

# 林道構造の実用的評価法

山 本 誠

(農学部林業工学研究室)

## A Practical Evaluation of Forest Road Design

Makoto YAMAMOTO

Laboratory of Forest Engineering, Faculty of Agriculture

**Abstract :** Conventional methods which tried to evaluate the design of forest roads by individually separating the design factors have not necessarily produced good results. Therefore a new effort was made to take up only three largest contributing factors, road surface width, road alignment and longitudinal grade, and thus simplify the evaluation method.

Here, the time required (Fig. 3) and the fuel consumed (Fig. 4) in reaching the destination are used as two basic criteria in evaluating the geometric design of roads.

In expressing the condition, transportation efficiency and drive capacity of the vehicle, a coefficient  $\rho$ , a travel time factor based on engine torque, was used. The method of evaluating the geometric design of road shown here, does not intend to rate the road. Instead, it tries to make evaluation of various road more freely according to the purpose of the design structure.

The reliability of this evaluation method was tested by the degree of how close to the measured value the evaluated value can be repeated. (Fig. 6)

The test result that the reliability was found to be higher in low grade forest roads than in those of high grade. (Table 2, 3)

The error between the evaluated value and the empirical value was found to be 0.30~0.14 minute/km on the road shown in Fig. 6.

This error should be considered significantly low for slow speed forest roads, and therefore, this evaluation method should be able to stand as practical and acceptable one for forest roads.

## 緒 言

林道延長が短い時期には、如何にして林道端まで木材を低廉に搬出するかが問題の焦点であった。ところが今日では、林道密度の増大にともない木材輸送車両が林道上を走行する距離も伸延し、その間の輸送、およびその経費の変動にも関心を払わざるを得ないまでに至った。

本論では、その輸送システムとしての林道を、輸送機能の構造面から評価する。この評価の主たる目的は、計画中の路線においては運材車の運行所要時間の予測、運行経費の推計に、また既設路線については幾何構造の調整、改良等にも有効な資料を与えることにある。

ここでの評価は、林道構造の良否は車両の走行性の良否と一致するとの見解に基づいて論議する。したがって、直接的にはその林道における車両の走行性を評定することになる。そのために、道路に関する性能と車両に関する性能の両者を使って評価する。したがって、ここにいる車両の走行性の良否の評定は、ある輸送量をもつ車両が任意の2点間を結ぶ時間の長短を第1の尺度とし、その間に要する燃料消費量を第2の尺度として、その成果の良否を検討することによって基本的な評価値とする。具体的には Fig. 4 の構造評価法の構成および方法のダイヤグラムの手順による。

林道はその使われ方によって、果たすべき機能も多様に変化するものと考えるので、ここに示す評価法を基に評点を付けたり、ランク付けをしたりするのではなく、輸送しようとする林道のある区間にどの程度の輸送時間と燃料が消費されるかを実定数で与えようとするものである。

## 評 価 尺 度

到達所要時間：林道における車両の走行に関しては、その速度の如何が問題ではなく、走行目的地までの所要時間の長短が論議の対象とされるべきだということについては前に述べた<sup>1)</sup>。

車両の到達所要時間は路線のロケーションに起因し、その幾何構造要素の線形、縦断勾配、幅員、片勾配等と、車両各々の走行性能とによって決定される。車両の走行性能は一般にはエンジンの最大出力で代表されるが、坂路や曲線部の如く走行抵抗の大きな区間については以下の方法によるのが良いといわれている。ある速度、特に比較的低い速度で走行する大型車を対象とする場合は加速性が重視され、エンジンの最大軸トルク値を使って表わす方がより論理的である<sup>2)</sup>。

したがって走行性、すなわち速度の持続ないし加速の良否と積載輸送効率という2要因に關与する指標としては次式の $\rho$ であらわす方法が考えられる。

$$\rho = \frac{\tau \cdot \eta_e \cdot E}{G \cdot V \cdot W} = \frac{0.7 \tau}{G \cdot V \cdot W} \quad \dots \dots \dots (1)$$

- ここに  $\rho$  : 走行性指示係数  
 $\tau$  : トラックエンジンの最大軸トルク  
 $0.7 = \eta_e \cdot E = \text{機関効率} \times \text{機械効率}$   
 $G \cdot V \cdot W$  : 車両重量 + 積載重量

林道における道路性能の表現は個々の要素を別個に扱っても好結果を期待し難いことから、種々の車両速度の実測値に基づく標準値をグラフ上に展開し、縦断勾配の主効果、線形の主効果、そして両者の交互作用、という3つの効果の結果値である測定値を、直接的な構造評価の資料として扱う。なお、ここにいう線形は、上記と同様に個々の曲線を扱っても適正な車速の関数値となり難いことから定区間内の交角総和で表示した<sup>3)</sup>。すなわち、

$$\text{曲線率 } k = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i}{l} \quad \dots \dots \dots (2)$$

- ここに  $\theta$  : 交角  
 $i$  : 曲線の個数  
 $l$  : 区間長 (定区間あるいは任意区間)

種々の線形と縦断勾配が不規則に組合された任意の2点間を走行するに要する時間を、個々に実験的に得、その等値点群を結んで得られる等値曲線<sup>4,5)</sup>で描く2次元グラフを構造評価の第1の尺度とする。

以下、Fig. 1 (a), (b), (c) は全幅員4.0mの林道における車両の走行性指示係数毎の到達所要時間等値曲線図である。

同一等値曲線上においては、その座標点が異なっても車両速度は同速度であることを意味している訳であるから、設計の段階で Fig. 1 (a), (b), (c) を参照すれば、図示の $\rho$ の範囲を有する車両に関しては等速運転の可能な林道を作ることも期待できる。また設計完了ないし工事竣工の段階では、当該路線における走行所要時間を任意区間、例えば同一勾配区間毎、または定区間長毎に求めることによって、その路線の幾何構造評価の基礎資料を与える。そして速度低下原因となる個所の探求、評価、改良にも寄与し得る。

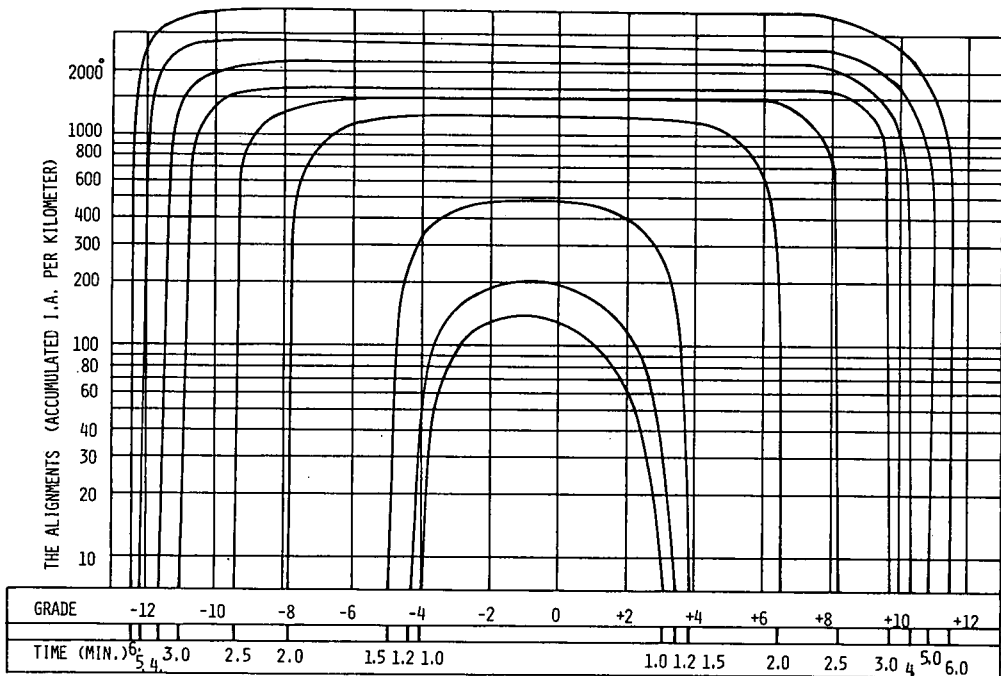


Fig. 1 (a) Time required per kilometer for motor trucks on the forest roads— $\rho=7 \pm 1$ —.

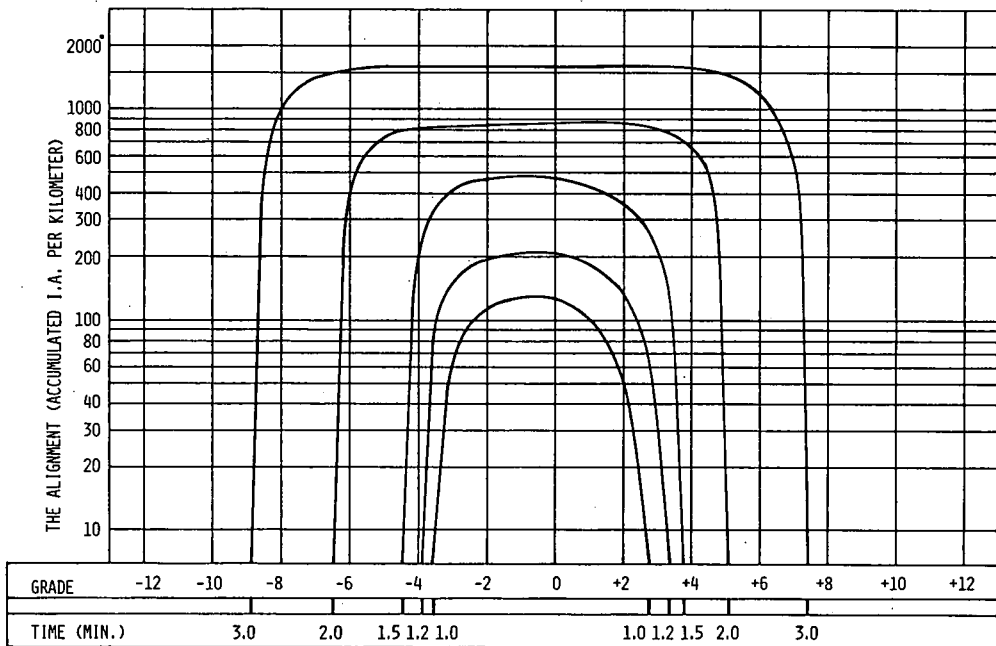


Fig. 1 (b) Time required per kilometer for motor trucks on the forest roads— $\rho=5 \pm 1$ —.

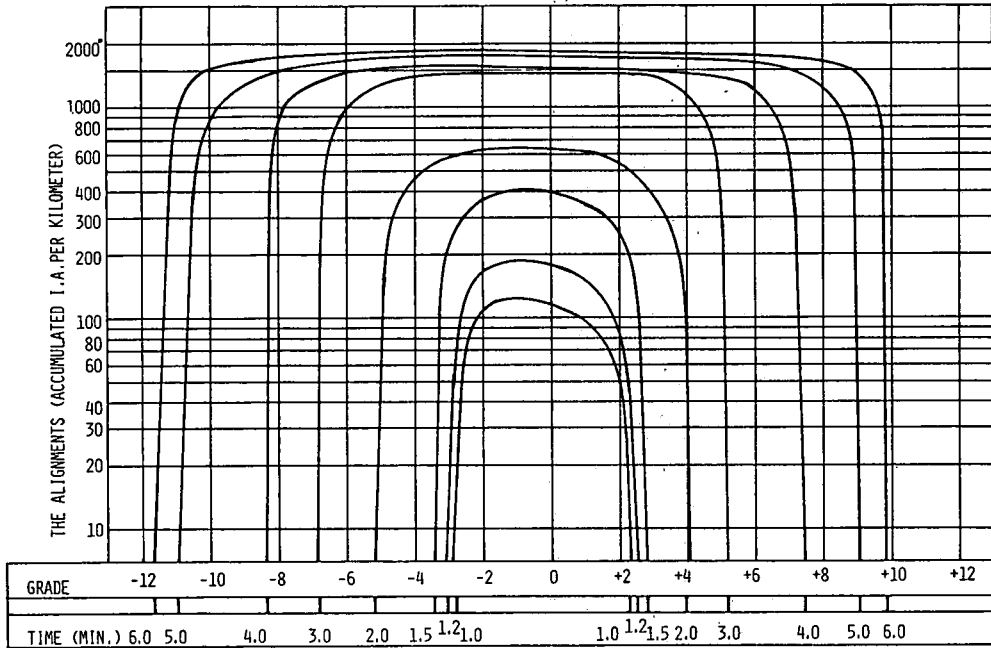


Fig. 1 (c) Time required per kilometer for motor trucks on the forest roads  $-\rho=3\pm 1-$ .

到達所要燃料：輸送費，運行経費は一般には，車両償却費，税金，保険金，事務所費，営繕費等の固定費と車両運行にともなう燃料費，油脂費，その他タイヤ等の消耗品費の変動経費とを基準として，その概算が見積られている。一例として，高知県内の山間部を主たる営業区域としているA運輸会社の算定法<sup>\*</sup>を公式化すれば，

積載量 8 t 車については，

$$Q_s = \left\{ m + \left( \frac{5.1f}{2\eta} + 1.7f \cdot \alpha \right) \beta \cdot L \right\} (1 + \gamma) \dots\dots\dots (3)$$

- ここに  $Q_s$ ：運行経費，ただし人件費は含まない
- $m$ ：基本料金＝固定費に関わるもの
- $f$ ：燃料費＝単価×燃料消費率(l/km)
- $\eta$ ：稼働率
- $\alpha$ ：路線長に対する集配条件
- $\beta$ ：積卸手間に関与する係数（輸送距離に対するてい減率）
- $\gamma$ ：悪路割増率
- $L$ ：輸送区間距離

この程度の簡単な形で概算できるとしている。また BYRNE<sup>ら<sup>6)</sup></sup> は，運材車の年間稼働率を52週間とし，1週間に5日操業し，1日10時間として，要素毎による分当たり経費を統計的に算出している。それによると燃料費の約4.5倍が輸送費に当たるとしている。すなわち燃料費の占める割

<sup>\*</sup> A運輸会社は一般貨物扱いのトラック輸送の会社であるので運材車のケースと異なり往路復路ともに37%の積荷を見込んでいる。

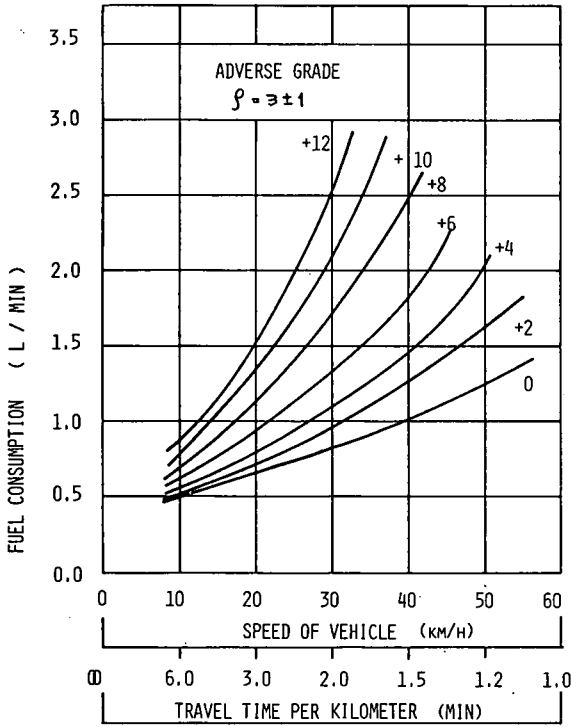


Fig. 2 (a) The fuel consumption for traveling on the adverse grade. — $\rho = 3 \pm 1$ —

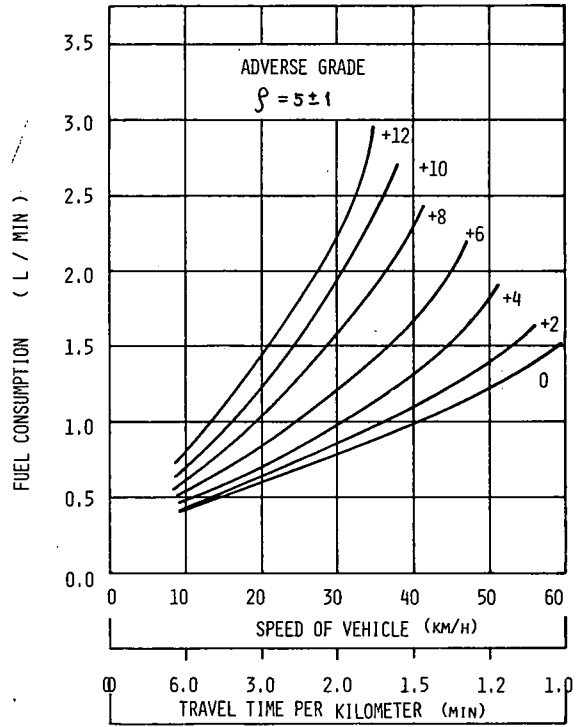


Fig. 2 (b) The fuel consumption for traveling on the adverse grade. — $\rho = 5 \pm 1$ —

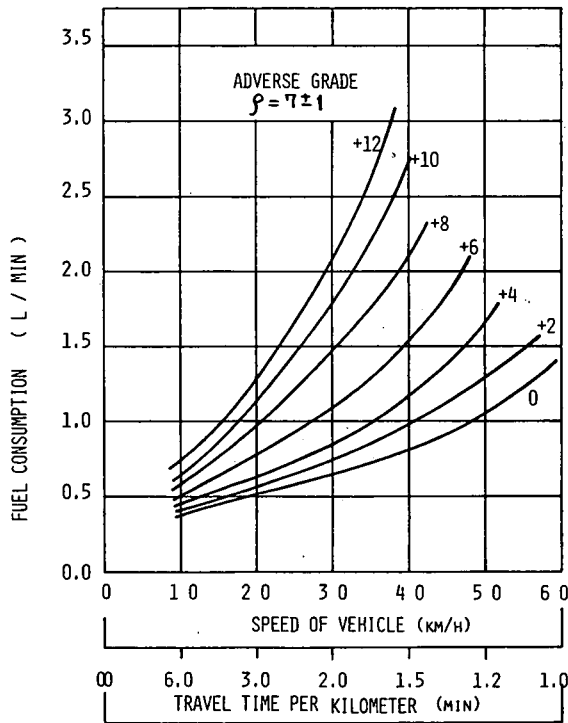


Fig. 2 (c) The fuel consumption for traveling on the adverse grade. — $\rho = 7 \pm 1$ —

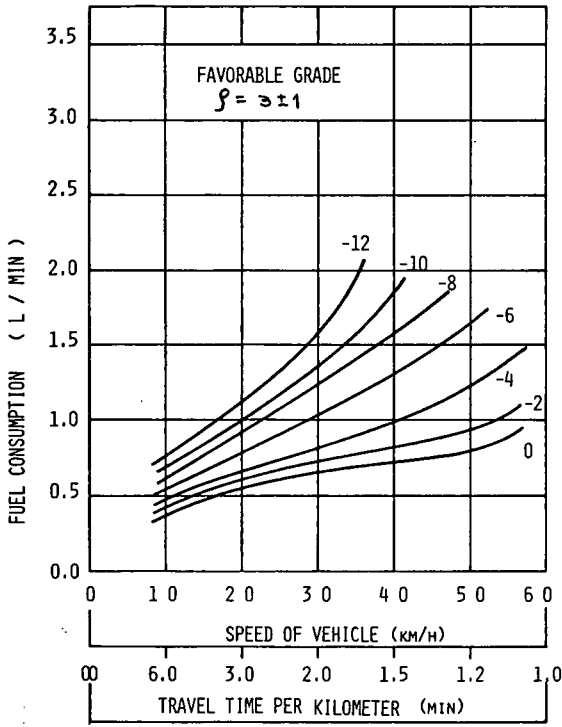


Fig. 3 (a) The fuel consumption for traveling on the Favorable grade. — $\rho=3\pm 1$ —

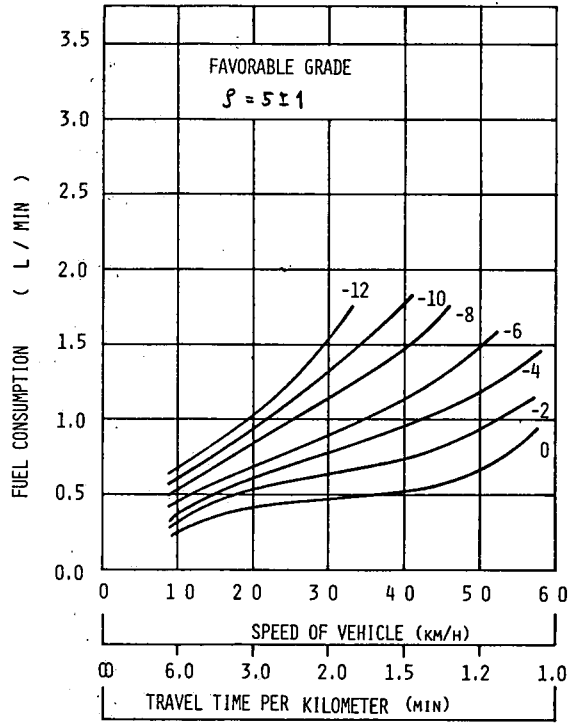


Fig. 3 (b) The fuel consumption for traveling on the favorable grade. — $\rho=5\pm 1$ —

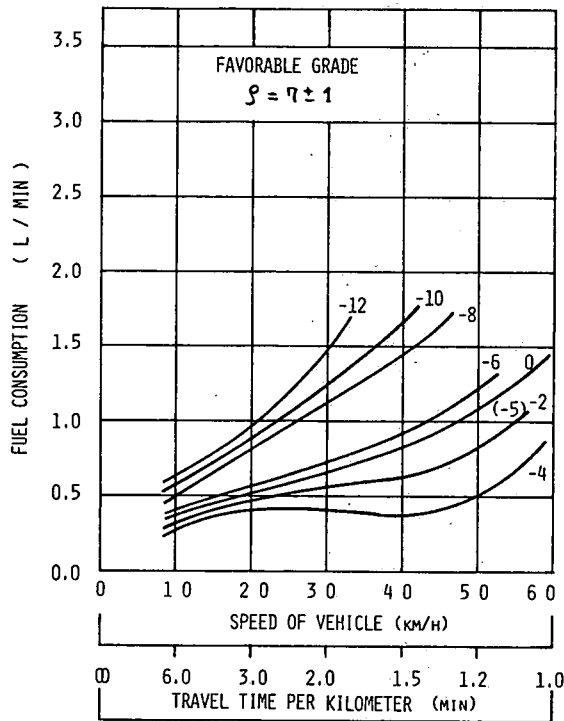


Fig. 3 (c) The fuel consumption for traveling on the favorable grade. — $\rho=7\pm 1$ —

合はほぼ22%であるという。

到達所要燃料は、走行時間、車両速度、走行抵抗、エンジン排気量、積載荷重、運転操作法などによって決定されるが、ここでは実測値を基に走行性指示係数( $\rho$ )をインジケータとして所要燃料消費量を示す方法で Fig. 2 (a), (b), (c), Fig. 3 (a), (b), (c) に、時間当たり消費量で示した。

前述の如く車両の到達所要時間を基準として燃料消費量を論じるので、各区間における単位時間当たり燃料消費量を Fig. 2, Fig. 3 で求める。そして区間消費量の累計値の多寡を、路線構造評価の第2の尺度とする。

### 実用的評価法の適用

林道の構造を詳細厳密に評価するには、道路構造の各種要素と、要素間の定性的・定量的関係、車両の特性、運転者の特性、路線の機能特性、等々大規模な情報を得て分析する方法によらねばならないとするのが一般的であった。しかし、それぞれの要素の効果は非常に複雑な働きをすると共に、個々の要素のデータを精度高く採集することも膨大な時間と労力が要求される。更に、再現性の高い数理的モデルをシミュレートすることは可成りむずかしいことであろう。

そこで、観測データを各種構造要素別に分析することは避けて複数個の要素のもたらす結果で直接的に表現する方法をとり、それによって誤差の排除と評価の実用化を図った。この方法は勿論、絶対的に適正なものとは言えないが、過去に調査した林道構造と林道交通の実態に照合した結果、著しく適合性の高い簡便、妥当な推測・評価が可能なる手法であると思料する。

本法による幾何構造評価の手法は、到達所要時間、到達所要燃料に示した各々のデータを基礎に Fig. 4 に示したダイアグラムの順序に従って構造評価をする。

すなわち、

#### 構造評価の手順

- ①. 利用しようとする輸送用車両の走行性指示係数  $\rho$  を往路・復路におけるそれぞれの車両の状

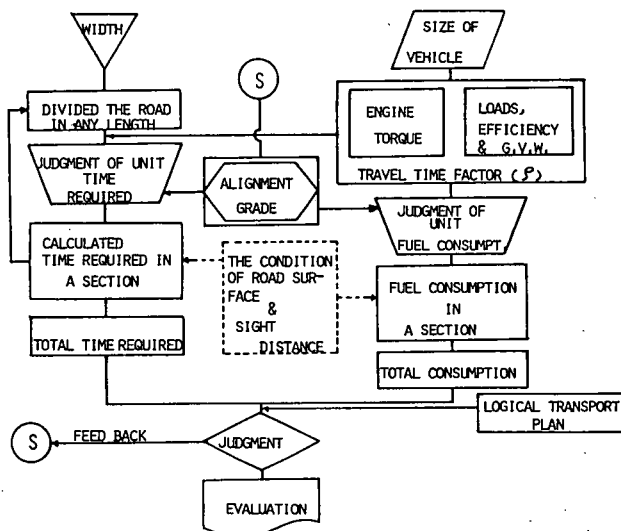


Fig. 4 The diagram of the steps and the method of the practical evaluation on the forest roads.

Table 1 A data processing form for the evaluation on the geometrical desing of the forest road.  
 The name of forest road : Route A  
 Width of road surface : 4 meter  
 The rate of trafficability of vehicle :  $\rho = 7$ ,  $\rho = 3$

Index no.	Sections				The sum total I. A. per km ( $^{\circ}$ /km)	Travel time (min)				Fuel consumption (l)				
	Grade (%)	The sum I. A. ( $^{\circ}$ )	The length of a section (m)	Align ment		The travel time (min) per unit distance (km) (by Fig. 3)		Travel time in a section (min)		Fuel consumption per min. (By Fig. 4, 5)		The fuel consumption per section (l)		
						$\rho = 7$	$\rho = 3$	Going	Return	$\rho = 7$	$\rho = 3$	Going	Return	
														Total
1	3.54	110.5	120	0.921	921	1.8	2.5	0.216	0.300	0.085	0.070	0.018	0.021	0.039
2	2.05	37	65	0.569	569	1.6	1.8	0.104	0.117	0.090	0.080	0.009	0.009	0.018
3	4.80	132	172	0.767	767	1.9	2.5	0.327	0.430	0.100	0.080	0.033	0.034	0.067
4	7.11	246.5	243	1.014	1014.5	2.4	3.7	0.583	0.899	0.110	0.085	0.064	0.076	0.140
5	6.58	83	100	0.830	830	2.2	3.2	0.220	0.320	0.115	0.080	0.025	0.026	0.051
6	8.93	288	184	1.565	1565	3.3	5.9	0.607	1.086	0.065	0.070	0.058	0.076	0.134
7	6.22	484	262	1.847	1847	3.8	6.1	0.996	1.598	0.075	0.060	0.075	0.066	0.171
8	10.34	84.5	96	0.880	880	4.2	5.1	0.403	0.490	0.080	0.075	0.032	0.037	0.069
}	}	}	}	}	}	}	}	}	}	}	}	}	}	}
46	4.00	85.5	74	1.155	1155	1.9	2.7	0.141	0.200	0.085	0.070	0.012	0.014	0.026
47	5.27	247.5	196	1.263	1263	2.2	2.9	0.431	0.568	0.090	0.070	0.039	0.040	0.079
48	9.36	166.5	100	1.665	1665	4.4	6.0	0.440	0.600	0.080	0.070	0.035	0.042	0.077
49	11.01	156	120	1.300	1300	4.4	6.1	0.528	0.732	0.085	0.075	0.045	0.055	0.100
50	7.88	465.5	240	1.940	1940	3.5	6.5	0.840	1.560	0.080	0.055	0.067	0.086	0.153
Total			8,753					23.120	35.100			2.082	2.487	4.569



態について求める。

②. 輸送区間となる当該路線を任意区間に区切る。この場合の任意区間の区切り方には、大別して2つの方法があろう。対象とする全区間が比較的近似した縦断勾配・線形よりなっている場合は、機械的に定区間長で区切ればよいし、部分的に急勾配、小半径の曲線部が集合しているような場合は、縦断勾配の同一区間で区切るようにすれば評価誤差を小さくし得る。

③. 当該区間ごとに縦断勾配、区間交角総和、区間長を設計図面、工事竣工図面または実測によって求める。

④. 前記③の資料をもとに Fig. 1 (a), (b), (c) によって、単位距離当たり所要時間を各々求めて区間走行所要時間を得る。

⑤. 前記③の資料をもとに、Fig. 2, Fig. 3 によって、単位距離当たり所要燃料を各々求めて区間走行所要燃料を得る。

⑥. 以上を Table 1 の如き形式の野帳へ往路・復路、別個に記載整理する。

### 構造評価法

以上の結果得られる走行所要時間総和、走行所要燃料総和のそれぞれの数値は、前述した輸送効率に関する種々の条件因子を、ほぼすべて包含したものの結果値である。ゆえに、輸送力を対象に構造評価する場合、その関数である輸送所要時間、ならびに燃料消費量は、それ自体、構造評価の指標となり得る。したがって、主たる構造評価法は、

- ①. 所要時間総和、所要燃料総和の小なるをもって良とする評価法が、まず考慮される。また、
- ②. 合理的な輸送体系という視点に立てば、一日の輸送実働時間に対する無駄のない道路構造と輸送速度を基準として評価する考え方があろう。

たとえば、輸送実働時間7時間に対して、輸送サイクルが整数値による往復回数で完結する所要時間を充分条件として構造評価する方法である。すなわち、

$$\text{実働7時間} = (\text{往復回数}) \times (\text{輸送1往復所要時間}) \pm (\text{半端となる時間}) \dots\dots\dots (4)$$

(4)式において(半端となる時間)=0となるような輸送往復回数における輸送1往復所要時間を、計画とする所要時間として、これに合致するものに高い評価を与える。しかるに、企画中の路線であれば、(半端となる時間)=0となるように構造設計の変更、または輸送計画の再検討によって、合理的な構造評価を高める調整を進めればよいことになる。

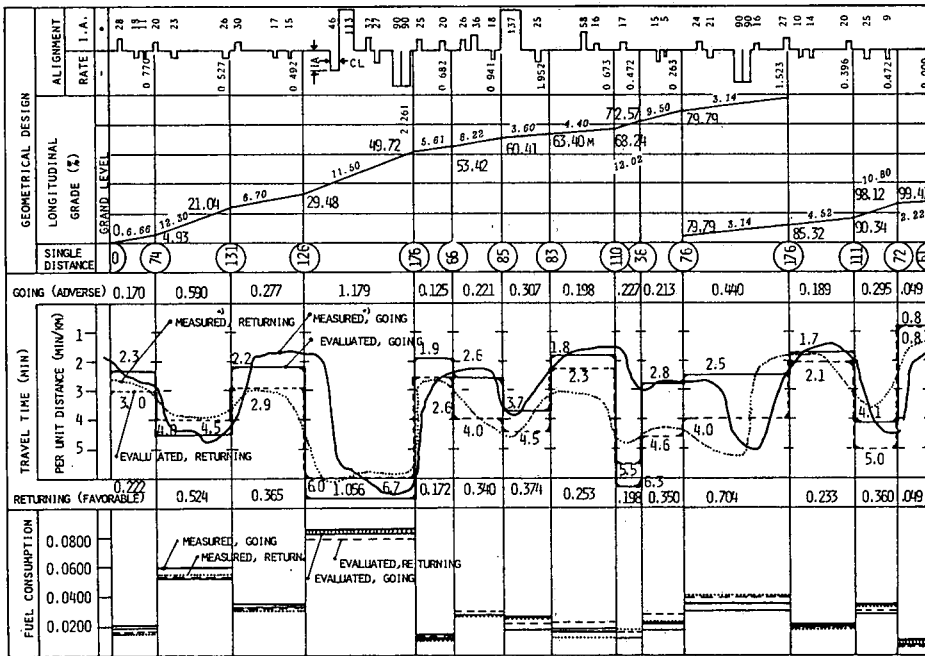
以上、本構造評価法は、その構造評価の目的に応じて、種々な評価法が適応され、それぞれに有効な実用的構造評価の手段を与える。

### 適合性の検定および考察

本構造評価法の適合性を、既設路線における車両の走行所要時間、燃料消費量の再現性の良否によって検定する。

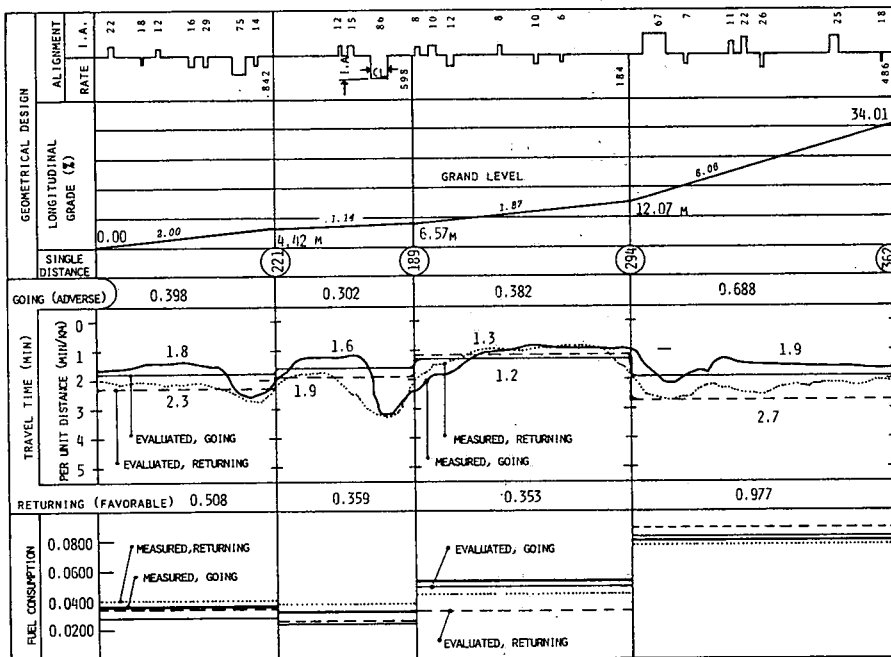
ここでは、一般的な林道3路線区を例示する。単位路線長当たり高低差の大きい路線、すなわち急勾配区を多く含む路線として手結線を、幹線の機能と構造を有している路線の代表として赤荒線を、そして縦断勾配は前二者の中間的な条件で、線形はやや不良と判断される国見線を選んだ。そして、それぞれの路線中でも特徴的と思われる区間を対象にとりあげた。

本構造評価法による評価値と、実測値とを対比し、説明的に図化したものが Fig. 5 (a), (b), (c) である。図中の上部は、当該区間の平面曲線形と縦断勾配を、中間部と下部には、それぞれ輸送所要時間と燃料消費量の実測値、評価値を対比して示した。



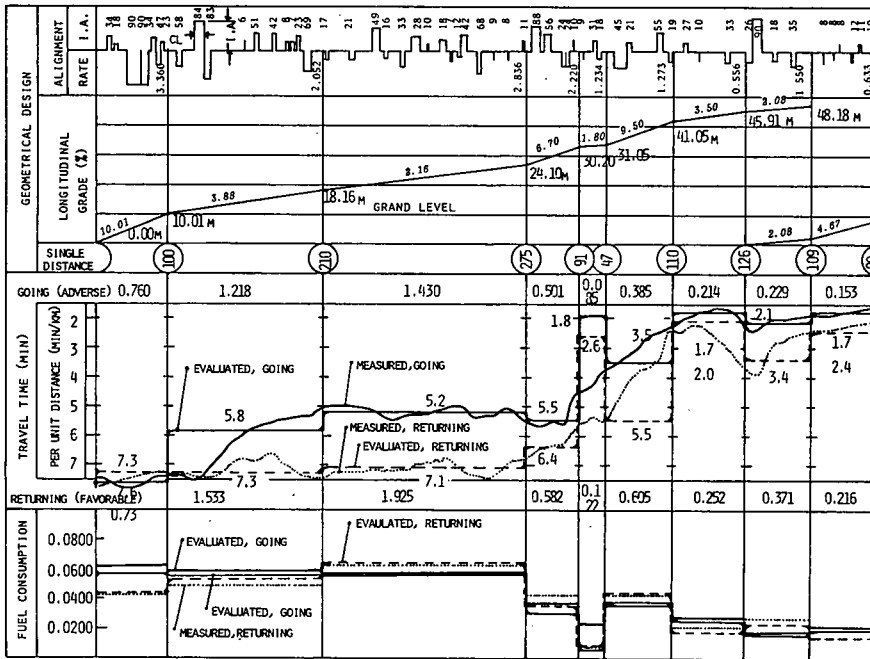
\*) The curves of the measured values were obtained through analyses with the tachographs of 24 minute cycle.

Fig. 5 (a) Accuracy of the evaluated values estimated by the surveyed values on the forest road Tei.



\*) The curves of the measured values were obtained through analyses with the tachographs of 24 minute cycle.

Fig. 5 (b) Accuracy of the evaluated values estimated by the surveyed values on road Akaare.



\*) The curves of the measured values were obtained through analyses with the tachographs of 24 minute cycle.

Fig. 5 (c) Accuracy of the evaluated values estimated by the surveyed values on the forest road *Kunimi*.

実測値と評価値の適合性を図上で比較すると、走行所要時間、燃料消費量ともに精度高い再現性のあることが認められる。

路線別に所要時間、所要燃料を、ある区間における合計値で比較すると Table 2 (a), (b) の如く輸送所要時間、燃料消費量ともに規格の低い路線区は、高い路線区より適合性が良い傾向を示している。これを往路・復路の輸送所要時間の単位距離当たり誤差として算定すると Table 3 のような誤差分布が見られ、規格の高い路線区における信頼性は、低い路線区に比して、やや劣る傾向がある。

これは規格の高い路線区では運転者の意志によって自由走行し得る速度範囲が広いために起こる現象なので止むを得ない。ただ幹線的構造の林道区間、ならびにそれに接続する幹線的林道に類似している構造の公道が、全輸送区間の過半を占めているケースが多いことを勘案すると、輸送距離が著しく長い場合には、この偏差値を無視することは許されまい。そのようなケースでは、運転者の特性を加味して偏差値内での調整値を得るようにすればよい。

一般的に起こり得る条件下での輸送所要時間の評価誤差は、全体についてみれば  $0.30 \pm 0.14$ 分/km ということであるから、低速走行の領域にある林道交通を考えれば、十分に高い精度であると言えよう。かりに、当該路線長を 10 km と想定しても、その到達時間差は 3 分前後の誤差ということであり、本構造評価法による所要時間の評価情報は、実用的に充分適正なものと判定する。

一方、燃料消費量は、輸送所要時間のように、リアルタイムで測定はできなかったもので、図上でも同一条件区間での比較ということとなった。Fig. 5 (a), (b), (c), Table 2 (b) に示したように、評価値は測定値によく適合しており、精度はいずれも 90% 以上であり、実用的に充分であると判断する。

Table 2 (a) *The difference between evaluated*

Code	Forest road (Comment)	Travel time		
		Going (Adverse) $\rho \approx 7$		The precision (%)
		Evaluated value	Measured value	
IV-6 (a)	Tei It will be the steep slopess influenced	4' 29"	4' 18"	95.9
IV-6 (b)	Akaare Main truck line forest road	1' 46"	1' 37"	91.5
IV-6 (c)	Kunimi It will be the curvature influenced	4' 59"	4' 46"	95.6

\*) The route length (m): Tei=1,383, Akaare=1,066, Kunimi=1,158  
 Grand level variation (m): Tei=99.47, Akaare=34.01, Kumimi=52.38

Table 2 (b) *The difference between evaluated fuel*

Forest road	Fuel consumption				
	Going (Adverse) $\rho \approx 7$		The precision (%)	Returning (Favorable) $\rho \approx 3$	
	Evaluated value	Measured value		Evaluated value	Measured value
Tei	0.380	0.415	91.5	0.405	0.393
Akaare	0.182	0.199	91.4	0.168	0.197
Kunimi	0.302	0.332	90.9	0.304	0.304

Table 3 *The evaluated errors of travel time per kilometer*

Forest road	Error at going (min/km)	Error at returning (min/km)
Tei	0.29 ± 0.08	0.35 ± 0.11
Akaare	0.46 ± 0.21	-0.48 ± 0.17
Kunimi	0.23 ± 0.10	0.21 ± 0.10

Error mean is 0.3033  
 Variation is  $1.96 \times 10^{-2}$   
 Deviation is  $1.40 \times 10^{-1}$  } 0.3 ± 0.14

### 要 約

林道構造の評価方法に関しては、従来からおこなわれてきた要因個々の詳細な効果の分析検討が必ずしも好結果につながらないことから、車両速度決定に寄与率の高い幅員、線形、縦断勾配の3大要素のみで処理し、可及的単純化した評価法を試みた。そして、ここでは到達所要時間、到達所要燃料を構造評価の直接的尺度とした。

## travel times and measured values

(minute)					
Returning (Favorable) $\rho \approx 3$		The precision (%)	Total		The precision (%)
Evaluated value	Measured value		Evaluated value	Measured value	
5' 12"	4' 59"	95.8	9' 41"	9' 17"	95.8
2' 12"	2' 47"	126.5	3' 58"	4' 27"	89.4
6' 20"	6' 08"	96.8	11' 20"	10' 54"	94.8

## consumption and measured values

(liter)				Fuel consumption ratio (1/km)	
The precision (%)	Total		The precision (%)		
	Evaluated value	Measured value		Evaluated value	Measured value
97.0	0.785	0.808	97.1	0.508	0.586
90.3	0.360	0.396	90.9	0.337	0.372
100.0	0.606	0.636	95.2	0.523	0.549

なお、その際の車両の状態、輸送効率、走行性能は、車両の走行性指示係数  $\rho$  で扱った。

本構造評価法は、その評価値をもとに採点したり、順位を付けたりはせず、その構造評価の目的に合致する評価方法を、それぞれの林道について自由に処理する自由さを残した。

本構造評価法の適合性を、実測値に対する評価値の再現性の良否で検定した。

検定の結果は、規格の低い林道路線区は高い路線区より適合性が良く、信頼度が大きい。

評価誤差を全体で見ると  $0.30 \pm 0.14$  分/km である。この数値は、低速走行の領域にある林道交通を考えれば、高い精度と判断でき、実用的な評価法として使用に耐え得る手法であろうと思料する。

## 引用文献

- 1) 山本誠, 林道の幾何構造と輸送効率. 高大学研報, 25 (12), 1-6 (1977)
- 2) 平尾収, 近藤政市, 亙理厚, 山本峰雄, 理論自動車工学, 464 pp, 山海堂, 東京, (1969)
- 3) 山本誠, 線形の表現法と車両速度. 88回日林講. (1977)
- 4) 山本誠, 林道における交通需要の形態. 84回日林講, 444-446 (1973)
- 5) OKAWARA, S., Eine neue Methode zur Generalabschätzung des Forstwegestandards im Gebirge (I), Vorschlag der Neuen Methode, J. Jap. For. Soc. 56, 77-81 (1974)
- 6) BYRNE, J., NELSON, J., GOOGINS, H., Logging road handbook, The effect of road design

- on hauling costs, 65 pp, USDA, Forest Serv., (1960)
- 7) 山本誠, 交通分析による林道の幾何構造の研究. 高大演報, 5, 17-26 (1976)

(昭和52年8月22日受理)

(昭和52年10月14日分冊発行)