す。北海道で、 V -corr が $2 \sim 3$ と極端に大きな値を示す夕張は、既述のように D が $20 \sim 50$ m/ha の段階で、他地区とは異なる路線の整備順序の考え方を想定したため、一時的に路線配置に極端な偏りを生じた。このため、 D の上昇に見合うほど S_m が減少せず、これが極端に大きな V -corr になった原因である。四国で比較的大きな V -corr を示した中村と大栃は、急傾斜地で起伏量が大きいにもかかわらず、路線の標高を高めるための中腹林道の整備を進めたため、極端な林道の迂回

Table 39. 林道網の測定結果の概要
Aspects of measurement values of forest-road networks

地区番号 District Nos.	林道密度 Densities D (m/ha)	林道密度 修正係数 Forest-road network adjustments V -corr	平均最短 到達距離 Avg. min. skidding distances S_m (m)	最大 到達距離 Max. skidding distances S_l (m)	S_l/S_m	開発距離別開発率 Opening percentage every limits of distances E (%)					開発率 Opening percentage E_{sm} (%)	BACKMUND の開発率 BACKMUND's opening percentage E_b (%)
						100m	200m	300m	400m	500m		
I-①	38.2	1.83	120	831	6.9	61	83	91	95	98	67	70
I-②	62.5	1.63	65	312	4.8	79	97	100	100	100	60	72
I-③	57.4	1.74	76	632	8.3	78	94	97	98	99	66	73
I-④	33.1	2.13	161	606	3.8	50	67	79	90	96	62	61
I-⑤	34.1	1.42	104	430	4.1	58	86	98	100	100	60	74
I-⑥	60.2	1.47	61	317	5.2	82	96	99	100	100	61	74
平均	47.6	1.70	98	521	5.5	68	87	94	97	99	63	71
Averages												
II-①	50.0	2.06	103	677	6.6	64	85	94	98	99	65	64
II-②	28.4	1.64	144	598	4.2	48	73	88	94	98	62	69
II-③	23.6	1.69	179	945	5.3	37	64	82	93	97	58	66
II-④	18.0	1.80	250	1 534	6.1	33	57	71	80	87	65	69
II-⑤	38.3	1.76	115	416	3.6	53	80	96	99	100	58	65
II-⑥	19.8	1.66	209	981	4.7	35	61	76	85	91	63	70
平均	29.7	1.77	167	859	5.1	45	70	85	92	95	62	67
Averages												
III-①	9.6	1.66	432	1 218	2.8	14	28	41	52	63	55	64
III-②	13.0	1.54	296	957	3.2	25	42	58	72	82	58	70
III-③	21.4	2.41	281	1 001	3.6	32	49	60	70	78	58	54
III-④	39.1	1.66	106	381	3.6	54	85	97	100	100	57	68
III-⑤	18.2	1.68	231	935	4.0	32	55	71	82	89	60	67
III-⑥	21.2	1.77	209	768	3.7	35	57	73	84	92	59	64
平均	20.4	1.79	259	877	3.5	32	53	67	77	84	58	65
Averages												
平均	32.6	1.75	175	752	4.7	48	70	82	88	93	61	67
Averages												

を生じた。このため、 D が20 m/ha前後で路線配置が急激に偏り、 V -corrが2.5程度まで大きくなった。林道網の発達の途中段階で、一時的に V -corrが大きくなっても、林道整備が進み、路線配置の偏りが是正されると、極端に大きな値は姿を消し、1.5～2.0程度の値に収束していくのが認められる。

(65)式の理想林道網モデルは、十分広い森林面積を前提に展開されているので、実際には A が狭くかつ D が低い場合に、理論的にはありえない1.0を下回る V -corrになることがあり、その適用には限界があるのは明らかである（Fig. 57）。 D と S_m の係数に迂回率（ η ）を導入して、 D と A の適用限界を実験的に分析した例から類推すると（酒井秀夫，1986）， D が高密で A が大きければ、実用上問題ないと思われるが、(65)式が適用できる A と D の関係についての検討は充分とはいえない。このため、(70)式を用いて補足する。森林の区域形状や林道の迂回等の条件が一定でないことから、(70)式を成立させる不変的な A と D の関係をj知ることjはできない。しかし迂回が零で、区域形状が正方形であるという条件のもとでは、 D が5 m/haで400 ha、10 m/haでは123 ha以上の A が必要なのjが分かる。

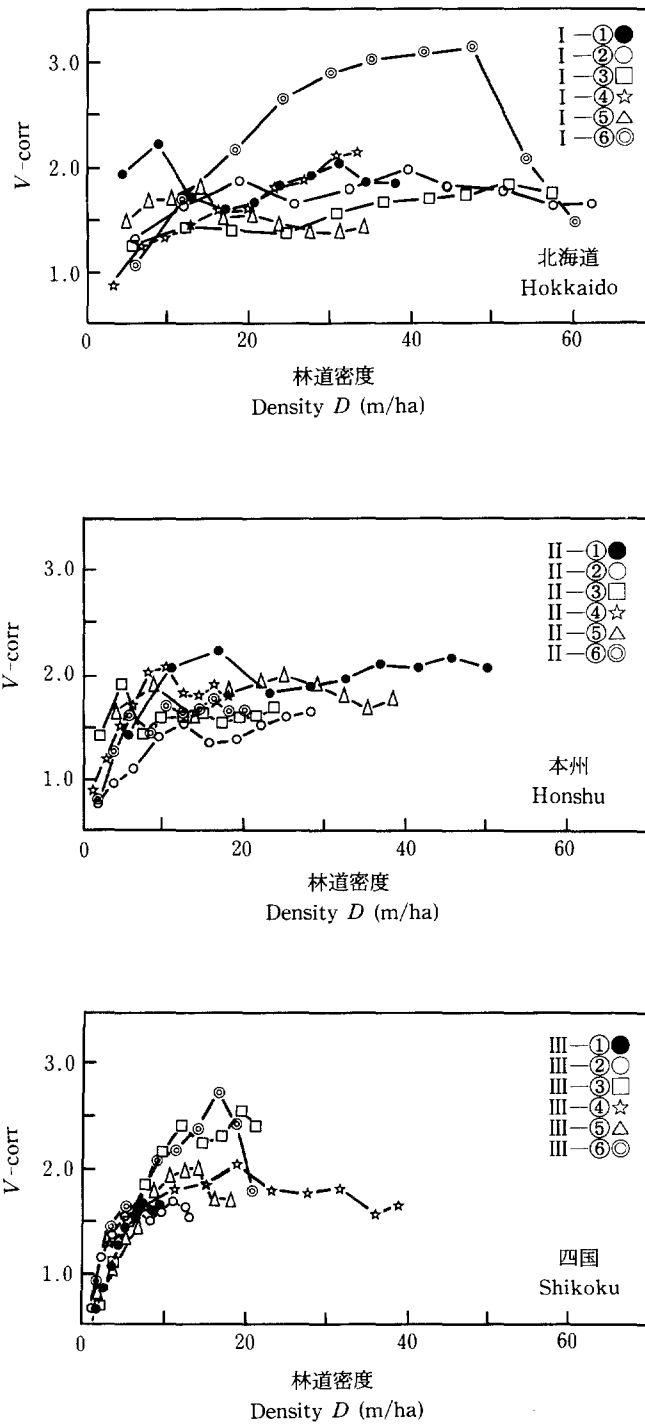


Fig. 57 林道密度と $V\text{-corr}$ の関係
Relationships between forest road densities and $V\text{-corr}$

Table 40. 地域別の V -corr
Outline values of V -corr in each region

	北海道 Hokkaido	本 州 Honshu	四 国 Shikoku	全 国 Averages	標本数 Samples
V -corr	1.70	1.77	1.79	1.75 1.42~2.41	18
10~20(m/ha)	1.61	1.71	2.05	1.81	53
20~30	1.64	1.75	1.83	1.73	24
30~	1.75	1.94		1.79	31
平 均(計) Averages or totals	1.68	1.76	1.99	1.79	(108)

注) 林道密度に対応する数値は、路線の整備順序を想定した資料によるものである。

Note: The values per D (m/ha) are presumption data of the development of forest-road networks.

$$(4 * 2500 * (1+\eta)/D)^2/10000 = 10000 * (1+\eta)/D^2 \leq A \quad (70)$$

これらのことから、路線の整備順序を想定した資料による分析に限って、路線の整備順序を他地区と異なる考えで想定した夕張と、区域森林面積の大きさから判断して、 D が10 m/ha以下を除いたデータを用いて、以下の分析を行った。

各地域の V -corrを D ごとに求めた結果をTable 40に示す。これによると、 V -corrは1.42~2.41の範囲にあり、平均は1.75であった。地域でみると北海道と本州は、 D が高くなると V -corrも大きくなったが、四国は、異なる傾向を示した。この原因としては、四国では、 D が10~20 m/ha段階で非常に偏った路線配置状態となった地区が含まれていることが上げられる。地域的には北海道、本州、四国と地形が険しくなるにつれて V -corrは大きくなったが、その差は余り大きいとはいえない結果になった。

以上のことから、我が国では、林道網の路線配置に極端な偏りがない、一般的な林道整備が進められる地区の V -corrは、林道密度、地形を考慮してもその多くは1.5~2.0程度の範囲内にあり、実用的な V -corrの概略値としては、1.75を用いることが妥当であろう。

イ. 林道密度修正係数に影響を与える因子

DIETZらによると、平均実集材距離 (S_r) を求めるための V -corr * T -corr (総合修正係数) は、①地形の困難さが増すにつれ大きくなる。② D が高くなると少し大きくなる。③開設区域が大きくなると大きくなる。地域の周囲の長さとの連絡点の数が多くなると大きくなる。④開設区域の形が悪くなると大きくなる。とされている (DIETZら, 1984; 上飯坂・神崎編, 1990)。

ここでは、 V -corrに影響を与える因子を分析することによって、その特性を確かめた。解析には、目的変数を① V -corrとして重回帰分析を用いた。用いた因子をTable 41に示す。説明変数は、②区域森林面積、③形状値、④地形傾斜、⑤起伏量、⑥林道密度、⑦ η_s 、⑧ η_L 、⑨ β 指標、⑩連絡点数の9因子とした。主要な因子について多少の説明を加える。③は、3.2.1で説明したように、森林面積と森林周長の関係によって得られる値で、値が小さくなるにつれて、複雑で細長い形状になる特性を持つ。⑦は迂回率で、デジタルプランメータで測定し、測定区間の直線距離 (l_0) が500 mの場合である。⑧は $l_0=1000$ m

の場合である。⑨は林道網の結合度を示す指標でリンク数をノード数で除した値である（上飯坂ら，1975；SAKAI・NAYA，1992）。⑩は単位面積（100 ha）当たりの外部との連絡点数である。

V -corrと9因子の相関係数行列をTable 41に示す。これによると、 V -corrと⑧の η_L の相関係数($r=0.45$)が有意水準10%で正の相関関係有り認められ、それ以外の8因子では⑤，⑦，⑨にやや低い正の相関関係が，⑩はやや低い負の相関関係を示した。つぎに，変数増加法による重回帰分析で変数の増加順位を調べたところ，⑧，⑨，⑤，③，⑩の順序で増加した。分散分析の結果，F検定で5%水準で有意であったのは⑧，⑨，⑤の3因子の場合で，この時の重相関係数は有意水準0.05で有意の0.66，分散比は3.56だった(Table 42)。重回帰分析の重相関係数は，有意水準0.05で有意であったが，重相関係数の高さから判断して，Table 42の重回帰方程式を用いて，精度の高い V -corrの推定を行うことは困難と考えられる。以上の結果から， V -corrに影響を及ぼすと考えられる各因子と V -corrの関係は総じて低く，決定的な影響を及ぼす因子は存在しないと結論された。

地形の険しさを示す④，⑤と V -corrの関係は，それぞれ一応正の相関関係にあることから，地形が険しくなるにつれて，多少は V -corrが増大するといえ，4.6.1(2)アの結果とも一致する(Fig. 58)。地形傾斜よりも起伏量の方が， V -corrに大きな影響を及ぼす結果になったが，これは山腹斜面の大きさが問題になるのを示し(Fig. 58)，山腹の斜面長に関心を払う必要性を改めて痛感させられる。 β 指標と正の相関関係が認められたことは，林道網の循環性が高まるにつれて，開発地帯に重複を生じることからも理解できよう(Fig. 58)。 D が高くなると少しは V -corrも大きくなるといえそうであるが，外部との連絡

Table 41. V -corrに影響を与える因子の相関係数行列
Correlation coefficients on V -corr

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
① V -corr Forest-road network adjustments	1.00									
② 区域森林面積 Forest areas	0.07	1.00								
③ 形状値 Shape values of areas	-0.02	-0.18	1.00							
④ 地形傾斜 Terrain slopes	0.18	-0.19	0.48*	1.00						
⑤ 起伏量 Relief energies	0.34	-0.14	0.55*	0.89**	1.00					
⑥ 林道密度 Densities	-0.08	-0.21	-0.11	-0.59**	-0.54*	1.00				
⑦ 迂回率(η_s) Windings (η_s : 500m)	0.31	-0.20	-0.00	0.50*	0.40	0.04	1.00			
⑧ 迂回率(η_L) Windings (η_L : 1 000m)	0.45	-0.16	-0.15	0.39	0.36	-0.05	0.62**	1.00		
⑨ β 指標 β -indices	0.28	0.33	-0.20	-0.69**	-0.45	0.59**	-0.20	-0.04	1.00	
⑩ 外部連絡点数 Numbers of nodes from outside	-0.31	-0.45	-0.21	-0.55*	-0.52*	0.81**	-0.03	-0.18	0.20	1.00

注) 相関係数の有意水準は，**0.01，*0.05である。

Note: **, Significant at the 0.01 level; *, Significant at the 0.05 level.

点数との関係は前述のDIETZらとは逆の傾向を示し、 A や区域形状ともほとんど関係が認められない結果になった。この結果は、 A の大小は路線配置に極端な偏りがなければ、問題にはならないことを、また、本資料程度の形状の複雑さでは、 V -corrに影響を及ぼさないことを表していると思われる。

Table 42. V -corrを推定するための重回帰式
Multiple regression formula to estimate V -corr

$$y = 0.764 + 0.233x_1 + 0.605x_2 + 0.001x_3$$

y : V -corr

x_1 : η_L , Windings x_2 : β 指標, β -index x_3 : 起伏量, Relief energy

重相関係数 ($r=0.66^*$)

Multiple correlation coefficient

分散比 $F=3.56$

F-ratio

注) 重相関係数 (r) の有意水準は、*0.05である。
Note: *, Significant at the 0.05 level.

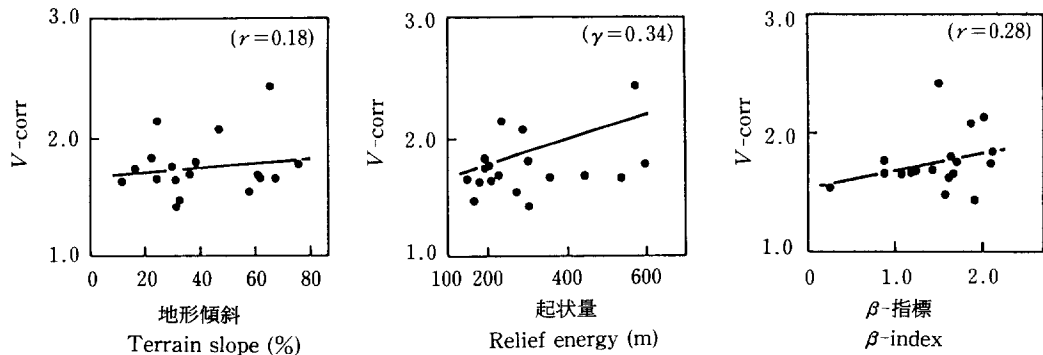


Fig. 58 V -corrと V -corrに影響を与える因子の関係
Relationships between V -corr and some influential factors

林道路線の迂回（特に η_L ）は、決定的ではないものの、 V -corrに最も大きな影響を与える因子であることが判明した。そこで η_L と V -corrの関係をFig. 59に示す。 η_L の全路線延長に対する測定対象延長の比率は63%（ η_S は85%）とかなり低いにもかかわらず、大きな影響を及ぼしていることから、小さな迂回は S_m に余り影響しないことになる。 η の概略値や特性は、4.6.2の分析結果や、中腹林道の η_S を測定した結果 $\eta=0.76$ とする報告がある（藤原、1968）。実際、本項の η_L の測定結果でも $(1+\eta_L)$ の値は V -corrに近い。このため、 η によって V -corrが決定されるかのような印象を受

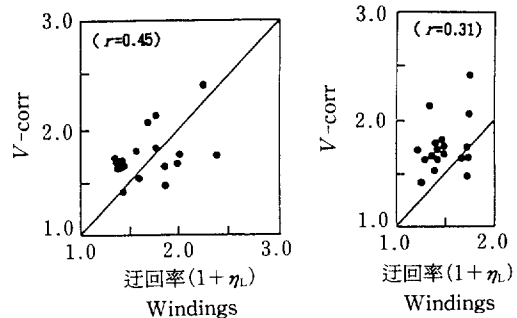


Fig. 59 V -corrと迂回率の関係
Relationships between V -corr and windings

けるが、 η と V -corrの相関係数の高さから判断して、 η から V -corrを精度良く推定するのは困難なことは明らかである。このことは、 V -corrは、迂回も含んだ林道網の幾何学的偏りを評価する総合的な指標であることから理解できよう。

(3) 開発率及び林道密度と平均到達距離

ア. 開発率の分布

(61)式で得た E を縦軸に、横軸には ℓ_e を S_m で除した到達距離比 ($t = \ell_e/S_m$) を用いて、開発率の分布を図示したものがFig. 60である。この分布を(71)式の堀ら (1971) の半理論式に代入すると(72)式となり、決定係数 (r^2) から判断して、あてはめの精度は極めて高い。この時の、 S_m の S_t に対する比率であるパラメータ $Z (Z = S_t/S_m)$ は4.70であった (Table 43)。

$$E(t) = 1 - (1 - t/Z)^{Z-1} \quad (71)$$

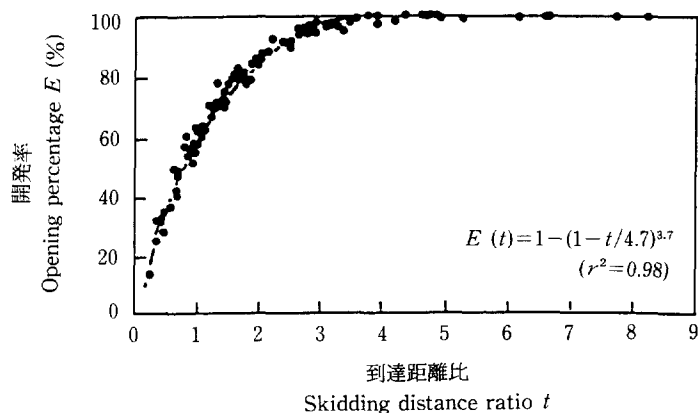


Fig. 60 開発率の分布
Distribution of opening percentages for the skidding distance ratios

Table 43. 地域別の $Z (=S_t/S_m)$
Outline values of $Z (=S_t/S_m)$ in each region

	北海道 Hokkaido	本州 Honshu	四国 Shikoku	全国 Averages	標本数 Samples
S_t/S_m	5.5	5.1	3.5	4.7	18
				2.8~8.3	
10~20 (m/ha)	3.9	4.3	3.5	3.9	53
20~30	4.8	4.1	3.5	4.3	24
30~	5.4	4.9	3.7	5.1	31
平均(計) Averages or totals	4.8	4.4	3.5	4.4	(108)

注) 林道密度に対応する数値は、路線の整備順序を想定した資料によるものである。

Note: The values per D (m/ha) are presumption data of the development of forest-road networks.

$$E(t) = 1 - (1 - t/4.7)^{3.7} \quad (r^2 = 0.98) \quad (72)$$

次に、4.6.1(2)アですでに説明した、路線の整備順序を想定した資料では、 Z は4.4と多少低下したが(73)式となり、やはりあてはめの精度は極めて高く、(71)式のモデルのよさが確認できる。

$$E(t) = 1 - (1 - t/4.4)^{3.4} \quad (r^2 = 0.99) \quad (73)$$

ここで D と Z の関係をTable 43に示す。これによると、 D が高くなると明らかに Z も同様に大きくなる。この関係は、 D の上昇に対応するほど S_r は減少しないことを意味し、路線配置の偏りのために、 E が D と平行に上昇するとは限らないことを示している。堀ら（1971）は、路線配置がある程度均一となるように計画した林道では、 $Z=3.6$ と報告したが、実際に配置されている林道網では、 D が高くなると Z も大きくなり、 $D>30$ では $Z>5$ となった。しかしながら、(71)式は Z に対して鈍感なので、 D が増大しても問題はない。

堀（1988）は、 V -corrと(63)式の E_B の関係を分析して、我が国では E_B は V -corrに過小な推定値を与えると報告した。本研究でもFig. 61に示すように、このことが確認された。

次に、 E_B と E_{sm} の関係を示したFig. 61によると、 E_B は E_{sm} より6.5%大きな値を示しているが、これは、 V -corr=1.75で推定した(74)式からも当然といえる。

$$\ell_B/S_m = 5\,000 / (2\,500 * V\text{-corr}) \div 1.14 \quad (74)$$

すなわち、 E_B は V -corr=2におけるランダムモデルの解であり、本来 S_m から求めるべき E に対して、過大な推定値を与え、このため我が国では E_B によって V -corrを推定すると、過小な推定値となるのである。Fig. 61で V -corrと E_{sm} の関係をみると、相関係数は低いことから、 V -corrだけによる路線配置の評価にも限度があるのが分かる。路線配置の特性の評価をより正確に行うためには、 V -corrに加え、新たな評価指標の検討を進める必要がある。

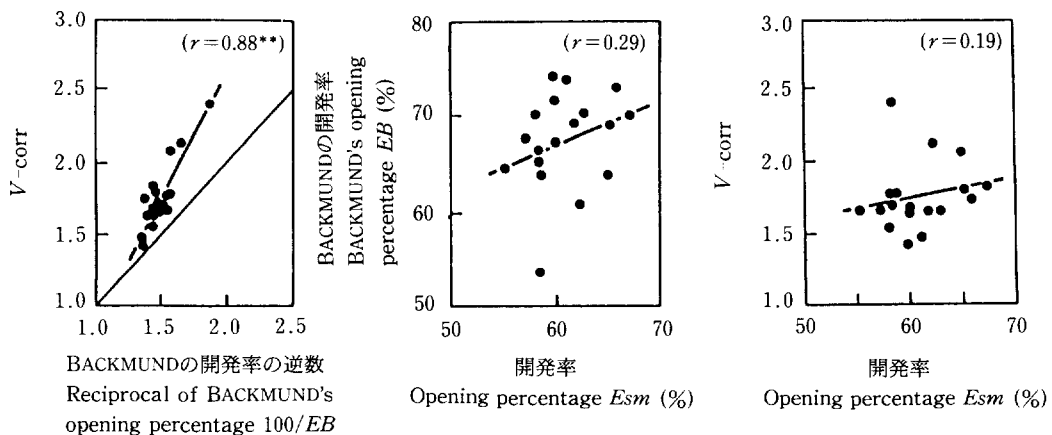


Fig. 61 V -corr, BACKMUNDの開発率 (E_B), 開発率 (E_{sm}) の相互関係
Mutual relationships between opening percentages and BACKMUND'S opening percentages, and V -corr

イ. 林道密度と平均到達距離の関係

Fig. 62に D と平均最短到達距離(S_m)の関係を示す。(67)式のモデルの適合性を検討するため最小2乗法で回帰式を求めた。この結果、最終的な林道網図の資料から(75)式、路線の整備順序を想定した資料から(76)式を得た。

$$S_m = 2500 * 1.738 / D \quad (r^2 = 0.95) \quad (75)$$

$$S_m = 2500 * 1.769 / D \quad (r^2 = 0.92) \quad (76)$$

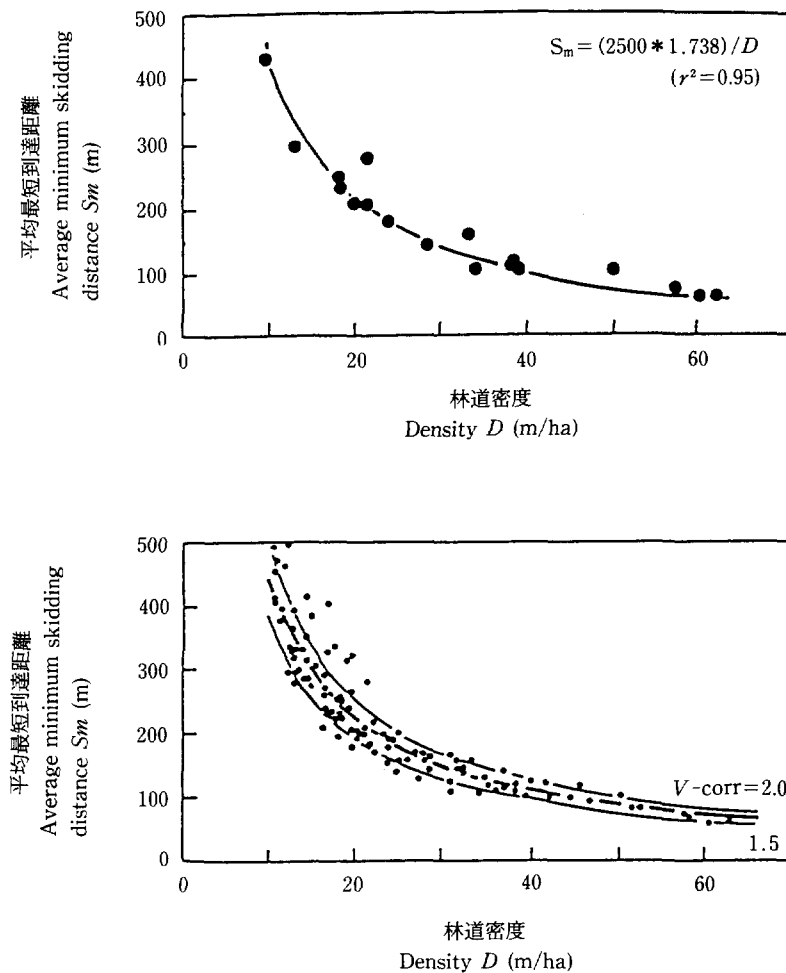


Fig. 62 林道密度と平均最短集材距離の関係
Relationships between forest-road densities and average minimum skidding distances

Note : The bottom figure is the presumption data of the development of forest-road networks.

(75)式, (76)式とも決定係数(r)が0.9を超えており, 回帰式のあてはめはよく, (67)式のモデルのよさが検証された(酒井徹朗, 1990)。 V -corrは, 当然のことながら4.6.1(2)アによく一致した。

既往の研究による V -corrの実測値には, 堀ら(1971)の1.37(1.18~1.68), 酒井徹朗(1990)の1.21, 神崎・三宅(1990)の1.42と1.96, 小林・仁多見(1991)の1.41(1.16~1.59)がある。本研究における V -corrは, 1.75(1.42~2.41)だったので, 既報よりもやや大きな値を示した。堀らは路線配置がなるべく均一にした林道網, 酒井は路線を対象に測定したことから, 本報告の数値より小さめの値になることは, 現実には不均一な路線配置が行われていることや林道網形成による路線の分岐の増大から納得できる。また, 神崎の値は本報告の範囲にあり, 小林の測定例の10区域のうち6例は本研究の値の範囲内にある。以上の結果からも明らかなように, 我が国の既往の研究による V -corrの測定値と比較しても, 実用的な概略値として1.75を用いるのは妥当といえる。

4.6.2 林道規格と線形の関係

林道規格で線形が異なるならば, 林道路線評価や路線配置において, 線形への配慮が必要になる。本項では, 線形を幾何構造と迂回率によって測定し, 配慮の是非を検討した。ここでは, 林道1~3級の林道と作業林道を区分して分析した。

(1) 林道線形の評価

ア. 設計要素による幾何構造の評価

平面線形を路線の直線さに対する曲がりの程度とすると, 曲線半径や交角等の設計要素による幾何構造評価と迂回率による方法が考えられる。設計要素による線形評価は, 林道の走行速度などの研究と平行して行われ, 曲線半径, 交角, 縦断勾配などが走行速度に影響を及ぼすことが明らかにされた(上飯坂ら, 1968; 山本, 1977)。これらの研究成果を踏まえて, 林道設計書の平面図を用いて, 林道の平面線形と縦断線形を分析する。分析に用いた資料は, 4.2.1と同様の民有林公共林道79路線の林道設計書である。

イ. 平面線形

平面線形の評価法としては, 区間長(L), 曲線半径(R), 曲線長(cl), 交角(ϕ)とすると, ①曲線長率($\Sigma cl/L$), ②曲線半径の逆数総和($\Sigma(1/R)/L$), ③交角総和($\Sigma\phi/L$)が考えられる(山本, 1977)。この評価値は, ①は区間長に対する曲線部分の割合, ②, ③は単位距離(km)の総和であり, いずれも線形を連続した形でとらえているので, 平面線形の評価値として実際的と考えられる。対比の意味で, 曲線箇所の平均的特徴を表すIP点(1曲線)当りの, ④曲線半径の逆数, ⑤交角, ⑥過曲線長と⑦IP数を調べた。結果をTable 44に示す。平面線形は直線, 円曲線, 緩和曲線の線形要素で構成されるが, 緩和曲線は林道での位置付けから考えていない。結果によると, 平面線形で走行速度と関係が深い評価値とされる(山本, 1977), ③の交角総和は林道1級から順に1167, 1189及び1129°/kmとなり林道規格による差はみられない。②の曲線半径の逆数総和は, 規格の高い林道ほど大きな曲線半径を用いるという常識的な傾向を示したが, ①は, 逆に, 下位規格ほど曲線部分の占める割合が少ない結果になった。

次に, ④~⑦の値をみると, ④と⑦は上位規格の曲線半径が大きく, IP数は少ない常識的な結果になったが, 曲線長を因子に含む⑤と⑥は, 逆に下位規格ほど小さな値を示した。曲線長を含む評価値が, 常

Table 44. 設計要素による林道線形の評価
Evaluation of forest-roads (regular) alignment by design elements

区分 Classifications	評価法 Evaluation methods	林道1級 1st grade	林道2級 2nd grade	林道3級 3rd grade			
		A	B	C	B/A	C/A	C/B
平面線形 Plane alignment							
①曲線長率(%) Ratios of curved line length to whole route length (%)		54.6	51.5	46.3	0.94	0.85*	0.90
②曲線半径の逆数総和(m/km) Totals of reciprocal radius of curve (m/km)		0.83	1.01	1.11	1.21	1.33	1.09
③交角総和(度/km) Totals of intersection angle (degree/km)		1 167	1 189	1 129	1.02	0.97	0.95
④曲線半径の逆数 (m/曲線) Reciprocal radius of curve (m/curve)		0.03	0.04	0.04	1.11	1.22**	1.11
⑤交角(度/IP) Intersection angles (degree/I. P.)		47.3	40.9	38.2	0.87*	0.81**	0.93
⑥曲線長(m/曲線) Curved line lengths (m/curve)		25.0	21.2	18.7	0.85**	0.75**	0.88*
⑦IP数(個/km) Numbers of I. P. (piece/km)		24.8	29.0	29.6	1.17	1.20	1.02
縦断線形 Longitudinal alignment							
⑧平均勾配(%) Average longitudinal slopes (%)		6.2	6.5	7.8	1.06	1.26*	1.20*
⑨最急勾配(%) The steepest longitudinal slopes (%)		9.9	10.8	13.1	1.08	1.31**	1.21**
⑩縦断勾配変化点数(個/km) Numbers of turning point of longitudinal slopes (piece/km)		11.9	12.9	14.1	1.08	1.18	1.09

注) 林道規格の差の検定 (t-検定) は、有意水準**0.01, *0.05である。

Note: The t-test of arithmetic mean values among forest roads are as follows: **, Significant at the 0.01 level; *, Significant at the 0.05 level.

識と逆になる原因を明らかにするため、林道1級と林道3級の調査対象路線のすべての曲線箇所、曲線半径と曲線長の関係をFig. 63及び64にプロットした。これによると、林道1級の曲線長分布は、林道規格に定められた最小曲線半径付近で、林道3級に比較して明らかに長い曲線長を採用しており、曲線半径が大きくなると規格で変わらない分布になっている。この結果は、最小曲線半径は林道規格で定められてるが、曲線半径に対応する曲線長や交角に規定がないので、最小曲線半径が大きな上位規格の林道は、最小曲線半径付近で相対的に長い曲線長を採用することで、地形を克服することを示す。このような曲線設定が、実際、林道の走行性に及ぼす影響は、幅員の違いもあり明らかではないが、文献(山本, 1977) から推定して、走行速度には影響しない程度と類推される。

林道1級と林道3級の線形の評価値の差をt-検定したところ、④～⑥は有意水準0.01で差が認められ

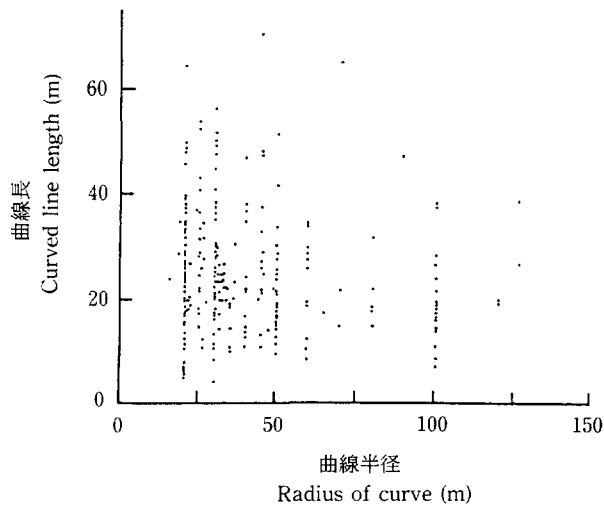


Fig. 63 曲線半径と曲線長の関係（林道1級）
Relationships between radius of curves and curved line lengths (1st grade)

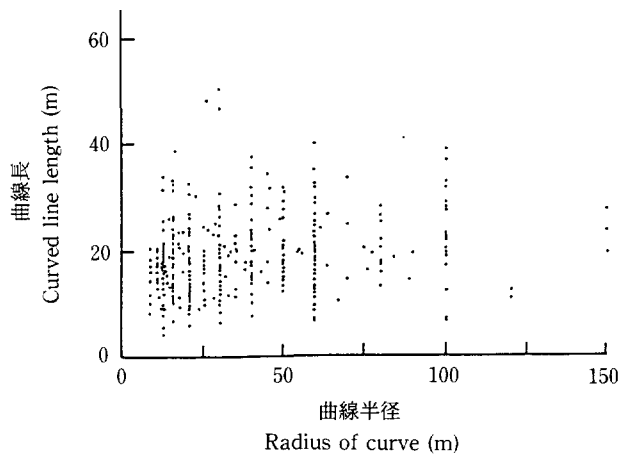


Fig. 64 曲線半径と曲線長の関係（林道3級）
Relationships between radius of curves and curved line lengths (3rd grade)

たが、走行速度と深い関係があるとされる、③は統計的な差は認められなかった。以上のことから、下位規格の林道は、上位の林道に比べて、測点をより多く取り、より小さな曲線半径で地形を克服しようとする傾向はあるものの、交角総和による平面線形で評価する限り、林道規格による差は認められない結果になった。

(イ) 縦断線形

縦断線形の評価値としては、まず、⑧平均勾配が考えられる。路線の縦断面図から得た平均勾配の平均を平均勾配とし、⑨最急勾配(各路線の最急勾配の平均値)、⑩縦断勾配変化点数を調べた(Table 44)。この結果は、幹線の役割を担う高規格の林道ほど、緩勾配とすべきとする、縦断線形に対する林道規程の考えからすると(林道研究会, 1993 b)、いずれの評価値も常識的な結果になる。しかしながら、林道規格による差は、林道1級の平均勾配が6.2%であるのに対し、林道3級はわずか1.6%上回る7.8%にすぎない。最急勾配では、林道1級の9.9%に対し、林道3級は13.1%となり、平均勾配以上の開きが見られた。路線のすべての縦断勾配の出現頻度割合をFig. 65でみると、林道規格別の特徴は12~16%の急勾配箇所を表れ、林道3級は12~16%の区間が、全区間の16%に及んでいるのが、平均勾配と最急勾配を押し上げている原因なのが見える。縦断勾配の分布は、下位規格の林道ほど急勾配の方にシフトしているが、12~16%の部分を除くと、規格による違いは余りない。

上位規格の林道は、下位規格に比べて、線形はより直線的でしかるべきとの観点から、林道規程で幾何構造諸元が定められ、路線の作設が行われている。しかしながら、林道1~3級の線形は、平面線形はほとんど差がなく、縦断線形の平均勾配の林道1級と林道3級の差は、わずか1.6%にすぎなかった。以上の結果から、現行の開設単価水準では、林道規格による幾何構造諸元の違いが、線形に及ぼす影響はほとんどないといえる。

イ. 迂回率による評価

林道の迂回率(η)は、(77)式で求められる(林業土木コンサルタンツ, 1967; 上飯坂, 1975)。

$$\eta = (\ell - \ell_0) / \ell_0 \quad (77)$$

ただし、 ℓ : 測定区間の路線延長, ℓ_0 : 測定区間の直線距離

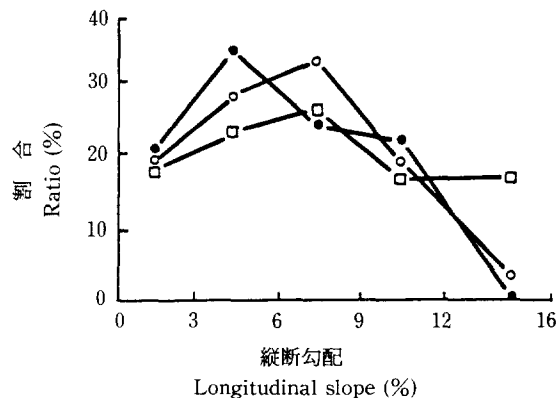


Fig. 65 縦断勾配の分布
Distributions of longitudinal slopes

●, 林道1級; ○, 林道2級; □, 林道3級
1st grade 2nd grade 3rd grade

η に関しては、測定成果が数件あり(KATO, 1967; 林業土木コンサルタンツ, 1967; 藤原, 1968; 小林・西本, 1986), このうち藤原(1968)は、地形との関係まで含めて詳しく分析した。ここでは、林道規格による η の違いを ℓ_0 を含めて検討する。

分析に用いた資料は、前項と同様の民有林公共林道79路線の林道設計書の平面図(縮尺1/500, 1/1000)である。 ℓ_0 には50, 100, 200, 300及び500mの5種類を用いて測定した。Table 45に林道規格別の測定結果を標準偏差(S. D.), 変動係数(C. V.)を合わせて示す。この結果によると、 η は ℓ_0 が同じ場合、林道規格による差はみられず、 ℓ_0 が50, 100, 200, 300及び500mに増加するにつれて、 η は0.06, 0.13, 0.26, 0.35, 0.49と直線的に増加した。

次に、路線位置で η を比較したところ、すべての ℓ_0 で中腹林道が沢沿林道を上回り、例えば、 ℓ_0 が500mの中腹林道の η は0.54で、沢沿林道の0.37を46%上回った。路線位置の違いによる η の差をt-検定したところ、 ℓ_0 が200及び300mの場合、有意水準0.05で有意であった。

ℓ_0 が大きくなると η , S. D. とも大きくなる。資料のバラツキの程度を表す統計量である変動係数(C. V.)を見ると(奥野編, 1978), ほとんどのC. V. は、50%を超えていることから、路線ごとに η のバラツキが大きいことが指摘できる。この結果は、平均的な林道の η は、路線位置の構成割合と ℓ_0 で異なる値になることを示すが、本資料は、路線選定に当たって配置場所はランダムに行ったこと、資料数の大きさなどから、一応、一般的な路線位置の構成比に準じているとみなすこともできる。このように考えると、林道の平均的な η の値には、 ℓ_0 を500mまでとする場合、特に、林道規格別に与える必要はないことを裏付ける結果になった。

Table 45. 林道の迂回率
Windings of forest roads (regular)

林道規格 Forest-roads standards		測定区間の直線距離(ℓ_0) Straight line distances of measurement sections					標本数 Samples
		50m	100m	200m	300m	500m	
林道1級 1st grade	η	0.05	0.13	0.25	0.34	0.48	22
	S. D.	0.03	0.06	0.16	0.24	0.50	
	C. V.	0.60	0.46	0.64	0.71	1.04	
林道2級 2nd grade	η	0.06	0.13	0.25	0.33	0.50	29
	S. D.	0.04	0.09	0.20	0.29	0.57	
	C. V.	0.67	0.69	0.80	0.88	1.14	
林道3級 3rd grade	η	0.06	0.13	0.27	0.38	0.48	28
	S. D.	0.04	0.09	0.21	0.29	0.39	
	C. V.	0.67	0.69	0.78	0.76	0.81	
平均 Averages	η	0.06	0.13	0.26	0.35	0.49	79
	S. D.	0.04	0.08	0.19	0.28	0.50	
	C. V.	0.67	0.62	0.73	0.80	1.02	
沢沿 Valleys	η	0.05	0.10	0.17	0.23	0.37	20
	S. D.	0.04	0.07	0.16	0.24	0.52	
	C. V.	0.80	0.70	0.94	1.04	1.41	
中腹 Mid-slopes	η	0.06	0.14	0.28	0.39	0.54	59
	S. D.	0.04	0.09	0.20	0.28	0.48	
	C. V.	0.67	0.64	0.71	0.72	0.89	

(2) 作業林道線形の評価

ア. 設計要素による幾何構造の評価

Table 46に、設計要素による作業林道線形の測定結果を示す。測定に用いた資料は、4.2.2の作業林道開設費の分析で用いた路線のうち、平面図と縦断面図が完備されている36路線である。平面線形の評価値は林道と同じく①曲線長率、②曲線半径の逆数総和、③交角総和とし、参考に④IP数を調べた。結果は、曲線長率は、林道1～3級に存在した、下位規格ほど小さくなる傾向は、作業林道でも引き続きみられ、曲線半径の逆数総和も、林道1～3級でみられた傾向が引き続きみられた。林道3級と作業林道の曲線長率と曲線半径の逆数総和の差のt-検定結果は0.01で有意であった。しかしながら、4.6.2(1)アでも述べた、走行速度と関係が深いとされる交角総和は1180°/kmで林道3級の1129°/kmとほとんど差はなかった。ちなみにこの値は林道2級とほぼ同じ値である。曲線半径と曲線長の関係をFig. 66に示す。曲線半径が50 m以上の大きな曲線半径は林道に比べて少なく、25 m以下の小さな曲線半径を多用してるのが分かる。以上の結果は、作業林道は小さな曲線半径を多用し、IP数も最も多く設定して、地形にできるだけ順応するような設計をしていることを推測させるが、交角総和から判断して、林道1～3級と平面線形に差があるとは認められない結果になった。

縦断面線形は、⑤平均勾配は8.3%で林道3級を0.5%上回った。一方、⑥最急勾配は林道3級と同じ値

Table 46. 設計要素による作業林道線形の評価
Evaluation of forest-roads (low-structure) alignment by design elements

区 分 Classifications	評 価 法 Evaluation methods	作業林道 Law-structure (A)	林道3級 3rd grade (B)	(A)/(B)
平面線形 Plane alignment				
①曲線長率(%) Ratios of curved line length to whole route length (%)		37.9	46.3	0.82**
②曲線半径の逆数総和(m/km) Totals of reciprocal radius of curve (m/km)		1.46	1.11	1.32**
③交角総和(度/km) Totals of intersection angle (degree/km)		1180	1129	1.05
④IP数(個/km) Intersection angles (piece/km)		32.7	29.6	1.10
縦断面線形 Longitudinal alignment				
⑤平均勾配(%) Average longitudinal slopes (%)		8.3	7.8	1.06
⑥最急勾配(%) The steepest longitudinal slopes (%)		13.1	13.1	1.00
⑦縦断勾配変化点数(個/km) Numbers of turning point of longitudinal slopes (piece/km)		14.7	14.1	1.04

注) 林道規格の差の検定 (t-検定) は、有意水準**0.01である。

Note: The t-test of arithmetic mean values among forest roads are as follows: **, Significant at the 0.01 level.

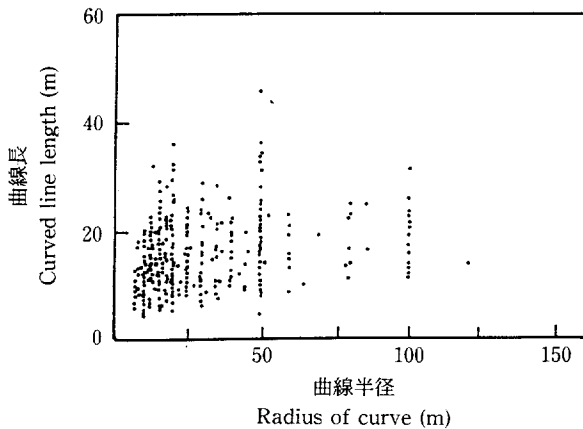


Fig. 66 曲線半径と曲線長の関係（作業林道）
Relationships between radius of curves and
curved line lengths (low-structure)

の13.1%であった。⑦縦断勾配変化点数は、林道3級より多少多い14.7個/kmであった。作業林道は土量の発生を抑えるため、他の林道規格に比べて縦断勾配を変化させる傾向が認められるが、林道1級と比較しても1km当たりの変化点数の差は3個に及ばない。作業林道の平均勾配と最急勾配は、林道3級とほぼ同じであり、林道1級との比較でも平均勾配で2.1%の差に留まっていることからして、縦断線形も林道1～3級と作業林道の差は小さいと判断できよう。

イ. 迂回率による評価

Table 47に、作業林道の η を ℓ_0 が250 m, 500 mの場合で示す。資料は、3.2 で作業林道の木材流の特性を論じた83路線から、路線長が短く ℓ_0 を満たさない路線を除いた、250及び500 mそれぞれ78, 50路線を対象に分析した。結果は、 ℓ_0 が250 mの η は0.35, 500 mが0.46であった。林道1～3級の平均の η は、 ℓ_0 が200 mと300 mの間で0.31, 500 mが0.49だったことからすると (Table 45), 林道1～3級と作業林道の η に差はないことになる。また、作業林道の場合もTable 45と同程度のC. V.を示し、路線による η の幅が大きい。

Table 47. 作業林道の迂回率
Windings of forest roads (low-structure)

林道規格 Forest-roads standards		測定区間の直線距離(ℓ_0) Straigh line distances of measurement sections		標本数 Samples
		250m	500m	
作業林道 Law-structure	η	0.35	0.46	50
	S. D.	0.31	0.51	
	C. V.	0.89	1.11	

林道規格と線形の関係进行分析した結果、幾何構造や η で線形を評価する限り、規格による違いは小さいことが解明された。この結果は、第2報の林道網計画で路線配置するに際し、林道規格によって η を変えるなどの、線形に対する配慮は必要でないことを示し、路線評価因子として、取り立て線形を加えなくてもよいことを裏付けるものである。

5 結 論

21世紀に、林業が産業としての確固たる地位を確保し続けるためには、生産基盤の核をなす高密度に整備された林道網が不可欠である。林道網の整備には莫大な資本投下が必要であり、高密度の目標にするほど、路線の機能に応じた林道規格で、効率的な整備を行うことが一層重要な課題になる。

本論文は、林道路線評価により路線の機能に応じた林道規格で、林道網形成を図ることを可能とさせるための研究なので、第1章の序論に次ぎ、第2章で林道機能と林道規格の関係を整理した。第3章では、路線の機能は、結局、交通需要によって数量化されるので、木材流量と林業的交通量を計測して、林道の林業的交通需要の特性を解明した。第4章では、路線評価の費用関数に必要な、開設費を始めとする林道費、運材費、人員輸送費、集材費、歩行費の各費用をまとめた。この他には、路線配置の評価に必要な、林道密度修正係数や林道規格と線形の関係を分析した。以下、本論を要約し結論とする。

第1章は、序論で本論の導入部である。既往の文献の整理を行い、本研究の範囲と論文の構成を述べた。用語の定義では、本論が対象にする林道網は林道1級、林道2級、林道3級および作業林道の4規格で構成することを述べた。

第2章では、林道機能を整理して、林業用道路を区分し、路網分類法を提案した。ここでは路網を長期的使用を前提としてトラックが走行する林道網と、トラクタやフォワードが走行する作業路網に分類した。前者は林道、作業林道、後者は作業道、基幹作業路、作業路で構成されることを述べた。さらに林道網形成の現状と、行政における林道規格の決定法の実情を説明して、林道路線評価による林道規格の決定法を開発する必要性を論じた。

第3章では、林道の林業的交通需要の特性の解明を、林道延長と利用区域森林面積の関係の解析による方法と、林道網計画区域を対象に開発森林の考えを導入して解析する方法の二通りで行った。3.2では、我が国における木材流の特性を解明するため、林道延長と利用区域森林面積の関係を解析した。河川で成立する「HACKの法則」と類似のベキ乗式の関係式が、林道延長と利用区域森林面積の関係にも、高い相関関係で成立することを明らかにした。ベキ乗式の定数は、上位規格ほど比例定数は大きく、指数は小さくなる。林道1～3級と作業林道の定数の違いは、延長の違いによる規模の差であることを明らかにした。利用区域森林面積が200 ha以下で、林道密度は20 m/haに達する実態から、目標林道密度を20 m/haとすると、小さな計画区域では支線計画が困難なことを指摘した。利用区域森林と流域を比較検討した結果、利用区域森林の比例定数は、流域の2倍程度になることや、指数は余り差がないことを明らかにし、その原因を述べた。

3.3では、木材流量と林業的交通量を推定して、林道網の交通需要の特性を論じた。最初に、3.2のHACKの法則の類似式を導入して、我が国の林道網における木材流量の特徴を解析した。試算結果によると、連絡型が突進型に比べて単位延長の木材流量は少ないが、概括的には利用区域森林面積が50 haで8 m³/m、100 haで10 m³/m、1 000 haで20 m³/m程度であった。次に、3地区の林道網計画区域を選定して林道網計画を立て、路線区間の木材流量と林業的交通量を計測した。計測は、格子点法を応用して自動化して行った。ここでは、路線区間の上流域の面積である開発森林面積が用いられた。開発森林面積

は、起点から終点に向かい、路線の分岐によって不連続的に減少した。木材流量と林業的交通量も開発森林面積と同様である。林業的交通量を試算したところ、開発森林面積が619 haで17.2台/d、54 haで1.5台/dとされ、林業的交通量は多くを期待できないことが再認識された。

第4章では、林道路線評価を行うためのパラメータである、開設費、維持管理費、用地費の林道費用を始めとして、運材費や人員輸送費など生産費関数の設定に必要な各費用を取りまとめた。また、路線配置は集材費や歩行費の算定に大きく影響するので、林道密度修正係数を吟味した。林道規格と線形の関係を分析し、本論で用いる林道網における路線配置に対する立場を明らかにした。各節で説明した主要事項を以下に述べる。

4.2では、林道1～3級の林道と作業林道に区分して、開設費と維持管理費の費用関数を実験式から設定した。林道開設費に影響を与える因子は林道規格、地形傾斜、土質、工事延長の4因子で、林道規格と地形傾斜の2因子でも、ほぼ同精度での予測が可能であった。作業林道は、第2報で計画する作業林道の構造からモデル的に費用関数を設定した。

4.3では、用地幅は、開設費と同様に、地形傾斜と林道規格でほぼ決定されたので、この結果から用地費用関数を設定した。

4.4では、運材費、人員輸送費及び歩行費の単位経費を試算した。試算の前提として、機械経費と労務経費を分析した。林道1級と作業林道の単位運材変動費は5倍、単位人員輸送費は3倍の開きがあり、車種別の単位運材変動費は、トラック(林道1級)：トラック(作業林道)：トラクタ：小型フォワーダ＝1：5：19：62であった。作業林道で1m移動させる人員輸送費は運材費の2.5倍に達した。歩行費は歩行距離に正比例するので、林道密度との関係が深いことを述べた。

4.5では、集材システムの集材費関数を、集材距離と地形傾斜を変数に、架線系と車両系で6種類を設定した。集材距離と地形傾斜で最適集材システムを求めると、72m未満の短距離集材では、小型タワーヤードが地形傾斜にかかわらず有利であり、中型タワーヤードと大型集材機の分岐点の集材距離は250mであった。集材費は、集材システムを選択することで、林道密度を高めると急激に費用低減が期待できるが、次第に密度効果は薄れることを述べた。

4.6では、我が国の林道網の林道密度修正係数を分析した。その概略値は1.75であった。この値を得ることで、第2報2.2における集材費や歩行費の推定精度を上げることができた。次に、林道規格と線形の関係を幾何構造評価と迂回率で検討し、路線配置を行うに際して、林道規格別に線形を考慮する必要はないことを述べた。

以上、本報では、林道路線評価により林道規格を決定するために必要な評価パラメータの特性を検討した。第2報では、これらの評価パラメータを用いて林道規格の決定を行う。

なお、本論文は第2報と対をなすのもであり、謝辞は省かせていただいた。

引用文献

- ABEGG, B.: Die Schätzung der optimalen Dichte von Waldstraßen in traktorbefahrbarem Gelände, Anstalt forstliche Versuchswesen, Mitteilungen Bd., **54**, 101-213 (1978)
- ADAMOVICH, L.: Road network and roadspacing planning, Vancouever (1975) (上飯坂実 抄訳: 森林利用研究会資料, **88**, 1~11 (1976))
- BACKMUND, F.: Kennzahlen für den Grad der Erschließung von Forstbetrieben durch autofahrbare Wege, Forstwiss. Cbl., **85**, 342-354 (1966)
- DIETZ, P., KNIGGE, W. and LÖFFLER, H.: Walderschließung, Paul Parey, Hamburg 426pp. (1984)
- 道路ハンドブック編集委員会編: 道路ハンドブック, 建設産業調査会, 852pp. (1980)
- 遠藤作次: 山地部道路の路線設計, 地人書館, 287pp. (1986)
- FAO: Logging and log transport in man-made forests in developing countries, FAO/SWE/TF/116 Rome (1974)
- 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, 日林北支講, **17**, 138~141 (1968)
- _____ : 地形と林道の建設費の関係 (I), 日林北支講, **18**, 209~214 (1969)
- 古谷士郎, 近藤恵市, 近藤祐司, 仙石幸男, 岩川 治: 高性能林業機械による伐出作業システムについて (I) タワーヤーダーの架設・撤収工期について, 静大農報, **41**, 7~17 (1991)
- _____, _____, _____, _____, _____ : 高性能林業機械による伐出作業システムについて (II) タワーヤーダーによる集材作業事例, 103回日林論, 659~661 (1992)
- 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, 高知大演報, **10**, 59~76 (1983)
- _____ : 非皆伐施業における集材法決定モデルの構築, 高知大演報, **15**, 79~88 (1988)
- GRAY, D. M.: Interrelationships of watershed characteristics, J. Geophys. Res., **66**, 1215-1223 (1961)
- HACK, J. T.: Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland, U. S. G. S. Prof. Paper, 294-B, 45-97 (1957)
- HAFNER, F.: Zur forstlichen Wegenetzlegung in steilen Gebirgsgelände, Allgemeine Forstzeitung, **75**, Jahrgang folge 3/4 (1964) (加藤誠平訳: 森林利用研究会資料, **59**, 1~16 (1964))
- 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方法, 林試研報, **238**, 1~30 (1971)
- _____ : 電算手法による林道網計画法に関する研究 (II) 簡単な伐区形状パターンによる集材作業道網決定の方法, 林試研報, **245**, 99~158 (1972)
- 本多静六原著: 森林家必携, 林野弘済会, 723pp. (1990)
- 堀 高夫: 路網計画のための図上地形判定について, 日林誌, **47** (4), 168~170 (1965)
- _____ : バックムンドの開発率を利用した路網定数の推定方法, 日林誌, **70** (2), 75~79 (1988)
- _____, 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)
- _____, 李永 浩: 林道網計画対象地の傾斜分布による地形評価 (I) 地形評価指標に関する検討, 日林誌, **71** (8), 303~308 (1989)
- HORTON, R. E.: Erosional development of streams and their drainage basins —hydrophysical approach to quantitative morphology—, Bull. G. S. A., **56**, 275-370 (1945)
- 市原恒一: 複合路網計画における最適路網密度と木寄距離, 日林誌, **74** (6), 493~498 (1992)
- 今富裕樹: クローラトラクタの現実の走行速度に関する検討, 40回日林関東支論, 273~274 (1988)
- 井上源基: トラクタ集材路網の配置に関する研究 (II) トラクタ集材のための集材路網計画法, 林試研

- 報, **353**, 1~126 (1989)
- 岩川 治: 民有林林道の維持管理に関する研究 (I) 静岡県を事例とした分析と考察, 92回日林論, 525~526 (1981)
- _____: 民有林作業道, 静岡県山林協会, 111pp. (1993)
- _____, 柘植 寛: 作業道の林業的評価に関する研究 (I) 天竜地域作業道の林道との関連からの考察, 静大演報, **10**, 57~62 (1986)
- KAMIIIZAKA, M.: Studies on optimum density of forest roads (I) Concerning standard models. J. Jpn. For. Soc., **45** (9), 289-292 (1963)
- _____: Studies on optimum density of forest roads (II) On development road density, J. Jpn. For. Soc., **48** (2), 48-54 (1966)
- 上飯坂実: 森林利用学序説, 地球社, 234pp. (1975)
- 上飯坂實編: 林業工学, 地球社, 180pp. (1990)
- _____, 神崎康一編: 森林作業システム学, 文永堂, 292pp. (1990)
- _____, 小林洋司ら: 新林業土木学, 朝倉書店, 196pp. (1988)
- _____, 南方 康, 伊藤幸也: 林道の構造に関する研究, 日林誌, **50** (9), 274~284 (1968)
- _____, _____, 峰松浩彦, 大川畑修: 北海道演習林における林道の計画と施工に関する資料, 東大演習林, **19**, 1~13 (1975)
- 神崎康一, 三宅 徹: 急傾斜地作業路網の評価指標について, 京大演報, **62**, 208~214 (1990)
- KATO, S.: Studies on the forest road system —Preliminary report on the road density—, Bull. Tokyo Univ. For., **63**, 215-233 (1967)
- 梶根 勇: 流域の面積と主流の長さとの関係について, 地理学評論, **45** (8), 588~590 (1972)
- _____: 水の循環, 共立出版, 230pp. (1973)
- 建設物価調査会: 建設物価11, 建設物価調査会, 21~27 (1991)
- 北川勝弘: 山岳林地域における地形解析に関する基礎的研究, 名大演報, **11**, 39~192 (1991)
- 小林洋司: 山岳林における林道網計画法に関する研究, 宇大学術報告特輯, **38**, 1~101 (1983)
- KOBAYASHI, H.: Planning system for road-route locations in mountainous forests, J. Jpn. For. Soc., **66** (8), 313-319 (1984)
- 小林洋司: 費用便益分析による林道規格区分, 97回日林論, 651~652 (1986)
- _____, 西本隆司: メッシュの大きさと林道の迂回率の関係, 38回日林関東支論, 265~266 (1986)
- _____, 仁多見俊夫: 小規模林業地域における林内路網計画について, 東大演報, **85**, 1~10 (1991)
- LÜNZMANN, K.: Der Erschließungskoeffizient, eine Kennzahl zur Beurteilung von Waldwegenetzen und seine Anwendung bei Neuplanungen, Forstwiss. Cbl., **87**, 237-248 (1968) (藤原登抄訳: 機械化林業, **205**, 27~39 (1970))
- 丸安隆和・村井俊治: 土木設計システムにおける地形情報処理, 土木学会誌, **55**(10), 29~37 (1970)
- _____, _____: 地形情報処理による流出解析の手法に関する研究, 土木学会論文報告集, **197**, 21~31 (1972)
- MATTHEWS, D. M.: Cost control in the logging industry, Mcgrow-hill, 374pp, (1942)
- 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)
- MINAMIKATA, Y.: Studies on the planning of the forest road network, J. Jpn. For. Soc., **49** (2), 53-65 (1967)
- 南方 康: 林道網計画に関する研究, 東大演報, **64**, 1~58 (1968)
- _____, 林内における基礎路網密度, 日林誌, **59** (8) 298~300 (1977)

- _____, 仁多見俊夫, 酒井秀夫, 伊藤幸也: 林道の路面状態と自動車の燃料消費率, 日林誌, **68** (3), 95~104 (1986)
- _____, 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)
- 森 好弘: 素材生産請負契約の実務, 日本林業調査会, 239pp. (1977)
- 中島 巖: 林分地形の数量解析について, 79回日林講, 30~32 (1968)
- 中野尊正: 日本の地形, 築地書館, 362pp. (1967)
- 日本道路協会: 道路構造令の解説と運用, 丸善, 521pp. (1983)
- 日本生産性本部中小企業原価計算委員会編: 原価計算のてびき, 日本生産性本部, 232pp. (1972)
- 西村蹊二: 地図の利用法, 朝倉書店, 212pp. (1971)
- 仁多見俊夫, 小林洋司: 林内路網配置作業のシステム化, 東大演報, **85**, 11~25 (1991)
- 農林水産省統計情報部: ポケット農林水産統計, 農林統計協会, 407pp. (1991)
- 大川畑修: 架線集材における路網計画に関する研究, 林試研報, **351**, 1~79 (1988)
- 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 (1964a)
- _____: 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 (II) 矩形平地林における数学モデル, 日林誌, **46** (8), 269~273 (1964b)
- _____: 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 (III) 地形上の制約をうける場合の計画法, 日林誌, **46** (9), 311~316 (1964c)
- _____: 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 (IV) 本計画法の適用例, 日林誌, **47** (6), 225~230 (1965)
- 奥野忠一編: 応用統計ハンドブック, 養賢堂, 827pp. (1978)
- PESTAL, E.: Kardinal Punkt 500! Rückungsmethode entscheiden Wegnetzdicke, Horz-Kurier, Nr. Wien., (1963) (加藤誠平訳: 森林利用研究会資料, **58**, 1~9 (1964))
- 林道研究会: 林道必携 (設計編), 日本林道協会, 467pp. (1991)
- _____: 民有林林道事業のあらまし, 日本林道協会, 153pp. (1993a)
- _____: 林道規程一解説とその運用一, 日本林道協会, 225pp. (1993b)
- _____: 林道必携 (法令通達編), 日本林道協会, 434pp. (1993c)
- 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, 96pp. (1967)
- 林業機械化協会: 低コスト林業機械化作業現地実証事業実施報告書, 林業機械化協会, 182pp. (1990)
- 林野弘済会: 日本林業年鑑, 林野弘済会, (1987~1991)
- 林野庁: 林内作業車の合理的作業方法に関する研究, 昭和60年度林業試験研究報告書, 20~72 (1988)
- _____: 民有林林道事業のあらまし, 林野庁, 112pp. (1991)
- _____: 林業白書, 日本林業技術協会, 260pp. (1994)
- _____: 監修: 林業統計要覧, 林野弘済会, (1986~1990)
- 酒井秀夫: 路網密度と集材距離の換算式, 37回日林関東支論, 231~232 (1986)
- _____: 合理的集材方式に基づく長期林内路網計画に関する研究, 東大演報, **76**, 1~85 (1987)
- 酒井徹朗: 林道の配置計画について (I) 端点除去法, 京大演報, **54**, 172~177 (1982)
- _____: 林道の配置計画について (II) 集材距離・開設長による最適配置, 京大演報, **55**, 222~229 (1983)
- _____: 紀伊半島における林道の実態について, 101回日林論, 697~698 (1990)
- 酒井秀夫, 穴澤 力, 渡邊定元: 循環路網の木材通行量, 日林誌, **70** (9), 407~410 (1988)
- _____, 後藤純一, 猪内正雄, 及川良一郎: モービルヤードによる軽架線集材の自動化に関する研究 (II) 作業体系, 101回日林論, 655~656 (1990)

- _____, _____, _____, _____ : モービルヤードによる軽架線集材の自動化に関する研究 (V) 作業性能, 102回日林論, 749~752 (1991)
- _____, 上飯坂実: 伐区の形の集材機作業に及ぼす影響, 90回日林論, 543~544 (1979)
- SAKAI, H. and NAYA, K.: Relationships between α - and β -indices for measuring network connectivity and relationships between the development of forest-road networks and these indices, J. Jpn. For. Soc., **74** (3), 245-250 (1992)
- 酒井徹朗, 佐々木功: 作業道の実態について, 97回日林論, 647~650 (1986)
- SAMSET, I.: The forest terrain in Norway, Rep. For. Operation Res. Norway, **8**, 47-51 (1969)
- _____: The accessibility of forest terrain and its influence on forestry conditions in Norway, Rep. Norwegian For. Res. Inst., **32**, **1**, 43-92 (1975)
- 澤口勇雄: 林道の機能に応じた規格・構造のあり方について, 林野庁長期委託研修報告書(5), 1~88 (1980)
- _____: 路網への到達系統, 41回日林関東支論, 181~182 (1989)
- _____, 大川畑修: 林道の迂回性向, 43回日林関東支論, 139~142 (1992)
- SEGEBADEN, G.: Studies of cross-country transport distances and road net extension, Stud. For. Suec., **18**, 9-39 (1964)
- 芝 正巳, LÖFFLER, H.: 森林経営基盤整備計画における代案比較のための利用価値分析の応用性について (I) 代案比較のための带状路線計画と配置特性の評価, 三重大生資紀要, **7**, 1~20 (1992)
- 島野安雄: 主流長と流域面積の関係に関するハックの法則の研究, 地理学評論, **48** (2), 85~97 (1975)
- 森林利用研究会: 林内自動車道における機能の実態, 森林利用研究会資料, **104**, 1~37 (1982)
- 森林計画研究会編: 新たな森林・林業の長期ビジョン, 地球社, 415pp. (1987)
- 塩野清治, 升本眞二, 弘原海清: BASIC によるコンターマップ (I) 基礎編, 共立出版, 114pp. (1988a)
- _____, _____, _____: BASIC によるコンターマップ (II) 応用編, 共立出版, 171pp. (1988b)
- 猪内正雄: 小規模伐出生産における路網と搬出システムに関する研究, 文部省科研費補助金報告書 01304019, 81~96 (1991)
- SMART, J. S. and SURKAN, A. J.: The relation between mainstream length and area in drainage basins, Water Resour. Res., **3**, 963-974 (1967)
- 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)
- 水利科学研究所編: 後進地域における林道投資, 水利科学研究所, (1964)
- SUNDBERG, U. and SILVERSIDES, C. R.: Operational efficiency in forestry, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 219pp. (1988)
- 高倬琢馬・椎葉充晴: 河川流域の地形構造を考慮した出水系モデルに関する研究, 土木学会論文報告集, **248**, 69~82 (1976)
- 高山茂美: 河川地形, 共立出版, 304pp. (1974)
- 中央林業相談所編: 日本林業の現状(1)資源, 地球出版, 280pp. (1964)
- 梅田三樹男, 辻 隆道, 井上公基: 標準功程表と立木評価, 日本林業調査会, 140pp. (1982)
- YAMADA, Y.: The optimum forest-road density determined in relation to the cost of walking, J. Jpn. For. Soc., **71** (7), 257-264 (1989)
- 山本 誠: 輸送能力を対象にした林道構造の評価法に関する研究, 高知大農紀要, **31**, 1~82 (1977)
- _____, 益子祥紀: 林道開設工事単価に及ぼす諸因の分析, 高知大演報, **15**, 61~77 (1988)
- 山崎忠久: 林道の幾何構造に関する研究 — 幾何構造と運転者の生理負担 —, 三重大演報, **15**, 1~96 (1987)

Studies on of Forest-Road Evaluation and Forest-Road Standards in Mountain Forests (I)

—Characteristics of Parameters for Forest-Road Evaluation—

SAWAGUCHI, Isao

Summary

With the increasing use of artificial forests as economic resources, it has become necessary to restructure the forestry industry to promote the development of rural communities and to make forestry an environmentally-sound industry. For this, new machines and operation systems such as skidders, mobile yarders and processors should be introduced, and costs in the forestry industry must be reduced while maintaining high efficiency and safety.

This paper examines, from the viewpoint of the forestry industry, the forest-road networks which are constructed with standards for various road functions. It is composed of the following 5 chapters :

- Chapter 1 Introduction
- Chapter 2 Forest-road functions and standards
- Chapter 3 Characteristics of forestry traffic demand on forest roads
- Chapter 4 Characteristics of forest-road evaluation parameters
- Chapter 5 Conclusion

Methods for determining forest-road standards by forest-road evaluation will be discussed in the second paper.

Chapter 1 is an introduction which examines past research about forest-road network planning, and defines the terms.

Forest-road functions are examined and forest-road classification is presented in Chapter 2. Roads for the forestry industry were divided into the following five kinds : forest road (regular), forest road (low-structure), strip road, main skidding road, and skidding road. The main object of this report is the forest-road networks formed by regular and low-structure forest roads ; therefore, the skidding-road networks composed of strip roads, main skidding roads and skidding roads are not discussed in detail here. The forest-road standards assume the following four kinds of roads : first grade, second grade and third grade forest roads (regular), and low-structure forest roads. The current state of the forest-road networks maintenance took a general view. To research on methods for determining a rational forest-road standard by the evaluation of road is an important issue was described.

In Chapter 3, the characteristics of forestry traffic demand on forest roads are elucidated by measuring the log flow and the forestry traffic volume. Related analysis of forest-road length (L) and forest area being exploited (A), and the method by the analysis of forest area being developed for the forest-road networks planning district were used for this analysis.

The relationship between L and A was analysed. As a result, a relational expression similar to Hack's-law on geography was obtained for the relationship between L and A . That is, this relationship can be expressed by the equation $L = kA^n$ (measurements in meters and hectares), where the constant k is 115.35, the exponent n is 0.677, and the correlation coefficient is 0.94 in case of a regular forest road. As the forest-road standards increase, k increases significantly, while n decreases. The difference between 1st grade~3rd grade and low-structure forest road were caused by the differences in road length.

The characteristics of log flow volume on the forest-road networks in Japan were estimated from these results. The log flow volume per meter on a connection type forest road, which was somewhat lower than the go-back type, was estimated as follows: about $8\text{m}^3/\text{m}$ in 50ha; about $10\text{m}^3/\text{m}$ in 100ha; about $20\text{m}^3/\text{m}$ in 1 000ha.

Next, after selecting three forest-road network planning districts, hypothetical forest-road networks were created, and the log flow and forestry traffic volume in the road sections were measured. Upstream areas of road sections were measured by applying the grid method. The log flow and the forestry traffic volume decreased in discontinuity by the divergence of road. The forestry traffic volume was not able to expect much as follows: 17.2 vehicle/day in 619ha; 1.5 vehicle/day in 54ha. The result proved that determining forest-road standard should be planned by the evaluation of the log flow and the forestry traffic volume.

In Chapter 4, the characteristics of each parameter needed for the evaluation of a forest-road route are elucidated. That is, each necessary cost for determining a forest-road standard is examined and optimum forest-road density is calculated. Forest-road costs include construction, maintenance and land costs, wood transportation, labor transportation, skidding, and walking costs. In addition, characteristics of the forest-road network correction factors (forest-road network adjustment, V -corr) and alignments of forest roads were analyzed. Each cost function of construction cost, maintenance and land costs were set the forest-road standard and terrain slope in the variable. Unit expenditures were calculated for wood transportation, labor transportation and walking cost. The differences in wood and labor transportation unit costs between 1st grade and low-structure forest roads amounted to five times and three times, respectively. Incidentally, wood transportation variable costs according to the type of vehicle showed the following ratio: Truck (1st grade): Truck (low-structure): Tractor: Forwarder (small-sized)=1:5:19:62. It was 2.5 times more expensive to transport labor than wood on a forest road, clearly indicating that labor transportation costs cannot be disregarded. Because the walking cost is directly proportional to the walking distance, it also cannot be disregarded in forest-road networks planning. Six skidding cost functions, three skyline systems and three vehicle systems, were set. Variables are skidding distance and terrain slope. By this, it was possible to estimate skidding cost correctly by selecting the skidding systems from the forest-road density and terrain slope. The forest-road density effect has weakened gradually though, the skidding cost can expect drastic decrease by selecting skidding system.

The range of V -corr was about 1.4~2.4 in most districts in Japan, even when the forest-road densities and terrain conditions were considered. The average was 1.75. This value was larger than that of other previous reports. However, it is a practical value for developed forest-road networks. The effective factors in V -corr were winding, β -index, and relief energy. There were no definite factors. Forest-road density and terrain slope had no effect on it as well. The accuracy of the

skidding and walking cost estimates was improved by obtaining this value. The relation between the forest-road standard and alignment, which was examined by the index of design element and winding, showed that it was not necessary to consider the alignment to each forest-road standard when planning the location of a forest-road network.