

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2報)

— 林道路線評価による林道規格の決定 —

澤口勇雄⁽¹⁾

SAWAGUCHI, Isao

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

— Determination of Forest-Road Standards by Forest-Road Evaluation —

要 旨：第1報で報告した林道路線評価パラメータを用い、林道規格の決定を2通りの方法で試みた。利用区域森林による方法は、「HACKの法則」と類似式を用いて、木材流量と林業的交通量を評価して、林道規格に対応する面積基準を導いた。現在進めている林道は、林業経営的には数百ha以上の面積を有しなければ経済的に不利で、低構造の作業林道の必要性が明らかにされた。小規模森林では、トラクタやフォワーダによる伐出システムが、トラックによる伐出システムより有利であった。複数路線で林道網を形成する場合の林道規格の決定を開発森林を導入して試みた。決定モデルは、木材流量と林業的交通量から路線区間の利用度を評価し、林道整備費、林道用地費、運材費、人員輸送費を費用に生産費関数を設定した。適正林道密度の算定には、さらに集材費と歩行費を追加した。試算例では、緩～中傾斜では、林道1級は開発森林面積が数百ha、林道2級は数十haまで配置が可能であった。コストミニマムの適正林道密度は、7.4~32.8 m/haであった。適正林道密度で、作業林道は43~78%を占め、林道1級と林道2級は1.6~10.8 m/haで終了した。複合的な林道費用と多くの経費を用いても、生産費は林道密度に対して感度が鈍く、運材費や人員輸送費は、生産費の30%を超えて無視できないこと、歩行費の節減効果が大いことがなどが確認できた。林道密度が上昇すると、機動性に富むタワーヤードの有利性が増した。本論文で示した林道規格の決定法による計画法を用い、複合的林道を採用することでの経済的利益は大きいと結論した。

目 次

1 序 論	112
2 林道路線評価による林道規格の決定	112
2.1 概説	112
2.2 利用区域森林による林道規格の決定	114
2.2.1 生産費関数の考え方とその設定	114
2.2.2 生産費関数の特性及び試算結果	117
2.2.3 考察	121
2.3 開発森林による林道規格の決定	125
2.3.1 生産費関数の考え方とその設定	125
(1) 林道規格決定のための生産費関数	125
(2) 林道密度整備水準検討のための生産費関数	129
2.3.2 適用方法	129

(1) 計画手順	129
(2) 適用区域及び算定方法	131
2.3.3 生産費関数の特性及び試算結果	132
(1) 林道規格の試算結果	132
(2) 林道密度整備水準の検討結果	138
2.3.4 考察	145
2.4 総合考察	150
3 結 論	155
謝辞	156
引用文献	156
Summary	158

1 序 論

タフヤーダやフォワード等の新たな機械作業システムを導入し、高能率、安全で低コストの林業を構築するためには、高密度に整備された林道網が前提要件である。しかしながら、我が国の林道密度の整備水準は依然として5.0 m/haにも達せず、林道開設の進捗は遅々として進まない。近年、特に、林道の公道的機能の発揮に対する要請の高まりに対応して、高規格の林道の開設ウエイトが高まっていることや、民有林林道事業の多角的展開などによって、林業的機能の発揮を要請される林道網の整備の遅延が憂慮される状況にある。

このような状況の中にあって、本論文は、21世紀初頭に期待される国産材時代を現実のものにするために必須な生産基盤施設である高密度の林道網を、経済合理性に基づいて構築するため、林道規格の決定法を論議したものである。このため、第1報では林道路線評価によって林道規格の決定を行うための林道路線評価パラメータを論議し、それらの特性を解明した。評価パラメータとして論議されたものは、林道の林業的交通需要の特性をはじめ、林道規格決定のための生産費関数の費用である開設費、維持管理費、用地費、運材費、人員輸送費、集材費、歩行費、さらに生産費の推定精度の向上を図るために必要な林道密度修正係数、線形について行った。本報では、第1報の成果を用いて林道網の路線の林道規格の決定法について論議するものである。ここでは利用区域森林による方法と開発森林による方法の2通りの林道規格決定法を示し、さらに複合的林道で形成される林道網における適正林道密度の考察や、本論で論議した林道網計画法を採用することでの経済的得失についても総合考察した。

2 林道路線評価による林道規格の決定

2.1 概説

高能率で低コストの魅力ある林業を確立するためには、新たな機械作業システムを構築することが不可欠である。林道網は、機械作業システムの基盤施設なので、効率的な整備推進の必要性が高まっている。このためには、路線の機能に応じた規格で、階層的な複合的林道網の形成を図ることが有効な方

策であり、合理的な林道路線評価による林道規格の決定法の確立が望まれている。本章は、第1報の成果をもとに林道規格を決定し、今後の林道整備のあり方を考察したものである。

2.2では、第1報3.2で明らかにした、「HACKの法則」と類似の関係式で木材流量と林業的交通量を評価して、利用区域森林の規模に応じた林道規格の配置基準を示す。この方式は、利用区域森林面積を基準に規格決定を行うので、林業の利用を主体とする林道に対して、現行の補助事業と矛盾なく用いることができる。本節で示された面積基準は、第1報(1)式の定数に我が国の平均的な値を与えた結果なので、利用区域森林面積と林道規格の関係を示す指標となる。

2.3では、複数路線で林道網を形成する場合の林道規格の決定法を論議した。ここでは、開発森林を導入して、路線区間単位に木材流量と林業的交通量を推定した、第1報3.3の成果を林道網計画に適用した。路線区間の利用度に応じて費用化した生産費関数で、規格化を区間単位に実現した後、複合的林道網における適正林道密度を考察した。

2.4では、林道規格を決定して複合的林道網計画を行う場合の経済的利益を中心に述べ、併せて2.2と2.3の方法の関係を論じて総合考察した。

本章で想定した林道規格と道路の構造は、Table 1に示す林道1, 2及び3級と作業林道の4規格とした。林道1〜3級と作業林道の相違は、第1報2.2で説明したように、前者は地域の道路網の一環としての役割を担うものなので、公道との整合性を重視した林道規程に基づく構造なのに対し、後者は専ら林業に用いられるので、走行の安全にのみ配慮した低構造の道路とし、擁壁等の構造物、コンクリート側溝等を有さない土構造とした。

Table 1. 林道規格と道路の構造
Forest-road standards and its structure

林道規格 Forest-road standards	設計車両 Design vehicles	設計速度 Design speeds (km/h)	全幅員 Widths with shoulder (m)	車道幅員 Widths (m)	路肩 shoulder (m)	備考 Notes 車両幅(m) Widths of vehicles
林道1級 1st grade	普通自動車 Common-size	30	5.0	4.0	0.5	2.5
林道2級 2nd grade	普通自動車 Common-size	25	4.0	3.0	0.5	2.5
林道3級 3rd grade	小型自動車 Small-size	20	3.0	2.0	0.5	1.7
作業林道 Low-structure	普通自動車 Common-size	10	3.5	3.0	0.25	2.5
参考 Reference						
作業路規格 Skidding-road standards						
作業路 1 1st	トラクタ (クローラ) Tractor (crawler)		3.5			2.6
作業路 2 2nd	フォワーダ (ホイール) Forwarder (wheel)		2.5			1.4
作業路 3 3rd	フォワーダ (クローラ) Forwarder (crawler)		2.0			1.0

2.2 利用区域森林による林道規格の決定

本節では、林道延長と利用区域森林面積の關係に成立する、第1報(1)式を利用した生産費関数を設定し、利用区域森林面積に対応する林道規格の配置基準を考察した。すなわち、路線の木材流量と林業的交通量を利用区域森林の規模から推定して、林道整備費、林道用地費、運材費、人員輸送費、集材費、歩行費で構成される生産費関数に取り込み、利用区域森林面積を基準に路線の林道規格を決定する方法である。

2.2.1 生産費関数の考え方とその設定

河川の主流長と流域面積の關係で成り立つ「HACKの法則」のベキ乗式と類似の關係が、林道延長(L)と利用区域森林面積(A)の關係でも認められることは第1報3.2で論じた。第1報で(1)式の定数 k , n の特性を林道1級から作業林道までの林道規格別に解析したところ、規則的な傾向が認められ、連絡型と突込型の接続形態による違いは明らかであった(第1報Table 4)。生産費関数に用いる定数 k , n は、接続形態別、林道規格別に細分して与えるのも一方法であるが、本節では、実験式の標本数、相関係数並びに生産費関数は連絡型と突込型で設定する必要があることから、第1報Table 4の連絡型と突込型の値とした。Fig. 1は第1報Table 4の定数 k , n を用いて A と林道密度の關係を示したものである。この図によると、連絡型は突込型に比べて同面積で林道密度が高い。ちなみに、連絡型の A が50, 100及び1000 haで42, 32及び13 m/haなのに対し、突込型は28, 21及び8 m/haとなる。これは連絡型の迂回係数(第1報(6)式)が2.26で、突込型の1.89を上回ったことに原因する(澤口・大川畑, 1992)。以下、このような特性を持つ第1報(1)式を用い、互いに換算される L と A で評価した費用による生産費関数を設定する。なお、林道計画における路線配置の前提としては、①利用区域森林に幹線的な林道を1路線計画する。②林道規格は起点から終点まで同規格とする。の2点である。

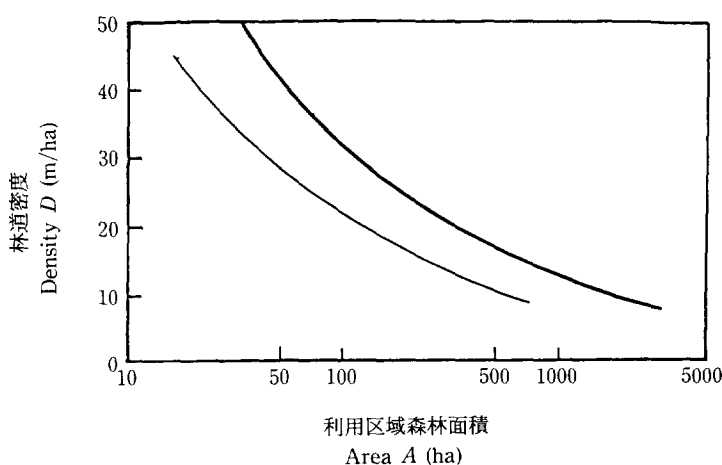


Fig. 1 利用区域森林面積と林道密度の關係
Relationships between forest area being exploited and forest-road densities
—, 連絡型: Connection type —, 突込型: Go-back type

林道規格を与える生産費関数 (C_s (円/ m^3)) は、路線起点を通過する丸太量である木材流量で決定される生産費とし、(1)式に示す林道整備費関数 (C_{CS} (円/ m^3))、林道用地費関数 (C_{ES} (円/ m^3))、運材費関数 (C_{TS} (円/ m^3))、人員輸送費関数 (C_{PS} (円/ m^3))、集材費関数 (C_{SS} (円/ m^3))、歩行費関数 (C_{WS} (円/ m^3)) の6関数から成り立つ (酒井秀夫, 1987; SUNDBERG and SILVERSIDES, 1988)。添え字 (s) は林道規格を示す。

$$C_s = C_{CS} + C_{ES} + C_{TS} + C_{PS} + C_{SS} + C_{WS} \quad (1)$$

(1)式で林道規格の決定に直接関与する関数は、 C_{CS} 、 C_{ES} 、 C_{TS} 、 C_{PS} の4関数である。 C_{SS} と C_{WS} は、林道構造上の制約で集材機材や人般車両の搬入に支障がない限り、規格化に直接関与しない。しかしながら、両費用は生産費に与える影響は大きく、林道規格に対応する生産費を最小とする A や、作業林道による生産システムと、トラクタやフォワーダを用いる作業路による生産システムの分岐点となる A を導く上で必要なことから、(1)式に組み込んだ。

林道整備費関数 (C_{CS}) は、開設費と維持管理費からなり第1報(1)式を導入して、(2)式で示される。開設費と維持管理費は第1報Table 23、林業経営期間は第1報Table 10を用いる。

$$\begin{aligned} C_{CS} &= (r_s + m_s) * L / (A * V) \\ &= (r_s + m_s) * kA^{n-1} / V \end{aligned} \quad (2)$$

$$m_s = r_s * p_s * n_Y \quad (3)$$

ただし、 r_s ：開設費 (円/m)、 m_s ：維持管理費 (円/m)、 p_s ：年維持管理費率、 n_Y ：1 林業経営期間、 V ：出材量 (m^3/ha)

林道用地費関数 (C_{ES}) も、 C_{CS} と同様の考えで第1報(1)式を導入して、潰れ地の林地価格を評価した(4)式で示される。用地費 ($w_s * e_P$) は第1報Table 28の関数を用いる。

$$\begin{aligned} C_{ES} &= w_s * e_P * L / (A * V) \\ &= w_s * e_P * kA^{n-1} / V \end{aligned} \quad (4)$$

ただし、 w_s ：用地面積 (m^2/m)、 e_P ：林地評価額 (円/ m^2)

C_{ES} は、林道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、用地に対する補償が一般化していることなどから、 C_s に組み込んだ。このことは、自己の森林に自らが整備する場合においても、生産費という視点で考える限り同様のことがいえる。

運材費関数 (C_{TS}) は、運材の変動費と固定費と運材距離の関係で算定され、運材距離の違いで連絡型は(5)式、突込型は(6)式で示される。運材距離は、連絡型は路線延長の1/4、突込型は1/2とした。単位運材変動費、運材固定費は第1報Table 33を用いて算定する。

$$\begin{aligned} C_{TS} &= (T_{VS} * L / 4) + T_{f_s} \\ &= (T_{VS} * kA^n / 4) + T_{f_s} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 C_{TS} &= (T_{VS} \cdot L/2) + T_{fS} \\
 &= (T_{VS} \cdot kA^n/2) + T_{fS}
 \end{aligned}
 \quad (6)$$

ただし、 T_{VS} ：単位運材変動費（円/ｍ³・ｍ）、 T_{fS} ：運材固定費（円/ｍ³）。

人員輸送費関数（ C_{PS} ）は、人員輸送費の単位経費、人員輸送距離と単位材積を生産するための労働投入量の関係で決まり、(7)式は連絡型、(8)式は突込型の場合である。単位人員輸送費は第1報Table 34を用いる。

$$\begin{aligned}
 C_{PS} &= (T_{PS} \cdot L/4 \cdot pn) / V \\
 &= (T_{PS} \cdot kA^n \cdot pn) / 4 V
 \end{aligned}
 \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
 C_{PS} &= (T_{PS} \cdot L/2 \cdot pn) / V \\
 &= (T_{PS} \cdot kA^n \cdot pn) / 2 V
 \end{aligned}
 \quad (8)$$

ただし、 T_{PS} ：単位人員輸送費（円/人・ｍ）、 pn ：労働投入量（人/ha）

Table 2. 林道密度修正係数等の試算因子
V-corr and other factors for calculation

区 分 Classifications	地形傾斜（度） Terrain slopes (deg.)			
	0～10	10～20	20～30	30～40
集材迂回率 Windings of skidding				
作業路 Skidding roads	0.2	0.2	0.5	0.5
架線 Cable systems	0.2	0.2	0.2	0.2
歩行距離係数 Walking distance coefficients	1.0	1.5	1.5	2.0
歩行速度(km/h) Walking speeds	3	2	2	2
林道密度修正係数 V-corr		1.75		

集材費関数（ C_{SS} ）を算定するための集材距離は、林道密度に対応する平均最短到達距離を第1報(67)式で求め、これに集材迂回率を乗じた(9)式で得る。林道密度修正係数（V-corr）、集材迂回率はTable 2を用いる。Table 2の集材迂回率と歩行関係因子は文献（林業土木コンサルタンツ、1967；小林、1983；南方ら、1985；森林計画研究会編、1987）を参考に、林道密度修正係数（V-corr）は、第1報4.6.1から定めた。

$$S_r = S_m \cdot (1 + \eta') \quad (9)$$

ただし、 S_r ：集材距離（m）、 S_m ：平均最短到達距離、 η' ：集材迂回率

次に、集材距離と地形傾斜から最適集材システムを選択し、集材システムごとに設定された集材費関数から集材費を算定する。集材システムの選択は第1報Fig. 54～55、集材システム別の集材費関数は同報Table 35を用いる。

歩行費関数（ C_{WS} ）は、歩行時間に要する労務経費と単位材積を生産するための労働投入量の関係から、(10)式で算定する。歩行距離係数、歩行速度はTable 2、単位歩行費は第1報Table 32の労務経費を用

いる。

$$C_{ws} = 2 S_m * wk * (3.6/ws) * wc * pn / V \quad (10)$$

ただし、 wk ：歩行距離係数、 ws ：歩行速度 (km/h)、 wc ：単位歩行費 (円/人・s)

2.2.2 生産費関数の特性及び試算結果

生産費関数 (C_s) を構成する、林道整備費関数 (C_{cs})、林道用地費関数 (C_{es})、運材費関数 (C_{ts})、人員輸送費関数 (C_{ps})、集材費関数 (C_{ss})、歩行費関数 (C_{ws}) の各関数の特性を分析する。

Fig. 2～7に地形傾斜 (θ) 20° 、出材量 (V) $250 \text{ m}^3/\text{ha}$ 、労働投入量 (pn) 300 人の突込型の路線を例に、 C_s を構成する関数を示す。 C_{cs} は、林道規格で費用に大きな差があるのが理解できるとともに、利用区域森林面積 (A) の増大につれて急速に減少し、 A の増加とともに減少割合は次第に低減し、規格間の差も次第に縮小するのが分かる。例えば、林道2級は、10 haで13 366 円/ m^3 であったものが、100 haで5 164 円/ m^3 、1 000 haでは1 995 円/ m^3 になる。同様に作業林道は3 798、1 467 及び567 円/ m^3 で推移する (Fig. 2)。この結果は、利用区域森林の規模が大きくなり木材流量が増大することが、上位規格による路線配置を可能にするのを裏付けている。連絡型は、同規模の A でも L が長い分だけ C_{cs} は大きく、林道2級は19 275、7 780 及び3 141 円/ m^3 となる。Table 3に、 C_{cs} を左右する地形傾斜別の開設費を参考までに掲げる。 C_{es} は C_{cs} と同様の傾向を示すが、 C_{cs} に比べて極めて少額であり、 A が増大するとほとんど無視できる額になる (Fig. 3)。

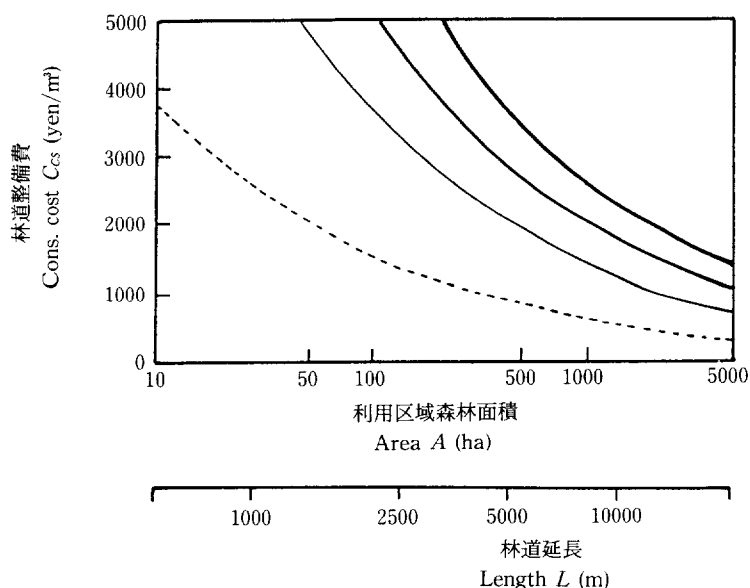


Fig. 2 林道整備費関数の特性
Characteristics of forest-road construction costs functions

注) 突込型, $\theta : 20^\circ$, $V : 250 \text{ m}^3$, $pn : 300$ 人

Notes: Go-back type

——, 林道1級: 1st grade - - - , 林道2級: 2nd grade , 林道3級: 3rd grade - · - · , 作業林道 Low-structure

C_{TS} は、第1報Table 33からも推察できるが、単位運材変動費 (T_{VS}) と運材固定費 (T_{FS}) で決まるので、 A が小さく、従って L が短い段階では規格間で余り差はない。ちなみに A が 100 ha では林道 2 級 852 円/ m^3 、作業林道 1 119 円/ m^3 が、 L が長くなると次第に高規格の林道の優位性が増し、 L が 8 200 m 余りに達する 1 000 ha では、それぞれ 1 062 及び 2 005 円/ m^3 と 2 倍の開きとなる (Fig. 4)。突込型に比べて運材距離の短縮が期待できる連絡型は、1 000 ha で林道 2 級 1 002 円/ m^3 、作業林道 1 750 円/ m^3 となるが、 L 自身の増加もあって大きな縮減は期待できない。

C_{PS} は、 C_{TS} と同様の傾向を示し、

林道 2 級は 100 ha で 226 円/ m^3 、1 000 ha で 872 円/ m^3 に対し、作業林道は 562 及び 2 170 円/ m^3 になり、 A の増加とともに、輸送能力の劣る作業林道の費用の掛かり増しが大きくなる (Fig. 5)。連絡型は、輸送距離の短縮が多少期待できるので、100 及び 1 000 ha で 170 及

Table 3. 地形傾斜別の開発費
Construction costs by terrain slopes (yen/m)

地形傾斜 Terrain slopes	林道 1 級 1st grade	林道 2 級 2nd grade	林道 3 級 3rd grade	作業林道 Low- structure
0°	19 717	18 270	15 892	5 790
10	34 665	29 410	23 014	8 840
20	63 193	48 812	34 129	13 869
30	125 086	86 843	53 424	23 145

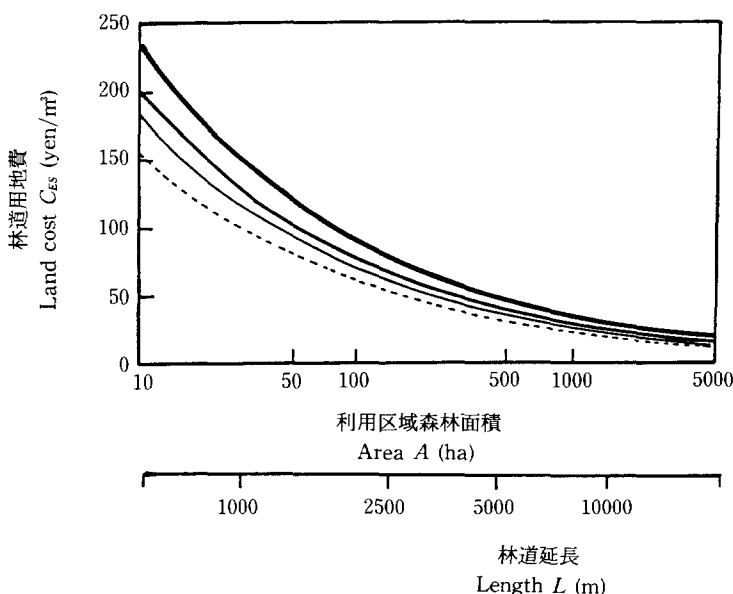


Fig. 3 林道用地費関数の特性
Characteristics of forest-road land costs functions

注) 突込型, θ : 20°, V : 250 m^3 , pn : 300人

Notes: Go-back type

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

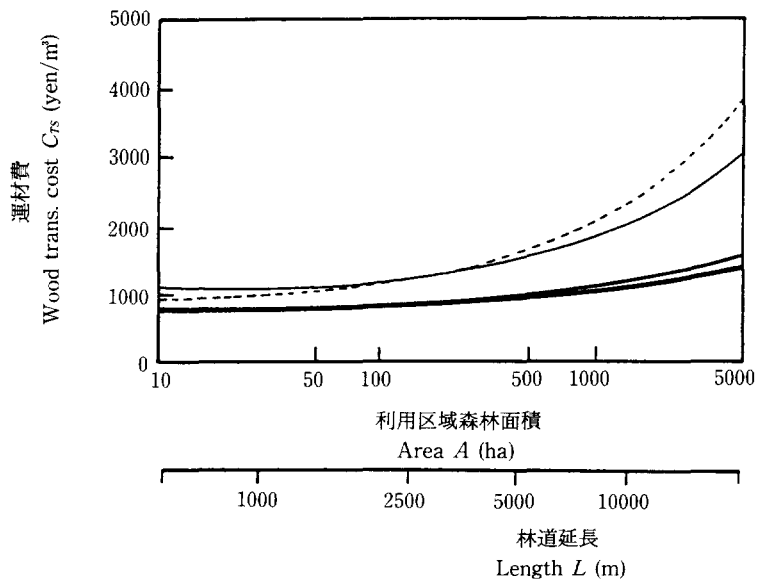


Fig. 4 運材費関数の特性
Characteristics of wood transportation costs functions

注) 突込型, $\theta: 20^\circ$, $V: 250\text{m}^3$, $pn: 300$ 人

Notes: Go-back type

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

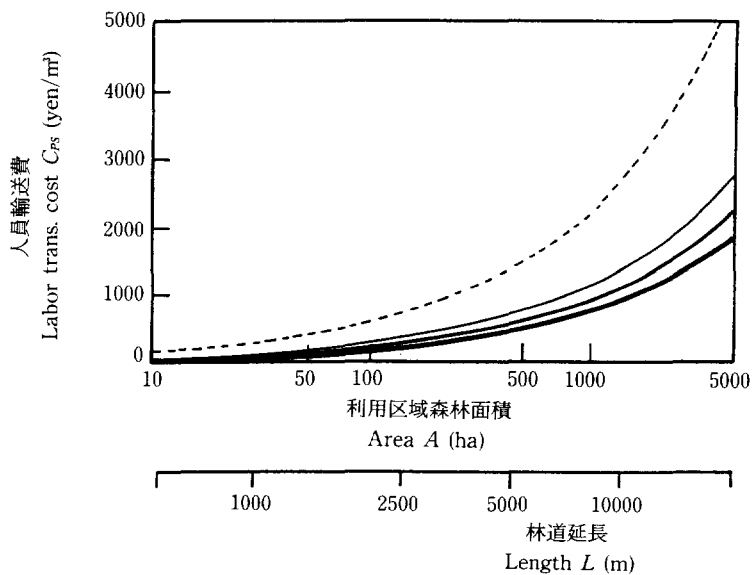


Fig. 5 人員輸送費関数の特性
Characteristics of labor transportation costs functions

注) 突込型, $\theta: 20^\circ$, $V: 250\text{m}^3$, $pn: 300$ 人

Notes: Go-back type

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

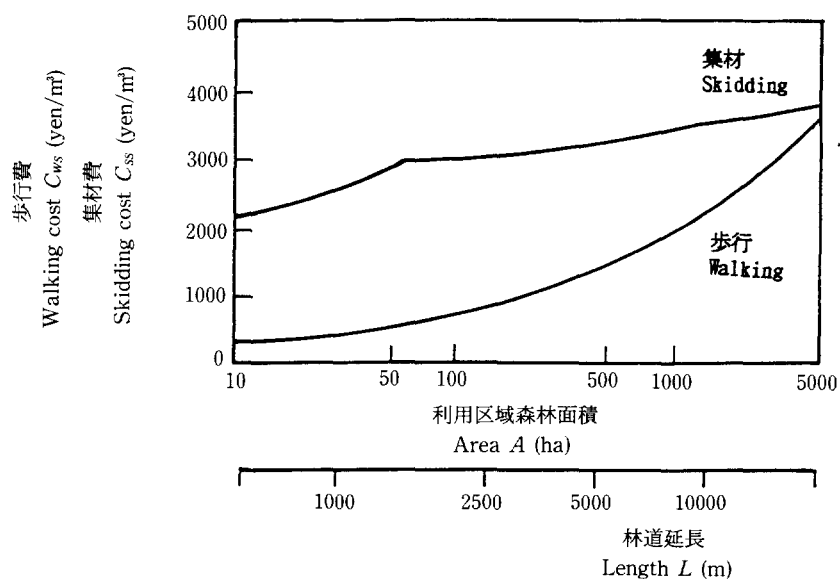


Fig. 6 集材費関数と歩行費関数の特性
Characteristics of skidding and walking costs functions

注) 突込型, $\theta: 20^\circ$, $V: 250\text{m}^3$, $pn: 300$ 人
Notes: Go-back type

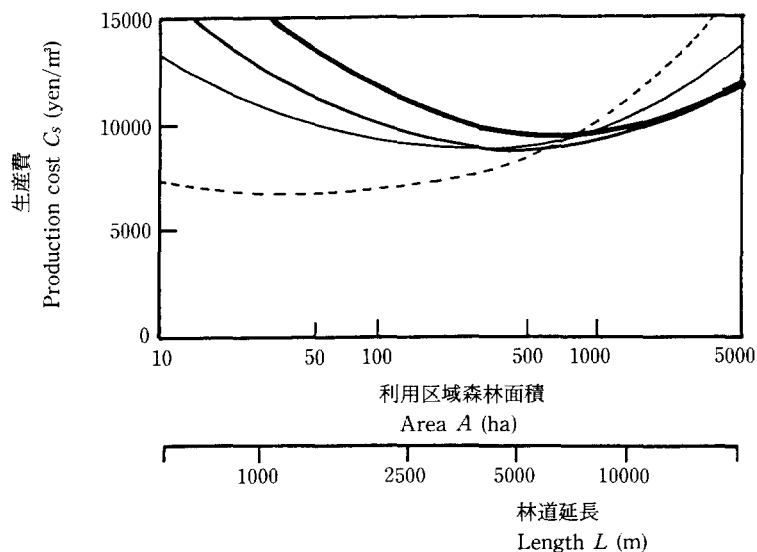


Fig. 7 生産費関数の特性
Characteristics of production costs functions

注) 突込型, $\theta: 20^\circ$, $V: 250\text{m}^3$, $pn: 300$ 人

Notes: Go-back type

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

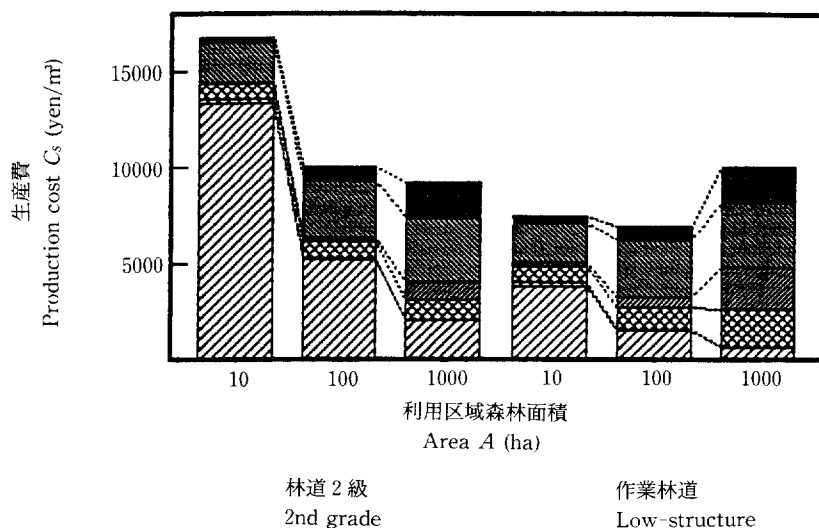


Fig. 8 生産費の構成内訳
Composition of production costs

- | | |
|--------------------------------------|---|
| ▨, 林道整備費;
Cons. cost C_{cs} | ▨, 林道用地費;
Land cost C_{ls} |
| ▨, 運材費;
Wood trans. cost C_{ws} | ▨, 人員輸送費;
Labor trans. cost C_{ps} |
| ▨, 集材費;
Skidding cost C_{ss} | ▨, 歩行費;
Walking cost C_{ws} |

び 686 円/m³ が林道2級の費用になる。

C_{ss} と C_{ws} は、林道密度と地形傾斜で基本的に決定されるが算定の結果 10, 100 及び 1 000 ha での C_{ss} は 2 117, 2 962 及び 3 381 円/m³, C_{ws} は 279, 723 及び 1 872 円/m³ となり、 A の増加に C_{ws} は C_{ss} 以上に敏感に反応する (Fig. 6)。連絡型は、密度が高い分だけ両費用は少なく、突込型と同面積の A に対して、 C_{ss} は 1 883, 2 645 及び 3 132 円/m³, C_{ws} は 194, 480 及び 1 189 円/m³ になる。

$C_{cs} \sim C_{ws}$ の合成関数である C_s は、作業林道の 34 ha, 6 735 円/m³ を最小に、 A の増加につれて増大し、100 ha で 6 904 円/m³, 1 000 ha では、林道2級の 9 213 円/m³ が最小生産費になる (Fig. 7)。 C_s の構成内訳を示した Fig. 8 によると林道2級、作業林道とも A の増加による C_{cs} の減少が著しく、林道2級では 100 ha, 1 000 ha で生産費に占める割合は 52% から 22% に半減した。 A の増加には、 C_{ps} と C_{ws} が C_{ts} や C_{ss} に比べて敏感に反応することや、 C_{ps} , C_{ws} , C_{ts} のいずれの費用も無視できないことが指摘できる。

以上の結果から明らかなように、この例での林道規格を決定する A の基準は、 $0 < \text{作業林道} < 636$ ha, $636 < \text{林道2級} < 3 123$ ha, 林道1級 $> 3 123$ ha となった。

2.2.3 考察

C_s を θ , V , pn を変化させて、利用区域森林の規模と林道規格の関係を考察する。利用区域森林面積

による林道規格の決定のための面積基準をTable 4に示す。試算結果によると、林道規格に対応するAの規模は、地形傾斜が険しいほど、出材量が少ないほど、連絡型が突込型より、それぞれ大きな値となった。このことは、 C_s に及ぼす C_{cs} の影響の大きさを示すといえる。 C_{cs} の感度をみるため θ , V , pn を2.2.2と同条件とし、開設費を1/2にして試算したところ、 $0 < \text{作業林道} \leq 316 \text{ ha}$, $316 < \text{林道2級} \leq 1573 \text{ ha}$, $\text{林道1級} > 1573 \text{ ha}$ となり、面積もほぼ1/2に低下したことからも、 C_{cs} の影響の大きさが裏付けられる (Table 5)。連絡型が突込型より大きい面積になるのは、同じAでLが長いために C_{cs} が高くなるので理解できる。 $\theta = 20^\circ$ として V を250 → 500 m^3/ha , pn を300 → 500 人/haに変化させたところ、生産費は100

及び1000 haの作業林道の場合6903 → 5292 円/ m^3 , 10022 → 9052 円/ m^3 にそれぞれ14%及び10%減少した。 V の増加は生産費を減少させ、 pn の増加は逆に増大させる作用を持つが、 V が pn に比べて感度が高いことや、作用の大きさがこの分析から分かる。 V の感度が高いことは、 C_{cs} にも影響する因子であることから理解できる。

C_s を最小とする作業林道のAは、Table 4で17~141 ha、Table 5では2~67 haの範囲にあり、 θ との関係からも、やはり C_{cs} との関係の深さを認めることができる。林道規格を決定するAの基準には、Table 4を用いるとよい。末端の作業林道の限界的なAは、 C_s を最小とするTable 4の()書きが一つの目標になるが、これは作業路との関係で決定される。小さいAでは、林道3級は林道2級より C_s は小さく有利な規格といえるが、開設費の割に運材能力が低いこともあって、この規模のAでは作業林道よりも常に C_s が高くなり、林道3級は有利な規格として選択されず、その存在意義が薄い。

ここまでの論議では、AがTable 4に示した()書きの基準より小さく、 C_s が増加する場合の限界的なAは論じられていないので、以下、この点に関して考察する。

運材は、林道網を整備してトラックで行うのが一般的である。しかしながら、現実には小さい利用区

Table 4. 利用区域森林面積による林道規格の決定(1)
Determination of forest-road standards by means of forest areas being exploited (1)

区分	地形傾斜	作業林道	林道2級	林道1級
Classifications	Terrain slopes	Low-structure	2nd grade	1st grade
連絡型 Connection type				
(a)	0°	0~(64) ~ 449ha	~ 623ha	623ha~
	10	0~(108) ~ 748	~2 338	2 338~
	20	0~(81) ~1 276	1 276~	—
	30	0~(141) ~2 334	2 334~	—
(b)	0°	0~(35) ~ 244	~ 357	357~
	10	0~(58) ~ 409	~1 339	1 339~
	20	0~(41) ~ 701	~3 578	3 578~
	30	0~(70) ~1 286	1 286~	—
突込型 Go-back type				
(a)	0°	0~(32) ~ 223	~ 312	312~
	10	0~(52) ~ 373	~1 169	1 169~
	20	0~(34) ~ 636	~3 123	3 123~
	30	0~(60) ~1 165	1 165~	—
(b)	0°	0~(17) ~ 121	~ 179	179~
	10	0~(28) ~ 204	~ 670	670~
	20	0~(18) ~ 349	~1 788	1 788~
	30	0~(31) ~ 641	~4 728	4 728~

注) 1. ()書きは、生産費を最小とする面積である。

2. (a)は出材量250 m^3/ha , 労働投入量300人/ha,

(b)は500 m^3/ha , 500人/haの場合である。

Notes: Parentheses show areas for minimum production costs.

(a): Log volume, 250 m^3/ha ; Labor volume, 300 people/ha.

(b): 500 m^3/ha , 300 people/ha.

Table 5. 利用区域森林面積による林道規格の決定(2)
Determination of forest-road standards by means of forest areas being exploited (2)

区分 Classifications	地形傾斜 Terrain slopes	作業林道 Low-structure	林道2級 2nd grade	林道1級 1st grade
連絡型 Connection type				
(a)	0°	0～(30)～	221ha～	312ha～
	10	0～(54)～	371	1 207
	20	0～(39)～	634	3 150
	30	0～(67)～	1 162	—
(b)	0°	0～(5)～	119	179
	10	0～(8)～	202	693
	20	0～(20)～	347	1 800
	30	0～(34)～	638	4 727
突込型 Go-back type				
(a)	0°	0～(15)～	110	156
	10	0～(26)～	184	604
	20	0～(17)～	316	1 573
	30	0～(28)～	579	4 140
(b)	0°	0～(2)～	59	90
	10	0～(3)～	100	345
	20	0～(9)～	172	900
	30	0～(13)～	318	2 370

注) 1. 開設費をTable 4の50%で見込んだ場合である。

2. ()書きは、生産費を最小とする面積である。

3. (a)は出材量250m³/ha、労働投入量300人/ha、

(b)は500m³/ha、500人/haの場合である。

Notes: The values of this Table were calculated by estimating for half construction costs of Table 4. Parentheses show areas for minimum production costs. (a): Log volume, 250 m³/ha; Labor volume, 300 people/ha. (b): 500 m³/ha, 300 people/ha.

トラクタ、中型フォワーダ、小型フォワーダの集材システムを想定し、第1報Table 35から集材費を算定して、最小集材費の集材法による費用とした。同様に、作業路2は小型タワーヤード、中型フォワーダ、小型フォワーダ、作業路3は小型フォワーダを集材システムに算定した。

試算結果をTable 6に示す。Table 6は、作業林道と作業路による生産システムの C_s から、分岐点の A を求めたものである。従って、表に記載された面積より小さい場合には、作業路による生産システムが有利なことを意味する。

最も効率のよい作業路の生産システムを採用する場合の分岐点の A は、作業林道の C_s を最小とするTable 4の数値に比べて、半分程度になり、地形傾斜が厳しいほど A は大きい傾向を示した。従って、作業林道の限界的な A は、Table 4の()書きの生産費を最小にする A より小面積になる。Fig. 9に代表例として突込型、 $\theta: 20^\circ$ 、 $V: 250 \text{ m}^3/\text{ha}$ 、 $pn: 300 \text{ 人}/\text{ha}$ の C_s を示す。この例では、中型フォワーダ $<= 2 \text{ ha}$ 、 $2 < \text{トラクタ} <= 21 \text{ ha}$ 、作業林道 $> 21 \text{ ha}$ となり、分岐点での C_s は6 338、6 815 円/m³であった。

域森林を対象に、トラクタやフォワーダで山土場まで小運搬を行い、トラックに引き継ぐ方式があるので、林道による運材と作業路による小運搬の関係を整理する。トラクタ、フォワーダで作業路による生産システムの生産費関数の設定は、次の考えで行った。

①作業路にも第1報(1)式は成立し、その定数は林道と同じと仮定した。

②開設費は第1報Table 37とし、年維持管理費率は開設費の2%とした(澤口・大川畑, 1993)。用地費は、既報の用地幅の予測式から設定した(澤口・大川畑, 1993)。

③運材費は、第1報Table 33の単位運材変動費、運材固定費を用い、トラック運材の運材固定費を加算した。

④人員輸送費は見込まず、作業路延長を歩行するとして歩行費に加算した。

⑤作業路1は小型タワーヤード、

Table 6. 作業林道と作業路による生産システムの利用区域森林面積
Economical forest areas being exploited for skidding roads compared with low-structure forest roads

区 分 Classifications	地形傾斜 Terrain slopes	作業路 1	作業路 2	作業路 3
		1st (トラクタ) (Tractor)	Skidding roads 2nd (中型フォワード) (Forwarder) (medium-size)	3rd (小型フォワード) (Forwarder) (small-size)
連絡型 Connection type				
(a)	0°	35ha	13ha	5ha
	10	60	27	13
	20	47	39	21
	30	49	61	31
(b)	0	15	3	1
	10	26	8	3
	20	24	15	6
	30	25	25	9
突込型 Go-back type				
(a)	0	17	5	2
	10	29	11	6
	20	21	17	10
	30	22	26	14
(b)	0	7	1	0.5
	10	13	4	2
	20	11	6	3
	30	11	11	4

注) (a)は出材量250m³/ha, 労働投入量300人/ha, (b)は500m³/ha, 500人/haの場合である。

Notes: (a); Log volume, 250 m³/ha; Labor volume, 300 people/ha. (b); 500 m³/ha, 300 people/ha.

作業路1～3の相互関係は、トラクタの作業路1が一般的に効率が高く、25°以上の急傾斜では中型フォワードの作業路2が有利となる場合があるが、両作業路のC_sに大差はない。小型フォワードは30°を超える急峻地で、限られた小面積のAで有利な場合が存在した。

これらの試算結果から、現在整備を進めている林道は、林業経営的には、数百ha以上のAを有しなければ経済的には不利となり、林道を補完するものとして、低構造の作業林道の必要性が再認識された。林道の開設費を現行の水準の半分に抑えることができれば、林道規格に対するAの基準も、半分程度に下がり、開設費が上昇すると逆の結果を招く。

運材システムを評価して林道規格の決定を行った既報（澤口・大川畑，1993）の結果と比較すると、本研究ではC_{PS}とC_{WS}をC_sに加算することで、高規格の林道の有利性が著しく増大した。ちなみにθ, V, pnを2.2.2と同条件とし、突込型と比較すると、既報では0<作業路1<=183 ha, 183<作業林道<=1 480 ha, 林道2級>1 480 haと試算されたが、本論ではすでに述べたように、0<作業路1<=21 ha, 21<作業林道<=636 ha, 636<林道2級<=3 123 ha, 林道1級>3 123 haとなり、Aの基準は大幅に低下した。C_sにおけるC_{PS}とC_{WS}の重要性が、これからも裏付けられたといえる。

本節で示したAの基準は、第1報Table 4の定数k, nが成立する場合に適合する。従って、我が国にお

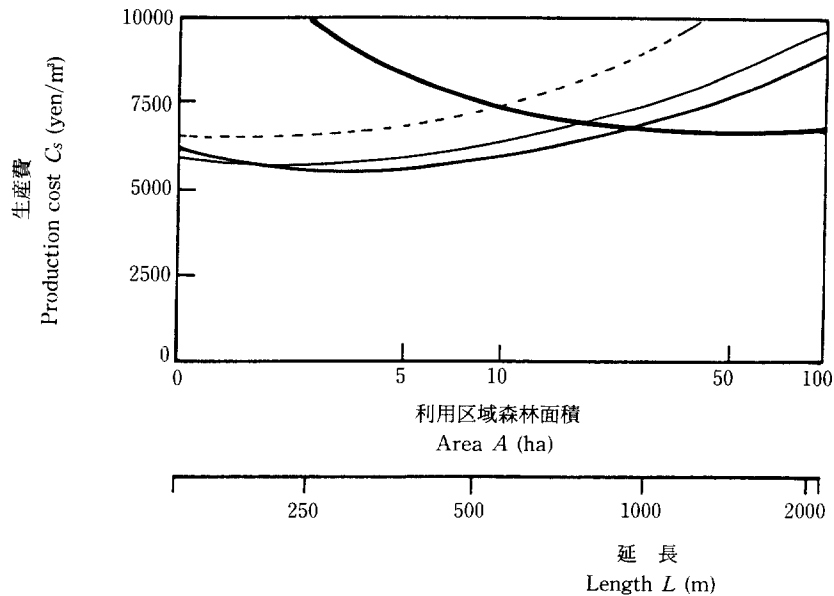


Fig. 9 作業林道と作業路の生産システムによる生産費
Comparison of production costs by low-structure forest road and skidding-road systems

注) 突込型, $\theta: 20^\circ$, $V: 250\text{m}^3$, $pn: 300$ 人

Notes: Go-back type

——, 作業林道: Low-structure forest road ——, 作業路1: Skidding road 1st ——, 作業路2: Skidding road 2nd - - - -, 作業路3: Skidding road 3rd

ける林道整備の目安としての基準に A を用いることはできるが、個々の林道網計画区域での適合性は保証できない。個々の計画区域で、林道規格の決定を試みる場合には、計画区域に対応する A と L を用いることで、より精度の高い計画が可能になる。

2.3 開発森林による林道規格の決定

2.2では、林道延長と利用区域森林面積の関係で成立する、HACKの法則の類似式を適用して、路線の林道規格の決定を行った。本節では、2.2をさらに進め、第1報3.3.2で開発森林の概念を導入して、路線区間での木材流量と林業的交通量を推定した林道網計画区域を対象に、林道網全体の路線の林道規格の決定を試みるとともに、複数規格の林道費を導入した生産費関数における、林道密度と林道規格配分の関係や、複合的林道網での林道密度整備水準を検討した。

2.3.1 生産費関数の考え方とその設定

(1) 林道規格決定のための生産費関数

前節では、路線の林道機能は、位置にかかわらず同一とみなしたので、起終点間を通じて同一規格とした。同一路線、同一規格の考えは、林道整備では一般的であり違和感はない。しかしながら、同じ路

線でも木材流量や林業的交通量は起終点間で大きな開きがあり、起終点を同一規格とするのは合理性に欠ける面がある。林道交通需要は、利用内容を林業の利用に限定して論議すると、当該区間の上流域の森林面積の開発森林面積に支配される(酒井秀夫, 1987)。このことに関しては、第1報3.3.2で林道網計画区域を対象に、木材流量と林業的交通量を路線区間で計測して明らかにした。本節では第1報3.3.2の計測結果から路線区間の林道の費用化を行い、併せて運材車両と人員輸送車両による林業的交通量で区間の利用度を評価して林道規格を決定する。

Fig. 10に高規格と低規格の2種類の林道からなる、林道規格を決定するための生産費関数の概念図を示す。林道を直接通過する木材が開設費と維持管理費と用地費からなる林道費を負担すると、単位材積に課せられる費用は、常に、高規格林道が低規格林道を上回る。この費用は、木材流量が多いときには高規格でも少なくて済むが、林道整備が進捗し奥地化すると木材流量が急激に減少するので、規格の如

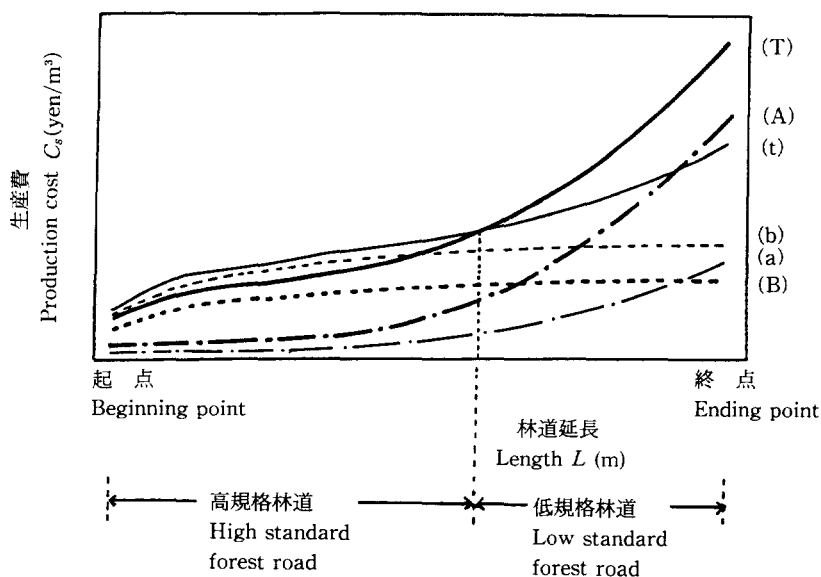


Fig. 10 林道規格の決定のための生産費関数の概念図
Design of production costs functions for decision of forest-road standards

区 分 Classifications	高規格林道 High standard forest road	低規格林道 Low standard forest road
林道費 Forest-road cost	— · — · (A)	— · — · (a)
輸送費 Trans. cost	- - - - (B)	- - - - (b)
生産費 Prod. cost	———— (T)	———— (t)

何にかかわらず急激に上昇し、上昇の程度は高規格ほど著しい。運材費と人員輸送費の輸送費は、輸送能力に優れる高規格の林道が低規格の林道に比し低廉に済むが（酒井秀夫, 1987; SUNDBERG and SILVERSIDES, 1988; 上飯坂編, 1990）、延長が伸びても林業的交通量の減少によって、比例的には増大しない漸増的な性格を持つ。従って、両費用の合成関数は、路線の奥地化につれて高規格から低規格の林道への移行が、経済的に合理的になる。

以下、生産費関数の設定の具体的方法について述べる。林道規格を決定する生産費関数 (C (円/㎡)) は、林道整備費関数 (C_C (円/㎡)), 林道用地費関数 (C_E (円/㎡)), 運材費関数 (C_T (円/㎡)), 人員輸送費関数 (C_P (円/㎡))を加えた、(11)式の4関数からなる。

$$C = C_C + C_E + C_T + C_P \quad (11)$$

生産費関数は、林道整備の進展に対応して、区間単位に規格を決定するので、起点から経路ごとの区間経費の累積和として導かれる。 C_C , C_E は当該区間を利用する木材が負担し、 C_T , C_P は輸送量と輸送距離で費用化される関数である。

最初に区間 (K) の規格別の区間総費用 (TC_{SK} (円)) について説明する。区間総林道整備費 (TC_{CSK} (円)) は、開設費 (r_{SK} (円/m)) に維持管理費 (m_{SK} (円/m)) を加え、それに区間長 (ℓ_K (m)) を乗じて得る。添え字 (s) は林道規格を示す。

$$TC_{CSK} = (r_{SK} + m_{SK}) * \ell_K \quad (12)$$

開設費は、第1報3.3.2の数値地形モデルから区間の地形傾斜を求め、同報Table 23の開設費関数から算定する。維持管理費は、開設費、年維持管理費率 (p_s) 及び林業経営期間 (n_Y (年)) から次式で導く。

$$m_{SK} = r_{SK} * p_s * n_Y \quad (13)$$

区間総林道用地費 (TC_{ESK} (円)) は、開設費の際と同様の手順で求めた区間の地形傾斜を、第1報Table 28の用地費関数に代入して用地費 ($w_{SK} * e_p$) を求め、 ℓ_K を乗じて算定する。

$$TC_{ESK} = w_{SK} * e_p * \ell_K \quad (14)$$

区間総運材費 (TC_{TSK} (円)) は、第1報Table 33の単位運材変動費 (T_{VS} (円/㎡・m)) に ℓ_K と区間運材量 (wt_K (㎡)) を乗じ、同表の運材固定費 (Tf_s (円/㎡)) 部分を加えて得る。なお、運材固定費は区間数が増加しても一定である。

$$TC_{TSK} = T_{VS} * \ell_K * wt_K + Tf_s * wt_K \quad (15)$$

区間総人員輸送費 (TC_{PSK} (円)) は、区間運材費と同様の考えで、第1報Table 34の単位人員輸送費 (TP_s (円/人・m)) に ℓ_K と区間人員輸送量 (pn_K (人)) を乗じて求める。

$$TC_{PSK} = Tp_s \cdot \ell_K \cdot pn_K \quad (16)$$

従って、区間 (k) の区間総費用 (TC_{SK}) は(12), (14)～(16)式を加えた(17)式となる。

$$TC_{SK} = TC_{CSK} + TC_{ESK} + TC_{TSK} + TC_{PSK} \quad (17)$$

路線を起点から区間 (p) まで延長する場合、(11)式の各関数は、起点からの区間経費の累積和として導かれ、単位材積費用として(18)～(21)式で表される。 wt_v は起点を通過する出材量 (m^3) である。

$$C_{CSK} = \sum_{k=1}^p TC_{CSK} / wt_K \quad (18)$$

$$C_{ESK} = \sum_{k=1}^p TC_{ESK} / wt_K \quad (19)$$

$$C_{TSK} = \sum_{k=1}^p TC_{TSK} / wt_v + Tf_s \quad (20)$$

$$C_{PSK} = \sum_{k=1}^p TC_{PSK} / wt_v \quad (21)$$

林道規格ごとに算出された(18)～(21)式で、生産費を最小にする規格が明らかになったので整理すると、(22)式で生産費を最小とする林道規格による生産費関数 (C_K) を示すことができる。

$$C_K = C_{CK} + C_{EK} + C_{TK} + C_{PK} \quad (22)$$

複数の路線で林道網が形成される場合は、路線別に算定して、生産費が低い区間順に路線整備順序(k)を与えることで、(22)式が拡張できる。Fig. 11に林道網を形成する場合の模式図を例示し、算定例をTable 7に示す。

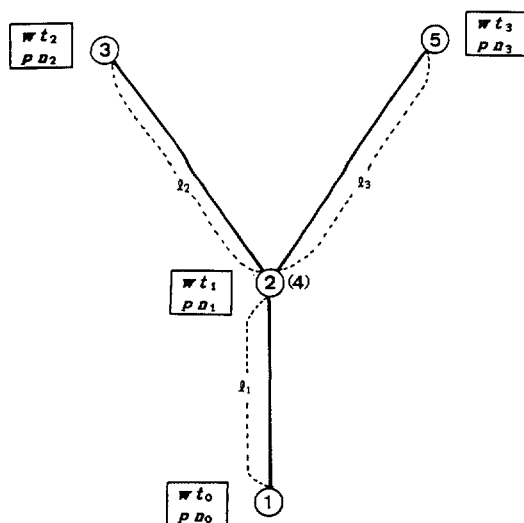


Fig. 11 生産費関数を説明するための模式図
Design for explanation of production costs function

Table 7. 生産費関数を説明するための模式図の生産費
Production costs for explanation design of production costs formula

経路 (区間) Courses (Sections)	1-2-3	1-2(4)-5
林道整備費 (C_{CSK}) Forest-road construction, repair and maintenance costs	$\frac{(r_{S1} + m_{S1}) * \ell_1}{wt_1} + \frac{(r_{S2} + m_{S2}) * \ell_2}{wt_2}$	$\frac{(r_{S1} + m_{S1}) * \ell_1}{wt_1} + \frac{(r_{S3} + m_{S3}) * \ell_3}{wt_3}$
林道用地費 (C_{ESK}) Forest-road land costs	$\frac{ws_1 * \ell_1 * e_P}{wt_1} + \frac{ws_2 * \ell_2 * e_P}{wt_2}$	$\frac{ws_1 * \ell_1 * e_P}{wt_1} + \frac{ws_3 * \ell_3 * e_P}{wt_3}$
運材費 (C_{TSK}) Wood transportation costs	$\frac{Tv_s * \ell_1 * wt_1 + Tv_s * \ell_2 * wt_2}{wt_0} + Tf_s$	$\frac{Tv_s * \ell_1 * wt_1 + Tv_s * \ell_3 * wt_3}{wt_0} + Tf_s$
人員輸送費 (C_{PSK}) Labor transportation costs	$\frac{Tp_s * \ell_1 * pn_1 + Tp_s * \ell_2 * pn_2}{wt_0}$	$\frac{Tp_s * \ell_1 * pn_1 + Tp_s * \ell_3 * pn_3}{wt_0}$
生産費 (円/m ³) production costs (yen/m ³)	$C_{SK} = C_{CSK} + C_{ESK} + C_{TSK} + C_{PSK}$	

(2) 林道密度整備水準検討のための生産費関数

林道整備の進展が森林作業に及ぼす直接的な効果は、森林の各地点に対する到達距離の短縮で生じる。集材作業には、集材距離の短縮で集材システムの変更と集材費の節減、造林等の諸作業には、林内歩行距離を短縮させる効果を持つ。従って、末端の作業林道の最終的な整備水準まで含んだ生産費は、(22)式に集材費関数 (C_{SK} (円/m³))と歩行費関数 (C_{WK} (円/m³))を加えた、(23)式で決定される。

$$C_K = C_{CK} + C_{EK} + C_{TK} + C_{PK} + C_{SK} + C_{WK} \quad (23)$$

(23)式は、計画区域の林道密度整備水準を論議するための生産費関数なので、計画区域の生産費とするため、(23)式の各関数は(22)式で決定した林道規格に対応して(24)～(27)式で再計算し、 C_{CK} と C_{EK} は計画区域の総出材量で負担するように計算する。

$$C_{CK} = \sum_{k=1}^q TC_{CK} / wt_v \quad (24)$$

$$C_{EK} = \sum_{k=1}^q TC_{EK} / wt_v \quad (25)$$

$$C_{TK} = \sum_{k=1}^q TC_{TK} / wt_v + Tf \quad (26)$$

$$C_{PK} = \sum_{k=1}^q TC_{PK} / wt_v \quad (27)$$

2.3.2 適用方法

(1) 計画手順

林道規格配置計画の決定の計画手順をFig. 12に示す。本法は、林道網計画区域の選定に始まり、数値地形モデルの構築、林業経営関連因子等の確定を行った後、地形図に路線を配置し路線配置計画（案）

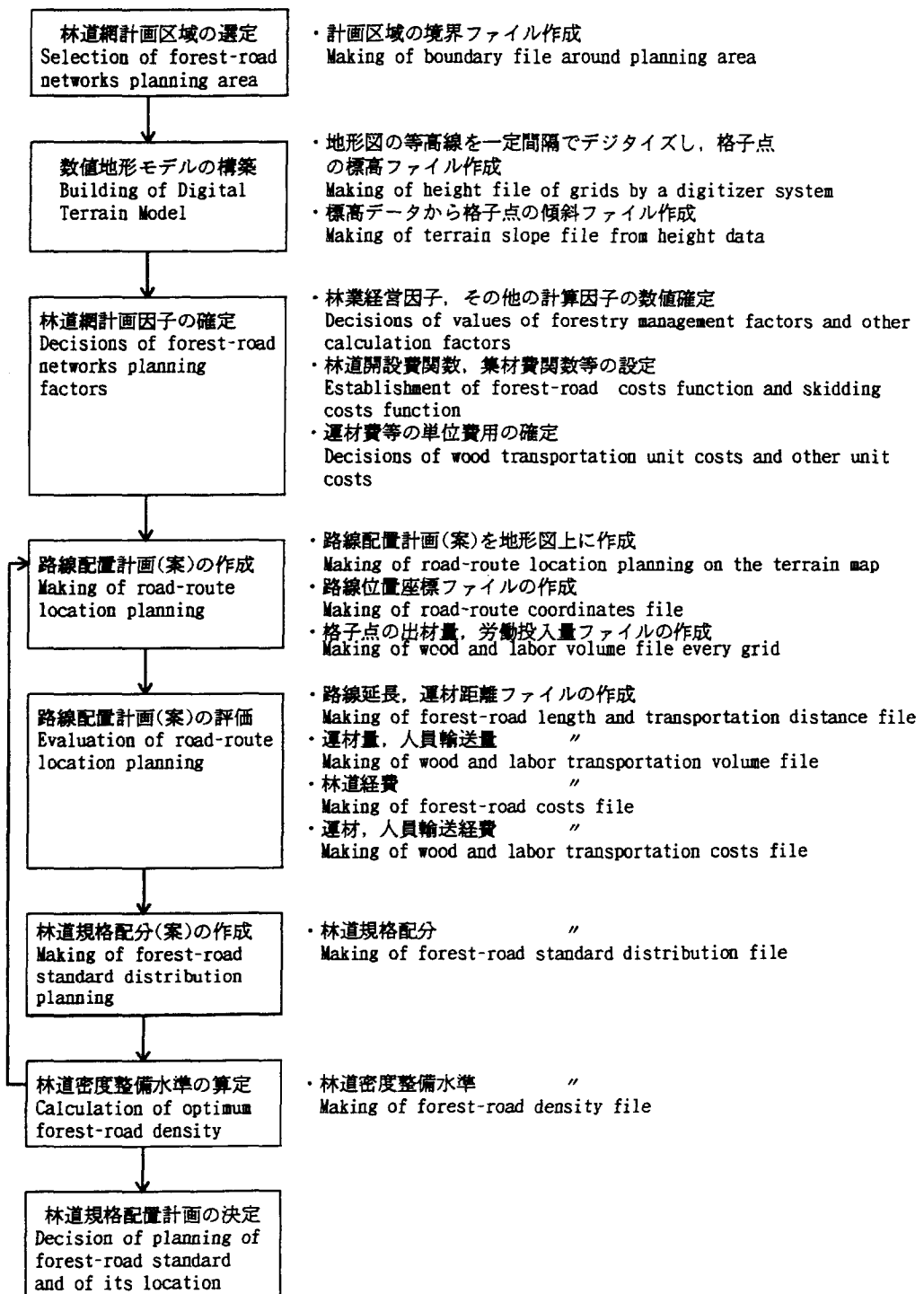


Fig. 12 林道規格配置計画の決定の計画手順
Planning process of forest-road standard and of its location

を作成する。次に、路線配置計画（案）を評価して林道規格配分（案）を作成し、最後に異なる林道規格で形成された複合的林道網の生産費から、林道密度整備水準を算定し、林道規格配置計画を決定して終了する。

コンピュータを用いて、路線配置を自動的に行う手法の研究には（平賀，1971，1972；酒井徹朗，1982，1983；後藤・緒方，1983；小林，1983；KOBAYASHI，1984；小林・仁多見，1991）等があり、次第に実用的なものになりつつある。本論文の主題は、路線配置の自動化手法の開発ではなく、何らかの手法で意志決定された路線配置に対して、林道規格を決定することにある。従って、本論文では地形図への路線配置作業は、熟練の技術者の知恵と経験により手作業で行うこととした。

(2) 適用区域及び算定方法

本節で設定した生産費関数を適用した区域は、第1報3.3.2で対象とした高萩、浜松、大栃営林署管内の国有林野である。計画区域や林道網計画の概要は既述の通りである（第1報Table 7）。生産費関数の算定も、格子間隔100 m * 100 m（図上5 mm * 5 mm）の正方形の格子を用いて、既述と同様の方法で行ったので詳述しない。ここでは、集材費関数及び歩行費関数の設定方法を説明する。

集材費関数の設定は次の手順で行う。すべての林道整備段階（ q ）で全格子点（ $m * n$ ）について、(28)式で格子点から路線までの最短到達距離マトリックス（ D_{min} ）を作成する。林道整備順序が（ k ）番目の最短到達距離マトリックス（ D_{mink} ）は、

$$D_{mink} = \begin{bmatrix} d_{11k} & \cdots & d_{m1k} \\ d_{12k} & & d_{m2k} \\ \vdots & & \vdots \\ d_{1nk} & \cdots & d_{mnk} \end{bmatrix}$$

となる。格子点 $G(GX_i, GY_j)$ の集材距離（ S_{ijk} ）は、最短到達距離（ d_{ijk} ）に当該格子点の地形傾斜に対応する、Table 2の集材迂回率（ η' ）乗じて求める。

$$S_{ijk} = d_{ijk} * (1 + \eta') \quad (29)$$

次に、集材距離（ S_{ijk} ）とその地点の地形傾斜から格子点を代表点とする林分の集材システムを選択する。最適集材システムの選択は第1報Fig. 54，同報Fig. 55で行い、対応する集材費は、同報Table 35の集材費関数から算出する。従って、当該格子点の総集材費（ TC_{sijk} （円））は、格子点の丸太換算の集材量である出材量（ wv_{ij} （ m^3 ））に集材費（ Y_{ci} ）を乗じて求めることができる。

$$TC_{sijk} = Y_{ci} * wv_{ij} \quad (30)$$

林道整備順序が（ k ）番目の計画区域全体の C_{sk} は、全格子点の総集材費と総出材量から次式で算出する。

$$C_{sk} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n TC_{sijk} / \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n wv_{ij} \quad (31)$$

林道整備順序が（ k ）番目の格子点 $G(GX_i, GY_j)$ の総歩行費（ TC_{wijk} （円））は次の方法で求める。

まず、格子点の地形傾斜から歩行距離係数 (wk) を定め、これに最短到達距離 (d_{ijk}) を乗じ歩行距離を算出する。求めた歩行距離と歩行速度 (ws (km/h) から歩行時間を得、これに単位歩行費 (wc (円/人・s)) と労働投入量 (pn_{ij} (人/ha)) を乗じ、往復の費用とすることで総歩行費が算定できる。歩行距離係数及び歩行速度はTable 2, 単位歩行費には第1報Table 32の労務経費を用いる。

$$TC_{wijk} = 2d_{ijk} * wk * (3.6/ws) * wc * pn_{ij} \quad (32)$$

従って、(k) 番目の計画区域全体の C_{wk} は

$$C_{wk} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n TC_{wijk} / \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n wv_{ij} \quad (33)$$

となる。

2.3.3 生産費関数の特性及び試算結果

(1) 林道規格の試算結果

開設費は生産費関数に大きく関与することが予測される。このため、計画区域を同一の林道規格で開設すると仮定した時の開設費 (円/m) を示す (Table 8)。これによると、高萩の林道2級の開設費を100とすると、浜松130、大栃458となり、地形が急峻な大栃は極めて高い。同一区域でも林道1級と作業林道では、4.1～6.6倍の開きがあり、地形が急になるほど開設費の差は大きい。以下、高萩の例を中心に生産費関数の特性を述べる。

生産費関数のうち、(18)と(19)式の合計費用である林道費は、Fig. 13からも明らかなように、路線終点に近づくにつれて急激に増大する。これは、開発森林面積の減少で費用を負担する木材が減り、単位材積当たりで示される当該経費が指数的に増大するために起きる。そこで、開発森林面積と林道費の関係をFig. 14でみる。林道2級は、500 haで350 円/m³程度が100 haで1 650 円/m³、10 haでは10 600 円/m³に急騰する。作業林道も同様の傾向を示すが、費用は林道2級の3割程度の110 円/m³、510 円/m³及び3 240 円/m³にとどまる。林道費は路線延長の増加よりも、これで引き起きる路線の奥地化による、開発森林面積の減少に敏感に反応することが理解できよう。

Table 8. 林道規格別開設費
Construction costs by forest-road standards (yen/m)

区 分 Classifications	高 萩 Takahagi	浜 松 Hamamatsu	大 栃 Oodochi
林道1級 1st grade	40 083	54 786	248 082
林道2級 2nd grade	33 029	42 782	151 201
林道3級 3rd grade	25 032	30 481	80 348
作業林道 Low-structure	9 766	12 261	37 400

次に、運材費関数((20)式)と人員輸送費関数((21)式)の特性をFig. 15, Fig. 16で説明する。両関数の主要パラメータは、輸送距離と輸送量なので、距離の増大とともに費用も増加する。しかしながら、輸送量は開発森林面積の減少に一致するため、輸送費は距離の増加に比例せず、漸増の費用になる。この例では、運材費は林道2級は、本線起点から1 000 mで840 円/m³、同様に3 000 m

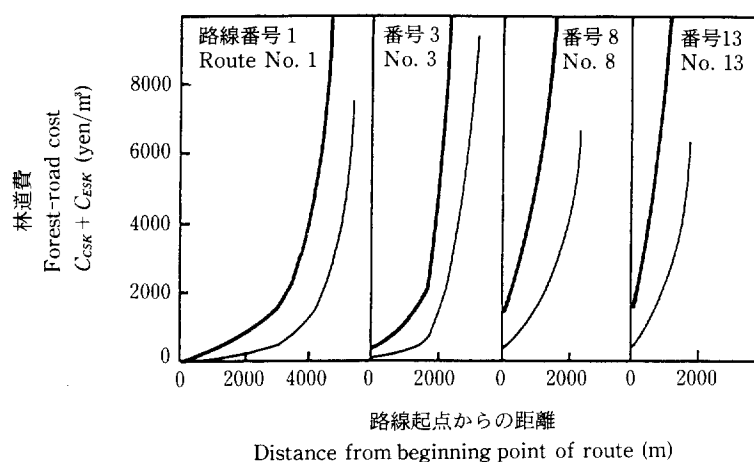


Fig. 13 林道規格と林道費（高萩）
Forest-road standards and forest-road costs (Takahagi)

—, 林道2級; —, 作業林道
2nd grade Low-structure

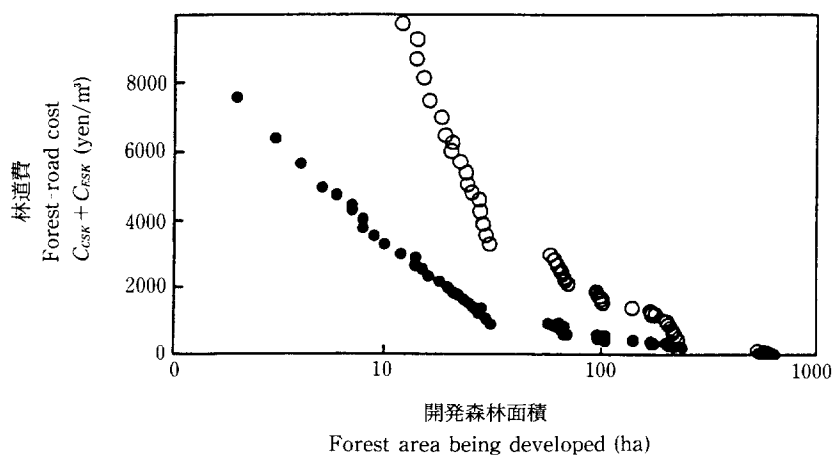


Fig. 14 開発森林面積と林道費の関係（高萩本線）
Relationships between forest areas being developed and
fores-road costs (Takahagimain road)

○, 林道2級; ●, 作業林道
2nd grade Low-structure

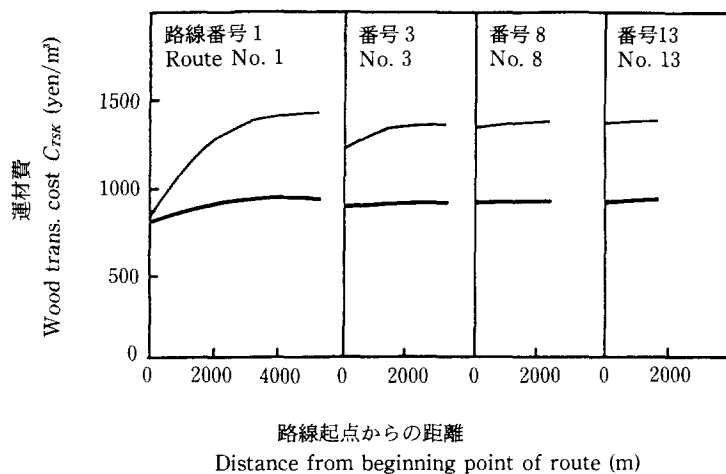


Fig. 15 林道規格と運材費 (高萩)
Forest-road standards and wood transportation costs (Takahagi)
—, 林道 2 級; —, 作業林道
2nd grade Low-structure

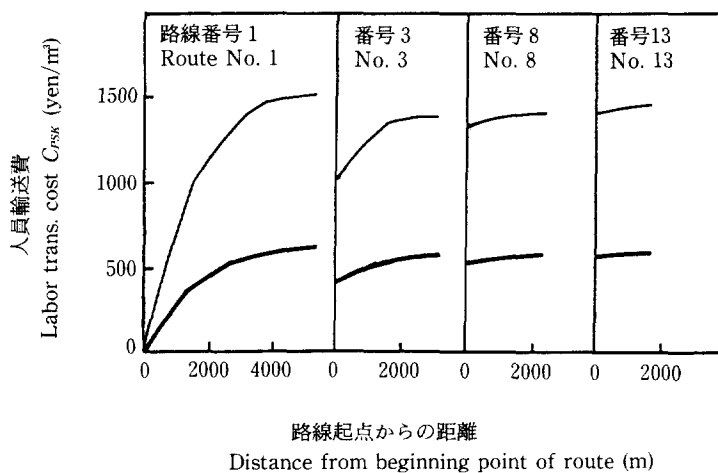


Fig. 16 林道規格と人員輸送費 (高萩)
Forest-road standards and labor transportation costs (Takahagi)
—, 林道 2 級; —, 作業林道
2nd grade Low-structure

で910 円/m³, 5 000 mで920 円/m³, 作業林道は林道2級の約3~5割増して推移した。人員輸送費を同一距離で比較すると, 林道2級は280 円/m³, 560 円/m³及び610 円/m³, 作業林道はその約2.5倍の水準で推移し, 運材費と同様に3 000 mを超えると余り増加しない。作業林道で1 m移動させる運材費は87 (円/m・ha) であるのに対し, 人員輸送費は約2.5倍の220 (円/m・ha) となることから, 輸送効率の低い低規格の林道では, 人員輸送費は無視できない費用なのが見える。

Fig. 17は, 本線の作業林道の生産費の構成をみたものである。起点付近では固定費が大きい運材費が大部分を占め, 次いで, 人員輸送費の増加が目立ち, 1 500 m付近で1 000 円/m³に達しその後漸増する。林道費は, 運材費や人員輸送費とは異なる傾向を示し, 4 200 m付近までは最も少ない費用で推移し, その後急増し生産費全体を大きく引き上げる要因になる。

Fig. 18は, 林道規格と生産費の関係を示したものである。この例では, 林道1級が起点から1 548 mまで僅差ではあるが最も低廉で, 最も有利な規格になっている。林道1級は, 単位距離当たりの開設費は最も高いが, 開発森林面積が広い段階では, 単位材積費用である林道費では規格間の差が縮小し, 運材費や人員輸送費が最も低廉なので, 合計費用で有利となり選択された。その後, 3 468 mまで林道2級が配置され, 残りの1 950 mは作業林道になる。林道3級はいずれの地点でも有利ではなく配置できない結果となった。生産費は, いずれの規格も, 3 300 m付近から急速に増加している。これは既述のように, 3 300 m付近で100 ha程度存在した開発森林面積が, 4 000 m付近では30 ha以下に急激に減少したのが原因である。支線や分線の場合も本線と同様であり, 路線番号3の例では, 開発森林面積が89 haから27 haに減少した分岐点で, 林道2級から作業林道に置き変わった。

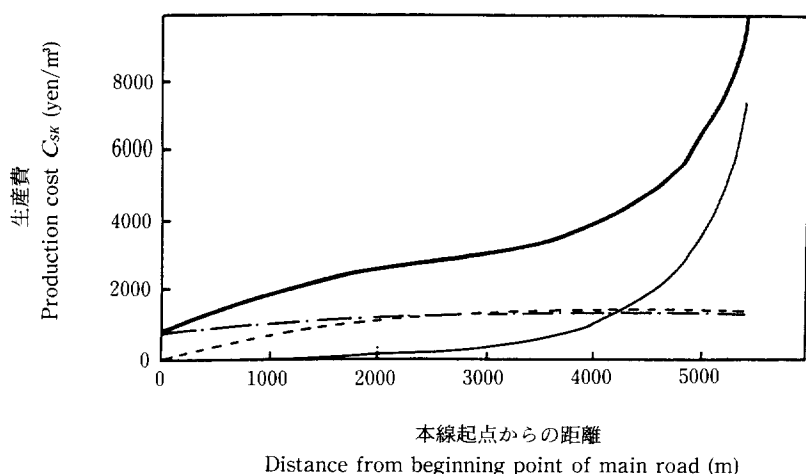


Fig. 17 生産費の構成（高萩本線：作業林道）
Composition of production costs (Takahagi main road: Low-structure forest road)

—, 林道費; - - -, 運材費;
Forest-road cost Wood trans. cost
....., 人員輸送費; —, 生産費
Labor trans. cost Production cost

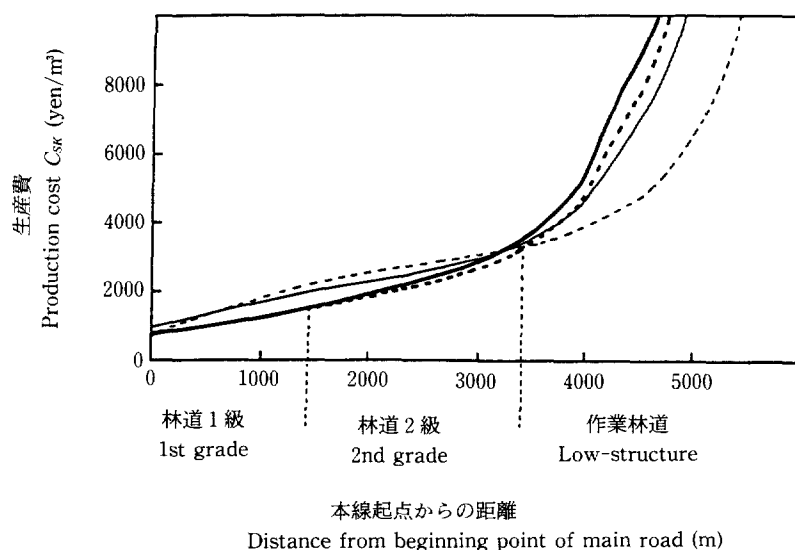


Fig. 18 林道規格と生産費 (高萩本線)
Forest-road standards and production costs (Takahagi main road)

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

高萩、浜松、大栃の各区域で第1報Table 7、Table 8で示した林道網計画を行った場合の、計画路線別の林道規格配分内訳をTable 9に示す。この結果によると、区域面積が最も広く、地形も一番緩やかだった高萩の林道規格別の延長比率は、林道1級：林道2級：作業林道＝7：18：75となった。浜松は、林道1級は配置できず、林道2級：作業林道＝20：80であった。急峻な地形で、林道費が極めて高い大栃は、起点付近で林道2級が配置されたが、大部分の区間で作業林道が有利で、比率は4：96であった。林道密度で比較すると、高萩は林道1級3.0 m/ha、林道2級7.8 m/ha及び作業林道32.6 m/haになる。浜松は、高萩の林道1級と林道2級をほぼ合計した10.7 m/haが林道2級、大栃の林道2級は低水準で1.6 m/haにとどまった。路線本数では、高萩は全路線の60%に当たる9路線に林道2級の区間が存在したが、浜松は13路線中3路線、大栃は、本線起点から553 mのみが林道2級であった。

Table 9. 計画路線別の林道規格配分内訳
Distribution of forest-road standards by planning routes

路線番号 Nos.	高 萩 Takahagi					浜 松 Hamamatsu					大 浜 Oodochi				
	1級 1st grade	2級 2nd grade	3級 3rd grade	作業 Low- structure	計 Totals	1級 1st grade	2級 2nd grade	3級 3rd grade	作業 Low- structure	計 Totals	1級 1st grade	2級 2nd grade	3級 3rd grade	作業 Low- structure	計 Totals
1	1 548	1 920		1 950	5 418		3 129		3 315	6 444		543		4 503	5 046
2		185		1 577	1 762		65		810	875				627	627
3	317	1 342		1 525	3 184		94		1 667	1 761				2 648	2 648
4		673		1 632	2 305				636	636				3 479	3 479
5		180		1 107	1 287				926	926				1 118	1 118
6				1 072	1 072				380	380					
7				867	867				758	758					
8		243		2 126	2 369				1 592	1 592					
9				1 197	1 197				715	715					
10				1 143	1 143				1 201	1 201					
11		125		866	991				773	773					
12		72		864	936				576	576					
13		102		1 643	1 745				197	197					
14				1 133	1 133										
15				1 476	1 476										
合計 Totals (m)	1 865	4 842		20 178	26 885		3 288		13 546	16 834		543		12 375	12 918
比率 Ratios (%)	7	18		75	100		20		80	100		4		96	100
林道密度 Densities (m/ha)	3.0	7.8		32.6	43.4		10.7		44.1	54.8		1.6		36.5	38.1

(2) 林道密度整備水準の検討結果

林道密度整備水準を検討するための生産費関数((23)式)で算定した、生産費と林道密度の関係をFig. 19～Fig. 21及びTable 10に示す。Fig. 22～Fig. 24は、試算結果から作成した、最適化された規格による林道規格配分図である。作業林道のうち、実線は生産費が最小となる林道密度水準まで、一点破線はその後の図中に示す途中段階まで、点線は全計画路線を整備した場合である。試算によると、コストミニマムの林道密度は、浜松が最も高く 32.8 m/haであった。高萩は浜松より低く 19.1 m/ha、急峻地形で林道費が極端に高い大栃は 7.4 m/haとなった。コストミニマム原理を林道密度整備水準の決定に用いると、この林道密度が適正林道密度になる。

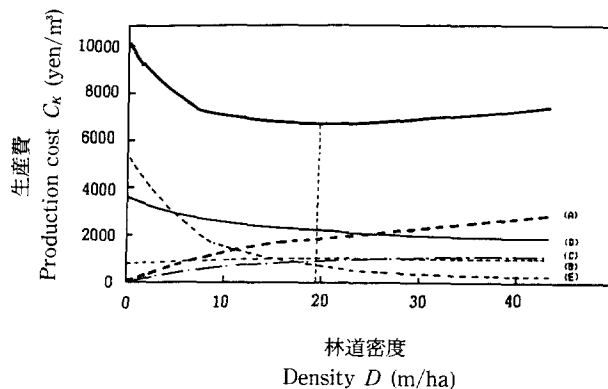


Fig. 19 林道密度と生産費の関係(1) (高萩)

Relationships between forest-road densities and production costs (1) (Takahagi)

---, 林道費(A) ·····, 運材費(B); - · - · -, 人員輸送費(C);
 Forest-road cost Wood trans.cost Labor trans. cost
 —, 集材費(D); ·····, 歩行費(E); —, 生産費
 Skidding cost Walking cost Production cost

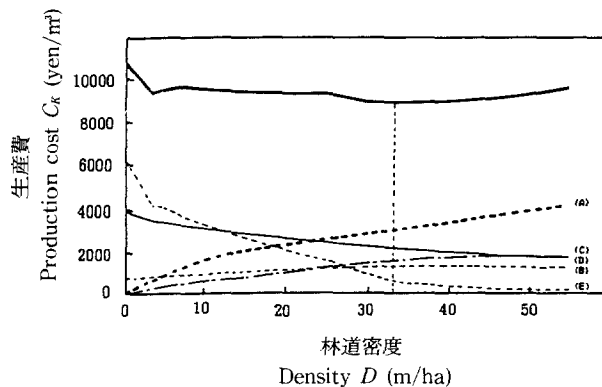


Fig. 20 林道密度と生産費の関係(2) (浜松)

Relationships between forest-road densities and production costs (2) (Hamamatsu)

---, 林道費(A) ·····, 運材費(B); - · - · -, 人員輸送費(C);
 Forest-road cost Wood trans.cost Labor trans. cost
 —, 集材費(D); ·····, 歩行費(E); —, 生産費
 Skidding cost Walking cost Production cost

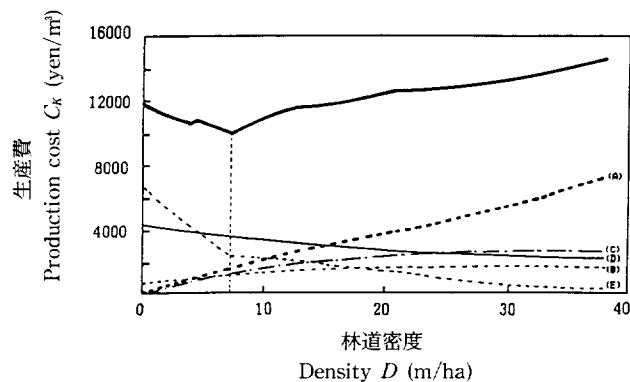


Fig. 21 林道密度と生産費の関係(3) (大栃)

Relationships between forest-road densities and production costs (3) (Oodochi)

- - - , 林道費(A) , 運材費(B) ; - · - · - , 人員輸送費(C) ;
 Forest-road cost Wood trans.cost Labor trans. cost
 — , 集材費(D) ; - - - - , 歩行費(E) ; — , 生産費
 Skidding cost Walking cost Production cost

Table 10. 林道密度と生産費の構成(1) (高萩)

Composition of forest-road densities and production costs (1) (Takahagi)

区 分 Classifications	林道密度 Densities (m/ha)					*	* *
	5	10	20	30	40		
林道費 (A) Forest-road costs	691	1 263	1 880	2 328	2 813	1 842	2 978
運材費 (B) Wood transportation costs	893	944	1 033	1 090	1 118	1 027	1 121
人員輸送費 (C) Labor transportation costs	484	690	937	1 085	1 156	923	1 166
集材費 (D) Skidding costs	3 050	2 653	2 307	2 120	1 985	2 335	1 949
歩行費 (E) Walking costs	3 007	1 585	720	429	313	758	294
生産費 (円/m³) Production costs (yen/m³) (A)+...+(E)	8 125	7 135	6 877	7 052	7 385	6 875	7 509
再掲 Review							
集運材費 (B)+(D) Wood transportation and skidding costs	3 943	3 597	3 340	3 210	3 103	3 362	3 070
人員移動費 (C)+(E) Labor transportation and walking costs	3 491	2 275	1 657	1 514	1 469	1 681	1 460

Table 10. 林道密度と生産費の構成(2)
Composition of forest-road densities and production costs (2)

(浜松)
(Hamamatsu)

区 分 Classifications		林道密度 Densities (m/ha)						*	**
		5	10	20	30	40	50		
林道費	(A)	850	1 600	2 361	2 886	3 387	3 932	2 995	4 308
Forest-road costs									
運材費	(B)	874	936	1 083	1 274	1 353	1 381	1 305	1 386
Wood transportation costs									
人員輸送費	(C)	407	661	1 075	1 556	1 754	1 826	1 635	1 838
Labor transportation costs									
集材費	(D)	3 422	3 159	2 768	2 345	2 106	1 931	2 253	1 864
Skidding costs									
歩行費	(E)	4 106	3 292	2 156	954	462	306	724	275
Walking costs									
生産費 (円/m ³)		9 659	9 648	9 443	9 015	9 062	9 376	8 912	9 671
Production costs (yen/m ³)	(A)+⋯+(E)								
再掲 Review									
集運材費	(B)+(D)	4 296	4 095	3 851	3 619	3 459	3 312	3 558	3 250
Wood transportation and skidding costs									
人員移動費	(C)+(E)	4 513	3 953	3 231	2 510	2 216	2 132	2 359	2 113
Labor transportation and walking costs									

(大栃)
(Oodochi)

区 分 Classifications		林道密度 Densities (m/ha)				*	**
		5	10	20	30		
林道費	(A)	1 055	2 143	3 776	5 532	1 567	7 254
Forest-road costs							
運材費	(B)	1 027	1 375	1 679	1 815	1 211	1 847
Wood transportation costs							
人員輸送費	(C)	709	1 615	2 407	2 764	1 186	2 852
Labor transportation costs							
集材費	(D)	3 872	3 450	3 022	2 513	3 524	2 244
Skidding costs							
歩行費	(E)	3 903	2 265	1 570	605	2 378	392
Walking costs							
生産費 (円/m ³)		10 566	10 848	12 454	13 229	9 866	14 589
Production costs (yen/m ³)	(A)+⋯+(E)						
再掲 Review							
集運材費	(B)+(D)	4 899	4 825	4 701	4 328	4 375	4 091
Wood transportation and skidding costs							
人員移動費	(C)+(E)	4 612	3 880	3 977	3 369	3 564	3 244
Labor transportation and walking costs							

注) * は生産費が最小となる林道密度である。

** は計画路線すべてを計画する場合の林道密度である。

Notes: *, Optimum forest-road density. **, Forest-road density planned all planning routes.

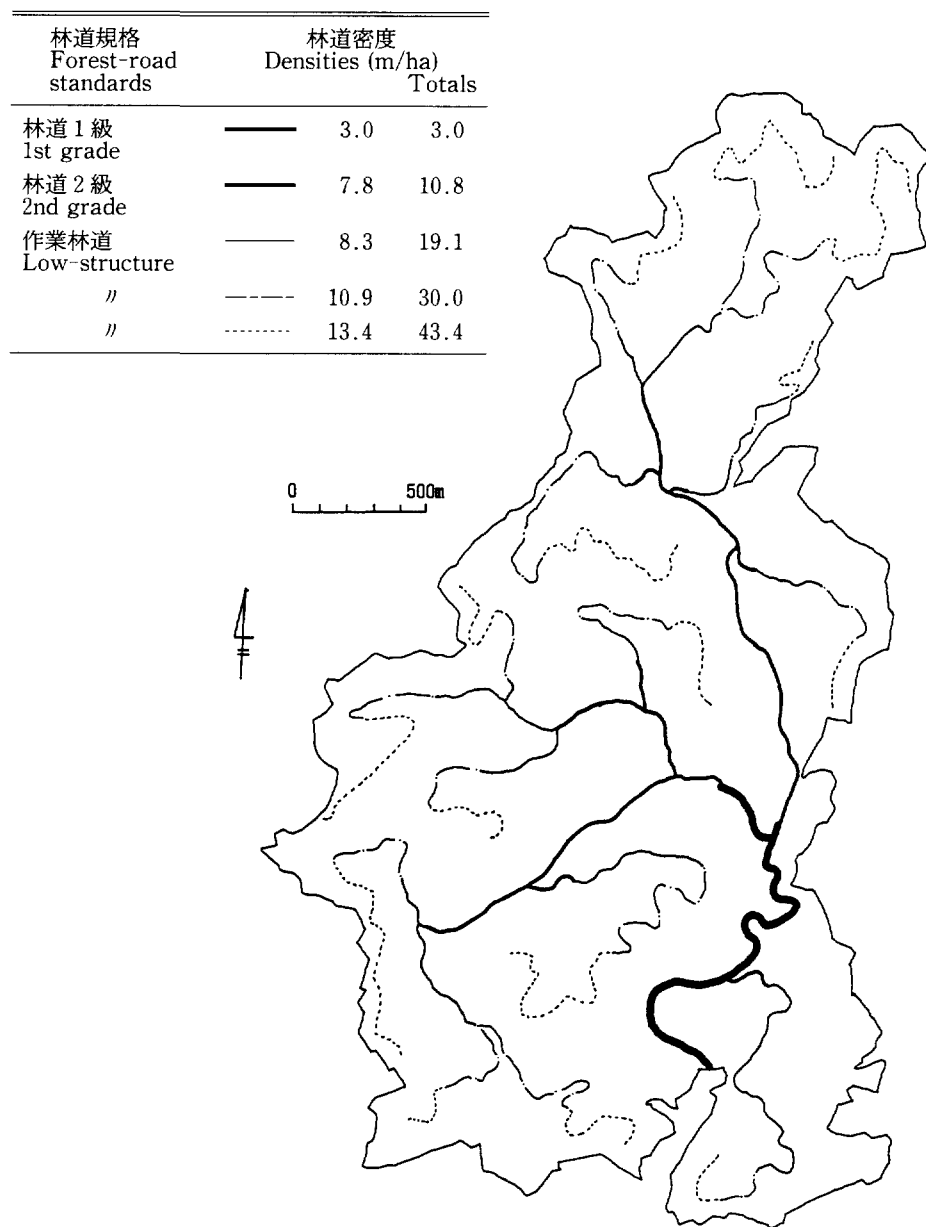
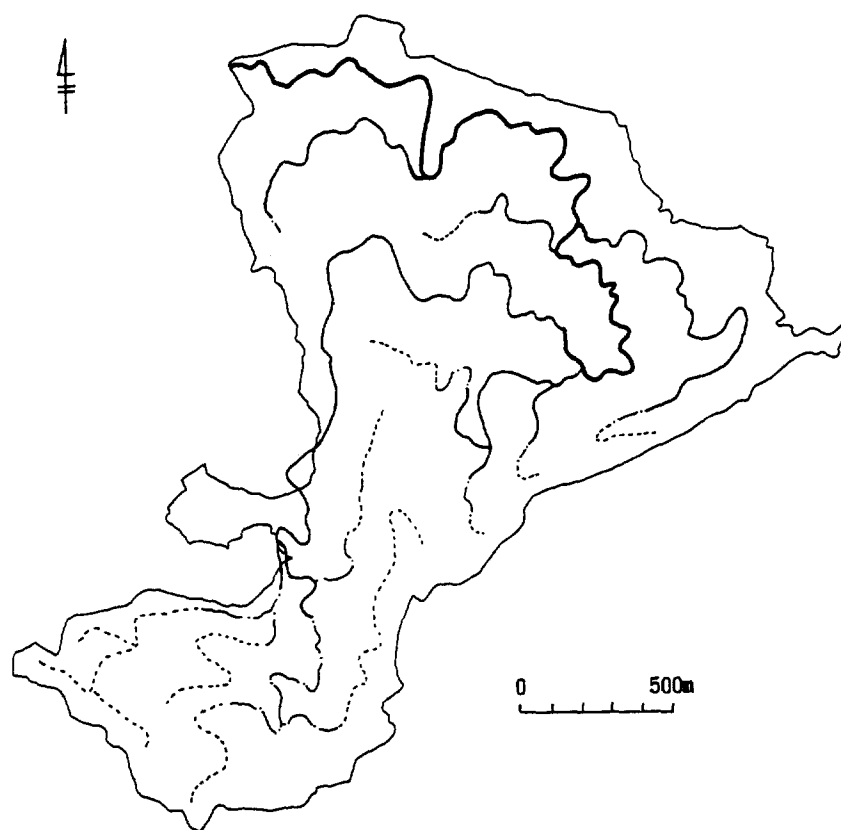


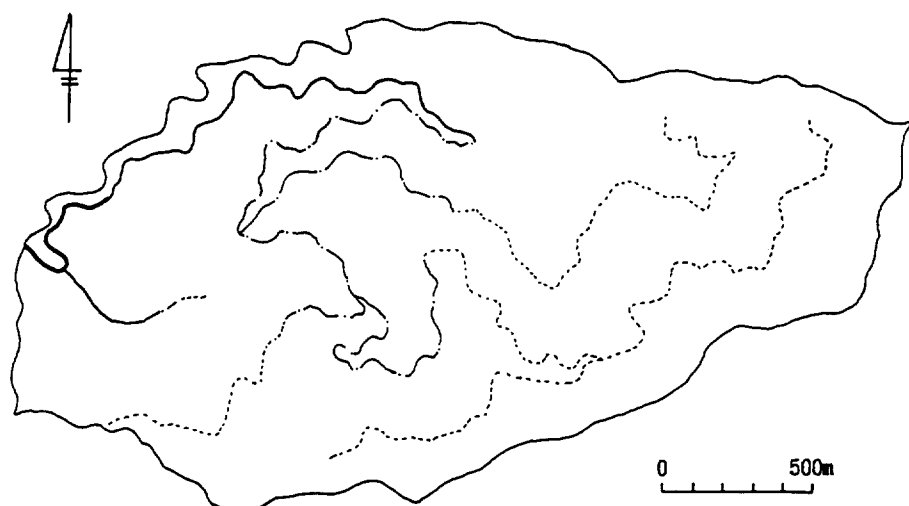
Fig. 22 林道規格配置図(1) (高萩)

Planning design of forest-road standards and their location (1) (Takahagi)



林道規格 Forest-road standards		林道密度 Densities (m/ha)	
			Totals
林道 2 級 2nd grade	——	10.7	10.7
作業林道 Low-structure	----	22.1	32.8
”	-----	7.2	40.0
”		14.8	54.8

Fig. 23 林道規格配置図(2) (浜松)
Planning design of forest-road standards and their location (2) (Hamamatsu)



林道規格 Forest-road standards		林道密度 Densities (m/ha)	Totals
林道 2 級 2nd grade	——	1.6	1.6
作業林道 Low-structure	——	5.8	7.4
〃	----	12.6	20.0
〃		18.1	38.1

Fig. 24 林道規格配置図(3) (大栃)

Planning design of forest-road standards and their location (3) (Oodochi)

Table 11は、林道密度に対応する林道規格の構成割合を示した。密度が高まるにつれて、下位規格の林道の比率が増すことが分かる。適正林道密度段階では、各区域とも最低規格の作業林道の整備のみを残している。適正林道密度での、林道 1 級：林道 2 級：作業林道の延長比率は、高萩 16：41：43、浜松 0：33：67、大栃 0：22：78 であった。高萩は、開発森林面積が広く、開設費も林道 1 級で 40 000 円/m 程度と低かったことが林道 1 級の整備を可能にした主因である。高萩と浜松は林道 1 級、林道 2 級でくると、ほぼ同水準の 10 m/ha となり、大栃の林道 2 級は 22% を占めたが、密度ではわずかに 1.6 m/ha にすぎず、急峻な地形での林道整備の困難さが現れた。

Table 11. 林道規格別密度と構成割合(1) (高萩)
Forest-road densities and its composition ratios (1) (Takahagi)

区 分 Classifications	林道密度 Densities (m/ha)					*	**
	5	10	20	30	40	19.1	43.4
林道 1 級 1st grade	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
林道 2 級 2nd grade	1.7	5.7	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
作業林道 Low-structure	0.3	1.3	9.2	19.2	20.2	8.3	32.6
林道 1 級 1st grade	60	30	15	10	7	16	7
林道 2 級 2nd grade	33	57	39	26	20	41	18
作業林道 Low-structure	7	13	46	64	73	43	75
合 計 (%) Totals (%)	100	100	100	100	100	100	100

Table 11. 林道規格別密度と構成割合(2) (大栃)
Forest-road densities and its composition ratios

区 分 Classifications	林道密度 Densities (m/ha)						*	**
	5	10	20	30	40	50	32.8	54.8
林道 2 級 2nd grade	5.0	8.8	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
作業林道 Low-structure	0	1.2	9.3	19.3	29.3	39.3	22.1	44.1
林道 2 級 2nd grade	100	88	54	36	27	21	33	20
作業林道 Low-structure	0	12	46	64	73	79	67	80
合 計 (%) Totals (%)	100	100	100	100	100	100	100	100

(大栃)
(Oodochi)

区 分 Classifications	林道密度 Densities (m/ha)				*	**
	5	10	20	30	7.4	38.1
林道 2 級 2nd grade	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
作業林道 Low-structure	3.4	8.4	18.4	28.4	5.8	36.5
林道 2 級 2nd grade	32	16	8	5	22	4
作業林道 Low-structure	68	84	92	95	78	96
合 計 (%) Totals (%)	100	100	100	100	100	100

注) * は生産費が最小となる林道密度である。

** は計画路線すべてを計画する場合の林道密度である。

Notes; *, Optimum forest-road density. **, Forest-road density planned all planning routes.

2.3.4 考察

林道の規格化に関する研究として代表的なものには、林道の輸送機能に着眼し、運材費を維持管理費に加算することで、運材量による林道規格化を可能とし、規格の異なる林道配置を行った酒井秀夫(1987)の研究がある。これ以外にも、林道網計画に関しては多くの研究成果があることから、ここでは最初に本節で行った林道規格の決定法の特徴を整理する。

最初に、本論文の計画手順は、従来、林道密度を目標に路線配置を進めるという手順で行われて来た一般的方法（小林，1983；南方ほか，1985；酒井秀夫，1987）とは逆なことがあげられる。これは、我が国山岳林のように複雑で不均質な林道網計画環境では、密度算定時に用いた開設費や集材費が、路線配置によっては異なる場合があると考えたためである。このため本論文では、計画路線を図上に配置した後、当該路線配置に対応する林道整備費、林道用地費、運材費、人員輸送費、集材費及び歩行費を算定して生産費の推定精度を上げ、これから得た生産費と林道密度の関係から、結果として目標とする路線の林道規格や林道密度整備水準を明らかにする方が合理的と考えたからである。

生産費関数を構成する費用の種類数も本論の特色といえる。既往の論文には、このすべての費用を用いて林道密度と生産費の関係を論じたものではなく（MATTHEWS, 1942；KAMIZAKA, 1966；KATO, 1967；南方ほか，1985；酒井秀夫，1987；大川畑，1988），Fig. 19～Fig. 21及びTable 10からも裏付けられるように、いずれの費用も生産費との関係が深く、欠くことができない費用である。

林道の規格化は、路線区間の利用度で決定するという考え方に立った。これは普通に理解できる考えであり（上飯坂編，1990；MATTHEWS, 1942；SUNDBERG and SILVERSIDES, 1988），酒井秀夫(1987)もこの立場で運材費に通勤輸送費を加えて規格化を図っている。本論は、運材費と人員輸送費のみならず、路線区間を通過する木材が当該区間の林道整備費に林道用地費を加算した林道費を負担するという考えで利用度を徹底して、林道規格化を実現した。従って、酒井は林道の費用を固定的費用として区域で平均化し、運材費と通勤輸送費の変動的費用から規格化を図り、本論は、運材費と人員輸送費だけでなく、林道費も木材流量で変化する変動的費用とみなして規格化したのが、規格化における大きな相違点といえる。林道費の取り扱いにこのような違いが生じたのは、酒井は区域内で路線の平等性を重視し、本論は経済的効率を高めるため、路線の差別化を重視した結果にほかならない。

酒井秀夫（1987）は、飽和密度を決定した後、木材通行量に応じて規格化を図り、高規格化による飽和密度の変化を試算したのに対し、本論は、林道規格決定後の費用を密度の算定に用いることで、密度に対応した林道規格の配分に対する適正林道密度の算定を可能にした。路線の規格化を行った後、集材費と歩行費を加えて適正林道密度を算出し、作業林道の整備量を確定することで、合理的な経済根拠をもとに、複合的林道網の形成を実現することができる。

林道費の償却に関しては、南方（1965）、平賀（1966）、KATO（1967）らのように償却期間を定め、利率を加えて償却費を算定するのではなく、半永久的に使用される公共財として整備されている実態を考慮して、林道の対象森林の一代限りの木材収穫で償却させるものとして、利率を考慮せずに行った（農水省構改局計画部，1988；沼田，1975）。

酒井秀夫（1987）は、上流の林道延長から規格化を図ったが、数値地形モデルと格子点法を応用して

木材流量を評価した。地形傾斜と林道密度から集材システムを選択する考え方は、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が、格子点と数値地形モデルから集材システムを選択し、林道整備の進展に応じて集材費を算出した。

林道規格の決定に大きな影響を及ぼす因子は、開発森林面積の規模である。そこで、林道規格変更前の規格と開発森林面積の関係をみると（Fig. 25）、高萩では、林道1級を維持するために、250 ha前後の開発森林面積を必要とし、24～89 haで林道2級から作業林道に規格変更が行われた。高萩の約1.3倍の開発費を要する浜松は21～147 haで作業林道に、高萩の約4倍の開発費の大栃は、302 haと広い開発森林面積を有する段階で作業林道に移行した。以上の結果は、林道規格は開発森林面積、開発費、起点からの距離等で一概に決定できないが、地形傾斜が極端に厳しくない、数万円（m）で林道2級が開発可能な地域では、開発森林面積が数十ha以上に達するまで林道2級の配置が可能なことを示唆する。林道の費用化を路線を通過する木材流量で実現したことから、奥地森林が不利になることは否めない。特に、林道密度が低い段階での高規格の林道に対しては、奥地森林の不利の程度が大きくなるが、逆に、このことが経済合理性を生む。高萩の例では、30 m/haでの開発森林面積は8～21 haとなり、路線による極端な差は見られなくなることからも明かなように、林道密度が高まり、路線全体が奥地化するとともに、同一密度での路線の開発森林面積の差は縮小し、奥地森林の極端な不利さは次第に解消される。林道配置を可能とする開発森林の規模は、2.2の利用区域森林の規模に比較して、桁違いに小面積であるが、開発森林と利用区域森林はそれぞれ異なる概念であることから矛盾はない。

林道整備順序については報告例もあるが（小林，1983；大川畑ほか，1993）、本論では（11）式で算定された生産費が低い順に行うのが合理的と考えた。この結果、必ずしも上位規格の林道網が完成した後に、下位規格に移行するのではなく、規格別には混在する形で、下流から上流方向に向け、あたかも布に水

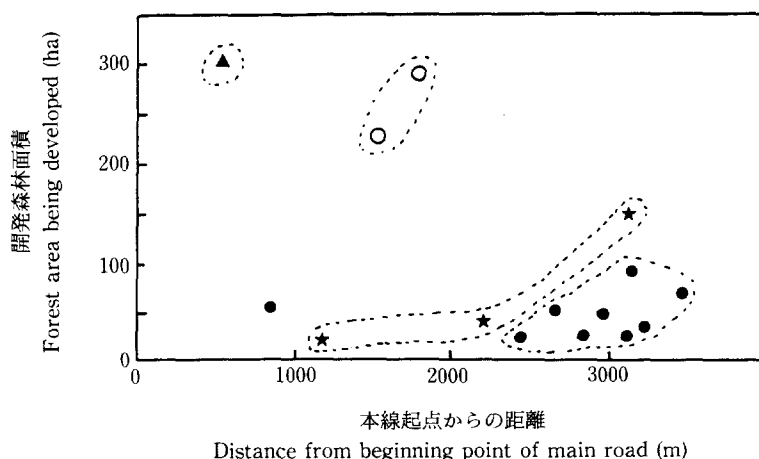


Fig. 25 林道規格と開発森林面積の関係

Relationships between forest-road standards and forest areas being developed

- , 高萩 (林道2級); ●, 高萩 (作業林道); ★, 浜松 (作業林道); ▲, 大栃 (作業林道)
Takahagi (2nd grade) Takahagi (Low-structure) Hamamatsu (Low-structure) Oodochi (Low-structure)

が染み込むように行う結果になった。このことは、起点から経路ごとの生産費の累積和として生産費関数が導かれることから理解できよう。

生産費は林道密度に対して感度が鈍い。この指摘は、既往の研究にもあり（酒井秀夫，1987；大川畑，1988），異なる規格の林道費を含む多くの費用を生産費関数に組み込んで試算しても同じ結果が得られた。高萩では、コストミニマムの林道密度 19.1 m/ha で生産費は 6 875 円/m³ であった。これを 40 m/ha の水準まで引き上げるには、510 円/m³ を追加投資するとよく、率で 7% アップの 7 385 円/m³ の生産費になる。この生産費は、いずれの区域の生産費よりも低い額である。浜松では、50 m/ha の水準にするため、17.2 m/ha を追加整備すると 464 円/m³，率で 5% の生産費の上昇が引き起こるにすぎない。しかしながら、作業林道でも 37 000 円/m 余りの開設費を要する大栃は、20 m/ha に引き上げるには、26%，2 588 円/m³，30 m/ha を達成するには 34%，3 363 円/m³ の大幅なコストアップとなり、林道密度の増加を図ることは容易ではないことが改めて確認される。林道密度に対して生産費の感度が鈍いのは、密度が高まると低規格の林道に移行することから当然ともいえる。コストミニマムの林道密度を比較すると、高萩の 19.1 m/ha に対して、林道開設がより困難である浜松は 32.8 m/ha と高くなった。この原因は、浜松の林道は 30 m/ha 程度まで偏った配置で形成されたため、密度が低い段階での密度増加に対する集材費と歩行費の減額効果が低減し、これがコストミニマムの林道密度を高める方向に作用したためである。

運材費と人員輸送費は、林道密度が上昇し輸送距離が長くなると増加する。費用の増加は、林道規格や路線長、開発森林面積の分布によって異なり、密度の上昇とともに増加額は逓減するが、生産費の 30% を超える場合もあり、無視できなくなる。

林道密度が高まると歩行費の低下が期待できる。これは、集材費は集材距離に影響を受けない、固定費的な部分が相当額あるため、密度を高めても集材費には限界的な最小費用があるのに対し、歩行費は到達距離の縮減効果が費用の減少に直線的に結び付くためである。例えば、高萩では、人員輸送費に歩行費を加えた費用は、10 m/ha で 2 275 円/m³ から 40 m/ha で 1 469 円/m³ に節減が期待できるのに対し、集材費に運材費を加えた費用は、3 597 円/m³ から 3 103 円/m³ になるにすぎないことから、林内歩行の評価の重要性が裏付けられる。

集材費と歩行費は、地形傾斜と到達距離で大筋決定されることから、両費用にとって路線配置が重要になる。Fig. 26 によると、林道密度と最短到達距離の関係は区域で大きく異なる。路線配置の良否は、林道密度修正係数（*V*-corr）からある程度知ることができることは、第 1 報 4.6.1 でも説明したので、Fig. 27 に林道密度と *V*-corr の関係を示す。この結果によると、最終的な林道密度での *V*-corr は 1.3～1.4 となり、第 1 報 4.6.1 の論議からみても、いずれの区域も良好な路線配置状態にあるといえる。しかしながら、途中の *V*-corr は、高萩は 1.5 をやや上回る程度で問題ないが、浜松は最大 4.11、高萩は 2.97 と極めて偏った配置状態がみられる。これは、路線配置や到達距離の縮減効率を考慮せずに、(11) 式の算定を行うことに原因する。集材費と歩行費は理想的な路線配置に近づくにつれて低下するので、生産費を最小とする林道密度は、本論文で示した数値よりも低くなる可能性がある。しかしながら、到達距離が集材費と歩行費に及ぼす額から判断して、本論で示した最小生産費を大きく下回る額にはならないと推察できる。林道密度が高まり、路線配置の偏りが是正されると、この問題は解消する。

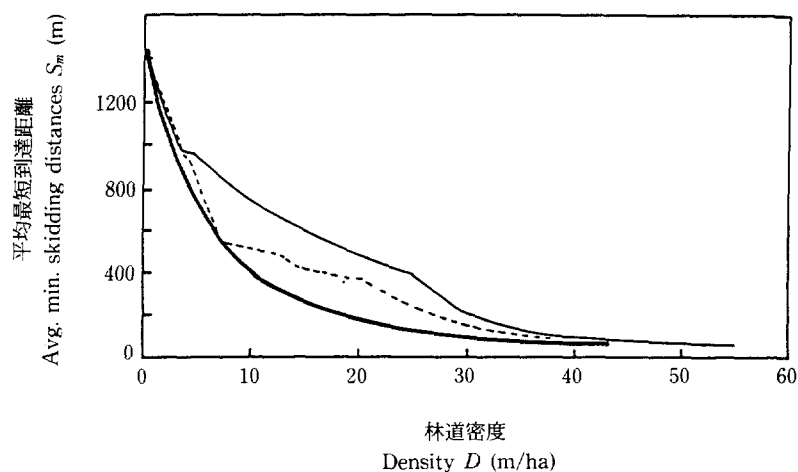


Fig. 26 林道密度と平均最短到達距離の関係
Relationships between forest-road densities and avg. min. skidding distances
—, 高萩; —, 浜松; ·····, 大栃
Takahagi Hamamatsu Oodochi

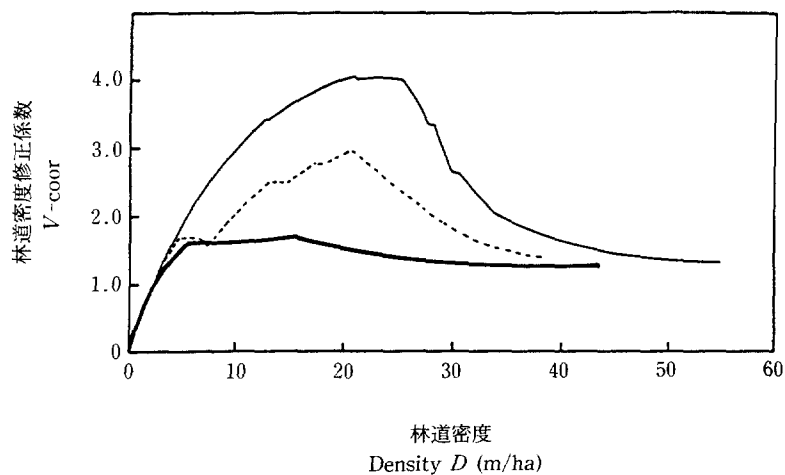


Fig. 27 林道密度と V-corr の関係
Relationships between forest-road densities and V-corr
—, 高萩; —, 浜松; ·····, 大栃
Takahagi Hamamatsu Oodochi

林道密度と集材システムの選択割合をFig. 28～Fig. 30に示す。林道密度が高まると、タワーヤードが優先的な集材法として選択される。密度が30 m/haの集材システム別の占有率をみると、高萩はタワーヤード集材63%(内小型タワーヤード40%)、同様に浜松58%(37%)、大栃71%(33%)となり、いずれの区域でも密度の上昇につれて、タワーヤードの有効性が示された。機動性に富み架設・撤去が容易な、

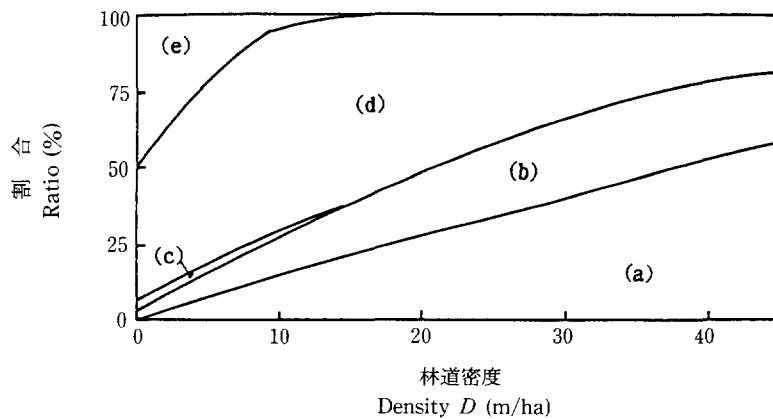


Fig. 28 林道密度と集材システムの選択割合(1)
(高萩)

Ratios of skidding systems by forest-road densities (1) (Takahagi)

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

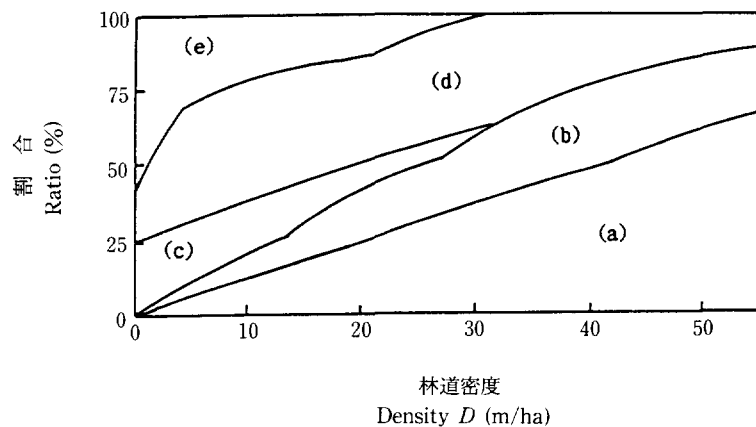


Fig. 29 林道密度と集材システムの選択割合(2)
(浜松)

Ratios of skidding systems by forest-road densities (2) (Hamamatsu)

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

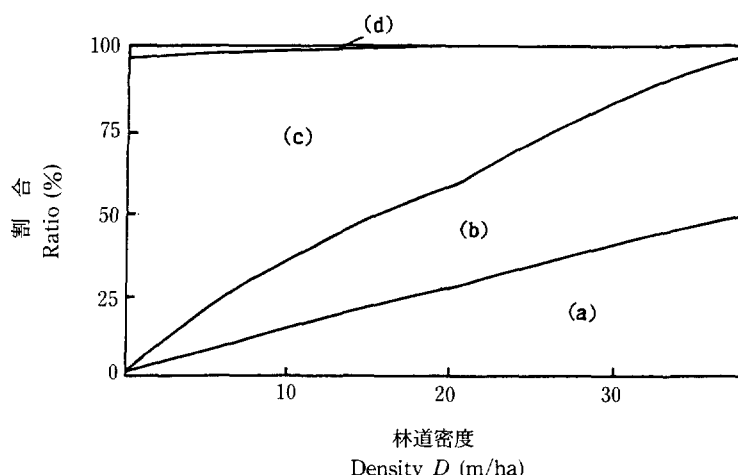


Fig. 30 林道密度と集材システムの選択割合(3)
(大栃)
Ratios of skidding systems by forest-road densities (3) (Oodochi)

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

小型タワーヤーダは、密度が増すほど有効なことが明らかに現れた。

以上の結果は、異なる林道規格による複合的林道網計画法でも、タイトな意味での適正林道密度があると考えよりは、コストミニマムの適正林道密度の前後に、広く選択できる密度があると考えることが合理的であることを確認するものである(酒井秀夫, 1987; 大川畑, 1988)。林道密度に対して、生産費の感度が鈍いことは、密度をできるだけ高めることの有効性を示唆するが、林道密度整備水準の最終決定は、路線配置の状態、各種の経費分析等を通じて、林業経営者等の意志決定者自らが判断するしかない結論される。

2.4 総合考察

2.2 では利用区域森林による方法、2.3 では開発森林による方法で林道規格の決定法を論議した。本節では、林道規格を決定して、複合的林道網計画を行った場合の経済的利益を中心に考察する。

Table 12 に、林道規格の選択で試算される、各区域本線の林道費と輸送費を示す。複合的林道は、複数の林道規格からなる場合である。試算 1 は、2.2 の(2)~(8)式に林道延長、利用区域森林面積等に当該区域の数値を与えたもの、試算 2 は 2.3 の格子点法で得た結果である。林道 3 級は、最も有利な規格として選択されることがないので、本節では考察の対象にしない。

最初に、算出法の違いによる精度について考察する。試算 1 と試算 2 の同規格での費用差は、算定法の違いで生じた。すなわち、試算 1 の林道費は、区域の平均地形傾斜から推定したのに対し、試算 2 は

Table 12. 林道規格の選択による生産費の比較(1) (高萩本線)
Comparison of production costs by selecting forest-road standards (1) (Takahagi main road)

林道規格 Forest-road standards	試算 1 Calculation 1			試算 2 Calculation 2		
	林道費 Forest-road costs	輸送費 Trans. costs	生産費 Prod. costs (yen/m ³)	林道費 Forest-road costs	輸送費 Trans. costs	生産費 Prod. costs (yen/m ³)
林道 1 級 1st grade	1 471	1 610	3 081	1 438	1 404	2 842
林道 2 級 2nd grade	1 226	1 774	3 000	1 198	1 528	2 726
作業林道 Low-structure	379	3 609	3 988	370	2 917	3 287
複合的林道 Synthetic forest road	—	—	—	948	1 501	2 449

(浜松本線)
(Hamamatsu main road)

林道規格 Forest-road standards	試算 1 Calculation 1			試算 2 Calculation 2		
	林道費 Forest-road costs	輸送費 Trans. costs	生産費 Prod. costs (yen/m ³)	林道費 Forest-road costs	輸送費 Trans. costs	生産費 Prod. costs (yen/m ³)
林道 1 級 1st grade	4 483	1 754	6 237	5 172	1 843	7 015
林道 2 級 2nd grade	3 585	1 947	5 532	4 010	2 052	6 062
作業林道 Low-structure	1 077	4 100	5 177	1 180	4 396	5 576
複合的林道 Synthetic forest road	—	—	—	2 478	2 701	5 179

Table 12. 林道規格の選択による生産費の比較(2) (大栃本線)
Comparison of production costs by selecting forest-road standards (2) (Oodochi main road)

林道規格 Forest-road standards	試算 1 Calculation 1			試算 2 Calculation 2		
	林道費 Forest-road costs	輸送費 Trans. costs	生産費 Prod. costs (yen/m ³)	林道費 Forest-road costs	輸送費 Trans. costs	生産費 Prod. costs (yen/m ³)
林道 1 級 1st grade	15 814	1 560	17 374	18 720	1 707	20 427
林道 2 級 2nd grade	10 042	1 715	11 757	11 365	1 890	13 255
作業林道 Low-structure	2 576	3 439	6 015	2 841	3 930	6 771
複合的林道 Synthetic forest road	—	—	—	3 160	3 561	6 721

注) 試算 1 は、第 2 節の方法で当該区域の数値を与えて算定した。

試算 2 は、第 3 節の方法で格子点法で算定した。

Notes: Calculation 1 was calculated by the method of 2. 2.
Calculation 2 was calculated by the grid method of 2. 3.

路線区間の地形傾斜から推定し、また、試算1の輸送費は、輸送距離は路線延長の1/2、輸送量は区域に均等配置されるとし、試算2は格子点法で、各区間の輸送距離、輸送量を推定して求めた。従って、試算2の方が精度は高いと考えられる。この例では、試算1の生産費は、試算2の±20%の範囲にほぼ収まったが、路線配置状態や区域の形状次第では、2.2の方法で計画区域の生産費を推定する場合、精度上の問題が残ることを指摘しておく。この場合、格子点法を応用することで問題は解決できる。

試算1では、高萩本線の最適規格として、林道2級が選択された。利用区域森林面積から林道規格を決定する場合の面積基準を示した、Table 4では利用区域森林面積が619 ha、地形傾斜12°の突込型(a)の路線規格は、 $373 < \text{林道2級} < 1169$ haなので、試算1とTable 4の結果は一致した。Table 4を地形傾斜で補正して面積基準を求めても一致した。浜松、大栃も試算1とTable 4の結果は一致した。高萩本線の路線延長と、第1報Table 4の定数を用いた同規模の利用区域森林面積の路線延長を比較すると、高萩が15%増しになるが、この程度の延長増加による林道費の掛かり増しは、面積基準の幅が広いこともあって、林道規格の決定に影響を及ぼさない。第1報(1)式の定数で推定される、利用区域森林面積に対応する林道延長より、実際の計画区域の林道延長が長い場合には、同一規格の林道を維持するための面積は、Table 4の基準より大きくなり、短い場合は小さくなる。輸送費を無視すると、林道費の生産費関数に及ぼす感度の高さから判断して、林道延長の増加に面積基準がほぼ比例すると考えられるので、Table 4から、実際の計画区域での最適な林道規格を簡易に推定するのは可能である。現在、補助事業で行っているように、利用区域森林面積の基準を示して、林道規格を関連づける場合には、Table 4を直接面積基準に使用でき、また、計画区域で算定した結果から林道規格を決定する場合には、Table 4と対象区域の利用区域森林面積と林道延長の関係から簡易に推定できる。

試算1の林道規格は、起点から終点まで同じと仮定してるので、この方法では、格子点法を用いて精度を高めても規格変更はできない。異なる複合的な林道規格で、本線の路線計画を可能にさせるには、試算2の2.3の方法によらなければならない。2.3の結果によると、高萩本線の規格別延長比率は、林道1級：林道2級：作業林道＝29：35：36 (Table 9)とされたが、この比率で複合的林道の整備を進めると、試算2の林道2級のみで行った場合に比べて、277 円/m³の節減になる。節減内訳は、林道費250 円/m³、輸送費27 円/m³である。この節減を本線全体で試算すると、Table 13に示すように5000万円になる。浜松本線は、起点から終点まで同じ規格にすると作業林道が選択されるので、複合的林道を用いると林道費は1298 円/m³増加するが、輸送費が1695 円/m³減少して、生産費では397 円/m³の節減となり、本線全体では3700万円の経済的利益が期待できる。大栃本線も浜松と同様に、複合的林道を用いることで、作業林道で整備する場合に比較して、本線全体で400万円の経済的利益が期待できる。大栃本線の節減額が少ないのは、複合的林道を採用しても、路線延長の90%近くが作業林道で占められ、林道規格の構成に違いがないためである。

本論で計画した本線の路線は、利用区域森林面積が307～619 haの突込型なので、国庫補助事業の公共林道で開設すると、林道2級で採択されるのは、まず間違いのない。このように考えると、複合的な林道規格を採用することで、路線全体での経済的利益は、高萩5000万円、浜松8100万円、大栃58300万円となり、いずれの区域でも輸送費の経済的利益に限らず、林道費の大幅な節約が期待できる。

Table 13. 林道規格の選択による経済的利益の効果試算
Effect on economical benefits by selecting forest-road standards (Unit: 1000000yen)

区 分 Classifications	高萩 Takahagi			浜松 Hamamatsu			大栃 Oodochi		
	本 線 Main road	区域 (m/ha) Area		本 線 Main road	区域 (m/ha) Area		本 線 Main road	区域 (m/ha) Area	
		19.1*	43.4**		32.8*	54.8**		7.4*	38.1**
①	71	83	752	169	52	671	1 222	129	3 138
②	50	58	541	81	46	434	583	114	1 599
③	151	144	146	37	34	33	4	5	5

注) 1. 試算は、格子点法で行った規格間の生産費の差に、総出材量を乗じて得た。①、林道1級—複合的林道；②、林道2級—複合的林道；③、作業林道—複合的林道。

2. 「本線」は本線1路線、「区域」は区域全体を対象に試算した。

*, 適正林道密度；**, 計画路線すべてを計画する林道密度。

Notes: The numerical values were calculated by the remainder of production costs between forest-road standards (①~③) multiplied by the total log volume: ①, 1st grade—synthetic forest road; ②, 2nd grade—Synthetic forest road; ③, Low—structure—Synthetic forest road. One main route was calculated—main road, and area was calculated a full district. *, Optimum forest-road density.

**, Forest-road density planned all planning routes.

Fig. 31~33に、計画区域での林道密度と林道規格別の生産費の関係を示し、2.3の決定法を区域全体の林道網に拡張した場合の経済的利益を分析する。生産費には、コストミニマムの林道密度との関係も示すため、集材費と歩行費を含んだが、既述のように両費用は林道規格で変動しない経費である。

前節で、生産費は林道密度に対して感度が鈍いことを述べたが、生産費は、林道費が低くなるにつれて、林道密度に対して感度が鈍くなり、異なる規格による複合的林道網が、最も鈍いのがこの図から分かる。複合的林道網を採用すると、林道密度が低い段階では高規格の林道を主体に整備が進められ、密度が高くなるとともに低規格の林道の割合が増加する。このため、複合的林道網の生産費の推移は、高萩の例からも明らかのように、当初は林道1級、次いで林道2級の生産費にほぼ一致し、その後作業林道の費用を加算した生産費で推移することになる。区域全体での経済的利益は、本論で示した適正林道密度まで林道2級で整備すると、高萩5800万円、浜松4600万円、大栃11400万円になり、本論による林道規格の決定を採用した場合の経済的效果は大きいことが分かう。

本研究では、林業範疇における林道網が論議された。従って、公道的機能の高い路線に対する論議はされてない。公道的機能の評価には、路線の一般交通量の発生機構を解明する必要がある。このことと連絡型路線の林道規格の決定は表裏の関係にあるが、十分な論議ができず、今後の研究課題として残された。また、本研究では、第1報3.3で述べた理由で樹枝状路網を採用したが、現実には循環路網も有効に存在している。最近、循環路網に関して報告されており（酒井秀夫ほか、1988；仁多見，1992；北川，1993；酒井徹朗・鈴木，1993），興味ある課題なので今後の研究課題としたい。

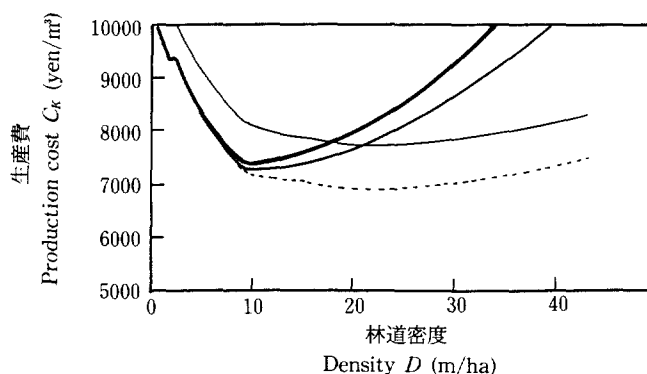


Fig. 31 林道密度の林道規格別の生産費の関係(1) (高萩)
Relationships between forest-road densities and production costs by forest-road standards (1) (Takahagi)

—, 林道1級: 1st grade —, 林道2級: 2nd grade —, 作業林道: Low-structure - - -, 複合的林道: Synthetic

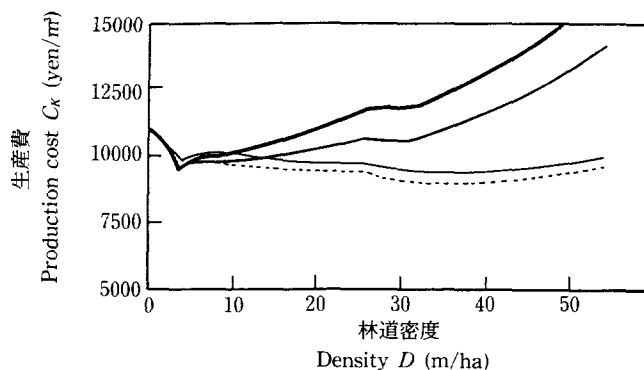


Fig. 32 林道密度と林道規格別の生産費の関係(2) (浜松)
Relationships between forest-road densities and production costs by forest-road standards (2) (Hamamatsu)

—, 林道1級: 1st grade —, 林道2級: 2nd grade —, 作業林道: Low-structure - - -, 複合的林道: Synthetic

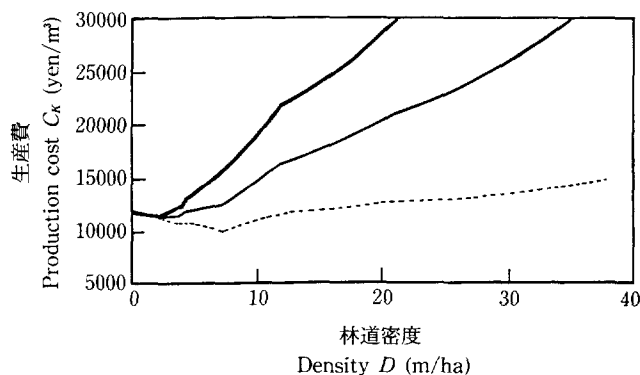


Fig. 33 林道密度と林道規格別の生産費の関係(3) (大栃)
Relationships between forest-road densities and production costs by forest-road standards (3) (Oodochi)

—, 林道1級: 1st grade —, 林道2級: 2nd grade - - -, 複合的林道: Synthetic

3 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、目標を高密度にするほど、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、林道路線評価による林道規格の決定を、利用区域森林による方法と開発森林による方法の二通りで試みた。本章の試算には、第1報の第3章と第4章の成果が用いられる。

2.2では「HACKの法則」と類似式を用いて、木材流量と林業の交通量を評価し、利用区域森林の規模に応じて林道規格を決定した。生産費関数は、林道整備費、林道用地費、運材費、人員輸送費、集材費、歩行費の6費用からなり、連絡型と突込型の路線の林道規格に対応する、利用区域森林面積の基準を導いた。試算結果によると、同規格では、連絡型が突込型より広い利用区域森林面積を必要とした。利用区域森林面の基準は、開設費の感度が高く、低い開設費ほど面積基準は低下する。地形傾斜 20° 、出材量 $250\text{ m}^3/\text{ha}$ 、労働投入量 $300\text{ 人}/\text{ha}$ の突込型の路線の場合、 $0 < \text{作業林道} < 636\text{ ha}$ 、 $636 < \text{林道2級} < 3123\text{ ha}$ 、 $\text{林道1級} > 3123\text{ ha}$ が面積基準になった。運材システムにトラクタ、フォワーダを加えて比較すると、前記と同様の条件で、中型フォワーダ $< 2\text{ ha}$ 、 $2 < \text{トラクタ} < 21\text{ ha}$ 、作業林道 $> 21\text{ ha}$ と試算され、規模の小さい面積で限定的にトラクタやフォワーダ運材が有利であった。試算結果から、現在整備を進めている林道は、林業経営的には、数百ha以上の利用区域森林面積を有さなければ経済的には不利となり、林道を補完するものとして、低構造の作業林道の必要性が再認識された。利用区域森林面積を基準に路線の規格決定を行う方式は、林業の利用を主体とする林道に対して、現行の補助事業と矛盾なく用いることができ、本節で示された面積基準は、林道規格の配置指標になる。

2.3では、林道網計画区域を対象に、複数路線で林道網が形成される場合の林道規格の決定を、開発森林を導入して試みた。決定モデルは、木材流量と林業の交通量から路線区間の利用度を評価する生産費関数によった。生産費関数を構成する費用は、林道規格の決定には林道整備費、林道用地費、運材費、人員輸送費の4費用とし、適正林道密度の算定には、この費用に集材費と歩行費を追加した。適用例によると、路線区間の上流域の森林面積の開発森林面積で示すと、比較的地形条件に恵まれている緩～中傾斜地域では、林道1級で数百ha、林道2級は数十haに達するまで当該林道規格が可能であるとされた。コストミニマムの適正林道密度は、高萩 $19.1\text{ m}/\text{ha}$ 、浜松 $32.8\text{ m}/\text{ha}$ 、高知 $7.4\text{ m}/\text{ha}$ となった。この密度で林道整備は終了して、作業林道が残された。この密度での林道1級：林道2級：作業林道は、高萩 $16:41:43$ 、浜松 $0:33:67$ 、大栃 $0:22:78$ であった。大栃の林道2級の林道密度は、わずか $1.6\text{ m}/\text{ha}$ にすぎず、急峻な地形での林道整備の困難性が示された。極端に開設費がかかります急峻な山岳地帯を除いて、複合的な林道費用と多くの経費を用いても、生産費は林道密度に対して感度が鈍いことを確認した。高萩では、密度を $20.9\text{ m}/\text{ha}$ 増加させると、生産費は $510\text{ 円}/\text{m}^3$ 、率で7%の上昇をもたらすにすぎない。運材費や人員輸送費は、適用例では生産費の30%を超える場合もあり、無視できない経費であることや、歩行経費の節減効果が大いことが確認できた。集材システムとの関係では、林道密度が

上昇すると、機動性に富むタワーヤードの有利性が増し、30 m/ha以上では集材面積の過半を超えた。以上の結果から、異なる林道規格で複合的林道網の形成を図る場合には、林道密度整備水準の決定には選択の幅があり、最終的には個々の林業経営者が意志決定すべきであるとした。

2.4 では、2.2、2.3 の各方法で、規格の異なる複合的林道網による計画を行う場合の経済的利益を考察した。考察に際し、生産費の推定精度に関し、2.2 の生産費は、2.3 の $\pm 20\%$ の範囲にほぼ収まることを述べた。また、2.2 で得た利用区域森林面積基準は、面積基準の幅が広いこともあって、実際の計画区域における利用区域森林面積と林道延長の関係が、我が国の一般的な関係と多少異なっても、林道規格の決定に影響しないことを明らかにした。試算結果によると、本論で計画した本線に関しては、複合的林道を採用することで、現行の補助事業での方式と比較して 50～58 300 万円、区域全体を適正林道密度まで複合的林道で計画した場合には、林道 2 級による林道網に比べて 58～11 400 万円の経済的利益が期待できることを明らかにし、本論による林道規格の決定法を採用することでの経済的効果は大きいと結論した。

謝 辞

本研究を取りまとめるにあたり、終始懇切なるご指導と暖かい励ましを賜り、さらに校閲の労をとっていただいた東京大学農学部小林洋司教授に対して心からの謝意を捧げます。また、暖かい励ましを賜り、校閲の労をとっていただいた、東京大学農学部酒井秀夫助教授に対して心からの謝意を捧げます。東京大学農学部箕輪光博教授、同太田猛彦教授、同永田信教授には、校閲を賜り貴重な御助言を頂戴したことに感謝の意を表します。

さらに、本研究を取りまとめる機会を与えていただき、暖かい御指導を賜った森林総合研究所生産技術部長奥田吉春氏、作業技術科長柴田順一氏、林道研究室長大川畑修氏を始め、大変お世話になった生産技術部諸兄に心からお礼を申し上げます。

引用文献

- 後藤純一：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)
- ，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)
- 平賀昌彦：林道密度簡易計算の一方法について，77 回日林論，416～418 (1966)
- ：電算手法による林道網計画法に関する研究（I）作業道の最適選点と密度決定の一方法，林試研報，238，1～30 (1971)
- ：電算手法による林道網計画法に関する研究（II）簡単な伐区形状パターンによる集材作業道網決定の一方法，林試研報，245，99～158 (1972)
- KAMIZAKA, M.: Studies on optimum density of forest roads (II) On development road density, J. Jpn. For. Soc., 48, 48-54 (1966)
- 上飯坂實編：林業工学，地球社，180pp. (1990)
- KATO, S.: Studies on the forest road system -Preliminary report on the road density-, Bull. Tokyo Univ. For., 63, 215-233 (1967)

- 北川勝弘：循環型林道網のプロトタイプ計画手法の設計, 104 回日林論, 851～852 (1993)
- 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, 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)
- MATTHEWS, D. M.: Cost control in the logging industry, Mcgrow-hill, New York, 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)
- _____, 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)
- 仁多見俊夫：循環路網形成のアルゴリズム, 103 回日林論, 621～624 (1992)
- 農林水産省構造改善局計画部：土地改良の経済効果, 大成出版社, 542pp. (1988)
- 沼田嘉穂：減価償却の知識, 日本経済新聞社, 222pp. (1975)
- 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)
- _____, 澤口勇雄, 市原恒一, 梅田修史：国有林道の新設にかかる優先順位の判定基準について, 平成4年度国有林特会技発報告書, 169～215 (1993)
- 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)
- 酒井秀夫：合理的集運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)
- 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)
- 酒井徹朗, 鈴木保志：交通の利便性を評価基準とした循環路網について, 104 回日林論, 853～854 (1993)
- 澤口勇雄, 大川畑修：林道の迂回性向, 43 回日林関東支論, 139～142 (1992)
- _____, _____: 路網規格の合理的配置（I）HACK の法則の類似式適用による幹線路網規格の決定, 日林誌, **75** (1), 16～23 (1993)
- 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)
- 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)
- SUNDBERG, U. and SILVERSIDES, C. R.: Operational efficiency in forestry, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 219pp. (1988)

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

—Determination of Forest-Road Standards by Forest-Road Evaluation—

SAWAGUCHI, Isao⁽¹⁾

Summary

In a previous report, the parameters for the evaluation of forest-road standards were examined. Based on the results of that report, this study examined the models for determining forest-road standards by the evaluation of the forest-road route. Here, two kinds of areas, i. e., forest areas being exploited and forest area being developed, were introduced to determine forest-road standards.

The model for a forest area being exploited evaluated the log flow and forestry traffic volume by using a formula like Hack's-law on geography, and the forest-road standards were determined in proportion to the scale of its area. The model of production cost function to decide the forest-road standards were composed of the following six costs.

$$C_s = C_{cs} + C_{es} + C_{ts} + C_{ps} + C_{ss} + C_{ws} \quad (1)$$

Where C_s is production cost (yen/m³), C_{cs} is construction, repair and maintenance costs (yen/m³), C_{es} is land cost (yen/m³), C_{ts} is wood transportation cost (yen/m³), C_{ps} is labor transportation cost (yen/m³), C_{ss} is skidding cost, and C_{ws} is walking cost (yen/m³).

With this production cost function, the standard of the forest area being exploited was calculated by two forest-road types; connection type and go-back type of road. According to this calculation, the connection type needed a wide area than the go-back type when road standards were identical. This is one reason why the unit log flow volume per meter of the connection type is much less than that of the go-back type of road. The sensitivity of construction costs was high compared with the area. Calculation conditions are as follows: go-back type, terrain slope, 20 degrees; log volume, 250 m³/ha; labor volume, 300 person/ha. As a result, the standards of forest areas being exploited were $0 < \text{forest road (low-structure)} \leq 636\text{ha}$, $636 < \text{forest road (2nd grade)} \leq 3123\text{ha}$, $\text{forest road (1st grade)} > 3123\text{ha}$. Under the same conditions as the above-mentioned but with the addition of tractor and forwarder to the log transportation system, the standards of areas showed, forwarder (medium-size) $\leq 2\text{ha}$, $2 < \text{tractor} \leq 21\text{ha}$, $\text{truck (forest road(low-structure))} > 21\text{ha}$. It was possible to confirm that the skidding-road introduction by the tractor or forwarder is advantageous in small areas.

It is clear from the calculations that the forest roads which are being constructed now are economically disadvantageous if there are not at least hundreds of hectares of forest area being

exploited. This method to determine forest-road standards based on the forest area being exploited can be used for the construction of forest roads which are mainly used by the forestry industry without contradiction to subsidized forest-road work. The standards of areas shown here can be used as an index of the location of forest-road standards in Japan.

The determination of forest-road standards where forest-road networks are formed by two or more routes was attempted for the forest-road networks. planning area. The forest area being developed was introduced to the decision model for production cost function. The evaluation function assessed the degree of utilization of the forest-road section by the volume of log flow and forestry traffic. There are 4 costs which compose the production cost function for the determination of forest-road standards ;

$$C_K = C_{CK} + C_{EK} + C_{TK} + C_{WK} \quad (2)$$

Where C_K is production cost (yen/m³), C_{CK} is construction, repair and maintenance costs (yen/m³), C_{EK} is land cost (yen/m³), C_{TK} is wood transportation cost (yen/m³), and C_{PK} is labor transportation cost (yen/m³).

The function to calculate optimum forest-road density added the skidding cost (C_{SK} (yen/m³)) and walking cost (C_{WK} (yen/m³)) to formula (2), and calculations were made again.

$$C_K = C_{CK} + C_{EK} + C_{TK} + C_{PK} + C_{SK} + C_{WK} \quad (3)$$

The underlying concept of this theory is enabling greater accuracy in estimating production costs by calculating the costs after the proposed forest-road route has been located on the map. There are many kinds of costs which compose the production cost function. But the biggest characteristic of this theory is thoroughness as for economic efficiency when the forest-road standards decide, and constructing the forest-road networks which are formed by forest road (synthetic) becomes economically feasible.

In case of application example, it was possible to locate the forest-road standards until the following area of the forest area being developed shown by area of upstream in the section of road : forest road (1st grade), hundreds of hectares ; forest road (2nd grade), tens of hectares.

Optimum forest-road density at a minimum cost was 7.4m/ha~32.8m/ha according to the calculations. It has already finished construction of forest road (1st grade) and forest road (2nd grade). In one example (Takahagi), the extension ratio in the optimum forest-road density was as follows : forest road (1st grade) : forest road (2nd grade) : forest road (low structure)=16 : 41 : 43.

The production cost confirmed a dull to the forest-road density by the production function which used mixed forest-road costs and many other kinds of costs without a steep mountain region which requires extremely high construction costs for forest roads. The production cost only caused a rise of 7% (510 yen/m³), when the density increased to 20.9 m/ha in Takahagi. It was confirmed that the total of log and labor transportation costs exceeded the production costs by more than 30% ; therefore, these costs cannot be disregarded, and the effect of reducing of the walking cost must be larger than that of reducing the skidding cost. Mobile yarders increase the advantage as the density of a forest road rises, and the majority of the skidding area is dominated by mobile yarder yarding system. It concluded that there is a wide zone of decision of density when the forest-road networks construct by the synthetic forest road, but the final decision is left to forestry managers.

The following calculations were obtained as financial profit when the synthetic forest road planning system shown by this thesis was adopted. That is, profit can be expected to be 50 ~583million yen when the main road of a district is planned with this thesis compared with the present subsidized forest-road work, 58~114million yen concerning the forest-road networks to be optimum density with the synthesis forest road with this thesis compared with only one forest road (2nd grade standard).