

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

酒 井 徹 朗

Studies on planning method of forest roads network (Ⅱ)

——Evaluation by skidding distance and road length for optimum network

Tetsuro SAKAI

要 旨

集材距離、林道開設長をパラメータとする評価式(2)―(6)を用い、その最小(最大)値をダイナミックプログラミングの手法により求め、林道の最適配置を行い比較検討した。開発指数、平均集材距離を評価に用いた配置は、主として対象地域の地形的条件によって決定される。開発指数の評価式を用い、起点Sから境界E―Fに至る林道配置を求めた場合、終点の位置にかかわらず、開発指数はほぼ一定であった。また平均集材距離を用いた場合でも、終点の位置にかかわらず、林道密度がほぼ一定となった。それらは対象地域特有な値だと思われる。開設長を用いた場合は、起点と境界E―F上の終点とを最短ルートで結ぶ配置に、平均集材距離を用いた場合は、高密度路網型の配置になる。便益や費用を用いた場合は、係数 α 、 β の比により最短ルート型から高密度路網型まで変化する。便益には既設林道からの平均集材距離がパラメータとして含まれているため、費用の配置に比べ、既設林道より離れたところに配置される。

は し め に

林道は森林施業上不可欠の生産基盤である。労働力の高令化、人件費の高騰、間伐をはじめとする手入れ必要林分の増加等に伴い、伐採・搬出作業のみならず造林・保育作業でもその必要性が高まっている。一方、林道開設費は年々高くなり合理的な林道計画が一層望まれている。従来、林道整備の量的指標には、市町村や流域を単位とした林道密度が用いられてきた。しかし、我国のような山岳林では地形的条件により林道の配置や集材作業が制約される。そのため量的基準だけで合理的な林道整備を行うのは不十分である。地形的条件を考慮し、具体的な現況に応じ林道配置を行う必要がある。前報¹⁾では端点除去法による路網配置について報告した。集材が可能である、あるいは一定時間内で林地に到達できるという条件を満たす路網を求めることができた。更らに、計画対象地域を地形的・施業の条件がほぼ同一な区域に分割し、それを基礎単位(以下林区と呼ぶ)とする配置計画手法について報告²⁾した。この手法は1組の等高線によって補間される林道予定線を各林区毎に求め、ある評価関数を最小(大)とする予定線の組合せを求めるものである。ここでは幾つかの代表的な評価関数を用いて配置計画を行い、その結果について検討、考察したので報告する。

評 価 関 数

配置計画の評価関数のパラメータとして、平均集材距離、林道開設長、林区面積を用いる。これは従来の林道密度理論⁹⁾と変りない。林区 i における林道開設長は林区内を通過する任意の間隔の等高線を用い算出する。林区境界線と等高線との交点を始終点とする予定線は等高線を用いてその線形が補間され、その長さが求められる。もしその縦断勾配が一定勾配以上ならば開設不可能として除外する。各林区の予定線は最大2本とする。そのため始終点は2ヶの等高線の高さの組合せで表現できる。計算処理上便利なので、その組合せに番号をつけ全林区共通とした。林区内に50m間隔で設置された格子点各々について、予定線上の土場（最大間隔50m）との最小距離を求め、その平均値を平均集材距離とした。林区 i の面積 s_i は境界線を用いて算出した。各林区の予定線の長さと、その平均集材距離とを、始点 j 終点 k の記号を用いて r_{jk} , l_{jk} で表わす。

N 番目の評価式を用いた場合の i 番目の林区の終点 k に至る最適評価値を $f_i^{(N)}(k)$, i 番目の林区での始点 j から終点 k に至る予定線をとった場合の評価値を $g_i^{(N)}(j, k)$ とおくと、

$$\left. \begin{aligned} f_i^{(N)}(k) &= \min_{j=1, m} (f_{i-1}^{(N)}(j) + g_i^{(N)}(j, k)) \\ \text{or} \\ &= \max_{j=1, m} (f_{i-1}^{(N)}(j) + g_i^{(N)}(j, k)) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

となり、ダイナミックプログラミング (D. P.) の手法を用い、 $f_0^{(N)}(k) = 0$ であることから、 $f_i^{(N)}(k)$ より順に求めてゆくことができる。開発指数、費用、便益、開設長、平均集材距離を評価式(1)の $f_i^{(N)}(k)$ あるいは $g_i^{(N)}(j, k)$ を表わすとそれぞれ次のとおりになる。

開発指数

開発指数⁴⁾は路線配置の幾何構造的な良否を示す値で、効率的な配置を行うとその値は1に近づく。 i 番目の林区の評価値は(2)式となる。なお $l_j^{(i-1)}$, $r_j^{(i-1)}$, $s_j^{(i-1)}$ は $i-1$ 番目の林区の終点 j までの最適配置における。平均集材距離、林道延長、通過林区面積である。

$$f_i^{(1)}(k) = \min_{j=1, m} \left\{ \frac{l \cdot r}{2500 \cdot s} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{但し } l = (l_j^{(i-1)} \cdot s_j^{(i-1)} + l_{jk} \cdot s_i) / s$$

$$r = r_j^{(i-1)} + r_{jk}, \quad s = s_j^{(i-1)} + s_i$$

費用

費用は集材費と林道開設費（維持費を含む）の和とし、(3)式で表わす。

$$g_i^{(2)}(j, k) = \alpha_i \cdot l_{jk} \cdot s_i + \beta_i \cdot r_{jk} + \gamma_i \dots\dots\dots(3)$$

α_i , β_i , γ_i は i 番目の林区における集材距離・面積あたりの変動費の係数、林道開設費、及び固定費用である。 α_i には造林・保育等の林内作業のための歩行経費等を含めることができる。

便益

便益は林道開設前後の費用の差として(4)式で表わされる。

$$g_i^{(3)}(j, k) = \alpha_i^{(0)} \cdot l_i^{(0)} \cdot s_i - (\alpha_i \cdot l_{jk} \cdot s_i + \beta_j \cdot r_{jk} + \gamma_i) \dots\dots\dots(4)$$

$\alpha_i^{(0)}$, $l_i^{(0)}$ は開設前の変動費の係数、平均集材距離である。 $\alpha_i^{(0)} = \alpha_i$ のとき(4)式となる。

$$g_i^{(3)}(j, k) = \alpha_i \cdot (l_i^{(0)} - l_{jk}) \cdot s_i - \beta_j \cdot r_{jk} - r_i \quad \dots\dots\dots(4)'$$

開設長

開設長の評価式は(5)式で与えられる。その右辺は i 番目の林区の開設延長を表わし、(1)式を最小とする配置は最短ルートとなる。

$$g_i^{(4)}(j, k) = r_{jk} \quad \dots\dots\dots(5)$$

平均集材距離

平均集材距離は開発指数と同様に $i-1$ 番目の林区の終点 j までの最適値を用いて (6) 式で表わされる。

$$f_i^{(5)}(k) = \min_{j=1, m} \{ (l_j^{(i-1)} \cdot s_j^{(i-1)} + l_{jk} \cdot s_i) / (s_j^{(i-1)} + s_i) \} \quad \dots\dots\dots(6)$$

適用例と考察

京都大学和歌山演習林 4～7 林班を対象地として、前記の 5 つの評価方法によって林道配置を行った。対象区域の面積は 323ha、既設林道は区域外の対岸沢沿にあり、区域内の延長は 385m である。対象区域を地形的・施業的条件を考慮し 23 ヶの林区に分割した。林道の起点 S は既設林道 ($A-A'$) の 650m 標高点とし、3, 4 林班の境界 ($E-F$) に到達する路線配置を行った。なお計算に必要な林区境界線、等高線等は 5 千分の 1 の森林基本図を用い、 $X-Y$ 座標をデジタイザで採取した。配置結果は図 1～4 に示すとおりで、その開設長、平均集材距離等は表 1 に示す。各図とも細線は林区の境界及び 50m 間隔の等高線、太線は計画路線、中太線は既設林道を表わしている。

図 1 は(2)式の開発指数を用いた最適配置の結果を示す。中腹一段の路線配置となる。 $E-F$ 上の他の高さに終点を指定した場合、それが一点のとき、最適評価値は 1.40—1.42 であった。2 点のとき、開設長は 3000m、通過林区面積は 20ha 程度増加したが、平均集材距離が 40m 程減少した。そのため、最適評価値は 1.45—1.48 と一点指定の場合と比べても差がなかった。このように起点 S から境界 $E-F$ に至る林道配置は、開設長に関係なく、開発指数は 1.4—1.5 が最適値となる。このことは対象地域の地形的特色を表わしており、林道密度理論でいう迂回率に相当する値である。

図 2 は便益の(4')式を用いたときの最適配置を示す。(4')式の α_i , β_i , r_i は各林区共通とし、それぞれ 0.08 (万円/m・ha), 2.5 (万円/m), 0.0 (万円) とした。評価値は便益の額を表わしている。終点の位置を種々指定し比較してみると、二段林道となる一部の例(終点 900, 1000m)を除き評価値は正であった。また、平均集材距離は終点の位置にかかわらず 177—194m とほぼ変わらず、他の評価に比べ大きい値であった。これは林道開設前の平均集材距離との差により評価を行っているため、通過林区の平均集材距離の長短より、むしろ既設林道から離れた林区を通過するか否か、つまり開設前と比較した平均集材距離の減少の大小の影響の方が相対的に強いためである。

図 3 は費用の(3)式を用い、 $\alpha_i=0.05$ (万円/m・ha), $\beta_i=2.5$ (万円/m) とした場合の最適配置図である。この配置は(5)式の開設延長を用いた場合と同じである。 β の値が α の値に比べ大きいので、開設長の影響が大きく、延長主体の評価になったためである。境界 $E-F$ の各標高点に至る最短開設長は最小 3956m から最大 4649m であった。

表1 最適配置の概要

Table 1 Outline of optimum forest road network

評価方法 method	通過林区 passing block				対象地域 all planning area				備考 noted
	終点の標高	通過面積	平均集材距離	評価値	林道延長	平均集材距離	林道密度	開発指数	
	height of end point	passing area	average skidding distance	evaluation	road length	average skidding distance	forest road density	exploitative index	
	m	ha	m		m	m	m/ha		
原図 original	—	19.8	256	—	385	796	1.2	—	
開発指数 exploitative index	950	271.4	146	1.40	6,709	183	20.7	1.52	fig. 1
便益 benefit	1,100	261.0	188	2,192	5,300	224	16.4	1.47	fig. 2
費用 cost	900	191.6	194	12,515	4,342	359	13.4	1.93	fig. 3
林道開設長 road length	900	191.6	194	4,342	4,342	359	13.4	1.93	fig. 3
平均集材距離 average skidding distance	700 900	300.9	91	91.0	13,021	118	40.3	1.90	fig. 4
開発指数 exploitative index	1,100	271.4	151	1.42	6,532	172	20.2	1.39	
費用 cost	1,100	197.3	152	13,665	5,034	232	15.6	1.45	
平均集材距離 average skidding distance	1,100	230.9	107	106.7	10,212	166	31.6	2.11	

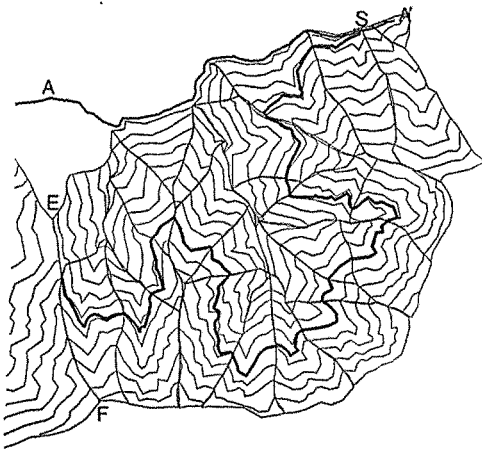


Fig. 1 Location of forest road on minimum exploitative index
S: beginning point
E-F: border line of end point

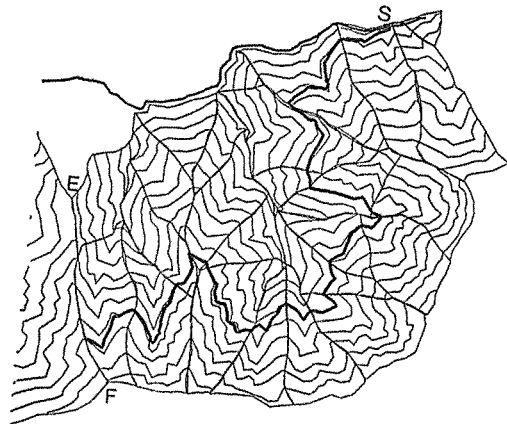


Fig. 2 Location of forest road on maximum benefit
S: beginning point
E-F: border line of end point



Fig. 3 Location of forest road on minimum cost of logging and road construction
S: beginning point
E-F: border line of end point

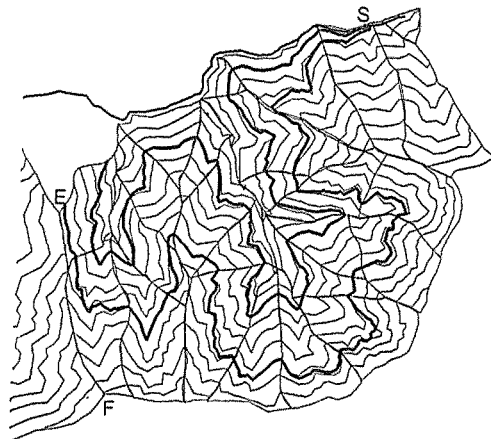


Fig. 4 Location of forest road on minimum average skidding distance
S: beginning point
E-F: border line of end point

図4は平均集材距離の評価式(6)を用いた最適配置である。(6)式には開設長に関するパラメータがなく、その長さは無制限である。一方、このD.P.プログラムでは一林区内最大2本の予定線しか配置を認めていない。そのため多くの林区で2段の林道配置となり、開設長は5つの評価方法のなかで最大である。終点を一点のみ指定した場合でも、途中は二段林道の配置となった。終点の位置にかかわらず平均集材距離は90—105m、林道密度は45m/ha前後となった。

費用の評価式(3)において $r=0$ とみなしさらに α を零とすれば開設長の評価式(5)と同じ配置が、同様に β を零とすれば平均集材距離の評価式(6)と同じ配置が求まる。起終点を図3と同じに固定し、 α/β の値を変化させ、最適配置がどうなるか検討してみた。図3の最適値を基準に指数

をとってみると、開設長は α/β の値が0.2~0.7のとき127, 0.8~1.0のとき169となり、平均集材距離は73, 68となる。配置の形態は中腹一段林道から二段林道へと段階的に変化する。一方、境界E-Fへの最適配置は α/β の値が0.1の時900m地点, 0.2~0.5の時950m地点, 0.7~1.0では950mと1100mの2地点と、終点が高くなりかつ二段林道の配置となる。 α/β の値は集材方法や林道開設単価により変化し、対象地域の施業方法、地形条件（特に斜面傾斜）に左右される。急傾斜地における架線集材を主体とする施業の場合、 α/β の値は小さくなり配置は最短ルートに近づく。簡易な作業道とm当りの集材変動費の比較的高いトラックやクレーン等の車輛系の集材作業をする場合や択伐等を中心に集約的な施業をする場合、 α/β の値は大きくなり路線は平均集材距離に重点をおいた配置となる。このように α/β の値により配置が大きく変る。

便益の式(4)の α/β の値についても同様のことがいえる。しかし、便益は開設前の平均集材距離がパラメータとして含まれているため、 α , β の値が費用と同じ場合、その最適路線は既設林道から離れて配置される。表1のように起点S, 終点1100m地点としたとき、便益は費用より開設長で266m, 平均集材距離で36m長い路線配置となった。

開発指数による評価は便益や費用の評価に比べ、林道開設長は長く、平均集材距離は短く、通過林区面積はおおい。これは評価式(2)のなかに開設長が林道密度の形で、平均集材距離との積として用いられているためである。この地域の場合、開設長は数千メートル、平均集材距離は数百メートルのオーダーである。そのため、同じ変化量でも評価に与える影響は平均集材距離の方が大きい。一方、便益や費用の場合は和の形で用いられているため、変化量の大きい開設長が評価に強い影響を与える。勿論 α , β 等の係数の大小により差はある。このように評価式の違いにより前者は平均集材距離を減ずるように林区の中央の予定線を選択する。そのため尾根ではさがり気味に、谷筋ではあがり気味の逆勾配をも含む配置となる。後2者は開設長の短い予定線を選択し図2, 3ではほぼ一様の順勾配となった。

各評価式の最適配置を対象地域全体からみると、その概要は表1のようになる。林道開設長は平均集材距離・開発指数・便益・開設長による評価の順で長く、平均集材距離はその順で短い。

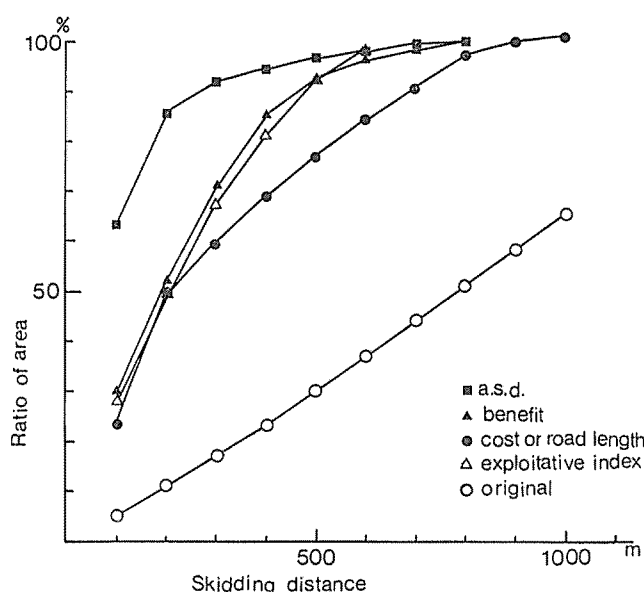


Fig. 5 Relation between the skidding distance and the cumulative ratio (%) of area on the optimum network

図5では各評価式による最適配置(図1—4)毎に林道への到達距離(集材距離)別面積を求め、その割合を累積分布で表わしている。林区内に林道がある場合はその部分との、ない場合はすべての林道との距離を平均集材距離と同じ方法で計算した。図のように、便益と開発指数はほぼ同一の分布をしている。それらは200m以下では開設長の分布に、600m以上では平均集材距離の分布に近づく。これは先に述べたような各評価式の特色で、便益は開設前後の平均集材距離の減少が、開発指数では林区内での平均集材距離の減少率と開設長の増加率の大小が、評価値に大きな影響を与えることによる。費用や便益の評価式の係数 α 、 β の比 α/β を大きくすると平均集材距離の分布に近づく。

お わ り に

平均集材距離や林道開設長等をパラメータとした評価式を用い林道の最適配置を行った。開発指数、開設長、平均集材距離の3つの評価式では、対象地域の施業方法や林道開設費に関係なく、地形的条件や既設林道の位置によりその配置がきまる。各々の評価値は対象地域の特色を表わしている。一方、便益や費用の評価式では、対象地域の施業方法、とりわけ集材方法や造林・保育方針、林道開設費により、係数 α 、 β 、 r が変るため、配置も異なる。このプログラムでは林区毎に係数値を与えることもでき、実際の施業に即した最適配置ができる。現実的という点からすればこの2方法はベターである。

林道密度理論と比較してみると、費用の評価式にみられるよう、費用を集材距離と林道開設長の一次関数として表わしている点では同じである。しかし、林道密度理論では集材距離と林道開設長の関係を、対象地域全体で一意的な関数としてとらえている。それに対し本研究では林区単位にそれらを計測している点で異なる。

林区単位では集材距離と開設長の関数関係を近似できるが、配置を行う場合、対象地域全体として考えることは不合理である。この違いは量的基準としての林道密度と、配置を主体とした本研究の違いである。

今後は規格の異なる林道の配置計画について検討してゆきたい。なお本研究は昭和57年度文部省科学研究奨励(A)の一部として行い、計算には京都大学大型計算センターを利用した。

引 用 文 献

- 1) 酒井徹朗；林道の配置計画について(Ⅰ)，京大演報 No. 54, p 172—177, 1982
- 2) 酒井徹朗；ダイナミックプログラミングによる林道配置，投稿中
- 3) 南方康；林道網計画に関する研究，東大演報 No. 64 p 1—58, 1968
- 4) 藤原登記；開発指数，林道網評価のための指数およびその林道網計画への適用，機械化林業 205, p 27—39, 1970

Résumé

We would like to report on the results of our investigation of some evaluation methods for optimum forest roads network. These evaluation -exploitative index, cost, benefit, road length and average skidding distance, as equation(2)-(6)-are calculated from the value of a skidding distance and a road length on each planning block, that is a part of the planning area under comparable condition in topography and logging. We can solve an equation (1) by use of Dynamic-Programing method.

In the case of the exploitative index, the solution is about equal value independently of the height of an end point on the border line (E-F). It seems that this value is character of this planning area. In the case of the cost or the benefit, the solution is related to value of α and β as follow; The smoller the ratio of α to β become, the more the result is similar to the optimum network of road length as Fig. 3. The other hand, the larger the ratio become, the more the result is similar to the optimum network of average skidding distance. It is a high-density network. In the case of the benefit, roads are located away from the existing roads, because the equation involves a parameter that is a difference between the skidding distance before roads construction and the value after planning. Fig.1-4 show the optimum network by use of each method, and we make a list of their outline on Table 1.